

ブラシレスモーターによるカーボンニュートラルへの貢献

國府田 芳彰

2015年のCOP21で採択されたパリ協定では、「世界の平均気温の上昇を、産業革命以前に比べ2℃より十分低く保ちつつ(2℃目標)、1.5℃に抑える努力を追求する(1.5℃努力目標)」が目標として掲げられ⁽¹⁾、各国で今世紀後半までにカーボンニュートラル実現に向けた活動が進んでいます。カーボンニュートラル実現のためには、クリーンエネルギーの利用や排気CO₂の再利用などと並び、電力消費量の削減が必須となります。世界の電力消費量に目を向けると、実に53%はモーターが占めており⁽²⁾、高効率なモーターに置き換えていくことが、世界の電力消費量の削減およびカーボンニュートラルの実現につながります。本稿では各種モーターの中でも、より高効率なブラシレスモーターの電力消費量削減効果を解説します。

1. はじめに

2015年のCOP21にて採択されたパリ協定で設定された、世界の平均気温上昇の2℃目標、1.5℃努力目標を達成するために、すべての締約国が温室効果ガスの削減目標を掲げ活動しています。日本では、2050年のカーボンニュートラル化を念頭に、2030年までには温室効果ガスの排出量を2013年比で46%削減を目標としています⁽³⁾。COP21で採択された「持続可能な開発目標(SDGs)」では、目標1、2、11、13に気候変動によって生じるリスクの軽減が掲げられています⁽⁴⁾(図1参照)。



図1 SDGs目標1、2、11、13

このように、世界規模で地球温暖化防止活動が求められており、目標達成にはカーボンニュートラル実現が不可欠です。産業分野でカーボンニュートラルを実現するためには、CO₂排出量の少ない再生可能エネルギーの利用、CO₂の貯蔵と再利用、および電力消費量の削減によるCO₂排出量の削減などが必要です。特に電力消費量の削減に着目すると、世界の電力消費量のうち53%はモーターが占めており(図2参照)、高効率なモーターに置き換えていくことがカーボンニュートラルに直結します。

電気機器に対しては、エネルギー効率に関する規制が各国で導入されており、世界全体の電力消費量の過半数を占めるモーターも規制対象となっています。モーターの電力消費量のうち、コンプレッサー・ポンプ・ファンモーターなど、連続運転で使用されるモーターが全体の70%を占めており(図2参照)規制対象が現在の誘導電動機から、同期電動機にも広がりつつあります⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

本稿では、オリエンタルモーターで販売しているインダクションモーター(誘導電動機)とブラシレスモーター(同期電動機)を比較し、ブラシレスモーターを採用することによる消費電力削減効果と、カーボンニュートラル化にどのように貢献するかを解説します。

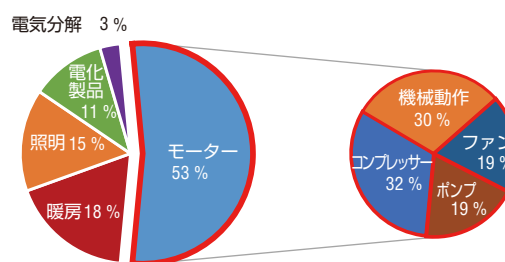


図2 世界の電力消費量内訳⁽²⁾⁽⁶⁾

2. 各モーターの構造および駆動方式と損失

2.1. インダクションモーター

2.1.1. モーターの構造

インダクションモーターの構造を図3に示します。ステーター(固定子)は、電磁鋼板を積層したコアに銅線による巻線(コイル)が挿入されており、巻線に交流電流を流すと回転磁界が発生します。ローター(回転子)は、電磁鋼板を積層したコアに、かご形導体(アルミ)が配置されています(図4参照)。ステーターの回転磁界と、ステーターの回転磁界によるローターの誘導電流との相互作用により、ローターが回転します。この誘導電流により二次銅損が発生し、これが効率低下の大きな要因となります(図5参照)。

また、ステーターとローターの両方に磁束を発生させなければならないため、回転に必要な電力は後述のブラシレスモーターよりも大きくなります。このため、特に低速・低トルクな運転領域では効率が低くなります。

