

## 調査研究報告書の要約

分類・テーマ別	L・1		分類・業種別	8・1	
書名	平成 15 年度環境適合設計手法の標準化に関する調査研究報告書 (平成 15 年度事業 環境適合設計手法標準化分科会報告書)				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会				
発行年	H16(2004)	頁数	161 頁	識別	15 環境・安全 1

### 目次

1. はじめに
2. 環境適合設計を取りまく状況
  - 2.1 工作機械に関する環境指針づくりと機械工業分野への展開
  - 2.2 環境適合設計に対する研究・調査の動向
  - 2.3 標準化の動向
3. 機械工業分野の特徴の明確化に関する研究
  - 3.1 機械工業分野の環境適合設計指針(評価項目)の調査研究の結果
  - 3.2 機械工業分野の特徴
  - 3.3 環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果
  - 3.4 “機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”の各項目に対するアンケート結果の使い方と使用範囲
  - 3.5 各工業会でのセクtralな指針作成へのアプローチの実施例
4. 環境適合設計の評価・支援ツール
  - 4.1 取組み概要
  - 4.2 環境要求と環境影響の関連の明確化
  - 4.3 多段遠心ポンプへの適用事例
  - 4.4 建設機械への適用事例

#### 4.5 QFDE と LCA の比較

#### 4.6 まとめ

### 5. まとめと今後の課題

#### 要約

##### 1.はじめに

我が国機械工業界の設計開発技術者に有用な環境適合設計の基本的な考え方とツールはどのようなものであるべきかを紹介し、環境適合設計指針に対する我が国機械工業界のポジション形成に寄与することを狙いとして(社)日本機械工業連合会が環境適合設計に関わる調査研究を開始して3年になる。初年度のライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)、環境適合設計(DfE: Design for Environment)ツール調査や国際標準化動向調査から、2年目の品質機能展開(QFD: Quality Function Deployment)、環境適合設計のチェックリスト検討などを通じて、生産財としての産業用・工作機械の環境側面が徐々に明確になってきた。

この一連の研究が進められた3年間は、国内外で環境適合設計に関する標準化が一挙に加速した時期である。すでにISO TR 14062(通称 環境適合設計ガイド: ISO DfE ガイド)に対応する包括的な標準情報(TR)としての「環境適合設計」は2003年7月に日本工業標準調査会から発行され、これを各産業分野別の規格に落とし込む動きが始まっている。また、電気電子製品分野では、この産業別規格作成の主導権を巡って欧州と日本の駆け引きが激化している。この種の標準化の動きについては、本報告書の第2章で報告されている。

さて、このような状況の下で今年度は、環境適合設計手法標準化に資する研究に焦点をあて、分科会に2つのWGを設置し研究を進めてきた。一つのWGは、東京工業大学の斎藤義夫教授を主査とし、機械工業分野の環境適合設計の特徴を明確にし、機械工業分野での環境適合設計指針に必要な設計評価項目を明らかにした。これについては、第3章で報告されている。もう一つのWGは、(株)三菱総合研究所の坂尾知彦博士を主査とし、環境適合設計の評価・支援ツールとして検討を進め、特に、QFDの機械工業分野における適用可能性の検証作業やLCAとQFDとの関係性についての整理と理論武装を行った。これについては第4章で報告されている。第5章では、本研究のまとめと今後の課題が示されている。(抜粋 環境適合設計手法標準化分科会主査 筑波大学 椿 広計)

##### 2. 環境適合設計を取りまく状況

###### 2.1 工作機械に関する環境指針づくりと機械工業分野への展開

(社)日本工作機械工業会は、環境に対する社会的な問題意識のたかまりを考慮して、平成7年度より「工作機械の環境安全対策に関する調査研究」を開始し、3年間にわたり、工

作機械の環境負荷について調査を行い、工業会としての環境関連課題に関して検討を実施した。自動車産業、家電産業において ISO14000 シリーズの認証取得が盛んになり始めた時期であり、これらの産業の生産技術を基盤から支えている工作機械も環境問題は避けられない課題との認識からである。

