

MSTCアイデアファクトリー テーマ4

生産システム計画・構築時の 環境側面を含む事前評価の研究

平成23年度活動報告

機械振興協会 技術研究所

日比野浩典

1. 活動概要

2. 生産システムにおける環境評価の代表的課題
3. 環境評価と生産性の関連分析モデル手法の提案
4. 生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーションの提案
5. 今後の課題

背景

地球温暖化や資源の有限性に端を発した環境評価に対する社会的な関心が高まり、産業界においても、より正確な環境評価を生産システム構築段階で考慮する必要性が高まっている。しかし、最近の生産システムは様々な要素が複合的に絡みあっている上に更に環境側面も考慮したシステムの検討が求められている。

また、本テーマ実施期間に発生した東日本大震災の影響による電力使用制限等により、消費エネルギー量を考慮する工場管理が必要となっている。生産システムの計画・構築・改善段階に、生産性と消費エネルギーを同時に事前評価し、より省エネルギーの工場を確実に設計し、運用することが望まれている。

目的

生産システムの計画・構築を行うエンジニアリングプロセスにおいて、従来から取り組まれている事前の生産性評価軸に、新たに環境側面からの評価軸を加え、生産性と環境側面を同時に事前評価するための課題を整理し、新たな仕組みの提案を目的とした。

H22年度：（平成22年10月1日 ～ 平成23年3月31日）

第1回：2010年11月1日（MSTC：東京都港区）

第2回：2010年12月17日（MSTC：東京都港区）

第3回：2011年1月25日（ジェイテクト：愛知県刈谷市）

第4回：2011年2月25日～26日（合宿：神奈川県三浦市）

H23年度：（平成23年4月1日 ～ 平成24年3月31日）

第5回：2011年4月22日（MSTC：東京都港区）

第6回：2011年5月16日（MSTC：東京都港区）

第7回：2011年7月25日～26日（ダイフク：滋賀県他）

第8回：2011年10月14日（MSTC：東京都港区）

第9回：2011年12月19日（機械振興協会：東京都港区）

第10回：2012年1月30日（MSTC：東京都港区）

第11回：2012年3月9日（MSTC：東京都港区）

- ◆機械振興協会 技術研究所 技術主幹
(兼) 東京農工大学 大学院 客員教授 日比野浩典 リーダ
- ◆法政大学 常務理事 デザイン工学部教授 福田好朗 アカデミック委員
- ◆川崎重工業 基幹職 シニアアドバイザー
小林政己 委員
- ◆ケー・ティー・システム 課長 佐々木信夫 委員
- ◆ジェイテクト 主幹 近藤知明 委員
- ◆清水建設 上席マネージャー 大石重雄 委員
- ◆日立製作所 横浜研究所 所長付 谷岡雄一 委員
- ◆富士通 エグゼクティブプロダクトエンジニア 齊藤昭男 委員
- 松田直久 委員
- ◆東京農工大学 大学院1年 日比野研究室 佐久間徹 学生委員

以上 6社、2大学、1研究所

平成22年度

- 産業界の生産システムにおける環境側面評価の代表的な課題の抽出
- 環境評価手法の標準化動向の整理

平成23年度

- ◆ 生産システムにおける環境評価項目の抽出方法の検討
- ◆ 生産性評価と環境評価の関連分析方法の検討
- ◆ 生産性と消費エネルギー評価のためのシミュレーションによる評価方法の検討



- ◆ 「生産システムにおける環境評価の代表的課題」を整理した。
- ◆ 「環境評価と生産性の関連分析モデル手法」を提案した。
- ◆ 「生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーション」を提案した。

1. 活動概要

2. 生産システムにおける環境評価の代表的課題

3. 環境評価と生産性の関連分析モデル手法の提案

4. 生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーションの提案

5. 今後の課題

1. 生産システム計画・構築段階における環境側面からの事前評価は未確立
2. 生産システムの環境評価項目が不明確
3. 生産システムの環境評価尺度が未検討
4. 生産システムの環境評価に必要な情報が未整備
5. 環境評価を考慮する生産管理・マネジメントが未確立
6. 生産システムの環境評価の標準化・規格化は着手・初期段階

1. 生産システム計画・構築段階における環境側面からの事前評価は未確立
 - 生産準備段階で事前に対象システムの環境評価手法構築
 - 生産システムのムダを知り、ムダを削減する（生産性、環境側面）
 - 生産システムの定量的評価と可視化（生産性、環境側面）
 - 例えば、シミュレーション上でエネルギー消費量を評価
 - 確実な省エネ工場実現の取り組みが可能
 - 生産性向上と省エネの関係が事前に明確化
 - 実工場稼動時には、実エネルギー消費量と仮説のエネルギー消費量を比較可能

2. 生産システムの環境評価項目が不明確

→環境評価項目（エネルギー使用量，CO2排出量，油使用量等）の抽出・明確化

3. 生産システムの環境評価尺度が未検討

→環境評価尺度を確立

→自社内、他社の製造効率をベンチマーク的に比較可能

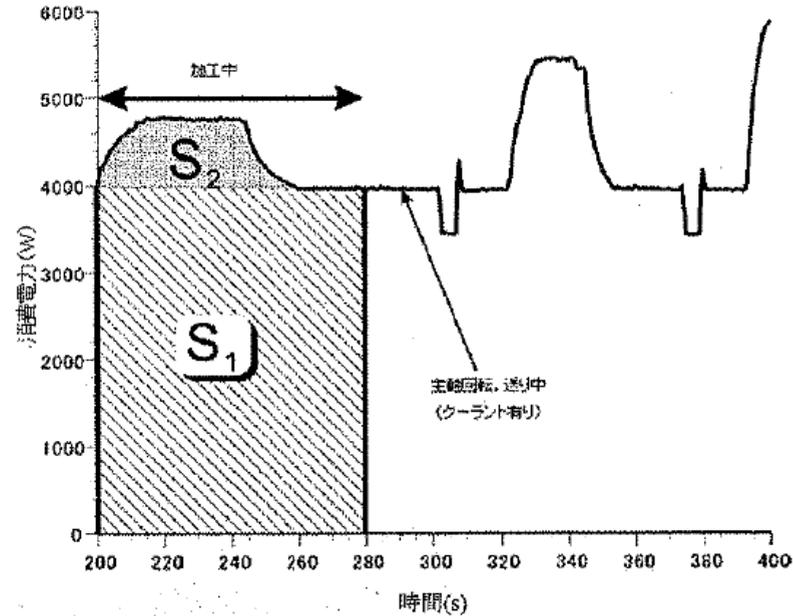
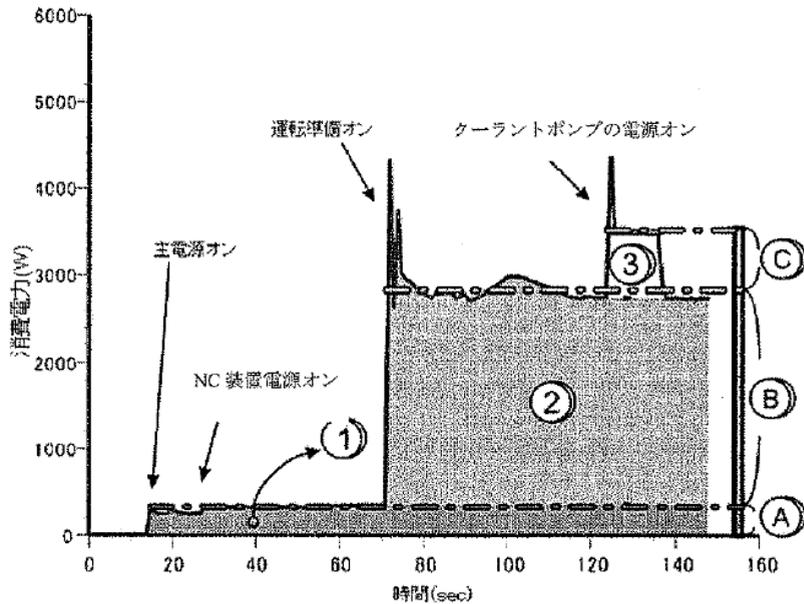
→具体的な削減目標設定が容易に

