

白物家電のモノづくり技術

小澤 透
Ozawa Toru

湧井 真一
Wakui Shinichi

川又 光久
Kawamata Mitsuhiisa

坂崎 久弥
Sakazaki Hisaya

本稿では、白物家電のコア技術としての「モータ技術」とモータ制御や電力制御をつかさどる「インバータ技術」について、洗濯機（ドラム式洗濯乾燥機）を例に課題と独自技術を紹介します。
また、開発した製品を高効率に製造するための生産技術

として、洗濯機と掃除機の「セル生産」方式と、新しいモノづくりの技術である3Dプリンタで製作した金型による生産も紹介する。
これらのモノづくり技術で、日立の白物家電の新しい価値の実現、高い基本性能と独自性のある機能を支えている。

1. はじめに

日立の白物家電を支える基幹技術としては、古くから「モータの日立」といわれるように、モータ技術がある。そのモータが誘導電動機から永久磁石モータへと進化してきており、そのモータを回すためのインバータ回路、制御ソフトウェアが新たな基幹技術となってきている。

さらにインバータ技術は、調理家電に用いられている電磁誘導加熱においても必須の技術となっている。そのインバータ技術を基に住宅用太陽光発電システムのパワーコンディショナも製品化した。

製造面では、2008年度に日経ものづくり大賞を受賞したセル生産を年々進化させ、製品の規模形態に合った日立独自のセル生産システムを構築している。

ここでは、モータ技術の例として洗濯機モータ、インバータ技術と制御ソフトウェア、洗濯機と掃除機のセル生産、そして新しいモノづくりの技術である3D (Three-dimensional) プリンタによる金型製作について述べる。

2. モータ技術

2.1 家電用モータ

家電製品には多くのモータが使用されているが、製品へ適用するモータの種別は、各製品が必要とする特性に応じて決められる。例えば、掃除機には、掃除機の運転条件とモータ固有の特性が適合している単相交流整流子モータが一般的に使用されている。一方、冷蔵庫や洗濯機では省エ

ネルギーが強く求められているため、どちらも永久磁石モータが主流であるが、運転条件および設置スペースなどの制約条件の違いから、モータ構造が著しく異なる。このように、用途によって採用されるモータの種別および構造はさまざまである。ここでは、ドラム式洗濯乾燥機を例に主な要求と、それに適合させるために採用した洗濯槽駆動用モータの構造に関して紹介する。

2.2 ドラム式洗濯乾燥機用モータ

洗濯機用モータに対する主な要求は、高効率、低騒音である。ドラム式洗濯乾燥機において、モータの動力を洗濯槽に伝達する方式は、低騒音化のためダイレクトドライブ方式を採用している。この方式は、ギヤやベルトなどを使用しないので低騒音化の効果が大きい反面、洗濯時・脱水時ともに負荷直結となるので、モータの体格が大きくなる。しかし、洗濯槽駆動用モータは、取り付け位置が洗濯槽の底部であり（図1参照）、径方向には余裕があるが、軸方向には大きくできない。そこで、モータの体格は大径で薄型の偏平構造とした。

また、ダイレクトドライブ方式は、低速・大トルクを必要とする洗濯時と、高速・小トルクの脱水時の異なる運転条件を一つのモータで成立させる必要がある。したがって、永久磁石モータを洗濯時の大トルクに適応できるようにするため、永久磁石の磁束量を多くして洗濯時に合わせた設計にするとともに、脱水時は弱め界磁制御を行うこと

