小型 DC モータの進化による 環境負荷低減の動向*

Trends in the Evolution of Small DC Motors to Reduce Environmental Load

宮島祐介**

Yusuke MIYAJIMA

Key words

brush motor, brushless motor, linear motor, environmental load, vacuum cleaner, electric toothbrush, AGV, AMR, robot, mobility

1. はじめに

小型 DC モータ*1 はわれわれの暮らしに欠かせない部品の一つであり、現在、1 日平均で数百万個という膨大な量が世界各地で生産されている。モータが使われる製品は時代とともに変遷しており、例えば、かつてはどの家庭にもあった音楽や映像の光ディスク再生機器が、この十数年の間に姿を消していき、代わって自動車の各種機能の電動化が急速に進むなど、モータへのニーズも変化している。今後は、ロボットのような人の作業を代替する製品がモータの進化とともに普及し、われわれの生活をより便利で豊かなものへと変えていくだろう。一方、大量のモータの利用には負の側面があることも忘れてはならない。世界の電力の大部分はモータによって消費されていることから、モータメーカはサステナビリティの観点に立って利便性だけでなく環境負荷の低減までを考え、真の豊かさを追求していく責務がある。

小型 DC モータでは、ライフサイクルアセスメント (LCA) の結果から、図 1 に示すように原材料の製造プロセスと製品使用プロセスでの環境影響が大きいことが確認されており、材料使用量の削減 (小型軽量化) と、電力の低消費 (高効率化) が、環境問題の側面からも強く望まれ

ている。本稿では、近年の DC モータの小型軽量化と高効率化の動向として、身近な実例をいくつか紹介する。

2. ハンディ掃除機用モータでの事例

家電製品で何かモノが動作していると感じられるとき、そこにはほとんどの場合モータが使われている。それは単にモノを動作させることを目的とするだけでなく、例えばドライヤーや掃除機のように送風や吸引といった、別の機能に変換されて利用されることも多い。

掃除機は、モータが基幹部品となつてから約 100 年という長い歴史をもつ製品であるが、今もなお、その進化は止まっていない。数年前まで家庭用掃除機の主流は AC 電源の製品であったものの、最近ではバッテリー駆動のスティックタイプ掃除機の機能が大幅に向上し、市場規模を急速に拡大している。そこでは小型 DC モータの技術進化が大きく貢献しており、モータの進化によって強い吸引力や取り扱いやすい重量、必要十分な稼働時間といった消費者のニーズを満たす機能向上を果たしてきた。このようなモータの小型軽量化、高効率化は環境側面からのニーズとも重なっており、その成果は環境負荷の低減にもつながっている。

掃除機用モータの進化の事例として、筆者らが開発し、2018 年に量産化した新モータを図 2 に示す。掃除機市場

図 1 小型 DC モータの LCA 分析結果

図 2 掃除機用ブラシレスモータ外観

*原稿受付 令和 2 年 12 月 21 日

**マブチモーター (株) (千葉県松戸市松飛台 430 番地)

*1 出力が数百ワット以下のモータを想定。

図3 パワーウエイトレシオ比較

図4 駆動時の電力損失比較 (従来モータ比)

図5 歯ブラシ用リニアモータ外観

図6 モータ部の部材使用量比較 (従来モータ比)

では現在も安価なブラシ付きモータが数多く使われているが、この新モータは、掃除機用として開発された駆動回路内蔵の DC ブラシレスモータである。

従来のモータは、モータ内の機械的な電気接点の追従性から回転数 20000 r/min 程度が実使用の限界であったのに対し、新モータでは高回転に耐久できる埋め込み磁石型構造を採用し回転数 30000 r/min 程度までの実使用を可能としている。高回転化によって部材使用量を従来モータ比でほぼ半減させ、出力当たり重量（パワーウエイトレシオ、単位 g/W）は図3に示すように従来モータ比で約 1/3 と大幅な機能向上を実現している。さらに、モータ駆動時の電力損失比率は、図4に示すように従来モータ比で約 2 割低減しており、製品使用プロセスでの環境負荷の低減が実現されている。

本事例は、用途に合わせてモータ部分を駆動方式から見直した例であるが、今後はモータだけでなくファンユニット部の損失も併せて最適化していく必要があるだろう。モータとファンユニットは、それぞれ最も効率の良い回転数域が存在するため、両部品を擦り合わせて開発することで、損失を最小化したパワーウエイトレシオ 1 g/W 未満となるファンユニット一体モータや、安価なブラシ付きモータでの機能向上などが可能である。

