

調査・研究報告書の要約

書名	平成18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				
発行機関名	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				
発行年月	平成19年3月	頁数	177頁	判型	A4

[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 - 1 6
3.1 WG 7 東京会議報告	II - 1 6
3.2 WG 7 デイトナ会議報告	II - 3 2
4. 設備保全に関する標準原案	II - 4 9
4.1 ISO/WD-18435 の概要	II - 4 9
4.2 ADID (Application Domain Integration Diagram)	II - 5 4
4.3 ソフトウェア・メンテナンスのユースケース	II - 6 1
4.4 水処理のユースケース (Annex D の解説)	II - 7 0
5. まとめ	II - 7 7

[要約]

本調査研究の第1部は、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。

第2部は、現在 ISO/TC184/SC5/WG7 で検討を行っている「産業オートメーションシステムとインテグレーション-パート1」(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。

第1部

生産ラインの環境負荷評価を考えるにあたっては、生産ライン全体からトップダウンでアプローチする方法と、生産ラインを構成する各要素の評価の積み上げによって全体を評価するアプローチが考えられる。また、生産される製品については、すでに各種の環境影響評価手法が存在する。本報告書では、まず一般的な環境評価手法について整理した。

1 一般的な環境評価手法の整理

1.1 一般的な環境評価手法の概要及び特性

(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。

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。

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。

(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。

エコ・エフィシェ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。

(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の地球環境の許容量(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。

(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。

1.2 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。

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。

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。

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 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)	

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。

1.3 標準化可能性

(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。

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。

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するのではないかと期待される。

(2) 生産ライン環境効率評価の実用性、汎用性 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. 生産ラインの環境負荷評価

2.1 トータルパフォーマンス指標

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）がある。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。

この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。

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。

2.2 切削・研削加工

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。

(1) 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。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いる。

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。

2.3 素形材製造プロセスにおける環境負荷評価

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。

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エネルギー消費型の前工程がする。

2.4 階層構造を有する生産ラインの環境評価手法

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。この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)

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。

階層構造の環境評価手法を用いて自動車用センサー部品生産ラインの環境負荷を評価した。

3. 生産ラインとしての環境負荷評価の事例

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。

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。

第2部

1. 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

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。

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。

3. 現在のメンテナンスに関する標準化状況

既存の規格を、以下のように分類する。

- 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

上記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。

4. メンテナンスに関する標準化

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。

これまでオーナオペレータ企業は、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。

5. 国際標準化



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。

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。

	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/	
---	--	---