4. 生産システムの環境評価に必要な情報が未整備

→環境評価の必要情報を整備

→必要情報の整備により情報活用が進む工場では比較的容易に収集可能

→工作機械では消費電力情報が整備され、測定方法が規格化



①: “機械非常停止状態”+“主電源オン”+“NC装置電源オン”時の消費電力量(Wh)

②: 機械運転準備完了状態の消費電力量(Wh)

③: “クーラントポンプの電源オン”時の消費電力量(Wh)

A: ①の平均消費電力

B: ②の平均消費電力

C: ③の平均消費電力

S_1+S_2 : 加工中においてマシニングセンタ全体で消費した電力の総和

S_1 : 加工中における主軸回転及び送り運動中に要するマシニングセンタ全体の消費電力量

S_2 : 切削抵抗による総消費電力量

出典: 日本規格協会
工作機械—消費電力測定方法—
第1部: マシニングセンタ
TS BOO24-1 2010

5. 環境評価を考慮する生産管理・マネジメントが未確立

→環境側面を重視と生産性重視の場合のトレードオフの明確化

生産性重視：ロットが小さい、在庫が少ない方が良い

環境側面重視：ロットが大きい、総段取エネルギー消費量減（段取回数減）

6. 生産システムの環境評価の標準化・規格化は着手・初期段階

- 「ISO20140：生産システム環境評価手法」の規格化活動が2010年に開始
- 「ISO14048：ライフサイクルアセスメント（LCA）」は一般的な環境影響評価手法。個別対象（例えば、生産システム）への適用に対して、適用法を個別に規定する。適用法の明確化を要求。
生産システムにおいては評価対象が複雑で、評価手法やその結果の共有のためには生産システムに特化した評価法の標準化が必要。
- 主要参加国は日本、米国、ドイツ、フランス、スウェーデン、中国、韓国の7カ国。
- 最終的な規格化までに長期の時間が必要

ISO20140において環境評価手法標準化の対象とする範囲は、製造業における「工場生産ライン・セル」の部分である。生産ライン・セルレベルについては未だ環境影響の計測、評価の体制等が十分に整備されていないのが現状である。特にこのレベルは個別企業の技術ノウハウに係わる部分も多く、詳細な評価情報の公表は限られている。しかしながら、グローバルな製造が行われる現在では各組織体の中で、この詳細な環境評価情報を共有して、各観織体を越えた環境評価を行えるようにすることが必須となり始めている。ISO20140はこのための標準化を提案する。

WG10では、具体的には、次のように生産システムを評価する場合に利用可能な環境評価手法を考えて活動している。

1.1. 環境影響のベンチマークをするとき

- ・一般的な生産システムの環境影響のベンチマーク

（例えば、自動車を生産するならばこれぐらいになるというようなイメージ、具体的な生産システムを現時点では検討している訳ではない）

- ・同じタイプの製品を製造している生産システムの環境影響のベンチマーク

1.2. 環境的な改善のための工場レベルの目標を構築する時、および、構築した目標と工場や個別の設備との関係を明確化するとき

1.3. 環境影響の実際の状態を可視化することにより製造の運用を改善するとき

（可視化することが大変重要であると考えている。）

1.4. 現在の生産システムのプロセス, 現在の設備や生産システムの再構築, および, 新しい生産システムの設計するとき

上記を実現するために、ISO20140は5つの部分で構成され第1部から順に規格化されていく。第1部はこの規格の「全体概要と適用範囲」、第2部は「環境評価手法のガイドライン」、第3部は「環境評価指標のモデル」、第4部は「環境評価データのモデル」、第5部は「間接的環境影響のモデル」である。今回SC5に国際提案した素案は第1部のみ。

◆ ISO20140:生産システム環境評価手法ISO/TC184/SC5/WG10

- ISO20140は、日本発のISO国際標準として規格化を目指している生産システム環境評価手法
- 2009年にISOで承認され、2010年にISO20140規格化のための新たなワーキングとしてISO/TC184/SC5/WG10が新設
- ISO/TC184/SC5/WG10のコンビーナ(主査)は木村文彦委員長(法政大学)。
- WG10の主要参加国は日本、米国、ドイツ、フランス、スウェーデン、中国、韓国の7カ国。

◆ ISO/TC39/WG12

- 工作機械の設計、使用などすべてのライフサイクルでの環境性能の定義、工作機械で作られるものを基本として、その製品の性能の環境改善度合いの定量的な評価手法の規格化。
- WG12 Environmental evaluation of machine toolsの作業グループは2009年から活動を開始。

◆ ISO50000:エネルギーマネジメントシステム

- 工場、輸送、建設、発電、エネルギー再生におけるエネルギーマネジメントのフレームワークを規格化中。
- エネルギー効率、エネルギー性能、エネルギー供給、エネルギー使用を含むエネルギー管理分野の標準を作成。
- 2008年2月にISO内に「ISO/PC 242 – Energy Management」が設置され、検討が続けられている。

◆ ISO14051 マテリアルフローコスト会計

◆ ISO14067 カーボンフットプリント

◆ ISO14048 ライフサイクルアセスメント(LCA)

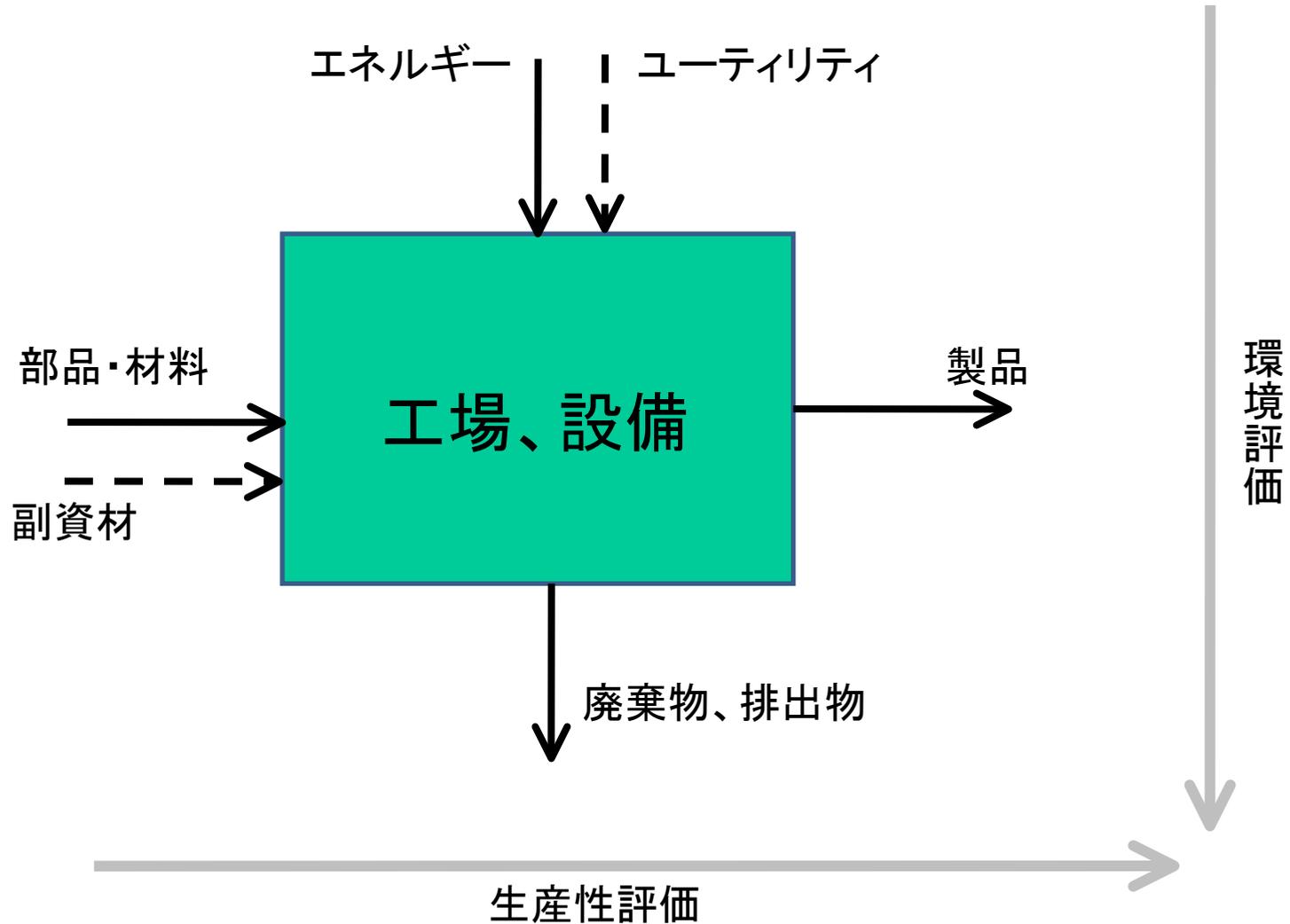
1. 生産システム計画・構築段階における環境側面からの事前評価を確立
2. 生産システムの環境評価項目を明確化
3. 生産システムの環境評価尺度を確立
4. 生産システムの環境評価に必要な情報を整備
5. 環境評価を考慮する生産管理・マネジメントを確立
6. 生産システムの環境評価の標準化・規格化を構築