当初は、工場内でフル稼働している工作機械が大量のエミッションを排出し、環境負荷が大きいとの先入観があり、ISO14000 シリーズや LCA の考え方を理解して、対応策を講じることに主眼が置かれていた。ところが、調査研究を進めていくと、ISO の規格は企業モラルを規定するものであり、欧州の戦略的な意図がうかがえること、また LCA の手法も未解決の課題を内包しており確立した手法とは言えず、環境負荷を正確に把握して議論できる状況ではないことが明らかになった。

さらに、上記調査研究は平成10年から「環境対応型工作機械に関する調査研究」に引き継がれ、さらに3年間にわたり、生産財である工作機械の特性、特徴に焦点をあてて、環境対応へ転換するための技術課題について抽出を行った。両方合わせて6年間、工作機械の環境への影響について調査研究を実施し、環境に関する指針を作るとともに、環境評価設計マニュアル、工作機械用 LCA について新しい提案を行った。

これらの活動を通して、工業会として工作機械の環境問題に関する意識をたかめ、環境関連技術の発展に貢献したといえる。そこで、ここでは工作機械に関して得られた成果を簡単に要約して紹介し、機械工業分野への展開の可能性について検討を加えた。

工作機械と機械工業分野の製品とを比較して、環境適合設計との関連について簡単に考察してみると、工作機械では生産性設計と組立性設計を中心に検討が行われ、最近では環境性配慮設計を考慮する傾向であることを述べたが、機械工業分野の製品についても同様である。目標仕様を達成するために、あらゆる角度から効率や生産性を考慮して、機械工業製品の設計がなされている。良いものを安く、早く作ることは当然の目標であり、これに追従して関連技術の発展が行われてきたが、機械工業分野では電気電子工業分野と比較すると、環境性に対する議論が遅れているといえる。

この原因として、工作機械の場合と同様に、機械設計の基本は無駄なく効率よく製品を作ること为目标にしており、環境性を直接意識しなくても自から環境にやさしい設計に結びついてきたことが挙げられる。これに対して、パソコンや携帯電話のように、機能の向上が著しく製品寿命が短い電子関連製品では、短いサイクルで製品を大量に生産し頒布することを重視して設計が行われており、新製品の投入により廃棄される旧機種については等閑視されていた。ところが、旧機種を新品の状態で大量に処分せざるを得ない状況は明らかに無駄が多く、環境に対しては良いとはいえない。そのため、負のイメージを解消する

ために、3R を基本とした JEITA のガイドラインが提示されたのではないかと、憶測したくなる状況である。

機械工業分野と電気電子工業分野では、製品の持つ特徴や背景が異なるため、着眼点も違ってくるので、上記のような相違は容認せざるを得ない。しかし、環境に対する社会的な要求は明確な目標に向かっており、世界的な動向として環境適合設計の必要性は確実に増大している。そこで、JEITA との相違点を明確にして機械工業分野の特徴を把握した上で環境適合設計を提案することが急務と考える。

特に、機械工業分野における設計は工作機械の場合と類似していることから、従来の設計工程で分析、検討していた内容は、環境の観点からも高く評価できると予想される。効率を重視した設計、生産性を考慮した設計、性能を向上した設計などは、基本的にはすべて環境適合設計に対応付けることが可能であり、3R の項目に置き換えられると考える。設計段階での評価項目を環境性の観点から見直しして、環境適合設計として強調することが今後の重要な課題といえる。

## 2.2 環境適合設計に対する研究・調査の動向

環境適合設計については、現在も手法に関する研究ならびに手法の適用に関する調査や研究が行なわれている。特に環境適合設計に利用可能な個別の手法は、多数のものが開発されており、それらは文献に詳しく述べられている。適用事例は、“Going Green” というシリーズのもとに各隔年で開催されている日本での Ecodesign 国際会議と欧州での国際会議において多く発表されている。その他 CIRP や IEEE も定期的に関連会議を持っている。左記の会議の内、2003 年は、5 月にアメリカ（ボストン）で IEEE の International Symposium on Electronics & Environment が、デンマーク（コペンハーゲン）で 5 月に CIRP の International Seminar on Life-Cycle Engineering が、12 月に日本（東京）で Ecodesign 国際会議が、開催された。

