

平成 1 8 年度  
生産システムの環境および設備保全活動の国際標準化  
報告書

平成 1 9 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会  
財団法人 製造科学技術センター

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://keirin.jp/>



## 序

我が国では、標準化の重要性は以前から十分認識されており、特に機械工業においてはきわめて精巧な規格が制定されてきています。また経済の国際化に伴い、世界的規模で規格の国際共通化が進められております。

しかし、我が国の規格の中には独自で制定したものもあり、国際化の視点での見直しを行う必要性が高まっています。このため弊会では経済産業省の委託を受けて、従来から機械工業に係わる国内規格の国際規格との整合化事業に取り組んで参りました。

近年、国際標準化にも新しい動きが起こり、製品を中心とした規格に加え、品質や環境などをはじめとするマネジメントに係わる規格などが制定されてきております。弊会においてもこの動きに対応し、機械安全、環境保全など機械工業におけるマネジメントにかかわる規格や、機械工業の横断的な規格についての取り組みを強化しているところです。

具体的には、国内規格と世界標準との整合を目指した諸活動、機械安全規格整備とリスクアセスメント実施のガイド作成、各専門分野の機関・団体の協力による機種別・課題別標準化の推進などです。これらの事業成果は、日本発の国際規格への提案や国際規格と整合した日本工業規格(JIS)、団体規格の早期制定などとなって実を結ぶものであります。

こうした背景に鑑み、弊会では機械工業の標準化推進のテーマの一つとして財団法人 製造科学技術センターに「生産システムの環境および設備保全活動の国際標準化」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成19年3月

社団法人 日本機械工業連合会  
会 長 金 井 務

## はしがき

東京では、2006年の最高気温を観測してから、現在まで降雪がありません。これまでに最も遅い初雪の記録は2月10日ですが、この冬、この記録を更新しました。

地球温暖化が懸念されて久しく、日本でも京都議定書に沿って温室効果ガスの削減目標を定めています。当面の目標としては、2008年から2012年の5年間で、基準年の6%削減としており、様々な対策が提案されています。しかし、温室効果ガスの削減目標はこれで終わるのではなく、地球の温暖化を防ぐためには、その後も削減活動を続けて行かなければなりません。

これまで、日本の製造業は資源やエネルギーの使用を抑えて付加価値の高い製品を作ってきました。これからはそれ以上に、生産設備、システムを効率良く稼働させて環境負荷を極力少なくして、高付加価値の製品を作って行かなくてはなりません。また、我が国には、環境先進国として、優れた環境技術で国際貢献をすることが要求されています。

とくに、機械産業においては、生産性向上や製品の品質向上のみならず、「環境負荷低減」や、生産現場の安全性を確保するための「設備保全」の概念を組み込んだ生産システムの実現が欠かせないものと考えられ、ISO、IECなどの活動においても、環境、資源の再利用、安全、保全などに配慮した生産システムモデル構築への関心が高まっています。

当センターが、社団法人日本機械工業連合会より委託を受けて実施している「生産システムの環境および設備保全活動の国際標準化」は、このような状況を背景にして、FA国際標準化に我が国のニーズと諸外国の我が国への期待を反映させることを目的にしたものであります。具体的には、①生産ラインにおける環境負荷を評価する指標の選定及びその指標の算定方式と、②製造業の実態を反映させながら、安全性の確保に配慮した設備保全手法を検討して、国際標準化を目指すことであり、本報告書にはこれらの検討結果が記載されています。

おわりに、本調査研究を実施するにあたって、経済産業省、社団法人日本機械工業連合会のご指導、ご支援の感謝し、調査研究にご協力いただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。

平成19年3月

財団法人 製造科学技術センター  
理事長 庄山 悦彦

## 事業運営組織

(1) 生産ラインの環境負荷評価指標の標準化のための調査検討

本事業は次の委員会を設けて実施した。

生産ライン環境負荷評価検討委員会 (順不同、敬称略)

委員長	佐野 利男	千葉工業大学	社会システム科学部	学部長
委員	斎藤 義夫	東京工業大学	大学院 理工学研究科	
			機械制御システム専攻	教授
委員	川井 謙一	横浜国立大学	大学院 工学研究院	機能の創成部門
			固体の機能分野	教授
委員	服部 光郎	独立行政法人	産業技術総合研究所	
			デジタルものづくり研究センター	副研究センター長
委員	三島 望	独立行政法人	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	小林 正彦	社団法人	日本工作機械工業会	技術部 部長
委員	浅岡 健	(株)アクロス・コンサルタンツ	環境戦略事業部	事業部長
事務局	高橋慎治	財団法人	製造科学技術センター	生産環境室 主席研究員

(2) 設備保全のための標準化検討

本事業は次の委員会を設けて実施した。

設備保全のための標準化検討委員会

(順不同、敬称略)

委員長	高田 祥三	早稲田大学理工学部経営システム工学科	教授
委員	福田 好朗	法政大学工学部経営工学科	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
委員	浅井 真生雄	松下電工(株) 制御機器本部事業戦略規格室	副参事
委員	板倉 浩	横河電機(株) I A 事業部グローバルサービス本部商品開発部	部長
委員	遠藤 英夫	オムロン(株) I A B カンパニー企画室経営企画部	主幹
委員	大井 忠	三菱電機(株) 先端技術総合研究所AMプロジェクト維持管理システム	グループマネージャー
委員	塩谷 景一	三菱電機(株) 先端技術総合研究所 (文部科学省 特別研究員)	
委員	外山 久雄	オムロン(株) I A B カンパニー技術統轄センター企画室	主幹
事務局	外山 良成	財団法人 製造科学技術センター	国際標準部 部長
事務局	村田 和子	財団法人 製造科学技術センター	国際標準部 課長代理

# 生産システムの環境および設備保全活動の国際標準化

## 目次

### 第1部 生産ラインの環境負荷評価指標の標準化のための調査検討

1. はじめに	I - 1
2. 生産ラインの環境負荷評価の考え方と標準化	I - 2
2.1 一般的な環境評価手法の整理	I - 2
2.2 生産ラインへの適用可能性検討	I - 11
2.3 標準化の可能性	I - 26
3. 生産ラインの環境負荷評価	I - 28
3.1 生産ラインとしての環境負荷	I - 28
3.2 切削加工での環境負荷評価	I - 38
3.3 鍛造、鋳造プロセスでの環境負荷評価	I - 50
3.4 階層構造を有する生産ラインの環境負荷の算定	I - 66
4. 生産ラインとしての環境負荷評価の事例	I - 77
4.1 生産ライン環境負荷評価用ツール	I - 77
4.2 工場の環境負荷評価事例	I - 83
5. おわりに	I - 91

### 第2部 設備保全のための標準化検討

1. 概要	II - 1
2. 設備保全ならびに安全・保全情報の管理に関する標準化の動向	II - 2
2.1 設備保全分野での標準化の必要性	II - 2
2.2 設備保全ならびに安全・保全情報の管理に関する標準化活動の現状	II - 4
2.3 MIMOSAにおける標準化活動の概要	II - 7
3. 国際会議報告	II - 16
3.1 WG7東京会議報告	II - 16
3.2 WG7ディトナ会議報告	II - 32
4. 設備保全に関する標準原案	II - 49
4.1 ISO/WD-18435の概要	II - 49
4.2 ADID (Application Domain Integration Diagram)	II - 54
4.3 ソフトウェア・メンテナンスのユースケース	II - 61
4.4 水処理のユースケース (Annex Dの解説)	II - 70
5. まとめ	II - 77

## 第1部

生産ラインの環境負荷評価指標の標準化のための調査検討

## 1. はじめに

機械産業においては、生産性向上や製品の品質向上のみならず、「環境負荷低減」や生産現場の安全性を確保するための「設備保全」の概念を組み込んだ生産システムの実現が今後欠かせないものと考えられ、ISO,IECなどの活動においても、環境、資源の再利用、安全、保全などに配慮した生産システムモデル構築への関心が高まっている。

生産システムによって生じる環境負荷を低減させるには、環境負荷自体を評価することが必要である。またそのためには、個々の生産機械の環境性能から、それらの集合体として機能する生産システム、さらにその結果としての生産活動全体が社会に与える環境影響について、環境負荷の発生や伝播の因果関係を定量的に把握して個別の環境負荷低減活動が社会全体の環境にどのような影響を及ぼすかを明確にしていかなければならない。またこれら活動により、環境負荷が全体としてどのようなようになったのかをきちんと評価することが求められてくる。このような評価は、現存する生産システムの評価に使われるだけでなく、新たな生産システムを設計する場合の事前評価にも使われることになるが、それぞれの生産システムの評価に際して、個別の手法が使われるのではなく、手順や評価の基準化等が標準化されていることが望ましい。

本調査研究は、これらのニーズに対応するため、生産システムの環境影響評価手法の体系化・標準化に関してどのようなことが考えられるかを調査検討したものである。本報告書では、まず、環境評価手法の考え方と一般的な手法を調べて、生産ラインの環境評価について具体的な手法、事例を示し、今後の展望を記した。

環境評価手法が体系化・標準化されることにより、生産活動における環境配慮を通常業務として実施することができるようになり、環境負荷低減の一層の進展が期待される。



## 2. 生産ラインの環境評価手法の考え方と標準化

### 2.1 一般的な環境評価手法の整理

#### 2.1.1 一般的な環境評価手法の概要及び特性

生産ラインの評価にあたっては、既存の製品、システム等を対象とした環境負荷評価手法を応用していくことが考えられる。評価手法の開発にあたっては、これらの中より生産サイドで利用しやすく、妥当性ある結果が期待されるものを選定していく。

以下に主要な環境負荷評価手法を整理する。

#### (1)LCA

ライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment:LCA)とは、製品やシステムがそのライフサイクル全体において環境に与える影響を分析、評価する手法である。広義では、製品等のライフサイクル全体に渡る環境影響を全てを定量評価する手法は全てLCAとなるが、狭義のLCAは、国際標準化機構による規格 (ISO14040 シリーズ) に準拠するものをいう。以下、特に断りのないかぎり、LCAとはISO14040 シリーズに準拠した狭義のLCAをいう。

ISO 14040 (JIS Q 14040)	環境マネジメントライフサイクルアセスメント-原則及び枠組み
ISO 14041 (JIS Q 14041)	環境マネジメントライフサイクルアセスメント-目的及び調査範囲の設定並びにインベントリ分析
ISO 14042 (JIS Q 14042)	環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-影響評価
ISO 14043 (JIS Q 14043)	環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-解釈

ISOにより規定されたLCAの基本的な実施手順は以下の4段階である。各段階の間で相互にフィードバックを行いながら進めるものとしている。

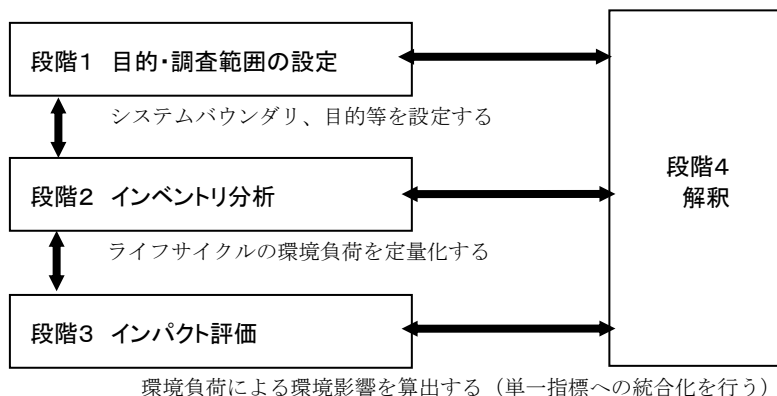


図 2.1.1 LCAの基本的な実施手順

まず第一段階として、目的の設定及び調査対象範囲であるシステムバウンダリの決定を行う。

第二段階では、このシステムバウンダリへのインプット、アウトプットについて把握し、環境負荷として整理・集計してインベントリを作成する。

第三段階ではこのインベントリが気候変動、生態系、人体健康、資源等にどのような影響を及ぼすかを定量化する。また、これらの様々な環境影響指標を、わかりやすさ等の観点から、これを何らかの計算により単一の指標に統合することも可能である。ただし ISO では、LCA の統合化手法は価値観に依存するものであり自然科学を根拠とするものではないことから、一般に公開することは控えるべきものであるとしている。

第四段階である解釈では、得られた指標を客観的に評価し、結果の信頼性を検証する。

一般には、完全な LCA ではなく、インベントリ分析までを行う LCI もしばしば行われている。また、インパクトとして地球温暖化のみを評価するような限定的な LCA も多い。

LCA は、評価ソフトウェアが国内外のコンサルティング企業、ソフト開発企業等から販売されており、実用が進みつつある。

主要な LCA 手法（統合化手法）の例としては以下のものがある。

#### ・エコインディケーター99

エコインディケーター99 はオランダ PRe-Consultants 社によって開発された統合化手法であり、インパクトカテゴリを a) 人体健康、b) 生態系、c) 資源の 3 つのエンドポイントにより評価するものである。

人体健康の評価には、物質の排出がどれだけ人の健康を損なう、あるいは寿命を短縮するかという指標 DALY(Disability adjusted life year)を用いる。

生態系の評価には、物質の排出がどれだけ生態系の種多様性を減少させるかという指標 PDF(Potentially disappeared fraction)を用いる。

資源の評価には、将来の資源枯渇に際して、現在に比べて資源採取に要するエネルギーがどれだけ増加するかを MJ により表現する。

これらのエンドポイント間の重み付けは本来は専門家の協議等によって定められるものとしているが、初期値として、Hierarchist、Egalitarian、Individualist という 3 種類の重み付け係数も設定されている。

#### ・LIME

LIME(Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) は独立行政法人産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターの提唱する統合手法である。

LIME では、特性化インパクトカテゴリとして地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化、富栄養化、光化学オキシダント、都市域大気汚染、有害化学物質、生態毒性、土地利用、非生物系資源消費、廃棄物の11項目を定義している。これらのインパクトを算出したのち、それぞれの値から、人間健康(単位:DALY)、社会資産(単位:円)、生物多様性(単位:EINES,生物種絶滅種数期待値)、植物生産(NPPloss:純一次生産量損失量)の4つのエンドポイントに統合化を行う。この統合化には、コンジョイント分析や AHP(Analytic Hierarchy Process)を用いた重み付け係数が用いられている。

## (2) エコ・エフィシェンシー評価

エコ・エフィシェンシーは、生活水準を損なうことなく持続可能な社会を構築するために、増大する人口と減少する資源という矛盾を解決するための基本的な考え方として、WBCSD(世界環境経済人会議)により 1997 年に提案された。エコ・エフィシェンシーとは、製品やサービス、社会等により発生する「環境負荷」を減少させつつもたらされる「効用」を増大させることで「環境効率」を向上させていく概念である。具体的には、図 2.1.2 の9種類(うち二つは早稲田大学永田勝也教授の追加による)の要素により環境効率が構成されるものとしている。



図 2.1.2 エコ・エフィシェンシーの構成要素

エコ・エフィシェンシー評価は、図 2.1.2 の構成要素を定量化することにより製品やサービス等の持続性を評価するものである。主要な評価手法としては、わが国の家電メーカー等で主に用いられているファクター X、早稲田大学理工学部永田研究室・財団法人製造科学技術センター・株式会社イーエムエスアイの開発による E 2-P A (Eco Efficiency

Potential Assesment) がある。

エコ・エフィシエンシー評価の特徴としては、環境負荷というマイナス側面だけでなく効用というプラス面も評価されることから、製品開発者にとってのモチベーションとなりやすいこと、異種製品間での比較が行いやすいことが挙げられる。

#### ・ファクターX

ファクターXは、製品の消費資源や有害物質発生量等と、製品の性能等の比率を環境効率とし、過去の製品に対する改善度により指標化する。2006年11月に電機5社（東芝、日立製作所、富士通、松下電器産業、三菱電機）の間で4品目（エアコン、冷蔵庫、ランプ、照明器具）を対象としての標準化がなされ、ガイドラインが制定された、

ファクターXの基本的な概念は以下のとおりである。

環境効率＝製品の価値／環境への影響

ファクター＝評価製品の環境効率／基準年度（2000年）の同種製品の環境効率

現状のガイドラインでは、環境への影響とは、温室効果ガスの総排出量のみとなっている。また、製品の価値は製品の主要機能・性能、あるいは基本機能の値と標準使用期間の積、等としており、対象4機種での定義は以下のとおりである。

	機能(単位)	標準使用期間
エアコン	冷暖房能力(kW)	10年(補修用性能部品の保有期間+1年)
冷蔵庫	調整内容積(リットル)	10年(補修用性能部品の保有期間+1年)
ランプ	全光束(ルーメン)	一般家庭の通常使用下で標準的に稼働可能な時間(h)
照明器具	全光束(ルーメン)	10年(補修用性能部品の保有期間+1年)

ただし、評価手法の詳細は開示されておらず、また4品目以外に定められた一般的手法もないため、メーカー以外の第三者による利用は現在のところ難しい状況にある。

#### ・E2-PA

E2-PAは、持続可能性（サステナビリティ）の観点から、環境負荷を単位「資源強度」に換算・統合して環境効率を算出する手法である。資源強度とは、製品やシステム等に直接・間接に投入される、あるいは回収・節約される資源（物質、エネルギー等）の量を可採年数等で重み付けすることにより指標化したものである。この統合化により、物質、エネルギー、有害性、リサイクル性といった異なる要素を客観的な重み付けでの統合化が可能となるものである。

E2-PAでは、出口側の環境負荷（大気汚染、水質汚濁、有害物質放出等）はポテンシャルとして投入側の環境負荷に含まれるため省略可能としている。メーカー等の利用者にとって、投入側の要素のみで評価可能であるため必要なデータが入手しやすいことがメリットとなる。

環境効率の分子にあたる効用については現状では指定されていないが、製品やシステムの本質的な性能ないしサービスを、使用期間の全体に渡る量として定量化するものとしている。

E2-PA の評価結果としては、環境負荷の指標である資源強度及び環境効率（効用／資源強度）が得られる。

### （3）エコロジカルフットプリント

エコロジカルフットプリントはブリティッシュ・コロンビア大学で開発され、現在も徐々に世界各国の政府・自治体やWWF、ワールドウォッチ研究所等のNGO・NPOでの利用も増加しており、グローバル・フットプリント・ネットワークにより計算方法、使用ルールなどの開発・規格化が進められている。

エコロジカルフットプリントは、環境の許容量に対して個人の生活や産業等がどれだけ負荷を与えているかを評価する指標である。環境負荷を分解吸収するためにどれだけ地球環境の許容量（地表・海面面積）が必要となるかという指標で評価する。評価する環境負荷要素としては、対象地域での経済活動によるエネルギーや材料・水等の使用、輸送、食料、廃棄物の排出等であり、それらの供給や負荷の吸収に必要な土地・海洋面積に換算するものである。また、輸出入による広域的な物質の移動が行われている場合は、生産元での生産・吸収に必要な面積も算出・加算する。

エコロジカル・フットプリントによる評価結果は、期間あたりの環境負荷量は「ha」、個人の生活ベースでは「ha／人」、これを全人類に拡大したときの値として「地球」を単位とする表現となる。エコロジカル・フットプリントの評価結果によると、日本人の生活レベルを全人類に適用すると地球2.4個分、アメリカ人であれば5.3個分が必要となると算出されており、先進国の生活による環境負荷が環境許容量を大幅に超過していることが警告されている。

エコロジカルフットプリントの特徴としては、地表面積という理解しやすい指標で環境負荷を表現できること、地球全体に対する持続可能性の算出が容易であることが挙げられる。

また問題点としては、環境負荷に関して必要なデータが不足しているため、評価も試験

段階的な要素が強いこと、対象製品や対象国によってはデータの入手等が困難な場合が少なくないこと、人間活動による大気・水域・土壌への汚染の評価方法が定まっていないことが挙げられる。

#### (4) エコリュックサック

エコリュックサックは、製品やサービスを構成する材料やエネルギーを、それらの採取・製造に要する物質量（鉱石採掘時に発生する土砂等も含む）「リュックサック」と考え、環境負荷を物質量（MIPS:material input per service）に換算する評価手法としてドイツ・ブッパタール研究所で開発された。

計算方法を以下に示す。評価に必要な物質集約度データについてはヨーロッパの値が公開されている。

$$\text{MIPS (エコ・リュックサック)} = \sum (\text{Mi/Ri})$$

Mi その製品を構成する各素材の重量(kg)、エネルギー量

Ri 各物質の物質集約度（リュックサック因子）

ブッパタール研究所の算出した物質集約度の例としては以下のとおり。

物質	鋼鉄	アルミ	再生アル ミ	金	ダイヤモンド	ゴム
物質集約度	21kg	85kg	3.5kg	540000 kg	53000000 kg	5kg

エコリュックサックは、簡便に製品やシステムの物質消費の大きさを把握することが可能であり、各種のスクリーニングに低コストで利用できる。その他のメリットとしては、誰が計算してもほぼ同じ答えが得られること、物質とエネルギーを同じ単位で計算できること、リサイクルの有効性を判別できること、といった点が挙げられる。製品やシステムのエコリュックサックの値を減少させることは、技術の高度化による産業の脱物質化を押し進めることになり、社会の持続可能性に寄与することが期待される。

一方、問題点としては、物質量のみを評価するため資源の種類による重要性・枯渇性等を反映できないこと、物質の有害性等が反映されないこと、生態系への影響等も評価できないこと、等が挙げられる。

表 2.2.1 評価手法の概要(1)

	ELP(LCA統合化手法)	E2-PA(環境効率ポテンシャル評価手法)
開発	早稲田大学理工学部機械工学科 永田研究室	早稲田大学理工学部機械工学科 永田勝也教授 (財)製造科学技術センター インバース・マニュファクチュアリング・フォーラム (株)イーエムエスアイ
評価対象	工業製品	工業製品、プラント、社会システム等
主な評価要素	エネルギー枯渇、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、資源消費、大気汚染、海洋・水質汚染・廃棄物処理問題、生態系への影響等の環境負荷	物質消費、エネルギー消費、リサイクル性、有害物質使用、長期使用性及び効用
統合化手法	パネル法(化学工学会員へのアンケートに基づく重み付け)	資源の枯渇性の観点からの可採年数等を用いた資源強度への換算
普及状況	国内で研究者等に用いられている	国内で研究、製品評価、リサイクル技術評価等に用いられている
特徴	製品・事象の環境負荷評価のための統合指標。 環境負荷のカテゴリー重要度をパネル法により推定する。 対象製品単独で統合化指標が得られるため、全く機能が異なる製品を評価することも可能である。	エコ・エフィシエンシーによる効率性評価ポテンシャル概念による評価の簡略化 持続性の観点からの環境負荷の客観的な統合化
課題	パネル法を用いているため、パネル母集団の価値観により結果が左右されてしまう。 パネル法による重み付け結果は社会的合意であって、科学的な正解ではない。 結果として得られる指標が抽象的で分かりにくい。	効用の定義の標準化 評価手順の更なる簡略化、明瞭化に向けた見直し 経済との擦り合わせ 放射性廃棄物等の取り扱い

表 2.2.1 評価手法の概要(2)

	エコロジカル・フットプリント	エコ・リユックサック
開発	カナダ ブリティッシュ・コロンビア大学 ウィリアム・リース、マティス・ワカナゲル	ドイツ ヴッパター研究所所 フリードリ ヒ・シュミット＝ブレーク
評価対象	人間活動(ライフスタイル)、社会(地 域、国、組織など)の活動、経済・産業 活動(サービス、製品の生産など)	製品、材料等
主な評価 要素	物質・エネルギー消費量、有害物質等 の排出量	資源やエネルギーの採取・製造
統合化手 法	持続的に利用可能な地表面積	材料・エネルギーに付随して消費される 物質量の合計
普及状況	国連や各国・各地の自治体の評価や 政策立案、WWF など NGO など採用 されている。環境教育教材としても。	EUでの研究調査、企業製品開発のため の研究に使用された事例がある。
特徴	一人当たりの生活にかかる環境負荷の 算出 持続可能な生活様式の暗示	ある製品や素材を 1kg 生産するために自 然界から移動された物質(資源・エネルギ ー)の量を重さで表した指標。物質集約 度。
課題	対象地域や項目によっては、データの 入手が困難な場合があり、特に製品・ 製造システムに関しては、必要なデー タが不足しており、評価も試験段階的 な要素が強い。	生態系破壊、環境汚染、有害化学物質な どの要素が考慮されていない。 物質の重要度・負荷の大きさの評価が不 十分である。



### 2.1.2 環境評価手法の検討

本章では、環境評価手法としてE2-PAをベースとして検討を進めるものとした。その理由としては以下のとおりである。

- 1) 製品開発・製造向けに開発された手法であるため、投入側の製品情報のみでの評価が可能であり、現場で利用しやすいと考えられること。
- 2) 環境負荷というマイナスの評価だけでなく、効用というプラス面の評価も行うため、製造者におけるモチベーションとしやすいと考えられること。
- 3) 計算プロセスが比較的シンプルであり、また個別要素ごとの環境負荷が算出できるため評価結果がブラックボックスとならず、検証や分析が行いやすいこと。
- 4) 地球温暖化や生態系影響等を対象とする他の評価手法と異なり、物質及びエネルギーを主眼に置いた評価となるため、取り扱っているものを直接評価するという点で製造の現場になじみやすいと考えられること。

## 2.2 生産ラインへの適用可能性の検討

### 2.2.1 生産ライン評価における前提条件の整理

#### (1) 評価の目的・用途

生産システムや製品の環境負荷評価手法を検討するにあたり、まず評価の目的、評価結果の使用用途を整理する必要がある。目的が明確であれば、評価にかかる労力を最小限となり、有効な結果が得られることが期待される。一方、目的が不明確なまま作業を続けると、徒に労力を費やした上、意義のあいまいな結果しか得られない場合が多い。

一般に、こうした環境性の評価目的としては以下のようなものが考えられる。

	評価の目的	評価の対象
外部向け	環境報告書等での公表、アピール	製品、工場、事業所
	ISO14000シリーズ等の取得	製品、工場、事業所
	研究論文等	製品、工場、事業所
	顧客、サプライヤ、委託先等とのコミュニケーション	製品、工場、事業所
内部向け	経営判断指標	製品、プロセス、工場
	技術向上の分析（改善効果の把握）	製品、プロセス、工場
	改善箇所の抽出	製品、プロセス、工場
	現場のモチベーション向上	製品、プロセス、工場

この中で、改善箇所の抽出とは、事業所やラインにおいて特に環境負荷の大きい要素を抽出するために、環境負荷を個別の製造プロセス要素ごとに算出することを言う。逆に、この個別の環境負荷が算出できれば、ラインや事業所の環境負荷、また1製品あたりの環境負荷も算出可能と考えられる。そこで、本章では、内部向けの改善箇所の抽出を評価の主たる目的と想定し、評価手法の検討を行うものとした。

基本的な検討方針としては、まず最小限の構成要素として個々のプロセスの評価手法を検討し、その上で製品やラインの評価を行うために複数のプロセス評価結果を統合する手法

を検討するものとした。

### (2) 対象プロセスの設定

製造業には非常に多様な生産技術が存在するため、全てを網羅可能な評価手法を一気に構築することは困難である。そこで、まずは対象となる業種やプロセスをある程度絞り込んだ上で基本的なフレームを構築し、検証と対象範囲の拡大をはかっていく。

ここでは、部品加工と組み立てに絞り、評価手法を検討するものとした。部品加工については、工作機械の中でも比較的多用されているものとして、以下を対象として想定するものとした。

工作機械	マシニングセンタ、フライス盤 旋盤、NC旋盤 プレス
------	----------------------------------

### (3) 評価の関係者

評価対象プロセスは製造プロセス全体の流れのなかでどう位置づけられるのかを整理した。これらの関係者は、データの入手や評価結果の活用においてステークホルダーとなる可能性が高い。

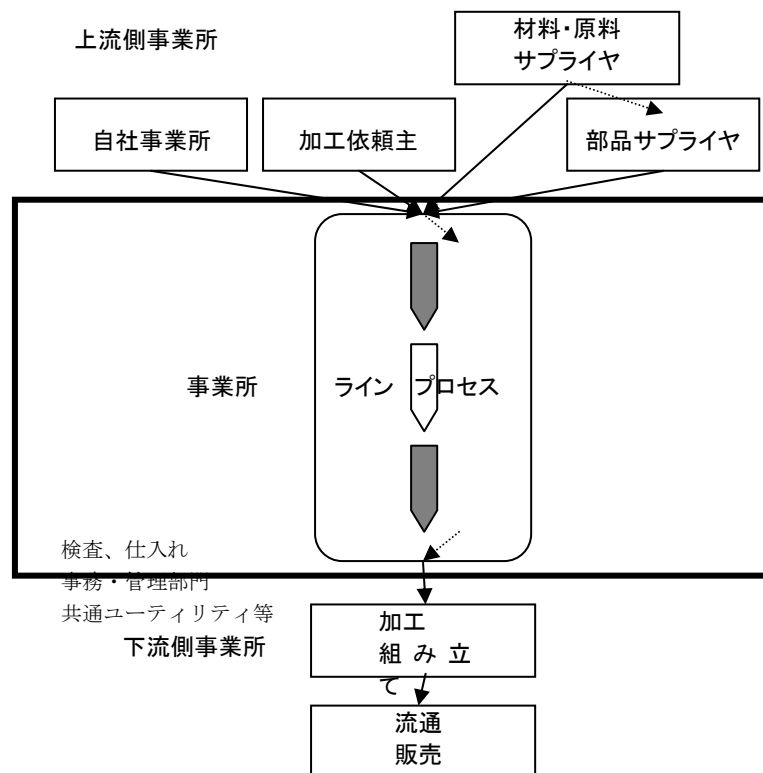


図 2.2.1 評価の関係者

### 1) ライン

評価対象プロセスを含むラインには、上下流にあたる各プロセス（加工、組み立て等）が存在するものと考えられる。

### 2) 事業所

ラインを含む事業所としては、検査、仕入れ、事務・管理部門、共通ユーティリティ等の要素が含まれると考えられる。

### 3) 上流事業所

上流側事業所としては、部品製造等の自社の他工場、部品・材料・原料のサプライヤ、外注（委託加工）等が考えられる。上流側をたどっていくと、製鉄、化学などの材料メーカー、さらには鉱山や油田にまで波及することになるが、そうした遡及は多大な労力を要するため、通常は既存の統計等に基づく原単位を用いて環境負荷を推定する。

### 4) 下流事業所

下流側事業所としては、組み立て等の自社の他工場、下流側の加工業者、組み立て業者、流通・販売部門等が考えられる。最終的には完成した製品が消費者やユーザーに渡り、使用・廃棄されることになる。この評価では、加工・組み立て等の済んだ完成品を引き渡した時点でプロセスの環境負荷は終了するものとし、ラインや事業所の枠組みを超えての下流側については考慮しないものとする。

## 2.2.2 生産ラインの評価範囲及び評価モデル

生産ラインの評価は、まず構成要素となる個々の加工プロセス及び組み立てについて環境負荷を算出し、その結果の統合により評価を行うものとする。

### (1) プロセスの評価モデル

#### 1) バウンダリ

ここでは、工作機械1台あるいは1セル、1ラインをプロセスの基本的な構成とし、評価作業の容易性を考慮して、数値を収集しやすいよう投入材料・部品ストックから加工品・製品ストックまでを1プロセスの範囲とするものとした。

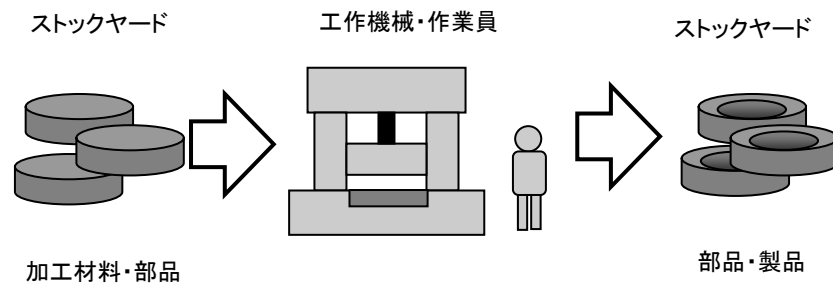


図 2.2.2 評価対象プロセスのイメージ

評価の範囲としては、上記のプロセスへの投入と生産・排出を計上するものとした。

投入としては物質（材料、部品、オイル、水、消耗品等）やエネルギー（電力、燃料）、生産としては製品や部品、排出は廃棄物、加工クズ、排液等が考えられる。

材料や部品、完成品等の輸送、保管等による環境負荷は、製品単位での評価等を行う場合は適宜把握する必要があるが、個々のプロセス評価では省略するものとするものとした。

照明や空調等の共通ユーティリティは必要に応じ全体使用量から適宜配分するものとした。

実際にはプロセスで用いる材料や購入部品・消耗品・エネルギーに、その製造時に環境負荷（生産時の投入エネルギー等）が発生する。しかし、これらをサプライヤに対し問い合わせても回答が得られない場合が多いため、直接の調査で把握することは難しい。既存の原単位や環境負荷評価ツールのデータ等を利用して近似値として算出することが期待される。

※通常のバウンダリ表現の範囲

## 2) 評価対象期間の設定

評価対象の時間的な広がりを設定する必要がある。その考え方としては以下のものがある、

- ・加工品 1 点
- ・加工品 1 ロット
- ・期、半期、1 / 4 期
- ・一定時間

加工品1点ごとにデータ収集・評価を行うことは、プロセスが一品ものの部品加工等の場合以外には、アイドリング時間等もあることデータ収集作業が難しくかつ精度上の問題も大きいものと思われる。

ロットごとであれば、比較的データが収集しやすく、また精度確保も期待される。

期、半期、1/4期などの経理・経営上の期間に合わせた場合、調達や廃棄費用等の既存データの活用により把握を行いやすい反面、プロセスの生産品目が複数ある場合の対応が困難となる。

1日あるいは1ヶ月等の一定期間でのデータ収集・評価は、実測により把握する場合の期間設定として有効であると考えられるが、やはり期間内の生産品目が複数ある場合の対応が困難という欠点がある。

### 3) 収集すべき投入・排出データ

評価対象プロセスにおける投入・排出として把握すべきデータとしては以下のとおりである。

表 2.2.1 収集すべき投入・排出データ

	投入		排出	生産
マテリアル	(材料・部品)	→	→	(加工・組み立て品)
	※くず、不良品等の分のみ	→	→ 不良品	
	負荷として計上	→	→ 端材、切削くず等	
	消耗品、オイル等	→	→ 廃部品、廃油等	
エネルギー	電力、高圧空気	→	→ (排ガス：省略)	
	燃料	→	→ (排ガス：省略)	

#### ・マテリアル

ラインやプロセスの評価においては、投入材料のうち、良品となった分は製品として出荷されるものと考えられることから、この分については環境負荷とはせず、端材や切削くず、不良品等のムダの部分を環境負荷として評価するものとした。

その他、消耗品、オイル等がマテリアルとして投入され、対応する廃棄物は排出されることが考えられる。

#### ・エネルギー

工作機械の消費する電力、燃料や工具のエア等が直接的なエネルギー消費となると考えられる。

燃料燃焼に伴う排ガスについては、直接測定を行わなくとも燃料消費量に比例するものとして推計できる場合が多いため、データ収集を省略しても問題ないものと思われる。

#### ・その他

その他、プロセスの機械種別によっては、塗料、輸送用コンテナ類、洗浄水・冷却水等が考えられるが、ここでは評価モデルを簡便化し透明性を確保するために省略する。

#### ・共通的な投入

照明、空調等のように事業所で共通して用いているユーティリティ類は、そのうちの相当量をプロセスに適切に配分して計算を行うことが望ましい。これらの共通ユーティリティをプロセスに配分する方法としては以下の指標を用いることが考えられ、事業所や業種の実態に応じた適切な選択が望まれる。

人数による配分（プロセス従事者数／事業所従業員数）：照明、空調等

床面積による配分（プロセス占有床面積／事業所床面積）：照明、空調等

電力・燃料消費量（プロセス消費熱量／事業所消費熱量）：空調等（高熱を発生する機材がある場合等）

エア工具点数（組み立てライン工具点数／事業所工具点数）：エア

#### 4) 生産量の把握

プロセスの評価結果を事業所や製品全体等に拡大したり、効率性などの分析を行っていくためには、プロセスの環境負荷だけではなく、プロセスにおける生産量を定量化することが有効である。その場合、他のプロセスやラインとの共通する合理性のある指標で定量化することが必要があり、以下の方法が考えられる。

#### ・完成品（良品）数

生産品が単一種類だけであったり、重量や形状などがよく類似している部品等を生産している場合等には、完成品（良品）の数をそのまま生産量とすることが考えられる。

#### ・加工量

加工機械プロセスの場合、加工量を基準とした配分を行うことが考えられる。加工品1点に対してそれぞれどれだけの加工を行っているかを算出し、これを生産量とする。

具体的には、パンチ面積、研磨面積、穿孔・切削容積、接着・締結物重量、締結箇所数等が指標となると考えられる。

#### ・稼働時間

加工機械プロセスの場合、加工量の代替となる指標として、加工品1点あたりの機械稼働時間を加工品1種類ごとに測定し、この比率をもって生産量とすることが考えられる。

#### ・工賃

プロセスで部品加工や組み立てにおいて発生した工賃が算出できれば、これを基準とした配分を行うことが考えられる。加工品1点に対してそれぞれどれだけの工賃が発生しているかを算出し、これを生産量とする。

社内の規定工賃等がある場合はそのまま用いる。そうでない場合には、加工品1点あたりのプロセスの人件費、機械損料、電力費等に加え、諸経費、管理費、材料ロス及び排水・廃棄物処理費用等を加味した金額を算出することが考えられる。

### （2）ラインの評価

個々のプロセスの評価結果を組み合わせることにより、ラインや事業所、製品の負荷が算出することが期待される。プロセスがすべて単一のラインに含まれている場合はそのまま環境負荷を集計すればよいが、1プロセスから複数のラインに部品を供給しているような場合、プロセスの環境負荷をそれぞれのラインに適切に配分していく必要がある。その場合、（1）の生産量の指標を係数として、環境負荷を各ラインや製品に配分する必要がある。

また、ラインのバウンダリについては、プロセスと同様に部品・材料置き場から完成品置き場までを対象とする。検査についてはバウンダリ内でのもののみを対象とすることが考えられる。また、完成後の輸送については考慮しない。

ラインの生産量については、完成品（良品）数、あるいは工賃が利用しやすいものと思



われる。ラインの構成が複雑な場合、加工量や稼働時間は妥当性ある指標の算出が困難となると思われる。

### 2.2.3 環境負荷の算定

ここでは、データ及びモデルを用いての実際の環境負荷算出方法について検討する。

#### (1) 環境負荷データの収集

実際の評価にあたり、プロセスの環境負荷として把握すべきデータとしては以下のものが挙げられる。

- ・材料・部品使用量
- ・完成品（良品）の生産量
- ・不良品、くず等の発生量
- ・電力、燃料、エアの消費量
- ・消耗品、オイルの消費量

端材、切削クズについては発生量を実測して直接把握することもできるが、複数種類の部品加工に対して配分する必要がある場合は、CAD図面データ等を用いて部品ごとの発生量を推定することが考えられる。

燃料、オイル、消耗品等は機械稼働による実際の消費量を加工量等に応じて配分することが考えられる。

消費電力については機械ごと、プロセスごとのデータ集種が望ましい。機械個別の計器等がなく、系統別の電力メータ等による計測のみ可能な場合は、電力消費量の変動と系統下の各機械の定格出力、稼働状況等から各プロセスへの配分割合を設定することが考えられる。

簡易化のため、現段階では排水処理、有害物質、大気拡散等は考えない。また、食堂やトイレ等の生活関連、総務・設計・生産管理等の事務関連の環境負荷はここでは省略するものとする。

#### (2) 環境負荷の算出

ここでは、評価手法としては環境効用ポテンシャル評価手法（E2-PA）を用いて評価を行うものとした。E2-PAでは、材料、エネルギーの投入量に対して、それぞれに用

意された資源強度原単位を乗ずることでポテンシャルとしての環境負荷を算出することができる。この資源強度は、製品やプロセスが枯渇性の高い（持続的でない）種類の材料やエネルギーを多量に消費していないかどうかを示すものであり、二酸化炭素の排出量等の環境負荷もポテンシャルとして包含していると考えられる指標である。有害物質の使用量についても同じ資源強度を用いて評価可能であるが、ここでは手法のわかりやすさを優先するものとして省略するものとした。

## 1) 投入物の評価

プロセスで消費された部品については、材料それぞれの量に変換して評価を行う。また、部品製造時のエネルギーについては、把握できる場合はエネルギーとして計上する。把握できない場合は、既存の類似部品加工事例等をもとに推定することが望ましい。

投入マテリアル、投入エネルギーの換算の基本的な計算式は以下のとおりである。また、E 2-P Aの詳細については資料 1 に示す。

資源強度（資源枯渇の観点から見た環境負荷）の算出

M I（材料資源強度）＝材料使用量×材料資源強度原単位

E I（エネルギー資源強度）＝エネルギー使用量×エネルギー資源強度原単位

E 2-P Aで用いる資源強度原単位には材料の生産に要する消費エネルギーも包含して算出しているため、評価にあたってサプライチェーンを材料レベルまで遡行して調査する必要はない。

## 2) 排出物の評価

プロセスから排出される廃棄物（端材、切削くず）は一般的には金属くずとして有価で販売され、その販売先において、選別・熔融・精錬等の工程を経て再び材料としてリサイクルされる場合が多いと考えられる。

E 2-P Aではこうした廃棄物のリサイクルについては、a)回収された材料を資源強度に換算、b)リサイクルに要したエネルギー等を資源強度に換算し、リサイクルにおける資源の収支として評価する。こうして算出された再生資源資源強度R Iは、投入量であるM I、E Iに対しマイナスの資源強度（回収された資源）として統合化される。

$$R I \text{ (再生資源資源強度)} = (\text{再生対象材料量} \times \text{材料資源強度原単位} \times \text{物性維持率} \times \text{活用期間率}) - (\text{リサイクルプロセスの投入資源強度})$$

リサイクル材料は一般にバージン材料に比べて耐久性などの物性で劣る傾向があることから、その価値を反映させるために物性維持率、活用期間率という2つの係数を導入している。特に情報がない場合、物性維持率は0.5～0.7、活用期間率は1.0としている（一般的なリサイクル鉄製品の物性より算出）。

部品加工から発生する鋼鉄・鋳鉄などの鉄くずはほとんどの場合、スクラップとして引き取られ、電炉によりリサイクルされると考えられる。アルミニウムは二次合金メーカーにより熔融・リサイクルされる。平成18年度現在、金属くずは海外に活発に輸出されているが、ここでは輸送は考慮せず、国内での高効率かつ汚染リスクのないリサイクルプロセスにより再生されるものとして評価する。

なお、E2-PAでは、サーマリリサイクル、原料リサイクル、リユース等も評価可能であるが、ここでは省略する。

以上より、E2-PAではプロセスの環境負荷を以下のとおり算出する。

$$\text{プロセスの環境負荷 (資源強度)} = M I + E I - R I$$

MIには投入された部品・材料のうち端材や切削クズになった量が含まれ、RIにはこれらのリサイクル結果が含まれることになる。また、EIには、共通ユーティリティ（照明、空調、高圧空気）等も適宜配分して含めるものとする。

### （3）環境効率の算出

以上より、E2-PAではプロセスの環境効率は以下のとおりとなる。消費された資源に対して、プロセスがどの程度の生産を行っているかという効率指標である。

$$\text{環境効率} T I = \text{生産量} / (M I + E I - R I)$$

生産量には、前述の完成品数、加工量、工賃等より妥当かつ算出の可能なものを用いる。他のプロセスとの統合が可能な指標を用いることが望ましい。

#### (4) ラインの環境負荷への換算

個々のプロセスの環境負荷から、ライン全体の環境負荷を算出する方法について以下の想定モデルでの検討を行った。

製品Aは部品A 1、部品A 2各1点から構成されている。部品A 2は専用のプロセス2で生産されるが、部品A 1の生産プロセス1、3ではそれぞれ他ライン向け部品B、Cも生産している。

部品Cと部品A 1はほとんど差がないが、部品Bと部品A 1は重量や加工量が大きく違うものとする。

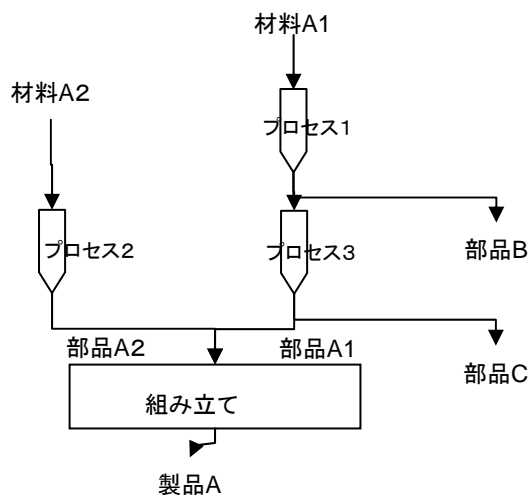


図 2.2.3 ラインのイメージ

このとき、個々のプロセスの環境負荷からラインとしての環境負荷を算出するには以下のような手順が考えられる。

まず、組み立てプロセス及びプロセス2における生産量は、それぞれ製品A、部品A 2の完成品生産数をそのまま用いることができる。プロセス3については、完成品の点数を用いてプロセスの環境負荷を部品A 1と部品Cに配分することができる。プロセス1については、例えばそれぞれの加工量×完成品点数によりプロセスの環境負荷を部品A 1と部品Bに配分することが考えられる。

以上より、プロセス1とプロセス3の環境負荷を部品A 1について合計したものと、プロセス2、組み立てプロセスの環境負荷の合計ならびに製品Aの完成品点数からラインの環境効率を算出できると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{ライン環境負荷} &= \text{製品A完成品数} \times (\text{組み立て環境負荷} / \text{製品A完成品数} \\ &+ \text{プロセス2環境負荷} / \text{A2完成品数} \end{aligned}$$

+プロセス3 環境負荷 / (A1 完成品数+C 完成品数) × A1 完成品数

+プロセス1 環境負荷 / (A1 加工量×A1 完成品数+B 加工量×B 完成品数) × (A1 加工量×A1 完成品数)

なお、この結果をもとに製品ベースのライフサイクル全体にわたる評価を行う場合には、これまでに省略していた完成品（良品）相当分の材料・部品についても製造・廃棄等の環境負荷を算出していく必要がある。

以下に図 2.2.3 のイメージについての、E2-PAによる想定評価例を示す。各プロセスの設定は以下のとおりである。なお、評価の集計期間は1日（8時間）の稼働と想定した。

表 2.2.2 各プロセスにおける1日あたりの生産量の想定

	投入	生産
プロセス1	鋼材 500kg	部品 A1（鋼材 0.3kg）×1200 部品 B（鋼材 0.05kg）×800
プロセス2	鋳鉄材 230kg	部品 A2（鋳鉄 0.2kg）×1100
プロセス3	部品 A1（鋼材 0.3kg）×1200 部品 C0（鋼材 0.3kg）×1100	部品 A1'（鋼材 0.28kg）×1188 部品 C0（鋼材 0.28kg）×1089
組み立て	部品 A1'（鋼材 0.28kg）×1005 部品 A2（鋳鉄 0.2kg）×1005	製品 A ×1000

プロセス1では鋼材から、プロセス2では鋳鉄材から部品を生産しており、加工くずが発生している。プロセス3では部品にさらに加工を施すものとした。また、プロセス3及び組み立てではそれぞれ一定の割合で不良品（加工くずと同様の廃棄対象）が発生するものとした。また、それぞれのプロセスで、エネルギーとして電力を消費するものとした。

表2.2.3 各プロセスにおける集計期間あたりの投入・生産・排出の内訳

		プロセス1	プロセス2	プロセス3	組み立て	単位	
投入	鑄鉄		230.0			kg/日	
	鋼材	500.0				kg/日	
	部品A1			1200	1005	個/日	
	部品A2				1005	個/日	
	部品C0			1100		個/日	
	電力	160.0	33.0	115.0	20.1	kwh/日	
生産	部品A1	1200		1188		個/日	
		360.0		332.64		kg/日	
	部品A2		1100			個/日	
				220.0			kg/日
	部品B	800				個/日	
		40.0					kg/日
	部品C			1089		個/日	
				304.92			kg/日
	製品A				1000	個/日	
					480.0		kg/日
排出	鑄鉄加工くず		10.0			kg/日	
	鋼加工くず	100.0		46.0		kg/日	
	不良品			6.4	2.4	kg/日	