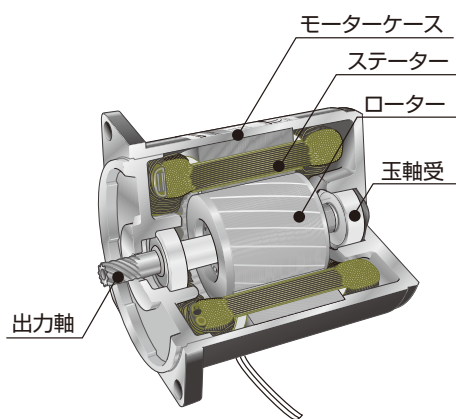


図3 インダクションモーターの構造

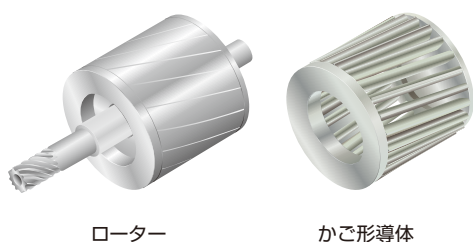


図4 かご形ローター

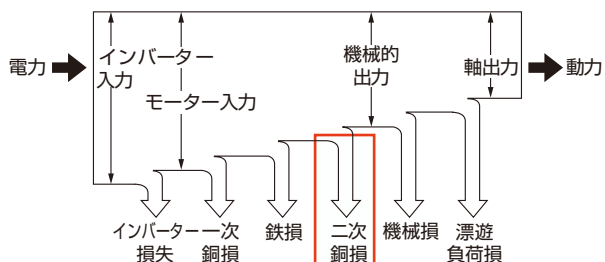


図5 インダクションモーターの損失分解 (インバーター駆動時)

2.1.2. インダクションモーターの可変速駆動

インダクションモーターの可変速駆動方法として、インバーター制御と位相制御があります。インバーター制御は、モーターへの印加電圧と周波数を変化させてモーターの速度を制御する方式で、三相インダクションモーターに使用されます。位相制御は、モーターへの印加電圧のみを変化させてモーター速度を制御する方式で、レートジェネレータ付き単相インダクションモーターに使用され、クローズドループ制御と併用されます。(7)

2.2. ブラシレスモーター

2.2.1. モーターの構造と駆動方式

ブラシレスモーターの構造を図6に示します。ステーターに巻線が巻かれており、ローター表面には永久磁石が配置されています。ローターの位置検出用センサーとしてホールICを搭載し、ローターの位置や速度情報をもとにステーター巻線への電流を制御することで、クローズドループ制御をおこないます(図7参照)。ステーターの巻線に通電す

る電流を駆動回路(ドライバ)で制御し、ステーターに回転磁界を発生させることで、ローターが回転します。ブラシレスモーターではローターに永久磁石を用いるため、インダクションモーターのように、ローターには誘導電流が流れず、ローターの二次銅損が発生しません。永久磁石により、回転に必要な電力もインダクションモーターより小さくなり、インダクションモーターより低損失となります(図8参照)。また、センサーに用いるホールICを表面実装化したことによるローター磁極の検出精度の向上や、ドライバのモーター電流制御技術の進化により、高効率駆動が可能です。近年では、低損失電磁鋼板の採用やステーター形状の最適化による巻線可能面積の拡大、電線の太線化などにより、さらなる高効率化を達成しています。(8)