本項では、品質機能展開（QFD：Quality Function Deployment）を利用した環境適合設計の手法に焦点を当てて現状を概観する。QFD を利用した環境適合設計の手法を開発している研究グループを次に挙げる。

米国（Florida State University）のグループ

ドイツ（Darmstadt University of Technology）のグループ

オーストリア（Vienna University of Technology）のグループ

我が国の（本 WG1）のグループ

特に、ドイツ、オーストリアのグループからは 2003 年の国際会議にほぼ初めて発表がなされ、QFD を利用した環境適合設計の手法開発に世界的にも期待が高まっていることを示

している。各々のグループの研究内容を簡単に述べた。

米国のグループは、1998年に環境適合設計分野の国際ジャーナルに成果を発表し、他のグループよりも一歩先んじている感がある。我が国のグループは2003年に国際ジャーナルに成果を発表しているが、ドイツとオーストリアのグループからのジャーナルペーパーは現在のところ見られない。

研究内容を鑑みると、以下の点で本WG1のQFDEに関する研究は技術的な独自性を有する。

LCAの結果をそのままQFDに取り込むのではなく、LCAとQFDEの両者の結果を相互補完的に扱う(米国とドイツのグループはLCAの結果をそのままQFDに取り込むスタンスを採用している)。

LCAと環境調和型QFDの結果の比較検討を行い、相互の類似性を検討している(他のグループでは見られない)。

上記より、本WG1の研究は技術的な独自性も比較的高いものと考えられる。

### 2.3 標準化の動向

2002年11月1日の環境適合設計に関するテクニカルレポートISO TR 14062の発行を受けて、我が国ではこれを翻訳し2003年7月1日に、標準情報Q0007として発行した。ISOテクニカルレポートの発行に伴い、本案件を審議していたISO TC207 WG3は解散した。環境適合設計に関する標準化は、今後、製品分野別ガイドラインにウェイトが移行するものと考えられる。事実、欧州電気産業の一部は積極的にISO TR 14062の意図を尊重したと称する「規格案」の作成並びにその国際規格化を仕掛けている。

さて、現在ISO 14000シリーズのコア規格である、ISO 14001、14004の改訂作業が最終段階に近づいている。今回の改訂は、ISO 9000シリーズとの整合性を向上させると共に、「従来のEMS (Environmental Management System) が、組織の直接関係する環境影響の管理に主軸があったのを、組織活動が間接的に関連する環境影響にも焦点を与えていること、が特徴である。これを通じて、メーカーならば製品設計などの環境側面も、EMSの中により強く位置づけられることが期待される。これらを狙った環境マネジメントは、POEM (Product Oriented Environment Management) と呼ばれており、EMSを本業回帰させる一つの指針と考えられている。

環境適合設計に関して、欧州委員会企業総局は、2003年8月1日にEuP指令(“Eco Design Requirements for Energy Using Products”)案を欧州委員会に提出した。今後1~2年で採択される可能性が強い。EuPは、いわゆる「枠組み指令」であり、施行後に欧州規格あるいは国際規格に基づく施行措置が定められることになる。対象製品は、エネル

ギーの投入により機能するあらゆる製品（輸送機器を除く）となっているが、さらに、指令の対象となる製品分野を特定した上で、1）製品のライフサイクル全般の環境影響を包括した DfE 要求を出すか、あるいは 2）特定の環境影響に限定した DfE 要求を出すことでエネルギー効率を最適化した環境配慮製品を欧州に流通させようというものである。上述したように、現在、欧州の一部産業が LCA を行わない国際規格原案を ISO TR 14062 の製品分野別規格（TR ではない）として ISO や IEC に Fast Track（大幅に審議を省略）での制定を呼びかけている。これは、ISO/IEC 規格制定によって欧州規格が「特定の環境影響」に絞り込んだ内容に限定されざるを得なくなることを狙った政治的動きである。