また、共通ユーティリティとして照明及び空調（いずれも電力）を想定するものとした。

		プロセス1	プロセス2	プロセス3	組み立て	工場計	単位
共通	床面積	50.0	30.0	60.0	50.0	500	m <sup>2</sup>
	従業員数	3	2	2	4	60	人
	稼働時間	8	8	8	8	8	h/日
	照明(電力)					36	kwh/日
	空調(電力)					80	kwh/日

まず、プロセス1について、環境負荷を算出すると以下のとおりである。なお、換算に用いている資源強度原単位については、資料 にその算出式を示した。

表2.2.4 各プロセスにおける投入と生産の整理  
(照明は床面積、空調は従業員数で配分)

		プロセス1	プロセス2	プロセス3	組み立て	単位
投入	鋳鉄		230.0		281.4	kg
	鋼材	500.0		661.9	201.0	kg
	電力	160.0	33.0	115.0	20.1	kwh
生産	鋳鉄		220.0		280.0	kg
	鋼材	400.0		637.6	200.0	kg
排出	鋳鉄切削くず		10.0			kg
	鋼加工くず	100.0		46.0		kg
	不良品			6.4	2.4	kg
共通	照明(電力)	3.6	2.16	4.32	3.6	kwh
	空調(電力)	4.0	2.7	2.7	5.3	kwh

・ 鋼材投入量

投入500kgに対して完成品が部品A1360kg、部品B40kgが生産されているのでこの分を除いて

$$MI = (500\text{kg} - 360\text{kg} - 40\text{kg}) \times 0.0280\text{kg/y/kg} = 2.80\text{kg/y}$$

・ 電力投入量

$$EI = 160\text{kwh} \times 0.00215\text{kg/y/kwh} = 0.344\text{kg/y}$$

共通ユーティリティは、照明は床面積、空調は従業員数に比例するものと仮定して、

$$(36\text{kwh}/500\text{m}^2 \times 50\text{m}^2 + 80\text{kwh}/60\text{人} \times 3\text{人}) \times 0.00215\text{kg/y/kwh} = 0.0163\text{kg/y}$$

・ 廃棄物量

加工くず100kgを鉄材料リサイクルするものとして

$$RI = 100\text{kg} \times 0.015\text{kg/y/kg} = 1.5\text{kg/y}$$

・ 資源強度合計

$$MI + EI - RI = 1.660\text{kg/y}$$

このうち部品A1の環境負荷量は、電力消費が加工部品重量に比例するものと仮定して、

$$1.660\text{kg/y} / (360\text{kg} + 40\text{kg}) \times 360\text{kg} = 1.494\text{kg/y}$$

他のプロセスにおける環境負荷も同様に算出した結果を表2.2.5 に示す。

表2.2.5 各プロセスの環境負荷

		プロセス1	プロセス2	プロセス3	組み立て	単位
投入	鋳鉄		0.363		0.051	kg/y
	鋼材	2.800		0.681	0.028	kg/y
	電力	0.344	0.071	0.247	0.043	kg/y
	照明(電力)	0.008	0.005	0.009	0.008	kg/y
	空調(電力)	0.009	0.006	0.006	0.011	kg/y
排出	鋳鉄切削くず		0.150			kg/y
	鋼加工くず	1.500		0.690		kg/y
	不良品			0.097	0.036	kg/y
	資源強度計	1.660	0.294	0.156	0.105	kg/y
	部品A1	1.494		0.082		kg/y
	部品A2		0.294			kg/y
	製品A				0.105	kg/y

ここで、各プロセスにおける集計期間内の生産数が異なっているため、ラインとしての合計を行うためには数量の整合をはかる必要がある。組み立ての投入部品数に合わせるものとする、

$$(1.494\text{kg/y} \div 1200 + 0.294\text{kg/y} \div 1100 + 0.082\text{kg/y} \div 1188) \times 1005 + 0.105\text{kg/y} \\ = 1.695\text{kg/y}$$

がライン全体の期間内の環境負荷となる。また、環境効率としては、製品Aが1000台生産されるので、

$$1000\text{台} \div 1.695\text{kg/y} = 590.0\text{台/kg/y}$$

となる。



## 2.3 標準化可能性

### 2.3.1 生産ラインの環境効率評価の意義

生産ライン環境効率評価の意義としては、内部的には、個々の従業員が携わるプロセス、ラインの環境負荷を数値として提示することで、一人一人の環境への関心、意識の向上を促進し、企業としての環境対応へのモチベーションとなることが期待される。人間の心理として、努力の結果が数字等により可視化することは、積極的な取り組みに向けた動機付けをはかる上で重要性が高いものである。一般的な生産の現場においても、品質や生産の目標や結果が掲示されていることが普通であり、これに環境効率を含めることは有効性が高いものと考えられる。

経営的には、生産の現場における環境負荷の実態を詳細に分析することができ、環境効率を改善すべき箇所の抽出や、あるいは改善による結果の評価に用いることで、環境経営の促進のみならず省エネ等によるコストダウンをはかれる可能性がある。現在のところ、事業所全体としての環境負荷を算出する事例は多いものの、そこから改善箇所の抽出に至るまでには評価ツールや計測システムの不備により多大な労力を要している。こうした状況を環境効率評価の普及により改善することが期待される。また、設備投資等が環境効率どのような改善を及ぼしたかについても定量的な評価を行うことで経営へのフィードバックをはかることが可能となる。

外部的には、個々のプロセスやラインの環境効率が公開され、わが国の産業界として蓄積されていくようになれば、プロセス環境効率の向上にかかるノウハウのデータベースとして、わが国の製造業における生産効率・環境効率の向上に大きく寄与しうるのではないかと期待される。

### 2.3.2 生産ライン環境効率評価の実用性、汎用性

実際の生産現場では、技術やロジスティックの形は非常に多様であるため、今回の調査は限定した範囲での基本的な考え方、計算方法を示し、出来る限り生産者における評価データ収集・モデル構築が容易となるように配慮した。特に評価手法としてE 2-P Aを適用することにより、生産サイドで得られる情報にのみよる評価が可能となり、また構成要素別の分析も容易となっている。

生産システムの環境効率評価の標準化の可能性としては、個別のプロセスであれば、技術を特定し、生産量の定義を明確化することで十分に可能性があると考えられる。しかし、生産ラインや生産セルの評価は、その枠組みや構成が業界の特性や立地条件等に応じて変化に富んでいるため、汎用的なモデルを構築するにはまだ情報収集・整理が不足している

と思われる。今回の調査で示したフレームワークをどこまで適合できるか、またどのような問題点が浮上してくるかといった点について、今後の実例を用いた研究が望まれるところである。

### 2.3.3 今後の課題

評価手法としての標準化可能性に向けた課題としては、以下のものが考えられる。

#### 1) 評価対象範囲の拡大及び検証

今回の調査では、評価対象技術を限定し、廃棄物や投入資源もごく限られたものとして検討を行った。今後は、汎用化に向けての対象技術の拡大をはかるとともに、評価モデルの妥当性の検証、実用性の確認等が望まれるところである。

#### 2) 原単位データベースの整備

今回の試算に用いた原単位は統計による平均的な値であるが、実際の製品製造においては多様な材料・グレードが使用されていることから、利便性と精度向上にむけ、サプライヤ等の協力を得ての原単位データベースの製造が望まれるところである。また、リサイクルに関しても同様の調査研究が望まれる。

#### 3) 購入部品等の環境負荷

サプライヤ等から購入した加工・組み立て済み部品の環境負荷評価のためのデータ入手は、サプライヤ側でデータが整備されていない場合も多いため、困難な課題である。今後の実用性向上に向けては、サプライヤ側のデータによらない、材質・重量・加工方法等による環境負荷の推計方法についての調査研究が望まれるところである。

#### 4) 生産量の定義

個々のプロセスの評価結果から全体としての環境負荷・環境効率を算出するには、生産量の定義が整合している必要がある。今回は限られた範囲での考え方を示したが、実態を踏まえた妥当性・利便性の検証と範囲の拡大、生産システムの多様なフレームワークに適合しうるモデルの構築等が望まれるところである。

### 3. 生産ラインの環境負荷評価

#### 3.1 生産ラインとしての環境負荷

##### 3.1.1 生産ラインの性能評価の考え方

ここまで述べてきたように、本調査研究の目的は生産ラインの環境負荷評価手法について調査し、一定の基準を提示することである。ただし、近年は、“豊かな生活”と“地球環境保護”の両立の観点から、環境負荷だけでなく、環境効率という考え方が注目されていることは第2章で述べたとおりである。生産ラインにおいても、環境負荷のみでなく、当該生産ラインがどのような生産能力を持つかを併せて評価することが必要である。本節では、環境負荷評価を含む生産ラインの性能とは、生産ラインの環境効率に他ならない、という考え方にに基づき、その考え方、算出法について記述する。

環境効率はその定義上、“製品、サービスなどの効用”を“当該製品、サービスの製造、提供に関わる環境負荷”、で除したものであり、効用と環境負荷の両方を定量化しなければ計算することが出来ない。環境効率このうち後者の環境負荷に関しては2.4節にあるように様々な精緻な指標が提案されており、実際に測定、検証可能かどうかという問題は残るものの、定量化の目途が立ってきている。一方、前者の“効用”（製品、サービスの価値と表現される場合もある）については、様々な提案にも関わらず定量化は難しい。しばしば語られる環境効率の一種として、“国のGDP/国全体の温暖化ガス排出量”がある。この指標では日本の環境効率は比較的高いとされる<sup>(1)</sup>が、指標自体にも異論はあり、排出量の絶対値を考えれば、環境効率向上のための努力が免除されるわけではないことは論を待たない。また、この指標も国家レベルで考えれば、ある程度の意義と客観性を有するとも考えられるが、検討の単位を小さくしてゆくと齟齬を来たしてくる。例えば、業種ごとに、その生産額/環境負荷、なる指標を提案している研究<sup>(2)</sup>、企業内における、生産額/環境負荷（CO<sub>2</sub>排出量）を計算している例<sup>(3)</sup>などがある。このような場合、同一業種、企業体内における効率の改善効果を検討するためには有益だろうが、異業種間、（異なる製品を作る）異なる事業所間の比較は積極的な意味付けをすることは難しい。所謂サービス業と製造業を比較した場合、前者の環境効率が圧倒的に良いことが予想されるが、それをもって製造業が“環境に悪い”業種である、とするのは暴論に近い。また生産額そのものも市場原理に従って変動することが予想されるため、環境負荷に関して何の改善も行われなくても需給原理に基づいて価格が上昇するだけで、環境効率が改善されたことになってしまう。

一方、業種、事業所といった社会における大きな単位の環境効率ではなく、個々の製品の環境効率を考える場合は、もう少し精度の高い定量化が可能だと考えられる。製品の基本スペックを効用、価値の指標として考えることなど<sup>(4),(5)</sup>が可能である。ただし、この場

合も問題もあり、製品の価値が製造時の瞬間最大風速のみで計られるため、信頼性、耐久性が高い製品とそうでない製品、技術的に確立しており市場における価値が減じにくい製品とそうでない製品、などの区別が出来ない。また、設計者、製造者は、これまで（省エネ、省資源も含む）コストダウンに対する長い努力の歴史を有しており、この点を評価できない指標は広く受け入れられにくいと考えられる。これらの問題点を回避するため、製品の価値を、製品ライフサイクルの進展に伴って時間変化する価値の積分値と考え、さらに製品のライフサイクルコストも指標中に取り込む方法が提案<sup>6)</sup>されている。提案者はこの指標をトータルパフォーマンス指標（以下 TPI とする）と呼んでおり、この TPI は言わば“真の環境効率”というべきものである。TPI の算出方法については 3.1.2 項において紹介するが、ここに基本的な考え方のみを示す。前記の提案では、製品の TPI は以下に表されると考えている。

製品の TPI = 製品の価値

$$/ (\text{製品のライフサイクルコスト} \times \text{製品のライフサイクルにおける環境負荷})^{1/2}$$

価値（効能）／コストとは品質工学における重要な指標であるし、価値（効能）／環境負荷は、前述の環境効率に他ならない。TPI はこの 2 者のもっとも単純な組み合わせに他ならない。

さて、このようにして製品の価値、製品のライフサイクルにおける環境負荷が算出されて始めて環境負荷を含む生産ラインの性能評価が可能となる。なんととなれば生産ラインの価値とはどのような製品（部品もしくは生産財としての製品を含む）をどれだけの量生産することが出来るかによってのみ規定されるべきものだからである。このとき、生産ラインの性能は定性的に以下の指標によって評価されるものと考えている。

生産ラインの性能 = 単位時間あたりに生産される製品価値の総和

$$/ (\text{単位時間あたりの生産ラインのコスト} \times \text{単位時間あたりの生産ラインの環境負荷})^{1/2}$$

上の式におけるコストは第一に生産ラインのランニングコスト（電力、水、投入資源など）であるが、労働コスト、生産ラインの設置コスト（機械コスト、建屋・土地のコスト、運搬・設置等のコスト）を単位時間あたりに割り付けたものも含まれる。同様に環境負荷についても、生産ラインの環境負荷は、運用に伴って生じる環境負荷だけでなく、設置に伴う環境負荷を時間あたりに割り付けたものとの合計となる。また、“単位時間あたりに生

産される製品価値の総和”はより正確には“単位時間あたりに生産される製品 TPI の総和”とすべきである。なんとなれば、“能力の高い（加工精度の良い）生産ラインにより、摩擦の少ない部品が加工でき、製品の使用時の環境負荷が削減された”といった場合、製品の改善は製品価値だけでなく、製品 TPI に反映されるからである。ただし、生産ライン評価指標の分子に“単位時間あたりに生産される製品 TPI の総和”を用いる場合、製品のライフサイクルにおけるコスト、環境負荷の算出に際しては製造時の分を差し引いて考えなくてはならない。製品の製造時のコスト、環境負荷とは実は生産ラインの運用に関わるコスト、環境負荷を製品 1 個あたりに割り付けたものだからである。以上をまとめると、生産ラインの性能評価指標としてここで提案するものは以下に示される。

$$\begin{aligned} & \text{生産ラインの性能} = \text{単位時間あたりに生産される製品の価値の総和} \\ & \div (\text{単位時間あたりに生産される製品の製造時を除くライフサイクルコストの総和} \\ & \times \text{単位時間あたりに生産される製品の製造時を除くライフサイクル環境負荷の総和}) \\ & \div (\text{単位時間あたりの生産ラインのコスト} \times \text{単位時間あたりの生産ラインの環境負荷})^{1/2} \end{aligned}$$

もちろん、上記の指標は絶対的な指標ではなく、同一製品の改善効果、同一製品を製造する生産ラインの改善効果を計るためのものであるが、対象が最終製品である場合、“製品価値”とその製品の価格を対比させることにより、おおまかな絶対評価が可能となるものと考えている。ただし、絶対評価を行う場合には、需給関係に基づく市場価格の変動が TPI に反映されてしまう（一部の環境効率指標と同様の）問題点に注意する必要がある。

### 3.1.2 トータルパフォーマンス指標

前項において、製品の価値を、製品ライフサイクルの進展に伴って時間変化する価値の積分値と考え、さらに製品のライフサイクルコストも考慮した製品評価指標としてトータルパフォーマンス指標（TPI）を紹介した。TPI は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の近藤、増井らが提案しているコスト、環境負荷、価値を同一指標で評価可能な統合的な製品性能評価指標である。製品の性能評価は、本調査研究の主目的からはそれるが、前項に記述のとおり、生産ラインの性能評価を行うためには、生産ラインのアウトプットとしての製品価値を定量化しなくてはならず、TPI を用いた解析はその方法としての一提案である。本項では TPI の定義とその算出方法を手順に沿って簡単に紹介する。

## (1)製品価値の定義

前項において、製品の TPI は定性的に次の式によって表されるものとした。

製品の TPI = 製品の価値

／ (製品のライフサイクルコスト × 製品のライフサイクルにおける環境負荷) <sup>1/2</sup>

ここまで定義無しに“製品の価値”という用語を用いてきたが、定量的評価を行うためには、これを定義しなくてはならない。一連の解析においては、製品の価値とは製品の有する本来的機能の総和であると考えている。例えば、ノートブックコンピュータであれば、計算速度、記憶容量、形態性、概観、視認性など様々な製品機能の総和が製品価値に他ならない。製品機能をここでは *FR* (functional requirements) と呼び、機能が複数ある製品では添え字 *i* を用いて区別する。このとき、ある時点での製品の価値は、製品の機能の重み付け総和、で表されるものとする。(式(1))

$$V(t) = \sum_i w_i(t) FR_i(t) \quad (1)$$

ただし、 $V(t)$  : ある時間における製品の価値、 $FR_i(t)$  : 製品の *i* 番目の機能量、

$w_i$  : 該当する機能の重み、 $t$  : 経過時間

さらに、ライフサイクル全体での製品価値は、上記(1)のライフサイクル全体を通じた時間積分で表されるものとする。(式(2))

$$UV = \int_0^T V(t) dt \quad (2)$$

ただし、 $UV$  : 製品のライフサイクル価値、 $T$  : 製品寿命

## (2)時間経過に伴う価値変化の計算

前述のように、既存の環境効率評価指標の問題点は、時間経過に伴う製品価値の低下を考慮しにくいことである。TPI 指標では、“時間経過に伴う価値の物理的低下” (磨耗、損耗、破損等) と “時間経過に伴う製品の陳腐化” (新製品の開発、社会状況の変化に伴う市場価値の低下) に分け、それぞれに次の式(3)、(4)を定義している。FR の物理的劣化は磨耗、疲労などの既知の物理現象を念頭に式(3)に表されるように直線近似している。また陳

腐化については、各  $FR$  の重みである  $w_i(t)$  をコンジョイント分析<sup>(7)</sup>などの結果に基づき、式(4)で表される指数曲線によって仮定している。式(1)で表されるように、製品の機能は物理的劣化と陳腐化の積で表される。このことを図示したものが次の図 3.1.1 である。

$$FR_i(t) = c_i(t - st) + d_i \quad (3)$$

$$w_i(t) = b_i \exp(a_i t) \quad (4)$$

ただし、 $c_i$ : 劣化率、 $d_i$ :  $FR_i(t)$  の初期値、 $a_i$ : 陳腐化率、 $b_i$ :  $w_i(t)$  の初期値、 $st$ : 使用開始時

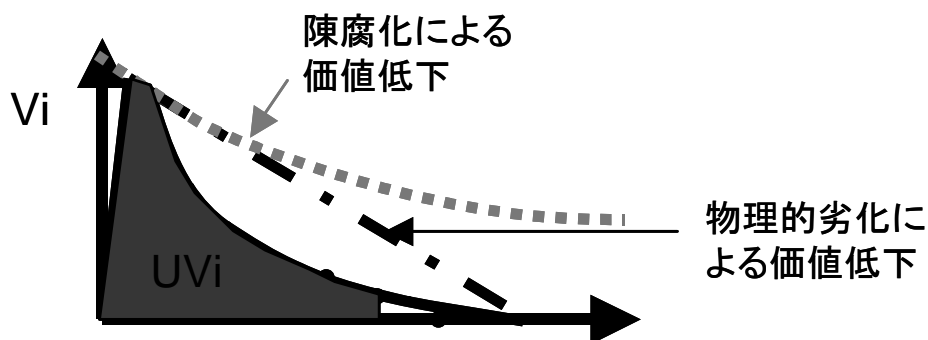


図 3.1.1 製品価値の時間変化

### (3) 価値使用効率、価値生産効率の定義

これまでの述べてきたように、環境効率ないし TPI の分子は“製品の価値”であるが、この“価値”とはユーザにとっての価値でなくてはならない。このことは、生産した製品が市場に受け入れられなかった(購入されなかった)ことを想定すれば容易に理解できる。そして、ユーザにとっての価値は、生産された価値と等価ではない。なんとなれば、生産段階で一定の価値が製品に付与されても、様々な理由、例えば“飽きる”、“不用意に破損する”、“亡くす”によってユーザが製品価値を使い切らないことが想定されるからである。偶発的な理由による価値の消失を定量化することは難しいが、製品固有の原因による(ユーザにとっての)価値の消失は考慮するものとする。この TPI 解析において仮定している点は、“複数ある製品機能のうちの1つ以上が、物理的劣化ないし陳腐化により 0 となったとき、ユーザは製品の使用を中止する”ということである。一方、生産時に製品に付与された価値は、製品の全機能についての時間積分の合計である。従って、複数の製品機能の1つが他の機能に比べて極端に早く劣化する(ないし陳腐化する)ような製品設計は好ましくないことになる。

以上の考え方に基づき、製品の全ライフサイクルを通じてのトータルパフォーマンスは

次の2つの観点から評価することとする。すなわち (a)価値生産効率(PP)：ライフサイクル全体を通じて製品が生み出しうる価値が、どの程度のコスト、環境負荷を必要としたか、(b)価値消費効率(CP)：全価値のうち、どの程度が消費者により消費されたか、の2つである。製品のTPIとPP、CPは次の式(5)～(7)によって関係付けられる。

$$TPI = PP \cdot CP \quad (5)$$

$$PP = \frac{MLCV}{\sqrt{LCE \cdot LCC}} \quad (6)$$

$$CP = \frac{UV}{MLCV} \quad (7)$$

ただし、LCE：製品ライフサイクル全体で発生する環境負荷、

LCC：製品ライフサイクル全体で発生するコスト、

MLCV：製品が最も効率的に使用されたときにライフサイクル全体で生じる価値

上記の各変数のうち、LCE、LCCはそれぞれ既存のLCA手法、LCC（ライフサイクルコストリング）手法により計算できる。

#### (4)製品機能と部品の関連付け

単一の部品で構成されている製品または部品については(3)までの手順で解析が終了するが、複数の部品によって構成されている製品の場合は、製品機能と構成部品の関連付けを行わなくてはならない。この関連付けを行って初めて、部品構成や個々の部品寿命適正化などの設計改善提案を行うことができるからである。この関連付けは品質工学でしばしば用いられる品質機能展開(QFD)<sup>⑧</sup>によって行うことができる。QFDによって製品に対する要求仕様(functional requirements)と物理的指標(例えば重量、出力、寸法等)、さらに物理的指標と部品の関連付けを行うことが出来る。このような手順により、個々の部品毎に式(6)、(7)によって定義される価値生産効率(PP)、価値消費効率(CP)を計算することが可能である。このような性能評価を行う目的は製品のTPIを向上させることであり、製品のTPIは部品のTPIの合計であるから、他に比べてPPないしCPが低い部品が設計改善対象として着目される。例えばPPが低い場合、部品の価値に比べて多くのコスト、環境負荷を要していることを意味するので、“より省エネルギーな製造法の提案”、“軽量化等による製造コスト、環境負荷の低減”、“リサイクルによる製造コスト回収”などが改善提案として考えられる。一方、CPが低い場合、生産された部品価値がユーザによって充



分消費されていないことを意味するので、“部品リユースによる残余価値の利用”だけでなく、“(他の部品と寿命を近づけるような) ロースペック化”なども検討すべき方策である。

(1)～(4)に記述した TPI 指標を用いた解析を具体的な製品に適用し、部品の End-of-life 戦略の改善提案を行う例<sup>9)</sup>が前出の近藤らによって示されている。

### 3.1.3 生産ラインの性能評価への展開

本節の目的は、環境負荷を含む生産ラインの性能評価手法を示すことであり、3.1.1 項に記述したとおり、生産ラインで製造された製品価値の総和を考えることでラインの性能評価を行うことを提案している。生産ラインとは製品／部品の製造システムをハードウェア側の視点からみたものであり、空調、建屋、研究開発、管理部門などのコスト、環境負荷を個々の製品／部品に割り付けることが可能であれば、生産ラインの性能と生産プロセスの性能とは同義である。3.1.2 項において製品の TPI を算出する方法を示したので本項では、製品の TPI を生産ライン（プロセス）の性能評価に拡張する方法について記す。

3.1.1 項において、生産ラインの定性的性能評価式を示し、同式の分子として“単位時間当たりに生産される製品価値の総和”を考えたが、ここでは簡略化のため1つのラインにおいては1種類の製品（部品）のみが生産されるものとする。このとき、生産ラインの性能指標は次のように簡略化される。

$$\text{生産ラインの性能} = \frac{\text{単位時間当たりの生産ラインのスループット}}{(\text{単位時間当たりの生産ラインのコスト} \times \text{単位時間当たりの生産ラインの環境負荷})^{1/2}}$$

一方、生産ラインの設計変更、改良が、ラインのスループットだけでなく、製品の改良にもつながる場合は上記の仮定は適当でなく、製品価値の向上分を考慮しなくてはならない。実際の生産ラインを考えても、“生産機械の改良により加工精度などが向上し、製品の機能、耐久性などが向上する”ことは十分に考えられるケースである。このような場合に製品価値向上の定量化はまだ実例も無く、その手法も明確に示されていないが、3.1.2(4)に記載したように、QFD などの方法を用いて、製品（部品）の物理的特性（形状精度、表面粗さなども含めることが出来る）と製品の機能を関連付けることで可能であると考えている。生産ライン（プロセス）の性能評価に関する上記の考え方を図示したものが次のページの図 3.2 である。最終製品に至るまでの生産工程が複数のプロセスの組み合わせから構成されている場合を想定し、図中に示す従来のプロセス（太実線）に対しての改良案と

して、①-1：個別のプロセスの品質向上による全体としての TPI 向上（点線）、①-2：個別のプロセスの環境負荷低減による TPI 向上（細実線）、②：全く異なるプロセスの組み合わせによる TPI 向上（破線）、の3つが示されている。①-1 は例えば、“塑性加工においてニアネットシェイプ加工が可能となり、仕上げ加工における取りしろが少なくなったのでプロセス全体の環境負荷が減少した”といった場合が相当する。（ただし個別のプロセスの品質が向上する場合、最終製品の性能向上＝価値向上が伴う場合が多い。図中の点線でもそのように示している。）また、①-2 はより単純に、一部または全部のプロセスを省エネ、省資源、ローエミッション化することにより直接的に環境負荷を低減しようというものである。また②は、例えば従来、“圧延－切断－外形切削”で生産していた部品を“金属射出成形”によって生産する、といったプロセスそのものの変革を想定している。

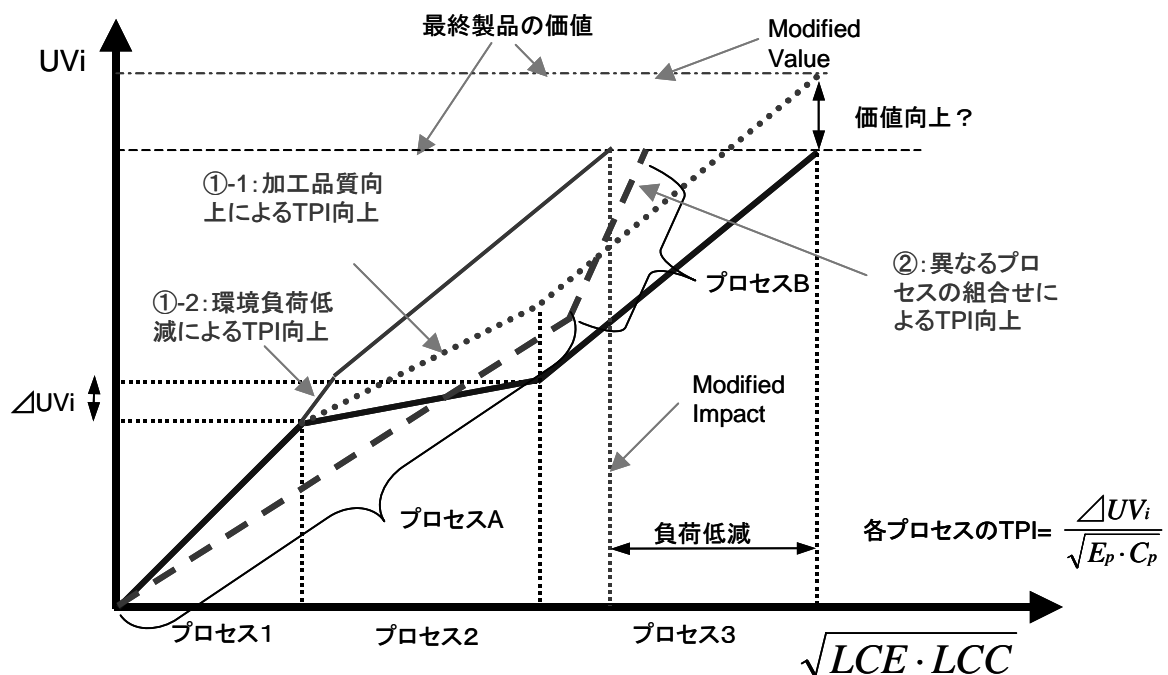


図 3.1.2 生産ライン（プロセス）のトータルパフォーマンス

この考え方に基づいて個別のプロセスの改良と性能評価を試みた例として、MIM（金属射出成形）の例をあげる。一般的に MIM においては、脱脂工程が大きな環境負荷要因となっている。例えば加熱脱脂であれば、バインダーの燃焼による温暖化ガス排出及び加熱に要する電力が環境負荷要因であるし、溶媒による抽出を行う場合はクロライド系の環境有害溶媒の使用が問題となる。改良されたプロセスでは、超臨界二酸化炭素による脱脂<sup>(10)</sup>とエタノール系液体吸着剤の利用によるプロセスの簡略化によって環境負荷低減、生産性

の向上を試みている。この結果、加熱脱脂に要する時間が不要となったため、全体のプロセス時間が約 1/3 となった。また、加熱脱脂に要する電力が削減できたため、総電力量は約 4 割減となっている。コスト評価も行った結果、最終的に従来技術と比べて、TPI が約 4 倍に向上した。

#### 3.1.4 まとめと課題

本節ではこれまで、環境負荷評価を含む生産ラインの性能評価手法の一提案として、ラインの性能を当該生産ラインで単位時間内に生産される製品の価値の総和、生産ラインの単位時間当たりのコスト、環境負荷を用いて評価する方法を示してきた。また、ライン性能の絶対評価には不可欠な製品の総合的環境性能（TPI）の評価手法も併せて提示した。あくまで一手法ではあるが、環境負荷評価だけでなく、その結果を用いて最終的な目的である生産ラインの定量的性能評価を行う有望な手法を示せたものと考えている。本節で提案した手法の優位性は次のようにまとめることができる。

- a) 環境負荷ないしコストのみでなく、環境負荷、コスト、製品（ないしライン）性能を同時に考慮し、統合的評価を行うことができる。
- b) 製品価値の磨耗、疲労、破壊等による物理的劣化、市場における陳腐化を定量的に考慮することができる。
- c) ある程度確立した手法であるコンジョイント分析、QFD、LCA、LCC などを用いることができる。

一方、まだ未検討の点も含めて以下の問題点も指摘される。

- a) 製品機能は製品の種類によって全て異なるため、個別に製品価値を計算しなくてはならず、簡便な方法とは言えない。
- b) 製品の市場における陳腐化を定量化するためには、期間をおいて分析を複数回実施する必要がある、即座に性能評価を行うことが難しい。
- c) 生産ラインの性能向上により、製品の性能向上が行われた場合の製品価値の定量化については、実例により示されていない。

また、当然ながら、製品性能の評価、設計改良案の提示、生産ライン（プロセス）の評価、評価結果に基づくライン構成ないしプロセス改良案の提示等についてより多くの実施例を示し、手法の有効性を検証してゆくことが必要不可欠である。

【参考文献】

- (1) 資源エネルギー庁エネルギー情報企画室, 平成17年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書2006), 第1部第1章第2節2-1エネルギーからみた地球環境問題【第112-1-8】主要先進国におけるGDP当たりの温室効果ガス排出量
- (2) Tahara K. et. al., Development of Environmental Efficiency Indicator Based on the Amount of Economy Value Added, Proceedings of 7th International Conference on Ecobalance, Tsukuba, Japan, Nov. 2006, B3-5.
- (3) 横河電機株式会社, 2006年度版 YOKOGAWA グループ 社会・環境報告書, 31.
- (4) 芝池成人他, 松下電器における Factor X の活用, エコデザイン 2006 アジアパシフィックシンポジウム講演論文集, 東京, 2006年12月, pp.453-456.
- (5) 藤崎克己他, 持続型社会を目指す Factor X の紹介と応用例, エコデザイン 2006 アジアパシフィックシンポジウム講演論文集, 東京, 2006年12月, pp.457-460.
- (6) 近藤伸亮, 増井慶次郎, 服部光郎: 価値の変化を考慮した製品ライフサイクルのトータルパフォーマンス設計, 2006年度精密工学会春季大会講演論文集, 2006年3月, 東京, 2006(CD-ROM)
- (7) Green P.E. and Srinivasan V., Conjoint Analysis in Consumer Research: Issue and Outlook, Journal of Marketing Research, XV, 132-136, 1978.
- (8) Akao K., Quality Function Deployment, Productivity Process, Cambridge, M.A., 1990.
- (9) 近藤伸亮他, 製品価値変化の定量化に基づく製品のトータルパフォーマンス評価, エコデザイン 2006 アジアパシフィックシンポジウム講演論文集, 東京, 2006年12月, pp.439-446.
- (10) 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, 産総研バーチャルミュージアム “超臨界流体による脱脂を用いた金属射出成形 (MIM)”, [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/museum/nano/mim/mim.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/museum/nano/mim/mim.html)

## 3.2 切削・研削加工

### 3.2.1 はじめに

対象とする製品、部品により、製造現場の構成は明らかに異なり、そこで消費される電力、環境負荷を統一的に把握することは難しいといえる。特に、製造現場で活躍する工作機械は、その利用形態・利用状況が工場はもとより、事業所によっても大きな差があり、比較するような形で環境負荷評価を行うことは困難といえる。

ところが、欧州から端を発し広まった環境問題は、環境マネジメントに関する一連の国際規格 ISO14000 シリーズの制定につながり、2003 年 7 月には「環境適合設計 (TRQ0007:2003)」が制定された。このような環境への意識のたかまりが、工作機械の環境適合設計、消費電力測定方法などに関する JIS 原案作成に結びつき、その都度成果が挙げられている。

そこで、ここでは生産ラインの環境負荷評価について、切削・研削加工を担う工作機械を中心に、日本工作機械工業会の「工作機械の環境に関する標準化調査専門委員会」で実施されている JIS 化活動などを紹介しながら検討を加える。

### 3.2.2 工作機械の環境への対応

環境に対するこれまでの取り組みは、自動車業界、家電業界が進んでいるのに対し、工作機械業界は遅れていたため、日本工作機械工業会は「工作機械の環境安全対策に関する調査研究」<sup>1)</sup>を平成 7 年度から開始した。自動車業界、家電業界などにおいて ISO14000 の認証取得が盛んに行われていた時期であり、環境問題は今後の重要な課題になるという認識に基づいていた。

上記の活動は「環境対応型工作機械に関する調査研究」<sup>2)</sup>に平成 10 年から継続され、生産財という特徴を持つ工作機械が、環境対応へ転換するための技術課題について調査研究が行われ、環境評価設計マニュアル、工作機械用 LCA などについて成果をまとめている。さらに、活動は「工作機械の環境に関する標準化調査専門委員会」に継承され、図 1 に示すように、関連する委員会との連携活動にも貢献している。なお、図中の番号は下記に対応しており、主な環境関連 ISO の制定時期も表示している。

- ① 日本工作機械工業会：工作機械の環境安全対策に関する調査研究<sup>1)</sup>
- ② 日本工作機械工業会：環境対応型工作機械に関する調査研究<sup>2)</sup>
- ③ 日本工作機械工業会：工作機械の環境に関する標準化分野の調査研究<sup>3)</sup>
- ④ 日本機械工業連合会：環境適合設計手法の標準化に関する調査研究<sup>4)</sup>
- ⑤ 産業環境管理協会：環境調和型製品導入促進調査研究<sup>5)</sup>

⑥ 産業環境管理協会：環境調和型事業活動導入促進調査研究<sup>6)</sup>

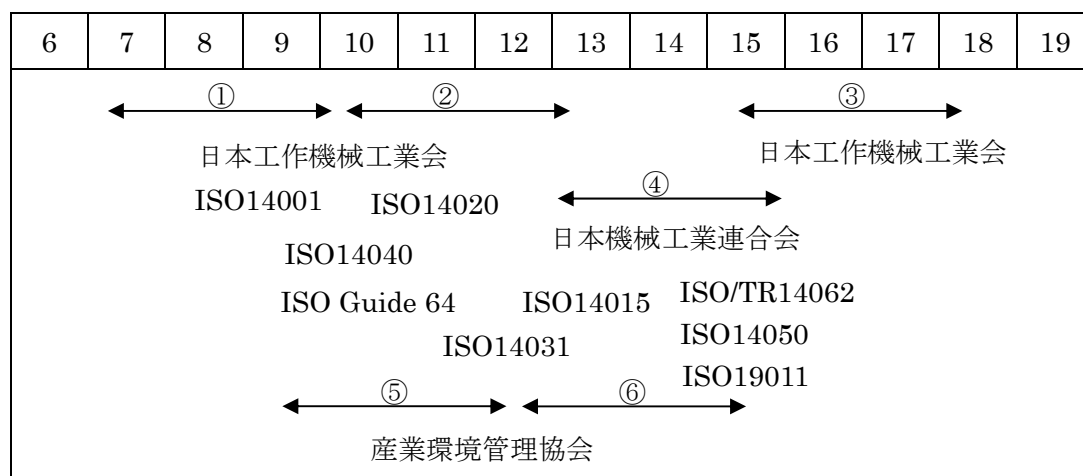


図 3.2.1 工作機械の環境に関する調査研究と環境 ISO の制定時期

### 3.2.3 工作機械の環境適合設計評価ガイドラインについて

現在審議中である「工作機械の環境適合設計評価ガイドライン」は「環境適合設計」に準拠する形で、産業セクター別の具体的な標準化という位置づけで JIS 原案作りが行われている<sup>4)</sup>。工作機械特有の環境適合設計を明確に示すことが望まれており、次のような定義に従い原案が作成されている。

- (1) 環境適合設計：工作機械のライフサイクル全体を通じての環境負荷を低減することを目標に、設計段階で生産性あるいは組立性の評価と並行して検討すること。
- (2) 省エネルギー：ライフサイクル全体でのエネルギーの消費を低減することを意味し、工作機械の場合には特に製造時及び使用時のエネルギーに着目する。
- (3) リデュース：工作機械の製造時使用する資源の減量、及び工作機械の稼動時に使用する材料、資源の低減を図ることを意味し、省資源化と同義で用いる。
- (4) リユース：工作機械の部品及びユニットを回収し、修理等を行い、もとの部品及びユニットとして極力再利用(再使用)することを意味し、再利用化と同義で用いる。
- (5) リサイクル：工作機械の部品及びユニットを回収し、処理等を行い、もとの部品及びユニットとは異なる材料などの状態にして極力利用することを意味し、再資源化と同義で用いる。
- (6) 廃棄処理容易性：工作機械の廃棄時における廃棄物の処理、処分などの作業の適合性、安全性を意味する。
- (7) 環境保全性：環境に対するリスクアセスメントの観点から、人間及び自然環境に影響

を及ぼすと考えられる物質、エミッションなどの削減を行うことを意味する。

(8) ユーティリティ：工作機械本体及び周辺装置使用に必要な水、空気、油脂を意味する。

(9) エミッション：工作機械の製造時及び稼働時に外部に放出される振動、騒音、オイルミスト、粉塵等の環境負荷要因を意味する。

ガイドライン用評価項目については、コメント欄に多くの例示を示し、解説的に記述されている。さらに、評価項目をどのような基準で評価するか、についても多角的な観点から評価レベルの設定例を示し、総合評価を行う手法についても解説を行っている。例示を多用した記載方法は、環境関連規格の最近の傾向といえる。

### 3.2.4 マシニングセンタ、NC フライスの消費電力測定方法

工作機械の消費エネルギーの測定方法を試験通則の形でまとめることを目標に、NC 工作機械の消費電力を具体的に測定した結果 4) を以下に紹介する。クランプ式電力計（横河 M&C 社製 CW120）を用い、表 1 に示すように、立形マシニングセンタ 2 台、操作型の NC フライス、横型マシニングセンタの合計 4 台を測定対象に行った例である。

表 3.2.1 測定対象マシニングセンタ、NC フライスの基本仕様

	A	B	C	D
	立形マシニングセンタ	立形マシニングセンタ	NC フライス盤	横形マシニングセンタ
主軸回転数(rpm)	25~5500	60~6000	40~4000	50~15000
切削送り(mm/min)	1~5400	1~5000	0~1200	1~30000
早送り(mm/min)	15000	15000	4000	60000
正味重量(kg)	11000	6300	3000	18000
油圧ポンプ用モータ(kW)	AC2.2(4P)	AC1.2(4P)	*	*
主軸用モータ (kW)(30 分定格)	AC11	AC7.5	AC7.5	AC22
主軸端形状	BT50	BT40	BT40	BT40
移動距離[X,Y,Z](mm)	760,500,560	760,450,450	550,320,350	750,800,850

図 3.2.2 はマシニングセンタ D を立ち上げたときの消費電力の変化を測定した例である。横軸は、測定を始めた時間を 0 秒とした計測時間、縦軸は、消費電力 Wall である。運転準備のスイッチを ON にしたときに消費電力が大きく変動していることがわかる。この図

から明らかなように、各操作で電源を ON にすることにより消費電力が大きく変わることが確認でき、以下に示す各項目別の消費電力を容易に算出できることが分かる 7)。

- 1 : (主電源+操作パネル) ON 時の消費電力量(J)
- 2 : 運転準備 ON 時の消費電力量(J)
- 3 : クーラント ON 時の消費電力量(J)
- A : (主電源+操作パネル) ON 時の平均消費電力(W)
- B : 運転準備 ON 時の平均消費電力(W)
- C : クーラント ON 時の平均消費電力(W)

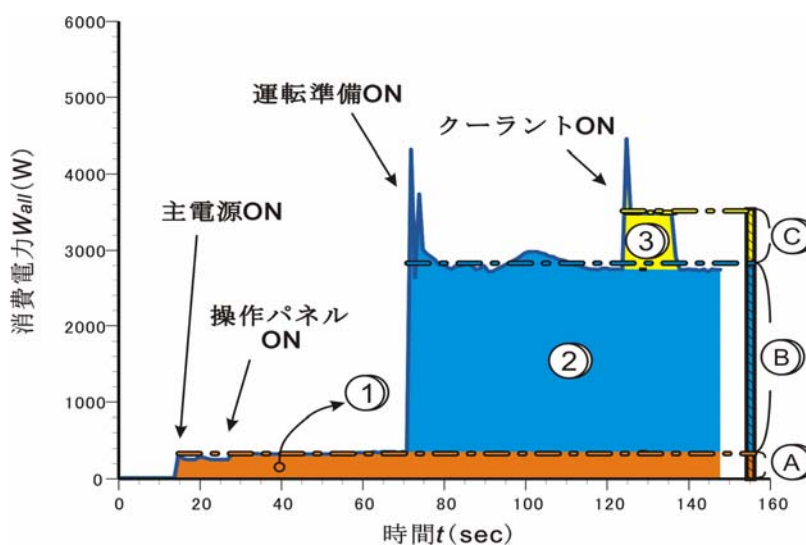


図 3.2.2 項目費電力算出方法

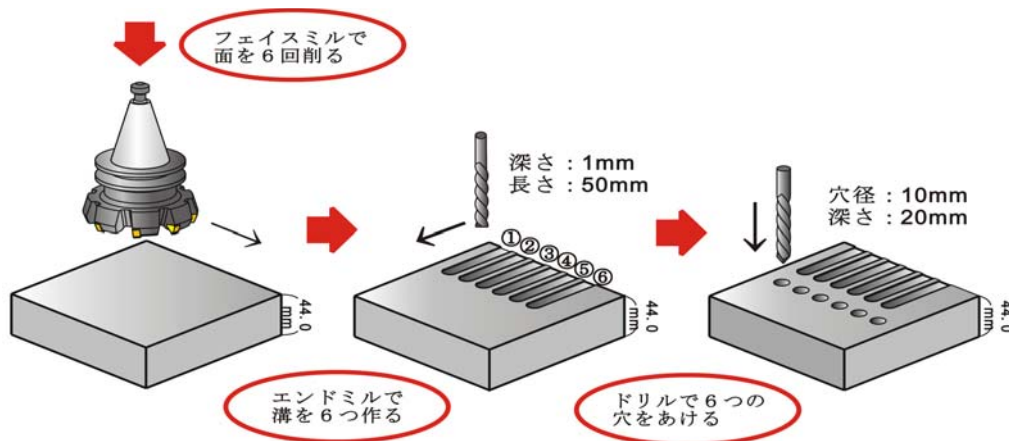


図 3.2.3 消費電力測定用の加工プロセス

実際に加工している状態での消費電力を測定するために、標準的な加工を行う NC プログ



ラムを作成して測定を行った。図 3.2.3 に示すように、フェイスミルで面を加工し、その後でエンドミル加工、ドリル加工を行い、それぞれの加工時の消費電力を測定している。なお、被削材は S50C の 120×120×50mm の角材である。

工作機械の待機時電力の主要部分である主電源の起動、操作パネル、運転準備について円グラフで比較した結果を図 3.2.4 に示す。小型の操作型フライス C は圧倒的に待機時消費電力が少なく、操作パネルのスイッチがないので、操作パネルの電力消費が確認できなかった。これに対して、マシニングセンタでは機種によって項目別の消費電力の割合が異なっていることがわかる。また、A と D に関しては、主軸冷却機能の影響で運転準備状態における電力の変動が 200W 程度存在した。

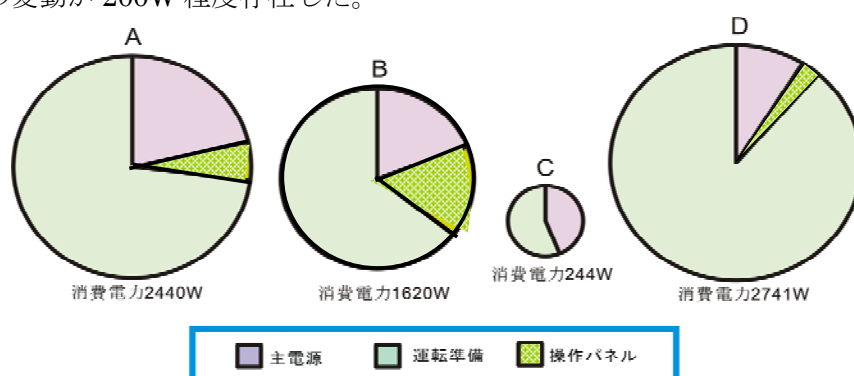


図 3.2.4 マシニングセンタ、NC フライスの待機消費電力

フェイスミル加工時とエンドミル加工時の消費電力を比較した例を図 3.2.5 と図 3.2.6 に示す。両図は D を用いた場合の結果であり、他の工作機械でも同様の傾向が得られた。加工量が多く、切削抵抗が大きい、フェイスミル加工では待機時の消費電力と比較できる割合になっているのに対して、切削抵抗の小さいエンドミル加工では、切削の占める割合が非常に少なく、総消費電力量にはほとんど影響を及ぼさないことがわかる。

単位時間あたりの加工量で比較すると、フェイスミルの切削仕事が多いことは明らかで、

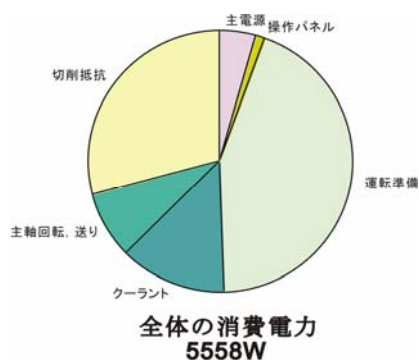


図 3.2.5 項目別消費電力 (フェイスミル加工)

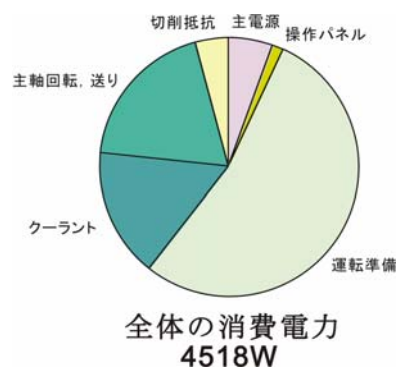


図 3.2.6 項目別消費電力 (エンドミル加工)

