

防塵・防水ブラシレスモーターの設計と基礎技術

小林 泰士

オリエンタルモーターでは、新たにブラシレスモーター **BMU/BLE2** シリーズに防塵・防水仕様を追加ラインアップしました。**BMU/BLE2** シリーズの既存ブラシレスモーターに対し、露出する部品の継ぎ目を減らし、シール部品には **O** リングを採用しています。高耐食塗装や水が流れやすい形状を採用することで、衛生に気を使う食品機械においても安心して採用していただけます。また、経年劣化を考慮した独自の評価基準を定め、防水性能が保たれる事を確認しています。オリエンタルモーターでは防塵・防水インダクションモーター **FPW** シリーズを販売していますが、インダクションモーターに比べ小型高出力のブラシレスモーターにおいても防塵・防水性の要求は拡大すると予想され、活躍が期待されるモーターです。

1. はじめに

労働力人口減少などの影響から工場の自動化が進み、粉塵や水がかかる環境でモーターが使用される用途が増加しています。食品機械に使用されるモーターには、インダクションモーターが幅広く使用されており、最近ではモーターの小型高出力や速度制御性向上が望まれています。食品機械においては衛生管理上、定期的な洗浄が必要な場合がありますが、水がかかる環境で使用可能なモーターは限られているのが現状です。

オリエンタルモーターでは、ブラシレスモーターを用いた水洗い可能な **BMU/BLE2** シリーズ防塵・防水仕様ブラシレスモーター（以下、防塵・防水 **BL**）を開発しました。出力は 200 W、300 W および 400 W をラインアップしています。

防塵・防水 **BL** を採用することで小型高出力を図りつつ速度制御性が向上し、1 ランク上の装置を設計・製造することが可能になります。

本稿では、防塵・防水 **BL** の設計や基礎技術について紹介します。

2. 防塵・防水 **BL** の特徴

2.1. 高い防塵・防水性

防塵・防水 **BL** は密閉性の高い構造設計で IEC 60034-5 の保護等級 **IP66** 及び **IP67** に適合しています。加えて、オリエンタルモーターでは、経年劣化を考慮した独自の防水性能試験条件を定め試験も実施しています。3 章で詳細を説明します。

2.2. 小型高出力

ブラシレスモーターは、高エネルギー密度の永久磁石を使用することでインダクションモーターに対し小型化（短寸）を実現しています。**FPW** シリーズの最高出力 90 W のモーター長が 222 mm に対し防塵・防水 **BL** は 400 W でモーター長 143 mm を実現しました（図 1、図 2 参照）。

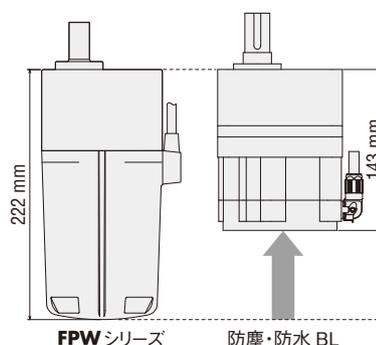


図 1 FPW シリーズとの全長比較（減速比 5）

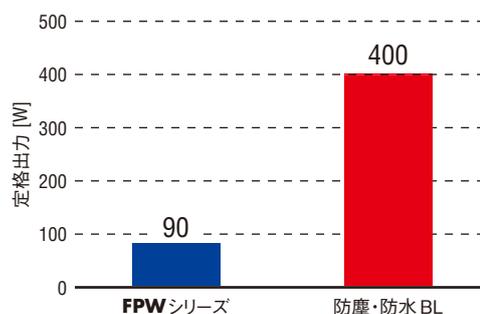


図 2 定格出力比較

2.3. 低発熱

ブラシレスモーターは、インダクションモーターに比べ効率が良く、低発熱設計が可能です。**FPW**シリーズ90 Wは運転時のモーター外被温度上昇が52℃に対し、防塵・防水BL400 Wは4倍を超えた出力でありながら、モーター外被温度上昇は31℃となり、温度上昇が21℃低減されています(図3参照)。食品機械などワークの温度上昇を抑制したい用途に適したモーターです。