### 3. 機械工業分野の特徴の明確化に関する研究

(1)環境適合設計に関しては、これまで電気電子分野のような消費財を主体に検討が行われ、機械工業分野のような生産財を対象に、検討が行われた例は見当たらない。

そこで、電気電子分野のような消費財の環境の評価項目に対して、機械工業分野のような生産財の環境の評価項目がどのように異なっており、どのような評価項目を追加する必要があるかにつき検討することを計画した。昨年度は、JEITA のガイドの中に示される各評価項目について、機械工業分野との相違に関するアンケート調査により、電気電子分野の評価項目との相違に関する調査研究を行い、それらの結果を纏めた。

(2)本年度は、引き続き、生産財としての機械工業分野の製品に適用する環境適合設計の指針（評価項目）の作成を具体的に行い、それらを通して、機械工業分野の特徴づけを明確にした。

今回の調査研究は、WG2 及び WG2 幹事会委員へのアンケート調査とその結果に対する WG2 及び WG2 幹事会の会合での討議によって進めることとし、機械工業分野の環境適合設計・評価項目を導き出し、表として纏めた。

表に示す“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”と、それら各評価項目に対する“アンケート調査結果”は、それらに関する検討を通して、環境適合設計に関する機械工業分野の特徴づけを明確にすることを目的として行った成果である。

ただし、表に示す“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”とアンケート調査結果は、WG2 の委員の企業で生産している製品を対象にしたものであり、機械工業分野の全体を対象としていない。

しかし、審議の過程で、これら“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”は、色々なケースで使われ、有用であることが判明したので、参考までに、それらの活用の仕方について主なものを次に記載した（項目のみを記載）。これらの内容は、主に、利用者に情報提供の役割を果たすもので、利用者が、これらの内容の必要な部分を選択し、ま

た不必要な部分を削除し、或いは、必要に応じて、別の内容を加えて、使いこなすことが必要となる。また、これらの内容は、色々な使われ方に対して自ずから限界があり、参考までに、審議過程で得られた注意事項やその使用範囲についても記載を行った。

- (1) “ 製品の設計仕様の決定時 ” に活用
- (2) “ 環境調和型品質機能展開 ( QFDE ) の実施 ” に活用
- (3) 環境適合設計手法としての “ チェックリスト作成 ” に活用
- (4) “ 製品のデザインレビュー ( DR ) ” に活用
- (5) “ 工業会や企業の環境適合設計の指針作成 ” に活用
- (6) 機械工業分野の “ 包括的な環境適合設計の指針作成 ” に活用

#### 4. 環境適合設計の評価・支援ツール

##### 4.1 取組み概要

WG1 の初年度( 平成 14 年度 )は、機械工業分野における環境適合設計ツールとして QFDE を整備し、多段遠心ポンプへの適用を行った ( フェーズ I、II まで ) が、QFDE のツールとして LCA との比較などによる高度化及び妥当性・有効性の検証について完全には実施するにいたっていない。本年度はこれらのツールの展開を試みることから以下の 4 点を目的とし活動した。

- (a) 本ツールのユーザーである製造業各社で問題視されている環境影響 ( 環境対策 ) と、QFDE の出発点である環境要求との関係を明らかにするなど、QFDE がより実践的で利用しやすいツールとなるよう検討する。
- (b) 本ツールを設計初期段階で利用した際の結果と LCA の結果を比較することで QFDE の妥当性を検証する。
- (c) 本ツールの多段遠心ポンプへの適用をフェーズ III、IV までに拡大し、QFDE の更なる有効性を検証する。
- (d) 本ツールの適用対象を建設機械 ( 油圧ショベル ) に拡大し、QFDE の有効性を検証する。