当然の結果といえる。ところが、待機時の消費電力を含めて考えると、加工能率は、加工条件はもとより、工作物の材質、工具形状、工具材質、さらに加工状態（切削油剤の使用状態）などに大きく影響されることから、単純に評価することは難しい。

### 3.2.5 NC旋盤の消費電力測定について

NC旋盤についてもJIS原案作りを目標に実機での測定を行い、旋盤用の標準加工サイクルや標準化について検討を行っている。表3.2.2に測定を行ったNC旋盤の基本仕様を示す。最大加工径が同程度のNC旋盤3機種を対象にした。なおNC旋盤では加工時における周速を一定にする機能を通常有しているが、その具体的な制御方法などは各社で異なり、端面加工ではその機能の設定状態で明らかに消費電力の測定結果に影響を及ぼすことになる。以下の電力測定では標準の設定条件のもとで行うこととした。

表 3.2.2 測定対象 NC 旋盤の基本仕様

	A 機	B 機	C 機
主軸回転最高速度(rpm)	4,000	4,500	5,000
最大加工径(mm)	356	370	330
移動距離[X,Z](mm)	260,795	260,520	190,545
早送り(m/min)	30	X : 20 Z : 25	X : 30 Z : 33
正味重量(kg)	5,900	4,000	3,700
主軸用電動機(kW)	18.5/18.5/15(25%/50%ED/連続定格)	15/11 (20分/連続定格)	30/22 (30分/連続定格)
送り軸用電動機(kW)	3.5	X : 3 Z : 4	-

マシニングセンタの場合とほぼ同じように、NC旋盤の場合における消費電力の測定項目を下記のように定めている。

- ①主電源に要する電力、②操作パネルに要する電力、③サーボ機能に要する電力
- ④クーラントに要する電力、⑤チップコンベアに要する電力、⑥照明に要する電力
- ⑦主軸回転に要する電力、⑧加工に要する電力

送りや早送りに関しては移動距離に対して速度が速く、運転時間が短いため、消費電力を正確に測る計測時間が確保できないという問題点が確認され、NC旋盤の消費電力測定では省略している。

NC旋盤の加工では、超硬工具を用いて端面加工と外形加工の2種類を対象としている。どちらの場合も切削条件は、切込みを1mm、2mm、3mmの3種類、送り量を0.1mm/rev、0.2mm/rev、0.3mm/revの3種類として、それぞれ組み合わせて9種類の条件で行った。周速は150m/minと一定とし、被削材はS45C、φ120×200mmの丸棒を用いた。

待機時に相当する準備段階で消費される電力について測定した結果を図3.2.7に示す。いずれの場合においてもNC旋盤はマシニングセンタに比べて「起動」の項目の占める割合が大きくなっている。「運転準備」と「クーラント」の占める割合はマシニングセンタと同様に非常に大きいといえる。

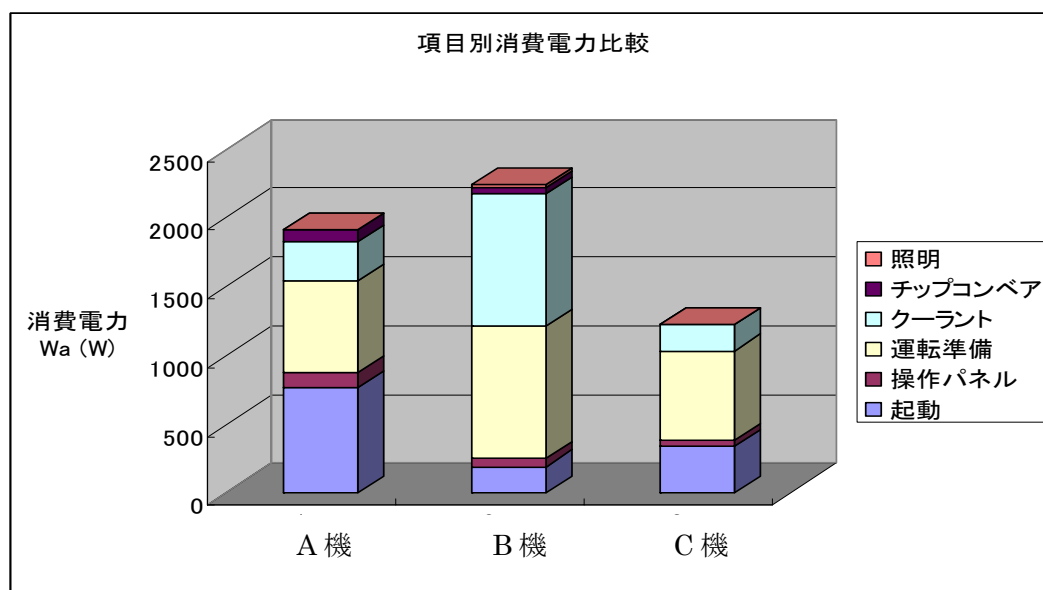


図 3.2.7 NC 旋盤の待機時消費電力の比較

図 3.2.8 は主軸回転数と消費電力の関係について測定した結果である。機種によって消費電力の増加割合が異なるが、主軸回転速度の増加に伴い、消費電力が増加する傾向が確認できる。NC 旋盤の場合には、回転速度を連続的に変更する場合があるので、マシニングセンタのように低速域と高速域に分かれることはない。ところで、大きな電動機を用いた C 機の消費電力が少ないことから、主軸の構造とモータ馬力が影響していることが予想される。

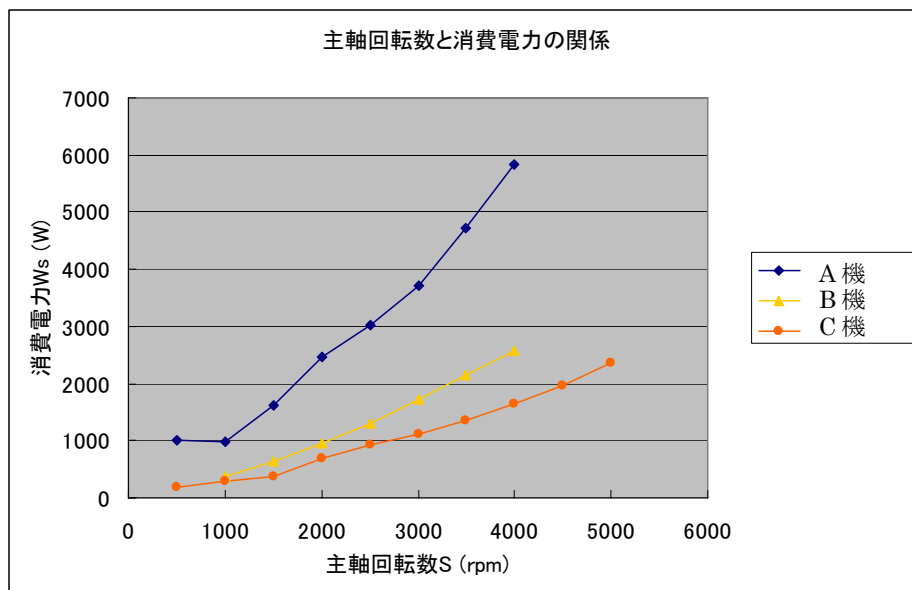


図 3.2.8 NC 旋盤の主軸回転数と消費電力の関係

図 3.2.9 は、外径切削時における消費電力を送り速度を変えて測定した結果で、切り込みと送り量の増加に伴い、消費電力も増大する。ところが、その増加割合は機種により異なり、A機のように特に重量の大きい場合は、全体としては大きな消費電力を示すが、送りに対する傾きは低く、切り込みの増加に対しても増加率が他機種に比べ小さい。これは、切削状態における消費電力に対しては、機種による特性が明らかに反映していると考えられ、消費電力の大きさだけを評価・評価することは問題と考えられる。さらに、切削油剤の供給状態やドライ加工では、当然消費電力にも影響すること、連続加工サイクルの状態が熱的な影響を及ぼすこと、などを考慮すると、マシニングセンタの場合と比較すると、注意しなければならない点も多い。

以上のことを配慮すると、NC 旋盤に関する JIS 化では、測定方法および標準加工サイクルを再検討することが必要といえ、下記の点のような課題が考えられる。

- ① 旋削加工は全般的に速度が速く加工時間が短いため、安定した測定を行うためには加工時間を長くする必要がある。
- ② 周速一定の条件で加工する場合、外径が異なると主軸回転数が異なり、消費電力も異なるので、外径も同時に条件として設定する必要がある。
- ③ 加工時間を長くすると、工作物の温度が上昇し、測定結果に影響を及ぼすことが懸念されるので、切削油剤の供給状態なども考慮する必要がある。

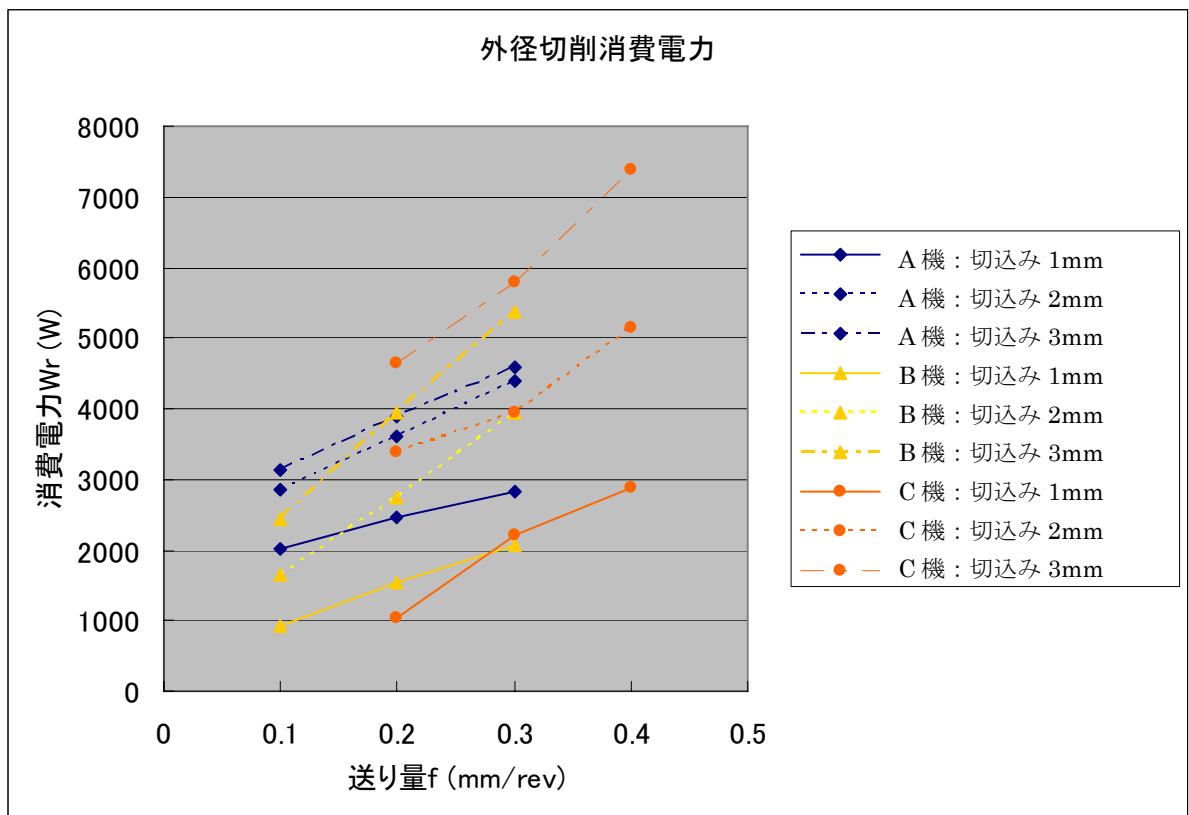


図 3.2.9 NC 旋盤の外径切削時における消費電力 (送り量の影響)

### 3.2.6 ターニングセンタとしての JIS 化について

マシニングセンタと異なり NC 旋盤の場合には、全般的に速度が速いため、正確な測定を行うためには、運転サイクルあるいは加工サイクルを定める必要がある。さらに、最近のターニングセンタの普及割合も考慮し、NC 旋盤とターニングセンタを対象とする JIS 原案が検討されている。具体的には次のような標準加工サイクルが検討されている。

ターニングセンタでは、φ120×120mm の S45C 棒材を旋削加工 2 種類とフライス加工 2 種類に関して、下降中の消費電力の測定を行う。工具は中切削用の超硬工具を用いることとし、使用工具の材種、型名などを明記することとしている。

具体的な加工は図三. 2. 10 に示すようにチャックワークとし、加工条件は機種に合わせて選定、調整することとし、下記のような標準の条件で加工を行うように定めている。

①端面加工：切削速度 1 種類 (150m/min)、切り込み量 1 種類 (1mm)、送り量 3 種類 (0.1、0.15、0.2mm/rev)

②外径加工：切削速度 1 種類 (150m/min)、切り込み量 3 種類 (0.5、1.0、1.5mm)、送り量

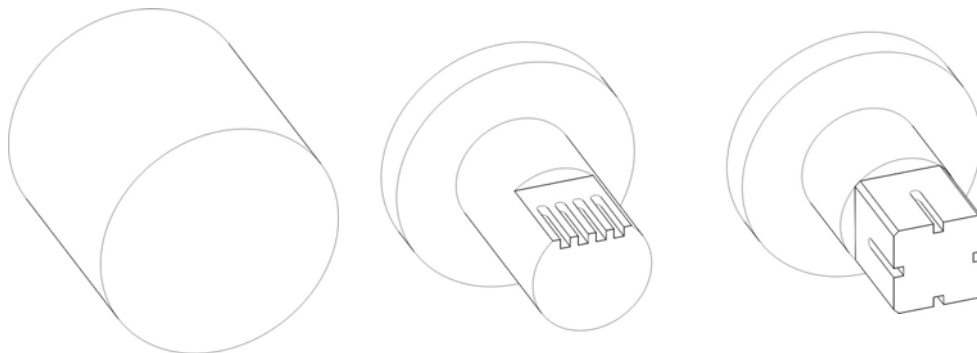
3種類 (0.1、0.15、0.2mm/rev)

③フェイスミル (平面) 加工 : 工具径  $\phi 32\text{mm}$  程度

ただし、加工する平面幅は 32mm、切削速度 1 種類 (150m/min)、切り込み量 2 種類 (0.5、1.0mm)、送り量 2 種類 (0.05、0.1mm/rev)、合計で外径より 10mm 程度の平面を作成。

④エンドミル (溝) 加工 : 工具径  $\phi 10\text{mm}$  程度 2 枚刃、切削速度 1 種類 (150m/min)、切り込み量 2 種類 (0.5、1.0mm)、送り量 2 種類 (0.05、0.1mm/rev)、フェイスミルで加工した平面に 4 箇所溝加工する。

④のエンドミル (溝) 加工において、Y 軸機能がないために平行溝が加工しにくい場合は、図 9 に示すように、90 度ごとに割り出しを行い、軸上の溝を加工する方法で対応することとしている。



(a) 工作物、 $\phi 120 \times 120$  (b) Y 軸機能を利用 (c) Y 軸機能を未使用図

図 3.2.10 ターニングセンタの加工形状

### 3.2.7 研削盤の J I S 化について

研削盤に関しては種類が多くすべてについて J I S 化することは困難なので、代表的な平面研削盤と円筒研削盤を対象に、JIS 原案作りが進められている。図 10 は横軸角テーブル形平面研削盤を用いて、長さ 300mm×幅 200mm×厚さ 50mm の工作物の平面をバイアス研削およびステップ研削を行った場合の消費電力の変化を測定した例である。

砥石車の回転による電力変化、クーラントポンプの ON による電力変化、などが顕著に現れている。砥石車の回転で約 300W、クーラントポンプで 110W、ミストコレクターで 280W が電力として計測された。マシニングセンタや NC 旋盤と比べると主軸の電力は低いことが分かる。主電源 ON についても約 110W でこれも比較的小さい値であり、研削盤の特徴といえる。

バイアス研削時およびステップ研削時において、砥石が往復で加工している部分が鋭いパルス状の変化で計測されていることが確認できる。ただし、テーブルの往復運動時にお

ける加減速が電力変化に含まれているので、実際の加工に要した電力を識別することは難しい。さらに、パルス状の電力変化は現象として短い時間であるため、サンプリングタイムが1秒程度のクランプ式電力計では精度よく測定することはできないことが確認できる。

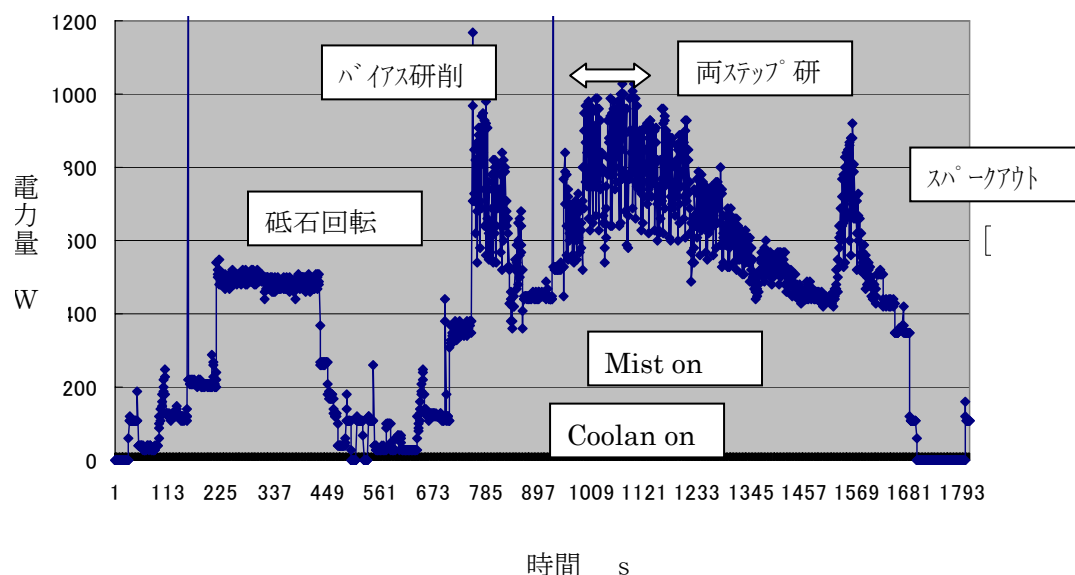


図 3.2.11 平面研削盤の加工時における消費電力の変化

### 3.2.8 おわりに

以上のように、簡便なクランプ式電力計を用いることで、各種工作機械の消費電力を計測できることが確認できている。基本的な待機時、加工時における消費電力の比較が容易で、加工条件の影響も把握できることから、試験方法の JIS 化に向けた準備が進み、以下に示す 5 種類の原案作成が本年度まとめられる予定である。

- (1) 工作機械の環境適合設計評価ガイドライン
- (2) 工作機械 —消費電力測定方法—第 1 部：マシニングセンタ
- (3) 工作機械 —消費電力測定方法—第 2 部：数値制御旋盤及びターニングセンタ
- (4) 工作機械 —消費電力測定方法—第 3 部：横軸角テーブル形平面研削盤
- (5) 工作機械 —消費電力測定方法—第 4 部：円筒研削盤

ただし、これらの原案で示されている測定は、工作機械の性能を評価するものではなく、環境適合設計への対応を考慮して、基礎データを取得するための指針としての試験方法である。そのため、次の点を考慮した議論が必要である。例えば、高精度な金型加工か、高能率な部品加工か、によって、主軸モータや送り軸モータの仕様は全く異なるので、消費

電力の割合も当然異なる。目標仕様に合わせて設計することは重要であり問題ではないが、現状では加工に要する消費電力に比べ、周辺機器や運転準備状態で消費される電力が大きいことが明らかである。この点に関しては、これまでに既に指摘されていたことであるが、再確認が必要である。

今後は、消費電力の標準的な測定方法の提案と、その結果を参考に環境適合設計を行う工程を明示することが望まれる。工作機械の基本性能と合わせて、周辺機器の消費電力削減を検討することも重要な課題であり、さらに、個々の工作機械の消費電力から、生産ライン全体の電力測定へ拡張することも工場全体の環境負荷を評価する上で必要不可欠といえる。製造工程の環境負荷評価が工作機械などの単体の消費電力測定と密接に関連していることから、統一的な指針の提示が急務と考えられる。

#### 参考文献

- (1) 西脇信彦ほか：工作機械の環境安全対策に関する調査研究（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）、平成 8 年 3 月、平成 9 年 3 月、平成 10 年 3 月、（社）日本工作機械工業会
- (2) 斎藤義夫ほか：環境対応工作機械に関する調査研究（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）、平成 11 年 3 月、平成 12 年 3 月、平成 13 年 3 月、（社）日本工作機械工業会
- (3) 斎藤義夫ほか：工作機械の環境に関する標準化分野の調査研究、平成 16 年 3 月、平成 17 年 3 月、（社）日本工作機械工業会
- (4) 椿広計ほか：環境適合設計手法の標準化に関する調査研究、平成 16 年 3 月、（社）日本機械工業連合会
- (5) 尾見信三ほか：環境調和型製品導入促進調査報告書、平成 12 年 3 月、（社）産業環境管理協会
- (6) 山本良一ほか：環境調和型事業活動導入促進調査報告書、別冊(資源生産性)、平成 14 年 3 月、（社）産業環境管理協会
- (7) 原 雄太 ほか：工作機械の消費電力評価方法の構築、2005 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、P743-744、平成 17 年 3 月、精密工学会



### 3.3 素形材製造プロセスにおける環境負荷評価

鋳造品、鍛造品、金属プレス製品、粉末冶金製品等を総称して素形材と呼ぶが、素形材産業ビジョン<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>が示され、併せて関連業界からもそれぞれの産業ビジョンが提示されている。

素形材産業ビジョン<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>には環境負荷や環境対応という視点が一切認められないが、関連業界から発表されている産業ビジョンには、各業界の現状に応じて環境対応の技術開発等の必要性が述べられている。例えば、鍛造業ビジョンでは騒音・振動の低減など鍛造工場と地域住民の共存がアクションプランの中項目に含まれている<sup>(3)</sup>が、環境対応について鍛造業界が取り組むべき課題として、社会的要請や規制に対応して生産するための環境負荷低減（エネルギー・振動・騒音・産業廃棄物）技術開発や高熱効率加熱・鍛造システム、低騒音・低振動プレス、廃棄物が出ない潤滑システムなどをあげている<sup>(4)</sup>。金属プレスに関しては概要<sup>(5)</sup>では言及されていないが、エミッションフリーマニュファクチャリング（EFM）、ネットシェイプ成形、難加工材の成形、金型・プレス関連設備の削減、知能化技術、人と環境に優しい工場がプレス加工に関連した環境負荷低減に係わる技術課題<sup>(6)</sup>としている。鍛圧機械業界では、人に優しい鍛圧機械、省資源・省エネルギーに資する鍛圧機械という技術開発の方向性のほかに、高生産・省電力・低騒音・省資源・金型寿命の向上・ネットシェイプ成形・CO<sub>2</sub>排出低減（製造工程－輸送・据付、顧客の生産工程）などのエコプロダクツに対するユーザーニーズを強調している<sup>(7)</sup>。さらに、鋳造産業においては、粉塵や騒音、振動、臭気の発生を極力抑えた「クリーンファクトリー」の実現に向けた努力が必要であるとし、ゼロ・エミッションなど環境との調和が重要である<sup>(8)</sup>としているが、ダイカスト業界においても人材の確保と育成のために、快適安全職場の整備と環境モデル工場制度の確立が必要<sup>(9)</sup>としている。

本節では、鍛造プロセスにおける環境負荷評価、鋳造プロセスにおける環境負荷評価の現状などについて概説する。

#### 3.3.1 鍛造プロセスにおける環境負荷評価

鍛造はプレス加工とともに塑性加工の一手法であり、塑性加工が今日の環境問題に及ぼす影響の評価は必ずしも容易ではないが、環境保全のための塑性加工技術として、

- (1) 省エネルギー・省資源技術
- (2) 塑性加工品の高品質化・高機能化・長寿命化技術
- (3) 環境汚染物質の削減化技術
- (4) 資源リサイクルとその再生利用技術

などの重要性が指摘され、各技術に関連した技術的課題が提示<sup>(10)</sup>されている。同様な視点から、

- (1) 塑性加工における省資源
- (2) 塑性加工における省エネルギー
- (3) 省エネルギーのための塑性加工
- (4) 塑性加工における騒音・振動
- (5) 塑性加工における環境汚染物質
- (6) 資源再利用と塑性加工

などの項目別に塑性加工技術における環境技術の開発動向などが紹介<sup>(11)</sup>、<sup>(12)</sup>、<sup>(13)</sup>され、同時に塑性加工技術が環境に及ぼす評価を現実のものとするために LCA 手法の確立、中立機関によるデータの集約とデータベースの構築が急務であると指摘<sup>(12)</sup>、<sup>(13)</sup>されている。また、ネットシェイプによる環境保全と経済効果、環境問題と潤滑剤、軽量化対策とプレス機械などの環境技術も紹介<sup>(14)</sup>されており、ネットシェイプ化の追求、加工機械のダウンサイジング化による環境負荷の低減、環境負荷の評価技術などが紹介<sup>(15)</sup>されているが、LCA による評価に関連して、塑性加工のような組立型産業の加工プロセスの評価に必要なデータは殆ど存在せず、LCA を新技術の開発や環境負荷の低減、環境ラベリング等に用いることができていない問題点が指摘<sup>(15)</sup>されている。

鍛造は加工温度によって熱間加工と冷間加工に大別されるが、被加工材の再結晶温度以上での加工を熱間加工と呼んでいる。鉄鋼材料の鍛造では、熱間鍛造の場合には 1,200～1,250°C での加熱工程、冷間鍛造の場合には焼鈍工程などエネルギー消費型の前工程が存在する。少し古いデータであるが、ある自動車部品の熱間鍛造において消費されるエネルギーの比率を示すと図 3.3.1<sup>(16)</sup>のようになり、塑性加工としての鍛造のみで消費されるエネルギーは全体の 1 割にも満たない。従って、工場に材料が搬入されてから製品として出荷されるまでの一連の工程を対象として環境負荷対策を講じる必要がある。

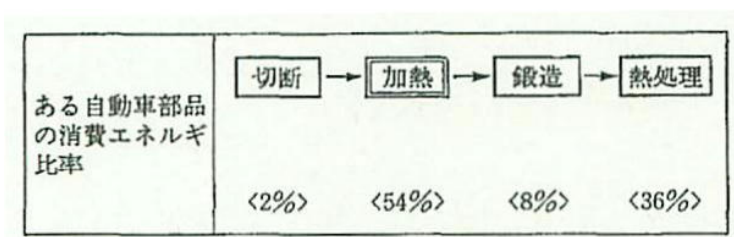


図 3.3.1 熱間鍛造における省エネルギー比率の一例<sup>(16)</sup>

図 3.3.1 の熱間鍛造の例では、熱間加工温度に材料を加熱するためのエネルギーが全消費エネルギーの大半を占めるので、加熱工程における省エネルギーが重要になる。例えば、重油加熱方式から高周波誘導加熱方式へと加熱方式の変更、あるいは1つの加熱方式に対しても加熱プロセスにおける個々の要素技術レベルにおける省エネルギー対策が、結果として熱間鍛造を含む一連の加工プロセス（生産ライン）全体における省エネルギーをもたらすことになる。しかし、さらに大切なことは図 3.3.1 の一連の加工プロセス自体の見直しである。要求されているのは製品の精度、強度および品質であり、図 3.3.1 はそれらの要求を満たす製品を得るための1つの道筋に過ぎない。同様の精度、強度、品質などを保証する製品を得るための道筋は数多く存在する。一連の加工プロセスにおける環境負荷を評価することにより、環境負荷を低減する加工プロセスの選択が可能となるが、加工エネルギーに比較すれば加熱エネルギーははるかに大きいので、加工温度の低下や熱間加工から冷間加工への切り換えの検討、あるいは中間焼鈍の省略可能な加工方法の開発などが重要となる。

2005年の我が国の鍛造品の総生産量<sup>(17)</sup>、<sup>(18)</sup>は約315万トン、そのうちで铸鋼から鍛造する鍛鋼品が70.2万トン、ビレットおよび棒材から鍛造する鍛工品が244.6万トンで1990年度の最高値243万トン以降減少の傾向にあったが鍛工品についてはこれまで最高の生産量を記録した。鍛工品（244.6万トン）の生産方法の内訳を示すと、冷間鍛造5.6%、熱間（型）鍛造77.6%、熱間リングロール11.4%および熱間自由鍛造5.4%で、94.4%を占める熱間鍛造品のうちでビレット加熱の鍛造品の占める割合が大きい。一方、1997年の鍛造品の総生産量は図 3.3.2<sup>(19)</sup>に示すように約290万トンで、図中に原単位（製品重量当たりのエネルギー消費量）が示されているが、鍛鋼品の原単位は22.3 MJ/kgで鍛工品の1.5倍以上もあり、材料歩留りも鍛工品の70%以下である。鍛造における原単位に影響を及ぼす主要な因子として、以下のようなものがあげられている<sup>(19)</sup>。

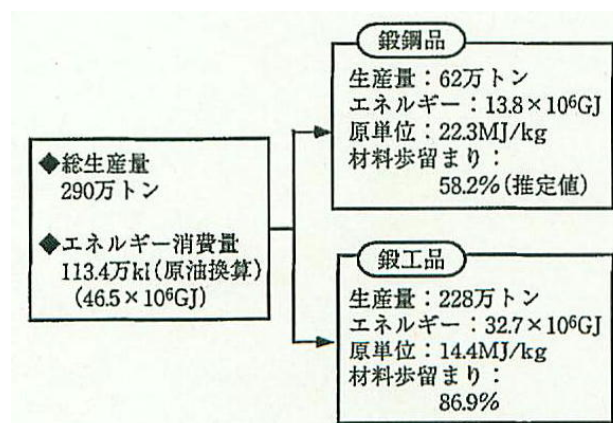


図 3.3.2 1997年における鍛造品の総生産量、原単位および材料歩留り<sup>(19)</sup>

- (1) 材料歩留り
- (2) 加熱炉／熱処理炉の熱効率および鍛造機の機械効率
- (3) 鍛造の方法および加熱／熱処理操作の時間履歴

前述のようにビレット加熱による鍛工品は 80%弱を占めているが、ビレット加熱による鍛工品は量産品が多く、ライン生産で製造されている。鍛工品の製造に使用されるエネルギーの内訳は、図 3.3.3<sup>(19)</sup>に示すように電力が最も多く、熱効率が高くて温度制御が可能な誘導加熱炉の利用が増えてきている。しかし、燃焼炉の使用割合も少なくはないこと、熱間鍛造では図 3.3.1 に示したように大半のエネルギーがビレット加熱と鍛造後の熱処理に消費されていることから、鍛造の省エネルギー対策においては前述のように熱エネルギーの有効利用が重要になる。

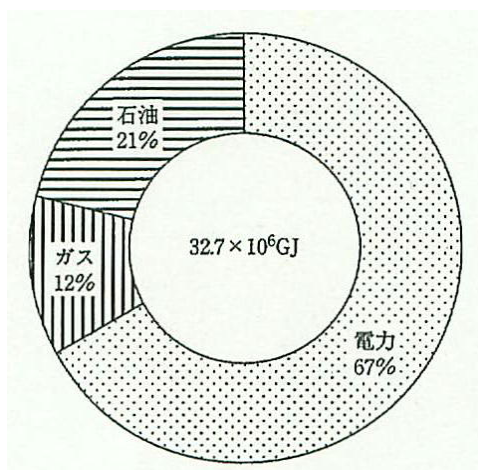


図 3.3.3 1997 年における鍛工品のエネルギー源の内訳<sup>(19)</sup>

鍛造専門メーカー 8 社の 21 種類鍛造品のデータ分析<sup>(20)</sup>によれば、原単位が小さい場合は製品の多くが加熱に熱効率の高い誘導加熱炉を用い、機械プレスで鍛造し、大半が鍛造焼入れを採用している。一方、原単位が大きい場合は比較的サイズの大きな製品で、多品種少量生産の製品が多く、燃焼炉による加熱とハンマーによる鍛造が大半であり、これらの調査結果から省エネルギー対策として実績を上げている効果的な事例として以下のようにまとめられている<sup>(19), (20)</sup>。

- (1) 加熱炉から鍛造機械へ連続的にビレットを搬送する。その際、熱効率の高い誘導加熱炉を用いると、放射および伝熱損失を低減できる。
- (2) 誘導加熱炉では、ビレット加熱温度の精密制御が可能となり、非調質鋼が使えるので鍛造後の熱処理を省略できる。
- (3) 鍛造と熱処理工程を直結することで、鍛造焼入れ、鍛造焼ならしのように自熱を有効利用して熱処理を行うので、鍛造後の熱処理エネルギーを大幅に削減できる。

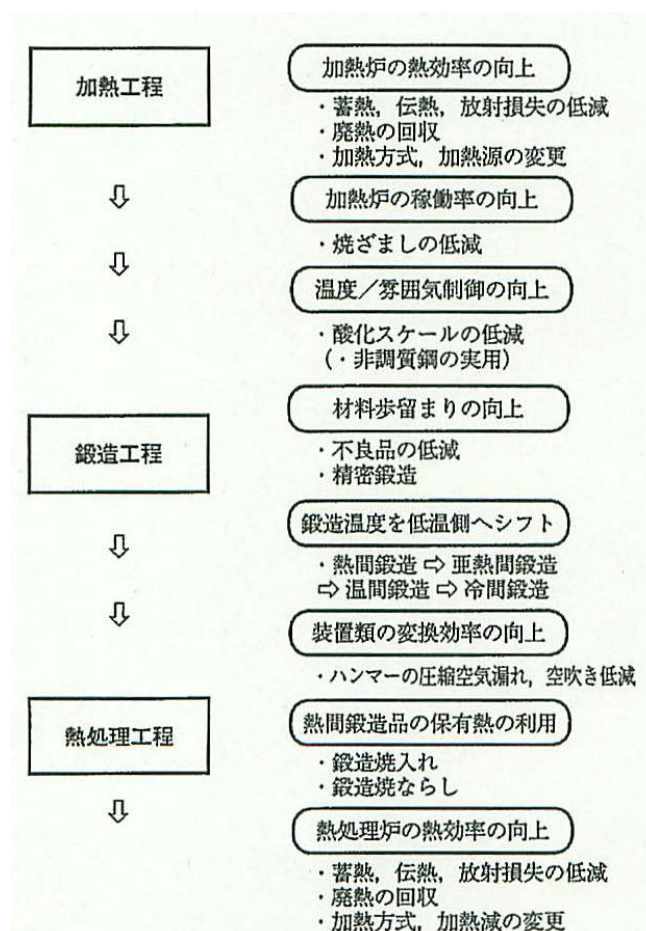


図 3.3.4 熱間鍛造の各工程における省エネルギーの戦略と主な方策<sup>(19)</sup>

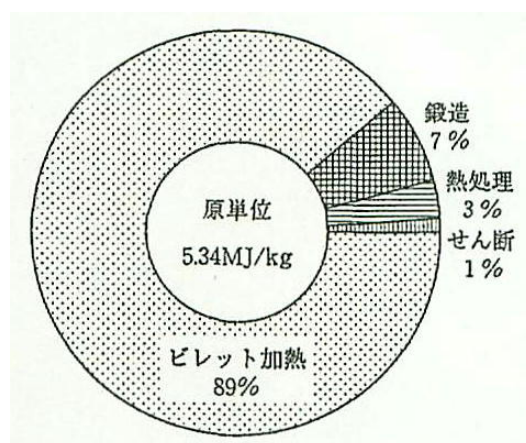


図 3.3.5 誘導加熱および鍛造焼入れを採用した熱間鍛造品の原単位の事例<sup>(19)</sup>

図 3.3.4<sup>(19)</sup>にはせん断（材料切断）を除く熱間鍛造の各工程における省エネルギー対策がまとめられているが、ばりや後工程での切削代を少なくすることは加熱工程のエネルギー消費を少なくするだけでなく、鉄鋼素材の製造エネルギーの方が鍛工品の加工エネルギー

一よりはるかに大きいので、材料のロスを少なくすることは全体としてエネルギーの節約に大きく寄与することとなる。その意味で、鍛造品のネットシェイプ化は極めて重要なキーテクノロジーである。一方、熱間鍛造品の自熱（保有熱）を利用した鍛造熱処理が有効であることを述べたが、誘導加熱と鍛造焼入れを採用したある自動車部品の熱間鍛造における原単位を示すと図 3.3.5<sup>(19)</sup>のようになり、前述の図 3.3.1 に比較すると、鍛造および熱処理でのエネルギーは両者を合わせても 10%程度と少なく、ビレット加熱のエネルギーが 90%弱を占めている。

ここまでに紹介した事例は熱間鍛造プロセス（熱間鍛造ライン）における省エネルギー対策であり、極言すれば、2 度にわたる石油危機後にとられた省エネルギー対策と何ら変わらない。これに対して、ISO14001 に基づく環境マネジメントシステム（EMS）の普及およびエコアクション 21<sup>(21)</sup>による環境報告書<sup>(22)</sup>や環境活動レポート<sup>(21)</sup>の作成と公表のために、総エネルギー投入量、総物質投入量、水資源投入量、温室効果ガス排出量、化学物質排出量・移動量、総製品生産・販売量、廃棄物等総排出量、廃棄物最終処分量、総排水量・水質汚濁物質排出量などの環境負荷を把握しようとする活動が増えてきている。例えば、熱間鍛造工場では、誘導加熱炉の電力量、ビレットのバイパス本数、プレス等の設備総合効率、潤滑剤・油脂・ショットブラスト玉の品目ごとの使用量などがラインごとに管理されている。しかし、これらの環境負荷項目の鍛造ラインごとの評価と評価手法に関する陽な報告は見当たらない。

鍛造では、エネルギー利用効率、材料利用率およびリサイクル性が高く、できる限り環境負荷の少ない（究極にはエミッションフリーの）生産プロセスが求められているが、今後の展望と鍛造ロードマップで提出された重要課題のうち、環境負荷低減に関わるものとして以下のものなどがあげられている<sup>(23)</sup>。

- (1) 非りん系潤滑剤の開発（廃液処理ゼロ化）
- (2) 型寿命改善を達成できる温・熱間鍛造用高性能潤滑剤の開発
- (3) 自己潤滑性材料の開発（無潤滑鍛造、水系潤滑）
- (4) 高機能表面被膜処理技術の開発（高型寿命、潤滑剤フリー）
- (5) 超高型寿命材料の開発（傾斜機能型）
- (6) 鍛造性と高強度をもつ材料開発（各種制御鍛造）
- (7) エネルギー消費を大幅に削減できる非調質多元快削鋼の開発
- (8) 高精度鍛造を可能にする鍛造温度の好適利用技術（複合鍛造）
- (9) 複雑形状部品および大型部品のネットシェイプ成形技術の確立
- (10) 廃液廃材ゼロの生産体制（環境汚染ゼロ工場）

- (11)市場のグローバル化に対応できる企業構造の変革
- (12)CO<sub>2</sub>削減に寄与できる製品設計
- (13)幅広い作業員に対応できる生産設備
- (14)リサイクル品の性能改善技術
- (15)スケールや無駄焼きを発生させない鍛造プロセス

上記には、潤滑に関する技術（トライボロジー技術）が数多く含まれており、塩素フリー、ボンデフリーの冷間鍛造潤滑技術が開発されつつあるが、プレス加工用の潤滑剤の開発が中心となっており、りん酸塩被膜+MoS<sub>2</sub>で現在加工されているような強加工度の冷間鍛造領域にまでは対応できていない<sup>(24)</sup>。また、温・熱間鍛造においても非黒鉛系潤滑剤の性能改善が進み、利用範囲が広がってきている。さらに、フローフォーミングのような冷間回転加工においては、カム軸研削やクランク軸研削時に匹敵する 100 l/min 程度の冷却油剤が使用されており、潤滑・冷却技術の環境負荷とその評価も重要である。

鍛造ラインの環境負荷評価を現実のものとするには、鍛造ラインに対する LCA・LCI 手法の確立が必須となるが、製品と加工方法をある程度特定してその範囲内のインベントリデータの取得等を中立機関が中心となって推進する必要がある。

### 3.3.2 鍛造プロセスにおける環境負荷評価

鍛造工場における環境保護対策としては、以前から以下のものなどがあげられている<sup>(25)</sup>。

- (1) 省エネルギー
- (2) 騒音・振動対策
- (3) ダスト対策
- (4) 水質汚濁対策
- (5) 臭気対策
- (6) 産業廃棄物の減量化
- (7) 産業廃棄物の有効利用

また、ニーズの変化、生産技術・プロセスの変化、環境問題等の高まり、経営・生産システムなど鍛造産業の今後の動向などとともに、重要技術個別テーマが分野別に

- (1) 環境負荷対策・対応技術（化学物質等の調査・鋳鉄など各種材料の環境影響比較や評価方法の開発、データベース化を含む）
- (2) 廃棄物極小化技術（リサイクルを含む）
- (3) エネルギー使用最少化技術（数値シミュレーション技術を含む）
- (4) 知能化・情報化技術（コンカレントエンジニアリング、プロダクトマネジメント、

仮想マニュファクチャリング、素形材データベースなどを含む)

- (5) 迅速開発・短納期・変質変量生産技術
- (6) 革新的精密成形・組織制御技術
- (7) 革新的低コスト技術

のように紹介されている<sup>(26)</sup>が、半数以上が環境対応技術となっている。さらに、21世紀に期待されるもの作りと環境に関連する技術として、高耐久性人口砂の開発、高能率無公害型コールドボックスプロセスの開発、高収率の砂再生法の開発、新中子造型法の開発、廃棄物の少ない造型法などがあげられ<sup>(27)</sup>、次世代型鋳物生産システムの重要な課題として15項目が提示されている<sup>(28)</sup>が、クリーンなファンドリー設備の確立、ゼロエミッションへの挑戦、リサイクルシステムの構築、省エネルギー対策、人間に優しい生産システムなど環境対応型のものが多い。

リサイクルを含め、廃棄に至る全てのエネルギーを考慮すると切削加工などよりはるかに使用エネルギー量が少ない鋳造品が少なくない<sup>(26)</sup>、あるいはリサイクルの観点からは塑性加工より鋳造が適している<sup>(29)</sup>などという視点もあるが、自動車製造における生産工程別のエネルギー使用割合を図3.3.6<sup>(30)</sup>に示すように溶解等の多エネルギー消費工程を含む鋳造が最も多くのエネルギーを使用しており、鋳造プロセスにおける省エネルギー（CO<sub>2</sub>排出低減）活動に対するニーズが高い。

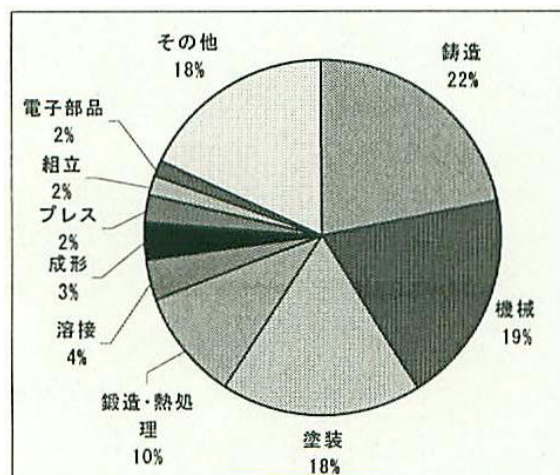


図 3.3.6 自動車製造における生産工程別のエネルギー使用割合<sup>(30)</sup>

鋳物工場における環境対応の現状の簡単な紹介<sup>(31)</sup>が行われているが、トヨタ自動車<sup>(30)</sup>、アイシン高丘<sup>(32)</sup>および<sup>(33)</sup>の鋳造工場における環境対応と環境報告書の事例が詳細に紹介されている。また、環境報告書<sup>(34)</sup>においては、鋳造工場における項目別省エネルギー効果の一覧表、電気炉電力と動力電力（工場全体電力と電気炉電力の差）の調査結果な



ども報告されている。さらに、アルミダイカスト離型剤の完全回収再利用化技術に関する試み<sup>(35)</sup>なども行われている。

一方、LCA に関しては、原材料や完成製品についてはそれぞれの業界で実施されてきているのに対して、素形材製品についてはあまり進んでいない<sup>(15), (31)</sup>といわれているが、鑄造ラインの LCI 分析を行うためのソフトウェア作成<sup>(36)</sup>が試みられている。

先ず、鑄造ラインの LCI 分析を行うためのソフトウェア作成のために、鑄造に関するインベントリデータ調査を行っている。鑄造は砂型鑄造、金型鑄造（ダイカストを除く）、ダイカストに大別され、また、材料にする金属の種類別に鉄系と非鉄系（アルミニウム、銅等）に分けられるが、銑鉄鑄物の砂型鑄造に特定して、7社9ラインの鑄造ラインのインベントリデータを収集している。その際、システム境界（バウンダリー）を鑄造工場内とし、産業連関方式ではなく積上げ方式として、鑄造工場内を図 3.3.7<sup>(36)</sup>に示すように「A 材料受入れ・溶解」、「B 砂処理」、「C 中子製造」、「D 造型」、「E 溶湯処理・注湯」、「F 型ばらし」、「G 鑄仕上げ」、「H, I 後加工」から「J 検査・製品出荷」までの単位プロセスに分けて単位プロセスごとのインベントリデータを収集しているが、各単位プロセスに含まれる工程・作業は表 3.3.1<sup>(36)</sup>のように定義されている。データは単位プロセスごとに収集することとしているが、例えば電力計の設置状況などによっては複数の単位プロセスに一つのデータしかない場合もあり、このような場合には便宜的に、当該単位プロセスのうちで最も負荷が高いと考えられる単位プロセスのデータとして取扱われている。また、個々の単位プロセスに分割できない冷暖房、照明、建屋集塵等のデータは工場全体のデータとして一括収集されている。さらに、鑄造プロセスにおける環境負荷の大小は生産量に単純に比例するのではなく、表 3.3.2<sup>(36)</sup>に示すような要因が影響すると考えられているので、同種製品を作る場合でも工場の生産方式によって製品重量当たりの環境負荷は異なっている。

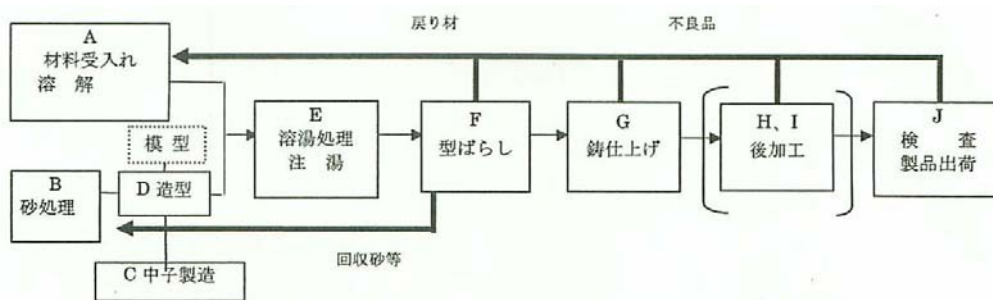


図 3.3.7 鑄造プロセスフローの単位プロセスへの分割<sup>(36)</sup>

表 3.3.1 鑄造における単位プロセスの定義<sup>(36)</sup>

	単位プロセス名	単位プロセスに含まれる工程、作業
A	材料受入れ・溶解	材料受入れ・切り出し・投入、操炉作業、炉前作業(成分調整・温度管理)、スラグ除去、保持
B	砂処理	混練(計量、砂補給、水分調整、混練、エアレート等)、回収(金属等分離、砂温測定、加水・攪拌、冷却、集塵等)、砂再生
C	中子製造	中子用砂処理、中子造型、塗型、中子組立、中子ばり取り
D	造型	模型セット、砂投入、造型、穴あけ(ガス、湯口)、塗型、中子セット、枠合わせ、枠ばらし等
E	溶湯処理・注湯	脱硫、球状化处理、摂取、溶湯搬送(取鍋等)、注湯
F	型ばらし	解枠、シェイクアウト、製品取り出し、冷却(ハンガー、ドラム等)、吊り掛け
G	鑄仕上げ	ばり取り(プレス、研削等)、ショットブラスト、せき折(湯口、押し湯含む)
H~I	後加工	想定する後加工…機械加工、塗装、熱処理、表面処理 等
J	検査・出荷	外観、寸法精度、鑄巣 等
工場全体	ライン冷暖房	個々の単位プロセスに分けられる場合は、単位プロセスに参入
	一般照明等	
	建屋集塵	
	ベルトコンベア	
	内部輸送用フォーク	