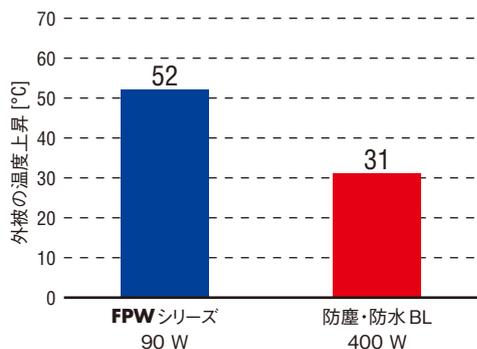


図3 FPWシリーズとの外被温度上昇値比較

3. 防塵・防水のための設計

3.1. モーター構造

従来の**BMU/BLE2**シリーズのモーター(以下、従来品)はステータが露出する構造⁽¹⁾を採用していますが、防塵・防水BLはより高い防塵・防水性を実現するため、ステータをケースで覆う構造を採用しました(図4、図5参照)。



図4 従来品との外観比較

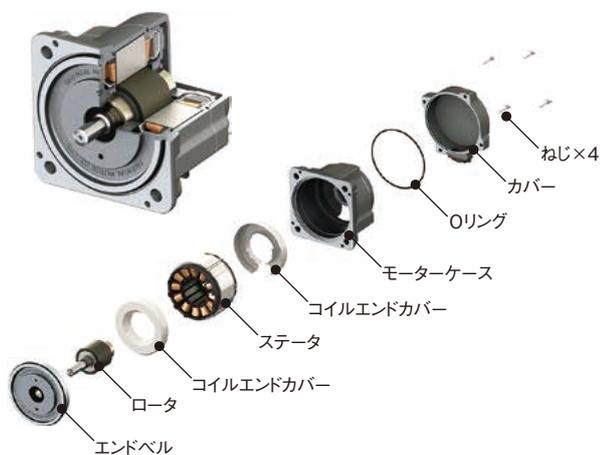


図5 防塵・防水BLの構造

図6のように従来品はモーター部にシールが必要な部分が3箇所ありましたが、防塵・防水BLは構造を見直したことにより1箇所だけとし、より高い防塵・防水性能を確保できる構造としました。

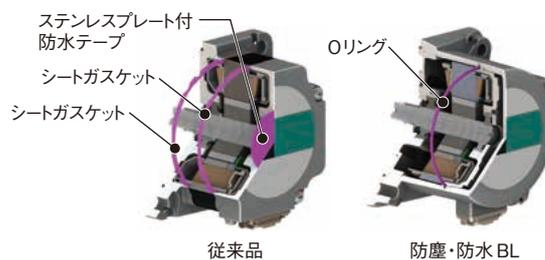


図6 従来品との構造比較

3.2. Oリング

従来品はシール部にシート状のガスケットを採用していますが、防塵・防水BLはOリングを採用しました。変形によって防水性を得るOリングは、つぶした時の反発力が封止できる水圧と比例の関係にあります。さらに、水圧がかかることで反発力が増加します(セルフシール)。これにより、シート状のガスケットより高い防水性を実現しています(図7参照)。

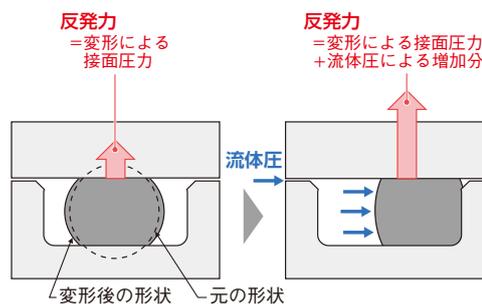


図7 セルフシールの原理

3.3. 防水コネクタ

防塵・防水BLは従来品同様にIP66/IP67仕様の防水コネクタを採用しています。このコネクタはヒロセ電機株式会社と共同開発しており、レバー機構によるワンタッチの接続が可能で、動力線と信号線を複合したケーブルに対応した防水コネクタです(図8参照)。

