

製品の高効率化を実現する設計技術の進化

—空調冷熱製品の省資源・省エネルギー設計事例—

谷口貴也*
Takaya Taniguchi
小林 孝†
Takashi Kobayashi

Advancement of Design Technology to Realize High Efficiency of Products
—Material Usage and Energy Saving Design Cases for Air Conditioning and Refrigeration Products—

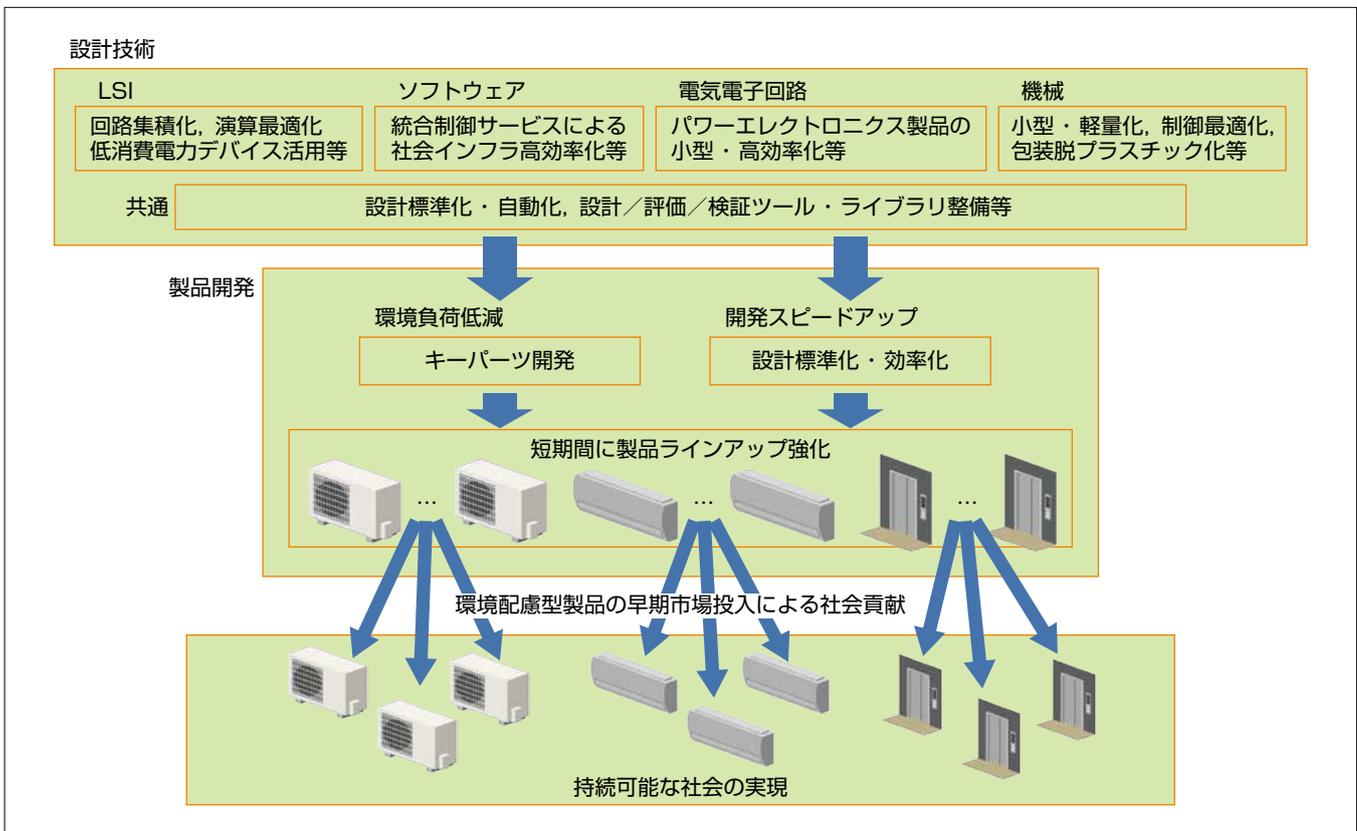
要 旨

持続可能な社会の実現には環境配慮型の製品開発が重要であり、設計技術の果たすべき役割は大きい。三菱電機では、製品を構成するLSI、ソフトウェア、電気電子回路、機械の各分野で設計技術を高度化することで、環境負荷低減を実現するキーパーツ開発や開発スピードアップを実現する設計標準化・効率化を進め、短期間の製品ラインアップ強化を目指している。これによって、環境負荷低減の効果がより高い新製品の早期市場投入を実現して社会貢献を最大化する。

