

環境適応性を考慮した生産設計に関する研究

佐々木 憲吾, 毎熊 健造\*

Development of production design support system with consideration for assembly and disassembly. (3rd Report)  
Study of production design process consideration for environment.

SASAKI Kengo, MAIGUMA Kenzo\*

An assemblability of a circuit breaker was calculated by assembly and disassembly design tool DFMA (Design for Manufacture and Assembly: BOOTHROYD DEWHURST, INC.). Then, assemble time calculated by DFMA and real assemble time was compared.

By using QFDE (Quality Function Deployment for Environment) method, important parts of ordinary product design and ecological product design was compared. As a result, differences of each product design were found.

キーワード: 環境, リサイクル設計, DFMA, QFD, QFDE

1 緒 言

生産持続性のある社会, 循環型社会を築き上げることが今後のものづくりには必須となる。そのためには, 環境への負荷を最小限に抑制した製品設計が重要となる。

企業にとって, 今後環境にやさしい製品作りをすることは非常に重要となるであろう。LCA(Life Cycle Assessment)が良く知られているように, そのための手法はいくつか存在する。それらの中からどの手法を選択し, どの様に利用し, どの様に評価するのが環境にやさしい製品作りの鍵を握ることになると考えられる。

本研究では, 生産技術アカデミーが所有する組立・分解性評価ツールDFMA<sup>1)</sup> (Design for Manufacture and Assembly: 米BDI社製)と, 品質機能展開法<sup>2)</sup> QFD (Quality Function Deployment)を環境側面に拡張した環境調和型品質機能展開法<sup>3)</sup> QFDE (Quality Function Deployment for Environment)の手法を配線用遮断機(電気配線のブレーカ)の製品開発に適用した。これにより, 環境設計を取り入れる場合, これらの手法を実際の生産設計でいかに活用すべきかについて検討した。

2 組立・分解性評価ツールDFMAの利用

組立・分解性評価ツールDFMAは, 製品の組立性のみならず, 分解性や製品のライフサイクル終了時に環境に与える負荷なども評価できる有用なツールである。本研究では, まず現行配線用遮断機の組立工程にDFMAを適用し, その有用性と課題を確認することを試みた。

DFMAで組立やすさを解析するには, 組立手順に沿って, 部品構成表と呼ばれるツリー構造表を完成する必要が

ある。図1は, 部品構成表の解説である。

詳細設計の段階で部品構成表を作成すると, 細かい部品まで入力するため, 大きなツリー構造となる。

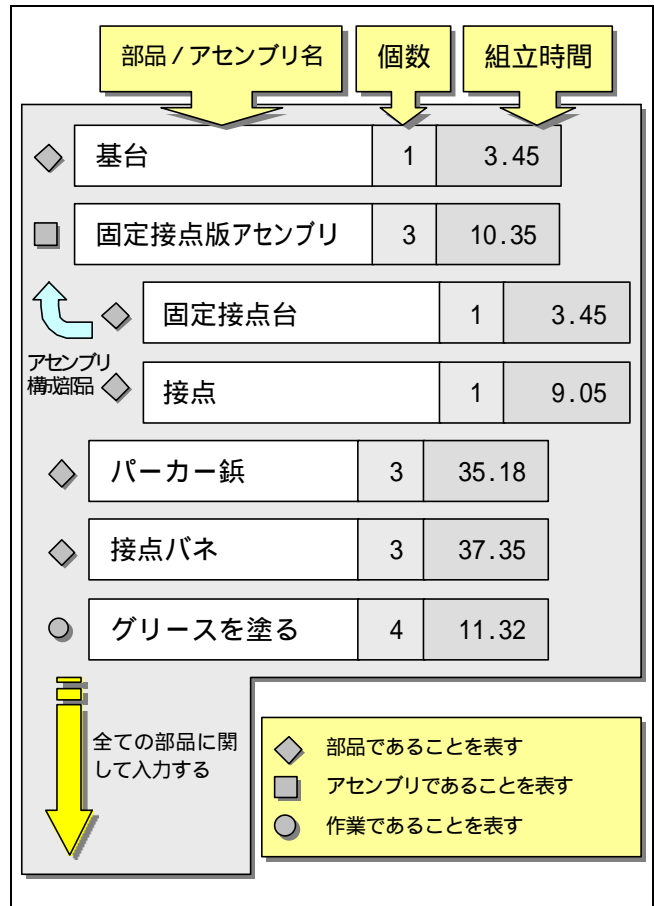


図1 DFMA部品構成表の解説

\* テンパール工業株式会社

部品構成表では、さらにそれぞれの部品に関して締結方法、個数、形状、対称性、取り扱いの難しさ等の質問に対話形式で答えてゆくことになる。図2は、形状、対象性、サイズを入力するDFMAの対話式質問画面である。