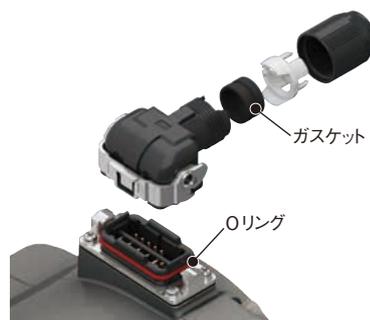


図8 防水コネクタ構造

ケーブルは0.5 m~20 mの長さ(注1)を揃えており、ドライバまで中継なしで接続できます。リード線を端子箱などで中継して防水処理を施す必要はありません(図9参照)。また、ケーブル引き出し方向は以下の3方向から選択できます(図10参照)。



図9 防水コネクタ付ケーブルの配線

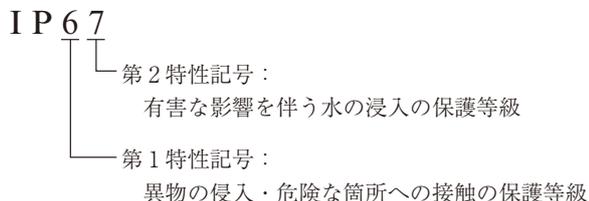


図10 ケーブル引き出し方向

3.4. 保護等級

防塵や防水性能は、保護等級に基づくIPコードで表します。IPコードはIEC 60529で規定され、以下のように表示します。モーターには専用の試験条件を規定したIEC 60034-5を適用します。

[表示例]



なお、保護の等級について一方を特定しないで呼称する場合には、IP6X、IPX7のようにその記号をXで示します。

防水の等級はIPX1~IPX6までは局所的な放水による試験で、IPX7は水深1 mの水没試験です。それぞれの試験条件(注2)が異なるため、IPX6試験とIPX7試験の両方実施し、合格しています。

3.5. 経年劣化を考慮した「水洗い防水試験」

前述のIEC 60529およびIEC 60034-5による保護等級の試験は長期使用による経年劣化を考慮したものではありません。実際にはモーターを使用している間にシール部品が劣化していき、初期の防水性が確保できなくなる懸念があります。そこでオリエンタルモーターでは独自に経年劣化を考慮した「水洗い防水試験」という評価基準を定めました。

防塵・防水BLは、この評価基準を満足しています。また、FPWシリーズでも満足することを確認しています。

試験の流れは以下のとおりです。

- 1) 温度急変試験
 設定温度 : 低温 -24 °C、高温 100 °C
 放置時間 : 低温 85 分、高温 75 分
 サイクル数 : 110 サイクル
 (IEC 60068-2-14 条件は防塵・防水BLの場合)

- 2) 振動試験
 振動数範囲 : 10~150 Hz
 10~60 Hz : 両振幅 0.7 mm
 60~150 Hz : 加速度 50 m/s²
 振動方向 : 3方向 (X, Y, Z)
 掃引サイクル数 : 各方向 20 回
 (IEC 60068-2-6 附属書 C)

- 3) 放水試験
 水圧 100 kPa、流量 100 L/min の放水 (図11参照)。



図11 放水試験の様子

- 4) 判定
 モーター内部に水の浸入がないこと。

まず、1) 温度急変試験でシール部品に5年相当の熱劣化を与えます。温度急変試験による加速劣化の考え方は以下のとおりです。

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^{-4} \dots\dots\dots (1)$$

- L_1 : 期待サイクル数
- L_2 : 試験サイクル数
- ΔT_1 : 使用条件の温度差 [°C]
- ΔT_2 : 試験条件の温度差 [°C]

式(1)において、期待サイクル数 L_1 は温度変化の回数で、1日の温度変化を1サイクルとカウントします。よって想定している5年分の期待サイクル数は1825となります。また、使用条件の温度差 ΔT_1 は使用周囲温度上限の環境下におけるモーターの外被温度と、使用周囲温度下限との差です。試験条件の温度差 ΔT_2 は、Oリングの使用可能な温度を超えない範囲で条件を決めています。これらの条件から、試験サイクル数 L_2 が決まります。

