1303 モジュール化設計におけるインターフェイス情報のマネジメントに関する研究

青山和浩^{*1}, 武市祥司^{*1}
角有司^{*2}, 野本敏治^{*1}

Studies on Management of Interface Information in Modular Design

Kazuhiro AOYAMA, Shoji TAKECHI, Yuji KADO and Toshiharu NOMOTO

Recently, because of the importance of the production with considering the product life cycle and the dynamic change in manufacturing paradigm from the current mass production to the sustainable production, a modular design attracts attention very much. One module of a product has the interface functionally connected to other modules on a structure, and so the interface of the modules is key concept in modular design. In this paper, authors propose the modular design supporting system based on a management of the product's joint information. The new design methodology for the modular design that generates the joint information stepwise is proposed by this system. In order to support the modular design with considering the product life cycle, this methodology shows one design scenario for the modularization by arrangement of the flows of a product design and a modular design.

Key Words: Modular Design, Modular Interface, Information Model, Graph Model, Design Supporting System

1. はじめに

昨今の製造業においては、少品種大量生産から多様なニーズに迅速に対応する多品種少量生産への生産パラダイムの移行が着目されるとともに、製品のライフサイクルを総合的に考慮した製品作りの重要性が指摘されている。このような状況の中で、工業製品のモジュール化設計が注目されつつある。モジュールとは、「ある特定の視点からひとまとまりに括られる部品群」と定義される。あるモジュールは、他のモジュールと機能的・構造的に接続されるためのインターフェイス(接合部)を持ち、モジュール同士の接続により製品を実現する。すなわち、モジュールは製品の構成要素であり、モジュールの総体として製品は表現される。

モジュールを積極的に用いた設計、すなわちモジュール化設計の利点は、「コストダウン」「多機能化・柔軟化」「環境問題への対応」の三点に集約されると梅田は指摘している。特に、第三番目の環境問題への対応は、モジュール化の新しい視点であり、再利用性やアップグレード性の向上、世代間設計において変更する必要のないモジュールの長期使用などによる資源の有効利用が期待されている¹⁾。

ところで、一般に、製品の性格や種類によってモジュール化の考え方やその適用範囲は大きく異なる。さらに、社会の情勢や、設計者の思想、製造工場の運営方針などによってもモジュール化の方針やその判断基

準は異なる。統一的なモジュール化の指針を一意に設定し、モジュール化の判断基準の是非を議論する事例研究は重要ではあるが、本稿では、モジュール化設計の実現のために別のアプローチを提案したい。すなわち、モジュール化設計における評価の具体的なガイドラインを示すことなく、モジュール化設計における様々な評価に関する情報を統合的にマネジメントし、設計者が必要に応じて多種多様な意図をモジュール化設計に反映することができる設計支援システムのありかたについて検討することを本稿の目的とする(Fig.1)。

Fig.1 Modular Design Cycle

2. モジュール化設計の支援

2.1 モジュールのインターフェイスの重要性

製品がモジュールの総体であれば、構成要素である個々のモジュールの機能が第一に重要である。しかしまた、モジュール間のインターフェイスも重要である。モジュールというサブシステムの間のインターフェイ

*原稿受付

^{*1} 正員, 東京大学 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)。

^{*2} 正員, 宇宙開発事業団 (〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1)

スの整合性を保証することは、製品という全体システムの物理的な実現性や機能性など保証することに直結するからである。

本稿では、製品要素間のインターフェイス情報を矛盾なく生成しつつ製品を設計することが可能であり、かつその設計案に対してモジュール化の検討を実行できる設計支援システムの構築を目指す。

2.2 グラフ理論を用いた製品のモデル表現

本稿では、製品の組立性や分解性を評価するモデルとして、製品の構成要素をノード、構成要素間の接続関係情報をリンクとして表現するグラフ・モデルを用いる。モジュール化設計において、製品をグラフで表現することの最大の利点は、モジュール化設計をグラフのカットセットを求める問題へと形式的に置換できることである(Fig.2)。実現可能である全てのモジュール化案を求めることは、グラフ理論を用いることにより、そのグラフ全てのカットセットを求めることと同値である。この数学的操作により、モジュール化候補をもれなく検討することが可能になり、系統的にモジュール化の検討を実行できることが可能になる。カットセットは、製品機能を保証するモジュール間のインターフェイスが必要となる箇所を表現しており、かつ製品のライフサイクルを通じて組立・分解作業の対象となる。

Fig.2 Graph Model of Product

2.3 段階的詳細化によるモジュール化設計

一般的に、設計は上流の段階で概略的な製品情報が決定され、下流へ進むにしたがってそれらの情報が段階的に詳細化される。この設計の各段階で積極的にモジュール化の検討を行うことができれば、モジュール化を考慮した構成要素および関係情報の仕様を段階的に検討することが期待できる。

設計の上流の段階での製品情報は概略的であり、この段階においては、モジュール化の全体構想を念頭に、後の具体的な生産方法や詳細な部品構造を考慮した詳細設計段階に進む際の仕様の方針を決定する。このよ

うな設計の上流段階での概略的なモジュール化設計を「モジュール仕様の検討」と名付ける。

一方、設計の下流の段階では、上流で決定された仕様に基づいて製品要素の情報や構成要素間の関係情報が詳細化される。この段階では、より詳細なモジュール化の検討が可能である。この下流段階での詳細なモジュール化設計を「モジュール化の具体化」と名付ける。

このように、上流から下流へと段階的に詳細化される製品情報をマネジメントできる設計支援システムでは、モジュール化設計と製品設計を相互に検討し、製品情報およびモジュールの情報は階層的に詳細化される(Fig.3)。