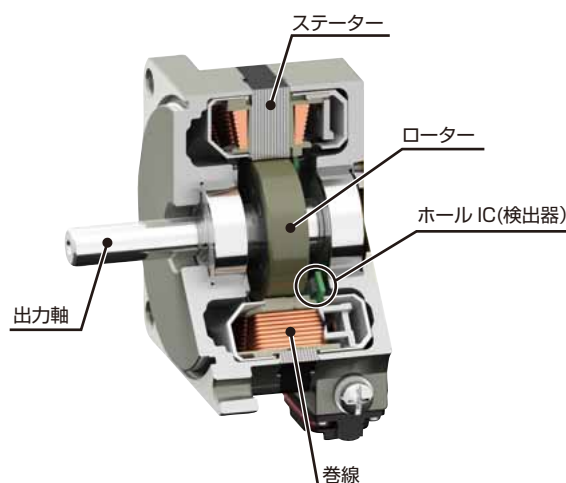


図6 ブラシレスモーターの構造

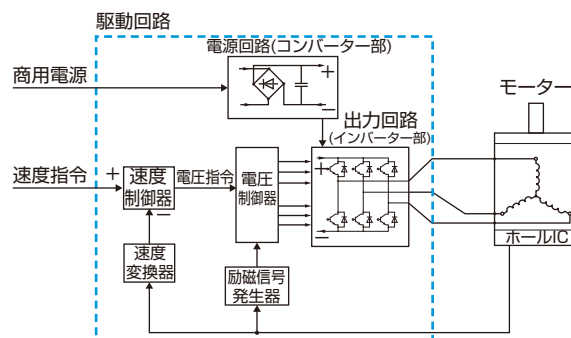


図7 基本的なブラシレスモーターの駆動回路

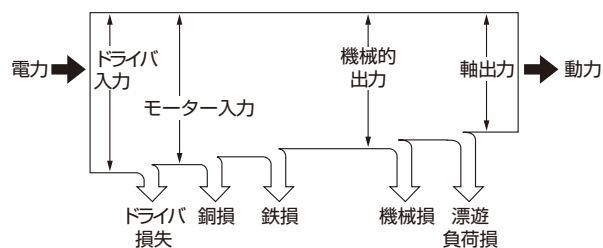


図8 ブラシレスモーターの損失分解

3. 各モーターの効率比較

3.1. 効率測定方法

効率の測定は、トルク負荷装置によってモーターに一定負荷をかけ、各動作点での機器への入力電力をパワーメーターで測定します(図9参照)。この測定値をもとに式(1)によって効率を算出します。

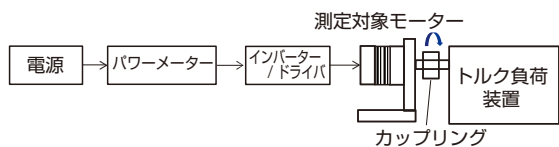


図9 効率測定システム

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots (1)$$

η : 効率 [%]

P_{out} : モーター出力 [W]

P_{in} : インバーター、ドライバへの入力電力 [W]

3.2. 同一出力時の消費電力比較

例として、定格出力90 Wのインダクションモーターに合わせて、ブラシレスモーターの出力が90 Wとなる運転条件で駆動したときの消費電力比較を示します(表1参照)。これより、モーターの出力が同じ場合ではブラシレスモーターの方が消費電力が小さくなるのがわかります。

表1 90 W 出力時の消費電力比較

測定対象	インダクションモーター + インバーター	ブラシレスモーター
品番	5IK90A-SW2 (モーター) + 汎用インバーター	BLM5120HP-A5 (モーター) BMUD120-A2 (ドライバ)
電源電圧	3相 200 V	単相 100 V
トルク [N·m]	0.570	0.287
回転速度 [r/min]	1550 (60Hz)	3000 (定格回転速度)
消費電力 [W]	154.6	110.0

3.3. 効率マップによる比較

モーターを可変速駆動する場合は、負荷率や回転速度によって効率が変化するため、運転領域全体で効率を比較する必要があります。このため、連続運転範囲内の各動作点で効率をマッピングした、効率マップが多く用いられます。表1のインダクションモーターとブラシレスモーターの効率マップによる比較を図10に示します。

ここで負荷率は、インダクションモーターは60 Hz時の定格トルクを100%、ブラシレスモーターは定格トルクを100%としたときの、それぞれに対する負荷トルクの割合とします(図11、12参照)。

