

平成 2 1 年度 調査研究報告書

平成 2 1 年度
インバース・マニュファクチャリング
フォーラム調査研究報告書

平成 2 2 年 3 月

財団法人 製造科学技術センター

目次

■ 活動概要

1. 平成21年度活動概要	5
2. 活動体制	6
3. 委員会活動	7
4. 普及・啓発活動	15

■ フォーラム委員会の活動

I 企画委員会

I-1 サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG	19
1. はじめに	21
2. 基本設定	23
3. ケース・スタディ	27
4. 技術マップの評価と技術戦略マップの更新	46
5. サステナブル・マニュファクチャリングにおけるムダレス化の効果の試算	65
6. まとめ	70
I-2 持続可能社会シミュレータ開発提案 TF	
持続可能社会シミュレータ調査委員会	73
第1章 研究概要（目的、概要、体制）	82
第2章 本論（研究結果）	84
1. 非持続的な車社会	84
2. CEV (Clean Energy Vehicle)	85
3. CEV の普及	86
4. 社会が変わる	91
5. EV100%社会の描写	96
6. 資源・エネルギーから見た EV100%社会	114
7. 持続可能社会シミュレータへ向けて	123
8. 総括	131
I-3 エコデザイン 2009 国際シンポジウム組織・実行	137

II ライフサイクル管理用 ID 調査委員会

1. 調査研究の目的	166
2. 調査研究の実施体制	167
3. 調査研究成果の要約	168
4. 調査研究の今後の課題及び展開	212

III 3R 合わせガラスリサイクル調査委員会

1. 調査研究の目的	216
2. 調査研究の実施体制	218
3. 調査研究の内容	219
4. 調査研究の総括	253
5. 今後の課題と展開及び期待成果	255

IV インバース情報調査広報委員会

1. 総会併設講演会	265
2. 見学会	265
3. メールマガジン発行	266

■ 資料

平成21年度社会環境整備・産業競争力強化型規格開発事業(個別産業技術分野に関する標準化)産業オートメーション分野の環境評価手法に関する国際標準化	269
--	-----

活動概要

フォーラム委員会の活動

1. 平成21年度活動概要

米国のサブプライムローン破綻に端を発した世界的な不況から立ち直りきらないうちにギリシャの経済破綻による株価の低迷や円高にさらされ、経済的に厳しい状況が続く一方、民主党政権が誕生して我が国の温暖化対策の中期目標として2020年までに温室効果ガス排出量を1990年比で25%削減するという意欲的な方針を打ち出し、環境温暖化への取組みが従来以上に重要性を増してきた。

平成21年度の活動としては、日機連からの受託の一部としてサステナブル・マニュファクチャリングに関する技術マップのローリング、NEDOからの受託で持続可能社会シミュレータ実現に向けてのCEV(Clean Energy Vehicle)普及社会像の研究、平成19年度～20年度に実施した、ガラスリサイクルシステムの事前調査(NEDO委託)の発展としての、シス協からの受託でのライフサイクル管理用IDに関する調査研究、経産省からの受託での合わせガラスのリサイクルに関する調査研究を実施した。

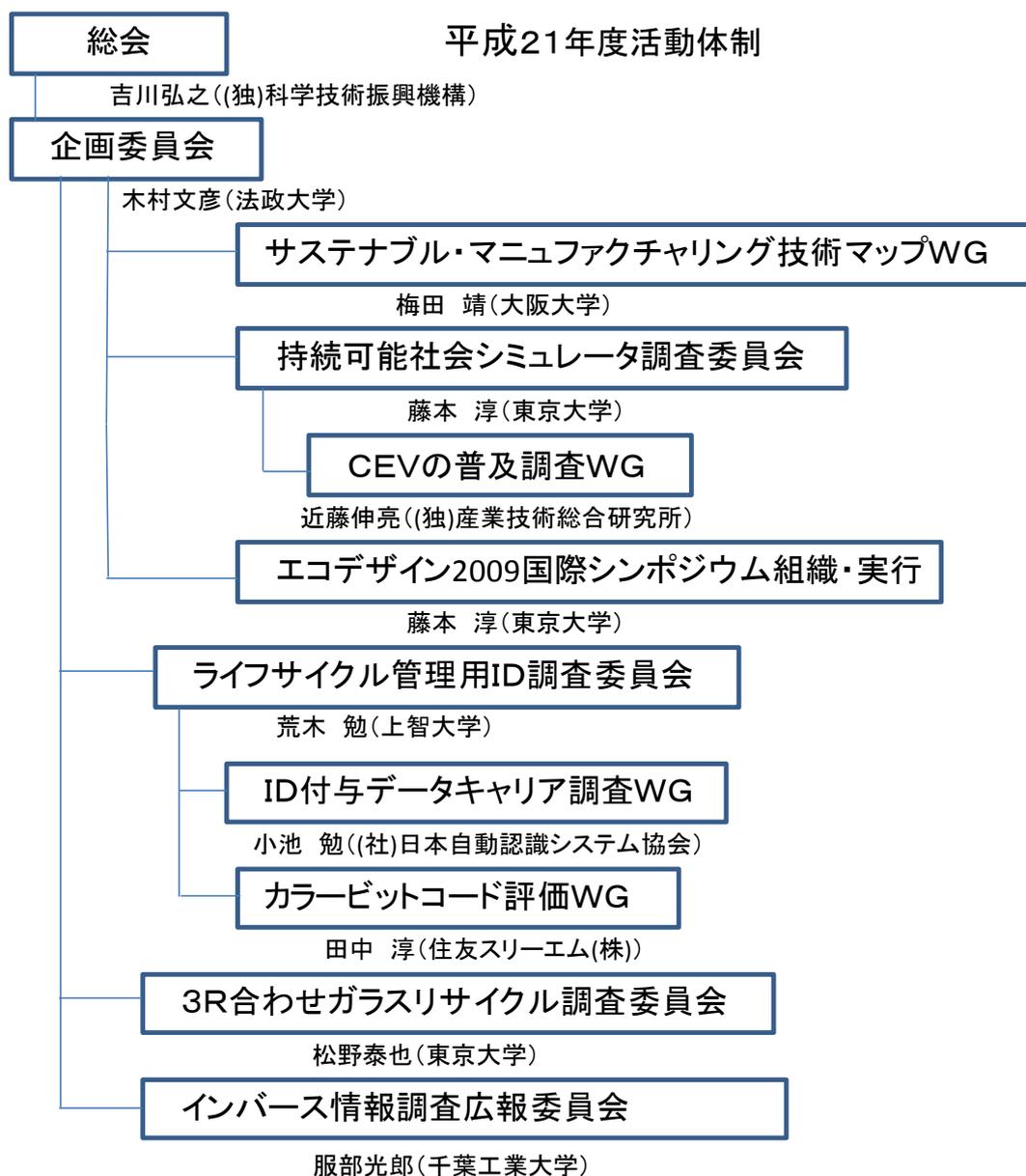
さらに、昨年度から事務局として準備を続けてきたエコデザイン2009国際シンポジウムが12月7日～12月9日に札幌ロイトンホテルにて開催され、盛況裡に終了した。

一方、会員への情報提供や、普及啓発活動を担う情報調査広報委員会では、(株)日立製作所大みか工場及び積水ハウス(株)ゼロエミッションセンター見学会や総会併設の講演会の開催を行うとともに、会員へのメールマガジンの発行を実施した。

このような盛りだくさんの活動や、持続可能社会実現についての社会的関心の高まりにも関わらず、当フォーラムの企業会員の減少が続いている。このことは、フォーラム発足当初から活動してきた企業メンバーが定年等で退職するのに伴い、フォーラム会員であることの意義／必要性やメリットを、企業内で後継者にうまく伝達できていないことにも起因していると思われる。インバース・マニュファクチャリングの重要性を広く世間にアピールするとともに、社内への普及啓発を支援することにより、企業会員を維持・確保することもフォーラム活動の重要な課題である。

2. 活動体制

平成21年度は、受託事業に対応して、新たに「CEVの普及調査WG」、「ライフサイクル管理用ID調査委員会」、「ID付与データキャリア調査WG」、「カラービットコード評価WG」、「3R合わせガラスリサイクル調査委員会」が単年度対応で発足した。



3. 委員会活動

3. 1 委員名簿

企画委員会

(順不同)

委員長

木村 文彦 法政大学 理工学部 機械工学科 教授

委員

服部 光郎 千葉工業大学 社会システム科学部 プロジェクトマネジメント学科
教授

増井慶次郎 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

梅田 靖 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

須賀 唯知 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

馬場 靖憲 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

永田 勝也 早稲田大学 理工学術院 教授

富田 康信 (株)I H I 技術開発本部 技監

米澤 公敏 新日本製鐵(株) 技術総括部 部長代理

愛澤 政仁 特定非営利活動法人 水産衛生管理システム協会 副理事長

石森 義雄 (独)科学技術振興機構 研究開発研究センター フェロー

塚田 哲夫 トヨタ自動車(株) 生技管理部 事務統括室 総括G

寺田 暁彦 日産自動車(株) 車両生産技術本部 環境・リサイクル統括部 主担

石田 智利 (株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 主任研究員

八代 長生 三菱電機(株) 名古屋製作所 開発部 基礎技術グループ マネージャー

オブザーバ

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG

(順不同)

主 査

梅田 靖 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

幹 事

三島 望 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ グループ長

委 員

中野 冠 慶応義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 教授

尾崎 浩一 (独)産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター
加工基盤技術研究チーム チーム長

増井慶次郎 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

中野 禅 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
難加工材成形研究グループ 主任研究員

上野 潔 (独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

山際 康之 東京造形大学 造形学部 デザイン学科 サステナブルプロジェクト専攻
准教授

石田 智利 (株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 主任研究員

オブザーバ

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

持続可能社会シミュレータ調査委員会

(順不同)

委員長

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

委員

梅田 靖 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

中野 冠 慶応義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 教授

岡村 宏 芝浦工業大学 教育支援センター 教授

木村 文彦 法政大学 理工学部 機械工学科 教授

増井慶次郎 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

近藤 伸亮 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

松本 光崇 (独)産業技術総合研究所 サービス工学研究センター
サービス工学企画室 研究員

持続可能社会シミュレータ調査委員会

CEVの普及調査WG

(順不同)

主査

近藤 伸亮 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

委員

中野 冠 慶応義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 教授

岡村 宏 芝浦工業大学 教育支援センター 教授

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

オブザーバ

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

槌屋 治紀 (株)システム技術研究所 所長

瀬戸口泰史 みずほ情報総研(株) 環境・資源エネルギー部 次長

福重 真一 大阪大学

木下 裕介 大阪大学

ライフサイクル管理用 I D 調査委員会

(順不同)

委員長

荒木 勉 上智大学 経済学部 経営学科 教授

委員

川嶋 弘尚 慶応義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 教授

平岡 弘之 中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授

増井 慶次郎 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

野村 昇 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門
素材エネルギー研究グループ 主任研究員

大塚 裕 オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー
アプリ開発センタ アプリ開発 P M グループ 主幹

小池 勉 (社)日本自動認識システム協会 理事・事務局長

田中 淳一 住友スリーエム(株) 官公庁渉外 官公庁マーケットセンター センター
長

オブザーバ

国領 一人 (株)ガラステクノシナジー 代表取締役

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

ライフサイクル管理用 I D 調査委員会

I D 付与データキャリア調査WG

(順不同)

主査

小池 勉 (社)日本自動認識システム協会 理事・事務局長

委員

荒木 勉 上智大学 経済学部 経営学科 教授

平岡 弘之 中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授

増井 慶次郎 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

大塚 裕 オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー
アプリ開発センタ アプリ開発 P M グループ 主幹

立石 俊三 (社)日本自動認識システム協会 研究開発センター 主任研究員

オブザーバ

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

ライフサイクル管理用 I D 調査委員会
カラービットコード評価WG

(順不同)

主 査

田中 淳一 住友スリーエム(株) 官公庁渉外 官公庁マーケットセンター センター長
委 員

荒木 勉 上智大学 経済学部 経営学科 教授

野村 昇 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門
素材エネルギー研究グループ 主任研究員

清水 伸 住友スリーエム(株) 技術本部 ソフトウェア・エレクトロニクス 及び
メカニカル システムズ・ラボラトリー 部長

オブザーバ

小池 勉 (社)日本自動認識システム協会 理事・事務局長

大塚 裕 オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー
アプリ開発センタ アプリ開発PMグループ 主幹

国領 一人 (株)ガラステクノシナジー 代表取締役

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

3 R 合わせガラスリサイクル調査委員会

(順不同)

委員長

松野 泰也 東京大学 工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

委員

川嶋 弘尚 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 教授

野村 昇 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門

素材エネルギー研究グループ 主任研究員

鈴木 道哉 清水建設(株) 技術研究所 地球環境技術センター

建築設備システムグループ グループ長

遠山 清文 積水化学工業(株) 滋賀水口工場 中間膜製造部 ヘッド

鶴岡 正顯 (株)ツルオカ 代表取締役

守川 勝 板硝子協会 調査役

原 潤一 板硝子協会 調査役

佐藤 正紀 (社)日本建材・住宅設備産業協会 建材事業部 部長

飯室 眞次 全国板カレットリサイクル協議会 理事

オブザーバ

宿利 恭一 (株)オメガテクノモデリング 取締役

國領 一人 (株)ガラステクノシナジー 代表取締役

田結 荘宣治 (有)飯室商店 総務グループ マネージャー

信末 直人 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技官

インバース・情報調査広報委員会

(順不同)

委員長

服部 光郎 千葉工業大学 社会システム科学部 プロジェクトマネジメント学科
教授

委員

松本 光崇 (独)産業技術総合研究所 サービス工学研究センター
サービス工学企画室 研究員

朝倉 紘治 (財)エンジニアリング振興協会 研究理事

愛澤 政仁 特定非営利活動法人 水産衛生管理システム協会 副理事長

小池 勉 (社)日本自動認識システム協会 理事・事務局長

オブザーバ

是永 基樹 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

3. 2 委員会開催状況（回数は平成21年度として表示）

（1）総会（第14回）および併設講演会

平成21年 6月15日

（2）企画委員会

第1回 平成21年 5月25日

（3）サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG

第1回 平成21年10月 4日

第2回 平成21年11月17日

第3回 平成21年12月25日

第4回 平成22年 2月 3日

（4）持続可能社会シミュレータ調査委員会

第1回 平成21年 9月15日

第2回 平成21年11月13日

第3回 平成22年 1月 7日

第4回 平成22年 1月16日～17日

第5回 平成22年2月24日

（4-1）CEVの普及調査WG

第1回 平成21年 6月22日

第2回 平成21年 7月27日

第3回 平成21年10月21日

第4回 平成21年12月16日

（5）ライフサイクル管理用ID調査委員会

第1回 平成21年 7月17日

第2回 平成21年10月 2日

第3回 平成21年12月 4日

第4回 平成22年 2月16日

第5回 平成22年 3月 8日

（5-1）ID付与データキャリア調査WG

第1回 平成21年 8月28日

第2回 平成21年10月26日

第3回 平成22年 1月29日

(5-2) カラービットコード評価WG

- 第1回 平成21年 9月 4日
- 第2回 平成21年10月 2日
- 第3回 平成21年10月26日
- 第4回 平成22年 2月 5日

(6) 3R合わせガラスリサイクル調査委員会

- 第1回 平成21年 9月28日
- 第2回 平成21年12月16日
- 第3回 平成22年 2月12日

(7) インバース・情報調査広報委員会

- 第1回 平成21年 4月22日
- 第2回 平成21年10月21日
- 第3回 平成22年 1月20日
- 第4回 平成22年 3月24日

(8) エコデザイン2009実行委員会 ()は平成20年度

- (第1回 平成20年 9月30日)
- (第2回 平成20年12月12日)
- 第3回 平成21年 4月17日
- 第4回 平成21年 8月21日
- 第5回 平成21年11月25日
- 第6回 平成22年 3月24日

エコデザイン2009国際シンポジウム

平成21年12月7日～9日

(9) 見学会・セミナー等

- 平成21年 6月 3日 (株)日立製作所大みか工場見学会
- 平成21年11月24日 積水ハウス(株)ゼロエミッションセンター見学会

4. 普及・啓発活動

平成21年度は以下のような活動を行った。

(1) 総会併設講演会

日 時：平成21年6月15日（月）13：30～15：45

場 所：虎ノ門パストラル 新館5階 ローレル

参加者：40名

講演1：「二次電池による社会イノベーション」 東京大学大学院 宮田秀明 教授

講演2：「環境技術への取り組み」 (株)本田技術研究所 岩本淳 シニアマネージャ

(2) 見学会

・日立製作所(株)

日 時：平成21年6月3日（水）13：45～16：50

場 所：大みか工場

茨城県日立市大みか町 5-2-1

参加者：14名

・(株)積水ハウス

日 時：平成21年11月24日（火）15：00～17：00

場 所：ゼロエミッションセンター

茨城県古河市北利根 8

参加者：17名

(3) メールマガジンの発行

第7号（平成21年 6月11日発行）

第8号（平成21年11月19日発行）

I 企画委員会

I—1 サステナブル・マニュファクチャリング 技術マップWG

本委員会の活動は、社団法人 日本機械工業連合会からの受託平成 21 年度「ものづくり技術戦略要素技術体系化調査」の中で実施したものである。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>

なお、この調査の結果は、経済産業省の技術戦略マップ 2010 の「システム・新製造」【設計、製造、加工分野】に掲載される。

1 はじめに

サステナブル・マニュファクチャリング WG では、世の中の情勢の変化を受けての我が国の温暖化対策の中期目標、すなわち 2020 年に温暖化ガス排出量を 1990 年比で 25%削減するという目標、に対して、設計・製造・加工分野が果たしうる貢献の可能性を明確にし、その中で温暖化対策の中期目標実現という視点から重要となる技術課題の抽出を行うことを目的に活動を行った。

設計・製造・加工分野が直接対象とする組立型製造業がその製造工程内で排出する温暖化ガスは、産業部門のおよそ 1/4 程度、我が国の総排出量 8%程度と決して多くはない。しかしポイントは、組立型製造業が、ほぼ全ての温暖化ガスの排出源となっている最終製品を世の中に送り出す点である。すなわち、2008 年度の技術戦略マップ[1]で挙げたキーワード「ライフサイクル思考」、「最小化」、「高付加価値化」により、大量生産・大量消費・大量廃棄型ものづくりから、「適量生産高付加価値リデュース」型ものづくりに転換することが出来れば、同じ価値を提供するために必要な資源・エネルギーを大幅に削減することが可能となる（図 1. 1 参照）。これを、資源、エネルギー、コストなどあらゆる面での「ムダレス化」と呼ぶ。これは、ムダを削減する（ムダ取り）だけでなく、ムダの発生をそもそも抑制するリデュース効果を主眼としている。すなわちムダレス化の効果は、川下工程に向けては、製品のリデュース化、LC 設計、および、価値提供手段の多様化により、使用段階の省エネ、ムダレス化、および、使用後の段階の再利用の高度化を促進し、逆に川上工程に向けては、製品の適量生産、リデュースにより、必要な資源量が大幅に削減される。これにより、部品産業、素材産業、鋳業などサプライチェーンを溯ってムダの削減、大幅な省資源が達成され、多様な工業製品のライフサイクルの総和としてエネルギー消費量の削減、温暖化ガス排出量の削減が達成される[2]。ここで重要なことは、これらの施策は温暖化対策コスト負担という話ではなく、消費者にとっての価値の増大、および、組立型製造業のコストダウン、製品競争力向上に結びつくことである。

本章では、以上の設計・生産・価値提供の変革を誘導し、「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」の我が国の温暖化対策の中期目標の中での可能性を 2 章で位置づける。3 章では、個別の要素技術開発に加えて、技術のシステム化による「ムダレス化」の潜在的効果を三つのケース・スタディを通じて明らかにする。さらに、ムダレス化を実現する「適量高付加価値リデュース型ものづくり」を実現するための重要技術課題、すなわち、設計・製造・加工分野から見た温暖化対策の中期目標のために重要な技術課題を 4 章で整理する。5 章で、2 章の位置づけの根拠となる試算結果を示した後、6 章で本章のまとめを述べる。

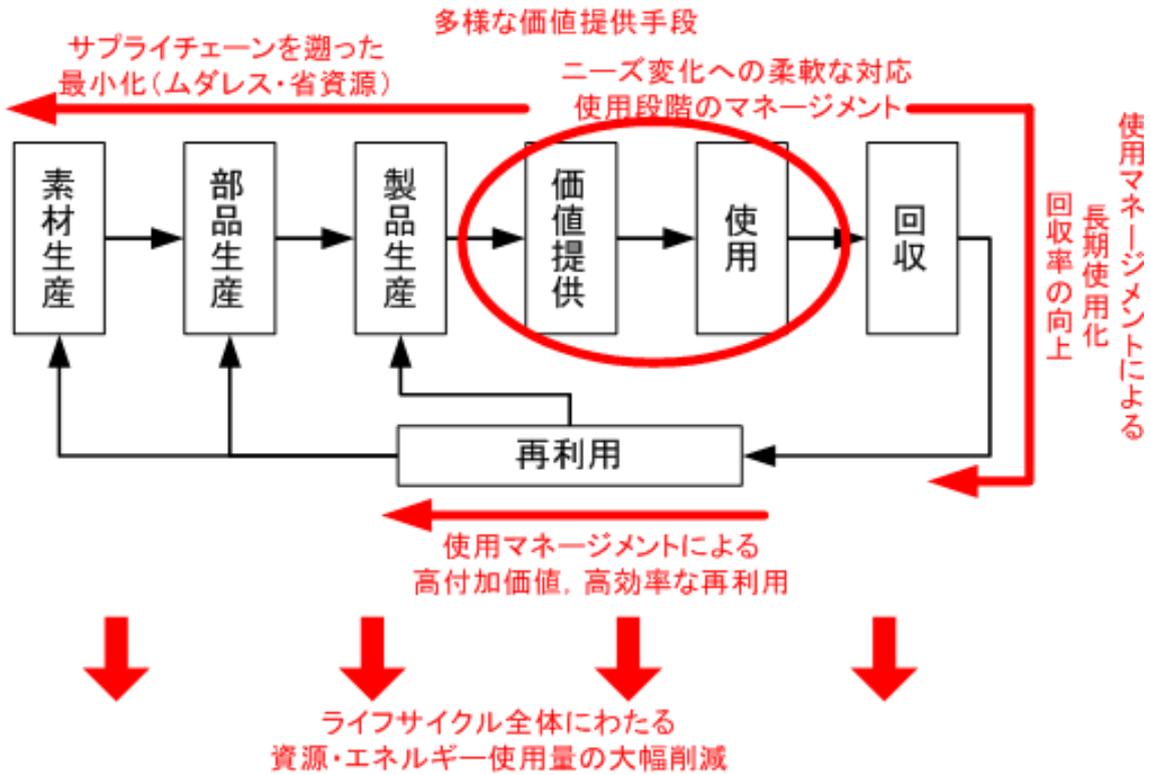


図1. 1 : 適量高付加価値リデュース型ものづくり

2 基本設定

我が国の温暖化対策の中期目標である、2020年に1990年比25%削減を達成するためには、再生可能資源の活用、エネルギー源の低炭素化だけでは不足である。常に標榜されているように大量生産・大量消費・大量廃棄から脱却し、必要な価値の実現手段の変革、ものづくりの方法の変革、および、人工物の使い方の変革、使い終わった人工物の再利用の高度化が必要不可欠である。これら、人工物と人工物群のライフサイクルにまつわる全ての活動を広義の「サステナブル・マニュファクチャリング」と呼ぶ。

サステナブル・マニュファクチャリングは、ライフサイクル全体にわたる材料、エネルギー、時間、コスト、労働力などのあらゆる資源の最小化（ムダレス）と高付加価値化を同時に実現することを意味する[1]。ここで言う最小化とは、従来の製造工程におけるカイゼンのみならず、生産システムの変革、価値提供形態の多様化、使用方法の変革など適量生産・適量消費につながる方策をむしろ主眼としている。これらの方策を通じて、人工物の使用量、人工物の使用段階のエネルギー消費量、および、製造段階でのエネルギー消費量、原材料消費量とそれに伴うエネルギー消費量の大幅な削減が達成され、低炭素社会構築に資するものづくりとなる。

本ロードマップでは、サステナブル・マニュファクチャリングの中でも設計・製造・加工分野に関連する技術を対象とした。ただし、本ロードマップは、サステナブル・マニュファクチャリングを実現する技術と、技術の使われ方、技術に対するニーズを規定する社会的側面の両面を関連づけて検討することを特徴とする。すなわち、主として組立型工業製品の製品設計、生産、部品生産、製品販売、レンタルなどの価値提供、使用、再利用に関する技術と社会的側面を対象とするが、独自の技術分野として進展している、製品の省エネ技術、エネルギー転換技術、素材生産技術は扱わない。

我が国の温暖化対策の中期目標である、2020年に1990年比で温暖化ガス25%削減に対して、以上の問題設定におけるサステナブル・マニュファクチャリングによる2020年の目標値は以下のように設定できる（詳細の試算結果については、5章参照）。

削減目標：1990年比・25%（2007年比・約34%）

- サステナブル・マニュファクチャリングの検討対象外の温暖化ガス削減効果
 - 再生可能エネルギー導入による削減効果：-1%
 - エネルギー転換部門のエネルギー原単位向上：上記と合計して現状比-12%程度
 - （使用方法、所有形態の変更を考慮に入れない）製品自体の省エネ技術導入によ

るエネルギー転換部門における排出量削減効果：2007年比-6%

▶ サステナブル・マニュファクチャリングによる温暖化ガス削減目標：-8%程度

- 技術以外の手法（排出権取引、CDM等）による名目的削減目標：現状比-7.5%程度

この目標に対して、サステナブル・マニュファクチャリングによる温暖化ガス削減効果の内訳は以下のように設定できる（詳細な試算結果については、5章参照）。

効果の目標：

- 1) 工業製品の使い方の変革によるリデュース、ムダレス化：-2.4%
- 2) 設計、部品生産、製品製造工程のリデュース、ムダレス化：-0.3%
- 3) 工業製品の生産物量の削減：-4.4%
- 4) 使用済み製品のリユース、リサイクルの高度化による資源活用：-1.2%

ここで重要なことは、これらの施策は温暖化対策コスト負担という話ではなく、消費者にとっての価値の増大、および、組立型製造業のコストダウン、製品競争力向上に結びつくことである。

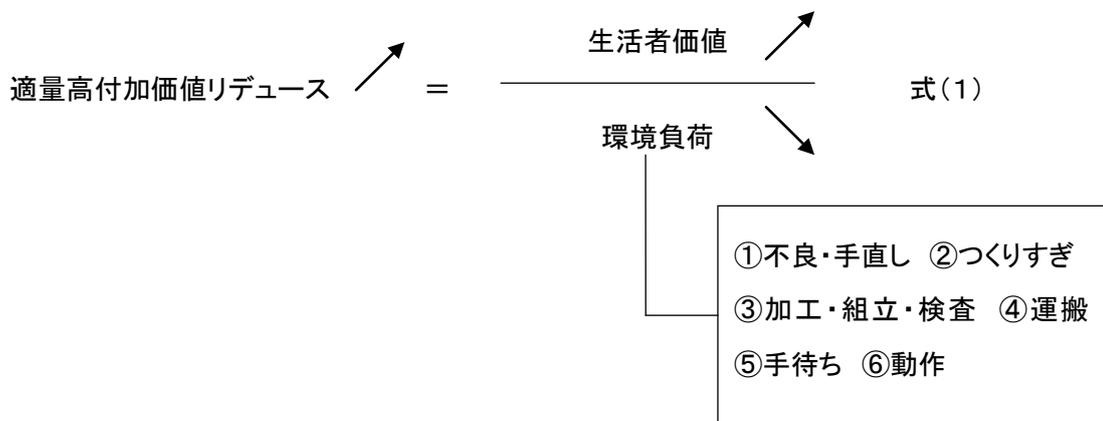
2. 1 「適量高付加価値リデュース」におけるムダの定義

「ムダ」および、その排除は、従来から生産システム分野や管理工学分野で広く取り上げられた課題である。2. 1節では、これら従来の「ムダ取り」の概念の概要を述べると共に、「適量高付加価値リデュース」における意義を整理する。

生産は原材料、労働力、機械などの付加価値を高め、製品、サービスに変換する過程を意味する。ここでいう付加価値は最適なコスト、納期、数量、品質であり、いわゆる「安価なものを、必要な時に、必要な数だけ品質良く提供する」ことである。「ムダ（無駄）」における一般的な意味は、「役にたたないようす。かいたないようす。（国語辞典：三省堂）」を示すが、生産においてはこれらの付加価値を阻害する要素がムダといえる。

生産現場におけるムダを「適量高付加価値リデュース」にあてはめて考えていくと、式（1）に示す通り、生活者価値と環境負荷の比率によって求めることができる。

生活者価値とは、マズローの5段階欲求説に代表されるように「安心・安全（安全への欲求）」、「仲間がほしい・コミュニケーションしたい（所属と愛の欲求）」、「表現したい・注目されたい（評価・承認の欲求）」、「楽しい・楽だ・得する（自己実現への欲求）」などがあげられる。



したがって、従来と比べ、適量高付加価値リデュースが低下するような事柄がムダと定義することができる。つまり、ムダのない適量高付加価値リデュース社会とは、窮屈で苦しい社会ではなく、楽しく、便利であるなどの生活者の価値が前提であるといえる。

表2. 1. 1に示す通り、トヨタ生産方式に代表される生産現場におけるムダ取りは、主に、①不良・手直し ②つくりすぎ ③加工・組立・検査 ④運搬 ⑤手待ち ⑥動作の6つに分類して表している。

表2. 1. 1 主なムダの分類

ムダの種類	改善
①不良・手直し	□何故、材料、作業の検査不良による手直しがあるのか？ 例) 標準作業、ポカヨケ
②つくりすぎ	□何故、倉庫在庫や工程間の仕掛り品があるのか？ 例) 1個流し、かんばん
③加工、組立、検査	□何故、加工、組立、検査を行うのか？目的は何か？ 例) 標準作業、VE/V A
④運搬	□何故、運搬、歩行、取り置き、積み替えがあるのか？方法は？ 例) 多能工、セルやU字などのレイアウト
⑤手待ち	□何故、動作、作業、運搬などの手待ちがあるのか？ 例) 平準化
⑥動作	□何故、ムリ、ムラ、ムダな動作があるのか？ 例) 動作改善

「適量高付加価値リデュース」におけるムダ取り、すなわちムダレス化を、①不良・手直しを日常の生活にあてはめて考えると、自動車運転による運行ミスや事故などがムダにあげられ、ナビゲーションや安全運行システムなどの技術開発によりムダレス化を図ることができる。また、④運搬では電気自動車をはじめとする次世代自動車やレンタカーやカーシェアリングへの移行によりムダレス化が可能となる。⑤手待ちでは、エアコン、テレビ、照明など人間を感知して稼働を制御する技術開発により改善は図ることが可能となる。

3 ケース・スタディ

2章で述べたイメージを具体的に示すため、本 WG では、3つのシナリオを検討した。本 WG の狙いは、要素技術とその技術の使われ方の場を合わせて考えるニーズ指向のサステナブル・マニュファクチャリングシナリオを作成することであり、その場のことを「メゾレベル」と呼んでいる[2]。本 WG では特に、2章で挙げた適量高付加価値リデュース化によるライフサイクル全般にわたる「ムダレス化」が、技術開発によるシーズ主導による実現できる（例えば、省エネ技術の開発）だけでなく、技術や製品の使われ方を変えることによって進展させることができることを示すことにある。後者のムダレス化には、ムダレス化を推進させるシステム化技術、マネジメント技術が必要であり、また、ムダレス化を実現可能とする要素技術の開発を促進する。このように、本節ではケース・スタディを通じて、使われ方の変革、ムダレス化による潜在的効果と、ニーズ主導で必要な技術開発課題を明らかにすることをケース・スタディの目的とする。ここでは、人工物が使われる場としての社会的メゾレベル、および、その人工物を設計、生産する場としての生産システムのメゾレベルの二つの場でシナリオ検討を行った。

- 社会的メゾレベルのシナリオ検討
 - 自動車の使用形態の変化
 - データセンターにおける電力消費削減
- 生産システムのメゾレベルにおけるシナリオ検討
 - 半導体製造に係わる小規模ラインへの置き換え

3. 1 自動車の使用形態の変革によるムダレス化

(1) 問題設定

国土交通省自動車交通局技術安全部審査課（平成 17 年 8 月 2 日付）によれば、乗用車の平均乗車人数は全国平均で 1.3 人程度であり、乗用車の輸送能力に比べて乗車人数が少なく、効率が悪いことが指摘されている。しかしながら乗用車は所有されることが多く、移動目的に応じて乗車人数に応じた自動車の大きさを選択することは困難である。

そこでここでは乗車人数に比べ大きな自動車を用いることを「ムダ」と捉え、自動車使用形態の変革によるムダレス化について検討した。将来像としては、週末だけレジャー目的で乗用車を利用するユーザや、通勤時にのみ乗用車を利用するユーザが、カーシェア等の普及により、その目的（乗車人数）に応じた自動車を選択できるようになり、平均燃費の向上が見込まれることを想定する。

(2) ムダレス化効果のポテンシャル分析

乗用車の平均乗車人数は全国平均で 1.3 人程度という調査がある[3]。また自家用乗用車の目的別・距離帯別輸送量は図 3.1.1 に示す通りである。ここで移動目的ごとに平均乗車人数や平均移動距離も異なることから、目的別に平均乗車人数を仮定し、より少人数乗り（小規模）の乗用車への移行を想定して削減ポテンシャルを求めた。

①前提条件および使用データ

- a. 少人数乗り自動車の燃費については、今後も改善の可能性があり予測が困難であるため、現状の軽自動車および 250cc クラスの二輪車の燃費である 25km/l を使用
- b. 5 人乗りの小型、普通自動車の平均燃費を 15km/l とする
- c. 現状の軽自動車および 5 人乗り自動車の市場における保有台数比率を 1:3 とする
- d. 図 3.1.1 における目的別平均乗車人数を買物 1 人、通勤・通学 1 人、業務 1 人、送迎 1.5 人、レジャー 3 人と仮定する
- e. ガソリン 11 (リットル) の使用で 2.36kg-CO₂ が発生

②削減ポテンシャルの算定

買物、通勤、業務、送迎、レジャーのうち、業務と送迎、レジャーに関しては荷物積載の必要性や乗車人数の平均が高いと予想されることから少人数乗り自動車への移行、すなわち削減の可能性は無いと判断した。買物、通勤については 20km を上限として、5 人乗り自動車から少人数乗り自動車（現状では軽自動車または 250cc クラス二輪車）への移行が進むと想定した。これら目的ではすでに軽自動車の利用比率が全体の平均値よりも高いことも予想されるが、簡便のため軽自動車と 5 人乗り自動車（小型、普通自動車）の使用台数の比率は全体の比率 1:3 を適用した。

買物、通勤目的で利用されていた 5 人乗り自動車（全体の 3/4）が少人数乗り自動車に置き換わることで、普通乗用車、軽自動車合わせて自家用の運輸部門の平均燃費が 17.5km/l（走行距離あたりの二酸化炭素排出量 135g-CO₂/km）から 25km/l（94.4g-CO₂/km）に改善される。両目的を合わせた走行距離は年間約 200,000 百万 km（乗車人数を 1 人と仮定）であるため、この目的に要するガソリンは、11,430 百万リットルから 8,000 百万リットルになり 3,430 百万リットル削減が可能になる。これは年間 809 万 t-CO₂ の二酸化炭素排出削減に相当し、我が国の 2007 年時点での温室効果ガス排出量 1,261 百万 t-CO₂ の 0.6%に相当する。

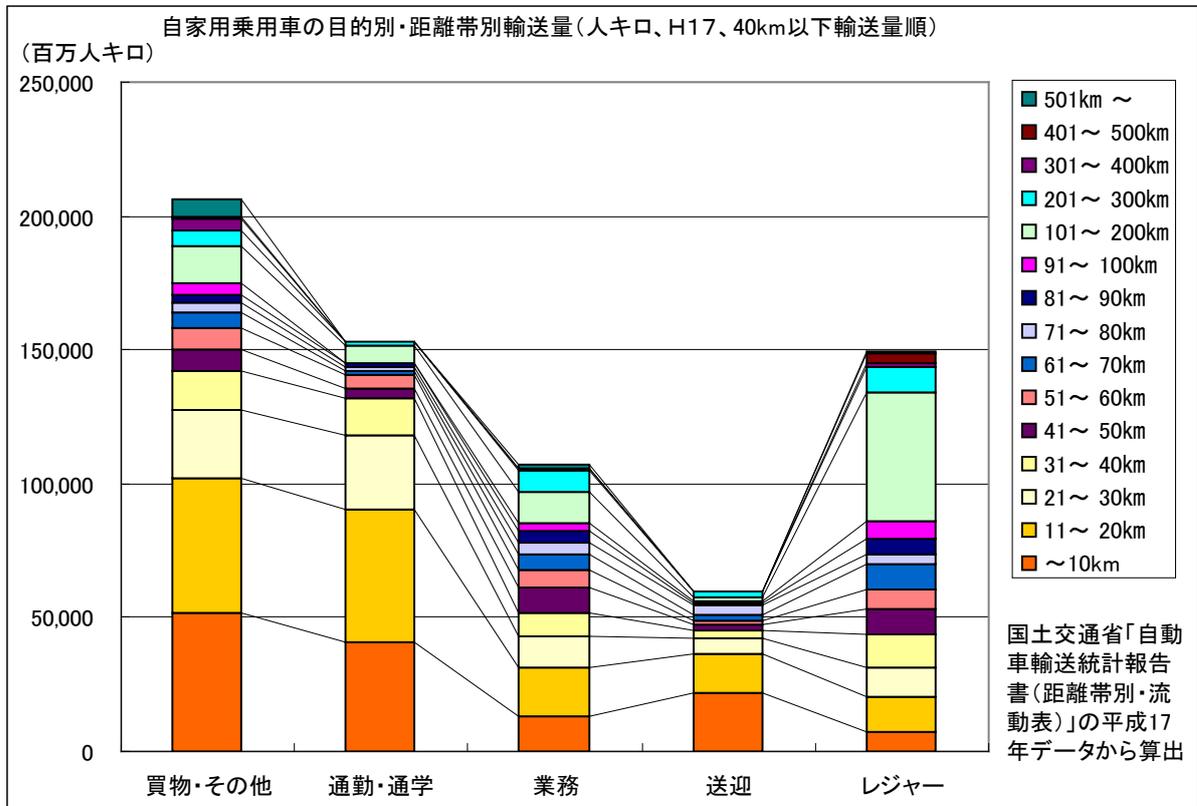


図3. 1. 1 自家用乗用車の目的別・距離帯別輸送量[4]

さらに上記目的での移動が、現状の軽自動車から電気自動車に代わったときの影響についても考察した。電気自動車については、今後も軽量化や電力の利用効率が改善されることが予想されるが、ここでは電気自動車の車両重量を 0.8t と仮定し、ガソリンの燃費に相当する電費を 12.5km/kWh とした。なお電力の二酸化炭素排出原単位を 0.418kg-CO₂/kWh (東京電力 2008 年度実績) とすると、電気自動車の 1km 走行あたりの二酸化炭素排出原単位は 0.0334 kg-CO₂/km (33.4g-CO₂) である。したがって前出の走行距離 200,000 百万 km を平均燃費 17.5km/l のガソリン車で走行した場合の二酸化炭素排出量 2,697 万 t-CO₂ に対して、電気自動車で走行した場合には二酸化炭素排出量は 668 万 t-CO₂ であり、2,029 万 t-CO₂ の削減が見込まれる。これは、我が国の 2007 年時点での温室効果ガス排出量の 1.5% に相当する。

以上のように、これまで目的別に自動車の大きさを選択できなかったことで極めて大きなムダがあることがわかった。電気自動車への転換を図ればさらに大きな削減が見込まれるが、電気自動車の普及には数多くの技術開発が必要とされており、当面の方策として、

少人数乗り自動車への「自動車の使用形態の変革」により 809 万 t-CO₂ もの削減ポテンシャルがあることは極めて重要である。

(3) 設計・製造・加工分野の技術戦略マップにおいて関連する重要課題

前述のように、買物や通勤目的で自動車を利用しているユーザが乗車人数の実態に合わせて自動車を選択できるようになれば、極めて大きな二酸化炭素削減効果が得られることがわかった。しかしながら現状では目的別に自動車の形態を自由に変更することはできず、より少人数乗りの自動車（現状の軽自動車および将来的な電気自動車含む）の利用促進には、自動車を所有しないカーシェアリングやレンタカーなどのサービス提供型の利用方法が充実する必要がある。ここではそのような観点から、昨年度作成した技術ロードマップをもとに、サービス提供に向け課題となるライフサイクル管理技術、および電気自動車の要素技術との関連について述べる。

①少人数乗り自動車普及に向けたライフサイクル管理技術

現在、自動車はユーザにより所有されることが多く、目的別に乗り換えることが困難である。そのため、4人家族がレジャーに出かける際に使用する普通車が、ひとりで買い物に出かける際にも使用されることになる。したがって少人数乗り用自動車の普及を図るためには、目的別に自由に自動車の大きさが選択できるシステムの整備が必要である。これまでもレンタカービジネスやカーシェアリングサービスが提供されてきたが、さらにユーザの利便性を高めるためには、消費者側のニーズ分析を踏まえたサービスシステムの開発に加え、そのシステムに適した製品（供給される自動車）の開発も行われるべきと思われる。

このような観点で、昨年度作成した「設計・製造・加工分野の技術マップ」を見直したとき、大項目「サステナブルな社会の構築」中項目「持続可能社会評価技術」において、小項目「ユーザーニーズのモデル化」「所有形態の予測・モデル化」の必要性が挙げられている。自動車は単なる移動手段ではなく、個人的な空間として捉えられる場合もあり、共有する自動車をいかにユーザごとにカスタマイズできるか開発の余地があると思われる。また中項目「動脈・静脈一体型生産システム」を実現するための要素技術として、ライフサイクル設計の重要性も指摘されている。(2) 項の議論では、少人数乗り自動車の普及による、使用段階（移動、輸送）での二酸化炭素削減効果に着目したが、レンタル・カーシェアリングにより供給される自動車は、製品個体のライフサイクル設計・管理がしやすく、製品寿命に比べてより寿命の長い部品を再利用したリマニュファクチャリング（再製造）

が進展し、自動車製造時の環境負荷低減効果も期待される。

②電気自動車開発に係わる要素技術

昨年度作成した技術マップの参考資料1「設計・製造・加工分野が将来実現する電気自動車のイメージ」において、10年後市場投入を意識した電気自動車およびその戦略的技術が示されている。その多くは、新素材の採用による軽量化であるが、その他インホイールモータによる駆動系ロス削減も予測されており、二酸化炭素削減に向けたエネルギー消費効率の向上が見込まれる。また各種センサーの導入による衝突防止技術なども導入され安全性能も向上することが予測されている。衝突防止技術は安全面に貢献することは明らかであるが、加えて衝突が防止されれば現在の衝突安全基準も見直しの機会が生まれ、更なる軽量化の可能性もあると考えられる。このように少人数乗り電気自動車の普及を検討する際には法律や制度の見直しも含めて検討するべきであると思われる。

最後に、(2)項で見積もった二酸化炭素削減ポテンシャルは、より少人数乗り自動車への移行を前提に使用段階での削減量ポテンシャルを示している。これは小型・普通型自動車から軽自動車に移行した場合、自動車の製造時の二酸化炭素排出量は小さくなることと、現状のハイブリッド自動車の場合でも従来の自動車の製造に比べ約10%程度の増大[5]であることから、少人数乗り自動車に切り替えるための製造時の環境負荷増分は軽微であると判断したためである。今後、ハイブリッド車や電気自動車の生産台数が増え、そのコア技術であるモータや電池の開発が進展すれば、製造時の環境負荷についても削減の余地はある。燃費向上(使用時の環境負荷低減)により相対的に高まった製品ライフサイクルにおける製造時の環境負荷比率を下げることは、設計製造分野の活躍の場であると考えられる。

3. 2 データセンターにおける電力使用のムダレス化

(1) 問題設定

①背景

○グリーンITイニシアティブ(平成19年12月6日、経済産業省)によるIT機器消費電力量の急増に関する警告[6]。

- 1)本格的なIT化に伴い、動画像の送配信や各種ITサービスが普及し、社会で扱う情報量は2025年には約200倍になると見込まれている(情報爆発)
- 2)こうした情報爆発に対応すべく、情報を処理するIT機器の台数が大幅に増加するとともに、各機器の情報処理量が急増しており、その結果、IT機器による消費電力量が急増し、2025年には5倍の2,400億kWhになるなど、深刻な課題になりつつある(2005

年,470 億 kWh)。

3)米国ではデータセンターの消費電力量が過去 6 年間で倍増し、原子力発電所 5 基分の消費電力量に達し、世界的にも大きな問題として認識されつつある。

4)しかし、電子・情報技術は、機器の省エネ化はもとより、高度な制御・管理による生産・流通・業務の効率化を通じて、あらゆる経済・社会活動の生産性向上、エネルギー効率の向上を可能とし、環境負荷の低減に大きく貢献するポテンシャルをもつ。

以上の認識にたち、「21 世紀型の「環境保護と経済成長が両立する社会」の構築に向けて、我が国の強みである「ものづくり」と「環境・省エネ」の技術力を梃子に、生産・社会・国民生活のあらゆる局面を変革していくために、グリーン IT イニシアティブを展開。」と述べている。

○グリーン IT イニシアティブを受け、具体的な取り組みを推進するため、2008 年 2 月 1 日に産学官のパートナーシップによる「グリーン IT 推進協議会」設立[7]。

研究会において、IT 機器の電力消費は、2005 年 510 億 kWh (内データセンターでの電力消費 150 億 kWh) であり、また 2025 年 2, 550 億 kWh (内データセンター 600 億 kWh) と試算。

②問題設定

○2001 年 3 月の「超伝導応用技術の省エネルギー効果に関する調査 平成 12 年度調査報告書」[8]では、データトラフィックは 2010 年に 16,090Pbyte/年に達し、IT 機器からの電力消費は 2010 年に 3,000 億 kWh を超え、総発電量の約 33.3%になる (基本シナリオ) となるとしている。一方、総務省の試算では、2012 年ごろの総消費電力量は 570 億 kWh であり[9]、2000 年での各機関の試算値~400 億 kWh と大きな差異はない。情報トラフィック量の急増を利用して“消費電力量を恣意的に大きく見積もる”ことが、今回のグリーン IT イニシアティブでも行われているのではないか？

○IT 機器の省エネでは、電子デバイスの省エネがまず取り上げられるが、ライフサイクル全体で考えたとき、機器運用時でのムダ排除は可能ではないか？

(2) ムダレス化効果のポテンシャル分析

わが国の情報システム総消費電力量の推定を、PC・サーバーの稼働時の消費電力量の計測、および既存のデータセンター (DC) の消費電力量調査データをもとに実施した[10]。今回の評価では IT システムとして、パーソナルコンピュータ、サーバー、ネットワーク機器、およびデータセンターを運用するために必要となる空調・UPS 電源などを対象とした。

これらの機器の稼働台数は、機器の国内出荷台数および製品の世帯普及率より求めた。結果を表3. 2. 1に示す。

表3. 2. 1 情報機器の国内稼働台数（2008年度）

PCs		<i>thousands</i>
Home	Note type	32,911
	Desktop	21,941
Buseiness	Note type	17,040
	Desktop	25,560
Servers		
Mainframe		4
"Open"&`Unique"		2,146
Workstation		600
Network Equipment		
Router	Cluster	14
	High-reliablity	306
	Volve	1,303
	Electrocity supply	284
	Brodband	19,613
Swich (number of port)	L2	140,200
	L3	13,520
	Electrocity supply	9,800

機器単体の年間消費電力量は、各機器で想定される使用時間と、カタログ値および実測した機器の消費電力量より決定した（表3. 2. 2）。

表 3. 2. 2 各機器の年間消費電力量推定

			Operation time :hours/year	Energy Consumtion: W	Energy Consumtion: KWh/year
PCs					
	Home	Note type	520 (stanby:260)	30 (stanby:2)	16
		Desktop with 17inch LCD	520 (stanby:260)	83 (stanby:6)	45
	Buseiness	Note type	840 (stanby:1,320)	30 (stanby:2)	28
		Desktop with 17inch LCD	840(stanby:1,320)	83 (stanby:6)	78
Servers					
	Mainframe		8,760	20,000	175,200
	"Open"&`Unique"		8,760	500	4,380
	Workstation		8,760	500	4,380
Network Equipment					
	Router	Cluster	8,760	17,000	148,920
		High-reliablity	8,760	2,000	17,520
		Volue	8,760	30	263
		Electrocity supply	8,760	450	3,942
		Brodband	8,760	10	88
	Swich (per port)	L2	8,760	1	9
		L3	8,760	15	131
		Electrocity supply	8,760	30	263

現状（2008年）の情報システム消費電力量は、国内稼働台数と各機器の年間消費電力量を掛け合わせることで求めることができる。結果を表 3. 2. 3 に示す。情報機器からの電力消費量は 32.9TWh で、これに空調などの周辺機器の電力消費量 16.3TWh を足し合わせると 49.2TWh となる。これは日本の総発電量の約 5% の値である。

表3. 2. 3 わが国の情報システムでの電力消費量推計 (2008年度)

			Total Energy Consumption: TW/year
PCs			4.0
Home	Note type		0.5
	Desktop with 17inch LCD		1.0
Buseiness	Note type		0.5
	Desktop with 17inch LCD		2.0
Servers			12.7
Mainframe			0.7
"Open"&"Unique"			9.4
Workstation			2.6
Network Equipment			16.2
Router	Cluster		2.1
	High-reliability		5.4
	Volume		0.3
	Power supply		1.1
	Broadband		1.7
Swich (per port)	L2		1.2
	L3		1.8
	Power supply		2.6
Sum of Energy Consumption from ICT			32.9
Data Center without ICT Equipment			
UPS & Airconditionor PUE=1.6			16.3
Total Energy Consumption related to ICT in Japan			49.2

表3. 2. 4 既存の研究との比較 (わが国の消費電力量)

	2005	2007	2012
METI			
Green IT Initiative	47	—	—
Green IT Promotion Council	51	—	—
*Data Center	15	—	—
MIC			
ICT Policies for Resolving Global Warming Problems	49	52	57
*Data Center	—	7.7	—

表3. 2. 4は、情報システム消費電力量推計に関する既存の研究との比較である。ここでの試算は、各機関での試算値と近い値であり、妥当な数値であると判断した。

将来の情報システム総消費電力量を推計するため、シナリオ・プランニング手法を用いて、4つの情報社会像を定性的に描写した。4つの社会像で共通した省電力化のための要素は、“平準化 (情報トラフィック、電力需要、DC内温度分布)”であり、機器としてはディスプレイ、サーバー、ネットワーク機器の対策が重要であるとの共通認識を得た。

“4つの社会像”のそれぞれにおいて機器の稼働台数を見積もり、さらに技術進展がない（機器それぞれの消費電力量は現在と同等）という仮定を用いて、情報機器の将来の電力消費量を試算した。シナリオ作成では、“不確実性が高く”かつ“社会への影響が大きい”ファクターとして、計算・データ貯蔵資源の分散状態（ローカルか集中か）とユビキタスセンサーの設置個数（100億個以上か数億個程度）を選択した。前者のファクターでは、ローカルに資源が分布した場合、ホームサーバーが多く、家庭に普及し、反対に集中した場合、PCがすべてシンクライアント型になり、ネットワーク機器（クラス7ルーティング信頼性ルーター）やサーバー（普及型）の台数が増加するとした。また後者のセンサー数においては、100億個以上普及した場合、家庭やオフィス等での個々のEMS（Energy Management System）が統合されたSEMS（Social Energy Management System：需要側からのスマートグリッド）社会が実現すると仮定した。この場合、EMSに関連した膨大なデータの処理・分析が必要になるためメインフレームの台数が大幅に増加すると仮定した。各シナリオにおいて、機器台数の増加については、2008年から2025年までに、稼働台数が“2倍”に増加するケース（年間出荷台数は毎年25%で伸びる）と“1.5倍”に増加するケース（同出荷台数の伸びは10~15%）を想定した。これらの伸びは、最近の5年間の出荷台数のデータと比較すると極めて大きい。試算した結果、2025年のわが国情報機器からの消費電力量は、91~104 TWhであり、2008年度の2倍程度、現状の電力需要量の約10%となった。試算においては2025年での稼働台数を前述のように大きく見積もったにもかかわらず、Green IT Initiative等（経済産業省）での2025年の予測値、240~255 TWhの1/2以下となった。仮に2050年に250TWh（日本の総需要の1/4）の消費電力を“実現”すると仮定すると、個々の機器の消費電力量の大幅な増加か、新たな情報機器（大きな電力消費）の“出現と急速”な増加が必要であろう。これらの試算から得られた知見をまとめると、IT機器システムの消費電力削減に関して次のことが言える。

1) 誤った理解

消費電力量の現在および将来にわたる試算には、大きな誤差を含むことを念頭にいれなければならない。言い換えれば、個々の技術の“有用性を訴求”するため恣意的な結果が社会へ発信されやすい（警鐘を鳴らす意味は認めるが）。社会の省エネ対策を効率的に進めるには、このような訴求に惑わされないことが重要である。また、機器単体の消費電力量の大きさに惑わされる場合が多い。“普及台数”の概念を、念頭に入れておくことが必要である。

表 3. 2. 5 機器単体の消費電力量と国内トータルの消費電力量

	Power consumption/ equipment	Power consumption in Japan/ year
Mainframe	20,000 W	0.7 TWh
Broadband router	Under 10W	1.7 TWh

2) 無駄は無駄を生む

データセンターの消費電力量の計測データより、計算機資源が活用されていない場合 (idle) でも多くの電力を消費する。さらに現在稼働中のデータセンターでの計算機資源の利用率は極めて低いことが示めされている (消費電力量の時間変動が小さい) (図 3. 2. 1 参照) [11,12]。これは、“計算機資源”の活用のために大きな“無駄”があり、この無駄な電力消費により生み出される“熱”を冷やすために、さらに“無駄”な空調電力が消費されていることを意味する。同様な“無駄”は、ルーターなどでも指摘されている。

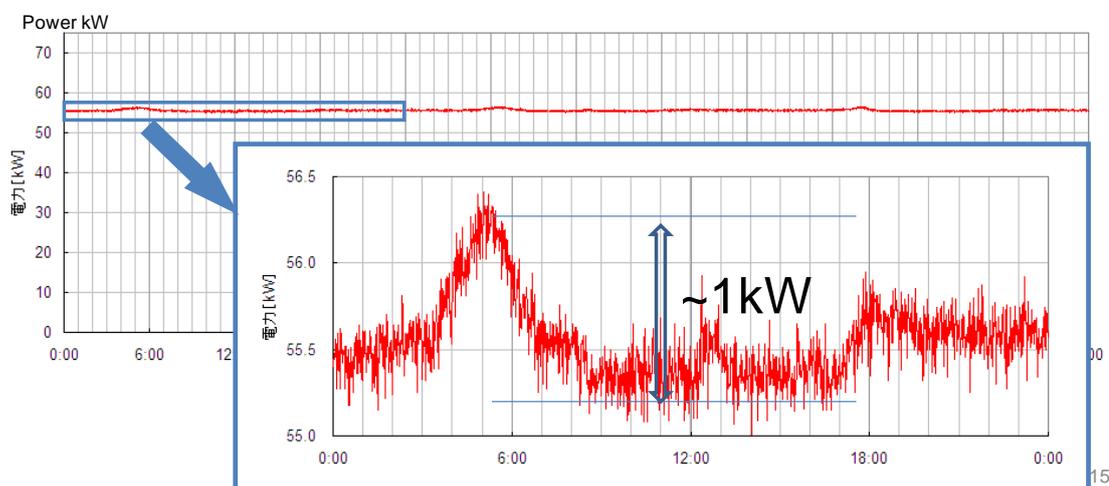


図 3. 2. 1 データセンターにおける情報機器の電力消費量の変動

3) 逆 U 字型曲線

情報化は、今後も高度化・普及拡大すると予想される。しかし、これが消費電力の増加に必ずしもつながるとは言えない。規模の拡大とともに技術が向上し (効率が高まり)、

エネルギー消費が低下する“環境クズネッツ曲線”（逆 U 字型曲線）のように変化する場合もあり得るからである（図 3. 2. 2 参照）。情報システムの電力消費に多くの“無駄”が含まれていることを考えると（数十%と推定；少なくとも現状 10TWh 程度（100 億 kWh））、これら無駄を排除することにより、2025 年においても、現在と同等な電力消費量（約 50TWh）に留めることも可能であろう。これは、約 40TWh（400 億 kWh）の削減の可能性がある。これには、①“idle 状態”における電力消費の削減、②変動する情報トラフィック量に対応して計算機資源を有効活用するためのソフト技術（仮想化）、および③データセンター等における空調の効率化などが重要になる。この内、②および③の対策は、現状の IT システムの運用に大きな修正を求めるものである。これらの実現においては、長期間にわたるビジネスの“経験”を通して培われてきた“安全性”、“信頼性”および“サービス”等のレベルを、“システム運用の改変”を実施しても担保できることを工学的に検証する必要がある。

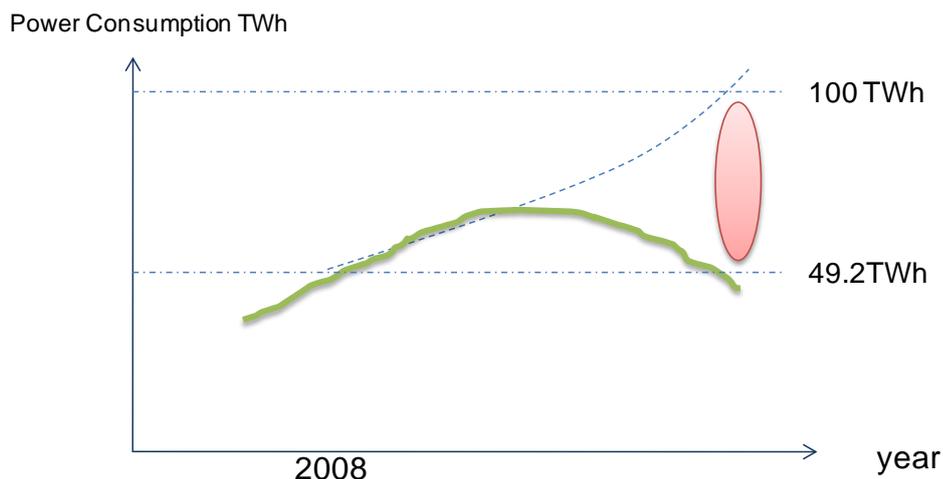
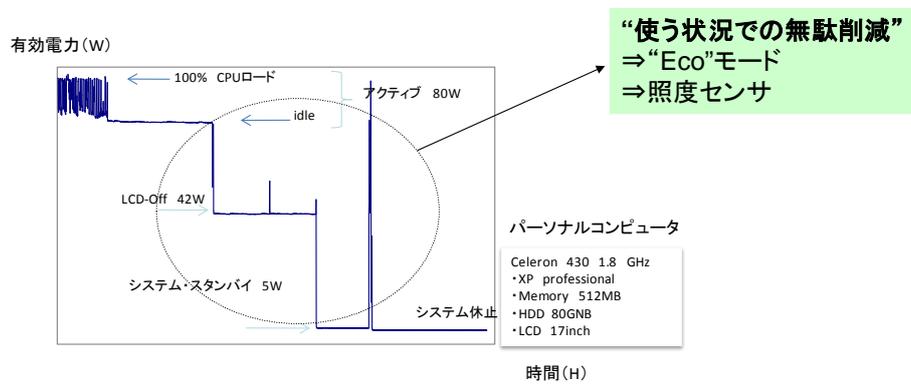


図 3. 2. 2 逆 U 字曲線

③結論

今回の情報システムの消費電力量の検討で、省エネ対策として、“運用時”の“無駄”を削減する視点が重要であることが明らかとなった。これはデバイス単体での消費電力削減に限界が見えている領域では特に重要である。図 3. 2. 3 は、PC における無駄削減の例である。PC では、スタンバイモードの活用等の対策により数十%の省エネが“容易”に実現可能であろう。運用時の無駄削減を促進するには、PC の例でも明らかなように、利便性（すぐに起動して使いたいなど）に対するユーザの過度な要求をいかに抑制するかが重要となろう。



8時間“使用”の場合(CPU実稼働は2時間を想定)

	アクティブ (idle+α)	LCD-Off	スタンバイ/休 止	積算電力 kWh/day
パターン1	8.0 hour	0	0	640
パターン2	4.0	4.0	0	488
パターン3	2.0	2.0	4.0	264

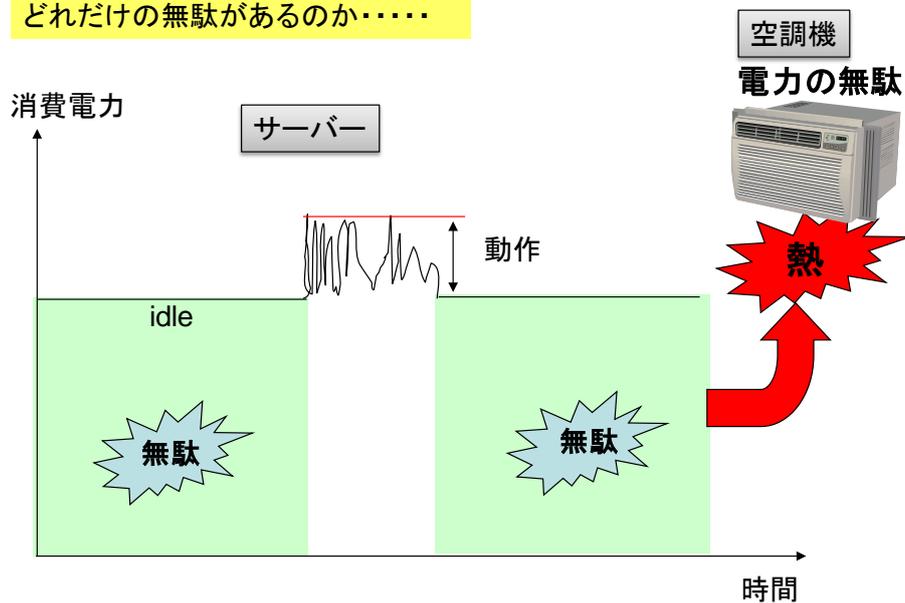
24%減
59%減

2

図3. 2. 3 PCにおける無駄削減

サービスレベルやシステムの信頼性という目に見えない、根拠に乏しい要求にいかに対処するかが、“無駄”削減を促進する上で強く求められている。上述したように、これらのムダレス化によって、我が国の情報システム全体で2025年において約40TWh(400億kWh)の削減が可能であり、それは、2007年CO2排出量の1.2%に相当する。

PCと違って、省エネモードはない？
また、24時間*365日稼動が原則。無駄排除
どれだけの無駄があるのか……



5

図3. 2. 4 データセンターの例（無駄が無駄を生む）

（3）設計・製造・加工分野の技術戦略マップにおいて関連する重要課題

情報機器からの消費電力に関する“ムダ排除”に関連した技術では、仮想化技術、idle状態での消費電力削減技術、情報機器の冷却を効率的に行うための熱シミュレーション技術等、多くの他分野の技術があげられる。これらを包含し統合したものが“LC設計技術”であろう。

企業における開発においては、市場における“信頼性”が非常に重要なファクターである。これらに関する知見は、いままでの事業活動の“経験”によって培われたものが多い。新しいシステムを導入する上で、障害となるのが、この“経験”である。この“経験”を打ち破るだけの論理性を多くの分野で持ち合わせていないのが現状ではないか。実装、材料、および情報システムの“信頼性”の“工学”化が非常に地味ではあるが、社会的な重要性は高い。

3. 3 生産システムの変革によるムダレス化

(1) 問題設定

半導体製造では、大規模化と高性能化（例えば線幅の微細化）が一体として扱われてきた。また、「ムーアの法則」と呼ばれる「考え」に則った規模拡大と高性能化を進めてきた。このことは常に最新鋭の半導体はその需要が拡大し、また、すべての半導体にわたって成り立つと考えられ、2 インチ～3 インチ～4 インチとウエハーサイズを拡大し、最近では300mm（12 インチ）のウエハーでの生産が最先端技術となっている。

しかしながらこの考え方では、最小生産単位がつねに拡大を続け、300mm ウエハーでは1cm²のチップとすると約700個からの生産になる。さらに製造設備も拡大してしまい、大量産以外対応できない状況となる。一方市場で用いられている IC・LSI 系のデバイスは、上記のような大量生産をベースに置くメモリチップ以外にも、パワーデバイスや個々の利用機器に合わせて作り込んだディスクリート型のチップも多く使われ、その生産量は1万個以下の物がほとんどである。

またメモリーに関しても、世界中にラインがあり、台湾・韓国との競争（価格競争）状態になり、国内メーカーが生き残れない状況になってきている。生産システムの拡大による生産量の肥大化は、ムーアの法則では同量の市場の拡大に基づくことが考えられていた。しかしながら市場規模は平衡に向かいつつあり、特に近年の経済状況から、市場拡大一辺倒に基づく生産装置の拡大化は限界となっている。

これを打破するためには、いくつかの解決策が考えられる。一つには古い生産システムの性能を向上させ、生産量は据え置きだが、最先端のデバイスを加工できるようにする、いわばレトロフィットの方向。これは、既存の考え方（ムーアの法則）が大口径化と最先端化を両輪としたため、古い装置に最先端の技術が適用できていない問題による。装置の最先端化に併せた、資源・エネルギー効率化等を盛り込む手法となる。

また、全く反対の概念として、究極としては、1 ウエハー1 チップという生産方法の確立もある。1回あたりの生産量が1個であるが、そのため不必要な数量の生産を行う必要がなくなり（大口径では、1個のチップの作成のためでも700個分のプロセスとなる）資源性の向上に寄与する。また、大口径では生産工程の機械的強度を維持するため厚いウエハーを用い、最後に背面を削り落とすような、資源・エネルギーのムダを行っている。1 ウエハー上に1チップでは、ウエハーサイズを0.5 インチ程度と出来るため、最初から薄いウエハーでの製造が可能であり、資源の無駄が無い。このような開発は今まで行われてこなかったが、最近ミニマルファブとして、1 ウエハー1 チップの製造システム開発が始まった。ここ

では、上述のような無駄の排除のほか、レジストプロセスの見直しによる資源・エネルギーの削減や、半導体製造工場では当たり前のように思われているクリーンルームのシステムについても、ウエハー周囲だけをコントロールする仕組みを開発し、装置や作業者とウエハーを隔離したシステムとすることにより、余分な空調エネルギー等も削減するシステムを提唱している。さらに、製造プロセス装置の小型化についても、小型化に適した装置に特化し開発することによるエネルギー・資源効率の削減を目指している。

このシステムでは、大量製品は既存型設備に任せ、生産量数個から数万個程度の多品種製造を担うことが可能となり、パワーデバイスやディスクリート IC 等の製造を担っていくシステムとして展開を図る。製造対象が小型化（例えば 0.5 インチ～）することにより、床面積の大幅削減を始め、加熱・真空排気等のエネルギーを大幅に削減することが可能であり、また、装置からの発熱量等も小さくなるため、クリーンルームの削減に併せ空調にかかるエネルギーを大幅に削減可能となる。

さらに、プロセスを安定化するため、製造品が変わると事前にテスト品を流すがこれらに関わる資源・エネルギーの削減も行える。

一方小型化により、同一生産量を同一条件で実現しようとする、基本的には同一の資源・エネルギー利用が見込まれ、従来の量産型のプロセスの方が優位な結果とも考えられる。そこで、新しい考え方・プロセスのテクノロジー、システムなどを織り込み、同一の生産量とした場合でもより小さな資源・エネルギー消費となるように工夫を織り込む。

例えば、個々のプロセス装置では、例えばステッパーは大型のメカニカルな高精度ステージと露光機の組み合わせで、高精度ステージを動かしつつ露光するが、1チップしかのせないシステムでは、全体を1度に露光するだけとなり、大きなメカニカルステージは不要・ソフト的に位置を決めれば良くなる等装置自体の構成から変革可能であり、プロセス装置の大幅なエネルギー削減が実現できる。

また、300mm システムではウエハーのハンドリング時の破損を防ぐため、厚さ 700 ミクロンと厚いウエハーを利用する。そのため製造後にウエハーの厚さを減らす研磨工程を導入している。このようなプロセスも小さなウエハーシステムでは無駄なプロセスとして排除することが可能である。

このような開発が求められる具体的なテクノロジーとしては、以下のようになる。

(a) 局所クリーン化

(b) フローショップ化により、ウエハーが工場内を移動する生産パス（距離）は装置の小型化と工程の削減・見直しを含めると 1/100 以下の長さとなり、汚染機会激減で歩留まり向上と省洗浄・省検査（従来はジョブショップ型）

- (c) ウェハーなどワークだけにプロセスを施す各種テクノロジー（インクジェットや集光加熱炉など）
- (d) ワークが大きい場合はワーク自身の強度が必要となり、厚く、重くなる。ワークが小さくなれば、最終製品仕様のサイズのワークを使える。（例：ウェハーの場合、最初から従来の大きなウェハーの 1/3 の最終厚さサイズで製造可能。このことで、バックグラインド工程が省略できる）
- (e) 巨大工場の制御システムは複雑で電力消費も巨大。小さなシステムでは PC 程度の電力消費量で制御できる。
- (f) 巨大工場の待機電力は 30%もある。巨大装置のあちこちを常に動かすので止められない。小さなシステムでは、シンプルなので、必要な時だけ動かすことで、待機電力を 1/100 以下にすることは難しくない。
- (g) 巨大なワークの隅々まで加工するには、巨大な装置が必要であり、それを精度良く動かす必要がある。小さなシステムでは、必然的に高精度になるので、精密機械によるコストアップがなくなる。例えば、半導体工程ではステッパーが不要となる。

（２）ムダレス化効果のポテンシャル分析

上記のような具体的なテクノロジーを投入することにより、同一の生産量に対しても、プロセス装置の構成の変更による資源・エネルギーの削減、プロセス全体の見直しによる資源・エネルギー削減、システムを維持するための工場の空調等のエネルギー削減、小型装置になることによるインフラが利用する資源・エネルギーの削減（例えば空気圧動作機構等に必要空気量がサイズに比例し小さくなる）等、大幅なエネルギーが削減できる。具体的な装置はまだ一部しか作られていないが、これらの成果からの推定として、以下の試算をおこなった。

通常の IC 製造ライン（300mm）1 ラインの工場での年間エネルギー消費量は 540GWh 相当になる。これが国内におよそ 15 ラインある。実体としては、もう少し古い生産システムとして 150mm、200mm の生産ラインが主流であり、生産量としては 300mm ラインの 2 倍程度を担っている。これらのエネルギー消費では最大年間 27000GWh 程度まで消費が見込まれる。一方ミニマルファブ式の製造方法を確立すると、1 システム年間 73GWh 程度と試算されている。既存プロセスの小型化だけでは、生産量に応じたエネルギー消費となり、エネルギー原単位の削減は期待できないが、小型による特徴を生かした既述のようなシステムを構築することにより、1 システムでの年間エネルギー消費量を 5GWh 程度まで

の削減を期待する。例えば 300mm ウエハー1 ライン分で担っている少量～中量品種の半導体製造をミニマルファブを使った生産にすることにより、1 ライン当たり年間 540GWh から 73GWh と大幅な削減が期待される。これを我が国全体の積算にすると、300mm ファブ半数の 7 ラインとすれば、約 3300GWh (2007 年の我が国の温暖化ガス総排出量の 0.1%) の削減が可能であり、未だ主流である、8 インチ以下の工場についても全て置き換えを考えれば、24000GWh (同 0.7%) の削減となる。

(3) 設計・製造・加工分野の技術戦略マップにおいて関連する重要課題

本課題についてのロードマップ (2009 年度版 METI/設計・製造・加工分野の技術マップ) との関連については、まず S2: 高効率多品種変量生産技術としての位置づけがあげられる。本課題は、大量生産一辺倒の半導体製造の在り方に対し異なる方向性を示す。具体的な技術課題の一つとして「半導体ミニファブ」が既出であるが、本技術に内在する技術課題としては、中項目「高効率多品種変量生産技術」の全体に関わるテーマと言える。プロセスシステムとしての効率化や対応力の強化、個別の装置の多様な製品への適応力・高性能化、国際社会の中で何を生産していくかの位置付けとトータルバランスでの製品製造の環境対応性の向上は不可欠である。

このほか S1: 持続可能社会評価技術に見られる、「有形形態の予測・モデル化」や「ビジネスモデル化」は半導体製造の新しいビジネス形態を整えるために、また「ユーザーニーズのモデル化」や「サプライチェーンのモデル化」も市場価値の確保に重要であるし、これらへ対して具体的な技術の展開を導く事も可能とする。S3: 静脈・動脈一体型生産システム (環境) に対しても半導体製品の使われ方や使い方について、本技術課題では極少量でもコストに見合う生産が可能となることから今まで利用できなかった製品群への対応や、真に必要な製品カスタマイズを可能とするなど、製品設計からの技術への対応力を拡大する。加えて小さな製造装置群としてみると、この製造装置群の LCA は既存のメガファブ装置とは異なり、個々の装置が進化しながら再生するような技術への展開も期待できる。

P5: ゼロエミッション工場についても、生産システムの見直しの実例として、工程毎、工場全体等多様な側面での環境適応性技術を示す事が可能である。P6: グローバルネットワークに対しても、国内半導体技術の再構築として、多品種・変量生産を低コスト・低環境負荷で実現すれば、国際社会での半導体およびその派生技術 (MEMS 等) 需給の中で他にない産業展開を実現でき、差別化・市場確保、またダイヤモンド半導体など、既存技術では適応できない新技術確保等が期待できる。

さらに M1: 先進コア加工技術等への波及も考えられる。半導体技術は一種のナノテクノロジーを極めた製造技術である。小型生産品への対応とは言え新規技術を生み出す力は半

導体以外の先端技術へ展開できればその影響力は大きい。既存技術はあまりに半導体に特化しすぎていたため他への転用が難しかったが、小さな半導体設備を元に低コストでの対応が期待できる。M2:エネルギー資源ミニマル加工も、本技術で求める個々の技術要素はまさにエネルギーの最小化、資源の最小化であり、生產品目の変更に応じた段取り・待機時を含め洗浄やプロセス装置自体に用いる資源まで、すべてに無駄を省こうとするものである。

4 技術マップの評価と技術戦略マップの更新

4.1 ローリングの方針

これまでロードマップの策定の基本方針は、2020–2030年頃までは大きな社会変革が起きない、という前提で検討するものであった。しかし、昨年来の温室効果ガス削減の野心的な中期目標の提案に伴い、特にサステナブル・マニュファクチャリングWGにおいては、状況の変化に応じて、以下の方針で今年度のローリングを行うこととした。

(1) シナリオの更新

冒頭に記した温室効果ガス排出削減中期目標に対応して、シナリオの目標年を2020年とする。2020年において、サステナブル・マニュファクチャリング関連技術として、どのような貢献を果たす必要があるかを説明する必要がある。そこでWGでは、外部要因を除き、広義のサステナブル・マニュファクチャリング技術により積み上げるべき削減量の大きさを示した上で、要素技術の積み上げによりその間を埋める努力を行う。本来は、ロードマップで抽出した全ての要素技術に関して貢献度を積み上げることが理想であるが、実質的には不可能であるため、例題としていくつかのトピックを抽出し、それらの実現による削減量の推定、関連する要素技術の提示を行う。

(2) 抽出した重要課題評価と見直し

2009年度版技術戦略マップの重要課題として、幾つかのトピックについてのサブロードマップを作るという、ものづくり技術戦略ロードマップ検討委員会の方針に従い、

S1. 持続可能社会評価技術

S2. 高効率的多品種変量生産技術

S3. 動脈・静脈一体型生産システム（環境面）

についてサブロードマップを作成した。そのほか、他のサブグループが、SMに関連するサブロードマップとして「トータルトレーサビリティ」、「ゼロエミッション工場」が挙げられている。ただし、WGにおける重要課題として本当にこれで良いのか？という疑問点は依然として残る。そこで、本年度は主として企業委員からなる新メンバーにこれらの技術の採点を依頼し、その結果に基づいて重要課題の見直しを行うこととした。

4.2 前年度ロードマップに対する意見

前述のとおり、本年度は企業委員を主体として新委員に、昨年度のロードマップ及び抽出した重要課題の評価、見直しを依頼したことは本章冒頭に記したとおりである。サステ

ナブル・マニファクチャリングWGにより抽出した3課題、及び他のWG抽出課題のうち、特に本WGに関係の深い2課題に対する評価は次のとおりであった。

S 1. 持続可能社会評価技術

	件数(%)
重要であり自社でも取り組みたい	11
重要だが自社では当該技術は無い	33
あまり重要でない	33
重要技術として取り上げる必要は無い	0
不明、わからない	22

S 2. 高効率的多品種変量生産技術

	件数(%)
重要であり自社でも取り組みたい	67
重要だが自社では当該技術は無い	33
あまり重要でない	0
重要技術として取り上げる必要は無い	0
不明、わからない	0

S 3. 動脈・静脈一体型生産システム（環境面）

	件数(%)
重要であり自社でも取り組みたい	22
重要だが自社では当該技術は無い	67
あまり重要でない	0
重要技術として取り上げる必要は無い	0
不明、わからない	11

参考1. トータルトレーサビリティ

	件数(%)
重要であり自社でも取り組みたい	78
重要だが自社では当該技術は無い	11
あまり重要でない	11
重要技術として取り上げる必要は無い	0
不明、わからない	0

参考2. 動脈・静脈一体型生産システム（生産面）

	件数(%)
重要であり自社でも取り組みたい	22
重要だが自社では当該技術は無い	44
あまり重要でない	22
重要技術として取り上げる必要は無い	0
不明、わからない	11

上記のとおり、アンケート結果からは、サステナブル・マニファクチャリング関連課題 S1～S3 及び参考2課題に対する企業委員からの評価結果では、最も評価が高く、かつ自社でも取り組む意識の高いものは、「高効率的多品種変量生産技術」と「トータルトレーサ

ビリティ」であった。つまり、ユーザーに対する安心・安全を確保しつつ、生産システムの高効率化を達成することが喫緊の課題であり、製造型企業において今後指向する方向であることがわかる。一方で、ライフサイクルを通じた環境影響などの評価、設計技術は、ある程度重要性は認識されているものの、今回の委員構成にある製造型企業においては直接取り組む課題とは考えられていないようである。しかしながら、これは重要性が低いということでは無く、企業単独では取り組むことができないことを意味している。しかしながら、S2、S3などの技術課題の研究開発成果を効率よく日本全体の温暖化ガス排出削減に結びつけるためには、産業の全体像を描くことが不可欠であり、適切な評価、設計技術なしには実現できない。そこで本年度の検討においては、アンケート結果を取り入れつつ、設計、評価技術の重要性を再提案する意味も含めて、昨年度の重要課題を統合して「適量高付加価値リデュース型ものづくり」という概念を提案した。この統合課題を実現するためのハードウェア技術として、S2：高効率多品種少量生産、S3：動脈・静脈一体生産システム（環境面）が、また、実現のための評価、設計技術として、S1：持続可能社会評価技術、が位置づけられる。つまり、昨年度抽出重要課題を統合した課題の実現のためには、S2、S3に代表されるハードウェア技術を産学官協力のもとで研究、開発するとともに、その指針となる研究を、ビジョン主導で進める必要がある。

4. 3 改訂版サステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ

4. 3. 1 導入シナリオ

サステナブル・マニュファクチャリング導入シナリオ：

適量高付加価値リデュース型ものづくりが進展し、設計・製造・価値提供手段が高度化する。設計においては、製品ライフサイクルの企画、設計、評価、管理が高度化する。製造現場では、高効率変種変量生産と動脈・静脈一体生産工場が普及する。この高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化により、2020年において我が国の温暖化ガス総排出量の8%の削減が可能となる。これらの技術の実現を通じて、最終的にあらゆる産業分野でサステナブル・マニュファクチャリングが実現する。

適量高付加価値リデュース型ものづくりとは：

個別技術の開発だけでなく、製造における考え方、技術や製品の使われ方を、大量生産・大量消費・大量廃棄型ものづくりから転換することにより、飛躍的な価値向上と製品ライフサイクル全般にわたり資源、エネルギー、コストなどあらゆる面での「ムダレス化」を

実現するものづくりの考え方である。これは、ムダを削減する（ムダ取り）だけでなく、ムダの発生をそもそも抑制するリデュース効果を主眼としている。すなわちムダレス化の効果は、川下工程に向けては、製品のリデュース化、ライフサイクル設計、および、価値提供手段の多様化により、使用段階の省エネ、ムダレス化、および、使用後の段階の再利用の高度化を促進し、逆に川上工程に向けては、製品の適量生産、リデュースにより、必要な資源量が大幅に削減される。これにより、部品産業、素材産業、鋳業などサプライチェーンを溯ってムダの削減、大幅な省資源が達成され、多様な工業製品のライフサイクルの総和としてエネルギー消費量の削減、温暖化ガス排出量の削減が達成される。ここで重要なことは、これらの施策は温暖化対策コスト負担という話ではなく、消費者にとっての価値の増大、および、組立型製造業のコストダウン、製品競争力向上に結びつくことである。

シナリオ改訂の考え方：

本年度も昨年度同様、環境適応課題のみならず広く設計・製造・加工に関わる技術戦略マップを作成した。環境適応の技術戦略マップは、その課題の特性上、ビジョン主導の特性を持ち、最終目標から具体的な技術課題へと展開するものだからである。本年度のローリングにおいても、その基本認識に変更は無い。本年度は、環境適応の重要技術として昨年度抽出した S1～S3 は変更せずに、これら課題の統合概念として「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」を取り上げることとした。また、昨年度技術戦略マップに対する意見と、4章に記載した温暖化ガス排出削減中期目標達成への道筋を考慮して、技術戦略マップにおける技術の実現時期を改訂した。特に、2020年までにほぼこの統合課題に関連する技術、特にハードウェア系の技術が実用化されなければならない。このことに基づき、昨年度作成したサステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ（ロードマップ）を改訂した。この考え方に基づく導入シナリオの改訂図を次に示す。また、同様に 4.3.2 に S1～S3：サステナブル・マニュファクチャリング技術マップ 2009 年度版、4.3.3 に S1～S3：サステナブル・マニュファクチャリング技術ロードマップ 2009 年度版を示す。

導入シナリオ



目標 2025年までに温室効果ガス排出削減の中間目標を達成する。2050年までに持続可能な低炭素かつ質の高い社会を実現する。サステナブルマニュファクチャリングを基礎技術として確立し、産業競争力の競争力を維持し、来るべき少子高齢化対策にも寄与した“ものづくり”を目指す。

関連施策の取り組み	特許制度	貿易	国際標準
	<ul style="list-style-type: none"> 日米欧のハーモナイゼーションが不十分 模倣品等による工業製品市場のゆがみ増大 	<ul style="list-style-type: none"> 国内特許審査スピードアップ 日米欧特許情報共有。審査結果相互承認スキームスタート 特許審査ハイウェイ(日米・日韓) 	<ul style="list-style-type: none"> 世界特許システムで、世界同一基準での知的財産権確保 模倣品に対する共通ルールの策定。国際組織による監視スタート
	<ul style="list-style-type: none"> ・シガポール、メキシコ、マレーシア、チリ、タイと経済連携協定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ASEAN全体との経済連携協定 	<ul style="list-style-type: none"> ・主要貿易相手国と経済連携協定が締結・発効。大部分の関税率が撤廃
<ul style="list-style-type: none"> ・市場の世界単一化方向 ・世界標準が市場の獲得の条件となりつつある 	<ul style="list-style-type: none"> ・アジア・太平洋標準化イニシアチブが策定され、中国・韓国との協力推進 	<ul style="list-style-type: none"> ・世界市場が一体化。共通の世界標準の確立 >公平でオープンな国際標準化システム実現 >国際標準化用知財取扱ルール明確化 >公正なルール作り 	

Manufacturing : ものづくり

社会的な動きと研究開発の取り組み

トレンド

- 国内生産は下記等に特化
 - ①高付加価値商品
 - ②短寿命商品
 - ③開発・消費地接近商品
- リーン生産システムの普及

自動化

- 人・ロボット協調生産
 - 人と機械混在型の生産
 - 自律移動ロボットの一部実用化
- 先進的コア技術
 - 人とロボットの協調生産
 - アシストロボットの普及
 - 完全自動化工程の進展
- マルチスケール・マルチフィジックス
 - 多能工ロボットの実用化
 - ロボットセルによる無人生産実現きるロボットの実現
 - 高難度の作業ロボットの拡大

IT

- バーチャルマニュファクチャリング
 - 生産知能化の漸進
 - 工程のリアルタイム見える化
- 3次元モデリング技術
 - 完全CAD/CAM工場の実現
 - 各種生産情報の形式知化が進み、DB化、シミュレーションの活用で試作レス化
- 現物融合技術
 - ユビキタス環境、ウェアラブル装置を使った工程作業
- ナレッジ管理・運用技術
 - リコンフィギュラブル生産システム
- CAE、性能シミュレーション技術
 - 一部の業種で材料から最終製品までの一貫生産

環境

- ミニマル加工技術
 - 高効率的多品種変量生産技術・適量高付加価値リデュース型ものづくり
 - 持続可能社会評価技術
- 動脈・静脈一体生産システム技術
 - サステナブル・マニュファクチャリングの実現
 - エネルギー
 - 動脈・静脈一体化生産を前提とした製品ライフサイクル設計

製造プロセス

調達 → 部品 → 製造 → 製品 → 物流 → 商品 → 保守 → サイクル → 廃棄物

資源 ↑ 製品 ↓ 廃棄物 ↓ 製品

4. 3. 2 技術マップ

前述のとおり、統合課題「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」は昨年度の重要課題 S 1. 持続可能社会評価技術、S 2. 高効率的多品種変量生産技術、S 3. 動脈・静脈一体型生産システム（環境面）の統合課題であり、必要な要素技術は昨年度の技術マップにおいて網羅されている。そこで、ここでは昨年度技術マップを再掲するとともに、特に本年度 WG で検討したケーススタディやその他の「適量高付加価値リデュース型ものづくり」に関係の深いと考えられる要素技術を網掛けして示す。

設計・製造・加工分野の技術マップ(1/3)

