

ブラシレスモーターユニット NexBL **BMU** シリーズの特長

栗田 真也 堀 亜由香

Features of the NexBL **BMU** Series Brushless Motor and Driver Package

Shinya KUWATA , Ayuka HORI

Brushless motors have been used as the driving source in a variety of equipment and devices. In recent years, the demand for smaller machines and lower energy costs has increased. Naturally, these demands have passed down to the motor as well.

The **BMU** series motor and driver package combines a NexBL motor with a new driver for ease of use. Compared with conventional motors, the NexBL is more compact, lighter in weight, and more energy efficient.

In this paper, we describe the technology to achieve the NexBL motor's high efficiency and the features of the new **BMU** driver.

1. はじめに

ブラシレスモーターは、小型、高効率、高出力なモーターとして、さまざまな装置や機器の駆動源として使用されています。近年、装置の小型化、高出力化、省エネルギー化の要望の高まりとともに、モーターにも同様の性能が期待される一方で、簡単に設置・接続・操作ができることへの要望も高まっています。こうした要望に応えるため、小型化・軽量化・高効率化を実現したNexBL（ネクスビーエル）モーターと、使いやすさを向上させたドライバを組み合わせた製品が、NexBL **BMU** シリーズです（図1参照）。

ここではNexBLモーターの、小型化、軽量化、高効率化を達成した技術を中心に説明します。



図1 NexBL **BMU** シリーズ (注1)

2. NexBL **BMU** シリーズの特長

設計を全面的に見直したNexBLモーターと、使い勝手を向上させた**BMU**ドライバのユニット商品がNexBL **BMU** シリーズです。主な特長は下記のとおりです。

1) 小型・軽量・省資源

モーター設計を一から見直すことで、小型、軽量、省資源を実現

2) 消費電力低減

モーターおよびドライバの効率向上により、ユニットとしての消費電力低減を達成

3) 使い勝手向上

ドライバを新規設計し、直感的な簡単操作を実現

4) 新機能追加

- ・ デジタル表示器搭載
- ・ 1r/min刻みでの速度設定
- ・ 過負荷アラーム検出時間の延長
- ・ 簡易保持機能
- ・ 速度の上限値下限値の設定

3. NexBLモーターの小型・軽量・高効率化技術

モーターの損失は、図2で示すように、電磁鋼板で発生する鉄損、巻線で発生する銅損、機械的摩擦等による機械損に分けられます。高効率化を達成するためには、これらの損失をどれだけ低減できるかがポイントとなります。

(注1) NexBL **BMU** シリーズは、商品の性能、独創性が認められ、「2013年“超”モノづくり部品大賞」機械部品賞を受賞しました。

ここでは、NexBL モーターで実施した損失低減設計について説明します。

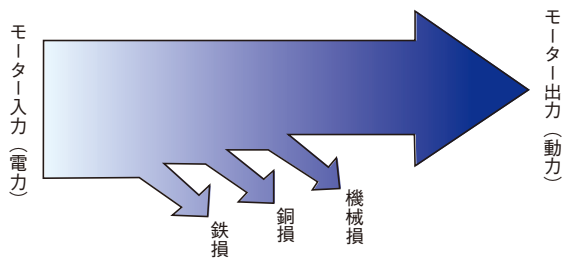


図2 ブラシレスモーターのエネルギーフロー

3.1. 鉄損低減

小型・高出力実現のために、磁束密度の高い高エネルギー積のネオジム焼結磁石を採用したため、鉄損は増加する方向にありました。さらに、レアアースの省資源化を目指すうえでディスプレイシウムの低減も必須となり、わずかではありますが、これも磁束密度を大きくする方向に作用しています。