Fig.3 Two Phases in Modular Design

2.4 製品のライフサイクルとモジュール評価

一般に製品のライフサイクルは、「個々の製品の生産・使用・廃棄という閉ループ型ライフサイクル」「他製品への部品の再使用・再利用を考慮した開ループ型ライフサイクル」の二種類に大別される。本稿では、この分類に従って、製品のライフサイクルを考慮したモジュール化の検討項目を以下のように整理する。

(1) 組立・分解性の観点からの評価

閉ループ型ライフサイクルにおける組立・分解作業量の最小化を目指し、組立・分解作業が容易な接合の箇所・方法を検討する。具体的には、製品の構成要素に着目し、構成要素の接合関係を評価する。評価結果は接合関係の仕様やカットセットの作成に反映される。カットセットの階層性を利用し、可能な組立順序・分解順序を生成し、カットセットに含まれるリンクの作業種類・方向等を基に、最適な組立順序・分解順序を検討する。その順序による組立コストや分解コストを算出し、評価を行う。

(2) 製品寿命の観点からの評価

閉ループ型ライフサイクルにおける組立・分解作業頻度の最少化を狙うための評価項目である。具体的には同程度の寿命の部品群を一つのモジュールにすることにより達成する。すなわち、一度のメンテナンスで

多数の部品の同時交換が可能になり、メンテナンス頻度の抑制が可能になる。各製品要素の寿命を推定し、同一モジュール内に属する製品要素の寿命の平均値と標準偏差を求め、モジュール化を検討する。

(3) 製品機能の観点からの評価

開ループ型ライフサイクルにおける再使用性・再利用性を増加させるために製品機能の評価する。価値分析(Value Analysis)に従って、モジュールの価値を、機能の現状コストと機能の目標コストの比で評価する。機能の現状コストとはモジュールの有する機能の全体機能への貢献度であり、目標コストとはモジュールに要求された機能を果たすために必要な最低のコストである。設計者は、各機能の全体機能への貢献度を考慮して各モジュールの現状コストを分配し、目標コストを他の機能との比較や経験によって決定する²⁾。

(4) モジュール化案の総合評価

通常のモジュール化設計で問題となる「モジュールに拘束され、性能・コスト・重量等の製品レベルでの最適化の困難さ」「インターフェイスの保証による製品バリエーションの開発の困難さ」に対応するために、モジュール化案どうしのトレード・オフを柔軟に検討できる環境が重要となる。すでに述べた各観点からのモジュール化案の評価はそれぞれ独立しており、その優先順位は設計者によって異なる。本稿では、設計者の考える優先順位に応じて総合的な評価ができるように、各評価項目に重み係数を設定することで対処する。

3. モジュール化設計支援システム

3.1 モジュール化設計支援システムの概要

著者らは製品設計の支援を目標とするトップダウン指向設計支援システムの構築を行っている³⁾ (Fig.4)。このトップダウン指向設計支援システムでは、製品情報を「製品機能」「実体」及びそれらの「関係」、実体の「属性」で表現し、「製品機能」と「実体」はそれぞれ階層構造を形成する。概略的な製品機能・実体が段

Fig.4 Detailing product information step by step

階的に詳細化されるに従い、それらの間の関係情報も詳細化され、詳細な製品情報を表現したネットワークを形成する。この階層的なネットワークを利用すれば、設計とモジュール化の階層的な試行錯誤も可能である。

3.2 モジュール化設計の実例

以下にプロトタイプ・システムを用いて、ヘアドライヤーのモジュール化設計を行った例を示す。

(1) 製品機能の設計

ヘアドライヤーは、温度・風量を調整して熱送風する機械である。この要求機能に従い、本例では、ドライヤーを電源装置、制御装置、送風装置、加熱装置の四つの部分から構成される機能設計を行った。

(2) 実体の設計

製品機能を表示する製品グラフに対し、製品機能を実現する実体を設計し、この実体の製品グラフを作成し対応付ける (Fig.5)。

(3) モジュール仕様の検討

カットセットを用いて概略的なモジュール仕様の検討を行う。ここでは、送風装置と加熱装置、加熱装置と電源装置、制御装置と加熱装置および送風装置と電源装置をそれぞれ一体化したモジュール化案などについて評価を行う (Fig.6)。

Fig.5 Multi-phased product design and modular design

(4) モジュールの具体化

上流設計で決定された方針にしたがって、製品機能の展開、実体の展開を行い、詳細なモジュール化設計を進めていく(Fig.7).

4. おわりに

モジュール化設計は、ライフサイクル・エンジニアリングと密接なかかわりがあり、「作りやすい設計」「壊しやすい設計」「環境に優しい設計」などのいわゆる DFX(Design for X)を取りまとめた体系の核となる可能性を有している。本稿では、評価そのものについて

では、その枠組みを提示したに過ぎないが、今後は、例えば、組立性評価や加工性評価(「作りやすい設計」の実現)、分解性評価(「壊しやすい設計」の実現)、環境負荷評価(LCA)(「環境に優しい設計」の実現)などの各種評価手法を組み入れることにより、より一層高い次元でのモジュール化設計が可能になる。

参考文献

- 1) 梅田靖:「モジュール化設計・生産の現状と展望」精密工学会誌, 787, 1009-1011 (2000)
- 2) VE 協会公式サイト: <http://www.sjve.org/>
- 3) 青山・武市・武村: トップダウン指向情報モデルによる設計支援システムの構築, 日本機械学会全国講演会予稿集, F0122(2001)

Fig.6 Example of Modular Design of Hair Dryer

Fig.7 Example result of modular design at the detailed design phase