技術マップ(S1: 持続可能社会評価技術)					1	2	3	4	5	6	7	8	
					日本の技術競争力優位	共通基盤性	ブレイクスルー技術	市場のインパクト	基盤技術の開発が必要	安全・安心の確保のために必要	標準化の検討が望まれる技術	省資源・省エネルギー	
黄色: 温暖化対策の中期目標達成のための「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」重要技術課題													
大項目	中項目	小項目	要素技術	技術課題									
サステナブルな社会の構築		ユーザーニーズのモデル化	ユーザーニーズ構造分析技術	ユーザーニーズ収集の高精度化	○		○					○	
			人間のメンタルモデル構築技術	ユーザーニーズ構造のモデル化	○		○						○
メンタル・物理的な状態計測の高精度化	メンタル・物理的な状態計測の高精度化		○		○						○		
人間のメンタル挙動特性のモデル化	人間のメンタル挙動特性のモデル化		○		○						○		
			カスタマイズ容易化設計技術	包括的設計方式の確立	○		○	○				○	
			製品・サービスの統合設計方法論	製品・サービス複合モデル化	○		○	○				○	
				製品価値・サービス価値の可視化	○		○	○				○	
	サプライチェーンのモデル化	国際分業ネットワーク形成技術	企業統合モデル	企業統合モデル					○			○	
サプライチェーン再構成モデル			サプライチェーン再構成モデル				○					○	
企業サステナビリティモデル			企業サステナビリティモデル					○					○
FTA/EPAモデル(FTA自由貿易協定、EPA: 経済連携協力)			FTA/EPAモデル(FTA自由貿易協定、EPA: 経済連携協力)						○				○
			ローカライズ対応カスタム設計方式	ローカライズ対応カスタム設計方式				○				○	
		サプライチェーン破壊事象耐性	自然災害・テロ等非常時対策	自然災害・テロ等非常時対策	○							○	
			グローバル・サプライチェーン・ネットワークシミュレーション	グローバル・サプライチェーン・ネットワークシミュレーション		○	○					○	
			巨大リコールモデル	巨大リコールモデル					○				○
			M&Aモデル	M&Aモデル				○	○				○
			金融恐慌波及モデル	金融恐慌波及モデル		○	○	○	○	○	○	○	
			BC/DR(Business Continuity & Disaster Recovery)モデル	BC/DR(Business Continuity & Disaster Recovery)モデル		○	○	○	○	○	○	○	
	ビジネスのモデル化	ビジネスのモデル化技術	ビジネス構造のモデル化	ビジネス構造のモデル化					○			○	
ビジネス構造の可視化			ビジネス構造の可視化					○				○	
ビジネス事例データベース構築と検索方式			ビジネス事例データベース構築と検索方式						○				○
環境技術イノベーションモデル			環境技術イノベーションモデル		○	○	○						○
		環境ビジネス構築技術	環境ビジネス産業連関分析	環境ビジネス産業連関分析		○	○					○	
			中長期的環境指標	中長期的環境指標		○	○					○	
			環境トレーサビリティ	環境トレーサビリティ		○	○					○	
			拡大製造物責任モデル	拡大製造物責任モデル		○	○					○	
			CSRモデル	CSRモデル		○	○					○	
			環境政策評価モデル	環境政策評価モデル		○	○	○				○	
	"社会"の持続可能性の長期予測	長期シナリオの分析・評価・体系化技術	既存シナリオの構造化	既存シナリオの構造化		○			○			○	
			各シミュレーターを統合するプラットフォーム技術	既存シミュレーターデータベース化と体系化	既存シミュレーターデータベース化と体系化		○			○			○
				エネルギー・資源のグローバルなバランスモデル	エネルギー・資源のグローバルバランスの定式化		○			○			○
	技術の社会受容のモデル化	技術の社会普及モデル	ユーザー価値の定量化	ユーザー価値の定量化				○	○			○	
			技術の社会受容モデル	競争技術の明瞭化と生存競争モデルの構築	競争技術の明瞭化と生存競争モデルの構築				○	○			○
				社会の"複雑性"の分析モデル	因果ネットワークやロジックツリー等による複雑性のモデル化				○	○			○
			情報技術の人のこころへの影響モデル	精神的ストレス評価モデル		○	○					○	
	大規模シミュレーション技術	感染拡大予測シミュレーション	感染拡大のモデル化	感染拡大のモデル化		○				○		○	
			超高性能スーパーコンピューターの開発	超高性能スーパーコンピューターの開発	超高性能スーパーコンピューターの開発		○				○		○
				災害予測・被害想定シミュレーション技術	超高性能スーパーコンピューターの開発	超高性能スーパーコンピューターの開発		○				○	
		発生シミュレーションモデル	発生シミュレーションモデル			○				○		○	
	所有形態の予測・モデル化	二極化に対応した製品戦略	高価格/ブランド製品戦略	高価格/ブランド製品戦略				○				○	
			低価格・高品質製品戦略	低価格・高品質製品戦略	低価格・高品質製品戦略				○				○
				社会制度設計	社会制度設計	社会制度設計		○					
			"所有"形態の見直し		新しいリース・レンタルシステム	新しいリース・レンタルシステム		○					
			リース・レンタルに適した製品設計	リース・レンタルに適した製品設計		○						○	
			ユーザー設計モデル(ものからサービスへ)	ユーザーの"感性価値"のモデル化		○						○	
	製品ライフサイクルの適正化	ライフサイクルプロダクトモデリング	機能の陳腐化が早いIT機器のライフサイクル管理技術	機能の陳腐化が早いIT機器のライフサイクル管理技術		○			○			○	
	産業構造のグローバル化	グローバルバリューチェーンの可視化	グローバル視点からのサプライチェーンの全体最適化	グローバル視点からのサプライチェーンの全体最適化		○						○	

設計・製造・加工分野の技術マップ(2/3)

技術マップ(S2: 高効率多品種変量生産技術)					1	2	3	4	5	6	7	8		
					日本の技術競争力優位	共通基盤性	ブレークスルー技術	市場のインパクト	基盤技術の開発が必要	安全・安心の確保のために必要	標準化の検討が望まれる技術	省資源・省エネルギー		
黄色: 温暖化対策の中期目標達成のための「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」重要技術課題														
大項目	中項目	小項目	要素技術	技術課題										
サステナブルな社会の構築	高効率多品種変量生産技術	製造装置の定環境負荷化、高効率化	製造設備の省エネ化	生産システム(工場)の効率的運用技術	○							○		
				生産機械のエネルギー使用合理化技術	○								○	
			コンパクト生産システム	○									○	
			セル生産	○									○	
		製造装置の自律化技術	装置機能の検査・評価技術	○										○
			分割を容易にする設計製造	○										○
		製造設備の循環型化	装置デザインの標準化	○	○									○
			モジュールユニット化	○	○									○
			フレキシブル化(変更の迅速化)	○	○									○
			装置運用の変更	○	○									○
	製造プロセスの省エネ・省資源化技術	高効率変種変量生産	オンデマンド生産システム	○	○								○	
			半導体ミニファブ	○									○	
		製造プロセスの省エネ・省資源化技術	局所環境制御加工技術	○										○
			小型複合生産機械	○										○
			省エネルギープロセス設計技術	○										○
			セラミック等の製造プロセス合理化技術	○										○
		製造プロセスの低環境負荷化、高効率化	低エネルギーでの軽量高剛性材料技術	○	○	○								○
			エネルギー投入最小化加工技術	○										○
			動脈系材料廃棄物の最小化設計	○										○
			動脈系材料廃棄物の回収・再生技術	○										○
	製造における有害物質削減、不使用技術	動脈静脈一体型生産技術	変種変量逆生産技術	○									○	
			洗浄技術	○									○	
		素材判別技術	○										○	
		再生素材品質検査	○										○	
		素材再生技術	○										○	
		製造時の有害物質回収技術の高度化	○	○									○	
	高スループット製造	加工液等削減	○										○	
		製造時の廃棄物削減技術	○										○	
		レジスト等補助材料の削減技術	○										○	
		化学物質データベース(管理技術)	○	○									○	
国際バリューチェーンの構築	国際分業ネットワーク形成技術	バイオメテクス	○	○								○		
		加工工具・システムの即時製造	○	○	○	○							○	
		高速加工を実現する素材技術	○	○	○	○							○	
		少量(一品)生産型プロセス装置	○	○	○	○							○	
	SCM・LCMを取り込んだ製造	開発現場と製造現場の技術リンク	○	○	○	○							○	
		企業統合モデル	○										○	
		サプライチェーン再構成モデル	○										○	
		企業サステナビリティモデル	○										○	
		FTA/EPAモデル(FTA:自由貿易協定、EPA:経済連携協力)	○										○	
		ローカライズ対応カスタム設計方式	○										○	
図面情報の共通化技術	企画	○										○		
	計画	○										○		
	運営	○										○		
	可視化	○										○		
サプライチェーンのトレーサビリティ(見える化)技術	リバーシロジスティクス	○										○		
	サプライヤーパーク	○										○		
	垂直立ち上げ	○										○		
	デリバリーの維持	○										○		
商品のライフサイクルト्रेस(輸出入を含む)	解体手法の国際的標準化	○										○		
	リサイクルマークの共通化	○	○									○		
	図面付記情報の共通化	○										○		
	商品のリサイクル状況の顧客への提示	○										○		
RFIDの小型化、大容量化	○											○		
	○											○		
サプライチェーンのトレーサビリティ(見える化)技術	○											○		
	○											○		

設計・製造・加工分野の技術マップ(3/3)

技術マップ(S3:動脈・静脈一体型生産システム(環境))					1 日本 の 技術 競争 力 優 位	2 共 通 基 盤 性	3 ブ レ イ ク ス ル ー 技 術	4 市 場 の イ ン パ ク ト	5 基 盤 技 術 の 開 発 が 必 要	6 安 全 ・ 安 心 の 確 保 の た め に 必 要	7 標 準 化 の 検 討 が 望 ま れ る 技 術	8 省 資 源 ・ 省 エ ネ ル ギ ー	
黄色:温暖化対策の中期目標達成のための「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」重要技術課題													
大項目	中項目	小項目	要素技術	技術課題									
サステナブルな社会の構築	動脈・静脈一体型生産システム(環境)	ライフサイクル設計レベル	ライフサイクル設計技術	ライフサイクル戦略設計技術	○	○			○		○	○	
				ライフサイクルシミュレーション技術	○				○		○	○	
				ライフサイクルモデリング技術	○				○		○	○	
		製品設計レベル	ライフサイクル設計技術	循環システム設計技術	○	○	○	○	○	○	○	○	
				寿命設計技術	○			○				○	
				リデュース設計技術	○	○			○			○	
				リユース設計技術	○	○						○	
				リサイクル設計技術	○				○			○	
				自己修復化	自己修復材料技術	○	○			○			○
			自己修復機構技術	○		○					○		
			リデュース設計	リデュース設計	○							○	
			カスタマイズ容易化設計技術	包括的設計方式の確立	○			○	○			○	
		ライフサイクルマネジメントレベル	SCM・LCMを取り込んだ製造	企画	○								○
				計画	○								○
				運営	○								○
				可視化	○								○
				リバースロジスティクス	○				○	○			○
				サプライヤーバーク	○								○
				垂直立ち上げ	○								○
		デリバリーの維持	○							○		○	
		生産システムレベル	高効率変種変量生産	オンデマンド生産システム	○	○							○
				半導体ミニファブ	○								○
			リユース促進技術	回収システム	○						○	○	
			動脈静脈一体型生産技術	変種変量逆生産技術	○						○	○	○
				動脈系材料廃棄物の回収・再生技術	○								○
		サプライチェーンのトレーサビリティ(見える化)技術	商品のライフサイクルトレース(輸出入を含む)	○	○							○	
			商品のリサイクル状況の顧客への提示									○	
			RFIDの小型化・大容量化			○						○	
	読取/書込の高度化				○					○			
工程レベル	リユース促進技術	洗浄技術	○					○			○		
		検査技術	○						○	○	○		
		修理・メンテナンス・アップグレード	○	○					○	○	○		
	マテリアルリサイクルの高度化技術	高度自動材料選別技術	○	○							○		
		テレオペレーション応用技術	○								○		
		焼却技術の高度化								○	○		
		再生プラスチックの高品質化技術	○							○	○		
		再生材料の再精練・高品質化技術	○							○	○		
		廃棄物再利用技術								○	○		
		微粉砕技術	○							○	○		
	製造設備の循環型化	消磁技術							○	○	○		
		CFRP分離技術							○	○	○		
		異種複合材料分離技術							○	○	○		
装置デザインの標準化			○	○				○		○			
素材レベル(注1)	循環容易な素材開発	モジュールユニット化	○	○				○		○			
		フレキシブル化(変更の迅速)	○	○	○				○	○			
		装置運用の変更	○	○	○				○		○		
		リサイクル容易材料	○	○	○				○		○		
		分離容易材料							○		○		
	外観が再生可能な材料							○	○	○			
	品質回復が容易な材料		○					○	○	○			

(注1 「サステナブル・マニファクチャリング」技術マップに掲載されていない技術課題)

4. 3. 3 技術ロードマップ

技術マップと同様、本年度 WG で検討したケース・スタディやその他の「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」に特に関係の深いと考えられる要素技術を網掛けして示す。

S1: 持続可能性社会評価技術関連課題の 2009 年度版ロードマップ

S2: 高効率他品種変量生産技術関連課題の2009年度版ロードマップ

大項目	中項目	小項目	要素技術	技術課題	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025				
サステナブルな社会の構築	高効率多品種変量生産技術	製造装置の低環境負荷化、高効率化	製造設備の省エネ技術	生産システム(工場)の効率的運用技術																					
				生産機械のエネルギー使用合理化技術																					
				コンパクト生産システム																					
			製造装置の自律化技術	セル生産	セル生産・コンパクトプロセス	効率的運用開始																			
				装置機能の検査・評価技術																					
				分割を容易にする設計製造																					
			製造設備の循環型化	装置デザインの標準化																					
				モジュールユニット化																					
				フレキシブル化(変更の迅速化)																					
			製造プロセスの省エネ・省資源化技術	高効率変種変量生産	オンデマンド生産システム																				
					半導体ミクロファブ																				
					局所環境制御加工技術	バーチャルシールド	超高温材料対応																		
		製造プロセスの省エネ・省資源化技術		小型複合生産機械																					
				省エネルギープロセス設計技術	生産現場での試行																				
				セラミックス等の製造プロセス合理化技術																					
				低エネルギーでの軽量高剛性材料技術																					
		製造プロセスの低環境負荷化、高効率化		動脈静脈一体型生産技術	エネルギー投入最小化加工技術																				
					動脈系材料廃棄物の最小化設計																				
					動脈系材料廃棄物の回収・再生技術																				
				変種変量生産技術																					
				洗浄技術																					
			素材判別技術																						
		製造における有害物質削減、不使用技術	再生素材品質検査																						
			素材再生技術																						
			製造時の有害物質回収技術の高度化																						
			加工液等削減																						
		高スループット製造	製造時の廃棄物削減技術	化学物質データベース	既存物質のデータベース整備完了																				
			レジスト等補助材料の削減技術																						
			化学物質データベース(管理技術)																						
		国際分業ネットワーク形成技術	バイオミグリス																						
			加工工具・システムの即時製造																						
			高速加工を実現する素材技術	基本技術	事例適用と評価改良	普及																			
			少量(一品)生産型プロセス装置																						
		国際バリューチェーンの構築	国際分業ネットワーク形成技術	開発現場と製造現場の技術リンク																					
				企業統合モデル																					
				サプライチェーン再構成モデル																					
			SOM・LOMを取り込んだ製造	企業カスタマイズモデル																					
				FTA/EPAモデル(FTA自由貿易協定, EPA経済連携協定)	モデリング手法確立	設計手法確立	普及																		
				ローカライズ対応カスタム設計方式																					
			図面情報の共通化技術	企画																					
				計画																					
				運営																					
			サプライチェーンのトレーサビリティ(見える化)技術	可視化	ライフサイクルを考慮した検討開始	再資源化ロジスティクスの実現																			
				リバースロジスティクス	集中型製造と分散製造の分析																				
				サプライヤーパーク																					
RFIDの小形化・大容量化	垂直立ち上げ																								
	デリバリーの維持																								
	解体手法の国際的標準化																								
読取/書込の高度化	リサイクルマークの共通化	標準化	国際標準普及																						
	図面付記情報の共通化																								
	商品のライフサイクルトレース(輸出入を含む)																								
読取/書込の高度化	商品のリサイクル状況の顧客への提示																								
	RFIDの小形化・大容量化	標準化	国際標準普及																						
	読取/書込の高度化																								

S3: 動脈・静脈一体生産システム(環境面)2009年度版ロードマップ

大項目	中項目	小項目	要素技術	技術課題	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025				
サステナブル・マニファクチャリングの実現	ライフサイクル設計レベル	ライフサイクル設計技術	ライフサイクル戦略設計技術	ライフサイクル戦略設計技術																					
			ライフサイクルシミュレーション技術	ライフサイクルシミュレーション技術																					
			ライフサイクルモデリング技術	ライフサイクルモデリング技術																					
			循環システム設計技術	循環システム設計技術																					
			寿命設計技術	寿命設計技術																					
			リデュース設計技術	リデュース設計技術																					
			リユース設計技術	リユース設計技術																					
			リサイクル設計技術	リサイクル設計技術																					
			自己修復化	自己修復材料技術	高分子で実用化	自己修復材料技術																			
			自己修復機構技術	自己修復機構技術																					
	リデュース設計	動脈系材料廃棄物の最小化設計																							
	カスタマイズ容易化設計技術	包括的設計方式の確立	基本技術開発	包括的設計方式の確立																					
	ライフサイクルマネジメントレベル	SCM・LCMを取り込んだ製造	企画	企画																					
			計画	計画																					
			運営	運営																					
			可視化	可視化																					
			リバーシブルなプロセス	リバーシブルなプロセス																					
	生産システムレベル	高効率変種変量生産	オンデマンド生産システム	オンデマンド生産システム																					
			半導体ミファブ	半導体ミファブ																					
			局所環境制御加工技術	局所環境制御加工技術																					
			リユース促進技術	回収システム																					
			動脈静脈一体型生産技術	変種変量生産技術																					
	工程レベル	マテリアルリサイクルの高度化技術	動脈系材料廃棄物の回収・再生技術	動脈系材料廃棄物の回収・再生技術																					
			商品のライフサイクルトレース(輸出入を含む)	商品のライフサイクルトレース(輸出入を含む)																					
			商品のリサイクル状況の顧客への提示	商品のリサイクル状況の顧客への提示																					
RFIDの小量化・大容量化			RFIDの小量化・大容量化																						
読取/書きの高度化			読取/書きの高度化																						
素材レベル(注1)	循環容易な素材開発	洗浄技術	洗浄技術	余寿命判定技術開発																					
		検査技術	検査技術																						
		修理・メンテナンス・アップグレード	修理・メンテナンス・アップグレード																						
		高度自動材料選別技術	高度自動材料選別技術																						
		テラオレーション応用技術	テラオレーション応用技術																						

4. 3. 4 参考資料

(1) サステナブル・マニュファクチャリング 全体技術戦略マップ

参考として、昨年度作成した) サステナブル・マニュファクチャリング技術マップ全体を再掲する。ただし、本年度提案した「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」に関連する要素技術を網掛けして示してある。

サステナブル・マニュファクチャリング技術マップ(2009年版)

大項目	中項目	小項目	要素技術	技術課題	1.日本の技術競争力順位	2.共通基盤性	3.ブレイクスルー技術	4.市場のインパクト	5.基盤技術の開発が必要	6.安全・安心の確保のために必要	7.標準化の検討が望まれる技術	
地球環境問題の解決	エネルギー節約の克服	LC思考による需要削減	高効率変種変量生産	オンデマンド生産システム	○	○						
				半導体ミニファブ	○					○		
局所環境制御加工技術										○		
試作最小化技術			構想設計から使える形状モデルの方式			○	○					
			CAD/CAE間のデータ受け渡し簡便化技術			○						○
			連成解析、最適化解析などの技術			○						
製造プロセスの省エネ技術			小型複合生産機械			○						
			省エネルギープロセス設計技術			○						
			セラミックス等の製造プロセス合理化技術			○						
製造設備の省エネ技術			低エネルギーでの軽量剛性材料技術			○	○	○				
	エネルギー投入最小化加工技術			○								
	生産システム(工場)の効率的運用技術			○								
社会における需要削減	グリーンIT			○								
	セル生産			○								
エネルギー創出	新エネルギー創出	太陽光発電、風力発電、地熱発電など			○	○	○	○	○	○		
		排熱等兼利用エネルギー利用など			○						○	
	既存方式の効率化	電力利用やエネルギー回収技術			○						○	
		ライフサイクル戦略設計技術			○	○					○	
	製品を通じた社会の省エネルギー・省資源	ライフサイクル設計技術	ライフサイクルシミュレーション技術			○						○
			ライフサイクルモデリング技術			○						○
			寿命設計技術			○	○	○	○	○	○	○
			リデュース設計技術			○						○
			リユース設計技術			○						○
			リサイクル設計技術			○						○
省資源化	SCM・LCMを取り込んだ製造	企画			○							
		計画			○							
		運営			○							
		可視化			○							
		リパースロジスティクス			○						○	
	高効率変種変量生産	サブライヤーパーク			○							
		垂直立ち上げ			○							
		デリバリーの維持			○						○	
		オンデマンド生産システム			○	○						
		半導体ミニファブ			○						○	
資源制約の克服	省資源化	高効率変種変量生産	局所環境制御加工技術								○	
			構想設計から使える形状モデルの方式			○	○					
			CAD/CAE間のデータ受け渡し簡便化技術			○						○
		試作最小化技術	連成解析、最適化解析などの技術			○						
			現物シミュレーション			○						
			製造時の有害物質回収・再生技術の高効率化			○						○
		製造における有害物質削減、不使用技術	加工液等削減									○
			製造時の廃棄物削減技術									○
			レジスト等補助材料の削減技術									○
			天然材料等低負荷物質・材料の開発									○
製造プロセスの省資源技術	小型複合生産機械			○								
	省エネルギープロセス設計技術			○								
	セラミックス等の製造プロセス合理化技術			○								
製造装置の省資源化	資源投入最小化加工技術			○								
	製造装置の省資源化			○						○		
			リース等による製造装置有効利用	○								

安全・安心社会の形成	こころのケア	情報技術の人のこころへの影響モデル	精神的ストレス評価モデル		○	○				
		生き甲斐のある労働を実現するためのE-learning技術	人の価値感の評価モデル			○	○			
	食の安全確保	生産から販売までの可視化技術	トレーサビリティシステムの確立		○					○
		化学物質の人体影響評価技術	多様な物質の人体影響モデル化							○
	感染症への対応	アニマル監視センサ技術	小型長寿命電源技術		○					○
		感染拡大予測シミュレーション	感染拡大のモデル化			○				○
			超高性能スーパーコンピュータの開発		○					○
	自然災害への対応	予測・被害想定シミュレーション技術	安価・高性能のセンサ技術		○					○
			超高性能スーパーコンピュータの開発		○					○
		環境観測・分析技術	発生シミュレーションモデル			○				○
少子・高齢化社会への対応	技術の伝承	技能・技術の形式化技術	加工現象の計測・分析技術、CAE		○					
			技能の計測・分析技術		○					
		技能知識のデジタル化技術	加工技能における暗黙知の形式化		○					○
			デジタル化支援ソフトウェア							○
		加工作業支援技術	問題解決支援技術		○					
			作業中支援技術		○					
			OJT伝承、技術継承マニュアル		○					
	技能の伝承関連技術	技術伝承のためのVR技術		○						
		技術伝承のためのIT活用技術		○						
		eラーニング		○						
	生産人口の減少への対策	製造装置の自律化技術	生産支援技術			○				
		生産人口適正化のための労働環境整備対応技術	加工作業支援技術			○				
	バリアフリーな社会(ユニバーサル社会)	安全でコンパクトなまちづくりモデル	創造的テレワークシステムの開発							○
		ユーザーインターフェイス設計技術	生産グローバル化に対応した人材育成ワークショップ							○
	市場変化への対応	ユーザーニーズの多様化	オーダーメイド製品の設計生産システム	少量生産に対応した生産システム						○
消費者の高齢化		ユニバーサルデザインの高度化	少量生産に対応した製品設計システム						○	
			ユニバーサルデザイン技術		○					
所得格差の拡大		二極化に対応した製品戦略	機能の絞り込み技術						○	
モノへの関心低下		"所有"形態の見直し	高価格/ブランド製品戦略							○
			低価格・高品質製品戦略							○
単身世帯の増加		サービス設計モデル(モノからサービスへ)	社会制度設計							○
	新しいリース・レンタルシステム								○	
	リース・レンタルに適した製品設計								○	
小型家電の高付加価値化	ユーザの"感性価値"のモデル化							○		
新しい保守メンテナンスシステムの開発(高齢者/ワーカー)	ユーザ価値の見える化							○		
保守・サービスの価値創造								○		
IT進展社会への対応	製品ライフサイクルの適正化	ライフサイクルプロダクトモデリング	機能の陳腐化が早いIT機器のライフサイクル管理技術		○				○	
	消費電力の削減	サーバーの電力管理技術	スタンバイ機能の搭載		○				○	
		情報トラフィックの平準化技術	グローバルトラフィック管理技術		○				○	
	デジタルディバイド解消	ネットワーク機器の省電力化技術	Wake-up機能の搭載		○				○	
		IT関連技術の教育システム	eラーニングの活用			○				
	ユニバーサル機器の開発	ユニバーサル機器の開発	ユニバーサルデザイン技術			○				
	IT社会インフラの整備	高速無線基地局の開発	過疎地への電源供給技術			○				
		ユビキタス社会の実現	無線基地局のメンテナンス技術			○				
	産業構造のグローバル化	グローバルバリューチェーンの可視化	メンテナンスフリー・ネットワークセンサ開発							○
		コンテンツ産業拡大のための技術	グローバル視点からのサプライチェーンの全体最適化							○
廃製品の有効利用	社会ニーズに対応した新サービス技術	感性価値の見える化							○	
	有害物質の処理技術	サービスの定量化							○	
	情報機器の再利用技術	含有化学物質の情報把握技術							○	
リサイクル技術	部品・製品のリユース技術							○		
見えない廃製品フローの見える化								○		
廃製品のトレーサビリティ技術								○		
新興国の経済拡大による世界情勢変化	エネルギー価格の変動対応	再生可能エネルギーの普及技術	エネルギー供給・受容管理システム						○	
	希少資源の逼迫対応	レアメタルの代替技術	据え置き型蓄電池技術		○				○	
			稀少材料の代替材料開発			○			○	
	廃棄物の海外流出対応	レアメタルのリサイクル技術	稀少材料使用工具の寿命向上技術						○	
			稀少材料を(製品・加工に)使わない製品開発						○	
食料機器への対応	リユースのための循環マネジメント技術	元素分離・回収技術						○		
リサイクル材料による製品化技術								○		
グローバル循環設計・管理技術	廃製品のトレーサビリティ技術							○		
機能寿命の定量化								○		
農業の第二次産業化								○		
ノウハウの伝承								○		

同様に、技術戦略マップ全体を再掲する。関連課題の実現時期は本年度のWGにおける検討に基づき修正してある。

技術ロードマップ(サステナブル・マニファクチャリング)

大項目	中項目	小項目	主要技術	技術課題	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025				
環境課題の解決	エネルギー制約の克服	LIG思考による資源削減	高効率変換発電	オンデマンド生産システム 半導体エッジ 組立機群制御加工技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025				
			減量化技術	構想設計から使える形状モデルの方式 CAD/CAE間のデータ受け渡し強化技術 遠隔解析、最適化解析などの技術 視覚シミュレーション	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
			製造プロセスの省エネ技術	小室集合生産機 省エネルギープロセス設計技術 セラミックス等の製造プロセス合理化技術 低エネルギーでの超精密加工技術 エネルギー投入最小化加工技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
			製造設備の省エネ技術	生産システム(工場)の物理的運用技術 生産機種のエネルギー使用合理化技術 コンパクト生産システム セル生産	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
			社会における資源削減	グリーンIT	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
		エネルギー創出	新エネルギー創出 既存方式の効率化	太陽光発電、風力発電、地熱発電など 排熱等利用エネルギー利用など 電力利用やエネルギー回収技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
		資源制約の克服	資源制約の克服	製品全週にわたる省エネルギー	ライフサイクル設計技術	ライフサイクル設計技術 ライフサイクルシミュレーション技術 ライフサイクルデザイン技術 寿命設計技術 リデュース設計技術 リユース設計技術 リサイクル設計技術 循環システム設計技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	
					SCM-LCMを軸とした製造	企画 計画 調達 可視化 リバースロジスティクス サプライチェーン 熟慮立ち上げ サプライヤーの維持	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025
					高効率変換発電	オンデマンド生産システム 半導体エッジ 組立機群制御加工技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025
					減量化技術	構想設計から使える形状モデルの方式 CAD/CAE間のデータ受け渡し強化技術 遠隔解析、最適化解析などの技術 視覚シミュレーション	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025
製造時の有害物質回収・再生技術の高効率化	加工設備削減 製造時の有害物質回収・再生技術の高効率化 加工設備削減 レベラス等補助材料の削減技術 実証材料等有害物質、材料の削減				2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
製造プロセスの省資源技術	小室集合生産機 省エネルギープロセス設計技術 セラミックス等の製造プロセス合理化技術 資源投入最小化加工技術			2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025			
製造設備の省資源化	製造設備の省資源化 リース等による製造設備有効利用 フリーフォーム製造			2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025			
材料歩留まり製造プロセス	自己修復材料技術 自己修復材料技術			自己修復材料技術 自己修復材料技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025			
リユース促進技術	洗浄技術 検査技術 回収システム			洗浄技術 検査技術 回収システム	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025			
資源再生	資源再生			リサイクル材料等、再生品質評価技術 材料分別技術 テレオペレーション応用技術 焼却技術の高効率化 再生プラスチックの製品質化技術 再生材料の高純度・高品質化技術 廃棄物再利用技術 視覚検査技術 焼却技術 CFRP分離技術 異種複合材料分離技術	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025		
資源代替	資源代替	資源代替	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025	2010-2025					

環境制約の克服	LCC思考による環境負荷削減	製造における有害物質削減、不使用方法	製造時の有害物質回収技術の高度化 加工廃棄削減 製造時の廃棄物削減技術 レジスト等補助材料の削減技術 化学物質データベース（管理技術） バイオミメティクス	化学物質データベース整備	既存物質のデータベース整備		
		製造設備の自律化技術	設備機能の検査・評価技術 分析を容易にする設計製造 EHS (EM/EC) 規制対応技術 形状・構造設計 材料選択 加工選定（塗膜など） 有害物質含有物の代替技術 エコトライボロジー				
	環境修復	有害物質削減技術 社会における環境負荷削減	有害物質削減技術 有害物質削減技術 有害物質削減技術				
グローバルでの競争力向上 (新興国の経済成長によるグローバル市場の拡大)	製品の競争力強化 (高付加価値化)	ユーザーニーズ構造分析技術	ユーザーニーズ収集の高度化 ユーザーニーズ構造のモデル化		事前適用と評価改良	普及	
		ユーザーニーズ把握 (RMC)	メンタル・物理的な行動計画の高度化 人間のメンタル・行動特性のモデル化		基本技術開発	事前適用と評価改良	普及
		カスタマイズ専任化設計技術	包括的デザイン方式の確立		基本技術開発	事前適用と評価改良	普及
		顧客ビジネス分析 (DxD)	顧客ビジネス構造分析可視化 ライフサイクルコスト評価の高度化、高精度化		基本技術開発	部分適用と評価改良	普及
		機構設計	部品・サブアセンブリの統合設計技術 部品・サブアセンブリの最適化 予防保全向けメンテナンス期間設定の高度化		基本技術開発	部分適用と評価改良	普及
	保守・保全体制	保守作業体制構築技術	保守作業の最適化 保守サイトおよび保守員配置の最適化 遠隔診断から見える部材モデルの方式 修繕用モデル作成の容易化		部分適用と評価改良	普及	
	製造コスト削減	設計システムの強化 (システム化)	試作機強化技術	遠隔診断、最適化診断などの高度化 不正アクセス、ウイルス対策 情報漏洩対策 予実安全設計		部分適用と評価改良	普及
		生産システムの強化 (システム化)	高効率生産技術	オンデマンド生産システム 前所後所制御加工方式 製造時の有害物質回収技術の高度化 レジスト等補助材料の削減 加工廃棄削減		基本技術開発	事前適用と評価改良
			高スループット製造	加工システム・システム即時製造 高速加工を実現する素材技術 少量（一品）生産型プロセス製造 隣接機種と製造機種の技術リンク 積層デザインの標準化		事前適用と評価改良	普及
			製造設備の標準化	モジュールユニット フレキシブル化（変換の迅速化） 生産運用の高度化 人（オペレーター）の負担軽減 バーチャルシミュレーション シミュレーション シミュレーション シミュレーション		事前適用と評価改良	部分適用
機械と人間の協働技術			人（オペレーター）の負担軽減 バーチャルシミュレーション シミュレーション シミュレーション		事前適用と評価改良	普及	
グローバル市場に對する汎用戦略	国際バリューチェーンの構築	国際分業ネットワーク形成技術	国際分業ネットワーク形成技術 EPA/EPAモデル/EPA自律貿易協定、EPA、協定連携構築 グローバルネットワーク設計方式 グローバルネットワーク設計方式 グローバルネットワーク設計方式		モデリング手法確立	設計手法確立	普及
		国際標準の共通化技術	国際標準の共通化技術 国際標準の共通化技術 国際標準の共通化技術 国際標準の共通化技術		標準化	国際標準普及	
		サプライチェーンのレスポンス向上（見える化）技術	サプライチェーンのレスポンス向上（見える化）技術 サプライチェーンのレスポンス向上（見える化）技術 サプライチェーンのレスポンス向上（見える化）技術		標準化	国際標準普及	
		サブサプライチェーン連携事業創出	サブサプライチェーン連携事業創出 サブサプライチェーン連携事業創出 サブサプライチェーン連携事業創出		標準化	国際標準普及	
		国際標準化推進技術	国際標準化推進技術 国際標準化推進技術 国際標準化推進技術		標準化	国際標準普及	
	ビジネスモデル	ビジネスモデルのモデル化技術	ビジネスモデルのモデル化技術 ビジネスモデルのモデル化技術 ビジネスモデルのモデル化技術		理論モデル研究		
		顧客ビジネス構築技術	顧客ビジネス構築技術 顧客ビジネス構築技術 顧客ビジネス構築技術		個別手法確立	統合モデル確立	
		デジタルプラットフォーム	デジタルプラットフォーム デジタルプラットフォーム デジタルプラットフォーム				
		デジタルプラットフォーム	デジタルプラットフォーム デジタルプラットフォーム デジタルプラットフォーム				
		デジタルプラットフォーム	デジタルプラットフォーム デジタルプラットフォーム デジタルプラットフォーム				
社会文化への対応	社会インフラの持続可能性評価	“社会”の持続可能性の長期予測	長期シナリオの分析・評価・予測技術 シミュレーションを統合するプラットフォーム技術 エネルギー・資源のグローバルバランスモデル			プラットフォーム技術	
		技術の社会受容評価	技術の社会受容評価 技術の社会受容評価 技術の社会受容評価			生存競争モデル	
		人行動・技術・制度の相互影響評価	人行動・技術・制度の相互影響評価 人行動・技術・制度の相互影響評価 人行動・技術・制度の相互影響評価			社会の複雑性のモデル	
	社会弱者の防止	地域コミュニティを活性化させるシステム	地域コミュニティを活性化させるシステム 地域コミュニティを活性化させるシステム 地域コミュニティを活性化させるシステム			デジタルコンテンツ創成	
		公共監視システム	公共監視システム 公共監視システム 公共監視システム			エネルギーハーベスト技術	

5 サステナブル・マニュファクチャリングにおけるムダレス化の効果の試算

5. 1 試算のための前提条件

冒頭にも記載したところだが、本サステナブル・マニュファクチャリング WG が本年度継続的に活動した背景は、ただロードマップのローリングを行うのみでなく、技術を取り巻く背景が大きく変わったことに対して何らかの対応をしたいという意図による。背景とは、2020 年度の中期目標における日本の温暖化ガス排出量削減量の表明である。衆知のことであるが、2020 年中期目標において、90 年比 25%減が提示されている。ただし、この 25%は純減分のみでなく、京都メカニズムの活用分も含むとされる。

一方、2007 年度の温暖化ガス排出量は約 13 億 7400 万 tCO₂ であった [14]。京都議定書の基準は約 12 億 6100 万 tCO₂ なので、+8.7%となる。従って 2020 年に向けては、2007 年比約 34%（ないし 4 億 2500 万 t）の削減を行うか、排出枠を獲得しなくてはならない。ただし、この全てがサステナブル・マニュファクチャリング WG 関連技術で達成されるべきというわけではない。電源構成の変更、京都メカニズムなどの外部要因を除いて考える必要がある。

5. 2 外部要因の推定

A) エネルギーの転換

発電電力量（一般電気事業用）で見た場合、2007 年度の電源構成は、原子力 25.6%、石炭火力 25.3%、LNG 火力 27.4%、石油等火力 13.1%、水力 7.6%、とのことである [15]。所謂新エネルギーは 1%程度となる。

- ① 新エネルギー構成比を現状の 1%から、太陽光発電の拡大により 4%程度とする。
- ② 水力発電の構成比は 8%で変更なし。
- ③ 原子力発電の稼働率向上（60%→90%等）により、発電構成に占める原子力の比率を 44%程度まで向上させる。
- ④ 石炭火力については、石炭ガス化複合発電（IGCC）という方式が提案されている。簡単に言えば、石炭をガス化して燃焼させガスタービンを回し、排熱を回収して蒸気タービンを回す方式のこと（出展：クリーンコールパワー研究所 HP、<http://www.ccpower.co.jp/igcctooha/igcctooha.html> より）。IGCC の導入により、石炭火力でも石油火力と同等の効率が可能になる。上記の新エネルギー及び原子力発電の比率向上分を石油火力、石炭火力、LNG 火力の構成比削減（石炭火力 20%）に回した上で、

石炭火力の2割で2020年度までにIGCCを導入する。

- ⑤ 石油火力からLNGへの転換を進め、現状13%、27%を2020年度にはそれぞれ4%対18%とする。

上記の①～⑤を全て算入すると、発電量がかわらなるとすればCO₂排出量は2007年比で約36%減少する。前出の資料により、エネルギー転換部門はCO₂排出量で全産業の約1/3であるから、発電量がかわらなるとすれば、これにより2007年比約12%の削減となる。

B) 京都メカニズム

- ① ET (Emission Trading) については制度そのものへの批判も根強いことから基本的に0とし、他の要素で達成できなかった際の緊急避難とする。
- ② CDM (Clean Development Mechanism) については、2006年4月現在、登録済みCDMプロジェクトによるクレジット供給予定総量は3.4億t、申請中の分を含めると供給量は8億tとされている[16]。このうち、約18%は日本の投資による[16]ものであり、投資額とクレジット獲得量が比例するとすれば、日本の獲得量は約1.4億tとなる。これは2008-2012年の総量であるから、年平均2800万tとなる。2020年の目標についても同様の方式がとられるものとする。基本的にCDMによるクレジットの獲得は最大21年間と規定されているが、現在の認証済みプロジェクトの多くは2020年でも有効である。第一約束期間のプロジェクトの5割が継続されたうえで、同程度の新規案件が認証されるものと考え、CDMによるクレジット獲得量を2800万t/年と仮定する。(目標とする。)
- ③ JI (Joint Invention) については現状でのクレジット供給総量に関する資料が見つからないが、大枠ではJIは世界的にもこれから取り組まれる段階であるとされており[16]、CDMと同等程度のポテンシャルがあるものとする。
- ④ 森林吸収分として3.8% (2008-2012年と同等) とする (1990年比)。

上記の①～④を全て算入すると、約1億t (2007年比約7.5%減) となる。

5. 3 サステナブル・マニュファクチャリング技術による削減

前節において考慮した外部要因を除き、サステナブル・マニュファクチャリング関連技術により、2007年比約14% (約1億9000万t) 減を達成しなくてはならない。その際に、(1) 省電力技術等による直接的効果と、(2) 設計技術による間接的効果を考えることが

できる。特に後者においては、最終製品の設計・生産・販売の在り方を「適量高付加価値リデュース生産」にすることにより、製造業全体の効率化・ムダレス化を目指しており、本 WG 関連技術の貢献の中核となる部分である。この効果について定量的に見積もることは難しいが、全産業部門、運輸部門、民生部門、及びこれら分野における省電力効果によるエネルギー転換部門への間接的効果により、必要削減量の全てに係るものとする。

5. 4 サステナブル・マニュファクチャリング技術による排出削減見積もり例

(1) 自動車の使用形態の変革によるムダレス化

3. 1にあるように、本技術に関しては、短距離、少人数の用途における自動車の形態を軽自動車ないし1人用などの新たな形態の自動車に変換することにより、約 800 万 t (2007 年比約 0.6%に相当) の削減可能性が示され、これは対象とした家庭用輸送部門の約 6.7%に相当する。さらにこれを電気自動車に転換することにより約 2000 万 t の温暖化ガス排出削減が見込まれるとされる。これは、2007 年基準の排出量の約 1.5%に相当する。

(2) データセンターにおける電力使用のムダレス化

本件に関しては、3. 2に記載のとおり、直接的に温暖化ガス排出削減効果を見積もることは難しい。もともと、情報化そのものは、今後も高度化・普及拡大すると予想されており、「機器台数そのものは増加するが、ムダレス化により、本来であれば増加する筈だった電力消費量が現状程度に抑えられる」というシナリオも想定できるからである。本件に関しては、直接的な削減効果よりも、IT 化の進展により社会全体の省エネルギー化、省資源化に資する一方で、ムダレス化によりデータセンターの電力使用量は増加しない、という使い方の変革効果が大きいと考えられる。その効果として 2007 年比約 1.2%と試算される。さらにこれは、データセンターにおける約 40%のムダレス化効果を示している。

(3) 生産システムの変革によるムダレス化

本件に関しては、3. 3において、技術の導入により、既存の半導体製造ラインの消費エネルギーが1ラインあたり年間 540GWh から 74GWh に削減し得ることが示されている。この消費エネルギーの削減は CO2 排出量約 20 万 t に相当する。置き換え可能な 300mm ラインが国内に 7 ラインあるとされており、これら全てで技術が導入されたとすると 140 万 tCO₂、2007 年度比 0.1 %程度の削減になり得、同様の考え方でリデュース型の半導体生産システムが普及すれば最大 0.7%程度(2007 年度比)の潜在的な削減効果があり得る。ただしミクロに見れば、1 ライン当たりのムダレス化効果は約 86% ((540GWh-74GWh)/

540GWh) と非常に大きなものとなる。

以上3例によるムダレス化による排出削減効果は、合計 1.9~2.5%と試算できる。ここで注目すべきことは、電気自動車などの省エネ技術を導入しなくても、使い方の変革によるムダレス化だけでこれだけの効果を見込めることである。すなわち、ここで試算対象とした部門について見れば、自家用の運輸部門において 6.7%、データセンターについて 40%、特定の半導体ラインについて 86%と、幅があるもののムダレス化の潜在的効果を示すことができた。このように、中期目標は、これらの細かい削減を積み重ねるプロセスを経て、ものづくりのシステム、人工物の所有形態、使い方を見直すきっかけとして活用すべきであると考えられる。この際、おおまかに言って以下のような方策により、温暖化ガス排出削減が可能であると考えられる。

A) サステナブル・マニュファクチャリング WG 技術による削減

- 1) 工業製品の使い方の変革によるリデュース、ムダレス化：3章の結果から、使い方の変革によるムダレス化により、自家用の運輸部門 6.7%、データセンター40%の削減効果が試算された。3章で挙げた例以外にもこのようなムダレス化の方策は様々なものが考えられるので、運輸、業務、家庭の各部門で仮にエネルギー消費量の 5%のムダレス化が行えれば、2007年比で、我が国の全温暖化ガス排出量の 2.4%の削減が見込まれる。
- 2) 設計、部品生産、製品製造工程のリデュース、ムダレス化：産業部門のうち、非素材型製造業のエネルギー消費量 10%削減と想定する。日本の全排出量うち、非素材型製造業の温暖化ガス排出量の割合は 8%程度である[14]ので、平均的に 10%削減が達成できた場合、 $-10\% \times \text{非素材型製造業の産業部門における割合 } 8\% \times \text{産業部門の割合 } 36\% = 0.3\%$ 程度の削減になる。
- 3) 工業製品の生産物量の削減：1)の使い方の変化、および、製品の所有形態やサービスの提供形態の変革を含むモノの提供からコトの提供へのパラダイムシフトの結果として、ユーザへの提供機能、価値や工業製品の売上高、付加価値を変化させずに、製造業で製造する物量が 20%程度削減でき、これにより 2)に加えて非素材型製造業でエネルギー消費量を 20%削減できることを想定する。これは波及効果としてサプライチェーンを溯って、資源採掘、素材製造、輸送段階のエネルギー消費削減をもたらす。この波及効果によるエネルギー消費量削減効果を半分の 10%と想定すると、結果として、
 - 非素材型製造業（製造業のうちの機械部門） $-20\% \times \text{産業部門における割合 } 8\% \times \text{産業部門の割合 } 36\% = 0.6\%$ 削減
 - 素材・部品産業（食料品、機械を除く製造業） $-10\% \times \text{産業部門における割合 } 83\%$

×産業部門の割合 36%=3.0%削減

－ 運輸(運輸部門のうち貨物) $-10\% \times$ 貨物の割合 40% \times 運輸部門の割合 19%=0.8%
削減

となり、合計 4.4%の削減が見込まれる。

- 4) 使用済み製品のリユース、リサイクルの高度化による資源活用：ライフサイクル思考とムダレス化が進展すれば、組立型製品の回収率が向上し、それに伴ってリユース、リサイクルの高度化が期待できる。その波及効果は、産業部門のうち、素材型製造業における新規製造量の削減とそれに伴うエネルギー使用量の削減として現れる。素材型製造業は全産業部門のうち約 68%を占める。このリユース、リサイクルによる効果として素材製造に伴うエネルギーが 5%削減できるとすると、

$-5\% \times$ 産業部門における素材産業の割合 68% \times 産業の割合 36%=1.2%

の削減が期待できる。

B) サステナブル・マニュファクチャリング WG 技術以外による削減

3. 1節で検討したように、製品(自動車)そのものを低環境負荷型(電気自動車)に変更することも本カテゴリーに分類する。前述のように、自動車という製品の変革により全温暖化ガス排出量の 1.5%程度の削減が可能なものと見積もった。前述のとおり、運輸部門のうち自家用車は、約半分であるが、業務用の輸送に関しては、2020年までの範囲では、電気自動車の導入のような大規模な変革は難しいと考え、自家用車による削減分をそのまま、運輸部門の製品変革によるエネルギー転換部門における潜在的削減量とする。この他の削減可能性は定量的見積もりが難しいが、例えば以前の排出量削減目標において、高効率給湯器、断熱住宅の飛躍的増大により、家庭部門の排出量を 25%減と目標を定めたことなどが参考になる。家庭のみでなく業務も含めた全民生部門の温暖化ガス排出量は前出の資料[14]から、日本の排出量の約 13%である。その 25%減であるから、民生部門における排出削減の潜在量を 3%と見積もる。その他 WG における検討外のものとしては、素材型製造業における工程そのもの省エネ化がある。そのうちの主要な鉄鋼、窯業、化学、製紙を合計すると日本の全排出量の約 20%となる。これらの産業において、サステナブル・マニュファクチャリング関連技術による生産量の削減によらない、工程の省エネのみで 10%程度の削減を達成し、削減目標=潜在的な削減量を 2%程度とする。これらの効果を全て合計し、潜在的削減可能性を 6%程度とする。

6 まとめ

サステナブル・マニュファクチャリング WG は、2020 年に温暖化ガス排出量を 1990 年比で 25%削減するという我が国の温暖化対策の中期目標に対して、設計・製造・加工分野が果たしうる貢献の可能性を明確にし、その中で、温暖化対策の中期目標実現という視点から重要となる技術課題の抽出を行うことを目的に活動を行った。検討の結果、本章で提唱したコンセプトである、「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」により、設計・製造・価値の提供形態の変革を促進することにより、製品や製造工程のムダレス化及びムダレス化によるエネルギー生産、素材生産などの川上産業に対する波及効果を合わせて、温暖化ガス排出量の 8%削減の潜在的可能性があることを明らかにした。さらに、「ムダレス化」の具体例として三つのケース・スタディを取り上げ、その潜在的効果を試算した。この三つのケース・スタディだけでも温暖化ガス排出量の 2%削減の潜在的可能性があることを示すことができた。これらの基づき、中期目標達成という視点から「適量高付加価値リデュース型ものづくりによるムダレス化」を実現する重要技術課題の抽出を行った。

参考文献

- [1] 経済産業省：技術戦略マップ 2008 設計・製造・加工分野, 2008.
- [2] 梅田靖：「持続可能社会に向けた、環境サービスイノベーション」, 精密工学会誌, Vol. 76, No. 3, 2010, (印刷中) .
- [3] 国土交通省ホームページ http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/09/090802_2_.html.
- [4] 国土交通省：自動車輸送統計報告書, 2005.
- [5] トヨタ自動車ホームページ <http://toyota.jp/prius/ecology/index.html>.
- [6] 経済産業省：グリーン IT イニシアティブ,
http://www.meti.go.jp/press/20071207005/03_G_IT_ini.pdf, 2008.
- [7] グリーン IT 推進協議会：技術委員会報告書, <http://www.greenit-pc.jp/>, 2008.
- [8] (財) 国際超電導産業技術研究センター：超伝導応用技術の省エネルギー効果に関する調査 平成 12 年度調査報告書, 2001.
- [9] 総務省：「地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会」報告書,
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ict_globalwarming/index.html.
- [10] J. Fujimoto and T. Hata: “Assessment of Power Consumption from ICT in Future States Based on ‘2025 ICT Society Scenarios’”, Proceedings of EcoDesign2009, 2009 .
- [11] T. Hata, S. Nakamoto, T. Tamura, and J.Fujimoto: “Approaches for Reducing Energy Consumption in Data Centers,” Proceedings of EcoDesign 2009, 2009.
- [12] T.Brey, L.Lamers: “Using Virtualization to improve data-center efficiency,” R.Talaber (ed.), the green grid, whitepaper #19, 2009.
- [13] 経済産業省：技術戦略マップ 2009 設計・製造・加工分野, 2009.
- [14] 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス 日本の温室効果ガス排出量データ (1990～2008 年度確定値) .
- [15] 2009 年エネルギー白書第 2 部第 4 章第 1 節—二次エネルギーの動向—.
- [16] みずほ総合研究所編、みずほレポート P.8-22.
- [17] 国土交通省ホームページ、
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000006.html

I 企画委員会

I — 2 持続可能社会シミュレータ開発提案 TF 持続可能社会シミュレータ調査委員会

本委員会の活動は、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの受託「イノベーション推進事業／エコイノベーション推進事業／持続可能社会シミュレータ実現に向けての CEV 普及社会像の研究」（平成 21 年度）として実施したものである。

はじめに

本調査研究では、わが国での電気自動車（EV）100%社会像を叙述的に描くとともに、資源・エネルギーの観点からその実現可能性を検討した。結論は、以下のとおりである。

- ・ 現状の技術開発を促進しただけでは、わが国での EV 普及は難しい。
- ・ グローバルで EV を普及させたとしても世界全体の CO₂ 削減に直ちにはつながらない可能性もある。

内閣府の平成 21 年版「高齢社会白書」では、平成 20 年における高齢者比率は（65 歳以上）は、22.1%であった。高齢化比率は、2020 年に 29.2%、2030 年には 31.8%に達すると予想されている。高齢者人口の増加により高齢のドライバーも増えるが、それにより顕在化している問題が、高齢者が引き起こす事故である。運転免許保有者 1 万人当たりの死亡事故件数（原付以上の車両を運転中）を第一当事者の年齢層別にみると、高齢運転者が第一当事者となった死亡事故は他の年齢層に比べて多い。世界の中で、今までに誰も経験したことのない高齢化社会に突入するわが国において、“重量物が高速で移動する”現在のクルマ社会を将来にわたって描き続けることは果たして合理的であるのか。

“若者のクルマ離れ”、最近よくメディアに登場、耳にする言葉である。その理由として、まず考えられるのは、“非正規雇用者の増加”、“所得格差”および“経済危機”などの経済的要因である。しかし最近のマーケット調査の結果は、若者のクルマに対する“憧れ”の低下を示している。人の感じる“効用”から“負担”を引いた差分が、クルマへの欲求の強さと考えた場合、“クルマで自由に移動する”、“走りを楽しむ”、“クルマを所有することで自らのステータスを高める”等の効用は低下し、“事故に対する恐れ”や、“維持費の高負担感”は高まっている。インターネット、携帯電話、ゲーム機器などデジタルツールが若者に広く浸透している中で、さらに地球温暖化問題や石油の枯渇の“元凶”として取り上げられるクルマに対して、“憧れ”をもつことは難しいことかもしれない。

自動車燃料の需要は、軽油ではここ 10 年、ガソリンでも 2005 年をピークに急激に下がっている。この傾向は今後も続くと考えられており、その低下は当初予想していたよりも大きいと言う。この傾向が示唆するのは、クルマに対する温暖化対策を施さなくても、わが国のクルマ由来の CO₂ は減少するということである。本調査研究でも、すべての自家用車を EV に代替することで年間一億トンを超える CO₂ 削減が可能（使用段階のみの試算）との結論を得ているが、これは現状の消費量に対する削減量であり、今後の消費量低下を基準に考えた場合、EV 普及での削減量は小さなものとなる。温暖化対策費用の投資額と削減量の関係では、投資対効果が大きく見えたとしても、真水分（自然減少分を考慮した場合）は小さくなると予想される。これは、石油の自然減少を肯定しているわけではない（活力のない社会に危険性がある）、現在の温暖化対策費用がムダだと否定しているのでもない。近視眼的な議論ではなく、俯瞰的に“クルマ社会”を考えることが、今まさに必要

である。“人が高速に移動する重量物を操作する”というクルマ社会が、わが国において果たして持続可能であるのか？EVの性能や価格を従来のクルマに近づけようとする、すなわち従来のクルマと同じ外観をもち、同じように走り、同じような価格で入手できるEVの開発を目指すことが妥当なのか？この点を議論することが、本調査研究の目的の一つであった。

本研究では、“電力密度が低い”ので航続距離が短い、“電池価格が高い”などの、EVの欠点を補うための技術開発トレンドに捕らわれずに、自由で新しいEV社会を議論するために、“現状”で“EV100%”という2つの極端な条件を設定し、社会像を議論した。これにより、「技術が△△の特性に達しなければ社会に普及しない、△△年にはこのような技術ができていないはずである」などの技術論的な議論に流れることなく、「現状の技術はこの点が優れているので、△△のような工夫をすれば社会で活用できる」という社会的な視点からの議論が可能になった。

例えば、EVの“排気ガスを出さない”や“騒音を出さない”という特長は、社会に大きな便益をもたらすにもかかわらず、“現状のガソリン車並の航続距離を実現できない、価格が高い”という欠点に覆い隠されている。しかしそれらの特長は、今われわれが被っている大気汚染による健康被害や騒音によるストレスを解決してくれる。さらに、排ガスによる大気汚染対策の費用が必要なくなる。現在、我々がこれら問題に支払っている費用はどれ程であろうか。またEVが、高速で長距離の移動可能なガソリン車と“同じ特性”を実現できないのなら、“低速で短距離”のコミュニティカーに特化するという方向もあり得る。低速なら、人やものを傷つけないクルマや、自動走行も容易となり、高齢者や子供の移動手段となりえる。排ガスがないのなら、どこにでも入っていける（バリアフリー）。店にも、家庭にも、鉄道にも。それにはガンダムのように、場所に合わせて“変身”する必要があるなど、発想は広がる。このような議論により最後に到達したのが、“だれでも”、“どこでも”、“いつでも”使えるユビキタス車社会の概念である。ユビキタス車社会になれば、これから超高齢化社会に突入するわが国において、豊かで活気にあふれる社会を構築できると考える。

ユビキタス車社会では、産業構造は現在と大きく異なる。現在の産業の基幹である、自動車産業や情報産業に加えて機械産業（ロボット）が拡大し、融合するであろう。これらは、わが国の得意な分野であり、“すりあわせ”の技術が必要となるため、国際競争力を維持できる。資源・エネルギーの観点では、モータや充電器に大量に使われる銅資源が不足する可能性が高い。電力量は約500億kWh増加する（自家用車のみ算出）。この程度の電力量の増加は、現状の発電設備でも十分吸収可能であるが、充電が一定時間に集中した場合、ピーク電力が発電容量を超える可能性があるため、充電時間の最適制御や太陽光発電など分散電源の導入が不可欠となる。

温暖化対策の面からみれば、わが国では1億トン程度CO₂削減が可能であろう（車の生産段階での排出量は同じであった場合）。しかし、夜間の需要が増し火力が大量に使われる

ようになると排出原単位は増加し、削減効果はより小さなものとなる。グローバルに見ると、今後クルマの普及台数が急増する中国やインドでは、2030年になっても、電力の排出原単位が大きく、ハイブリッド車に比較してEVのCO₂削減効果は小さなものであることが明らかとなった。

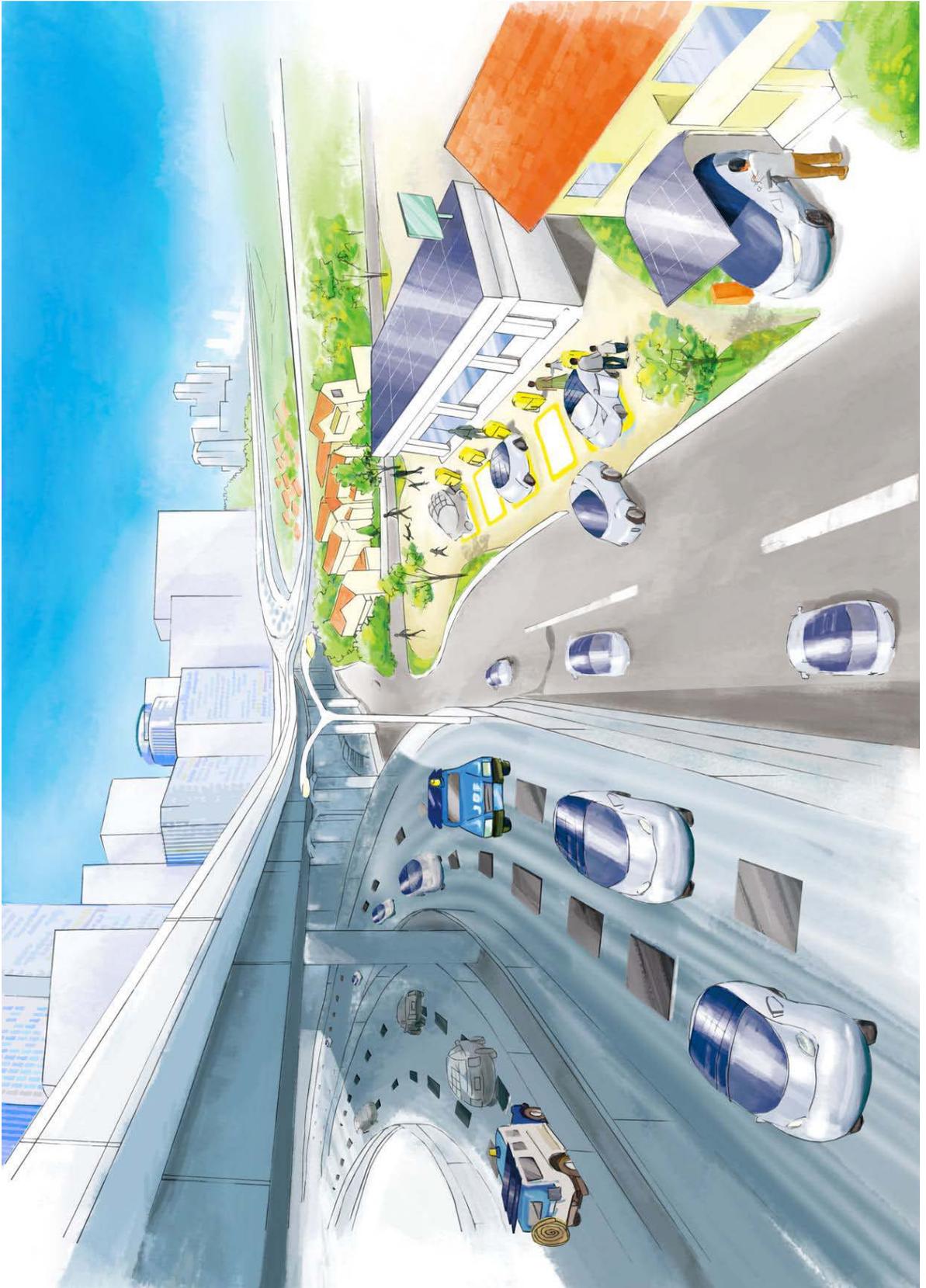
本研究は、“EV100%社会”を推薦するものではないし、EVが他の代替技術、たとえば燃料電池車に比較して優れているということを明らかにするものでもない。今回、多くの分野の専門家にご協力いただいたが、それでも我々は、それを判断するだけの膨大な知識を有していない。あえてEV普及促進について提言するなら、

- ・ 現在の石油燃料車によって生じている、人にとって好ましくない社会コスト（排ガス汚染の対策費、疾病による医療費、交通事故対策費など）を定量化する
- ・ 超高齢化社会に投入するわが国において、重量物が縦横無尽に高速移動するクルマ社会を中心とした交通システムが非持続可能であることを明示化する

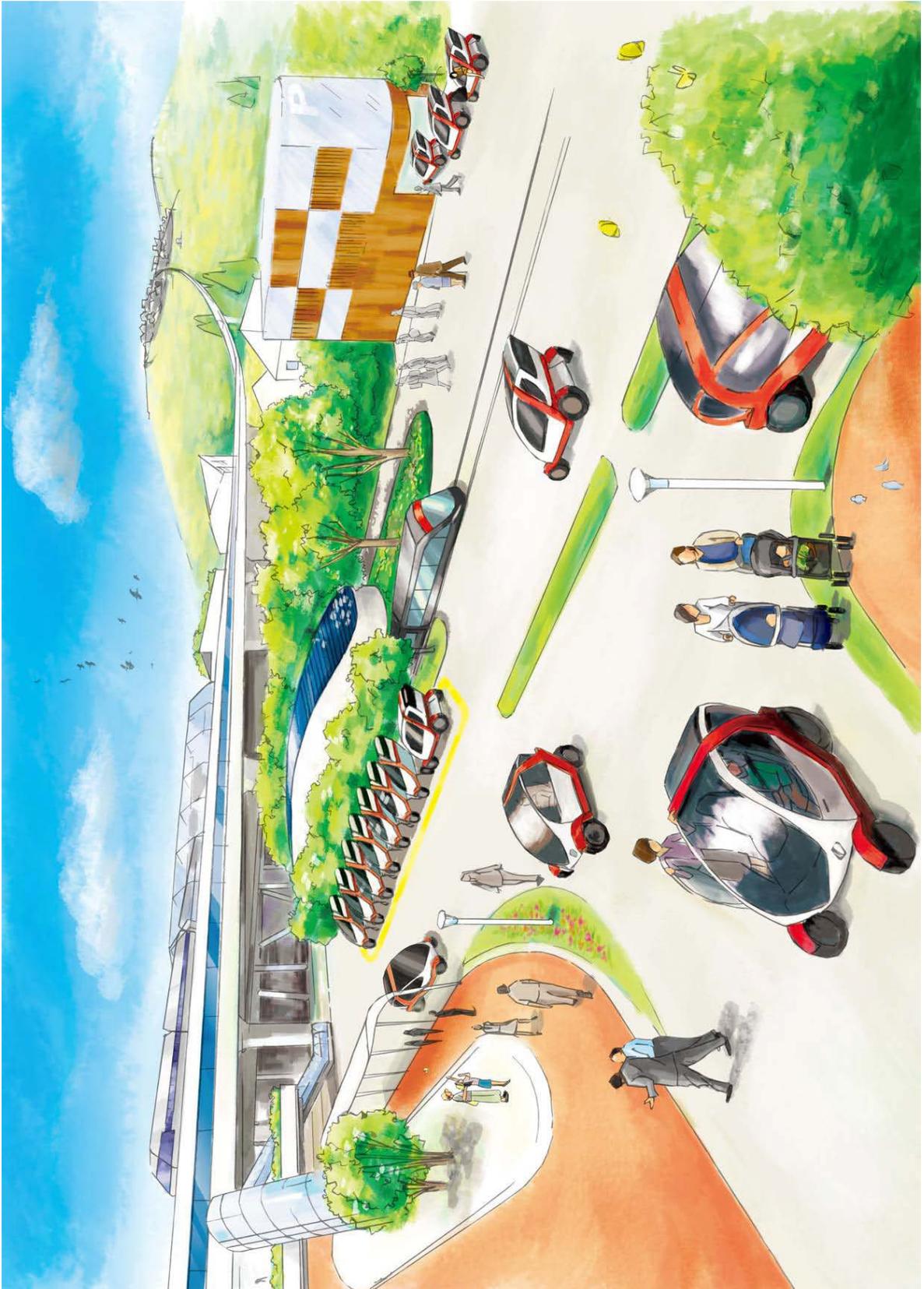
ことが、電池等の技術革新についてアピールするより効果的であろう。

本研究の最も重要な結論は、「これまでとは異なる視点から問題を考えることで、まったく異なる社会の姿を描くことが可能である」ことと、描いた社会像がいかにか荒唐無稽であろうと、「そのプロセスはわれわれが無意識にもっている固定概念を壊すために有用である」ということを確認した点にある。これはEVの適切な普及を考える上で重要であろうし、われわれが提案する“持続可能社会シミュレータ”の基本概念となる。

本研究では“EV100%社会”としてA～Dの4つの社会像を描き、以下のとおりイラスト化した。（個々の説明は本文を参照）



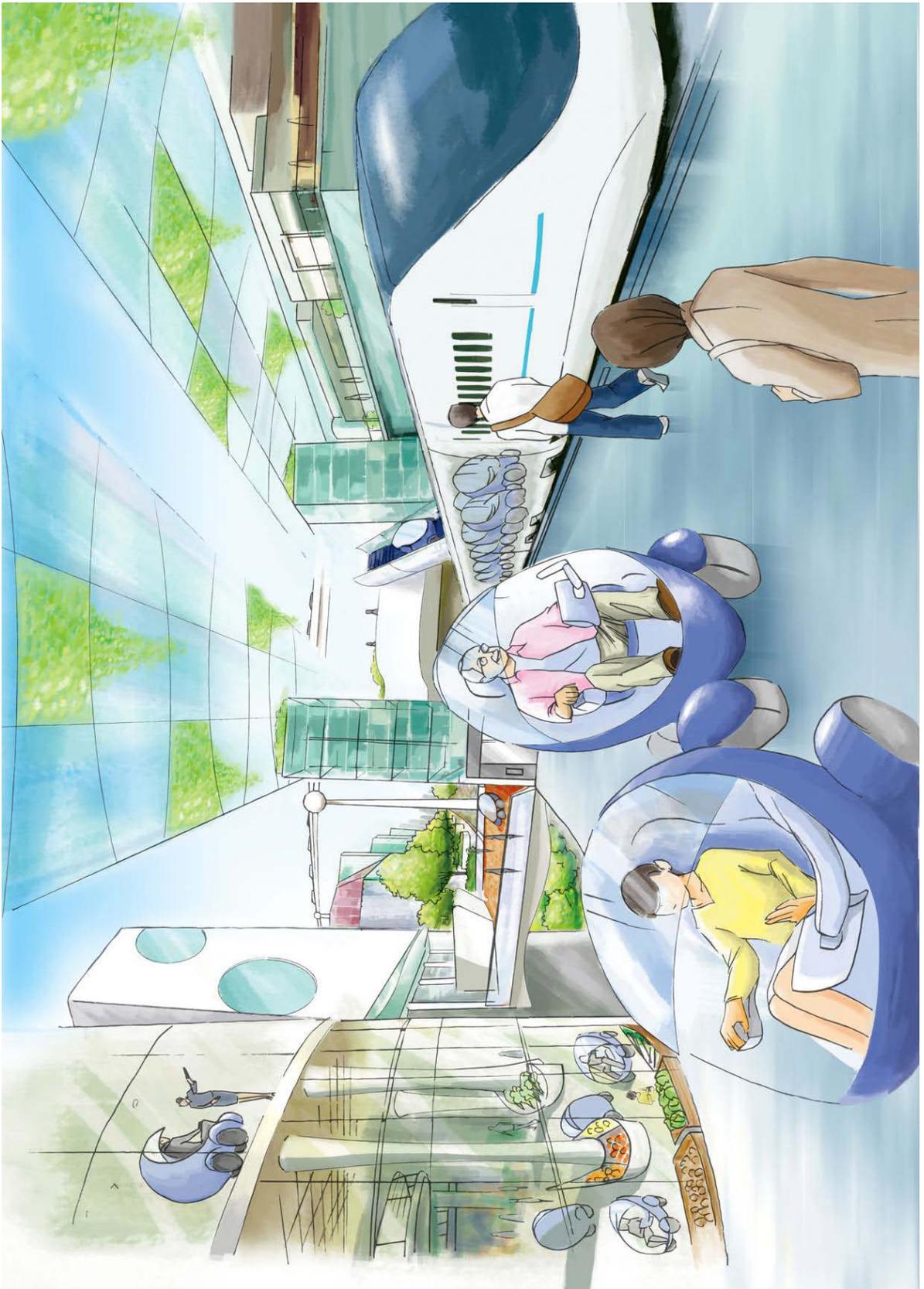
社会像 A



社会像 B



社会像 C



社会像 D

第1章 研究概要

1. 研究の目的

微視的な、“市民行動”や“技術開発の影響”をモデル化し、これら微視的な挙動と、巨視的・グローバルな社会的目標との関係を科学的に明らかにすることは、中長期的に温室効果ガスの大幅な削減への貢献が求められるわが国にとって、また循環型社会のような持続可能社会を実現する上で、挑戦すべき喫急な課題である。この課題を解決するためには、環境技術の開発と普及、市民の意識、政策、およびグローバル化によって、社会生活や環境負荷が時間とともにどのように変化していくかを、的確に、かつその社会像を具体的に表現する「持続可能社会シミュレータ」の開発が不可欠である。本探索研究は、“持続可能社会シミュレータ”の概念設計を目的としたもので、温暖化対策として期待されている電気自動車など CEV (Clean Energy Vehicle) を対象として、普及における人の意識・社会システム・制度の影響、さらに普及により生じる社会変化を定性および定量の両面より把握し、“社会のモデル化”に必要な項目とその関連を明らかにすべく実施した。

2. 研究の概要

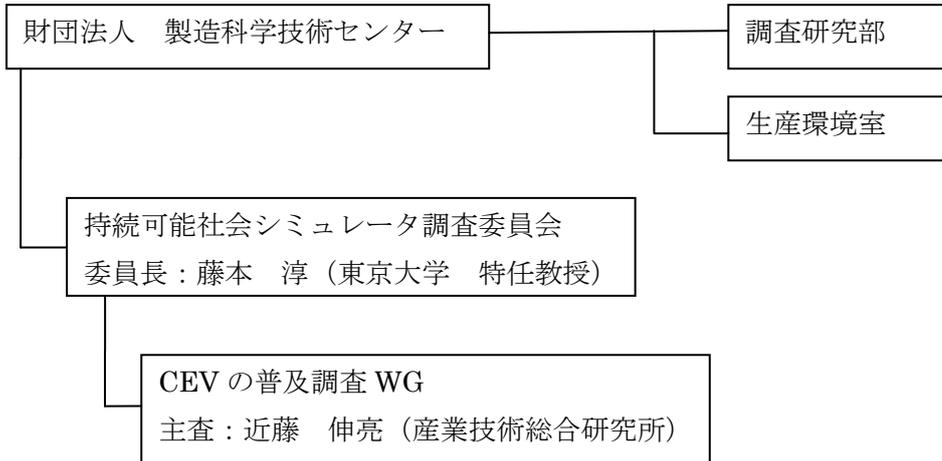
“社会の複雑性”のモデル化の第一ステップとして、2つの側面から検討を行った。第一は、起こり得る“将来社会像”の定性的な叙述である。ここでは、クリーンエネルギー自動車 (CEV) の“社会普及”をテーマに、企業経営の戦略立案で活用されるシナリオ・プランニング手法を活用して、普及に大きな影響を与えかつ将来の不確実性の高い要因と (社会変化のドライバ) その要因の社会・経済・技術等との関連を抽出し、さらに社会変化ドライバの不確実性により起こりうる複数の将来社会像を描写した。第二は、描写した社会像の定量化である。CEV 普及によりわが国の資源・エネルギー・消費量および廃棄物量等はどうに変化するかなどを定量的に把握した。また、グローバルでの資源・エネルギー消費の観点からも描写した社会像の妥当性を検証するため、“グローバル・エネルギー資源バランス表”のプロトタイプを試作した。

最終的には、以上の成果を活用し、“持続可能社会シミュレータ”の完成イメージを具体化した。

3. 研究の体制

(財) 製造科学技術センター内に、学識経験者、研究所等からなる「持続可能社会シミュレータ調査委員会」、「CEVの普及調査WG」を設け、討議、指導を得て具体的作業を進めることにより、成果をまとめて報告書を作成した。

【委託先】



第2章 本論（研究結果）

1. 非持続的な車社会

財団法人 自動車検査登録情報協会の統計によれば、わが国の自動車保有台数は、昭和41年で約230万台から増加を続け、平成21年(2009年)には、58,078,864台に到達している（このうち軽四輪車は、17,320,470台）¹。一方、二酸化炭素の排出量は、平成20年度速報値では、運輸部門からの排出は236百万トン-CO₂で(平成19年度は246百万トン-CO₂)となっており、わが国の総排出量1,216百万トン-CO₂の約2割を占めている。運輸部門の排出量のうち約半分が自家用車由来であるので、自家用自動車のCO₂排出量はわが国総排出量の約10%となる。一方、世界で見ると四輪車の保有台数（商用車・貨物を含む）は、9億4,864万台（2007年）であり、アメリカ・欧州などの先進国では、四輪車一台あたりの人口は、1~2人である²。このうち経済発展の著しいBRICsの人口は2000年で約26億1千万人（2000年）であり、2020年には約31億人（このうち、中国とインドで約27億人）になると予想される。2007年時点での中国やインドの四輪車保有台数は、それぞれ4,250万台と1,820万台であるので、この2ヶ国での四輪車あたりの人口が、現在の先進国並（2人以下）になると仮定すると、保有台数は約13億台となり、（2020年での人口予測より試算。2007年では2ヶ国で6,070万台）となり、世界の四輪車保有台数は2007年の2倍以上へ増加することになる。世界のCO₂排出量は271億トン（2005年）であるので³、仮に運輸からの排出量が、米国や日本のように全体の20%~25%と仮定すると、自動車の保有台数の増加により60億トン程度のCO₂排出量の増加が生じることになる。

地球温暖化防止とともに、ガソリン代替が強く求められる要因として、“ピークオイル論”がある⁴。時間軸に対し石油産出量が鐘状の曲線状に変化し、その曲線における頂点、すなわちピークを経た後、生産量は緩やかだが確実に減退することになる。世界の石油需要はBRICsなどの急激な経済発展により今後も増加することが確実であり、ピークオイルが到来した後は、需要と供給のギャップは拡大していく。IEA報告WEO2004では、現存油田の生産は2005年ころから急減する。その減退を補うのが、生産向上であり、高度の回収率技術となる。しかしこのような対策を実施したとしても、その量は2010年ごろにピークを迎える。このピークを新規油田開発で補填できれば、ピークを伸ばすことができる。

IEA、EIAをはじめ多くの公的機関が採用している見解であり、各国政府の政策立案のベースとなっているのが、米国地質調査所より発表された石油資源量を3兆バレルとして予測した生産曲線である。この曲線によると2030年頃には生産量のピークを迎え、その後生産量は減少する。

¹ http://www.airia.or.jp/number/pdf/03_1.pdf

² http://www.jama.or.jp/world/world/world_2.html

³ http://www.env.go.jp/earth/cop/co2_emission.pdf

⁴ <http://www.iae.or.jp/publish/kihou/28-2/09.html>

温室効果ガス排出防止、石油の枯渇（ピークオイル）というわれわれが直面する 2 つの課題から考えると、現在のような石油／内燃機関を用いた車が、今世紀の間、主流となり使われ続けられている姿を想像できない。社会に深く浸透して、経済活動に重要な役割を果たしている車を、いかにスムーズに非石油化あるいは非内燃機関化するかが喫緊の課題となっている。

2. CEV (Clean Energy Vehicle)

クリーンエネルギー自動車（CEV）は、基本的に“低公害性能”（排ガスに有害成分が少ない）を示す言葉ではあるが、わが国ではこれに“石油代替性”や“低カーボン性”が要求される。最近では、低公害性よりも後者に焦点が当てられている。CEVには多種類の車が存在するが、動力源に着目し、大きく 1)内燃機関を用いるもの、2)電気モータを用いる方式、および 3)内燃機関と電気モータや様々な補助動力を併用する方式に分けられる。

このうち内燃機関を用いるものでは、水素や天然ガスなど“石油代替エネルギーを用いるもの”、“従来のガソリンや軽油を用いながら低公害・高燃費を実現する”もの、および“代替エネルギーと併用するもの”がある。これらには燃料供給インフラ整備などの課題はあるものの、基本的には車の構造やその走行性能に関して、従来のガソリン（又は軽油）車と比べ大きな差異はない。モータを用いる方式は、ガソリン車が実用化された時代より、クリーンな技術として何度か市場に投入されたが、価格・走行距離などの面でガソリン車に劣り、市場で普及することはなかった。この方式には、外部の電気を電池に貯蔵し（二次電池）利用する電気自動車、水素と酸化剤となる酸素等を高温環境で継続的に供給し反応させることにより電力を取り出し（燃料電池）モータを駆動させる燃料電池車がある。内燃機関と電気モータや様々な補助動力を併用する方式としては、ハイブリッド車やプラグイン・ハイブリッド車がある。これはガソリン車と電気自動車の欠点を補完する技術と言える。この内、ハイブリッド車は、CEVの中で、現状、最も普及が進んでいる。

3. CEV の普及

CEV の普及を阻害する要因の一つとして、ガソリン車に比較して価格が高いことがあげられる。価格は生産量が増えれば低下する傾向にあるが、その試算例を以下に示す。

平成 18 年度温暖化対策の技術選択モデルに関する調査報告書（平成 18 年度地球温暖化問題対策調査委託費）では、学習曲線によりハイブリッド車とプラグインハイブリッド車の生産量とコスト低下の関係を試算している⁵。

3.1 学習曲線

一度大量生産が始まるとそのコストが大幅に低下する可能性がある。この様子を表現するのが学習曲線である。学習曲線とは、経験曲線とも呼ばれ、累積した知識や経験についての人間の活動をマクロに記述するもので、工業製品のコスト低下の分析に利用されている。過去の多くの工業製品に関する実測結果から、以下のような学習曲線の原理が導き出されている。

「累積生産量が 2 倍になるとき、生産コストや生産に要する時間が一定割合だけ低下する」

学習曲線を定式化すると以下のようなになる。

$$Y_n = A X^{-\beta} \quad (1)$$

ここで Y_n : n 番ユニットの単位あたりのコスト
 X : 1 から n 番ユニットまでの累積生産量
 A : 第一番ユニットの生産コスト
 β : 累積生産に伴うコストの減少割合

さらに X_a と X_b という二つの時期の累積生産量がちょうど 2 倍になる場合に進歩指数 (Progress Rate) F を以下のように定義する。

$$X_b = 2 X_a \quad (2)$$

$$F = Y_b / Y_a = (X_b / X_a)^{-\beta} = 2^{-\beta} \quad (3)$$

F と β は以下のような関係がある。

$$\beta = -\log F / \log 2 \quad (4)$$

β は直感的にはわかりにくいので、進歩指数という概念が用いられている。進歩指数 F は、

⁵ 東京大学、平成 18 年度温暖化対策の技術選択モデルに関する調査報告書、平成 19 年 3 月

「累積生産量が 2 倍になるときのコスト低下の割合」を示している。累積生産量は、累積した知識や経験の大きさを表すものとして利用されている。例えば、2 万個の累積生産量のときに 1 万個の累積生産量のときと比べてコストが 80%に下がっていれば、進歩指数は、0.8 あるいは 80%であるという。この値が小さければそれだけコスト低下の度合いが大きい。進歩指数が小さいと累積生産量が増大するに従って、極めて大きなコスト低下が実現されることになる。

3.2 ハイブリッド車のコストと普及台数の関係

以下に、仮定した前提条件と、2030 年までの計算結果を示す(表 3.2.1、表 3.2.2)。

表 3.2.1 条件

現状 年間生産量	50 万台 (2005 年度末、全世界) トヨタは、プリウス、エスティマ、クラウンなどのハイブリッド車を 2010 年代には年産 100 万台規模を目指している
コスト	216 万円 (プリウス)
年間生産金額	プリウスの場合、 216 万円×3 万台=648 億円 (推定、2003 年度) トヨタのハイブリッドカーの他の車種や、ホンダのインサイト、シビックは、これに比べ生産台数は少ないようである。
輸出割合	50% (仮定値)
これまでの累積生産量	50 万台 (2005 年度末)
学習曲線における進歩指数	普通自動車との差額 60 万円 (28%) について <u>進歩指数 90% を適用</u>
年間省エネルギー量	プリウスの場合、10・15 モード燃費は 35.5km/L であるが、実際の走行では 20km/L である。年間 1 万 km 走行する日本の平均的な乗用車 (10km/L) と比較すると、 年間省エネルギー=ガソリン 500L=17.3GJ
年間 CO ₂ 削減量	ガソリンの CO ₂ 排出量 2.31kg/L より 1 台あたりの年間 CO ₂ 削減量 =2.31kg/L×500L= <u>1155kg CO₂</u>

表 3.2.2 2030 年までの計算結果 (ハイブリッドカー)

ハイブリッドカー

2030年の生産量を変えた場合に生じる年間生産量と1台あたりコスト

2030年 の生産 量(万 台)	50		150		300		450		600		700		800	
	生産台 数(万 台)	コスト (万円/ 台)	生産台 数(万 台)	コスト (万円/ 台)	生産 台数 (万台)	コスト (万円/ 台)	生産 台数 (万台)	コスト (万円/ 台)	生産 台数 (万台)	コスト (万円/ 台)	生産台 数(万 台)	コスト (万円/ 台)	生産台 数(万 台)	コスト (万円/ 台)
2003	3.0	216.0	3.0	216.0	3.0	216.0	3.0	216.0	3.0	216.0	3.0	216.0	3.0	216.0
2004	4.7	212.3	8.4	211.0	14.0	209.4	19.6	208.1	25.1	207.0	28.8	206.4	32.5	205.8
2005	6.5	210.2	13.9	207.6	25.0	204.9	36.1	203.0	47.2	201.6	54.6	200.8	62.0	200.0
2006	8.2	208.1	19.3	204.6	36.0	201.4	52.7	199.3	69.3	197.7	80.4	196.9	91.6	196.2
2007	10.0	206.3	24.8	202.0	47.0	198.6	69.2	196.5	91.4	194.9	106.3	194.1	121.1	193.4
2008	11.7	204.6	30.2	199.9	58.0	196.4	85.8	194.3	113.6	192.8	132.1	192.0	150.6	191.3
2009	13.4	203.1	35.7	198.1	69.0	194.6	102.3	192.5	135.7	191.0	157.9	190.2	180.1	189.6
2010	15.2	201.8	41.1	196.6	80.0	193.0	118.9	191.0	157.8	189.6	183.7	188.8	209.6	188.2
2011	16.9	200.5	46.6	195.3	91.0	191.7	135.4	189.7	179.9	188.3	209.5	187.6	239.1	187.0
2012	18.7	199.4	52.0	194.1	102.0	190.6	152.0	188.6	202.0	187.3	235.3	186.6	268.7	186.0
2013	20.4	198.4	57.4	193.0	113.0	189.6	168.6	187.7	224.1	186.3	261.1	185.7	298.2	185.1
2014	22.1	197.5	62.9	192.1	124.0	188.7	185.1	186.8	246.2	185.5	287.0	184.8	327.7	184.3
2015	23.9	196.6	68.3	191.2	135.0	187.9	201.7	186.1	268.3	184.8	312.8	184.1	357.2	183.6
2016	25.6	195.9	73.8	190.5	146.0	187.2	218.2	185.4	290.4	184.1	338.6	183.5	386.7	182.9
2017	27.4	195.1	79.2	189.8	157.0	186.5	234.8	184.7	312.6	183.5	364.4	182.9	416.3	182.3
2018	29.1	194.5	84.7	189.1	168.0	185.9	251.3	184.2	334.7	183.0	390.2	182.3	445.8	181.8
2019	30.9	193.8	90.1	188.5	179.0	185.4	267.9	183.6	356.8	182.5	416.0	181.8	475.3	181.3
2020	32.6	193.2	95.6	188.0	190.0	184.9	284.4	183.1	378.9	182.0	441.9	181.4	504.8	180.9
2021	34.3	192.7	101.0	187.4	201.0	184.4	301.0	182.7	401.0	181.5	467.7	180.9	534.3	180.4
2022	36.1	192.2	106.4	187.0	212.0	183.9	317.6	182.3	423.1	181.1	493.5	180.5	563.9	180.0
2023	37.8	191.7	111.9	186.5	223.0	183.5	334.1	181.9	445.2	180.8	519.3	180.2	593.4	179.7
2024	39.6	191.2	117.3	186.1	234.0	183.1	350.7	181.5	467.3	180.4	545.1	179.8	622.9	179.3
2025	41.3	190.8	122.8	185.7	245.0	182.7	367.2	181.1	489.4	180.1	570.9	179.5	652.4	179.0
2026	43.0	190.3	128.2	185.3	256.0	182.4	383.8	180.8	511.6	179.7	596.7	179.2	681.9	178.7
2027	44.8	189.9	133.7	184.9	267.0	182.1	400.3	180.5	533.7	179.4	622.6	178.9	711.4	178.4
2028	46.5	189.6	139.1	184.6	278.0	181.7	416.9	180.2	555.8	179.1	648.4	178.6	741.0	178.1
2029	48.3	189.2	144.6	184.3	289.0	181.4	433.4	179.9	577.9	178.9	674.2	178.3	770.5	177.9
2030	50.0	188.8	150.0	183.9	300.0	181.2	450.0	179.6	600.0	178.6	700.0	178.1	800.0	177.6

2003年の累積生産量=15万台

2015年の生産量を想定して各年にふりわけた

生産量のうち国内むけ50%、輸出は50%とする

普通自動車とのコスト差部分(28%)に進歩指数=0.9、b=-0.152を適用した

2030年での計算結果をみると、学習曲線によるコスト低下は自動車コスト全体のうちの60万円部分についてしか適用できないので、それほどコスト低下が生じない。自動車の基本部分(車体と駆動部分)が不変のためである。ちなみに2009年のわが国の乗用車の生産台数は、6,862,161台であり⁶、この数値と比較すると表中の生産台数450万台~800万台は、市場の車のほとんどすべてが、ハイブリッド車になっていることに相当する。

ちなみに、2008年度のハイブリッド車の出荷台数は121,101台であり、表中2030年生産台数50万台のペースで現在増加している⁷。

⁶ 財) 日本自動車工業界 <http://www.jama.or.jp/stats/product/20100129.html>

⁷ 財) 日本自動車工業界 <http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/200911/08.html>

3.3 プラグインハイブリッド車のコストと普及台数の関係

プラグインハイブリッドは、ハイブリッドカーに少しだけ大きめのバッテリーを搭載して、家庭用電力から充電して、航続距離を伸ばす方式である。搭載するバッテリーは、電気自動車に搭載する規模より小さく、3kWh から 9kWh 程度であろう。家庭用電力からの安全な充電装置が普及の鍵を握っている。電力からモータへの効率が、内燃機関と比較して高いので、電気代が増えるが、ガソリンよりも経済性は高いと期待される。

ここでは、バッテリーのコストと寿命が課題となろう。ハイブリッドカーに使用されるバッテリーは、充放電深さが浅いが、プラグインハイブリッドでは、放電が深くなるためバッテリー寿命が懸念される。バッテリーコストは、1 台あたり+35 万円と仮定したが、これも比較的大きな負担になる。

ここでは、プラグインハイブリッドは、ハイブリッドカーの計算を準用して、2008 年から生産し、ハイブリッドカーの 1%で立ちあがり、2030 年には、ハイブリッドカーの 15%まで普及するものとして計算を行った(表 3.3.1)。

表 3.3.1 2030 年までの計算結果 (プラグインハイブリッドカー)