図10からブラシレスモーターの方が、より広範囲で高効率であることがわかります。

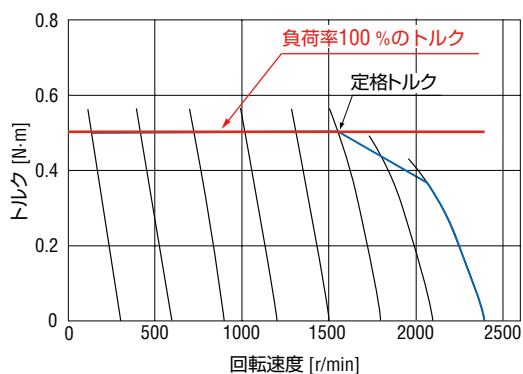


図11 インダクションモーターの負荷率の考え方

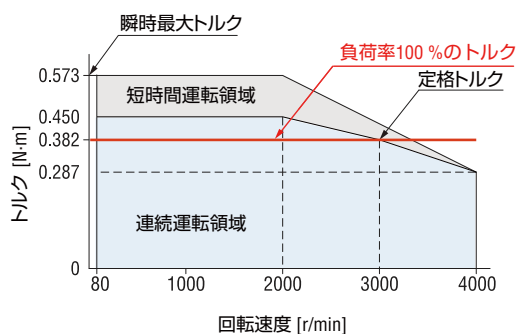


図12 ブラシレスモーターの負荷率の考え方

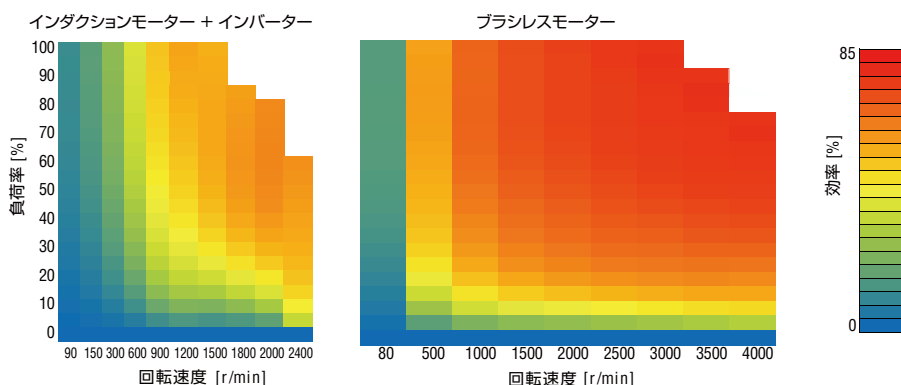


図10 効率マップ

4. コンベアを事例とした消費電力の比較

4.1. 一定速駆動時の消費電力

表1のインダクションモーターとブラシレスモーターにギヤを付け、一定速でコンベア駆動をした場合の消費電力を比較します(表4参照)。ギヤ出力軸におけるトルク・回転速度を表2、装置の稼働条件を表3のように想定します。

表2 駆動条件

ギヤ出力軸トルク [N·m]	4
ギヤ出力軸回転速度 [r/min]	100

表3 装置の稼働条件

稼働条件	
モーター台数	1台
年間稼働日数	300日 12時間/日
電気料金単価 ¹	16.38円/kWh
CO ₂ 排出係数 ²	0.441kg-CO ₂ /kWh

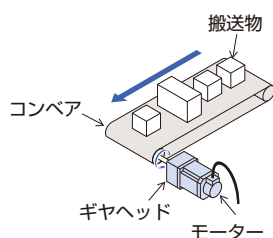


表4 インダクションモーターとブラシレスモーターの比較

	インダクションモーター	ブラシレスモーター
モーター組み合わせ	5IK90GE-SW2 (モーター) 5GE15S (平行軸ギヤヘッドGE) +インバーター	BLM5120-20B (モーター: 平行軸ギヤヘッドGFV付き) BMUD120-A2 (ドライバ)
ギヤ減速比	15	20
モーター回転速度 [r/min]	1500	2000
年間消費電力量 [kWh/年]	346.0	219.7
年間電気料金 [円]	5,668	3,599
年間CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]	152.6	96.88
質量 [kg]	4.7 ^{注)}	3.1

注) インバーターの質量は除きます

以上の条件ではブラシレスモーターの方が消費電力およびCO₂排出量が年間37%抑えられることがわかります。

ギヤ付きモーターはギヤヘッドの内部負荷による損失が発生し、モーター単体に比べて効率が下がります。モーターからの出力と、ギヤを経て最終的に出力軸からの出力の比(%)を伝達効率と呼び(表5参照)ギヤの歯車段数などの構造の違いから、ギヤ種や減速比により伝達効率が異なります。ギヤ付きのモーターの場合には、伝達効率を考慮しモーター出力軸の負荷率に換算する必要があります。