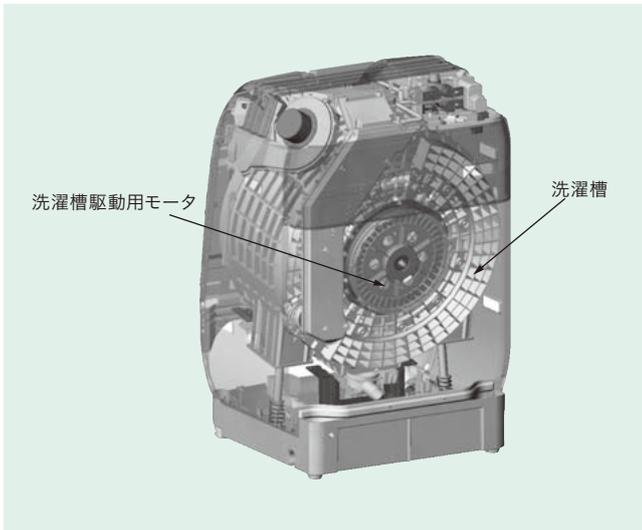


図1 | ドラム式洗濯乾燥機の本体構造のイメージ

洗濯槽の底部に駆動用モータが配置されている。

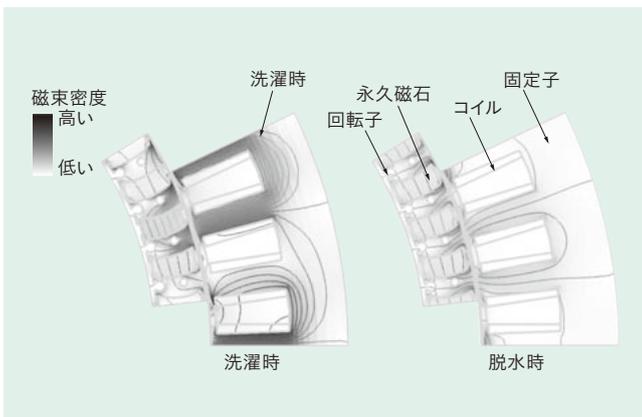


図2 | 洗濯時と脱水時の磁束密度分布

低速・大トルクの洗濯時と高速・小トルクの脱水時の磁束密度分布を示す。脱水時は弱め界磁制御を行っているため、機内の磁束密度が低くなっている。

でモータ内部の磁束量を抑制して、高速回転を可能にすることとした。このため、磁界解析を用いて洗濯時と脱水時の運転状態を計算し(図2参照)、両運転状態のモータ特性から形状を最適化した。すなわち、永久磁石は磁束量アップおよび弱め界磁制御の容易さの観点からスポーク状に配置するとともに、振動、騒音の要因となるコギングトルクや脈動トルクを低減するため、回転子鉄心外周形状と固定子鉄心のティース形状を最適化した。

図3は開発した56極42スロットの永久磁石モータであり、固定子の巻線はコイルエンドを短縮するため集中巻を採用している。回転子鉄心は永久磁石の漏れ磁束の抑制、固定子鉄心は材料の利用率の観点から、分割鉄心構造を採用している。

以上のように、家電用モータは、設置スペースなどの制約の中で、製品が必要とする特性に適合するように設計されるため、用途によって多種多様となる。引き続き、市場ニーズを注視し、高性能な家電用モータの開発を推進していく。

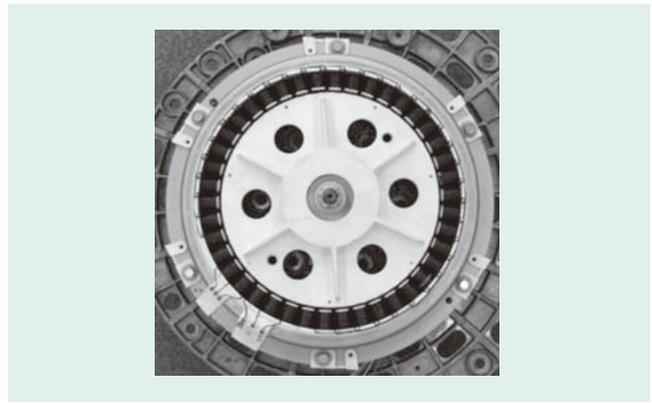


図3 | ドラム式洗濯乾燥機の洗濯槽駆動用モータ

56極42スロット集中巻の永久磁石モータである。

3. インバータ技術

3.1 新しい機能を支えるインバータ制御技術

白物家電におけるインバータ制御は、省エネルギーなどの製品性能を決定するコアとなる技術である。また、顧客の多様なニーズに応える新しい機能を実現するために必須の技術となっている。