プラグインハイブリッドカー

2030年の生産量を変えた場合に生じる年間生産量と1台あたりコスト

2030年 の生産 量(万 年	7.5		22.5		45		67.5		90		105		120	
	生産 台数	コスト (万円)	生産台 数(万	コスト (万円)	生産台 数(万	コスト (万円/	生産台 数(万	コスト (万円)	生産台 数(万	コスト (万円)	生産台 数(万	コスト (万円/	生産台 数(万	コスト (万円)
2008	0.038	239.6	0.066	234.9	0.108	231.4	0.149	229.3	0.167	227.8	0.197	227.0	0.222	226.3
2009	0.377	227.4	1.086	220.8	2.149	216.6	3.210	214.2	4.250	212.3	4.961	211.5	5.666	210.8
2010	0.716	222.6	2.105	215.9	4.189	211.8	6.272	209.6	8.334	207.7	9.725	206.9	11.111	206.3
2011	1.056	219.4	3.125	212.7	6.230	208.7	9.333	206.5	12.417	204.7	14.488	204.0	16.555	203.3
2012	1.395	217.0	4.145	210.3	8.270	206.3	12.395	204.1	16.500	202.4	19.252	201.7	22.000	201.1
2013	1.734	214.9	5.165	208.3	10.311	204.4	15.456	202.3	20.584	200.6	24.016	199.9	27.444	199.3
2014	2.073	213.2	6.184	206.6	12.351	202.8	18.517	200.7	24.667	199.0	28.780	198.4	32.889	197.8
2015	2.412	211.7	7.204	205.1	14.392	201.4	21.579	199.3	28.750	197.7	33.543	197.1	38.333	196.5
2016	2.751	210.4	8.224	203.8	16.432	200.2	24.640	198.2	32.834	196.6	38.307	196.0	43.778	195.4
2017	3.091	209.1	9.244	202.7	18.473	199.1	27.702	197.1	36.917	195.6	43.071	195.0	49.222	194.4
2018	3.430	208.1	10.263	201.7	20.513	198.1	30.763	196.2	41.000	194.7	47.835	194.1	54.667	193.5
2019	3.769	207.1	11.283	200.7	22.554	197.2	33.825	195.3	45.084	193.8	52.599	193.2	60.111	192.7
2020	4.108	206.1	12.303	199.9	24.595	196.4	36.886	194.5	49.167	193.1	57.362	192.5	65.555	191.9
2021	4.447	205.3	13.322	199.1	26.635	195.6	39.947	193.8	53.250	192.4	62.126	191.8	71.000	191.3
2022	4.787	204.5	14.342	198.3	28.676	194.9	43.009	193.1	57.333	191.7	66.890	191.2	76.444	190.6
2023	5.126	203.8	15.362	197.6	30.716	194.3	46.070	192.5	61.417	191.1	71.654	190.6	81.889	190.1
2024	5.465	203.1	16.382	197.0	32.757	193.7	49.132	192.0	65.500	190.6	76.417	190.0	87.333	189.5
2025	5.804	202.4	17.401	196.4	34.797	193.2	52.193	191.4	69.583	190.1	81.181	189.5	92.778	189.0
2026	6.143	201.8	18.421	195.8	36.838	192.6	55.254	190.9	73.667	189.6	85.945	189.0	98.222	188.5
2027	6.482	201.2	19.441	195.3	38.878	192.1	58.316	190.4	77.750	189.1	90.709	188.6	103.667	188.1
2028	6.822	200.7	20.461	194.8	40.919	191.7	61.377	190.0	81.833	188.7	95.472	188.2	109.111	187.7
2029	7.161	200.1	21.480	194.3	42.959	191.2	64.439	189.6	85.917	188.3	100.236	187.8	114.556	187.3
2030	7.500	199.6	22.500	193.9	45.000	190.8	67.500	189.2	90.000	187.9	105.000	187.4	120.000	186.9

2008年にハイブリッドカーの1%で立ち上がるものとした

2030年にはハイブリッドカーの15%に達すると想定して各年にふりわけた

ハイブリッド車とのコスト差部分(35万円)に進歩指数=0.9、b=-0.152を適用した

プラグインハイブリッド車の価格も、2030年に100万台前後の生産台数になれば、ガソリン車(156万円)との価格差も30万円程度と小さくなっていく。この程度になると、ランニングコストがガソリン車に比較して安価であるため、ガソリン車との価格差異はほとんどないと考えられる。

3.4 CEV 普及のストーリー

これらの知見をもとに、EVの普及に関して考えられる一つの“ストーリー”を以下に示す。

- 1) ハイブリッド車の車種が増え、その普及が拡大する。2030年には、市場の多くを占める。
- 2) ハイブリッド車の電池容量が拡大し、モーターのみで走行可能なプラグインハイブリッド車の普及が始まる。
- 3) プラグインハイブリッド車の普及に伴い、電池コストの低下、電池性能の向上、モーター走行の快適性への認知が進む。
- 4) プラグインハイブリッド車の普及に伴い、電池価格が低下し、安全性・充電インフラ等のEV移行への障壁が小さくなり、その普及が拡大する。

現状のガソリン車の性能・価格をベースとして、それと“同等”の性能・価格のEV車を実現するには、電池等で技術的なブレークスルーがあったとしても、その本格的な普及は、先の話となる(例えば2030年頃)。それは、ハイブリッド車が市場に投入されて生産台数が12万台に達するのに約10年の歳月を要したことからも明らかであろう。

4. 社会が変わる

これまでEVの普及を、従来のガソリン車並の“性能・価格”を念頭において、そのレベルに新技術が到達して初めて社会に受け入れられると考え議論した。これは、車に対する消費者のニーズは今後も変わらない、車での移動の必要性、ドライブを楽しむ嗜好、所有する優越感、所有することへの憧れ等は今後も変わらないことを前提としている。すなわち、ユーザの一日あたりの走行距離のほとんどが80km以内で、また一回あたりの走行距離は20km以内が平日で70%程度であるにもかかわらず“航続距離500km以上”の車を欲する、平均乗車人数は1.3人であるにもかかわらず“4~5人搭乗可能な”車を欲しがると、国内で高速運転する機会は少ないものの“高速で走れる車”を欲しがるとの購買欲求は今後も“不変”だとしている。もし、このような購買欲求が、高度経済成長や経済バブルを体験した“世代”特有のものであり、今後車に対する欲求が大きく変わるとすると、EVを普及させるための施策には別の視点が必要となろう。

4.1 消費者動向

最近の国内販売台数をみると、軽四輪の台数はそれほど減少していないが、全体としては大きな減少傾向にある（図4.1.1）。

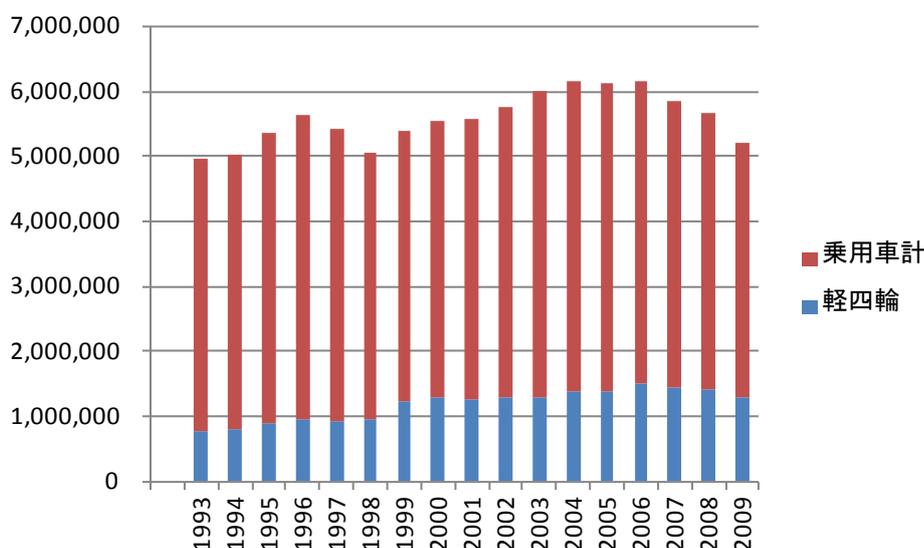


図 4.1.1 国内の自家用自動車販売台数推移

その理由として、景気の悪化、個人所得の伸び悩みなどの理由が第一に考えられるが、世代別のマーケット調査からは別の要因が浮かびあがる。若い世代の“車離れ”である。図4.1.2に各代表世代の自動車保有率を示している⁸。ここから明らかに読み取れるのは、若い男性の車の保有率が著しく低下していることである。これは、かつて“デートカー”

⁸ <http://www.nikkeibp.co.jp/news/manu07q4/548386/>

と言われた2ドア車／スポーツタイプの販売台数が、1990年をピークに急激に減少していることから明らかである⁹。

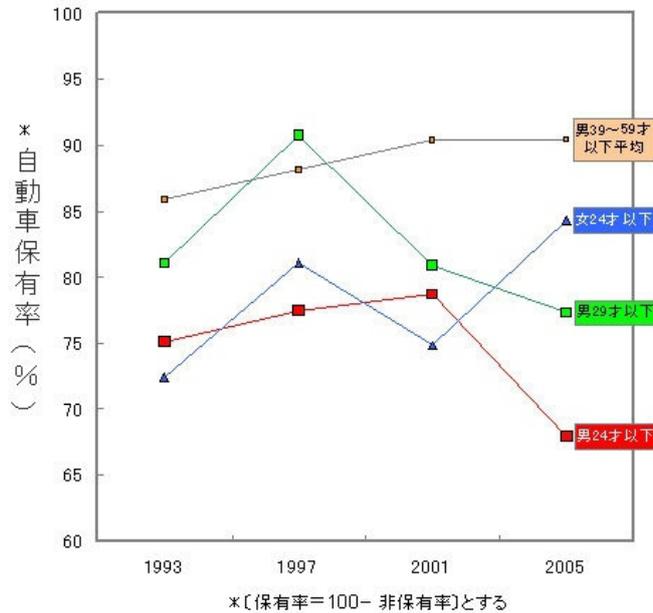


図 4.1.2 各世代の自動車保有率

4.2 若者の車離れ

“2008年度乗用車市場動向調査”では¹⁰、18歳～24歳の若者と車とのかかわり方の変化とその要因を分析している。結果、特に関心度が低いのは、大都市に住む男性であった。他方、女性や地方居住者の関心度や購入意欲は高く、以前の世代に比べて同程度の水準であった。以前の若者に比較して、関心が高くても強い購入意欲は低下しており、購入予定時期の先延ばしの傾向が見られた。また、若者が車に感じる“効用”や“負担”には変化が見られ、この変化の背景には、以前とは異なる社会・経済環境下で育ち、独自の価値観、生活特性を持ち、幼い頃から様々な製品・サービスに触れてきた世代特性の影響を指摘している。そして、再び若者の車に対する関心を高め、彼らの購入台数を増加させるためには、以下の取組みが必要だと結んでいる。

1) クルマに求められる新たな効用

エントリー世代（18歳～24歳）はクルマの利便性については強く感じており、これが効用の中心となっている。一方で、エントリー世代のクルマに対するニーズを見ると、彼らの価値観・行動に合わせた新たな潜在的効用が求められており、この実現によりクルマの魅力を再び上げることが可能と思われる。具体的には「情報化」「自動化」「環境」の方

⁹ 三浦展、シンプル族の反乱、KKベストセラーズ、2009年1月

¹⁰ 社団法人 日本自動車工業会

向での高度化などであり、過剰な走行性能や高級化へのニーズは減退していくと考えられる。

2) クルマを取り巻く環境改善

クルマを所有するためには、経済的、労力的に多大な負担を背負わなければならないが、この負担を軽減するためには自動車関連諸税の軽減、免許取得の簡素化、交通インフラの高度化などが効果的であると思われる。

車を始めとする“モノを欲しがらない若者”に関する書籍も増えている。三浦氏は著書で、2ドアのスポーティーカーが、1990年の販売台数30万台弱から2007年の数万台まで減少した点に注目している。このタイプは“デートカー”と呼ばれて、若い男女が遊びに行くときに必須の車と言われたものである。実際にアンケートをとると、デートに車が必要であったという男性は30~44歳では50%以上いるが、18~19歳の独身男性でデートに車が必要であると回答するものは15%まで減っている¹¹。

山岡氏は著書で、若者の消費行動を「車に乗らない、ブランド服も欲しくない、スポーツはしない、酒は飲まない、旅行はしない、恋愛には淡泊、貯金だけが増えていく」と表現している¹²。そして、最近のメーカの宣伝での、走る商品ではなく、「仲間とまったりくつろぐ空間」としての訴求は、外観や「走り」に興味をもたない若者への対応であると述べている。松田氏は著書¹³で、世代別のマーケット調査より、商品のプロダクトライフサイクルを（導入期、成長期、成熟期、衰退期）売り手視点の市場の成長性ではなく、消費者の関心と購入経験から見ている。断層世代（1951年~1960年生まれ）と、バブル後世代（1979年~1983年生まれ）とでの比較では、潜在需要（高関心、低購入）に断層世代の男性では、“AV機器”や“自動車”などが入るのに対して、バブル後世代では潜在需要の領域には何の品目も入っていない。バブル後世代の男性では、車は停滞需要（低関心、低購入）の領域に位置している。全体的に見ればバブル後世代の、3K（車、家電、海外旅行）嫌いは明らかであると述べている。その要因として、バブル後世代が育った社会・経済環境がある。例えば、彼らは給与や土地の価格が毎年上がるという右肩あがりの経済を幼少期に経験し、モノに囲まれて育った。学生時代にはバブルの崩壊を経験し、経済の縮小の印象を強く持っている。右肩下がりの経済なら、すぐ購入せず、“待つ”ことが得となるであろう。また、インターネット、PC、および携帯電話の普及に大きく貢献し世代でもある。

前述の調査は、今後、車に対するニーズがこれまでとは大きく変化する可能性を示唆している。これまでの車は、白物家電のように“ただ走ればよい”存在となり、新たな効用を付加しないと“車の購入”や“使用”に対する欲求は低下する一方となる可能性である。

¹¹ 同9

¹² 山岡拓、欲しがらない若者たち、日経プレミアシリーズ、2009年12月

¹³ 松田久一、「嫌消費」世代の研究、東洋経済新報社、2009年11月

これは、環境面からは好ましいが、産業面からは好ましいと言えない。これを解決する手段の一つが、EV 社会と考えた。

4.3 EV100%社会を想定

今回の調査研究の対象としたのは、CEV の中で“電気自動車 (EV)”である。これは：
1) “従来のガソリン車 (内燃機関)”とは大きく異なる方式であり、その普及は単なる“ガソリン車の代替”に留まらず、分散エネルギーの拡大 (大型電池の家庭普及による) と密接な関連をもつ等、われわれの生活スタイルや行動を大きく変えるポテンシャルをもっている、

2) パソコンなど IT 機器の利用拡大によりリチウムイオン電池の性能や価格の改善が著しく、現時点では、燃料電池に比べ早期の普及が期待される、

3) 若者の価値観・行動に合わせた新たな潜在的効用を満たす商品を実現できる“柔軟性”のあるシステムである、

等の理由による。この場合 EV 車は、従来のガソリン車と“同等の性能・価格である”必要性”はない。

図 4.3.1 は、本調査研究の基本概念である。図中、社会 A は、従来ガソリン車の“高速で長距離移動できる、自分のスペースを持ち自分で操れる”という価値が今後も高まり、それを EV が代替するという社会である。従来の社会トレンドに技術が適合する“社会に技術を合わせる”との発想である。これまでの多くの技術開発の基本となる考えである。一方、社会 B は、従来のガソリン車とは異なる特性で EV が選択され、それにより社会が変わるという、“技術に社会が適合する”という考え方である。後者は、“技術の進歩”が必要ないことを示唆しているのではなく、社会に適合するために従来とは異なった視点からの技術開発が必要であることを意図している。

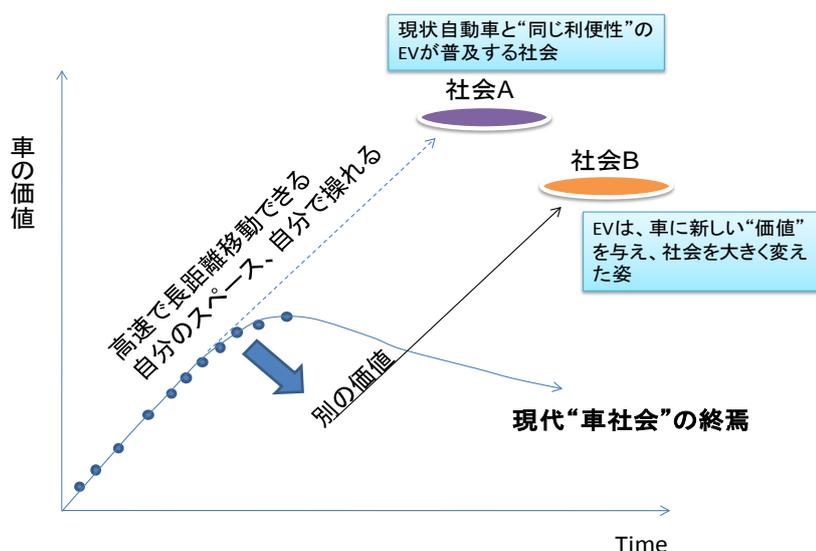


図 4.3.1 クルマに対する価値のパラダイムシフト

本調査研究では、後者の考え方に沿って、EV 社会を描写した。社会描写では、“現在の社会が EV100%社会なら”との前提を置いた。想定時期を未来ではなく、“現在”と置いたのは、技術進歩の時間的な曖昧さに引きずられることを排除するためである。“現在”を考えても、現在プロトタイプとして既に出現している技術は、その社会イメージの中に入ってくる。技術が社会に普及するには10~20年の年数を要するので、“現在の100%社会”を考えることは、結果として10~20年後の社会を描いていることに相当する。ただ、基本技術において（本研究の場合、電池技術などであるが）革新的な進展が見られない場合の未来社会ではあるが。“現在”が“EV100%社会”という2つの極端条件を想定することで、これまで長く続いた車社会に捕らわれない“自由な発想”が可能となると考えた。

5. EV100%社会の描写

社会描写においては、シナリオ・プランニングおよびブレインストーミング手法を活用した。シナリオ・プランニング手法とは、未来の不確定要素から注目すべきものをいくつか選択し、そのインパクトの大きさと組み合わせ方でできる複数のシナリオを描く分析手法である。世の中の変化動向には、社会、経済、政治、技術、環境など多様な要素がある。これらの要素は、未来に起こることがほぼ確実な要素（現在見えているトレンド）と、どちらの方向に進行するかが不確定な要素（予測不能、選択の余地がある）に分けられる。このうち不確定要素に着目し、その中から大きな影響を与えそうな注目すべき重要な要素を、二つまたは三つ抽出し、それらをドライビング・フォース（推進力）とする。ドライビング・フォースは、シナリオの筋書きを動かし、物語の結末を決定する要因となり、これがシナリオの軸となる。ドライビング・フォースがプラスまたはマイナスにどのくらい変化するかによって、社会の姿が大きく異なる。シナリオ軸が 2 軸の場合は、四つの社会像が描けることになる。

今回選択した“不確実な要素”の一つは、“車による移動”に関連した軸である。車を使った移動距離は現状と同程度なのかそれとも減少するのかを想定した。自動車用石油の需要は、2005 年より明らかな減少傾向にある。これは、国内の自動車保有数はこの間増加しているもので、単純に考えれば、一台あたりの走行距離は減少していることになる。若者の車離れ、高齢者人口の増加など様々な要因が考えられる。この傾向が今後とも続くのか、それとも回復するのか。もう一つの要素は、“車”のもつ価値である。EV は排ガスを出さないためクリーンであるが、これはすべての象限に共通である（EV100%社会を前提としている）。居住性・走行性に関連した“従来の車の価値”はそのままなのか、それとも EV のシステムの柔軟性により車に新たな価値が加わり、現状の車とはまったく異なる姿になっているのかを考えた（図 5.1）。

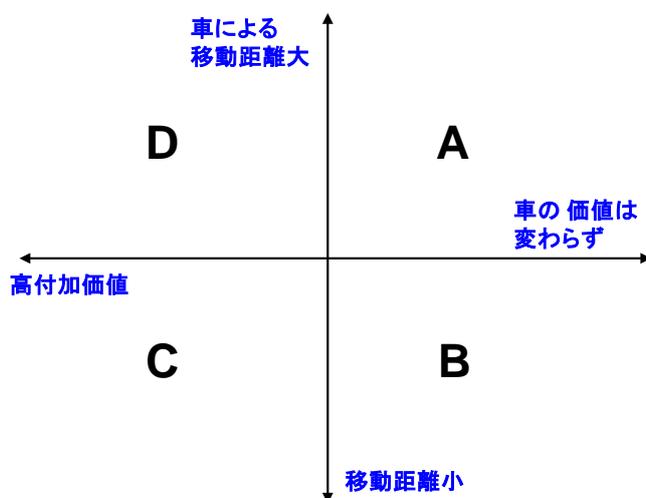


図 5.1 シナリオプランニングにおける 4 つの社会像

シナリオ作成は、2日間合宿形式で行い、図 5.2 のように、2つのチームでそれぞれ4つの社会を描写したそれぞれの象限の社会を特徴づける名前を各社会像につけた（詳細は、参考のページを参考）。

	A	B	C	D
チーム 1	現状自動車社会の継承	グリーンコンパクトシティ	多機能自動車社会	近距離公共交通駆逐社会
チーム 2	技術シフト社会	メリハリ移動社会	生活融合型車社会	高度モビリティ社会

図 5.2 各検討チームにおける4つの社会像

2つのチームで、社会像に大きな差異はなかった。その本質は共通であり、EVの特性（クリーンである、ITとの親和性が強まる、移動の柔軟性（自由度）が高まる）を最大限活用して、“移動”という手段をより“多くの人に開放”しつつ地球環境への影響を最小化することを目指したものであった。都市という環境をより快適に、暮らしやすく、そして魅力ある場所へと変えること、人々の Quality of Life (QOL)を向上させる社会であった。

以下では、チーム1の4つの社会像を中心に紹介する（チーム2の社会像は、後述）。ここで、基本となるEVの諸元を定める（表 5.1）。

表 5.1 EVの基本的特性

電力 1kWh あたりの走行距離	10km・ton/kWh
バッテリー1kWh あたりの重量	12.5Kg/kWh
バッテリー1kWh あたりの価格	20 万円/kWh

これらのパラメータは、現状のEVの特性から求めたものである。価格以外は、これらの特性を念頭に置き、社会を描写した。価格については、自動車が100%EVに置き換わっているという前提を考慮し、生産台数が多くかつ学習曲線に従い価格は低下するとの仮説を用いた。

5.1 現状自動車社会の継承社会 A

これは、電気自動車で現状の車社会と同様な利便性を実現した社会である。現状のEV車の欠点である、“航続距離が短い”、“価格が高い”を社会インフラやビジネス形態で補完する。現状では、航続距離は最大200km（10・15 電費：20kWh）で、価格は約200万円と高い（小型 or 普通車）。ただし、EV100%であるということは、生産量は年間約500万台に到達しているの、価格については学習曲線を用いて低下させ、現状ガソリン車に比べて40～80万円高いと考えた（初期生産台数2万台、進歩指数0.8～0.9で試算）。すなわち、現状の自動車より、航続距離は200kmと短く、価格は40～80万円高い車を消費者が選択している社会となる。ランニングコストは、EV車ではガソリン代に比較して大きく低下するので、この購入時の価格差は非常に小さいものとなる。

10・15 燃費で航続距離が200kmであることは、実走行では100km程度と考えられる。走行距離20km以内が平日で70%程度であるので、大半の車が家庭で充電することになる。高速道路では、SA/PAでの充電が主体となる。国内全長距離7,000kmで現在758カ所が営業している。この数値を上り下りで二分し、平均すると約20kmに一カ所のSA/PAがあることになる。数値的に考えるとここでの充電で十分ではあるが、安心のため、所々に非接触充電レーンが設けられている。走行中の車への充電は、1980年代に米国のPATH (Partners for Advanced Transit and Highways) プロジェクトで道路に埋め込んだケーブルからの高周波の電磁誘導で走行中の車両に充電するシステムがある。実験は成功したものの漏れ磁束が大きく実用には至らなかった¹⁴。新しい方式としては、磁場結合共鳴方式がある。2007年MITのMarin Soljacic 教授の研究チームが2m離れた距離で60Wの電力を送ることに成功している¹⁵。この方式の発展により、走行充電が可能となることが期待される。非接触充電した代金はETC高速料金に課金される。また、軍事関連で、航空機や船舶を対象に実際に行われている走行中の燃料補給もEVで実現している。電池残量が少なくなり、近場にSA/PAや充電レーンが無い場合、電気供給車と呼ぶ。電気供給からアームが伸び、EVの充電プラグに接続される。充電中、EV車と電気供給車は通信によって走行を同期させる。SS（サービスステーション）は、2006年45,992カ所全国に存在する。一カ所当たりの可住地面積は、2.6平方キロメートルである¹⁶。SSはすべて充電スタンドに変わる。フル充電（20kWh）の電気代は、現在の電気料金では200円～400円程度であるので、“高速充電”の付加価値をつけても、充電だけでのビジネスは難しいであろう。現在のガソリン・軽油供給設備を充電スタンドに置き換えたことで生まれたスペースで、カフェ・レストラン・書店など新しいビジネスが行われている。これらをチェーン店とした場合、日本最大のチェーンとなる。コンビニエンスストアは全国で各社会わせて3万店程度であるので、“4万6千店”の規模の大きさがわかる。EVや充電機器（非接触充電を含む）の普及には、国費

¹⁴環境・電池の技術ロードマップと利用シーンの将来像、日経BP社、2009年

¹⁵ <http://web.mit.edu/newsoffice/2007/wireless-0607.html>

¹⁶ ヒアリング資料参照

があてがわれることになるが、EV社会になることにより負担が減る項目を明確に意識する必要がある。車による大気汚染が無くなる、これによる疾病（喘息）が無くなることによる負担の軽減はどの程度であろうか。最近のデータはないが、1973年に日本の経済審議会NNW開発委員会が発表した昭和45年度の環境汚染に関連した費用約6兆円、都市化に伴う損失約1.2兆円から類推すると、10兆円は下らないのではないか。今後EV社会実現による社会コストの削減費用に関して詳細な調査が必要である。

この社会でEV車を製造しているのは、自動車メーカーであろう。それは、高速走行での安全性に関するノウハウを有しているからである。しかし構成材料は、鋼板からCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic）に変わるかもしれない。車体の軽量化により、航続距離の伸びが期待されるからである。また、車がオール電化されることで、情報通信（IT）との親和性はより高まるであろう。ITを活用した故障診断サービスや制御ソフトウェアのアップグレードサービスが提供されるかもしれない。また、車検が定期ではなくIT診断結果を反映した不定期なものとなる。さらに、SSのスペースを使った、全国規模の小売り・飲食ビジネスが期待される。

懸念材料は、大容量バッテリーに関連した“安全性”である。バッテリーの衝撃による爆発、大電流による感電などの事故を防ぐ技術開発が重要となる。もう一つは電力需要である。この社会では、車による走行距離はガソリン車と変わらない。このため、電力需要は年間約500億kWh増加する。この増加は、現在の総発電量の5%程度であり、現有の発電能力で十分まかなえる。しかし、ピーク供給の問題がある。

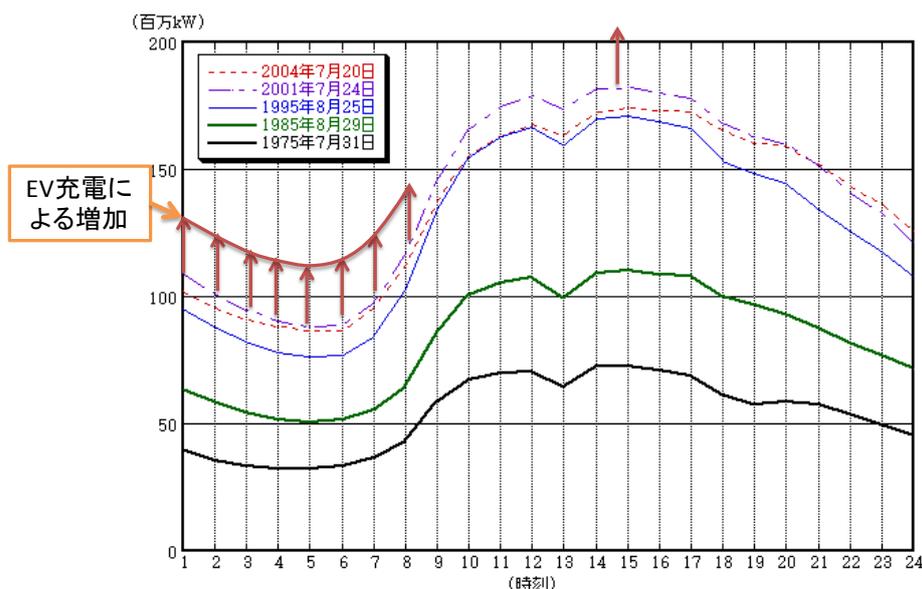


図 5.1.1 夏期の電力需要とEV普及による影響

図 5.1.1 は、夏期の一日の需要量の変化である¹⁷。年間 500 億kWhは、一日当たり約 1.4 億kWhとなる。この電力量を 8 時間で充電すると仮定すると電力は 1,800Wとなる。図 5.1.1 のように夜間の一定時間に充電されれば、需要の平準化につながる。ただしこの夜間電力量は、原子力だけでは不足するので火力が使われることになり、CO₂ 排出原単位 (CO₂/kWh) は悪くなる。仮に 14~15 時の需要のピーク時に急速充電されると、供給能力が不足する可能性もある。いずれにしても充電電力は決して小さなものでないので、非接触充電、急速充電および家庭での充電を、電力需要量と適応するためには、“電力ポケット”のような概念、すなわちEVとコンセントが接続された状態で、ある単位電力量毎に分散して電力を供給する仕組みが実現しているかもしれない。

この社会では、太陽光発電システムの普及が加速する。それは、家庭の電力消費量が増加し、システムの購入費用を回収できる年数が短くなるからである。



図 5.1.2 社会像 A のイメージ

¹⁷経済産業省、エネルギー白書 2007 年版 (2007)

5.2 “グリーンコンパクトシティ” 社会 B

これはAの“現代車社会の継承社会”とは、全く異なる社会である。コンパクトにまとまった街に、近距離移動用の小型で低速なEVが走行している。パーク&ライドが一般的であり、人は駅まで低速なEVで移動し、駅前でその車を乗り捨てる。その車は、無人で駅付近の駐車場に移動し止まる。車は、駐車場でコンパクトな形に変形するため、従来に比べて高密度で駐車できる。また、低速で走るため高齢者や若年層でも運転できる。街中は騒音もなく空気がきれいで、現代の都市とはまったく異なる様相をもつ。街中の移動体が低速であるため、人々はゆったりした感覚を持って暮らしている。EVは従来のガソリン車とまったく異なる形態である。人と衝突しても人を殺傷しない速度およびショック緩衝機構をもっているため安全である。また、車体も軽量化でき、移動距離も短いためバッテリー容量を小さくできる。安全基準が大幅に緩和されるため、自動車会社に限らず車を製造できるようになる。このため、日本の産業構造は大きく変わった。電子・電機メーカ、およびロボットを開発している機械メーカの参入が増えた。この社会では、長距離移動は公共交通、中距離の移動には中距離移動のEVタクシーが活用されるようになっている。田舎では、EVコミュニティーバスが運用されている。京都や奈良などの観光地では、静かでクリーンな街となるため観光の魅力が増し、これによる収入が増加した。また、東京のようなメガシティでも、EV車と人が現在車に占有されている道路を共有できるため、街中の至る所にコミュニティができていく。このシナリオでは交通事故がほとんどなくなるため、約5兆円の社会的損失を防ぐことができる¹⁸。

自動車保有台数は、ドライバーの年齢層も拡大し、また現在の若者が“車を所有したくない”理由の一つに挙げられる車に対する負のイメージ（地球環境に悪い、維持にお金がかかる、事故などのリスクが高い）を払拭できるため、さらに安価でファッション性の高い車の出現により年間購入台数は増加する¹⁹。これにより、自動車保有台数は6,000万台に増加する。

この社会実現の施策としては、無人駐車システム技術、衝突しても安全なショック緩和技術、また低速の車が多くの人に活用できるようにするための規制の緩和、およびコンパクトシティ設計技術であろう。

¹⁸ <http://www8.cao.go.jp/koutu/chou-ken/sonshitsu.pdf>

¹⁹ 2008年度乗用車市場動向調査、日本自動車工業界、2009年

コンパクトシティと電気自動車

慶應義塾大学 中野 冠

電気自動車は、その環境性能と短距離性を考えれば、コンパクトシティと相性が良いと考えられる。コンパクトシティには多様な定義がありうるが、ここでは主として徒歩および人間と共存できる安全な乗り物を用いて日常生活で基本的に必要な移動ができる街、とする。コンパクトシティの例として、ヨーロッパにおける **Light Rail Transit (LRT)** を活用した都市構造が参照されることが多い。特に、フランスは、リヨン、ナント、オルレアン、サンテチェンス、モンベリエ、グルノーブル、ストラスブルグ、ボルドー、カーンなどの都市がデザインの異なる **LRT** を使用するなどコンパクトな街づくりを競っていることで知られている。これらの都市の中で、赤ワインで日本人にもなじみの深いボルドー（ボルドー市人口約 23 万人、ボルドー都市圏は約 80 万人）を取り上げて、コンパクトシティに適する自動車として電気自動車の可能性を述べる。

ボルドーは世界遺産に指定されており、市の半分にあたる 1,810 ヘクタールが対象になっている。歴史地区である旧市街では一般の車両は通行が制限されている。ボルドー空港からのシャトルバスは歴史地区の外に泊まるので、歴史地区内のホテルにはバス停から歩くことになる。我が国でも、駅前商店街や観光地で私有自動車が制限されている場所がある。ボルドーの歴史地区もそれとよく似た雰囲気がある。



写真 1. ボルドー旧市街

ボルドー歴史地区はほぼ円形をしており、直径分が歩いて約 20 分あり、我が国の一般の市街観光地より私有車禁止区域が大きいと思われる。歴史地区で数日過ごした後に、空港に行くために車両禁止区域外に出たとたん、その喧噪と排ガスに圧倒されることになる。その時、多くの人には、排ガスや排気音を出さない電気自動車だけの街がどれだけ魅力あるものであるか実感できるだろう。

ボルドーでは、電車である LRT が運航され、市民や観光者の足となっている（写真 2）。歴史地区では、景観を保つため架線はなく路面から充電しており、郊外に出ると架線が出てくる。路面からの充電方法は、地上集電式架線レスである^[1]。架線がない部分は極めて低速で、LRT の前を横切っても危険を全く感じない。クルマと共存する郊外に出ると、スピードが上がる。LRT の料金は安く、2009 年 9 月現在、5 日間で 4.8 ユーロだった。他に移動手段がないこともあって、LRT は終日混んでおり、座れない場合も多い。驚いたことは、歴史地区や LRT 内で、妊婦、乳母車、杖をついた老人をたびたび見たことである。クルマがなく、低速 LRT の街がどんなに人にやさしいかを体験できる。



写真 2. ボルドーを走る LRT

景観のために架線をなくすことは、歴史的価値のある建物が多いヨーロッパの国だから良いのであって、新旧の建物が乱立する日本ではその価値が低いと考える向きもあろう。また、比較的小規模な集落が飛び飛びに存在するヨーロッパと異なり、日本は平面的に街が広がるため、LRT だけで済ますことが難しいという指摘もあろう。しかし、騒音と臭気のない街、安全な街がどんなに住みやすいか、我が国でもその利点は十分想像することができよう。技術的な解決策として、LRT の代わりに道の中央を一方向に縦列自動走行する軽量電気自動車を考えれば、LRT よりも柔軟

かつ平面的な交通網を構築できる可能性がある。

ボルドー歴史地区では、観光客が非常に多いにもかかわらずそれほどの混雑を感じない。もし中央を自動車が走る道路があったならばとても狭く感じるだろう。日曜日の東京・銀座を想起すればわかる。もちろん、静かな町には人とクルマがぶつかりあわないように、クルマの数を制限することが必要である。例えば、コンパクトシティでのクルマは、小型軽量低速の電気自動車に限定され、妊婦、老人、子供、障害者などいわゆる交通弱者と荷物を持つなどして臨時に必要な乗客を乗せるレンタカーやタクシーが主流になる場面を予想することができる。

[1] 国土交通省都市・地域整備局,まちづくりと一体となった LRT 導入計画ガイダンス, <http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/guidance/pdf/01top.pdf>, 平成 17 年 10 月,



図 5.2.1 社会像 B のイメージ

5.3 多機能自動車社会 C

移動に関しては、必ずしも“低速”は要求されないものの、B“グリーンコンパクトシティ”社会と似ている。しかしEVの生活での活用は、前社会ではあくまで移動手段であったものに対して、大きく拡大する。排気ガスを出さない、電源を有しているというEVの特性が最大限に活用され、家と一体化して用いられるようになった。家の中に入り、自分の部屋として活用する人、アパートのように点在する共同の風呂・キッチン・トイレ・コインランドリーを備えたステーションに、EVをドッキングして暮らす人が出現した。後者は、移動する家である。EVの中には、テレビ・パソコンなどが搭載され、インターネットももちろん利用できる。好きな場所で暮らすことがブームとなっている。このため、住所という概念はなくなり、GPSで経緯度で住所を登録している。住所・氏名・年齢などで個人を特定し管理できなくなったため、国民各人にIDが振り分けられた。また、自治体の概念は残るが、公共サービスの多くは国から直接受ける形態となった。当然のことながら、住民税と自動車税は一体となっている。

自動走行モードがあり、低速ではあるが自動で走行可能となっている。このため、移動が不自由になった高齢者の移動手段や子供の安全確保のシェルターとしても活用されている。また、飲酒後も自動走行モードで帰宅できる。

自動車産業に、電気・電子、機械だけではなく住宅メーカーや家具メーカーなども参入してきた。さらに、不動産業や住宅メーカーは競ってEVステーションを建築している。病院や介護ホームは健康チェック機能を備えた低速・自動走行のEVを所有し、急増した高齢者で不足していたベッド数や居住者数を補完している。また、従来外出が不自由であった高齢者の移動が自由になったため、高齢者にとっても生き甲斐がある社会となった。高齢者向けEVには健康チェック機能が搭載されており、緊急時には病院と通報され病院に自動誘導される。また、仕事では移動SOHOとしても活用できるため大都市では通勤に要していたムダな時間がなくなり、人々はゆったりとした生活を送れるようになった。もちろん、次の日朝早くから仕事がある場合、職場のEVステーションに泊まることも可能である。

この社会を実現する上で鍵となる技術は、インホイール・モータと自動走行技術であった。インホイール・モータは、居住空間の自由度を増す（ドライブシャフトが存在しないため）、およびEVステーションへのドッキングや家の中の移動が容易にするために不可欠であった。また自動走行は、車に搭載されたカメラの画像処理、GPSによる位置情報、および車間通信技術の3つを用いて、低速ではあるが実現された。

飲酒運転が可能となったので、銀座等の夜の街に活気もどった。しかしタクシー産業では近距離利用は無くなり、中距離・長距離利用が中心となった。

この社会で削減できるのは、高齢者医療・介護に要する社会コストである。車の保有台数は、大衆化が進みエアコンやテレビの普及台数に近づく。テレビおよびエアコンの普及は世帯あたり2.43と2.56であったので²⁰、世帯当たり2台とした。世帯数は約4,900万世帯であるので²¹、約10,000万台と現状の2倍弱に増える。

若者（エントリー世代：18歳～24歳）が車に求めるニーズの上位に位置していたのが、“追突防止など、安全な走行をサポートしてくれる”、“他の車とぶつからないように自動感知してくれる”、“運転手のアルコール摂取量に反応して運転が制御される”であった²²。図らずもこの社会は、車離れが著しい現代の若者が車に求める“新たなニーズ”を満たした社会であった。

²⁰ 21年3月消費動向調査

²¹ 平成17年国勢調査より

²² 13と同じ

自動車産業はコンピュータ産業化するか

芝浦工業大学 岡村 宏

コンピュータシステムと自動車の最も大きな違いは、マンマシンインターフェイスの構築のコンセプトが違う点である。コンピュータのインターフェイスの場合は、国際標準規格に準拠するマウスやキーボードのハードベースがあるものの、その大部分は画面とのやりとりで決まる。闊達なカスタマイズは、どのような情報を画面に提示するかで決まり、後付のソフト類でその特徴が支配されている。それに比べ、自動車のマンマシンインターフェイスは、ハードの持つ機能との対応が求められ、コンピュータのように、まず構成構造を固定してからインターフェイスを考えるのではなく、その改善には常にハード面の変更・改善が伴うのが常である。自動車への電子情報やその制御システムが数多く導入され、ソフト面でのコントロールが可能な範囲は少しずつ拡大しているが、軽量化、コストダウン等を行うには、まずハード面の基盤構造の最適化を行い、更に電子制御面での最適化、チューニングが適用される。従って、そのマンマシンインターフェイスをいかに組み上げるか、車としての操作感やフィードバックをどのように設定するかは、従来からの自動車のメーカーにとって差別化の戦略として最も重要な項目である。近年、階層化された部品メーカーは一つ上の製品のレベルで開発提案をしないと生き残れないといわれている。総合電機メーカーにとって、最終製品である自動車の開発におけるマンマシンインターフェイスをどのようにすれば採用してもらえるかは大変興味深いことであるが、なかなか教えてもらえないし、理解するのは難しい。すなわち、これらは、自動車メーカーのアイデンティティーにとって生命線である。同様に、階層化された部品メーカーにとっても、同様なことはいえる。一方、コンピュータ産業では個別のコンポーネントをつなぐインターフェイスは標準化され、そのルールに従えばどのコンピュータメーカーの要求にも一致することができる。後は、各部品メーカーとしてのコスト、性能、信頼性、小型・軽量化、リサイクル性等をがんばればよい。コンピュータのハードの構成は、ほぼ標準化されており、更に各構成部品の性能のバリエーションをどのように組みあわせるかは、ユーザのオーダーエントリーで自由に選ぶこともできるようになっている場合が多い。コンピュータメーカーにとっての最終的なマンマシンインターフェイスは、ソフト面でいかようにも調整が効き、ハード面で縛られることは少ない。従って、ファブレスなメーカーが数多く出現している。更に、OS等のソフト面でも標準化が進み、製品としてのノウハウが蓄積されていなくとも容易にメーカーになることが可能となっている。すなわち、「個」(部品)の最適化は、「集」(最終製品)の最適化と重なりつつある。その結果、

「個」の最適化がどんどん加速し、急激な価格競争に巻き込まれる結果となり、国籍やメーカ系列を乗り越え、グローバル化が浸透している。

自動車産業に取って、現在の状況は、「個」の最適化は「集」の最適化とは一致せず、常に自動車メーカの全体での「集」の最適化に部品メーカの「個」の最適化は支配されてきた。しかし電子制御システムの各部品への浸透は強力に進行しており、部品や自動車全体でのソフト面での割合が徐々に向上しているのが現状である。

電気自動車は、自動車の心臓部である動力源が内燃機関から電動モータに切り替わることで、構成の部品点数や構造の複雑化が大幅に緩和され、後は磁力密度を上げる材料に支配され、誰にでも作れる様相を呈している。トルクと回転数のコントロールは電子制御で行うことができ、その自由度は拡大している。すなわち、ソフト面でのコントロールの比率が大幅に向上した。しかし、静かになった原動機の影響もあり、電動モータの騒音低減はハード面が支配しており、工場等うるさい環境で育った大トルクの電動モータではそのまま置き換えることは難しい。しかし、電気自動車の静けさは、歩行者への車の接近が関知しにくくなり、騒音規制とは逆に人工音を発生させることが必要となっている。現在の自動車に取って静粛性は商品力に直結しており、自動車のハード面での対応が求められるが、人工音によるマスキング効果を導入されるようになると、これらの面でもソフト面での最適化への処置が大きく進むことになる。また、トラクションコントロール等の自動車の挙動のコントロールは、ドライブ感覚での操作性のフィーリングとして自動車のアイデンティティーに深く関わっており、ハード、ソフト面での融合が重要であったが、これも4輪インホイール・モータの出現で自由自在のコントロールがソフト面で可能となる。更に、動力エネルギーとしての二次電池は、ハード面でも構造の複雑さではなく、電子の挙動のコントロールであり、化学的挙動や材料面が強く、標準化と高度化が繰り返す一種の装置産業化し、従来の自動車産業とは独自の動きをするため、ピラミッド形の自動車産業の解体が進むことになる。すなわち、磁気材料とともに、自動車産業にとって材料面での支配力が大きくなり、巨大化した自動車産業の形態が変化するものと考ええる。

ハイブリッドカーに日本の自動車産業は傾倒しているが、この動きは、かなりソフト面へのシフトが進むが、その構成からは、ハード、ソフト面の融合が主力であり、それがより高度に発達したものと見える。従って、外部から参入をするには総合的技術の壁が高すぎ同時に自動車産業の今までの形態をそのまま保持することができ、メーカ、部品メーカ、ガソリンスタンド、ディーラーはそのまま温存できる。電気自動車では、将来電化製品と一緒に売り場に並ぶ可能性もある。

2008年に発売された米国のシリコンバレーのベンチャー企業であるテスラ車は、ロードスターのアッセンブリーを買ってきて、電気自動車として発売をし、好評を博している。米国には十数社の電気自動車のベンチャーが出現しており、GMの凋落に符合

している。このことは、自動車産業がハード面からソフト面へ大きくシフトし始めた兆候と見ることができ、自動車産業のコンピュータ産業化が進み始めたとの見解も出始めている。新しい米国の戦略として、高速充電システムと充電ステーション網の整備が有り、二次電池の一回の充電に対する走行距離をミニマムにする考えもある。ここでも、すべてガソリン車並ではなく、ハイブリッドカーを飛び越えたシフトの可能性は否定できない。搭載する二次電池が少なければ、コスト面、質量面で有利となる。これらの展開では、国際的な充電に対する国際標準規格の競争が重要な意味を持つてくるものとする。

また、最近の中国の上海等でのフル電気自転車（電動アシスト自転車ではない）の普及は自転車の半分まで進んでいるという。ここで用いられているバッテリーは安価な鉛蓄電池が大部分であり、最近はリチウムイオン電池も用いられるようになっている。都市内での内燃機関によるオートバイの乗り入れ禁止の影響といわれているが、すこしお金を出せば手が届く安価な仕様が用意されている。更に、このフル電気自転車は日本と違って、法律上の規制がなく自由である点が普及を後押ししている。最近、中国のベンチャー企業が米国のモーターショーに **Detroit Fish** なるモデル車を出品している。このシリーズの価格設定は、4~6000 ドルであり、原則鉛蓄電池であり、充電時間が4時間で、一回の充電で約150km走り、最高速度は約50km/hである。この仕様は、中国としては上位に位置する電気自動車であり、もっと安価の走るだけの電気自動車にも需要が大きいとのことである。安全性も、数人が乗るバイク等の移手段からすると、より安全側となる。

以上の米国と中国の動きに対し、日本での電気自動車への動きは、ガソリン車へのそのままの性能維持によりシフトである。安全性を強調することは必要であるが、電気自動車と地域の走る環境の整備や充電網の整備、他の交通機関とのハイブリッド等の多様な展開が求められている。日本の自動車産業もこれらの新しい産業の大きなシフトに対応しないと、衰退され、グローバルな動きに巻き込まれる可能性が高い。日本の生命線は、自動車産業に代表される「ものづくり」であり、このような世界の大きな流れについて行けないと、日本のものづくりの崩壊を意味し、燃料や食料の外部依存性に大きなダメージが来ることが考えられる。

ここでの電気自動車へのアプローチは、ハイブリッドカーの進展とともに、地球温暖化への日本の産業の積極的戦略とする必要がある。



図 5.3.1 社会像 C のイメージ

5.4 近距離公共交通駆逐社会（自動車バリアフリー社会）D

車での移動はガソリン車社会とあまり変わらない。それは、“短距離走行の回数”が増えるからである。この点が、Aの“現状自動車社会の継承”とは異なる。この社会大きな特徴は、自動車のバリアフリー化である。“いつでも”、“どこでも”、“だれでも”移動可能な、“ユビキタス車社会”が実現した。1人～2人乗りのEVが主流となっている。横幅が狭く、階段昇降や自動コンパクト化機能の実現により、新幹線や電車に車を乗せることが可能となった。従来の高速道路を使った長距離移動から、最寄りの駅までEVで行き、目的地まで新幹線等でEVを運び、目的地で再びEVを活用するというスタイルが可能となった。ショッピングセンターなどにも乗り入れ可能であり、EVに乗ったままいつでも買い物ができる。このため、家に冷蔵庫で食料を保存するという習慣がなくなりつつある。

EVは小型・軽量であるが、高速な走行も可能である。これは、自動運転（低速）、高速運転アシスト機能（衝突防止機能）の搭載により、交通事故を未然に防げるためである。構造体で衝撃を吸収し人を保護することから、ITやセンサを使った制御による事故防止に車の設計思想が大きく変化した。また運転も、視線移動、ジェスチャーなど様々なUI（ユーザーインターフェース）が選択でき、使用者の状態に合った使い方が可能になった。運転免許は、高速・運転アシスト機能付きのEV車に乗る場合に必要となる。自動車の鍵には、

生体認証を使うため、“無免許運転”は過去の言葉となった。過疎地の住民には、ユビキタス EV が公共交通（バス）の代わりに配備されている。これにより今まで住民のサービスのために赤字で運用していた路線バスは無くなった。

電気自動車になり、製造は従来の“すりあわせ”から“モジュール”タイプに変貌を遂げた。これにより、デジタル機器と同じように、低価格競争で負け日本の産業は競争力を失いかけたが、自動車のバリアフリー化の技術により再び、競争優位性をもつようになった。バリアフリー化の技術は、ロボット・車・IT の融合技術であり、さらに“機械”の信頼性・安全性という“すりあわせ”技術なくしては実現できないからである。車から“ガンダム”への変化がこの社会では起こっている。

D シナリオ 公共交通駆逐型バリアフリーEV

の普及（付加価値＋走行距離大）

(株)システム技術研究所 梶屋 治紀

現状のガソリン自動車の特性のひとつとして、平均乗車人数が 1.3 人と少ないことが知られている。5 人家族で遠くまで行きたいという欲求を満たすために、4～5 人乗りのセダンが多く普及している。超小型車として知られる「IQ」、「SMART」も 4 人の座席を要しているし、軽自動車でも同様である。

しかし、4～5 人が乗車することはまれであり、1 人の運転者が大きな車体をエネルギーを消費して走行させているのが現状といえる。このため人キロあたりのエネルギー消費は、鉄道など公共交通機関の 12 倍になっている。

ところで EV の特性は、バッテリーが重いこと 1 充電走行距離が短いことにある。そのため EV は大型車には適していない。小型車であればこの問題は緩和される。

この特性に着目して、今後普及する EV が現状のガソリン自動車の欠点を補うようにするには、

- 1) 乗車人員が 1～2 人の超小型 EV を普及させる
- 2) 走行速度は低速で、衝突安全に配慮した設計で、広い年齢層の人々に運転できるようにする

これにより、人キロ当たりのエネルギー消費は非常に小さくできる。小型化により 3 分の 1 に、またガソリン車から電気モータへの転換により 3 分の 1 に、総合するとエネルギー消費をおよそ 9 分の 1 にできる可能性がある。

こうすると、超小型 EV は、近距離用の公共交通機関に対抗できる可能性が生まれてくる。

地方都市などにおいては、近距離用の交通機関として、新交通システム（AGT やモノレール）、バスなどがあるが、交通需要が計画を下回ると赤字路線になることが多い。とくに朝夕の通勤時は乗車人員が多いが、昼間はまばらであることが多く、採算が取れないケースが多い。このようなところへ、超小型 EV を普及させれば、近距離用の公共交通に代替する可能性がある。

さらにこのような超小型 EV は、低速で衝突しても事故になりにくい設計で、若年層から老人まで広い層の人々に利用され、広範囲にバリアフリーで走行できる。また駐車時には、垂直に立てることにより必要な駐車面積を小さくできる。デパートや大型オフィスビルなどの建物のなかにまで、低速で入り込むことができる。また新幹線などの長距離列車に搭載することができる。このような超小型 EV が普及すれば、さらに新しい利用方法を生み出すと期待される。

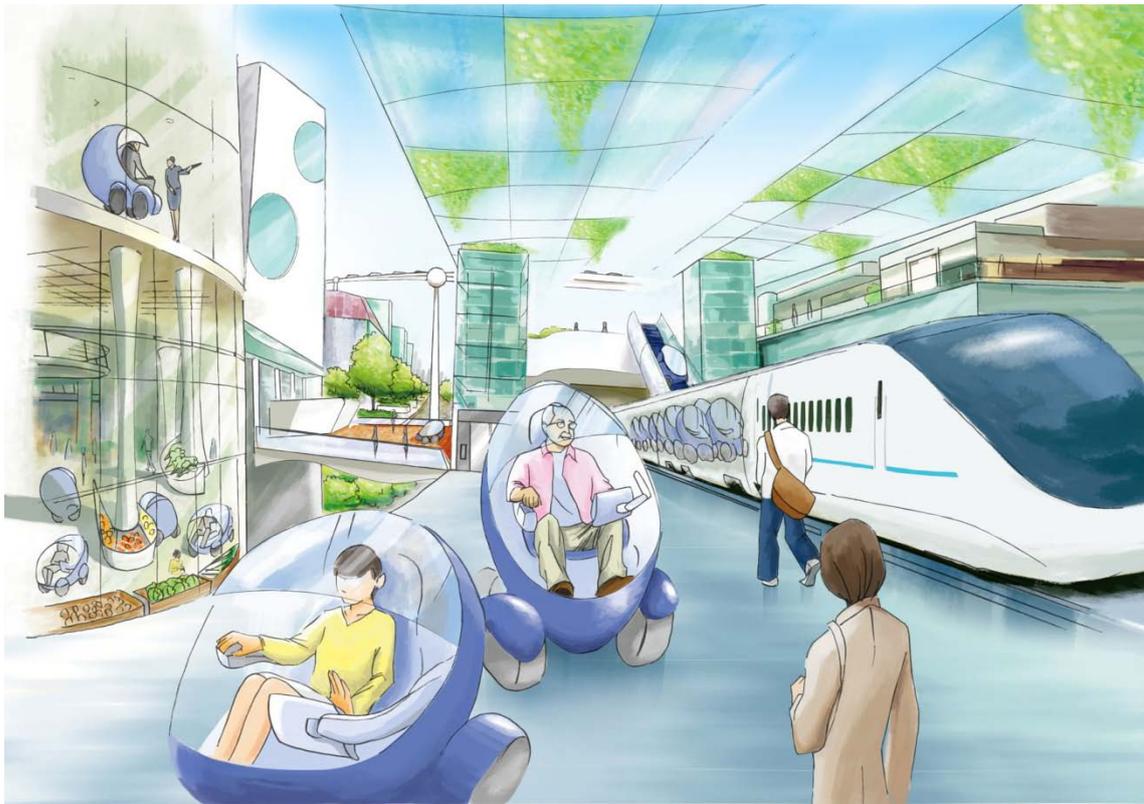


図 5.4.1 社会像 D のイメージ

5.5 提言（目指すべき社会）

目指すべき社会は、環境負荷を低減し、QOL（Quality of Life）を向上させながらも、経済的な破綻の無い社会である。人々の移動の“最適化”に伴う人的・物的資源の節約は経済の活力を奪うものではない。生み出された余剰人的資源は人々の生活をさらに向上させるための“高い付加価値”を生み出すための産業へと振り向けられ、高付加価値化した電気自動車 日本の新しい基盤産業、輸出産業の一翼を担う社会である。

前節で 4 つの EV 社会像を提案した。そのどの社会が良いかを議論すべきではない。各社会像が適切に融合した社会が目指すべき EV 社会である。その中であえて重心を置くとすると B の“グリーンコンパクトシティ”社会である。このような社会が実現できれば、わが国の QOL は確実に向上するであろう。

6. 資源・エネルギーからみた EV100%社会

6.1 化石燃料自動車を電気自動車に置き換えた場合の国内資源・エネルギー消費量評価

日本国内におけるガソリン自動車が電気自動車に置換された場合、日本国内においてはどのような影響が生じるであろうか？本節では、国内における自家用乗用車を対象に、これらがすべて電気自動車に置換された場合の所要電力量ならびにガソリン消費量減少に伴うCO₂排出量の変化について試算する。

(1) 使用時エネルギー消費量の評価

自動車輸送統計年報平成19年度版によると、国内には乗用車4,180万台、軽乗用車1,572万台の登録自家用車が存在し、それぞれの自家用乗用車の平成19年度における総走行距離は、普通乗用車383,724,767 [千 km]、軽自動車116,441,649 [千 km]である。

ここで、電費10km/kWh (10・15モード)と想定すると²³、普通乗用車、軽乗用車あわせて500億kWhの電力が一年あたり必要という計算になる。さらに送電・充電 (Liイオン電池) 効率をそれぞれ95%、85%とすると²⁴、図6.1.1に示すように必要な発電量は年間613億kWhと計算できる。これは日本の総発電量のおおよそ6%程度に相当する。

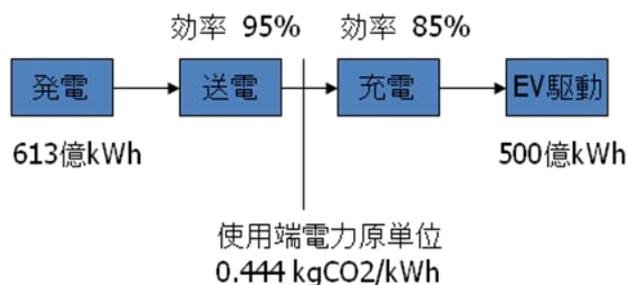


図 6.1.1 電気自動車 (EV) 駆動のために必要な電力量

²³ NEDO 次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ2008より

²⁴ 清水浩著「温暖化防止のために - 科学者からアルゴア氏への提言」

表 6.1.1 電気、ガソリン、軽油の製造・使用 CO₂原単位

エネルギー	出典	
2008年度の使用端 CO ₂ 排出原単位 [kgCO ₂ /kWh]	電気事業における環境行動計画 2009年版	0.444
ガソリン燃焼 [kgCO ₂ /l]	環境省地球環境局地球温暖化対策 課 温室効果ガス排出量算定方法検 討会 2002.8	2.38048
ガソリン採掘-製品 [kgCO ₂ /l]	石油産業活性化センター「石油製品 油種別LCI作成と石油製品環境影響 評価調査報告書」2000.3	0.374733333
軽油燃焼 [kgCO ₂ /l]	環境省地球環境局地球温暖化対策 課 温室効果ガス排出量算定方法検 討会 2002.8	2.64344
軽油採掘-製品 [kgCO ₂ /l]	石油産業活性化センター「石油製品 油種別LCI作成と石油製品環境影響 評価調査報告書」2000.3	0.184433333

それでは一年あたりのCO₂排出量はどのように変化するであろうか？まず、電気自動車を駆動するための所要発電量の増加分と、ガソリン使用料削減の影響を考える。使用端における日本の電力原単位は 0.444kg CO₂/kWh²⁵であるので 2613 万tCO₂/年のCO₂が電気自動車駆動のために発生する。一方、自動車輸送統計年報平成 19 年度版によると平成 19 年度の自家用自動車による石油燃料使用量はガソリン 5,021[万kl]、軽油 233[万kl]である。従って電気自動車への置換により、1.449 億t CO₂/年のCO₂削減が可能になる。以上を単純に足し算すると、自家用乗用車を電気自動車に置換することで 1.19 億トン/年のCO₂排出量が削減できることになる。

(2) 製造時エネルギー消費量の評価

ところで、電気自動車とガソリン自動車では、その素材構成が異なり、それぞれを一台製造するときの物質・エネルギー使用量が異なっている。以下では、電気自動車とガソリン自動車の素材構成の違いに焦点をあて、乗用車の使用段階での CO₂排出量のみではなく、それぞれの製造段階を考慮して、どの程度 CO₂排出量が変化するかを試算する。

自動車輸送統計年報平成 19 年度版によると、普通車 (2000cc 以上)、小型 4 輪車 (2000cc 未満)、軽自動車の新車登録台数は 2007 年度でそれぞれ 30.4%, 37.1%, 32.5%となっている。そこで簡略化して、1500cc の小型車をボリュームゾーンと考え、この 1500cc のガソリン自動車 5700 万台が電気自動車に置換されると考えて製造時の CO₂排出量の差を評価する。

²⁵ 電気事業における環境行動計画 2009 年版, 電気事業連合会

文献²⁶によると、1500ccのガソリン自動車の製造時CO₂排出量は、4239kg CO₂、これにほぼ相当する電気自動車として、現状技術水準で実現したモデル（本格現状型 航続距離 400km、電池重量密度 100Wh/kg、電池容量 50Wh、電池重量 500kg、電費 10km/kWh）を考えると、製造時CO₂排出量は 6160kg CO₂となる。

従って、電気自動車への置換により、一台あたり約 1.9t CO₂の CO₂排出量が増加することになり、5700万台を置換すると、1.083 億 t CO₂の CO₂排出量が増加することになる。

このように電気自動車の製造時環境負荷が大きい理由は、Li イオン電池の環境負荷が大きいためである。

（3）使用時、製造時の両方を考慮した CO₂排出量評価

電気自動車を10年間使うとすると1年あたりの生産によるCO₂発生量は0.1083 億 t CO₂となる。一年あたりで評価すると、（1）で評価した使用時のCO₂排出量削減効果は1.19 億 t CO₂であり、製造時のCO₂排出量増加分の一桁上の値であることから、電気自動車への置換による国内のCO₂排出量を大きく削減できることがわかる（上記仮定のもと計算すると1.09 億 t CO₂/年の削減が可能となる）。

（4）ガソリン自動車を電気自動車で置換した場合の製造時資源消費量評価

文献²⁷から、1500cc相当のガソリン自動車と、これにほぼ相当する電気自動車について、電池重量500kg、電池重量密度 100Wh/kgとして資源使用量を計算したものを表 6.1.2 に示す。

²⁶平成19年度 NEDO 委託業務成果報告書 定置用燃料電池システムおよび燃料電池自動車のライフサイクル評価に関する調査

²⁷同 2 6

表 6.1.2 電気自動車とガソリン自動車の素材構成比較

	素材	①1500cc GV	②1500ccクラスのEV	②-①
		投入量[kg]	投入量[kg]	投入量[kg]
ガソリン自動車使用素材	鋳鉄・鋁鉄	56.32	48.9	-7.42
	棒鋼	9.55	8.08	-1.47
	圧延薄板	11.63	9.78	-1.85
	圧延中板	2.65	2.23	-0.42
	熱延鋼板	112.32	94.49	-17.83
	熱延薄板	141.27	124.23	-17.04
	熱延中板	3.84	3.38	-0.46
	冷延鋼板	29.06	24.44	-4.62
	冷延薄板	67.35	59.23	-8.12
	高張力鋼板	16.82	14.4	-2.42
	亜鉛めっき鋼板	255.54	224.65	-30.89
	表面処理鋼板	1.31	1.1	-0.21
	炭素鋼	24.45	20.56	-3.89
	その他の普通鋼	15.77	13.32	-2.45
	ステンレス、耐熱鋼	43.65	30.28	-13.37
	バネ鋼	12.73	10.71	-2.02
	軸受鋼	4	3.36	-0.64
	合金鋼	16.54	13.92	-2.62
	構造用特殊鋼	76.45	67.23	-9.22
	その他特殊鋼	9.67	8.13	-1.54
	スチールコード	3.15	2.65	-0.5
	アルミ板材	1.97	0	-1.97
	アルミ鑄造材(再生塊)	16.22	6.15	-10.07
	アルミ展伸材(新塊)	3.9	1.86	-2.04
	アルミ地金	48.83	23.71	-25.12
	銅	15.45	14.72	-0.73
	鉛	8.46	0	-8.46
	MgおよびMg合金	1.26	1.26	0
	低密度ポリエチレン	1.56	1.29	-0.27
	ポリプロピレン	51.72	46.78	-4.94
	ポリ塩化ビニル	7.8	7.12	-0.68
	ABS樹脂	4.54	4.16	-0.38
	熱可塑性ポリエステル(PET)	2.25	2.05	-0.2
	PA(ポリアミド)	4.5	3.6	-0.9
	ポリウレタン	16.34	14.91	-1.43
	その他熱可塑性樹脂	7.59	6.92	-0.67
	塗料	12.81	12.81	0
	ガラス	47.54	46.41	-1.13
	天然ゴム	10.28	9.23	-1.05
	合成ゴム	15.41	13.84	-1.57
	EPDM	1.15	1.01	-0.14
	木材	4.13	4.13	0
	繊維	3.97	3.97	0
	ポリエステル長繊維	3.59	3.59	0
	カーボンブラック	12.94	12.94	0
ビードワイヤ	1.69	1.69	0	
油性液類	2.28	2.28	0	
オイル	36.89	36.89	0	
合計	1259.14	1068.39	-190.75	
モータ(電磁鋼板)	0	40	40	
コントロールユニット(素材不明)	0	32	32	
リイオン電池	LiNiO2	0	74.01666667	74.01666667
	ポリフッ化ビニリデン	0	1.683333333	1.683333333
	NMP	0	10.15	10.15
	ケッチェンブラック	0	1.666666667	1.666666667
	アルミ	0	128.25	128.25
	ポリプロピレン	0	43.91666667	43.91666667
	難黒鉛化性炭素	0	38.4	38.4
	ポリフッ化ビニリデン	0	0.816666667	0.816666667
	銅	0	74.15	74.15
	ニッケル板	0	2.066666667	2.066666667
	LiPF6	0	4.1	4.1
	PC	0	16.66666667	16.66666667
	EMC	0	16.66666667	16.66666667
	HDPE	0	48.41666667	48.41666667
	PE	0	5.483333333	5.483333333
	鉄	0	15.03333333	15.03333333
	PBT	0	1	1
シリコンフェノール樹脂	0	17.5	17.5	
電気自動車固有部品合計	0	571.9833333	571.9833333	
電気自動車をガソリン自動車に置換した場合の物質増加分			381.2333333	

表 6.1.2 中から、ガソリン自動車を電気自動車に置換することで、非常に多くの材料が必要になることがわかる。なお、表 6.1.2 では、電気自動車用モータに用いるネオジムなどのレアアースの所要量は計算していない。仮に 5,700 万台のガソリン自動車（1500cc と想定）をすべて電気自動車に置換すると、一台あたり 0.38t の余分な素材投入が必要なので 2,166 万 t の材料投入が必要になる。このうち、たとえば銅について評価すると、一台あたり 0.074t 増加するので、5,700 万台で 422 万トンの材料投入が必要になるが、これは日本における銅地金（電気銅）の年間生産量 138 万トン（2004 年時点）と比較するとかなり大きな値であることがわかる。日本の産業構造は、電気自動車への置換のためには大きく変革されなければならないことがうかがえる。なお、資源使用量の増減が、二次的に他の産業セクターにどのように影響を与えるかについては、参考で添付した資源バランステーブルを用いて解析することができる。

最後に、表 6.1.2 中には記載されていないが、枯渇が心配されるネオジムについての所要量を試算する。ハイブリッド自動車プリウス一台あたりに使用されているネオジム磁石は 1kg であり、その 30%がネオジムであるので、5,700 万台の電気自動車製造のためには、1.7 万 t のネオジムが必要と見積もられる。国内でのネオジムの生産量は年間 1 万トン程度（ヒアリング調査より）であり、現在自動車用に用いられているのは 2,500 トンである。自動車寿命を 10 年として、仮に一年に 570 万台ずつ電気自動車へと置換していくとしても、一年あたり 1,700 トンのネオジム生産が必要となり、生産能力の拡大は欠かせないことになる。ネオジムなどの希土類は 95%が中国からの輸入であるが、鉱床自体はアメリカやカナダなどでも存在している。総資源量そのものよりも、現状では精錬工程がほとんど中国にしかないことが供給に不安感を与えている要因だと考えられる（ネオジム磁石のリサイクルも最終的には中国の精錬工程で行わざるを得ないのが現状である）。

6.2 CEV とグローバル資源エネルギーバランステーブル

グローバル資源エネルギーバランステーブルの研究から、CEV の可能性を検討すると以下のようになる。

(1) 自動車の CO₂ 排出係数

既存自動車、HV、EV の CO₂ 排出係数を検討すると表 6.2.1 のようになる。

EV については、発電構成によって電力の CO₂ 排出係数が大きければ、1km 走行について排出する CO₂ は HV より大きくなる。その境界点は、電力の CO₂ 排出係数が 0.58 のところにある。

表 6.2.1 自動車の CO₂ の排出係数

自動車	燃費	電力の CO ₂ 排出係数(CO ₂ kg/kWh)	1km あたり CO ₂ 排出量 (g/km)
既存ガソリン車	10km/L		232
HV	20km/L		116
EV	5km/kWh	0.36	72
		0.50	100
		0.58	116
		0.60	120
		0.70	140
		0.80	160
		0.90	180

(2) 世界各地域の電力の CO₂ 排出係数

グローバル資源エネルギーバランステーブルの研究から、IEA の標準シナリオの場合に、世界の各地域について、電力の CO₂ 排出係数の将来を調べることができる。

表 6.2.2~6.2.7 に、日本、アメリカ、西欧、中国、インド、世界全体について、1990、2007、2020、2030 年における、発電構成、発電量、CO₂ 排出量、電力の CO₂ 排出係数を求めた。

表 6.2.2 日本

日本	単位	1990	2007	2020	2030
発電用石炭消費量	MTOE	25	64	62	57
発電用石油消費量	MTOE	51	31	9	10
発電用ガス消費量	MTOE	33	54	54	58
発電CO2排出量					
CO2(石炭から)	MT	95	243	235	216
CO2(石油から)	MT	146	89	26	29
CO2(ガスから)	MT	68	111	111	119
CO2排出合計	MT	309	442	372	364
電力需要					
電力(転換)	MTOE	7	10	10	11
電力(最終用途)	MTOE	64	87	94	101
発電量合計	MTOE	71	97	104	112
発電量		826	1,128	1,210	1,303
CO2排出原単位	kgCO2/kWh	0.374	0.392	0.308	0.280

表 6.2.3 アメリカ

米国	単位	1990	2007	2020	2030
発電用石炭消費量	MTOE	396	502	509	525
発電用石油消費量	MTOE	27	18	7	6
発電用ガス消費量	MTOE	90	173	167	175
発電CO2排出量					
CO2(石炭から)	MT	1,501	1,903	1,929	1,990
CO2(石油から)	MT	77	51	20	17
CO2(ガスから)	MT	185	356	344	361
CO2排出合計	MT	1,763	2,310	2,293	2,367
電力需要					
電力(転換)	MTOE	49	46	52	54
電力(最終用途)	MTOE	226	329	359	402
発電量合計	MTOE	275	375	411	456
発電量		3,198	4,361	4,780	5,304
CO2排出原単位	kgCO2/kWh	0.551	0.530	0.480	0.446

表 6.2.4 西欧

西ヨーロッパ	単位	1990	2007	2020	2030
発電用石炭消費量	MTOE	270	246	211	202
発電用石油消費量	MTOE	47	26	12	10
発電用ガス消費量	MTOE	40	148	173	204
発電CO2排出量					
CO2(石炭から)	MT	1,023	932	800	766
CO2(石油から)	MT	134	74	34	29
CO2(ガスから)	MT	82	305	356	420
CO2排出合計	MT	1,240	1,312	1,190	1,214
電力需要					
電力(転換)	MTOE	38	44	44	47
電力(最終用途)	MTOE	190	263	293	331
発電量合計	MTOE	228	307	337	378
発電量		2,652	3,571	3,920	4,396
CO2排出原単位	kgCO2/kWh	0.468	0.367	0.304	0.276

表 6.2.5 中国

中国	単位	1990	2007	2020	2030
発電用石炭消費量	MTOE	153	755	1,283	1,571
発電用石油消費量	MTOE	16	11	12	10
発電用ガス消費量	MTOE	1	10	32	46
発電CO2排出量					
CO2(石炭から)	MT	580	2,861	4,863	5,954
CO2(石油から)	MT	46	31	34	29
CO2(ガスから)	MT	2	21	66	95
CO2排出合計	MT	628	2,914	4,963	6,077
電力需要					
電力(転換)	MTOE	12	51	91	115
電力(最終用途)	MTOE	43	234	485	646
発電量合計	MTOE	55	285	576	761
発電量		640	3,315	6,699	8,851
CO2排出原単位	kgCO2/kWh	0.981	0.879	0.741	0.687

表 6.2.6 インド

インド	単位	1990	2007	2020	2030
発電用石炭消費量	MTOE	58	177	269	419
発電用石油消費量	MTOE	4	9	9	8
発電用ガス消費量	MTOE	3	13	35	55
発電CO2排出量					
CO2(石炭から)	MT	220	671	1,020	1,588
CO2(石油から)	MT	11	26	26	23
CO2(ガスから)	MT	6	27	72	113
CO2排出合計	MT	237	723	1,117	1,724
電力需要					
電力(転換)	MTOE	7	22	42	67
電力(最終用途)	MTOE	18	47	100	169
発電量合計	MTOE	25	69	142	236
発電量	TWH	291	803	1,652	2,745
CO2排出原単位	kgCO2/kWh	0.817	0.901	0.677	0.628

表 6.2.7 世界全体

世界	単位	1990	2007	2020	2030
発電用石炭消費量	MTOE	1,228	2,167	2,871	3,481
発電用石油消費量	MTOE	376	284	199	167
発電用ガス消費量	MTOE	576	988	1,202	1,464
発電CO2排出量					
CO2(石炭から)	MT	4,654	8,213	10,881	13,193
CO2(石油から)	MT	1,075	812	569	478
CO2(ガスから)	MT	1,187	2,035	2,476	3,016
CO2排出合計	MT	6,916	11,060	13,926	16,686
電力需要					
電力(転換)	MTOE	183	287	379	461
電力(最終用途)	MTOE	833	1,413	1,963	2,488
発電量合計	MTOE	1,016	1,700	2,342	2,949
発電量		11,817	19,772	27,239	34,299
CO2排出原単位	kgCO2/kWh	0.585	0.559	0.511	0.487

結果をみると、世界全体では電力のCO₂排出係数は次第に改善されてゆくことがわかる。世界全体で、2030年に0.487kg CO₂/kWhであり、EVのCO₂排出係数の限界点である0.587kg CO₂/kWhよりも小さくなっている。しかし、中国とインドでは、2030年においてもこの限界点より排出係数が大きいことがわかる。この2つの大国の自動車普及台数によっては、CO₂排出量が増大する恐れもある。

以上の計算は、EVの燃費を200Wh/kmと楽観的にみていることも考慮すると、電気自動車の大量普及には、発電構成の改善が非常に重要な要素であることが理解できる。

7. 持続可能社会シミュレータへ向けて

わが国は、現状、地球環境問題、少子高齢化、安全・安心、IT化進展による情報爆発、および市場の多様化や新興国の経済拡大下での産業競争力維持など、複数の社会的な課題を同時に抱えている。これら課題の一つを解決するにも、人の意識・行動、文化、技術普及、政策、および社会システム（法律・教育・労働・文化・交通など）などの要因が複雑に絡み、かつ大域的であるため、従来の科学・技術を中心とした対策のみでは、「合理的」な解を得ることは難しい。これは、地球温暖化の対策の現状を見れば明らかであろう。さらに、一つではなく複数の社会的課題を“同時に”解決しなければならない状況に直面している。このような状況を打破するためには、より多くの知識（顕在知も暗黙知も含めて）・“複雑系”をなす“社会”をモデル化し、新技術導入や政策を実施した際の“社会”の“応答（変化）”を何らかの形でシミュレートすることが必要であろう。このようなシミュレータをわれわれは、“持続可能社会シミュレータ”と呼ぶ。持続可能社会シミュレータを実現できれば、新技術の開発と普及、市民の意識変化、政策、およびグローバル化進展等によって、社会生活、資源・エネルギー消費形態、および環境負荷が時間とともにどのように変化していくかを、より合理的にかつその社会像を具体的に表現できる（図 7.1）。

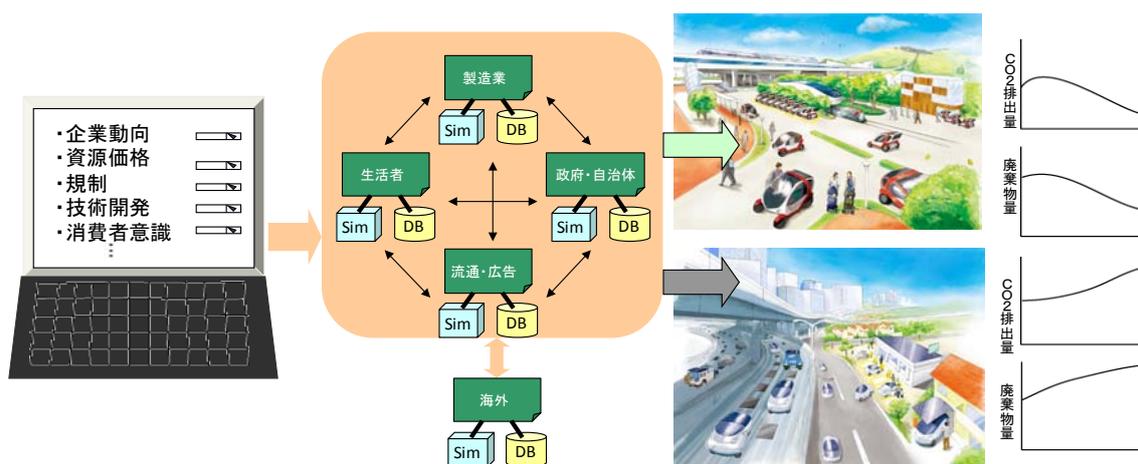


図 7.1 持続可能社会シミュレータのイメージ

7.1 持続可能社会シミュレータの枠組み

本研究は、“持続可能社会シミュレータ”の概念設計を目的としたもので、温暖化対策として期待されている電気自動車などの CEV を対象として、普及における人の意識・社会システム・制度の影響、さらに普及により生じる社会変化を定性および定量の両面より把握し、社会のモデル化に必要な項目とその関連を明らかにする。

まず、今回の CEV 普及に関連して石油燃料自動車社会の終焉のシナリオを考えてみる。自動車社会の終焉は、自動車による利便性・有用性<負担となれば起こると考えた。利便性や有用性を低下させる社会要因として移動の必要性の低下がある。クルマによる移動の必要性が低い都市部に人口が集中し、反対に必要性の高い地方では高齢化が進みクルマで

の移動が困難なものになれば社会のクルマによる移動の必要性は低くなる。もう一つは、クルマに対する“憧れ”の低下である。石油の枯渇、温暖化問題などが世の中で騒がれており、クルマに対する“負”のイメージが、クルマ所有を“ステータス”から“カッコワルイ”ものに変える、クルマが日用品化し白物家電に対するように所有に対する強い“感情”が消失する等の要因が考えられる。

一方、“負担感”を増加させる要因として、排気ガスによる空気汚染、温暖化対策や交通事故に関連した社会コストの顕在化や増加がある。また、経済的なマイナス要因、所得の低下、所得格差の拡大、および企業業績の悪化は、クルマを所有して活用する際の金銭的な負担感に直接影響を与える。また、情報通信やゲームなどクルマより魅力的なモノが存在し、それらにお金を使えば、収入が一定でも相対的にクルマ所有の“負担感”は増加する。このように考え作成した、“クルマ社会の終焉”のロジックツリーを図 7.1.1 に示す。

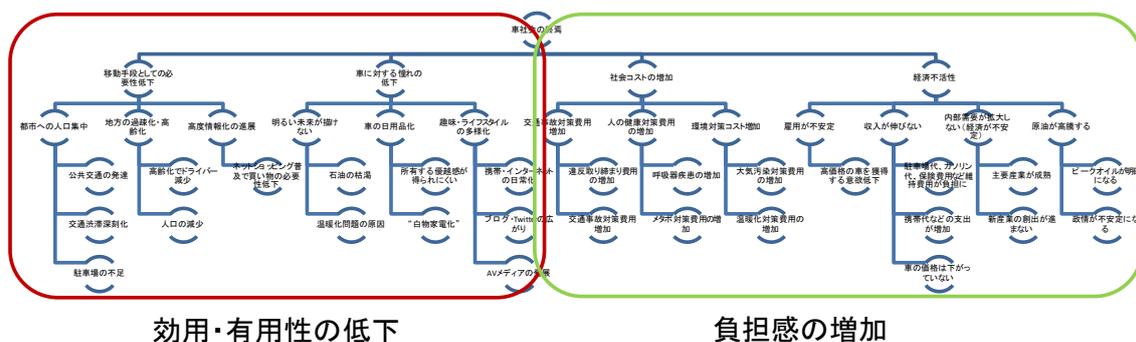


図 7.1.1 クルマ社会の終焉のロジックツリー

以下に、図 7.1.1 に記述されているキーワードを示す。

車社会の終焉

車に対する憧れの低下

- 明るい未来が描けない
 - 石油の枯渇
 - 温暖化問題の原因
- 車の日用品化
 - 所有する優越感が得られにくい
 - “白物家電化”
- 趣味・ライフスタイルの多様化
 - 携帯・インターネットの日常化
 - ブログ・Twitterの広がり

- AVメディアの発展

移動手段としての必要性低下

- 都市への人口集中
 - 公共交通の発達
 - 交通渋滞深刻化
 - 駐車場の不足
- 地方の過疎化・高齢化
 - 高齢化でドライバー減少
 - 人口の減少
- 高度情報化の進展
 - ネットショッピング普及で買い物の必要性低下

社会コストの増加

- 交通事故対策費用増加
 - 違反取り締まり費用の増加
 - 交通事故対策費用増加
- 人の健康対策費用の増加
 - 呼吸器疾患の増加
 - メタボ対策費用の増加
- 環境対策コスト増加
 - 大気汚染対策費用の増加
 - 温暖化対策費用の増加

経済不活性

- 雇用が不安定
 - 高価格の車を獲得する意欲低下
- 収入が伸びない
 - 駐車場代、ガソリン代、保険費用など維持費用が負担に
 - 携帯代などの支出が増加
 - 車の収入に対する割合が増える
- 内部需要が拡大しない（経済が不安定）
 - 主要産業が成熟
 - 新産業の創出が進まない
- 原油が高騰する
 - ピークオイルが明確になる
 - 中東等の政情が不安定になる

この例では“車社会の終焉”を、人の要因（車に対する憧れの低下）、社会システム要因

(移動手段としての必要性低下、社会コストの増加)、および経済要因(経済不活性)で考えた。単純にこの4つの細目の表現を肯定的に変え、その項目を“yes” or “no”の二元論で判断しても、 $2^4=16$ 通りの社会像が描ける。図7.1.2は、その内の8つの組み合わせを示す。

	1	2	3	4	5	6	7	8
憧れ強い	○	○	X	X	X	○	○	X
移動の必要性大	○	X	X	X	X	○	○	○
社会損失を最小化	○	○	○	○	X	X	X	X
経済活動活発	○	○	○	X	X	○	X	X

図7.1.2 8つの社会像の例(16の社会像)

このようにして決められた各社会像(1~8)の特徴は、以下のようになる。

1. 持続可能クルマ社会:人々はクルマに憧れをもち、クルマを使って活発に移動している。排気ガス公害、温暖化問題および交通事故など負の問題が解決され、経済も活発なので、高価な高級車も売れている。
2. 飾り物社会:肯定的項目が多いが、移動の必要性は少ない。クルマは所有されるが、あまり活用されない。飾りものとなっている。
3. サンドル化社会:クルマに関する憧れは強くなく、移動の必要性も小さい。安価なクルマが多数普及し、短距離の移動に使われている社会
4. サンドル/シェア社会:経済が低迷し、サンドルを共有化している状態。

ここまでの社会は、“社会損失”が少ない。すなわち、排ガス、温暖化、交通事故等の課題が解決できている。これはCEVが中心で、かつ運転アシストシステム等により、交通事故が少なくなっている状態を想像できる。

5. クルマ終焉社会:CEVの普及に失敗して、ガソリン車が少数使われている社会である。
6. かつての自動車社会:2ドアスポーツタイプのクルマが人気を博した1990年ごろの社会である。社会損失に目が行くよりも、“あこがれ”の方が強く、クルマの所有がステータスとなっている。
7. 中古車人気社会:自由に移動できることへの憧れが強く、また移動の必要性は高い。しかしクルマを購入する経済力はなく、社会損失に目をむけることもない。途上国の状態のイメージである。わが国で考えると、新車の購入が減り、中古車への関心が高い社会となる。
8. 乗り合い社会:移動の必要性だけが強い社会である。クルマの所有ということさえ思い浮かばない。トラックの荷台に多くの人乗り、移動している社会である。わが国で考えると、公共交通機関に依存する社会である。近距離~遠距離移動にバスが多く使われる。

ここで、「5. EV100%社会の描写」で述べた“EV100%の社会像”との関連について

触れる。前記の例で言えば、人の要因（車に対する憧れの低下：クルマのもつ価値）および社会システム要因（移動手段としての必要性低下：クルマによる移動距離）に焦点を当て、描写したものとなる。もっと具体的に言えば、“車の日用品化”を認めたのが“A 現状自動車社会の継承”、“B グリーンコンパクトシティ”の社会像であり、この中で徹底的に日用品化を進めて自転車や原付並にしたのが“B グリーンコンパクトシティ”である。一方、“C 多機能自動車社会”では移動可能な居住空間、“D 近距離公共交通駆逐社会”ではユビキタス性という新たな付加価値をクルマに付与し、車の日用品化から脱却を図った。車での移動距離は、AとD社会は現状と変わらないとした。しかし、Aは“都市への人口集中”や“地方の過疎化・高齢化”は、現状から進まないという意図を含んだものであるのに対して、Dはクルマのユビキタス化により都市の中でも高齢者でも自由に移動でき、移動距離が変わらない社会である。現状のようなクルマによる移動は減るが、新たな移動が増えてトータルでは変わらないのが社会Dである。一方、BとCは、交通機関を最大限利用することで長移動距離が減る社会である。クルマは、家庭と公共交通機関の駅との間のインターフェース（短距離移動の中心）となっている。尚、今回のEV100%社会描写では、“経済要因”と社会要因の内の“社会コスト”に関しては変化パラメータとはせずに各社会像で触れた。

ここまで、“クルマ社会”という命題に対して“持続可能社会シミュレータ”の枠組みを考えたが、これを一般化してみる。大きく“経済要因”、“社会要因”および“人の要因”の3つのカテゴリーで考える。それぞれの要因については、前述の“クルマ社会の終焉”のように、与えられた命題に応じて細目を設ければ良い（クルマ社会の場合、社会的要因を2つに分けた）。そして、各要因の状態を大きく異なる2つの状態（YesまたはNo）で考えると、最もシンプルな場合で8つの社会像が描ける。図7.1.3に、その概念を示す。

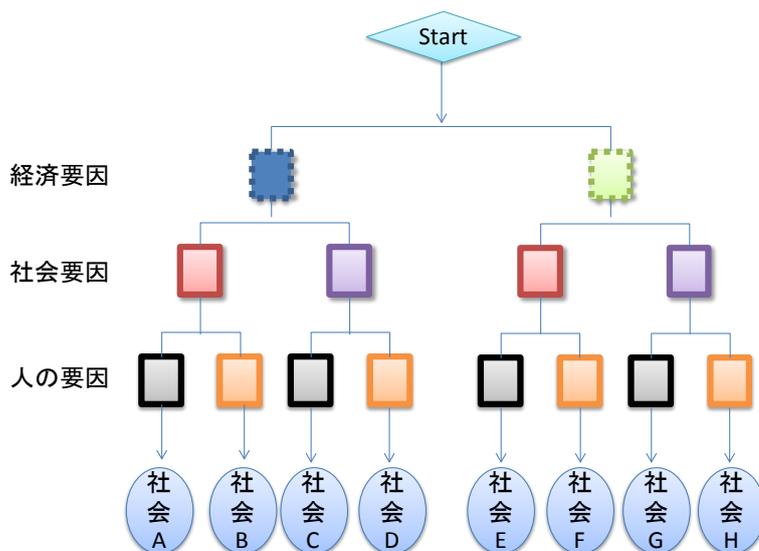


図 7.1.3 持続可能社会シミュレータの基本イメージ

次節では、持続可能社会シミュレータの具体的な実装方法について紹介する。

7.2 シナリオビューワによるシナリオの「見える化」とシミュレータとの連携

本節では、「5. EV100%社会の描写」で作成した電気自動車 100%社会シナリオをわかりやすく「見える化」し、シナリオの筋書きにそって、持続可能社会シナリオシミュレーションシステムにアドオンされている様々なシミュレータを活用するためのシナリオビューワについて説明する。