表5 ギヤ伝達効率の一例(常温時)

モーター出力	ギヤ種	伝達効率 [%]					
		減速比					
BMU/ BLE2 120 W	平行軸(GFV)	90	90	90	90	86	86
	中空軸フラット(FR)	85	85	85	85	85	85
	直交軸中空ハイポイド(JH)	65	65	65	65	65	65

4.2. 回転速度変化による消費電力への影響

4.1のコンベア駆動において、搬送物を100 r/minで搬送し、検査のため30 r/minまで減速を繰り返した場合の消費電力を比較します(表6参照)。高速および低速の稼働時間は各50%として、総稼働時間は表3と同じとします。

表6 駆動条件の変更

ギヤ出力軸トルク [N·m]	4
ギヤ出力軸回転速度 [r/min]	100 → 30

この条件で両者の消費電力を比較すると、ブラシレスモーターの方が消費電力・CO₂排出量ともに年間69%抑えられることがわかります(表7参照)。4.1の一定速駆動に比べて、インダクションモーターとブラシレスモーターの効率の差が大きくなっています。これはインダクションモーターは動作ポイントが変わったことで効率が大幅に低下するのに対し、ブラシレスモーターは効率があまり低下していないためです(図13参照)。このように速度やトルクが変化する用途でも、ブラシレスモーターの方が高効率で駆動できることがわかります。

表7 駆動条件変更による消費電力の変化

モーター組み合わせ	5IK90GE-SW2 5GE15S +インバーター	BLM5120-20B BMUD120-A2
年間消費電力量 [kWh/年]	258.9	81.22
年間電気料金 [円]	4,240	1,330
年間CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]	114.2	35.82

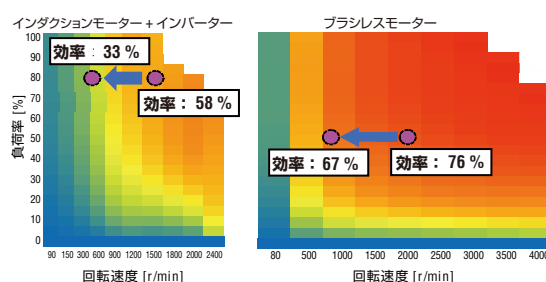


図13 速度変更による効率の変化

1. 東京電力エナジーパートナーHP, 「業務用電力(契約電力500kW以上) 電力量料金-その他季」2022年10月現在
2. 東京電力エナジーパートナーHP, 「2020年度のCO₂排出係数について」

5. モーターサイズと質量比較

インダクションモーターからブラシレスモーターに変更することで、モーターサイズや質量の軽減も可能です(図14参照)。同じ取付角寸法でありながら、モーターとギヤの全長はインダクションモーターが200 mmに対し、ブラシレスモーターは95.4 mmとなり、104.6 mm短くなります。

また、質量はインダクションモーターが4.7 kgに対し、ブラシレスモーターはモーターとドライバの合計で3.1 kgとなり、ブラシレスモーターの方がドライバを含めても、1.6 kg軽くなります。ブラシレスモーターは装置の小型化、輸送時のCO₂削減および廃棄物削減に貢献します。

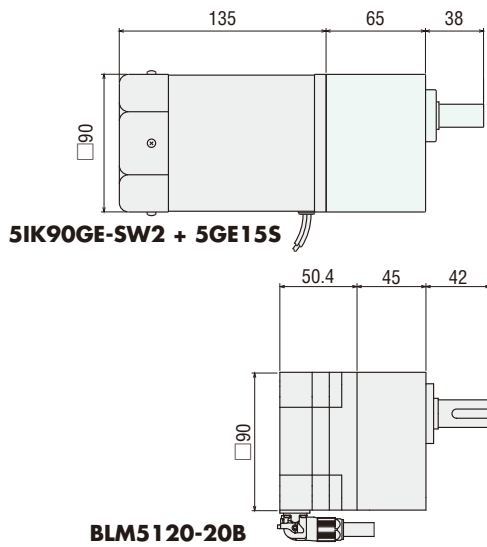


図14 外形寸法の比較

6. ブラシレスモーターによるファンの高効率化

ブラシレスモーターを採用した高効率ファンもラインアップしています(図15、16参照)。インダクションモーターを用いた従来品と比較して、大幅な消費電力削減が可能です(表8参照)。また、外部アナログ設定やPWM信号を用いた変速が可能であるため、制御盤内の機器の負荷に応じて風量を調整することで、消費電力だけでなく騒音も抑えられます(表9参照)。