3.2 ドラム式洗濯乾燥機のインバータ制御技術

日立のドラム式洗濯乾燥機では、日立独自の機能を実現するために3つの永久磁石モータを、それぞれの機能に応じてインバータで制御している。

1つは、洗濯槽駆動用モータ(図1, 図3参照)の制御である。洗濯時(低速・大トルク)、脱水時(高速・小トルク)、ブレーキ時の異なる3つの運転条件を実現するため洗濯機用ベクトル制御を開発し採用している。

もう1つは、乾燥用に使われるターボファンモータ(図4参照)の制御である。モータの回転数を最大14,750 min^{-1} (2014年8月時点)まで回転可能とするため、ドライバの保護用に使用している電流検出用のシャント抵抗で磁極位置を推定し、制御する方法を洗濯機用に開発し、採用

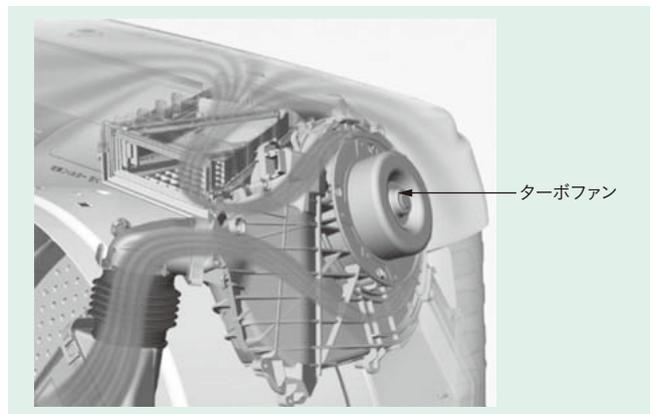


図4 | 「風アイロン」用ターボファンモータ

時速約300 kmの高速風を発生させる乾燥機能「風アイロン」に用いる永久磁石モータである。

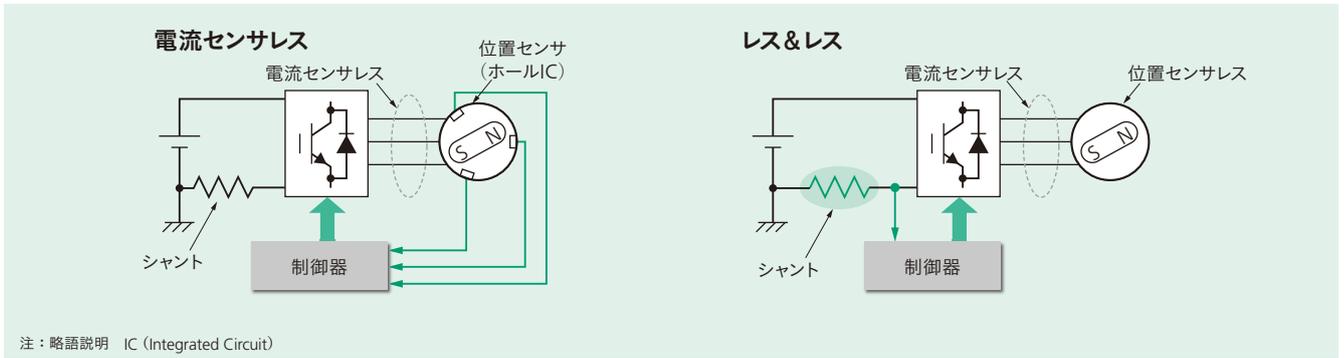


図5 ターボファンに採用したレス&レス磁極位置検知方式
従来の磁極検出に採用していた電流センサレス（左）と採用したレス&レス（右）の比較を示す。

している（図5参照）。

また、ドラムの下側にたまった水を循環させ、少ない水で高い洗浄力を実現する循環ポンプ用モータと制御方式を共通にすることで、2つのモータを1つのマイコンで同時にベクトル制御で運転できるようにしている。