表 3.3.2 鑄造プロセスの環境負荷に係わるファクター<sup>(36)</sup>

主要設備・工程	溶解炉	キューボラ、電気炉
	造型方法	機械、手込め
製品サイズ	大物、小物	
製品形状	複雑(中子多い)、比較的単純	
生産量の多寡	大量生産、少量生産	
鑄型	砂型	生型、自硬性、熱硬化性、ガス硬化性 他
	金型	
	その他	消失模型、Vプロセス、遠心鑄造等
材質	ねずみ鑄鉄(鑄鉄管含まず)	
	球状黒鉛鑄鉄(鑄鉄管含まず)	
	ねずみ鑄鉄(鑄鉄管)	
	球状黒鉛鑄鉄(鑄鉄管)	
	可鍛鑄鉄	
	非鉄金属	

7社9ライン(Aライン~Iライン)の事例から、鑄造ラインで使用する各単位プロセス(「後工程」はデータがなく省略)におけるエネルギー消費割合を示すと図3.3.8<sup>(36)</sup>のようになり、エネルギーの約60%が「材料受入れ・溶解」で消費されており、次いで多いのは「砂処理である」。

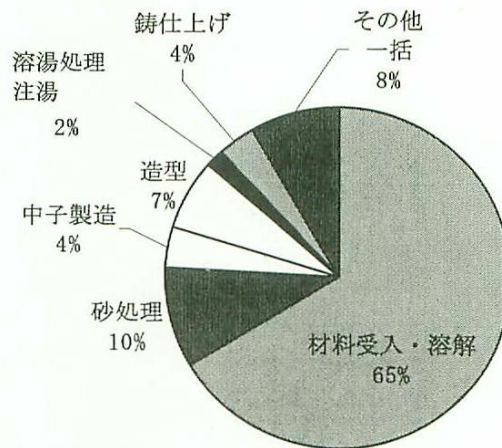


図 3.3.8 鑄造における各単位プロセスのエネルギー消費割合<sup>(36)</sup>

表 3.3.3 鑄造における単位プロセス別エネルギー使用原単位 (MJ/t)<sup>(36)</sup>

No.	MJ/t-製品鑄物								
	材料受入・溶解	砂処理	中子製造	造型	溶湯処理・注湯	型ばらし・冷却	鑄仕上げ	その他工場一括	総計
A	8,973	727	363	1,090	363	109	618		12,243
B	8,022	720		103		36	5		8,886
C	2,648	1,172			62				3,882
D	4,845	3,139	961	695			614	3,518	13,772
E	6,650		422	654			824	1,772	10,322
F	3,288		897	897	464		332	62	5,941
G	8,661	607	212	1,213					10,693
I	6,026	679	12	232	366		385	755	8,456
平均	5,386	796	357	582	111	18	299	669	9,642

表 3.3.4 鑄造における単位プロセス別 CO<sub>2</sub> 排出原単位 (kg/t)<sup>(36)</sup>

No.	材料受入・溶解	砂処理	中子製造	造型	溶湯処理・注湯	型ばらし・冷却	鑄仕上げ	その他工場一括	総計
A	890	72	36	108	36	11	61		1,214
B	796	71		10		4	1		881
C	263	116			4				383
D	495	189	86	63			61	349	1,243
E	672		36	54			73	176	1,011
F	353		65	89	42		33	4	586
G	898	60	21	120					1,100
H									1,242
I	445	67	1	23	19		38	74	668
平均	539	86	37	60	23	6	40	135	925

表 3.3.3<sup>(36)</sup>には各鑄造ライン (A ライン～I ライン) の単位プロセスごとの消費エネルギー原単位を示すが、中子・模型の製造や砂の再生を鑄造ライン内で行う場合と外製する場があるが、ここでは鑄造ライン内で扱っているもののみを対象としている。C ラインの

エネルギー使用量が少ないこと、Dラインのエネルギー使用量が多い理由は冷暖房、集塵機等に多くのエネルギーを使用しているためであり、Dラインは全エネルギー使用量の4分の1を「その他の一括データ」が占めているが、その内訳は建屋集塵に要するエネルギーが約半分を占め、残りの殆どは冷暖房用エネルギーである。また、鑄造ラインにおけるエネルギー使用に伴う排出CO<sub>2</sub>に換算すると表3.3.4<sup>(36)</sup>のようになり、調査した鑄造ラインでは平均的に製品1トン当たり925kgのCO<sub>2</sub>を排出していることになる。

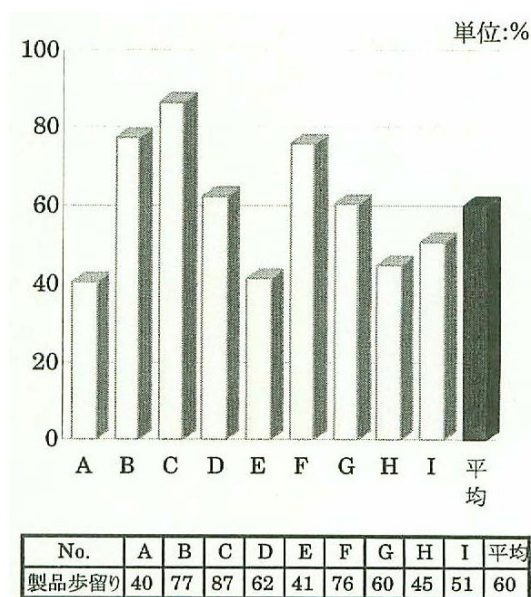


図 3.3.9 鑄造における製品歩留り（生産量/金属投入量）<sup>(36)</sup>

表 3.3.5 鑄造における単位プロセスごとの金属排出原単位（t/t）<sup>(36)</sup>

No.	材料受入・溶解	溶湯処理・注湯	型ばらし・冷却	鑄仕上げ	検査・出荷	鑄造プロセス全体
A	0.10	0.02	1.08	0.27		1.47
B	0.01	0.06	0.06	0.16		0.29
C	0.04			0.11		0.16
D	0.05	0.03	0.01	0.52		0.61
E	0.14	0.12	0.02	1.13		1.34
F	0.07		0.17	0.05	0.03	0.32
G	0.07	0.01	0.51	0.06		0.66
H	0.07	0.08	0.98	0.09		1.25
I	0.08	0.05		0.70		0.84
平均	0.07	0.04	0.32	0.35		0.77

製品鑄物量を鑄造の全ラインにおける金属投入量で除した製品歩留りを示すと、図3.3.9<sup>(36)</sup>のように平均値で約60%である。一方、鑄造ラインにおける各単位プロセスから排出される金属の総量は、表3.3.5<sup>(36)</sup>に示すように鑄物1トン当たり約0.77トンで、「型ばらし・冷却」と「鑄仕上げ」の単位プロセスで約86%を排出しているが、これらはリタ

ーン材として溶解工程に戻されるので鑄造ライン全体としての環境負荷物質のアウトプットには殆ど関与しない。これに対して、溶解工程で排出される金属はスラグで、量は多くはないが酸化物であり、鑄造材料として利用できないためにライン外に排出される。リターンされる金属、飛散および集塵への混入等による溶解ロスを除くと、ライン外へ排出される金属は鑄物 1 トン当たり 0.07 トンでその 9 割はスラグである。但し、埋め立て処分されるの 1%程度で、その他は鉄源、セメント原料、路盤材として有効利用されている。

図 3.3.10 に公表されている鑄造用 LCI ソフト<sup>(36)</sup>のシステムの概要を示すが、以下のような特徴がある<sup>(36)</sup>。

- (1) 鑄造プロセスに特化して開発されたソフトである。
- (2) 鑄造ラインを 8 個程度以上の単位プロセス（工程、図 3.3.7 参照）に分けて、単位プロセスごとのフォアグラウンドデータを入力、集計する。
- (3) 具体的には Excel のシートの形で入力、集計を行う。
- (4) 工場によっては、例えば電力量など、個々の単位プロセスごとの負荷量が把握しにくく、複数の単位プロセスにわたるデータしかない場合がある。この場合でも、配分率を想定して単位プロセスごとに配分を行うことが可能である。
- (5) 産業技術総合研究所（旧資源環境研究所）が開発した産業環境管理協会の LCA ソフト（JEMAI-LCA）のデータ項目との整合を図っている。また、同ソフトのバックグラウンドデータについて、エネルギー、CO<sub>2</sub> の排出係数等を中心に一部を内蔵している。
- (6) 鑄造工場外に外注されることのある砂再生や中子製造に関するエネルギー、CO<sub>2</sub> 排出係数を調査した結果を、バックグラウンドデータとして実装している。
- (7) 鑄造工程全体のインベントリデータの算出だけでなく、単位プロセスについても各種の原単位を求めることができる。鑄造工程全体のインベントリデータは、JEMAI-LCA をはじめとする市販の LCA ソフトへの入力基礎データとなる。
- (8) 金属歩留まり（リターン量あるいは率）その他のパラメータの変更によるインベントリデータへの影響を分析して、シミュレーションを実施できる。

鑄造品の LCA はようやくその途についたようである<sup>(31)</sup>。

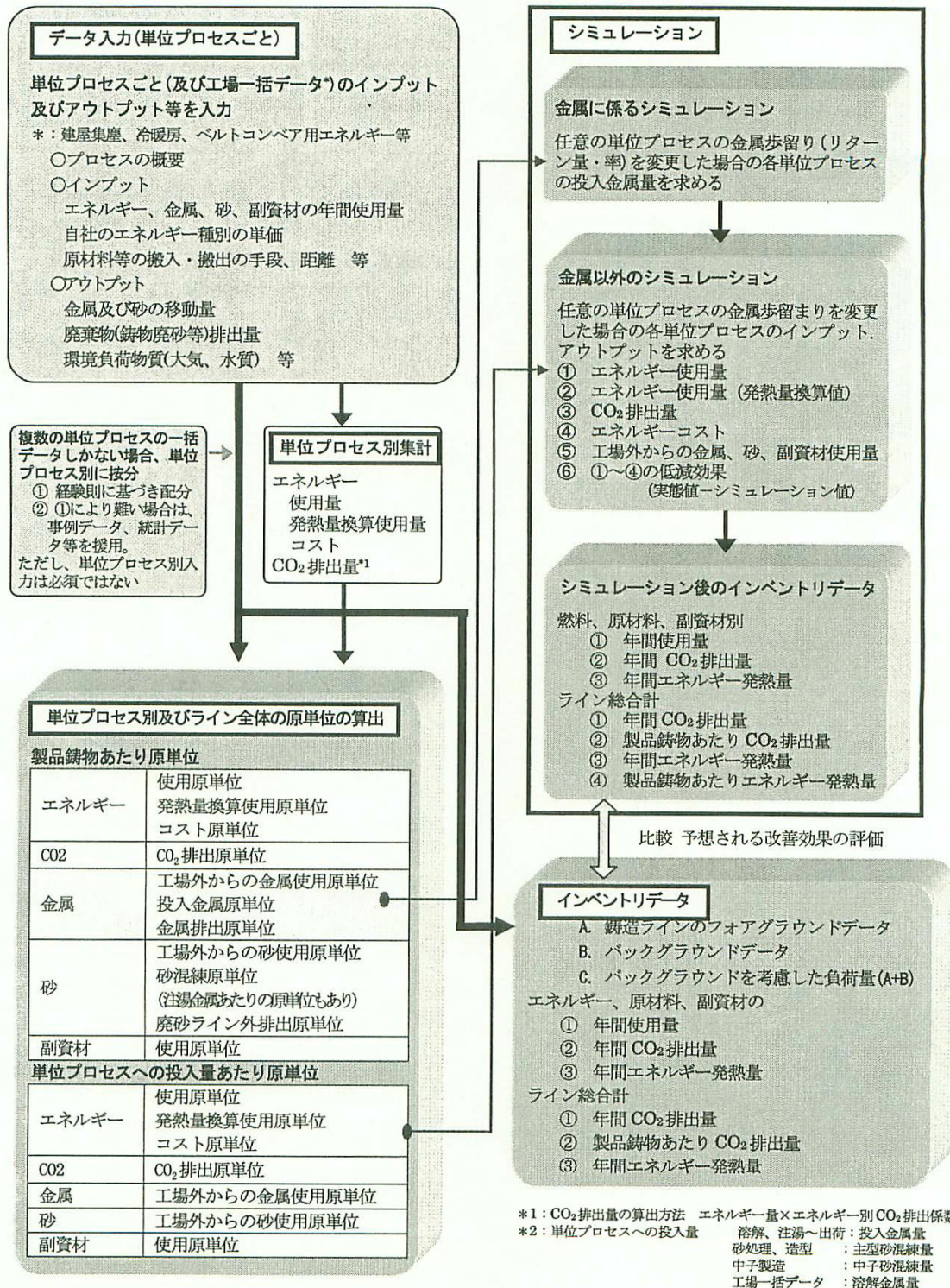


図 3.3.10 鋳造ライン LCI ソフトのインベントリ分析システム概要<sup>(36)</sup>

## 参考文献

- (1) 経済産業省素形材産業ビジョン策定委員会：素形材産業ビジョン－我が国の素形材産業が目指すべき方向性－, (2006-5), pp. 1-107.
- (2) 経済産業省製造産業局素形材産業室：素形材産業ビジョンの策定について, 素形材, **47-4**(2006), pp. 4-11.
- (3) 日本鍛造協会：鍛造業ビジョン（概要）－我が国の鍛造業が目指すべき方向性－, 素形材, **48-1**(2007), pp. 33-37.
- (4) 日本鍛造協会：我が国重要産業の国際競争力強化に向けた鍛造技術の高度化の方向性等に係る基礎調査, (2006-3), pp. 1-28.
- (5) 日本金属プレス工業会：金属プレス産業ビジョン（概要）, 素形材, **48-1**(2007), pp. 38-41.
- (6) 日本金属プレス工業会：金属プレス産業ビジョン, (2006-11), pp. 1-51.
- (7) 日本鍛圧機械工業会：鍛圧機械産業ビジョン 10年後のあるべき姿について, (2006-10), <http://www.j-fma.or.jp/>.
- (8) 日本鑄造協会：鑄造産業ビジョン－鑄物が開く新世界－, (2006-11), pp. 1-37.
- (9) 日本ダイカスト協会：ダイカスト産業ビジョン（概要）, 素形材, **48-1**(2007), pp. 24-32.
- (10) M. Kiuchi: Technology Required for Protection of the Environment in the Field of Metal Forming, *Journal of Materials Processing Technology*, **59**(1996), pp. 239-241.
- (11) 川井謙一：環境問題と塑性加工, *金属*, **62-4**(1992), pp. 88-94.
- (12) 川井謙一・佐野利男：環境問題 21世紀への展望, 塑性と加工, **35-400**(1994), pp. 569-572.
- (13) 川井謙一：塑性加工における環境技術の開発動向, *機械の研究*, **51-1**(1999), pp. 209-216.
- (14) 佐野利男・久保勝司・片岡征二・村田眞・大木恵嗣・川井謙一：塑性加工における新世紀の環境技術, **43-500**(2002), pp. 863-867.
- (15) 佐野利男：塑性加工分野における環境への取り組みと技術開発の方向, **43-492**(2002), pp. 16-19.
- (16) 安川彰吉：熱間鍛造の加熱プロセスにおける省エネルギー, 塑性と加工, **23-253**(1982), pp. 107-112.
- (17) 鈴木太・白岩宣男・大谷郁夫・石川孝司：鍛造, 素形材, **47-4**(2006), pp. 41-46.

- (18) 素形材センター：素形材工業生産実績（年報），平成 17(2005)年月別統計，  
<http://www.sokezai.jp/>
- (19) 久保勝司・関口秀夫：熱間鍛造における省エネルギー戦略，塑性と加工，**43-492**(2002)，  
pp. 11-15.
- (20) K. Kubo, H. Sekiguchi: Environmental Issues in Forging Processes, Proceedings  
of International Workshop on Environmental and Economic Issues in Metal  
Processing, ICEM-98, (1998), pp. 49-55.
- (21) 環境省：エコアクション 21 -環境経営システム・環境活動レポートガイドライン-  
2004年版, (2004-4).
- (22) 環境省：環境報告書ガイドライン（2003年度版），(2004-3).
- (23) 濟木弘行：21世紀初頭における鍛造技術の動向 -環境調和型高品位ネットシェイプ  
成形-，塑性と加工，**43-500**(2002)，pp. 815-819.
- (24) 片岡征二：環境にやさしいこれからの潤滑技術，塑性と加工，**43-492**(2002)，pp. 3-10.
- (25) 堤信久：鑄造工場における環境管理，鑄造工学，**69-12**(1997)，pp. 982-987.
- (26) 大中逸雄：鑄造工学及び鑄造工学会の戦略，鑄造工学，**73-1**(2001)，pp. 20-25.
- (27) 三宅秀和：環境と特殊鑄型システム関連技術の展望，鑄造工学，**73-1**(2001)，pp.  
35-37.
- (28) 寺嶋一彦：鑄造設備の課題，鑄造工学，**73-1**(2001)，pp. 39-40.
- (29) 中江秀雄：地球の資源・環境問題と鑄造業，素形材，**44-3**(2003)，pp. 8-15.
- (30) 日本機械工業連合会・素形材センター：平成 16 年度 素形材産業の環境経営推進に  
係る調査研究報告書，(2005-3)，pp. 27-34.
- (31) 阪口康司：生型と環境対応技術に関する最近の動向，鑄造工学，**78-5**(2006)，pp.  
283-289.
- (32) 日本機械工業連合会・素形材センター：平成 16 年度 素形材産業の環境経営推進に  
係る調査研究報告書，(2005-3)，pp. 40-47.
- (33) 日本機械工業連合会・素形材センター：平成 16 年度 素形材産業の環境経営推進に  
係る調査研究報告書，(2005-3)，pp. 48-57.
- (34) 株式会社岡本：環境報告書，**7**(2006-10)，pp. 1-40.
- (35) 製造科学技術センター：平成 14 年度廃棄物等処理再資源化促進 アルミダイカスト  
離型剤再利用完全クローズド化調査研究報告書，(2003-3)，pp. 1-187.
- (36) 素形材センター：鑄造のライフサイクルインベントリ調査 -鑄造のライフサイクル  
アセスメントを進めるために-，(2002-3)，pp. 1-111.



### 3. 4 階層構造を有する生産ラインの環境評価手法

#### 3. 4. 1 製造プロセスの評価と LCA

製造プロセスを含む環境の評価方法について、幾つかの方法が採用されている。どの方法を採用するかは、評価のカバーする範囲、目的に依存している。主要な環境負荷の評価方法を図 3.4.1 に示す。

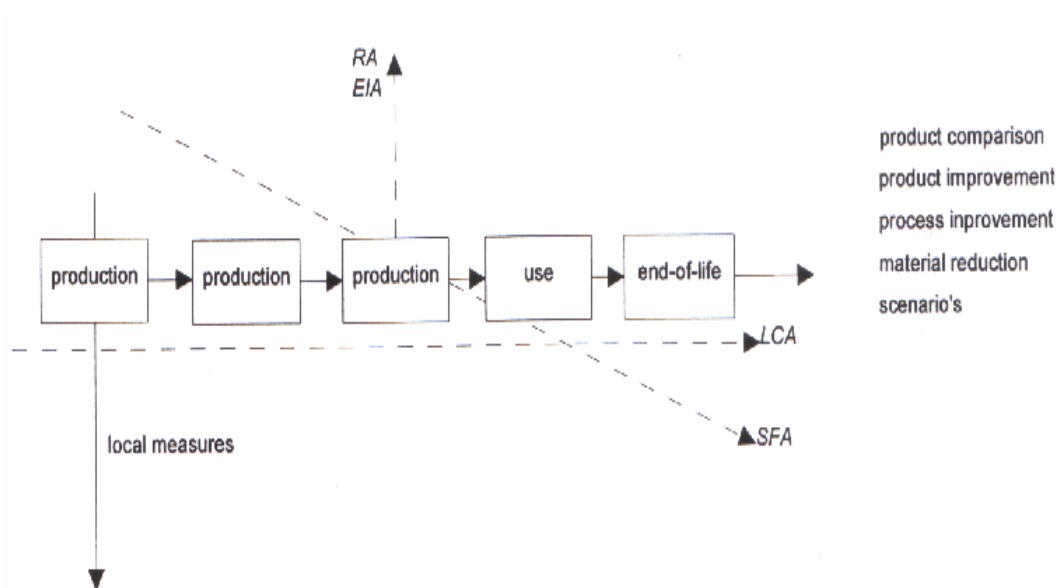


図 3.4.1 環境の評価手法<sup>(1)</sup>

図中に示された評価方法の概略を以下に示す。

- (1) 環境アセスメント (EIA, Environmental Impact Assessment)  
地域の開発や事業活動が環境に及ぼす影響について評価する方法。
- (2) リスクアセスメント (RA, Risk Assessment)  
客観的なデータに基づき、化学物質などの有害性の確認、量・反応評価、暴露評価等を行い、リスクの判定を行う。
- (3) 物質フローアナリシス (SFA, Substance Flow Analysis)  
環境影響で重要性の高い特定の物質の収支を分析する。
- (4) ライフサイクルアセスメント (LCA, Life Cycle Assessment)  
製品のライフサイクルに係る環境負荷を推定する。

LCA (ライフサイクルアセスメント) は、製品及びサービスの原料採取－生産－流通－

使用－リサイクル・廃棄のライフサイクルの全過程で環境負荷・影響をできるだけ定量的に分析・評価する手法である。LCAに関する国際規格はISO14040sに定められている。

工業製品の個別の加工工程の低環境負荷のみを指向した場合、使用段階も含めた製品ライフサイクル全体では環境負荷が増大する場合がある。この逆で、製造プロセスにおいて環境負荷が増加しても、ライフサイクル全体で減少させる研究開発例は自動車へのマグネシウム合金の応用など少なくない、このことを背景に、素材から製品として完成するまでの工業製品の総合的製造プロセスを対象に、環境負荷評価技術の積極的活用により、製品の使用段階を含めた環境負荷を評価しつつ、ライフサイクルに係る環境負荷を低減することが重要であり、このための評価技術としてLCAが必要である。

代表的なLCAには、①製品のライフサイクルでの環境負荷をいわば広く浅く評価する製品LCA、②材料に注目してその製造エネルギーやエミッションなどの評価を指向するマテリアルLCAがあるが、素形材加工や機械加工など加工プロセスの環境負荷を詳細に検討できるLCA手法は未開発である。

その理由としては、①製造プロセス（特に組み立型産業）が複雑であること、②特定の製品のLCAにおける製造段階の貢献は比較的小さいこと、③製造プロセスの評価に有効なデータは殆ど存在しないこと等の理由が挙げられる。しかしながら、①工業製品は単一の企業によって生産されるものは殆ど無く、多くの量産部品や標準部品から構成されている、②製造プロセスにおける歩留まり、不良率、仕掛品等が環境負荷に及ぼす影響は極めて大きいこと等から、製造プロセスの詳細な評価を組み込んだ標準的LCA手法の開発が急がれている。

本報告では、上記の問題点を解決する方法として、LCAにおける製造ステージを最上階とする階層構造を有する製造プロセス評価方法と具体的なプロセスへの適用例を紹介する。

### 3. 4. 2 生産ラインと環境負荷

#### a) 生産機械と生産ライン

生産システムにおいて主役となる生産機械（工作機械や鍛圧機械など）のライフサイクルを考えると、図 3.4.2 に示すようにその使用段階が、他の一般製品のライフサイクルでは製造段階にあたり、生産機械の使用とは加工プロセスを実行していることを意味する。生産機械や生産ラインの環境負荷の低減が一般機械産業に波及する構造を示している。

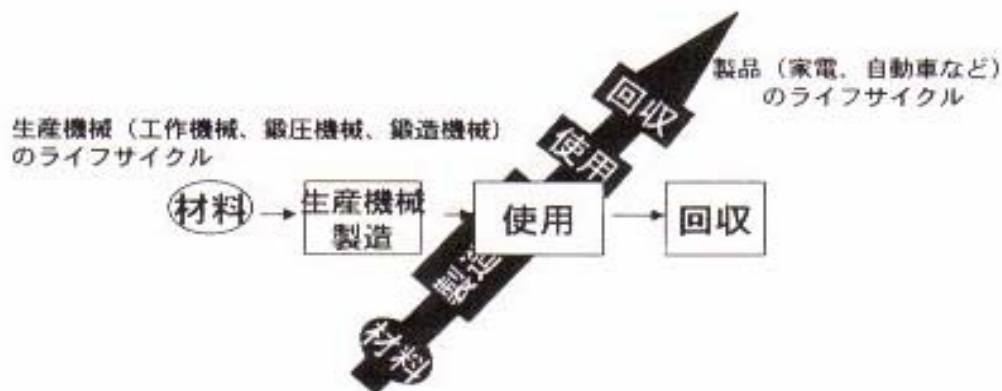


図 3.4.2 生産工場と一般製品のライフサイクル<sup>(2)</sup>

生産システムは、複数の生産機械・装置を組み合わせ管理・運用されており、対象製品により使用条件が異なるため、生産機械のライフサイクルにおける使用ステージとしての評価は困難であり、対象製品を特定してその製造段階として評価されなければならない。

LCA の特徴は「製品の材料調達から廃棄までの環境負荷を分析すること」だけで終わらず、「分析した結果、どのような環境負荷物質が存在し、その影響評価を行い、それ以降の改善案まで含んだもの」を実現できることである。工程・作業設計の段階で LCA を行うことが考えられる。この目的のためには、以下に述べる階層構造の評価手法が有効となる。

環境負評価を行う際、製造コストを無視することはできない。階層構造によって生産ラインを記述することによって、環境と原価計算（活動基準原価計算（ABC））に必要なデータをユニットに容易に入力でき、生産ラインの設計や変更に伴う環境負荷と製造原価に関する情報を同時に得ることが可能となる。

## b) ユニットプロセスの階層化

階層構造の環境評価手法を図 3.4.3 に示す。素材製造、製造、組み立て、使用、回収、廃棄等の LCA の各ステージを最上位のレベル（レベル 0）とする階層構造となっている。製造以外のステージについても階層構造が有効である。生産ラインに相当する製造ステージでは、上位のユニットプロセスを順次掘り下げ、必要に応じて工程/作業の対応するまでユニットプロセスを作成してモデル化する。製造ステージの 3 次元的層構造は組み立てに供されるそれぞれの部品に対応する。

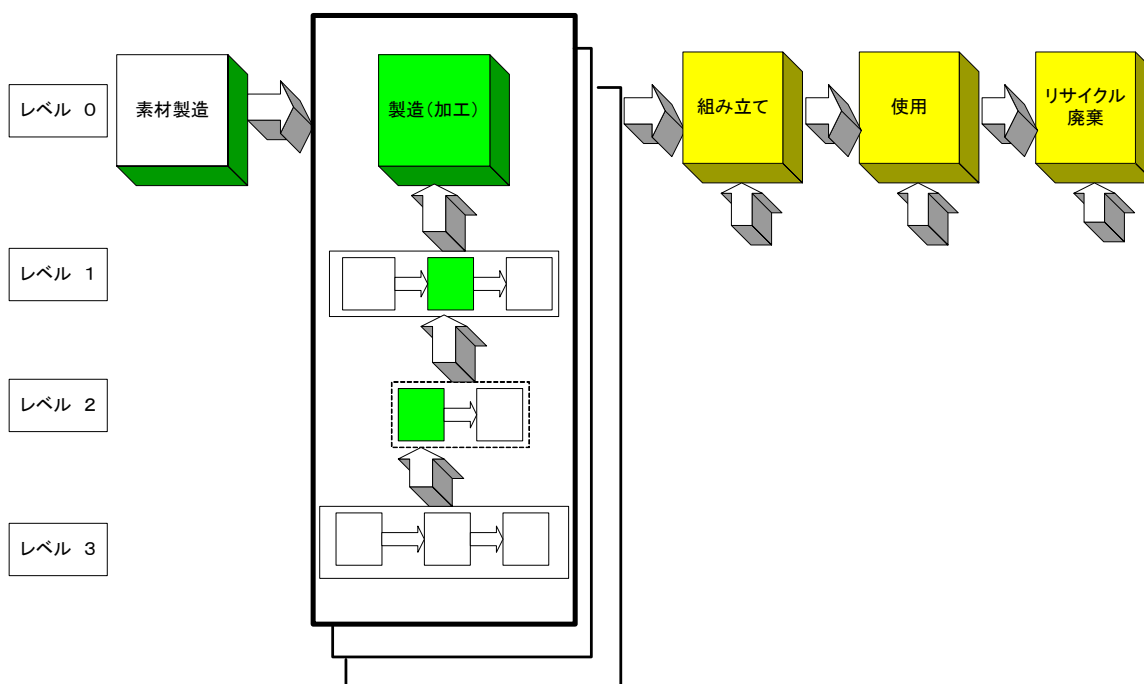
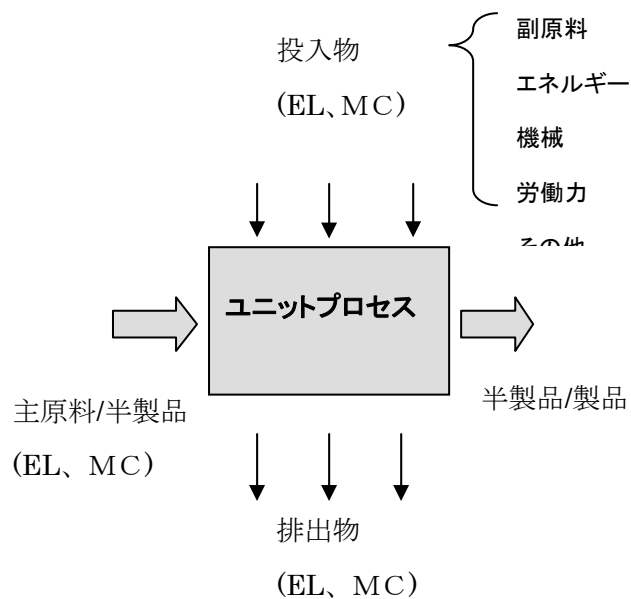


図 3.4.3 階層構造<sup>(3)</sup>

## c) ユニットプロセスと入力データ

製品の主原料のフローは、プロセスツリーによって表わされる。最下層の各ユニットプロセスに環境負荷の評価に必要なデータを入力する。データはツリー構造のデータとなる。評価に必要な入力データを図 3.4.4 に示す。図中の EL は環境評価に必要なデータ、MC は製造コストの計算に必要なデータを示す。



EL : 環境負荷 MC : 製造費

図 3.4.4 ユニットプロセスと I/O データ

### 3.4.3 自動車用センサー部品生産ラインの環境負荷<sup>(4)</sup>

現在、図 3.4.5 (a)に示す自動車部品 (S10C、0.0427 k g) は機械加工によって製造されている。先ずこのラインから生じる環境負荷を推定する。次に、同一部品を低環境負荷プロセスとして注目されている成形加工と機械加工を組み合わせ製造した場合、(b)の環境負荷を推定し、両加工法について環境の観点からの比較を行う。

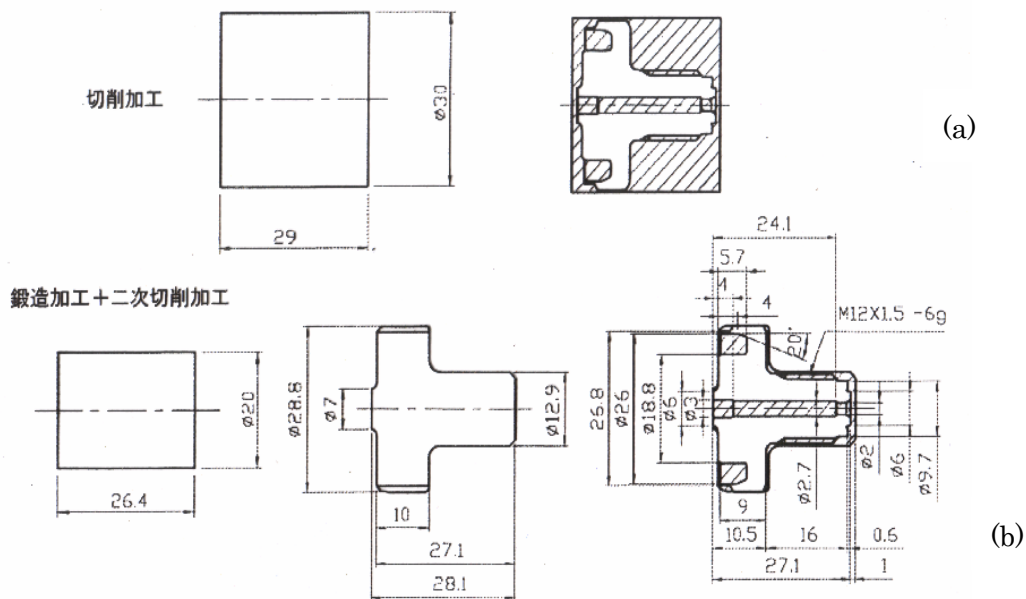


図 3.4.5 加工プロセスと素材

a) 入力データ

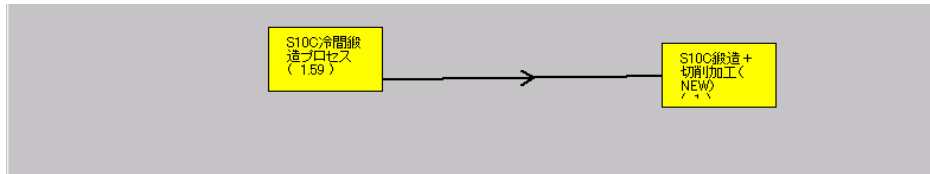
機械加工のみによる場合のユニットプロセスは、棒材切断、センタリング、ドリリング、荒旋削、仕上げ旋削、溝削り、ねじ切り、およびエンドミル加工の合計9個から構成されている。これらのユニットプロセスへの投入資源のうち、主・副原料については（財）産業環境管理協会のデータベースから、エネルギーについてはCAD/CAMシステムを利用して工程・作業設計を行い算出した。排出については製造工場からの実測データを用いた。また、ターニングセンター（12年の定額償却）、人件費等の製造コストに関するデータは工場での実測に基づき活動基準原価計算により各ユニットに配賦した。

成形加工と機械加工を組み合わせた場合も、評価に必要なデータについては機械加工のみの場合と同様である。

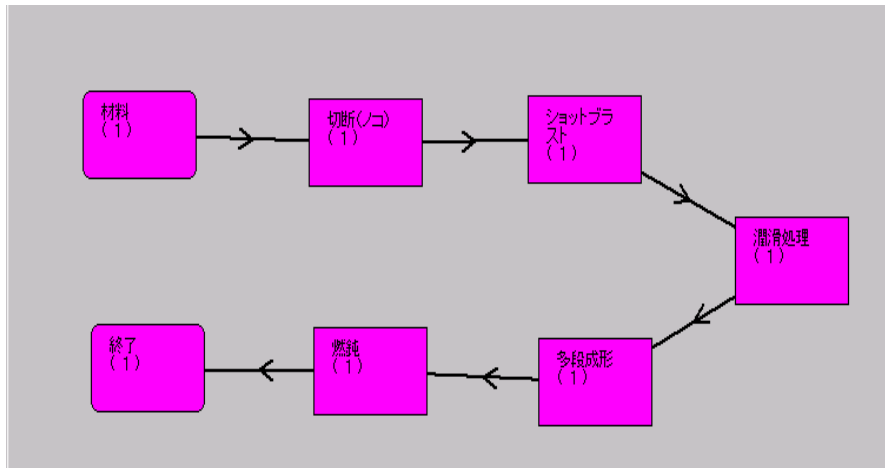
また、評価に際し以下の仮定を導入した。

- ①機械加工、鍛造加工に必要な加工装置については環境データを入力しない。
- ②加工に必用な工具、切削液については対象製品による消耗が極めて小さいため、インベントリーデータに加えない。

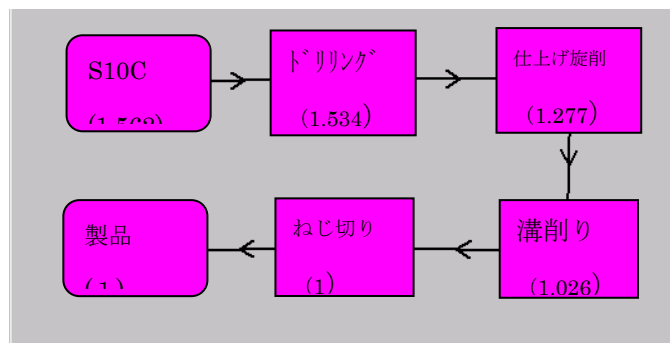
成形加工と機械加工の組み合わせに関するプロセスツリーを図 3.4.6 に示す。



(a) レベル1のプロセスツリー



(b) レベル2のプロセスツリー (の S10C 冷間鍛造に対応)



(c) レベル2のプロセスツリー (切削に対応)

図 3.4.6 鍛造と機械加工を組み合わせた場合のプロセスツリー

b) 評価結果

切削加工のみ (加工法 1) および成形加工と切削加工を組み合わせた場合 (加工法 2)

の製品 1 kg 当たりの環境影響をそれぞれ図 3.4.7 および図 3.4.8 に示す。エコインディケータ 9 5 および CO<sub>2</sub> 排出量で比較すると、加工法 1 は加工法 2 のそれぞれ 2.1 倍程度となっている。一方、加工プロセスに投入されるエネルギーは加工法 2 が加工法 1 の 3.5 倍程度と逆転している。しかしながら、投入される材料 S10C の製造エネルギーを加えると、加工法 1 のエネルギーが圧倒的大きくなる。

以上の結果から、製造プロセスを 1 から 2 に変更することにより環境影響を半分以下に減らすことが可能であることが明らかとなった。

表 3.4.1 は、加工法 2 のエコインディケータ指標、CO<sub>2</sub> の排出に関する感度分析の結果である。この表から、エコインディケータ指標、CO<sub>2</sub> 排出量を減らすためには、S10C、電力、灯油等の使用量の低減を試みるのが有効であることが分かる。

図 3.4.9 および図 3.4.10 に加工法 1 および 2 における環境影響の支配性分析および ABC による製造原価の比較を示す。環境負荷がどのプロセスから発生しているかが示されている。製造原価についても、環境負荷と同様に加工法 2 が有利となっている。図 3.4.11 は図 3.4.10 に示された支配性分析の冷間鍛造部分について、主原料 S10C の影響を除いて環境影響の支配性分析を行った結果である。

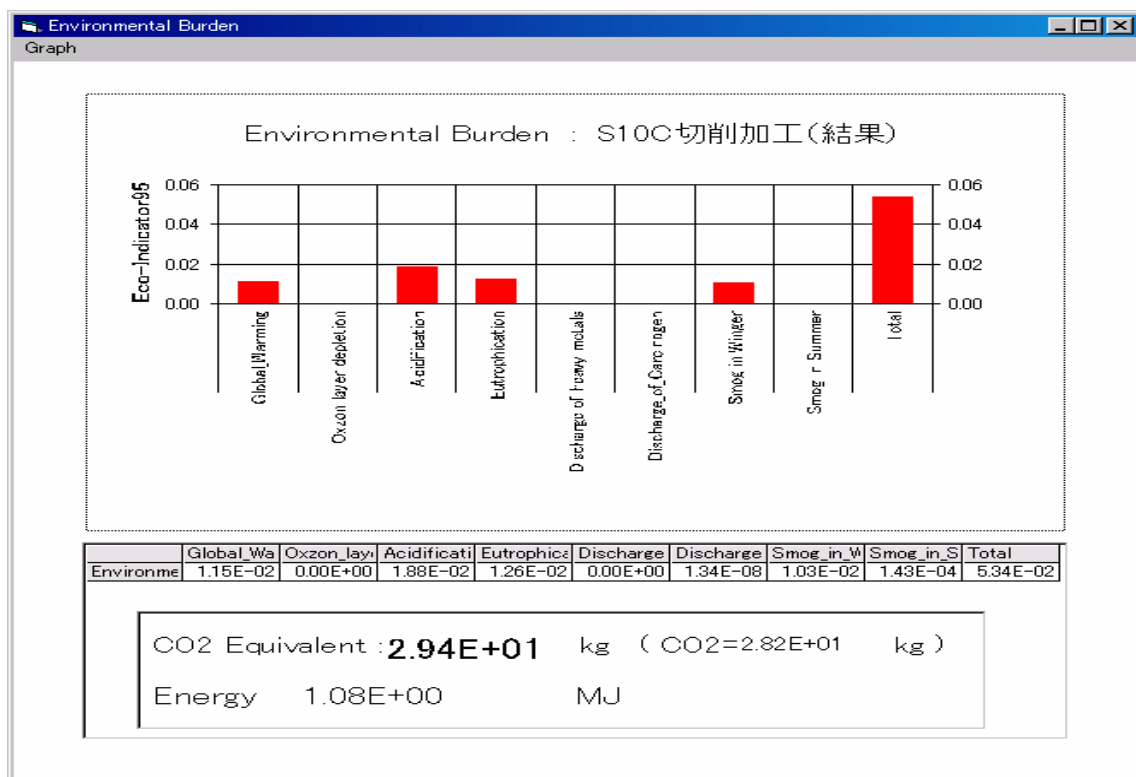


図 3.4.7 切削加工による環境影響



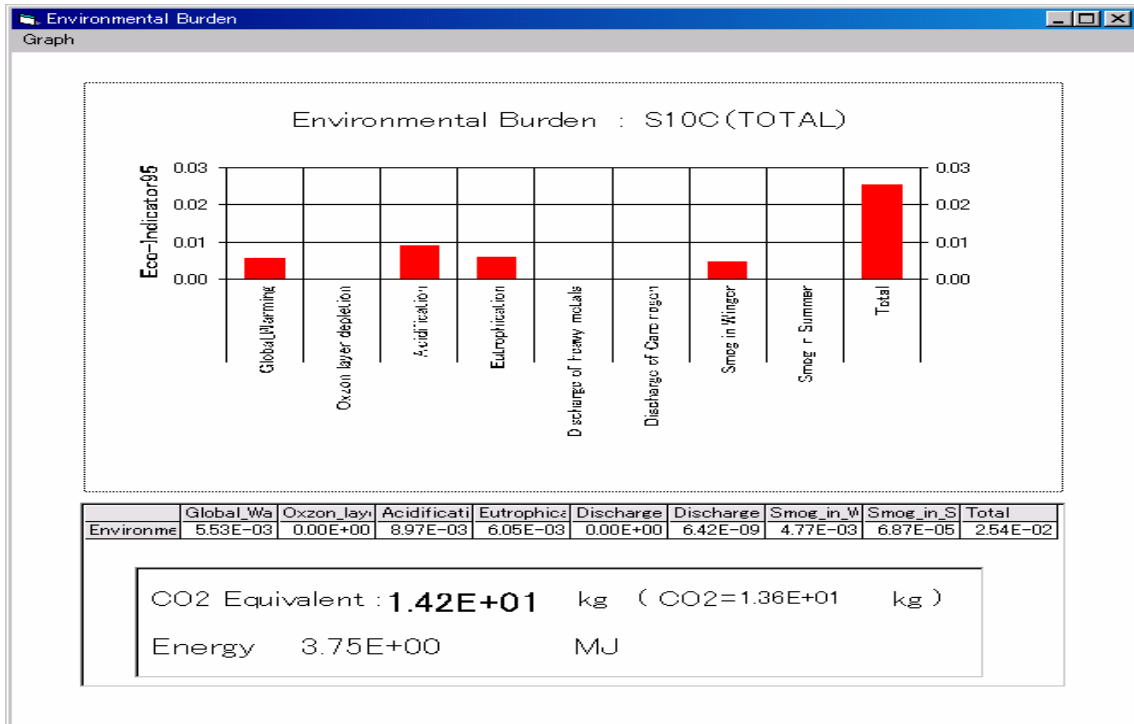


図 3.4.8 冷間鍛造および切削加工による環境影響

表 3.4.1 冷間鍛造および切削加工プロセスの感度分析結果

ID	Category	Name	Flg	Quantity	Sensitivity(EC095)	Sensitivity(CO2)
1	Energy	Electricity	0	3.434003	1.742864E-02	3.041465E-02
2	Energy	灯油	0	0.293042	1.521604E-02	1.904571E-02
3	Energy	プロパン	0	2.725995E-02	0	0
4	Machine	TurningCenter	0	3.559356	0	0
5	Machine	TurningCenter	2	1	0	0
6	Material	S10C	0	1.749166	0.9653524	0.949794
7	Material	グリッド	0	3.407465E-03	0	0
8	Material	水道水	0	13.62982	0	0
9	Material	HCl	0	4.088957E-03	3.345313E-04	1.620196E-04
10	Material	H2SO4	0	2.725963E-04	5.86897E-06	4.033684E-06
11	Material	PB181X	0	6.587766E-03	0	0
12	Material	LUB235	0	2.385226E-03	0	0
13	Material	ハイモロック	0	1.362986E-04	0	0
14	Material	PAC	0	3.407465E-03	0	0
15	Material	か性ソーダ	0	8.745828E-03	1.660185E-03	5.781613E-04
16	Material	MR101	0	2.044456E-04	0	0
17	Material	NaCl	0	1.022239E-03	0	0
18	Material	Drill	0	1.533756	0	0
19	Material	CuttingFluid	2	7.13	0	0
20	Material	CarbideChip	0	2.302985	0	0
21	Material	Drill	0	1.277385	0	0