図2 DFMAの対話式質問画面

これらの入力データをDFMA内で部品や作業のデータライブラリと対比させることにより、自動的に組立時間、組立コスト、組立やすさ等が算出される。表1は、配線用遮断機の部品構成表に入力されたデータを基に、DFMAが算出した評価結果の一部である。

表1 DFMA評価結果

実際の部品点数	144
理論的最少部品点数	47
DFA指数	9.38

ここに、式(1)は組立やすさを表すDFA(Design for Assembly)指数の定義である。

$$DFA指数 = \frac{\text{理論的最少部品点数での組立時間}}{DFMAが算出した現状の組立時間} \times 100 \quad (1)$$

理論的最少部品点数にカウントされる部品とは、製品やアセンブリのベースとなる部品、機能的理由で異なる材料である必要がある部品、相対的な動きを持つ部品、製品を覆うケーシング部品などである。ネジやハーネスなどは理論的最少部品点数にカウントされないため、実際の部品点数と理論的最少部品点数の間に大きな開きがある場合が多い。部品の一体化や締結方法の改善を行うことにより、部

部品点数が削減され組立時間が短縮されるため、DFA指数は向上することとなる。

DFA指数は相対的な評価パラメータとして使う方が好ましいが、経験的に数値が20以上あれば組立やすさに優れた設計であることが多い。本事例の場合、DFA指数は9.38となり、組立やすさに優れている設計とは言い難い結果となった。

このような評価の後、次のステップで進むべき工程としては、新製品との比較、他社製品との比較、DFMAによる分解性・環境適応性評価などが挙げられる。しかし、本研究では、まずDFMAが組立性評価時に算出した数値の整合性を確かめるため、組立時間をパラメータとして、作業員が行う実際の組立時間との比較を行った。表2は組立時間の比較である。

表2 組立時間の比較

DFMA算出の組立時間	1470秒
実際の組立時間	約1001秒

表2より、DFMAが組立性評価時に算出した組立時間は、実際の組立時間と比較して約1.5倍の値を算出していることが分かった。

全組立の各工程における組立時間を比較して、この差の原因を求めることを試みたが、現状では実際の組立時間に不確定要素が見られ、原因究明には至っていない。

実際の組立時間とは異なるが、新製品や他社製品との比較では相対的に比較することができるため、この数値を用いて次のステップに移行することは可能である。DFMAによる分解性・環境適応性評価へも、相対的な数値のまま移行できる。ただし、DFMA上ではこれらの数値を単なる比較のための無次元数値ではなく、「時間(sec)」や「コスト(¥)」と表現しているため、実際の数値との整合性や比が整えられた方が、より扱いやすく、得られた結果の説得力も増すことになるであろう。そのためには、もう少し細かいデータ抽出が必要である。

### 3 QFDEによる環境適応性を考慮した製品設計

設計者が環境適応性を考慮した製品設計を始める際、どこをどの様に設計すれば最も効果的であるかを見極める必要がある。しかし、設計者の経験と情報のみによって設計を行っても、それがベストであるとは言い難い。したがって、環境適応性を考慮した製品設計に何らかのシステムティックな評価基準を設けることが望ましい。そこで、品質機能展開法QFDを環境側面に拡張した環境調和型品質機能展