洗濯機のモータ制御以外でも、IH (Induction Heating) クッキングヒーター、太陽光発電システムなど日立独自の制御方式を開発し、他社に対して優位性を確保している。

3.3 インバータ制御ソフト開発プロセス

インバータ制御の組み込みソフトウェアの開発については、2010年度発売製品から、制御系モデルベース開発ツール「MATLAB/Simulink」^{※1)}と日立独自の内製ツールを組み合わせた制御系モデルベース開発環境を使って開発している。これにより、設計した制御モデルでのシミュレーション、ソースコードの自動生成を行っている。コーディ

※1) MATLAB, Simulinkは、米国The MathWorks, Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標である。

ング時の人為的なミスがなくなり、ソースコードの可読性を高めることができ、品質、生産性の向上にもつながっている（図6参照）。

現在、住宅用太陽光発電システムやIHクッキングヒーターの制御にも適用を拡大している。

4. セル生産

白物家電のモノづくり技術として、製品組み立てを主体に「セル生産」という生産方式があり、この生産方式をキーワードとした生産革新により、生産性を飛躍的に向上させることができた。「セル生産」は「対象製品・ユニット組を一人ないし数人の作業で、完成まで作り上げる自己完結性の高い生産の方式」であり、工程間・工程内の仕掛かりを減らし、生産機種切り替えによる時間的なロスと、加工時間のミニマム化を実現する。