例えば、LSI分野では低消費電力デバイスの活用、ソフトウェア分野では空調の遠隔監視等のIoT(Internet of Things)を活用した統合制御サービスによる社会インフラの高効率化、電気電子回路分野ではパワーエレクトロニク

ス製品の小型・高効率化、機械分野では高効率なキーパーツ開発や制御パラメータの最適化による省エネルギー、各分野共通ではツール・ライブラリ整備による開発スピード向上、試作回数削減等に取り組んでいる。

空調冷熱製品での機械分野の取組みでは、エアコン室外機のプロペラファン開発で、省資源・省エネルギーを実現する基本構造を開発してハードウェア物理モデルを構築し、パラメトリックにスケール変更することで効率的な機種展開を可能にした。また、エアコンの気流制御設計や冷蔵庫の温度制御設計で、ソフトウェア制御モデルを構築し、三次元熱流体解析と強化学習を組み合わせたり、温度測定データと実機へのフィードバック制御を組み合わせたりしてシステム化し、制御パラメータの調整を容易化した。



環境問題や資源・エネルギー問題を考慮した製品開発の全体像

持続可能な社会の実現に向けた製品を設計するため、各設計技術分野で省資源・省エネルギー・環境負荷低減等の課題を解決するキーパーツ開発や開発スピードアップを実現する設計技術の進化に取り組んでいる。

1. ま え が き

持続可能な社会を実現するには環境問題や資源・エネルギー問題を考慮した環境配慮型の製品開発が重要であり、設計技術の果たすべき役割は大きい。当社は、製品を構成するLSI、ソフトウェア、電気電子回路、機械の各分野で設計技術を高度化し、事業横断で製品や設計プロセスを改善することで、製品の小型・軽量化による省資源、高効率化による省エネルギー、包装の脱プラスチック等による環境負荷低減等に取り組んでいる(表1)。

一方で、安心・安全・快適性や、製品のIoT化、セキュリティ強化等、多様な社会ニーズへの対応によって、製品開発はますます複雑・高度化しており、設計段階の高度な擦り合わせと、効率の良い設計プロセスの両立も急務になっている。

このような状況の中、持続可能な社会の実現に不可欠な環境配慮型製品を早期に市場投入して社会貢献を最大化するには、環境負荷低減を実現するキーパーツの開発と、開発のスピードアップを実現する設計標準化・効率化によって、短期間に製品ラインアップを強化することが課題⁽¹⁾である(図1)。

本稿では、空調冷熱製品のラインアップ開発で、省資源・省エネルギーを実現するために小型・軽量で高効率なキーパーツを基本設計してパラメトリック設計によって機種展開した事例⁽²⁾と、製品の制御システムの開発期間を短縮するために、制御モデルを構築して三次元熱流体解析と強化学習や、温度測定データと実機へのフィードバック制御を組み合わせることで制御パラメータの調整を容易化した事例⁽³⁾を述べる。

当社では、この手法に基づくラインアップ開発によって、設計作業そのものの効率化だけでなく、設計品質の向上による評価作業の手戻り抑制や、次期ラインアップ開発の前倒しを実現しており、最新技術を搭載した省資源・省エネルギー・環境負荷低減の効果がより高い新製品の早期展開に貢献している。

表1. 省資源・省エネルギー・環境負荷低減の主な取組み例

技術分野	取組み例
LSI	回路部品の集積化による小型化、演算最適化による省エネルギー、低消費電力デバイスの活用
ソフトウェア	空調の遠隔監視等のIoTを活用した統合制御サービスによる社会インフラの高効率化
電気電子回路	回路方式や実装構造の開発によるパワーエレクトロニクス製品の小型化、高効率化
機械	小型・軽量化による省資源、高効率なキーパーツ開発や制御最適化による省エネルギー、包装の脱プラスチック化による環境負荷低減
共通	設計標準化・自動化、設計/評価/検証ツール・ライブラリ整備による開発スピード向上、試作回数削減