Print    Sort (EC095)    Sort (CO2)    Quit

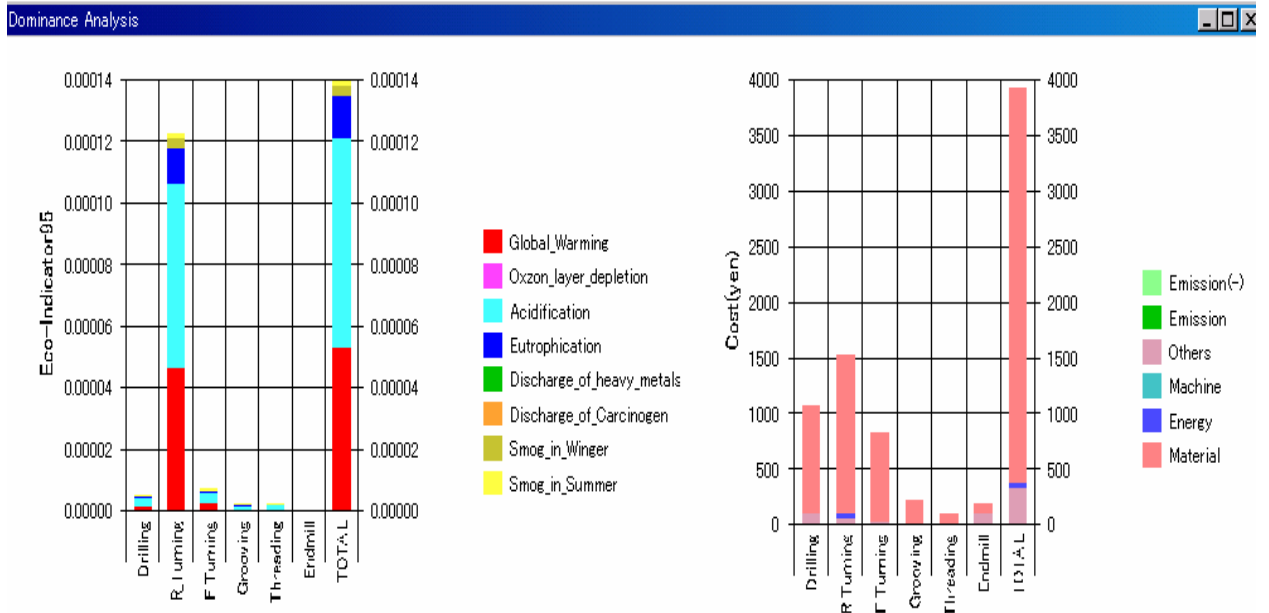


図 3.4.9 切削加工プロセスにおける環境影響の支配性分析と製造原価

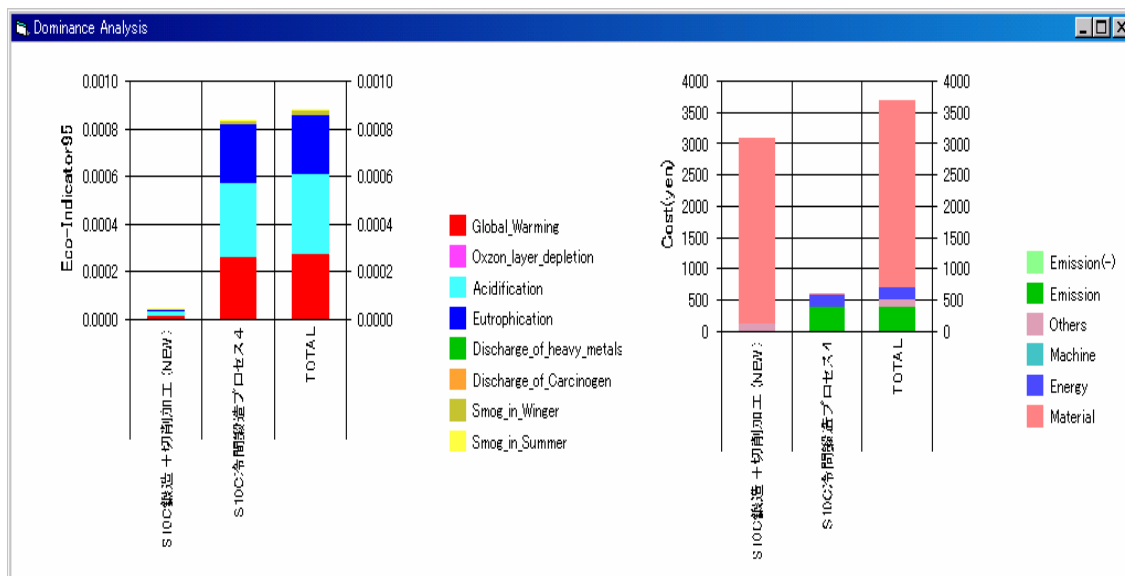


図 3.4.10 冷間鍛造および切削加工プロセスにおける環境影響の支配性分析と製造原価

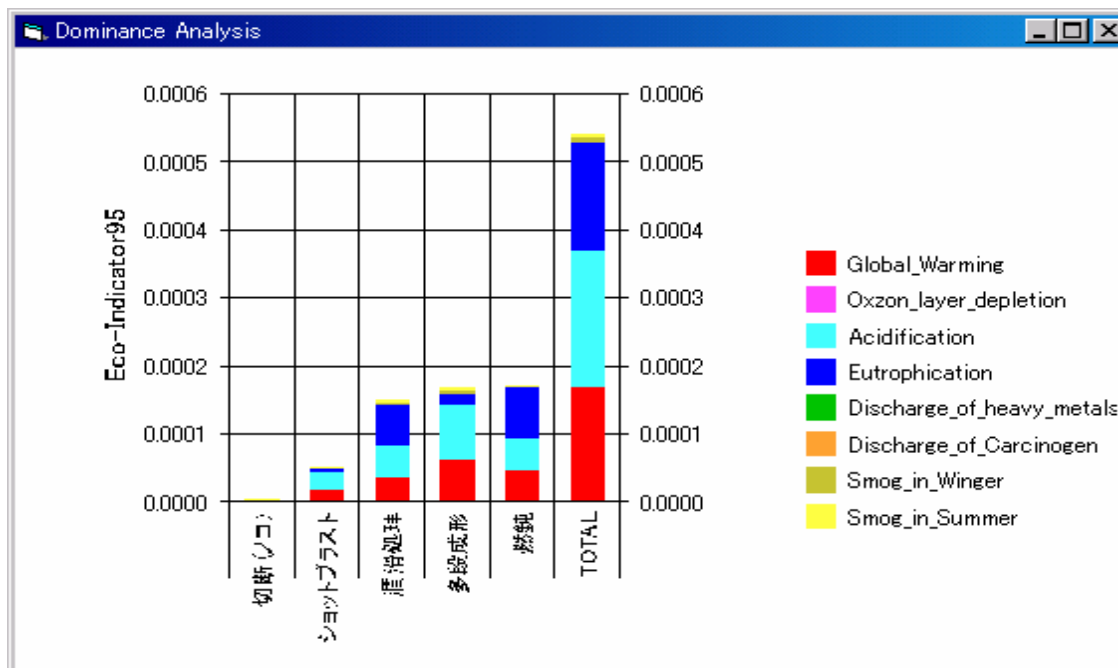


図 3.4.11 冷間鍛造プロセスの環境影響の支配性分析（S10Cを除く）

### 3. 4. 4 まとめ

階層構造の LCA によって生産ラインの環境負荷・影響評価を行った。紹介した評価例では LCA の製造ステージ以外は計算していないが、生産ラインを環境の視点から評価場合は、他のステージも含めた検討が望まれる。この方法によると、環境に加えて製造コストの検討できることを示した。ユニットプロセスの追加により間接部門のコストも計算できるため、本方法の実用化が期待される。

### 参考文献

- (1) J. Quakernaat and B. L. Van der Ven : “Mass production and the environmental Merits, A system approach,” Proceedings of ICEM-98, pp.1-20 (1998)
- (2) 財団法人 機械システム振興協会 : エミッションフリーマニュファクチャリングシステムの調査研究報告書 (2000)
- (3) H. Ono, T. Sano, Y. Nishizaki, T. Ohta, S. Ono, Y. Shirai and K. Hanada : “AN ENVIRONMENTAL EVALUATION OF NEW TECHNOLOGY FOR METAL RECYCLING,” Proceedings of ICTP-2005, pp. 313-314 (2005)
- (4) 佐野利男、小野修一郎、大田勉、西崎泰 : “製造プロセスの環境評価手法に関する研究,” 日本経営工学会平成 14 年度春季大会予稿集、pp. 102-103(2002)

#### 4. 生産ラインとしての環境負荷評価の事例

##### 4.1.1 生産ライン環境負荷評価用ツール

環境負荷を見積もるソフトウェアは、コンピュータシステムインテグレータが環境ソリューションツールとして販売しているほか、研究機関やヨーロッパのコンサルタントからの提供がある。主なものを用途別に分類すると、おおよそ以下のようになる。

表 4.1.1 環境負荷評価ソフトウェアの例

分野	対象	製品名	供給元
LCA	製品	SimaPro	Pre コンサルタント (オランダ)
		EcoAssist	日立製作所
		LCA support	NEC
		FJVPS Eco Design	富士通
		Easy-LCA	東芝
		JEMAI-LCA Pro	産業環境管理協会
エコバランス	企業活動全体	REGIS	Sinum (スイス)
マテリアルフロー	製造プロセス	UMBERTO	Ifeu, ifu (ドイツ)
		Ga-Bi	PE International (ドイツ)
		Techie-hills	松下技研
		Process Analyzer*	

\* はβ版のみで販売されていない。

NIKKEI MECHANICAL 2000.2 no.545 pp66

ここでは、生産システムへの適用例が挙げられているものとして、UMBERTO を、またシステム製品を対象にしたものとしての SI-LCA (日立製作所) を紹介する。

##### 4.1.2 UMBERTO

UMBERTO では、複雑な生産構造ネットワークをマテリアルとエネルギーのフローをネットワークとして記述したモデルを作成し、環境的、経済的、社会的側面から企業活

動を評価する。分析の焦点は対象とするシステムを一つの生産ラインから、工場全体、さらには企業全体に広げることが可能である。マテリアルフローのネットワークは、ペトリネットの考え方にに基づき、プレース、アロー、トランジションの三つの要素で成り立っている。最初に開始時の在庫をステップに割り当て、期間中のすべてのフローを定めることにより、期間終了時の在庫量が定まる。これにより、システムの期間中のマテリアルやエネルギーの状況が定まり、発生する環境負荷、コスト等が判明する。ホームページにはフォルクスワーゲン社の塗装工程の意思決定支援を行った例が示されている。

[http://umberto.yamatake.co.jp/pdf/J\\_article\\_K011120.pdf](http://umberto.yamatake.co.jp/pdf/J_article_K011120.pdf)

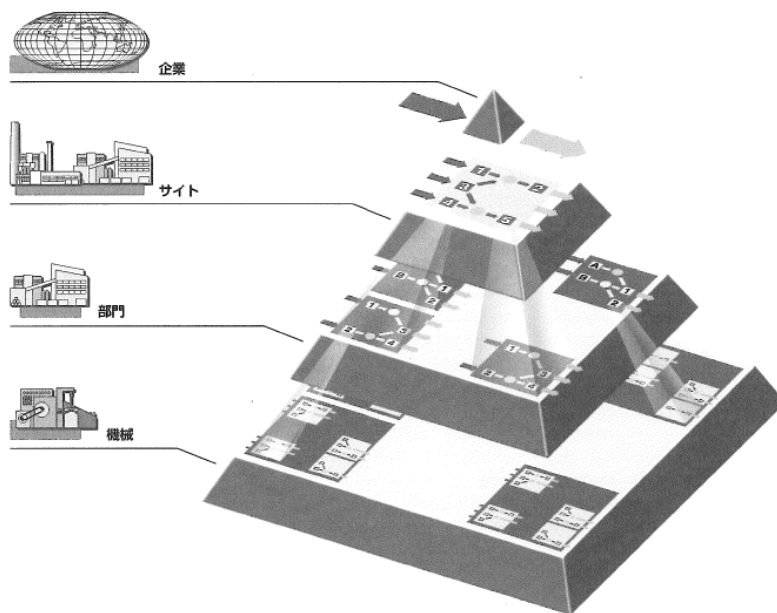


図 4.1.1 階層構造での表現

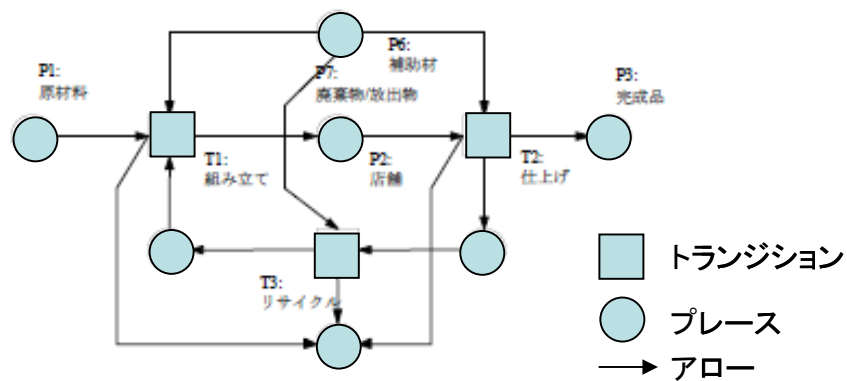


図 4.1.2 マテリアルフローネットワークの例

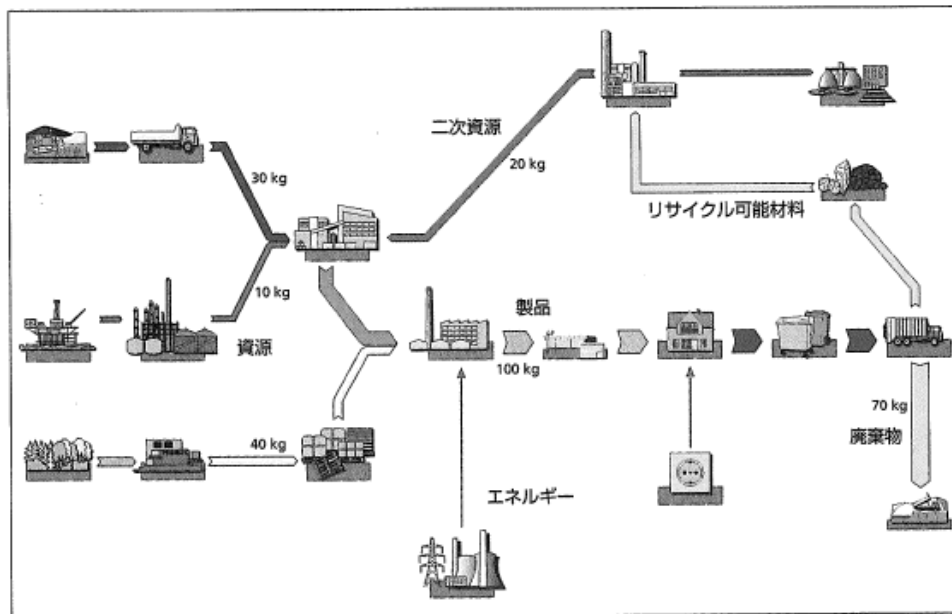


図 4.1.3 マテリアルフローとエネルギーフローの例

UMBERTO はドイツの Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg と Institut für Umweltinformatik Hamburg が供給元になっているが、日本では、山武の環境事業推進本部が窓口になっている。

### 4.1.3 日立製作所 情報システム製品の環境評価プログラム「SI-LCA」

<概要>

近年、情報通信技術(Information & Communication Technology, ICT)が普及・拡大するにつれて、生活の利便性を向上することよりもパソコンやサーバ等の機器の製造による資源・エネルギー消費とこれらを利用する際における電力などのエネルギー消費により、環境負荷を増大することが懸念されている。また逆に、音楽のダウンロード配信やeラーニング等のようにICTは人の移動やモノのやりとりを省くことができ、環境負荷低減に貢献できるとする例もある。そこで今回、ICTの一つである情報システムを対象として、ソフトウェアの設計・開発等を含め、製品・サービスのライフサイクル全般における環境負荷を定量的に評価し、環境負荷低減への効果を明らかにすることを目的とした評価ツールSI-LCA (System Integration - Life Cycle Assessment)を開発した。情報システムのライフサイクル全般を対象とするため、社内業務分析に基づき、SI-LCAにおいては10のステージにより環境負荷評価を行っている。また、情報システムが使われる、使用ステージにおいては、紙や電力の消費、自動車の走行、各種の作業に伴う電力の消費、及びデータ通信に伴う環境負荷を代表的なものとして算出する。ただし、現時点では温暖化に影響すると考えられるCO<sub>2</sub>を環境負荷としている。ここで、SI-LCAの特徴としては、ハードウェアの生産と異なり、ソフトウェアの設計・開発など人の作業に伴う環境負荷を評価するため、情報システム事業を行う事業所の売上げを事業所から排出する環境負荷量(電力や紙の消費、廃棄物など)で除した値である事業所環境効率を用いた算出方法にあり、これにより情報システムのライフサイクル全般を対象とした評価を実現している。

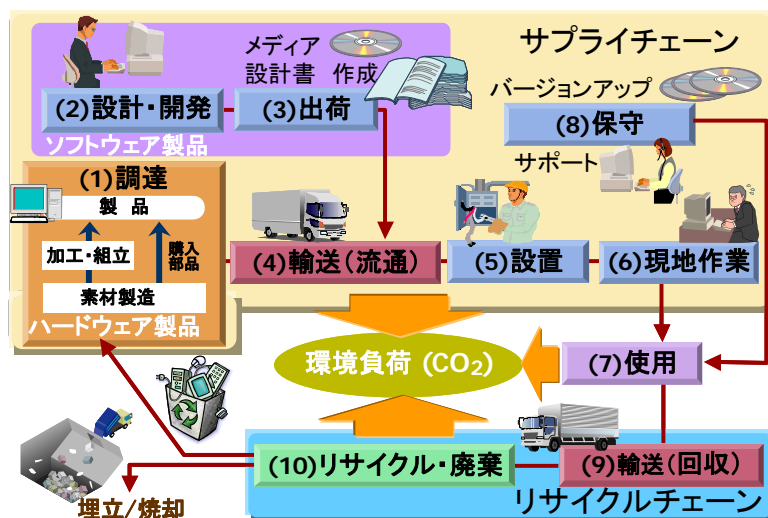


図 4.1.4 SI-LCA における情報システムの環境負荷評価モデル

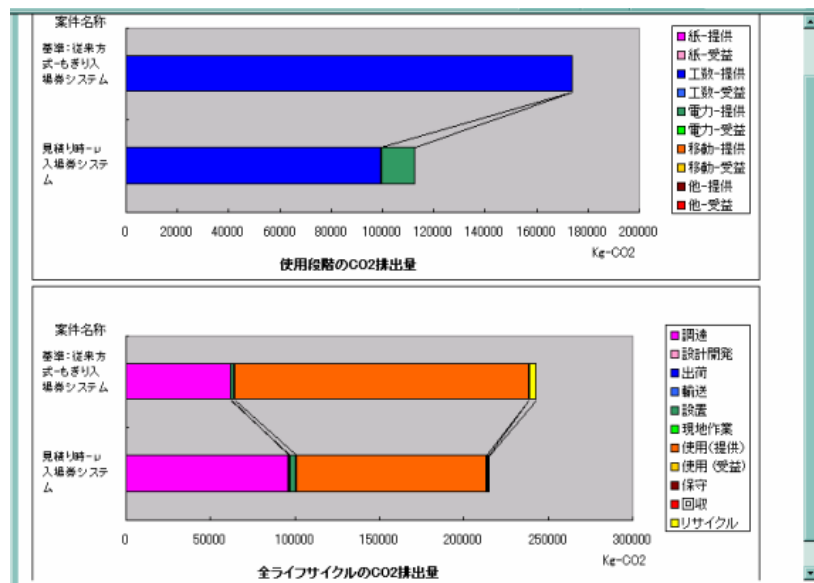


図 4.1.5 SI-LCA における評価結果事例

<生産ラインの環境負荷評価への適用可能性>

SI-LCA においては情報システムを構成する PC、サーバ等のハードウェア製品の環境負荷は、(株)日立製作所において開発した社内ツール「環境適合設計アセスメント指針 Ver.3」<sup>(1)</sup> の評価結果を用いている<sup>(2)</sup>。本ツールでは製品製造時の環境負荷を工場全体の排出量から生産量、製造コスト等により製品個々に按分する方法にて評価しており、設備や工程単位など生産ラインの環境負荷を詳細に評価することは難しい。

<標準化>

環境負荷評価の標準化への取り組みとしては、2003 年度より(社)産業環境管理協会を事務局とし、日本環境効率フォーラムの、「ICT サービスの環境効率に関するワーキンググループ」(座長：松野泰也 東京大学助教授)において標準化の検討を始め、2006 年 4 月に IT (情報技術)の環境効率ガイドラインとして公表されている<sup>(3)</sup>。ただし、本ガイドラインでは IT の環境負荷評価における製品のライフサイクルモデルなどフレームワークのみが提供されており、原単位の共通化などは実施されておらず、他社比較には課題が残る。

同時期に家電製品においても標準化のためのワーキンググループが設置され、検討されてきたが、2006 年 11 月に松下電器産業(株)、(株)東芝、(株)日立製作所など電機大手 5 社



により、家電4品目を対象として共通指標化がなされた<sup>(4)</sup>。ただし、現状は自社製品を基準としての相対比較である。

したがって、生産ラインの環境負荷評価手法の標準化においても、各業界、各社の利害の一致を見ることは難しいと考えられるが段階的に進める方策を検討することが必要と考える。

- (1) Namikawa O , Hirano M , Tamura M :EcoDesign2004 Japan Symposium ,Tokyo, (2004),pp86-87
- (2) Hamatsuka, Nishi, Tani and Usumi: Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.2 No.3 Jul.2006, pp281-287
- (3) <http://www.jemai.or.jp/japanese/eco-efficiency/ict.cfm>
- (4) 日経新聞 11月25日

## 4.2 工場環境負荷評価事例

国内の2工場を訪問し、現場での環境負荷評価や負荷低減の試みについて調査した。自社で環境負荷にも関連する様々なモニタリング機器や制御システムを開発、生産している横河電機株式会社の甲府事業所、及び生産ラインの重要な要素である工作機械を生産している株式会社オークマの本社工場である。省エネルギー活動で共通するのは、原単位削減には効果を上げてきているが生産高が増えるなどの要因も絡み総エネルギー消費量削減に直結しているわけではないことが挙げられる。

### 4.2.1 横河電機（株）甲府工場

調査日時：2006年12月1日（金） 12:30～16:00

訪問者： 生産ライン環境負荷評価委員会メンバー

佐野委員長、斎藤委員、川井委員、服部委員、三島委員、浅岡委員、事務局（高橋）

対応者：中村篤人氏（横河マニュファクチャリング（株）常務取締役甲府工場長）、瀧田誠治氏（横河電機（株）渉外室室長代理）、河野昭三氏（YMG 甲府工場長室総務グループ、甲府工場環境事務局）

#### 横河電機会社概要とグリーン生産活動：

2005年度売り上げ3,888億円、営業利益率6.5%

2010年度6000億円、12.5%を目標の経営戦略VISION-21を2001年度から推進中。

甲府工場は省エネルギーモデル工場。横河の計測技術、制御技術やそれらをベースとしたソリューション、そのための製品群のショールームの役割も持たせており、2005年3月から省エネルギー見学コースを設定している。

- ・ 環境対策だけを取り出して行っているというより、生産管理、生産性向上の一環として行っている。
- ・ 生産管理に関して事業所では6S+S（整理、整頓、清掃、清潔、しつけ、安全+センス）をスローガンとしている。
- ・ 生産性向上に関してはNPS研究会に参加しており、トヨタ生産方式で言うところの7つの無駄（作りすぎ、手待ち、運搬、加工、在庫、動作、不良手直し）をライン毎に排除する努力をしている。

- ・ 研究会においては4月に改善を実施するモデル工場として取り上げられた。  
DLライン（デジタルオシロスコープ）の工程見直しの結果、従来4ライン7人で17台（日産？）から2ライン7人で23台に改善された。
- ・ 組立工程の効率化のために、組立支援用のピッキング指示器を導入している。

#### 甲府事業所の環境保全活動：

- ・ 「見える化」＋「全員参加」を目標としており、見える化、リアルタイム化の一環として投入資源、廃棄物の可視化を重視している。
- ・ 環境効率的な考え方としては生産高／CO<sub>2</sub>排出量の改善を目指している。96年比で（生産高（カタログ価格）あたりの）CO<sub>2</sub>排出は63%減である。
- ・ 事業所の温暖化ガス排出量は2005年で約7400t・CO<sub>2</sub>、うち49%が生産活動、33%が空調、12%照明、6%その他である。
- ・ 作業環境の改善や有害廃棄物規制に関しては、粉体塗装や低トルエン・低キシレンの新塗料への切り替えによるVOC対策、RoHS対応、シアンフリーなどに取り組んでいる。
- ・ 製品設計では、LCAで従来製品に比較してCO<sub>2</sub>自社の環境アセスメント基準で25%減にならないと採用されない。

#### 省エネルギー活動：

97年以降継続的に省エネ活動に取り組んでおり、原単位的には96年比63%減に至った。徹底した「見える化」から始め、ムダ取り、好適な制御の導入などにより2003年度には「エネルギー管理優良工場」として関東経済産業局長賞を受賞している。

- ・ 省エネの実例としてコンプレッサーの消費電力削減がある。動作状況の確認→原因の同定（エア漏れ、無駄など）→エア漏れ対策、ラインの統合→予測制御による改善（現在の使用状況とタンク容量から、X時間は止められる）→検証、の手順を踏む。
- ・ 空調用送水ポンプの省エネ化では自社商品である省エネ制御システム「エコノパイロット」の導入によってポンプの最適制御を実現している。実際見学時には、甲府工場内の空調機への送水2次ポンプ4台について配管流量が少量である場合に不要なポンプを止めたり回転数を落とす実演があり、送水電力を最大60～90%削減できるとの説明を受けた。インバータ、流量計、圧力計が既設なら小型コントローラを追加するのみでよいという。
- ・ 銅めっきラインの装置立ち上げ時間の適正化、パッケージエアコン制御の適正化、高

圧トランスの熱損失の削減、インバータによる照明適正化などの例もある。いずれも動作状況をリアルタイムモニタリングすることがキーである。これらは、自社製品の計測器類、制御機器類のネットワークによるモニタリングデータ収集と、これも自社商品である省エネ支援システム InfoEnergy によるデータ解析、可視化などによって可能となっている。イントラを介して遠隔監視・調整、データ利用も利用できる。

T C棟には NEDO からの 2000 万円補助による透過型太陽光発電装置が導入されている。また、燃焼効率に優れる冷温水発生器に更新しガス使用量を削減している。不要となった蓄氷装置エコアイスにより深夜電力利用で製氷、昼間の冷熱源に使用し、組み上げ地下水量の節減に成功した。設備更新が省エネにつながることが多い。

現在、力を入れているのは、①有害物質、②省エネである。①は購入部品の割合が大きいことが背景にある。

#### 質疑の一部：

C：横河電機では、計測機器についてタイプ II の環境ラベルを導入している。L C A の必要なタイプ III では使い方も影響するので難しくなる。

Q：生産量（生産高）／CO<sub>2</sub>排出量、は有効な指標でありうるか？

A：面積あたり（の CO<sub>2</sub> 排出量？）、排出総量なども考えられるが、その他の指標で決め手となるものが無い。事業所単位での改善効果を見るには良いと考えている。

Q：電力計のデータをどのように使うのか？

A：判断は個別事例によるので、統一的指標に照らして、というより異常モニタリングの意味合いが強い。

Q：生産性向上と環境性向上は一致するか？

A：エコの費用は管理不能固定費に入っている。

(参考資料) YOKOGAWA グループ社会・環境報告書 2006

<http://www.yokogawa.co.jp/eco/eco-report-jp.htm>

#### 4.2.2 オークマ株式会社

調査日時：平成19年1月26日（金）13:00～16:00

応対者：重富邦夫氏（常務取締役、技術本部 本部長）、伊藤孝治氏（商品開発部次長 兼商品開発プロジェクト プロジェクトリーダー）、徳丸順教氏（総務部）

訪問者：生産ライン環境負荷評価委員会（委員：服部光郎、委員：浅岡健、事務局：高橋慎治）

##### オークマ概要：

1898年創立、当初は製麺機械製造。我が国最古かつトップ3に入る工作機械メーカーである。現在は工作機械製造専業。旋盤(40%)、M/C(60%)、研削盤と中～大型の切削型工作機械に特化。

- 工場は、本社工場、可児工場、江南工場の国内3工場、海外は51%出資北一大隈(北)、50%出資の大同大隈(台湾)と合弁会社を有する。
- 2006年には連結で過去最高の受注額1825億円を記録した。ちなみに工作機械業界では前年比5.4%増の14370億円とやはり史上最高額であった。
- 600～700台/月。見込み、受注を併用。海外生産45%程度で将来60%に持っていきたい。
- 自動車関連がユーザの60%程度だが汎用機指向なので量産ライン向きは少ない。最近の重厚長大の復活傾向から建機、液晶、重機、航空機、石油関連などの部品加工用の受注が多い。
- NCコントローラ、サーボモータなども自製している。NCは1964年商品化。当時はファナックが飛び抜けていたわけではなかったが現在はファナックのシェア飛び抜けている。オークマ製品ではほとんど自社製NC(OSP)搭載、昨年統合した大隈豊和系機械にファナックが残る程度。
- ISO14000取得に向かって取り組んでおり徳丸氏が事務局となっている。

##### 工場の省エネルギー活動：

- 日工会では、経団連の環境自主行動計画のなかで2010年にエネルギー使用量の1997年比6%減、生産金額あたり使用量（原単位）も6%減を目標としている。2005年度原単位では下がっているが総量はやや増加傾向にある。

- オークマの工場内では、個々の機械には電力計の取り付けは行っていない。
- 工場では、だいたい建家別、トランスで分岐する毎（フィーダー別）に電力計測している。可児、江南などの新工場ではかなりデータを取っている。前年度1%減を目標としているが好況で難しい。照明、OA機器など不使用時のスイッチオフの徹底、水銀灯の高効率タイプへの変更（30%減の効果）など対策を進めている。電気使用総量は、好況前とそれほど変化していない。直接加工、生産とは関係ない部分で消費している可能性がある。
- 工場内の工作機械の入れ替えによる高効率化が徐々に進んでいる。
- 工場のエネルギー源は、大部分電力、ガスが一部ある。

(2006年の1~12月)>但し、空調・照明のメータがあるところの平均

本社工場            照明：25%      空調：33%

可児工場            照明：29%      空調：21%

#### 工作機械の環境負荷について：

斎藤先生が見えたことがあり同一加工条件を当初考えていたが個別の機械毎の最適加工条件での加工時の消費電力を計測することで計測実験を進めた。たとえば、8インチチャックの新旧機械で2個加工を行い消費電力を比較した。加工エネルギーの他、ユニットでの消費なども積み上げた。この場合は新機械のエネルギー消費が少なく評価された。まだ、データをそのまま公表するのは尚早。個々のユニットでは高効率化を目指すが高速度要求など相反する場合もありうる。

エネルギー消費と精度の視点では、2003年度日本機械学会賞受賞のサーモフレンドリーコンセプトがある。箱形ベッド上に主軸台、刃物台の主要ユニットを搭載するボックススラントベッド構成という予測可能（素直）に変位させるという構造上の工夫と補正を組み合わせている。高精度にも係わらず恒温室を不要とする方向は工作機械のトレンドとなっており、M/Cから旋盤にと範囲を拡げている。M/Cではシリーズで国内に80台/月ほど出ている。大がかりな環境実験室を設けている。

#### 工作機械メンテナンスについて：

- NC装置では、購入部品が途絶えるか、性能の著しい時代遅れ化になることが寿命を決める。
- 工作機械は、新規購入後1年間の無償保守のあと明確な保守保証期間はない。平均2

0年くらいか。中古市場で売れるほうが更新してもらえる機会が多い。新製品の方が（エネルギー）効率がよいが試作用などでは長めに使われる傾向。

- 中古工作機械として1／3程度アジアに流れているが、まともなルートなら保守契約を結んで保守可能である。保守サービスが購入動機にもなるので重視しており保守で利益も出したいがアメリカなどでは成り立つものの国内では利益がでるところまでは行っていない状況。定期点検サービスは国内では実施していない。自動車ラインなどではユーザがやっているようだ。
- 初期投資額に保守費用などを加えたライフサイクルコストでの機種比較をヨーロッパのユーザからのデータで観たことがありオークマに有利なデータだった。

#### 工作機械の環境適合設計について：

- 工作機械の環境適合設計への試みとして、設計時のチェックリスト、ガイドライン的な「製品評価票」を用意している。設計時や試作時などに評価する。環境負荷低減対策についてはこれから準備していく段階のようである。
- 上流の企画段階でのトレンドとして「クーラントレス」、「オイル（油圧）レス」が挙げられる。実際、ハイブリッド仕様CNC旋盤 LB3000EX を昨年の見本市に出品した。電気・油圧ハイブリッドでチャック、心押し台の油圧レス化、省エネ化やサーモフレンドリーコンセプトによる温度変位にロバストな高温環境不要と環境配慮型工作機械の提案となっている。
- 油圧を電気に置き換える際には停電対策など「安全」が大きな課題である。

#### ISO14000 関連：

- 省エネ取り組みは社内に対応。コンサルタントなどは依頼していない。
- 冷温水発生器の高効率機器への交換など。
- 化学物質では塗料関係（トルエン、キシレンなど）を減らすのがまず課題
- 購入品の組成は調べてはいるが遅れていると認識。プリント基板の鉛フリー化など課題がある。
- 外注比率は高め。鋳物は外注だが国内90%。国外ではリスクとの兼ね合いで。
- ROHS 指令には、工作機械は含まれていない。
- ゼロエミッションにはまず分別ゴミから始めたところ。遅れていると認識。
- 環境報告書は、未刊行。ISO14000 取得後の課題。

#### 4.2.3 株式会社小松精機工作所

調査員： 佐野利男

日時：2007年3月6日

対応者：小松誠（専務取締役、工場長）

##### （1）調査企業の概要

会社名	株式会社 小松精機工作所		
	〒392-0012 諏訪市大字四賀 942-2		
住 所	TEL:0266(52)6100		
	FAX:0266(58)1796 FAX:0266(58)0107 営業直通		
代表者	代表取締役 小松 剛		
設 立	昭和 28 年 6 月		
資本金	9,750 万円		
従業員	230 名（2007 年 01 月現在）		
工場規模	敷地 13070 m <sup>2</sup> 床面積 14200 m <sup>2</sup> (2007 年 01 月現在)		
主要取引先	<u>セイコーエプソン(株)</u>	BOSCH	(株)日立製作所
(敬称略)	(株)デソー	DELPHI	(株)東芝
	大同特殊鋼(株)	愛三工業(株)	日本発条(株)

##### （2）主たる事業分野

- ・ 薄板の精密プレス金型の作製と精密プレス加工
- ・ 難削材の高精度機械加工

##### （3）環境対応

工場全体としては2001年にISO14001の認証取得をしている。また、工場の冷暖房のための燃料としてCO<sub>2</sub>排出原単位の小さい天然ガスを使用している。

###### ① 薄板の精密プレス加工ライン

自動車用エンジン部品をサブミクロンの精度で加工している。加工プロセスとしては順送型によるプレス加工、バリ取り、洗浄、検査等がある。鍛造などの塑性加工と異なり、3Kのイメージは全くない。バリ取りプロセスで発生する微量の研削スラッジ、磨研磨剤についてはマニフェストによる管理が行われており、洗浄プロセスでは塩素系洗浄剤に代



わって炭化水素系洗浄剤が使用されている。

エネルギー使用に関しては、プレス機械の能力と実際の加工力との相違から生じる問題点が残されている。加工精度を維持するため、過大なエネルギーが使われ運転時の省費エネルギーが追及されていない。これは汎用性と長期間使用というプレス機械に固有の使用環境に起因している。省エネルギーを実現するためには、ボルスター・スライド間の動的精度可変、能力可変等の機械の開発が必要と思われる。

## ②クリーンディーゼルエンジン用部品の精密機械加工ライン

複合機による精密切削加工が行われている。切削には環境の視点から注目されているドライや MQL は採用されていない。加工精度を維持するためでなく、切りくず除去のために切削液の使用は欠かせないとの説明があった。油性の切削液は、ろ過して循環させており減少分を補充して使用している。

## (4) 環境評価

加工プロセスからの環境負荷物質については環境側面の測定がなされ、著しい環境側面の低減に向けた PDCA サイクルが実施されている。ただし、生産ラインを構成する機械・装置については、個々のエネルギー使用の測定は行われていない。大量生産に特徴のある素形材加工の分野としては、加工機械のエネルギー消費の最適化（部品の精度や機能を維持し使用エネルギーを最小化する）が重要な課題と思われる。

## 5. おわりに

本報告書では、生産ラインの環境負荷評価に関するいくつかのアプローチを紹介した。ここで紹介した方法は、それぞれ特徴があるが、今のところどれか一つで、「生産ラインの環境負荷評価」に対する様々なニーズすべてを満たすようにはなっていない。生産ラインの環境負荷評価手法として、様々なものが独立に存在しているのが現状である。それぞれの評価結果を一元的に比較できなければ、どの生産システムが優れているか、生産システムの改善計画がどれくらいの効果を生むかなどを結論することができない。環境評価手法として統一的な基準を策定して標準化することが望まれるゆえんである。

本調査研究の最終目標は、生産ラインの環境負荷の評価方法を標準化して、生産ラインの改善やライン設計段階での事前評価が客観的にできるようにすることにある。この目標に到達するまでの道のりはまだ遠いが、本調査研究がその第一歩になったものと思われる。

実際に各企業は、現在、活発に環境に関する広報活動を進めているが、自社に都合の良い情報を選択して発表していることが多く、それらを横断的に比較することもなかなか難しい状況である。生産ラインの環境負荷評価についても、各手法ごとにそれぞれの業界や企業にとって利害が一致することもあれば、相反することもある。各業界、各社の利害の完全な一致を見ることは難しいと考えられるため、まず環境負荷をどうとらえるか、何を決める必要があるかなどから段階的に進める方策を検討することが必要と考える。

## 第2部

### 設備保全のための標準化検討

## 1. 概要

機械産業においては、生産性向上や製品の品質向上のみならず、「環境負荷低減」や、生産現場の安全性を確保するための「設備保全」の概念を組み込んだ生産システムの実現が今後欠かせないものと考えられ、ISO、IECなどの活動においても、環境、資源の再利用、安全、保全などに配慮した生産システムモデル構築への関心が高まっている。

本事業では、生産システムの環境負荷評価と設備保全活動に関する国際標準提案に向けた調査検討を実施する。具体的には、①生産ラインにおける環境負荷を評価する指標の選定及びその指標の算定方式をISO/TC184(産業オートメーションシステムと統合)およびTC184/SC5(アーキテクチャ・通信およびフレームワーク)の委員会に提案し、国際標準化を目指すための調査、検討を行う。②製造業の実態を反映させながら、安全性の確保に配慮した設備保全手法を、TC184/SC5/WG7(診断と保守)委員会に提案し、国際標準化を目指す。

本調査では、以下を実施する。

学識経験者と企業メンバーからなる設備保全標準化委員会を設置する。

設備保全に関する標準化項目の検討と安全性、保全情報の管理について検討を行う。

TC184/SC5/WG7の国際会議を国内で開催し、設備保全に関する要望をまとめる。

TC184/SC5/WG7の国際会議(海外で開催予定)に出席して、設備保全の標準原案を作成する。

## 2. 設備保全ならびに安全・保全情報の管理に関する標準化の動向

### 2.1 設備保全分野での標準化の必要性

近年メンテナンス活動は、設備の機能維持において必要不可欠な活動であるが、メンテナンス活動は、コストはかかるが直接的には利益を生まず、労働集約的かつ3K作業を多く含み人手がかかるため、企業にとって「必要悪」的な位置付けで扱われてきた。

わが国の設備投資による産業インフラの累積は約2000兆円と推定され、その多くが設備建設後数十年を経過し、その劣化と寿命の問題が顕在化しつつある。高度経済成長時代と異なり、新規投資は大幅に縮小され、むしろ既存のこうした設備を如何に効率よく維持管理し、長寿命化していくかにエンジニアの知恵が求められている。

昨今の産業を取り巻く環境とメンテナンスの観点で状況を振り返って課題を一部抽出すると以下の事項が列挙される。

#### ①経済環境の変化

- ・生産の減少（モノ作りのグローバル化、需要に対する過剰設備）
- ・設備の新設の減少

#### ②設備保全へのしわ寄せ

- ・経済効率の追求（コストダウンの要求）
- ・メンテナンスコストの削減（数字に出やすい。保全コストは必要悪）
- ・要員の削減、点検回数削減、点検個所の削減

#### 上記の変化により

- ・事故故障の発生。高額な修理コスト、補償、生産休止による機会損失、環境負荷の増加、設備の故障、事故件数の増加、潜在的な故障、事故数の増加
- ・保全要員の作業負荷の増大

また、メンテナンス現場では

#### ③設備メンテナンス技術の現状

- ・保全技術の未発達部分を人間の能力に頼っている。（安全対策も）
- ・人的スキルに依存する部分が大。
- ・経験に基づく暗黙知が占める割合が多い。
- ・管理情報の充実でも、形式知で賄えない。
- ・メンテナンス技術、技能の継承がされていない。

#### ④保全要員の企業での一般的な位置づけ

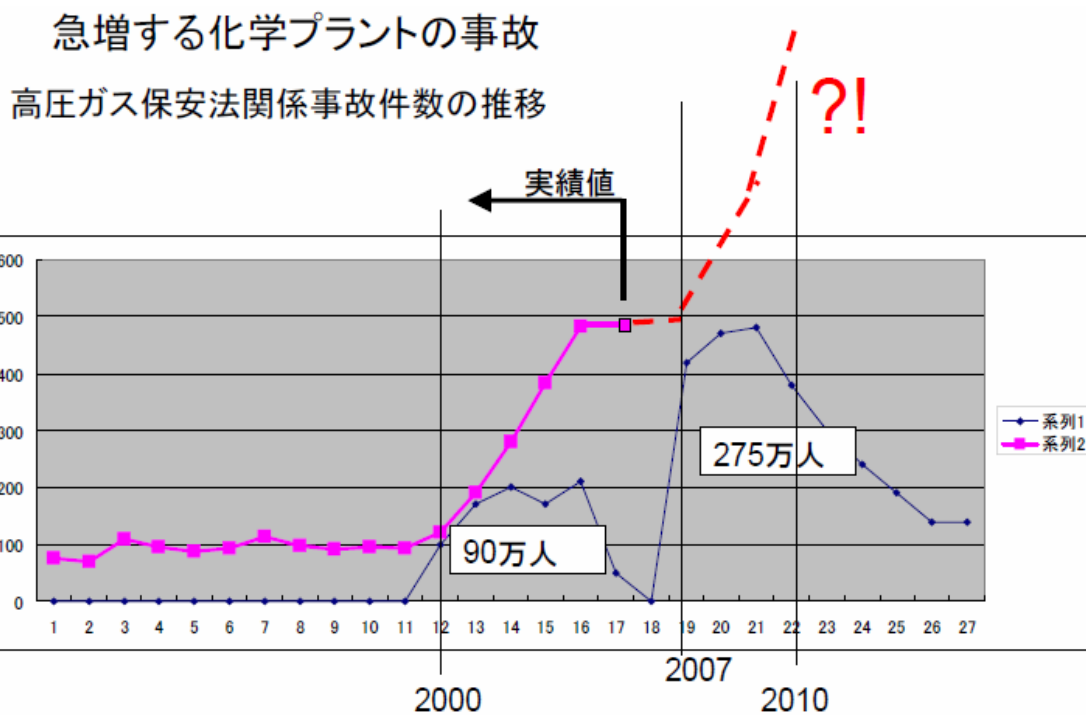
- ・メンテナンス業務は企業の花形ではない。稼ぎ頭ではないと思われている。

#### その状況から以下のことが予測される

- ・現在の保全技術では、生産設備の健全な維持が困難な企業が増える。
- ・故障への対処が混乱し、生産計画に影響する。

また、一方で上記の課題の顕在化という観点でプラント関連の事故の例を以下に概観する。図2. 1（出所；URL [www.sparj.com](http://www.sparj.com)資料[B1] 2007-01）は、高圧ガス保安協会が公表している高圧ガス保安法に関わる事故件数の推移（系列2）であり、ここに退職者異常増分の二つのかたまりを重ね合わせたものである。退職者増を系列1のグラフで示す。今年（2007年）より団塊の世代が大量に退職を迎えるとしてマスコミで取りざたされているが、すでに2000年よりその前兆が現れはじめている。

\*退職者増分のグラフの見方は、人口分布のベースラインとして男性人口1年あたりの60歳到達者平均70万人として、それを超えた部分の異常値のかたまりに着目すると、すでに2000年からの90万人のかたまりが読み取れる。そして2007年よりその数倍の規模の塊が目前に迫っている。



2007年問題は、すでに2000年から顕在化し始めている。60歳退職の異常要因(90万人)と事故急増が符合する。その数倍の規模である2007年、2010年問題が顕在化するとどうなるか！

出展: URL [www.sparj.com](http://www.sparj.com) 資料[B1] 2007-01

図 2. 1. 1

図2. 1. 1は、高圧ガス保安法関係の全ての事故件数を表しており、事故件数はこの5年で2～3倍に急増している。こうした現場の状況は、他の産業でも散見される。これは2007年以降の大きな社会問題といわれることを示すデータといえる。また単に人数の問題では

なく、昭和40年代ごろに採用した優秀な人達が、現場で築きあげてきた経験と知恵の貴重なノウハウが失われていく問題であると言える。事故増大の要因は、この図から2000年からの急増の生データを見る限り、人的要因が大きな理由であることは明白である。

これらの課題とそれを放置することにより想起される事象からは、人と技術に関する解決への対応の必要性が読み取れる。人の育成（技術とノウハウの伝承）と新技術（オペレーションの容易性と安全の実現）の開発は緊急に推進する必要があると認識されるが、この解決は一朝一石には出来ない事項であり、しっかりと取り組むことが要請される。

また一方で、上記を強力に下支えしていく駆動源の役割を担う共通な課題としてメンテナンスの効率化、迅速化、コスト低減、見える化を達成するためには、標準化の推進を実施することこそ、先に述べた人材育成と新技術の展開を促進するポイントとなる。メンテナンスに関する標準化は、人と設備、設備間のインターフェイスはもちろん、システム的なメンテナンス手法の標準化、それを可能とする設備機器のメンテナンスの標準化を実施することが必須である。

## 2.2 設備保全ならびに安全・保全情報の管理に関する標準化活動の現状

今日の産業における事故を概観するに実に安全対策の不備とメンテナンスの不十分さに起因すると思われる事故が多発している。そのため事故を防止し、より安全な設備の維持への意識の高まりは近年ますます大きくなってきている。

これらの実運用面での促進と効率化、迅速化、コスト低減、見える化を達成するためにメンテナンスに関する標準化が必須であることは先に述べた。では現在、メンテナンスに関する標準化状況はどうかというと図2.2.1の状況である。（出所；日本電気制御機器工業会で、今までに発行された、ISOおよびIEC規格の技術インフラ別分布を、定量的かつ定性的に調査分析の結果）

既存の規格を、以下のように分類した。

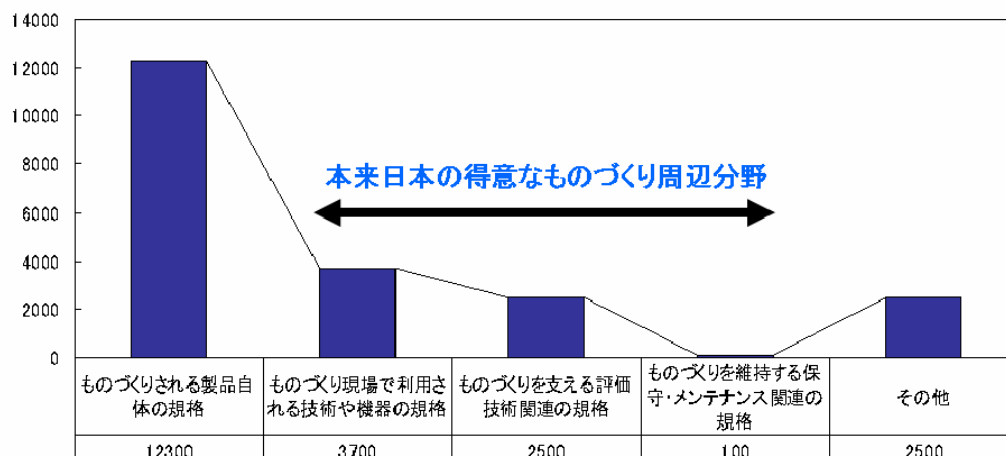
- ①「ものづくりされる製品自体の規格」
- ②「ものづくり現場で利用される技術や機器の規格」
- ③「ものづくりされる製品レベル評価の規格」、
- ④「ものづくりを維持するメンテナンス関連の規格」
- ⑤その他

このように分類して約20,000件の既存の国際規格の内容の概要を分析・調査した結果、①「ものづくりされる製品自体の規格」の発行数が12,300件と圧倒的に多く、②「ものづくり現場で利用される技術や機器の規格」は3,700件程度、③「ものづくりされる製品レベル

評価の規格」は2,500件程度であり、④「ものづくりを維持するメンテナンス関連の規格」にいたっては、100件程度と発行数が少ないことが判明している。

この状況からも、製品に対する標準化の推進も重要であるが、それ以上にメンテナンスに関する標準化を推進することが、課題解決の緊急性から特に要請される。

## 国際規格 (ISO+IEC) のものづくり技術インフラ別分布



- 1) ものづくりされる製品自体の規格 - (カタチのあるものを主とし、材料、部品等を含む製品づくりに関する規格)
- 2) ものづくり現場で利用される技術や機器の規格 - (機械・流体システム、生産工学、制御等に関する規格)
- 3) ものづくりを支える評価技術関連の規格 - (信頼性や寿命、耐ノイズ性の評価、試験、測定方法等に関する規格)
- 4) ものづくりを維持する保守・メンテナンス関連の規格 - (環境・品質を維持するためのマネジメントに関わる規格)
- 5) その他 - (総論、用語、自然科学等ものづくりに直接関連しない規格)

図 2.2.1

メンテナンスに関する標準化は標準化の数が多ければよいというものではなく、単なる製品個々のメンテナンスの標準化でなく、システムの、トータルのな新技術に対応する標準化が求められる。

それとともにコストダウン、サービスレベルの向上を実現するメンテナンスを実現する鍵は製品、システムのライフサイクル全体を見据えた合理的な、ライフサイクル設計とマネジメントにあると考える。一方、メンテナンスの目的は設備を安全に操業するための活動であるため、安全に関する技術との連携をとる標準化の制定も必要になってくるものと思われる。安全の分野で特に注目されるポイントの一つに全ライフサイクルの考慮があり IEC61508 (Functional Safety) に明示されている。図2.2.2にその概要を示す。

これまでオーナーオペレータ企業は、設備ライフサイクル管理については十分な経営資源を投入せず、設備や保全費を単なるコストととらえ、極限にまでコストを圧縮することに



注力してきた。製品のトレーサビリティが求められる中、製品そのものに加え、どのように維持管理された設備で製造されているのかを合わせて把握していく必要があることは論を待たない。このような課題に対応できる、最近の技術を反映したメンテナンスの標準化を目指すことが、求められる。