「セル生産」はひとつの形が固定的にあるものではなく、製品の構造・構成、部品点数、生産数、機種切り替え頻度、専用の生産・検査設備、作業者の技量によりさまざまな形

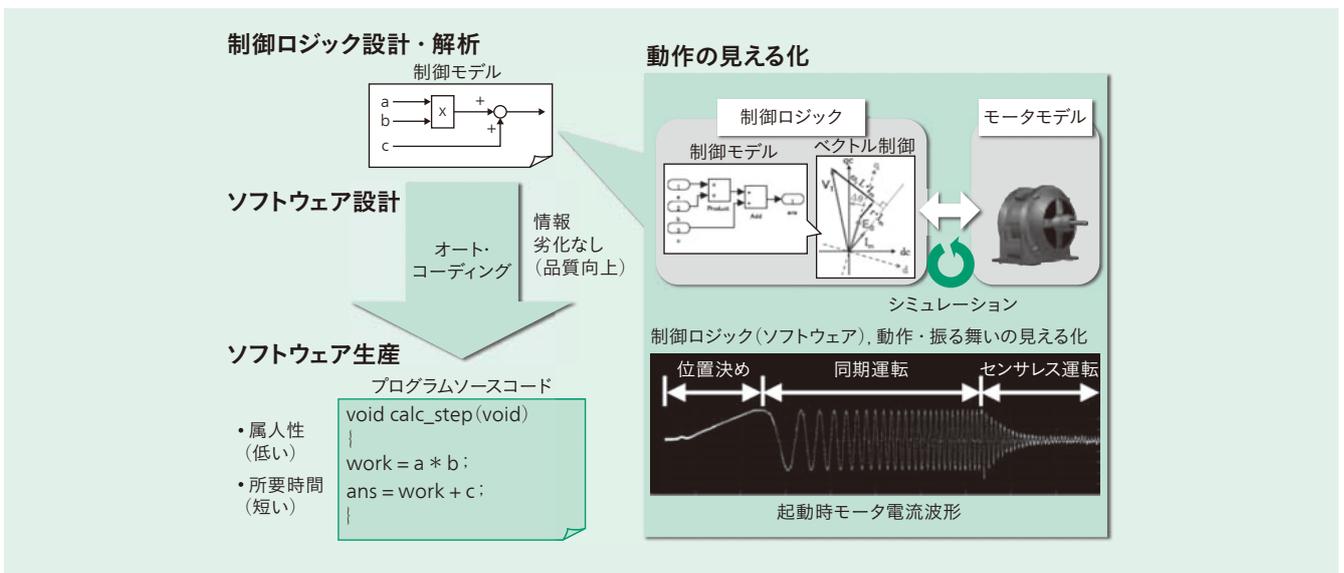


図6 「MATLAB/Simulink」を使った開発プロセス
制御ロジックからプログラムを自動生成する機能とシミュレーション機能により信頼性と生産性を向上している。

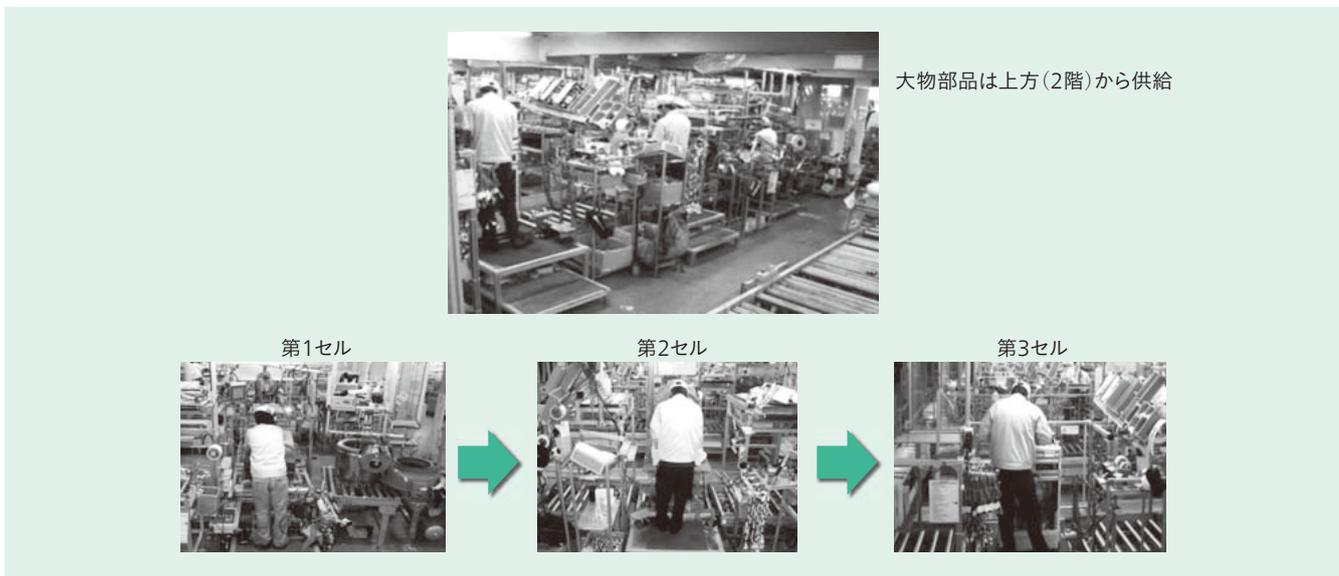


図7 | ドラム式洗濯乾燥機組み立てセル

3名1組の分割方式セルにより、大物部品をジャストインタイムで手元に供給できる自動機構と、組み立てタクトの常時自動測定による改善を図った。

態をとる。大きく分類して、分割方式セル、巡回方式セル、一人方式セル、インラインセルなどがある。

基本は、1個流しにこだわった中間仕掛りを持たないことである。さらに、「セル生産」に切り替えた後も日常的に作業内のむだの削除を行うことが必要で、従来からのIE (Industrial Engineering) ^{※2)} 的なアプローチによる「動作経済の追求」が重要である。そこに「からくり機構」と「自動化」を盛り込んで初めて、利益を生み、使える「セル」となった。