1. 活動概要
2. 生産システムにおける環境評価の代表的課題
3. 環境評価と生産性の関連分析モデル手法の提案
4. 生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーションの提案
5. 今後の課題

- ◆生産システムの環境側面と生産性側面の関連について分析し、
環境評価の対象項目を明確にする必要ある
- ◆分析する手法が提案されていない。

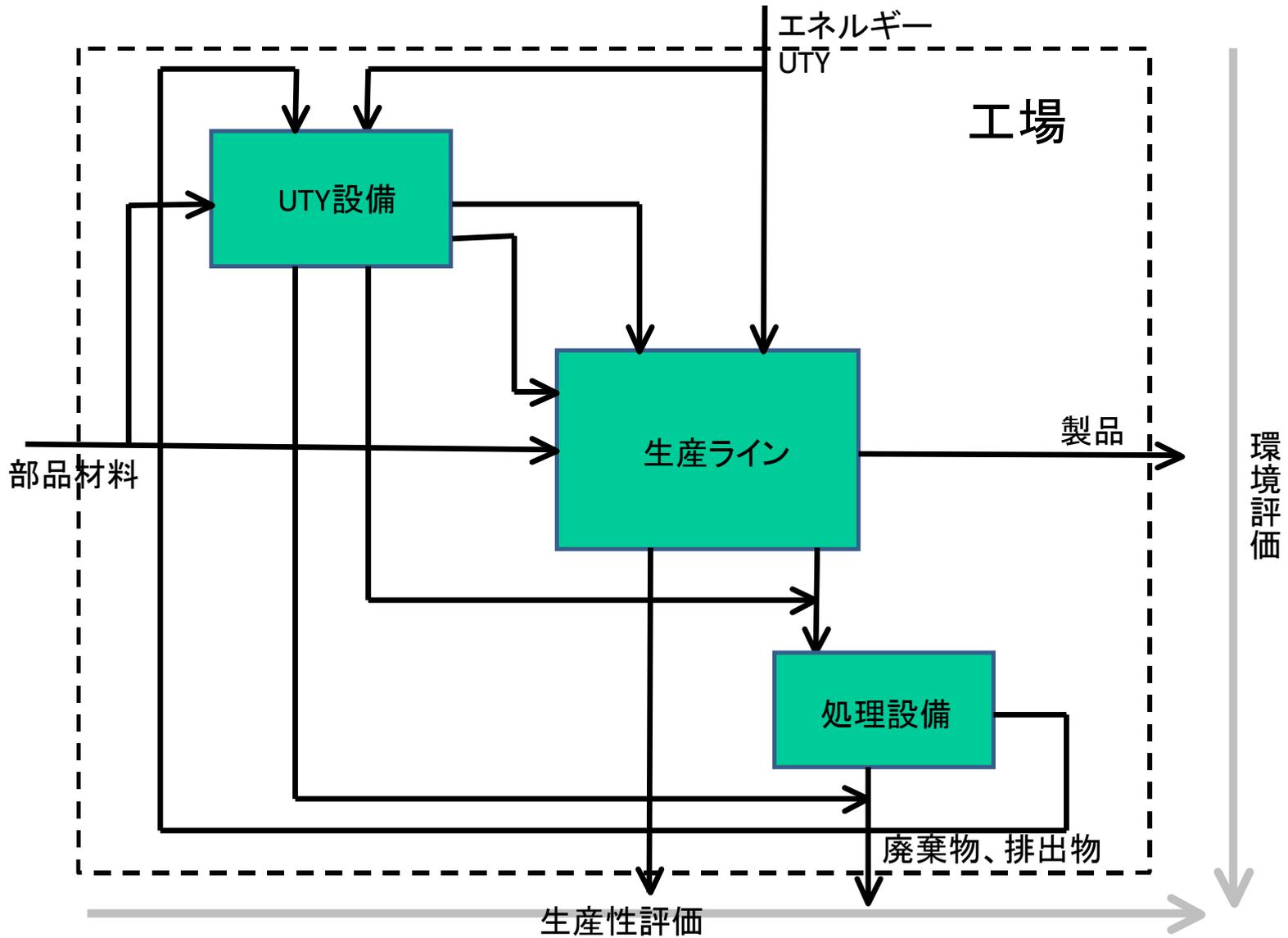


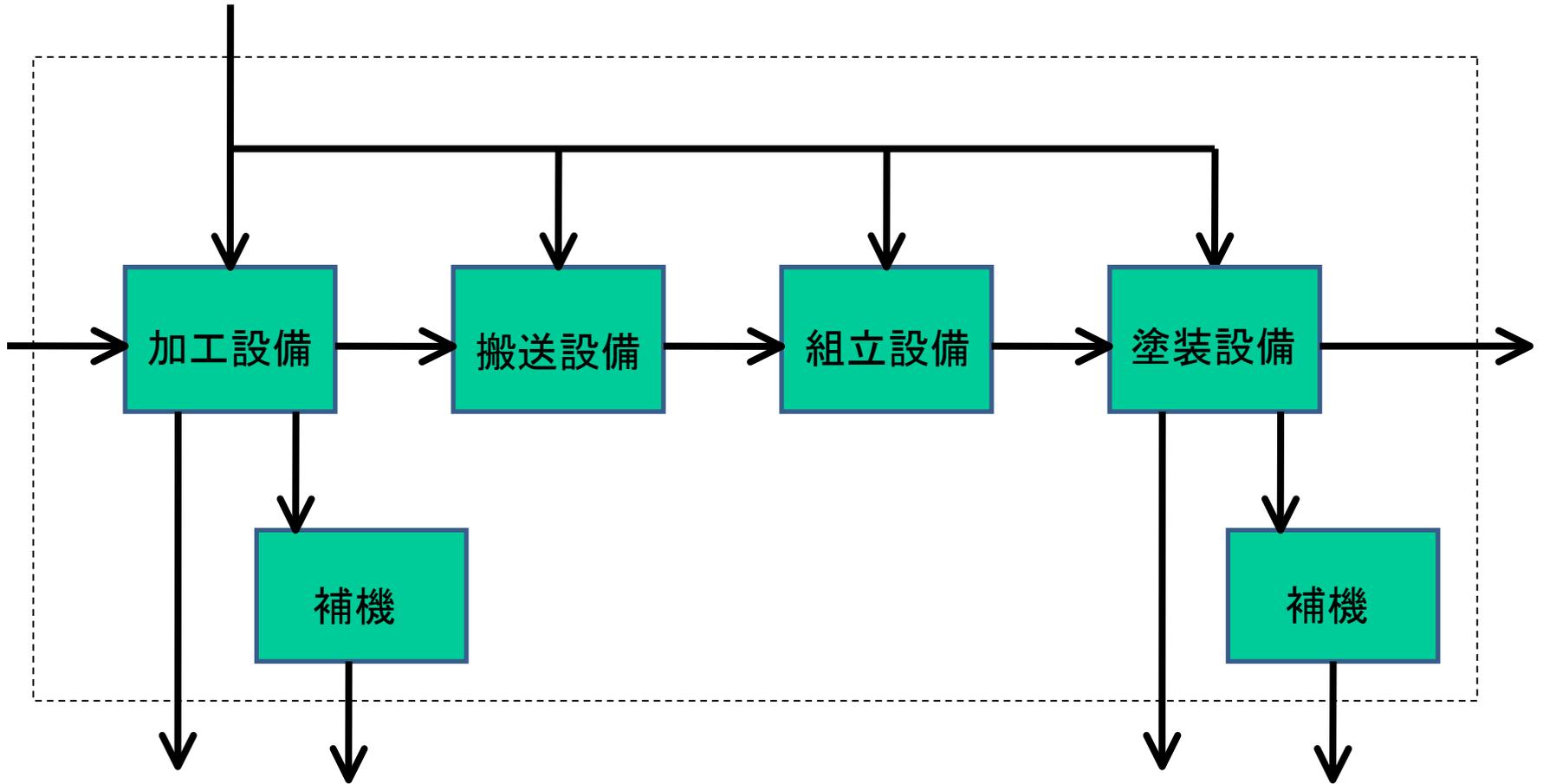
- ◆生産システムの環境側面と生産性側面の関連について分析する手法を提案する
 - ◆環境面を配慮した生産の工場レベルでの環境評価項目の明確化
 - ◆環境評価項目と工場・ラインおよび個別の設備との関係を明確化
 - ◆工場→ライン→設備とブレークダウンして、環境側面項目を明確化
 - ◆生産システムにおける環境側面と生産性側面の流れを可視的に分析
(生産性、環境側面)