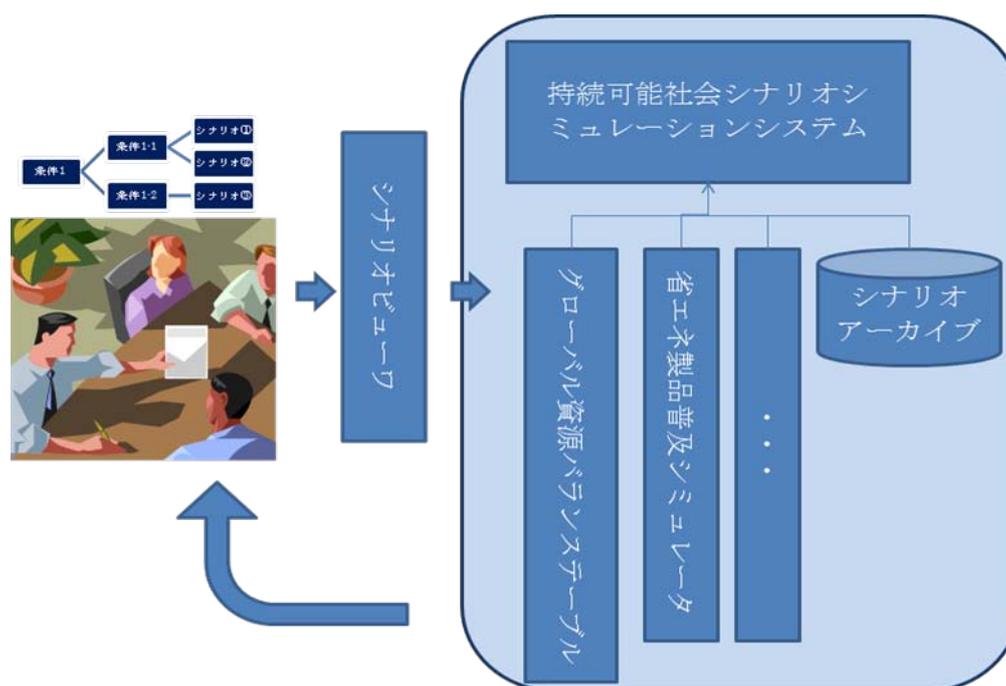


図 7.2.1 シナリオビューワの使用イメージ

図 7.2.1 にシナリオビューワの使用イメージを示す。「5. EV100%社会の描写」で見たとように、シナリオそのものの作成は、既存のシナリオ作成手法と同様に、様々な役割のエキスパートによるグループディスカッションを通して行う。参加者は不確実性が高く、かつ影響の大きい条件に着目して、樹形図の形でシナリオ（たとえば電気自動車 100%社会を対象としたとき、それらがどのような社会となりうるかを特徴づける重要な諸条件のうち、現時点では値が確定していないものについて複数の値を考慮して予測しうる将来社会像を樹形図の形に表現したもの）を整理する。シナリオビューワは樹形図として記述されたシナリオ分岐を紙芝居的に表現するビューワであり、グループディスカッションで得られたシナリオ分岐パターンのそれぞれについて、決定された様々なパラメータ値を持続可能社会シナリオシミュレーションシステムに渡すことで、シナリオ中では十分詳細に分析されていない項目等についての what-if 分析や影響分析などを支援するためのフロントエンドとなるツールである。

シナリオビューワでは、シナリオ分岐を直接表現する重要な条件についての質問と、その質問に対する答の組をひとつのノードとして管理しているが、一般にシナリオの分岐を決定づける重要な条件の成否を決定すると、それに対応するように社会の状態を記述する他の様々なパラメータ値も決定することができる。たとえば、電気自動車による移動距離が現行のガソリン自動車と同等以上になるためには、電気自動車の航続距離が現行のガソリン自動車と同等になるような技術開発、インフラ整備が必要である。従って、5章で作成したシナリオ分岐について、たとえば「電気自動車による移動距離は現行ガソリン自動車と同程度である」を選択した場合、これに応じて、たとえば「電池のエネルギー密度が 200Wh/kg に向上する」、「国内全体で充電ステーションの数が 4 万か所」などというように、シナリオの内容に応じて付随的に様々なパラメータの値を決定することができる。これらのパラメータ値のなかには、持続可能社会シナリオシミュレーションシステムにアドオンされているシミュレータへの入力値として用いることで、シナリオに明示的に記載されている内容以外の様々な事象を記述することが可能となるものが含まれている。たとえば資源（石油、鉄など）の最終消費の変化量などを考えよう。これらの値を参考資料で説明したグローバル資源バランステーブルへの入力として用いることで、あるシナリオにおいて、ある資源の使用量が減少するとどのようにその影響が派生して他の資源の産出量を変化させるかを計算することができるのである。

そこでシナリオビューワでは、シナリオの実現条件に付随するパラメータ名とその値の組を条件の成否についてのシナリオ作成者の判断と一緒に管理し、必要に応じてこれらをテキストファイル形式で出力し、これらの値を各種アドオンシミュレータで読み込むことにより、シナリオのイメージを様々なシミュレータを用いてより定量的に具体化することができるように作成している。このようにしてシナリオビューワは、様々な個別シミュレータを用いた詳細・具体的な解析のためのフロントエンドツールとして使用することができるのである。

図 7.2.2、図 7.2.3 に作成したシナリオビューワの実行画面を示す。図 7.2.2 はシナリオビューワのシナリオ内容編集画面である。図 7.2.2 左側に樹形図の形で、電気自動車 100% 社会シナリオの例が表示されている。この例では、2 つの条件（質問）にたいして、2 通りの値（Yes/No）がありうるものとして、4 種類の社会像が表現されている。ユーザは樹形図で表示されている任意の質問-回答ノードに対して、その質問で値が決定されるパラメータを記述することができる。図 7.2.3 は、シナリオビューワのシナリオ表示画面（紙芝居画面）である。最初の行に表示されている質問に対する答えを、その下のリストの中から選択することで、最終的なシナリオを選択・表示することができる。

現状では、ユーザが選択したシナリオにおいて、ユーザの判断によって決定されたパラメータ値をテキストファイルとして出力可能などところまでの実装が終了している。今後の発展としては、シミュレータとの接続をよりシームレスにし、自動化可能などを自動化した統合シナリオイメージ生成支援システムとして実装を進めることを考えている。



図 7.2.2 シナリオ編集画面



図 7.2.3 シナリオビューワ画面

8. 総括

本調査研究で得られた結論を以下にまとめる。

①中興国の経済発展で、世界的に見て指数関数的な増加を示すと予想される石油燃料を用いた自動車は、温暖化防止および石油枯渇（ピークオイル）の点より持続可能ではない。自動車による移動を現代生活から無くすわけにはいかないため、その代替となる手段を早急に見いださなければならない。世界の自動車産業の中心であるわが国は、新たな“自動車”を率先して世界に示すべきであり、またそれが、わが国の産業競争力につながる。

②持続可能な自動車の候補は多くのものが提案されているが、ピークオイルが到来するとされている 2030 年頃までに新たな自動車社会への道筋をつけるとすれば、電気自動車（EV）しか解はない。特に、国土が狭く鉄道網が充実しているわが国や欧州においては。

③現在の技術政策だけではEVの早期普及は困難である。それは現在の技術政策が、“従来のガソリン車の性能（走行距離、価格等）をEV車で満足させる”視点で立案されているからである。従来のガソリン車の性能が本当に必要なのか、社会としてどれだけ有用なのかを考慮すべきであろう。ガソリン車による大気汚染の防止、それによる疾病および交通事故にどれだけ社会的なコストが費やされているか、詳細に検討すべきであろう。これらはGDPの成長に寄与するが、われわれの生活を豊かにするものではない²⁸。EV普及により大気汚染やこれに伴う疾病に関連した社会費用は削減できるので、この費用をEV普及に投資すべきであると思われる。

④仮に技術開発により、早い時期に現在のガソリン車と同等な性能をもつEVが実現できたとしても、それが普及するとは限らない。それは、現状見られる若者の自動車離れにある。昔にくらべ、携帯電話、ゲーム、インターネットなど、若者の興味を引くものが数多く存在するなかで、従来のガソリン車を模したEVが積極的に購入されるのか、今一度考える必要がある。走行する楽しみを“ゲーム”で味わえる現代において、自動車の保有や走行は、“危険”、“面倒”、および“維持費が高い”という負のイメージが強い。自動車の概念を大きく変え、新しい付加価値をつける時期にきていると思われる。

⑤EV100%社会を描写することにより浮かびあがってきたキーワードは、“クリーン”と“ユビキタス”である。“クリーン”は、EVの駆動音が静かで、排ガス“ゼロ”の特性によりもたらされるもので、現在のわれわれには想像すらできない“静か”で“澄んだ空気”の環境の中での生活を可能にする。“ユビキタス”は、低速での自動運転、自動駐車、および車のバリアフリー化などを、EVの“クリーン”で、“ITやロボット技術との融合が容易”な特性を生かして初めて実現できるもので、“いつでも”、“どこでも”、“だれでも”利用で

²⁸ 大橋照枝、「満足社会」をデザインする第3のモノサシ、ダイヤモンド社、2005年

きる車社会を現実のものとする。高齢者が今後急増するわが国で望まれる社会であろう。

⑥ガソリン車から EV 車への転換で、車の製造は“すりあわせ”から“モジュール”生産に変化し、電子機器のようにその覇権をアジアに奪われる可能性は高い。しかし、バリアフリー化や自動運転には、高度な機械技術（ロボット）と IT 技術が必要となる。車を単なる“高速な移動手段”から、“ガンダム化”することで、わが国の産業競争力を保持できるようになると思われる。

⑦100%EV 社会となったとき、起こりえるのは、ピーク電力の問題（発電容量の不足）と銅資源の枯渇である。ピーク電力問題は、需要量を予測した充電時間の最適制御法の開発や太陽光など分散電源の普及により解決できる。これはグリーングリッドと EV 社会への移行は同期して起こることを示唆している。銅資源の枯渇は、モータや非接触充電装置に大量に用いられるようになるために生じる。銅資源のリサイクル技術の確立は急務である。枯渇の問題ではないが、モータに使われるネオジム、電池に使われるリチウムは、資源がある特定な国に偏在しているので、これら資源の安定した供給戦略を構築しておく必要がある。

⑧温暖化対策の面からみれば、わが国では 1 億トン程度 CO₂ 削減が可能であろう（車の生産段階での排出量は同じであった場合）。しかし、夜間の需要が増し火力が大量に使われるようになると排出原単位は増加し、削減効果はより小さなものとなる。グローバルに見ると、今後クルマの普及台数が急増する中国やインドでは、2030 年になっても電力の排出原単位が大きくハイブリッド車に比較して EV の CO₂ 削減効果は小さなものであることが明らかとなった。

⑨今回の社会描写のプロセスで感じたことは、“われわれは不自由である”ということである²⁹。社会は、複雑な制度や細分化され高度になった技術に支えられている。このような複雑な社会の中で生きていくためには、“専門家”や様々な“メディア”が伝えることを、何を信じるかは個人によって異なるにしても、“正しい”と判断して行動する方が合理的であろう。しかし、このような対応には“考えることを放棄してしまう”、“恣意的に歪められたことを真実だと誤って理解する”等の副作用がある。このような状態にあるとき、ある問題の解決を要求されても差し障りのない“誰かが言っている”ことをコピーし少し修正した程度の答えしか出せない。目に見えない支配から離れて自由に発想してみることが重要ではないか。なぜ車は車であり続けなければならないのか、なぜ消費者はこれからも同じ消費行動をとると言えるのか、等の問いを真剣に考え得る状態にするには、極端な条件を強制的に設定し、議論を始めることが必要である。本調査研究での極端な条件は、“現

²⁹ エーリッヒ・フロム、よりよく生きるということ、第三文明社、2000 年

在”、“EV100%”であった。そこでの議論は、SF的な空虚なものに感じられるかもしれない。しかしそのプロセスは目に見えない枠を取去ることができるので有用である。

⑩持続可能社会シミュレータは、こうであろうと思われている“常識”のアンチテーゼを条件として設定し、その条件下での社会は成立しないか否かを考えるプロセスにおいて活用されるツールであり、その社会像をビジュアルな形態で人々に示すことで“人の目に見えない既存の枠組みや常識”を破壊する役割を果たす。

極端シナリオの効用：確実なことと確実でないこと

法政大学 木村文彦

我々は一般論として問題を理解はしていても、現実にはわが身に不利益が迫ってこないとなかなか対策に乗り出さない。地球環境問題はその典型的な例であろう。問題が顕在化する時期が遠い将来であり、その程度も不確実である。問題が顕在化してから対策をとればよいと考える。地球温暖化はとりわけ複雑な問題であり、日常の課題を差し置いて温暖化の問題に向き合うことがなかなかできない。

しかしこれらの不確実な問題でも、かなり確実に推定できる境界条件がある。例えば、エネルギー資源や金属資源などは、不確実さはあるもののその利用可能な限界量について様々な推計がなされている。人口増加については、数世代に限ればさらに明示的な推計が可能である。逆に、我が国においては人口減少の推計がなされており、15歳から64歳の生産年齢人口の実数が2005年に比べて2055年には半分程度に減少すると推計されている。このことは深刻な社会状況の変化をもたらすと思われるが、われわれはそれほどの危機感を持ってこの推計を考えることはしない。

また、われわれは、現状を固定的に考える傾向が強く、現状を変革することの困難さを過剰に感じているように見える。しかし、われわれの日常生活は数十年の単位で驚くほど変化してきたことがわかる。現状でこれは日本人の特性だから変え難いというように議論されることでも、実は歴史的にはそれほど古いものではないこともある。短期的な生活の変化ということで考えれば、情報機器や自動車の普及がよい例である。20年前には現在のような持ち運びできるような情報機器は存在していなかった。1954年における我が国の乗用車の生産台数は7千台程度であった。数10年後には、現状のような情報機器や自動車ではなく、全く異なった機器や技術が社会を変革しているという可能性はないのだろうか。

地球環境問題について、問題の先送りと現状維持の考え方を脱却させるためには、様々な確実なあるいは不確実な境界条件の元で、社会構造や技術の普及について極端なシナリオを想定し、問題を具体的に可視化させることは有効であろう。このことにより、あるシナリオで起こりうる危機的状況を理解し、それを回避する極端シナリオが、実はそれほど極端ではなく現実的であると理解されるかもしれない。

社会生活において、如何に情報伝達手段が発展しようとも、移動手段は社会構造の根幹として重要である。地球持続可能性の限界の中で、どのような移動手段により社会構造が維持されていくのか、興味ある課題である。われわれは、現状の自動車を中心とする都市交通に馴らされているが、これが電気を動力とする新しい交通手段に置き

換わったとすると、全く新しい環境が見えてくるようである。このことは持続可能社会に貢献するとともに、大気汚染も騒音もない全く新しい付加価値を持った社会構築を可能とするという点で、極端シナリオが現実味を帯びてくるように思われる。また、極端シナリオにより、解決すべき技術が明確になることにより、健全な技術開発が促進されることも期待される。

I 企画委員会

I－3 エコデザイン 2009 国際シンポジウム 組織、実行

昨年12月に第6回 EcoDesign2009 国際会議（環境調和型設計とインバースマニュファクチャリングに関する国際シンポジウム）を、盛会のうちに終えることができました。会議での世界から集まった200件を超える環境問題解決に資する最新の論文と、世界25各国からの参加者約300名による3日間のアクティブな議論は、EcoDesign 国際会議の“重要性”や“継続の必要性”を改めて認識させてくれました。この会議開催にあたって、資金的な支援をいただきました文部科学省（科学研究費補助金：研究成果公開促進費）、(財)花王芸術・科学財団および札幌市、会議の運営全体にわたって多大なる支援をいただきました(社)日本機械学会、産業技術総合研究所および北海道大学、会議の準備段階より多方面でサポートをいただきました(財)札幌国際プラザ、当日の運営をお手伝いいただいた札幌市ボランティア、および共催や後援をいただいた大阪大学など諸機関の方々に深く感謝いたします。

今回の EcoDesign2009 国際会議は、設立10周年を記念する会議でした。EcoDesign の設立時点の趣意は、従来の学問領域に縛られない「学際的」な視点を持ち、産官学連携によりわれわれが直面する地球環境問題解決に貢献することにあります。この趣意に沿って、会議の scope を広げながら10年間運営を続けてきたわけです。しかしこの10年間、グローバル社会の変化は激しく、中国やインドなどの経済の急速な拡大により世界の資源・エネルギー消費や廃棄物量は増加し、問題の解決はより困難なものとなりました。日本企業は激しいグローバル競争にさらされ、そのおかれた状況は10年前より厳しいものとなっております。さらにこの間の知識の蓄積により、われわれが直面する課題がより“複雑”でかつ“深刻”であることを知ることになりました。これらは、従来の対症療法的な考え方や取組から脱皮し、新しい価値観に基づく従来とは異なったアプローチが必要であることを示唆しています。

会議の準備を開始するにあたって議論したのは、10年後の「設立20周年を迎えた時の EcoDesign 国際会議」のイメージです。その時点まで EcoDesign が存続しかつ盛会であったとしたら「従来の“工学”などの領域に囚われた研究から脱皮した“柔軟で創造性に富む”研究発表や取組が多くなっている」、さらに「日本ではなくアジアやアフリカの各国で開催され、それぞれの国で抱える課題を議論している」という姿を描きました。このコンセプトに沿って EcoDesign2009 の運営を実施しました。前者に関しては、従来この国際会議に参加されなかった都市・街づくりの分野、“持続可能消費”を実現する上で欠かせない“社会心理学”の分野の研究成果を積極的に取込みました。また後者に関しては、将来のアジア開催を念頭に置き、開催地を従来の東京からアジアの人々に人気の高い札幌へ移すとともに、準備段階から海外メンバーと密にコンタクトしながら会議を具体化していきました。さらに今後、会議の安定的な運営のため、わが国有数の公的研究機関である産業技術総合研究所に主催として参加していただきました。

これらの取組は、今回の EcoDesign2009 で直ぐに成果として表われるものではなく、将来の会議で実を結んでいくものだと思っています。われわれは、今、歴史の転換期に立っています。それを敏感に感じ、その本質を見抜き、それに柔軟に対応していくことが“EcoDesign”の運営にも必要ではないでしょうか。

最後に、この会議を支え成功に導いてくださいました皆様に深く感謝するとともに、稚拙な会議運営でご迷惑をおかけした実行委員や事務局の皆様には深謝いたします。

10周年を機会に、世界の“持続可能性”実現に大きく貢献する会議として、質的にさらに発展していくことを、こころからお祈りしております。

2010年3月吉日
東京大学先端科学技術研究センター
藤本 淳

■運営体制（委員長、顧問と組織実行委員会）

Honored symposium chair

Yoshikawa, Hiroyuki (Union of EcoDesigners)

Symposium co-chairs

Nissen, Nils F. (Fraunhofer IZM,)

William, Eric (Arizona State Univ.)

International Advisory

Allenby, Braden R. (Arizona State Univ.)

Birkhofer, Herbert (Darmstadt Univ. of Tech.)

Brezet, Han (Delft Univ. of Tech.)

Charter, Martin (Ctr. for Sustainable Design)

Dufflow, Joost R. (K.U.Leuven)

Hengrasmee, Charuek (Electr. and Electron. Inst.)

Luttrupp, Conrad (KTH Royal Inst. of Tech.)

Nasr, Nabil (Rochester Inst. of Tech.)

Nissen, Nils F. (Fraunhofer IZM)

Scheidt, Lutz-Guenther (Vienna Univ. of Tech.)

Steinhilper, Rolf (Univ. of Bayreuth Fan-Chair
Manufacturing & Remanufacturing Tech.)

Stevens, Albert (Delft Univ. of Tech.)

Tomiyama, Tetsuo (Delft Univ. of Tech.)

Tsai, Jen-Hui (Natl. Taipei Univ. of Tech.)

Yang, Bing-Chwen (Industr. Tech. Res. Inst.)

Executive Committee

Chair : Fujimoto, Jun (Univ. of Tokyo)

Co-chair : Itoh, Toshihiro (AIST)

Program chair : Masui, Keiji (AIST)

Awards chair : Umeda, Yasushi (Osaka Univ.)

Other domestic members

Ajiki, Koji (C-Net)

Aoyama, Kazuhiro (Univ. of Tokyo)

Goda, Koichi (Yamaguchi Univ.)

Hara, Shiro (AIST)

Hashitani, Takafumi (Fujitsu)

Hayashi, Hidetaka (EcoDeNet)

Hiramatsu, Hiroki (CSR Design & Landscape)

Honda, Tomonori (AIST)

Hoshi, Joji (Tokyo Electron)

Ibuka, Shigehito (Tokyo Electron)

Iwamoto, Takashi (Dream Incubator)

Iwamoto, Toshihiko (Tokyo Univ. of Info. Sci.)

Kabeya, Takehisa (JEMAI)

Kamei, Shinichi (MIRI)

Kawarada, Motonobu (Fujitsu Labs)

Kobayashi, Hideki (Toshiba)

Koga, Takeshi (Fujitsu)

Kondo, Shinsuke (AIST)

Koshibu, Hiroaki (EcoDeNet)

Matsumoto, Mitsutaka (AIST)

Mishima, Nozomu (AIST)

Nagasawa, Shinya (Waseda Univ.)

Nakano, Shizuka (AIST)

Namikawa, Osamu (Hitachi)

Nogami, Yoshio (Toray Engineering)

Nozawa, Kazumi (IBM Japan)

Ohgishi, Tatsuya (AIST)

Ohshima, Miho (Askul)

Okabe, Toshihiro (Aomori Industr. Res. Ctr.)
Okamoto, Shinichi (Tokyo Univ. of Info. Sci.)
Origuchi, Takeshi (NTT)
Owada, Shuji (Waseda, Univ.)
Sakai, Tatsuo (Ritsumeikan Univ.)
Sato, Takao (Ricoh)
Shibaïke, Narito (Panasonic)
Shigetou, Akitsu (NIMS)
Shimizu, Hajime (FED)
Suga, Tadatomo (Univ. of Tokyo)

Tezuka, Akira (AIST)
Tsuchiya, Tetsuo (AIST)
Uchida, Haruhisa (Tokai Univ.)
Uematsu, Takayoshi (Chiba Univ.)
Ueno, Kiyoshi (JST)
Ugo, Ryosuke (NEC)
Uno, Motoo (Tokyo Eco Recycle)
Yamagiwa, Yasuyuki (Tokyo Zokei Univ.)
Yoneda, Yasuhiro (Fujitsu Labs)

International members

Boks, Casper (Norwegian Univ. of Sci. & Tech.)
Chen, Jahau Lewis (Natl. Cheng Kung Univ.)
Deubzer, Otmar (Fraunhofer IZM)
Du, Huanzheng (Jiaxing Univ.)
Elias, Edward (Univ. of Bath)
Fukushima, Yasuhiro (Natl. Cheng Kung Univ.)
Herrmann, Christoph (Tech. Univ. Braunschweig)
Lee, Kun Mo (Ajou Univ.)
Lindahl, Mattias (Linköping Univ.)
Lockton, Dan (Brunel Univ.)
Mueller, Jutta (Fraunhofer IZM)
Palleroni, Sergio A. (Portland State Univ.)
Saitou, Kazuhiro (Univ. of Michigan)
Sakao, Tomohiko (Linköping Univ.)
Schoenung, Julie M. (UC Davis)
Seebode, Dorothea (Philips Res.)
Sundin, Erik (Linköping Univ.)
Wever, Renee (Delft Univ. of Tech.)
Yu, Ning (Global Ecolabelling Network)

■アブストラクト

4月30日の締め切り時までには、192件の申し込みがあった。カテゴリーごとの内訳は、Special Themes では 1) Social Innovations 7件、2) Social Problems 27件、3) Sustainable Manufacturing 27件、4) Green Building & Green City 11件、General Topics では 1) EcoDesign of Social System and Business 44件、2) Environmentally Conscious Products and Services 43件、3) Environmentally Conscious Elemental Technologies and Process Technologies 34件であった。

締め切り後も受け付け、最終的には282件の申し込みがあった。内訳は以下のとおり。

カテゴリー別

	国内	海外	総数
ST1	25	6	31
ST2	12	20	32
ST3	23	11	34
ST4	6	13	19
GT1	37	23	60
GT2	15	41	56
GT3	35	15	50
投稿総数	153	129	282

所属別

	国内	海外	総数
大学	97	102	199
国研	19	12	31
企業	27	10	37
その他	10	5	15
投稿総数	153	129	282

国別

国名	総数
Australia	2
Austria	1
Belgium	3
Brazil	1
Canada	2
China	7
Denmark	1
Egypt	1
Finland	2
France	3
Germany	10
India	1
Iran	1
Italy	2
Korea	15
Malaysia	1
Netherlands	15
Norway	6
Portugal	2
Singapore	5
Spain	1
Sweden	9
Taiwan	27
Thailand	1
UK	3
USA	7
Japan	153
投稿総数	282

■フルペーパーの件数

2009年9月24日の締切時の投稿件数は100件強、最終的な投稿数は、229件であった（プレナリーは除く）。なお、下表の「カテゴリー」とは、投稿者希望のカテゴリーを指す。

カテゴリー別

	国内	海外	総数
ST1	20	1	21
ST2	11	13	24
ST3	22	11	33
ST4	5	9	14
GT1	35	16	51
GT2	11	32	43
GT3	31	12	43
投稿総数	135	94	229

所属別

	総数
大学	161
国研	31
企業	30
その他	7
投稿総数	229

国別

Australia	2
Austria	1
Belgium	3
Brazil	1
Canada	1
China	6
Denmark	1
Egypt	1
Finland	1
France	3
Germany	7
Iran	1
Italy	2
Korea	10
Malaysia	1
Netherlands	9
Norway	4
Portugal	1
Singapore	3
Spain	
Sweden	9
Taiwan	20
UK	1
USA	6
Japan	135
投稿総数	229

■Proceedings の作成

10周年記念大会として、CD版に加え冊子版論文集を印刷した。Proceedingsの編者として、組織実行正副委員長、プログラム委員長、Award委員長の名前を列記した。

*****Preface*****

‘Unconventional’ Approaches?

We are delighted to hold the “6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing” in Sapporo. The first symposium of EcoDesign was held in Tokyo at Waseda University, February 1999, and has been continuing for 10 years. During these years, the operation of the EcoDesign symposium was supported by several people who had strong motivation for developing “Eco-Design”. We would like to express our gratitude for their contribution.

Over the past ten years, many changes have occurred in the field of environmental issues. In accordance with the recycling law in Japan, advanced recycling of home appliances has been conducted from the year 2001. After the creation of this law, several regulations and laws with regard to the disposing and recycling of industrial products were considered and implemented in many other countries, e.g. Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) and Restriction of Hazardous Substances (RoHS) directives in EU. Regarding the prevention of climate change, Kyoto Protocol was put into effect in 2004. The latest, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 stated the seriousness of climate change. Furthermore, the framework of post Kyoto Protocol has been lively discussed, including the target of long-range green house gasses reduction. Also from an economic viewpoint, we have been confronted with dynamic changes in these ten years. ICT (Information Communication Technology) diffusion accelerates economic development in developing countries, but is also connected to global environmental problems, making such problems more complicated and their solutions more difficult.

How can we continue to effectively contribute to current long-term/large-scale issues which are increasing in complexity? Have “conventional” approaches, which were constrained by the words “academic” and “logical”, truly made any lasting impact on any of the global problems facing us today? It may be more effective to start investigating more ‘unconventional’ approaches. Firstly, we have to possess a holistic view of global issues (global warming, poverty, explosion of world population, and economic climate), and understand the causal relationships between them. The integration of social science perspectives, such as human behavior and culture, with technology may be unavoidable. This symposium hopes to provide possible approaches to large scale solutions that take into account the global and social backdrop which seems to fuel unsustainable behavior.

Finally, it is the first time for this symposium to be held in a location outside Tokyo. Our ultimate aim is to hold the symposium in other Asian countries in order to spread the “EcoDesign” concept and build a truly international “EcoDesign” community.

We hope “EcoDesign” will continue to grow and make a greater contribution to solving environmental/social issues.

■初日：オープニング・基調講演、セッションの状況、市民講座、テクニカルツアー、Get-Together
[受付風景]

JTB 北海道への委託、札幌市のボランティアの協力を得て受付業務を実施した。



[オープニング]

組織実行委員長 藤本淳 東大特任教授挨拶



北海道道庁 辻一郎 次長挨拶



札幌市 生島典明 副市長挨拶



[基調講演]

大会委員長 吉川弘之 (エコデザイン学会連合)
(体調不良のため、ビデオ講演で実施)

経済産業省 平塚敦之
(大臣官房企画官)



[セッションの状況]

メインホールでの基調講演の後、6つの会場で並行してテクニカルセッションが行われた。



[会場フリースペースの様子]

廊下にはフリードリンクとインターネットエリアを設け、休憩時間等には活発な交流が行われた。



[市民講座]

(財)札幌国際プラザに協力して無料市民講座「エコデザイン（環境配慮型設計）の現状と将来」（講師：今大会組織実行委員長の藤本淳 東京大学特任教授）を開催した。
（会場：大成札幌ビル）



[テクニカルツアー（大成札幌ビル）]

市民講座に引き続き、市民講座参加者と EcoDesign2009 参加者の希望者が合流して、大成建設のスーパー・エコ・ビルディングプロジェクト第1号である大成建設札幌支店社屋の見学会を実施した。



[Get-Together]

札幌テレビ塔において Get-Together を実施した。



Get-Together にはミス札幌の参加も得た。



■2日目：基調講演、セッションの状況、バンケット

[基調講演]

北海道大学 本堂武夫 副学長

Prof. Nabil Nasr



[セッションの状況]

2日目も6つの会場で並行してテクニカルセッションが行われた。



2日目には Visual Session (ポスターセッション) も開催された。



[バンケット]

札幌ビール園においてバンケットを実施した。



■3日目：基調講演、セッションの状況、アワード、クロージング、テクニカルツアー
【基調講演】

Prof. Ir. Ab Stevels



【セッションの状況】

3日間を通して6つの会場で並行してテクニカルセッションが行われた。



【アワード】

梅田靖 表彰委員長(大阪大学 教授)から”Best Paper” 5件に対して表彰状と楯が授与された。



Best Paper Award 受賞論文

以上のプロセスにより決定した受賞論文は以下の通りであった。

OS-3A-8

Physical Separation of Shredder Residue of Plastics used in Home Appliances - Gravity Separation using Advanced Jig Separation Technology

M. Itoh, M. Akatsuka, Y. Kuwayama, K. Hori,
E. Ishida, N. Hiroyoshi and M. Tsunekawa
Hokkaido University



GT2-2D-8

Technological Issues toward Environmental Excellence of Socially Exchdangeable Artifacts for Fluctuating Distributed Demands

K. Fujita and Y. Kuriyama
Osaka University



ST3-3B-8

Machine Tool Oriented Ecodesign Perspectives based on Systematic Manufacturing Process Impact Assessment

K. Kellens 1, W. Dewulf 2 and J.R. Duflou 1
1 K.U. Leuven and 2 Int. University College
Leuven



V-35

PSS-Model for the Development of Environmental Conscious Product-services - Considering the Influence of Customers' Consumption Behavior

M. Torney and C. Herrmann

Technische Universität Braunschweig



Photo of the trophy instead of the author...

GT2-2D-5

An Approach to Product Subjective Sustainability

S.J. Zafarmand, T. Tauchi, F. Terauchi, M.

Kubo and H. Aoki

Chiba University



(第一著者の名字のアルファベット順)

今回の Best Paper Award については、EcoDesign2009 を代表する大変良い論文を選考できた。表彰委員会メンバーは、EcoDesign2007 とほぼ同じメンバーであったので選考過程も大変スムーズであった。シンポジウム最終日に表彰するという制約条件の下では、今回のプロセスが最善に近いものであると考えられ、次回以降もこれをベースに改善すれば大きな問題はないと思われる。

末筆ながら、Best Paper Award の選考に関わった、国内プログラム委員会、査読者、座長、表彰委員、および関係者一同に深く感謝する。特に、海外から参加したにも関わらずシンポジウム期間中、聞きたい講演も聴けずに走り回った、Nils Nissen さん、Eric William さんに深く感謝する。

[クロージング]

伊藤寿浩 副実行委員長(産業技術総合研究所)によって、今回のシンポジウムがサマライズされた。



また、Dr. Nils F. Nissen から CARE INNOVATION 2010 の紹介があった。



最後に、次回(2011年)の国際シンポジウムは関西で開催することが検討されていることが発表された。



[テクニカルツアー（北海道大学研究室）]

テクニカルツアーとして、北海道大学ラボツアーを実施した。

<参加者>

参加人数：5名+引率1名（(財)製造科学技術センター）

参加者内訳：中国 1、オーストラリア 1、日本 3（内2名は在日外国人）

<ツアー時間>

17:30-19:00

<見学先、内容>

恒川研究室：廃プラスチックの高度リサイクリングの説明を受け、ジグ浮選ハイブリッドによる選別装置を見学した。

名和研究室：エコセメントの説明を受けた。



■参加者数

シンポジウム参加者数は 291 名（招待講演者 19 名含む）であった。

国	参加者	同伴	備考
Australia	2		
Austria	1		
Belgium	3		
Brazil	1		
Canada	0		1 名論文掲載も登録費未払い
China	5		
Egypt	1		
Finland	1		
France	5	1	
Germany	7		
Iran	1		
Italy	1		
Korea	22	1	
Malaysia	1		
Netherlands	10		
Norway	4		
Portugal	2	1	
Singapore	3		
Sweden	6	1	
Switzerland	1		
Taiwan	27	11	1 名論文掲載も登録費未払い
Thailand	1		
UK	1		
USA	7		
Japan	178	4	1 名論文掲載も登録費返金
合計	291	19	

■参加者から寄せられた意見

受付や本部には、「落ち着いた会場で居心地がよい」「よく運営されている」「サービス精神が素晴らしい」など、感謝の声が数多く寄せられた。

シンポジウム終了後

■事後処理

終了直後、藤本委員長からのお礼メールを全参加者に発送し、大会ホームページにも掲載した。

Dear all participants in the EcoDesign 2009

We were very happy to celebrate 10th anniversary of the EcoDesign with you!

Fortunately, we could end the EcoDesign 2009 with great success. We would like to thank all of you! We had the pleasure of spending time with you during this symposium in Sapporo. I pray for your safe return, and am looking forward to seeing you in the next, EcoDesign “2011”.

Wishing you the best of all possible New Years.

Dear Executive Committee, International Advisory, and International Members

The EcoDesign 2009 has ended. It was successful symposium regardless of the current economic climate. We would like to thank all who have supported the organization of this symposium. When we started organizing this symposium, we were confronted with many hardships regarding the Ecodesign operation, such as the fuzziness of decision making process and activities of organizers, in other word, the “Sustainability of the EcoDesign symposium”, which was presented by Dr. Itoh (AIST: the co-chair of the Executive Committee) in the closing address of the symposium. In this EcoDesign 2009, we could not solve all hardships, but took a further step into the coming decade. We hope that you will continuously support us in building and improved a new “EcoDesign” in order to spread “EcoDesign” concept and create a truly international “EcoDesign” community. Thank you again.

I hope “EcoDesign” will continue to grow and make a greater contribution to solving environmental/social issues!

以下それに対する返信を一部紹介する。

「Please accept my deep appreciation.」

「Many thanks for the opportunity you provided for so many of us to share ideas in beautiful Sapporo. We look forward to 2011.」

「ありがとうございました。また、来年も参加したいと思います。」

「Thank you for a well-organized conference. It was very nice to attend and to meet new and old research colleagues.」

「Thank you likewise for a superbly organized conference. I very much enjoyed attending the event, and hope to have the chance to join again in the future.」

「EcoDesign 2009 の盛況おめでとうございます。私は初めての参加でしたが、色々興味ある発表を聞くことができ、また多くの方と懇意になることができました。私自身はあまりお役に立つことができませんでしたが、また何かあれば気軽に声をかけてください。」

また、参加費を支払ったにも関わらず当日欠席した参加者に、参加者キットを郵送した。さらに、参加登録業務を委託した JTB 北海道に最終的な入金・参加者リスト作成を依頼した（明けて1月中旬にリストが確定した）。

年末に上京した NPO コンベンション札幌ネットワーク代表・藤田氏に、会期中のエコバッグ売上金（66 枚×300 円=11,880 円）を手渡した。この寄付金は、北海道の森林保護活動に役立てられる。後日、EcoDesign2009 の環境への貢献の印として、証明書が送られることになっている。

年明けには、主催（幹事学会）の日本機械学会が必要とした各種報告書類（学会内部のものと科研費分）や、助成団体の札幌市への報告書類を作成した。また、まだ請求書を発行していなかった業者には、日本機械学会宛に送付を依頼した。

最終的に、日本機械学会の経理データをもとに、事務局が最終収支をまとめた。

課題と対策

- ・準備開始時期が遅すぎ、会場選びと補助金申請の可能性が狭まった。
→できれば2年前から、遅くとも前年の年度初めには、情報収集を始めるべき。JSPSの補助金申請締め切りは、開催の前年の4月。
- ・2009年になって、地元北海道大学にプログラムや運営面で広く協力してもらおうよう共催を打診したが、大学の規定（共催行事当初から全学的に企画運営に関わっていること）が満たされず、承諾が得られなかった。
→開催地の決定を極力急ぎ、地元の協力を得やすくするべき。
- ・投稿されたアブストラクトの中には、内容が少なすぎて、採択・不採択やカテゴリー分けの判断のしにくいものが多くあった。また、アブストラクトの書式が自由だったため、執筆者や所属の記載されていないものが多く、査読の際に不便だった。
→書式の指定やページ数の増加などを検討するべき。（敢えて執筆者を伏せるというのであれば、アブストラクト本体に執筆者・所属を記載したほうが便利。）
- ・フルペーパー投稿を無断キャンセルする人が続出した。とりあえず発表を申し込む（アブストラクトを投稿する）が、フルペーパーを投稿するかどうかは自由と考える人々が多かったため、直前の大量キャンセル判明でプログラムや予算編成に支障をきたした。
→Call for Papersや採択通知などで、発表申し込み後の辞退について明記すべき。
- ・長年EcoDesignシンポジウムで発表している人の中では、フルペーパー投稿期限が有名無実化しており、プログラム編成や論文集印刷に支障をきたした。また、期限後にも事務局からアブストラクト採択者全員に督促メールを送ったため、既に投稿した人を混乱させたり、期限後でも受け付けられるという印象を与えたりした。期限内に投稿した人と最後に投稿した人では2ヶ月以上の開きがあり、不公平感も残った。
→実情に沿って投稿期限を1,2ヶ月遅く設定し、期限延長がスケジュール的にほとんど無理な状況にするか、参加者収入を減らしてでも投稿期限を厳守するべき。期限を1,2ヶ月過ぎてもプログラム編成や論文集印刷が（頑張れば）可能であることを知っている発表者が多いため、単に「早く投稿を」と呼びかけても効果は無い。
- ・講演を依頼した国内の基調講演者には、打診時に参加費等の負担について説明をしなかったため、後になって参加費徴収の連絡をした際に、少数の苦情が届いた。結果的には、ほとんどの

基調講演者に必要な旅費、宿泊費を支払い、参加費を免除したが、苦情を言わなくても不快に感じた人がいたかもしれない。

→不確定要素も含め、講演打診時に提示／言及するべき。

・会期中ランチクーポンを配布したが、予想を大きく超える人数が短時間にレストランへ殺到したため待ち時間が異常に長くなり、午後一番のセッションに支障をきたした。

→昼食時間の延長、弁当の配布／販売、場所が確保できれば収容人数の多い立食形式の昼食も検討するべき。

・テクニカルツアーは最小履行人数の関係で3件中2件しか実施されず、観光ツアーに至っては4件とも実施されなかった。

→中止のテクニカルツアーは会議終了翌日（平日）の予定だったが、会議前日に、少ない人数でも履行できる内容にすればよかった。また、観光ツアーも含め、ホームページ上で写真を多用して宣伝するなどの工夫をすればよかった（意欲はあったが、事務局に時間的な余裕が無かった）。

謝辞

この会議開催にあたって、資金的な支援をいただきました文部科学省（科学研究費補助金：研究成果公開促進費）、（財）花王芸術・科学財団および札幌市、会議の運営全体にわたって多大なる支援をいただきました（社）日本機械学会、産業技術総合研究所および北海道大学、会議の準備段階より多方面でサポートをいただきました（財）札幌国際プラザ、当日の運営をお手伝いいただいた札幌市ボランティア、および共催や後援をいただいた大阪大学など諸機関の方々に深く感謝いたします。

次回、EcoDesign2011は、大阪大学の梅田教授を中心に、関西で開催される予定です。皆様方の積極的なご支援をいただければ幸いです。

Ⅱ ライフサイクル管理用 ID 調査委員会

本委員会の活動は、財団法人 機械システム振興協会からの受託「システム技術開発調査研究 21-R-6 ライフサイクル管理用 ID に関する調査研究」（平成 21 年度）として実施したものである。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>

はじめに

製品に ID を付与することによる業務効率化の実現例は、スーパーマーケットにおけるレジでの会計や在庫管理などに始まり、最近では数え切れないほどになってきている。製品のライフサイクルとしては、設計、製造、流通、販売、使用（消費）、回収／廃棄／再利用などのステージが考えられ、各ステージで ID は活用されている。

設計においては、すでに CAD の活用が進んでいる。ID を付与した部品等の使用情報を収集し、設計にフィードバックすることが考えられるが、設計それ自体の工程で ID 自体を使うことは少ない。

製造工程でも ID が活用されるようになっており、素材に ID が付与され、生産指示票に ID の内容が書き込まれる。ID を判定して本体に部品が順に組み込まれていき、組み立て工程の完成をチェックしたのち、検査工程に移り、ID を利用して検査が行われる。これにより、製造現場での進捗管理の即時対応や流れの滞りの原因究明の効率化が実現できる。生産効率の向上と部品・製品トレーサビリティ自動化を達成した例もある。製造の後の流通過程では、ID は在庫管理、出荷管理、配送管理などに使われ、配送先の自動仕分けなども行われている。

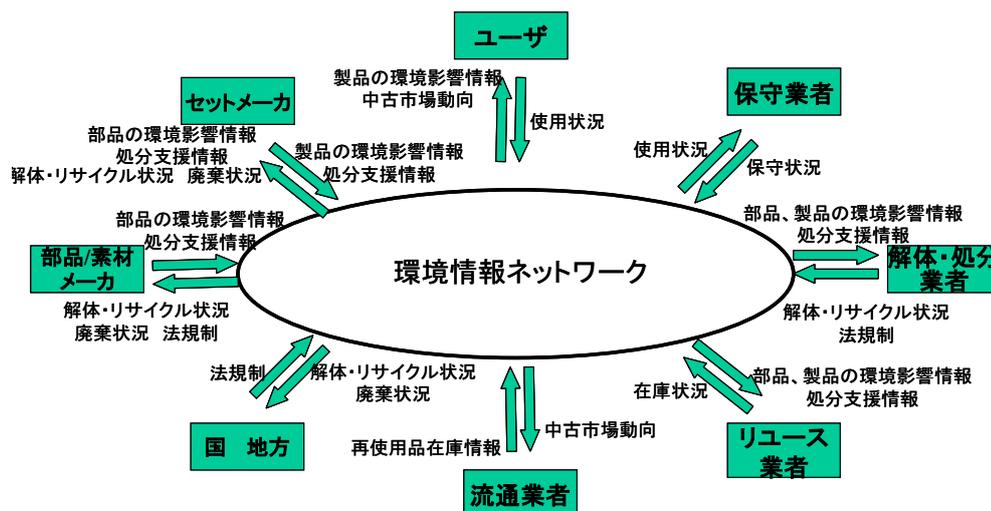
販売では、在庫管理、販売管理、自動精算／発注などに使われる。使用（消費）段階では、ユーザ登録や使用履歴、修理履歴の管理などに使われる。回収／廃棄／再利用では、ID はユーザ登録先への回収訪問や、使用履歴による再利用可能部品の選択（リユース支援システム）、リサイクル可能な部材の選別や廃棄物の適正処理の監視等にも使われるようになってきた。

特に最近では、電子機器等の性能向上に欠かせない稀少金属の入手が困難になり、稀少金属を使っている電気製品が使用済みとなって廃棄されるときに、使用済み製品からの稀少金属をリサイクルして入手することが注目されるようになってきている。そのため、稀少金属が含まれている製品をそのまま処分してこれを捨ててしまうことのないような手立てが求められている。つまり、ID 付与により、稀少金属が含有されているかを容易に判断できることが望まれている。

環境負荷削減のために、情報技術の活用が有効なこと、特に製品に ID を付与してライフサイクル管理することの重要性を検討した例として、インバース・マニュファクチャリングフォーラムで開発、公開した製品／環境情報システムがある。環境負荷を削減するために製品ライフサイクルの各場面でどのような情報が必要で、それら情報を製品 ID をキーにして運営管理することにより、製造業者（部品・素材メーカ、セットメーカ）、利用者、廃棄処理業者などにとって、どうすれば必要とする情報が、必要とするときに得られるかを検討し（平成 8,9 年度機械システム振興協会から受託「インバース・マニュファクチャリング製品環境情報システムのプロトタイプモデルの開発に関するフェージビリティスタディ」）、システムのプロトタイプを作成（平成 10 年度 NEDO から受託「インバース・マ

ニューファクチャリングシステムの開発)、インバース・マニュファクチャリング製品/環境情報システムとしてインターネット上で公開した。(http://www.mstc.or.jp/m-1db/ 1998年9月公開)

このシステムの概念図を下記に示す。製品 ID をキーにして、各サイトは自己の生成するデータを蓄積、管理し、クライアントとして他のサイトから自分に必要なデータを参照できるような構造にしてある。本プロトタイプシステムの開発、公開を通じて、製品環境情報システムの有効性とその実現の技術的可能性が示された。



製品リサイクル情報システム概念図

1 回の ID 付与によって製品ライフサイクルを通して管理できれば、製造、流通、販売からライフエンドでのリサイクルまでの管理が高度化/効率化できるが、現在の ID 付与の実現手段となるデータキャリアにはそれぞれ一長一短があり、一つの ID によるライフサイクル管理は殆ど実現されていないのが現実である。

そこで、ID の現状、ライフサイクル管理のためのニーズ、新しいデータキャリアの適応性及び今後の方向性を明らかにするために本調査研究を実施することになった。

今回の調査研究結果及び調査研究を通じて明らかになった課題への対応により、ID 付与によるライフサイクル管理の高度化/効率化が進展すれば幸いである。

平成 22 年 3 月

財団法人 製造科学技術センター

委員長挨拶

最近の地球温暖化防止や地球資源保護に対する人々の関心の高まりにつれて 3R (Reduce、Reuse、Recycle) 実現のための方策がいろいろ考えられるようになってきた。これまでも、古鉄などを再利用する回収システムは存在していたが、多くのスクラップは粗大ゴミとして埋め立てなどで処理されていた。不要になった製品やその部材を再利用するためには、どのような物質で作られたのか、構成される素材の情報が必要であり、部材や製品ひとつ一つに情報を添付することが求められる。生産財や消費財を市場投入している企業の、製品（プロダクト）を基軸に、製品の企画段階から開発、製造、生産準備、調達、生産、販売及び保守といった部分をライフサイクルというが、3R 実現にはライフサイクル管理が可能となる情報添付、すなわちデータキャリアが鍵となる。

本委員会は、学者、研究者及び専門家から構成され、データキャリアに関する ID 付与データキャリア調査ワーキンググループとカラービットコードに関するカラービットコード評価ワーキンググループを設置して、さまざまな局面から議論を交わす体制で取り組んだ。委員会やワーキンググループの会合では、各委員の活発な議論と検討を行い、対象とする部材に関する自動車工場やリサイクルセンターの見学を実施し、精力的、献身的な執筆作業をしていただいた。

本報告書の 3-1 と 3-2 では、従来のバーコードや 2 次元シンボルに加え RFID などのデータキャリアの特徴や特性に加えて、それぞれのデータキャリアの弱点にも踏み込み、ライフサイクル管理に活用できるかを検討した結果がまとめられている。3-3 では、最近注目されている技術であるカラービットコードについて、従来のデータキャリアでは温度や添付スペースの制限で難しいとされている部材として自動車用フロントガラスを取り上げ、さまざまな実験を実施し、ライフサイクル管理におけるデータキャリアとして活用できるかを詳細に検討した結果がまとめ上げられている。

結果として、カラービットコードは、従来のデータキャリアであるバーコード、2 次元シンボルや RFID を補完する価値があることが確認された。ただし、カラービットコードを広く普及させるためには、QR コードが一般的になったように、標準化や詳細な技術情報の公開が求められる。

バーコード、2 次元シンボル、RFID、カラービットコードなどデータキャリアとして活用できる技術が開発され、温度、湿度などの物理的環境、製品や部材の素材が原因の諸条件などによって使い分けることが重要である。データキャリアとしてカラービットコードが加えられたことが本報告書の最大の成果である。

本報告書が、さまざまな分野の方々によってライフサイクル管理に活用されれば幸いである。

ライフサイクル管理用 ID 調査委員会

委員長 荒木 勉

1 調査研究の目的

本調査研究は、ライフサイクル管理のための ID 付与に関するものである。最近の情報処理技術の発展を受けて、製品や部材などのいわゆる「モノ」に ID を付与して管理することによる効率向上や流通管理／解析などが実現されるようになっている。また、持続可能社会の実現に向けて、工業製品の製造、使用、再利用や廃棄処理などの製品ライフサイクル各段階での適切な管理は不可欠な状況になっている。そのためにも製品に ID を付与して、個々の製品の属性を記録し参照できるようにしておかなければならない。経済産業省による技術戦略マップ 2008「設計・製造・加工分野」においてサステナブル・マニュファクチャリングの観点から、ライフサイクル設計技術やライフサイクル管理技術が重要技術に挙げられている。

ID 付与の実現手段となるデータキャリアとして使われている、OCR 用の文字、バーコード、IC タグなどはそれぞれ一長一短があり、現実のシステムでは、コスト、耐久性、情報容量、読取りやすさなどすべてのニーズを満足していることはなく、適用する各局面において適するものが選択されて使われている。

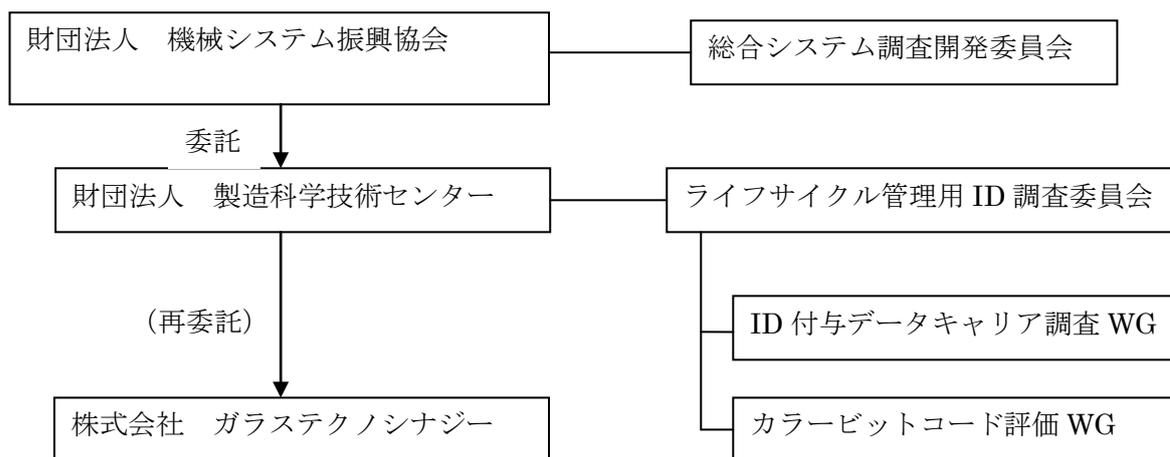
ID が利用されるすべての場面で一つの ID が共通に使用可能になれば、製品ライフサイクル全体で 1 回の ID 付与で済むことになり、手間が大きく省けることになる。製品ライフサイクル全体としては、異なる環境条件下で ID が利用されることが多く、製品が社会のなかに存在する期間全体にわたって読取り可能であることが必要である。さらに ID を付与することが難しいと言われている透明な製品や曲面を有する製品に対する ID 付与手段も必要である。

本調査研究では、既存の ID 付与データキャリアの特性と付与されるモノの側からのニーズを明確にして最適なデータキャリア選択を容易にするとともに、ID を付与することが難しいと言われている透明な製品や曲面を有する製品などに対する ID 付与手段があるかを調査し、それら手段の限界を明らかにして ID の利用範囲を拡大するとともに、データキャリアとしての開発の方向性を明示することを目的としている。

2 調査研究の実施体制

(1)実施体制

本調査研究にあたっては、(財) 機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、(財) 製造科学技術センター内に、学識経験者、研究所、企業からなる「ライフサイクル管理用 ID 調査委員会」、「ID 付与データキャリア調査 WG」、「カラービットコード評価 WG」を設け、討議、指導を得て具体的作業を進めることにより、成果をまとめて報告書を作成した。



(2)業務分担

カラービットコードの付与実験については、(株) ガラステクノシナジーに再委託して行った。

3 調査研究成果の要約

3-1. 既存の ID 付与データキャリアの調査

3-1.1 概要

既存の各種 ID 付与データキャリアの特徴をバーコード、RFID 等のカテゴリー毎に調査を実施し、その種類、特徴や特性についてまとめた。

3-1.1.1 バーコード

一口にバーコードといっても、JAN コードのように消費者が利用する場面と企業の省力化、効率化を求めたバーコードがあり、製造番号やロットナンバーまでを ID として付与し管理がされている。

バーコードの読取りは、バーの太さ、印字の精度、コントラスト等により大きく左右されるため、バーコードの印字の品質による読取りグレードが国際標準化されている。また、光学的に読み取るためラベルを貼付するモノにも影響される。そのため貼付の条件が JIS 規格により規定されている。

3-1.1.2 2次元シンボル

2次元シンボルは、わが国では QR コードイコール 2次元シンボルとして扱われているが 2次元シンボルには、マルチロー型とマトリックス型があり、各 2次元シンボルの種類と特徴について調査し報告を行った。

3-1.1.3 RFID

RFID は周波数の違いにより電磁結合方式、電磁誘導方式及び電波方式に区別され、それぞれの周波数での RFID の特性が異なってくる。また、人が持つ場合はカード形状が最適であるが、工場などモノに取り付ける場合はモノの特性に応じた形状にしてタグ情報の授受を行っている。RFID は情報を電子メモリに蓄積するが、運用条件により使用されるメモリを書き込み専用型、書き替え可能型等に分類し、RF タグの他にセンサ機能を付加して機能の向上を図っている。電池を内蔵してアクティブタイプにしたものもある。

3-1.1.4 その他のデータキャリア

その他のデータキャリアとしては、磁気カード、接触式 IC カード、OCR、OMR、MICR を取り上げ、特徴等についての調査結果を報告する。

ID 付与データキャリアには、バーコード、RFID の他、過去からの発展過程で、電磁気的应用で、電氣的に ID 情報を記録する方法の磁気カード、接触式 IC カード等と光学的にモノに書かれた情報を読み取る OCR、OMR 等に分けられ、それぞれ特性や特徴が異なっている。使用される場所により、形状や読み書きの方法が検討されている(表 1.1.1)。

表 1.1.1 既存 ID 付与データキャリアの比較表

自動認識技術	情報量	情報書き換え	一括読取	読取距離	読取速度	読取方向	目視確認	耐環境(耐久)	遮蔽物の影響
バーコード	数十文字	不可	不可能	~1m	低速読取	固定	可能	極めて弱い	読取不可
2次元シンボル	3KB以下	不可	不可能	~1m	低速読取	他方向	不可能	極めて弱い	読取不可
磁気カード	69B	不可	不可能	接触	低速読取	固定	不可能	強い	読取不可
接触式ICカード	32KB	不可	不可能	接触	高速読取	固定	不可能	極めて弱い強い	読取不可
OCR	数十文字	不可	不可能	接触	低速読取	固定	可能	極めて弱い	読取不可
RFID	8KB以下	可能	可能	~5m	高速読取	他方向	不可能	極めて強い	読取可能

3-1.2 バーコード (1次元シンボル)

以下に主なバーコードを比較したものを示す(表 1.2.1)。

表 1.2.1 主なバーコードの比較表

	JANコード	ITFコード	Code39	Code128
シンボル	 4 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 4	 1 4 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1	 * 1 2 3 A B C *	 1 2 3 4 A B C D
データ	数字 13桁/8桁	数字 偶数桁	数字、 英字 記号	数字、英字、 記号、制御文 字(フルアス キー128種)
用途	共通商品 コード	小物ラベル、 標準物流シ ンボル	FAラベル/ 伝票 AIAG EIAJ、 JAMA	EAN128 公共料金振込用紙 FAラベル/ 伝票

3-1.3 2次元シンボル

2次元シンボルは、バーコードの直線的に配置した情報を縦方向と横方向の面に配置して単位面積当たりの情報量を多くしたシンボルである。2次元シンボルには、碁盤の目のように一つ一つの升目(これをセルという。)を白又は黒にして情報を表現している方法のマトリックス型と1次元のバーコードを多段に重ね一つの情報を表現するマルチロー型の2通りがある。

2次元シンボルは、シンボルの基本単位である、バーやセルがバーコードに比較して非常に小さいため汚れや傷の影響を受けやすい。この汚れや傷に対応するため、2次元シンボルにはシンボルそれ自身に正しい情報に復元する誤り訂正機能を備えている。シンボル内にこの誤り訂正機能を含めるため、この機能はシンボルを使用するユーザが設定できるが誤り訂正機能を強化すると情報量が少なくなってしまう。

表 1.3.1 に主な 2 次元シンボルの特徴を示す。

表 1.3.1 主な 2 次元シンボルの特徴

	PDF417 	DATA MATRIX 	MAXI CODE 	QR Code 
開発会社(国)	Symbol (米)	CI Matrix (米)	UPS (米)	デンソー (日)
コードタイプ	マルチロー	マトリックス	マトリックス	マトリックス
データ量 (Alphanumeric)	1,850	2,355	93	4,296
特長	情報量が多い	情報量が多い 小スペース	高速読み取り	情報量が多い 小スペース 高速読み取り
主用途	OA	FA	ロジスティックス	全産業
標準化	AIMI ISO	AIMI ISO	AIMI ISO	AIMI ISO JIS

参考図書

- 「知っておきたい バーコード・2次元コードの知識」 平本純也著 日本工業出版
「これでわかった 2次元シンボル」 日本自動認識システム協会 オーム社
「共通商品コード用バーコードシンボル」 JIS X 0501 日本規格協会

3-1.4 RFID

RFIDとは、Radio Frequency Identification Systemの略である。自動認識 (Auto-ID) においては、媒体に電波や電磁波を用いたIDシステムのことであり、一般的にはそれをもつ人と情報、あるいはそれを取り付けるモノと情報との一元化を図る目的で使用されることが多い。

3-1.4.1 RFID の定義

日本工業規格 (JIS) では、JIS X 0500(データキャリア用語)で、RFID に関して以下のように定義している (表 1.4.1)。

表 1.4.1 JIS X 0500(データキャリア用語)における RFID の定義

RFID	誘導電磁界又は電波によって、非接触で半導体メモリのデータを読み出し、書込みのために近距離通信を行うものの総称
RF タグ	半導体メモリを内蔵して、誘導電磁界又は電波によって書き込まれたデータを保持し、非接触で読み出しできる情報媒体。
リーダ/ライタ	RF タグのデータを書込み、読み出しする装置。通常、アンテナと制御装置で構成する。
アンテナ	リーダ/ライタの一部で、RF タグとの物理的に電磁界ないしは電波の送受信を行う導体素子放射部分(空間結合素子部分)。
交信	RF タグとリーダ/ライタ(アンテナ)間の無線通信。

3-1.4.2 RFID の分類と特性

(1)周波数と方式による分類と特性

下記の表 1.4.2 は、最も代表的な RFID の切り口である方式と使用する周波数によって RFID を分類・比較したものである。

表 1.4.2 方式&周波数による RFID の分類・比較表

項目	方式	電磁結合方式	電磁誘導方式			電波方式	
			400~530KHz	~135KHz	13.56MHz		860~960MHz
ISO/IEC エアインタフェース規格	—	ISO/IEC18000-2	ISO/IEC 1800-3 (ISO/IEC 15693)	ISO/IEC 14443	ISO/IEC18000-6	ISO/IEC18000-4	
交信距離	0 ~ 150mm	0 ~ 1m	0 ~ 700mm	0 ~ 100mm	0 ~ 5m	0 ~ 1.5m	
交信速度	△	×	○	◎	◎	◎	
電波の指向性/シャープさ	△	×	△	○	△	○	
電波の反射/干渉	◎	△	○	◎	×	×	
耐ノイズ性	◎	△	○	◎	◎	◎	
無線機器との干渉	◎	◎	◎	◎	○	△	
耐水性・水分の影響	◎	◎	○	○	△	×	
ガラス・樹脂の通過	◎	◎	○	○	○	○	

優 ◎ > ○ > △ > × 劣

(2)RF タグの形状による分類と特性

RF タグの形状による分類としては、表 1.4.3 に示すようにさまざまな種類がある。また、最近では、部品や製品、あるいはプリント基板への直接的な搭載（組み込み）を前提としたボルト形、超小型基板実装形なども登場してきている。

表 1.4.3 RF タグの形状による分類例

インレット形 (モジュール形)	ラベル形	カード形	角 形	円板形	スティック形	球形	箱 形 (電池内蔵)
							

それ以外の RF タグの例として、ボルト形状の RF タグと基板実装形の RF タグを示す (図 1.4.1)。

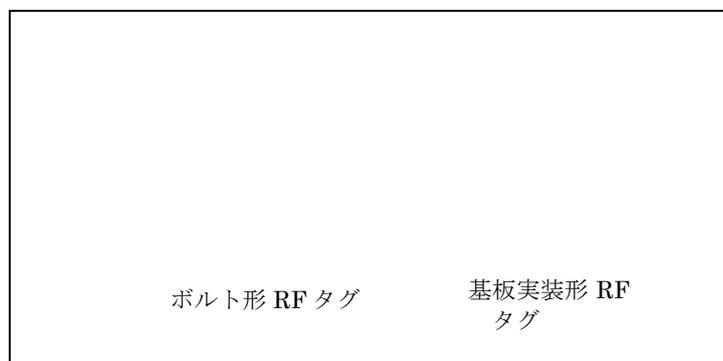


図 1.4.1 ボルト形状 RF タグと基板実装形 RF タグの例
(提供:オムロン(株)、戸田工業(株))

(3)RF タグに搭載されたメモリの種類による分類と特性

①Read Only (RO) タイプ

RF タグの情報を読み出すだけの機能しかない RO(Read Only タイプ)の場合には、RF タグに搭載されるメモリは EP-ROM が主流である。また、RF タグに書かれている情報は、ユーザによって書かれるのではなく、基本的に RF タグメーカ (IC メーカ) によって書き込まれ、多くの場合には数桁や数 10 桁の数字である。

②WORM (Write Once Read Many) タイプ

これはユーザが一回だけ任意のデータを書き込むことができるタイプである。メモリとしては、EEP-ROM が使われる。追記ができない点では使いにくいですが、RO タイプと同様にセキュリティという点では魅力があると言える。

③Read Write (R/W) タイプ

RF タグで最も多く使われているのはこのタイプである。基本的にユーザ自身で任意の情報を RF タグに書き込むことができるので、RFID 本来の使い方だといえる。また、場合によっては二度と書き換えができないようにロックを掛けて改ざんできないようにすることができるものもあり、セキュリティ用途でも使用可能である。

(4)電力供給方式による分類と特性

表 1.4.4 に示す通り、電力供給方式によって RF タグは、パッシブタグ、セミパッシブタグ、アクティブタグの 3 種類に分類できる。

表 1.4.4 電力供給方式による RFID の分類と特性

パッシブタグ (Passive Tag)	セミパッシブタグ (Semi-Passive Tag)	アクティブタグ (Active Tag)
<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナ(リーダライタ)からの供給電力のみで動作 ・交信距離: 数mm~数m 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナ(リーダライタ)からの供給電力と内蔵電池エネルギーで動作 ・交信距離: 数cm~数m 	<ul style="list-style-type: none"> ・内蔵電池のエネルギーで自ら動作 ・交信距離: 数m~数10m

3-1.5 その他のデータキャリア

国内では、これまで述べてきたバーコード、2次元シンボル、RFIDは、既に大きな市場を形成しているが、その他のデータキャリアとして、

a.磁気カード (Magnetic card)

b.接触式 IC カード (Integrated circuit Card)

c.OCR (Optical Character Recognition or Optical Character Reader)

d.OMR (Optical Mark Recognition or Optical Mark Reader)

e.MICR (Magnetic Ink Character Recognition)

などがあり、色々な分野で産業発展に貢献しているから見逃すわけにはいかない。そこで、本項では、人につける ID まで広げた ID 付与データキャリアについて調査した。

ただし、バイオメトリックスについては、ID を必要とするモノ側からみた場合、ID 付与が困難なために調査から対象外とした。

3-2 ID を付与されるモノの側からの調査

3-2.1 概要

近年、省資源、省エネルギー及び有害物質の削減など環境意識の高まりから管理する対象のモノ（材料、部品、製品）について、ライフサイクルを通じての管理が重要視されるようになってきた。具体的には、製造段階における使用化学物質、二酸化炭素排出量などの環境情報の収集・提供、使用時の適切なメンテナンスや廃棄時の適正処理が求められている。そこでモノの経年変化情報などをどのような環境下（温度、湿度、雰囲気）でも管理できる ID へのニーズが高まってきた。

これらのニーズから製品、部品などを管理する方法として 2 次元シンボルなどをモノに直接印字や刻印などの手段でマーキングするダイレクトマーキング技術が有効視されている。このことから、各種産業における ID 付与の動向調査及び、ID 付与を必要とするモノ（材料）として、自動車の駆動系の部品やエンジン周りの部品などの金属部品、ガラス、電子部品、プリント基板、アルマイト部品、医療器具などへの印字や刻印とそのマーキング方法について調査を行った。

また、RFID システムを利用した場合、耐環境性は優れているが、RF タグは IC チップなどの電子部品を使用した情報媒体であるので温度などへの影響が懸念されるため、温度、スパッタ、油や水、屈曲等による影響の調査を行った。

ライフサイクル管理を必要とするモノの観点では、製品製造に係わる情報や、使用時の履歴、廃棄段階における情報提供の必要性などについて調査を行った。

また、モノの特性によって必要とされるライフサイクル管理の内容は異なるため、モノの属性に応じたライフサイクルの段階ごとの管理内容について調査検討を行い表にまとめた。

これらの調査の結果、製品・部品のリユース、材料リサイクルを促進するためのライフサイクル管理の高度化に必要なライフサイクル ID キャリアについて、情報のリアルタイム性の有無やネットワーク環境の必要性などの観点から整理を行った。

3-2.2 ライフサイクル管理の必要性

近年製品のライフサイクルを考慮に入れた製品設計やその管理が注目されている。「製品ライフサイクル」は、ここでは製品個体のライフサイクルを指すものとする。つまり図 2.2.1 に示すとおり、資源採取から廃棄（埋め立て、焼却、再生・再利用）に至る一連の流れをいう。

このライフサイクル思考が注目される理由の一つに、省資源、省エネルギー、有害物質の削減などを目指した環境問題への意識の高まりがある。製品ライフサイクルにわたり、環境情報の収集・提供、適切なメンテナンスや廃棄を実施することをライフサイクル管理という。

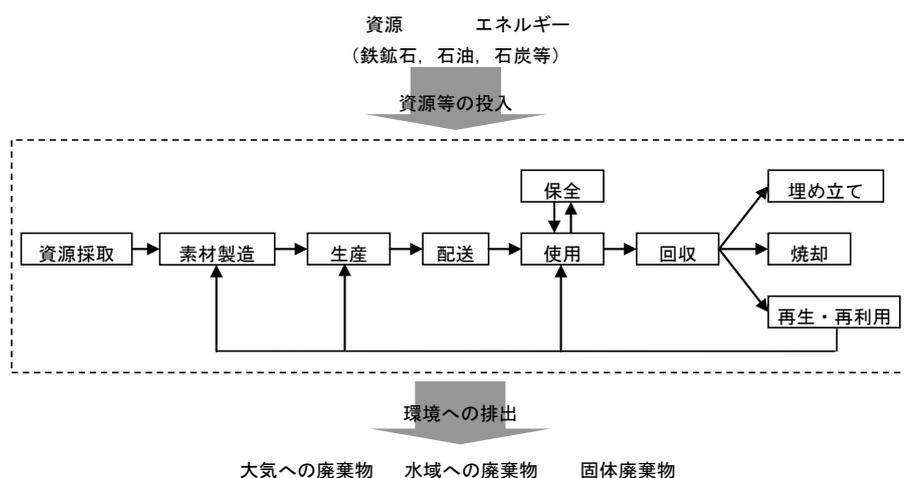


図 2.2.1 製品ライフサイクルの概念図

【参考文献】

ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework

3-2.3 ID 付与の動向調査

ID の付与は、OCR、OMR、バーコードなどについては紙に印字したものをモノに添付したり、貼り付けたりしてモノの管理を行ってきた。また、RFID はそれ自身が一つの媒体として存在するため何らかの方法で、モノに取り付けてモノの管理を行うという方法をとってきた。しかし、例えば伝票に印刷された情報媒体を違うモノに取り付けた場合は、情報とモノが一体とならずにまったく管理する対象が異なってしまう。究極の情報とモノを一体化させる技術はそのモノに直接書き込むダイレクトマーキングである。

このダイレクトマーキングは、米国を中心として需要が急速に高まっている。特に航空機分野 (ATA: Air Transport Association)、宇宙分野(NASA: National Aeronautics and Space Administration)、自動車分野(AIAG: Automotive Industry Action Group)、軍事分野(US-DOD: United State Department of Defense , NATO: North Atlantic Treaty Organization)などで安全性の確保、ISO9000 の品質トレーサビリティの保障、サービスメンテナンス性向上、及び資源の有効活用の一貫として、製品に 2 次元シンボルを直接マーキングする研究が急速に進んでいる。

3-2.3.1 生産現場における ID 付与

プリント基板実装の管理には実装スペースの密度が高く情報化スペースが少ない。多品種少量生産する現場において間違いのない確実な作業と製造履歴として、ライン名、検査計測データ、シリアル番号等、多くの情報をコード化し、リーダで読み取り、検査結果の照合や履歴管理の自動化を行い、工場出荷段階での『トレーサビリティ管理』が行われている(図 2.3.1)。

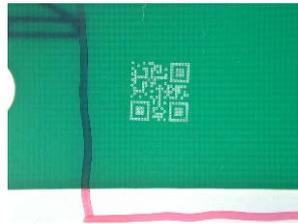


図 2.3.1 ガラスエポキシへの CO₂ レーザマーク例

製造現場において組み立て工場や半導体工場では管理の高度化を進めるために工程の進捗が進むにつれ、製品の付加情報を把握し、より精細な管理が要求されてきている。可視化でき、書き替え可能なリライタブルペーパーが開発され、それと RFID を組み合わせたリライタブルハイブリッドメディアが登場し、複雑な工程管理を容易にできるようになった(図 2.3.2)。

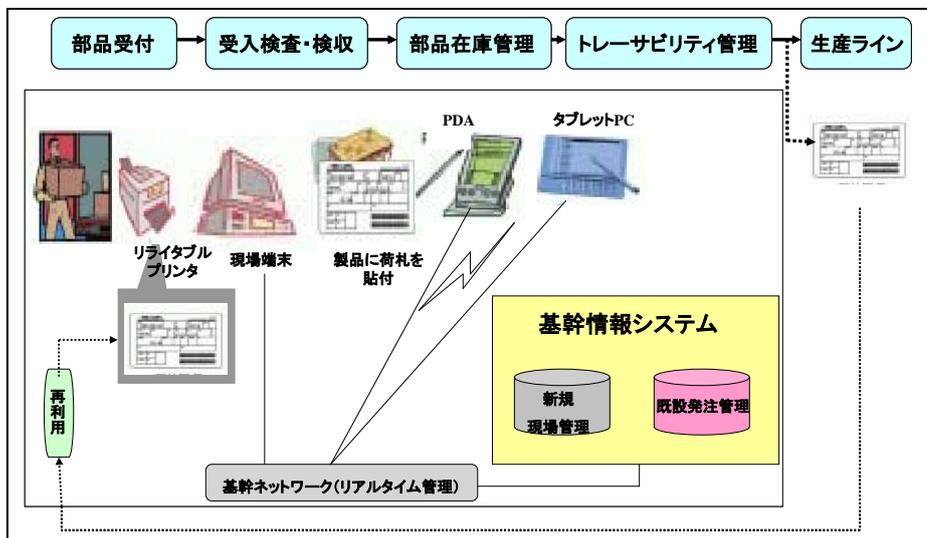


図 2.3.2 リライタブルハイブリッドメディアでの管理例

3-2.3.2 メンテナンスサービスにおける ID 付与

自動車業界においては、製造者、製造日、使用材料、リサイクルなどの製品情報を 2 次元シンボルでモノ（エンジンやボディ等）に直接マーキングを行い、販売店やサービス店に出荷される。販売店やサービス店はそれを販売やメンテナンスに活用して消費者へ納入する。下取り車は、販売店、サービス店で車にマーキングされたコードの情報を製造業者やリサイクル業者にネットワークを通じて送り、リサイクル可否の情報を提供してもらい、リサイクル可能な車はリサイクル業者に送り、耐用年数を過ぎたモノの処分と再利用可能なモノはリサイクル業者よりリサイクル、リユース部品として製造業者へ送ることによりモノの適正再利用ができる(図 2.3.3)。

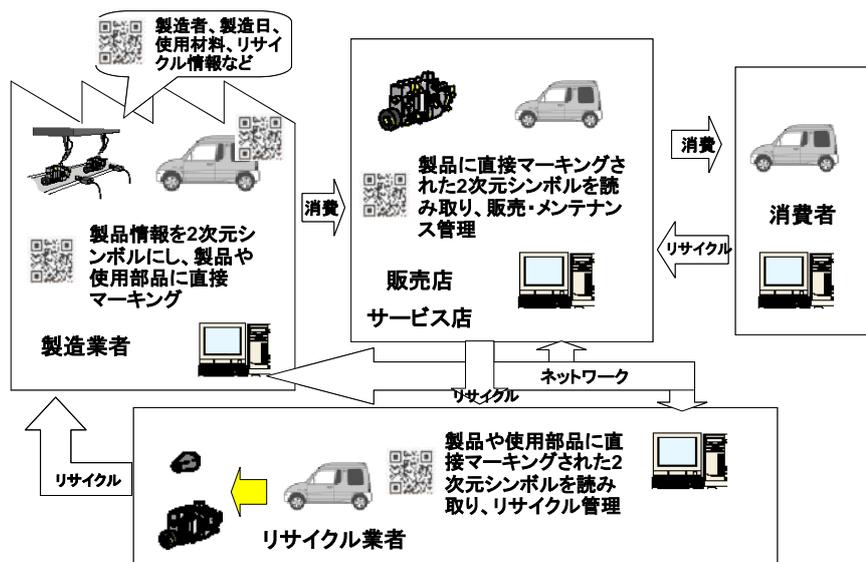


図 2.3.3 自動車業界におけるダイレクトマーキングの使用例

3-2.3.3 書籍への ID 付与

出版業界は、委託販売制を基本的な商習慣としてきたが、某出版社は、責任販売制を普及させる方法として同一アイテムの中で委託販売制と併用することを検討し、要求される物流の速さやコストの面からの問題を解決するため、RFインレイを製本段階で綴じこみ販売条件の識別システムの開発を行った。

このシステムは、書店において販売条件を併用できることから、委託販売制商品で売れ残りに対するリスクコントロールを行いつつ、責任販売制の高マージンによる収益向上を目指すことができた(図 2.3.4、図 2.3.5)。



図 2.3.4 RFID を閉じ込んだ書籍

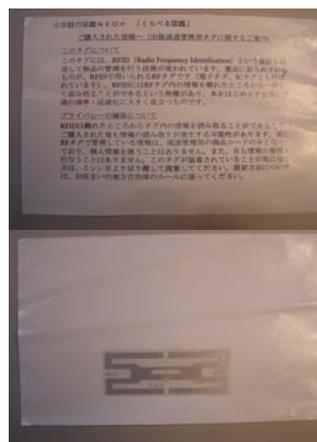


図 2.3.5 書籍に綴じ込まれた RF インレイ

3-2.3.4 貴金属・小物への ID 付与

ダイヤモンドなどの高価な小物に大きな商品タグをつけたのでは商品価値が下がってしまう。小さなタグを使用して 2 次元シンボルで表現することによりお客様への信頼性を確保することができるとともにお客様への対応もスムーズに行えるようになった。コンタクトレンズのような小物は、表現する文字が多くそれを小さなケースに表現しなければならない。コンタクトレンズ協会では、ケースに合わせたラベルに QR コードで ID の付与を指導している(図 2.3.6)



図 2.3.6 コンタクトレンズのケースに貼付の例

3-2.3.5 営業食器、ユニフォームへの ID 付与

営業食器（皿、茶碗）に取り付けられる RF タグや、リネンサプライでのユニフォームに取り付けて利用されるタグは、その使い方から耐水性、耐温度サイクル性が重要な要素である。図 2.3.7 に示すように、水の影響を受け難く、数百℃に耐えるタグは、耐熱樹脂にモールドされている。



図 2.3.7 樹脂封入した RF タグ

大手工場の社内食堂や回転寿司業界においては、自動読取りによる精算業務の効率化を進めている。



図 2.3.8 食堂 POS の自動精算



図 2.3.9 回転寿司の自動カウント

3-2.4 モノに付与されるデータキャリアへの特性要求

ID 付与データキャリアに対して、モノの側から見てどのような特性が要求されるかを調査した。現実的には、データキャリアが付与されるモノの特徴もさまざま、例えば透明な物質、曲面しか持たない物質、あるいは微細な物質など ID 付与が難しいモノがたくさん存在する。また、ID に付与された情報をどのような条件で読取りができるか、という点も重要である。

ID を付与されるモノとしては、例えば、バーコードなどのような光を利用して認識するシステムでは、紙に印刷されたラベルを実際に管理するモノに貼付してそこからデータを読み取る方法が多い。しかし、耐環境性や経年的な変化を考慮して紙のラベルを用いずに、モノに直接印字や刻印をして読み取る方法を選択する必要性があり、その実施例を調査した。

また、光を利用して認識する方法において障害となる油汚れなどの悪影響に強い RF タグのモノへの装着位置や材質による読取精度の特性を調査した。また、IC チップを備えた RFID をモノに使用した場合には、経年変化や油などの耐環境性に対しては優れていることがわかったが、使用される周囲温度の影響の考慮から耐温度（耐熱）に対する特性を更に調査した。

3-2.4.1 2次元シンボルのダイレクトマーキング

最近、光を利用するシステムとして有効視されているのが 2次元シンボルを製品や部品にダイレクトマーキングして読み取る方式である。しかし、2次元シンボルがダイレクトマーキングされた読み取るモノ（対象物）の表面状態によって、読取精度に影響が出る。つまり、表面の粗さの精度、モノの色（反射率）や光沢、周囲の照明、ダイレクトマーキングした 2次元シンボルの色、あるいは透過物に対する考慮など読取りに影響する基準を設けるなどの標準化が必要となってくる。また、ダイレクトマーキングの方法としては刻印（打刻機）やレーザーマーカなどを用いるが、マーキングの仕方や粗さなどに読取りが左右されるため、それらの基準を設ける必要がある。

また、経年変化によってマーキングした箇所が変化して読取りが難しくなったり、最悪の場合には全く読取りができなくなったりすることもある。このような状態を考慮すると、モノのライフサイクル管理全般すべてにわたって使用できるものではないと判断できる。

(1) ダイレクトマーキングの方法と事例

- a. 打刻機（ドットインパクト装置） (図 2.4.1)
- b. ファイバレーザマーカ (図 2.4.2)
- c. YVO4 レーザマーカ (図 2.4.3)

の各装置の例及び実際のダイレクトマーキングした際のマーキング例を示す。

打刻機でマーキングした 2次元シンボルは携帯電話のリーダーレベルでは読取りができな

い。ドット状のダイレクトマークを読み取るためには、工場などで使われている FA 用の読取装置（2次元リーダ）が必要になる。また、レーザーでマーキングした場合も光の当たり具合で読取率が大きく変化するので一定レベル以上の読取性能が要求される。

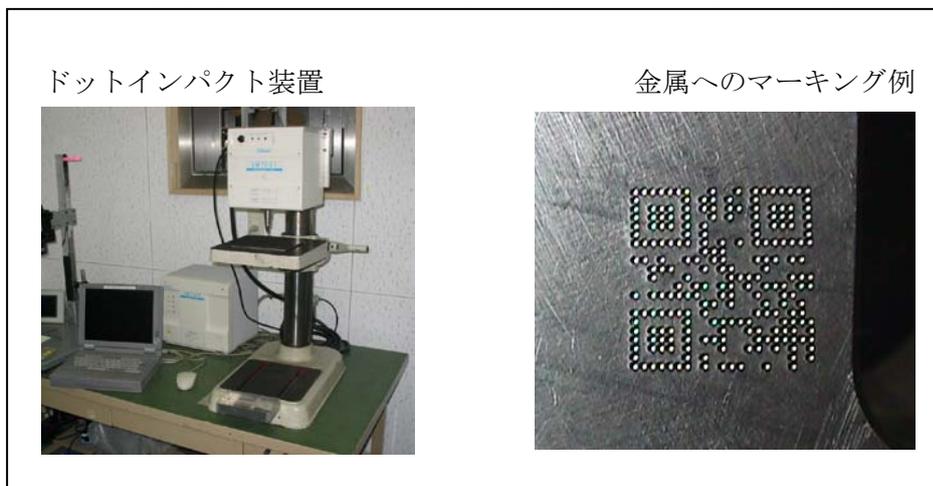


図 2.4.1 ドットインパクト（打刻機）の例

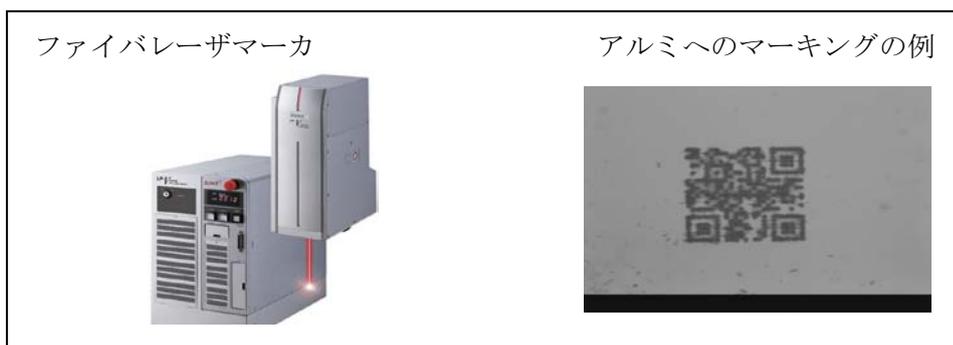


図 2.4.2 ファイバレーザーマーカの例

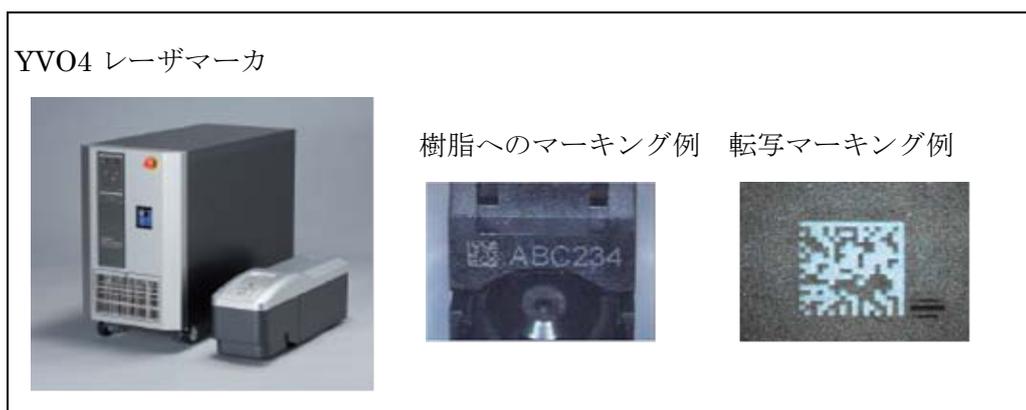


図 2.4.3 YVO4 レーザマーカの例

ダイレクトマーキング装置とマーキング対象として最適なモノとの一般的な相関関係を

図 2.4.4 に示す。

<p>プリンタ 液晶</p>	<p><安価な対象物への印字・表示に最適> 紙、伝票、各種指示書、広告、携帯等</p> 
<p>YVO4 レーザーマーカ</p>	<p><微細なマーキングが必要なワークに最適> 電子部品など小型で重要な部品</p> 
<p>YAG レーザーマーカ</p>	<p><高価だが、金属、樹脂など幅広いワークに対応> 金属部品、樹脂部品全般</p> 
<p>CO2 レーザーマーカ</p>	<p><安価だが、印字できるワークに限られる 文字などの印字に最適> 透明体ワーク、プリント基板など</p> 
<p>打刻機 (ドットインパクト)</p>	<p><安価で、耐環境性が高く、大きな金属 ワークへの印字に最適> 自動車部品など</p> 

図 2.4.4 ダイレクトマーキングの装置（方法）と対象との相関関係

図 2.4.5 に、実際にダイレクトマーキングをした対象のモノの例を示す。

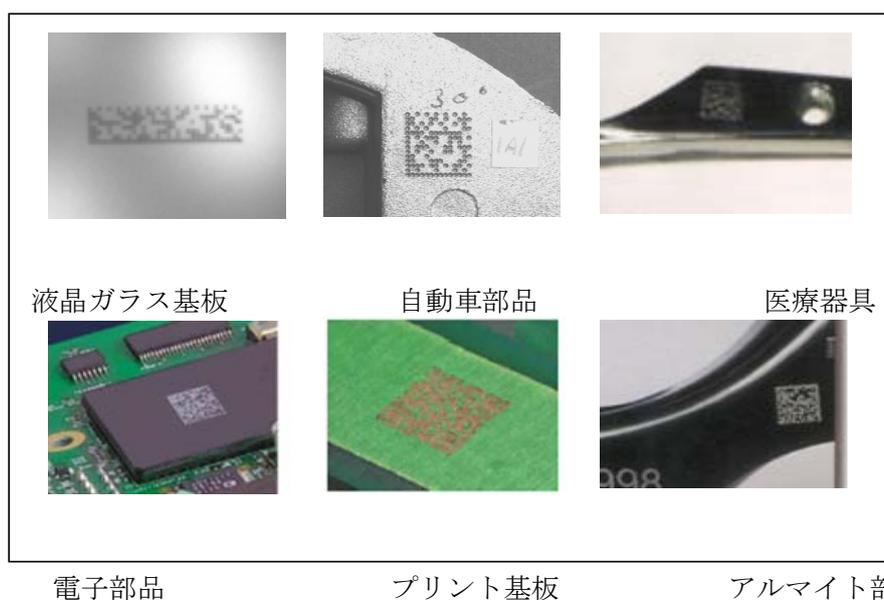


図 2.4.5 ダイレクトマーキングした対象のモノの例

3-2.4.2 RFID の活用

RFID を活用してモノに RF タグを装着する方法では、耐環境性に優れているという特性から油污れなどの影響は回避できる。しかし、モノへの装着場所、装着位置、あるいはモノの材質などの違いにより、交信距離や読取りの精度が大きく異なることがある。

このような背景の中、ID を付与されるモノとしてガラス、金属（鏡面、キズのある面、梨地面など）、あるいは樹脂などを具体的に取り上げ、RFID の付与が可能か、あるいは、RF タグを対象物に装着した後に ID 情報を確実に受け取ることができるかをそのモノの特性や生産過程から考慮して検討を行った。

しかし、この検討はあくまでもそのモノの生産段階での可能性の検討であるため、ライフサイクル全期間にわたっての可能性は欠如している。また、生産段階での ID 付与の可能性が、一旦達成できたモノに関しては、次のステップとして ID 情報にキズ、汚れ、凹凸、塗装、有機溶剤、薬品などのさまざまな外的な環境要因が加わったり、温度に関してはヒートショックなどの温湿度条件の経年的変化要素を加速度的に加えたりした場合に、ID 情報が得られるかの可能性の調査を実施した。つまり、このようなステップは、そのモノの材料、加工から出荷された後のリサイクル、リユースの場面までを想定したライフサイクル全期間にわたり使用できるかの判断をするために重要な項目である。