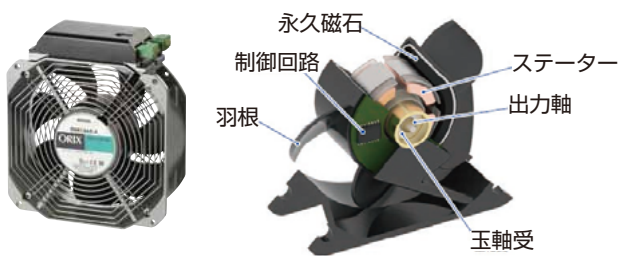
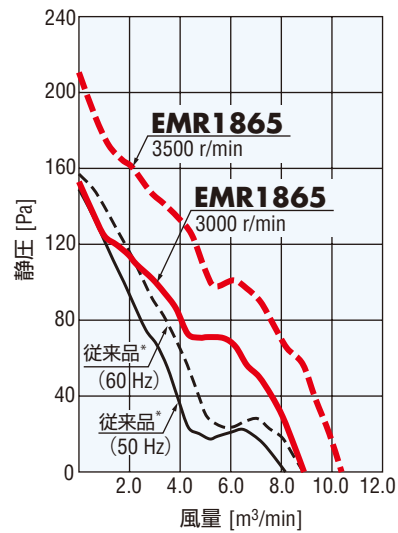


図15 ECファンEMRシリーズ



* MR18-BCにフィンガーガード(FG18D)を両面に組み付けた場合

図16 従来品との特性比較

表8 EMRシリーズと従来品との性能比較

対象製品	従来品 MR18-BC 注)	EMR1865
年間消費電力量 (最大風量時) [kWh]	88.8	69.6
年間電気料金 [円]	1,455	1,140
年間CO ₂ 排出量 [kg]	39.2	30.7
質量 [kg]	3.9	1.3

稼働条件：12時間/日、300日

注) フィンガーガードFG18Dを両面に組み付け運転した場合

表9 EMR1865の回転速度と騒音値

回転速度 [r/min]	最大風量 [m ³ /min]	最大静圧 [Pa]	消費電力 (最大風量時) [W]	騒音レベル [dB(A)]
3500	10.4	211	38	59
3000	9.0	154	26	55
2500	7.2	105	17	50
1500	4.4	38	7	37

7. まとめ

カーボンニュートラルに貢献する高効率なモーターとしてブラシレスモーターを取り上げ、その電力消費量削減効果について解説しました。ブラシレスモーターはインダクションモーターよりも高効率で、電力消費量・CO₂排出量を大幅に削減することができます。

今後もオリエンタルモーターでは、社会のニーズを的確に捉え、それに適した製品開発やサービスの提供を続けてまいります。

参考文献

- (1) United Nations “Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session”, (2015), p.4
- (2) IEA “World Energy Outlook 2016”, (2016), pp.297-298
- (3) 経済産業省, 「第6次エネルギー基本計画」, (2021), p.4
- (4) オリエンタルモーター株式会社, 庄山直人, 「誘導電動機とファンモーターのエネルギー効率規制の最新状況」, RENGA No.2110, (2021)
- (5) CEL 038-2020 永磁同步电动机能源效率标识实施规则
- (6) IEA “Walking the Torque: Proposed Work Plan for Energy - Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems”, (2011), p.15
- (7) オリエンタルモーター株式会社, 瀧本正浩, 「スピードコントローラ MSC-1 の特徴と制御技術」, RENGA No.176, (2012), pp.14-20
- (8) オリエンタルモーター株式会社, 栗田真也 堀亜由香, 「ブラシレスモーターユニット NexBL BMU シリーズの特長」, RENGA No.179, (2014), pp.5-8

筆者



國府田 芳彰

AC・BL モーター事業部