本年度の WG1 は、前述の 4 つの目的に応じて、以下の 4 つのサブワーキンググループ ( SWG ) を設置し、次に示す活動を行った。

- (a) SWG1 : 平成 14 年度に抽出した「機械工業分野の製品に対するライフサイクルを通じた環境要求」と、環境影響 ( 労働・使用環境への影響、地域環境への影響、地球環境への影響 ) との関係を明らかにし、環境要求が満たされた場合の環境影響への改善効果や、またその逆に製造業各社が解決しようとしている大局的な環境問題に対して、製品設計上どのようなアプローチをしていくべきか、その視点を与えられるように従

来の QFDE にとっては前処理段階に相当する部分を加えた。

- (b) SWG2：平成 14 年度、本年度 SWG3 において QFDE を適用した多段遠心ポンプを例題にして、同一製品の LCA の結果と比較することによって QFDE の特徴を明らかにした。その結果、QFDE は、設計者が製品に対して改善を施すために、より具体的な情報を提供するなどの特徴を有することが判った。
- (c) SWG3：平成 14 年度に QFDE のフェーズ I、II を適用した多段遠心ポンプを例題にして、フェーズ III、IV までを適用した。その結果、具体的な改善策の効果を調べるというフェーズ III、IV の有効性が確認された。
- (d) SWG4：QFDE のフェーズ I、II を建設機械（油圧ショベル）に適用した。得られた結果は設計者にとって違和感のないものであり、QFDE が建設機械へ適用可能性を有することが判った。

#### 4.2 環境要求と環境影響の関連の明確化

QFDE を環境適合設計のツールとして利用するためには、まずは製品に対する環境側面からの要求事項（環境要求）をまとめなければならぬ。環境要求の整理に際しては、社内の設計部門ばかりではなく、製品のライフサイクルを通じて環境に与える影響を考慮し、製造、設計、購買、メンテナンス、環境などの各部門からの出席者がそれぞれの立場で環境要求を列挙する必要がある。平成 14 年度に抽出した「機械工業分野の製品に対する環境要求」は、製品の全ライフサイクルを通じて製品が環境に与える影響を考慮に入れていることを特徴としていたが、その環境要求を見ると、騒音・振動などの工場働く作業員にとっての環境を意識したものから、省エネルギー、リサイクルの容易性といった地球環境を意識したものまで含まれており、一口に環境要求といってもその影響の範囲に大小があることが指摘されていた。前述のように、環境影響の範囲が異なる場合、社内でも責任者が異なることが多いことから、環境要求を影響の大きさ（範囲）で区別する必要が生じた。

そこで SWG1 では、製品に対する環境要求の社内での責任の明確化を目的として、昨年度抽出した環境要求を環境影響の範囲に応じて区別することを検討した。影響の範囲としては「労働・使用環境」、「地域環境」、「地球環境」と区分し、それぞれの区分で考えられる具体的な環境影響を例示、さらに環境要求と環境影響項目の関連性を明確にした。

#### 4.3 多段遠心ポンプへの適用事例

本項では環境側面を考慮した QFDE を機械工業分野の製品に適用した事例を示す。本分科会では機械工業分野の製品への QFDE 試行例として、汎用陸上型の多段遠心ポンプを題材に取り上げた。

QFDE は 4 つのフェーズに分かれており、フェーズⅠとフェーズⅡを行うことによって、



対象製品の環境側面からの重要なコンポーネント及び部品特性が特定できる。

QFDE には更にフェーズⅠとフェーズⅡがある。この2段階の実行によって、実際の設計(改善)案の中から環境側面で最良の案を決定することができる。

平成14年度報告書ではQFDE フェーズⅠとフェーズⅡの実施方法について記述した。本年度報告書ではフェーズⅠ～フェーズⅡまで通して実施例を記す。

なお、フェーズⅠ～フェーズⅡについては平成14年度報告書掲載事項を見直し、重要度の数値を始め、全体的により正鵠を射た内容に改訂してある。

#### 4.4 建設機械への適用事例

機械工業分野にはポンプ以外にも種々多様な製品が存在するため、環境適合設計手法としてのQFDEを一層の普及を図るためには、他の製品へ適用し、有効性の検証だけでなく、それを通じた問題点の洗い出しも必要である。