また、生産工程において電気炉など高温中を通過するモノや使用中に高温環境下にさらされる場合には RF タグ内部の半導体素子の破壊などの影響も当然考えられる。そのため、このような生産面、環境面、運用面などにおける RFID の特性を調査した。

(1) モノの生産という面から要求される RFID の特性

生産するモノによって生産工程や生産する環境が異なるため、いくつかのアプリケーションの例を挙げて、RFID に求められる特性と実態についてまとめる。

①半導体ウェハ関連

a. RF タグに求められる特性

- ・使用温度環境： 常温
- ・耐環境性： クリーンルーム内。純水洗浄に耐えること
- ・RF タグ装着場所：樹脂製キャリア
- ・交信距離：100mm 程度

②部品関連

a. RF タグに求められる特性（厳しい環境の場合）

- ・使用温度環境：-10～+70℃
- ・耐環境性：水、油、洗浄液、薬液に耐えること
- ・RF タグの装着場所：金属表面貼付、金属への埋め込み
- ・交信距離：数mm～100mm 程度

③自動車シャーシ／フレーム関連

a. RF タグに求められる特性（溶接工程）

- ・使用温度環境：-10～+70℃（一瞬、数 100℃）

- ・耐環境性：スパッタに耐えること
 - ・RF タグの装着場所：パレット、台車
 - ・交信距離：数mと数 100mm の 2 つのパターン
- b. RF タグに求められる特性（塗装工程）
- ・使用温度環境：200℃レベル（ヒートサイクル：数 100 回）
 - ・耐環境性：塗料がかかっても大丈夫なこと
 - ・RF タグの装着場所：ハンガー、台車
 - ・交信距離：数 100mm

④セル生産関連

- a. RF タグに求められる特性（セル工程）
- ・使用温度環境：-10～50℃レベル（搬送時の環境も考慮）
 - ・耐環境性：強く折り曲げたりしないこと。防滴性。
 - ・RF タグの装着場所：作業指示用のリライトシートと一体化（内部に組み込み）
 - ・交信距離：密着～数 10mm

(2)温度や使用環境による RFID の特性への影響

RF タグの場合、高温は 200℃レベル、低温は何とかして-50～-60℃の範囲での使用が可能である。それ以外の環境におかれたアプリケーションで RF タグを採用することは難しい。半導体ではない、環境に優れた媒体や別の手段を探す必要がある。

(3)モノへの装着、取り付けに関する RFID の課題

RF タグのモノへの装着や取り付けに関する課題は大きく五つあると思われる。

一つ目は価格問題、次には大きさ、デザイン性、フレキシビリティ性、そして最後は装着タイミングである。

まず、はじめは価格問題である。ライフサイクル管理をするために RF タグを製品に組み込む際に、その RF タグに対してどこまでコストをかけることができるかがポイントである。コストをかけるのは当然メーカーになるため、メーカー側のメリットがなければ RF タグは装着されない。トレーサビリティを実現することでメーカーとして大きなメリットが出るような製品、あるいは管理についてさらに検討していかなければ解決できないだろう。

次に、RF タグの大きさであるが、超小型の RF タグが実現できれば問題ないが、現状の技術では、たとえ小型の RF タグを実現できても交信距離が取れないので、読み書きの利便性が低下し、現場での採用は難しい。小型 RF タグの実現にあたっては技術革新待ちとも言える。

3 番目のデザイン性であるが、RF タグは見えなくてもアクセスできるというメリットがあるため、製品の内部の外部から見えない場所に埋め込まれるケースが出てくるだろう。

4 番目のフレキシビリティ性であるが、柔らかいモノに RF タグを装着した場合に、ユーザの違和感を生じるだけでなく、屈曲することによって RF タグが壊れることが容易に予想できる。この点でも RF タグを装着する対象のモノによる制約が生じることになる。

最後の装着タイミングであるが、プリント基板を例に挙げて考えてみると、工場で実装機で電子部品をプリント基板に実装する際に基板実装タイプの小型 RF タグを自動実装すれば、ライフサイクル管理には非常に有効なツールになるが、その RF タグが部品として実装される前の段階でプリント基板をどう管理するかが問題となる。

3-2.5 ライフサイクル管理を必要とするモノ

3-2.5.1 ライフサイクル管理の目的

ライフサイクル管理を行う目的としては、大きく二つに大別できる。一つは製品そのものの品質を保持する目的であり、もう一方はその製品に付随する情報を収集・提供するためである。ライフサイクル管理を行う上では、製品製造に係わる情報や、使用時の履歴など情報管理の重要性が年々増している。したがって本項ではライフサイクル管理を必要とするモノについて検討するとともに、その管理においてライフサイクル ID が果たす役割について述べる。

3-2.5.2 製造段階での環境情報開示が必要なモノ

製造段階での環境情報開示の内容としては大きく CO₂ の排出量と含有化学物質の開示がある。CO₂ 排出量の「見える化」の一手法としては、カーボンフットプリント制度が検討されている。この制度により消費者は製品の環境負荷に関する正しい情報が入手でき、事業者はライフサイクルのどの段階で環境負荷が高いかを割り出すことができる。

もう一方の化学物質管理については、RoHS、REACH といった欧州の指令や規則が日本の製造業に大きなインパクトを与えた。このような化学物質への関心の高まりから、完成品メーカーでも「グリーン調達基準」を作成し、納品メーカーに RoHS で規制されている物質などの含有について証明を求めている企業も増えている。

今後このような取り組みが進展することが予想され、サプライチェーンを通じて CO₂ の排出量や有害化学物質の情報開示が B to C だけでなく、その上流である B to B についても必須となってくるであろう。

3-2.5.3 使用段階での履歴管理が必要なモノ

使用段階の履歴管理には大きく分けて二つの目的がある。一つは想定される使用期間を超えて製品を使用した場合の安全上の管理であり、もう一つは製品使用後の再利用の促進である。そこで本項目では製品の「使用段階での履歴管理」の必要性及び RF タグによる効果について述べる。

(1)安全のための履歴管理

例えば家電メーカーから家電量販店、消費者（ユーザ）へと製品が供給されるまでは、製品の不具合によりリコールが発生した際にもトレースすることができるが、1 次ユーザから 2 次ユーザへ使用者が変わった場合にはトレースすることが困難になる。また既に対象

製品が廃棄されている場合もあり、耐久消費財については2次ユーザの使用やリサイクル業者の受入など、使用状況について把握することで事故のリスクを低減させることができる。

(2)資源有効利用のための履歴管理

製品使用後の再利用については、製品としての再利用や部品の再利用、材料としての利用などさまざまなレベルの利用方法がある。例えば複写機を例に資源循環の方法をしてみる。図 2.5.1 は富士ゼロックス社で実施している「クローズド・ループ・システム」の模式図である。ここでは複写機という一つの製品で部品の再利用や材料リサイクルが選択され行われているが、製品の属性によっては部品の再利用はなく、材料リサイクルのみを行っている場合も多い。



図 2.5.1 資源循環システムの一例

出典：平成 8 年度インバース・マニュファクチャリング
システム開発プロジェクト調査研究報告書

この資源循環システムでのポイントは、“より付加価値の高いレベルでの資源の再利用”である。自動車の部品（図 2.5.2 に示したドアミラーやオルタネーターなど）のように再利用部品がメーカーの管理下でない場合には、部品ごとの管理が必要になる。また部品リユースの場合、分解後の工程では、部品単体で洗浄、修理などを行うことから、耐環境性に優れたライフサイクル ID を部品に付与する必要がある。

今後、データキャリアにセンシング機能やメモリ機能が実装されれば、高付加価値な部品については部品レベルでの個体管理が実施される可能性もある。



図 2.5.2 部品リユース促進のための ID の導入（再生されたオルタネーター）

出典 日産自動車ホームページ 環境への取り組み

<http://www.nissan-global.com/JP/ENVIRONMENT/>

3-2.5.4 廃棄段階でのトレーサビリティ確保とリサイクル処理容易化が必要なモノ

本項目では製品ライフサイクルの最終段階である廃棄段階について、トレーサビリティの確保とリサイクル処理の容易化についてその必要性を述べる。

(1)使用済み製品のトレーサビリティ確保の必要性

日本国内では、家電リサイクル法や自動車リサイクル法があり、正規のルートで排出された使用済み製品はトレーサビリティについても担保され、リサイクルプラントでの適切な処理によりリサイクル率（再商品化率）も非常に高い。しかしながら、中古品として排出された製品は海外に輸出されるなど、その後のトレーサビリティが担保されていない。海外に輸出された製品は2次利用された後や有価物回収の目的でリサイクル処理されるが、利益を最大にするために有価物の回収後残渣を不適切な処理をしたり、製品に含まれている有害化学物質の情報などが与えられないために環境汚染の原因（e-waste 問題）になっていたりすることもある。このような問題を解決するためには、使用済み製品のトレーサビリティを向上させ、適正処理が可能なリサイクルプラントへ回収を進めるか、適切な情報を提供できる体制を整える必要がある。

これまでも、特に管理が必要な感染性医療廃棄物のための適正処理のために GPS を活用した「廃棄物トレースシステム（三菱電機）」や、これまで困難であった建設現場での廃棄物の重量管理のために開発された「RF タグ活用による次世代資源循環システム（積水ハウス、凸版印刷）」などがある。しかしながら海外に流出した中古製品のトレーサビリティ確保については、新興国にも導入可能な制度やシステムを考える必要がある。

(2)リサイクル現場での処理効率化

リサイクル現場では、有害物質の除去、有価物の回収、破碎困難物の除去などを目的とした分解作業が行われている（図 2.5.3）。この分解作業の効率化を阻害する要因としては、分解の対象となる製品が多種多様であることが挙げられる。

製品に付与された ID によって紐付けされた分解のための作業指示が作業者の前のディスプレイに表示されれば、熟練者でなくても作業が可能になり、稼働率の季節変動が大きいリサイクルプラントにとって人的資源の確保が容易になると思われる。



図 2.5.3 家電製品の分解作業

3-2.5.5 モノの特性に応じたライフサイクル管理

ライフサイクル管理の必要性はこれまでも述べたが、製品ごとにライフサイクルは異なり、管理が必要なライフサイクル段階も異なる。そこで本項ではライフサイクル管理が必要なモノについてその特性により大別した。表 2.5.1 はライフサイクル管理が必要なモノについて、その属性に応じてライフサイクルの各段階で管理が必要な内容を表している。

これまでサプライチェーンにおいて消費者のところで消費される食料品については、原材料の調達や加工に係わる情報や流通段階での品質管理がライフサイクル管理の主な内容であった。このため消費者への情報提供はラベルへの印字や 2 次元シンボルを利用した個体認識によりマスターデータへアクセスすれば生産者情報なども受け取ることができた。

一方、工業製品については、使用時のモニタリングによりその状態を監視、履歴を管理する方向で進められている。消耗部材や中間材については、組み込まれた製品内で状況を直接モニタリングするようになってきた。例えばプリンタのインクカートリッジは残量を使用回数及び光計測によるモニタリングにより把握するようになり、パソコンの CPU は温度を監視することで高温時には自動で動作を停止するように管理されている。今後同種の部品を部品として再利用するためには、状態監視に加えその履歴についても管理情報として活用する必要がある。この製品が自己診断を行う傾向は、エネルギー消費型の組立製品についても同様で、エネルギー多消費型の製品として知られるエアコンについては、フィルター交換時期を知らせるものや自己洗浄機能、使用したエネルギーに基づく CO₂ 排出量を表示する機能を備えた機種もある。つまり製品のライフサイクル管理を行う上で必要な要素をすでに製品機能としてある程度実装している。

ライフサイクル管理のベストプラクティスとして知られる建設機械については、稼働時間、製品位置情報に加え、稼働部（摺動部）の動作回数、繰り返し荷重の情報なども収集しており、製品の稼働状況把握だけでなく、交換された使用済み部品の再生のためにもその履歴情報を活用している。この「状態監視及び履歴データの活用」という方向性は、現在、定期点検が行われている建築物や橋梁などの固定資本のライフサイクル管理にも導入されていくと思われる。

【参考文献】

- ・ 「カーボンフットプリント制度の基本ルールが決定 ～CO₂ 排出量の算定・表示方法等のルールの策定～」 経済産業省報道発表資料、平成 21 年 3 月 3 日
- ・ 「EU の環境規制動向 (REACH、EuP、RoHS 他)」 NEDO 海外レポート、No.1006、2007 年 9 月 5 日
- ・ 国立環境研究所 E-waste ワークショップ資料、2009 年 12 月 7 日
- ・ 「コマツ 建機の部品を再生」 日本工業新聞、1999 年 3 月 2 日
- ・ 平成 8 年度インバース・マニュファクチャリングシステム開発プロジェクト調査研究報告書

表 2.5.1 製品属性に応じたライフサイクル管理内容

製品 製品ライフサイクル サプライチェーン	原材料・部品・製品製造	輸送・配送	製品使用・保守	廃棄・リサイクル
製品	メーカー	小売・流通	消費者	リサイクル業者
生鮮食料品 食品加工品等	生産者・産地表示 添加物表示	温度管理 消費期限管理	温度管理 消費期限管理	
原材料 (プラスチック、ガラス、鉄等)	品位管理、化学物質管 理、CO ₂ 排出量管理		材料分別管理 品位・コンタミ把握	
消耗部材 (インクカートリッジ等)			使用頻度・回数管理 消耗程度把握	
中間材・部品 (モータ、半導体等)			使用時間・使用環境把 握、余寿命判定	洗浄再生処理 部品再生補修
エネルギー消費型組立製品 (家電製品、自動車等)	含有化学物質管理、受入 材料のCO ₂ 排出量管理		使用状況(時間、回数) の把握、消耗品交換	リサイクル率向上 製品再生補修
生産機械 (建設機械、工作機械等)			稼働率把握、点検、消 耗品管理	部品再生補修 製品再生補修
固定資本 (エレベータ、建築物、橋梁等)			状態監視 点検、診断、補修	

3-2.6 ID を付与されるモノの側から見た課題

3-2.6.1 ライフサイクル管理高度化に必要なライフサイクルIDキャリア

前述のように各製品ともある程度ライフサイクル管理が行われるようになってきたが、資源有効利用のための製品・部品リユース、材料リサイクルを促進するための管理は不十分といえる。また消費者への製品情報提供の観点でも十分に対応できているとはいえない。したがって本項目では環境側面からみた製品情報提供の仕組みづくりや、リサイクル・リユースを促進する履歴管理のためのライフサイクルIDの導入可能性や求められる機能などについて課題を述べる。

ライフサイクルIDの製品への付与を考える場合、ネットワーク環境の整った状況で利用が可能か、また要求される情報の処理速度によって、情報提供のリアルタイム性は異なる。また状態監視及び履歴管理を目的とした情報収集後のデータの取り扱いについてもリアルタイム性の必要の有無は、情報の種類により異なる。よってライフサイクル管理に必要な情報については、表 2.6.1 のように横軸に製品ライフサイクル、縦軸に提供（または収集）した情報のリアルタイム性の有無及びネットワーク環境の必要性の有無をとり整理した。表 2.6.1 をみると、製品情報提供に関しては一部の用途を除いてはリアルタイム性の必要性は低く、むしろID付与による個体認識によりネットワーク上のデータにアクセスできることが重要である。その一方で、ライフサイクル管理のための情報収集という観点で見た場合、短期的な輸送時などの温度情報についてはリアルタイム性と通信機能が重要であり、製品・部品の再利用を念頭においたライフサイクル管理では、長期的な履歴データを保持するためのネットワークへのアクセサビリティやデータを保持する大容量メモリ機能を有するデータキャリアが必要といえる。

表 2.6.1 ライフサイクル管理に必要な情報

製品ライフサイクル	原材料製造	部品・製品製造	輸送・配送	製品使用・保守	廃棄・リサイクル
ライフサイクル管理の目的	グリーン調達	生産工程管理 検品・在庫管理	流通過程可視化 品質保証	寿命管理 状態監視	廃棄物のトレース マテリアルフロー把握 リサイクル業者へ情報提供
提供情報	タグに情報を書き込むことで、スタンダードアロ ーンで提供が期待される情報			製品使用方法(最適な な運転)	
提供情報	製造者、型式等 含有化学物質情報 CO ₂ 排出量(カーボ ンフットプリント算 出データ)	組立部品ピッキング 組立工程ガイド CO ₂ 排出量(カーボ ンフットプリント算出 データ)		消耗品情報 メンテナンス方法	リサイクル工程の情報 ・分解方法 ・有害化学物質 ・リユース可能部品
収集情報	リアルタイム性が要 求され、センシング後 に発信が必要な情報		製品位置情報、 温度、加速度、 湿度	雰囲気汚染 温度(異常発熱) ひずみ(亀裂)	
収集情報	リアルタイム性が必 要なく、タグのメモリ 又はマスターデータ に保存する情報			稼働時間・回数、紫 外線、ダスト、湿度、 温度など長期の使 用に関わる情報	廃棄物位置情報 (適正処理、不法投棄防止)

3-2.6.2 既存 ID 付与データキャリアについての考察

資源有効利用のための製品・部品のリユース、材料リサイクルを促進するためには、材料・部品の製造も含め製品の製造に係わる情報管理や使用時の履歴などの情報管理を行う上で、モノへの ID 付与や管理情報が必要となる。しかし、今まで述べてきたように既存の ID 付与データキャリアでは、製造から廃棄に至るライフサイクルの中ですべての工程で満足できるデータキャリアが存在しない。光学読取りするバーコードや 2 次元シンボルでは、モノの光沢、反射率、キズ、読取面の曲がり度合い等の影響で読取精度が大きく左右される。RFID はこれらの条件を満足させられることができるが、電子部品で構成されているため温度に対する影響が大きく価格も高価となることが課題となっている。

特に、特性の面で、温度に対する影響や商品のデザインの面を考慮した ID 付与が必要となる場面では、既存のデータキャリアでは、ダイレクトマーキングによる 2 次元シンボルの印字や刻印の方法を検討したが、調査の結果、今の技術では読取りに限界があることが判明した。

既存の ID 付与データキャリア以外の存在では、カラービットによるダイレクトマーキングの方法と、デジタルマークによるダイレクトマーキングの方法が有効であることが調査の結果判明した。

デジタルマークによるマーキングは、ID 情報をフーリエ変換してその情報をモノに直接マーキングする方法である。(図 2.6.1.) この方式の特徴はマーキング自体の 70%が消失しても読み取れることで、特に金属製品を扱う特殊用途に最適である。しかし、読み取れるデータの桁数は英数字を使用した場合 10 桁で、そのシンボルサイズは平面で 16mm^2 と大きなエリアを必要とする。このことからライフサイクル管理を考慮した場合、データ桁数を多くして、いろいろな場面に活用しなければならないので、データ桁数の制約が大きく、表示エリアが広いデジタルマークの活用は難しい。

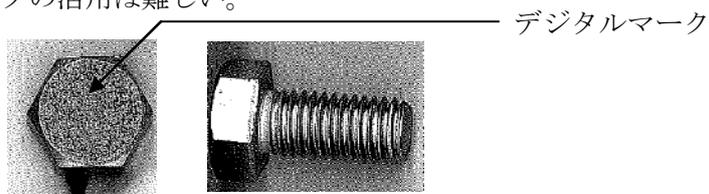


図 2.6.1 デジタルマークによるマーキング

一方、カラービットによるダイレクトマーキングは、情報を 3 色のカラーでモノにマーキングを行いマーキングされた色の変化を捉えた光学情報をデジタルデータとして処理する方法である。カラービットは 3 色のカラーでデータを表示する必要があるが、色の変化をデータとしているため、データ桁数の柔軟性があり、表示エリアは、細い電線への情報付与、ガラス端面への情報付与などの柔軟性があり、今まで想定した ID 付与と違った視点で ID 情報を発信できる特徴があり、ライフサイクル管理を考慮すると有効な手段と考えられる。以上のことからカラービットの詳細について検討したので、次章にその詳細について述べる。

3-3. ID 付与が難しい製品、部材への付与可能性の検討

3-3.1 概要

サステナブル・マニュファクチャリングの観点から、ライフサイクル管理がますます重要になってきている。そして ID を付与して製造、使用、再利用の各段階が管理できることは極めて重要である。

しかし、既存の ID 付与が難しいといわれている製品、部材が多く存在しており、自動車用フロントガラス、プリント基板、線材などが代表例としてあげられる。

近年、この ID 付与が難しいといわれている製品、部材にダイレクトマーキングできる ID 付与データキャリアとして、ビーコア株式会社が開発したカラービットコードが注目されており、ID 付与が難しいとされる課題の解決可能性を検討することは有用である。

本章では、カラービットコードの特徴、仕様を詳述し、代表的な製品、部材にカラービットコードの付与とデコード実験を実施して、その可能性の検討を行った。

3-3.2 カラービットコードについて

3-3.2.1 カラービットコードの特徴と仕様

(1) カラービットコードの特徴

①従来のバーコードとの違い

従来のバーコードと 2 次元シンボルは、データをパターンの幅や位置形状で表す。したがって、マーキング時や読み取る際にはこれら寸法形状を高い精度で表す必要がある。(図 3.2.1 参照)



図 3.2.1 読取り困難な 2 次元シンボルの例

これに対しカラービットコードは幅や位置形状に依存しないコード体系を達成することで、従来のバーコードが適用できなかつた、マーキング精度の期待できない状況や、形状が、不規則、不安定な媒体への適用を目的に開発を進めてきたもので、色彩の配列のみでデータを表現する方式を採用したものである。

②カラービットコードの仕様

上述したように、カラービットコードは色彩の配列のみでデータを表し、各セル（＝同一色彩範囲）の大きさ、形状、配列方向等はデータに無関係である。

図 3.2.2 にカラービットコードの形状自由な例を示す。

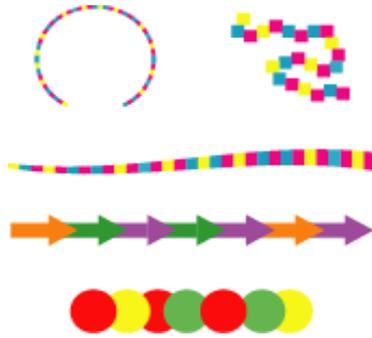


図 3.2.2 カラービットコードの例

また、データは隣接セル間の色彩の相関で表す方式を採用しているが、このことにより色彩の曖昧な変化やセルの大きさや形状の制約を排除することができる。(図 3.2.3 参照)

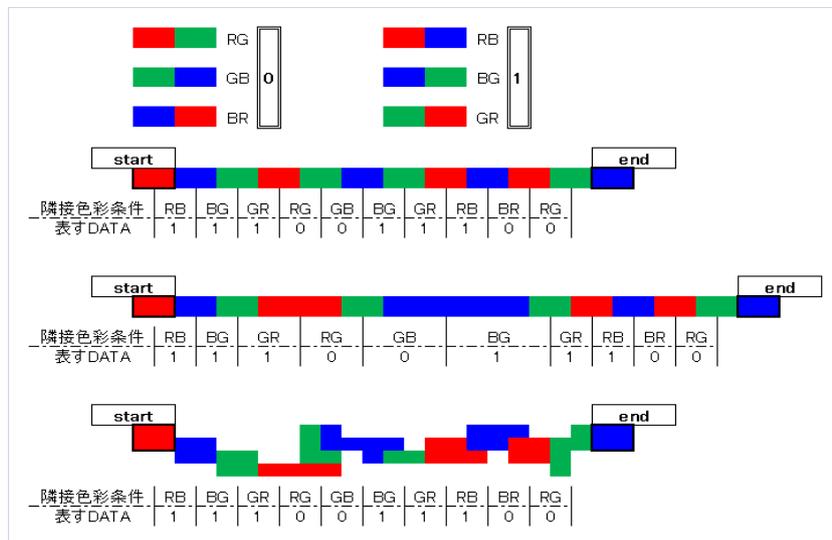


図 3.2.3 1D カラービットコード仕様

なお背景などの模様からコードを確実に切り出すために、コードは枝分かれや交差ししないこと、また周囲が白や黒などの配列色以外で囲まれていることがコードの条件となる。

(2)使用色彩について

3色の配列でデータを表す。原理的には3色以上、多数の色数を使うとデータ密度は上げられるが、照明、退色、カメラ設定等を考慮し信頼性の面から3色使用方式を採用している。また、できるだけ異なった色が好ましいため、RGB3色としているが。場合によってはCMYやその他の色彩を選択することも可能である。これらは先に示した色彩空間において領域を適宜設定することで、用途に応じた対応が可能である。

3-3.2.2 カラービットコードの付与例

(1)幅や位置形状に依存しないことによるメリット

現行使用されているバーコードは、タグシールや平面部への印刷など、寸法精度が確保しやすい場面への応用に限られている。したがって、例えば現品へのダイレクトマーキング

グ、線材やゴム素材等の形状が不安定な物品、あるいは異形物品へマーク付与等の場合にメリットが発揮される。(図 3.2.4 参照)

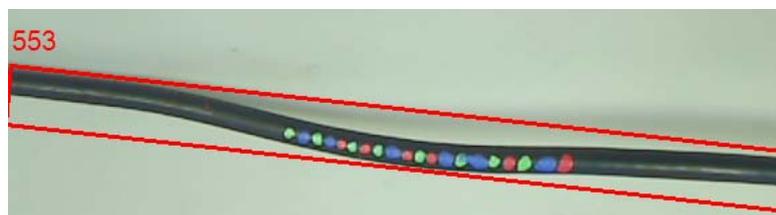


図 3.2.4 ワイヤに応用した例 (φ 3 mmのケーブル)

その他、複数一括読取特性を生かした各種アプリケーションの開発も進行中である。

3-3.3 カラービットコード付与とデコード実験

3-3.3.1 実験の概要

(1)緒言

実験を実施する製品(素材)に対し、カラービットコードが以下の可能性を有しているかを評価するために、基礎的な付与実験を行った。

- ・製品の製造工程から廃棄・リサイクルに至るまでのトレーサビリティ実現の可能性
生産環境や使用環境に耐え得る ID の信頼性や、当該環境におけるデコード課題。
- ・ID 付与(印刷や接着などによる)の技術的な可能性

製品へカラービットコードを付与する場合の、付与部位に依存する課題(素材や形状)と、付与環境に依存する課題(温度など)。

本付与実験は、以下に示す条件において実施した。

<実験についての制限事項>

- ・開発を伴わない実験に限定する

カラービットコードのデコードソフトウェアは、開発元であるビーコア社より支給されるものを使用する。本ソフトウェアは、特定の製品や実験を目的として開発されたものではなく、プレゼンテーション用のものを使用する。(一部パラメータの組み換えを実施：プリント基板の実験)

- ・実験に特殊な環境を設定しない

ID 管理に特殊な環境が必要な場合、その環境特定が困難であり ID 導入以前に条件の特定が必要となる。このため、使用するカメラは汎用のウェブカメラと照明を使用して、ID をデコードできる条件があるかどうかを評価する。(特殊な照明環境、測定環境などの設定はなく、一般的な室内での簡易評価を前提とする)

- ・試料の作成

市販される部材を使用してカラービットコード付与試料を作成するか、既に専門業者により作成された、カラービットコード付与サンプル(製品に付与)もしくはカラービット

コードサンプル（織物タグ）を使用する。カラービットコードの付与方法については、印刷技術などの開発が必要であるため、試料に対しては手作業による手塗りを原則とする。

- ・複数一括デコード

複数のコードを同時に一括でデコードできた場合は、単体デコードは可能であることとする。

付録に示す試験結果においても、そのコードの単体実験結果報告を省略する。

本実験では、ターゲットとなる製品（素材）の製造工程・市場運用・回収廃棄状態を想定して、市販品を使用したカラービットコード付与試料もしくはカラービットコード試料を作成（もしくは既存のものを入手）した。作成（入手）した当該試料を、特別な環境設定せず汎用のデコードソフトウェアを使用してデコード評価を実施し、デコードが成立する（所定時間内）条件の有無を確かめることを目的とした。さらに、当該試料のデコード条件成立状況で、ターゲットとなる製品（素材）のカラービットコード適用性を検討した。

(2)付与実験のアプリケーションについて

バーコード、二次元シンボル、RF タグなど、現在普及している ID 体系では付与が難しいと思われる製品として、以下のものについて付与実験を行った。

①自動車用フロントガラス

市場で運用されている実際の自動車用フロントガラスを使用して、ID の付与とデコードの基礎実験を実施した。また、市販されているガラス製品やフロートガラス、PDP 用ガラスを用いて耐熱性や曲面などのデコード実験も併せて実施した。本実験では、以下の他のアプリケーションとは異なり、自動車用合わせガラスの生産から廃棄回収に至るまでのライフサイクルを考慮した実験とした。

②プリント基板

リフローに適用するインクを専用のディスペンサー(ビーコア社製)で塗布した試料と、市場で使用されている複層基板を使用して、ID 付与とデコードの基礎実験を実施した。

③線材

市場で市販されている、ステンレス鋼材や木材、繊維などの線材を使用して、ID 付与とデコードの基礎実験を実施した。

④繊維製品タグ

市場にて開発されている以下の織物タグ（布タグ）を使用して、デコードの基礎実験を行った。

- ・株式会社 エス・ネット社製 布タグ（リネン用タグ）
布ベースに染料を使用してカラービットコードを印刷したタグ
- ・株式会社 出口織ネーム社製 織物タグ（ジャガード織タグ）
顔料にて染色した繊維を使用し、ジャガード織で製造された織物タグ

(3)実験環境について

前述したように、実験環境については市販されている部材や器具を使用し、デコードソフトウェアは、ビーコア社製の汎用ソフトウェア(プレゼンテーション用)を使用した。表 3.3.1 に、その詳細を示す。

表 3.3.1 実験環境概要

デコードパラメータ	固定(ビーコア社 初期設定値) #1
光源	蛍光管 昼光色 (周辺太陽光)
偏光処理	なし
カメラ	(Logicool)Qcam® Pro 9000 (200 万画素)
ホワイトバランス/フォーカス	自動設定
フレームレート	30 (fps)
付与コード	可変長 RGB/CMY (一次元カラービットコード)
付与コード測色	付録参照

RGB : Red,Green,Blue CMY : Cyan,Magenta,Yellow

#1 : プリント基板にて専用ディスペンサにて付与したコードについては、専用のデコードパラメータを使用。(ビーコア社が当該コードデコード用に設定)

デコードについては、静止読取りとし、試料、カメラ、光源などの位置関係や角度、距離を変化させて実施。フォーカスやホワイトバランスをマニュアルで変化させた場合は、デコード条件が一致するまでに多大な組合せを必要とするため自動設定とした。一致しない場合もあるために、カラービットコードのデコード状態を示す表現方法として、以下のレベル設定を行うものとする。なお、デコード状況は周辺光や光源の照射角や照度などにより微妙に変化するため、表 3.3.2 の設定はデコードの容易さを判断する目安として設定するものである。

表 3.3.2 デコードレベル説明

レベル 1	デコードを繰り返しても、非常に容易にデコード完了するレベル。 (1 数秒以内)
レベル 2	デコード完了は容易であるが、繰り返しのデコード完了にばらつきがみられるレベル。(秒単位)
レベル 3	デコード完了は確認されるが、その条件が一致するまで時間を要し、デコードを繰り返しても状態は変わらないレベル。(数十秒単位)
レベル 4	デコード完了が非常に難しく、デコードができて再現性がないレベル。
レベル 5	デコード条件が見出せずにデコード未完となったレベル。(10 分程度)
コード破損	付与されたカラービットコードが、損傷(剥れ、色落ち、欠けなど)してデコードが不能となった場合。
コード誤記	カラービットコードの色の組み合わせを間違えて付与したときで、デコードが不能となっている場合。

- ・デコード完了: カメラや照明の角度、距離などを変化させることでデコード可能な条件が成立したこと。
- ・デコード未完了: 所定時間内でデコード可能な条件が成立しない場合。(可能性なしという意味でない)

3-3.3.2 自動車用フロントガラスのカラービットコード付与実験

本実験では、“3-3.3.3 その他のアプリケーションに関する付与実験”に示すカラービットコード付与実験とは異なり、自動車用合わせガラスの生産から、市場運用、廃棄回収（リサイクルを含む）までに至るライフサイクルを考慮した基礎実験を行うこととした。したがって、ライフサイクルにおいて当該製品がおかれる環境に対し、カラービットコードが有効な ID として機能することが可能かを、基礎的な実験を実施して評価したものである。

自動車用フロントガラスのライフサイクルを図 3.3.1 に示す。

図 3.3.1 自動車用合わせガラスのライフサイクル

自動車用合わせガラスは、製造から廃棄までの期間は一般的に 10 年から 20 年程度とされ、運用においては極寒地域から砂漠のような極暑地域までの温度範囲と、走行環境や保管環境、車輻に依存する温度サイクルが毎日のように加えられる。さらに、走行による振動や事故、解体回収時の衝撃なども考慮する必要がある。また、製造においても 1,400°C の熔融窯から成形、アセンブリに至るまでの各製造工程特有の環境があり、どのタイミングで付与するかによってカラービットコード自体の素材や付与方法が大きく異なる。自動車用合わせガラスは車載部材であり、またドライバの視界を保証するため、デザイン性や安全性の面から付与部位・コード形状・寸法などにおいて制約を受ける。

付与コードのメリットは、生産管理・製造技術・市場運用・廃車管理などのトレーサビリティ効果に加えて、盗難・追跡などのセキュリティ効果も提供することができる。このため、付与部位や付与方法、カラービットコード自体に依存する使用塗料、寸法・形状によっても、コードの提供するサービス性が異なるものとなる。合わせガラスのライフサイクルにおける各工程の説明と、工程内でのID付与タイミングを図3.3.2～図3.3.4に示す。

図 3.3.2 合わせガラス製造工程と ID 付与タイミング

図 3.3.3 アセンブリ、メーカー出荷工程と ID 付与タイミング

素板製造工程は、原料を高温溶融してフロート板を製造する工程(1,400°C程度から徐冷)であり、素板が切断・研磨されるまでは同一組成が保証されるため、ID 付与の必要はない。

図 3.3.4 市場運用、解体回収と ID 付与タイミング

ID 付与のタイミングは、上流の工程で付与されることが好ましい。当然ながら上流で付与されれば以降の工程では、当該 ID を利用することが可能となる。しかしながら、自動車用フロントガラスの製造工程では、“表 3.3.3 合わせガラス ID 付与タイミングと実験目的との関係”が示すように上流工程では高温の加熱工程が存在し、下流工程の方が ID の温度条件としては制約が小さい。これに対し製品の状態からすれば、熱処理を行う曲げ工程よりガラス表面は曲率を持ち、また、端面も研磨によりかまぼこ型や台形型になっており、平坦な形状とはならない。また、中間膜を接着された状態においては、ガラス端面においても凹凸が形成され、ID を塗布する技術としては上流よりも下流の方の制約が大きくなる。ガラスの破損時は、ガラスのワレ欠けによる凹凸や、形状が不特定に変化する。(曲げ工程以前は、ガラスは板状のフラットな形状) また、上流で付与された ID は以降の工程での利用が可能であることが望ましい。このため、上流での ID 付与においては下流の ID 付与における課題点をクリアする必要がある。

各付与タイミングと実験についての関係を表 3.3.3 に示す。

表 3.3.3 合わせガラス I D付与タイミングと実験目的との関係

タイミング	説明	耐熱性	耐水性	耐薬品性	耐候性	耐擦化性	使用塗料	その他
1	トレーサビリティや製造管理を目的とした ID 付与。ライフサイクル ID としての可能性は大きい	650°C超	要	要	要	要	釉薬 低温焼成	市販品を使用 (800°C焼成)
2	同上	150°C		不要	不要		樹脂 熱硬化	ガラス塗布用の市販品を用いる
3	工程内不良品としての製品情報	常温		要	要		一般的な有機塗料 or シール材	塗布後のワレ欠け、汚れの発生が大きい
4	工程履歴情報として使用するため、消去も可能なこと。消去後に塗料が残留しない			不要	不要			
5	工程内不良品としての製品情報			要	要			
6	市場不良品、市場損傷品としての回収のため製品情報が必要。 ガラスは周辺も含め100%回収される。			不要	不要			
7	E L Vとしての回収のため製品情報が必要。 ガラスは、カッターなどによりバラバラにされる確率が大きく、また、全面にわたりワレ欠けが発生する。			不要	不要			

合わせガラスの ID 本体における耐環境因子としては、表 3.3.4～表 3.3.6 のものが考えられる。

表 3.3.4 製造時の耐環境因子

耐環境性	対象工程	カラービットコードの障害要因
耐熱性	曲げ工程	曲げ炉による加熱処理(700℃)
	本接着工程	オートクレーブによる加圧(15 気圧)、加熱処理(150℃)
	アッセンブリ工程	アッシー時の加熱処理 (数百度程度)
耐水性	洗浄工程	水槽の浸漬、ブラシ洗浄
	特定しない	工程内の仮置き時の結露や意図しない濡れなど
擦化性	洗浄工程	ブラシ洗浄
	特定しない	ふき取りや擦れ
耐衝撃	特定しない	不具合時、意図しない損傷など
耐震性	特定しない	輸送機材などによる搬送

表 3.3.5 市場運用時の耐環境因子

耐環境性	運用状況	カラービットコードの障害要因
耐熱性	エンジン ON	エンジンによる高温 (70,80℃程度)
	特定しない	直射日光による高温 (100℃程度)
	熱線 ON	デアイサー (数十℃程度)
熱衝撃	特定しない	エンジン温、気温、走行環境(風雨、風雪など)の変化
耐水性	特定しない	雨、雪など
	洗車	高压洗車、水洗いなど
	走行状態	はね水、巻き上げ、ぶっかけ水など
耐薬品性	メンテナンス時	ワックス、クリーナ、アルコール
	特定しない	人の手に付着している薬品など
擦化性	ワイパーON	ワイパー払拭域に付与したとき
	メンテナンス時	コンパウンド、タオル、スポンジ、セーム皮など
	洗車	洗車機のブラシなど
耐衝撃	事故など	意図しない損傷
	走行状態	路面状況による衝撃
耐震性	走行状態	路面状況やエンジン、車輛装置による振動
耐候性	特定しない	長期間の車輛運用、保管による劣化、損傷、汚れなど

表 3.3.6 解体回収時の耐環境因子

耐環境性	対象工程	カラービットコードの障害要因
耐熱性	解体	解体時にウレタンを加熱して取り外す場合 (200℃程度)
	解体	フレーム部や他の部材の取り外し時に 熱を使用する場合
	特定しない	直射日光による高温 (100℃程度)
熱衝撃	特定しない	気温の変化
耐水性	特定しない	保管時の結露、雨、雪など
耐薬品性	メンテナンス時	ワックス、クリーナ、アルコール
	特定しない	人の手に付着している薬品など
擦化性	メンテナンス時	コンパウンド、タオル、スポンジ、セーム皮など
	解体・回収	解体時の工具や部材、やガラス同士の接触など
耐衝撃	解体・回収	解体時に発生する衝撃
耐震性	解体・回収	解体時に発生する振動
耐候性	特定しない	保管による劣化、損傷、汚れなど

今回の実験においては、こうした環境因子を考慮して“表 3.3.7 自動車用合わせガラスの ID 付与実験項目概要”に示す内容の基礎的な実験を実施し、“表 3.3.8 自動車用合わせガラスの ID 付与実験結果概要”に示す結果を得た。

表 3.3.7 自動車用合わせガラスの ID 付与実験項目概要

1	耐熱性 高温の熱工程を介しても正確にデコードできるか？	例えば、焼結温度や擦化性などについては市販製品を使用しての実験であるため、実際のアプリケーションへの適合性を考慮することはできないが、曲げ工程(650℃以上)や本接着工程(150℃)のような熱工程を介しても正しくデコードできることを評価する。なお耐熱性については、釉薬を使用したもの(曲げ工程)と熱硬化樹脂(本接着工程)を使用した塗料をカットガラスに塗布し、試験用簡易炉を使用して実験を行う。
2	曲面・狭域 自動車用フロントガラスの任意の位置で塗布されたカラービットコードのデコードが可能か？	<ul style="list-style-type: none"> 自動車用ガラスに塗布されたカラービットコードの全体を視認することが可能な場合(カメラからの入力画像において)、正確にデコードできるかを評価する。(光源による反射などの影響を考慮する) ガラスコーナー端面のRが大きい部分の塗布も含めて行う。

3	<p>凹凸・ワレ欠け 自動車用フロントガラスが損傷した状態でカラービットコードがデコードできるか？</p>	<p>工程内不良品や廃車から回収される合わせガラスは、損傷(ワレ欠け)が発生している場合が多く、正常なガラス面にカラービットコードを塗布しても、その後の工程や物流にてその部分が損傷する可能性は大きい。ワレ欠けの発生している部位へカラービットコードを塗布したデコード評価と、塗布後にワレ欠けを発生させ デコード評価を実施する。</p>
4	<p>汚れ・濡れ 自動車用フロントガラスが放置された状態でカラービットコードが汚れや濡れの影響を受けてもデコードできるか？</p>	<p>回収された、工程内不良品や廃車回収ガラスは、屋外への放置も考えられるため汚れや濡れが発生している場合が多い。このため、カラービットコードがワレ欠けや曲面などに合わせて、汚れや濡れの発生したときの影響を評価する。</p>
5	<p>複数一括読み込み 自動車用フロントガラス端面に塗布された複数のカラービットコードがデコードできるか？</p>	<p>カラービットコードが塗布されたカットガラスもしくは自動車用フロントガラスを複数枚並べて、一括読み込みによるデコード評価を実施する。また、各カットガラスもしくは自動車用フロントガラスに複数のカラービットコードが塗布された場合も含めて評価する。</p>
6	<p>ロケーション 上記の一括読み込み時に、複数のカラービットコードのロケーション管理が可能か？</p>	<p>画像処理にてデコードされるカラービットコードが、当該画像においてデコードされたコードの位置関係が認識可能かどうかを調査する。(ビーコア社へのヒアリング)</p>

表3.3.8自動車用合わせガラスのI.D付与実験結果概要

実験名称	実験目的	実験結果	使用塗料	使用ガラス	特記事項
耐熱性	高温の熱工程を介しても正確にデコードできるか？	800℃、150℃にて塗料をガラスに固着させたカララービットコートができ	<ul style="list-style-type: none"> 800℃固着 上塗用塗料 (市販品名：うわえのぐ) 150℃固着 熱硬化樹脂塗料 (市販品名： ポーセレン150) 	厚味はいずれも2mm <ul style="list-style-type: none"> フロントガラス 標準(強化などしていない) PDP用ガラス (800℃のみ使用) フロント側ガラスで 表面フラット (透明伝導体等の裏面) 	<ul style="list-style-type: none"> 800℃においては、フロントガラスは転移温度以上となるため変形。 PDPガラスにおいては(800℃は軟化温度以下)、変形もなく塗料が固着した
曲面・張破	自動車用フロントガラスの任意の位置で塗布されたカララービットコートが可能か？	曲面、表面(裏面)に150℃で塗料を固着させたカララービットコートがデコードできた。	<ul style="list-style-type: none"> 150℃固着 熱硬化樹脂塗料 (市販品名： ポーセレン150) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動車用合わせガラス 上板下板 各2mmフロントガラス 中間膜 0.75mm(PVB) フロントガラス 2mm厚 標準(強化などしていないもの) 丸フラスコ(耐熱処理ガラス) 65mmφ、(口 20mmφ) 時計皿(耐熱処理ガラス) 90mmφ、1.5mm厚 	<ul style="list-style-type: none"> 使用した合わせガラスは実際製品で使用しているフロントガラスのカットガラスを使用 曲った平面や曲った端面については、フラスコや時計皿等の耐熱ガラスを使用した実験器具を使用
凹凸・汚れ	自動車用フロントガラスが損傷した状態でカララービットコートがデコードできるか？	凹凸面や合わせガラス破砕面に付与したカララービットコートがデコードできた。 <ul style="list-style-type: none"> 合わせガラス破砕面への塗料は、熱処理しない塗料を使用 凹凸面への塗料は150℃で塗料を固着させる 	<ul style="list-style-type: none"> 150℃固着 熱硬化樹脂塗料 (市販品名： ポーセレン150) 自然乾燥 アクリル絵の具 (市販品名： アクリルガッシュ) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動車用合わせガラス 上板下板 各2mmフロントガラス 中間膜 0.75mm(PVB) 工業用ガラス 75mmφ 食品用器 64mmφ 	<ul style="list-style-type: none"> 使用した合わせガラスは実際製品で使用しているフロントガラスのカットガラスを使用 工業用、食品用器などについては量販店のものを使用。
汚れ・濡れ	自動車用フロントガラスが放置された状態でカララービットコートがデコードできるか？	水滴を付与したカララービットコート(デコード実績のある)をデコードすることができた。 (浸漬、米結、霧状水滴付着にてデコードを確認)	<ul style="list-style-type: none"> 150℃固着 熱硬化樹脂塗料 (市販品名： ポーセレン150) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動車用合わせガラス 上板下板 各2mmフロントガラス 中間膜 0.75mm(PVB) 	<ul style="list-style-type: none"> 汚れ実験は、自動車用ガラス保管倉庫と屋外にて自然放置して実施した。
複数一括読み込み	自動車用フロントガラス端面に塗布された複数のカララービットコートがデコードできるか？	複数の自動車用フロントガラスの端面に付与されているカララービットコートを一括でデコードすることができた。 また、自動車用ガラスの表面(裏面)に付与されている複数のカララービットコートが一括でデコードすることも確認した。	<ul style="list-style-type: none"> 150℃固着 熱硬化樹脂塗料 (市販品名： ポーセレン150) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動車用合わせガラス 上板下板 各2mmフロントガラス 中間膜 0.75mm(PVB) 	<ul style="list-style-type: none"> 使用した合わせガラスは実際製品で使用しているフロントガラスのカットガラスを使用
ロケーション (試験対象外)	上記の一括読み込み時に、複数のカララービットコートのロケーション管理が可能か？	試験のロケーション管理については実験の対象としていないが、ピーコア社より以下の回答を得た。 位置情報については、処理画像内での座標値は得ることができ。 <ul style="list-style-type: none"> 複数のコート(デコードされた)の位置関係(二次元上)は得ることができ、距離については困難。 処理画像内にスケール基準値があれば、条件固定での距離算出は可能(概算値)。 			<ul style="list-style-type: none"> ロケーション判定は、処理される各画像内で閉じた座標

3-3.3.3 その他のアプリケーションに関するカラービットコード付与実験

“3-3.3.2 自動車用合わせガラスに関するカラービット付与実験”は、自動車用合わせガラスの生産から解体回収に至るまでの当該製品のライフサイクルを考慮した実験を実施した。これは、当該製品のライフサイクルにおいて ID 付与が困難となっている製造方法や過酷な市場運用に対し、他コード体系にはないカラービットコード特有の技術的可能性を評価することを目的とした。本項では、素材の特異性や形状・寸法などが原因となり ID 付与ができなかった製品であり、かつ、広い応用分野を持つ以下の製品にカラービットコード付与の可能性を評価するため、基礎的な実験を実施した。

- ・カラービットコードの耐環境性を考慮しない。(塗布塗料の特性：耐熱性、耐水性など)
- ・自動車用合わせガラスと同様に市販品を使用して、当該コードを製品に付与できる可能性があるかを評価した。(市場で開発されている実績があるかを含めて)
- ・自動車用合わせガラスと同様のデコード環境にて、基礎実験を実施した。

<プリント基板>

基板端面への印刷技術と、リフロー工程への耐熱性を有する塗料で付与されたカラービットコードサンプルの基礎実験とレジスト色に対する影響を評価した。

<線材>

金属、木材、樹脂、繊維の各素材で製造される 1mm φ 以下の線材についてのカラービットコードによる ID 付与の可能性を評価した。

<繊維製品タグ>

市場で開発された繊維製品タグサンプルの基礎実験と開発された繊維製品タグの普及課題について調査した。

3-3.4 カラービットコード付与についての実験のまとめ

カラービットコードは、付与対象についての汎用性が高いコードであり、従来の方法では ID 付与が難しかった小面積、曲面及び形状変化がある対象にコードを付与可能にすることが期待される実験結果が得られた。また、色彩の区別が可能であればデコードが可能になる方法であるため、耐環境性が高い。今回の実験では、加熱試験を行って良好な結果を得ているが、温度、湿度を含む RFID の電子部品が耐えられないような環境でも ID を保持することが可能であり、製造加工のプロセス、リサイクルを含む製品のライフサイクル全体での ID 保持において有効であることが期待される。さらに、対象物に色を付けることによりコード付与ができることから RFID のような情報量、柔軟性を持たせる必要がない対象については、ID 付与の方法、資材の面で低コストの ID 付与が可能になるものと思われる。今回の実験では、大部分の試料については手書きで ID を付与しているが、QR コードを手書きで付与することは困難であり、コード付加の際に要求される精度の面でもカラービットコードは柔軟性を持つ。

一方で、その柔軟性故に実際の適用においては、条件によりデコード性能に変化が見られ、条件に合わせて、コードに使用する RGB 系か CMY 系のいずれかの選択、照明方法及び塗料の選択が必要になる。また、線材については、撮影上の背景もデコード性能に影響を及ぼす。

以下、いくつかの点について詳述する。

(1) ID 付与が困難とされる製品に対し、手塗りのレベルでデコードが確認された

手塗りによってバーコードや QR コードを付与することは精度の点から困難であり、塗布部位が平面でなく曲率や凹凸を持ち、寸法的にも制限を受ける製品に対して、手塗りによるカラービットコードを付与してデコードが確認された。使用塗料を含む印刷技術について課題はあるが、カラービットコードによる ID 管理の実現性については大きな可能性が期待できる結果が得られた。今回の実験をバーコードで、同じように手塗りにより実施したとすると多くのデコードは困難であったと予想される。

(2) ID 付与が困難とされる製品に対し、特別な環境設定なしにデコードが確認された。

デコードソフトウェア、照明やカメラなどを含めたデコード環境に対して、カラービットコードを付与した製品に依存する特別な設定をせず、一般の量販店で市販されている照明、塗料などの部材を使用した実験でデコードが確認された。これはシステム化において、デコードが必要な各ポイントでの環境制約を克服しての実現可能性が高いことを示唆する。一方で、その柔軟性故にシステム化においては、適切な設計が重要となり、システム設計によりデコード性能が変化することが想定される。

(3) ID 付与が困難とされていた製品に対し、市販塗料での耐環境性が確認された。

製品のライフサイクルにおける耐環境性において、特別に開発された素材を用いることなくカラービットコードを塗布して、デコードが確認された。例えば、高温にさらされるプロセスを経る対象に対して有機素材を用いた ID 付与は困難であるが、カラービットコ

ードは色の判別でコード化を可能とするため、無機顔料の塗布・焼成により高温を介した ID 付与が確認された。焼成により、耐熱性に加えて耐水性、擦化性、耐薬品性など、他の耐環境性を持たせられた。

陶磁器の下絵用の顔料を使用すれば 1,000°C超の耐熱性を持たせられる。ただし、顔料の種類によってはガラスへの付与は難しく、素材による制約はあるものの、今までは実現が難しいとされていた温度域でも ID 付与の可能性が見えてきた。

製品の製造、流通及び販売からリサイクルへのプロセスで ID を付与することは各プロセスにおける効率化に大きく寄与する。現在では多くの商品に対してバーコードが付与されるに至っている。製品のライフサイクルにおいては、ID を付与する製造者のみならず、小売段階では多くの関係者がおり、製品毎のコード番号付与、コードを印刷添付、読取りの各段階について規格を統一することは、支障なくシステムを実現するために重要である。現在、小売段階までの管理についてバーコードによる商品の種別表示は各々のプロセスにおける合理化に大きく貢献しているが、製品が寿命を終えたときにリサイクルを行うとき、製品の種別によりその方法が異なり、リサイクル方法についての情報を適切に配信することが望まれている。Saar, et. al.¹⁾では、製品に付与された ID からリサイクル情報を配信する仕組みについて論じている。一方、Thomas²⁾では、ID を付与することに依るコストと便益の比較について論じており、ID 付与の有効性を主張している。

製品への ID 付与のためには、ID の存在と位置を認識してこれを読み取る必要がある。そのためには、背景から明瞭に区別でき、これを容易に計算機から読取り可能であることが要請される。一次元のバーコードは、走査を行うことにより一つの光学センサからの信号を用いて読取りが可能となる、当時のハードウェア構成から実現可能な優れた ID 付与の方法であった。また、商店での POS システムでは、店員が商品上でコードが印刷された位置とスキャナの相対位置を調整することによりシステムとしての性能を満足できるものになっている。技術の進展に伴い、一次元のバーコードのみならず、読取り可能距離、情報量、追記可能性、秘匿性、耐変造性等さまざまな必要仕様を満たす手法が開発され、3-1 で記載されている多くの ID 手法が用いられるようになってきている。最近では、安価で計算機に接続可能なカメラが普及してきており、利用可能なハードウェアが変化していく可能性もある。Aas³⁾では、カメラで撮影したバーコードを、バーでなくその下に印刷された数字で読み取ることを実現したと主張している。カメラで撮影された画像を処理することにより、より柔軟なコードを作成できる可能性がある一方で、バーコードは入力時のエラー率が ppm オーダーとされており信頼性は高い。カラービットコードは、カメラで撮影された画像を処理することを前提としたコード体系であり、形状、使用塗料及び測定環境に柔軟性、ロバスト性がある一方で、今回の実験においても読取りの条件によってはデコード時間が必要だったり、読込が困難であったものがあった。実験では、プリント基板を除いてデコードにおいてソフトウェアのパラメータに変更は加えていないが、デコード困難であったものについても大部分についてはコードの目視は可能であるためデコードソ

ソフトウェアをカスタマイズすることによりデコード可能になる可能性が高いと思われる。コードの柔軟性と照明、読込撮影時の背景等の条件を整えることのバランスや実用化に向けて使用条件の統一化の必要性も示唆されている。

新技術カラービットコードにより、従来技術での ID 付与が難しいとされた製品、部材に活用できる可能性が見出されたので、ライフサイクル管理がますます重要になってくる製品の製造、流通、リサイクルの各段階での管理技術として実現に向けての検討を進めることが重要である。

参考文献

- 1) Steven Saar, Markus Stutz, Valerie M. Thomas; Towards intelligent recycling: a proposal to link bar codes to recycling information, Resources Conservation and Recycling, 41, pp. 15-22, (2004)
- 2) Valerie M. Thomas; A universal code for environmental management of products, Resources and Recycling, 53, pp. 400-408 (2009)
- 3) Kjersti Aas, Line Eikvil; Decoding bar codes from human-readable characters, Pattern Recognition Letters, 18, pp. 1519-1527 (1997)

3-3.5 カラービットコードの課題

今回の調査と検討実験より、新技術カラービットコードは今まで ID 付与が難しいとされた製品、部材（代表例として自動車用合わせガラス）の ID 付与の可能性を持ったコードであることがわかった。すなわちライフサイクル管理がますます重要になってくる製品の製造、使用、再利用のすべての工程と環境下で満足できる管理データキャリアの候補の一つとして考えることができる。

以下に、今後カラービットコード付与を具現化するために検討が必要な塗料及びダイレクトマーキング機器の最適化と、デコード機器の標準化という課題について詳述する。

(1)今回検討実験で使用した自動車用合わせガラス、線材の場合はカラービットコード付与を手塗りという手工業的な方法でダイレクトマーキングした。カラービットコードは、カメラで撮影されて色と画像を処理することを前提としたコードである。形状制約が緩く、使用塗料及び測定環境の柔軟性があり、プロセスウインドウが広いというロバスト性に特徴があるために実用に向けて多くの可能性があることがわかった。それでも実用に向けては最適塗料を狭い面積にダイレクトマーキングする機器と操作の最適化、簡便化という課題は残る。

本文 3-3.3.2 で陶磁器に耐熱性を有する顔料系インクを用いたインクジェットの技術調査を報告しているが、この技術を参考にして自動車用合わせガラス、線材などへの ID ダイレクトマーキングを可能にするインクジェットシステムの検討も必要である。

カラービットコードのマーキングの場合は写真画像のような 1,200DPI のような高解像

度や高度なカラーマッチングソフトウェアは必要なく、安定した CMY 色及び RGB 色の印刷ができることがポイントになるであろう。

インクも無機顔料系の耐熱性を持ったインクが必要で、近年では UV 硬化の無溶剤、速硬化のインクも多く開発されている。

3-3 ではカラービットコードの ID 付与をダイレクトマーキングに限定して、ID 付与の難しい部材へのアプリケーションを検討した。カラービットコードは紙、プラスチック製ラベル上へ塗布、印刷して付与することも勿論可能であり、この場合はインクジェットによる ID 付与は更に容易になる。

プラスチック製ラベル（シート）の中で、再帰性反射シートと呼ばれる光源が入射する方向に光が回帰するシート上にカラービットコードを付与して、製品や部材に貼付したときの新たなアプリケーションを以下に詳述する。この再帰反射材シートとは図 3.5.1 に示すように、光源の方向に光を戻す特徴を有しており、道路標識の素材として長年使用されている。そして、このシート上にカラービットコードを付与したシステムはリフレクティブカラーコードと呼ばれており、夜間の暗い場所で、距離が数十メートル離れていても、コードを照らす光源とカメラがあれば図 3.5.2 に示すように簡易にコードを読み取ることができる。

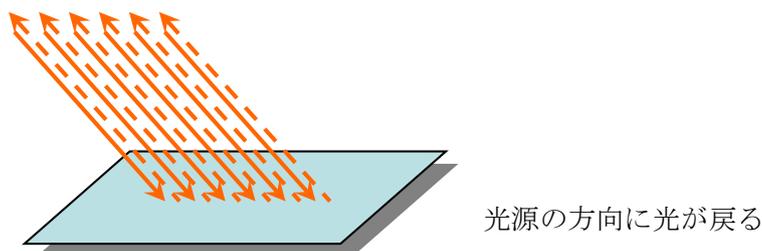


図 3.5.1 再帰反射性シートの特徴

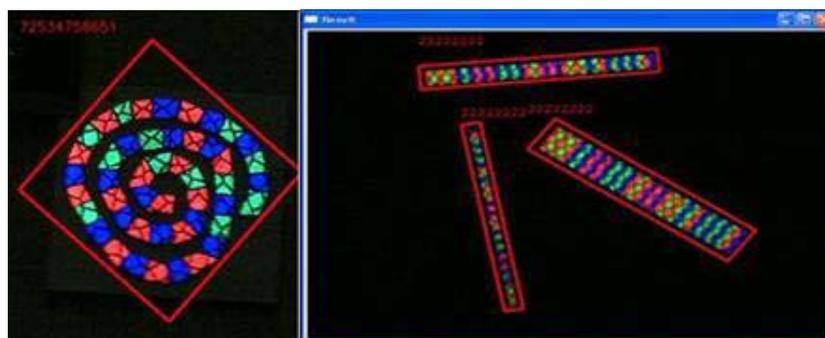


図 3.5.2 リフレクティブカラーコードの夜間の読取り

リフレクティブカラーコードは表 3.5.1 に示すように、読取距離が長いこと、夜間や暗所でも簡易に読取りでき、更に曲面、凹凸面、水中でも読取りが可能になることから ID 付与の難しいアプリケーションへの応用範囲が広がる可能性が大きく、今後の応用

拡大に向けて検討する価値が高い。広い工場内、倉庫内、高所などは近接できない暗所も多く、実用化に向けた検討が始まっている。

また、移動体にこのコードを付与して数メートル離れた距離から光源と固定カメラでデコードできるという特徴も有する。現在はダイレクトマーキング方式ではないが、将来ダイレクトマーキングできるようにするのも魅力的な課題である。

表 3.5.1 リフレクティブカラーコードの特徴

	リフレクティブ カラーコード	RFID (パッシブ型)	バーコード
読取距離	近接～10m以上	6m以下	～1m
複数同時読取と 位置同定	可能	位置同定困難	困難
金属材質への適用	可能	性能低下	可能
曲面、凹凸面、水中	可能	水に弱い	不可
暗所作業	可能	可能	不可

(2)デコードについても通常の色ビットコード同様、RGB 又は CMY の 3 色をカメラで読み込み、捉えた画像内のコードをソフトウェアで解析、デコードしていく方法である。特別に高価な環境設定を必要としないプロセスウインドウの広いデコードシステムである。しかし、本コードの場合、各色のドットサイズ、部材のバックグランド色、コードを照射する光源の種類、カメラの解像度の組合せで、(デコード) 読取性能が影響を受けることもわかっている。したがって、誰でも、いつでも、特殊な条件出しを必要としないデコード方法とカメラ性能、光源、背景色とコード色の設計を含む標準化検討も実用化にあっては重要な課題である。

4 調査研究の今後の課題及び展開

バーコード、2次元シンボル、RFIDなどの従来のID付与データキャリアに加えてカラービットコードもライフサイクル管理には欠かせない技術であることが確認された。

デジタルマークは10桁余りの制限の中でIDを表現できるが、バーコードやカラービットコードは桁数には制限がない。ただ、バーコードのGS1では14桁を国際標準とし、国番号、企業番号及び商品番号を保持する。農林水産省が食肉のトレーサビリティのために50桁のバーコードを付けることを始めたが、それは特殊な例であり、ハンディターミナルで読み取る作業を考えた場合、一度にあまり多くのバーコードを読むことは避けた方がよい。カラービットコードも同じことが言え、桁数を多くすることはもともと想定していない。それに対して、2次元シンボルの中でもQRコードは、1センチ四方の中に4～500桁の英数字が表現できる。GS1-128に従えば、企業や商品番号ばかりではなく、賞味期限、製造年月日、定価などのさまざまな項目の情報が収まる。一方、RFIDはバーコードの情報を基本にしており、EPCでは、96ビットが用意され、国や企業、製品番号の他に個品全てにシリアル番号を付加できる。地球上の米粒全てにシリアル番号を付けても数十年持つといわれている。価格面では96ビットのRFIDは最近では10円を切り、512ビットのメモリを有するものも100円を切るところまで来ている。

いずれにしても、活用できるID付与データキャリアの種類はかなり出そろってきたが、これらにライフサイクル管理のために保持させるIDの付け方が決まっていないことが課題としてあげられる。データキャリアの機能や特徴が異なっていることは、IDを付与されるモノによって使い分ければよいということになるが、データキャリアによっては保持できるIDの情報量が異なることを考慮してIDの標準化を進める必要がある。さらに、このIDのデータベースを管理する機関、データベースの中身、その運用ルールなどを決定することも忘れてはならない重要なテーマである。

今回取り上げたカラービットコードは、ビーコア社が特許を保有しており、現段階では自由に使用することができず、分野の違う数社と技術提携しているだけである。QRコードを開発したデンソーがその技術を公開し、自由に使用することを認めたことが今日のQRコードの普及に繋がっている。開発元のデンソーは、QRコードの特徴をよく知っていることを活かして読取り技術を自らの強みとしてハンディターミナルやスキャナでビジネスをしている。カラービットコードがQRコードのように広く活用されるためには技術の公開や標準化の推進が必須条件となる。

今後のライフサイクル管理の高度化を展望すると、ネットワーク環境が一層整い、情報処理速度が高速化して、情報のリアルタイム性の必要の有無が検討されるときとなる。ダイレクトマーキングの優れた特徴を活かし、かつ一層の高度化対応が可能な次世代データキャリアのイノベーションが必要である。

まえがき

全国板カレットリサイクル協議会からの報告によれば板ガラスメーカー各社からのガラスカレット需要が旺盛な状況である。その事由として、カレット使用により板ガラス溶融炉の温度を下げられ、原料調達コスト削減、燃料調達コスト削減、環境負荷低減が図れる点が挙げられる。

ガラスのリサイクルにおいては、その種類や不純物の混入程度に応じて、水平リサイクルとして同じガラスに再生したり、グラスウールとして断熱材に再生したりしている。グラスウールはワンウェイであり、一度グラスウールになったものは不純物の含有率が高いなど効率が悪いこともあってグラスウールに再生していない。

この中で、ガラスの間に中間膜をはさんだ合わせガラスにおいてはリサイクルが殆どされていない。工程内不良品・市中回収品を問わず、再生方法の中でも効率が良いとされている粗破碎によってガラスと中間膜を分離しているケースもあるが、中間膜が混入しているガラスはグラスウールの材料にしかならず、中間膜もガラスが付着しているため、サーマル原料として使用するか埋立処分されているのが実情である。特に、廃棄自動車の解体においては、ガラス取り外しの手間・費用が賄えないことから、ほんの一部を除き、解体業者でシュレッダーダストとして埋立処分されており、カレットを経てのガラス再生は殆ど行われていない。

一方、剥離液によって分離する湿式法を用いれば、合わせガラスからガラスと中間膜を混じりなく分離できることが実証できている⁽¹⁾。但し、あくまで実証実験段階であり、事業として成立するためには、剥離装置の特性を向上させることが必要である。

合わせガラスのリサイクルシステム確立のためには、回収システム（社会システム）も重要であるが、まず、本調査研究の結果によって剥離装置の高度化が実現し、合わせガラスの回収の促進につながれば幸いである。

今回の調査研究において、数々のアドバイスをいただいた合わせガラスリサイクル調査委員会の皆様、ご指導をいただいた経済産業省製造産業局の皆様をはじめとして、ご協力をいただいた多くの皆様に篤く御礼を申し上げます。

財団法人 製造科学技術センター

1. 調査研究の目的

我が国では、使用済み自動車は年間約 400 万台廃棄される。これらから金属等がリサイクルされているが、使用済み合わせガラスは約 5 万トン発生し、シュレッターにかけている。シュレッターダストは、含まれるプラスチック類が熱回収された後ガラス類はスラグとして残り、大部分が埋め立てられている。建設廃棄物としての使用済み合わせガラスも大部分が埋め立てられている。合わせガラスは飛散防止の目的から前述した自動車のフロントガラスに全面的に採用されているが、建材としても安全面、防犯面から合わせガラスの採用が進んでおり、今後建設廃棄物としても合わせガラスの排出量の増加が見込まれる。このような状況の中で、原料としての再生利用だけでなく、埋め立て処分場逼迫の点からもリサイクルが望まれている。

ガラス製造工場で発生する不良品や製造／運搬中に破損したガラスは、原料としてガラス溶融炉に戻されるが、中間膜の入った合わせガラスになっているものではガラス溶融炉において中間膜が不純物になるため、これの完全分離が必要である。現実には合わせガラスから効率よく中間膜とガラス片が分離できないため、板ガラス製造の原料としての利用は未だ事業ベースにはのっていない。

使用済み合わせガラスが効率よく中間膜とガラスに分離できれば、ガラス原料としてリサイクルできるうえ、中間膜についても再生利用が可能となる。

当財団では、平成 19 年度～平成 20 年度 NEDO 技術開発機構のエネルギー使用合理化技術戦略的開発 (F S 事業)「ガラスリサイクルシステムの事前調査」を実施して、使用済み合わせガラスを特殊溶液に液浸させて破砕するとガラスと中間膜の分離が比較的容易になることを報告した⁽¹⁾。この調査の中では、今後の課題として、①リサイクル処理装置の高度化と②回収システム (社会システム) の構築をあげている。今回の 3R システム化可能性調査事業は、①の処理装置の高度化に相当するものであり、本調査研究では、合わせガラスの効率的・実用的なリサイクルシステムの構築に向け、合わせガラスにおけるガラスと中間膜の最適な分離手法について調査研究を実施した。

今回の調査研究では、分離が比較的容易である湿式法を効率的・実用的な手法として確立するために必要となる、湿式法で用いられる剥離溶液の分離特性 (溶液の種類、濃度、温度との関係) 及び剥離装置に要求される機械特性 (事前破砕の粒度、剥離効果を高めるための合わせガラスへの力の加え方等) を、実験を中心に調査把握することを目的としている。(装置の構成と処理の流れは図 1.1 参照)

調査研究の実施にあたっては、合わせガラスのリサイクルシステムとして実用的なものを目指すため、剥離プロセスの経済性と剥離後のガラスカレット・中間膜の品質 (再生利用に供し得ること) の両立を狙っている。

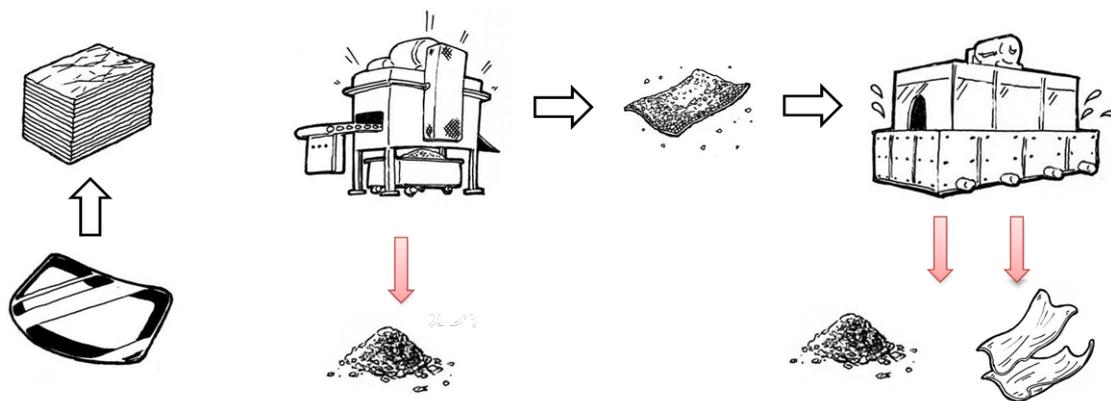
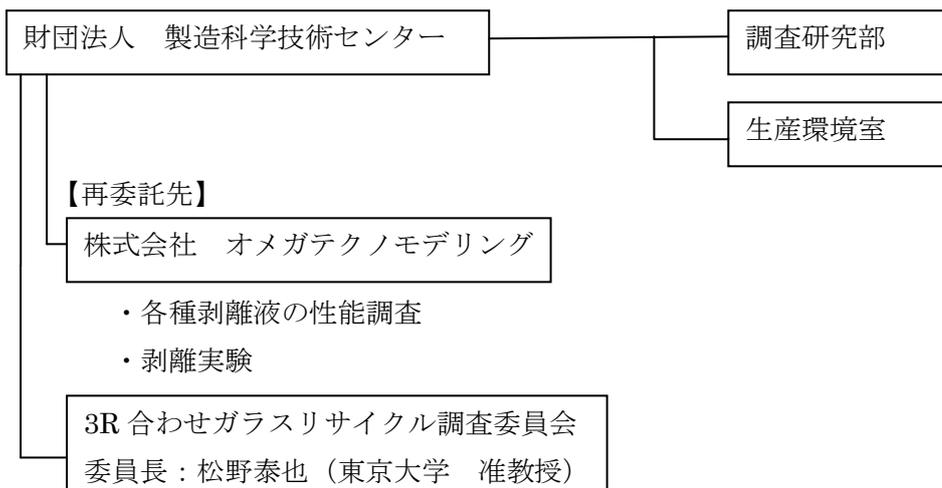


図 1.1 合わせガラス剥離装置構成と処理フロー

2. 調査研究の実施体制

製造科学技術センターが調査検討を担当し、合わせガラスのガラスと中間膜を剥離する具体的な実験等については、(株)オメガテクノモデリングに再委託した。また、学識経験者、ガラス業界、建築業界、リサイクル業界等9名から構成される委員会を設置し、指導助言を受けた。

【委託先】



3. 調査研究の内容

3.1 実施方法

3.1.1 剥離液の調査及び評価

(1)剥離液の選定

入手可能な合わせガラス剥離液を調査し、剥離特性/性能を評価して液を選定する。

(2)代替剥離液候補の評価

剥離液として1種類しか対象が無かったため、剥離メカニズムに合い剥離に使える可能性のあるものとして、フッ化水素酸と市販の洗剤等7種類をテストする。

表 3.1.1 合わせガラス剥離液としての評価候補薬品

薬品名	主たる成分	25℃におけるpH
フッ化水素酸 HF	HF	
市販洗剤 …… A	KOH キレート剤・界面活性剤	10wt% 水溶液 pH 11.8
市販洗剤 …… B	界面活性剤・アルキルアルコキシド 安定化剤	10wt% 水溶液 pH 7.6
市販洗剤 …… C	電解アルカリ水 100%	原液 pH 11.5
市販洗剤 …… D	界面活性化剤 直鎖アルキルベンゼン剤 安定剤・水軟化剤・可溶化剤	10wt% 水溶液 pH 11.6
市販洗剤 …… E	炭酸塩・過炭酸塩・有機キレート 界面活性化剤 ポリオキシエチレン アルキルエーテル	1wt% 水溶液 pH 10.4
市販洗剤 …… F	アニオン界面活性剤 炭化水素系溶剤・水	10wt% 水溶液 pH 5.1
選定した剥離液 OMB-100	メタケイ酸塩・界面活性剤 IPA・水酸化カリウム	5wt% 水溶液 pH 11.5

テスト方法

- I 約 100mm×100mm の合わせガラス試験片をクラッシャーにかけてガラスを細かく破碎する。
- II 小型の回転ドラム（パンチングメタル製）中に上記ガラスを入れて、各候補液中で一定時間回転しながらガラスを PVB 中間膜から剥離させる。
- III 一定時間後ガラスを取り出して、下記算式でガラスの残留率を求める。

$$\frac{\text{IIIで取り出したガラスの重量} - \text{中間膜重量}}{\text{Iで破碎したガラスの重量} - \text{中間膜重量}}$$

この結果と、OMB-100 で同条件のテストを行った結果を比較して、代替品として使用可能かを検討する。

①予備選別テスト

市販洗剤 A～F 6種類と HF（フッ化水素酸）を評価する。

A～FはC（電解アルカリ水）を除き wt%で 1%・5%・10%水溶液に調整する。

1ℓのビーカーに夫々の液を入れ（～800cc）50℃にキープし、100mm×100mmのガラス破碎済の合わせガラス（厚み ～4.9mm）を投入

30分後に合わせガラスを取り出し、ガラスの残留率を計測する。

$$\text{ガラスの残留率} = \frac{\text{30分後 取出した合わせガラス重量} - \text{中間膜重量}}{\text{液投入前の合わせガラス重量} - \text{中間膜重量}} \times 100\%$$

②小型バレルテスト

予備選別テストで成績の良いものに対して下記テストを実施する。

100mm×100mmの破碎済の合わせガラス 4枚を小型バレルに投入する。

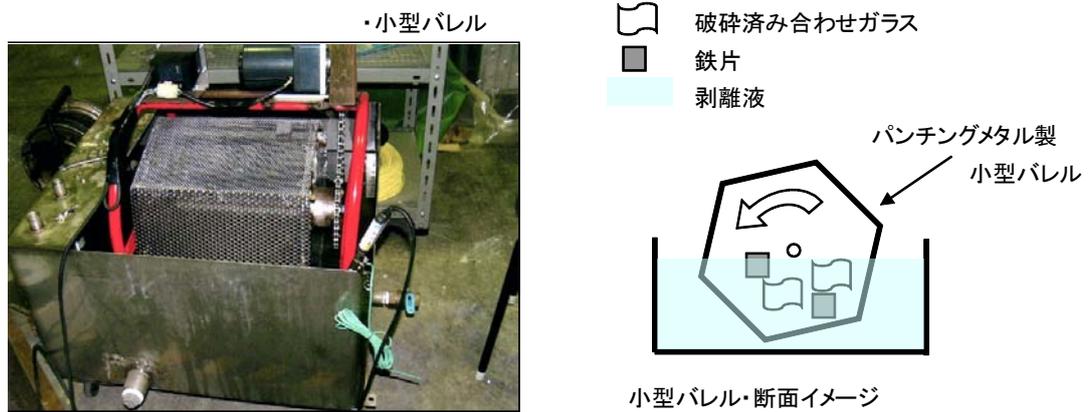
液温を 40℃に保ち、15rpm の速度で回転させる。

バレルには、厚さ 4mm 30mm×30mmの鉄片を総計 10kg 入れてガラスに衝撃を与える。

ガラス投入、回転開始後 5・10・15・20・30 分でガラスを取出し、重量を測定する。

それぞれ N=5 のテストを行い、平均ガラス残留率を求める。

ガラス残留率の結果が十分でない場合は、液温を 50℃、55℃に上げて同じテストを実施する。



六角形の対角の長さ：40cm、長さ：60cm

図 3.1.1 小型バレル

3.1.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ

破碎装置でガラスの破碎を行うクラッシャーの形状および、ガラスの破碎の粒度と剥離のし易さの評価を実施する。

(1)クラッシャーロールの形状評価

ガラスの破碎を行うクラッシャーに使用する上下一対のクラッシャーロールの形状を図 3.1.2、図 3.1.3 に示す。

ロールの形状、上下ロールの間隔によりガラスを砕く大きさが決まる。

下記 2 種類のロールで破碎と剥離を行い、優劣を評価する。

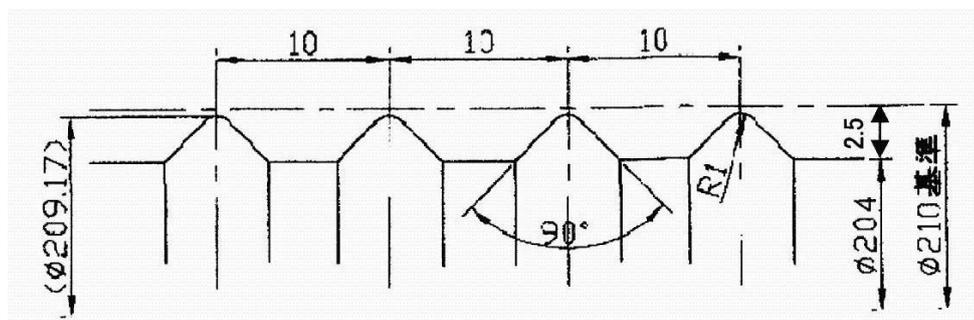


図 3.1.2 クラッシャーロール A

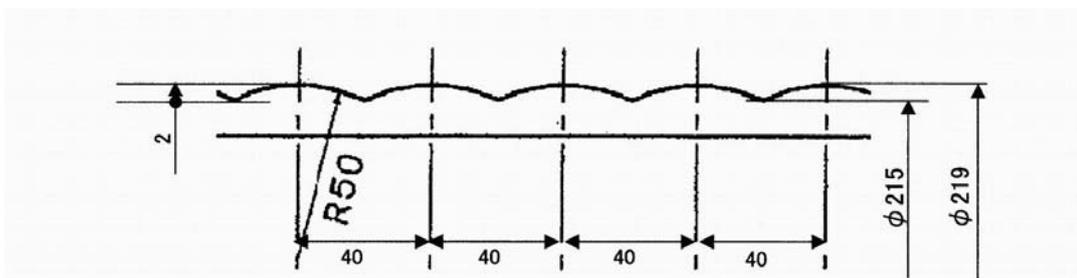


図 3.1.3 クラッシャーロール B

(2)選定したクラッシャーロールでの破碎評価

(1)の評価によって優れていると判定されたクラッシャーロールを使用して破碎粒度と剥離後のガラス残留率の詳細評価を実施する。破碎においては、クラッシャーロールに1回通したものと半ピッチずらして2回通したものを比較する。

合わせガラスサイズ 350mm×500mm (自動車フロントガラスより切り出し)
上下ロールの間隔は、上下ロールの平坦面をガラスの上下面に合せる。

2回目の破碎は、破碎ピッチが1回目の間に来るように調整する。

- ①この場合のクラッシャーで落ちるカレットと剥離液中で落ちたカレットの粒度分布を調べる。
- ②また、1回目で膜から脱落したガラスの量と2回目で脱落したガラスの量を“脱落率”として求める。

3.1.3 小型バレルによる剥離テスト (剥離の条件出し)

大型装置での剥離テストに先立ち、剥離液の濃度と温度に関する剥離傾向を把握するため、小型バレルで下記3つの要因の組合せで、膜上に残るガラス量をガラス残留率(重量%)として求める。

- ・ OMB-100 の水溶液の濃度 (低濃度側も広く評価)
0.05、0.10、1.0、5.0、10.0%
- ・ 剥離液の温度 (これまでの評価で実用的と考えられる範囲に設定)
40℃ 45℃ 50℃ 55℃
- ・ 剥離装置で処理する時間 (処理能力の観点から30分以内の処理を想定)
1、3、5、7、10、12、15、18、20分

3.1.4 大型剥離装置による剥離テスト

大型装置において量産時のコスト(液の使用量、濃度、処理時間、使用電力等)を想定して量産に適する条件を求めるため、大型剥離装置での評価を実施する。

(1)温度・濃度特性

小型バレルでの実験結果を参考に決定した下記評価パラメータで実施する。

テスト条件	液濃度	: 2vol% 5vol%	の2水準
	液温度	: 30℃ 40℃ 50℃	の3水準
	処理時間	: 所定枚数のガラスをバレル内に投入完了後、 15分、30分の2水準	計12水準で各水準 N=2
使用ガラス	飯室商店より提供された工程不良品 (フロントガラスを3枚にカットして使用)		
	サイズは	40~50cm×60~80cm	
	クラッシャー処理によるガラスの脱落率は	~50~60%	

合否判定基準 剥離工程最終段の回収膜水洗後、目視及び指触により膜に1ヶでもガラスカレットの残留が認められるものは不合格とした。
(非常に厳しい検査だが、短時間の検査の為、この基準を使用)

(2)消費電力

大型剥離装置での剥離テストを実施する際に、各装置の消費電力を測定する。

- ・1 バッチ (このテスト時は 50 枚のガラス) の破碎開始～分別機から最後の間膜が排出完了までの それぞれの装置の実運転時間と消費電力量
- ・剥離槽内の液を 1 バッチ処理する間、所定温度にキープする電力量
- ・剥離槽内に充填されている 2600ℓ の剥離液を所定温度まで昇温する電力量
(夜間はヒーターを切っている為、翌朝の操業開始までに 液温を所定温度まで昇温する必要がある)

3.1.5 物理的外力を剥離工程で加える効果

バレル槽に於いて、剥離液に浸漬されながら 回転バレル (パンチングメタル製) の内面との摩擦で剥離するだけでなく、バレル内で合わせガラスに物理的な外力、衝撃力を与えて ガラス片の剥離を促進するテストを行う。

(1)鉄片 (チップ) による剥離促進テスト

衝撃力 外力を加える為に 50mm×50mm×3mm t の鉄片 (チップ) をバレルに投入する。投入量は 15kg、28kg、35kg とする

液濃度 5%

液温度 50℃

バレル回転数 8.5RPM

チップサイズ 50×50×3t

(2)ボルトによる剥離促進テスト

投入したガラス同士が相互に回転するバレル内で摩擦し合い、ボルトにより持ち上げられ、落下する事で ガラスの剥離が進むことを期待してテストを行う。

ボルトの配置は図 3.1.4 ※1 と※2 の2種類で実施する。

※1 ではボルトを 22 本とし、チップを 25Kg に減らす。ガラスの投入量は 15 枚とする。

※2 ではチップの投入を止める。ボルトを減らし、ガラス相互の摩擦を増やすため投入量を 100 枚とする。

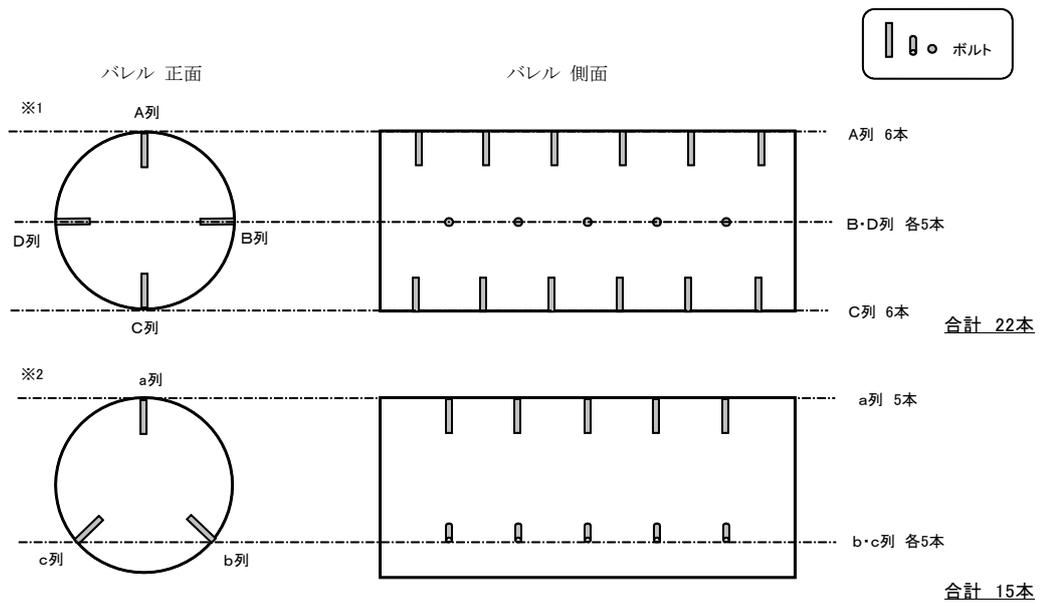


図 3.1.4 バレル内ボルト配置図

3.1.6 回収カレット、中間膜の品質評価

剥離テストで得られたカレットと中間膜が再利用可能なものであることを確認するため、ガラスはガラスカレット取扱業者にて、中間膜は中間膜メーカーにて評価を実施する。

3.2 結果

3.2.1 剥離液の調査及び評価

(1)剥離液の選定

調査の結果、合わせガラスを分離するものとして、オメガテクノモデリング社の OMB-100、テクノクリーン社の“シトラスオイル”、(株)ツルオカと宇都宮大との共同開発による“揮発性アルコール”が上がった。

この内、テクノクリーン社の“シトラスオイル”と(株)ツルオカと宇都宮大との共同開発による“揮発性アルコール”は、PVB 中間膜を溶解してガラスと分離するものであり、膜として回収するという目標と合致しないことが判明した。

(2)代替剥離液候補の評価

①予備選別テスト

結果を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 30 分後のガラス残留率(%)

	1%	5%	10%	原液	0.1%
H F					2
A	48	14	9		
B	50	17	11		
C				96	
D	97	92	89		
E	95	91	88		
F	98	96	93		
OMB-100	6.5	0.5	0		

②小型バレルでのテスト

液温 40℃でのテスト結果を表 3.2.2 に示す。

表 3.2.2 液温 40℃でのガラス残留率

処理時間	平均ガラス残留率 (%)		
	A (10%)	B (10%)	OMB (10%)
5 分	35.1	50.7	30.6
1 0 分	13.0	23.8	5.2
1 5 分	4.6	10.3	0.8
2 0 分	2.3	3.5	0.1
3 0 分	1.1	2.8	0.0

液温を 50℃、55℃に高めて実験を行った結果を表 3.2.3 に示す。

表 3.2.3 液温 50℃・55℃でのガラス残留率

処理時間	平均ガラス残留率 (%)					
	A (10%液)		B (10%液)		OMB (10%液)	
	50℃	55℃	50℃	55℃	50℃	55℃
5分	20.00	15.20	32.10	22.20	1.40	1.30
10分	8.50	6.10	14.00	8.80	0.10	0.05
15分	3.00	2.10	6.50	4.20	0.00	0.00
20分	1.10	0.80	2.10	1.30		
30分	0.50	0.30	1.30	0.50		

40℃の液温に比較して、50℃、55℃共に剥離能力は上がっているが、膜の周辺部にガラスが残留した。

3.2.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ

(1)クラッシャーロールの形状評価

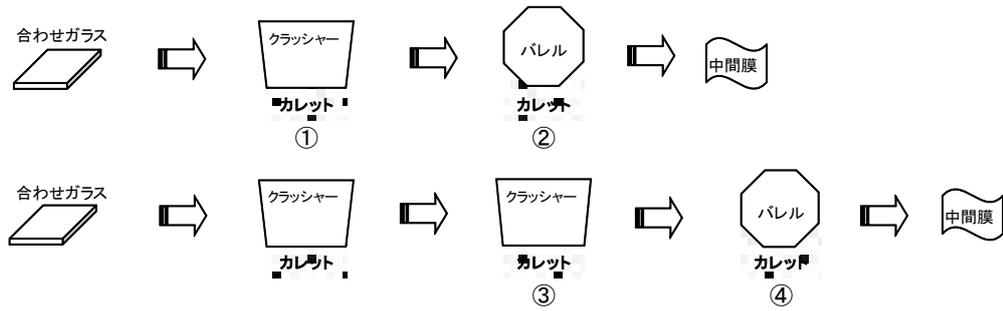
クラッシャーロール A では、ガラスが細かく破碎され、剥離処理においても剥離液が良く浸透した。クラッシャーロール B では、ガラスは碎かれるが 10～15mm×5～10mm と大きく、剥離処理しても 50～60% (wt) のガラスが残留した。