上記の理由による磁束密度の増加に対して、電磁鋼板の材質や厚み、形状を最適な設計にしました。これらについて詳細を説明します。

$$P_i = P_h + P_e \quad (1)$$

$$P_h = k_h \cdot f \cdot B^{1.6} \cdot m \quad (2)$$

$$P_e = \frac{k_e (t \cdot f \cdot B)^2}{\rho} m \quad (3)$$

- P_i : 鉄損
- P_h : ヒステリシス損
- P_e : 渦電流損
- k_h : 比例定数
- k_e : 比例定数
- f : 周波数
- B : 最大磁束密度
- m : 鉄心質量
- t : 電磁鋼板の厚さ
- ρ : 電磁鋼板の抵抗率

鉄損は、式(1)のようにヒステリシス損と渦電流損により大きさが変化します。

式(3)の渦電流損は、電磁鋼板1枚の厚み t の2乗に比例することがわかります。NexBLモーターでは、積層する電磁鋼板1枚の厚みを0.35mmとし、従来品の0.5mmよりも薄いものを採用したことで、渦電流損を低減しています。さらに、鉄損は電磁鋼板積層体である鉄心質量 m に比例しますので、質量を低減することでも鉄損を低減しました。

磁石とステータの最適設計により、鉄心の厚みを約半分にすることができ、軽量化と低鉄損化、さらに小型化を同時に実現できました。図3に、定格点での鉄損の比較を示します。

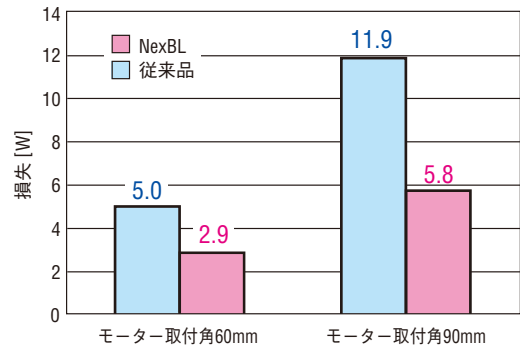


図3 鉄損比較

3.2. 銅損低減

銅損は、下記に示す式により求められます。

$$P_c = R \cdot i^2 \quad (4)$$

$$R = \rho_c \cdot \frac{l}{S} \quad (5)$$

- P_c : 銅損
- R : 巻線の抵抗
- i : 巻線電流
- ρ_c : 銅の抵抗率
- l : 巻線の長さ
- S : 巻線の断面積

式(4)より、電流値が同じであれば、銅損は巻線の抵抗値で決まります。銅損を低減するためには、式(5)より、太い巻線を短く巻くことがポイントになります。また、使用する磁石の磁束密度が高くなるため、電磁鋼板の形状は図4のようにティース幅を広げる必要がありました。ティース幅が広がる分、スロット面積が減少しますが、ケースを使用しない外鉄構造を採用し、結線方法の変更などヨーク幅の最適設計を行い、スロットの奥行きを広げたことで、スロット面積が従来と比べて37%増加しました。

この結果、断面積 S が大きい巻線を使用できる構造になり、銅損を低減しています。また、鉄心の厚みが半減しているため、巻線長さ l が短くでき、これも銅損の低減につながっています。定格点での従来品との銅損の比較を図5に示します。