(注1) BLE2ドライバと組み合わせる場合、BMUドライバと組み合わせる場合は10 mまで。

(注2) IPX6 あらゆる方向からのノズルによる強力なジェット噴流水によっても有害な影響を受けない

IPX7 規定の圧力および時間で一時的に水中に沈めたとき、有害な影響を生じる量の水の浸入がない

また、シール部品が振動によってずれることも考慮して2) 振動試験で振動を与えています。

防塵・防水BLは、100 kPa (蛇口に接続したホースの先端をつまむ程度) の水圧で水洗いすることを想定しており、3) 放水試験に反映しています。

4. 耐食性を考慮した設計

4.1. 塗装

水がかかる環境下では、モーター部品が腐食してしまうことが想定されます。塗装に傷が入るとアルミの素地が露出し、そこを起点に腐食が発生します。さらに腐食が進行してしまうと塗装が剥がれ、装置に影響を与える懸念があります。

そこで、防塵・防水BLには、機能の異なる2種類の塗装を施し、耐食性を向上させました(図12参照)。

1層目の塗装はアクリル樹脂系で、塗料に浸しながら塗膜を形成させるため、貫通穴内部にまで塗装され、アルミ素地の露出を抑えています。アルミ素地との密着性にも優れた塗装です。

2層目の塗装は一般的に屋外でも使用される⁽²⁾ ポリエステル樹脂系の塗料を用いており、200 μm程度の厚い膜厚を形成しているため傷に強い塗装です。

また、このように2層にすることによって塗装のピンホール(微細な孔)を互いにふさぎあう効果があります。

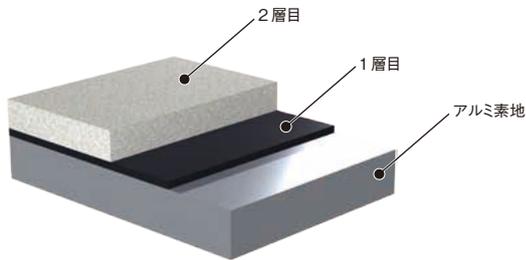


図12 2層塗装

この塗装の耐食性に対する実力を確認するため、下記条件で塩水噴霧試験を実施しました(ISO 9227)。

- 塩水濃度 : 50±5 g/L
- 噴霧圧 : 98±10 kPa
- 設備内温度 : 35±2 °C

一般的な海水の塩分濃度が3.4%程度であるのに対し、この試験には5%塩水を用いています。評価サンプルには塗装に傷がついたことを想定して、アルミ素地まで届くような傷(スクラッチ)をつけました。表1は試験実施200時間後の写真です。

表1 塩水噴霧試験200時間実施後の塗装面

	全体	拡大
1層塗装		
防塵・防水BLで採用した2層塗装		

表1に示すとおり、1層塗装は傷をつけたところから面全体に塗装膨れが広がっていますが、2層塗装はほとんど発生していません。

また、1層塗装は傷をつけていないところからも塗装膨れが発生していますが、2層塗装は発生していません。

4.2. ガルバニック腐食(異種金属接触腐食)

異なる2種類の金属を電解質水溶液に入れ、金属に豆電球をつなぐと点灯する実験を経験した方も多いと思います。

これは電池の原理であり、図13のようにイオン化傾向の大きい金属(亜鉛)が負極、小さい金属(銅)が正極となり、イオン化傾向の大きい金属から電子が流れることで豆電球を光らせています。その際、電子がなくなった亜鉛原子はイオン化して水溶液中に溶け出します。この原理により発生する金属の腐食を、ガルバニック腐食といいます。

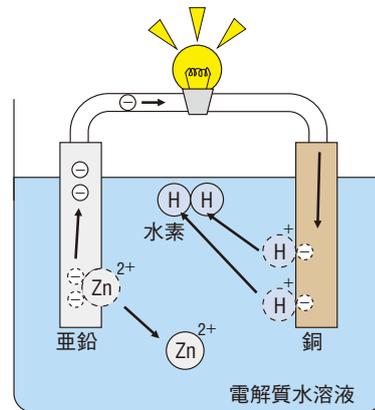


図13 電池の原理(ボルタ電池)