(2)選定したクラッシャーロールでの破碎評価

表 3.2.4 にカレットの粒度分布を示す。

表 3.2.4 カレットの粒度分布

メッシュ	フルイ	①			②			③			④		
		クラッシャーのカレット			バレルより回収品			クラッシャーのカレット			バレルより回収品		
		クラッシャー1回目			クラッシャー1回目			クラッシャー2回通しの2回目のカレット			クラッシャー2回通し		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4000	～4000	8.4	9.5	7.1	22.1	28.6	24.1	8.4	6.4	7.3	25.9	29.9	19.4
3360	4000～360	6.0	5.6	4.0	10.6	8.4	10.3	4.9	4.2	3.9	13.9	12.1	10.5
2380	3360～2380	11.6	11.9	11.9	19.3	19.9	17.3	13.2	14.1	12.0	25.4	26.5	23.6
1190	2380～1190	27.9	30.1	29.5	27.7	24.8	26.5	28.6	27.5	27.9	27.1	24.8	34.6
125	1190～125	40.9	38.6	41.9	17.9	16.6	19.3	41.1	44.1	45.4	6.9	5.9	11.1
0	125～	5.2	4.3	5.6	2.4	1.7	2.5	3.8	3.7	3.5	0.8	0.8	0.8
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



クラッシャー破碎によるガラス脱落量を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5 クラッシャー破碎によるガラス脱落量

	破碎前 総重量	1回破碎後 総重量	2回破碎後 総重量	中間膜 重量	ガラス のみの重量						
					破碎前	1回破碎後	脱落量	脱落率	2回破碎後	脱落量	脱落率
1	1836	1528	1158	127	1709	1401	308	18.0	1031	678	39.7
2	1844	1566	1182	127	1717	1439	278	16.2	1055	662	38.6
3	1868	1576	1166	127	1741	1449	292	16.8	1039	702	40.3
4	1844	1562	1224	127	1717	1435	282	16.4	1097	620	36.1
5	1844	1548	1168	127	1717	1421	296	17.2	1041	676	39.4
6	1842	1518	1262	127	1715	1391	324	18.9	1135	580	33.8
7	1848	1482	1214	127	1721	1355	366	21.3	1087	634	36.8
8	1840	1480	1222	127	1713	1353	360	21.0	1095	618	36.1
9	1840	1490	1224	127	1713	1363	350	20.4	1097	616	36.0
10	1836	1498	1240	127	1709	1371	338	19.8	1113	596	34.9
11	1858	1462	1224	127	1731	1335	396	22.9	1097	634	36.6
12	1838	1484	1216	127	1711	1357	354	20.7	1089	622	36.4

平均値

19.1

平均値

37.1

小型バレルで剥離後のガラス残留率を表 3.2.6 に示す。

表 3.2.6 小型バレルで剥離後のガラス残留率 (%)

処理時間	1回破碎	2回破碎
5分	44.0	31.0
10分	11.5	6.1
15分	2.5	1.1
20分	1.2	0.4
30分	0.8	0.0

3.2.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）

結果の一覧表を表 3.2.7 に、結果のグラフを図 3.2.1 から図 3.2.9 に示す。

表 3.2.7 小型バレル剥離実験での平均ガラス残留率（重量%）

液温	OMB濃度	処 理 時 間								
		1分	3分	5分	7分	10分	12分	15分	18分	20分
55℃	0.05%	64.50	14.40	2.84	1.09	0.38	0.19	0.07		0.00
	0.10%	36.80	3.23	0.40	0.03	0.03	0.01	0.00		
	1.00%	62.45	14.20	1.70	0.40	0.00				
	5.00%	56.13	11.33	1.83	0.70	0.40	0.17	0.03		0.00
	10.00%	49.30	5.25	1.30	0.50	0.05	0.00			
50℃	0.05%	69.47	23.50	6.09	1.90	0.73	0.26	0.10		0.00
	0.10%	49.63	7.47	1.80	0.97	0.37	0.30	0.08		0.00
	1.00%	65.73	24.93	6.37	2.00	1.07	0.43	0.30		0.13
	5.00%	70.47	29.10	8.37	2.20	0.70	0.30	0.17		0.00
	10.00%	57.93	10.93	1.37	0.37	0.07	0.00			
45℃	0.05%	80.00	53.40	30.10	16.30	6.79	4.44	2.54	1.81	1.36
	0.10%					12.80		3.10		1.20
	1.00%	68.00	31.57	12.13	4.33	1.33	0.83	0.57	0.23	0.17
	5.00%	74.33	38.70	15.67	5.40	1.63	1.00	0.57	0.27	0.10
	10.00%	66.23	22.27	6.03	1.90	0.73	0.43	0.20	0.17	0.07
40℃	0.05%			59.07		27.87		11.83		5.67
	0.10%					35.40		16.07		6.43
	1.00%					19.03		5.60		1.66
	5.00%			44.00		11.50			2.53	1.07
	10.00%			30.63		5.27		0.87		0.23

- ・ 1回に125mm×125mmの破碎した合わせガラス4枚を小型バレルに投入
- ・ 1水準 n=3 （テスト枚数12枚）

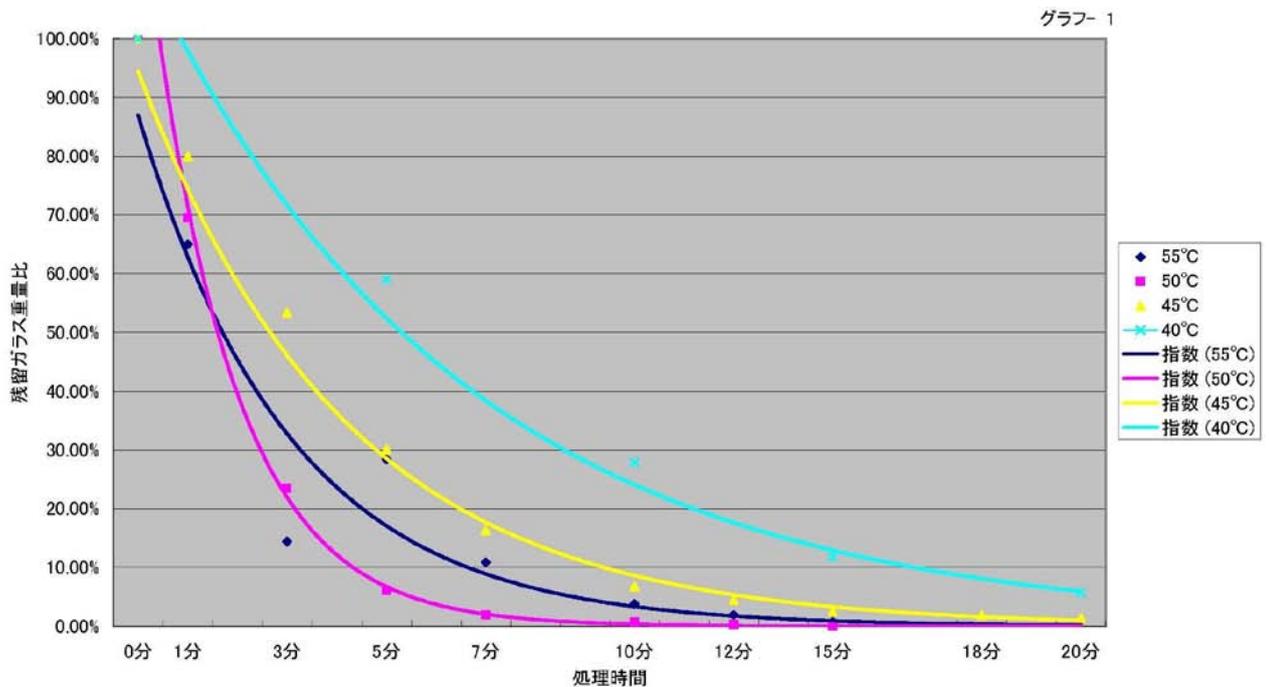


図 3.2.1 ガラス残留率グラフ（0.05%）

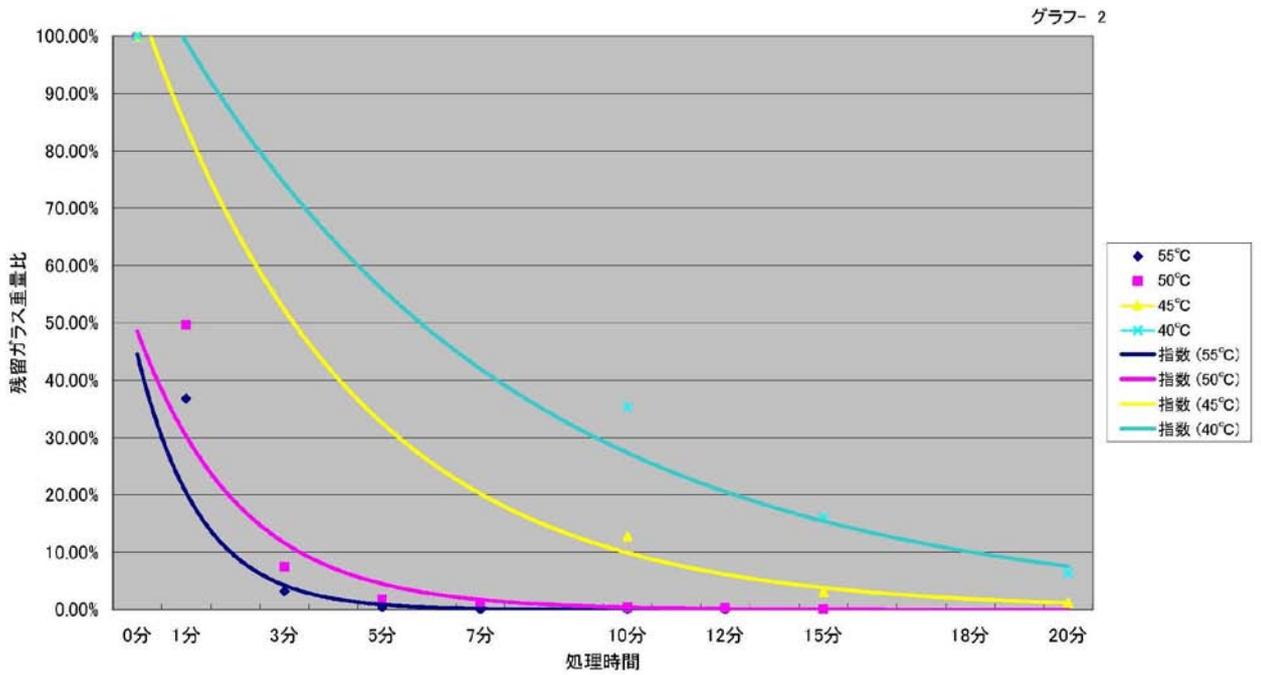


図 3.2.2 ガラス残留率グラフ (0.10%)

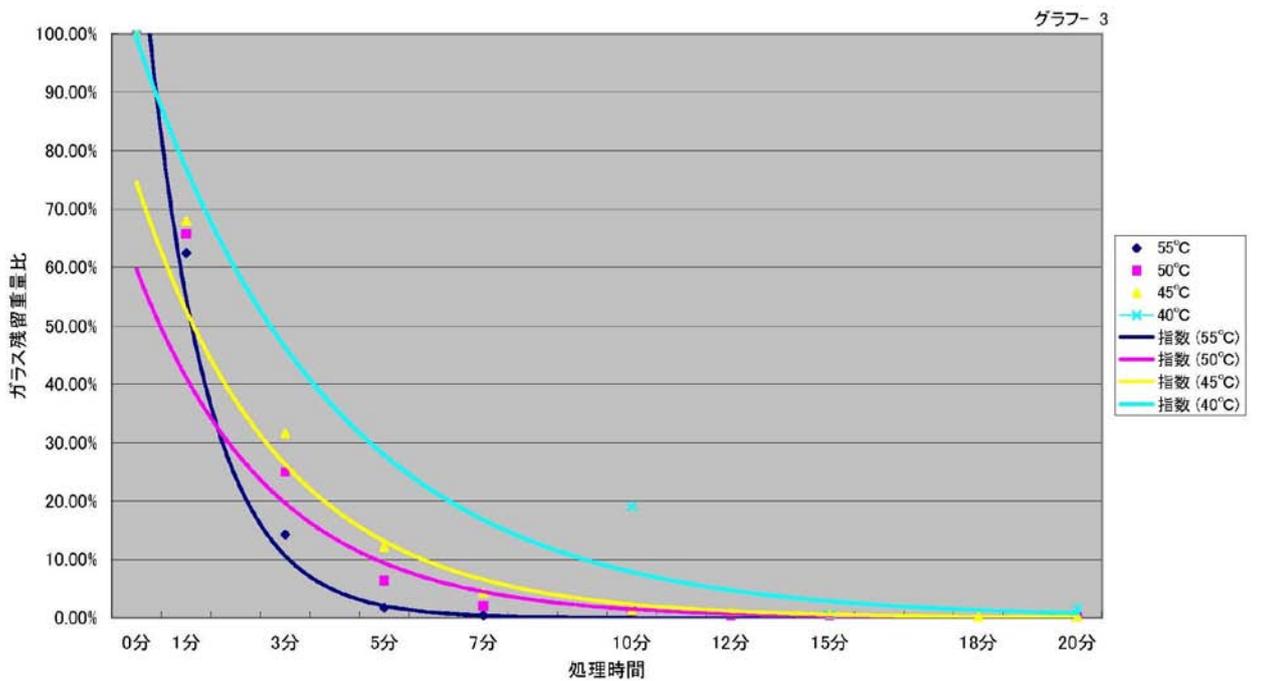


図 3.2.3 ガラス残留率グラフ (1.0%)

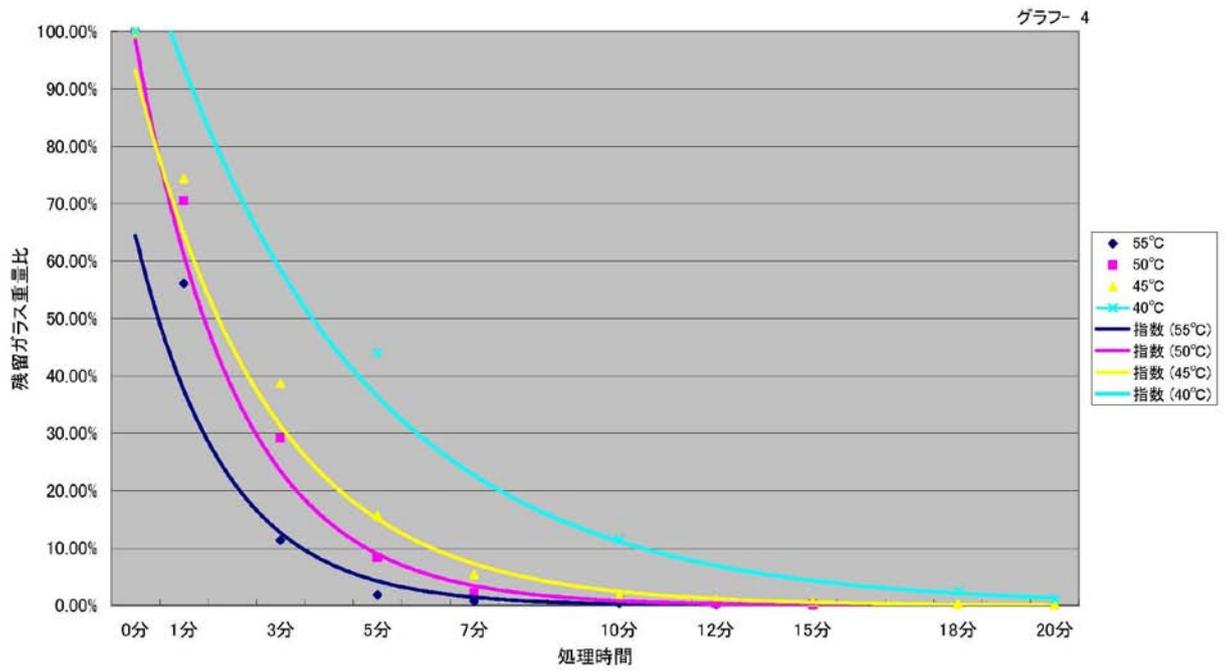


図 3.2.4 ガラス残留率グラフ (5.0%)

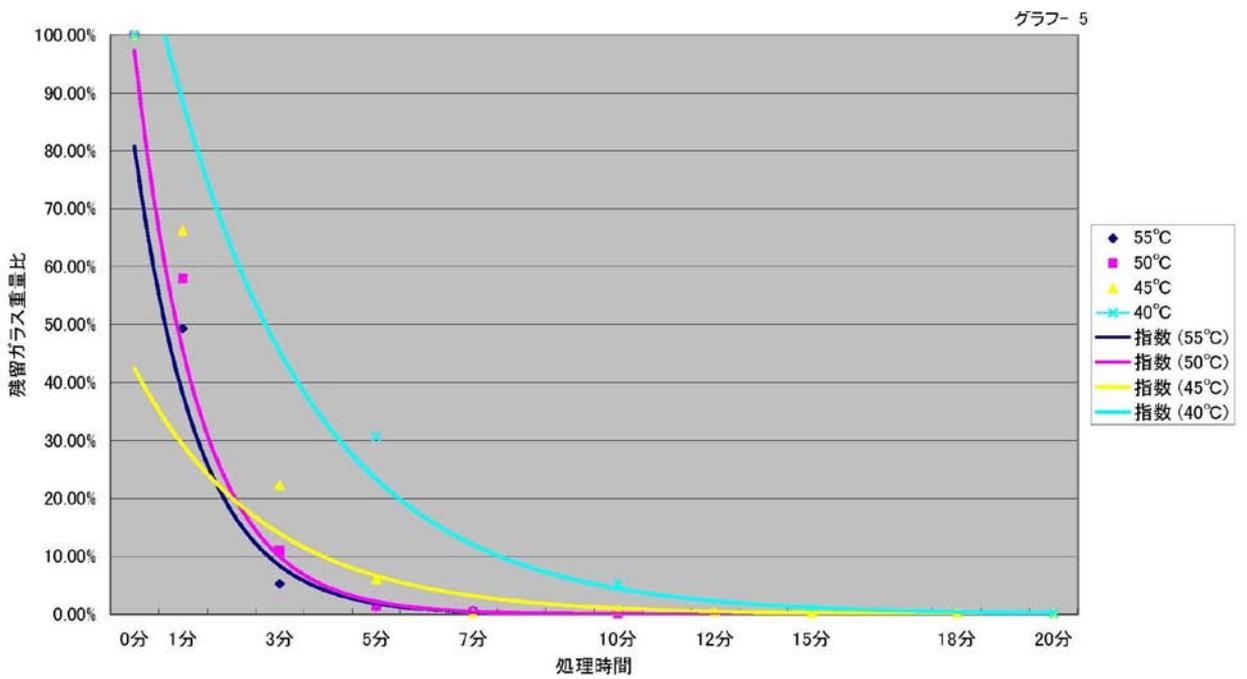


図 3.2.5 ガラス残留率グラフ (10.0%)

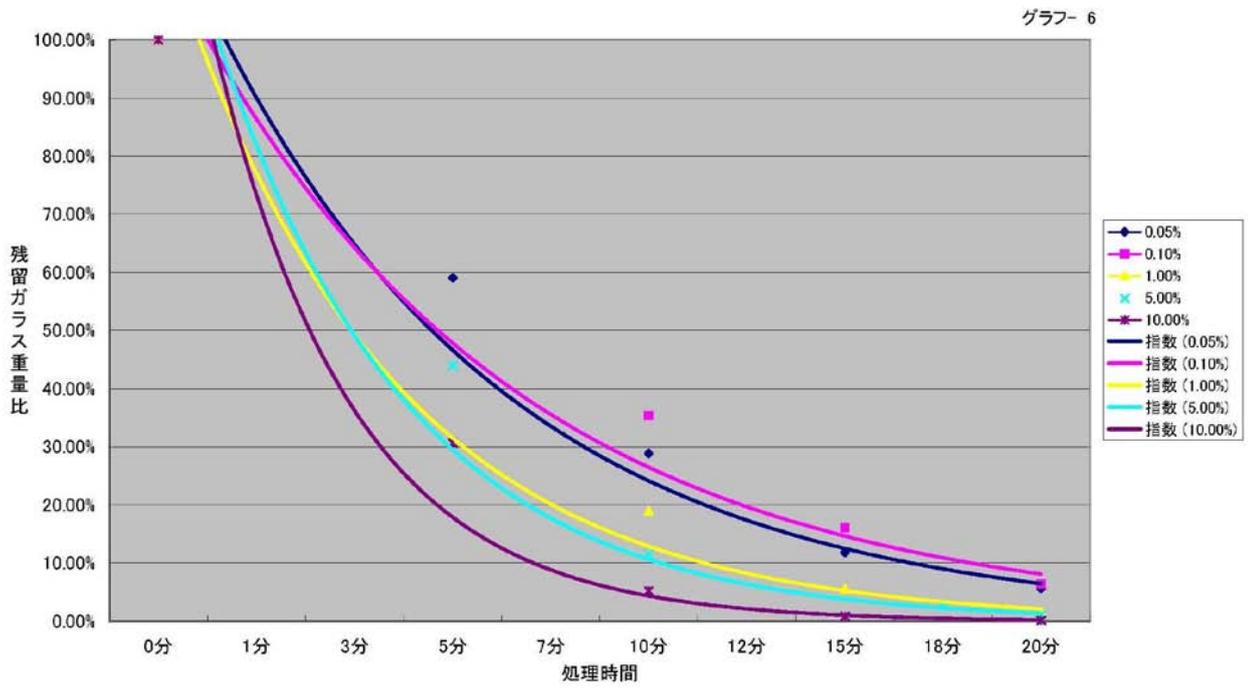


図 3.2.6 ガラス残留率グラフ (40°C)

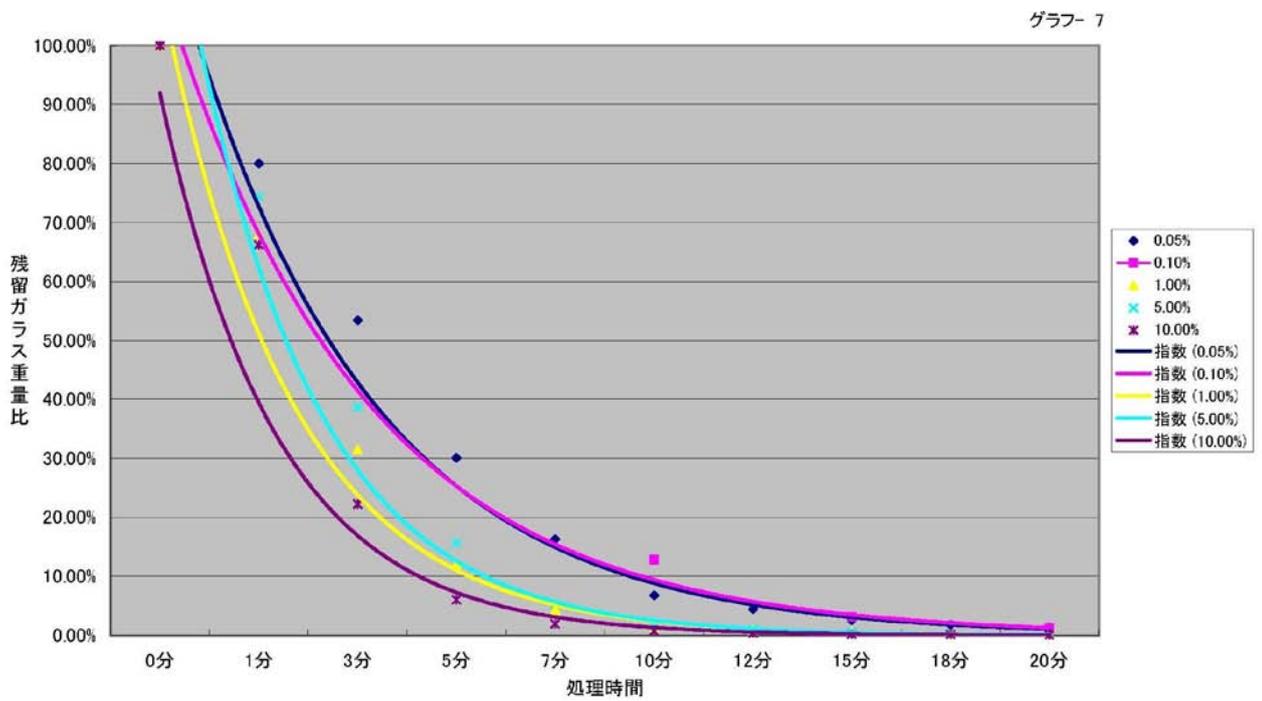


図 3.2.7 ガラス残留率グラフ (45°C)

グラフ 8

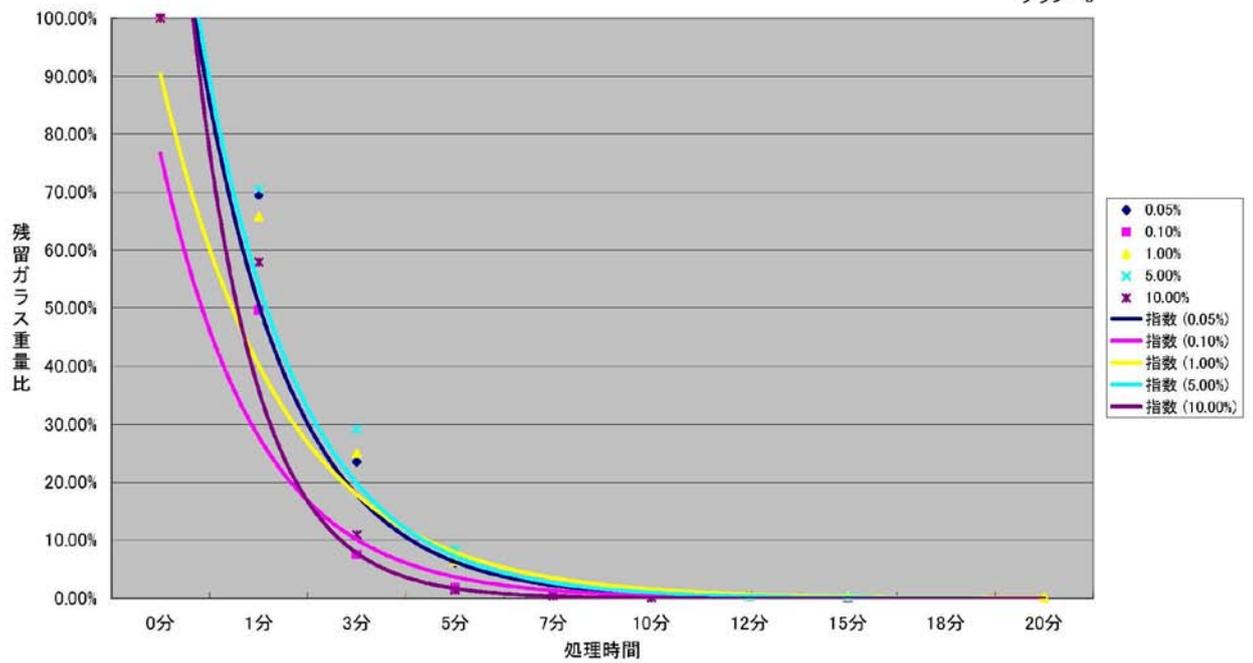


図 3.2.8 ガラス残留率グラフ (50°C)

グラフ 9

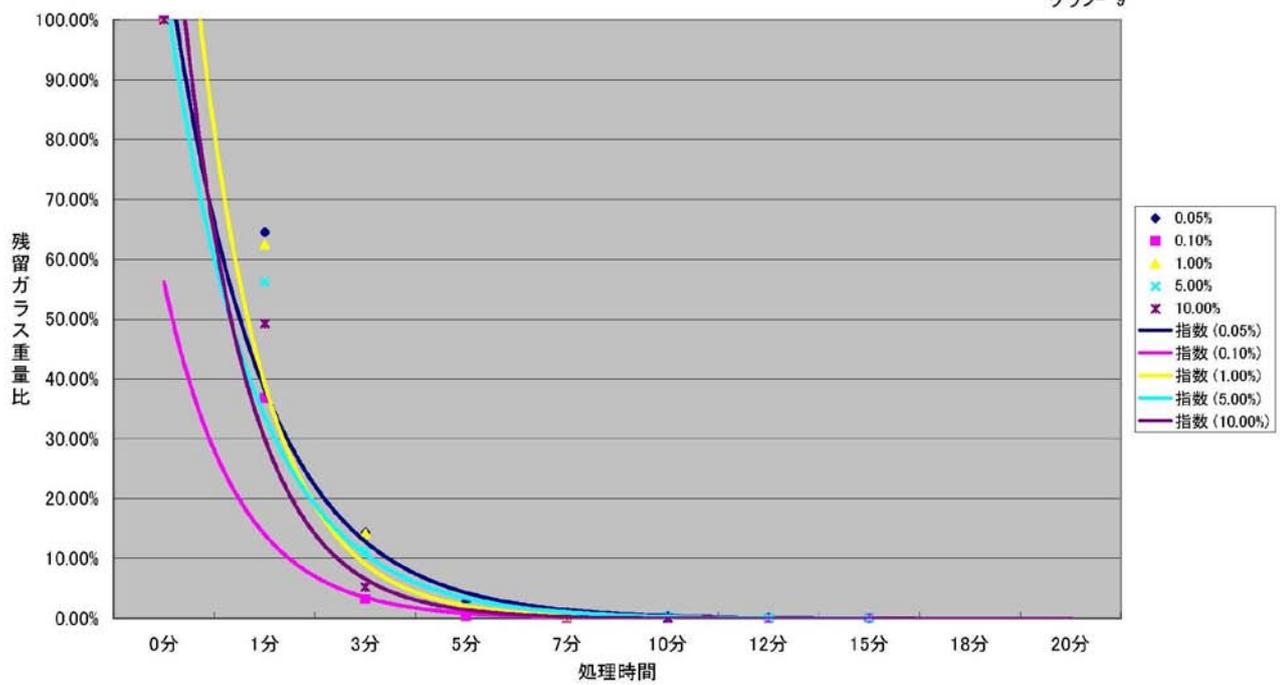


図 3.2.9 ガラス残留率グラフ (55°C)

3.2.4 大型剥離装置による剥離テスト

(1) 温度・濃度特性

液濃度 2%での結果を表 3.2.8 に、液濃度 5%での結果を表 3.2.9 に、総括したグラフを図 3.2.10 に示す。

表 3.2.8 液濃度 2%での剥離結果

液温	投入数 枚	取出し時間 分	検査結果		
			良品(枚)	不良(枚)	歩留(%)
30°C	50	15	0	50	0
	50	30	0	50	0
40°C	50	15	0	50	0
	50	15	2	48	4
	50	30	12	38	24
	50	30	25	25	50
50°C	50	15	10	40	25
	50	15	25	25	50
	50	30	27	23	54
	50	30	39	11	78

表 3.2.9 液濃度 5%での剥離結果

液温	投入数 枚	取出し時間 分	検査結果		
			良品(枚)	不良(枚)	歩留(%)
30°C	50	15	0	50	0
	50	30	0	50	0
40°C	50	15	7	43	14
	50	15	18	32	36
	50	30	23	27	46
	50	30	14	36	28
50°C	50	15	42	8	84
	50	15	37	13	74
	50	30	42	8	84
	50	30	45	5	90

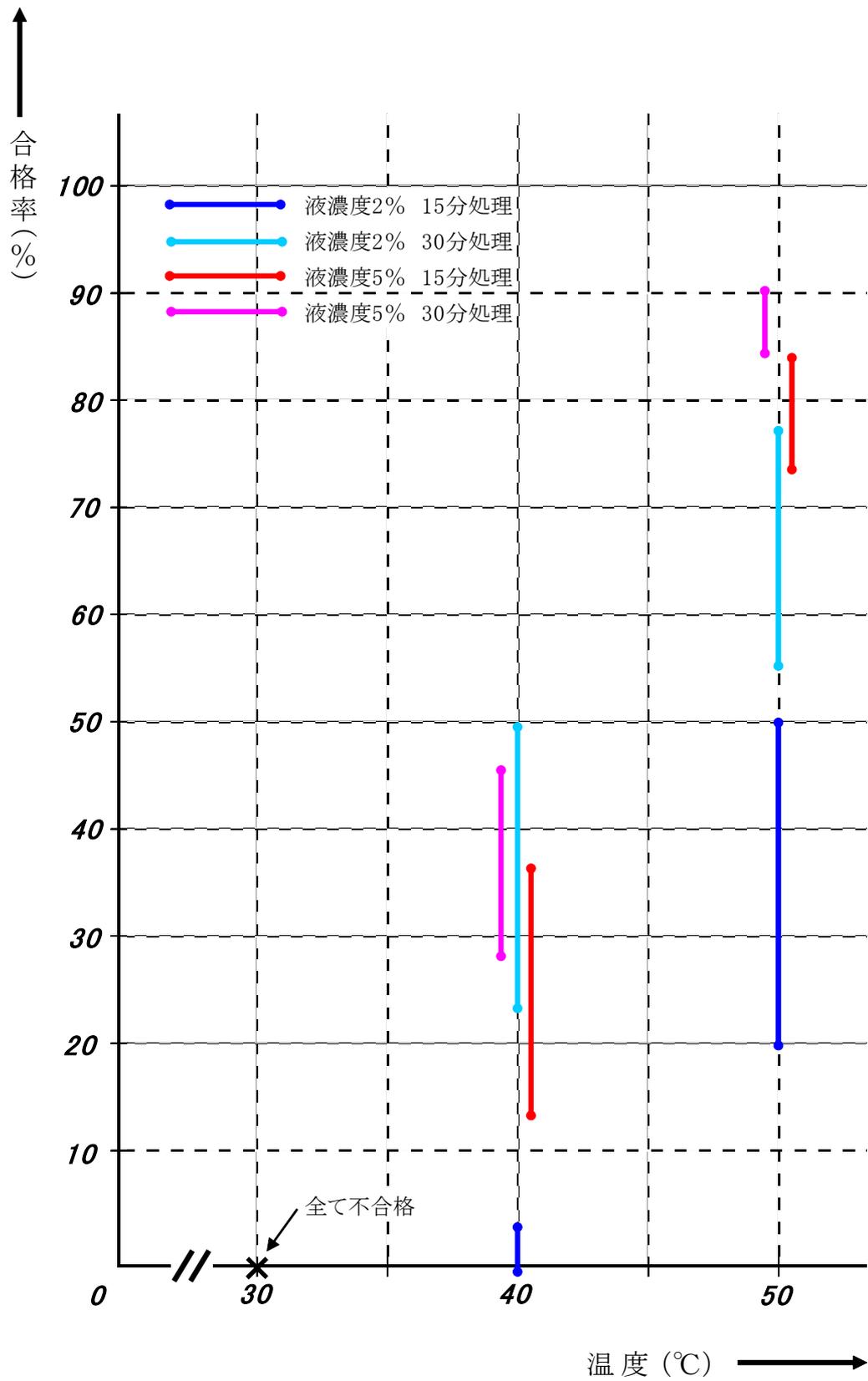


図 3.2.10 大型剥離装置による剥離テスト結果

剥離後の中間膜のサンプル例の写真を以下に示す。(考察は 3.3.4 を参照)

(不合格サンプル : No.1-No.12、合格サンプル : No.13-No.14)

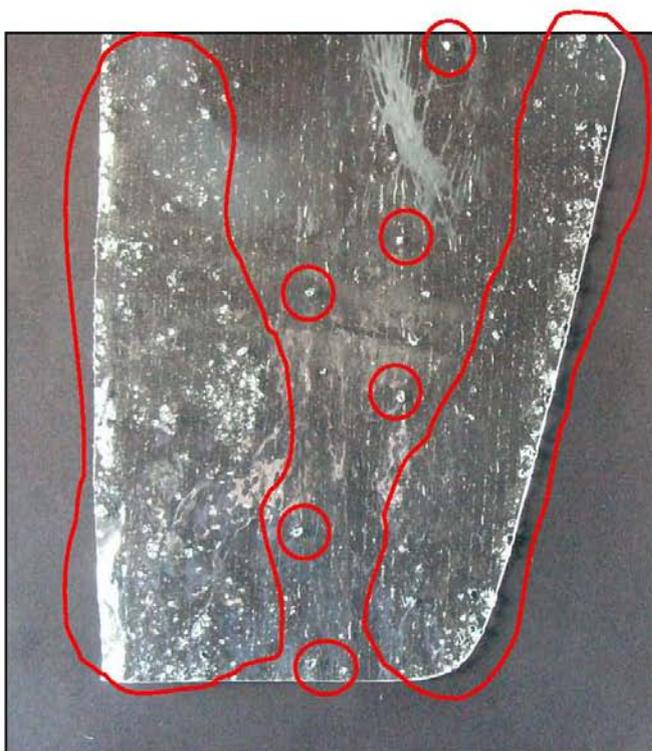
剥離後の中間膜不合格サンプル例写真 (No.1-No.12)



○ 不良原因となる
カレットの残留箇所

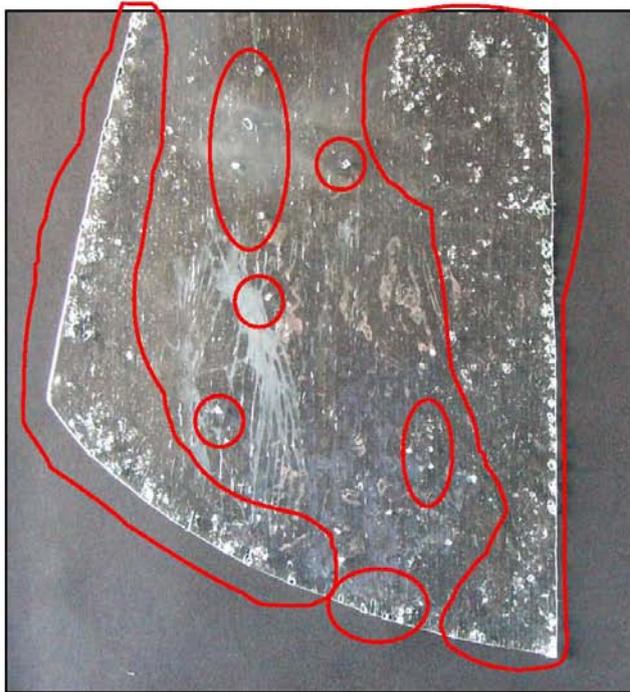
No. 1

OMB濃度 2%
液温 30°C
処理時間 15分



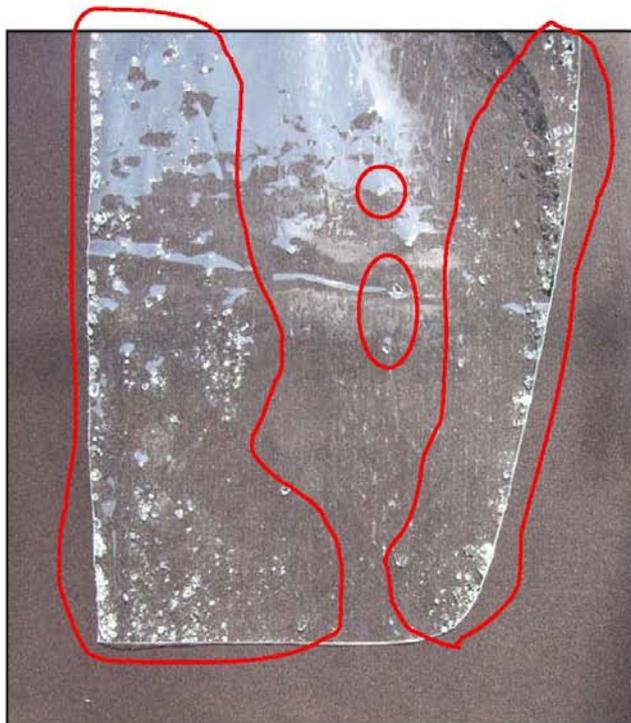
No. 2

OMB濃度 2%
液温 30°C
処理時間 30分



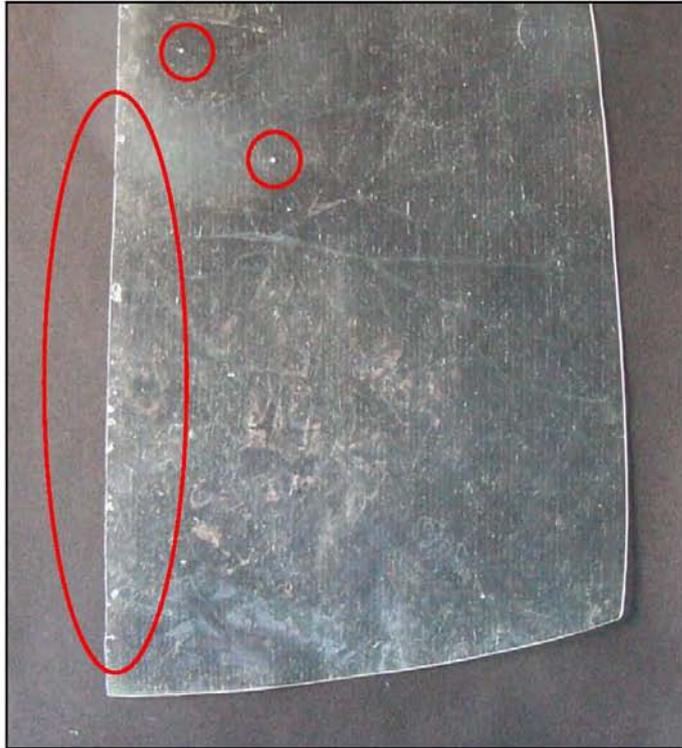
No. 3

OMB濃度 2%
液温 40°C
処理時間 15分



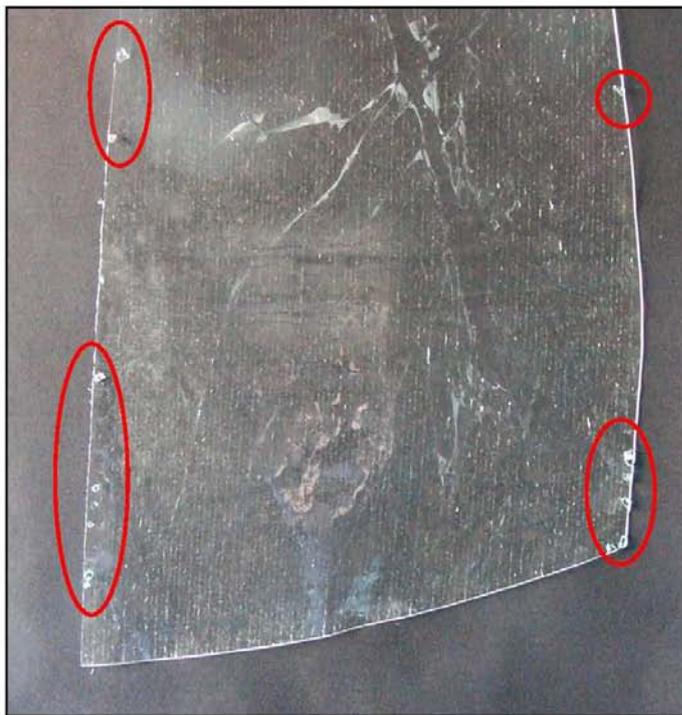
No. 4

OMB濃度 2%
液温 40°C
処理時間 30分



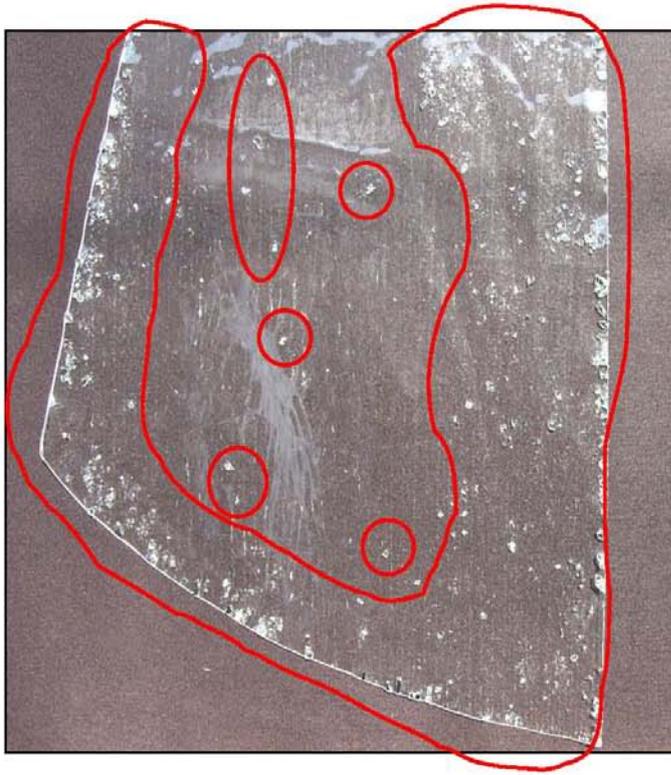
No. 5

OMB濃度 2%
液温 50°C
処理時間 15分



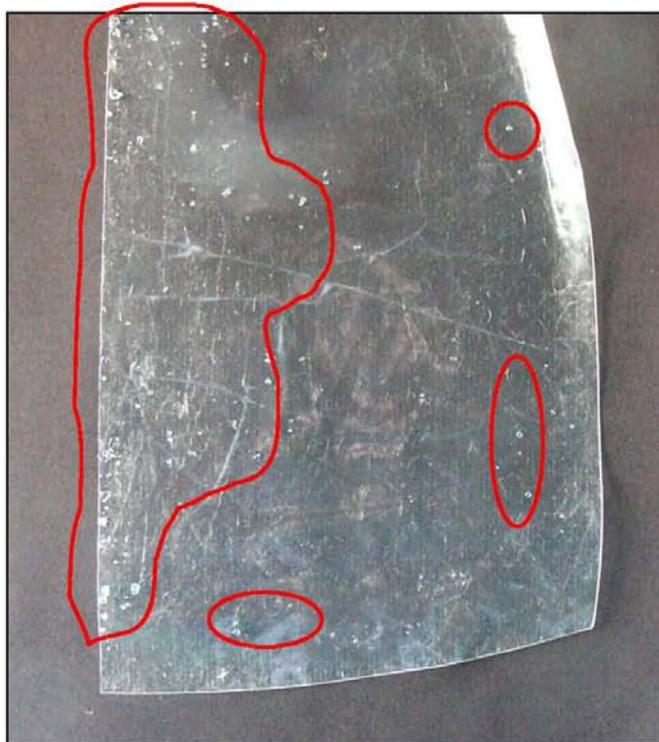
No. 6

OMB濃度 2%
液温 50°C
処理時間 30分



No. 7

OMB濃度 5%
液温 30°C
処理時間 15分



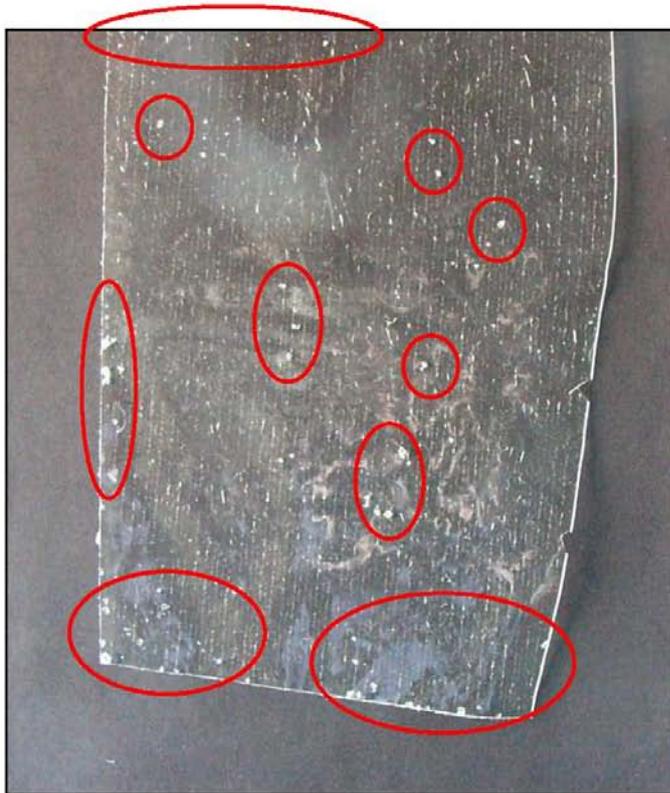
No. 8

OMB濃度 5%
液温 30°C
処理時間 30分



No. 9

OMB濃度 5%
液温 40°C
処理時間 15分



No. 10

OMB濃度 5%
液温 40°C
処理時間 30分



No. 11

OMB濃度 5%
液温 50°C
処理時間 15分



No. 12

OMB濃度 5%
液温 50°C
処理時間 30分

剥離後の中間膜合格サンプル例写真 (No.13, No.14)



No. 13
合格-1



No. 14
合格-2

(2)消費電力

測定した消費電力の結果を表 3.2.10 から表 3.2.13 に示す。

表 3.2.10 1 バッチ操業電力量 (ヒーター除く) (操業時間 : 40 分)

	名 称	稼働時間(分)	電力量(kWh)
①	破砕装置	10	0.06
		10	0.62
	繋ぎコンベア	10	0.08
②	バレル	40	0.58
	ポンプ	40	1.34
	水中(水平)コンベア	40	0.28
	傾斜コンベア	40	0.23
③	中間膜取出しコンベア	15	0.05
	中間膜搬送コンベア	15	0.31
	分別機	15	2.12
①+②+③合計電力量(ヒーター除く)			5.67

表 3.2.11 温度維持用ヒーター電力量

ヒーター 電力量 (温度維持)	設定液温度	操業時間	電力量(kWh)
	30℃	40分	7.76
	40℃	40分	11.64
	50℃	40分	17.46

表 3.2.12 1 バッチ操業総電力量

総電力量	設定液温度	操業時間	電力量(kWh)
	30℃	40分	13.44
	40℃	40分	17.32
	50℃	40分	23.14

表 3.2.13 ヒーターによる昇温時の電力量

設定液温度	到達時間	アワーメーター	備考	電力量(kWh)
30℃	84分	1.4 h	※)ヒーターは、8本使用	54.32
40℃	138分	2.3 h	※)ヒーターは、8本使用	89.24
50℃	204分	3.4 h	※)ヒーターは、8本使用	131.91

3.2.5 物理的外力を剥離工程で加える効果

テスト結果の全体表を表 3.2.14 に示す。

表 3.2.14 物理的外力テスト結果

月/日	処理時間 分	チップ量 kg	ガラスサイズ cm×cm	ガラス総重量 kg	投入数 枚	膜重量 kg	ガラス残留率 %	N数
1/18	5	14.8	35×50	9.635	6	0.887	1.18	4
1/18	10	14.8	35×50	9.334	6	0.840	0.61	4
1/18	10	28.5	35×50	9.060	6	0.788	0.07	3
1/18	10	28.5	35×50	13.873	9	1.167	0.09	3
1/18	10	35.0	35×50	21.556	15	1.604	0.11	1
1/19	15	35.0	35×50	22.472	15	1.966	0.00	1
1/19	5	35.0	35×50	15.858	15	1.955	0.19	3
1/19	7	35.0	35×50	18.044	15	1.904	0.11	3
1/19	10	35.0	35×50	16.769	15	2.079	0.07	3
バレル内に巻付き防止の為 4列 22本の L=100mm のボルト取り付け ※1								
1/20	5	25.0	35×50	18.605	15	2.106	0.28	1
1/20	10	25.0	35×50	15.886	15	2.008	0.08	1
1/20	12	25.0	35×50	18.127	15	2.084	0.04	1
1/20	15	25.0	35×50	18.257	15	2.108	0.03	1
チップの投入は中止。 ガラス投入量増 ボルト 3列 15本に減 ※2								
1/21	15	0.0	35×50		50	7.016	0.03	1
1/21	30	0.0	35×50		100	15.025	0.008	1
1/21	30	0.0	35×50		100	16.120	0.005	1

3.2.6 回収カレット、中間膜の品質評価

良好と思われる結果が得られた実験評価での回収カレットと中間膜を業者に評価依頼した。

ガラスカレット取扱業者の一つであり、全国板カレットリサイクル協議会会員でもある有限会社 飯室商店で粒径の分布と異物混入についての評価を実施し、粒径の大きい物は板ガラス再生原料用カレットとして、細かいものについてはガラスビーズ製造用カレットとして受入可能であるという評価を得た。

【3R合わせガラスリサイクル調査委員会】 テストカレットの品質評価結果

(株)オメガテクノモデリングより提供された2種類のカレット(クラッシャーで発生したカレット、及び 湿式剥離装置のパレルで剥離、回収されたカレット) それぞれ 1Kg を 200グラムずつの ロットにわけて それぞれ3ロットを選び 分級ふるい にかけて分級を行った。

以下の表の上段は そのメッシュに入った カレットの重量 (グラム) 下段は その百分率(%)である。

	分級範囲 (ミクロン)	メッシュ (ミクロン)	クラッシャーからのカレット				パレルから回収したカレット			
			1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値
①	4000<	4000	17	15.8	14.4	15.8	48	58.4	43.4	50
			8.5%	7.9%	7.2%	7.9%	24.0%	29.3%	21.7%	25.1%
②	4000~ 3360	3360	10.8	9.8	7.8	9.4	24.4	20.4	20.8	21.8
			5.4%	4.9%	3.9%	4.7%	12.2%	10.2%	10.4%	10.9%
③	3360~ 2380	2380	24.8	26	23.8	24.8	44.6	46.4	40.8	44
			12.4%	13.0%	11.9%	12.4%	22.3%	23.2%	20.4%	22.0%
④	2380~ 1190	1190	56.4	57.6	57.4	57	54.8	49.6	61	55.2
			28.2%	28.8%	28.8%	28.6%	27.4%	24.8%	30.6%	27.7%
⑤	1190~ 125	125	82	82.6	87	83.8	24.8	22.4	30.4	25.8
			41.0%	41.3%	43.6%	42.0%	12.4%	11.2%	15.2%	12.9%
⑥	125>	0	9	8	9	8.6	3.2	2.4	3.2	2.8
			4.5%	4.0%	4.5%	4.3%	1.6%	1.2%	1.6%	1.4%
		Total :g	200	199.8	199.4	199.4	199.8	199.6	199.6	199.6

結果、ガラス以外の不純物が全く無く、上記表中①~③2380~4000~ミクロンの粒度については板ガラス原料として、④~⑥0~2380ミクロンの粒度分についてはガラスビーズ原料として適している事が判明した。従って、ガラス原料として全量が再生可能である。

2010年2月4日
(有)飯室商店

図 3.2.11 ガラスカレット品質評価結果報告書

また、中間膜については、XXXXXXXXXX 回収膜の再生技術を検討するに当たり、使用の可能性が十分に高いものであるとの評価を中間膜メーカーのXXXXXXXXXX社XXXXXXXXXXから得た。

※黒塗り部分は守秘義務のため一般公開不可

3.3 考察

3.3.1 剥離液の調査及び評価

(1)剥離液の選定

膜として回収するという目標と合致する剥離液として OMB-100 を選定した。

OMB-100 はオメガテクノモデリング社が合わせガラスの剥離用として開発したものであり、剥離メカニズムは、次の様になっている（図 3.3.1 参照）。

剥離液により、ガラスと中間膜の界面の結合を切断する。

剥離液中の Sodium Phosphate 及び Sodium Metasilicate がガラスと中間膜の間に浸透し、両者の界面をわずかにエッチングすることにより、ガラスと中間膜は接着力を失い剥離する。

この作用を短時間で進行させる為に、合わせガラスは剥離液に入れる前に細かく破碎する。

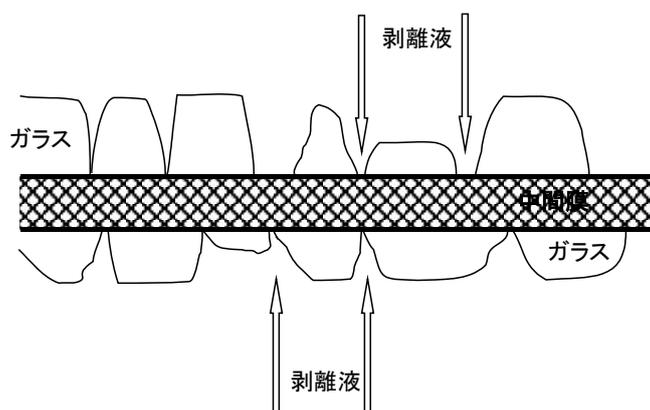


図 3.3.1 剥離メカニズム

破碎されていると、剥離液がガラスの割れ目から界面に浸透し、短時間に剥離する。

更に、これにガラスを引き剥がすような外力が加えられると剥離が加速される。

(2)代替剥離液候補の評価

①予備選別テスト

予備選別テストの結果から、小型バレルでのテストに投入すべき比較的成绩の良いものとして、A、B の 10%水溶液を選択した。

②小型バレルでのテスト

剥離テストの結果、A・B 両液共 40℃・10%濃度で 30 分間処理しても、膜面にガラス片が処理する前のガラス片重量と比較し 1~2%が残留している（以後 ガラス残留率という）。OMB-100 10%では、ガラスの残留は 0 であった。

海外の PVB 中間膜メーカーのリサイクル膜の受入基準としては、“膜に付着しているカレットは、中間膜重量の 0.01%以下”となっており、A・B 両液共残留ガラスが多すぎる。

液温度を 50℃・55℃迄高めて再テストした結果はガラス残留率で見ると 0.3～1.3%残留しており、まだ合格基準とは隔たりがある。

これらの代替品候補が OMB-100 と同等に使えるか否かのテストは、剥離性能の持続性（寿命）、回収する PVB 膜への影響の有無なども併せて調べる必要があるが、本調査の主目的ではなく、長時間のテストを要するので評価は打ち切った。

3.3.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ

(1)クラッシャーロールの形状評価

クラッシャーロール B では破碎したガラスが微細になりすぎないというメリットはあるものの、剥離処理後のガラス残留量が大きいいため、クラッシャーロール A を標準ロールとして採用した。

(2)選定したクラッシャーロールでの破碎評価

クラッシャーロール A を用いて 1 回破碎したものは、クラッシャーで ~20%のガラスが脱落し、ガラスの破砕片のサイズは半数以上が 1.2mm~5mm 程度となっている。

2 回破碎（2 回目はクラッシャーロールの刃を半ピッチずらしている）では、~40%のガラスがクラッシャーで脱落、破片サイズの分布は 1 回目と同様である。

この 2 種類の破碎をした合わせガラスを小型バレルで剥離し、ガラスの残留率を求めた結果、表 3.2.6 の通り 2 回破碎したもののほうがガラス片が早く剥離し、残留率も同一時間処理で比較すると 1 回破碎の 1/2~1/3 と少なかった。

効率良くガラスを中間膜から剥離する為には、OMB の剥離のメカニズムからも剥離液がガラスと中間膜の接着面に早く入り込み、剥離を進行させる距離が短い方が有利なのは明白である。即ち出来るだけ細かく破碎し、クラッシャーでガラスを中間膜より離脱させるのが良いことになる。

但し、あまり細かいガラス片は、ガラス熔融窯に入れると発泡したりバーナーで飛ばされ炉壁に付着し傷めると云われている。

今回の調査で 1 回破碎品・2 回破碎品のクラッシャー処理したカレットと、剥離装置からの回収カレットを（有）飯室商店（ガラス原料商）に評価を依頼した結果、

2380 μ m 以上の粒度のもの……板ガラス原料として

0~2380 μ m の細かいもの……ガラスビーズ原料として

全量 再生使用可能との結果が報告された。

従って A 型のクラッシャーロールを上下 2 対で使用し、クラッシャーでガラスの約 40~60%を脱落させるのが、後の剥離工程の効率を上げるのに適当と思われる。

3.3.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）

テストの結果から、

- (1) 剥離に最も効いているのは液温度である。特に液温 50°C～55°C の場合は温度が支配的で、液濃度による差は非常に小さい。
- (2) 40°C・45°Cの液温では、濃度の差が明確に出て濃度が高い程剥離能力は高いといえる。
- (3) 液濃度が低い場合、50°C～55°Cの液温で剥離作業を行えば十分高い剥離能力を持っている。

との結論が得られた。

使用する液の量も多い大型装置において量産時のコスト（液の使用量、濃度、処理時間、使用電力等）を想定して量産に適する条件を求めるための大型剥離装置での剥離テストを実施するにあたり、小型バレルでのテスト結果を参考に大型剥離装置での評価パラメータを下記のとおり決定した。

(1)温度条件

小型バレルでの結果では 50°Cと 55°Cでは大きな差がないため、エネルギーをより消費する 55°Cは対象から外した。逆に、低温側での剥離能力を確認するため 30°Cを設定し、その中間の 40°Cを加えた。

(2)液濃度

コストに大きく影響するため、剥離結果が 5%と大差が無い 10%は除外した。低濃度側の 0.05%、0.1%は短期間では良い結果が出るがすぐに剥離能力が低下することが分かったので、量産用の条件としては省き、2%と 5%の 2水準でテストすることとした。

(3)処理時間

小型バレルでのテスト結果では、温度/濃度の組み合わせにより、15分で剥離するものと 20分たっても剥離しきれずにかなり残るものがある。大型装置での実験では、15分と 30分で見れば量産条件の検討がつくと考えた。また、量産の処理能力の観点からは処理時間は 30分以内が望まれるという点も考慮した。

3.3.4 大型剥離装置による剥離テスト

(1)温度・濃度特性

結果に対する考察は以下のとおり。

①液の温度の影響は非常に大きい

液温 30°Cでは 2%・5% 双方共 30分間処理しても合格するものは得られず、不合格になったものも膜上に相当多くのガラス残留がある。（不良サンプル例 写真 No. 1・2・7・8）

40°Cの液では合格するものも 50%程度あるが、バラツキも多く不合格の膜上の残

留ガラス片の数もまだ多い。(不良サンプル例 写真 No. 3・4・9・10)

50℃になると合格率も高くなり、特に液濃度 5%の場合は、不合格のものも 1~2ヶが残留する程度である。(不良サンプル例 写真 No. 5・6・11・12)

②液の濃度について

温度が上がる程 2%より 5%の剥離能力が大きくなっている。

50℃以上では小型バレルのテストで液濃度の効果は小さいと出ていたが、大型バレルで大きなサイズを多数投入して処理すると、ガラス相互間の摩擦による物理的外力も加わる為か、濃度による効果も相当認められる。

(2)消費電力

剥離槽には 5kw (3相) の定格電力のヒーター8本が装備されている。前日の作業終了と共にヒーターは切り、翌日の作業開始時に所定温度になるようにタイマーでヒーターON とするようになっている。

昇温がスタートした時の槽内の液温度は 14.1℃

30℃ 迄 昇温するのに要する時間は 84 分で 消費電力量は 54.3 kwh

40℃ 迄 昇温するのに要する時間は 138 分で 消費電力量は 89.2 kwh

50℃ 迄 昇温するのに要する時間は 204 分で 消費電力量は 132.0 kwh

又 所定温度に達して作業を開始し、1バッチの処理が完了する迄約 40 分を要するが、この間剥離槽内の液温度を所定温度に保つのに要する温度維持電力量 (1バッチ処理の 40 分間) は、以下の様になった。

30℃ 40 分間 7.8kwh

40℃ 40 分間 11.6kwh

50℃ 40 分間 17.5kwh

これにヒーターを除いた 1バッチ操業電力量を加えると下記になる。

30℃ 40 分間 13.4kwh

40℃ 40 分間 17.3kwh

50℃ 40 分間 23.1kwh

この値より、50℃時の昇温時電力量を除いたフロントガラス 1 枚あたりの処理電力量は 0.46kWh となる。

これらのデータは、年間で最も寒い時期の 1/12~15 (気温は 3~7℃) に測定されたもので、春~秋の時期の消費電力はずっと少ないと思われる。

省エネルギーの為に剥離槽の槽壁はグラスウールで保温、上部構造の壁面も保温されている。また、実際の操業では週末の金曜日の操業終了時は全ヒーターを切り、翌月曜日の早朝にタイマーでヒーターON とするが、月~金曜日は作業終了後は 1~2 本 (気温による) のヒーターをつけて保温している。この保温の電力の方が昇温に必要な電力より相当少なくなっている。

上記の結果より、総合的に見て次の条件が量産用として妥当と思われる。

液濃度	5%
液温度	50℃

3.3.5 物理的外力を剥離工程で加える効果

(1)バレルに投入するチップの量(定量)を 14.8k g～28.5k g～35k g と増加させると、同一処理時間内で膜上に残留するガラス量（ガラス残留率）は減少していく傾向がある。

しかし、処理を終えて膜をバレルから取出す際に膜は絞った雑巾状になっており、チップがその中に包み込まれてしまう。

(2)バレル中で膜が絞られる、或は膜同志が絡み合ってしまう事を防止する為にバレルのパンチングメタルの穴を利用して、バレル内面に～100mm の長さのボルトを図 3.1.4 の※1 のように取付けて、膜をボルトに引っ掛けて持上げ、その後液中へ落下するようにした。

その結果が表 3.2.14 の 1/20 のテスト結果であり、膜同志の絡み、絞りは少なくなり、チップを 25kg に減らしたが、ガラス残留率は非常に小さくなった。しかし膜に包み込まれるチップは依然存在し、このまま後工程で中間膜に残留するガラス片を除去するための分別機に入ると 装置がチップにより損傷される懸念がある。

(3)分別機の損傷を避ける為、チップの投入を中止して投入する合わせガラスの量を増やし、投入したガラス同志が相互に回転するバレル内で摩擦し合い、ボルトにより持上げられ落下する事でガラスの剥離が進むことを期待してテストを行なった。

ボルトの配置を図 3.1.4 の※2 の様に変更し、ガラス投入量を 1/19 テストの 15 枚から 50～100 枚に増加したテストを 1/20 に実施した。

この結果は非常に有効であり、100 枚投入して 30 分処理すると、ガラス残留率の目標である 0.01%以下の 0.008%、0.005%という結果が得られた。

(4)以上の結果、効率よく剥離を進行させる為には、チップなどを投入するよりもガラス同志が回転するバレル中で摩擦し合い、更にボルトで持上げられ落下するという運動の方が好ましいという結論が得られた。ボルトで持上げ、落下させることで膜が絞られたり、膜同志が絡み合うことも防止できる効果もある。

バレル内に投入するガラス量の最適値、ボルトの最適な配置などは今後の課題である。

3.3.6 回収カレット、中間膜の品質評価

飯室商店での評価の結果、粒径が 2380 μm 以上のものが板ガラス用原料に適するのみならず、0 ～2380 μm の粒度のものは ガラスビーズ原料に適し、従って全量がガラス原料として再生可能であるとの結果が得られた。このことは、リサイクル先は板ガラスだけではなく、カレットの粒径やニーズに応じてリサイクル先を柔軟に選定できることを意味し、意義が大きい。

また、中間膜については、本調査研究のテストで得られた回収中間膜を某中間膜メーカーに評価依頼し、膜原料として再生使用できる可能性が高いという評価が得られた。回収膜を再生使用するための詳細スペックについての評価項目は項目自体が **Trade Secret** であり、少なくとも当面の間は開示される可能性が低い。中間膜再利用の事業化を進めるにあたっては、中間膜メーカーとの密なやりとりが必要である。

3.4 現地調査報告

3.4.1 旭硝子(株)愛知工場

日 時： 2009年12月16日(水)

場 所： 旭硝子(株)愛知工場 愛知県知多郡武豊町字旭1番地

内容：

- ・愛知工場では板ガラスと、その板ガラスを加工した自動車用ガラス(合わせガラス、強化ガラス)を製造している。
- ・板ガラス製造工程(溶解槽→清澄槽→フロートバス→徐冷→切断→検査)と合わせガラスの製造工程(切断→プリント→曲炉→洗滌→予備圧着→本圧着→検査→包装)を見学した。
- ・質疑は以下のとおり
 - Q：自動車用ガラスをリサイクルする場合、カレットの種類を選別は重要か。
 - A：重要である。色々混じっているとコントロールしにくい。工場内発生カレットは素性が分かっているが、外から購入するものは素性が分からないケースが多いため、色で成分を推定したりする。
 - Q：現在は工場内のリサイクルが中心か。
 - A：Yes. 技術的には市中品も可能であるが、品質の問題と選別等のコストがかかる。
 - Q：使用済みガラスカレットを投入したことによる製品不良はあるか。
 - A：これまでの実証試験ではない。恐れがあるものは使わない。炉の性質上、一度トラブルがあると回復に長時間がかかるので、慎重に対応する傾向にある。
 - Q：自動車用ガラスにリサイクルするためには、どの程度の選別ができれば良いか。車種や年式まで必要か。
 - A：基本的にはガラスの色(=品種)が分かれば良い。それと砂、石、金属、樹脂等々の不純物が混入していないこと。これらの選別基準は板硝子協会ですとまとめたものがある。
 - C：強化ガラスは破砕した状態で回収されることが多いので色々なものが混入しやすい。合わせガラスはまだ良い。自動車メーカーとガラスメーカーが共同でマークを見ると色が分かるような取り組みもしたが、ガラスメーカーによってマークの付け方(アルファベット+数字の意味付け)が違うという課題がある。

3.4.2 (有)飯室商店 富貴工場

日 時： 2009年12月16日(水)

場 所： (有)飯室商店 富貴工場 愛知県知多郡武豊町富貴中田1-27

内容：

- ・富貴工場では、使用済みガラスを約60種類に分類した受入基準により受け入れ、板ガラス、瓶、ガラスビーズ、グラスウール等の各生産工場へ原材料として売却・出荷しており、旭硝子(株)愛知工場との扱い高だけでも年数万トン単位を取引・製造している。
- ・手選別を中心とした各種ガラスの選別工程、破碎・粒度分粒等のガラス原料製造工程と何万トンもの種々ガラス原料ヤード、合わせガラス剥離の量産化実験プラントを見学した。また、種々ガラスの分類表(受入基準)、ガラス種類毎のフロー(工程)表などを基にガラス再生の概要説明が飯室商店からあった。
- ・合わせガラス剥離の量産化実験プラントは、事業上の事情により、質よりも処理量を優先した連続投入連続排出装置としている。実験途中のため剥離装置から排出後の選別と乾燥は手作業となっている。
- ・現状、合わせガラス剥離後のガラスカレットは需要の多いグラスウールの材料とガラスビーズの原料としている。中間膜は台湾、中国の商社が建材用に購入している。
- ・合わせガラス剥離後のガラスカレットを板ガラスに水平リサイクルしようとした場合、100%の水平リサイクルは難しいが、ガラスメーカーでの受入可能量の制約の他、破碎処理で出るガラスカレットの様々な粒度や黒色セラミックの影響等に基づき、粒度の小さいものはガラスビーズ原料へ、黒色セラミックが付着したカレットはグラスウール原料としての供給が可能となっており、トータルでは出口入口のバランスがとれてきている。いきなり100%のリサイクルを狙うのではなく、この中で水平リサイクル率を上げていく取り組み方が現実的であり、効果も大きい。この旨、飯室商店から説明があった。

4. 調査研究の総括

(1) 今回のテストの結果、自動車用 合わせガラスをガラスと PVB 中間膜に剥離し、それぞれをガラス原料、ガラスビーズ原料、PVB 中間膜原料に再生使用出来る可能性が大きいことが判明した。

(2) ガラスと PVB 中間膜を剥離する手順は次の様になる。

- i 自動車用 合わせガラスを適当なサイズに切断する。
(切断することが必須ではなく、切断せずに投入出来るサイズの装置であれば切断不要)
- ii ガラスクラッシャー・刃のついた上下一対のロール 2 段でガラスを破碎し、ガラスの約 40~60%をこの工程で脱落させる。
- iii OMB5%水溶液を 50°Cに保った槽内で回転するパンチングメタル製のドラム（ドラム内面にガラス/膜を引っかけるボルト付き）中に、合わせガラスを多量に投入し、15~30 分間処理する。
- iv バレル槽で処理後 PVB 中間膜は分別機へ送られ、残留するガラス片は除去される。
- v 分別機より排出された PVB 中間膜は水洗、乾燥する。

(3) OMB-100 の液の寿命について

OMB-100 の液の寿命は、量産設備として使用している H 社での実績が唯一のデータであるが、大体次の様になる。

- ・使用している OMB の濃度を 5%にキープ
- ・処理によりバレル槽内の液量は減少する。
(カレット・膜による持ち出し、及び蒸発)
- ・減少量はガラス 1000kg 処理当たり約 20ℓ
(減量分は作業終了時 5%液で補充)
- ・減少分を補充することを続けていき~3 ヶ月で剥離時間が長くなる為、槽内の液を全交換する。
- ・ガラスの処理を 30~50t/月 連続して行って~3 ヶ月の寿命というのが実績からの値である。

処理するガラスは工程内不良品では非常にきれいだが、使用済み自動車からの回収品、走行中破損などで取換えられたものの回収品は、汚れもひどい場合が多い。汚れの程度によっては、液の汚れ、寿命に影響すると思われるが、今後量産を進める中で確認する必要がある。

又、濃度と寿命も当然関係すると思われるが、濃度：寿命の相関関係はまだ明確になっていない。今後の課題である。

(4) 回収中間膜の評価

某中間膜メーカーに、本調査のテストで得られた回収中間膜を評価依頼し、膜原料として再生使用出来る可能性が高いという評価が得られた。

回収膜を膜原料として再生使用する為の詳細スペックは、少なくとも当面は **Open** にされる可能性は低い。

最終的には、中間膜メーカーと回収業者との間の規格で決まることになる。

(5) 回収カレットの評価

本調査のテストで発生したカレット（ガラス片）を飯室商店に評価を依頼し資料を分級した結果、次の様な評価がなされた。

- ・ 2380 μm ～4000 μm ～のものは板ガラス原料に適する
- ・ 0 ～2380 μm の粒度のものは ガラスビーズ原料に適する
- ・ 従って全量がガラス原料として再生可能である

以上の如く **OMB** 液を用いた湿式法による合わせガラスのリサイクル技術は、**PVB** 中間膜もガラスも回収し、水平リサイクル出来る可能性が極めて高いことが示された。

今後は装置の大型化、自動化による低コスト化、液寿命の確認などが課題となる。

5. 今後の課題と展開及び期待成果

5.1 今後の課題と展開

本調査研究では、剥離装置の特性及びその前段の破碎装置の特性を求めた。その中で、下記が今後の課題として残っている。

- ・剥離液の濃度と寿命との相関関係及び投入する合わせガラスの汚れと剥離液の寿命との関係（半年以上の期間での連続的な剥離実験が必要となる）
- ・剥離装置の機械特性としてのバレル内に投入される最適ガラス量とボルトの最適配置（装置を試作しての評価が必要となる）

中間膜の再利用にあたっては、中間膜の原料としてリサイクルする場合でも例えば自動車用と建築用とでは求められる品質が異なる。特に自動車用など再生中間膜に高い品質を求めるほど剥離した中間膜を得るためのコストも高くなる。再利用先を見極め、コストと品質のバランスがとれた解を中間膜メーカーと共に見いだしていくことが必要である。

また、今回の調査研究対象ではないが、装置関連では下記の課題が残っている。

- ・自動車用合わせガラスの場合、ボディとガラス外周部との接着剤保護のために黒色セラミック塗装されており、この部分の事前取りと剥離機投入を自動化するなどの対策が必要。
- ・中間膜（PVB膜）の種類が遮音、断熱、紫外線遮断などを目的として増えてきており、色の付いた物も数種類あることから剥離処理工程において自動識別投入できる対策が必要。
- ・防犯対策などでガラスにプラスチックを PVB で貼り合わせた合わせガラス、複層ガラスでの合わせガラスと強化ガラスの組み合わせなどがあり、PVB膜同様剥離処理工程において自動識別投入できる対策が必要。
- ・剥離装置においては、剥離液に粉状のガラスが混入するという課題があり、装置の稼働部分の摩耗の原因になっている。剥離機内の液循環システムの改良などによって効率良く分離できれば剥離液の寿命を延ばす効果も期待できる。

今回の調査研究及び委員各位他との意見交換によって、合わせガラスをガラスと中間膜にリサイクルする基本技術ができていること、剥離後のガラスカレットに対しては板ガラスへの水平リサイクル以外に、同様に純度・透明度が求められるガラスビーズへのリサイクル用途があり、全てを総合して 100%のリサイクルが可能なこと、かつ量的なニーズも十分にあることが確認され、100%リサイクルへの道が拓けていることが明確になった（図 5.1.1）。



図 5.1.1 本調査研究での実験評価結果

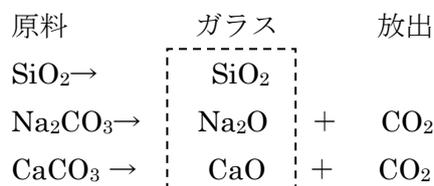
平成 18 年 6 月に、ガラスリサイクルシステム構築に向けてメーカー、ユーザ、回収業者等が循環型社会実現に向けての現状認識と今後のあり方等を考えるために開催した Glass Recycling Systems Workshop2006 において、今回の調査研究の対象とした湿式法剥離技術が紹介されて以来、種々の取り組みを重ねてきたが、現在、ガラスカレット業界、解体/回収業界、ガラスカレットを原料とするガラスビーズ・グラスウール等の業界、中間膜業界がこの技術を認識して次の展開を計画できるようになってきている。まだ、社会的な回収システム構築のシミュレーションまでは至っていないが、残った課題への不断の取り組みを続け、関係者が協調してまとまった量の確保に向けたリサイクルシステムを構築していくことが重要である。

5.2 期待成果

合わせガラスのリサイクルによって以下の効果が期待される。

- ・埋立処分される産業廃棄物（ガラス・PVB）の削減、特に使用済み自動車のシュレッダーダストの削減
- ・ガラス製造における原料の節約（使用済みガラスを原料に使用）とエネルギー節減（バージン材に必要なガラス化エネルギーが不要となる）
- ・原油と二酸化炭素排出量削減

ガラス原料には CaCO_3 、 Na_2CO_3 のように炭酸塩を含むが、ガラス製造の際に炭酸塩から CO_2 が発生して、残りの成分がガラスになる。使用済みガラスは $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ の成分系であり、これがそのまま板ガラスになる。



ガラス原料粉体のガラス化反応に必要なエネルギー E_g は重油換算で

$$E_g = 713 \text{ MJ/t} \cdot \text{glass} = 17.4 \text{ L/t} \cdot \text{glass}$$

であり、原油に換算すると

$$E_g = 19 \text{ L/t} \cdot \text{glass}$$

となる⁽²⁾。

原油 1L 削減に対応して、二酸化炭素排出量は 2.6kg CO_2 削減される。

板ガラスの原料には重量で 1/3 以上の炭酸塩が含まれており、ガラス化する過程で分解して排出される二酸化炭素は、板ガラス 1t の製造あたり 186kg/t \cdot glass となる⁽³⁾。ガラス原料の代わりに廃ガラスカレットを使うことによりこの分の二酸化炭素の排出が抑制される。

・ 中間膜製造における原料の節約

中間膜再利用では、既に高分子の膜になっているものを再利用するので高分子の製造工程は不要になる。つまり、中間膜の原料である PVB 作成プロセスの一部が不要となることが期待される (図 5.2.1)。

PVB : $-(\text{C}_7\text{O}_2\text{H}_{12})\text{-CH}_2\text{-}$ は酢酸ビニル : $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ から作ったポリビニルアルコール : $(\text{-CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{-})_n$ にブチルアルデヒド : $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$ を反応させて生成する。

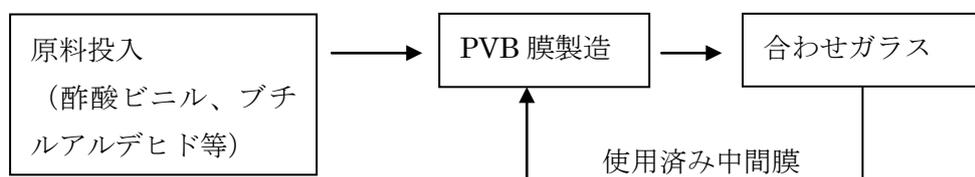
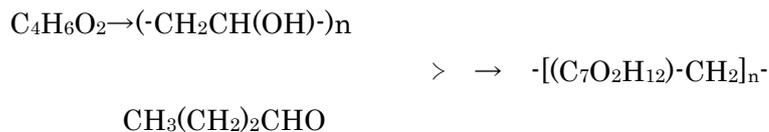


図 5.2.1 中間膜製造概略プロセスと中間膜の再利用

中間膜の再利用による二酸化炭素の発生削減量については文献調査等からはデータを得ることができず、中間膜メーカーの協力を得て検討を進めることが必要である。

参考文献

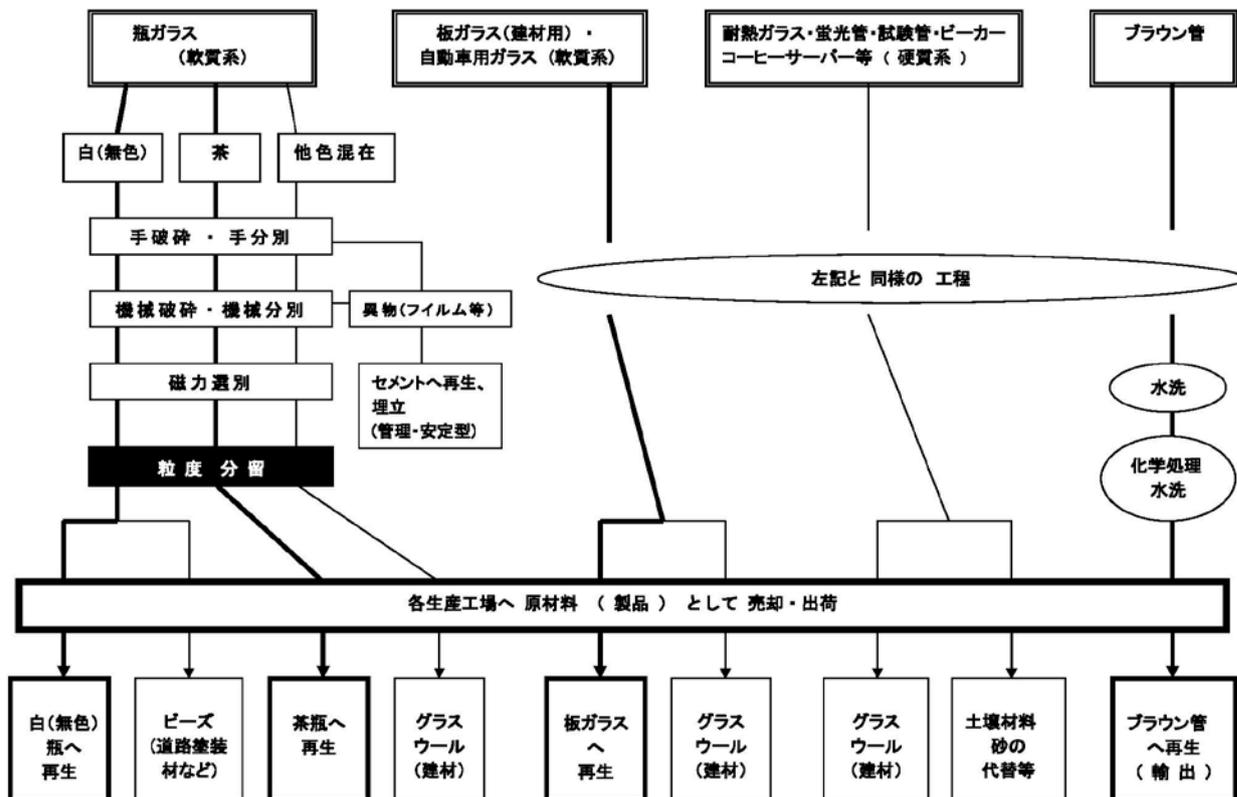
- (1) ガラスリサイクルシステムの事前調査報告書 平成 20 年 8 月 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（委託先：財団法人 製造科学技術センター）
- (2) 奥村和彦、工藤透：リサイクル「自動車用ガラスのリサイクル技術と課題」
NEW GLASS vol.16, No.2 (2001) pp38-45
- (3) 岩本雄二：使用済み自動車リサイクルにおける広域収集に関する研究（財）日産科学振興財団 2004 年度研究助成成果報告書
- (4) 板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究報告書 平成 19 年 3 月
財団法人機械システム振興協会（委託先：財団法人 製造科学技術センター）
- (5) 南智幸、小坂田篤共著：工業用プラスチックフィルム 加工技術研究会
- (6) 広田民郎著：自動車リサイクル最前線 グランプリ出版
- (7) 竹内啓介監修：自動車リサイクル 東洋経済
- (8) 関五郎、大橋一正編著：建築のゴミとリサイクル計画 オーム社出版局
- (9) 田中信壽編著：リサイクル・適性処分のための廃棄物工学の基礎知識 技報堂出版
- (10) 有限会社 飯室商店 パンフレット ガラス原料処理分類表、ガラス類リサイクルフロー

付録

- (1)ガラス類リサイクルフロー： 有限会社 飯室商店資料
- (2)ガラス原料 処理分類表： 有限会社 飯室商店資料

ガラス類 リサイクルフロー

2008年5月 (有)飯室商店



ガラス原料 処理 分類表

(街飯室商店)

No	品名	単位	印刷: 2006/4/26 10:38
1	ガラス瓶 白 買取 (無色美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
2	ガラス瓶 白 (無色)	kg	※飲料系ガラス瓶全般: 硬質、陶磁器を除く
3	ガラス瓶 茶 (茶色)	kg	
4	ガラス瓶 白 (表面印刷)	kg	例: 牛乳ビン等ガラス表面印刷品
5	ガラス瓶 込み (白・茶を除く)	kg	
6	ガラス瓶 総込み (白を除く)	kg	
7	ガラス瓶 混合色 (各色混合)	kg	
8	ガラス瓶 キャップ付 <加算額>	kg	1~7番にキャップ付の場合の加算額
9	ガラス瓶 白プライマー	kg	瓶白のプライマー等付着品: キャップ付不可
10	ガラス瓶 混合色プライマー	kg	瓶混合のプライマー等付着品: キャップ付不可
11	板ガラス 買取 (建材用美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
12	板ガラス (建材用)	kg	パテなど窓枠留め材料付着品は料金加算
13	色板ガラス (建材用)	kg	
14	網板ガラス	kg	
15	ペア硝子 (復層)	kg	建材用などガラス2枚のセット物
16	鏡板ガラス	kg	
17	枠付ミラー	個	バックミラー等自動車用限定。その他ご相談下さい。
18	表面貼付けガラス <加算額>	kg	ステッカー、カムテープなど貼付けの加算額
19	複写機板ガラス	kg	紙サイズ等の硝子表面印刷品、樹脂類貼付け品含
20	強化ガラス	kg	
21	強化ガラス 選別	kg	例: 電話ボックス、オーディオラック等のヒンジ付ガラス扉
22	フロント硝子 (自動車安全硝子のガラスのみ)	kg	車検シール付可
23	フロント硝子 選別 (付属品付)	kg	例: ゴム枠・金属枠・アンテナ線・金具付など
24	サイド・リア硝子 (ガラスのみ)	kg	
25	サイド・リア硝子 金具付 (付属品埋め込み付)	kg	
26	サイド・リア硝子 選別	kg	例: ゴム枠・アンテナ線・熱線・金具付など
27	ブラウン管 P・F分割品 買取	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
28	ブラウン管 A品	kg	B品から 金属シール、紙、シヤトウマスクを除いた物
29	ブラウン管 B品	kg	C品から防爆バンド、テープ糊合接着剤を除いた物
30	ブラウン管 C品 白黒	kg	白黒管から電子銃端子部とプラスチックを除いた物
31	ブラウン管 C品 カラー	kg	カラー管から電子銃端子部とプラスチックを除いた物
32	ブラウン管 D <加算額>	kg	表面部分に合せガラス、フィルム付の場合の加算額
33	ナマリ細管 買取 (美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
34	ナマリ細管 端子付	kg	
35	蛍光灯 硝子くず 買取 (硝子カレットのみ美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
36	蛍光灯 硝子くず (硝子カレットのみ)	kg	
37	蛍光灯 硝子くず (プラスチックか口金込み)	kg	
38	蛍光灯 硝子くず (電球型のみ)	kg	
39	蛍光灯・電球型 硝子くず (プラスチックか口金込み)	kg	
40	蛍光灯・電球 硝子くず (総込み)	kg	
41	欠番		
42	欠番		
43	欠番		
44	欠番		
45	欠番		
46	裸電球	個	
47	水銀灯	本	
48	豆球・グローランプ	個	
49	他照明灯	本	例: ハロゲン、アイランプ
50	シールドビーム類	kg	例: 自動車用ヘッドライト
51	欠番		
52	液晶用板ガラス	kg	
53	液晶用板ガラス 端子付	kg	
54	液晶用板ガラス 枠付	kg	
55	プラズマ用ガラス	kg	
56	プラズマ用ガラス 枠付	kg	
57	石英ガラス 透明 (SiO ₂ 99.9%以上)	kg	
58	石英ガラス 透明以外	kg	
59	石英ガラス SiO ₂ 99.9%以下	kg	
60	硬質系耐熱ガラス	kg	レンズ類(鉛含有分除く)含む
61	陶磁器	kg	
62	ガラス種々混合物	kg	新規受入対象外、混入などによる価格適用用
63	別途選別費用 <加算額>	kg	状態によって段階的に加算する額
64	内容物確認費用 ドラム缶 <加算額>	本	No.41~43蛍光灯を除く
65	内容物確認費用 鉄缶(スキット) <加算額>	本	
66	フレコン処理費用	枚	