そこで、建設機械としてもっとも普及している油圧ショベルの中で、生産量も多い方で、比較的各社の情報が集め易く、解析結果を上下のクラスの製品にも適用し易い、11tクラスの油圧ショベルを対象製品とすることとして、QFDEのフェーズⅠ、Ⅱを実施した。

得られた結果は設計者にとって違和感のないものであり、QFDEが建設機械へ適用可能性を有することが判った。ただし、ここで示した適用事例は、適用可能性の検証に重点を置いたため、QFDEの項目は数が多くならないよう配慮した。実際の製品設計に適用する際にはより詳細な項目を設定することによって、より詳細なアウトプットを得るものと考えられる。

#### 4.5 QFDEとLCAの比較

ここでは、QFDEの適用結果を同一製品に対するLCAの適用結果と比較することによって、QFDEの結果の妥当性を検証すると同時に、QFDEの特長を明らかにすることを目的とした。試行の対象とした製品は多段遠心ポンプである。

比較の結果、LCAに対してQFDEが有する特徴を次のようにまとめた。(項目のみ記載)

- (1) コンポーネントの役割を半定量的に表現
- (2) 製品寿命に影響を与える要因を表現
- (3) メンテナンス等のLCAでは表現容易ではない部分を表現
- (4) マーケティングと接続性が良い

また、QFDEは、設計者が製品を改善するために、より有益な情報を提供することが判った。ただし、QFDEでは顧客要求と環境要求及びそれらの重みが重要な入力情報であるため、それらの適切な与え方については、今後、更なる検討を要する。また、本作業に対する実際の設計・開発者のコメントやニーズを収集し、分析することも課題として考えら

れる。

## 4.6 まとめ

### (1) 本年度の成果のまとめ

本年度の WG 1 の活動の結果として次の成果を得た。

- (i) 環境要求と環境影響との関係を明らかにし、QFDE がより実践的で利用しやすいツールとなるよう整備を行った (SWG1)。
- (ii) LCA と比較することによって、QFDE の出力が妥当性を有することを明らかにし、また QFDE は設計者が製品に対して改善を施すためにより具体的な情報を提供するなどの特徴を有することを明らかにした (SWG 2)。
- (iii) 多段遠心ポンプへ適用することによって、QFDE フェーズ III、IV の有効性を検証した (SWG 3)。
- (iv) 建設機械 (油圧ショベル) へ適用することによって、QFDE フェーズ I、II の更なる有効性を検証した (SWG 4)。

以上は次のように分類できる。

- ・ QFDE の利用可能性拡大のための整備 (SWG1)
- ・ QFDE の手法としての特徴の確認 (SWG 2)
- ・ QFDE の適用可能性の確認 (SWG 3、4)

今後は各々の要素を組み合わせながら、QFDE については更に検討を深めていくことが有効と考えられる。

### (2) 環境設計プロセス標準化への展開

平成 14 年度及び本年度の調査研究によって、環境適合設計において QFDE というツールが機械工業分野において適用可能であることを重点的に明らかにした。同時に、本年度の SWG1 において QFDE を行なう前の段階の製品開発に関連する作業の支援、本年度の SWG 2 において他のツールである LCA との連携について検討を行った。これらの調査研究を通じて、環境適合設計を適用する設計プロセスの全体を検討するための素地ができと考えられる。

一方、環境適合設計の標準化に関しては、ISO の TR や EU 指令においても設計プロセスの標準化までは検討されていない。機械製品設計と一言でいっても、対象によって性質が異なる部分が多々あることが理由の 1 つであろう。本分科会は機械工業分野の製品を対象を絞っているため、設計プロセスを標準化する試みも可能性を有すると考えられる。