この現象は装置にモーターを取り付けた時にも起こる懸念があります。イオン化傾向の異なる2種類の金属と電気を通す液体が付着していればこの現象は発生します。

一例として、ステンレスの筐体で製作した装置にアルミ製のモーターをつけ、装置を水洗いしたとします(図14参照)。すると、ステンレスがイオン化傾向の小さい金属、アルミがイオン化傾向の大きい金属、洗浄で使った水が電解質水溶液としての役割を果たします。それにより、イオン化傾向の大きいアルミが腐食します。

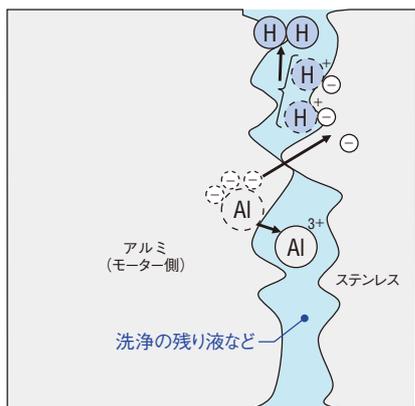


図14 モーター取付面とステンレス筐体の接触

防塵・防水BLはガルバニック腐食を発生させないために、取付面にも塗装を施しています(図15参照)。塗装により金属間を絶縁することで、腐食の発生を抑制しています⁽³⁾。

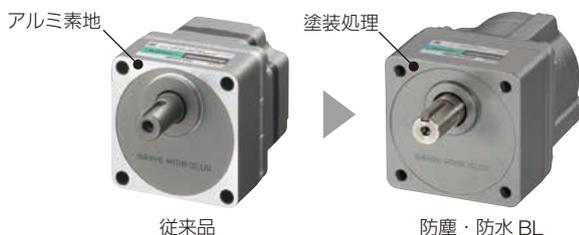


図15 従来品との取付面比較

4.3. ステンレス部品の使用

ねじとシャフトにはステンレスを使用しています(図16参照)。ステンレスのねじは接着剤を塗布し、アルミに接触している部分に液体が入らないようにすることで、ガルバニック腐食を発生しにくくしています。

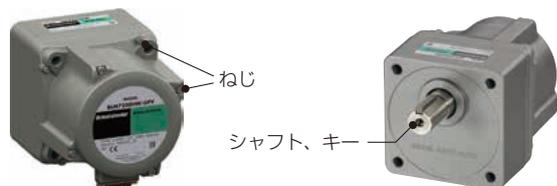


図16 ステンレスを用いた部品

5. モーター形状

防塵・防水BLは水がかかる環境で使用することを想定して、図17のようにどの方向で取り付けても傾斜があり、水が流れやすい形状にしました。



図17 傾斜の多い形状

また、食品機械では衛生を維持するうえで、六角穴付きボルトの穴にゴミが溜まることは好ましくないという声をいただきました。そのようなお客様のため、最も大きいサイズである取付用のねじに通常の六角ボルトが使用^(注3)できる設計にしています(図18参照)。



図18 六角ボルトを使用できる形状

6. まとめ

近年のモーター使用環境の拡大に追従し、防塵・防水仕様のブラシレスモーターを開発しました。従来品から構造を一新して防塵・防水性を向上し、経年劣化を考慮した独自の「水洗い防水試験」を定め、この製品から適合しました。また、衛生に考慮した塗装や形状としています。

この設計コンセプトが認められ、グッドデザイン賞を受賞することができました。今後、出力・型番の展開や電磁ブレーキ付などラインアップを追加していく予定です。

今後もオリエンタルモーターは、変化し続けるニーズに応えられるよう製品開発とサービスの提供を続けていきます。

(注3) 六角ボルトは添付されておりません。別途ご用意ください。

参考文献

- (1) 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.4-6
- (2) 最新表面処理技術総覧編集委員会「最新表面処理技術総覧」, (1989), p727, 株式会社 産業技術サービスセンター
- (3) 増子昇「さびのおはなし」, (1990), p124, 財団法人 日本規格協会

筆者



小林 泰士

AC・BLモーター開発部