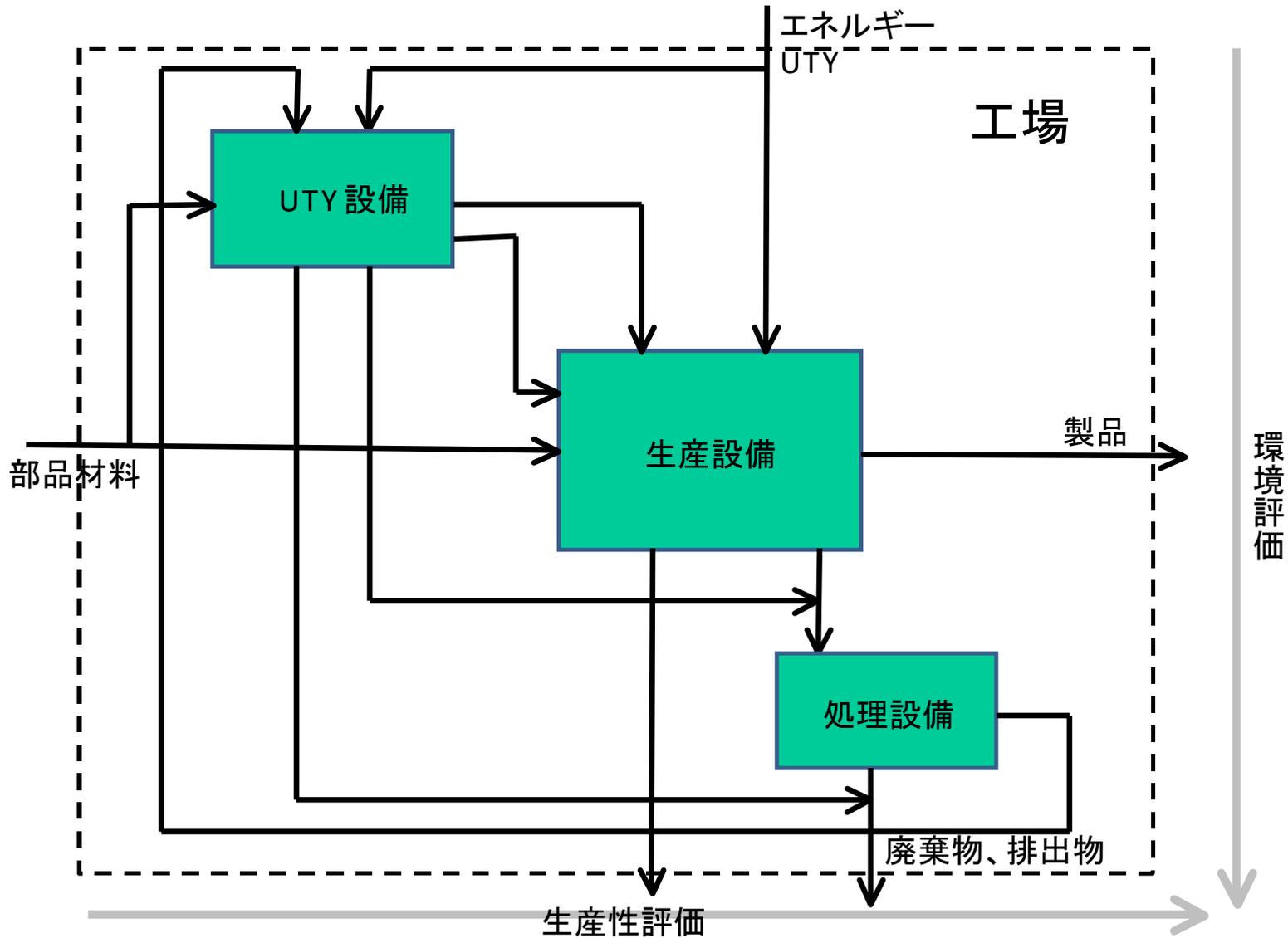


INPUT	OUTPUT
<p>エネルギー 電気、ガス、蒸気、油、冷温水</p> <p>UTY 蒸気 冷温水 水(純水、市水、工水) 潤滑油 圧空 真空 ガス(N,O他) ケミカル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音 ・排気・排熱 蒸気 廃液 排水 廃油 産廃物質 化学物質 残渣、残材 不良品 ・Co2 (換算排出エネルギー量で換算)
<p>部品・材料 副資材</p>	<p>製品</p>