能展開法 QFDE の手法を取り入れ、環境にやさしい配線用遮断機を設計するにはどの部品に注力して設計してゆけば良いか導き出すを試みた。

図3はQFDの品質表概念図、表3は図3における各項目の簡単な説明、表4は作成した品質表の一部である。

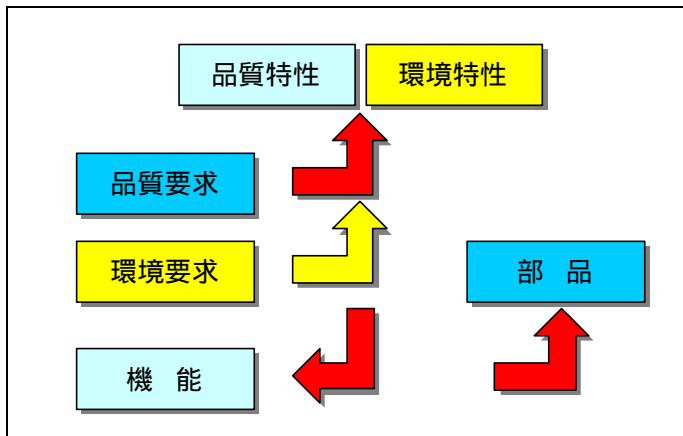


図3 品質表概念図

表3 QFD項目と内容

品質要求	対象製品に対する要求。顧客要求など。 (例: 音が静かである)
品質特性	対象製品の特長。工学的尺度など。 (例: 重量)
環境特性	QFDEに定義された環境に関する特長。 (例: 材料種別数)
環境要求	QFDEに定義された環境に対する要求。 (例: 素材使用を低減したい)
機能	対象製品の基本的機能。 (例: 過電流を自動遮断する)
部品	対象製品の部品あるいはアセンブリ。 (例: 過電流引き外し素子)

表4 品質表の一部

	接点厚み	接点間隔	...	重量	...	重要度
トラッキング短絡を遮断する	9	9	...	0	...	1
欠相したら遮断する	0	3	...	0	...	9
⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
素材使用を低減したい	9	0	...	9	...	1
⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮

重要度	22	36	...	16	...
	5	9	...	2	...

表3の ~ の項目を、表3中の例にあるような小項目に展開する。本事例では、表3の ~ の項目に関して展開した小項目数は、それぞれ40, 49, 11, 10, 20, 10であった。その後、展開された小項目を表4のようにマトリクスに配置し、縦軸と横軸の項目間における関連の強さを設定する。関連の強さは、「非常に強い」、「強い」、「少し強い」の三種類に分類し、それぞれに9, 3, 1の数値を与えることとした。

全ての項目を展開し、その関連度を設定することで演算マトリクスが完成する。その演算を実行することにより、品質要求と環境要求を満たしつつ設計変更を行うにはどの部品に注力すれば良いかという傾向が重要度という数値として現れる。

環境側面を考慮した場合と考慮しなかった場合の結果に違いがあるか否かを検証するため、双方の比較を行った。比較の方法は、図3のと の環境側面に関する項目を演算に加えるか否かによって算出される部品重要度を比較することで行った。なお、環境側面の項目を加えなかった場合は、一般的な品質機能展開QFDとなる。

図4は、重要部品上位5位の重要度の比較である。

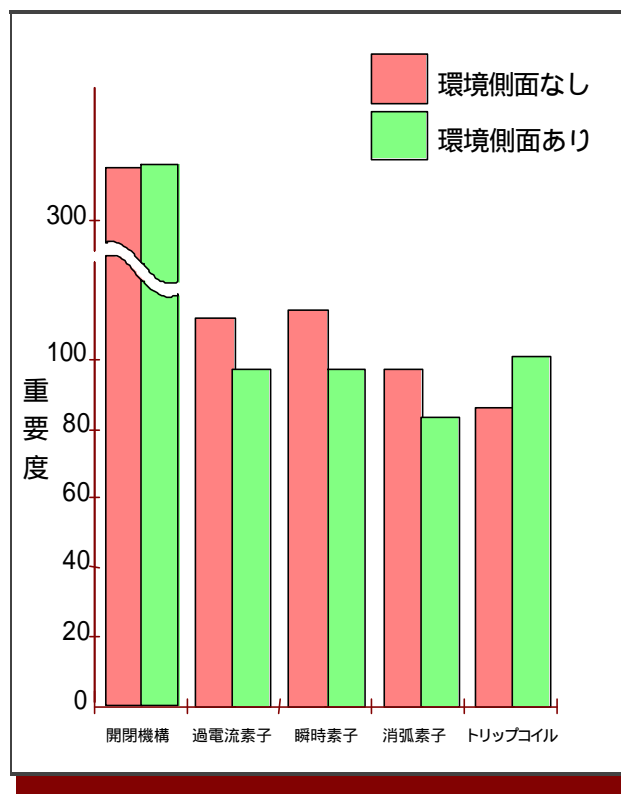


図4 重要度比較

図4の様に、環境側面を考慮しなかった場合は下位にあ

ったトリップコイルが、環境側面を考慮した場合、開閉機構に次いで重要な部品という結果となった。トリップコイルは全体の大きさに比べれば小さいアセンブリであるが、部品点数と材料種別数が多かったため、このような結果となったと考えられる。