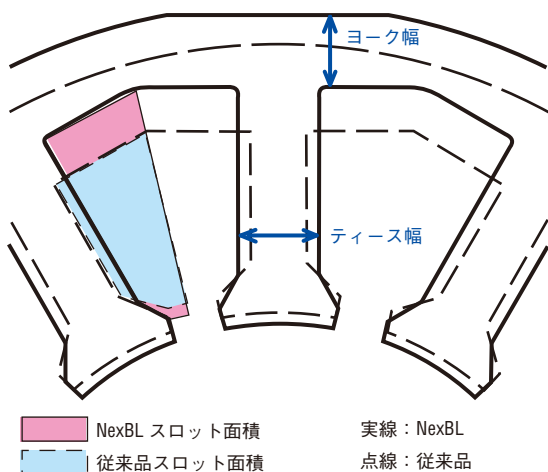


図4 鉄板形状の比較（モーター取付角 60mm）

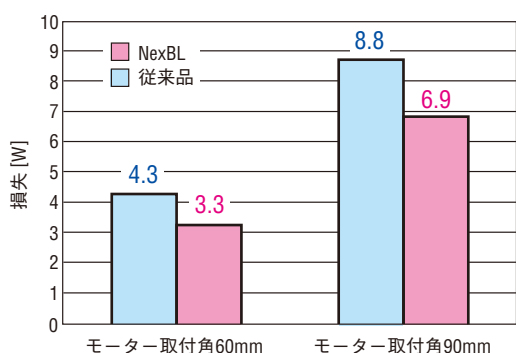


図5 銅損比較

以上のように最適設計を行った結果、モーター損失の大部分を占める鉄損、銅損を低減でき、図6のようにユニット効率が向上しました。120W（取付角 90mm）タイプの効率は、国際規格の効率等級⁽¹⁾である IE4 の数値^(注2)を大幅に上回っています。

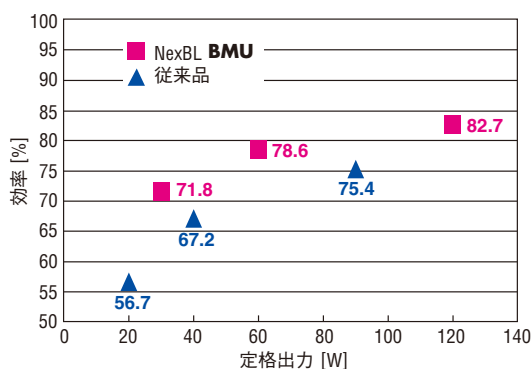


図6 ユニット効率の比較

3.3. ギヤヘッド付きタイプの機械損低減

最近、減速機と組み合わせられるモーターでは、歯車のかみ合い音を下げるために、はすば歯車を採用している例が多くなっています。はすば歯車を使用したとき、歯

溝のねじれのために、ギヤヘッド内部のグリースが掻き出され、そのグリースがモーター内部に浸入することがあります。これを防止するため、モーター出力軸部にオイルシールを設置していますが、流動性の高いグリースでは高性能タイプのオイルシールの採用など、より封止力を強固にする必要が出てきます（図7参照）。

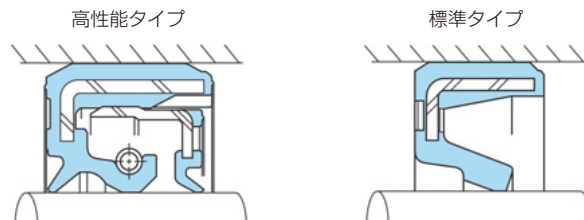


図7 オイルシール断面図

一方で、封止力を強固にするほどオイルシールの負荷が大きくなり、モーターの効率を大幅に損なうことになりかねません。また、オイルシール自体も大型となり、結果としてモーターも大きくなります。

NexBL モーターでは、それらを避けるため、簡単な構造ながら、標準タイプのシールと組み合わせることで確実にグリースをシールする機構を開発しました（特許出願中）。この機構に使用する部品をグリースシールチューブと呼びます。図8に、グリースシールチューブと、グリースシールチューブをモーター出力軸に装着した例を示します。