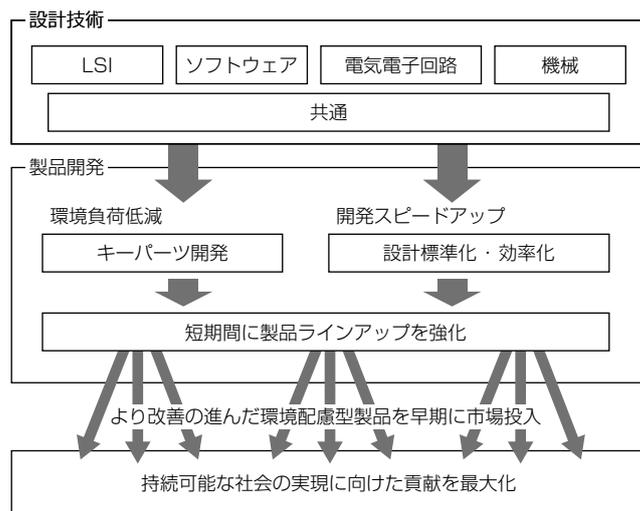


図1. 環境配慮型製品の開発による社会貢献

2. 空調冷熱製品の省資源・省エネルギー・環境負荷低減

2.1 キーパーツの高効率化による省資源・省エネルギー・環境負荷低減

2.1.1 エアコン室外機の高効率プロペラファン開発

ルームエアコンの室外機では、プロペラファンの送風効率向上と、プロペラファン成形樹脂の削減・軽量化が、省資源・省エネルギー・環境負荷低減を実現する上で重要な設計課題である。

三次元熱流体解析でプロペラファン表面の気流を見える化した結果、気流がプロペラファンの中心部に滞留していることが分かった。そこで、中心部の形状を円筒型から新たに考案したターボファン型リブにすることで、滞留していた気流を翼面に送り出すことができ、効率的な送風を実現した(図2)。

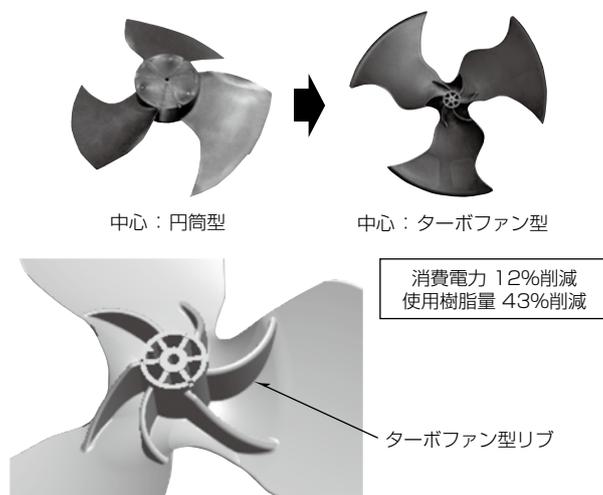


図2. ターボファン型リブを持つ高効率プロペラファン

また、中心部は、翼の遠心力や駆動モータの加振力等の外力が加わる構造部材でもあるため、構造検討では、構造解析や実機評価に基づき、ターボファン型リブの必要枚数を決定することで、従来と同等以上の破壊強度や騒音品質を実現した。

そのほか、翼形状の見直しによって駆動モータの消費電力を12%削減する省エネルギーと、リサイクル困難なガラス繊維が配合された樹脂の43%削減による省資源及び環境負荷低減を実現した。また樹脂の削減によって成形時間も20%削減でき、生産時の省エネルギー化にも貢献した。

2.1.2 高効率プロペラファンの機種展開

ラインアップ開発では、製品を構成する構造や部品を標準化し、適切な物理モデルによって構成要素をパラメトリックにスケール変更することが、効率的な機種展開に有効である。

室外機サイズに適合したプロペラファンの機種展開では、流体力学や材料力学の相似則に基づく数式等の物理モデルによって、形状をパラメトリックにスケール変更することで、目標性能を満足する効率的な機種展開を実現した(図3)。

2.2 ソフトウェア制御による省エネルギー

空調冷熱製品はプロペラファンや熱交換器等のハードウェア最適化だけでなく、風向やファン・圧縮機回転数のソフトウェア制御も組み合わせて最適化することで、目標になる省エネルギー性能を実現している。

ハードウェアのキーパーツ開発と同様に、制御ソフトウェアの開発でも制御モデルの標準化が効率的な機種展開に有効である。しかしながら、ソフトウェアの制御パラメータは数が多く、設計でパラメータを決定する作業や、実機で性能を評価しながらパラメータ調整する作業に時間がかかるという課題があった。