3. 電動歯ブラシ用モータでの事例

電動歯ブラシは世界で年間 1 億本以上が販売されており、その市場は健康志向の高まりから、年々拡大している。駆動源として専用アクチュエータを採用する製品もあるが、市場の大部分ではブラシ付き DC モータが採用されている。これらは安価という利点はあるが、モータの回転運動をギヤを用いたカム機構でブラッシング運動に変換す

るため、機械的損失の発生や機械ノイズが大きいという課題もある。歯磨き一回の消費電力は決して大きいものではないが、世界中で数億人の人々が毎日、使用していることを考慮すれば、その環境負荷は決して無視することはできない。

筆者らはこれら問題を解決するため、歯ブラシ専用モータを開発し、2019 年より量産を開始している。新モータは、従来のモータを起点とした改良設計ではなく、用途に特化した理想形を目指したものであり、従来とはまったく異なる新構造のモータである。前述のようにモータの回転運動置換では必ず損失が発生するため、直接にブラッシングの動作を生み出すリニアモータとしている（図5）。

従来のモータは、ロータ両端を軸受を介して筐体で保持する必要がある。また、ロータへの給電には複雑な部品構成が必要となる。モータ単体だけでも原材料は多岐にわたり部品点数が多くなる上、歯ブラシ用途ではカム機構を追加する必要がある。一方、新モータでは軸受を不要とし、筐体や給電も非常にシンプルな構造としている。これにより、図6に示すように使用する原材料種類が従来モータ比で約 4 割削減、部品点数も約 3 割削減され、製造プロセスでの環境負荷が大幅に低減した。さらに、カム機構が不要になったことで、製品使用時の消費電力は図7に示すように従来モータ比で約 1/3 にまで削減しており、製品使用プロセスでの環境負荷も大幅に低減している。

普段の生活で日々使われる製品が省電力化されると、世界全体を長期視点で見たとき、その効果は非常に大きなものとなる。本事例は電動歯ブラシにおいて、製品全体としての機能に適したモータを開発することでそれを実現したものだが、他の家電製品においても従来構造に捉われずに機能に合わせた最適化を考えていくことで、革新的な進化

図7 消費電力の比較 (従来モータ比)

図8 UV 殺菌・自動走行ロボット

は実現可能と考える。

4. 走行ロボット用モータでの事例

昨年は、世界中で新型コロナウイルス感染症が猛威を奮い、人々の行動が大幅に制限された。このような環境下、施設内を自動で巡回して消毒・殺菌を行うロボットがニュース等で取り上げられたのを目にした人も多いのではないだろうか。人に代わって安全、かつ正確に業務をこなすその姿は世の中に好意的に受け止められ、ロボットとの共存社会を現実的なものとして印象づけた。

このような周囲の環境をセンシングして自動走行するロボット（以下、走行ロボット、図8）は、AGV（Automated Guided Vehicle）や AMR（Autonomous Mobile Robot）と呼ばれるもので、主に工場や倉庫内での搬送用として開発が進められてきた。近年では、E コマース市場の急成長や人手不足の背景から、特に物流倉庫での導入が加速している。また、インフラ整備なしに1台からの導入も可能という利点から、最近ではオフィスやホテル等の商業施設、屋外のラスト1マイル配送での利用検討も活発化しており、さらには、警備・案内・配膳・清掃といった用途や、人が移動するためのパーソナル・モビリティとしての展開まで期待されている。近い将来、走行ロボットが生活の中で数多く活躍している時代が訪れるだろう。

走行ロボットは、人が移動する空間でそのまま利用できることが望ましく、そのためには人と同程度以下のサイズとなるよう小型化を進めなければならない。例えば、人とすれ違うことが想定される場合、全幅が1mを超えては導入が難しくなるだろう。一方で、長時間稼働させるため

図9 走行ロボットのモータ配置例（上面図）

図10 走行ロボット向け新モータ外観

にはできるだけ大型のバッテリーを搭載しなければならない。このような背景から、電力消費比率の大きい走行用モータに対して、前述の掃除機と同じく製品と環境の両側面から小型化と高効率化が求められている。

