

機構ユニットのDFM評価手法

DFM Evaluation Technique for Mechanical Units

後藤 亮 足立 光明 平野 浩二

■GOTO Makoto ■ADACHI Mitsuaki ■HIRANO Koji

コモディティ化が進み価格競争の激しい製品では、性能・品質と低コストの両立が強く要求される。要求性能をできるだけ低コストで具現化するためには、製造の制約や作りやすさを考慮したDFM (Design for Manufacturability) の視点が重要である。しかし、設計者に製造上の制約を考えた部品や製品の設計を単に要求するだけでは、その実現は困難である。

東芝は、機構ユニットを対象として、構成部品の公差の組合せによる性能とコストの変動を予測し可視化して、適切な設計解を判断できるDFM評価手法^(注1)を開発した。エアコン用ロータリコンプレッサに適用した結果、寸法公差の設定を変更することで、性能を維持したままコストを削減できることを確認した。

Products subject to advancing commoditization and price competition face a strong requirement to achieve a balance between performance and quality on the one hand, and low cost on the other. An approach based on design for manufacturability (DFM) considering production constraints and ease of manufacturing is important to attain the required performance at low cost. However, it is difficult for engineers to realize the design optimization of parts and products taking production constraints into consideration.

In response to this situation, Toshiba has developed a DFM evaluation technique that can predict and visualize variations in performance and cost in relation to the dimensional tolerance of components for mechanical units. We have confirmed the effectiveness of this technique by applying it to a rotary compressor for air conditioners.

1 まえがき

市場や顧客の要求に応える機能や品質を備えた製品を競争力のある価格で市場投入するためには、設計段階で徹底した量産コストの作り込み、すなわちDFM (Design for Manufacturability) を行っておくことが重要となる。ここでは、DFMのいくつかの視点のうち、特に量産時の製造性を考慮した設計

法について述べる。

製品を構成する機構ユニットの部品は、その形状や、加工方法、要求される精度などにより製造コストが左右される。また、同時に、キーとなる部品の精度は製品の性能にも影響を及ぼす。そのため、製品性能を損なうことなく部品の製造コストを下げるためには、各部品の要求精度と製造コストの関係、及び加工誤差が製品性能に及ぼす影響を明確にし、更に、そ