そこで、これを解決するためにパラメータ調整に強化学習やフィードバック制御を活用した設計手法の開発事例について次に述べる。

2.2.1 三次元解析を活用したエアコンの気流制御設計

ルームエアコンは、フラップの角度や風量を制御するこ

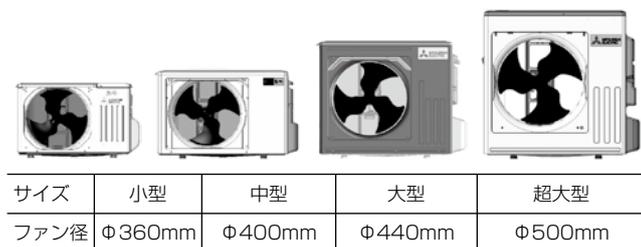


図3. 高効率ファンを搭載した室外機のラインアップ

とで、効率よく観測点の目標温度や快適性を実現するように気流制御している(図4, 図5)。

今回、三次元熱流体解析と強化学習を連成し、実用的な設計時間内で制御パラメータを自動決定する設計手法を開発した(図6, 図7)。強化学習では、観測点の目標温度と三次元流体解析で計算した温度の差異を最小化する学習過程を繰り返すことで最適な制御パラメータを同定している。

これによって、実機を製作して温度測定しながら調整していた制御パラメータを、開発上流段階で設計できるようになり、強化学習によるパラメータ調整の容易化と、制御パラメータのフロントローディング設計による設計手戻り抑制とで、機種展開の効率を更に向上させることができる。

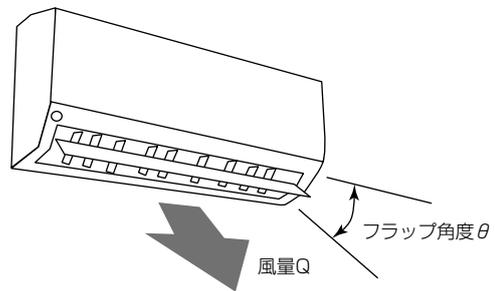


図4. 気流制御パラメータ

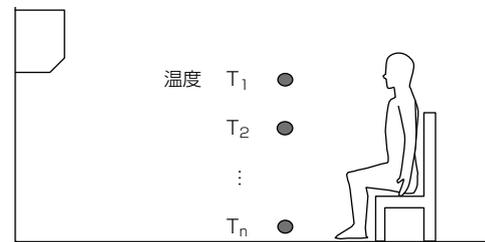


図5. 観測点の目標温度

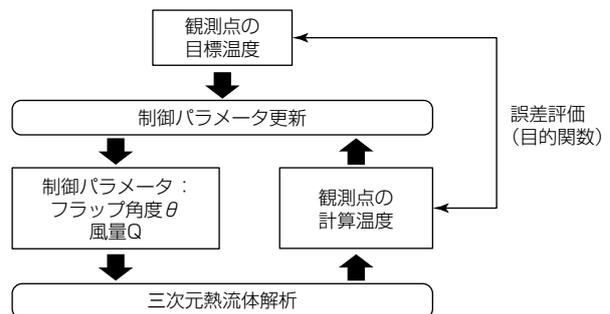


図6. 三次元解析を活用したパラメータ自動決定

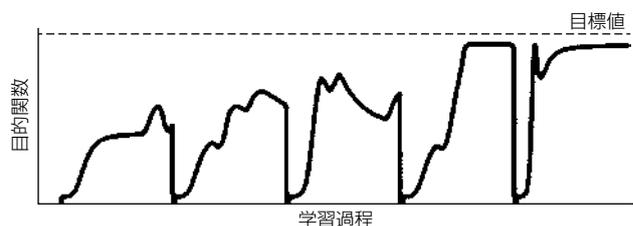


図7. 強化学習の計算過程

2.2.2 実測データを活用した冷蔵庫の温度制御設計

冷蔵庫は、冷媒用圧縮機の回転数や庫内の空気を循環するファンの回転数を制御することで、効率よく目標の庫内温度に到達するように省エネルギー設計している(図8、図9)。

これまで、制御パラメータは量産前の実機を用いて人手で調整して決定しており、時間を要していた。そこで、目標の庫内温度推移と実機の温度測定データから制御パラメータを効率よく決定するシステムを開発した(図10)。このシステムでは、一定の時間間隔で温度データを取得し、目標温度と実測の差に応じた回転数の補正量を、事前に整