提案する工場における環境評価と生産性の関連分析モデル手法 ：工場機能レベル







■ 設備レベル

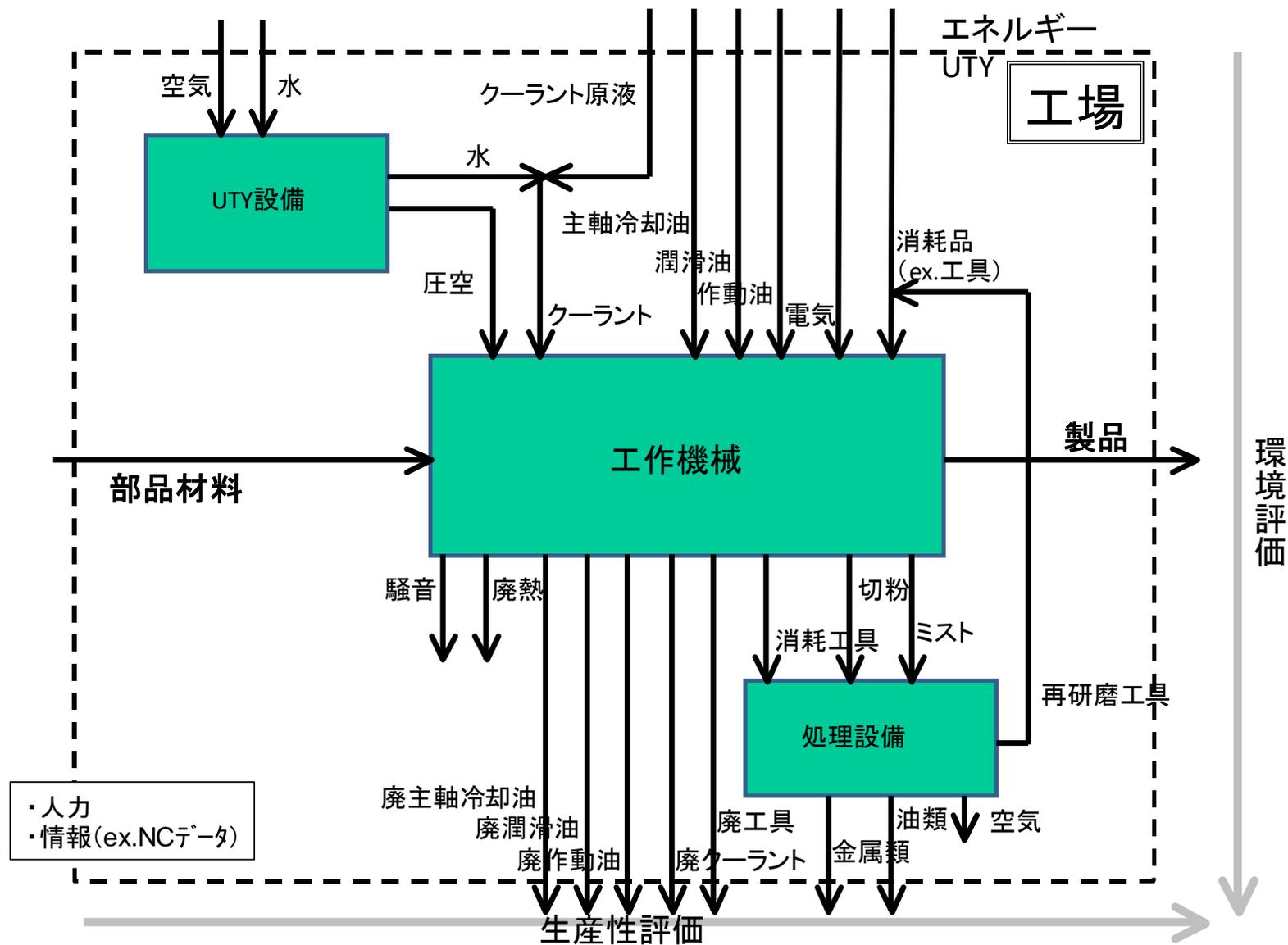
◆ 工作機械モデル

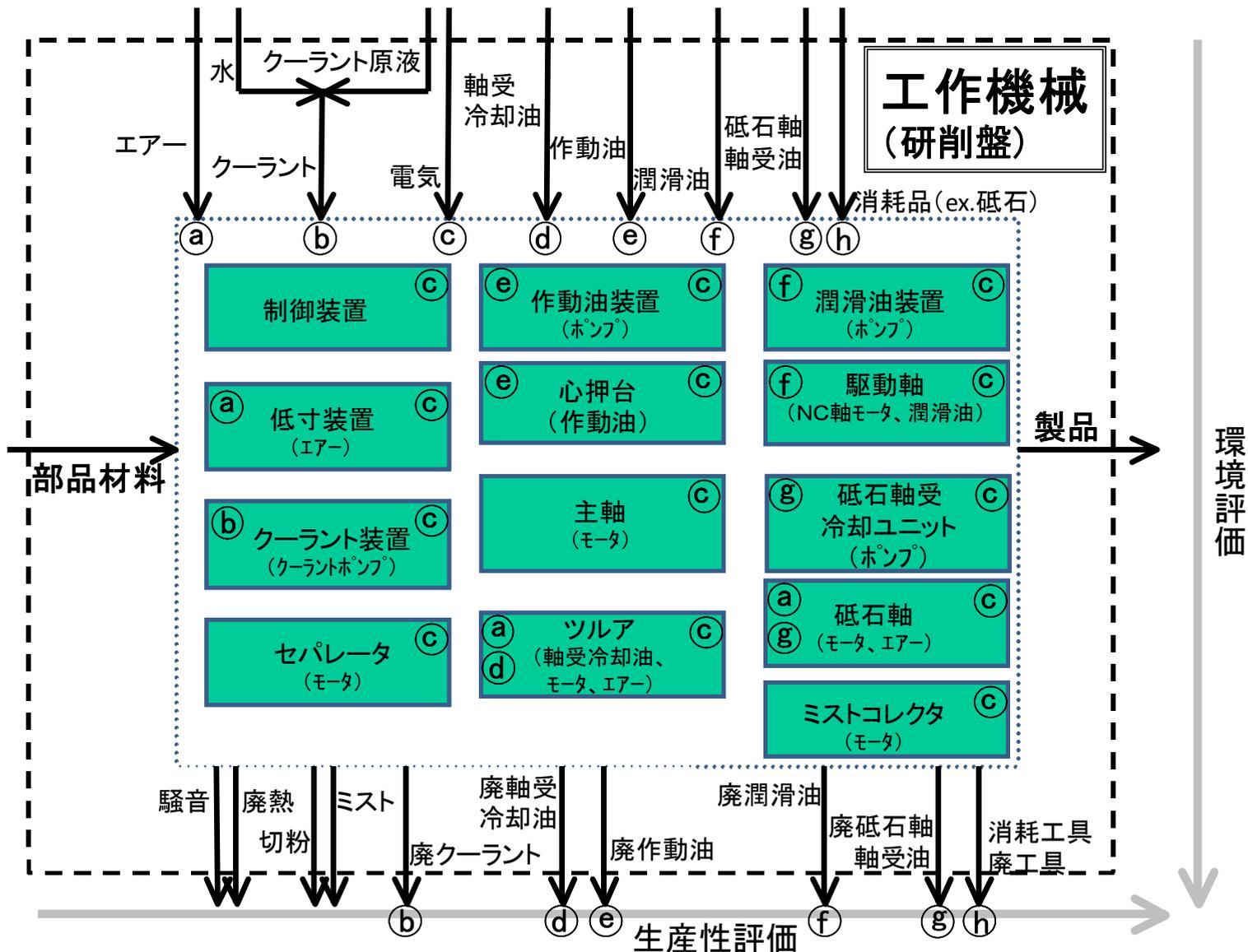
■ ラインレベル

◆ プリント板製造ラインモデル

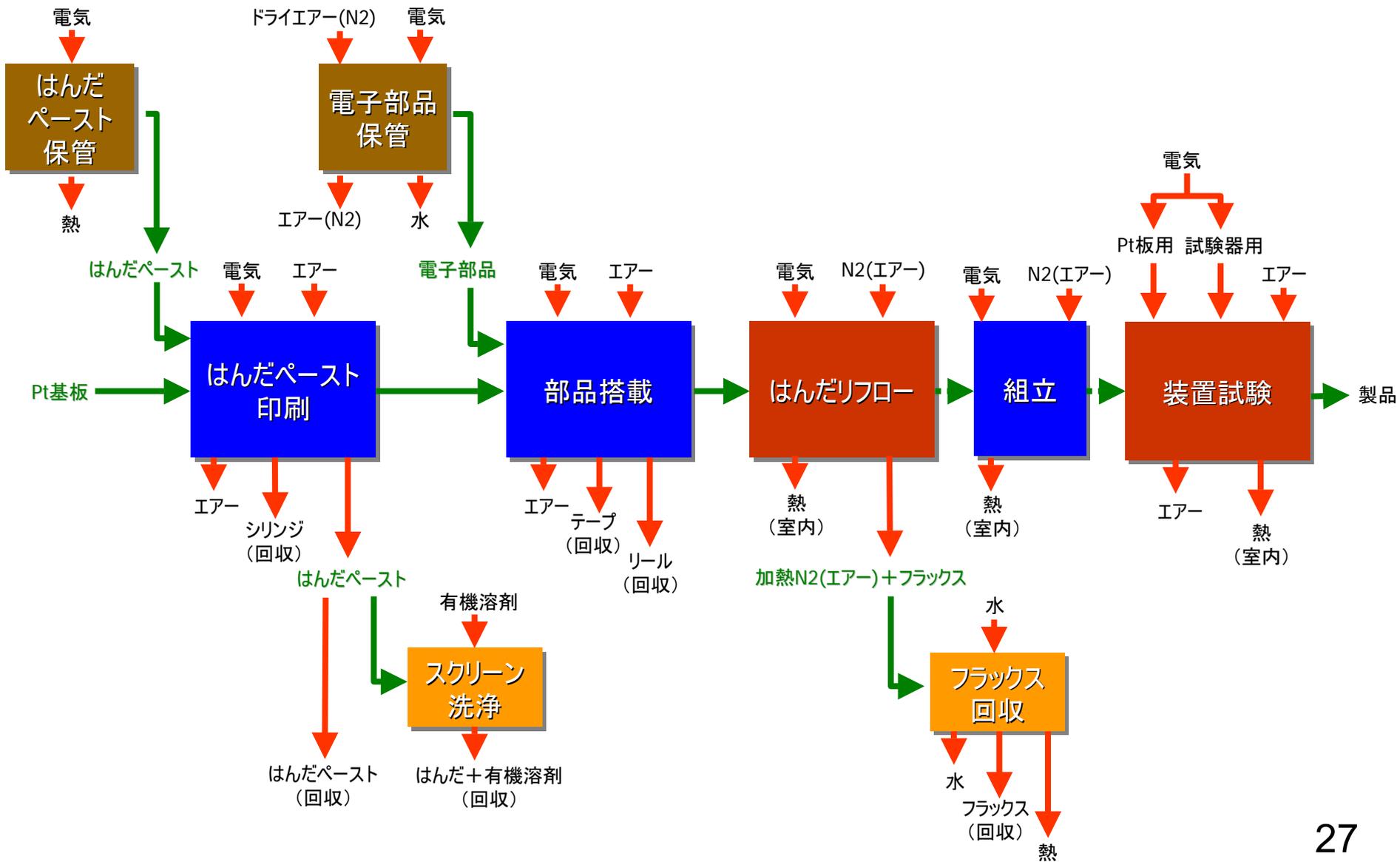
◆ 鉄道車両製造ラインモデル

◆ 半導体製造ラインモデル





ケーススタディ： プリント板製造ラインの環境評価と生産性の関連モデル



- ◆生産システムの環境側面と生産性側面の関連について分析するモデル化手法を提案した

- ◆ケーススタディで4つの異なる製造ラインを対象としてモデル記述が可能なことを確認した
 - ◆環境面を配慮した生産の工場レベルでの環境評価項目の明確化
 - ◆環境評価項目と工場・ラインおよび個別の設備との関係を明確化
 - ◆生産システムにおける環境側面と生産性側面の流れを可視的に分析

1. 活動概要
2. 生産システムにおける環境評価の代表的課題
3. 環境評価と生産性の関連分析モデル手法の提案
4. 生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーションの提案
5. 今後の課題