グリースシールチューブ

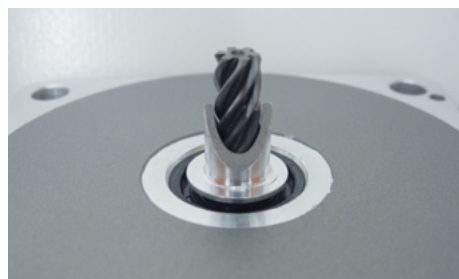


図8 グリースシールチューブを装着した状態

(注2) 定格出力 120W 4極のインダクションモーターでは、50Hzの場合 69.8%、60Hzの場合 70.0%。

従来品では、図9のように標準タイプのオイルシールのみでグリースの浸入を防いでいました。この構造では、流動性が高いグリースの漏れを完全に防ぐことが困難でした。

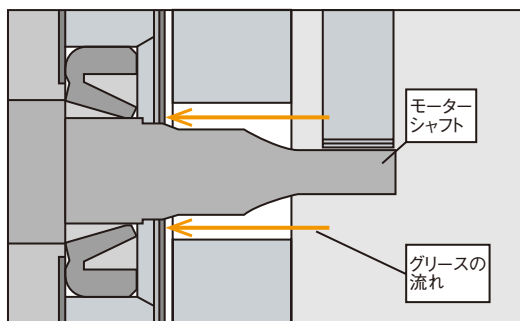


図9 従来品モーターシャフト部の拡大図

NexBLモーターでは、図10のようにグリースシールチューブを装着することにより、オイルシールに達する前の段階でグリースの大半を跳ね返す構造になっています。これにより、グリースがモーターへ浸入することを防いでいます。

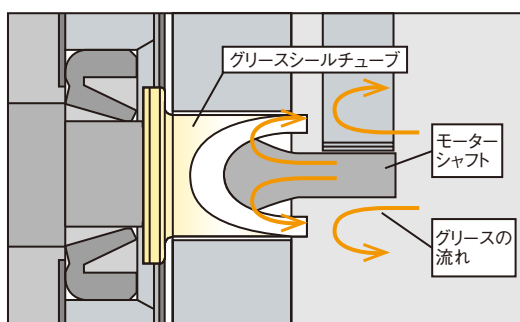


図10 NexBLモーターシャフト部の拡大図

モーターの回転後に、ギヤヘッドを外すと、図11のようにモーター側へグリースが浸入していないことがわかります。

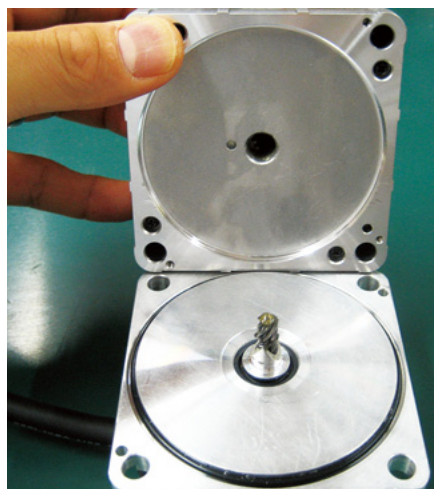


図11 グリースシールチューブの効果

以上より、グリースシールチューブを追加することでオイルシールによる負荷の増加を抑え、モーター部の小型、高効率を実現しました。

3.4. 磁極検出構造変更による薄型化

ステータカバーのコイルエンドと同じ高さにセンサ基板を固定し、省スペース化を実現しました(特許出願中)。

これにより、磁石の直上に磁極検出用のホールICを配置でき、磁極検出のために磁石を延長する必要がなくなるため、軽量、省資源に貢献しています(図12参照)。

また、センサ基板の配置変更に伴い、結線方法も見直し、動力線は基板を通さない構造にしました。これにより基板面積も大幅に低減し、従来品と比較して76%減少しています(図13参照)。