4.1 ドラム式洗濯乾燥機のセル生産(分割方式セル)

洗濯機は、構造上大きな部品を有し、その供給方法が課題であった。そこで組み立て作業の障害にならないように上方(2階)から作業者の手元まで供給することとした。

製品組み立てを3ブロックに分け、これを1チーム(1~3セル)とし、10チームで1ラインを編成する。1チーム間の作業バランス(3セルのサイクルタイム)を徹底的に同期化するために部品の供給自動化、製品の最適位置出し機構、各ブロック・全セルの作業時間自動計測と編成効率のモニタリングなど、きめ細かな改善を積み重ねていった。生産状況の動態管理である「生産管理モニター」により、作業の進捗と、編成状況をリアルタイムでつかむことで、先手の管理ができるようになり、改善のスパイラルアップ(生産性44%向上)が図れた(図7参照)。

4.2 掃除機のセル生産(一人方式セル)

掃除機は、一人が1台の製品を組み立てる一人方式セル生産である。1台分の部品をあらかじめ専用ケースに入れ

て供給し、小型搬送ベルトを使って「前取り」と「手元化」を実現した。また、空になった部品ケースの自動排出機構、工具類の自動手元化機構(使用する時のみせり出す)などの「からくり機構」の付加と、台数進捗モニターの設置により完成度を高めた。部品供給要員の歩行と動作のミニマム化を図るため、供給を一か所に集約し、各セルとのつなぎを往復する部品搬送機構付シャトル(搬送機構付往復可動台車)を用いた。これらセル生産方式の採用と「からくり機構」、部品供給の改善により効率向上(生産性40%向上)が図れた(図8参照)。