➤ 改正省エネルギー法の施行

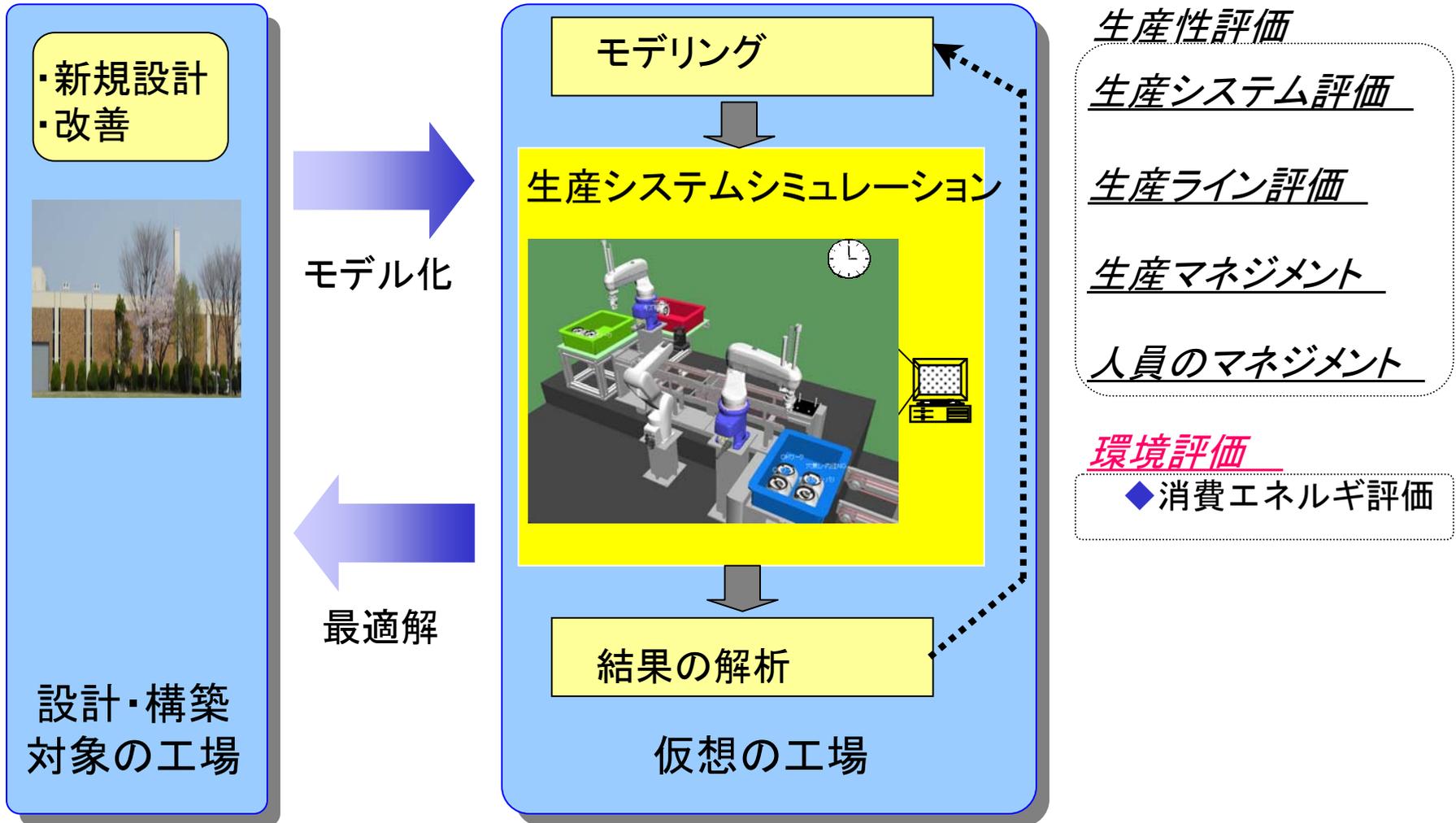
➡ エネルギーの評価と削減

➤ 東日本大震災後の電力使用制限

➡ 電力を考慮する工場管理

省エネルギー工場の設計

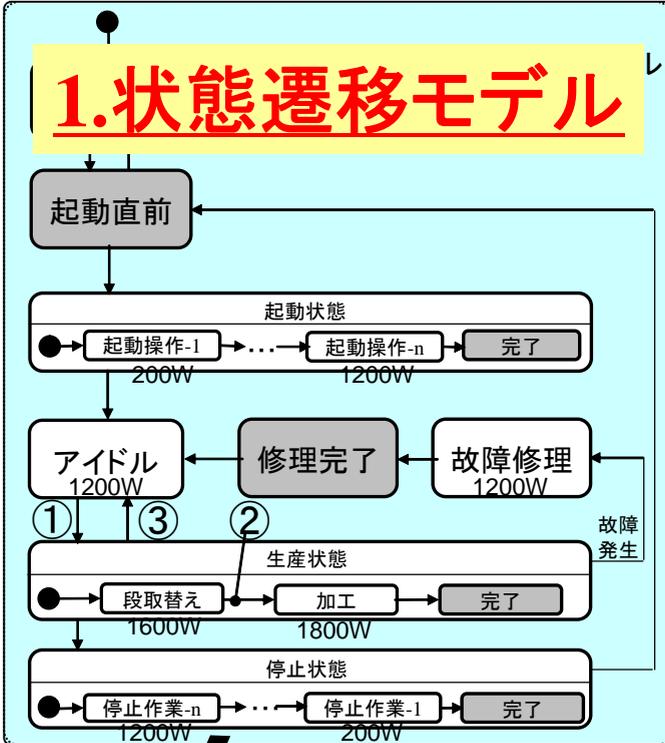
消費エネルギー量の
無駄の把握, 無駄の削減



提案する生産性と消費エネルギーを 評価するシミュレーション手法

シミュレーション

1. 状態遷移モデル

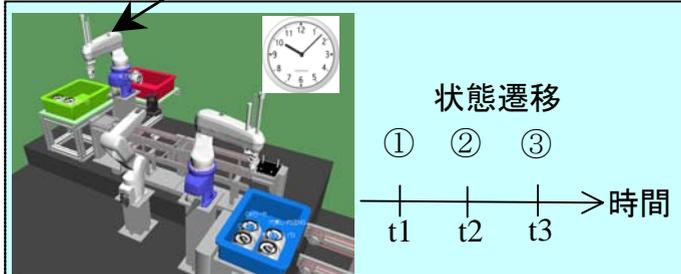


- ・新規設計
- ・改善

モデル化



最適解



生産設備の状態遷移の情報を生成

エネルギーの情報

スループットの情報

2. 情報の生成・取得

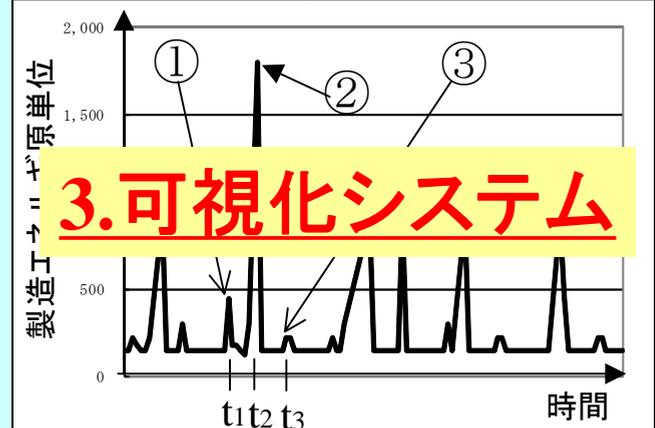
状態遷移: ①

- ・時刻: $t = t_1$
- ・生産設備
- ・設備の状態
- ・エネルギー量
- ・部品番号

状態遷移: ①