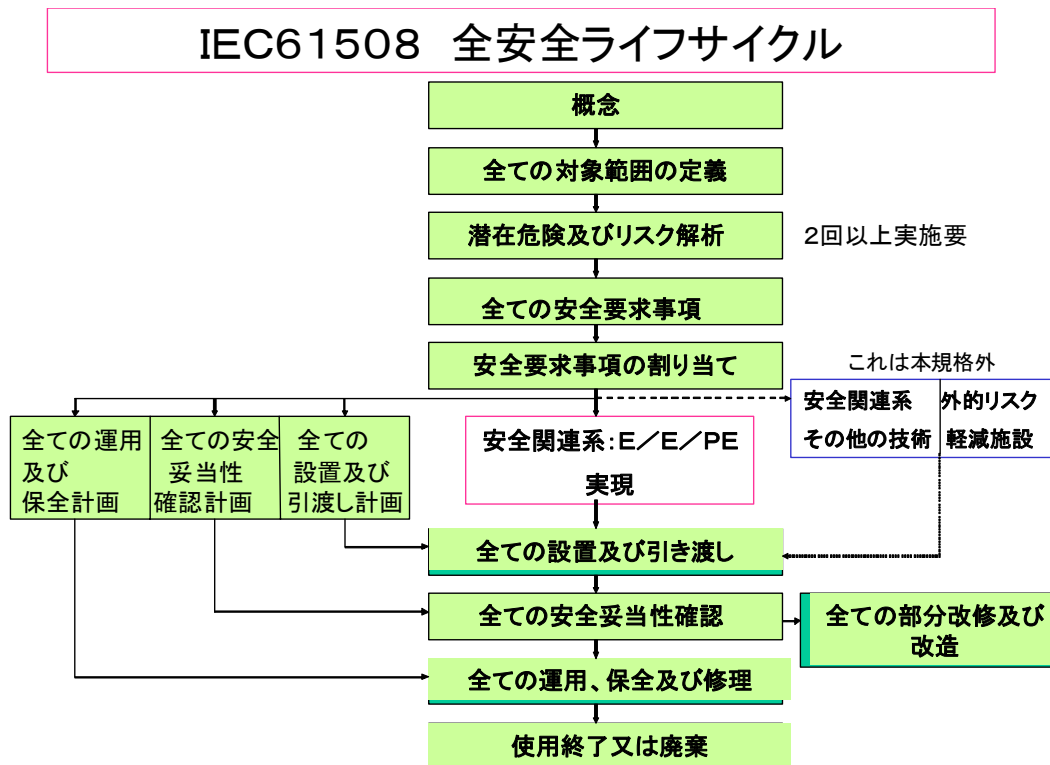


図 2.2.2

## 2.3 MIMOSA における標準化活動の概要

### 2.3.1 MIMOSA とは

メンテナンスの領域において標準化を推進する団体の1つとして、MIMOSA が挙げられる。MIMOSA (Machinery Information Management Open Systems Alliance) は、統合化企業情報システムと連携した機械設備の保守・保全の標準仕様を策定し、推進する非営利の団体である。この団体の活動目的は、関連プロセス、設備の管理メンテナンスの実施に必要とされるファシリティ全般からの設備特性、操業履歴、およびメンテナンスの電子化情報の互換性を改善することにあるとされる。この団体は、1997 年から活動を開始しており、既に主要なインターフェイス仕様策定を完了し、現在は主として策定したインターフェイス仕様の標準化を推進している。

この団体は、76 社ほどがメンバーとなり構成されている。メンバーの業種は、製造業向け各種機器やシステムのベンダー企業、ユーザ企業、システムインテグレーションを担う企業、その他に大学、米軍関連団体がある。メンバーを地域別に分類すると、大半が北米に拠点を置く企業などである。<<http://www.mimosa.org/>>

#### ●対象分野

この団体が、対象とする分野は、次のとおりである。

- ① 機器の操業時操作およびメンテナンス分野
- ② 機器の OEM 分野
- ③ 運輸・運行管理分野
- ④ HMI (Human Machine Interface) 分野
- ⑤ EAM (Enterprise Asset Management) 分野
- ⑥ PAM (Plant Asset Management) 分野
- ⑦ ODHS (Operational Data Historian System) 分野
- ⑧ MES (Manufacturing Execution System) 分野
- ⑨ CM (Condition Monitoring) 分野

対象分野を機能階層化してみると、下層は機器レベルから、上層は企業レベルの設備管理までの幅広い領域をカバーする内容となっている。これら幅広い領域を横断的に見ること、メンテナンスの高度化が期待される。

## 2.3.2 MIMOSA が考える情報標準化

### ● 策定仕様

MIMOSA では、これまでに次のような仕様の策定を完了している。

- ・ OSA-EAI (Open Systems Architecture for Enterprise Application Integration)
- ・ OSA-CBM (Open Systems Architecture for Condition Based Maintenance)

OSA-EAI は、情報システムとメンテナンスのデータや機能と連携するためのインターフェイス仕様、および情報モデルに大別できる。情報モデルは、次のような構成としている。

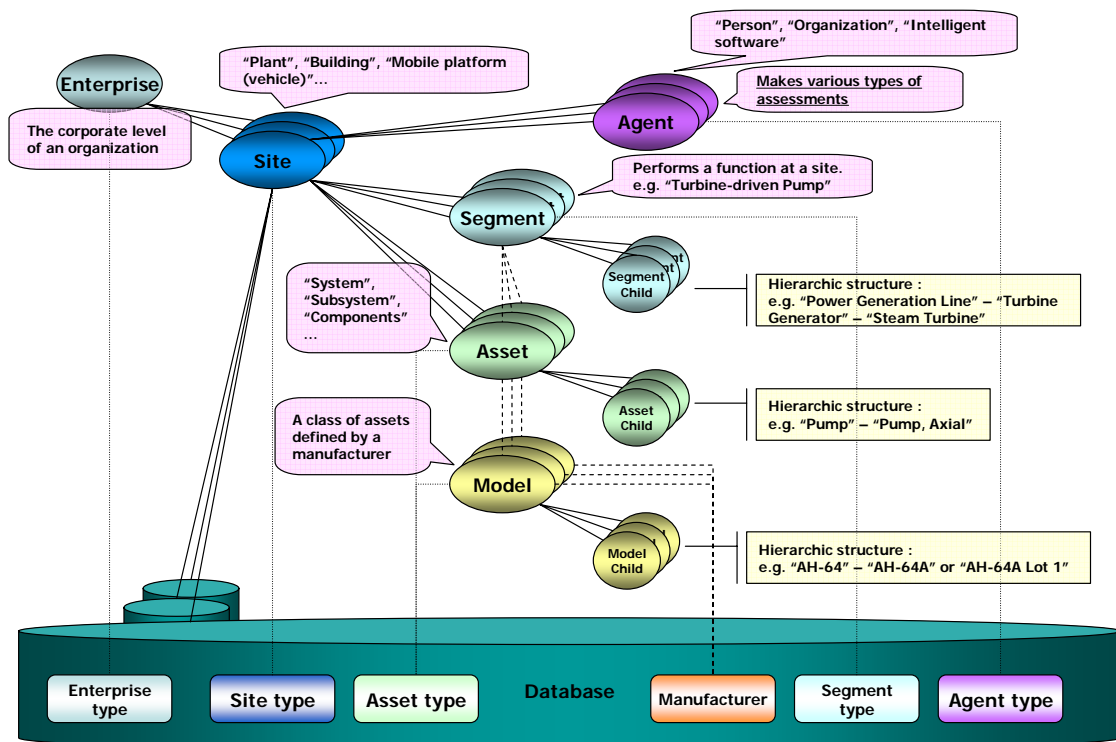


図 2.3.1 OSA-EAI の情報モデル

- ・ Enterprise 企業で捉えれば本社組織
- ・ Site 企業が有する工場のプラント
- ・ Segment プラント内の 1 機能を実現する装置の集合体
- ・ Asset プラントに配置される 1 つの物理的な設備資産

- Model プラントにおいて定義された設備資産名の類
- Agent 価値を生み出す人や組織
- Database プラント内の情報を配置する置き場

OSA-CBM は、主としてコンディションベースのメンテナンス \*1 を実現する上での標準的な機能構成を示す仕様である。仕様では、6 つの機能ブロックが配置されており、それぞれの機能ブロックにおける役割が定義されている。

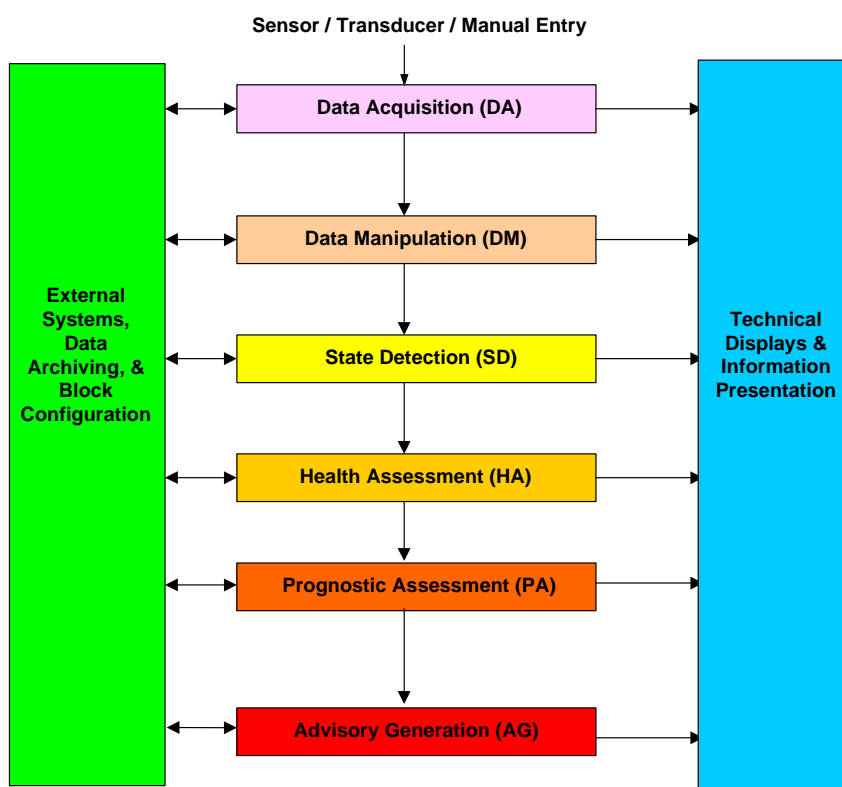


図 2.3.2 OSA-CBM の機能ブロック 出展:MIMOSA

- Data Acquisition 機器のデータを数値化する機能
- Data Manipulation 取得データを分析する機能
- State Detection 状態を算出する機能
- Health Assessment 異常を診断する機能
- Prognostic Assessment 将来発生する異常を特定する機能
- Advisory Generation メンテナンスの実行計画を提示する機能

\*1: コンディションベースのメンテナンスとは、これまでの一般的な保全手法であった「壊れたら直す」、「定期的に保全を行なう」を一歩進めた予知保全の考え方であり、設備の状態を常時監視することによって、壊れる事象を予知する予知保全の手法。コンディションベースメンテナンスを実施する上では、コンデヨションモニタリング（CM）が必須と言われており、回転機器診断、静機械診断、電気機械診断などを適用する事になる。

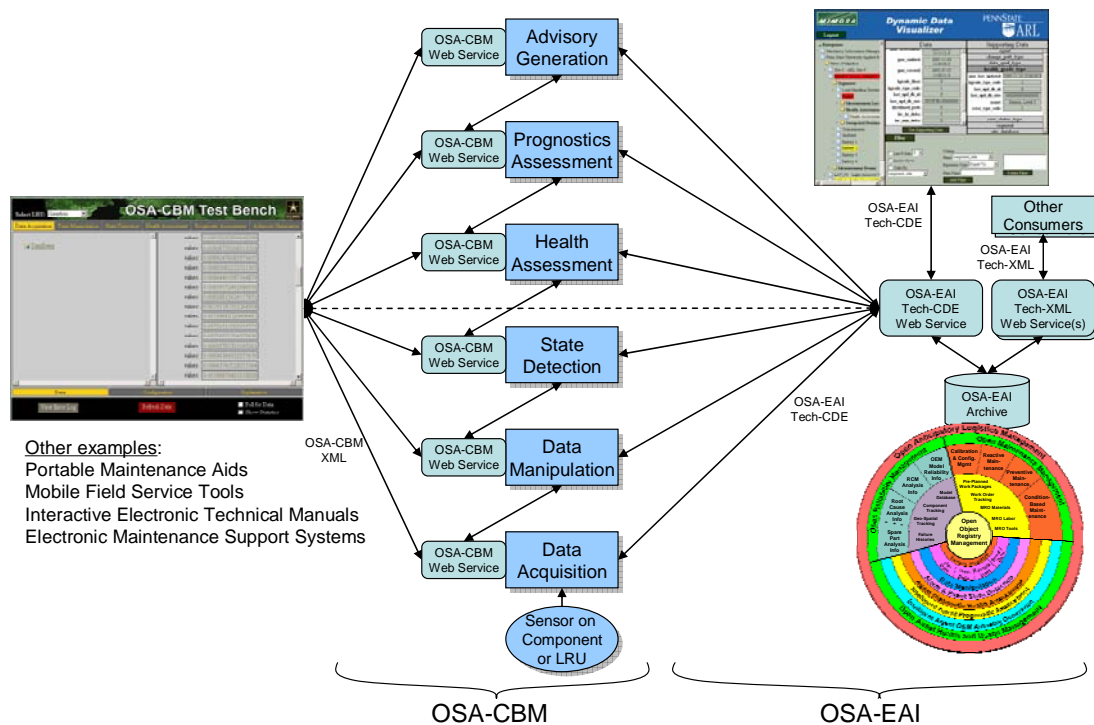


図 2.3.3 OSA-EAI と OSA-CBM 出展:MIMOSA

OSA-EAI を用いた情報システムを構築する場合、OSA-CBM に基づいた機能を配置することで、メンテナンスに必要となる機能とデータを過不足なく紐付けでき、最適な構成となる。これら2つを繋ぎ合わせることで、後述する図 2.3.5 Open O&M のシステム構成に示すような、ERP システムとの密な連携が可能となる。

これらの2つの仕様 (OSA-EAI、OSA-CBM) は、ISO TC 184/SC 5/WG 7 (Diagnostics & Maintenance Application Integration) ならびに、ISO TC108/SC 5/WG 6 (Condition Monitoring & Diagnostics) においても部分的に協議されており、ISO 規格として採択 (ISO STD 13374)、または採択が検討 (ISO Draft STD 18435) されている。

●標準化団体間の協業

OSA-EAI、OSA-CBM 仕様を完成させてきた MIMOSA は、活動の中心を他の標準化団体との協業にシフトしつつある。MIMOSA のインターフェイス仕様と他の標準化団体が推進するインターフェイス仕様において、相互のデータ交換を可能とすることで、幅広い分野における適用を目指す動きとなっている。この活動の中心が、Open O&M 呼ばれるコンソーシアムであり、OPC-Foundation, ISA95, B2MML などとの協業により展開している。Open O&M は、操業データとメンテナンスデータの双方向のデータ交換を目指している。

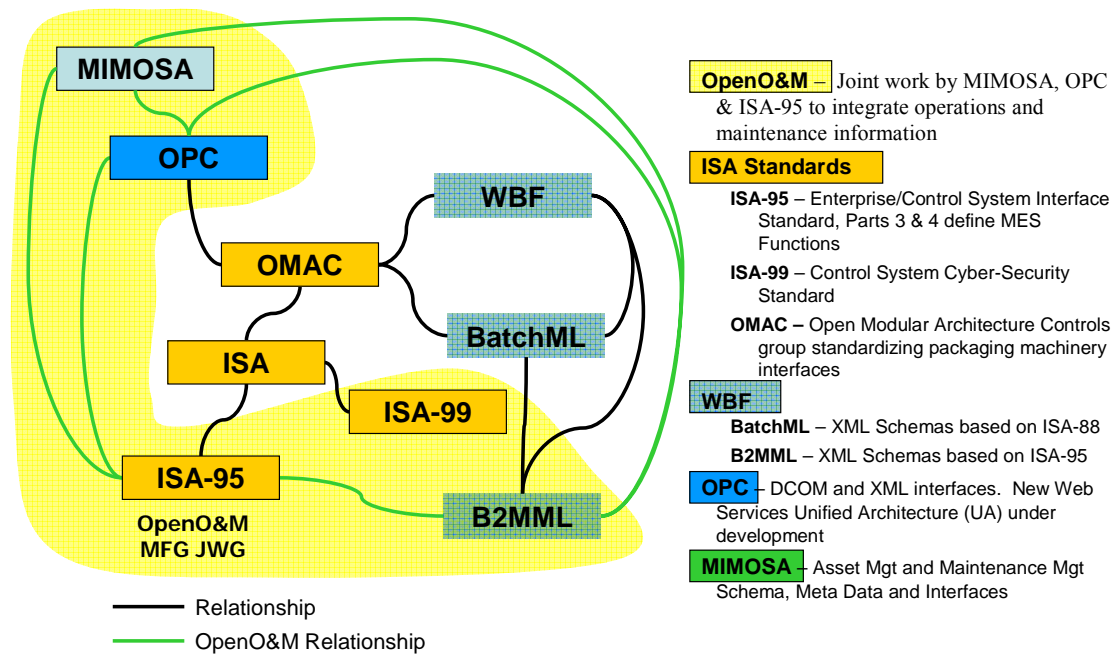


図 2.3.4 Open O&M の関連団体 出展:MIMOSA

Open O&Mにおける、MIMOSA、OPC-Foundation、ISA95それぞれの守備範囲は次の図に示すとおりである。それぞれの守備範囲に閉じたインターフェイスのままの存在では、情報システムを構築する上での弊害となり、インターフェイスの普及におけるデメリットは明らかである。Open O&Mでは、お互いの守備範囲を超えたシームレスな環境提供を目指している。MIMOSA、OPC-Foundation、ISA95のインターフェイスが、作業データ、メンテナンスデータを上位から下位に渡りカバーすることで、工場の作業およびメンテナンスの視点で、プラントフロアから、ビジネスフロアの領域間でデータ交換できる構成図としている。

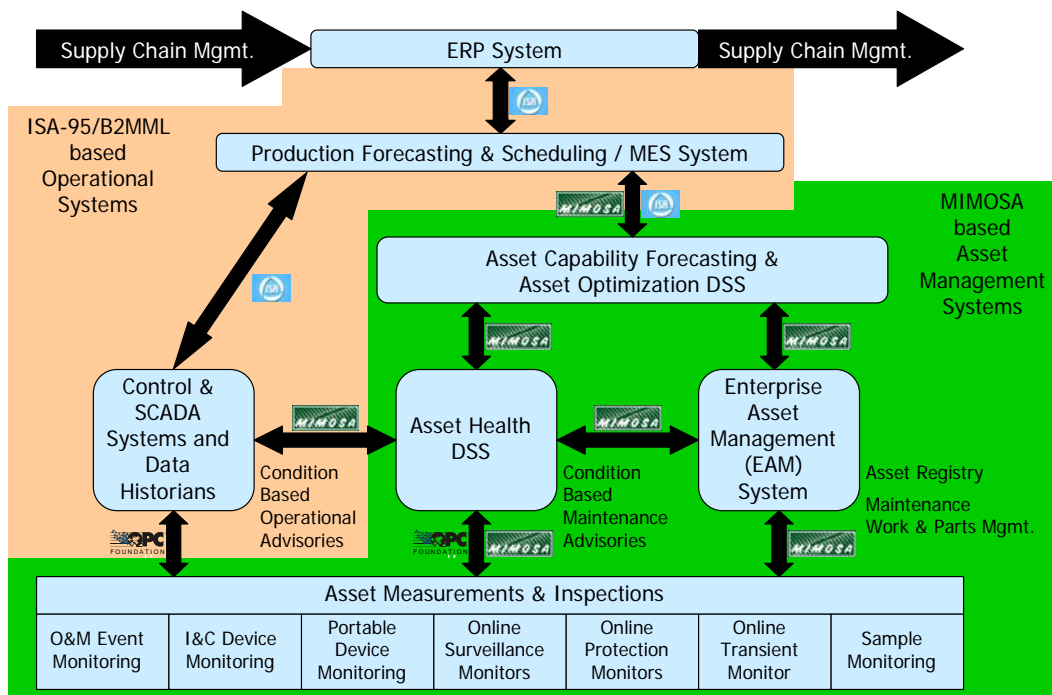


図 2.3.5 Open O&M のシステム構成 出展: MIMOSA

Open O&Mでは、MIMOSAを含めた標準化団体が推進するインターフェイスが、XMLをベースとした仕様であること、それが共通認識になりつつある。Open O&Mにて描かれている将来象では、通信プロトコル部分で OPC-Foundation の仕様である OPC UA (Unified Architecture)を適用し、MIMOSAなどのXMLをベースとした仕様を OPC UA のコンテンツとして捉えた形態の利用としている。この形態が完成すると、MIMOSA と

ISA95、MIMOSA と OPC など相互にデータ交換することが容易に実現可能になるものと期待されている。

但し、Open O&M に限らず米国発のインターフェイス仕様は、システム全体の中でトップダウン的なアプローチで策定されるケースが多く、ボトムアップ的な検討不足に伴う弊害として、仕様の荒さが散見される状況もある。このような仕様の荒さが、システム構築してゆく過程で、使い勝手の上での難点となり、普及への足かせとなる向きも危惧される。また、全体的に安全という視点における仕様検討が十分とは言えず、今後の課題となる事であろう。

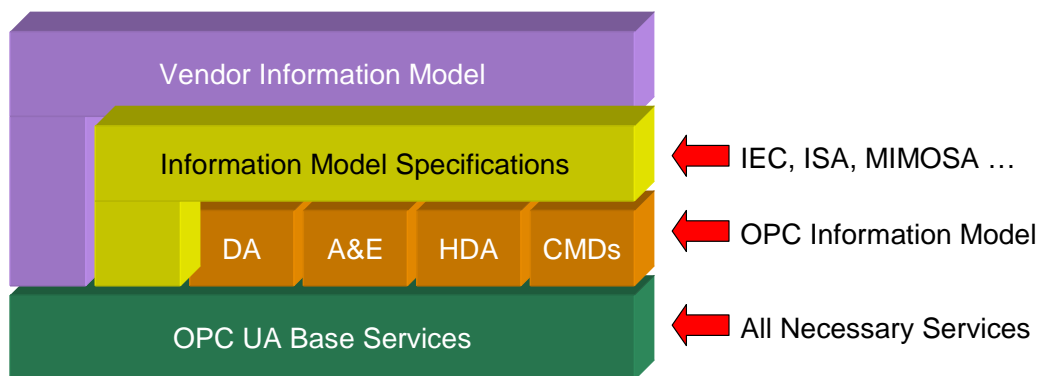


図 2.3.6 OPC UA のベース化

出展:MIMOSA

### ●Open O&M 普及への活動

Open O&M の普及に向けて MIMOSA では、相互接続テストを毎年開催している。相互接続テストには、メンバー企業が製品や開発中の機能を持ち込み、実際に MIMOSA インターフェイスを利用したデータ交換を行う。このほか、MIMOSA インターフェイスの完成度と実効性をアピールする目的で、北米のリファイナリ会社の実システムを用いて、ERP <-> EAM <-> DCS ほかの接続を実証する実験を展開している。





図 2.3.7 相互接続テストの様子

### 2.3.3 今後の見通し

MIMOSA の活動は、約 10 年間に及ぶ。その過程で、複数の仕様を完成させてきているが、MIMOSA 仕様に準拠した製品の数は少ない。但し、メンテナンス領域において、MIMOSA に代わる適当なインターフェイス仕様が存在しない事、MIMOSA 仕様が部分的ではあるが ISO 規格として取り込まれつつある事などを鑑みてみると、次第にニーズが増すことで、その存在が大きくなる可能性がある。特に MIMOSA 仕様において、そのベースにあるコンディションベースのメンテナンスという考え方が、産業界においてマジョリティを得る段階に入ると MIMOSA 仕様および準拠製品に対する様相が大きく変化することが予想される。

日本国内では、コンディションベースのメンテナンスというものに、やや馴染みが薄い。米国では、特に海軍において、空母に設置された多数の機器を効率よく人手を介さずに維持そして管理する技術として、コンディションベースメンテナンスが発達してきており、近年では工場やプラントにおいても用途を拡大している。日本では、これまで優秀な人達が築き上げてきた現場における日々のメンテナンスの存在があり、コンディションモニタリングなどのハードウェアや状態診断するソフトウェアなどを活用したコンディションベースメンテナンスの必要性が、米国と比較すると薄かった。しかし、2007 年以降においては、次第に社会の状況が変化してゆき、人的スキルに依存する部分が高く、手間隙を要す

るメンテナンスという業務を改善するソリューションとして、コンディションベースという考え方が、効率化の視点で注目されてゆくのではないだろうか。また、コンディションベースという考え方にに基づき、メンテナンスが高度化され、情報システムに組み入れられてゆくことで、どのような設備で製造されたのかと云った製品トレーサビリティへの的確な解を導き出す展開も期待できないだろうか。

### 3. 国際会議報告

#### 3.1 WG 7 東京会議報告

##### 3.1.1 概要

日時：2006年9月11日（月）～13日（水）

場所：早稲田大学理工学部会議室

アメリカ、フランス、日本から参加した。東京で開催されたので、国内対策委員会のメンバーを含め、日本から9名が参加した。

Part 1 “Overview and general requirement”について、前回の Monterrey 会議で残った指摘項目を確認していった。特に ADID(Application Domain integration diagram)で定義しているインターフェースの定義、コンプライアンスとコンフォーマンスの違いについて意見が分かれた。インターフェースについては議論した結果を次のドラフトに反映する。コンプライアンスとコンフォーマンスについては ISO 内の定義のレビューから行うことになった。

##### 3.1.2 議事内容

###### Day 1

Meeting was called to order at 10:10 AM at Waseda University, Tokyo, Japan.

1. Welcome & Introduction
2. Meeting Logistics Summary – provided by Professor Takata-san.
3. Introduction of attendees

出席者はアメリカ、フランス、日本であった。日本からは9名、参加した。

表 3.1.1 出席者

	Abbr.	Country	Status	11th	12th	13th
Xu Aidong	AX	China	Expert			
Li XiaoDong	LX	China	Expert			
Li Yanfeng	LY	China	Expert			
Yu HaiBing	YH	China	Expert			
Philippe Juhel	PJ	France	Expert	X	X	X

Shozo Takata	ST	Japan	Expert	X	X	X
Yoshiro Fukuda	YF	Japan	Expert	X	X	
Hideo Endo	HE	Japan	Observer	X	X	X
Tadashi Ohi	TO	Japan	Observer	X	X	
Ryosei Toyama	RT	Japan	Observer	X		
Nobuhiko Terashima	NT	Japan	Observer		X	
Hisao Toyama	HT	Japan	Observer		X	
Keiichi Shiotani	KS	Japan	Expert		X	
Satoko Sakajo	SS	Japan	Expert			X
Alan Johnston	AJ	MIMOSA “D” Liaison		X	X	X
Ken Bever	KB	TC108/SC 5 Liaison	Expert			X*
Graeme Meyer	GM	New Zealand	Expert			
Han-Sil Kim	HK	S. Korea	Expert			
Thomas Lundholm	TL	Sweden	Expert			
Charles B. Hoover	CH	USA	Convenor	X	X	X
Dan L. Carnahan	DLC	USA	Convenor	X	X	X
Dukki Chung	DC	USA	Expert	X	X	X
Em dela Hostria	EDH	USA	Expert	X	X	X
Greg Winchester	GW	USA	SC 5			
Richard Martin	RM	USA	Observer			

\* Part-time – via audio conference

#### 4. Convenor’s overview

今回のミーティングの目的と、WG7の体制変更について、コンナから説明された。

Our objective for this meeting is to have a draft in a form to submit for ballot for CD, or to work on a draft to submit for DIS ballot after the January/February meeting.

今回のミーティングの目的は CD 投票用の原案か、1 月あるいは2月の会議後での DIS 投票用の原案を作成することである。

As a result of the change to the proposed number of parts to be 3 parts (previously we had planned to have 7 parts and have separate task forces working on the various parts – thus the need to have co-convenors), the working group has been re-organized to have only one convenor. Mr. Hoover has agreed to the working group 7 convenor. 構成を7章から3章に変更した。そのため、コンビーナを2名から1名に変更した。

## **5. Review and revised agenda**

議題を確認した。

Review of the agenda:

We added a section from previous actions to update on the MIMOSA activities

It was noted that the introduction to the current draft has

前回のアクションアイテムである MIMOSA 活動の状況報告を議題に追加した。

Discussion on the MAMI T.F. meeting.

Originally planned to have a meeting in Tokyo, however, because of previous commitments and meeting logistics, it was not possible to have a meeting here in Tokyo.

MAMI T.F.(ISO TC 184 Manufacturing Asset Management Integration Task Force)は当初、東京での実施を計画したが、開催できなくなった。

Mr. delaHostria noted that it is important for the T.F. to identify those areas of expertise that are needed from the different SC's to enable planning for participation in future discussions.

将来の議論の中で、他の SC の参加が必要になる領域をタスクフォースの中で明らかにすることが大切であるという指摘があった。

## **6. Action Item review –**

5月の打合せでのアクションアイテムが完了していることを確認した。

Actions from the May meeting were reviewed. All actions were completed for incorporation into the current draft text of part 1.

MIMOSA/ Open O&M update-

A previous action from MIMOSA to provide use cases was provided by an overview presentation by Mr. Johnston. Alan will provide a link to the slides on the MIMOSA web-site.

The integration areas from the ISO 62264 levels was depicted to show the areas where MIMOSA is participating. Convergence of the operations and the maintenance sides are consistent with the ADID diagram. Also the MAMI T.F. integration efforts are important to depict the total life cycle of the condition-based maintenance activities.

Several different scenarios were presented.

Alan will provide a URL to the slides presented during this discussion.

前回の会議でのアクションアイテムだったユースケースが MIMOSA から紹介された。オペレーションと保守の収束は ADID(Application Domain integration Diagram)図と一致している。

## **7. Overview of changes to Part 1 – Chuck Hoover**

Part 1 について、深く議論すべき点は何かを議論した。Domain 間のインターフェースの定義に解釈が複数ありえることを確認したので、この点を集中していくべきと考えられる。

(ST) Figure 5-5, 5-7 are similar in appearance. What is the context for these figures?

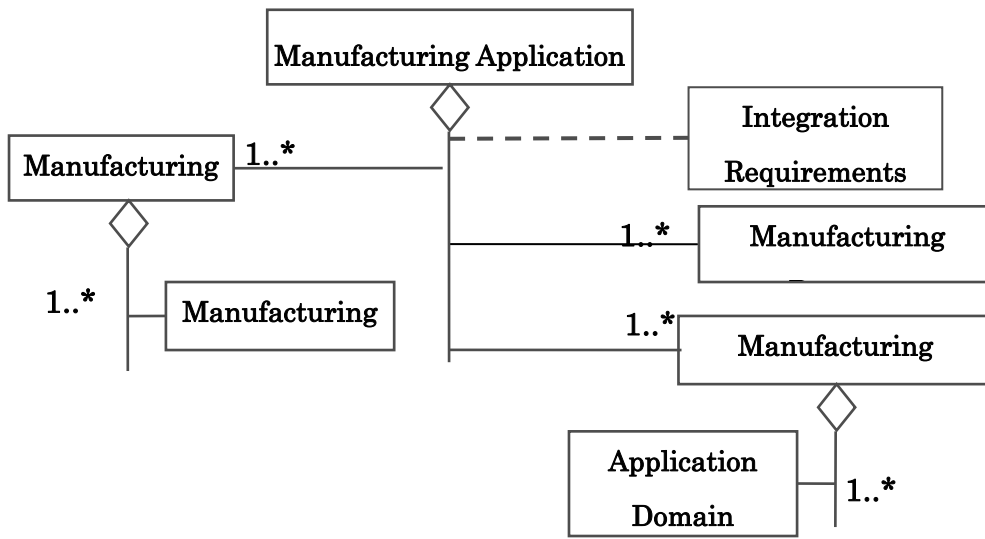


图 3.1.1 Figure 5-5 Application integration relationship diagram

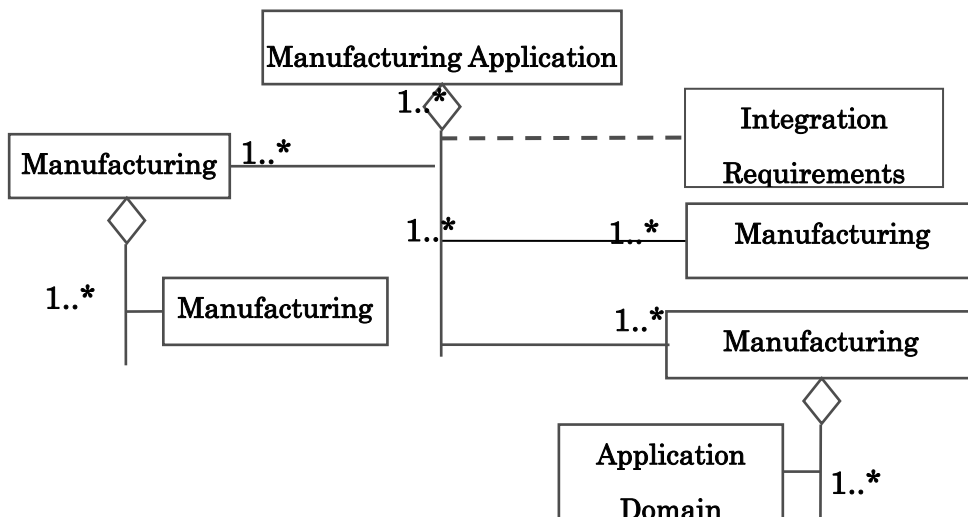


图 3.1.2 Figure 5-7 Application integration relationship diagram

(ST) Are we discussing the interfaces between applications or within the application?

Is it between application domains, applications, processes, or activities?

Shozo provided a drawing to explain possible different understandings of the scope of the interface description method.

(EDH) There is a need to distinguish whether the transactions are between applications in different domains, or between activities within an application domain.

(ST) We should focus on the interface between the application domains. ADME should be Application Domain Matrix Element, the exchange of information between the application domains.

(CH) The depth of the use of the description method are details to be covered in additional parts.

## **8. Review of the remaining comments from Monterrey-**

Monterrey 会議で残った指摘項目をレビューした。

FR-1, see sec. observation

FR-2, see sec. observation

FR-4, see sec. observation: **AJ will provide some examples of transactions based on industry use cases as examples to be included at end of clause 5.**

FR-5, editing comments

FR-6, see sec. observation

JP-15, see sec. observation

JP-9, need to check the ISO 13374 definitions against this proposed definition.

US-1,US-2, accepted.

US-5, accepted in principle; the re-organization of the document structure addresses this comment.

US-28; open topic related to our discussion before lunch (EDH) The description method should be powerful enough to describe the interactions between applications and activities. Figure 5-1 was revised to indicate that at least two use cases need to be considered in this description method.



US-38; They are related and not contradictory. The integraton model of a process in 15745 does not show that it is composed of activities. Modeling of a process in ISO 15745 will determine the profile of the process that was built.

US-45; Rejected. The maintenance strategy planning is outside the scope of this standard.

**US-62; Action item – still needs to be reviewed by the editor.**

US-59, US -67, US-68; Do we need to distinguish between these different levels of the hierarchy? The ADME should allow for differences to handle the clauses of .2,.3,.4. Change the text of 5.7.2 to “bulletize” the differences. These type of applications can be described using the same description method. This text will be “captured” for incorporation into part 2.

**End of Day 1**

**Adjournment @ 5:50 PM.**

**Day 2**

**Commence at 9:10 AM**

#### **9. Review of the 1<sup>st</sup> days proceedings**

ADID 図はユースケースで使われる重要なコンセプトである。

AJ stated that the ADID diagram is an important concept that is being used for the Use cases. We should revisit the “text” in the boxes to make sure that we have good agreement as it will be included in many

#### **10. Review of Unaddressed comments**

残った指摘項目についてレビューした。

US-98,107; Authors of the “use cases” are asked to provide explanatory text to introduce the use case and the relationship to the document.

## 11. Discussion of new part organization

図 3.1.3 に示された新しいパート構成について議論した。

In the discussion of the new figure 1-3, we discussed the class “ADME.” In this context and based on previous comments, the notation of AIME (Application Interaction Matrix Element).

US-65 suggested that “interactions between application instances in an activity domain shall be represented in a design structure matrix (DSM) using an activity-based view to produce an activity matrix. It is important to not to include too much information into “one matrix element.”

Working group 5 developed the concept of application interoperability profiles. The profiles identified those characteristics that are required to be interoperable.

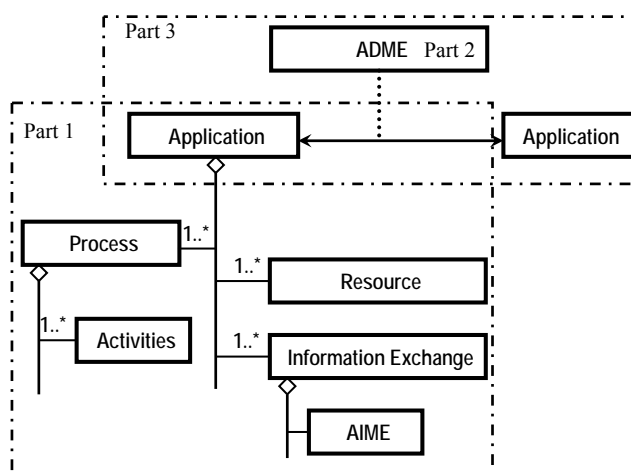


図 3.1.3 Figure 1-3 Relationships among the parts of this International Standard

We discussed the new Figure 1-3 in the context of the application to application interaction. The application must expose the interfaces to enable information exchange. The ADME defines the transactions that take place between the applications (part 2).

アプリケーション間の相互作用について議論した。パート 2 で記載する ADME がアプリケーション間の処理を定義する。

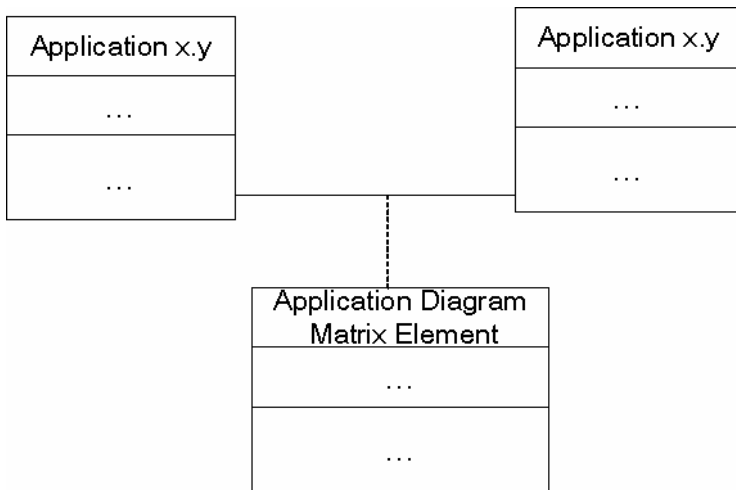


図 3.1.4 Figure 5-4 Application Diagram Matrix Element (ADME)

EDH presented some slides to describe the interactions of applications (see attachment A).

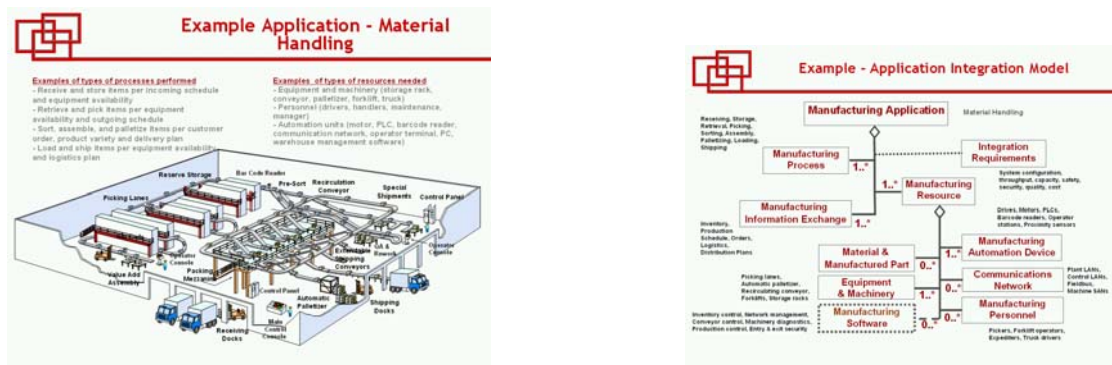


図 3.1.5 Application Integration Model の例(Attachment A)

Part 1 is the overview of the general requirements and structure

Part 2 is how to make the matrix element.

Part 3 is how to use the matrix element for application integration.

3つのパートが構成される。パート1は構造と要求仕様、パート2は配列要素の作り方、パート3はアプリケーション統合のために配列要素の使い方である。

(ST) How much information will be described in the AIME. (EDH) The way to get the answer is to look at the “use cases” in the annex.

(ST) Will we use the “use case” to determine the extent of the description?

Referring to fig1-3, we will use the nomenclature Application Domain Matrix Element (ADME) for “inter-domain” application interaction. Each ADME consists of a set of information exchange interoperability profiles plus a set of AIME’s as noted in ISO 15745-1.

ドメイン内のアプリケーションインターフェースを表現するために ADME(Application Domain Matrix Element)という用語を使う。各 ADME は ISO-5745-1 で記載されている AIME(Application Interaction Matrix Element)と交換用プロファイルのセットで構成されている。

We will use Application Interface Matrix Element (AIME) for “intra-domain” application interaction. Each AIME consists of a set of information exchange interoperability profiles as noted in ISO 15745-1.

AIME はアプリケーション相互作用に使う。AIME はプロファイルの交換情報から構成されている。

## **12. Review of current draft**

ADID 図のブロックの定義をレビューした。すべてのオペレーションを表現しているわけではない。オペレーションと保守に関連するドメインのみを含んでいるという注意書きをつけるべきだろう。

We reviewed figure 5-2 to examine the block definitions. This diagram doesn’t fully describe all of the operational applications. ISO 62264 has additional engineering, operational, and support categories. If we put a note in the diagram, that it states that this diagram includes only domains which are significantly related to operation and maintenance integration such production control, maintenance, and capability management, then we set the context of the reader.

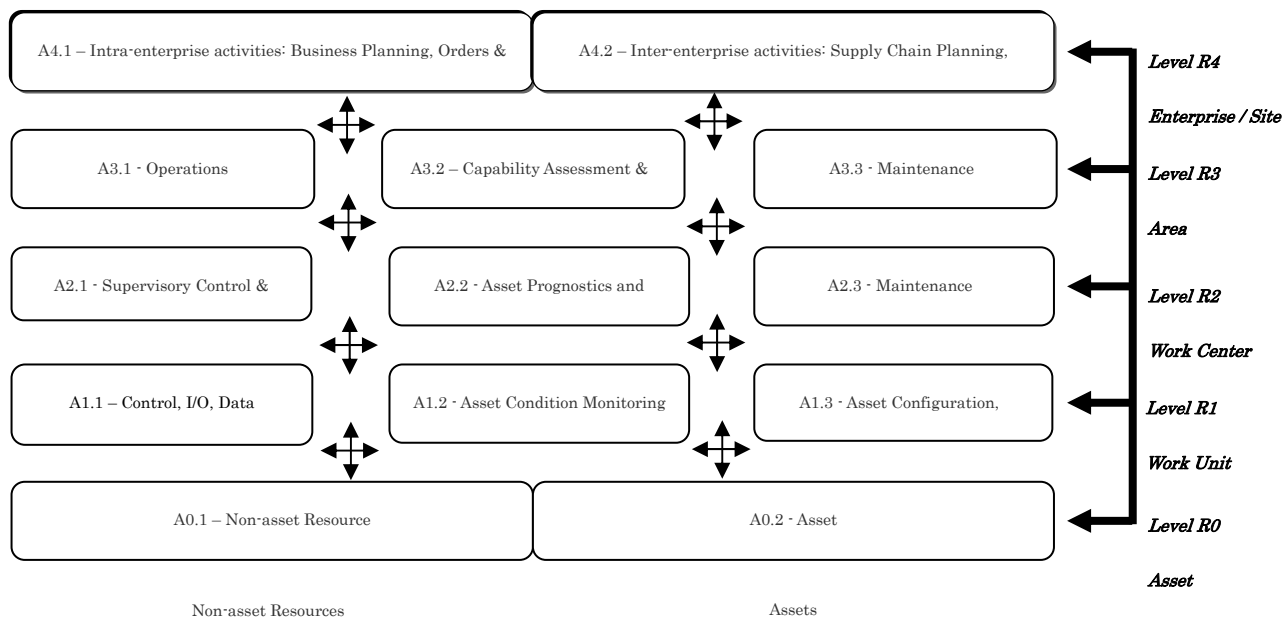


図 3. 1. 6 Figure 5-2 Application Domain integration diagram (ADID)

### 13. Overview of NECA

日本電気制御機器工業会で行われている予防保全プロジェクトを紹介した。このプロジェクトは計画ステージである。

Endo-san presented slides on Nippon Electric Control Equipment Industries Association (NECA) to show on-going projects. A preventive maintenance project is in the planning stage.

### 14. Review of Current part 1 draft-

名称と関係を明確にするためにADID図をレビューした。アプリケーションと実装の中で、コンプライアンスとコンフォーマンスの違いを明確にする必要があることがわかった。

We reviewed the ADID drawing to clarify the names and the relationships.

In some cases the activity domains that are used, can be combinations of the activity domains indicated in the diagram.

The following comments (or some variation thereof) should be added to the text to clarify the use of the ADID. These comments will be sent to Tokyo participants for review and comment. We need to clarify the difference between compliance and conformance in the context of applications and implementations relative to this standard. These terms should be qualified to clarify their meaning in the context of this standard.

- 1) Domains are related to the reference levels*
- 2) 9 reference domains are o.k.*
- 3) An implementation may have all 9, some may have less.*
- 4) Any implementation should map back to these application reference domains.*
- 5) Any application domains on this picture can interact with any other application domain.*
- 6) An implementation shall define the interfaces exposed by the associated applications with reference to these application domains.*

The arrows on the diagram will be re-drafted for the horizontal interactions.

(ST) The text of clause of 5.3 is confusing, and could be included in part 2. This clause will be deleted.

(ST) The annotation of Figure 5-5 should be “application interface relationship diagram.”

Page 8 – reference to figure 5-5 should be corrected from “application interoperability model” to “application interface relationship diagram.”

Page 14, page 15 – see edited document.

Additional edits included in the revised document.

#### **15. Work Plan and Schedule –**

ドラフト作成の予定を検討した。次回の会議は 2006 年 12 月で、DIS 投票用原稿を討議する。

Possible venues/events were identified for feedback on concepts on revised draft.

NPRA (National Petrochemical and Refiners Association) – week of 10/9

ISA – week of 10/16

IMC (International Maintenance Conference) – week of 12/5

1<sup>st</sup> two sessions would be for review; some form for collecting comments from the audience on ADID, AIME, ADME will be necessary; IMC timeframe will be a working group meeting for final review before DIS.

- 1) September draft (updates from Tokyo meeting) to be circulated by 25 September 2006.
- 2) Updates to be sent to Chuck by 30 October 2006.
- 3) Updated draft to be circulated to WG 7 members by 16 November 2006.
- 4) Web-conference – review changes to part 1, feedback on part 2. 16 November 2006.
- 5) Next meeting: 6-8 December 2006 in to discuss draft at IMC show.
- 6) Prepare draft for DIS ballot and submit 15 December 2006.
- 7) Spring Meeting in conjunction with SC 5 (either in New Zealand or US): 7-9 May 2007.

**Adjournment – 5:15 PM**

**Start of Day 3 –**

**Commence at 9:25 AM**

#### **16. Review of 2<sup>nd</sup> Days proceedings**

## 17. Review of current draft –

Ken Bever joined us via audio conference

(KB) Ken noted several changes that need to be made in Annex B.2.1 (raw & process data should be removed).

## 18. Discussion on Next parts –

次のパートについて議論した。情報交換のためのプロファイルの記述方法は UML のようなものがある。レジストリはローカルと共通なもの両方が必要である。

The information exchange between applications assumes there is agreement on the abstract syntax (such as in an UML model) and semantics of the information to be exchanged.