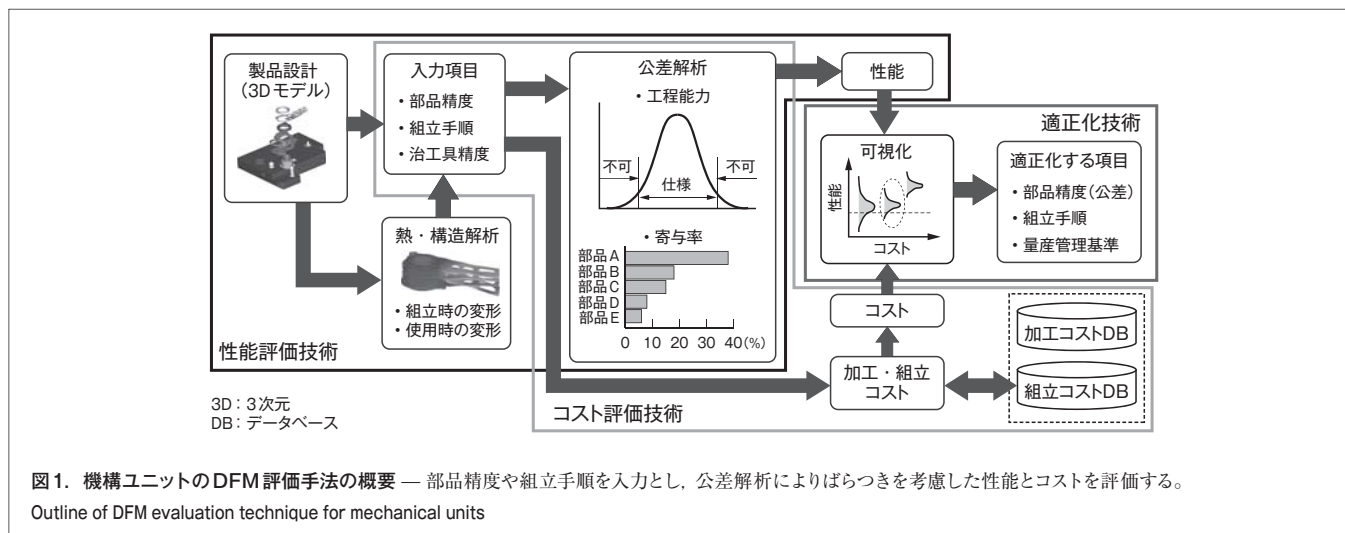


図1. 機構ユニットのDFM評価手法の概要 — 部品精度や組立手順を入力とし、公差解析によりばらつきを考慮した性能とコストを評価する。
Outline of DFM evaluation technique for mechanical units

(注1) 製造性や量産性の視点から設計のできばえを評価する手法。

これらの制約条件の下で適正な加工公差を設定する技術が求められる。これによって、DFMの評価が可能になる。

以下に、これらのDFM評価手法の開発状況と、それらをロータリコンプレッサの設計に適用した事例について述べる。

2 機構ユニットのDFM評価手法の概要

機構ユニットのDFM評価手法の概要を図1に示す。この評価手法は大別して三つの評価技術から構成されている。一つ目は製品の“性能評価技術”であり、二つ目は部品や製品の“コスト評価技術”であり、三つ目は性能とコストの評価結果を基にした部品精度や組立手順の“適正化技術”である。

性能評価技術は、製品の機能や性能を部品精度や組立精度と関連付けて計算する技術である。部品精度や組立精度は設計者が規定した範囲内であればつきを持つため、これを考慮した評価が必要となる。

コスト評価技術は、設計案の部品構成や部品形状、寸法公差や表面粗さ、及び組立手順などからコストを算出するための技術である。

適正化技術は、性能評価技術で得られた性能の指標と、コスト評価技術で求めたコストを可視化し、各設定条件の中から要求仕様を満たす条件を選択できるようにして、寸法公差や組立手順などの適正解を得られるようにする技術である。

3 DFM評価手法を構成する評価技術

開発した機構ユニットのDFM評価手法を構成する各評価技術について以下に述べる。

3.1 性能評価技術

設計段階では部品精度は公差として規定されるが、実際にでき上がる部品の精度は、この公差内で統計的なばらつきを持っている。更に、組立精度は構成部品の精度の組合せによって決まる。この部品精度や組立精度を統計的に解析する公差解析ソフトウェアを活用し、各精度を入力、製品性能を出力とする関係式を組み込むことで、製品性能をばらつきを含めて評価する技術を開発した。

部品精度や組立精度と製品性能の関係式を導出する方法はいくつか考えられるが、一般に、表1に示す理論的に導出する手法と実験的に導出する手法に大別できる。レンズなどの光学系は理論的に導出可能な典型例である。光学ドライブなどに用いられる精密アクチュエータも、組立精度と駆動力を理論的に関係付けることが可能であり、同様の事例と言える。一方、エンジンの性能などのように、パラメータが多岐にわたるうえに、定式化が難しい摩擦などの現象の影響が大きく、理論式を導出することが困難な場合は、関係式を実験的に求める方法が効果的である。この場合、実物の実験に限らず

表1. 寸法精度-性能関係式の導出方法

Derivation of relationship between dimensional accuracy and performance

性能の数式化導出方法	製品例
理論的に導出する手法	<ul style="list-style-type: none"> • 光学ユニットの絞り精度 • レンズの収差 • 精密アクチュエータの駆動力
解析や実験で得られた結果から導出する手法	<ul style="list-style-type: none"> • エンジンの出力（摩擦、熱などの影響） • ロータリコンプレッサの出力（摩擦、熱などの影響） • タービンの出力（圧力、熱などの影響）

CAE (Computer Aided Engineering) を用いる場合もある。

部品精度や組立精度と製品性能の関係式を導出することができれば、これを公差解析ソフトウェアのユーザー定義関数として組み込み、製品性能を組立精度と同様に公差解析ソフトウェア上で評価することが可能になる。これにより、組立精度のばらつきだけでなく、部品公差が与える製品性能への影響を計算することができる。