- ・時刻: $t = t_1$
- ・スループット量

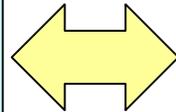
可視化システム



3. 可視化システム

消費エネルギー量の算出方法

生産設備



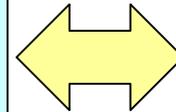
設備の状態

稼動状態

停止状態

待機状態

⋮



消費エネルギー

Ea

Eb

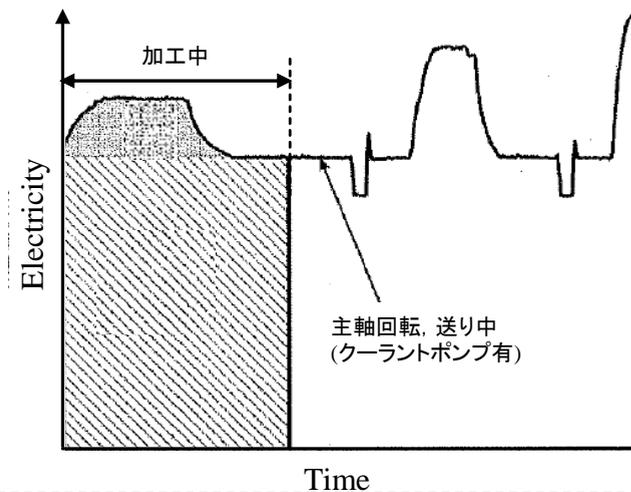
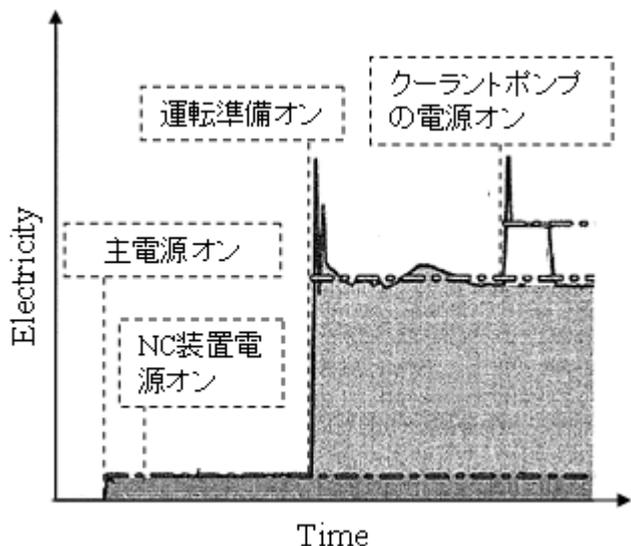
Ec

Ed

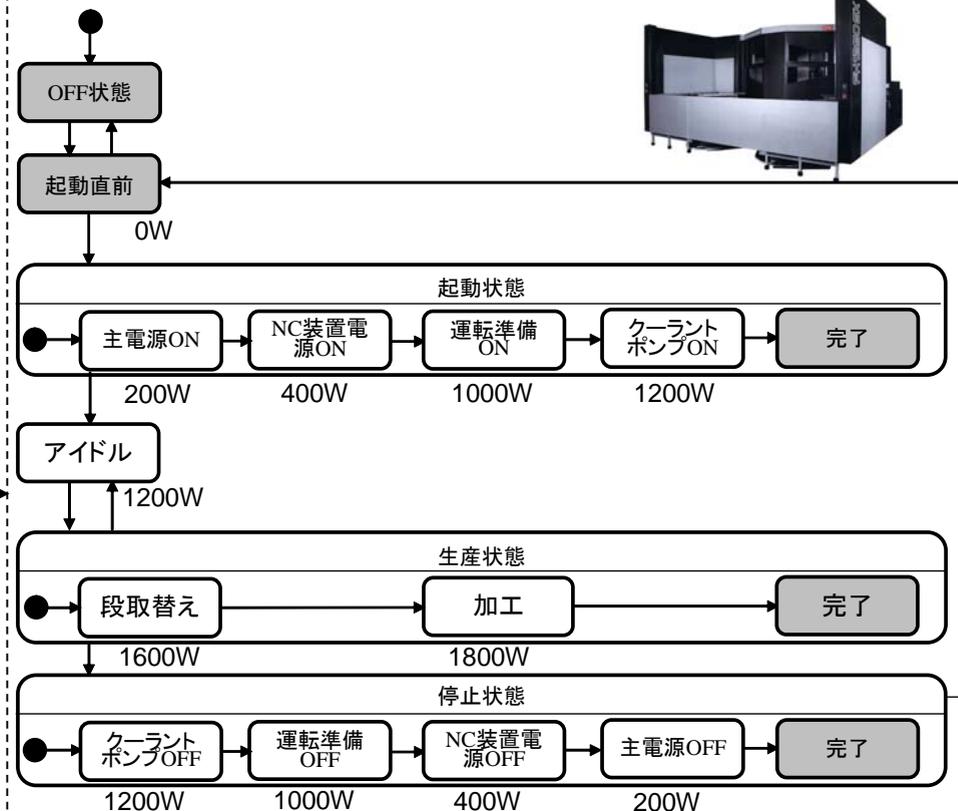
Ee

- 設備単位で評価
- 設備状態の明確化
- 設備状態と消費エネルギーの関係

標準化された消費電力測定



提案する状態遷移モデル: 工作機械



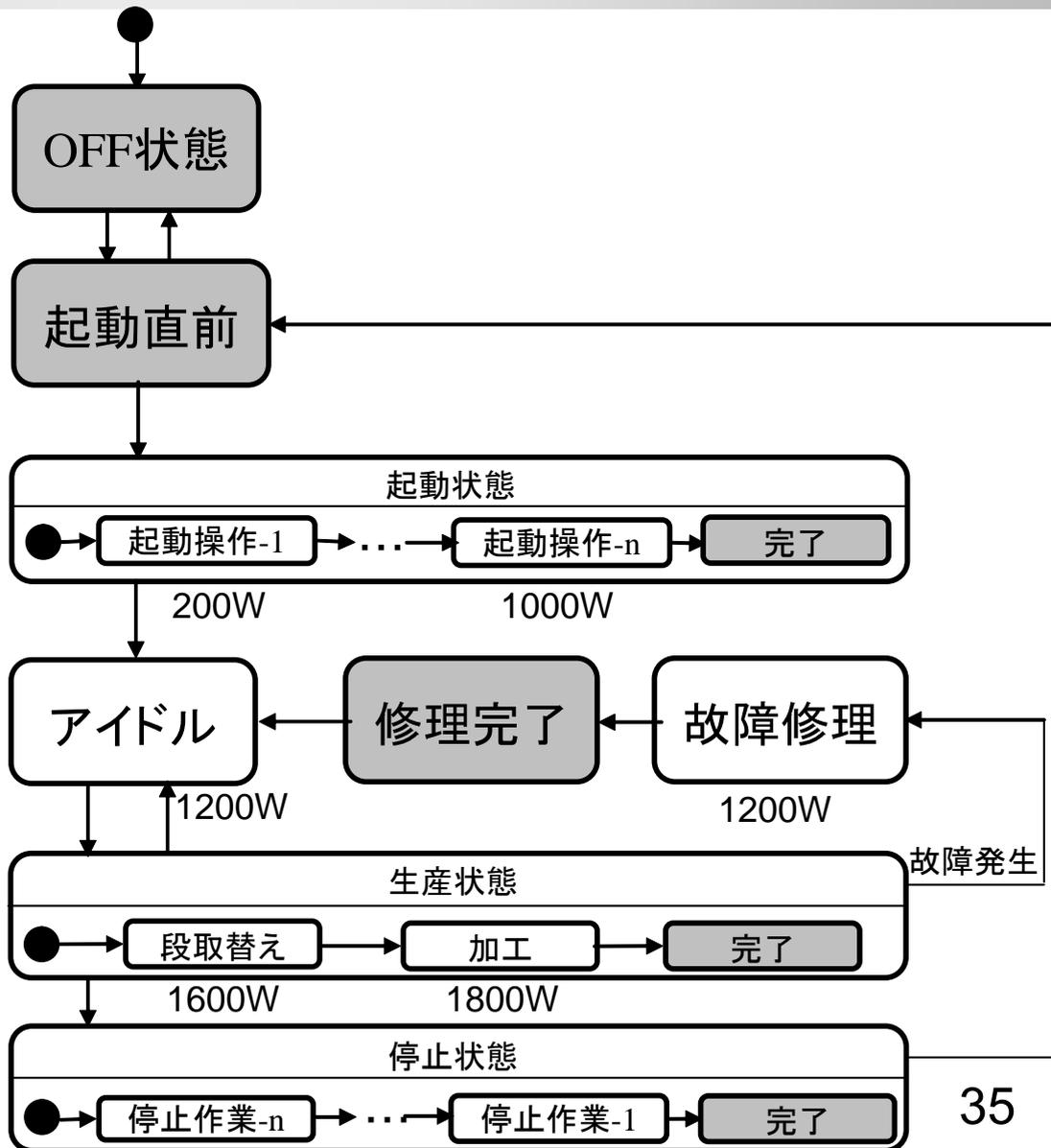
UML (Unified Modeling Language)