Ⅲ 3R 合わせガラスリサイクル調査委員会

本委員会の活動は、経済産業省からの受託「平成 21 年度資源循環推進調査委託費(3R システム化可能性調査事業)／合わせガラスのリサイクルに関する調査研究」として実施したものである。

IV インバース情報調査広報委員会

1. 総会併設講演会

日 時：平成21年6月15日（月）13：30～15：45

場 所：虎ノ門パストラル 新館5階 ローレル

参加者：40名

講演1：「二次電池による社会イノベーション」

東京大学大学院 宮田秀明 教授

社会システムとしての全体最適化やビジネスモデルの重要性を説かれ、二次電池等の製造下請けになってはいけないことを力説された。

講演2：「環境技術への取り組み」

(株)本田技術研究所 岩本淳 シニアマネージャ

Honda 全体での環境・エネルギー課題への取り組み状況について、ガソリンエンジン、次世代型ディーゼルエンジン、ハイブリッド、バイオ燃料、燃料電池等に関して広く紹介された



2. 見学会

2.1 ㈱日立製作所

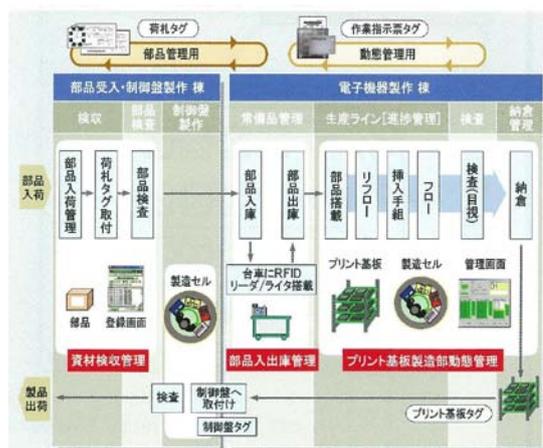
日 時：平成21年6月3日（水）13：45～16：50

場 所：大みか工場

参加者：14名

種々の社会インフラシステムを開発・製造する大みか事業所での特徴の一つは RFID による‘見える化’の実現であり、目視情報と RFID 情報を同時に書き換えることのできる荷札タグが導入されている。荷札タグは、協力会社が部品の納入の際にプリンタで書き込むもので、現場作業者が今までと作業内容を変更せずに IT 化を容易に導入でき、作業効率を上げたことが特徴である。また、タグは RFID 情報と目視情報を書き換えて再利用できるため、使い回しができ、用紙の廃棄がなくなり ECO 化が実現できた。また、組立工程では同様の仕組みで作業指示票タグを実現し、組立情報の自動表示や各工程の滞留時間の見える化などを実現している。

これらによる種々の見える化と無駄の削減などによって、導入開始前に比べ、生産性は2倍、不良発生は1/10に低減し、紙の使用量は1/5に低減できた事例を見学することができた。



おおみか事業所での RFID 適用モデル工場化

2.2 積水ハウス㈱

日 時：平成21年11月24日（火）15：00～17：00

場 所：ゼロエミッションセンター

参加者：17名

ゼロエミッションセンターでは、洞爺湖サミット開催地から移設したゼロエミッションハウスと資源循環センターを見学した。

ゼロエミッションハウスは、最先端の省エネ技術を集めた省エネ・創エネのモデル住宅であり、住宅のライフサイクルを通じて発生するCO₂と同等以上のエネルギーを居住中の太陽光発電などの自然エネルギーで自家発電して創出することで、CO₂排出を相殺しようというコンセプトで作られている。従来型の住宅と比べて断熱や省エネ家電製品の導入によって使用エネルギーを約半分に抑えており、更にリサイクル部材も使用している。

資源循環センターは、積水ハウスの新築施工現場、リフォーム施工現場、メンテナンス現場で発生する廃棄物を分別・リサイクルする施設であり、現場で廃棄物を27種類に分別し、資源循環センターでさらに80種類に細かく分類してリサイクルを行っている。同社の4拠点の施設の中で最大であり、全社の約半分の量を扱い年間で約1万の現場の廃棄物を処理している。新築施工現場では一軒あたり約100tの資材が使われ、従来は3tの廃棄物が出ていたが、ゼロエミッション運動を通じ施工方法の工夫等で1.5tと約半分に減少した。回収してくる廃棄物を入れた袋にはRFタグをつけ、RFタグには現場名と廃棄物種類番号を入れていて、各現場で廃棄物種類毎の重量の情報をサーバに登録して資源循環センターに送っており、これらの情報を照合して現場毎の廃棄物の種類や排出量を正確に把握して上流工程にフィードバックし、廃棄物の削減に役立っている。



ゼロエミッションハウスの外観と室内

3. メールマガジン発行

フォーラム会員への情報サービスとしてイベントカレンダー、公募情報、会員訪問などの記事を掲載したメールマガジンを第7号と第8号の2回発行した。

テキスト文で見やすく編集して、フォーラムの活動を手軽に伝える内容になっている。

□ 目次

【巻頭ひとこと】

- インバースMFの第14回総会・特別講演会を開催いたします

【インバースMF関連情報】

- インバースMF委員会予定
- 学会シンポジウム情報
- 関連補助制度

【インバースMF見学会 報告】

- (株)日立製作所 大みか工場
(報告 小池勉 (日本自動認識システム協会))

【編集担当後記】

(編集担当 松本光崇)

【巻頭ひとこと】

- インバースMFの第14回総会・特別講演会を開催いたします
皆様こんにちは。メールマガジンの第7号をお届けします。
6月15日にインバース・マニュファクチャリングフォーラムの総会と特別講演会を開催いたします。特別講演会には、東京大学の宮田秀明教授と本田技術研究所の岩本洋輝をお招きし、いずれも昨今注目されることが多い二次電池とエネルギーについてご講演をいただきます。総会と合わせて、皆様奮ってご参加ください。

【インバースMF関連情報】

●学会セミナー情報

- EcoDesign 2009 ― 第6回環境調和型設計とインバースマニュファクチャリングに関する国際シンポジウム
(ホームページが更新されました)
<http://www.mste.or.jp/mf/ed/japanese%20index.html>
日程：12月7～9日
会場：札幌市 ロイトン札幌

●関連補助制度

- NEDO 「グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト(グリーンITプロジェクト)」
【公募期限：～2009年7月6日】
<https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubou/koubolist>
- 経済産業省 「使用済小型家電からのレアメタルリサイクルモデル事業」
【公募期限：～2009年7月17日】
<http://www.meti.go.jp/information/data/e90604aj.html>

【インバースMF見学会 報告】

- (株)日立製作所 大みか工場 (茨城県日立市) 見学会
2009年6月3日実施 参加者14名

この度、(株)日立製作所 情報制御システム事業部の皆様のおかげで、大みか事業所の、RFID技術を組み込んだ最新IT技術導入によるECO化の取り組みを見学することができました。大みか事業所は、阿武隈山系の最南端に位置する太平洋に面した大変環境の良い場所に位置しており、広さ30万平方メートル、従業員数約2,500名の、最先端の技術を駆使した社会インフラ・システムを設計・製造する事業所です。

ここで取り組んでいる、製造現場へのIT化の導入とECO化の推進の一環を紹介いたします。RFIDによる見える化の実現です。目視情報およびRFID情報を同時に書き替えることができる荷札タグが導入されています。荷札タグは、協力会社が部品の納入の際にプリンタで書き込むので、今まで作業と全く変わらず、また現場作業者は作業内容を変更せずにIT化を容易に導入でき、作業効率を上げたことが特徴です。また、現品票はその目的を達成すると廃棄されることなく、RFID情報と目視情報を消し込み再利用できるため、荷札タグの使い回しができ、用紙の廃棄がなくECO化が実現できました。このように各現場にRFIDを導入して現場作業の改善を行い、導入開始以前に比べ生産性は2倍、不良発生は1/10に低減し、紙の使用量は1/5に低減できた事例を見学することができました。

このように、少しの間の見学でしたが、大みかの皆様の対応が素晴らしく、導入の際の反応やその後の利用促進方法などの立ち入った内容の質問にも丁寧にお答え頂き、大変よく理解できました。

(報告 小池勉 (日本自動認識システム協会))

【編集後記】

私も日立の大みか工場見学に参加しました。印象を受けたことの一つは、RFIDシステムを工場内の現場に導入するにあたっては、現場の負担をいかに小さくするというところに細心の注意が払われ、現在ではその結果、現場から導入や改良についての様々な提案が出てきているという点でした。エコイノベーションは技術的革新以上に「普及」が重要であるとも言われます。RFIDシステムの「普及」のための取り組みの最前線を知りたい気がしました。

(編集担当 松本光崇)

ご意見・ご感想はこちらまでお寄せください。
iminfo@mste.or.jp

本メールマガジンは会員の皆様からの環境に関する取組情報等もご紹介いたします。上記メールアドレスにお知らせ・お問い合わせください。

【インバースMFメールマガジン】

編集長：インバース情報調査広報委員長 服部光郎 (千葉工大)
編集：同委員 松本光崇 (産総研)
発行：製造科学技術センター
(〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-11-15 SVAX TTビル3階)

□ 目次

【巻頭ひとこと】

- EcoDesign2009 国際シンポジウムが開催されます

【インバースMF関連情報】

- シンポジウム・イベント情報
- インバースMF見学会予定
- インバースMF委員会予定
- 関連補助制度

【インバースMF会員企業を訪ねて】

- 第七回 出川定男様 (㈱IHI)
(聞き手 朝倉結治 (エンジニアリング振興協会))

【編集担当後記】

(編集担当 松本光崇)

【巻頭ひとこと】

- EcoDesign2009 国際シンポジウムが開催されます
皆様こんにちは。メールマガジンの第8号をお届けします。
来る12月には第6回のEcoDesign2009 国際シンポジウムが開催されます。今回は1959年にシンポジウムの第一回が開催されてから10周年にあたる記念の回になります。また初めての東京以外での開催でもあります。発表件数も多数集まりました。皆様のご参加をお待ち申し上げております。

【インバースMF関連情報】

- シンポジウム・イベント情報
- EcoDesign 2009 ― 第6回環境調和型設計とインバースマニュファクチャリングに関する国際シンポジウム
<http://www.mste.or.jp/mf/ed/japanese%20index.html>
日程：12月7～9日
会場：札幌市 ロイトン札幌
- エコプロダクツ2009
<http://www.eco-pro.com/eco2009/>
日程：12月10～12日
会場：東京ビッグサイト
- インバースMF見学会予定
- 積水ハウス株式会社 関東工場 見学会
<http://www.selnhouse.co.jp/yume2/kanof/>
場所：茨城県古河市北利根2
日時：11月24日(火)16:00～17:00
見学会に関する問い合わせ先：
製造科学技術センター E-mail:iminfo@mste.or.jp

- インバースMF委員会予定
- 12/4(金) ライフサイクル管理用ID調査委員会
於 神奈川県相模原市
住友スリーエム(株)カスタマーテクニカルセンター

- 12/16(水) 3R合わせガラスリサイクル調査委員会
於 愛知県 飯沼商店富貴工場
- 12/16(水) 持続可能社会シミュレータ調査委員会 CEVの普及調査 WG
1/16-17 持続可能社会シミュレータ調査委員会
於 湘南国際村

●関連補助制度

- 経済産業省 「資源有効利用促進等資金利子補給金」
【公募期限：～2009年12月15日】
<http://www.meti.go.jp/information/data/e90631aj.html>
- 経済産業省 「ITとサービスの融合による新市場創出促進事業」
【公募期限：～2009年12月2日】
<http://www.meti.go.jp/information/data/e91102aj.html>
- NEDO 「NEDO 新エネルギー技術白書策定に係る調査」
【公募期限：～2009年12月1日】
<https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubou/koubolist>

【インバースMF会員企業を訪ねて】

- 第七回 出川定男様 (㈱IHI) 取締役 執行役員 技術開発本部長)

▽(聞き手) 大型機械やインフラの建設を主たる業とされる御社では、インバース・マニュファクチャリングで推進する部品の再利用等は難しいと思いますがいかがでしょうか？
▼(出川) たしかに大型機械等の部品の中古部品の再利用はありますが、そのコンセプトに相当するものとして、一つは、製品の定期的なメンテナンスを行っているジョイントエンジン等のタービン翼(インペラー)やボイラーの耐圧部等部品の補修・再使用を実施しています。また、太陽電池等の半導体に使用するシリコンを切削する際に冷却液を使用しますが、この冷却液にはシリコンの切りくず等が混入します。使用済みの冷却液を分離機にて精製して再利用するという取り組みも行っています。

▽(聞き手) 環境に配慮した設計や研究開発としてはどのようなものがありますでしょうか？

▼(出川) 二つ挙げますと、一つは、省エネ・温室効果ガス削減・NOx低減等の対策として、農業・園芸機械(芝刈り機等)、タグポート、建設機械等でこれまで油圧やエンジンであったものを電気(電池)を使用したハイブリッド製品を製品化中です。もう一つは、機械加工部品の素材を出来上がり形状に近づけて、削りくずをできるだけ少なくする技術(リデュース技術)の研究開発を行っています。

▽(聞き手) インバース・マニュファクチャリングや環境についての今後の方針等をお聞かせください。

▼(出川) IHIではこの11月に「グループ経営方針2010」を設定し、この中で第一番に世界的な環境・エネルギー制約の高まりを認識し、「低炭素社会の実現や省エネ・省資源化に対する社会的貢献」を掲げました。その一環として当該分野の新製品開発だけでなく、製品・サービスのライフサイクル全般にわたる使用価値向上により社会に貢献することを目指して取り組んでいます。

(聞き手・編集 朝倉結治)

【編集後記】

先月、精密工学会のライフサイクルエンジニアリング専門委員会の見学会で、国内の使用済みの家電製品や自転車回収して海外に輸出している(株)浜屋を訪問しました。日本の使用済みの家電製品は他の先進国と比較しても状態が良い、つまりまだまだ使える、という話を伺い、モダンな精神を推進するインバース・マニュファクチャリングの余地が大きいことも感じて参りました。

(編集担当 松本光崇)

ご意見・ご感想はこちらまでお寄せください。
iminfo@mste.or.jp

【インバースMFメールマガジン】

編集長：インバース情報調査広報委員長 服部光郎 (千葉工大)
編集：同委員 松本光崇 (産総研)
発行：製造科学技術センター
(〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-11-15 SVAX TTビル3階)

資料

平成21年度社会環境整備・産業競争力強化型規格開発事業(個別産業技術分野に関する標準化)

産業オートメーション分野の環境評価手法に関する国際標準化

本資料は、株式会社三菱総合研究所からの再委託で実施した報告書からの転載である。

1. はじめに

我が国の製造業にとって、エネルギーや資源の制約に対応したエネルギー・資源生産性の良いサステナブル生産へ転換していくことは極めて重要な課題である。近年に至り欧州や米国においても、政策的な誘導もあって、サステナブル生産の研究開発が盛んになってきたが、我が国の技術的な優位性は依然として高い。これからのアジア地域への展開を考えたグローバル生産において、環境配慮技術の優位性を活用して、グローバルなエネルギー・資源生産性を高めていくことは、我が国製造業の採るべき方策の一つとして重要である。

環境に配慮した生産システムの課題として、エネルギーや資源の消費、あるいはCO₂などの環境排出や環境汚染の状況が十分に把握されていないことがあげられる。近年の環境規制に対応して、工場のような事業体レベルでは、環境影響の計測や評価の体制が整備されてきたが、さらに詳細なプロセスや設備のレベルでの環境影響の把握は十分ではないと思われる。また、このような詳細な評価情報は、個別の企業の技術レベルに係わることから公表されないことも多い。現代の製造活動は、一つの組織体で閉じていることはまれであり、様々な素材や部品が外部から調達されて組み立てられ、製品として出荷されていく。組織体の壁を越えて製造活動の環境影響をきちんと評価しようとするれば、各組織体の間で、詳細な環境評価情報を共有できるような仕組みが必須である。

プロセスや設備のレベルでの環境影響の情報を共有し、生産システムのレベルにおける環境影響評価をきちんと行うためには、生産システムにおける環境影響評価手法の標準化が重要となる。一般的な環境影響評価手法は、LCA(Life Cycle Assessment)手法として、ISO(国際標準化機構)において標準化されており、広く普及して大きな影響を与えている[1]。LCAに関するISOの現状の規定は一般的なものであり、個々の対象への適用は、その適用法を明らかにすることが要求されているのみで、適用法は個別に規定することになっている。生産システムは、そのシステム境界や評価対象とすべき単位機能が複雑であり、評価手法やその結果の共有のためには、評価法をより詳細に規定し、標準化することが望まれている。本報告は、生産システムの環境評価法の標準化を目指して、評価の基本的考え方を議論し、国際標準の枠組みを提案するものである。

生産システムの環境評価標準が望まれる背景として、サステナブル生産の現状を概観してみよう。IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)の報告書[2]にも指摘されているように、人間の活動が温暖化などにより地球環境に影響を及ぼしており、地球環境の劣化防止が全世界の喫緊の課題となっている。開発途上地域の経済発展などを考えると、全人類活動の抜本的な改革を進めない限り、地球の温暖化は進行し、2100年には世界平均地上気温の2~3度の上昇が見込まれ、人類生存に対する破滅的な影響が危惧されている。地球環境に大きな影響を与えている工業生産活動もその改革に対応する必要があるが、近年サステナブル生産に関する研究開発が、産官学において真剣に追求されるようになってきた。

地球環境問題は、その影響が数百年の期間にわたって顕在化してくるもので、現実的な課題として認識することが難しい。温暖化ガスの排出抑制についても、IPCC報告に従い地球環境を持続可能に維持するためには、今後50年間に大幅な排出削減を進めなければならないが、深刻な影響が顕在化しておらず、現実的な困難さから問題解決を回避しがちである。しかし、技術開発

のみならず社会経済的方策も含めて総合的な対策をとれば、温暖化ガスの大幅な排出抑制は不可能ではないことが報告されている[3]。我々の Quality of Life は工業製品によって支えられており、生活の豊かさとのバランスを考えて、製品やそのための生産システムもサステナブル化することにより、そのような対策に大きく貢献する必要がある。

「2050 日本低炭素社会シナリオ」[3]は、日本の CO₂ 排出量を 1990 年に比べて 2050 年において 70%削減する技術的なポテンシャルがあることを示している。いくつかの経済・産業シナリオを想定し、2050 年までに実現可能な対策技術を、コンパクトシティや再生エネルギー化など 12 の具体的な方策にまとめて適切に導入することにより、要求される排出削減量が実現可能であることを推算している。家庭・業務、運輸、産業部門では、工業製品やその製造技術が大きな役割を果たすことが期待されている。その結果、上記のようなエネルギー消費部門およびエネルギー転換部門の各々において、技術開発や社会構造の変革による需要、供給の削減が見込まれ、CO₂ 排出原単位の改善と相まって CO₂ 排出量の 70%削減が可能となると推計している。

本報告では、生産システムの対象分野として、主に自動車や電気電子製品、機械製品などを対象とする組立産業分野を考える。このような製造分野は、図 1-1 に示すように、製鉄業、化学工業、窯業などに比べて、直接的な CO₂ 排出量は少なく、CO₂ 排出量削減対策分野としては重要ではないように言われることもある。しかしながら、資源やエネルギーの循環を大局的に考えてみると、素材など大きなエネルギー消費を伴うものは、結局、自動車や電気機械製品として最終利用者に用いられていることがわかる。すなわち、組立産業分野は素材の需要者として、CO₂ 排出量の大きな素材分野などに影響を及ぼすという意味で重要であると考えられる。例えば、設計や製造方法を変革して素材使用量を削減したり、より環境に配慮した新素材に転換する、などにより、環境改善に大きく貢献できる可能性がある。

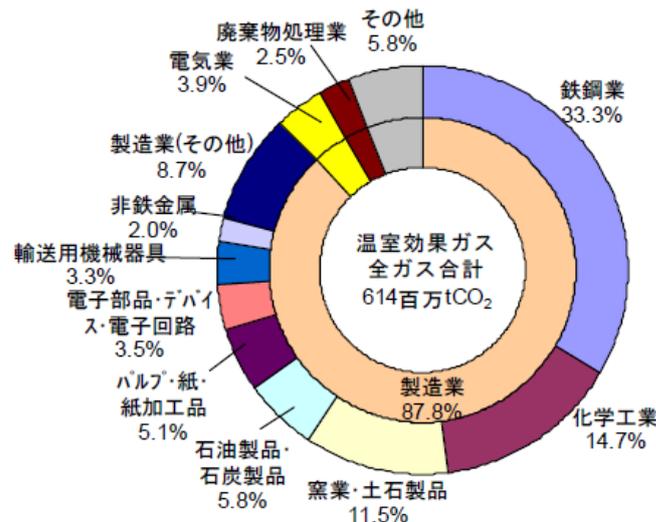


図 1-1 特定事業所排出者の全温室効果ガス排出量合計 [4]

我が国では、産業界が環境配慮の生産について先進的な取り組みを進めてきたが、政府も、エネルギー革新や省資源について積極的な方策を推進しようとしている[5,6]。同様の方策は、欧州

では早くから推進され、最近では米国やアジア諸国でも見られるようになった。生産システムが直接的・間接的に関与する課題は多く、サステナブル生産への要求は高まっている。現代では生産活動はグローバル化し、国内で生産活動が完結する製品はほとんどない。一国内ではエネルギーや資源の需給がバランスせず、多国間の連携が重要になっている。サステナブル生産の視点からグローバル生産を最適化し、多国間でエネルギー効率や資源生産性を向上させることが地球環境の持続可能性にとって重要である。

サステナブル生産は、環境に配慮して持続可能を目指す生産であるが、その実現形態は、従来からの競争力のある高効率の生産システムと大きく異なることはないとも考えられる。エネルギーや資源を無駄なく使い尽くすということは、生産コストの観点からも環境負荷の観点からも一般的には望ましいことである。しかし、現状ではCO₂原単位とコストは一致せず、また廃棄物や汚染の影響が十分に考慮されないので、サステナブル生産として従来と異なる形態が有利になることも多いと思われる。このような検討のためには、現状の生産システムの環境負荷の状況を計測し評価することが重要であり、それに基づいてシステムの改善・革新を図っていくことができる。生産システムの環境評価手法の標準化が望まれる所以である。

サステナブル生産に関する技術課題について、持続可能性を産業競争力との両立として捉え、その技術の目的・機能を、高付加価値化、最小化、ライフサイクル思考、技術の伝承、の側面から分析し、対応する詳細な要素技術のマップが考察されている[7]。同様の試みは、欧州においても、EUのプロジェクトとして **Manufuture**[8]あるいは **IMS2020**[9]の名のもとに行われている。**Manufuture** では、サステナブルな未来工場の姿が示されている。知識集約、人中心、変動対応などの概念によりエネルギー効率や資源生産性の向上を目指そうとするものである。**IMS2020** では、2020年代の欧州の製造業のビジョンを提示し、その実現のための研究トピックスを網羅的に挙げている。興味深いキーワードとともにシステム的な課題が多く挙げられている。要素技術に傾きがちな我が国と比べて、多様な地域を抱えるEUの特性が表れている。我が国も、今後の東アジア生産ネットワークへの対応などを考えると、よりシステム指向の分析が望まれる。国際研究プログラム **IMS/MTP**[10]にも同様の研究例が見られる。

これらの研究においては、生産システムは、エネルギーや資源のグローバルな流れに組み込まれたオープンなシステムとして、その効用が追及されている。生産システムを閉じたシステムとしてその入出力を考え、環境評価をするだけでなく、生産システムの活動を変更することによりその入出力が変化することが、エネルギーや資源のグローバルな流れにどのような影響を与えるのか、を追求しようとしている。一つの例として、生産システムの電力消費を効率化しようとする際に、電力網のスマートグリッドの考え方を導入して、電力需給の状況に合わせて最適な電力消費となるように生産スケジュールを調整しようとする試みがある。これは、生産システム内での平準化などにより電力消費を最適化しようとする局所的な方策と必ずしも一致しない。このように、局所的な見方や大域的な見方を総合して、目的に適合した環境効率の向上を目指すことが重要である。そのための基盤技術として活用できるような、生産システムの環境評価手法の標準化が求められている。

本報告書は、上記のような目的に適合する生産システムの環境評価手法の標準化を調査研究し、その結果として作成された環境評価手法の枠組みを規定する国際標準化案についてまとめたもの

である。

参考文献

- [1] ISO14044: Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines, 2006.
- [2] IPCC 第4次評価報告書統合報告書政策決定者向要約、2007,
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>
- [3] 2050 日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス70%削減可能性検討、環境省「低炭素社会の実現に向けた脱温暖化2050プロジェクト」、2008.
- [4] 地球温暖化対策推進法に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度による平成19(2007)年度温室効果ガス排出量の集計結果、環境省・経済産業省、2009.
- [5] Cool Earth – エネルギー革新技术計画、経済産業省、2008,
<http://www.meti.go.jp/press/20080305001/20080305001.html>
- [6] 世界最高水準の省資源社会の実現へ向けて、経済産業省、2008,
<http://www.meti.go.jp/press/20080110001/20080110001.html>
- [7] ものづくり技術戦略マップ実現のための技術開発項目等調査報告書、日本機械工業連合会・製造科学技術センター、2009.
- [8] F.Jovane, E.Westkaemper, D.Williams: The Manufuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing, Springer, 2008. <http://www.manufuture.org/>
- [9] IMS2020: Roadmap on Sustainable Manufacturing, Energy Efficient Manufacturing and Key Technologies, Executive Summary, <http://www.ims2020.net/>
- [10] IMS/MTP (Manufacturing Technology Platform), <http://www.ims.org/content/about-mtp>

2. 今年度の活動概要

2. 1 事業の目的

地球温暖化ガスの排出量削減などの環境問題が大きく取り上げられるようになり、COP15 コペンハーゲンにおいても激論が交わされた。

製造業の活動においても、社会に非常に大きな環境影響を与えており、その環境影響を軽減するためには継続的でかつ体系的な生産システムの改善手法を確立することが望まれる。

製造業における現状の環境評価手法に関して、図2. 1-1に示すように、①「企業や事業所全体」の環境会計といったマクロレベル、あるいは③「個々の生産装置・機械」の環境負荷低減というマイクロレベルの取り組みについては各業界において実施されている。しかし、これらの中間レベルに位置する②「工場・生産ライン・セル」に関する環境評価手法の標準化については検討が進んでいない。

そのために本事業は、産業オートメーション分野における製造業の工場レベルあるいは生産ライン・セルレベルの製造プロセスにおける環境負荷を評価する手法について、環境評価手法の国際標準案を1件作成し、ISO/TC184に提案し、そのドラフト審議を進めて国際標準を目指す。

また、本規格はTC207環境管理のカーボンフットプリントの規格と連携するものであり、生産システムにおけるその具体的な算出方法を規定することになる。

この環境評価手法の体系化・標準化により、各企業の生産活動において、より具体的な環境配慮が可能となる。例えば、製品メーカーでは生産システムの現状環境負荷の把握、他生産システムとの比較、生産システム改善案の評価に寄与することができる。また、設備・加工機メーカーに対しても統一的な環境影響の表示が可能になり、製品開発において環境目標を明確に与えることができる。

また国際的には、近年、環境問題の関心の高まりとともに、欧米などには積極的に国際標準を獲得しようとする動きがある。本標準化原案を提案することにより、この分野で日本がリーダーシップを発揮することができる。

更には、主として発展途上国では、環境や安全を配慮していない安価な生産システムを開発・導入しようとする傾向があり、これが国際市場での価格競争に影響を及ぼしている。この国際標準化により、この傾向に対する歯止めとなることが期待できる。

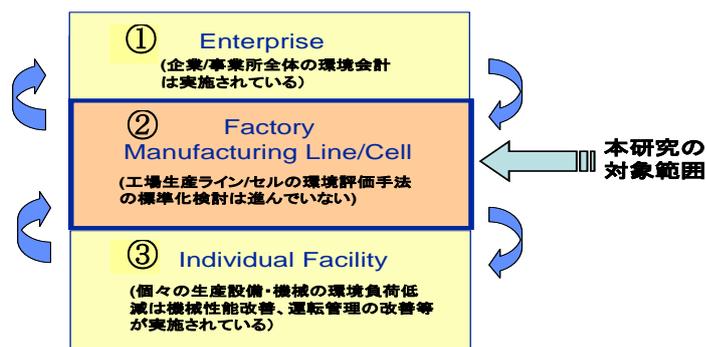


図2. 1-1 環境評価の現状と本研究の位置づけ

2. 2 事業の内容

本年度の事業は、平成18年度から平成20年度までの3年計画で実施した成果を受けて、ISO国際標準化に向けたNWIの具体化をスタートさせた。

2. 2. 1 平成20年度の事業内容

- ・生産システムの環境評価手法に関するISO NWIドラフト(ISO 20140-1)をTC184に提案した。

このISO提案は5部から構成されており、第1部はこの規格の「全体概要と適用範囲」、第2部は「環境評価手法のガイドライン」、第3部は「環境評価指標のモデル」、第4部は「環境評価データのモデル」、第5部は「間接的環境影響のモデル」である。

このうち、TC184に提案したのは「第1部 全体概要と適用範囲」である。

- ・企業((株)IHI相馬工場)の環境に対する取組み状況の調査
航空機のタービンプレード等の加工・組立をおこなっている最新鋭の(株)IHI相馬工場を調査し、環境への取組みと本提案規格に関する要望等を調査した。

2. 2. 2 平成21年度の事業内容

(1) 国際提案規格のブラッシュアップ

今年度の事業遂行のため、環境評価手法に関する国際標準化委員会を組織し、生産システム環境評価手法の規格素案(Draft Strawman)をブラッシュアップするとともに、そのNWIドラフト(ISO 20140 Automation systems and integration – Environmental and energy efficiency evaluation method for manufacturing systems – Part 1 Draft)を作成し、TC184/SC5に提案した。

また、本規格を構成する残りのPart 2(第2部)からPart 5(第5部)についても、調査及び構想の検討を進めた。

続いて、このISO 20140-1(ドラフト)をベースに、本委員会で修正を加え、WD(ワーキングドラフト)案を作成し、TC184/SC5に新設するWGでの審議の準備を進めた。

(2) 国際会議活動

ISO/TC184及びTC184/SC5等の国際会議において、NWIドラフトに関する審議と賛同メンバーの勧誘活動を推進し、本提案ドラフトに対して各国の賛成を得ることが出来た。

また、このNWIドラフトをWD(ワーキングドラフト)として審議を進めるために、7カ国(米国、ドイツ、フランス、スウェーデン、中国、韓国、日本)からエキスパート登録を得ることが出来、この結果、本提案はNWIとして承認された。

今後、TC184/SC5の下に新しく設けるWGでエキスパート登録国のメンバーにより、このWDの具体化を進めることになった。

また、この新WGのコンビナー(主査)は本委員会メンバーから推挙することを決めた。

(3) 国内企業調査

本規格の適用対象に想定される企業の一つとして、ヤマザキマザック(株)美濃加茂製作所を調査した。地下工場にすることにより、空調コストを大幅に削減する等の環境に対する取組み・対応状況について調査し、環境評価に対する意見等の調査を実施した。

2. 3 委員会の開催

事業研究の実施体制、委員会の委員および会議開催状況は以下の通りである。

2. 3. 1 実施体制

(財)製造科学技術センター内に、学識経験者、企業、研究機関からなる「環境評価手法に関する国際標準化委員会」を設け、討議・指導を得て、具体的作業をすすめることにより、本事業の成果をまとめた。

委員名簿

●委員長

木村 文彦 法政大学 理工学部 機械工学科 教授

●副委員長

福田 好朗 法政大学 デザイン工学部 システムデザイン学科 教授

●委員

荒井 栄司 大阪大学 大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授

石川 義明 (有)設計生産工学研究所 取締役

梅田 靖 大阪大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻 統合デザイン部門 教授

神田 雄一 東洋大学 理工学部 機械工学科 教授

坂本 千秋 (有)設計生産工学研究所 代表取締役

高田 祥三 早稲田大学 創造理工学部 経営システム工学科 教授

仲 美雄 (株)デンソー 生産技術部 第一生産システム室 室長

中山 英治 (株)I H I 航空宇宙事業本部 武蔵総務部 総務・人事グループ 課長

増井 慶次郎 (独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門

エコ設計生産研究グループ 主任研究員

村木 俊之 ヤマザキマザック(株) 新技術開発部 第3グループ グループリーダー

八代 長生 三菱電機(株) 名古屋製作所 開発部 基礎技術グループ マネージャー

吉澤 隆司 (株)日立製作所 情報制御システム事業部 情報制御ソリューション本部
アーキテクチャ開発推進室 室長

●オブザーバ

田場 盛裕 経済産業省 産業技術環境局 情報電子標準化推進室 情報二係長

●事務局

外山 良成 (財)製造科学技術センター 国際標準部長兼調査研究部 主席研究員

豊吉 隆憲 (財)製造科学技術センター F Aオープン推進室 主席研究員

2. 3. 2 委員会開催状況

環境評価手法に関する国際標準化委員会（開催日、開催場所、出席者数）を次のとおり計9回実施した。

- 第1回 平成21年5月25日（製造科学技術センター 第一会議室、13名）
- 第2回 平成21年6月25日（製造科学技術センター 第一会議室、12名）
- 第3回 平成21年7月16日（製造科学技術センター 第一会議室、11名）
- 第4回 平成21年9月24日（製造科学技術センター 第一会議室、12名）
- 第5回 平成21年10月21日（製造科学技術センター 第一会議室、9名）
- 第6回 平成21年11月7日（製造科学技術センター 第一会議室、10名）
- 第7回 平成21年12月15日（ヤマザキマザック(株) 美濃加茂製作所、11名）
（兼 ヤマザキマザック(株) 美濃加茂製作所の調査）
- 第8回 平成22年1月7日（製造科学技術センター 第一会議室、9名）
- 第9回 平成22年2月1日（製造科学技術センター 第一会議室、9名）

3. 国際標準への提案活動

3. 1 NWI 提案とその成立

本年度の活動としては、環境評価手法の国際標準の原案の作成を行い、ISO の TC184（産業オートメーション）の SC5（産業用システムとインテグレーション）に NWI 提案を行い、ISO20140 として新規プロジェクトの発足を承認された。以下にその経緯とこの委員会での活動を述べる。

3. 1. 1 NWI 提案まで

(1) ISO TC184 Advisory Group フランクフルト会議（3月17日）

2008年のプサン会議の際に決定された TC184 の諮問会議(AG)がフランクフルトの VDMA（ドイツ機械工業会）において、2009年3月17日に開催された。この会議の目的は、TC184 の名称変更とスコープの変更に伴って、TC184 の全体像 Big Picture を描くことであった。この会議では、プサンの会議で、SC5 のスコープの一つに、環境に対する評価を含めた。これは、我々が提案する NWI を SC5 で行うことができるようにすることが意図であった。我々は、ここで議論する Big Picture に環境に関することを位置付ける必要があったことから、この議論に参加し、漠然とした議論の中で、環境対応をなくさないようにした。

この会議では、われわれの NWI について、議論があり、つぎの2点が指摘された；

- NWIP は、関心のある SC に回覧する。
- JISC の NWI について、マーケット指向と Energy 指向を明確にする。

これらの点については、SC5 の総会において対応することになった。

また、このときには、前日に SC5 の議長 Em G Delahostria 氏、SC5 の事務局 Greg Winchester 氏および木村文彦委員長と福田副委員長が NWI に関する打ち合わせを行った。その時に、つぎの点が指摘された。

- パート構成が6は多い。4位が適当ではないか。
- エネルギー効率を特徴づけた方が良いのではない。
- エキスパートの獲得をすべきである。
- マーケット指向のものが必要
- Vote は、4月の Plenary の後に行う

これらの点についても、考慮して4月の SC5 の総会にて提案することにした。

さらに、3月18日に、ISO/TC184 と IEC/TC65 との Joint Meeting が Frankfurt 市内の Allianz Building で行われた。これは、両 TC での重複と競合を避ける目的で行われた。ここでも、日本の NWI について取り上げられ、今後、Environmental & Energy Efficiency が重要な標準化項目であることが確認され、device level の標準は、IEC/TC65 で行い、Management Level については TC184 で行うのが適切であると考えたとのことになった。

(2) ISO TC184/SC5 パリ会議（4月23～24日）

2009年の4月の23日と24日に、パリの郊外 Saint Denis の AFNOR にて開催された。この会議において、日本からの提案について説明を行い、フランス、ドイツからエキスパートの参加についての感触が得られた。しかし、アメリカについては、関心があるが、参加できるかどうか決定

ができないということであった。この時点では、日本、スウェーデン、フランス、ドイツの4カ国の参加であったので、WGの設置は見送られ、7月までに日本がNWIプロポーザルをSC5の事務局に提出し、その後、NPの投票を行うことを確認した(SC5 Resolution607)。なお、この際に、タイトルにEnergy Efficiencyを入れるようにサジェッションがあった。

(3) NW I 提案に当たっての Part 1 素案の改訂

昨年度の ISO TC207 及びその SC4/SC5 国内対策委員会事務局、IEC/TC111 国内対策委員会との国内事前調整の過程で、環境管理関係の国際規格とオートメーション・システム関係の国際規格と、本規格の位置付けを整理して下記の文書を作成した。

Positioning of ISO 20140 in relation with Environmental management standards and Automation systems & integration standards (本報告書では、「添付1. 2」として収録した。)

NW I 提案文書の作成に当たっては、各国での NWI 提案内容の確認と態度検討において NWI 提案文書が散逸しないよう、この文書の内容を「NWIP 成立後の Working Draft 段階では Working Draft から除外して、別文書とする」という前提のもとに、「Part 1 素案の Annex B」とする文書構成とした。

NW I 提案に当たって、上記(1) ISO TC184 Advisory Group フランクフルト会議、及び(2) ISO TC184/SC5 パリ会議の議論を踏まえて、昨年度作成の Part 1 素案に対して、主として下記の変更を行った。

－タイトルの変更：Environmental and Energy efficiency evaluation method of Manufacturing systems – Part 2 Vocabulary を取りやめる。

－Introduction において Part 3, Part 4 の組み合わせが“Minimum set”であることを記述する。

(4) NW I 提案の提出

SC5 総会の決議を受け、我々の委員会で作成した原案を NWI として、投票に付すことにした。その際に ISO 中央事務局にわかりやすいプロジェクト番号を得ることでコンタクトをし、20140 というプロジェクト番号を得た。環境関連を想起する140を持ち区切りがよく、欠番となっている番号として、20140を決めた。NWI 提案文書を JISC から SC5 事務局へ7月3日にメールにて送付を行った。なお、NWI 提案文書には、上記(3)にて準備した下記の Part 1 素案を添付した。

ISO 20140 Automation systems and integration -- Environmental and energy efficiency evaluation method for manufacturing systems -- Part 1: Overview and general principles <Draft V-1.0>, July 3, 2009

3. 1. 2 NW I 提案の成立

(1) NW I 提案の投票開始

7月3日に送付した NWI 提案文書は、SC5 事務局がアメリカ国内で変更する混乱の時期にあたり、なかなか投票が開始されなかった。4月の総会で DIN から提案があった Key Performance Index に関する NWI 投票も遅れ、JISC および DIN と連携して SC5 事務局へ投票の督促を行うなどのアクションをとり、2009年9月3日からの投票が開始された。この投票は、3ヶ月間であり、締め切りが12月3日であった。なお、この投票に際しては、SC5 に P メンバーとしている国の反対が過半数でないことと5カ国以上から専門家(エキスパート)が参加することで NWI

が成立することになっている。5カ国以上の参加が一つの壁である。この時点では、日本、スウェーデン、フランス、ドイツの4カ国からの参加を見込んでおり、あと2カ国以上の勧誘が必要であった。

(2) NWI 提案投票の最終段階での ISO TC39/WG12 との調整と NWI 提案投票の成立

投票開始とともに、主要な国に専門家の登録要請を日本の SC5 国内対策委員会として行った。働きかけを行った国は、ドイツ、フランス、スウェーデン、イギリス、アメリカ、中国、韓国である。9月末では、スウェーデンと中国が賛成と専門家の登録を済ませた。

ドイツから SC5 としては、賛成したいが、ドイツの DIN の産業オートメーション関連会議で、反対意見が出て、問題が解決しないと賛成はできないとの連絡があった。

その問題は、ISO TC39 (工作機械) が WG12 (エネルギー効率) を設立し、NWI の投票に入っている。その NWI と WG12 のスコープが、われわれの提案領域と重複している可能性がある。TC39/WG21 Convener が強硬に反対していることであった。この問題は、DIN の TC184/SC5 の代表からフランスの TC184 事務局 (AFNOR) に連絡を行い、フランスも賛成投票ができない可能性が出てきた。

なお、ISO/TC39/WG12 の NWI は、日本の工作機械工業会が作成している工作機械の省エネ設計ガイドをもとにしているとのことであった。そこで、日本工作機械工業会と連絡をとり、規格が重複しているかどうかの確認を行った。結果としては、NWI の作業項目自身は、工作機械に限定されており重複はしないが、工作機械は、工作機械単体だけでなく、多くの周辺機器も含んでいること、WG12 のスコープとわれわれの作業項目が一部重複することなどが明らかになった。

TC184 の議長 (フランス) は、TC184 としてエネルギー効率の問題を取り上げたいので、日本からの提案を成立させたいが、DIN の態度も強硬であるので、調整が必要とのことで、関係者の会議を招集した。その結果、11月30日にテレコンファレンスを招集することになった。一方、このテレコンファレンスの結果を持って、ドイツ、フランス、アメリカが投票することになるので、12月3日の投票締め切りは現実的でないとの申し入れを行い、SC5 の事務局が、投票締め切り日を12月14日に延長した。

テレコンファレンスでは、十分に意図が通じないことを懸念して、テレコンファレンス (11月30日) に先立って、ISO TC39/WG12 Convener など出席者に対して E-mail 上で連絡し、問題点を整理した。基本的には、SC5 が生産システムに対して評価手法の標準を作ることはよい。各デバイスに関しては、関連する TC あるいは SC が行う。特に、先行している場合は、その標準を尊重する。ISO/TC39/WG12 とは、リエゾンを確立するということであった。

テレコンファレンス (11月30日) においては、「『ISO TC39/WG12 と重複』と受け取られる危険性がある記述を排除すべき」との ISO TC39/WG12 の指摘に沿って付属文書:Part 1 Preliminary Draft を改訂すること (12月30日までに) で合意した。また、日本は、12月30日までに訂正文書を送ることを NWI のコメントとして記述することにした。

NWI 提案投票の最終段階の11月30日に行われた TC184 と TC39/WG12 との電話会議での合意事項に基づいて Part 1 素案を改訂して下記の文書を作成し、これを12月末に電話会議出席者に送付した。

ISO 20140 Automation systems and integration -- Environmental and energy efficiency evaluation method

for manufacturing systems -- Part 1: Overview and general principles <Preliminary Working Draft V-2.0>, December 23, 2009

以上の活動結果、12月14日の投票は、以下の表になっている。この結果、賛成8票、エキスパート参加7カ国（中国、韓国、日本、アメリカ、フランス、ドイツ、スウェーデン）で、NWIとして成立した。

表3-1 投票結果

Member body	P/O	Feasible to develop a Globally Relevant Standard			Accepted for Stage 0	Accepted for Progressing to WD	Accepted as a WD	Accepted as CD	Accepted as DIS	When a draft has been attached			
		Yes	No	Abst.						Y/N	Y/N	Y/N	Y/N
Austria (ON)	P			X									
Bulgaria (BDS)	P												X
China (SAC)	P	X					Y				Y	Y	
France (AFNOR)	P	X					Y				Y	Y	
Germany (DIN)	P	X				Y				Y	Y	Y	
Hungary (MSZT)	P			X									
Italy (UNI)	P	X			Y						N		
Japan (JISC)	P	X					Y			Y	Y	Y	
Korea, Rep. of (KATS)	P	X				Y					Y	Y	
Mexico (DGN)	P												X
Netherlands (NEN)	P			X									
Spain (AENOR)	P			X									
Sweden (SIS)	P	X				Y					Y	Y	
Switzerland (SNV)	O									Y			
United Kingdom (BSI)	P			X									
USA (ANSI)	P	X					Y				Y	Y	
Totals (P-members only)	15	8	0	5	1	3	3	1	0	3	7	7	2

3. 1. 3 今後の予定

NWI 20140の成立が確認されたので、次回の TC184/SC5 の総会、2010年3月25日と26日に、東京の法政大学で開催予定、で成立の確認と WG への割り当て、コンビーナ-の任命を行うことになる。提案者の JISC としては、新しい WG (WG10) の設置とこの委員会の委員長である木村教授をコンビーナ-として推薦する予定である。なお、SC5 の議長には、その旨を連絡してある。

SC5 事務局としては、WG10 の設立の Resolution を SC5 の総会で確認する必要があるが、3月に informal meeting を招集して、WG の Terms of Reference と今後の Meeting Schedule を行うことは可能だとしている。そこで、2010年2月の7日にフランクフルトにおいて開催された ISO/TC184/SC5/WG9 の会議において、SC5 の事務局と打ち合わせを行い、2010年3月27日に、臨時のプレミーティングを行うことを、そして、第1回の TC184/SC5/WG10 の会議をスウェーデンのルンド大学において開催すること決めた。

また、2010年2月18日と19日に開催された、IEC の TC におけるエネルギー効率化の Joint-Meeting で、Alain Digeon ISO/TC184 議長が TC184 のエネルギー効率に関する標準として ISO 20140 が開始されたことを報告するプレゼンテーションを行い、IEC で関心のある場合、木村あるいは福田にコンタクトするようとしている。

ISO/TC184 の議長は、好感触で受け止められたと報告してきた。今後、IEC からも接触があると思われる。

3. 2 環境管理関連標準担当の国内対策委員会との事前調整

「生産システムにおける環境評価手法」を規定する ISO 20140 規格は、ISO TC207 及び IEC TC111 が担当している環境管理関連標準との整合性を確保することが不可欠であるとともに、ISO TC184/SC5 での NWI 提案時点において、これらの国内対策委員会の理解を得ておく必要がある。

この問題意識のもとに、昨年度、数次にわたって関連国内対策委員会との事前調整を行った。

(3. 1. 1 (3) の前段を参照)

今年度に入って、IEC TC111 国内対策委員会 (5月25日) において、本規格開発の概要説明の機会を頂いた。

NWI 提案文書発信時点 (3. 1. 1 参照) で、ISO TC207 及びその SC4/SC5 国内対策委員会事務局、IEC TC111 国内対策委員会に下記の文書を提供した。

What is ISO 20140: Environmental and energy efficiency evaluation method of Manufacturing system, 2009-07-03 (本報告書では、下記3. 3での改訂を経て「添付1. 3」として収録した。)

3. 3 Part 1 Working Draft 原案準備と更なる技術検討

NWI 提案投票の進行に平行して、NWI 提案文書に添付した Part 1 素案 (3. 1. 1 (4) 参照) をもとに、NWI 提案成立後の ISO 規格開発活動の Working Draft 原案の準備と、更なる技術検討を行った。

Part 1 Working Draft 原案の準備としては、NWIP 提案文書に添付した Part 1 素案の Annex B を別文書（添付 1. 2）として独立させる等、文書構成を変更した。

又、主として下記の技術検討を実施した。

(1) Figure-A.1 Manufacturing system and/or process and environmental impact をトップレベルに限定し、その下位階層としての下記を展開し、これらの展開に対応して説明文を充実させた。

Figure-A.2 Environmental engineering on manufacturing system and/or process,

Figure-A.3 Production and monitoring of environmental impact。

(2) 上記検討を受けて、Figure 2、Figure 1 の記述を改善した。

(3) ISO 14040: 2006 年版の用語・定義を輸入して適用することとした。

これに伴い、“Residue”を“waste, release”に変更した。

(4) 下記の用語定義（案）を作成した。

direct impact, facility life cycle impact, indirect impact, product

(5) 上記 (2) ~ (4) を受けつつ、更に主として下記の記述を改善した。

5.2.2 Unit process of manufacturing system

さらに、最終段階で行われた TC 184 と TC 39/WG 12 との電話会議（11 月 30 日）での合意に基づいた Part 1 素案の改訂内容（3. 1. 2 (2) 参照）を、Part 1 Working Draft 原案（添付 1. 1）と Overview of ISO 20140（添付 1. 3）に反映した。

本報告書では、上記の結果を下記の添付文書として収録した。

添付 1. 1 ISO 20140 Automation systems and integration –

Environmental and energy efficiency evaluation method for manufacturing systems --

Part 1: Overview and general principles <Working Draft V-0.9>, January 07, 2010

添付 1. 2 Positioning of ISO 20140 in relation with Environmental management standards

and Automation systems & integration standards, January 07, 2010

添付 1. 3 Overview of ISO 20140 : Environmental and energy efficiency evaluation method for

Manufacturing systems, January 07, 2010

4. ISO・IECにおける環境配慮システムにおける関連標準化の動向

4. 1 はじめに

ISO・IECでは、この数年の間、環境配慮システムの中でも、エネルギー効率に対する注目度が高く、多くの動きがある。現在進行中のプロジェクトは、図4.1-1に示すようである。このように多くのエネルギー関連プロジェクトが国際標準の中で、実施され始めているので、十分に関係を認識して行かなくてはならない。特に、PC242のISO5000シリーズは、ISO9000やISO14000シリーズのような体系を持つ標準として位置付けられているので、より注目する必要がある。これらの動向について、知りえた範囲で紹介をしてみる。

4. 2 ISO/SAG-Energy

ISOの全体を管理しているTMB (Technical Management Board)の2007年の会合において、SAG (Strategic Advisory Group) —Energyが設立されている (TMB Resolution 121/2007)。このSAGは、エネルギー効率と再生可能なエネルギー資源に関するものである。このグループは、以前ISOの理事会のもとに存在したエネルギーに関するタスクフォース (CTFE) によって行われたポートフォリオ/ギャップ分析をより発展させることと優先度の高い標準を特定することを目的としている。さらに、公共政策により貢献すべき標準を推奨すること、将来取るべきアクションや将来の研究項目を開発することも目的として挙げている。

このSAG-Eは、すべてのISOの委員会が行っているエネルギー効率と再生可能なエネルギーに関する標準化のコーディネートをする必要があることも指摘している。また、ISOのみならずIECやそれと同等な標準化機関との協調の必要性も指摘しており、最低限、ドキュメントの交換やISOとIECのリーダー間での会合を持つ必要があるとしている。

また、IEAやWECなどのエネルギー関連の国際機関と協調して共同プロジェクトや多くの関連する関係者をエネルギー関連の標準化に参加させるように努力すべきであるとしている。

このような観点から、ISOの中央事務局では、エネルギー関連の標準に関するニュースをホットトピックスとしてISOのホームページに公開して、エネルギー関連の標準化の動きを知らせている。(Http://www.iso.org/iso/hot_topics/hot_topics_energy.htm 参照)

また、2009年3月には、エネルギー関連の標準に関するワークショップを開催して、IEAとISO、IECの関連エキスパートが290人参加している。

2009年に開催されたSAG-Eの第2回の会合では、産業プロセスの効率のレーティングと評価のためのISO標準が必要になると勧告 (Recommendation 23 of 2nd Meeting SAG-E) している。この勧告に従って、ISOの中央事務局は、これらに関連する標準のNWPを提案するようにとの依頼の手紙を出している。また、この時点で、SAG-Eは、ISO/TC184からエネルギー関連の標準に関与していないとの指摘もあった。SAG-Eは、TC184に対して将来、産業プロセスのエネルギー効率関連の標準を作成するようにとの忠告をしている。

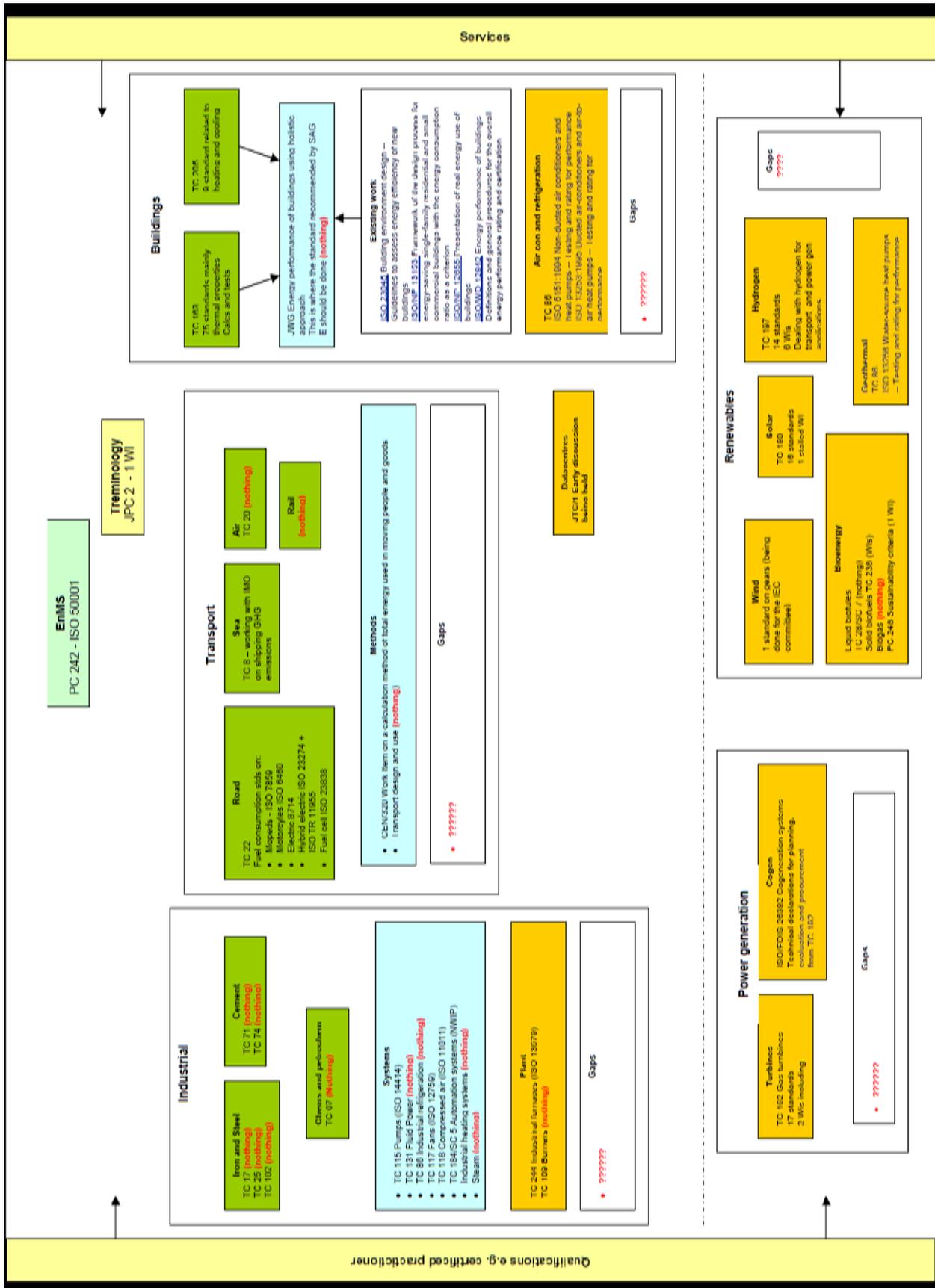


図4. 1-1 国際標準におけるエネルギーの効率化に関するプロジェクト

4. 3 ISO PC242 Energy Management

ISO の TMB の 2006 年の Resolutio³⁷ によって、Project Committee が数多く設立されている。PC は、特定の分野の標準を一つないし、数個作成するために作られるものである。たとえば、PC241 は、Road-Traffic Safety Management System であり、PC245 は、Cross-border Trade of Second-hand Goods であり、PC246 は、Anti-counterfeiting Tool など既存の TC で取り扱わないものや、政策が強く関係するものなどが取り上げられている。そのひとつに、PC242 の Energy Management がある。ここでは、エネルギー効率、エネルギーの性能、エネルギーの供給、エネルギー使用を含むエネルギー管理分野の標準を作成しようとしている。このプロジェクトの番号は、ISO50000 シリーズとなっており、現在 ISO50001 を作成中である。この標準の目的には、現在のエネルギー使用の測定、ドキュメントやレポートによる計測システムの導入、エネルギー管理分野での継続的改善の検証などが含まれていて、ISO9000 や ISO14000 のような認証を想定しているかの表現になっている。この PC は、TC22 や TC207、TC207/SC1 とリエゾンをとっている。

4. 4 IEC のジョイントワークショップ

IEC では、Electrical Energy Efficiency に関する Work Shop が定期的に行われている。2010 年 2 月にドイツのフランクフルトで開催された会議では、製造自動化における電気エネルギーの効率化、プロセスオートメーションにおける電気エネルギーの効率化についての議論が予定されている。この会議には、AFNOR から ISO・TC184 の事務局が参加予定で、われわれの提案している ISO20140 に関するプレゼンテーションを行う予定である。IECTC65 も今後この関連の標準を考慮する必要性があり、われわれの提案との関係を明確にしていく必要がある。

4. 5 ISO/TC39/WG12

ISOTC39 の工作機械は、WG12 Environmental evaluation of machine tools の作業グループを 2009 年から活動を開始している。WG12 は、工作機械の設計、使用などすべてのライフサイクルでの環境性能の定義、工作機械で作られるものを基本として、その製品の性能の環境改善度を定量的に評価できるようにする。そして、エネルギーの使用、CO₂ 排出、材料の使用などの環境インパクトに注意を払うようにする。そして、工作機械の使用を含めて設計や技術について検討することがこの WG の範囲としている。現在の対象は、日本が工作機械標準としている各種工作機械の環境対応設計のガイドラインを NWI として検討することになっている。この WG と ISO/TC184/SC5/WG10 として発足する予定の我々の提案とは、生産システムと工作機械の相違はあるもののほとんど範囲が変わらない。

これらのことから、相互にリエゾンをとる必要性を認識している。今後、二つの WG は、緊密な連携をとる必要がある。

4. 6 ISO/TC184/SC5/WG9

このワーキンググループは、生産自動化で重要な役割を果たす情報システム MES (Manufacturing Execution System) で用いられる重要な性能評価指標 (KPI: Key Performance

Index) を定義することを目的に設立された WG である。生産性や品質などの指標と同時に、環境指標の定義も提案されている。もともとは、性能や品質の指標を定義することを目的に、ドイツ DIN が提案したプロジェクトであるが、スウェーデンが Green Key Performance Index(GKPI) を追加してきている。これに関する議論も、ISO20140 と密接に関連してきている。まづ、対象が生産システムと同じ分野であること、さらに KPI は、単に指標を定義するのではなく、実際の計算方法やデータの収集ポイントなどをオブジェクトとして定義して、ソフトウェアや PLC、センサーなどの機器類との情報連携やデータ形式定義も含まれることから WG10 の評価方法と重複する可能性があることである。さらに、WG9 と WG10 は、同時期に並行して行われるので、緊密に連携して、評価方法標準を設立しないと、ISO ユーザーが混乱を起こす可能性がある。

4. 7 おわりに

ISO 並びに IEC では、CO2 削減という大義のもとに、エネルギーの効率化、省エネルギー化の標準化プロジェクトが設立される気配である。個々の製品のエネルギーの効率化、省エネルギー化のレベル、生産システムや輸送システムなどのシステムにおけるエネルギーの効率化に関するレベル、さらにエネルギーの効率化のマネジメントシステムのレベルと分かれているが、それぞれが独自にプロポーザルを出してきている状態である。

また、議論の進め方も、概念を重視したあるべき論をもとにした意見や製品開発を通して新しいマーケットを手にしようとしている実務家、今までのシステムを守るための標準を作ろうとしている実務家など、同じ会議にいてもさまざまに立場が変わってきているので、その点を見極めながら、これらの標準の動向を見守らなくてはならない。

5. ISO 20140 の概要

ISO 20140 の概要を、ISO 20140 の Part 1: Overview and General principles <Working Draft V 0.9> (1月7日付) (添付 1.1 参照) に沿って紹介する。

5. 1 本標準の規定範囲

本標準の規定対象、既定内容、想定される利用場面、及び本標準の規定対象外について、「§1 Scope」において以下のように記述している。(添付 1.1 §1 Scope 参照)

(1) 本標準の規定対象

「本標準は、航空機、自動車、電気機器、工作機械、およびそれらの構成品目など、離散型製品を生産する形状形成、機械加工、塗装、組み立て等の生産プロセスを対象領域とする。」

「本標準は、セル/ライン、工場等の生産システムと、それを構成する生産設備の管理・運用における環境影響を評価する。」

「本標準は、低炭素製造など生産プロセスにおける環境影響の改善の挑戦を支援するための環境評価司法を提供するものであるが、認証やそれに関連する外部監査を意図するものではない。」

(2) 本標準の規定内容

「本標準は、生産システムの階層構成に沿って集計するために、最下位レベルのデータとして個々の生産設備の管理・運転に関するデータを規定する。」

「本標準は、生産システムの環境影響の評価に必要な下記機能を実現するための原理を識別し、定量化に必要な手法を規定する。

- 個別の生産設備の管理・運転から、セル/ラインを経由し、工場に至る生産システムの階層構成に沿って集計し、評価する手法
- 設備計画から設備の廃棄に至る生産システムのライフサイクルの全段階を評価する
- 生産システムと製品に着目した環境影響のそれぞれの総和の整合性を確保する評価手法
- 個々の生産設備に関しては、下記のデータの取り扱いを可能とする
 - 1) 運転、待機、保守等の各状態を記述できる
 - 2) 実データと装置/機械メーカーが提供する環境性能データを入れ替えて処理できる」

(3) 本標準の想定される利用場面

「本標準は、下記の場面で使用されることを想定している。上記(2)で紹介した本標準の規定内容はここで想定した利用場面での使用を可能とするものである。

- 同一製品を製造する抽象化された生産システム、又は(他の国内工場、海外工場などの)異なる生産システムとの比較評価(ベンチ・マーキング)を行う
- 環境改善目標を最上位から順次最下位にまで展開する
- 環境影響の現状を可視化することにより、生産現場の運転状態の改善に活用する
- 現在の生産方式の改善、現有生産システムの再構成、新設備の計画・設計などの場面での代替案の比較・検討」

(4) 本標準の規定対象外

「下記は、本標準の対象外である。

- －事業所の全体、又は会社全体に関する環境評価手法
- －製品のライフサイクル全体に関する環境評価手法
- －個別の目的、視点及び関心からの環境評価指標の定義
- －産業もしくは製品群に固有の環境評価手法
- －個々の生産装置／製造機械に固有の環境評価手法」

5. 2 本標準の概要と基本原理

本標準の概要と基本原理は、「§5 Environmental evaluation of manufacturing systems」において、次のように記述されている。(添付 1.1 §5 Environmental evaluation of manufacturing systems 参照)

(1) 「生産設備のライフサイクル」と「製品のライフサイクル」

「生産プロセスの環境評価」において本標準が取り扱う「生産設備のライフサイクル」について、しれと関連が深い「製品のライフサイクル」との関係において、「§5.1 Overview」において、以下のように規定している。

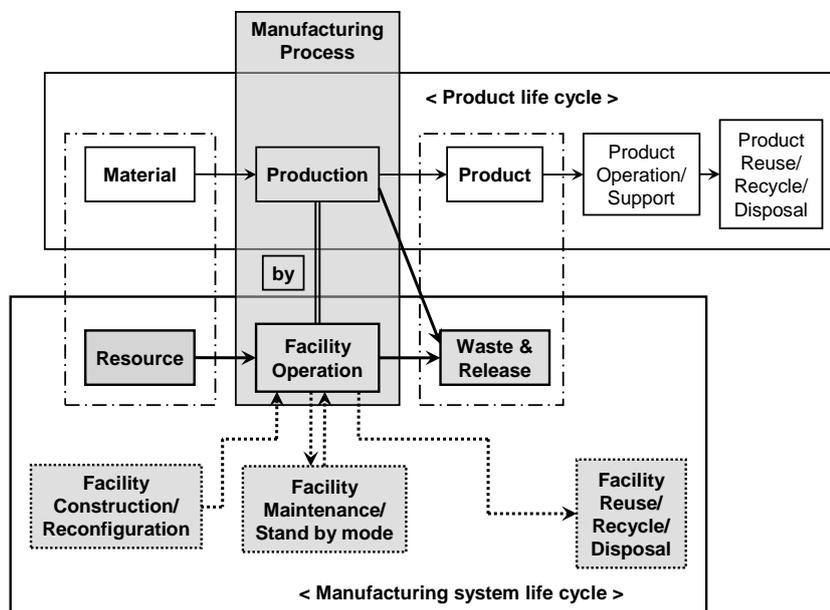


図 5-1 (Figure 1) Manufacturing system Life cycle and Product Life cycle

即ち、

「生産プロセスにおける環境影響を評価する」ためには、図 5-1 (Figure 1) に示すように、「生産設備を運転して製品の生産を行う」だけに限定することなく、

- 1) 設備の建設、設備の再構成（配置変更、リトロフィット等の設備構成変更、など）から、

2) 設備運転（による製品の生産）、
 3) 設備の廃棄（再使用、リサイクル、廃棄）に至る、
 生産設備のライフサイクル全体を対象とする」必要がある。（添付 1.1 Figure 1 参照）

(2) 生産システムの単位プロセスと環境影響

本標準が「生産システムの環境評価」問題について考察する際の基本的視点として、生産システムの「単位プロセス」と「環境影響」に関して、「§5.2.2 Unit process of Manufacturing system」において、以下のように記述している。

1) 生産システムの単位プロセス

「生産システムの環境評価においては、『生産システムの境界』を明確に画定する必要がある。」
 「生産システムの環境評価における基本単位は、図 5-2 (Figure 2) に示す『単位プロセス』である。」（添付 1.1 Figure 2 参照）

2) 生産システムの環境影響

「『生産システム境界（単位プロセス）』を出入りする全てのインプット、アウトプットを漏らさず把握し、評価しなければならない。」

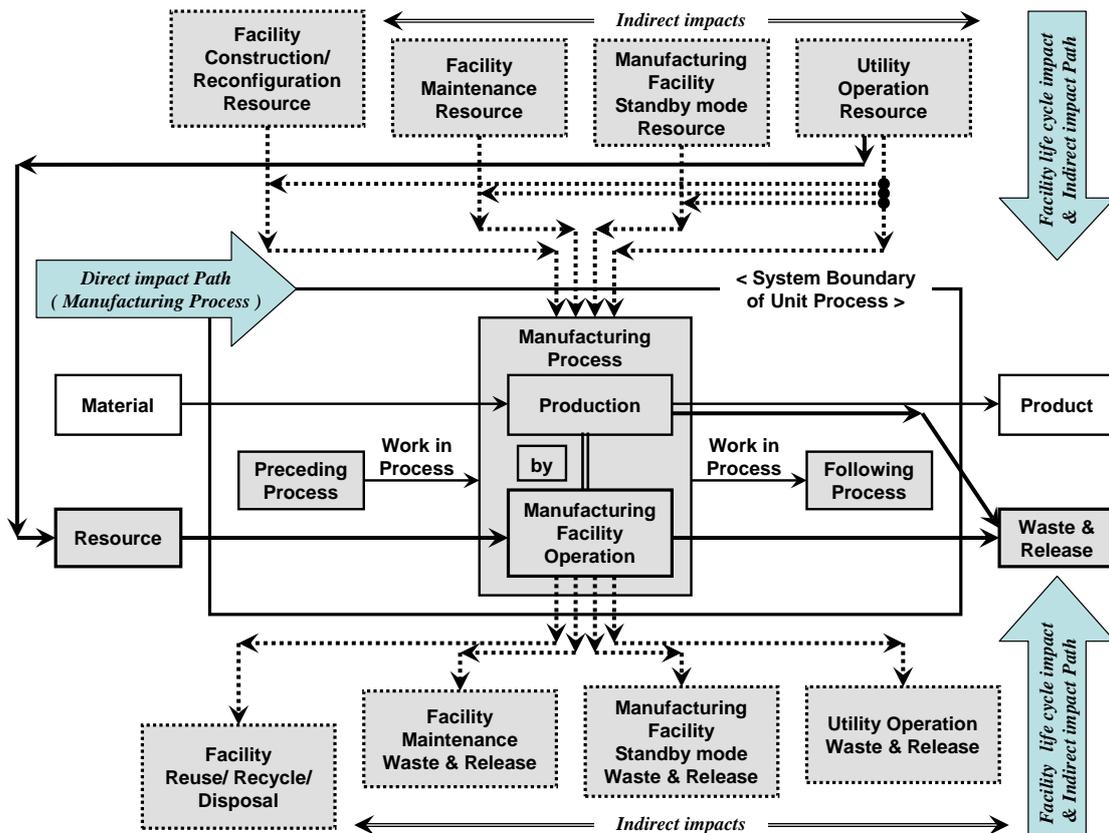


図 5-2 (Figure 2) Unit process model (Process Input and Output)

「生産システムの環境影響は、(設備ライフサイクルでの環境影響の発生状態に対応して、) 直接環境影響、設備ライフサイクル環境影響、間接環境影響の三種類に区分される。

- －直接環境影響：製造設備の運転による製品生産において（直接的に）発生する環境影響（図 5-2 (Figure 2) の横軸）、
- －設備ライフサイクル環境影響：設備ライフサイクルの最初期の設備建設、中間段階での設備の再構成と、最終段階の設備廃棄において発生する環境影響（図 5-2 (Figure 2) の第一縦軸）、及び
- －間接環境影響：設備（製造設備とユーティリティの両方を指す）の保守、製造設備の待機運転、ユーティリティ運転等、製品生産（ここで「直接環境影響」を発生）を支えるために（間接的に）発生する環境影響（図 5-2 (Figure 2) の第二縦軸）。」

5. 3 本標準の文書構成

本標準の文書構成については、「Introduction」において下記のように想定している（添付 1.1 Introduction 参照）。

- Part 1: Overview and general principles（概要と基本原理）
- Part 2: Guidelines for environmental evaluation procedures（環境評価手順のガイドライン）
- Part 3: Environmental evaluation index model（環境評価指標モデル）
- Part 4: Environmental evaluation data model（環境評価データモデル）
- Part 5: Facility life cycle impact and indirect impact model（設備ライフサイクル環境影響と間接環境影響モデル）

5. 4 本標準におけるモデル記述言語

本標準におけるモデル記述言語の必要性とその要件については、「§6 Model description language」において下記のように記述している（添付 1.1 §6 Model description language 参照）。

「Part 2、Part 3、Part 4、Part 5 において、環境評価手法におけるデータモデルが規定されている。この環境評価手法でのデータモデルの記述には、人に可読で、コンピュータ処理を可能とするために、形式言語を用いる。」

5. 5 本標準と関連する環境管理とオートメーション・システム標準との関係

本標準に深い関係を持つ環境関連及びオートメーション関連標準と本標準との関係に関しては、別文書（添付 1.2 として収録）において、記述している。（添付 1.2 Positioning of ISO 20140 in relation with Environmental management standards and Automation systems & integration standards 参照）

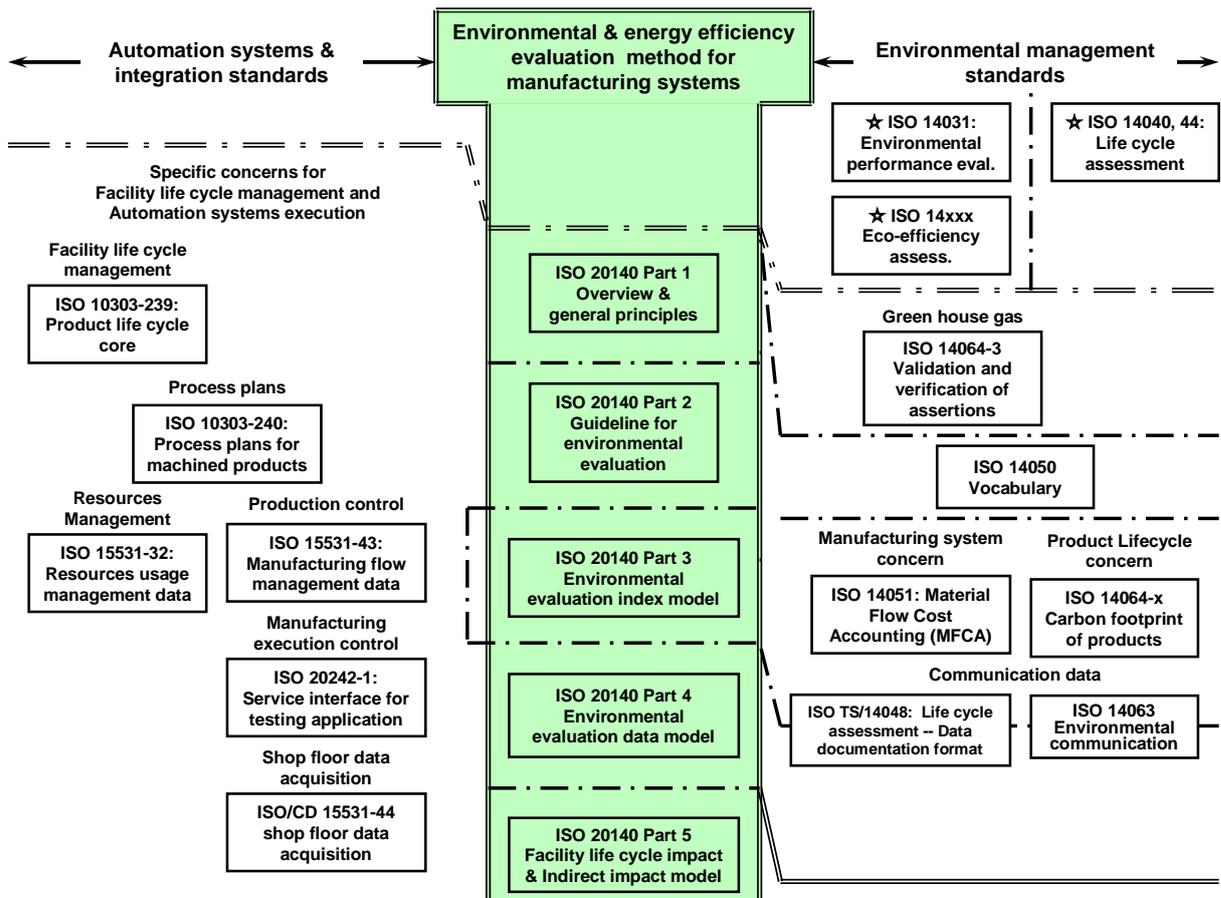


図 5-3 (Figure 3) Positioning of ISO 20140 in relation with Environmental management standards and Automation systems & integration standards

5. 6 想定される本標準の利用者と利用場面

(1) 想定される本標準の利用者

本標準が想定する利用者は、「Introduction」において下記のように想定している（添付 1.1 Introduction 参照）。

「(a) Managers for environmental managements in a factory, site/plant and/or enterprise

（工場／事業所／会社全体の環境管理責任者）、

(b) Engineers and foremen for operating manufacturing systems

（生産システムを運用する技術者、職場責任者）、

(c) Engineers for process planning of products（製品の工程設計者）、及び

(d) Planners and designers for manufacturing systems

（生産システムの計画／設計担当者）」

(2) 想定される本標準の利用場面

生産システムの環境影響をもたらし、更にもたらす要因について「Annex A」において、以下の 3 要素に着目して検討している。（添付 1.1 Annex A 参照）

- 1) 受注から製品の生産・供給、
- 2) 製品の設計・開発、及び
- 3) 生産設備のライフサイクルの三要素に着目して検討している。

図 5-4 (Figure A.1) において、下記が提示されている。(添付 1.1 Annex A.1 参照)

最初の「受注から製品の生産・供給」の経路では、“生産計画 (A11) ”、“材料の調達 (A12) ”、“生産活動の実行管理 (A13) ”、“製品の生産 (A14) ”が順次実行される。

第二の「製品の設計・開発」の経路においては、“製品設計 (A21) ”と“生産技術 (A22) ”が順次実行される。

第三の「生産設備のライフサイクル」においては、“生産システムの設計 (A31) ”、“生産システムの (新規) 建設、再構成 (A32) ”、その結果である“生産システム (F33) ”があり、“生産設備の運用 (A34) ”が行われる。

実際の生産活動は、“生産活動の実行管理 (A13) ”のもとで、上記の三つの経路の交点である“生産設備の運用 (A34) ”による“製品の生産 (A14) ”が行われる。

生産システムの環境影響は、下記の三つの変動要因により変動することとなる。

- (1) ΔA : 生産計画や受注の変動により、生産量と、製品構成 (Product Mix) が変動する。
- (2) ΔB : 新製品の開発や、設計変更、又生産方式の変更や工程変更により、製品生産における環境影響が変動する。
- (3) ΔB : 生産システムの新規計画や、現行生産システムの配置換え、仕様変更等の構成変更により、製品生産における環境影響が変動する。

次に、図 5-5 (Figure A.2) において、“製造設備 (F341) と付帯設備 (F342) の保守 (A3411) / (A3421) ”、“製造設備 (F341) の待機運転 (A3412) ”、“製造設備 (F341) の運転 (A3413) ”による“製品生産 (A14) ”、これらを支える“付帯設備の運転 (A3422) ”での環境影響のモニタリング活動を図示している。(添付 1.1 Annex A.2 参照)

更に、図 5-6 (Figure A.3) において、“製品の設計変更 (A21) ”、“生産方式の変更/工程変更 (A22) ”による、環境影響の改善手順を図示している。

本標準の利用場面に関しては、「5.1 (3) 本標準の想定される利用場面」にて列挙した本標準の利用場面に関連して、「Annex B」において、下記のように例示されている。(添付 1.1 Annex B 参照)

生産システムの環境評価には、抽象化された、又は典型的な生産システムとしての評価と、個別製品分野での生産システムにおける評価との二つのケースがあり (B.1)、更に後者には、個別製品分野での抽象的/典型的な評価と、各社の個別生産システムにおける評価とがある (B.2)。

又、製造業の各社では、環境影響の改善のために、下記のような諸活動が継続的に行われており、これらの活動において、本規格が Annex A に示すように活用できるもの、と期待している。

- 環境改善に関する全体目標の設定と、各生産ラインへの目標展開、
- 生産システムの構成や生産設備の構成の変更案の検討、
- 材料変更・加工方式の変更等の生産方式の変更、ここの工程における工程改善。

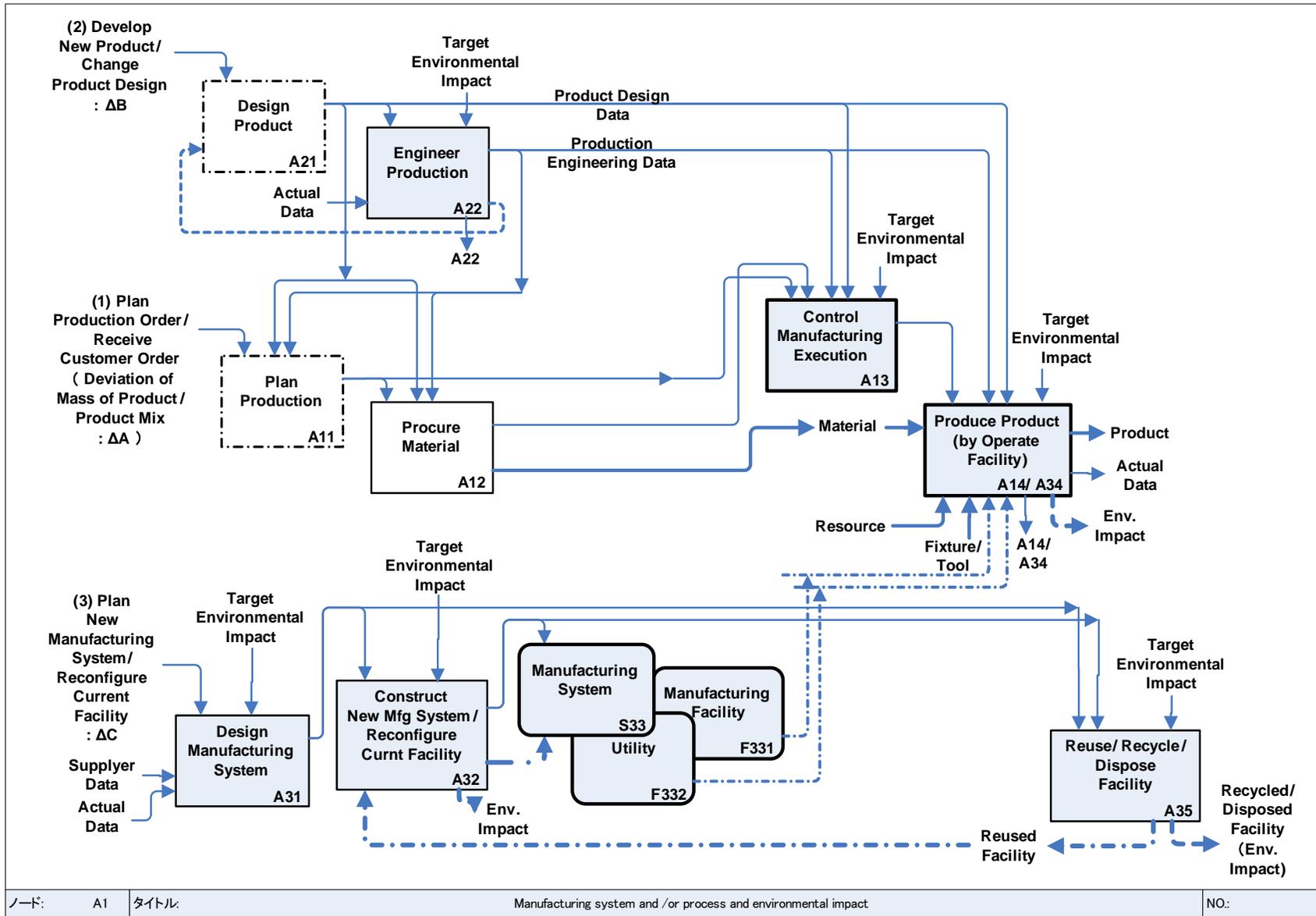


図 5-4 (Figure A.1) Manufacturing system and/or process and environmental impact

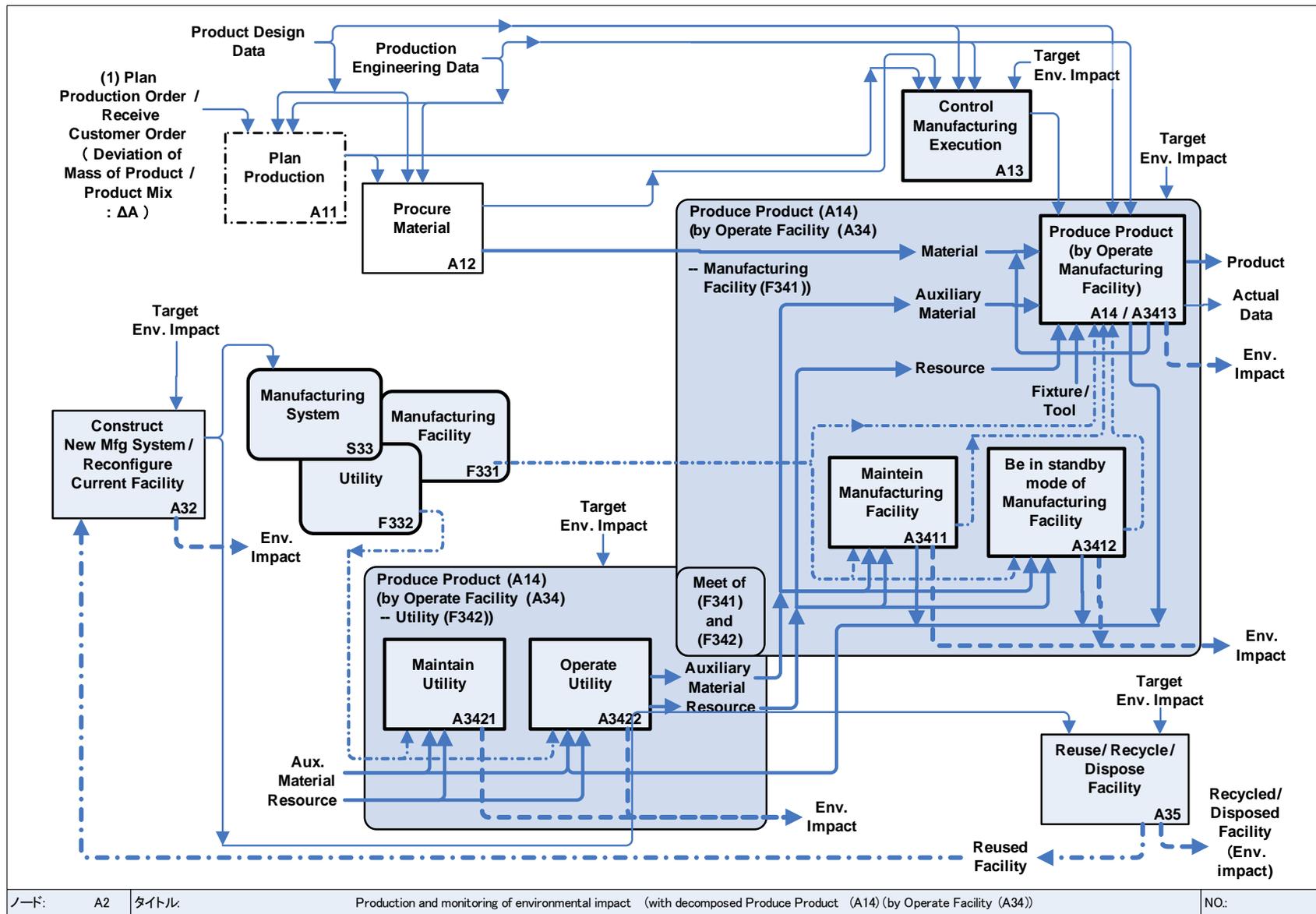


図 5-5 (Figure A.2) Production and monitoring of environmental impact

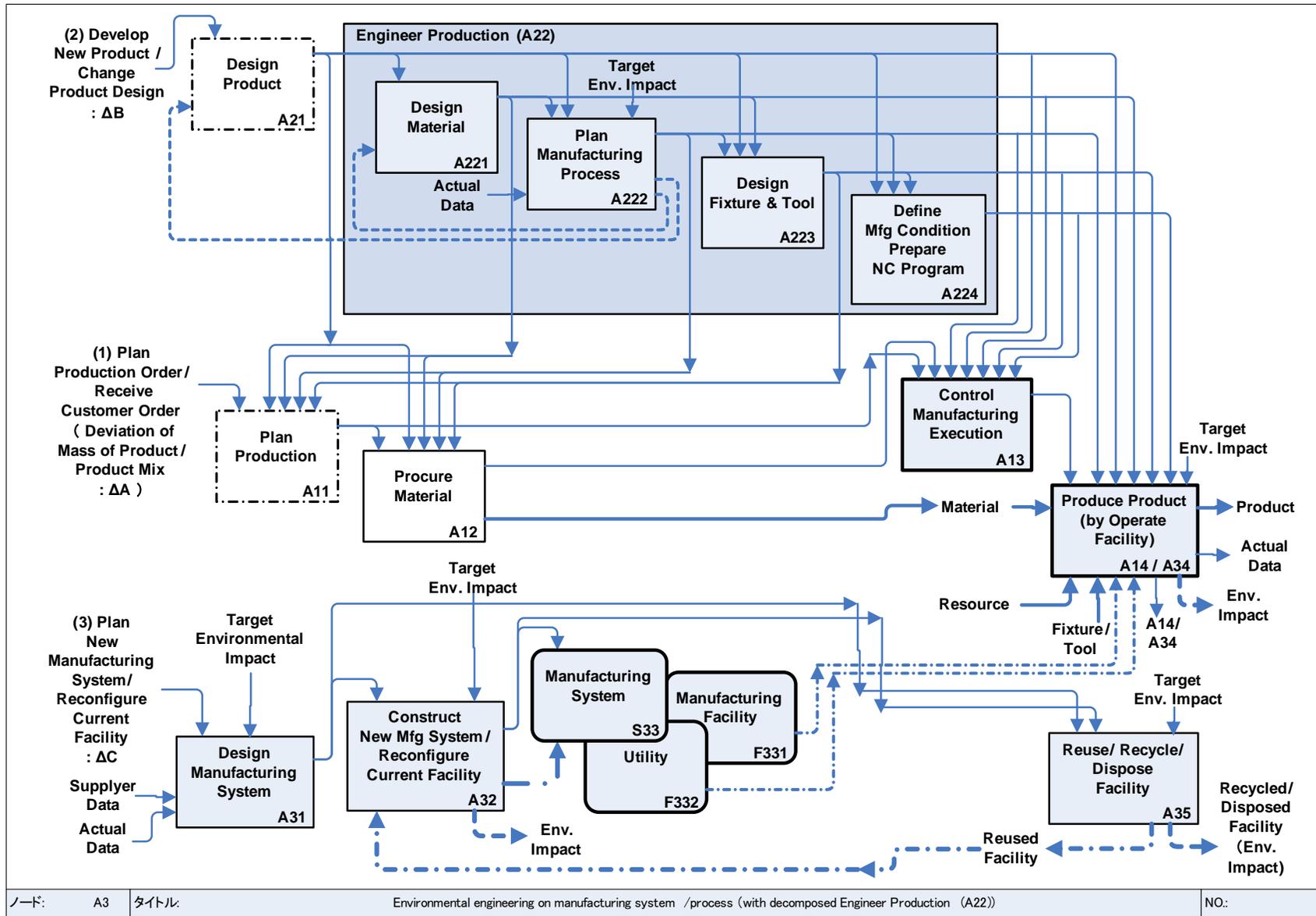


図 5-6 (Figure A.3) Environmental engineering on manufacturing system and/or process