What are the specifics of the syntax and semantics that need to be agreed and preserved?

- agreed upon context and expression of the information exchange.

An AIME will describe the characteristics of each application's information exchange profile. Each application's AIME will provide the information about the capability used by the ADME to indicate whether the applications can properly exchange information.

Three things that we need in the information exchange profile:

- 1) Where (e.g. URL) the registry is...(e.g. the common reference tag for the asset)
- 2) Where (e.g. URL) the effective diagram...showing all the pieces to make the pieces interoperate – a UML diagram – a pointer to the system of record (to get the details).
- 3) What kind of transport is used by the applications to exchange information?

Figure 2 (attachment C) depicts the example of a relationship that may exist between the AIME's and the ADME for registry information. Each Application may have its own local registry for the assets. The ADME provides the mapping between the



individual registries to a unified registry.

#### 19. Review of part 2 outline- (see attachment D)

Part 2 の構成をレビューした。Part 2 では AIME、ADME の表記方法について説明する。

#### 20. Conformance & Compliance Requirements-

コンFORMANCEとコンプライアンスについては、定義の確認を含めて、ISO16100-4 をレビューする。

Team members should review ISO 16100-4 for some of the definitions (available on the NEMA site)

#### 21. Action Summary:

次回の会議までの作業をリストアップした。ユースケースの追加や、ドラフトへの今回の討議結果の反映を行う。

表 3.1.2 Action List

	Description	Responsibility	Timetable	Comments
1	Use cases for addition to clause 5	AJ,PJ	30 Oct.	
2	Use cases for automotive	TBD		
2	Review DSM for applicability to the ADME	CH	30 Sept.	
3	Review the ADID diagram comments	All	30 Oct.	
4	Qualify the terms application & implementation	All	30 Oct.	
5	Development of a form (for NPRA,ISA,IMC) and collect feedback from the NPRA &ISA Conferences	AJ –lead EDH, DLC	30 Oct.	
6	Collect feedback from IMC conference	AJ	8 Dec.	

7	Add text to Figure 1-3 to explain the relationship between the AIME & ADME (see notes from Wednesday aft. Discussion).	CH	25 Sept.	
8	Elaborate Figure 2 for presentation at NPRA, ISA, & IMC	AJ	9 Oct.	
9	Review draft outline for part 2	All	16 Nov.	
10	Review ISO 16100-4	All	16 Nov.	
11	Confirm IMC meeting rooms	AJ	25 Sept.	
12	Web-conference	All	16 Nov.	Time - TBD

*ADJOURNMENT of Day 3*

*4:45 PM:*

### 3.2 WG7 デイトナ会議報告

#### 3.2.1 概要

日時：2006年12月6日（水）～8日（金）

場所：Hilton Daytona Beach Ocean Walk Village, Daytona Beach, Florida

出席者：

	Abbr.	Country	Status	6th	7th	8th
Xu Aidong	AX	China	Expert			
Li XiaoDong	LX	China	Expert			
Li Yanfeng	LY	China	Expert			
Yu HaiBing	YH	China	Expert			
Philippe Juhel	PJ	France	Expert	X	X	X
Yoshiro Fukuda	YF	Japan	Expert	X	X	
Shozo Takata	ST	Japan	Expert			
Nobuhiko Terashima	NT	Japan	Observer		X	X
Keiichi Shiotani	KS	Japan	Expert			
Satoko Sakajo	SS	Japan	Expert			
Alan Johnston	AJ	MIMOSA “D” Liaison		X	X	X
Ken Bever	KB	TC108/SC 5 Liaison	Expert	X		
Graeme Meyer	GM	New Zealand	Expert			
Han-Sil Kim	HK	S. Korea	Expert			
Thomas Lundholm	TL	Sweden	Expert			
Charles B. Hoover	CH	USA	Convenor	X	X	X
Dan L. Carnahan	DLC	USA	Convenor	X	X	X
Dukki Chung	DC	USA	Expert	X	X	X
Em dela Hostria	EDH	USA	Expert	X	X	X
Greg Winchester	GW	USA	SC 5			

会議の趣旨：

2006年1月31日から5月1日におこなわれたDISの投票で賛成が得られなかった

ことに対処するために、5月のメキシコでのミーティング、9月での東京ミーティングで行ってきたコメント対応を終わらせて、検討された改訂ドラフトの検討を行い、CD投票に向けた文書の作成をすることが目的であった。

なお、今回は、12月5日～8日の間に同会場で開催されていた IMC 2006 (The 21<sup>st</sup> International Maintenance Conference) に合わせて WG7 の会議が開催された。IMC 2006 は、Maintenance 技術に関する展示会と講演会が併設されたもので、MIMOSA コンソーシアムの展示も行われていた。

### **3.2.2 議事内容**

#### **Day 1 - 6 December 2006**

Meeting was called to order at 9:15 AM at Hilton Daytona Beach OceanWalk Village, Daytona Beach, Florida.

#### **7. Welcome & Introduction**

#### **8. Meeting Logistics Summary – provided by Mr. Hoover.**

#### **9. Introduction of attendees – see above.**

#### **10. Convenor's overview**

Our objective for this meeting is to review comments from Japan & US and have a draft in a form to submit for ballot for CD at the end of this meeting.

今回の会議の目的は、Part1 ドラフトに対する日本と US のコメントをレビューして CD 投票のためのドラフトを完成されることである。

#### **11. Review and revised agenda**

Review of the agenda:

Additional items added:

\*Review of contribution S95-MIMOSA integration (Ken Bever)

\*Review of action items on Thursday afternoon to accommodate travel schedules.

\*Review of the Future parts of ISO 18435 –

In agenda item 14 & 15, we will try to answer the question of “how the 3 parts will be applied in industry?”

(PJ) How we are using the standard? And how to check compliance?

(ST) The Tokyo meeting minutes were corrected to reflect attendance for Mr. Takata and Mr. Shiotani.

\*Review of the MAMI TF activities on Thursday morning (10:30).

東京ミーティングの議事録中の出席リストの訂正を依頼した。

## 6. Review of Actions from September meeting.

	Description	Responsibility	Timetable	Comments
1	Use cases for addition to clause 5	AJ,PJ	30 October	No formal feedback received that can be generalized into the document.
1a	Use cases for automotive	TBD		
2	Review DSM for applicability to the ADME	CH	30 Sept.	To be continued
3	Review the ADID diagram comments	All	30 Oct.	Completed
4	Qualify the terms application & implementation	All	30 Oct.	No comments received
5	Development of a form (for NPRA, ISA, IMC) and collect feedback from the NPRA & ISA Conferences	AJ -lead EDH, DLC	30 October	We received feedback from the forums, but not in a formal way to include in the document
6	Collect feedback from IMC conference	AJ	8 December	This week

7	Add text to Figure 1-3 to explain the relationship between the AIME & ADME (see notes from Wednesday aft. Discussion).	CH	25 Sept.	Completed – to be reviewed in this meeting.
8	Elaborate Figure 2 for presentation at NPRA, ISA, & IMC	AJ	9 Oct.	Completed
9	Review draft outline for part 2	All	16 Nov.	Web conference not held
10	Review ISO 16100-4	All	16 Nov.	Web conference not held
11	Confirm IMC meeting rooms	AJ	25 Sept.	Completed
12	Web-conference	All	16 Nov.	Canceled

Notation for the application -

Alan reviewed the “use” of the ADID diagram with the owner-operators, and the vendors, however there is a need to detail the implementation more concretely.

Background on the SC 4 & SC 5 interaction. There is a disconnection between the design side and the operation and maintenance activities. SC 4 is o.k. with interoperability in the SC 5 work. SC 4 will focus on the “product data sets.” This is no relationship depicted with the “design” activities; ADID diagram is looking at a “snapshot” in time. As the configuration changes, there will be a new “snapshot.”

Is there a “use case” that can be extracted (firebag from SUNCOR) Suncor oil-sands extraction, refining, all the way to retail; this includes strip pit mining (fleet) and the process management. Suncor, BP, and Chevron. As a pilot, the “firebag” may a good way to elaborate the use of the diagram.

Different EPC's (Engineering Production Construction) are involved to interoperate. At the same time, they will want to do an interoperability project as part of this project.

Intergraph & Bentley-Nevada are working together on this project.

Cliff Pederson is the Suncor contact and will discuss their projects this afternoon. Our challenge is to make sure that we don't lead them astray. Suncor doesn't want to be "locked-in" by any one vendor. Ownership of the information stays with the user, not "locked-in" to a vendor. Suncor is willing to spend money on pilots (\$14 B).

Ken Bever has 14 documented "use cases" – however, these "use" provide interoperability among the vendors, however,

OPC-DA (Matrikon) used in these "use cases."

(ST) If we try to address the life cycle issues of the processes and the assets, it will quite complicated; we should stick with our current scope. We should re-write the introduction to add some text to clarify the areas to be addressed in this document. In figure 1-1, the scope is shown to be targeted to O & M.

以上は, Alan Johnston 氏の話. 実務者は, 実装レベルで役立つものを求めている. SC4 との関係については, SC4 は Product Data の観点で O&M の視点はない. 一方, WG7 の ADID は, 時間軸 (ライフサイクル) は考えていない. 設備, プロセスともライフサイクルのある時点でのスナップショットになっていて, それらの変化を扱っていない. これに対しては, ライフサイクルの問題は重要であるが, 今回のドキュメントでこの問題を持ち出そうとすると大幅な改訂が必要なので, 日本としては現在のScopeを守るべきと考えたとコメントした.

B2MML bridge to MIMOSA-EAI; S95 doesn't have a concept for the information about the "serialized asset." How can the information in S95 representation be

related to the “health” information of the assets? Ken Bever provided a word document that we reviewed to get the context of the discussion (see attachment A). The mapping recommended in this document could potentially be the basis for future parts of ISO 18435.

Ken Bever 氏による, OpenO&M™ For Manufacturing Joint Working Group の ”Collaborative Operations & Maintenance Using MIMOSA’s OSA-EAI and ISA-95/B2MML”の文書の紹介.

## 8. Review of comments on drafts-

JN02-

(ST) What is the notion of a “smaller” domain? (EDH) The interface defined in a particular domain may not be good enough for a inter-domain application. Because of legacy systems, the interface defined for a legacy application may require a different interface to interchange information with an application in a different domain. The domain concept is to help organize different applications.

(ST) From the standard point of view, what is the “role” of domain?

(ST) What is the difference in the description method? The description method should be general enough to work for both inter-domain and intra-domain applications.

OMG – interface is data, description method is meta-data.

国内委員会での議論を受けた, Inter-domain integration と Intra-domain integration に関する議論. 今回の標準では, domain 間での統合を考えればよく, domain 内での情報のやり取りに関しては特にこの標準では触れる必要がないという議論をしようとしたが, ドキュメントでは, domain 間の interface の話は明示的にはおこなれておらず application 間の interface の話しか出てこないのです, 両者を区別する理由が必ずしも明確に言えなかった.

また, 今回の標準は, interface の description method を提案するものだから,



Inter-domain でも Intra-domain でも, interface の仕様は異なっても description method は共通でよいという主張が Em dela Hostria 氏からなされた.

そうだとすると, domain は何のためにあるのかということになるのであるが, この時点ではうまく議論がかみ合わなかった.

## **9. Review of 1<sup>st</sup> Day minutes**

End of Day 1 – adjourned @ 5:19 PM.

## **Day 2 – 7 December 2006**

### **10. Continue discussion comments to part 1 draft :**

#### 10.1 - JN02 comment-

a) Review contribution from Takata-san – ST provided an overview of what are the characteristics required in the application description method for O&M (see attachment B).

A primary need is to assess the condition of the asset and to relate the requirements of the process.

The interfaces for the intra- and inter- domain application are different, but the application description method can describe either; i.e. it can be used to describe intra- and inter- domain information exchanges.

We should provide a definition of the “application domain.”

#### Proposal to address JN02 comment-

a) Include part of the text, in the contribution, in the introduction. The need to have a description method in the O&M field have specific requirements, and to have some background on the notion of application domains.

b) Clause 5.2 – 3<sup>rd</sup> paragraph. ST will draft a sentence to clarify notion of application domains.

10.2 - JN01-

We revised the note in the scope:

“Other parts of this international standard define the application domain matrix elements and the detailed integration models between application domains shown in the application domain integration diagram.”

We revised the scope statement:

Changed “integration models” to “integration modeling methods” in the first line of the scope.

昨日の議論の続きとして、Description method は一般性があるといっても、application の特性に依存する部分があるはずで、その意味で application をどの程度の塊で考えるかは決めておく必要がある。そのために、Domain の定義があるという主張をした。基本的な考え方は了解されたが、だから、Inter-domain の話だけをするという話にならず、Domain の意味と、なぜ application interface の description method を一般論ではなく O&M 分野用に考える必要があるかについての説明をドキュメントに加えるという話で終わってしまった。

以下は、その際に高田が文書で示したコメント。

#### Why we need a method for O&M applications?

- With regard to the description method for the interface between applications, you can define general method which can be applied to any kind of applications in theory.
- However, applications in a certain field could have characteristics, which are specific to that field.
- In designing the interfaces, you may take these characteristics into account. This consideration could affect the specification of the description method, which is tailored to that field.
- This is why we need the description method in the field of operation and maintenance. Otherwise, we should leave this kind of tasks to ICT engineers, who can device general method which can be used regardless of the field of applications.

What would be a characteristics, which should be taken into account when we discuss our standards?

- If the above discussion would be accepted, the description method would depend on a definition of applications to a certain extent.
- Applications have hierarchical structure. You can decompose an application into smaller applications, or you can aggregate several applications to an integrated application in general. To which level you refer as an application is your choice.
- Therefore, we should make clear the following points:
  - the level of applications whose interfaces we are going to deal with in our standard.
  - what are the characteristics of O&M field, which should be taken into account in our description method.

Break-

10.3 - Review of the US comments-

1) Added the “warning” according to the ISO directives:

**Warning**

This document is not an ISO International Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and may not be referred to as an International Standard.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

2) Change figure numbers to be sequential.

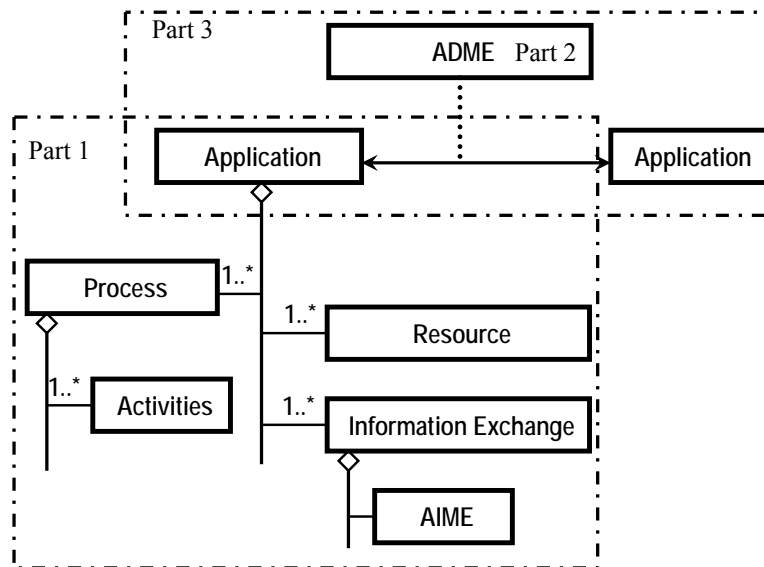
3) Added reference to Annex A – according to directives.

The first annex referred to in the document must be Annex A.

4) Deleted the paragraph before Table 1 (this is a “legacy” sentence when there were 7 parts).

5) Changed the wording before figure 1-3:

“An application interaction matrix element (AIME) will describe the



characteristics of each application’s information exchange profile. Each application’s AIME will provide the information about the capability used by the interacting resources to indicate whether the applications can properly exchange information. The set of AIMEs for a set of applications are used to compose an application domain matrix element (ADME) for a particular domain.”

- 6) Add a note to figure 1-3 to expand ADME and AIME.
- 7) Change note in figure 5-2.
  - (a) 9 reference domains are o.k.
  - (b) An implementation may have all reference domains, some may have less.
- 8) Revision to paragraph 5.3

“A set of information exchanges is described by an Application Domain Matrix Element (ADME). The ADME provides the general description of the source and, destination of the information, type of exchange, and any application constraints on the exchange, such as asynchronous, synchronous, and blocking.”

- 9) Add the abbreviations (ADME, AIME) to clause 4.

休憩の後は、米国からのコメントの検討を行った。ADME と AIME がいきなり出てくるので、最初に出てくるときは略称をつかわずに spell out するといった editorial の議論が中心である。

Lunch break

10.4 - Continue review of the US comments-

10) Clause 5.3

Discussion on the “life cycle.”

The ADME shall describe the interaction of applications that can occur during operational and maintenance timeframes of the manufacturing system.

11) Correct the reference to IEC 62264-2 (from ISO).

12) Correct to 2<sup>nd</sup> sentence in 5.4.1

“In most cases,...applications are modeled” this change will need to be applied to all clauses thru 5.4.11.

13) Consistent use of the term “information exchange” and “transaction”

These terms used throughout the document are not consistent. (AJ) “Transactions” have a specific meaning in the ERP world. (DLC) “Transactions” have a different meaning in the automation world, where it could mean something other than information. We decided to remove the word “transaction” and replace with “information exchange.” We can then eliminate “transaction” from the definitions.

12)にあるように、各ドメインの説明の中で記述されている、そのドメインと情報のやりとりがあるドメインに関して、文章で挙がっているものに限らないように文章の修正をすることを日本として要求したのに対して、文章を修正することになった。

## 11. Discussion on MAMI T.F. (see attachment C)

Confusion over the scope between SC 4 & SC 5 with regard to life cycle issues, and also coming out of the ARC forum, it would be beneficial if the standards organization could harmonize their efforts.

Engineering Procurement Construction (EPC) firms; Posc Ceasar – Heavy Process Industries (European STEP) and Team Fiotech, MIMOSA, and PLCS (STEP) met in Europe recently, and formed a memorandum of understanding. See “basic agreement in principle.”

An example of one of the agreements is: In the topic of “ontologies” MIMOSA would work on the architecture, but the classification and the data would be worked on by POSC CEASAR and PLCS.

Note: “PLCS” is now a sub-set of OASIS.

A potential recommendation is that another working group should be formed to address the issues (could be a working group that is funded and support by some from the end user community). Potential members of the working group could be FIATECH, MIMOSA, STEP, PLCS, etc.

The output of the working group could be a PAS. However, we need to have key supporters.

As a path forward, the interim report for the MAMI TF will be updated with the “basis for agreement in principle –draft) to be submitted to ISO for the final report.

With regard to the Total life cycle summary draft, the “left-hand” side driven by “images.” The right hand side is driven by “work flow.”

Persistence data defined by the left side that is used in the operations and maintenance. As the system is repaired, this information will be captured and reflected to the design side (the as-built and as maintained system).

Alan Johnston 氏による MAMI タスクフォースの説明。TC184 への報告書の中で、ライフサイクルを統合的に扱う WG の設立を提案するつもりとのことであった。

Break-

## **12. Discussion on the next parts-**

We reviewed the description of the term for AIME. The goal of the AIME is to provide for integration of the applications.

Modify the figure 1-3 to show that AIME is defined in part 2.

The AIME specifies what kind of information that an application needs and/or exposes.

(CH) What is the path forward to defining part 2. In part 2, there should be two tasks, one to focus on what is in the “box” and what should be outside the “box.” By working on this task, we may be able to decide what is in part 2, and what is in part 3.

(ST) Unless we cannot agree on what AIME and ADME are, we cannot finish part 1.

(CH) Agreeing on that requirement, we will need to get an introduction for part 2.

(CH) I will take an action based on the definitions; circulate to the WG, and use this as part of the introduction to part 2.

(DLC) I will draft the introduction for part 2 for review by Shozo & Phillippe.

(EDH) I will use the AIRD concept to relate the ADME to the AIME (assuming we still use these terms). Working with the lead ADME person.

Figure 1-3 に関連して Part2 の内容についての議論になった。Figure 1-3 で Part2, Part3 の位置づけを確認しようとしたところ、ADME と AIME の具体的な内容が明確になっていないことが明らかになった。interoperability を確保するための application interface を定義する手法として ADME と AIME を使うというところであるが、両者の関係も明確でない。また、Figure 1-3 で Part1, Part2, Part3 の位置づけを示しているが、それも必ずしも現在の Part1 文書の実態に対応していない。これに対しては、Hoover 氏が説明の文章を考えて配布することになった。

### 13. Work Plan and Schedule –

Possible venues/events were identified:

- 1) Web-conference – 15 February 2007 (6:30 AM, US-EST).
- 2) Next meeting – face to face - in Los Angeles: 7-9 May 2007
- 3) Future meeting – September/October 2007 – France, location TBD

#### **14. Japan edits –**

reference to some of the figures (5-7 is now 5-5)

#### **15. Action Items: (see table at end of minutes – updated throughout the meeting)**

高田が3日目は出席できないために、2日目の会議を終える時点で次回以降の予定を決めた。2月15日にWebコンファレンスを行い、CDドキュメントを確認する。次回、一堂に会しての会議は、ロスアンゼルスでのSC5の会議の際に行い、次々回は、9月か10月にフランスで開催することを決めた。

ADJOURNMENT of Day 2

5:35 PM:

#### **Day 3 – 8 December 2006**

#### **16. Review of 2<sup>nd</sup> Days Proceedings-**

#### **17. Review of Part 1 Continued-**

##### 19.1 Review of Annex B-

- a) The table should be labeled above the table
- b) Title for B.2 should be labeled as examples of ADMEs.

##### 19.2 Review of Annex C-

The grouping of the annex should be similar to the grouping of Annex B

Text to be added before the descriptive example.

“In this use case, the following ADMEs apply to different phases in the total life cycle of the software asset. This standard deals with those ADMES that pertain to the maintenance task execution cycle represented in figure 2. Each ADME is described in terms of information items exchanged and the tasks that performed the exchanges. These information exchanges comprise examples of AIMEs.”

Break



After review the annex C, D & E, the working group was concerned that there is some inconsistency between these use case and the current text (revised) of part 1. We proposed moving the annexes to either part 2 or part 3.

Develop a new Annex C which shows at least two applications in different domains, so that we can present the AIMEs for each application contribute to forming the ADME for the two domains. The current Annex D (water treatment use case) would be preferred. Chuck will contact Takata-san to investigate refinement of the use case to reflect the current part 1 text.

Current Annex D will become the new Annex C.

3日目の展開としては、仕様策定を急ぎたい事から part1 に議論を集約する流れとなった。これに伴い、part1 を超えた部分の記載を part2 または part3 へと移動することにした。矛盾点が存在するからという訳ではなく、あくまで part1 の範囲に限定したものであるか否かによる分類という視点で選択を行った。

この検討の過程で、ユースケースの取り扱いに議論がおよび、日本から出ている2つのユースケースは、part1 で記載するよりも part2 の中に入れるのが適当との意見であった。実際に2つのユースケースを part2 へと移動してよいかは、これらを作成した提示した三菱電機の坂上さんと大阪大学の荒井先生に Hoover 氏 から確認してもらうことになった。

さすがに、part1 だけでも、早期に確定させようという機運が明確になってきたと考えられ、次回のミーティングで part1 の完成を目指すことになると思われる。

以下は、今後のアクションアイテム。

**Action Items:**

	Description	Responsibility	Timetable	Comments
1	Circulate definitions for AIME for review	CH (lead) All (contribute/ review)	15 Dec	

2	Draft introduction for part 2 for review	DLC(lead), ST, PJ (review)	19 Jan	
3	Review DSM for applicability to the ADME	CH	12 Jan	
4	Draft use of AIME with AIRD	EDH (lead) DC (work)	31 Jan	
5	Revised draft of part 1	CH	19 Jan	
6	Web conference	All	15 Feb	
7	WG 7 meeting	All	7 May	
8	Finalize MAMI TF Report with WG 7 recommendations	AJ	31 Dec	
9	Draft text for the introduction for the notion of application domains	ST	5 Jan	
10	Update the text of 5.2 to include the application domain explanation	ST	5 Jan	
11	Revised outline for part 3	DLC	28 Feb	
12	Move Annexes C, D, & E	CH	19 Jan	These annexes will be moved to part 2 (or part 3).
13	Explain requirements for a new Annex C	CH (lead) ST (support)	15 Dec	N
14	Develop a new Annex C	CH (lead)	19 Jan	
15	Determine requirements for new Annex B (current Annex B)	CH (lead)	15 Dec	
16	Refine the current Annex B	CH (draft) DC (work)	19 Jan	

Working group 7 thanks MIMOSA (Alan Johnston) for the meeting preparations and the accommodations.

Meeting adjourned at 11:15 AM to join the MIMOSA meeting.

## 4. 設備保全に関する標準原案

### 4.1 ISO/WD-18435 の概要

この国際標準案”Industrial automation systems and integration — Diagnostics, capability assessment, and maintenance applications integration — Part 1: Overview and general requirements” (ISO/WD 18435-1.2) は診断、能力評価、保守アプリケーションと、生産、制御、他の製造作業のアプリケーションを統合する際に用いられる統合手法の集合を定義するものである。特にこの国際標準案では下記のようにアプリケーション統合モデルと、相互利用プロファイルに関する共通要求事項について記述している。

- ・ 設備、オートメーションデバイス、ソフトウェアユニットなどの製造アセットに関する診断、能力評価、保守アプリケーション統合のリファレンスアーキテクチャを提供
- ・ 診断、能力評価、保守アプリケーションと他のアプリケーションの統合が可能
- ・ アセットマネジメントライフサイクルを扱う際のシステムビューコンテキストを提供
- ・ 他のアプリケーション相互利用テンプレートとの相互利用を表すのに用いるために、選択された国際規格や産業規格に基づくオープンな診断、能力評価、保守アプリケーション相互利用プロファイルテンプレートを提供

アプリケーション統合モデルは、診断、能力評価、保守アプリケーションと生産、制御アプリケーションを統合する際に、産業仕様や標準のユーザをガイドすることを想定している。これらの統合モデルでは、企業の機能階層やリソース階層内あるいは異なるレベルでアプリケーションを統合するのに必要なインタフェースを識別し、選択するのに助けるために、要素やルールを定義している。

想定される国際標準のユーザは、診断、能力評価、制御、生産、保守アプリケーションを統合する立場の産業オートメーションアプリケーションの開発者、特に、必要なシステムを設計、実装、配備、操作する人である。



図 4.1.1 生産システムのライフサイクルにおける ISO18435 のスコープ

この国際標準の主な目的は、製造アセットやリソースが、ライフサイクル図で示すシステムの運転と保守のフェーズをサポートするのに満たすべき相互利用要求事項を記述することである（図 4.1.1）。このフレームワークにおいては、いくつかのアクティビティループが、保守戦略を製造作業における様々な変化に適応させるために、効果的なメカニズムを提供する。変化とは例えば、生産要求における変化、運転状況や環境における変化、ライフサイクルを通じて製造アセットを継続的に改善するための変化などである。

図 4.1.2 に見られるように、第1のループ（保守タスク実行）は保守タスク実行の実行フェーズであり、主に日常的な保守タスクの制御に関する保守タスク計画、調査、監視、診断と保守結果の評価、修理から構成される。第2のループ（保守戦略立案）は、効果的な保守戦略の選択と立案である。これには、各アセットに対するメンテナンスを実行するための適切なアプローチを、ブレイクダウンメンテナンス、時間基準保全、状態基準保全などの中から選択することが含まれる。このループによって、製造アセットのライフサイクル中に蓄積される実際の現象の観察や知識に基づいて、保守戦略を改善することができる。第3のループ（製品改良）は、保全コストの最小化や保守作業や時間の削減を目的とした製造アセット自体の設計改善である。

状態基準保全は先進的な戦略であるとされているが、常に最も費用対効果の高い手法であるとは限らない。マシンやコンポーネントの故障が緊急を要しない場合は、ブレイクダウンメンテナンスの方が望ましい。またマシンやコンポーネントの有用な余寿命が推定できる場合、時間基準保全の方が望ましい。

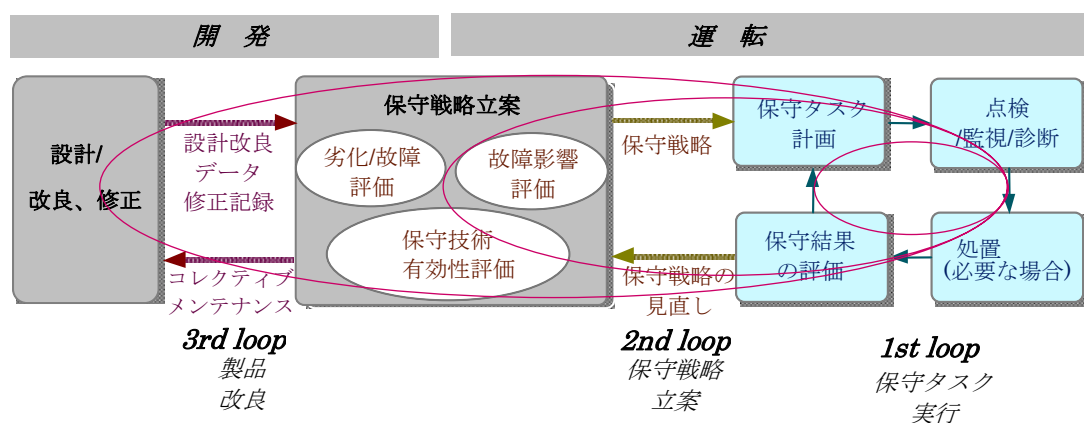


図 4.1.2 生産設備のライフサイクル保守管理のためのフレームワーク

この国際標準は主に第1のループに焦点を当てており、特に状態基準保全の場合に、保守アプリケーションと他の製造アプリケーションとの統合を扱う。以下は、品質、コスト、出荷の面に関わる統合の問題の例である。

- ・品質面：保守により保持され、製品品質保証で用いられる製造アセットの状態
- ・コスト面：保守コストと、設備の機能不全による生産ロスとのトレードオフ
- ・出荷（時間）面：保守スケジュールと生産スケジュールとの調整

この国際標準では、アセットマネージメントを実行するために、様々な診断、保守サブシステムに情報を伝達するプロセス、設備、作業員、材料、他の製造アセットに関する情報を収集するのに用いられる機能とインタフェースを記述するのに IEC62264、ISO15745、ISO13374 のフレームワークが用いられる。情報交換は要求されるインタフェースの使用法を記述するスキーマのセットによって表される。

特に、次のような標準規格において提供される適用可能なコンセプトや定義が参照される：

ISO 15745 – Open system application integration framework

ISO 13374 – Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication, and presentation

IEC 61499 – Function blocks for industrial-process measurement and control systems

IEC 61131 – Programmable Controllers – Requirements, Languages, and User Guidelines

ISO/IEC 62264-1, Enterprise – control system integration Part1: models and terminologies

ISO/IEC 62264-2, Enterprise – control system integration Part 2: Model object attributes

MIMOSA OSA/CBM and OSA/EAI – Open system architecture – Condition-based maintenance and enterprise application integration

製造企業において、適切に統合されたアセットマネージメントシステムは、配備された製造アセットの生産性を改善するために、主要な情報を提供する。理想的には、これらのアセットの効果的でタイムリーなメンテナンスにより、生産システムが要求するサービスを提供することが可能になる。

診断、能力評価、制御、保守アプリケーションは、多くの産業オートメーションや制御デバイスが既に提供しているプロセス、設備、作業員、材料の情報を利用できる。以前は、そのような情報は製造プロセスでは十分に利用されていなかった。今日では、これらのデバイスにおいてデジタル信号処理の利用が高まっており、利用できる情報が製造プロセスのより近くで、より効果的に分析できる。さらに、これらの情報の中には、製造プロセスにセンサを追加することなく、制御システムに既に存在するインタフェースから引き出せるものもある。このような処理能力の増加には、プロセス、材料、設備の問題を診断する他の分析ツールに対して、うまく定義されたインタフェースを通じて、標準化されたフォームで情報を伝達することが必要である。

他に以下のような利益が得られる：

- ・以前に定義された診断、保守アプリケーション相互利用プロファイルを参照することによって、エンドユーザはオープンで統合化されたシステムの詳述や購入を促進できる。
- ・システムインテグレータはこのフレームワークに基づく一般的なツールを用いることによって、オープンシステムに基づく診断や保守ソリューションを開発する時間を削減できる。
- ・診断や保守の製品やサービスの供給者は、このフレームワークに基づく一般的なツールを用いることによって、新しい提供物を提供、開発することができる。

アプリケーション統合モデルと相互利用スキーマは、必要な状態監視、保全スケジューリング、アセットマネジメントシステムと他の製造アプリケーションとを統合する際に、設備やフィールドデバイスの供給者、システムインテグレータ、アプリケーション設計者に対して、適切な診断や保守コンポーネントにアクセスするために、何らかの手法を提供する。

表 4.1.1 および図 4.1.3 にこの国際標準規格パート 1 と他のパートとの関係を示す。これらのパートは、組み合わせて用いられることを想定している。例えば、Part1 と Part2 を組み合わせることで、企業アプリケーション階層における特定のアプリケーション領域を扱うことができる。

表 4.1.1 ISO 18435 各パートの説明

パート	記述内容
1	選択されたアプリケーションシナリオに関する、統合アプローチと統合モデル要素、それらの関係の概要と、一般的な要求事項の記述
2	アプリケーションドメインマトリクス要素の定義と説明
3	アプリケーション統合記述手法

AIME は個々のアプリケーションの情報交換プロファイルの特徴を記述するものである。アプリケーション個々の AIME は、アプリケーションが適切に情報交換を行えるかどうかを示すための情報を用意する。

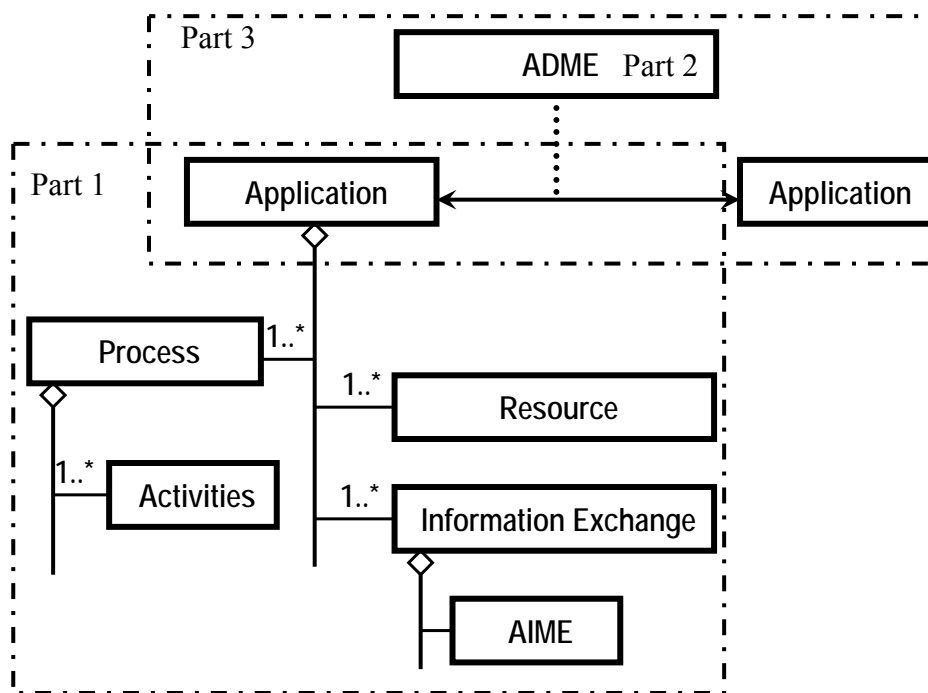


図 4.1.3 この国際標準のパート間の関係

Part1 では、アプリケーションを統合するためのアプリケーション領域統合ダイアグラム (ADID) の概念を導入し、プロセス、リソース、情報交換などから構成されるアプリケーションの構造を説明し、統合のためのアプローチ、モデルを定義する。



## 4.2 ADID (Application Domain Integration Diagram)

本節では、ISO/WD-18435 Part1 の中心的なコンセプトである ADID (Application Domain Integration Diagram : アプリケーション領域統合ダイアグラム) とアプリケーション統合モデルについて説明する (日本語の解説と該当するワーキングドラフトでの記述を引用する)。

図 4.2.1 に ADID を示す。図の右端に示されているレベルはアプリケーションが実行される場所を示しており、レベル R0 がアセット (機器や計装設備など管理対象物そのもの)、レベル R1 が作業ユニット (現場の作業単位)、レベル R2 が作業センター (制御室など)、レベル R3 がエリア (工場など)、レベル R4 が企業/サイトとなる。アプリケーション領域は A0.1-A4.2 までの 13 個が定義される。レベル R0 の A0.1 と A0.2 にはリソースそのものが配置され、いわゆる固定資産として扱われ管理対象となる機器、設備、センサ、ソフトウェアなど (A0.2) と、税法上の資産ではない材料、人間など (A0.1) がある。レベル R1 から R3 には、図左側に運転に関連した領域 (グループ A) AX.1(X=1,2,3)があり、図右側に保守に関連した領域 (グループ C) AX.3(X=1,2,3)が配置される。この2つの領域を結ぶものとして中間的な領域 (グループ B) AX.2(X=1,2,3)が設定されている。具体的には、運転領域の A1.1 は現場レベルの運転に関連するアクティビティ-制御、入出力、データ取得など、A2.1 は制御室レベルの運転に関連するアクティビティ-監視制御、ヒューマンマシンインタフェースなど、A3.1 は工場、プラント全体レベルの運転に関連するアクティビティ-運転計画立案、運転スケジューリングなどである。保守領域の A1.3 は現場レベ

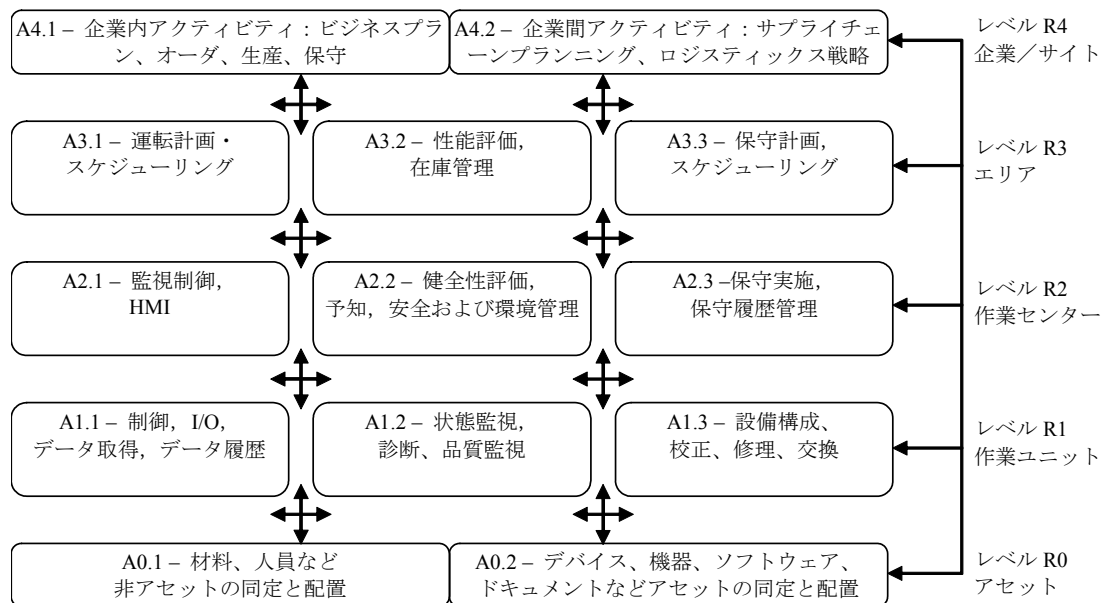


図 4.2.1 アプリケーション領域統合ダイアグラム (ADID)

ルの保守に関連するアクティビティ-設備構成、機器ごとの校正、修理、交換など、A2.3は作業センターレベルの保守関連のアクティビティ-保守の実施、保守履歴管理など、A3.3は工場、プラントレベルの保守関連のアクティビティ-保守計画の立案、保守スケジューリングなどがある。中間領域のA1.2は現場での状態監視、診断、品質監視など、A2.2は設備全体の健全性評価、安全および環境管理など、A3.3は工場、プラント全体レベルでの性能評価、在庫管理などがある。レベルR4には、企業レベルの活動が該当し、A4.1は企業内のアクティビティであるビジネスプラン立案、オーダ、生産、保守など、A4.2は企業をまたがるアクティビティとしてサプライチェーンプランニング、ロジスティックス戦略などがある。このようにアプリケーションが実行される領域をあらかじめ分類することで、領域内に共通な情報や、領域を超えて交換する必要がある情報の見通しを良くすることができる。

(該当部分の原文)

“A manufacturing application uses resources that participate in particular roles to perform tasks. The applications initiate transactions with other applications using interfaces that have connections provided by the resources.

In this standard, the transactions conducted between applications will be described using a path description method. This method includes the source, destination applications as well as other attributes (such as flow, performance, information, etc.) for the use of the interface.

In Figure, the application integration models for production, maintenance, quality testing, and inventory handling have been grouped to form application domains. The application domains are organized as follows: Group A - (3.1) Operations Planning & Scheduling, (2.1) Supervisory Control & HMI, (1.1) Control, I/O, Data Acquisition; Group B - (3.2) Capability Assessment & Order Fulfillment, (2.2) Asset Prognostics, etc., (1.2) Asset Condition Monitoring, etc.; Group C - (3.3) Maintenance Planning & Scheduling, (2.3) Maintenance Execution & Tracking, (1.3) Asset Repair, Replace, etc. In each application domain group, a system interoperability profile shall be constructed with resource interfaces that support the inter-process, cross-application flow information exchanges indicated by the vertical rows between levels in Figure.”

アプリケーション領域のアプリケーションインスタンス間の相互作用は、アプリケーション領域マトリクス (Application Domain Matrix : ADM) という形でまとめることがで

きる。ADM は一連の行列要素によって構成され、行列の各要素は2つのアプリケーションインスタンス間の情報交換のセットを表す。行列の各要素は、対応するリソースのインスタンスと情報交換の特徴を表現する。この要素をアプリケーション領域マトリクス要素 (Application Domain Matrix Element : ADME) と呼ぶ。

この国際標準では、アプリケーション領域内およびアプリケーション領域間の複数アプリケーションに関して必要な相互利用インタフェースが ISO 15745 リソースと関連する情報交換に関する相互利用プロファイルとして示される。いくつかのプロセスからなるアプリケーションに関して、相互利用プロファイルは、プロセス内及びプロセス間相互利用に関するインタフェースを含む。プロセス内、プロセス間フローに関する相互利用テンプレートの詳細な定義は、ISO 15745 プロセス相互利用プロファイルをベースとしており、ISO 18435 の他のパートで提供される。

(該当部分の原文)

“Interactions between the application instances in an application domain shall be represented in an application-to-application matrix. This type of matrix shall consist of a series of ADMEs wherein each ADME shall represent a set of information exchanges between two application instances. Each ADME shall also distinguish the resource instances involved and the characteristics of the information exchange.

In this International Standard, the required interoperability interfaces for each application within an application domain shall be enumerated in a set of ISO 15745 interoperability profiles for the resources and for the related information exchanges. For an application consisting of several processes, the set of interoperability profiles shall include those interfaces for both intra-process and inter-process interoperability. The detailed definitions of the interoperability templates for intra-process and inter-process flows are based on the ISO 15745 process interoperability profiles and provided in another part of ISO 18435.”

ADID の内部に存在する個々のアプリケーションの構造をモデル化したのが図 4.2.2 である。これは、アプリケーションの統合に必要となる構成要素を UML のクラス図として表現したものである。アプリケーションは、プロセス、リソースから構成される。アプリケーション間の統合とは、アプリケーションのプロセスとリソースの統合として記述されるべきである。個々のプロセス間のトランザクションをサポートするためには、プロセスに使用されるリソースが、他のアプリケーションとやりとりするための適切なインタフェ

ースを備える必要がある。そのため、このインタフェースの部分のリソースとは分離し情報交換のための要素として定義する。この情報交換のための要素が ADME であり、その詳細については Part2 で詳しく述べられる予定である。またプロセス統合のための完全な相互利用インタフェースについては、ISO15745 で述べられている。

(該当部分の原文)

“Integration of applications shall be described in terms of the integration of the processes and the resources of these applications. Each manufacturing process shall be modeled to consist of a set of activities, where each application shall use a set of component manufacturing resources and each resource shall participate in a specific role in the activities organized by the process. In performing its role in a given application, each resource shall provide a set of interoperability interfaces to support the transactions conducted during the application. To support all the transactions of all the applications of a manufacturing process, each and every manufacturing resource component in a system shall provide a particular set of interfaces appropriate for interacting applications. These relationships are illustrated in the UML structured class diagram and the diagram shall be called an application integration relationship diagram (AIRD). The complete set of interoperability interfaces to support the integrated applications of a process shall be enumerated in an ISO 15745 application interoperability profile. Following the definitions in ISO 15745, the key integration elements of an application consist of its processes, associated resources and information exchanges among the resources.”

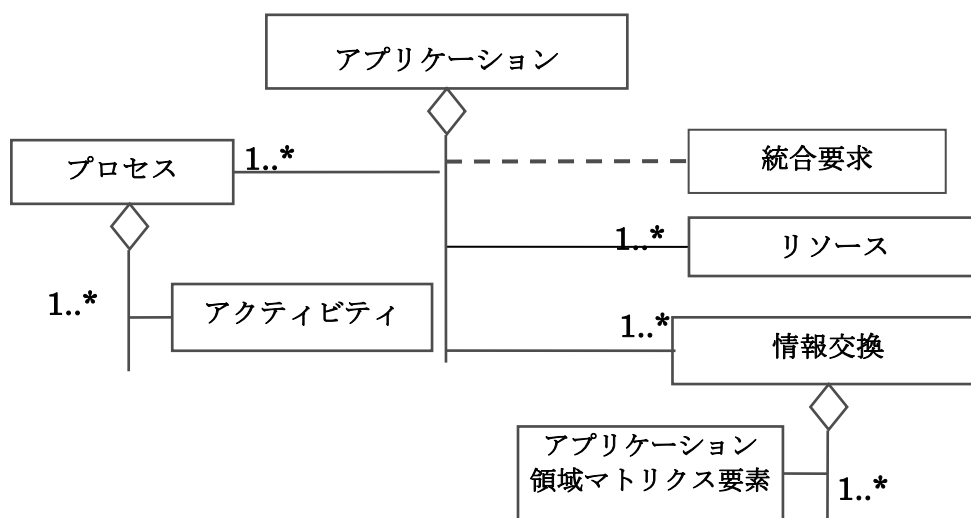


図 4.2.2 アプリケーション統合関係ダイアグラム

アプリケーションの統合すなわち、リソースが相互利用できるとはどういう状態を示すかを以下に定義する。ここではソフトウェアに限定せず、一般的な定義として考える。

次の場合、2つ以上のリソースは相互利用可能であると考えることができる：

- ・タスクを実行するために、いくつかのリソースが情報、材料、エネルギーを伝達、交換でき
- ・やりとりを行うリソース内に実装されるルールやメカニズムなどのインタフェースにより、アイテムが交換でき
- ・リソース同士が、交換されたアイテムの属性を共通に理解できる場合。

リソース間の伝達は、伝達に関連するリソースが持つインタフェースの形と関連がある。プロセス内でリソースを相互利用するためには、プロセスに対してコンパチブルなインタフェースを使用することが要求される。典型的なインタフェースのタイプは、物理的な信号獲得のためのセンサのインタフェース、材料のハンドリングのための機械的インタフェース、オペレータのコマンドや表示のためのヒューマンマシンインタフェース、電源供給のための電氣的インタフェース、デバイスのためのネットワークインタフェースなどである。必要なフローをサポートするために、各インタフェースは、各サービスがあるグレードのある品質のサービスを提供するような必要なサービスのセットをサポートする。

(該当部分の原文)

“Two or more resources shall be considered to interoperate:

- If these can transfer or exchange information, material, or energy in order to perform their respective tasks;
- If the items are exchanged according to a set of rules and mechanisms implemented by an interface in each interacting resource;
- If the interoperating resources have a common understanding of the properties of the items exchanged.