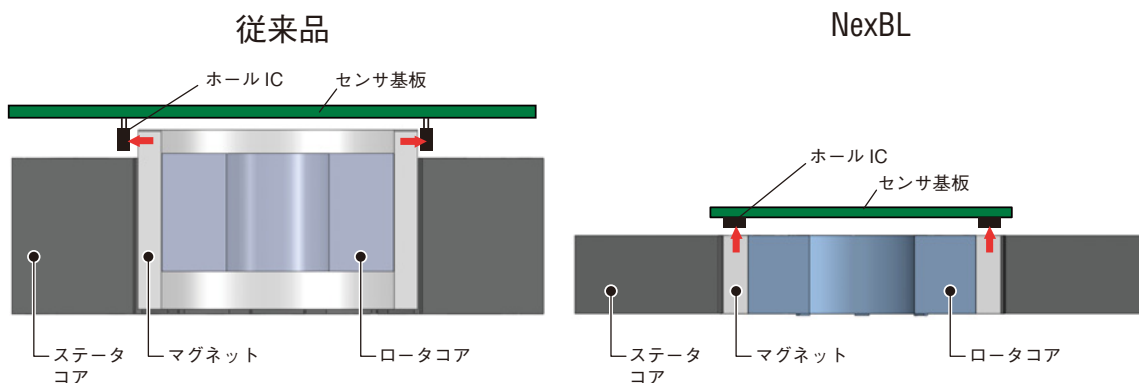


図12 磁極検出構造比較

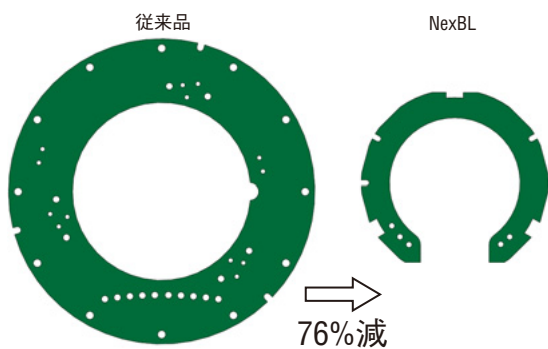


図 13 センサ基板面積比較

さらに、ホールICの組付けを面実装タイプに変更することで、磁極検出の高精度化を実現しました。これによりモーター駆動時の励磁タイミングが理想値に近づくため、無効な電流が少なくなり、高効率化につながります。

図14は、ホールICによる磁極検出精度を表したイメージ図です。磁極検出角度のずれが小さいほど高精度といえますが、従来品のばらつきの分布と比較し、NexBLモーターの磁極検出が高精度化していることがわかります。

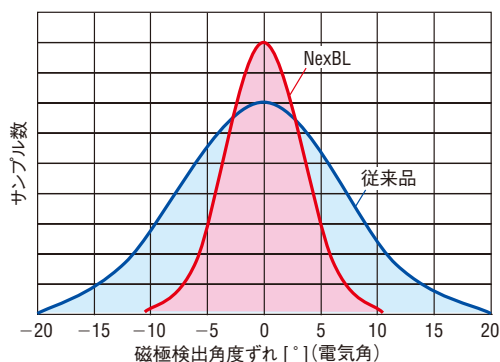


図 14 磁極検出精度比較イメージ

以上のように磁極検出構造を見直すことにより、モーターの小型軽量化、省資源、高精度化を同時に実現しました。

4. BMUドライバの特長

4.1. AXU/BLUシリーズとBMUシリーズの比較

4.1.1. デザインの一新

BMUシリーズでは、AXU/BLUシリーズのデザインを一新し、お客様からの要望を取り入れ、新機能を追加しています(図15、図16、表1参照)。



図 15 AXU/BLUシリーズの外観



図 16 BMUシリーズの外観

表 1 AXU/BLUシリーズとBMUシリーズの操作面の比較

	AXU/BLUシリーズ	BMUシリーズ
	LED表示	デジタル表示
表示器	<ul style="list-style-type: none"> ・通電状態-緑色LED点灯 ・アラーム状態-赤色LED点灯か点滅でアラームの種類を判断 ・速度表示器は外部に設ける必要あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタ機能: 速度・負荷率・アラーム・運転データ番号・I/O・ワーニング ・データ設定 ・パラメータ設定
設定ダイヤル	アナログボリューム →1r/min刻みでの設定は困難	エンコーダ →1r/min刻みでの設定が可能
運転スイッチ	左方向でRUN	右方向でRUN
回転方向切り換え	ドライバ背面の入出力端子接続部の短絡片により切り換え →ねじを一度外しての切り換え	フロントパネル部の回転方向切り換えスイッチで切り換え
シンク/ソース切り換え	ドライバ背面のスイッチにて切り換え	コモン信号の接続により、切り換え →スイッチによる切り換え無し
電源接続端子 入出力信号 接続端子	端子台 →プラスドライバ等の工具が必要	スプリング結線式コネクタ →圧着端子、工具不要