3.2 コスト評価技術

この評価技術は、材料費、労務費、経費などに区分して行う原価分析や、構想・企画段階から廃却までに掛かる総コスト（ライフサイクルコスト）などの厳密なコスト評価を目的としているのではなく、部品形状や加工精度を変更したときの部品コストや組立コストの変化を、定性的に把握することを目的としている。そのため、評価対象となるコストは、材料費を含む部品の加工コストと製品の組立コストの二つである。また、設計段階での比較や検討が目的であるため、コスト算出に必要な工数単価の情報は重要ではなく、製作に掛かる加工工数を評価の対象とする。

コスト評価技術の対象となる工数算出方法の概要を図2に示す。部品コストを算出するためには、図面や仕様書などの情報から加工方法を決定する必要がある。例えばL型部品にお

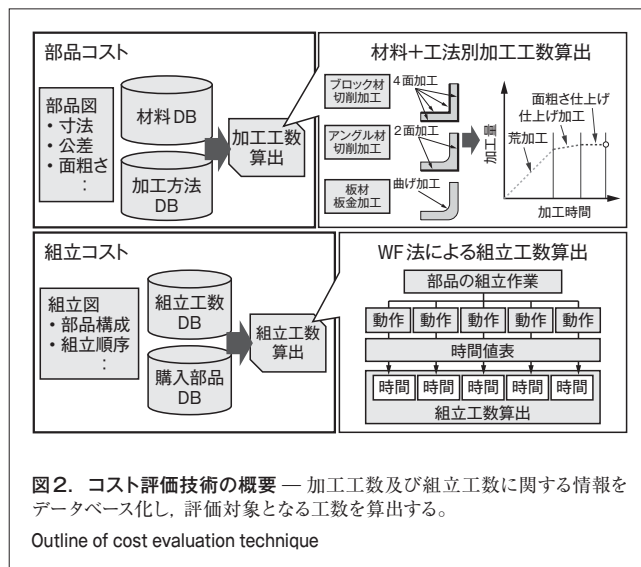


図2. コスト評価技術の概要 — 加工工数及び組立工数に関する情報をデータベース化し、評価対象となる工数を算出する。

Outline of cost evaluation technique

いて、内側コーナ部にエッジが必要で、各面の直角度が必要な場合は、角材などから切削加工を行う必要がある。しかし、精度が必要な面がL型の外側の直角面だけであれば、アングル材を使用して2面だけ切削加工を行えばよい。また、直角度などの要求精度が低い場合は、板金属材料からの曲げ加工で製作できる。このように部品機能や要求精度により、材料や加工方法の違いがある。この違いはコストへのインパクトも大きい。製造・生産技術の知識がなければ選択肢が広がらず、高コストな部品を製造することになる。材料や要求精度などの情報から加工方法を選択できるように、材料とそのコスト、要求精度に応じた加工方法をデータベース化することで、設計をサポートすることが可能と考える。

組立コストは、組立作業における手や体の動作を単位動作に区切り、単位動作当たりの時間をWF (Work Factor) 法^(注2)で算出し、一連の動作を合計すると製品の組立工数となる。

3.3 適正化技術

性能評価の結果とコスト評価の結果から、要求される性能を得るために必要な寸法公差を適正化する。

この評価技術の入力は、部品の寸法公差や組立精度の組合せである。性能への寄与率が高い寸法公差や組立精度は、公差解析の結果から絞り込むことが可能であり、絞り込んだ寸法公差に設計者が適当な水準を設定し、各精度の組合せを決定する。開発した評価技術により、それぞれの組合せについてコストは一意に算出され、性能はばらつきを持ったヒストグラムとして表示される。それらの結果から、設計者は適切な寸法公差の組合せを決定する。