Each transfer between resources can be associated with a type of interface that is configured and deployed in each resource participating in the transfer. The interoperability of the resources within a process requires the use of compatible interfaces. Typical interface types are sensor interfaces for physical signal acquisition, mechanical interfaces for material handling, human-machine interfaces for operator commands and displays, electrical interfaces for power supplies, network interfaces for devices, etc. To support the required flows, each interface supports a set of required services, where each service offers a certain grade and a specific quality of service. For

each resource, the set of interfaces and configuration settings are denoted in a corresponding set of resource interoperability profiles.”

さらに以下のような場合、2つ以上のリソースは、統合されたシステムを形成すると考えられる：

- ・それぞれ異なる構造、振る舞い、境界を持つリソースが、異なる独自の構造、振る舞い、境界を示すシステムを形成し
- ・個々の役割を実行する統合されたコンポーネントリソースによってではなく、システムによってタスクが達成されると認められ
- ・システムのタスクを実行するのに必要とされる情報、材料、エネルギーを交換するために、コンポーネントのリソースが共同、協調、相互利用できる場合。

コンポーネントリソースの相互利用を可能にするインタフェースは、例えばアイテムの量、質、始点、終点、伝送頻度など交換されるフローの特徴をサポートするように調整される。各フローは含まれるリソース、これらのリソース間で伝送されるアイテム、各伝送の時間に関する属性（例えば、開始、調整、同期、完了）を示す詳細なUML図としてモデル化される。リソース間の情報フローは、ソフトウェア、ハードウェアインタフェースのセットによって扱われるデータ型、意味、構造、処理シーケンス、交換のタイミングを含む。これらのインタフェース仕様や必要な設定は、情報交換相互利用プロファイルのセットに集約されている。リソースと情報交換に関する相互利用プロファイルの組み合わせは、製造プロセスに関するISO 15745 相互利用プロファイルを形成する。プロセスにおけるフローのセットは、リソースの振る舞いの組み合わせによって可能になり、情報交換の順序やタイミングによって調整される。より高次のリソースの統合により、例えば、コスト、安全、セキュリティ、環境のコンパチビリティなどのようなアプリケーションやビジネス要求のパフォーマンスや容量目標に従って、システムがプロセスのフローを実現する可能性が増加する。

（該当部分の原文）

“Two or more resources shall be considered to form an integrated system:

- If these resources, each with a distinguishable structure, behavior, or boundary, form a system that exhibits its own distinguishable structure, behavior, or boundary;
- If a task is perceived to be accomplished by a system and not by the integrated resources that perform their individual roles;

- If the resources collaborate, coordinate, and interoperate to exchange information, material or energy as needed to perform system tasks.

The interfaces that enable the interoperability of the resources are configured to support the flow characteristics, such as, quantities, qualities, sources, destinations, and transfer rates of the items being exchanged. Each flow can be modeled as a detailed UML sequence diagram showing the resources involved, the items transferred among these resources, and each transfer's time-related properties (e.g. initiation, ordering, synchronization, completion).

The information flows among the resources involve data types, meanings, structures, transaction sequences and timing of exchanges that are handled by a set of software and hardware interfaces. These interface specifications and required settings are summarized in a set of information exchange interoperability profiles. The combined sets of interoperability profiles for the resources and the information exchanges form an ISO application interoperability profile for the manufacturing process.

The set of flows in a process are enabled by the combined behavior of the resources and are coordinated by the order and timing of the information exchanges. A greater degree of integration of the resources increases the likelihood of the system to realize the process flows per the performance and capacity targets of the application and the business requirements, such as, cost, safety, security, and environmental compatibility.”

## 4.3 ソフトウェア・メンテナンスのユースケース

### 4.3.1 Annex C の解説

この国際標準で提案されている ADID を用いて、ソフトウェアのメンテナンスに当てはめた USECASE を以下に示す。

#### a. USECASE 1 : 『ソフトウェアのバグ処理』 の場合のソフトウェア・メンテナンス

図 4.3.1 に、この場合を用いるアプリケーションのクラス図を示す。ADID の各要素が行う処理を次に示す。

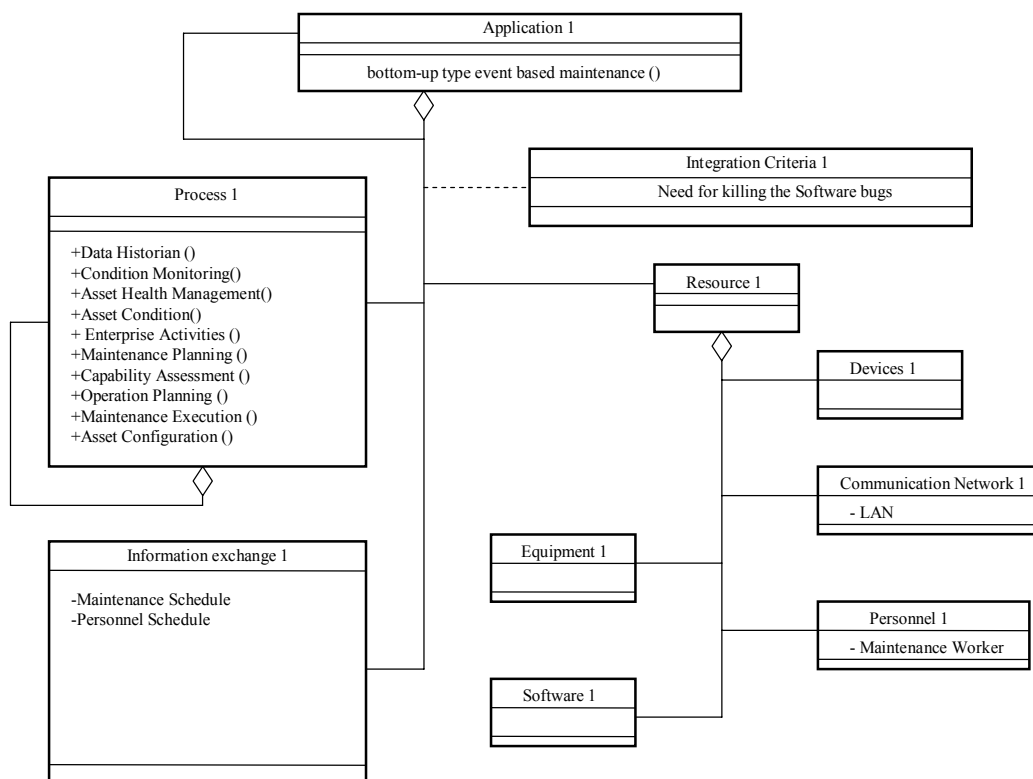


図 4.3.1 ソフトウェアバグ処理のためのアプリケーション

1. 指示通り、各ソフトウェアが作動し、定期的なサンプルデータを出力する。  
この際のサンプルデータには、温度、速度、回転数、品質等が含まれる (1.1)
- 1.1 アセットコンディションモニタリング (1.2) において、基準値、理想値とデータ比較を行い、取得したデータの異常性を判断する。  
この段階で、異常がなければこのケースのメンテナンスは終了する。



- 1.1.1 アセットコンディションモニタリング (1.2) が取得データに対して異常であると判断を行った場合、アセット健全性マネジメント (2.2) において緊急性の判断、原因診断、エラーデータによる他への影響等を判断する。
- 1.1.2 アセット健全性マネジメント (2.2) は(1.1)から判断に必要なデータを獲得する。
- 1.1.3 アセット健全性マネジメント (2.2) は (2.1) から判断に必要なデータを獲得する。

バグ処理に対して緊急性があると判断されたときには以下のようになる。

- 1.2.1 能力アセスメント (3.2) においてメンテナンスに必要な設備、作業員をチェックする。
  - 1.2.1.1 停止箇所、停止期間の情報を基に、能力アセスメント (3.2) はオペレーションプランニング (3.1) に生産スケジュールの再調整を要求する。
  - 1.2.1.2 能力アセスメント (3.2) は、エンタープライズアクティビティ (4.0) に対して、他の工場への影響に関する情報を伝達する。
  - 1.2.1.3 メンテナンス箇所、必要とされるアセット、必要とされる期間の情報とともに、能力アセスメント (3.2) は、メンテナンスプランニング (3.3) に対してスケジュールの再調整を要求する。
- 2. メンテナンスプランニング (3.3) は再調整したメンテナンススケジュールをメンテナンス実行 (2.3) に対して送る。
- 2.1 メンテナンス実行 (2.3) はアセット配置 (1.3) に対して実際のメンテナンス行動開始を指示する。

バグ処理に対して緊急性はないと判断された場合には以下のようになる。

- 1.2.1.1 メンテナンスプランニング (3.3) はメンテナンス箇所、メンテナンスに必要なアセット、必要な期間等の情報を基に、メンテナンスのスケジュールを再調整する。
- 1.2.1.2 能力アセスメント (3.2) はアセット (設備、作業員) のメンテナンス実行に対する能力をチェックする。
  - 1.2.1.2.1 停止箇所、停止時間の情報を基に、能力アセスメント (3.2) はオペレーションプランニング (3.1) に対して、スケジュール調整を要求する。

- 1.2.1.2.2 能力アセスメント (3.2) は、エンタープライズアクティビティ (4.0) に対して、他の工場への影響に関する情報を伝達する。
- 1.2.1.2.3 メンテナンス箇所、必要とされるアセット、必要とされる期間の情報とともに、能力アセスメント (3.2) は、メンテナンスプランニング (3.3) に対してスケジュールの再調整を要求する。
- 2.       メンテナンスプランニング (3.3) は再調整したメンテナンススケジュールをメンテナンス実行 (2.3) に対して送る。
- 2.1       メンテナンス実行 (2.3) はアセット配置 (1.3) に対して実際のメンテナンス行動開始を指示する。

以上についての処理手順を示すと以下の図 4.3.2、図 4.3.3 のようになる。

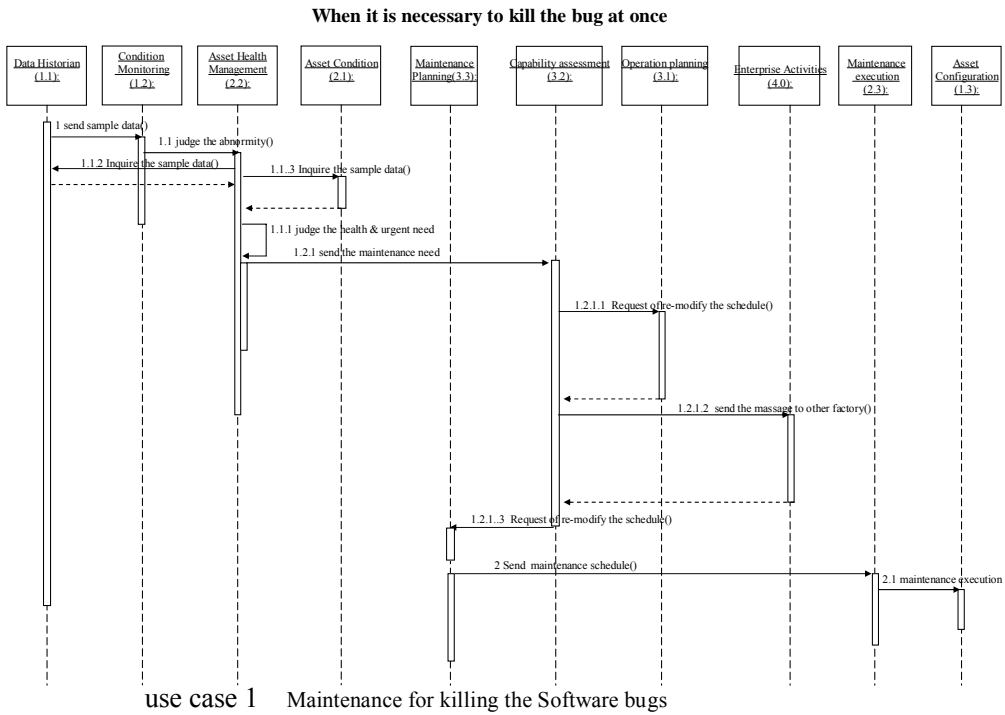


図 4.3.2 ソフトウェアバグ処理のためのメンテナスタスク  
(緊急性があると判断された場合)

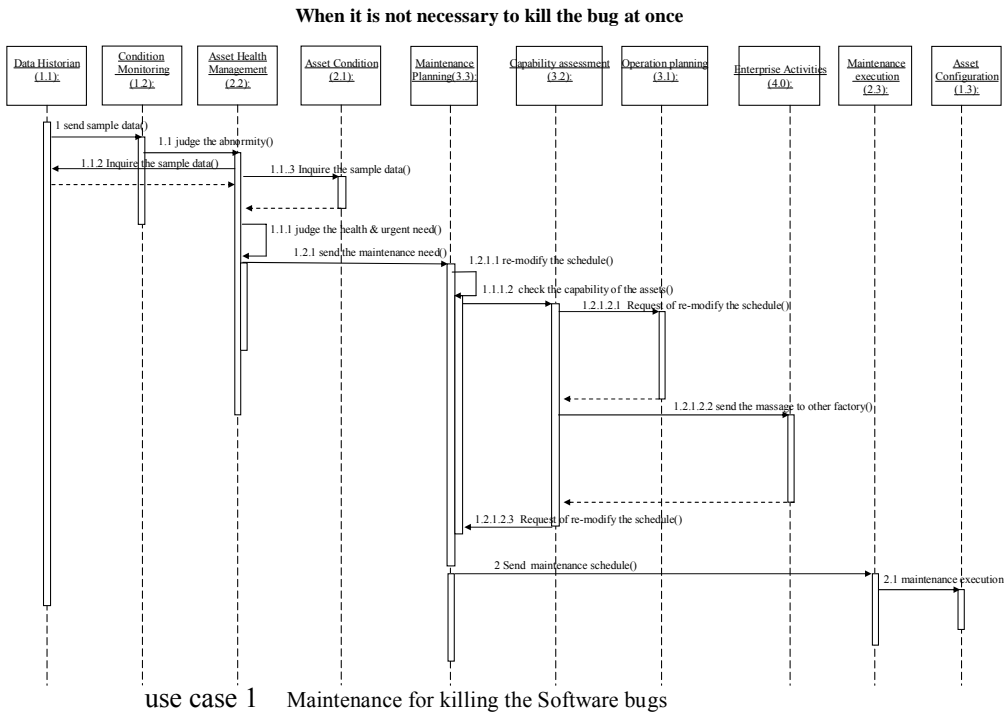


図 4.3.3 ソフトウェアバグ処理のためのメンテナスタスク  
(緊急性はないと判断された場合)

**b. USECASE 2 : 『法律改正によるメンテナンス要求』 の場合のソフトウェア・メンテナンス**

図 4.3.4 に、この場合を用いるアプリケーションのクラス図を示す。ADID の各要素が行う処理を次に示す。

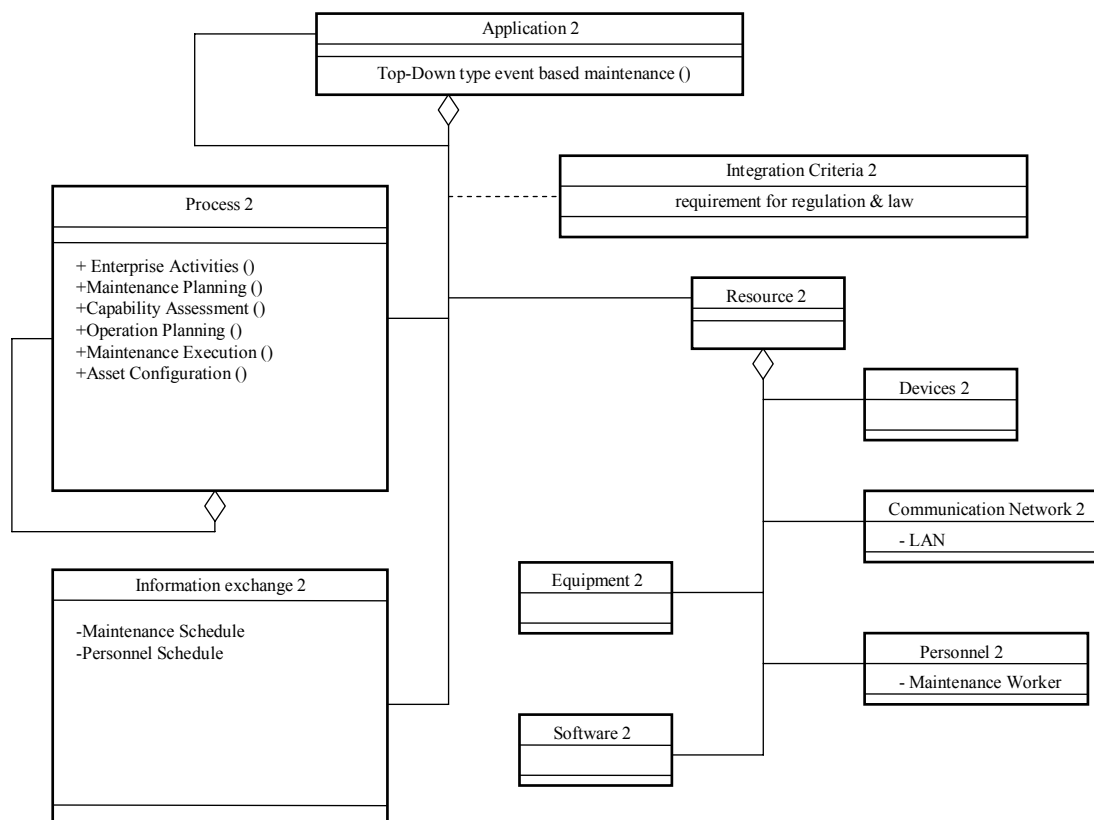


図 4.3.4 法律改正によるメンテナンスのためのアプリケーション

- 1 法改正に基づいて、エンタープライズアクティビティ (4.0) において新しいメンテナンスプランを作成する。
  - 1.1 メンテナンスプランニング (3.3) においてメンテナンス箇所、必要になるアセット、メンテナンスの期限等の情報を基に、メンテナンススケジュールを再調整する。
    - 1.1.1 能力アセスメント (3.2) はメンテナンスに必要とされるアセット (設備、作業員) のメンテナンス実行に対する能力をチェックする。
      - 1.1.1.1 停止箇所、停止期間の情報を基に、能力アセスメントは、オペレーションプラン

ニング (3.1) にスケジュール変更を要求する。

- 1.1.1.2 能力アセスメント (3.2) はメンテナンスの他の工場への影響についてエンタープライズアクティビティ (4.0) に対して送る。
- 1.1.1.3 メンテナンス箇所、必要とされるアセット、必要とされる期間の情報とともに、能力アセスメント (3.2) は、メンテナンスプランニング (3.3) に対してスケジュールの再調整を要求する。
- 2. メンテナンスプランニング (3.3) は再調整したメンテナンススケジュールをメンテナンス実行 (2.3) に対して送る。
- 2.1 メンテナンス実行 (2.3) はアセット配置 (1.3) に対して実際のメンテナンス行動開始を指示する。

以上についての処理手順を示したものが図 4.3.5 である。

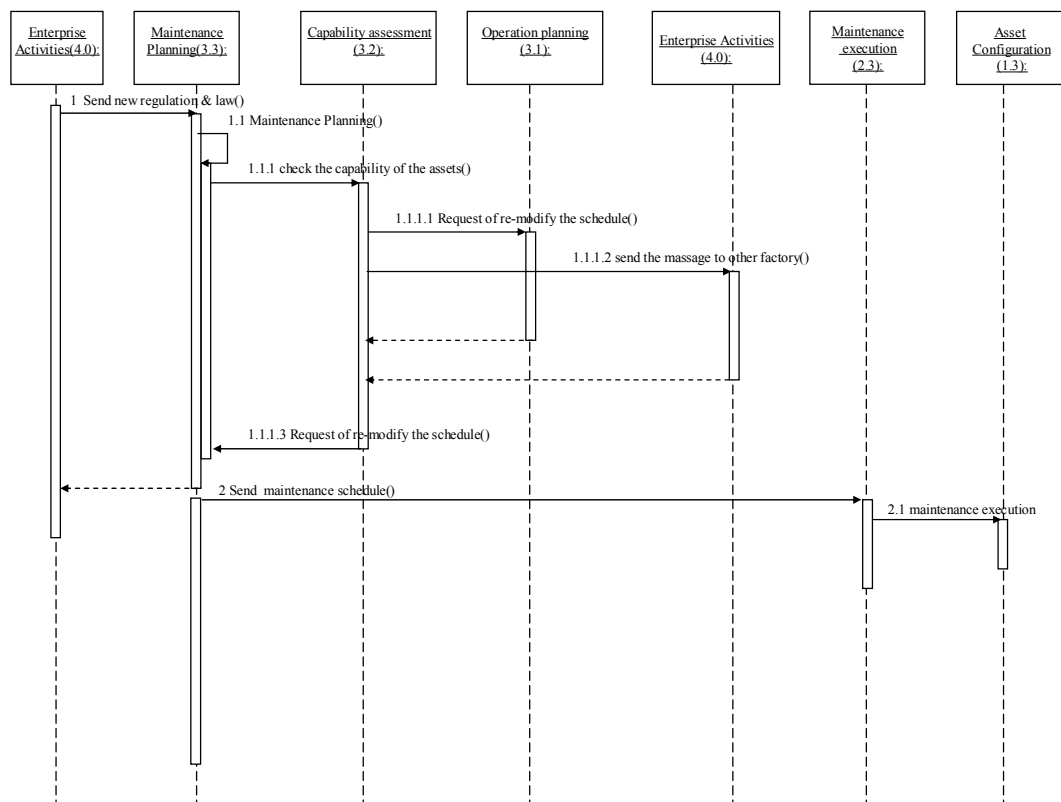


図 4.3.5 法改正によるメンテナンスのシーケンス図

#### 4.3.2 ソフトウェア・メンテナンスに対するモデル化の課題

USECASE1の「ソフトウェアバグ処理」というメンテナンス活動が、「Operation」の領域に当てはまるのに対し、USECASE2「法律の改正によるメンテナンス」は設計レベルの変更を伴うものであり、「Development」の領域に相当するものになっている。そのため、「1.法改正に基づいて、エンタープライズアクティビティ（4.0）において新しいメンテナンスプランを作成する。」の部分に、本来、法律改正の決定を「Enterprise」レベルで受けてから、その法律変更によって具体的にどのように「Site」レベル、「Area」レベル、「System」レベルの各レベルにおいてメンテナンスを行う必要があるのか、実際の現場と情報をやりとりしながら決定する部分の機能を全て含ませることになる。

このプラン作成機能も4.0に含ませると考えることも出来るが、今回のUSECASEにはない、日本独特の「改善」といった現場主体の問題点発見とメンテナンス手法の提案を行うタイプのメンテナンスの活動モデルを表現することは難しいといえる。そしてこの「改善」といったタイプのメンテナンス活動のモデル化は2007年問題を考慮するに今後非常に重要な課題であるのもまた事実である。

このようにして考えてみると、メンテナンスのモデル化では現状の生産システムが抱える問題を全て解決するための表現が必要であるという課題が出現する。

近年の生産システムにおいては大規模な情報管理システムの導入が大きな成果を生んできた。すなわち、生産現場では多くのソフトウェアが動作している。今後の「生産システム」のメンテナンスを考える上では、「部品交換」など、これまで一般的に考えられてきた物理的な「ハードウェア」に対するメンテナンスのみならず、この「ソフトウェア」に対するメンテナンスも大きなポジションを担っている。

生産システムのソフトウェアは大きく①制御用PC(Personnel Computer)、制御用PLC(Programmable Logic Controller)のソフトウェア、②実際の機器に組み込まれている組込みソフトウェアとの2種類に分類できる。

一般的にはソフトウェアというと①のようにアーキテクチャに分類でき、OS上で動作するものを指すことが多いが、近年では機器内に組み込まれ動作する②のような組込みソフトウェアと呼ばれるソフトウェアが大きな市場となっており、経済産業省「2005年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書」<sup>(1)</sup>によれば、現在日本における組込みソフトウェア技術者数は17万5000人にもものぼっている。

両者の違いとしては、①のほうが比較的体系化、標準化が進んでおり、それに対し、②のほうの組込みソフトウェアにおいては、あまり体系化、標準化が進んでおらず、近年

の要求機能の増加に対してその開発速度、品質が大きな課題となっている。

そのため、②のような組込みソフトウェアにおいても今後アーキテクチャ化が進むと考えられ、今後①②の差はなくなってくると予想される。そのためここでは①②を含めてソフトウェアとして扱うこととする。

次に、ソフトウェアとハードウェアのメンテナンスにおける違いであるが、最も大きな相違は、ソフトウェアは劣化しないのに対し、ハードウェアは劣化をするという点である。それによって定期メンテナンスが存在するかしないかという相違が生まれると同時に、それにかわるメンテナンス手法も存在し、そのモデル化が課題となる。

特に生産システム・ソフトウェアのメンテナンスについては、日本と欧米の考え方の相違点に留意しなければならない。

歴史的な背景として、幾度となく欧米で画期的な技術が生み出され、それまでの常識を覆した新たな製造業の形を築いてきたことは否めない。日本は欧米で開発された画期的な技術を応用することで今日までの発展を見せてきたといえる。そのせいか、「設備更新」という行為に対する考え方そのものが異なるようである。欧米が「古くなったものは、画期的なアイデアにより新たな技術で作り変える」といういわば「金持ち型」の意識であるのに対し、日本は「既存の設備を調整して使い続ける」という「貧乏型」の意識が強い。この根本的な意識の相違から、メンテナンスに対する認識も異なるようである。

日本では、故障や事故というものに対して必ずといってよいほど「ゼロ」を目標とする。「ゼロ」という数字の実現に対しては論理的裏付のような背景はなくとも、全ての故障や事故は起きないようにあるべきだという考え方のもと、理想的な目標を追い求める傾向にあるといえる。「ゼロ」という大目標を立てるものの、論理的、体系的な裏付は存在しないため、その手段は圧倒的に人手に頼ることが多い。やるだけやったらあとは「神頼み」という考え方が強く、KKD（コツと勘と度胸）という言葉が存在するほどに、その場の保守、作業員の技能に掛かっているといえる。このせいか、日本の生産システムにおいては、「生産技術者」「保守員」「作業員」と呼ばれるような現場に近いレベルの人間が強い意思決定権と責任を持っており、非常に特徴的な部分となっている。これは、現在注目されているトヨタ改善方式に見られるような現場主体の「ムダの徹底的排除」を実現させ、今日の日本の優れた生産システムの在り方を支えている根本であるといえる。その一方で、2007年問題と呼ばれる有能なメンテナンス技術者が一斉にいなくなる状況を迎えたときに、その知識、技術体系を残すことができるのかという問題を抱えているともいえる。

これに対して、欧米では基本的に「事故は起きるもの」として考える姿勢が強く、事故発生率等のリスク管理が重点的に行われている。事故時、問題発生時における補償の額が

日本に比べて非常に膨大であり、大抵製造側の企業は保険に入っている場合が多い。保険会社にしてみれば、支払いリスクを明確に判断した上で契約を行う必要性があるため、より明確で定量的な判断基準が必要であるといえる。そのため、技術知識のない保険会社でも有効な判断材料として利用できるように、安全性評価のための一般的基準、標準を求める傾向にある。例えば ISO61508 においては、自動車等の組み立てにおいて、制御系とセーフティ系を共存させることのないように定められている。またコネクタ等のケーブルの色分け等の標準化も進んでいる。よってより体系的、論理的にメンテナンスというものに向き合っているといえる。しかし、日本のように現場の人間主体に行動を起こすことは少なく、現場の人間は上からの指示として与えられた仕事のみを行い、現場の判断で行動をとるようなことはしない。そのため、日本のようなボトムアップでムダを排除するような生産の効率化を図ることは難しい。また、既に述べたような根本的な設備更新に対する考え方から、既存のものを長く使い続けられるように調整することはしない。つまり、メンテナンスのフレームワークで言えば、タスクレベルが中心の欧米のメンテナンスに対して、日本は使い続けるために改善や新規設計までの広義のメンテナンスを日常行っていることになる。

今後、ソフトウェア・メンテナンスを日本の現状に即してモデル化する場合には、こうした大きなフィードバック・ループを含むモデル化が必要となると考えられる。

#### 参考文献

- (1) 経済産業省 商務情報政策局、情報政策ユニット情報処理振興課、監修：組込ソフトウェア開発力強化推進委員会 “2005年版 組み込みソフトウェア産業実態調査報告書” (2005-6)



#### 4.4 水処理のユースケース（Annex D の解説）

ここでは、本国際規格の産業プラントに関するユースケースの例として、水処理プラントの典型的な運転・保守シナリオについて説明する。

水処理プラントの Application Domain Integration Diagram (ADID) を図 4.4.1 に示す。

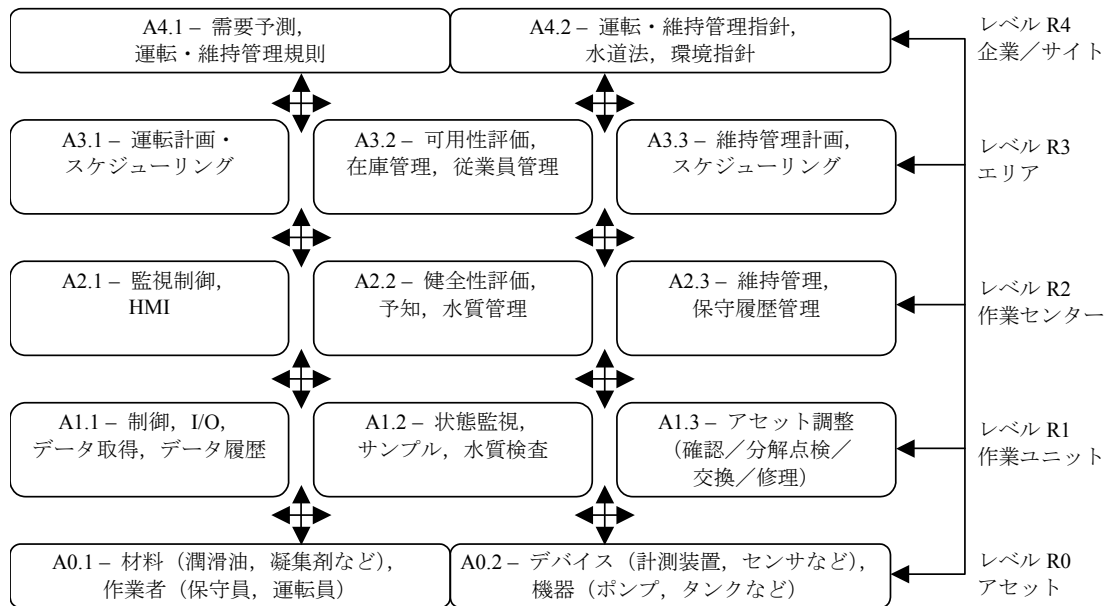


図 4.4.1 水処理プラントの Application Domain Integration Diagram

アプリケーションドメイン間の情報交換（Application Matrix Element）は次のようなものである。

##### A0.1→A3.2

- 材料の統一レジストリ
- 従業員の統一レジストリ（作業／休暇スケジュール、資格など）
- アセットの統一レジストリ

##### A1.3, A3.2→A0.1

- 材料のレジストリ更新
- 従業員のレジストリ更新
- アセットのレジストリ更新

##### A1.3→A2.3

- 維持管理報告

A2.3→A1.3

- アセット調整の維持管理指示

A3.3→A3.2

- 維持管理のために必要な材料
- 維持管理のために必要な従業員（必要な作業時間、作業者の人数、資格など）
- 詳細な維持管理スケジュール

A3.3→A2.3

- 規制上の維持管理頻度

A4.1→A3.3

- 需要予測

A4.2→A3.3

- 水道法
- 水道施設指針

(該当部分の原文)

“Information exchange between application domains (Application Matrix Element) are as follows.

From A0.1 to A3.2

- Unified registry of material
- Unified registry of personnel (work / vacation schedule, qualification, etc)
- Unified registry of assets

From A1.3, A3.2 to A0.1

- Registry updates of material
- Registry updates of personnel
- Registry updates of assets

From A1.3 to A2.3

- Maintenance report

From A2.3 to A1.3

- Maintenance direction for asset configuration

From A3.3 to A3.2

- Required material for maintenance
- Required personnel for maintenance (required working hour, number of

workers, qualification, etc)

- Detailed maintenance schedule

From A3.3 to A2.3

- Regulation maintenance frequency

From A4.1 to A3.3

- Demand forecast

From A4.2 to A3.3

- Water Supply Law
- Guideline for waterworks”

水処理プラントの具体的な運転保守シナリオを以下に示す。

#### 4.4.1 時間基準保守 (TBM) の例

ここでは、時間基準保守 (TBM) の例として、給水ポンプベアリングの潤滑油の保守について説明する。TBM とは法律、指針、あるいは製品の保証期間により定められた頻度で保守を実行するという維持管理方策である。

水道施設の維持管理に関する指針によれば、給水ポンプベアリングの潤滑油は、1 ヶ月に一度点検、1 年に一度交換するべきであると定められている。維持管理系各部門は、潤滑油が過去 1 ヶ月以内に点検されていない、あるいは過去 1 年以内に交換されていないポンプを検索する。その後、リソースの可用性（潤滑油の在庫、資格のある保守員のスケジュール）を調べ、いつ誰が点検／交換を行うかを含めた維持管理計画を更新する。潤滑油を点検／交換する時期になれば、割り当てられた保守員が潤滑油の点検／交換を行い、保守履歴を更新して、維持管理レポートを出力する。

この維持管理プロセスに関するシーケンス図を図 4.4.2 に示す。

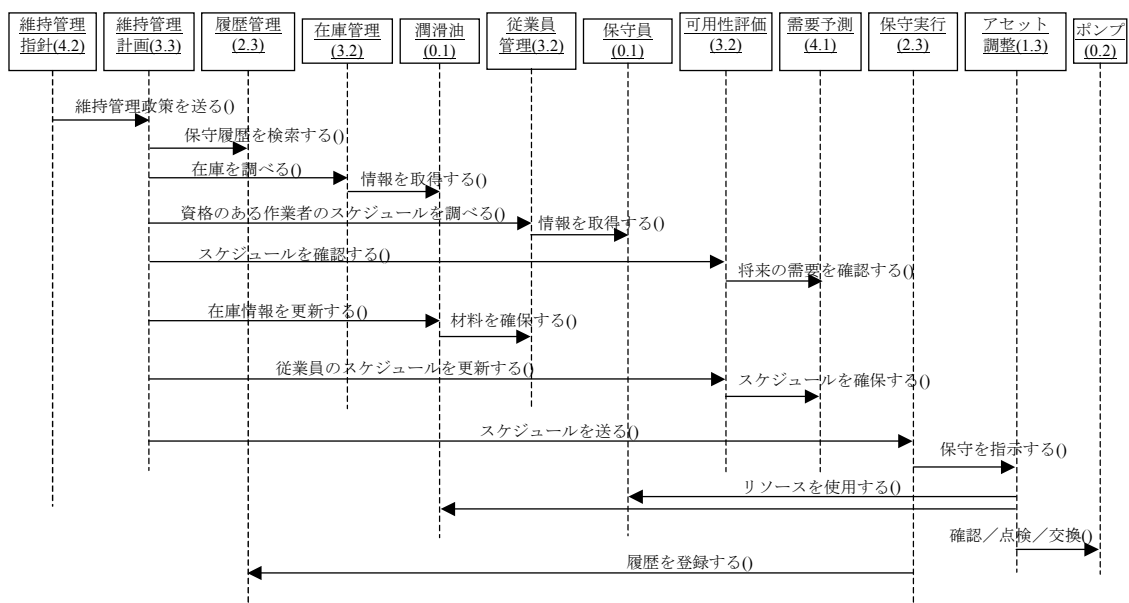


図 4.4.2 TBM のシーケンス図

(該当部分の原文)

“This describes maintenance of lubricating oil of water supply pump bearing as an example of time-based maintenance (TBM). TBM is a maintenance policy which the maintenance will be executed at the frequency decided by laws, guidelines or certified term of the product.

According to the guideline for maintaining water supply facilities, lubricating oil of water supply pump bearing should be inspected once a month and exchanged once a year. Maintenance planning section, referring to maintenance history, retrieves pumps whose lubricating oil is not inspected in the last one month or is not exchanged in the last one year. Then, it inquires the availability of resources (inventory of lubricating oil and schedule of qualified maintenance worker) and updated maintenance plan including when it will be inspected/exchanged and who will do it. At the time to inspect/exchange oil, the responsible maintenance worker inspects/exchanges the lubricating oil, updates maintenance history, and outputs maintenance report.”

#### 4.4.2 状態基準保守 (CBM) の例

次に、状態基準保守 (CBM) の例として給水ポンプ摩耗に関する維持管理について説明する。CBM は、アセットの状態により予防的に保守を実行すべきかどうか、いつ実行す

べきか、実行すべき保守の種類を決定するという維持管理方策である。

オンサイト作業者は1日に3回巡回点検を実施する。作業者はポンプの振動、騒音、温度計を確認し、摩耗測定器を監視する。異常値や異常な振る舞いが示されると、羽根車の摩耗が疑われる。オンサイト作業者が望ましくないポンプ状態を検知すると、作業員/技術者は状態監視や分解点検による異常の程度により健全度を診断し、余寿命を予測する。維持管理部門は、全体コストを最小化し、安全性を最大化するために可用性評価に基づいて、羽根車/ポンプを調整/交換すべきかどうかを決定する。羽根車/ポンプを交換すべきであれば、リソースの可用性（スペア部品の在庫、資格のある保守員のスケジュール）を調べ、需要予測、余寿命、スケジュール更新による給水への影響を考慮して、維持管理計画及びスケジュールを更新する。羽根車/ポンプの交換時期になれば、割り当てられた保守員が交換し、保守履歴を更新し、維持管理レポートを出力する。

この維持管理プロセスのシーケンス図を図 4.4.3 に示す。

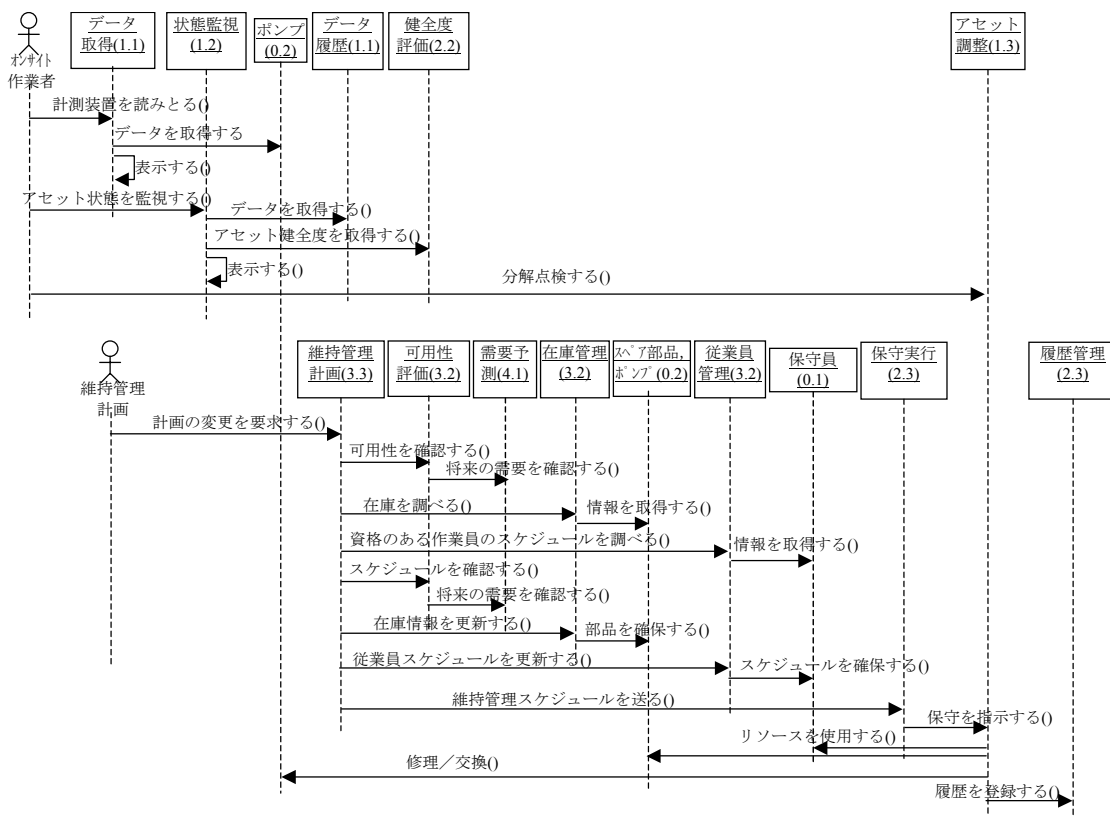


図 4.4.3 CBM のシーケンス図

(該当部分の原文)

“This describes maintenance of abrasion of water pump as an example of condition-based maintenance (CBM). CBM is a maintenance which the asset condition decides if the maintenance should be executed preventively, when it should be executed, and which type of maintenance should be executed.

On-site worker executes round check 3 times a day. The worker checks vibration, noise, and thermometer of pumps, and monitors abraser. When they indicate abnormal value or behavior, abrasion of impeller will be suspected. When on-site worker detects the undesirable condition of pump, the worker/technical worker diagnoses the healthiness and prognosticates remaining lifetime according to the degree of abnormality through condition monitoring and overhaul inspection. Maintenance planning section decides if the impeller/pump should be configured/replaces based on the capability assessment so as to minimize total cost and maximize safety. When the impeller/pump should be replaced, maintenance plan and schedule will be updated, inquiring the availability of resources (inventory of spare parts, schedule of qualified maintenance worker) and taking the demand forecast, the remaining lifetime, and the impact on water supply resulting from the modified schedule into consideration. At the time to replace impeller/pump, the responsible maintenance worker replaces it, updates maintenance history, and outputs maintenance report.”

#### 4.4.3 状態基準運転 (CBO) の例

最後に、状態基準運転 (CBO) の例として、運転中のポンプの管理戦略について説明する。CBO とは、アセットの状態により運転スケジュールを決定する運転方策である。

水道設備が複数のポンプを所有するならば、運転時間を平準化するために、たいてい順次切り替え (ローテーション) 運転するように計画されている。監視者はディスプレイ上でオンラインデータを監視し、ポンプ状態を確認する。ポンプが異常な状態を示し、負荷を軽減すべきであると判断されたら、その戦略がポンプの寿命を引き延ばすのにどの程度の降下があるか、次の定期点検まで保たすためにどの程度運転できるかを評価して、間引き運転をレビューする。ポンプと給水への影響を考慮して、運転計画を更新する。運転員は更新された運転計画によりポンプの運転を制御する。

この運転プロセスのシーケンス図を図 4.4.4 に示す。

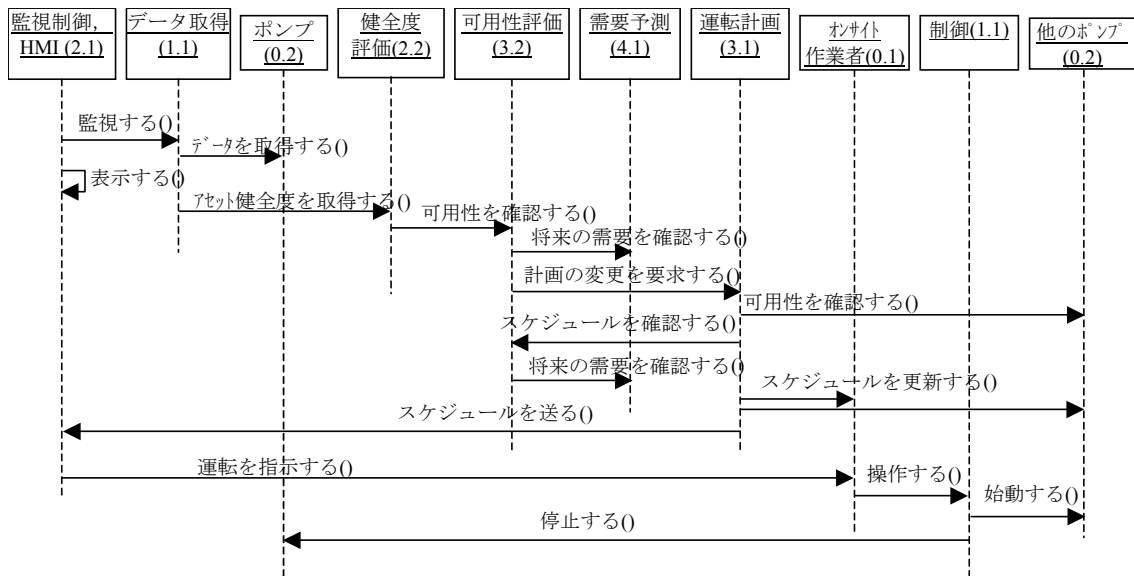


図 4.4.4 CBO のシーケンス図

(該当部分の原文)

“This describes control strategy of operating pumps as an example of condition-based operation (CBO). CBO is an operation which the asset condition decides the operating schedule.

If the waterworks possesses several pumps, they are usually programmed to work in rotation in order to equalize operating hours. Supervisor monitors online data on the display and checks the pump condition. When a pump indicates abnormal state and is judged to be relieved, partial service will be reviewed evaluating how the strategy is effective to prolong the pump’s lifetime and how often the pump can be operated in order to retain it up to the next periodical inspection. Operations plan will be updated taking the impact on the other pumps and water supply into consideration. Operator controls the operation of pumps according to the modified operating schedule.”

## 5. まとめ

本報告は、現在 ISO/TC184/SC5/WG7 で検討を行っている”Industrial automation systems and integration – Diagnostics, capability assessment, and maintenance applications integration – Part 1: Overview and general requirements” (ISO/WD 18435-1) に関して、その背景、概要、検討状況を報告したものである。

生産設備の管理においても、最近の企業の利益中心の考え方から、EAM (Enterprise Asset Management)やPAM (Plant Asset Management)への関心が高まっており、ROA (Return On Asset)の観点から設備を見るようになってきている。このため、設備のメンテナンスについても、故障の低減やメンテナンスコストの削減というレベルでの評価ではなく、メンテナンスがいかに収益に貢献しているかが評価されるようになる。すると、実際の生産活動とメンテナンスの関係が問題となり、運転とメンテナンスを統合的にとらえ管理する必要が出てくる。このような概念はO&M (Operation and Maintenance) 統合と呼ばれている。例えば、今、設備を止めてでもメンテナンスを行って設備の効率を高めるのがよいのか、少々効率が落ちた状態でも運転を続行すべきなのかは、生産要求の状況に応じて決めるべきことで、メンテナンス側が独自に決められることではない。

本報告で扱っている ISO/WD 18435 では、このような生産とメンテナンスを統合的に管理するためのシステムの基本構成を示し、それを基にアプリケーション間の情報のやりとりに関する仕様の記述方法の標準化を行うことを目的としたものである。この標準は3部構成を予定しており、現在検討されているのはそのうちの Part1 である。Part1 では、O&M 統合のフレームワークを ADID (Application Domain Integration Diagram) として提供しているが、これは、従来ともすると漠然としかとらえられていなかった O&M 統合の枠組みを明確にしたという点で、意義があると考えられる。

ところで、2. でも述べたようにメンテナンスの重要性はますます高まっているにも関わらず生産設備のメンテナンスについての標準化活動についてはこれまであまり積極的に行われてこなかった。しかし、今回の標準化においては、ある意味で一足飛びに O&M 統合に関する標準を作成しようとしているために、メンテナンスに関する標準の基礎となる概念や用語が未整理なままで文書を取りまとめざるを得ず、無理が生じているという面がある。これが、文案のとりまとめに時間が掛かっている一つの原因とも考えられる。一方で、現在まさに注目されている観点からの標準化という点でタイムリーな活動であり、今後、パート2、3についての迅速な文案の作成が望まれる。

わが国においては、例えば TPM のようなメンテナンスを基本とした、生産効率向上の活動が従来より盛んに行われている。今回のようなメンテナンスに関連した標準化活動に



おいては、今後ともこのような経験に基づいてわが国が貢献できる点は少なくないと考えられる。

なお、本報告書が参照した標準文案については、その後も内容の改訂が行われており、最終的な文書は本報告書で解説したものと異なるものになることには注意する必要がある。

非 売 品

禁無断転載

平 成 1 8 年 度

生産システムの環境および設備保全活動の国際標準化報告書

発 行 平成19年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会

〒105-0011

東京都港区芝公園三丁目5番8号

電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター

〒105-0001

東京都港区虎ノ門三丁目11番15号

電 話 03-5472-2561