代表的な走行ロボットのモータ配置を図9に示す。始動時は高トルクが必要となり、走行中は比較的低速で利用されるため、通常、減速機を組み合わせる利用される。また、安全性や制御性を高めるために電磁ブレーキやエンコーダがモータ後端に付けられることが多い。そのため、これら構成部品を含む駆動ユニットは、車輪の軸長方向に長くなりロボットの小型化設計を困難にしている。特殊な減速機や直交軸減速機によって小型化、あるいは配置の工夫も可能ではあるがコストアップにつながってしまう。

筆者らは、このような課題を解決するため、図10に示すようなAGV・AMR向けDCブラシレスモータを開発し、2020年より販売開始した。このモータは、業界最小サイズ・全長最短を目指して開発されたもので、片手に収まるサイズながら定格出力380Wという超小型・高出力モータとなっている（図11）。さらに、屋外利用も想定して防水機能をもたせた上で、駆動効率についても市場最高レベルを実現している。このモータ小型化は、磁気回路設計の最適化と高密度実装設計によって実現されている。

磁気回路の小型化は、限られたサイズの中でマグネットによる磁束総量を最大化することが重要となる。さまざまなマグネット配置や設計バランスで解析を繰り返し、また、信頼性や価格面も考慮して試行錯誤した結果、図12に示すようにロータ内のマグネットを「I字」配置とする構造が最適設計として見出されている。マグネットは同極どうしが対向するように配置され、反発した磁束をロータ外周方向に向かわせることで、限られたロータ径の中で高い磁束量が得られている。

図 11 市販汎用モータのモータ全長と出力

図 12 ロータ磁気回路構造 (上面図)

図 13 各機能部品の配置 (側面断面図)

高密度設計においては、図 13 に示すようにモータ内のデッドスペースにコイル結線部を配置するなどの工夫がされており、モータ全長を、ほぼ物理的な最短長さといえる設計として成り立たせている。

ブラシレスモータの高効率化には、モータだけでなく駆動方式の最適化も重要である。当該モータを高効率で駆動させるため、筆者らはモータと同時に防水機能をもった小型・高効率駆動回路も開発、量産化している (図 14)。モータの高効率駆動は、高価な高分解能センサや高ビットマイコンを用いることで比較的容易に実現可能である。しかし、筆者らはモータ駆動状態を推測する独自のモータ制御アルゴリズムを開発し、汎用的で安価なセンサ類を用いて高効率駆動を実現させた。結果、最高効率 88% と、同出力帯の汎用モータ比で 3~6 ポイント高い駆動効率を実現している (図 15)。さらに、電子デバイスの発熱を抑える設計工夫を行い、同出力帯の汎用駆動回路と比較して体積を半減させ、業界最小サイズを実現している。

図 14 走行ロボット向けモータ用の駆動回路

図 15 同出力帯モータの最高効率比較

5. お わ り に

本稿では、環境負荷低減に寄与している小型 DC モータの小型軽量化・高効率化の動向として、近年の開発事例を紹介した。ひとくくりに小型 DC モータと呼ばれるものでも、駆動方式や磁気回路構造は数多く存在し、製品・用途の変遷やニーズの変化に合わせてモータも多方面で、日々進化を遂げている。本稿では割愛したがブラシ付きモータも例外ではなく、技術革新により使用範囲が拡大している。さらに、ファンやカム機構等のモータ周辺ユニット部や駆動時の制御まで含めて考えれば、製品の機能向上および環境負荷低減の余地はまだ大きく残されている。この課題の中心に存在するのが小型 DC モータであり、モーターメーカーが広い視野をもって技術開発を進めていくことが、製品の利便性向上と環境負荷低減の両立というさらなる社会貢献へとつながっていくだろう。

参 考 文 献

- 1) DF Automation & Robotics 社 : UV Disinfection Robot, <https://www.dfautomation.com/uv-disinfection-robot/> (2020. 12. 14 アクセス)
- 1) マブチモーター(株) : 製品情報, <https://www.mabuchi-motor.co.jp/product/> (2020. 12. 14 アクセス)

宮島祐介

2003 年中央大学理工学研究科修士課程修了。同年マブチモーター(株)入社。現在、民生事業部副事業部長 兼 第一製品開発部長。修士 (工学、経営学)、技術士 (総合技術監理、機械)。