4 エアコン用ロータリコンプレッサへの適用

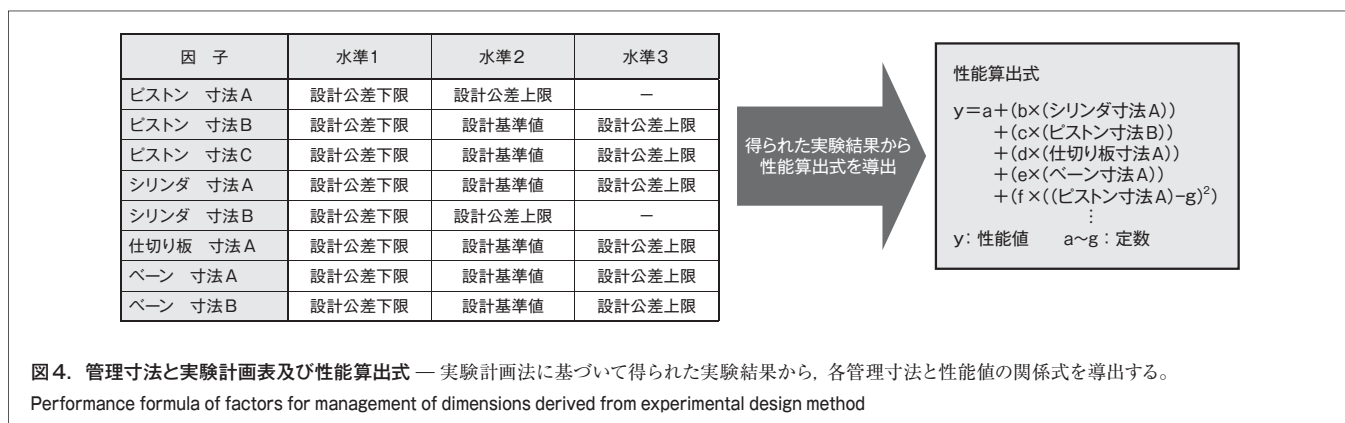
開発した機構ユニットDFM評価手法を、図3に示すエアコン用ロータリコンプレッサに適用した事例について述べる。ロータリコンプレッサは、組立後のしゅう動部分の隙間や、シ



リンダ内の気密性を保つための部品の重なり量などが性能に与える影響が大きいため、理論式として定義するのは困難である。そのため、図4に示す各部品の管理寸法を因子とした実験を行い、得られた結果に統計分析ソフトウェアを適用することで性能算出式を導き出した。また、ロータリコンプレッサは精密加工部品で構成されていることと、組立工程が自動化されており組立コストへの影響が少ないため、コスト評価は切削加工コストを対象に行った。

ロータリコンプレッサの性能は、搭載されるエアコンの性能値APF (Annual Performance Factor: 通年エネルギー効率) で表される。図5(a)に示す公差解析の結果から、APFへの寄与率が高いのは、二つのシリンダの間にある仕切り板の寸法Aの公差と、シリンダ内の吸気室と排気室を区切るベーンの寸法公差であり、その他の管理寸法の寄与率は5%以下で、APFへの影響が小さいことがわかる。

APFへの寄与率が高い仕切り板の寸法公差は、他と比較して緩く設定されているため、これを強化することでAPFが向上する可能性がある。次に寄与率の高い部品であるベーン