ソフトウェア工学におけるオブジェクトモデリングのために標準化した仕様記述言語。グラフィカルな記述で抽象化したシステムのモデル(UMLモデル)を生成する汎用モデリング言語。状態遷移の標記方法等を規定。

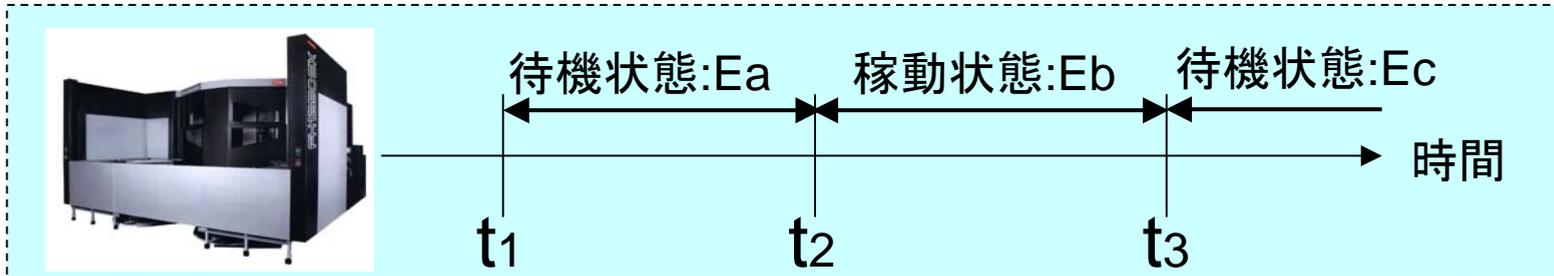
提案する状態遷移モデル



UML (Unified Modeling Language) ソフトウェア工学におけるオブジェクトモデリングのために標準化した仕様記述言語。グラフィカルな記述で抽象化したシステムのモデル (UMLモデル) を生成する汎用モデリング言語。状態遷移の表記方法を規定。



■ シミュレーション情報の取得



時刻の進行と設備状態に関する情報

- 変化時刻: $t = t_1$
- 生産設備名
- 設備状態
- 消費エネルギー量
- スループット量

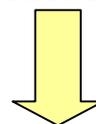
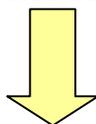
- 変化時刻: $t = t_2$
- 生産設備名
- 設備状態
- 消費エネルギー量
- スループット量

- 変化時刻: $t = t_3$
- 生産設備名
- 設備状態
- 消費エネルギー量
- スループット量

➤ 消費エネルギー量とスループット量の情報を同時に生成・取得

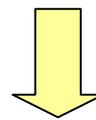
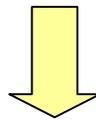
$$\text{製造エネルギー原単位} = \frac{\text{消費エネルギー量}}{\text{スループット量}}$$

製造エネルギー原単位の評価



消費エネルギー量の
情報を取得

スループット量の
情報を取得



➤ 消費エネルギー量とスループット量を同時に算出し、情報を取得する必要

■ 時間的な変動の情報を可視化

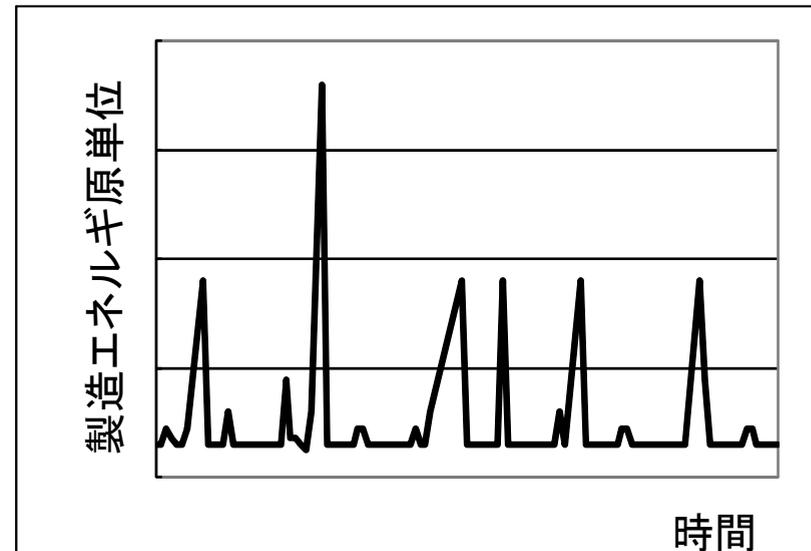
時刻の進行と設備状態に関する情報

- 変化時刻： $t = t_1$
- 生産設備名
- 設備状態
- 消費エネルギー量
- スループット量

- 変化時刻： $t = t_2$
- 生産設備名
- 設備状態
- 消費エネルギー量
- スループット量

- 変化時刻： $t = t_3$
- 生産設備名
- 設備状態
- 消費エネルギー量
- スループット量

➤ 情報を可視化評価するシステム



生産性と消費エネルギーを評価する シミュレーションのまとめ

- 生産性と消費エネルギー量を生産システム構築時に事前評価するシミュレーション手法を提案
- 情報処理機器製造ラインを対象に提案手法の適用を確認した
 - 提案する状態遷移モデルをシミュレーションに実装
 - スループット量と消費エネルギー量を時刻にあわせて同時に算出
 - 評価時間分割単位で製造エネルギー原単位を可視化評価
 - 生産性と消費電力の相互評価により前工程の影響による無駄なエネルギーを評価可能

1. 活動概要
2. 生産システムにおける環境評価の代表的課題
3. 環境評価と生産性の関連分析モデル手法の提案
4. 生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーションの提案
5. 今後の課題

活動結果

- ◆ 「生産システムにおける環境評価の代表的課題」を整理した。
- ◆ 「環境評価と生産性の関連分析モデル手法」を提案した。
- ◆ 「生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーション」を提案した。

今後の課題

- ◆ 提案した「環境評価と生産性の関連分析モデル手法」、および、「生産性と消費エネルギーを評価するシミュレーション」について、企業内での実適用
- ◆ 生産システム計画・構築時の環境側面を含む事前評価について、本活動を通じて、課題を明確にした。一部については、課題の解決策を提示できた。今後、さらなる解決手段の議論が必要であり、アイデアファクトリーのようなオープンな場での議論が重要である。また、産学官連携での課題解決のプロジェクト化が重要である。

ご清聴ありがとうございました

E-mail: hibino@tri.jspmi.or.jp