### (3) 実際の設計プロセスでの QFDE の活用展開方法

本調査研究においては、環境適合設計において QFDE というツールが機械工業分野にお

いて適用可能であることを明らかにしてきた。また、環境適合設計の評価・支援ツールとして LCA も取り上げて手法に関して検討を行なった。ここでは、実際の設計現場において QFDE 及び LCA を活用する際の課題を次に挙げる。

(i) 新規の製品への適用について

多段遠心ポンプ及び油圧ショベルという分野の異なる製品への適用可能性を検証したが、機械工業分野の他の製品に適用する際には、環境要求や環境側面の工学的尺度について列挙するという作業が必要となる。環境要求については、平成 14 年度に汎用的なセットを作成したため、それから選び出す作業だけで良いが、環境側面の工学的尺度については他の実施事例を参考にしながら列挙する必要がある。

(ii) 他のツールとの連携について

まず、製品設計の全体の中で QFDE と LCA の利用について述べる。一般的な設計プロセスを役割の明確化、概念設計、実体設計、詳細設計と分類すれば、QFDE は最も上流の役割の明確化の段階、LCA は下流の詳細設計で利用される。QFDE は、製品開発の最上流段階においてそれ以降に製品を設計する上で指針とも言える情報を作成する。一方 LCA は製品の詳細な定量情報が得られた段階で製品の環境側面のプロファイルを作成することができる。

以上に述べたように QFDE や LCA の適用される部分以外の設計プロセスは、概念設計、実体設計があり、それらの段階で利用されている設計支援ツールも多々ある。実際に製品設計の現場で QFDE や LCA を使う場合には他のツールとの関連を踏まえた検討を行う必要がある。

QFDE と LCA の利用方法に限ってみても、LCA の結果を次世代製品の「役割の明確化」段階で行う QFDE に反映させる方法は今後の検討課題である。また、上記で述べてきた LCA は ISO で規格化された詳細な LCA を想定している。そのような詳細な LCA でなくとも Streamlined LCA と呼ばれる重要な部分に焦点を当てた LCA であれば、より上流の段階で実施することが可能であり、その場合の QFDE との組合せの方法についても今後の検討課題である。実際の設計現場においては、モデルチェンジで製品の総重量や基本構造がそれほど変わらないような場合には、前モデルの製品の LCA 結果を利用してモデルチェンジの企画段階で LCA を精度良く実施することが行われることもある。例えば車載用エンジンの改良の場合、エンジンのデータのみを部分的に変更することで、車輛の CO<sub>2</sub> や有害排気ガスの排出量を精度良く推定することが可能である。

また、QFDE は製品の適用対象について特に限定はしないため、工業機械分野の製品一般に広く適用可能性があると考えられる。ただし、QFDE を 4 章で示した以外の製品に適

用する場合、顧客要求、工学的尺度について適切なリストアップを行なう必要があることを指摘しておく。第4章では QFDE の実施結果のみを示し、実施途中の詳細なプロセスは説明していないが、項目のリストアップについてもノウハウ的な情報が必要である。また、マトリックスの値を入力するためにも環境に関する広範な知識が必要である。

## 5. まとめと今後の課題

環境適合設計の標準化に関わる検討は、電気電子分野が先行してきたが、これは大量消費財の地球環境に与える影響を考えれば当然のことであり、製品の特性上リサイクル性などを主眼においた環境適合設計標準化が進んだことはうなづける。

一方、生産財である機械の設計開発では、従来から省エネルギー設計や小型化、消耗品の長寿命化などが、製品競争力向上のために行われていた。そして、これこそが現時点においても環境適合設計の最善の手となるべきものである。機械工業界の設計技術者の方々は、環境適合設計が従来の設計目標と本質的に整合的なものであることを前提に若干の周辺領域への配慮を行ってもらうのが望ましい。これが、本報告書の一貫した主張であり、結論である。