(注2) 人間の行う作業を基本動作に分解し、各基本動作にあらかじめ定めておいた時間値を当てはめることで、標準的作業時間を算出する手法。

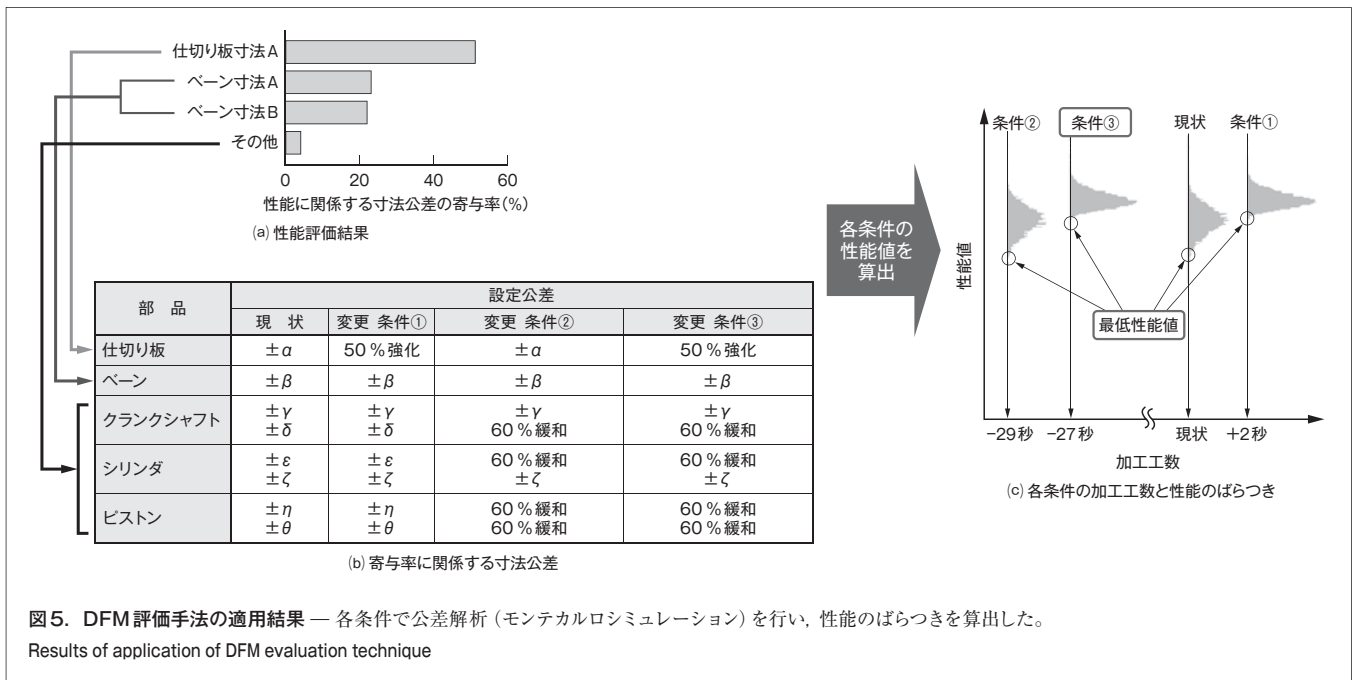


図5. DFM評価手法の適用結果 — 各条件で公差解析（モンテカルロシミュレーション）を行い、性能のばらつきを算出した。
Results of application of DFM evaluation technique

の寸法には、既に加工限界に近い公差が設定されているため、これ以上精度を上げることは困難である。一方、その他の部品の寸法公差は寄与率が5%以下と低いにもかかわらず、ペーンと同様に加工限界近くに設定されているため、公差設定を緩和することで、性能を落とすことなく加工コストを削減することができる。

これらの結果から、各部品の寸法公差を、図5(b)に示す次の三つの条件に設定した。一つ目は仕切り板の寸法公差の強化であり、二つ目は寄与率の低い寸法公差の緩和であり、三つ目は前述の二つの条件を合わせた設定である。各条件の加工工数を算出した結果、仕切り板の公差を強化して加工工数が増加しても、その他の部品の公差を緩和することで削減される工数のほうが大きいことがわかった。変更した寸法公差を性能評価にフィードバックし、性能のばらつきを、図5(c)に示したようにヒストグラムで可視化した。APFは最低値の保証が求められる性能指数であり、その数値を上げるだけでなく、ばらつきを小さくすることも要求される。

DFM評価手法の適用結果から、性能への寄与率が高い仕切り板の寸法公差を変更することでAPFが向上し、ばらつきが抑えられることが、また、寄与率の低い部品の寸法公差を緩くしてもAPFへの影響は小さいことが確認できた。今回は、既に生産されている製品でDFM評価手法の有効性を確認した。次期開発モデルでは、設計支援ツールとしてこのDFM評価手法を適用していきたい。

5 あとがき

開発したDFM評価手法をエアコン用ロータリコンプレッサに適用して検証を行い、その有効性を確認した。性能評価技術は、対象製品の特性により性能に関わる因子が異なるが、実験や解析などを行って因子を決定することで他製品への適用が可能である。また、コスト評価技術は、データベースを拡大することで他製品への適用が可能であるため、データベースを増やし、機械加工製品への適用拡大を進める。



後藤 亮 GOTO Makoto
生産技術センター 部品技術研究センター研究主務。
組立・構造設計技術及びDFM技術の開発に従事。
Machinery Component Technology Research Center



足立 光明 ADACHI Mitsuaki
生産技術センター 部品技術研究センター主任研究員。
CAD/CAM活用技術、組立・構造設計技術、及びDFM技術の開発に従事。日本設計工学会会員。
Machinery Component Technology Research Center



平野 浩二 HIRANO Koji
東芝キャリア(株) コンプレッサ統括部 設計部グループ長。
家庭エアコン用及び洗濯乾燥機用コンプレッサの設計に従事。
日本冷凍空調学会会員。
Toshiba Carrier Corp.