図8. 温度制御パラメータ

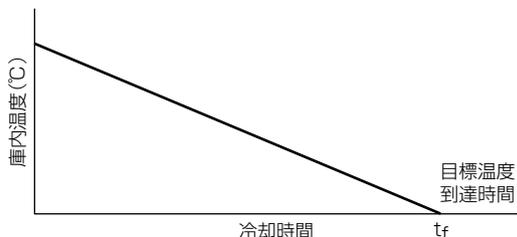


図9. 目標の庫内温度推移

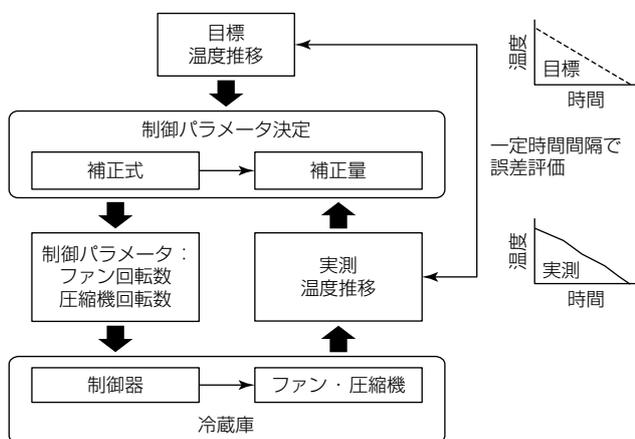


図10. 実測データを活用したパラメータ自動決定

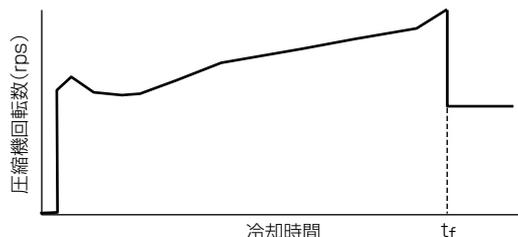


図11. 自動決定した圧縮機回転数

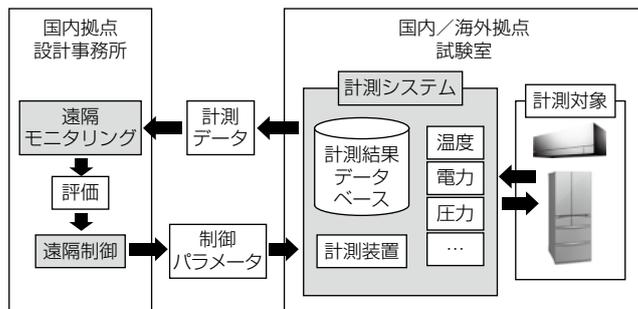


図12. リモート設計検証環境による遠隔地の開発支援

備した関係式に基づいて自動決定してフィードバック制御している。

これによって、実機を用いた複数回の人手調整を1回で完了でき(図11)、機種展開の効率を更に向向上させることができる。また、このシステムは図9に一例として示した直線的な冷却制御以外にも適用できるため、環境に配慮した複雑な冷却制御や製品知能化にも展開が可能である。

3. むすび

持続可能な社会の実現に向けた環境負荷低減に貢献する空調冷熱製品を事例に、キーパーツの開発による省資源・省エネルギー、物理モデルや制御モデルを活用した設計の標準化・効率化による開発スピードアップを進めることで、ラインアップ開発を効率化し、社会貢献を最大化する取組みについて述べた。

今後は新型コロナウイルスの世界的な影響を契機にしたニューノーマルな開発プロセスとして、国内拠点から海外拠点の開発をリモートできめ細かく支援するため、リモート設計検証環境の構築にも取り組み、国内と海外の両拠点からグローバルに社会貢献できる仕組みを整備していく(図12)。

参考文献

- (1) 小林 孝, ほか: 製品プラットフォームを活用した負荷平準型フロントローディング開発法の提案, 日本機械学会 第28回設計工学・システム部門講演会 (2018)
- (2) 濱田慎悟, ほか: 中心部にターボ型リブを有する高効率・軽量プロペラファンの開発, 日本機械学会 第94期流体工学部門講演会 (2016)
- (3) 池田 孟, ほか: 気流制御問題における設計手法の検討, 日本機械学会 第29回設計工学・システム部門講演会 (2019)