5. 3Dプリンタによる金型製作

2014年度製品の開発において、3Dプリンタを用いた金属光造形による金型の内作を開始した。

従来の金型製作は部品を削り出し、組み合わせ調整により行っていたが、この装置の導入により複雑な冷却配管構造を一体造形により製作する改革を行った。一体造形と

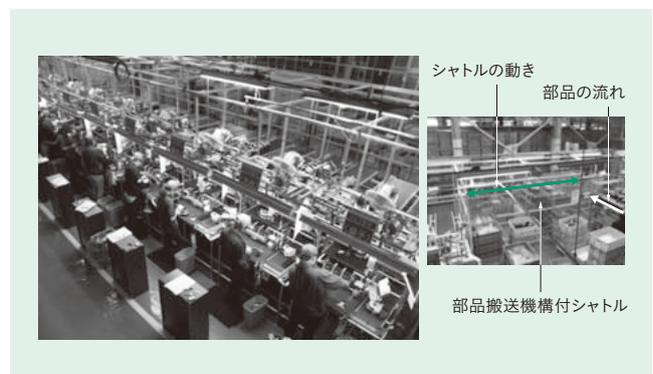


図8 | 掃除機本体組み立てセル

一人1台完成組み立てセル(10セル)を示す。からくり機構を備えたセルと背面から部品供給を行うシャトルによる改善を図った。

※2) 人間・資材・設備などの総合的なシステムの効率化を図るための工学的手法をいう。

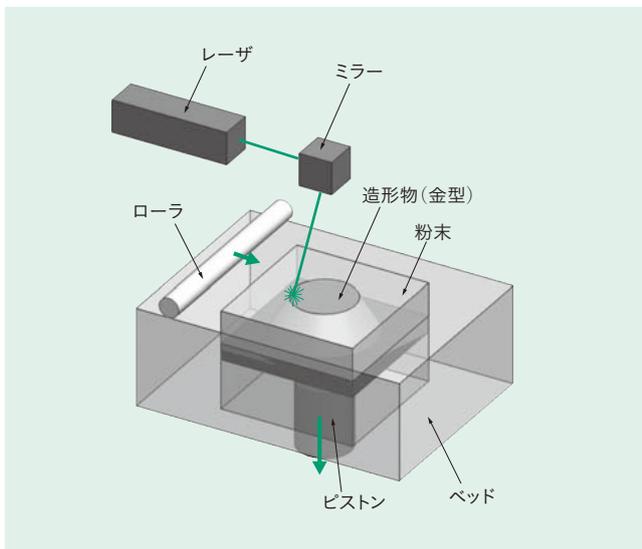


図9 | 3Dプリンタによる加工工程

均一に敷かれた金属粉末をレーザーにて任意形状に焼結する。繰り返し積層することで、内部構造を有した金型製作が可能になる。

は、金属粉末をレーザーで焼き固めて0.05 mmずつ積層していき、最終的に複雑な3次元形状の金型を全自動で製作するものである(図9参照)。

これにより、金型の製作期間を従来比約30%短縮した。また、金型内に複雑な冷却水配管の経路を作ることにより、成形時の冷却時間を従来比約20%削減した(図10参照)。

また、エアコン用プロペラファンの金型や大型空調機にも適用を拡大中である。

6. おわりに

ここでは、高い基本性能と独自性のある機能を支え創り出すモノづくり技術として、モータ技術(洗濯機モータ)、インバータ技術(洗濯機モータ制御)、セル生産(ドラム式洗濯乾燥機、掃除機)、および3Dプリンタによる金型製作について紹介した。

これらの技術は、他の白物家電品に共通に、あるいは形を変えて採用されている。商品を進化させることと同時に、それを実現する技術自体も日々進化させることで、これからも魅力ある製品のモノづくりを進めていく。

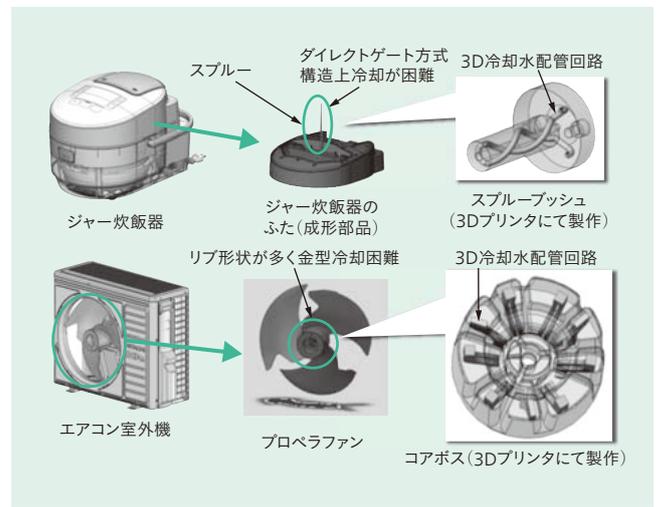


図10 | 3Dプリンタ活用事例

金型部品の内部に立体的な冷却水配管を最適配置し、成形時の冷却時間を大幅に短縮した。

参考文献

- 1) 石井：何をつくるのかーお客様の潜在ニーズを形に、日立評論, 91, 4, 338~343 (2009.4)

執筆者紹介



小澤 透

日立アプライアンス株式会社 家電事業部 多賀家電本部 所属
現在、家電製品の設計開発に従事



湧井 真一

日立アプライアンス株式会社 家電事業部 多賀家電本部
モータ・ファン開発センタ 所属
現在、モータの設計開発に従事
博士(工学)
電気学会会員



川又 光久

日立アプライアンス株式会社 家電事業部 多賀家電本部
電子制御設計部 所属
現在、回路、組み込みソフトウェアの設計開発に従事



坂崎 久弥

日立アプライアンス株式会社 家電事業部 多賀家電本部 生産技術部 所属
現在、生産技術・生産革新に従事