QFDEの手法を利用せずに環境側面を考慮した製品設計を行った場合は、トリップコイルはあまり重要視されにくい部品である。この手法を用いることにより、従来では見落としがちな部品を抽出することができた。この結果を踏まえ、部品点数の削減と材料種別数の低減を行うことにより、品質要求と環境要求を両立した設計を行うことができることとなるであろう。

なお、本事例では項目間の関連の強さを9,3,1で表現した。これをそれぞれ9,4,1あるいは5,3,1に置き換えて再計算したところ、全てにおいて最終的部品重要度の高い順位にほとんど変化は見られなかった。

#### 4 結 言

1. 配線用遮断機の組立性を評価するため、組立・分解性評価ツールDFMAを利用した。以下の項目はその結果である。
  - 現行の配線用漏電遮断機は、組立やすさを表すDFA指数の値が小さく、組立やすさに優れている設計とは言い難い結果を得た。
  - DFMAで算出される数値の整合性を確認するため、組立時間をパラメータに取り、DFMAで算出される組立時間と実際の組立時間の比較を行った。その結果、本解析においてDFMAで算出される組立時間は、実際の組立時間の約1.5倍であることが分かった。各工程における組立時間を比較してこの差の原因を求めることを試みたが、現状では実際の組立時間に不確定要素が見られ、原因究明には至っていない。
  - 今後は、これらのデータを基に、新製品との比較、他社製品との比較、DFMAによる環境適応性評価等への行程に移ることとなる。
2. 環境適応性を考慮した製品設計へのアプローチを検証するため、同じく配線用遮断機を例に用いて、環境調和型品質機能展開QFDEの手法を適用した。以下の項目はその結果である。
  - 本事例において製品設計に環境側面の要求を取り入れた場合、従来では見落とされやすい部品の重要度が高くなるという結果を得た。
  - この結果を基に設計を行うことにより、品質要求と環境要求を同時に満たす製品設計が可能となるであろう。

- QFDE利用に際して、本事例で展開した小項目数は少し多過ぎた印象がある。効率的に作業を進めるには、項目の抽象度をもう少し上げて整理しても良かったのではないかと考えている。

#### 5 考 察

グリーン調達、エコファンド、エコラベルなどの様に、環境配慮に前向きな企業にメリットとなる規格や制度ができる中、ISO14001等の規格を取得する企業が増加している。広島県内においても160社近くの企業がISO14001を取得しており、今後も増加してゆくことであろう。

ISO14001はサイト単位に与えられる規格であるが、定期的な見直しと継続的向上が義務付けられているため、今後はそこで生産される製品にも影響を及ぼすことが予想される。その場合、製品がより環境に適應しているか否かを判断するため、何らかの判断基準が必要となるであろう。このようなとき、本研究で利用したDFMAやQFDEの様な手法が必要になってくるのではないかと考える。

以前より、何かの要素に特徴を持たせた設計や設計手法については数多く提案されている。これらを総じてDFX (Design for X)と呼ぶことがある。組立性に特徴を持たせた場合はDFA (Design for Assembly)、環境適応性に特徴を持たせた場合はDFE (Design for Environment)という例が挙げられる。これらの例以外にも様々な手法やツールが存在する。設計者は、多くの選択肢の中から自社製品の特徴や設計・生産体制に最も適した手法・ツールを選択、あるいは組み合わせる使いこなすことが重要となってくる。

このような状況の下、DFXの利用経験のない企業のためには、業種別、目的別、段階別に、利用しやすいDFXマップの作成が望まれるのではないであろうか。例えば、本事例で取り上げた配線用遮断機は、ライフサイクルが非常に長い部類の工業製品となる。このような製品に環境側面の要素を取り入れる場合と、ライフサイクルが非常に短い製品に取り入れる場合では、適切な手法、ツールが異なる可能性がある。

また、従来のCADベースの設計手法に、このような手法やツールをスムーズに導入することも重要である。そのためには、データに関しては有用なインターフェイス、製品コンセプトに関してはプロジェクトコンセンサスの徹底が要求されるであろう。

#### 文 献

- 1) 日経BP社、生産コスト削減のための製品設計
- 2) 大藤 正, 小野道照, 赤尾洋二, 品質展開法
- 3) 社団法人産業環境管理協会, 平成12年度環境調和

型事業活動導入促進調査(環境調和型製品設計)報告書