4.1.2. 出力トルクのアップ

AXU/BLU シリーズはドライバの制約により、モーターの出力を抑えていました。**BMU** シリーズではドライバ内部での一番の発熱源であるパワー素子部の放熱設計を見直しました。同じ取付角寸法における、定格出力、定格回転速度、速度制御範囲の比較を表2に示します。

表2 ブラシレスモーター製品の仕様比較 (取付角 90mm)

シリーズ名	定格出力 [W]	定格回転速度 [r/min]	速度制御範囲 [r/min]
AXU/BLU	90	2000	100~2000
BMU	120	3000	80~4000

AXU/BLU シリーズの放熱構造では部品レイアウトの関係上、パワー素子を放熱板の端に配置していました (図17参照)。

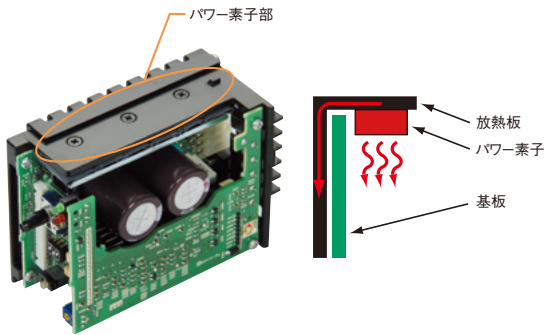


図17 AXU/BLU シリーズの構造

それに対し、**BMU** シリーズでは放熱板を有効に活用するため、パワー素子を中央に配置しています。さらに、基板でパワー素子の熱を遮蔽する構造とし、ドライバ内部の温度の上昇を防いでいます (図18参照)。

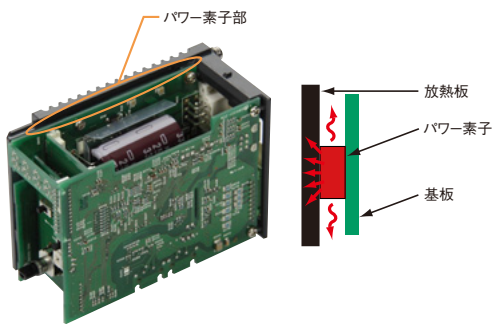


図18 BMU シリーズの構造

また、放熱板の設計においても、フィンのない場合とある場合で熱のシミュレーションを行いました。フィンを付けることで、表面積を増やし、よりよく放熱できる形状としました (図19参照)。

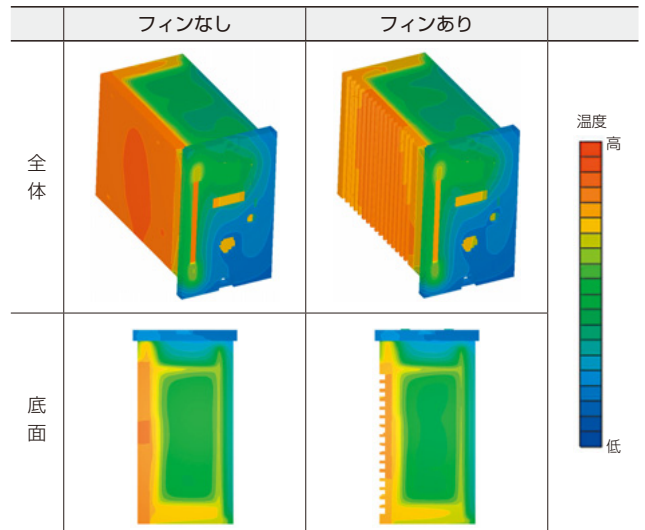


図19 フィンの有無による放熱板の温度のシミュレーション

このような構造にすることで、**AXU/BLU** シリーズと同じサイズでありながら、出力は120Wまで向上しています。

4.2. 操作性の向上

BMU シリーズは使いやすさにこだわった製品です。そのため、機能だけでなく、操作面にも使いやすさを求めました。フロントパネルは、直感的に動かせるデザインにし、**STAND BY-RUN** のスイッチ方向や、データ設定のダイヤルの形状などにこだわりました。