近年の環境適合設計標準化の動きを総攬し、欧州工業界の動きを見守ると、機械工業分野独自の環境適合設計に関する理論武装が必要である。本報告書では、第2章でこれら標準化動向を解説するとともに、生産財としての工作機械の環境負荷を LCA で洗い直し、工作機械は環境にやさしい製品群であり、省エネルギー、省資源、メンテナンス容易性など従来の設計目的に合致した取組みが環境適合設計の中核となっていることを示した。さらに、機械の環境パフォーマンスを示す指標として製造する製品の二次的影響を配慮し、資源生産性の指標を導入することが提言された。

第3章では、第2章の流れをうけて、機械工業分野向けの代表的な環境適合設計評価項目を明らかにした。これらが、大量消費財を基調とした 3R 型のとりまとめにはなっていないのは、まさに機械技術者のウェイティングの結果であり、生産財としての機械の特徴を配慮したものとなっている。実際、ライフサイクルでみた機械の著しい環境側面は、「据付時の環境影響」、「使用時のエミッション」、「使用時の資源消費」、「メンテナンス作業における環境負荷」であり、これは電気電子製品分野とは大幅に異なるものである。本報告書では、これらの評価項目に対するアンケートを行ったが、これは本文でも述べたように、項目利用者の項目取捨選択に資する情報提供のためである。これらの評価項目は、「製品の設計仕様決定」、「QFDE の環境要求抽出」、「環境適合設計のためのチェックリスト」、「製品のデザインレビュー」、「工業会、各企業並びに機械工業会全体の環境適合設計指針作成」などに活用できるものと考えられる。ただし、環境適合設計の国家標準、国際標準を作成する

際には、機械工業会の技術者のみならず、広く社会への透明性の配慮、並びに経営層を取り込んだ環境マネジメントシステムとの関係性などが必要である。

さて、第4章では、QFDEが環境適合設計評価・支援ツールとして、機械工業分野で適用可能であることを示し得たことが大きな成果である。また、LCAとQFDの方法論的違い、すなわち、QFDEは、「コンポーネントの機能的役割を通して環境影響を表現可能」、「製品寿命に影響を与える要因を表現可能」、「メンテナンスなどLCAでは困難な部分を表現可能」という特徴が明らかになった。マーケティングとの接続が容易であることも加味すれば、今後QFDEを正しく普及することは重要と考えられる。ただし、一方で機械工業分野の製品設計は過去に蓄積されたノウハウが膨大にあり、新たな設計支援ツールが入り込む余地は少ない、あるいは、顧客の声が多様であるとの批判もあった。むしろ、設計における環境側面の重視ということを契機に、この種の科学的設計支援ツールの導入を図るべきなのではないかと考える。第4章のもう一つの成果は、技術者の把握する環境要求をマネジメントレベルに展開するという、新たな試みである。これにより、環境法規への対応、組織の責任と環境適合設計の技術目標の連携がとれることになり、上述した国家規格レベルの議論への橋渡しも可能になったように考える。

以上、機械工業界の技術者の立場から環境適合設計標準化活動に資する情報提供を行うという所期の目的は、有害物質の排除に関わる領域を除いて、概ね達したものと自負する。さらに、技術者とマネジメントないしは、社会をどのように繋ぐかという方法論についても、QFDEを上流にさかのぼるという方向性を示すことができた。

残された課題は、社会的には機械工業界独自の環境適合設計指針を作る標準化作業であるが、これは各工業会などで検討が進行中である。一方、研究調査としては、設計のプロセス全体に如何に環境適合設計のツールを溶け込ませるか、実際の設計の手順全体の再構築が今後の課題である。本研究は報告書冒頭に述べたように、実質的には3年間を費やし、LCA、DfE支援ソフト、QFDEなどを集中的に検討してきた。しかし、これ以外にもISO TR 14062で指摘されているFMEA、指摘はされていないが、設計プロセス全般への有効性が示されている、タグチメソッド、TRIZなど評価対象となる設計横断型管理技術も数多い。これらを俯瞰的に評価し、将来の機械工業界の環境適合設計プロセスをどのように変えてゆくべきなのかを明らかにすることが将来に残されているのである。