6. 生産システムの環境評価手法の考え方

6. 1 はじめに

前章までに、生産システムの環境評価手法について、提案する国際標準化案を説明してきた。本章では、その補足として、環境評価手法標準化の背景や考え方、想定する適用範囲や将来の課題などを議論する。はじめに、生産システムにおいて、このような評価手法を必要とする状況を考え、評価の範囲と限界を考察する。

6. 1. 1 変動に対応する生産システム

生産システムの効率を低下させる大きな要因の一つは、市場変化、技術進歩などによる予期しがたい変動である。サステナブル生産の視点を加えた変動対応の生産システムの研究は、例えば[1]に見られるように近年欧州で盛んである。このような変動状況下で、生産システムにおける無駄を可視化してエネルギー・資源生産性を評価することは重要である。評価したい状況を以下に概説する。

生産システムには、技術革新、製品進化、生産量変動などのさまざまな変動要因があり、その結果、生産システムと対応する製品や稼動する環境との不適合を引き起こし、多くの資源・エネルギーの無駄が発生する。環境に配慮し、環境負荷を低減できるサステナブル生産システムを構築するためには、システムの思考を徹底し、考えられるあらゆる無駄の要因を明らかにすることが重要である。

主な無駄の要因は以下のようである。

- ・生産システムの過剰能力
- ・製品の過剰品質
- ・変動による最適状態からのずれ
- ・間接的な設備やエネルギー・資源の浪費
- ・まだ使える設備・資源の廃棄
- ・遊休状態にある資源

上記のような要因を十分に表現できるような生産システムのモデリング手法が重要である。このような問題に対する対策は、実務的には **Lean Manufacturing** などの標語の下に我が国では既によく考えられている。これらの対策の基本的な考え方を以下に示すが、具体的にどの程度、環境負荷低減に効果的であったのか、を可視化し評価できるような手段を提供することは重要である。現状では、直観的な評価に止まっている場合が多いと考えられる。

生産システムの構成適応性

汎用的なシステムとして、変化に対応して長期使用を可能とする。あるいは、モジュール性を高めて、変化に応じた再構成(Reconfiguration)を可能とする。あるいは、瘦せた専用システムとして、変化に応じて迅速全取替えにより対応する。

局所化

資源消費を対象プロセスに限定して、資源の無駄な間接浪費を防ぐ。

最小化

対象製品に適合させ、過大な処理を防ぐ。

高信頼性

故障などによる無駄を徹底して排除する。

ゼロ化

生産の目的に直接寄与しない事柄は徹底して排除する。

ゼロ（ミニマム）エミッション

資源循環を徹底させ、有害な排出物を削減する。

我が国の製造業は、このような生産システムの環境適応技術に特に優れており、今後のグローバル生産の更なる展開において、我が国製造業の強みとなると期待されている。我が国の優位性を明示するためにも、標準化された透明な評価法が望まれる。

6. 1. 2 生産システム評価のための循環循環モデリング

サステナブル生産の基本はエネルギーの流れや資源の循環を可視化し効率化することである。資源循環のモデリングを様々な粒度で行い統合していくことがサステナブル生産の具体化や評価にとって重要である。実務的には、MFCA (Material Flow Cost Accounting)の手法なども有用である[2]。

LCA的な手法を適用して、工場や企業単位でエネルギーや資源の収支を評価することはよく行われており、環境負荷評価の基礎として有用である。しかし、これだけでは個々の機器やプロセスの貢献、あるいはそれらの動作の変動の影響を評価することができない。動的なモデリングとシミュレーションの手法を用いて、エネルギーや資源に係わる様々な属性やパラメータを含むモデリングにより工作機械や付属機器を表現し、生産システムのエネルギー効率や資源生産性を評価しようとする研究が行われている。図6. 1-1にその一例を示す[3]。生産システムとその環境設備を区分し、環境維持に消費される間接的なエネルギーや資源を評価できるようにしており、一般的には、ここに大きな改善の余地がある。また、生産水準の変動により生産能力と実生産水準の乖離が生じ、大きな無駄が発生することなどを明らかにしている。これらは、経験的によく知られていることである。新工程の導入や工程計画が環境負荷に及ぼす影響も評価することができる。

上記のような動的な評価法は、6. 1. 1に述べたような変動に起因する様々な無駄を可視化して、エネルギー・資源生産性を向上させるために極めて有効である。しかし、実務的にはこのような詳細なモデルを構築することは困難であることが多い。また、モデル化されても、その情報は企業内の生産システム技術の中核として公開することが困難であることも考えられる。評価の目的に応じて、LCA的な平均的なモデルや、特定プロセスのみの詳細化などにより、実用化していく必要がある。そのために、6. 4で述べるような評価手法の **Framework** を規定して、標準化の範囲や詳細度を明示することが重要になる。

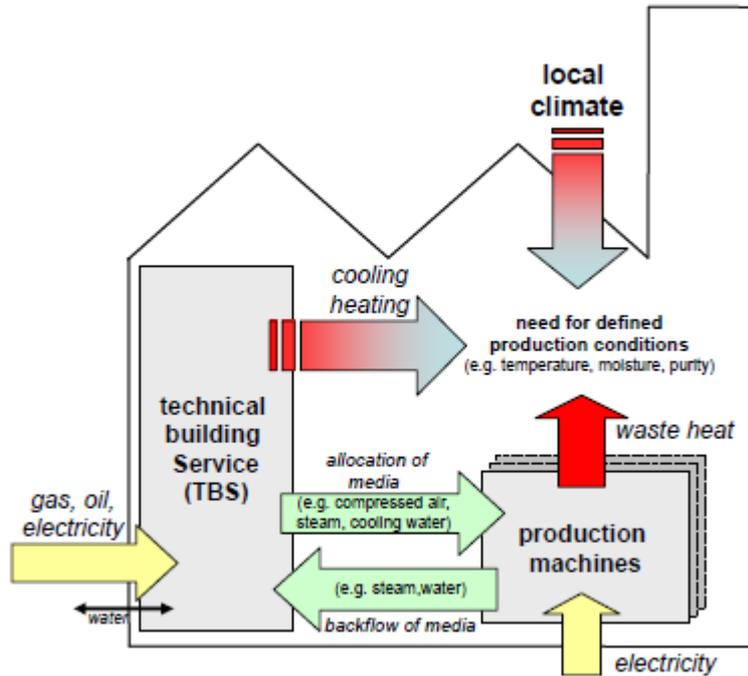


図6. 1-1 生産システムにおける資源循環モデリングとシミュレーション [3]

上記のようなモデリングは生産システムの改善や改革のために極めて有効であるが、このようなモデリングを行うためには、機器・設備やプロセスに関するデータが必要である。データの定義や計測法は標準化されておらず、データベースも整備されていないので、実用的な精度でモデリングを行うためには現状では大変な手間がかかる。図6. 1-2に示すように、様々な加工法に対応して必要なデータベースを構築する手法を規定し、多くの研究機関や企業の共同作業により実際にデータベースを構築しようとする提案がある[4]。当面はCO₂排出量を対象としている。同様に、米国でも Unit Process LCI (Life Cycle Inventory)と称して同様の作業が進められているようである。これらのデータベースは、本報告で提案する生産システムの環境評価手法において必要とする設備やプロセスのデータモデルと同じ考えに基づくものである。本報告で提案する環境評価標準化案は、このようなデータベース構築の作業との整合性を取っていくことも重要である。

Complementary efforts :

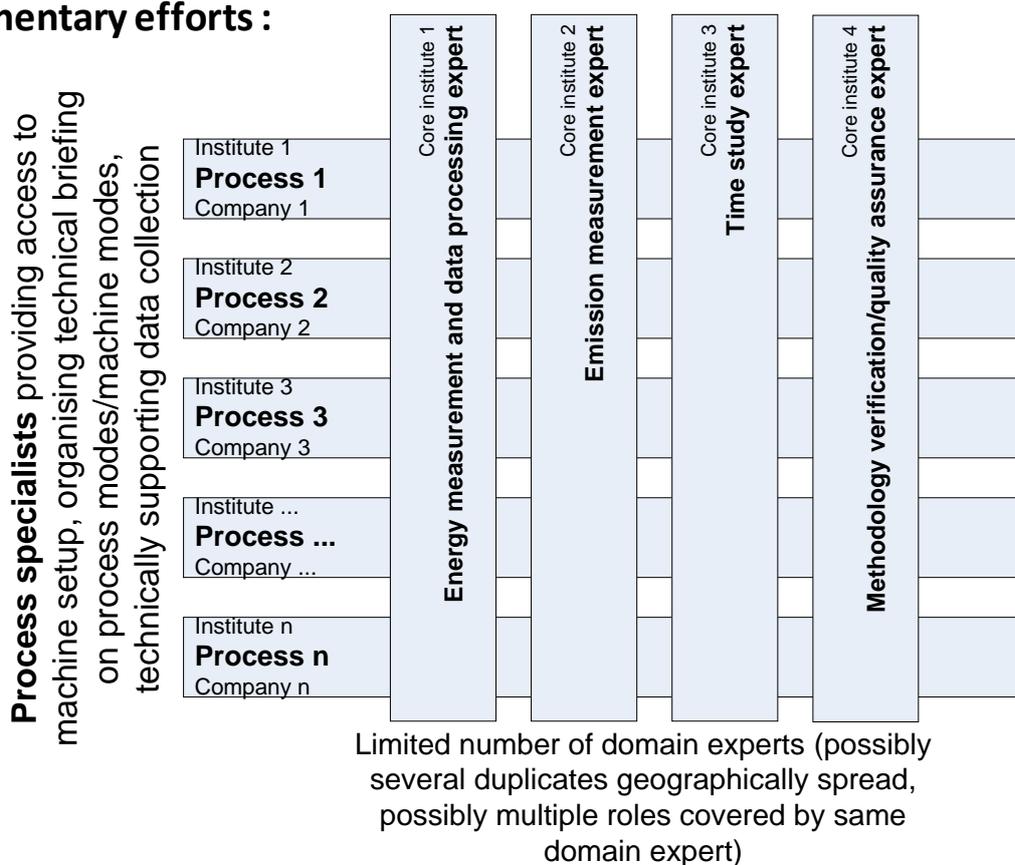


図6. 1-2 生産システムの環境負荷データベースの構築手順

6. 2 対象とする生産システムの定義：システムのレベルとライフサイクル

エネルギー・資源の生産性の観点からは、生産システムは、エネルギー・資源の流れを積極的に管理・制御できる仕組みとして位置付けられる。エネルギーや資源の流れを辿ると、個々の生産システムは様々なプロセスや活動と連動して、資源枯渇や地球温暖化、環境汚染などに影響を及ぼしていくことがわかる。図6. 2-1にその概念を示す。産業連関表などを利用してマクロに影響を調べることは可能であろうが、図6. 2-1のような関連を明示的にモデル化することは現実には難しい。概念的には、生産システムは、エネルギーや資源の流れの中で、その流れを押し出したり引き出したりして、流れの速度や量を制御する機能、すなわち資源循環を制御するシステムとして捉えられる。この意味で、生産システムそのものの環境負荷は小さくても、環境負荷の大きい素材生産などのプロセスや活動を制御する、という意味で、環境負荷削減には重要であるといえる。生産システムの環境評価においては、このような資源循環のモデルにおいて、LCA的に考えて、どこにシステム境界を設定し、どのようにフォアグラウンドデータとバックグラウンドデータを設定するかが重要であり、評価目的に合わせて適切な選択をする必要がある。積み上げ的手法をとるのか、産業連関表などを利用するか、なども同様に考えていく必要がある。

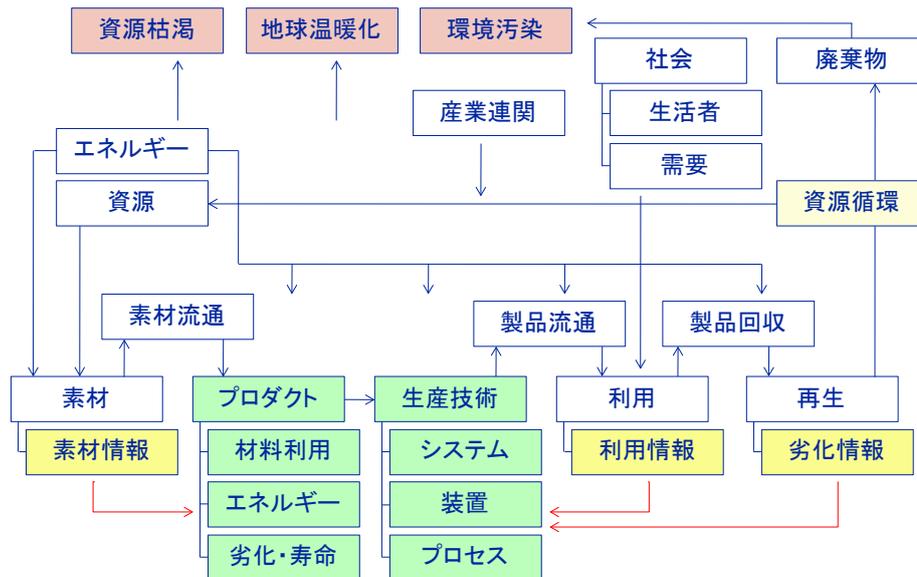


図6. 2-1 資源循環のモデリングとシミュレーション

生産システムの評価に際しては、目的に対応して、適切なシステムレベルやライフサイクルを設定する必要がある。評価法の標準規格としては、目的に応じて、そのようなシステムレベルやライフサイクルを記述できるような仕組みを提供することになる。

例えば、使用エネルギー・素材の変更、エネルギー・素材需給状況の変化、設備リサイクルの状況変化などを評価に取り入れようとするならば、それらに関するマクロなモデリングを行うか、目的に応じた産業関連表などにより原単位データの評価を変更せねばならない。評価目的とシステム境界の設定が極めて重要である。

生産システム自体を構造的に捉えて、6. 1. 1に述べたような評価を行うためには、その評価目的に適応したレベルのモデル化が必要である。例えば、以下のような評価項目がある。

- ・生産システムの過剰能力
- ・製品の過剰品質
- ・変動による最適状態からのずれ
- ・間接的な設備やエネルギー・資源の浪費
- ・まだ使える設備・資源の廃棄
- ・遊休状態にある資源

最初の3項目については、生産システムのプロセスや設備などに関する詳細なモデル化が必要であり、動的なシミュレーションなどを行って評価する必要がある。後の3項目については、定められた生産期間における平均的な評価が適切であろう。実務的には、これらの要求が混在して発生すると考えられる。

本報告で扱う範囲は、基本的にはある期間にわたる平均的な評価を基準とするが、考え方としては、評価法を明示的に記述することで、様々な適用の場面に対応することができるようにする。特に評価の基準となる生産システムの単位機能の設定において、生産システムの運用管理や日常的なスケジューリングなどをどのように規定するかは重要であり、これらの明示的な規定の方法を定めておく必要がある。

6. 3 環境評価手法の設定

生産システムの環境評価手法は基本的に LCA 手法を基礎とするが、生産システムは、静的なプロダクトではなく、複雑な操業の管理・制御を受けて目的の製品群を製造するシステムであるため、具体的な評価手順の規定は複雑になる。

生産・システムの形態、生産の操作、ライフサイクルの管理などにより、様々な状況が考えられる。以下に考えられる状況を列挙してみる。

- ・生産の形態：
 - 一品（少品種）大量生産
 - 多品種少量生産
 - 変種変量生産
 - ・生産システムの形態：
 - フローショップ
 - ジョブショップ
 - セル
 - ・生産操作：
 - 素材形成
 - 加工
 - 組立
 - 検査
 - ・生産システムのライフサイクル：
 - システム使用中に改善・拡張
 - システム使用後に Reconfiguration・再利用
 - システム使用後に設備を他システムに再利用
 - システム使用後に設備廃棄
 - ・生産変動：
 - 評価期間中に考えられる変動要因
 - 技術、製品、生産量、市場、環境
 - 対応するシステムの方策
 - 多機能な汎用システム ⇒ 長寿命
 - 単機能な Lean System ⇒ 単寿命
 - Reconfiguration ⇒ 長寿命・単寿命
- これらの生産システムの多様性を考慮に入れて、評価手法を明示的に規定せねばならない。そのために、評価目的の明確化、評価目的に沿う評価手法の設定が重要になる。
- ・評価目的の設定：
 - 生産システム自体の評価
 - 静的な評価（平均的な評価）
 - 上述したような様々な状況の違いによる比較

生産品目や生産地の違いによる比較

動的な評価

様々な変動要因の影響を比較

動的な生産制御の違いによる比較

生産システムに係わる環境を含めた評価

グローバルなエネルギー・資源消費、環境影響の評価

上述したような様々な生産システムの状況の相違が及ぼす影響の評価

これらの目的に沿って、適切な評価手法の設定が必要となる。以下のような項目がある

単位機能の設定

必要な Background Data の識別

目的に沿った評価シナリオ（オプションの設定、...）

評価指標の設定

これらの項目の基本的な考え方や課題について次節で概説する。

6. 4 環境評価手法の Framework

生産システムの環境評価の基本となるプロセスモデルの入出力は図6. 4-1に示すようになる。入出力において、特に留意すべきは時間の概念である。生産システムは多様な時間遅れを含んだシステムである。通常は素材の大部分は製品として出力され、その時間遅れは生産リードタイムであり、一般的に生産リードタイムは短ければ短いほど良い。一方、生産設備は投入されてから長期使用されて、修理・再利用・廃棄される。これは設備のライフサイクルであり、一般的に長ければ長いほど良い。中間的な時間遅れとして、工程中間生成物や設備メンテナンス資源がある。これらの時間遅れは、秒の単位から、年の単位まであり、評価の目的によって、考慮されたり、無視されたりする。いずれにせよ、考慮しているプロセス内に、入力されてから出力されるまで停留している資源を適切に評価することは重要であり、生産システムに固有の扱いが必要となる。

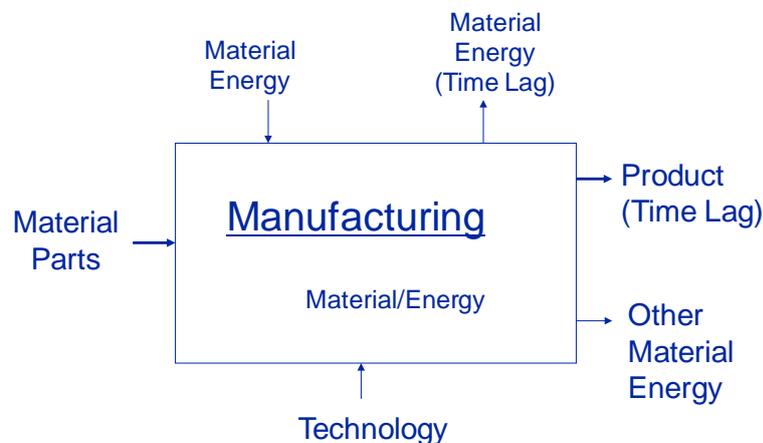


図6. 4-1 一般的なプロセスモデルの入出力

上記のようなプロセスモデルは、必要に応じてサブプロセスに階層的に詳細化される。この詳

細化のモデル記述法を明確に定義することで、環境評価手法の **Framework** が規定される。いずれのプロセス記述においても、そのスコープを明確にして、評価の目的に適合するように必要十分な入出力を数え上げることが重要である。環境評価手法の標準化としては、このようなモデル記述法のみを規定する。入出力項目については、図6. 4-1のようなカテゴリのみを規定して、具体的な入出力項目は、個別の適用に従いパラメータを含むデータモデルとして記述される。

生産システムの評価に際しては、その単位機能を如何に設定するかは重要である。評価目的に応じて様々な単位機能が考えられ、単純に整理することは難しい。しかし、何も規定しないと、標準の適用の手間が多くなり、評価結果の解釈も難しくなる。製品品質や製品の複雑度・多様性、単位時間当り生産量や生産効率など、主な単位機能カテゴリを規定し、適用に際して詳細化するような方式が考えられる。評価の期間も単位機能に影響する。短期の性能、あるいは長期間の効率など、評価の視点により適切に設定する必要がある。今後の課題である。

考察する生産システムの境界外のからの入出力として影響を及ぼすものについては、その項目を明示化し、環境負荷の原単位などを **Background Data** として明確にする。これについても、一般的に規定することは難しいが、項目をカテゴリ分けし、データモデルとして必要に応じて明確に定義できるようにしておく。

基本的な記述として、評価目的に従って評価のシナリオを明確に記述し、また評価指標を適切に設定する必要がある。これについては次章で議論するが、多くの課題がある。生産システムは、通常の LCA で対象となるような製品とは異なり、その運用・制御方法が極めて複雑であり、環境性能に影響する。通常の製品に適用されるような標準化された利用モードを設定できるか、あるいはより詳細な記述ができるようなシナリオ記述法を考えるか、今後の検討課題である。

参考文献

- [1] T.Tolio: Design of Flexible Production Systems, Springer, 2009.
- [2] 國部克彦：実践マテリアルフローコスト会計、産業管理協会、2008.
- [3] C.Herrmann, S.Thiede: Process Chain Simulation to Foster Energy Efficiency in Manufacturing, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol.1, pp.221-229, 2009.
- [4] IMS/MTP Proposal: CO₂PE! (Cooperative Effort on (CO₂) Process Emissions), 2009.

7. 生産システムの環境評価指標の定義

近年、電気・電子業界、自動車部品業界などを中心として、製品の環境負荷の評価だけでなく、製品の環境負荷をその製品価値との相関の中で評価する動きが出てきている。具体的には、環境効率（＝価値／環境負荷）であったり、その相対値である「ファクターX」が多用され始めている。ファクターX自体の概念は、ファクター4、10など古くから欧州を中心に提唱されているが、これを環境配慮製品の指標として広く使い始めた点では我が国が先行している。

これらの動きは、製品や生産システムなどの評価対象システムの環境負荷だけを評価しても環境負荷の削減という改善活動には使えるものの、その対価としての価値との関係で評価しない限り、その環境負荷が最低限必要なものなのか明確でない、評価対象システムの利用者にとっての意義が明確でない、などの課題に対応したものである。この動きの中で、環境効率をISOとして規格化する動きがあり[1]、一方、本報告書の企画案についても生産システムの環境評価指標として「環境効率」を利用することが想定されている。そこで本章では、現在検討中の環境効率のISO規格案(ISO 14045)を参照しながら、この規格に基づいて生産システムの環境効率を評価する際の手順と課題となり得る点を整理する。

7. 1 環境効率規格案 (ISO14045) の概要

ここでは、環境効率の現行の規格案の概要を述べる。ただし、現行の規格案はWDからCDへの移行段階であり、今後大きく変更される可能性がある。この規格案はISO14000シリーズの一部であることが示すように、以下の通り、LCAを基本として、その考え方がかなり色濃く出ている。いわば、LCAの一つの応用指標という位置づけである。

7. 1. 1 基本概念

ISO14045規格案では、人工物やサービスを「製品」と呼び、そのライフサイクルをモデル化したプロセスフローを「製品システム」と呼び、この製品システムを環境効率の評価対象とする。環境効率は、製品システムの環境性能をその価値（これを「製品システム価値」と呼ぶ）と関連づけた持続性の側面と定義しており、それを定量化する指標を「環境効率指標」と呼ぶ。ここで、環境効率、もしくは、環境効率指標は、環境性能と価値を結びつけたものと定義されているものの、いずれが分母か分子か、さらに言えば、割算にするかどうかということは述べられていない。また、「製品システム価値」は、製品システムとそれに付随する製品の機能的価値や好ましさを表す数値と定義されているが、これは、付加価値額や支払意思額などの金銭的単位、画面サイズ、明るさ、計算速度などの性能値、寿命、総走行距離などの時間軸方向の性能値、を包含した抽象化された概念であり、評価に当たってはどのような指標化を行うのかを決定する必要がある。

環境効率の原則として以下の六点が挙げられている。

- ライフサイクルの視点
- 環境と製品システム価値への着目
- 反復による改善アプローチ
- 透明性

- 包括性
- 科学的アプローチの優位性

7. 1. 2 環境効率評価の手順

ISO14045 規格案では、環境効率評価を以下の手順で行うと規定している。

(1) 目的と調査範囲の設定

評価対象の製品システム、機能と機能単位、システム境界、外部システムの配分方法、環境評価の方法と環境影響の種類、製品システム価値、環境効率指標、結果の解釈方法、限界を明示しなければならない。

(2) 環境評価

環境評価は、ISO14040、14044 に従ってライフサイクルアセスメント(LCA)を実施しなければならないと明確に規定されている。インベントリ分析、ライフサイクル影響評価の両方の結果を用いて良いことになっているが、統合化しないライフサイクル影響評価（すなわち、地球温暖化、オゾン層破壊、人間毒性などの環境影響カテゴリー毎に特性化した、多次元の評価結果）が推奨されている。各カテゴリーの評価結果を重み付けして統合指標化する際には、透明性の確保のために統合化の手法の明示が求められ、また、「一般開示を意図する比較主張」の場合には、LCA と同様、重み付けが禁止されている。

我が国で広く使われているのは、CO₂、もしくは温暖化ガスのみを対象とした、俗に言う LCCO₂ であり、これがインベントリ分析であるのか、1つのカテゴリーのみのライフサイクル影響評価に該当するのか、はっきりしない点である。

(3) 価値評価

環境評価と比較して、価値評価についてはその詳細がほとんど規定されていない。どのような指標（金銭、性能、美的価値など）を使うべきか規定されていない。また、価値を受け取るステークホルダーの視点の違いにより、価値評価のシステム境界が異なりうるため、価値評価の場合には必ずしもライフサイクル全体の評価とはならない可能性も指摘されている。例えば、製品使用者は使用段階の価値のみが関係し、投資家は製品システムに投資することによる利益にのみ興味がある、という例が挙げられている。

(4) 環境効率の計算

環境効率の計算方法もその詳細はほとんど規定されていない。ただし、価値が向上する、もしくは、環境影響が低下すれば、環境効率も良くなるような指標を選定しなければならないとされている。

(5) 解釈

環境評価、および、製品システム価値評価に関する重要な問題の同定、完全性、感度、不確実性、整合性の評価、結論・限界・提言の作成が求められている。

LCA と異なる点は、環境負荷と価値のトレードオフの問題が発生する点である。極端な例として、価値として製品価格を用いて評価する場合、環境負荷が多少大きくなったとしても、価格を大きく値上げすれば見た目の環境効率は良くなってしまふ。このような問題が発生しないような配慮が求められており、環境負荷、もしくは、価値のいずれかのみが

良くなる場合には、単に環境効率の値のみを示すのではなく、そのことを明示し、誤解を与えない報告が義務づけられている。

(6) 報告書作成

ISO14040 シリーズの考え方に従い、報告書作成についても詳細に規定されているが、ここでは煩雑になるので省略する。

(7) クリティカルレビュー

ISO14040 シリーズの考え方に従い、クリティカルレビューの方法についても詳細に規定されているが、ここでは煩雑になるので省略する。

さらに、ISO14040 シリーズの考え方に従って、環境効率の「一般開示を意図する比較主張」の場合には、厳しい制約が課せられている。すなわち、環境影響評価の重み付けの禁止、環境効率評価値は、ライフサイクル影響評価プロファイル（環境影響カテゴリ毎に特性化された多次元のライフサイクル影響評価結果）と価値から計算した環境効率プロファイルとして表現すること、環境影響、もしくは、価値のいずれかが悪化する場合には、環境効率の向上、優位性を主張してはならないこと、詳細な報告書作成義務、および、利害関係者の委員会によるクリティカルレビューの実施義務である。

7. 2 生産システムに対する環境効率の適用

以上に述べた ISO14045 案を生産システムに適用した場合に想定される課題を整理する。7.1 節に述べたように ISO14045 案は、LCA の考え方をかなり色濃く背負っている。一方で、ISO20140 の基本方針は、

- 生産システムのライフサイクル（製造、運用、保守・更新、廃棄）の環境負荷を評価可能で、運用時の環境負荷を中心に評価する。再利用や廃棄時の残存価値も評価可能にする。
- 生産システムの効用も評価する。
- 一般的な標準値を用いた評価も、固有の原単位を用いた特定システムの評価も可能にする。
- 要素からシステムへ積み上げられる構造的な評価を可能にする。

となっている。

すなわち、ISO20140 に ISO14045 を適用する際の難しさと意義は、以下の三点にまとめられる。

1. モデル論的アプローチ

ISO20140 は、生産システムのモデル記述方法、すなわち、生産システムモデル（工程設計と設備データ）、生産システムの稼働状態記述（製品生産計画と設備運用方式）を規定し、それに基づいた評価方法を提示しようとしている。一方で、LCA は生産システムの評価以外に製品、容器、社会活動などに汎用的に適用できるツールであり、その一般性は高い。しかし、モデルとして用意されているのは、原単位を中心にインベントリデータを整理する、ライフサイクル影響評価のための特性化、規格化、統合化など主としてデータのモデルであ

り、対象のモデルとしては、入出力関係を定義したプロセスのネットワークで評価対象のライフサイクルを記述する程度の規定しかない。生産システムに関して、ISO20140 でモデル記述を行い、そこからいかに整合的に LCA、環境効率の評価を行えるようにするかという点が課題である。

2. 標準値を用いた評価を可能にする

ISO14040 シリーズは、基本的に手順の規格であり、評価対象をどの範囲で、どのように記述し、環境影響や製品システム価値の何をどのように評価するかは規定されていない。すなわち、目的と調査範囲の設定で明確に宣言し、評価の中で整合性が保たれ、報告書に明示され、その整合性がクリティカルレビューでチェックされていれば良い。例えば、環境効率として「性能／使用段階の CO2 排出量」でも、「製品価格／LIME エラー! 参照元が見つかりません。による統合指標」でも、その正当性が説明できれば良い。この点は、厳密に言えば LCA や環境効率の評価結果を、同一の評価者が行わない限り比較不可能にしている。一方、ISO20140 は、このような柔軟な評価を可能にすると同時に、標準値を用いて簡便に評価できる仕組みを用意する点に特徴がある。これは、精度はともかく、異なる環境効率評価間の比較を可能にする。この点については、環境効率を用いた Factor X に関して電機業界で共通の標準製品モデルを設定し、それとの比較で Factor X を計算しようとする動きが参考になる。

評価手法と標準値の関係で言えば、LCA では前者が規格、後者が JEMAI LCA、SimaPro などの LCA ソフトウェアと切り分けられ、後者は規格の外に置かれているのに対して、ISO20140 は標準値の取扱に対してもう少し踏み込んだ規格を目指している。

3. 要素からシステムへ積み上げられる構造的評価

LCA や環境効率評価は明示的にはこのような階層的、構造的な評価を想定していないので、上記 1. の中で方法論を検討すべき課題である。

7. 2. 1 生産システムの環境効率評価のために整理する事項

本規格において、生産システムの環境効率を評価する場合、手順としては ISO14045 に従うことになろうし、それで大きな問題は生じないと考えられる。今後は、まずは、多くのステークホルダーで合意できる環境評価指標、価値指標を用いて、ケーススタディを重ねながら、データ収集、ガイドラインの作成を行うべきである。

具体的には、ISO14045 で決定すべき事項は 7. 1. 2 で述べた項目であるので、検討課題は表 7. 2-1 のように整理できる。ただし、どこまでを規格の範囲内にするかというのは別途検討が必要である。

表 7. 2-1 生産システムの環境効率評価のために整理する事項

項目	CS、調査などによる標準値の設定	CS、調査などによるガイドラインの提示	備考
(1) 目的と調査範囲の設定			
評価対象の製品システムの設定	—	—	製品システムは、評価対象の生産システム
機能と機能単位	○		各加工方法、ラインなど事例毎の機能と機能単位の設定事例集が必要。
システム境界 ¹		○	システム境界の設定に関するガイドラインと事例集が必要。
外部システムの配分方法		○	外部システムの配分方法に関するガイドラインと事例集が必要。
環境評価の方法と環境影響の種類	◎		各加工方法、ラインなど事例毎の環境評価の方法、環境影響の種類について標準値の設定、および、事例集が必要。
製品システム価値	◎	◎	各加工方法、ラインなど事例毎の製品システム価値の種類と指標について標準値の設定、事例集、ガイドラインが必要。
環境効率指標	—	—	「製品システム価値／環境影響」で良いのではないか。
結果の解釈方法	—	—	
限界	—	—	
(2) 環境評価			
生産システム・稼働状態の記述		◎	本規格
上記から環境影響を評価する方法		○	
(3) 価値評価			
生産システム・稼働状態のモデルから価値を評価する方法		○	
(4) 環境効率の計算			
環境効率の計算	—	—	
(5) 解釈、(6) 報告書作成、(7) クリティカルレビュー			
解釈、報告書作成、クリティカルレビュー		○	生産システム評価に関する固有部分のガイドラインが必要。

凡例：— 特段の問題とならない項目

○ 検討課題

◎ 特に重要な検討課題

¹ 環境負荷のシステム境界は製品システムのライフサイクルであるが、価値のシステム境界は必ずしもライフサイクル全体とは限らない。ISO14045 においては、両者が異なる場合は、報告書においてその記述と正当性の説明が必要である。

7. 2. 2 環境効率評価のための生産システム固有の課題

以上述べてきた生産システムの環境効率評価を行う場合に予想される、生産システム固有の課題として、以下が挙げられる。これらについては、規格中では基本原則に述べるに留め、それぞれの具体的な評価事例の中で統合的な記述を求める所から始めるのが適当であると考えられる。

- 再利用、廃棄時の残存価値の評価
- リサイクル材の利用、排出材料のリサイクルの取扱いについて、例えばダブルカウントを避ける、一貫したガイドラインが必要。
- LCA では、製品システムの各プロセスにおいて平均的な稼働状態を想定して、環境負荷、価値を評価する。一方、生産システムは稼働状態、製造対象物、設備運用方法が動的かつ、大幅に変化する。生産システムの稼働状態の記述に従い、これらの特徴に対応した形で、環境負荷、価値を評価する必要がある。
- 応用の問題：評価対象の生産システムをこのまま使い続けた方が良いのか、一部を改修した方が良いのか、工場を新設した方が良いのかを判断するといった応用ができること。
- 要素からシステムへ積み上げられる構造的評価については今後の課題である。

7. 3 まとめ

本章では、ISO20140 における生産システムの環境効率評価手法として準拠を想定しているISO14045 について、現状での概要を述べた。次に、生産システムに対してISO14045 を適用する場合、生産システム固有のガイドライン、事例集の作成、標準値の設定が必要な項目を整理した。さらにISO14045 適用の際に想定される課題を併せて整理した。

ISO14045 はかなり抽象的、一般的な規格であるので、これに準拠しつつも、本規格(ISO20140)の具体的方針（例えば、環境効率の評価指標の一例として「付加価値/LCCO₂」と挙げるなど）を明確化する必要がある。今後は、本規格を想定した事例の蓄積を行い、ガイドラインのポイントの明確化と標準値の設定が必要な項目とその設定方法の明確化が必要である。

参考文献

- [1] International Organization for Standardization (ISO): ISO/TC207/SC5/WG7 “Environmental management – Eco-Efficiency assessment of product systems – Principles, requirements and guidelines,” ISO14045, ISO, 2009, (unpublished).
- [2] 伊坪徳宏, 稲葉敦: ライフサイクル環境影響評価手法, (社)産業環境管理協会, 2005.

8. 生産システムの環境評価に必要なデータモデル

8. 1 概要

本報告書で議論する生産システムの環境評価手法は、5. 2 (2) 2) で示される図 5. 2-1 のような **Unit Process Model** を基礎として、環境負荷やシステム効用の積算を行う。評価対象となる生産システムを一つのプロセスとして定義し、評価に必要な範囲でその入出力を網羅的に数え上げる。評価目的に応じて、生産システムをその要素機能に分解し、各々の要素機能も同様な **Unit Process Model** で記述して、階層的に生産システムのモデルを詳細化する。評価目的により、それ以上詳細化する必要のないレベルの原子モデルを明確化することは重要である。

生産システムの環境評価手法では、生産システム一般に共通の事柄は、評価手法の手順に織り込むが、個別の生産システムに依存する事柄は、モデルのパラメータとして分離し、パラメータを適切に使い分けることにより、個別の目的に適合する評価ができるようにする。このようにパラメータ化されたモデルとそのパラメータデータを、評価に必要なデータモデルと呼ぶ。生産システム一般に共通の事柄とは、モデルの分類や詳細化について、一般に共通の理解がえられているような教科書的な事柄である。

生産システムの環境評価の目的として、以下のようなことを考えてきた。

- ・生産システムの一般的な評価
- ・生産システムの個別的な評価

前者の評価においては、生産品目、生産数量、生産方式、生産技術、生産地域などの相違により、生産システムの環境性能がどのように異なるかを評価する。このためには、これらの項目について、教科書的な一般的なパラメータを用いて評価を行う。後者の評価においては、特定工場の特定の生産ラインについての技術改善や地域移転の効果を評価するようなことで、この場合には、特定の生産ラインに固有のパラメータを用いることになる。

上記のような考え方にに基づき、評価に必要なデータモデルの例をあげてみると、図 8. 1-1 のようになる。これらのモデルの概要を記す。

まず、環境評価に関係する様々な原単位データがある。生産システムに関するエネルギー関連の環境負荷の原単位としては、電力、石油、天然ガスなどが主なものであろう。これらのエネルギー源は、その発生・取得方式や地域により、その原単位大きく異なる。一般的な議論の場合には、LCA 適用で一般的に受け入れられている平均的な値を用い、地域差などを議論するときには、固有のデータを用いることになる。入力資源としては、製品に関する素材や副素材があり、出力資源としては、廃棄素材や生産に関する消耗物がある。環境一般に関係する物質入出力として、大気、水、それらの汚染物質などがある。これらのデータについても、一般の環境評価で用いられているデータを適用する。生産における固有のサプライチェーンの評価などを行おうとするときには、それに応じたデータを収集して適用する必要がある。いずれの場合においても、関連する原単位データをパラメータとして分離して、明示しておくことが必要である。

生産システムに固有のデータモデルは一般に複雑であり、専門の分野でも共通の理解が得られていないものも多く、今後多くの議論を必要とする。これに属するデータモデルとしては、対象となる製品、生産システム、生産システムの運用・制御方式、生産設備、これらを含む工場など、

様々である、全てを網羅的に数え上げることは困難であり、対象とする生産システム毎に人用となるデータモデルを積み上げて、漸次、共通モデルを標準化していく必要があると思われる。その標準化の方法論についてもさらに議論が必要である。

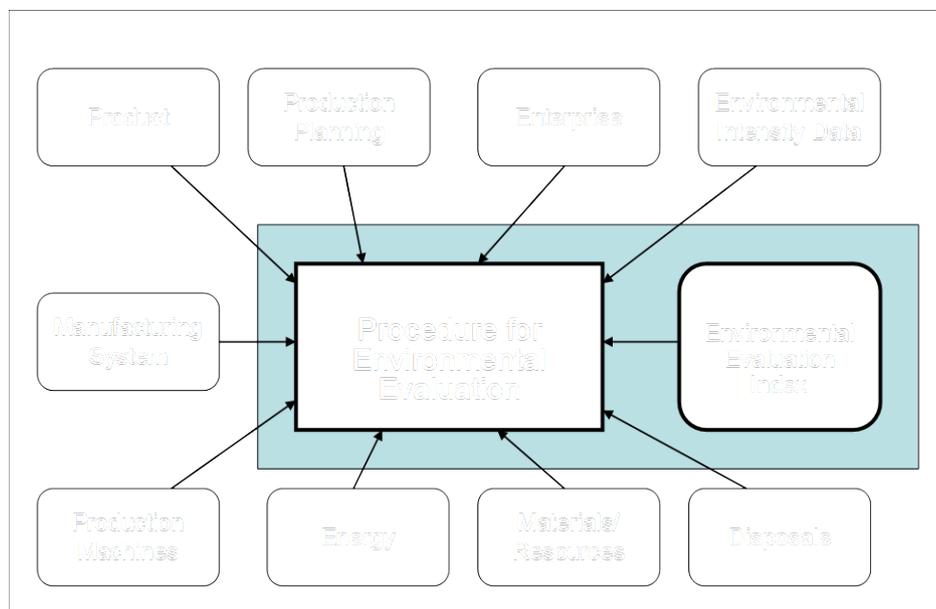


図8. 1-1 環境評価に必要なデータモデル群

生産対象となる製品のデータモデルについては、ISO/TC184/SC4において、膨大なデータモデルの標準化が行われている。生産システムの環境評価のためには、それらのデータモデルから必要な情報を抽出して応用モデルを規定することになると考えられる。製品そのもののデータのみならず、素材から中間製品まで同様のモデルで記述することが必要である。これらのモデルは、以下に考える生産関連のモデルとも強く関係して、どのモデルにどのデータを規定するかなど、多くの標準化作業が必要である。

生産については、極めて基本的な生産プロセスのモデル化から始まり、加工・組立・検査など、あるいは一般的な加工法の記述、様々な加工法の標準プロセスなど、多くのデータモデルが必要である。これらについても、個別に様々なデータモデルが開発されており、それらとの整合性を保って、環境評価に適合するように応用モデルを規定していく必要がある。しかし、従来のモデルでは、環境負荷物質の扱いや全体のエネルギー収支の数え上げなど、不十分な項目も多くあると考えられ、これらについては新たな考察が必要である。例えば、生産設備について、最大性能可動状態と余裕稼働状態の相違、待機時のエネルギー消費など、実務的にも十分把握されていないデータ項目が必要になることも考えられ、これらのデータモデル項目の規定や実際のデータ収集には膨大な作業を必要とする。当面の対応は、データモデルを明示化しつつ、設備製造者などとの議論を深めて、将来的には設備カタログへ反映させるなどの実務的な方策を講じなければならない。次節以下には、工作機械の環境適合設計ガイドラインや工作機械のデータモデルの概要を述べ、必要なデータモデル構築への参考とする。

8. 2 工作機械の環境適合設計ガイドライン

工作機械の環境適合設計を工作機械に適用する場合における技術的評価のガイドラインについて規定する予定の標準仕様書「工作機械の環境適合ガイドライン(案)」につき、内容の調査を行った。

8. 2. 1 工作機械の環境適合設計ガイドラインの概要

工作機械に環境適合設計を適用する際の技術的指針を与えることを目的として、省エネルギー、3R（リユース、リデュース、リサイクル）、廃棄物処理容易性、総合評価など以下の10の規定項目を設定し、それぞれの評価基準を示している。

ただし工作機械の設計においては、個別に異なった構造や性能が要求されており、またその利用目的、利用環境によって運転状況が異なることから、ガイドラインはTSとして提案されている。

<規定項目の内容>

- (1) 省エネルギーの評価
- (2) リデュース（省資源化）の評価
- (3) リユース（再利用化）の評価
- (4) リサイクル（再資源化）の評価
- (5) 廃棄処理容易性の評価
- (6) 環境保全性の評価
- (7) こん包材・搬送資材の評価
- (8) 環境適合性に関する情報提供の評価
- (9) 総合評価
- (10) 環境適合設計アセスメントの実施方法の評価

それぞれの項目について、さらに小項目を設定し、各々について評価基準を示してあり、さらに、各評価項目について評価方法に関する解説及び具体的な評価事例を示してある。それらは、“工作機械の環境適合設計評価用チェックリスト”として附属書にまとめられている。

8. 2. 2 環境負荷評価の標準化にあたり考慮すべき項目

「工作機械の環境適合ガイドライン(案)」は、その名のとおり工作機械単体を設計するためのガイドラインであり、生産システムの環境負荷評価のデータモデルとして使うためには下記項目に注意をする必要があると思われる。

- ・ 工作機械に関する環境負荷項目が詳細に規定されており、そのまま利用できるようなデータも多い。利用できそうな項目には以下のものがある。
 - (1) 省エネルギーの評価
 - 工作機械製造時の消費電力の把握
 - 工作機械運転時の消費電力の把握
 - 工作機械運転時の消費電力の明示
 - (2) リデュース（省資源化）の評価
 - 工作機械運転時のユーティリティ消費量の把握

(3) リユース（再利用化）の評価

リユース対象部品及びユニットの明確化

リユース部品の仕様限度基準の作成

(4) リサイクル（再資源化）の評価

リサイクルが可能な材料及び部品の選定

(6) 環境保全性の評価

工作機械に使用されている環境影響化学物質及び有害物質の把握

工作機械製造時に使用する環境影響化学物質及び有害物質の把握

- 工作機械運転時の消費電力など一部の項目については、定量的に示されるようになっているが、それ以外の項目たとえば、エミッション（振動・騒音、オイルミスト、ガス、粉塵など）では、定量的な評価方法が示されていない。
- 工作機械単体を対象としており、生産システム全体として見られていない。
たとえば、高精度が必要な場合、通常は工場の空調が必要となるが、最近周囲温度が変化しても工作精度を維持できるような機能（ハード・ソフト）が登場しており、その効果が評価できない。この場合機械としての環境負荷は若干大きいですが、工場としての環境負荷は小さく、全体とすると環境負荷は小さくできる可能性がある

8. 3 工作機械のデータモデル

工作機械は生産システムの中核となる構成要素であり、そのデータモデルは本委員会の活動と密接な関係を持つと見られる。ここでは、現在 ISOTC184/SC1/WG7 において、ISO 14649-110 として開発中の工作機械のデータモデルを紹介する。

8. 3. 1 ISO14649 の Part 構成

ISO14649 では今まで、従来からの ISO6983 (通称 G コード) に代わる新しい NC 指令方式に必要とされるデータモデル、すなわち、

- ・加工プロセスモデル (Manufacturing process model)

これには、加工形状特徴モデル (Manufacturing feature model) も含まれている。

- ・切削工具モデル (Cutting tool model)

を、開発してきたが、これに加えて新たに

- ・工作機械モデル (Machine tools for general process)

を、Part-110 として開発している。(表 2. 1-1 を参照)

表 8. 3-1 ISO14649 の Part 構成

ISO 14649	Title of documents	Phase	Status
Part 1*	Overview & fundamental principles	1	IS
Part 10*	General process data	1	IS
Part 11*	Process data for milling	1	IS
Part 12*	Process data for turning	1	IS
Part 13	Process data for wire EDM	2	CD**
Part 14	Process data for sink EDM	2	CD**
Part 16	Process data for inspection	2	WD**
Part 17	Process Data for rapid prototyping	2	WD**
Part 110	Machine tools for general process	2	NWIP**
Part 111*	Cutting Tools for milling	1	FDIS**
Part 121*	Tools for turning	1	IS

8. 3. 2 ISO14649-110 のスコープ

以下のスコープで各国が合意に達している。

「Scope and main usage」

- ・General and functional requirement data model for machine tools to execute and simulate a STEP-NC part program.

- To specify machine tool type and specification to execute STEP-NC part program which can be used as a means for selecting actual machine tools to be used for executing STEP-NC part programs on the shop floor

- Provide the necessary data for implementation.

もう少しわかりやすい表現をするならば、「工作機械のユーザが、工場計画、工程設計、NCプログラムの作成・シミュレーション・実行を行う際に必要となる工作機械に関する情報を記述するデータモデル」ということになる。(図8. 3-1を参照)

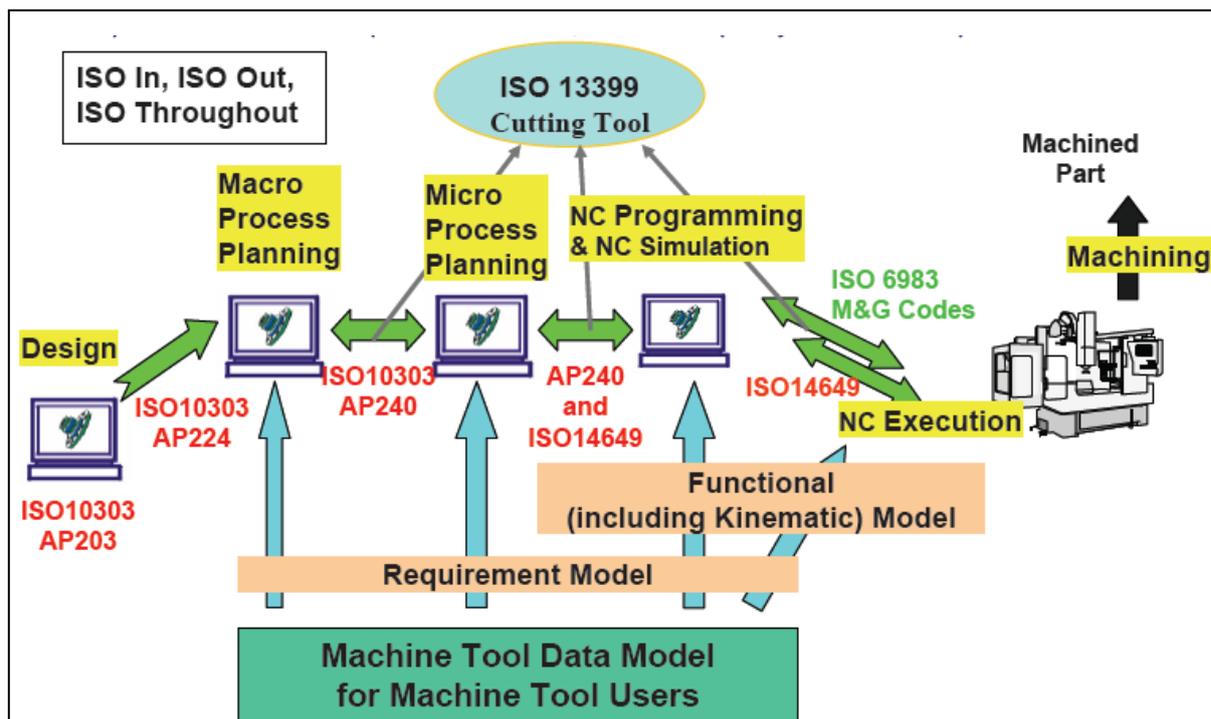


図8. 3-1 ISO14649-110の使い方

8. 3. 3 参加メンバー

以下の各国が参加している。

- 日本（北海道大学、設計生産工学研究所）
- 韓国（POSTECH）
- スイス（EPFL）
- 英国（バース大学）
- フランス（IRCCyN）
- スウェーデン（KTH：王立研究所）

8. 3. 4 開発状況

2007年8月に“NWIP”投票が行われて、開発が進められている。

2010年には、ドキュメントが完成する予定である。

8. 3. 5 データモデルの紹介

この工作機械のデータモデルは、ISO10303 (STEP) で開発された EXPRESS 言語で記述されている。ここでは、EXPRESS 言語の図式表現である EXPRESS_G を使用して、工作機械のデータモデルの一部を紹介する。

図 8. 3-2 に、EXPRESS_G の表記法を示す。基本的には、オブジェクト指向の構造を表現する表記法であり、エンティティとそれが持つ属性を示すことが基本である。エンティティ間には、スーパータイプとサブタイプの関係があり、サブタイプのエンティティは、スーパータイプのエンティティが持つすべての属性を引き継ぐ。

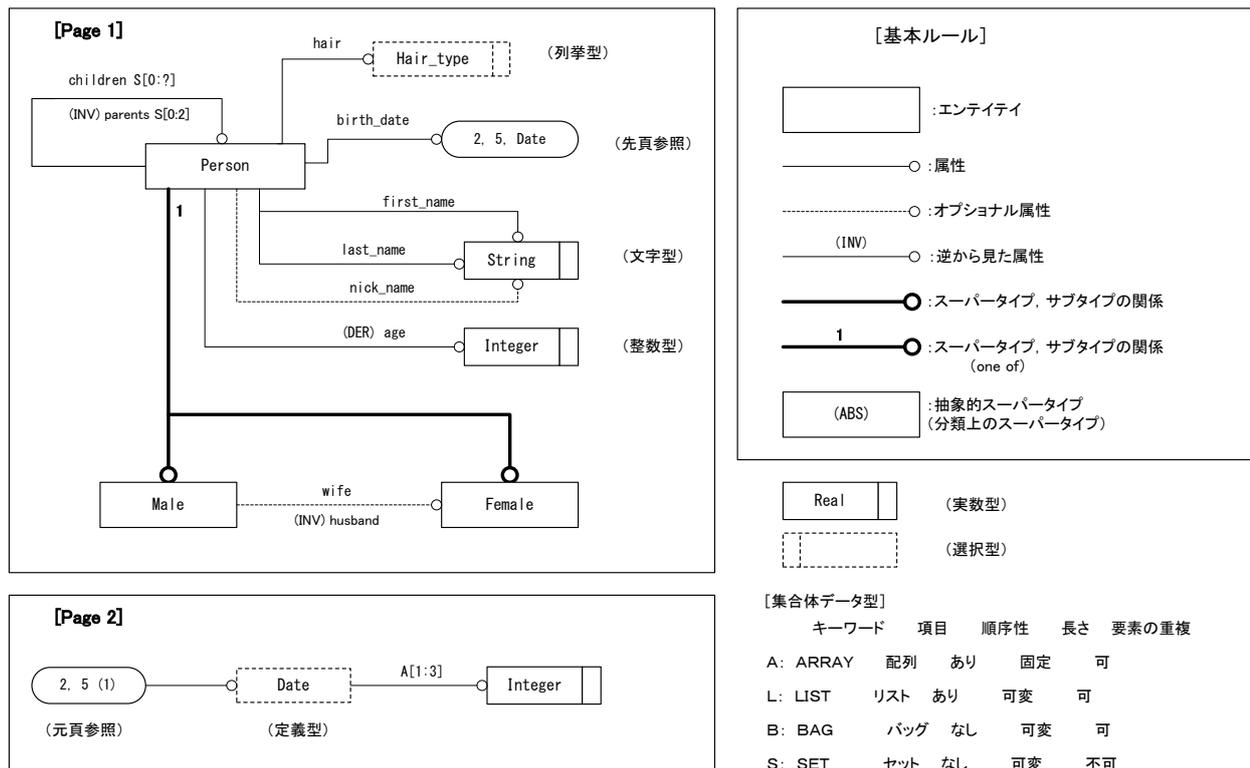


図 8. 3-2 EXPRESS_G の表記法

図 8. 3-3 では、メインのエンティティである Machine_tool の持つ属性を示している。つまり、Machine_tool は、devise_id、machine_class、main_specification、capability_profile、NC_controller_information、Environment、its_elements などの属性を持つ。

工作機械の構成要素は、Element_capability というエンティティに集約されており、それは、Feed_unit、Work_table、Spindle、Tool_handling_unit、Pallet、Coolant、Sensor、Chuck、Collet、Bar_feeder、Tailstock のどれかであることが示されている。

各属性の詳細な内容は、他のページで記述することもできる。例えば、NC_controller と Environmental_evaluation は、6 ページに記述されていることを図 8. 3-3 で示している。

図 2. 1-4 では、その NC_controller と Environmental_evaluation の属性の詳細を記述している。この内の Environmental_evaluation は、本委員会と密接な関係を持つエンティティであるが、その属性に関しては、これから詳細な議論を進めるところである。(図に示した属性は、まだ参考情報である。)

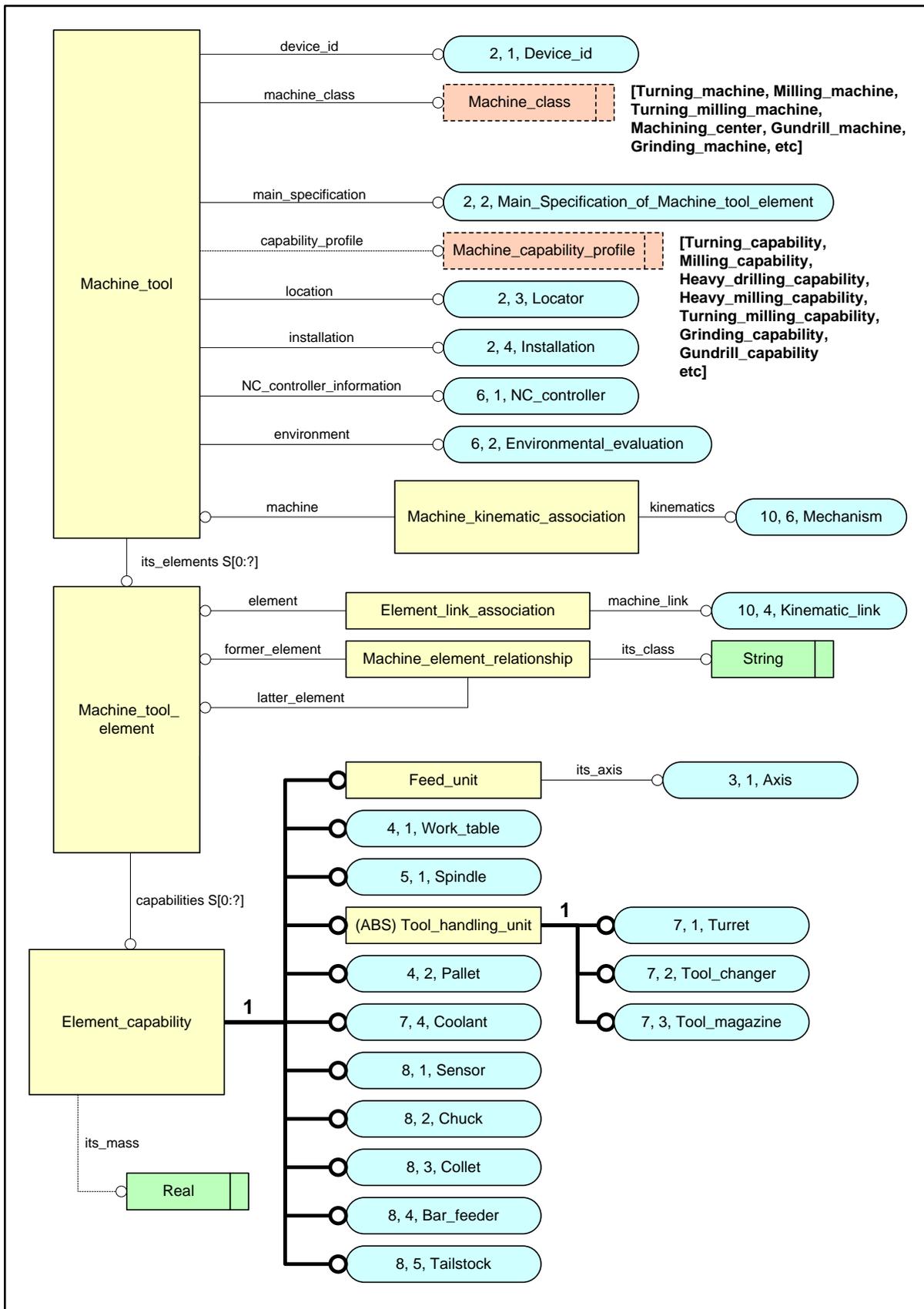


図 8. 3-3 工作機械データモデル「Machine_tool」他

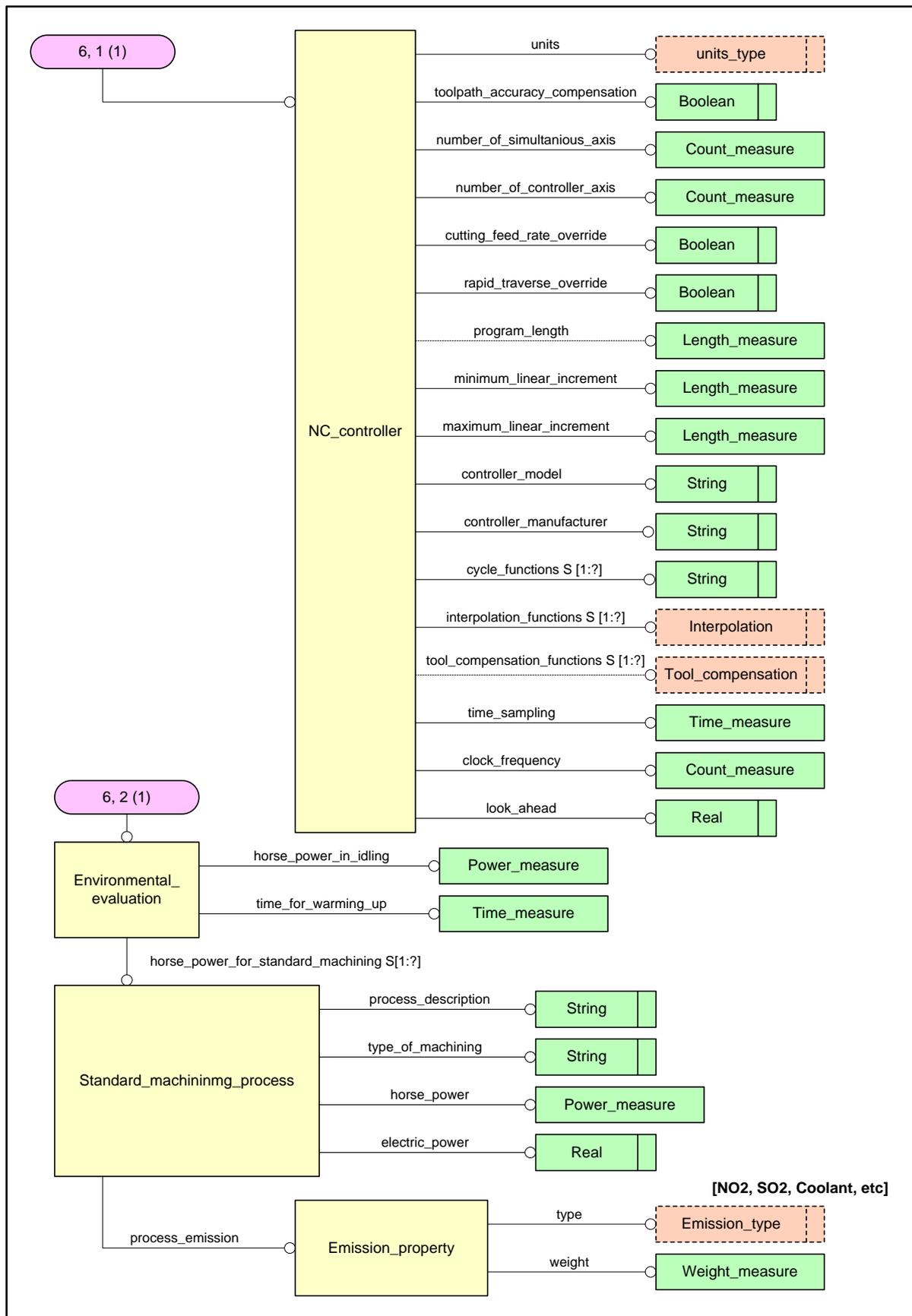


図 8. 3-4 工作機械データモデル「NC_controller」および「Environmental_evaluation」

9. 設備ライフサイクル環境影響と間接環境影響

「生産システム全ライフサイクルの環境影響を漏れなく評価する」ことが本標準の目標である。

この目標の達成のためには、第5章で紹介したように、図 5-1 (Figure 1) が図示する“製品のライフサイクルと生産システムのライフサイクル”の関係の理解のもとで、図 5-2 (Figure 2) が図示するように、下記のような“環境影響”事象に着目した評価作業が必要となる。

- 1) “生産システムの運用による製品の生産”における“直接環境影響”の測定・評価。
- 2) “生産システムの建設／再構成，廃棄／再利用／リサイクル”の各段階で発生する“設備ライフサイクル環境影響”の測定・評価とその“直接環境影響”への賦課、
- 3) “生産設備の保守，製造設備の待機運転、付帯設備の運転”における“生産システムの間接環境影響”の測定とその“直接環境影響”への配賦。

この「設備ライフサイクル環境影響の測定・評価とその賦課」、「間接環境影響の測定と配賦」に関しては、本規格の「§ 5.5 Evaluation and charge/allocation of facility life cycle impact and indirect impact」において下記のように記述されている。(添付 1.1 § 5.5 Evaluation and charge/allocation of facility life cycle impact and indirect impact 参照)

「図 5-2 (Figure 2) における単位プロセス」は、「『生産システムの環境影響』に着目した場合と、『製品の環境影響』に着目する場合の両方において、それぞれの視点からの環境影響の総和の整合性を確保する」という要件を見たすことを実現するために、考案されたものである。

「設備ライフサイクル環境影響と間接環境影響の測定・評価と賦課／配賦に関しては、Part 5 で規定する」。

又、「§5.5 の NOTE」において、「設備ライフサイクル環境影響と間接環境影響の測定・評価と賦課／配賦」の手法には、原価計算分野で蓄積・確立されてきた「間接費の測定・評価と配賦」に関する知見と手法を援用するものとする」としている。

上記「§5.5」の記述を受けて、「Part 5 は、如何にして『Part 1 § 5.5 の要請』を実現するか」という問題をたて、その問題について、以下のような“イメージ検討”を行った。

9. 1 Part 5 に対する要求事項と考慮すべき関連事項

“イメージ検討”を始めるにあたって、Part 5 に対する要求事項と、それに関連して考慮すべき事項を下記のように設定した。

(1) 要求事項

Part 5 が実現すべき要求事項として、下記の三つの要件を列挙した。

- 要件-1: 「設備の全ライフサイクルの環境影響」のデータを漏れなく収集し評価できること
(Part 4 への要求事項と共通)
- 要件-2: 「生産システムの環境影響の総和」と、当該生産システムで製造された「製品群が負うべき環境影響の総和」との整合性が確保できること
- 要件-3: ISO TC 207/IEC TC 111 等が設定した評価指標の算出基礎となる (実) データが提

供できること（Part 3、Part 4 への要求事項と共通）

（2）考慮すべき関連事項

また、上記要求事項の実現に当たって、Part 5 が考慮を要する関連事項として、実現すべき「相互運用（Interoperability）の確保」を、下記のように列挙した。

－ 現行の「原価計算手法」との相互運用（Interoperability）が確保できること

－ 運用中の現行システムとの相互運用（Interoperability）が確保できること

（Part 4 での関連事項と共通する）

- ・ 生産設備／生産機械の制御システム
- ・ 工場内物流トラッキングシステム、発生原価データ収集システム
- ・ Shop Floor 実行管理システム

9. 2 環境影響の“演算スキーム”の検討（検討－1）

（1）本検討のねらい

本検討のねらいは、上記 9.1 に挙げた要請を実現するための「環境影響の“演算スキーム”」について、“設備の全ライフサイクル”と“製品の生産”における環境影響に着目して、“演算スキーム”の全体像を明らかにすること、であるとした。

（2）“演算スキーム”の概要

“演算スキーム”は、下記に列挙する事項を実施するものである。

1) “生産システムの運用による製品の生産”における“直接環境影響”の測定・評価。

これと並んで、

2) “生産システムの建設／再構成、廃棄／再利用／リサイクル”の各段階で発生する“設備ライフサイクル環境影響”と、

3) “生産設備の保守、製造設備の待機運転、付帯設備の運転”における“生産システムの間接環境影響”の測定・評価。

更に、

4) 2) と 3) の結果を“直接環境影響”に賦課／配賦する。

この結果をもとにして、

5) 生産システムとしての集計、と、

6) 生産した個々の製品としての環境影響の集計、を行う。

（3）図 9-1 の見方

図 9-1 に「生産システムにおける環境影響の“演算スキーム”」を図示した。

－ 横軸の“設備の全ライフサイクル”と“製品生産”の諸活動は、図 5-4 (Figure-A.1) と図 5-5 (Figure-A.2) に対応させている。（添付 1.1 Annex A 参照）

－ 縦軸には、製品、生産設備、付帯設備（ユーティリティ）等、生産システムの構成要素を列挙した。

- － “演算スキーム” としては、
 - ・ 縦軸の各項目に対応し、且つ
 - ・ 横軸の諸活動に対応する “演算関連事項”
 を、時系列上に関係付けた。

(4) “演算スキーム” の解説

下記の手順により、「要件-1：設備の全ライフサイクルの環境影響を漏れなく収集し、評価する」を実現する。(図 9-1 と表 9-1 の第一欄 (左の欄) 参照)

－設備建設環境影響の測定・評価

- ・ ①：設備建設環境影響 (狭義) を測定・評価。
- ・ ②：再利用／廃棄設備の残存環境影響を測定・評価。

－設備建設環境影響の設備運転に賦課するための「予定単価」の設定

- ・ A：製造設備の設備建設環境影響 (広義 = ①+②) を、製造設備の設備運転環境影響 (⑧) に賦課するための「予定単価」を設定。
- ・ B：付帯設備の設備建設環境影響 (広義 = ①+②) を、付帯設備の設備運転環境影響 (④) に賦課するための「予定単価」を設定。

－製品生産における環境影響 (間接環境影響、直接環境影響) の測定

- ・ ③：付帯設備の保守環境影響を測定。
- ・ ④：付帯設備の運転環境影響を測定。
- ・ ⑤：製造設備の保守環境影響、⑥：製造設備の待機環境影響を測定 (⑦ = ⑤+⑥)。
- ・ ⑧：製造設備の運転環境影響 (直接環境影響) を測定。

－設備建設環境影響 (広義) の運転環境影響への賦課

- ・ C：付帯設備の設備建設環境影響 (広義) (B) を、付帯設備の運転環境影響 (④) に賦課。
- ・ D：製造設備の設備建設環境影響 (広義) (A) を、製造設備の運転環境影響 (⑧) に賦課。

－間接環境影響の運転環境影響への配賦

- ・ E：付帯設備の保守環境影響 (③) を、付帯設備の運転環境影響 (④) に配賦
⇒ F：付帯設備の環境影響 (④+C の結果+E の結果)。
- ・ G：製造設備の間接環境影響 (⑦) を、製造設備の運転環境影響 (⑧) に配賦。
- ・ H：付帯設備環境影響 (F) を、製造設備の運転環境影響 (⑧) に配賦
⇒ I：生産システム環境影響 (⑧+D の結果+G の結果+H の結果)。

上記手順の結果得られた基本データを用いて、下記を行う。

- －J：各階層の生産システムの環境影響を集計する。
- －K：個別製品の環境影響を集計する。

又、適宜、下記による補正を行う。

- L : (期末／期中における)「原価差額」の事実確認・評価と(事後)処置

- ・「原価差額」は、受注／生産計画の変動に伴って、現実の操業度が、「予定単価」設定時の計画操業度と乖離する、ことにより発生する。発生した「原価差額」に対処するために、期末／期中には、発生した「原価差額」の調整・精算が必要。

以上の手順により「要件-2:『生産システムの環境影響の総和』と、当該生産システムで製造された『製品群が負うべき環境影響の総和』との整合性の確保」が実現できる、ものと考えていることができる。

9.3 環境影響の“演算スキーム”において参考となる(適用可能と思われる)「原価計算の考え方」の検討(検討-2)

次に、「環境影響の“演算スキーム”において適用可能と思われる」、従って「参考となる『原価計算の考え方』」を検討した。

(1) 本検討のねらい

まず、「原価計算の考え方」が、「設備のライフサイクルを通じた環境影響を評価」する評価法の必要事項との対応性を確認するために、“演算スキーム”上の各“演算関連事項”に対して適用可能と思われる、「原価計算の考え方」を対応付けた。(表 9-1 の第二欄(右の欄)参照)

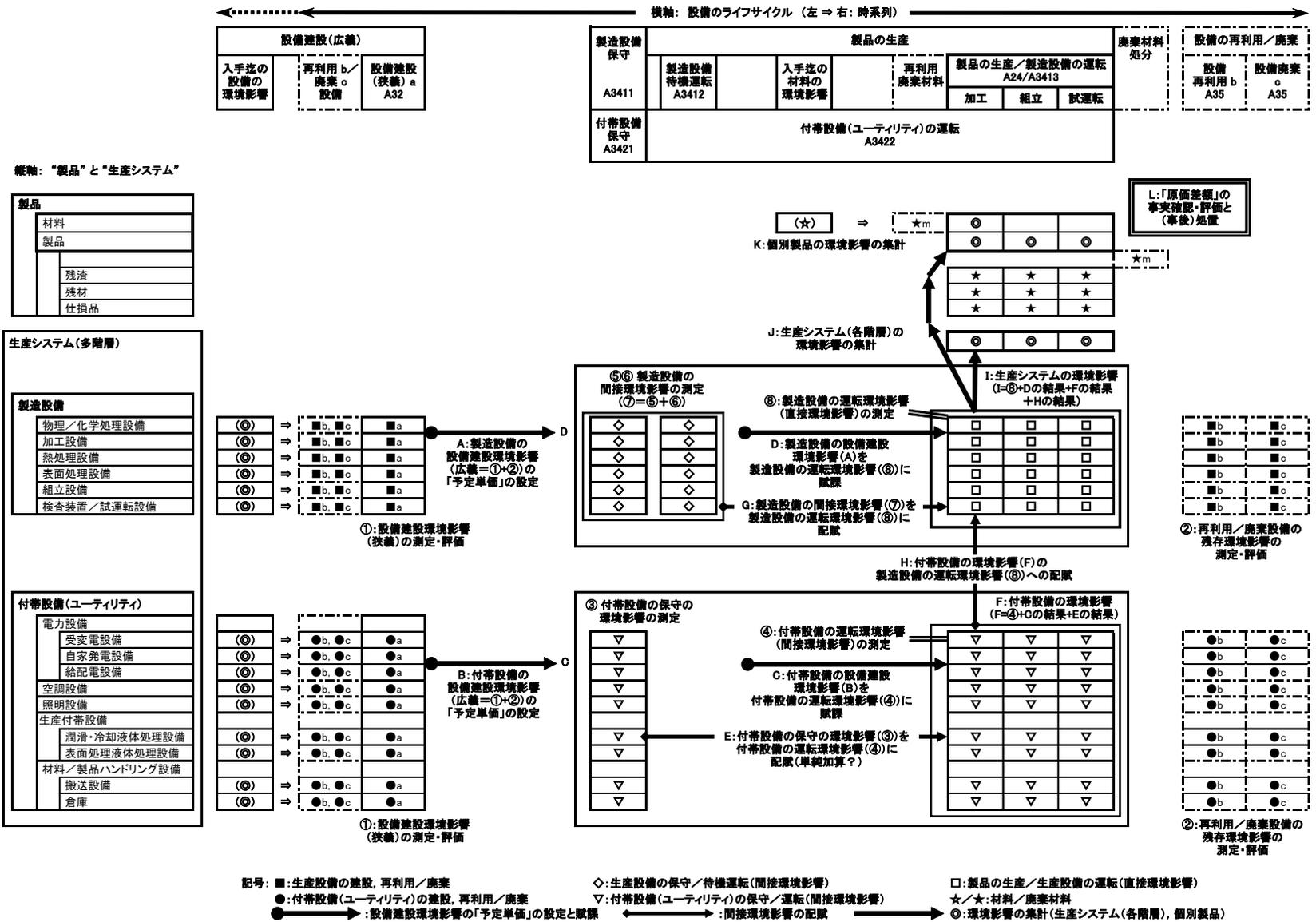
(2) 「原価計算の考え方」を参考にする理由

下記の理由により、環境影響の“演算スキーム”の検討に当たって「原価計算の考え方」を参考にすることが妥当である、と考える。

理由-1: 表 9-1 の第一欄(左の欄)で見たように、「原価計算の考え方」が、「設備のライフサイクルを通じた環境影響を評価」する評価法の必要事項との対応性が大変よいので、大いに参考になる。

理由-2: 「原価計算」手法には、多様な製造・販売スタイルを持つ製造業の各種製品群に対応してきた実績を持ち、柔軟な対応策が蓄積されている。

理由-3: 「原価計算」「工業簿記」は、産業界で広く使われている。「原価計算」と“環境評価手法”との対応／継承関係、同一／差異を明確にしておくことは、産業界での“環境評価手法”の普及に有効であり、かつ不可欠である。



9-1 生産システムにおける環境影響の“演算スキーム”

表 9-1 環境影響の“演算スキーム”において参考となる（適用可能と思われる）
「原価計算の考え方」

“生産システムにおける環境影響の演算スキーム”上の項目	参考となる(適用可能と思われる)「原価計算の考え方」
設備建設環境影響(広義)の評価	「設備の(取得/残存)価値」の評価
①:設備建設環境影響(狭義)の測定・評価(製造設備,付帯設備)	「設備の取得価値」の評価方式
②:再利用/廃棄設備の残存環境影響の測定・評価(製造設備,付帯設備)	「設備の残存価値」の評価方式 (Q1:再利用/廃棄設備の取り扱い?)
①+②:設備建設環境影響(広義=①+②)	
設備建設環境影響(広義=①+②)を,設備運転に賦課するための「予定単価」の設定 (考え方:設備建設の環境影響(広義)を,設備運転にて「償却」)	「生産設備の(取得価値の)減価償却費を製造原価に載せて償却するための「予定単価」の設定
A:製造設備の建設環境影響(広義)を生産設備運転に賦課する「予定単価」の設定	「生産設備の減価償却費を製造原価に載せて償却するための「予定単価」
B:付帯設備の建設環境影響(広義)を付帯設備運転に賦課する「予定単価」の設定	(Q2:原価計算では,付帯設備の減価償却は???)
製品生産に係わる環境影響(直接環境影響/間接環境影響)の測定	「製品生産に係わる『間接費』,『直接原価』」の測定
付帯設備の保守・運転における環境影響の測定	「製品生産に係わる『間接費』」の測定
③:付帯設備の保守(A3421)環境影響(間接環境影響)の測定	(Q3:原価計算では対象外?)
④:付帯設備の運転(A3422)環境影響(間接環境影響)の測定	(Q2:原価計算では,付帯設備の減価償却は???)
製造設備の保守・待機運転・運転における環境影響の測定	-----
⑤:製造設備の保守(A3411)環境影響(間接環境影響)の測定	(Q4:原価計算では対象外?)
⑥:製造設備の待機運転(A3412)環境影響(間接環境影響)の測定	(Q4:原価計算では対象外?)
⑦=製造設備の保守(A3411)環境影響(⑤)+待機運転(A3412)環境影響(⑥)	
⑧:生産のための製造設備の運転(A3413)環境影響(直接環境影響)の測定	「製品生産に係わる『直接原価』」の測定
製造設備/付帯設備の建設環境影響(広義)を製造設備/付帯設備の設備運転に賦課	「生産設備の(取得/残存)価値の,製品生産への賦課
G:付帯設備建設環境影響(広義)(B)を付帯設備運転(A3422)環境影響(④)に賦課	(Q2:原価計算では,付帯設備の減価償却は???)
D:製造設備建設環境影響(広義)(A)を製造設備運転(A3413)環境影響(⑧)に賦課	「製造設備の償却費を製造原価に載せて償却する」
間接環境影響を製造設備/付帯設備の設備運転に配賦	「生産システムにおける『間接費』」の配賦
E:付帯設備の保守環境影響(③)を付帯設備の運転環境影響(④)に配賦 (単純加算?) ⇒ F:付帯設備の環境影響(④+Cの結果+Eの結果)	(Q2:原価計算では,付帯設備の減価償却は???)
G:製造設備の間接環境影響(⑦)を製造設備の運転環境影響(⑧)に配賦	(Q4:原価計算では対象外?)
H:付帯設備の環境影響(F)を製造設備の運転環境影響(⑧)に配賦 ⇒ I:生産システム環境影響(⑧+Dの結果+Gの結果+Hの結果)	
各階層の生産システムの環境影響,個別製品の環境影響の集計	個別製品への製造原価の賦課
J:各階層の生産システムの環境影響を集計	
K:個別製品の環境影響を集計	個別製品への製造原価の賦課
L:(期末/期中における)「原価差額」の事実確認・評価と(事後)処理	(期末/期中における)「原価差額」の事実確認・評価と(事後)処理の考え方と処理方式

9. 4 今後の要検討事項/要確認事項

(1) “演算スキーム”についての要検討事項

上記の9.2と9.3の“イメージ検討”を受けて、今後引き続き、下記事項についての検討が必要である、と考えている。(図9-1と表9-1の第一欄(左の欄)参照)

- 要件-3に対応すべく、設備運転時の環境影響の測定項目(物理量、化学物質、「運転時間」)を確定する

- ・ ①②③④⑤⑥⑧

- 上記9.3に関連して、下記項目の検討が必要である。

- ・ ①:設備建設環境影響(狭義)の測定・評価の考え方
- ・ ②:再利用/廃棄設備の残存環境影響の測定・評価と「賦課」の考え方
- ・ 設備建設環境影響(広義)を設備運転環境影響に「賦課」するための
 - A, B:設備建設環境影響(広義)の「予定単価」の設定の考え方
 - C, D:設備運転環境影響への「賦課」の考え方
 - ・ E(⇒I), G, H(⇒J):間接環境影響の「配賦」の考え方

・「予定単価」の設定：「賦課」／「配賦」の基準値としては、設備運転時のどの事象を採用するのが妥当なのか？

- －消費エネルギー（電力、熱量）、又は
- －稼働時間

(2) 「原価計算での取り扱い」についての要確認事項

上記の9.2と9.3の“イメージ検討”を受けて、上記(1)の検討とともに、「原価計算での取り扱い」に関して、下記項目についての確認が必要である、と考えている。(表9-1の第二欄(右の欄)参照)

Q1：再利用／廃棄設備の「設備の残存価値」は、原価計算ではどう取り扱っているか？

- ・ 残存価値の評価法
- ・ 原価計算処理での取り扱い？

Q2：「付帯設備の減価償却費」は、原価計算ではどう取り扱っているか？

- ・ 付帯設備の取得原価の評価法
- ・ 付帯設備の運転 (A3422)

Q3：下記は、原価計算では対象外か？ 又は、原価計算ではどう取り扱っているか？

- ・ 付帯設備の保守 (A3421)

Q4：下記は、原価計算では対象外か？ 又は、原価計算ではどう取り扱っているか？

- ・ 生産設備の保守 (A3411)
- ・ 生産設備の待機運転 (A4312)

10. おわりに

生産システムの環境評価手法の国際標準化を目指し、基本的な目的と適用の範囲を議論しつつ、国際標準化案を作成した。この素案を NWI として ISO/TC184/SC5 へ提案し承認されて、国際的な審議が始まろうとしている。この NWI には、ISO 20140 という ISO 番号が与えられた。

この ISO 素案は、Automation systems and integration -- Environmental and Energy Efficiency Evaluation Method for Manufacturing Systems: Part 1: Overview and general principles と名づけられていることからわかるように、規格化の目的と範囲、基本的な考え方を規定しているのみで、具体的な技術内容の標準化は今後の課題である。今後規定すべき具体的な事柄は Part 2 ~ Part 5 に記述されることになっている。Part 2: Guidelines for Environmental Evaluation Procedures および、Part 3: Environmental Evaluation Index Model は、ISO 20140 の中核となる部分であり、具体的に生産システムの環境評価を行うための手法を明確に記述する予定である。この部分の標準化は、環境評価の専門家の協力を得て、生産システムの専門家によって推進されるべきである。Part 4: Environmental Evaluation Data Model は、生産システムの環境評価に関連する様々なデータモデルを規定する。一般的なモデルはすでに多く存在するので、それらとの整合を取りつつ、類似のモデルの重複規定を避けなければならない。この作業のためには、多くの関連学会、工業会、標準化団体との協力が必須である。Part 5: Facility Life Cycle Impact and Indirect Impact Model は、生産システムの設備ライフサイクルや工場管理などの間接的な環境影響に関するモデルを扱おうとするもので、従来は類似のモデル化は少なく、今後の多くの検討が望まれている。

ISO 20140 の全体は、かなり大きな規格になると予想される。その全てを明確にして同時に標準化作業を進めることは、作業に必要な工数を考えると実際的ではないと考えられる。まず、汎用的で中核となる Part 2/ Part 3 の規格化に注力し、平行して、機械加工システムなど比較的整理の進んでいる特定の生産システム分野を識別して、Part 4 のデータモデルの整備をすすめることになると思われる。このような特定分野の生産システムで評価法の具体的内容や必要なデータモデルを精査・評価して、その実用的な有効性を確認し、さらに対象生産システム分野を拡大していく。この過程では、規格の主な使用者である生産システムの使用者および生産システムの提供者の参画を得て、産業界における現実の標準化要求に依拠していくことが最も重要なことである。

産業界からは、標準化の利益が見えにくく、標準化作業への参加の動機付けができないとの意見が多い。この生産システム環境評価標準についても同様であろう。標準化ありきではなく、製造業、とりわけ日本の製造業の将来にとって重要な課題の解決のために必要な技術開発の一つとして、この生産システム環境評価標準も位置づけられなければならない。

冒頭に議論したように、製造業のグローバル化が進展し、我が国製造業にとってもグローバル化、とりわけアジア地域での展開が重要となっている。競争力強化やリスク低減の観点から、適切な資源循環や環境負荷低減、エネルギー効率向上は重要な課題である。個々の企業の技術開発努力とともに、各企業の環境負荷低減への努力や成果が明示化されることは有効であり、そのためには、標準化された環境評価手法が必要となる。本報告書で提案する生産システムの環境評価標準も、そのような状況で有用であることを目指している。

持続可能な生産への技術開発については、一般に我が国の製造業は世界をリードしているとい

われてきた。しかしながら、近年、欧州また米国においても、地球温暖化防止の大きな政策的方向付けにもよって、持続可能な製造業へ向けての努力が加速されている。とりわけ欧州は製造技術の国際展開や標準化に熱心であり、アジア地域への影響力も大きくなっていると思われる。我が国も国際的な協調を保ちつつ、我が国の進んだ製造技術を基に国際標準化に貢献していくことが重要である。

インバース・マニュファクチャリング
フォーラム調査研究報告書

発行年月 平成22年3月
発行者 財団法人 製造科学技術センター
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-11-15
SVAX TT ビル 3F
電話03-5472-2561

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ
発行者の許可を受けて下さい。