ダイヤルには凹凸の形状をつけ、凹部は指先で回す場合に、凸部は手袋を着けた状態でも回せるようにしました。これにより、ダイヤルの外側をつかんでも、指先で回しても、ダイヤルの操作ができるようになっています。(図20参照)

また、速度設定のダイヤルは、従来はアナログボリュームでしたが、エンコーダを採用し、デジタルで1r/min刻みの設定ができます。アナログボリュームでは、ツマミに誤って触れた際に、速度が変わってしまうことがありました。**BMU** シリーズではダイヤル操作のロック機能を設けており、意図しない速度の変更やデータの変更を防止することができます。



図20 ダイヤルを使った速度設定

4.3. デジタル表示器

デジタル表示器で回転速度や負荷率、アラーム、ワーニングの状態をモニタできます。アラームやワーニングはコードが表示されるため、それらの種類の判断が容易になりました。

回転速度表示では、ギヤヘッド出力軸の速度表示や、コンベヤの搬送速度を表示させることができます。

下記にコンベヤの搬送速度を表示させる場合のパラメータの算出式を示します。

$$\begin{aligned} \text{パラメータ設定値} &= \frac{1}{\text{モーター1回転での送り量}} \\ &= \frac{\text{ギヤヘッド減速比}}{\text{プーリー直径} \times \text{円周率}} \end{aligned}$$

算出されたパラメータ設定値から、コンベヤの搬送速度は次のように換算されます。

$$\text{コンベヤ搬送速度} = \frac{\text{モーター出力軸の回転速度}}{\text{パラメータ設定値}}$$

計算の例を以下に示します。

例) プーリー直径：0.1m、ギヤヘッド減速比20の場合

$$\text{パラメータ設定値} = \frac{20}{0.1 \times \pi} \approx 63.7$$

上記の結果から、パラメータ設定値が63.7となりますので、減速比パラメータにて、63.7を設定します。

この場合、モーターの回転速度が1300r/minのとき、コンベヤの搬送速度は

$$\text{コンベヤ搬送速度} = \frac{1300}{63.7} = 20.4[\text{m/min}]$$

となり、表示部には「20.4」と表示されます。

4.4. 使い勝手を向上させる新機能

BMUシリーズでは使い勝手を向上させるため、従来品にはなかった、新機能を追加しています。

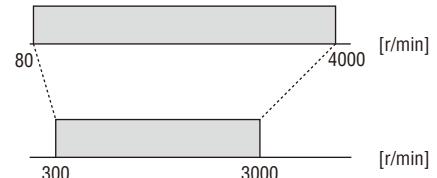
1) 過負荷アラーム検出時間の延長

従来品では、過負荷保護が働くまでの時間は一律5秒としていました。しかし、用途として仕様外の負荷が加わることがあり、保護が働くまでの時間を延長したいという要望が多くありました。パワー素子の放熱構造を見直したことで、過負荷アラーム検出時間の延長が可能となりました。

2) 速度の上限値・下限値の設定

速度制御範囲は80r/minから4000r/minまでですが、装置の仕様に応じて速度制御範囲の上限値、下限値が設定できます。誤操作防止などに使用できます(図21参照)。

回転速度の設定範囲



[例] 速度上限：3000 r/min
速度下限：300 r/min
に設定し制限した場合

図 21 速度の上限値・下限値の設定

3) 簡易保持機能

モーター停止中に、モーター出力軸の変化に応じて定格トルクの約50%の保持トルクが発生し、任意の位置で簡易的に保持することができます。

簡易保持中のトルクの発生原理を図22に示します。モーター停止中に、外力によりモーター出力軸に変化が生じると、ホール信号が切り替わり、速度情報が得られます。検出した速度情報を基に、速度指令との差分を検出し、速度を0r/minに戻すような電圧指令が積分器より出力され、元の停止位置に戻そうとするトルクが発生します。

位置制御とは異なり、完全に元の位置に戻す制御ではありません。モーター出力軸が±60°の角度変位内でワークを簡易的に保持したいという用途に使用できます(図23参照)。ただし、電源遮断時には保持力は発揮できません。

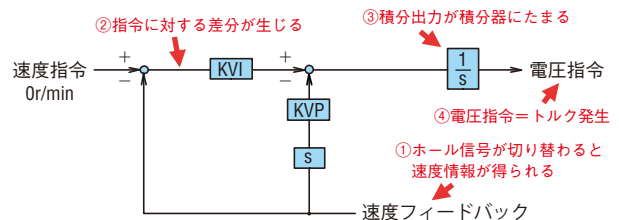


図 22 簡易保持機能 ブロック図

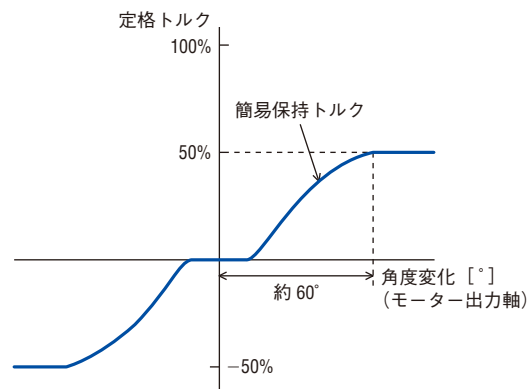


図 23 簡易保持機能 特性概略図

5. 商品紹介

NexBL **BMU** シリーズの出力は、30W・60W・120Wの3種類、電源電圧仕様は単相100Vタイプ、単相200V/三相200Vタイプの2種類を用意しています。既存の**BLU**シリーズと比較して、モーターは小型化し、出力は向上しています。丸シャフトタイプのほか、平行軸ギヤヘッドと組み合わせたコンビタイプも用意しています(表3、表4参照)。

表3 **BLU**シリーズと NexBL **BMU**シリーズの出力

取付角寸法 [mm]※1	出力 [W]	
	BLU シリーズ	NexBL BMU シリーズ
60	20	30
80	40	60
90	90	120

※1 コンビタイプの取付角

6. まとめ

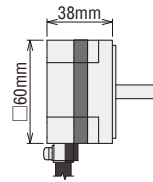
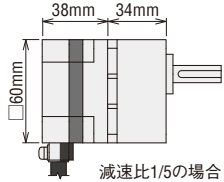
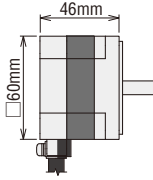
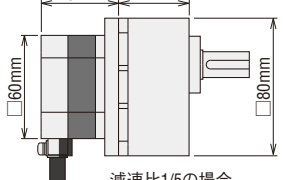
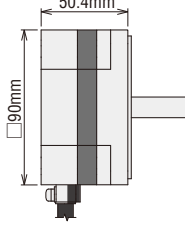
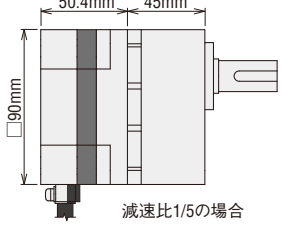
NexBL **BMU** シリーズは、モーター、ドライバのすべての設計、デザインを一新した、今後を担うブラシレスモーターユニットです。小型、軽量になることで、お客様の装置全体の小型化、軽量化に貢献でき、さらに高効率であることから、装置の省エネにも貢献します。また、この製品で採用した新技術が認められ、「2013年“超”モノづくり部品大賞 機械部品賞」も受賞しています。

今後はNexBL **BMU** シリーズのバリエーションを拡大していきます。また、NexBLモーターと組み合わせる新たなドライバを開発し、商品展開も進めていきます。

参考文献

- (1) IEC 60034-30-1 Rotating electrical machines Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)

表4 NexBL モーターの外観

出力	丸シャフトタイプ	コンビタイプ
30W		
60W		
120W		

筆者



栗田 真也

PD 事業部



堀 亜由香

回路事業部