

高出力・DC電源入力ブラシレスモーターユニット BLVシリーズの開発

飯田 敏充 佐藤 晋治

Development of High-power, DC Power Input Brushless Motor and Driver Package **BLV** Series

Toshimitsu IIDA, Shinji SATO

A brushless motor is a compact, highly-efficient, and speed-controllable motor. In recent years, the applications that drive a brushless motor with a battery power supply (DC power supply) from the viewpoint of BCP (Business Continuity Plan) have been increasing. Moreover, battery power has often been adopted for AGV (Automated Guided Vehicle), and the motor output has been requested to get larger with an increase of the load capacity.

This article introduces the characteristics of the brushless motor and driver package "**BLV** Series" that has achieved a high output power (200W-400W) with DC power input. It has characteristics suitable for a drive with battery power supply, and is equipped functions for the usage of various purposes.

1. はじめに

各種速度制御用モーターの中で、ブラシレスモーターは省エネルギー、省スペース、幅広い速度制御範囲、高い速度安定性などの特徴を持っており、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。近年では、半導体や液晶、電子部品の製造装置などを中心としてより精度の高い搬送用途への採用が増えており、こうした市場のニーズに応えるべく、当社ではブラシレスモーターユニットの商品ラインアップを拡充してきました。

近年はBCP(事業継続計画)の観点から停電対策として、バッテリー電源で駆動するブラシレスモーターの採用が増加しています。そのため通常時はスイッチング電源でモーターを駆動し、停電時などの非常時のみバッテリー電源駆動に切り替えて使用するという方法がとられています。

バッテリー電源使用の代表的な例としてはAGV(無人搬送装置)があげられます。この分野では、重量物を搬送するために従来のモーター出力では足りなくなっています。

こうした市場のニーズに応え、バッテリー駆動に適した高出力 **BLV** シリーズをラインアップしました(図1)。ここでは **BLV** シリーズの特徴について紹介します。



図1 BLVシリーズ

2. BLV シリーズの特徴

BLV シリーズでは従来のブラシレスモーターの特徴を継承しつつ、新たにバッテリー電源駆動に適した機能を搭載しました。以下に製品の特徴を列記するとともに、表 1 にラインアップを紹介します。

- ・バッテリー電源対応
 - 動作可能電圧範囲の拡大
- ・2 種類の応答モードを標準搭載
- ・高出力設計
- ・ワーニング機能を標準搭載
- ・ベクトル制御の採用
- ・電磁ブレーキ付タイプをラインアップ
- ・RS485 通信を標準搭載
- ・中空軸フラットギヤヘッドタイプをラインアップ
- ・速度制御範囲の拡大
 - 100 ~ 4000r/min (速度比 1 : 40)
 - (データ設定器 **OPX-2A** 使用時は 80 ~ 4000r/min)
- ・ドライバケースタイプ

表 1 BLV シリーズのラインアップ

取付角寸法	出力	電源電圧	モータータイプ	
104mm	200W	DC24V	標準タイプ	平行軸ギヤヘッド
				中空軸フラットギヤヘッド
			電磁ブレーキ付タイプ	丸シャフト
				平行軸ギヤヘッド
	400W	DC48V	標準タイプ	中空軸フラットギヤヘッド
				丸シャフト
			電磁ブレーキ付タイプ	平行軸ギヤヘッド
				中空軸フラットギヤヘッド
			丸シャフト	

※ギヤヘッドはあらかじめ組み付けてお届けします。(コンピタイプ)

次章から、特徴面でのポイントとなる内容について紹介します。

3. バッテリー電源対応

BLV シリーズは、バッテリー電源での駆動を考慮した特性・機能を持った製品です。バッテリー電源で使用される装置などの用途に最適です。

3.1. 広い電源電圧範囲に対応

バッテリー電源は、長時間の継続使用で電圧が低下してしまいます。また、充電時は定格電圧の +30% 程度の充電電圧が印加されます。電源電圧が定格電源電圧の ±25% 程度変動した場合、従来品はアラームが作動してモーターが停止してしまいます。

BLV シリーズは、バッテリー電源での使い勝手を向上

させるため、図 2 のように動作可能電圧範囲を広く設計しました。動作可能電圧範囲とはアラームが作動することなく、モーターの運転が可能となる電圧範囲です。定格電圧より高い電圧では特性に変化はありませんが、低い電圧の場合は最高回転速度に制限がかかります。詳細は 3.2 節に記載します。電源電圧が動作可能電圧範囲で大きく変動してしまった場合でも、モーターの停止を回避できます。

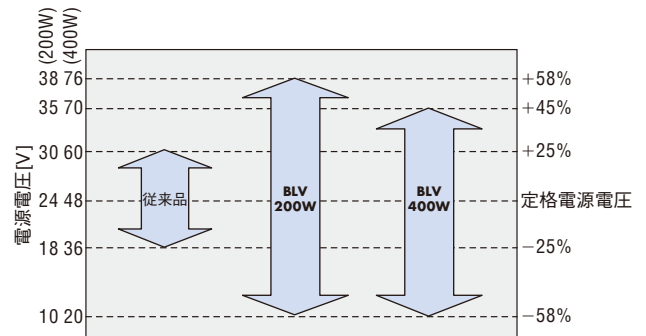


図 2 BLV シリーズの動作可能電圧範囲

3.2. 電源電圧低下時の特性

BLV シリーズは、電源電圧が定格値の -10% 以下になった場合、電源電圧に応じて最高回転速度に制限をかけています。制限を行わないと、電源電流が非常に大きくなってしまったり、安定した速度制御が維持できない場合が生じて、過負荷アラームが作動してしまいます。図 3 に電源電圧低下時の最高回転速度の制限特性を示します。速度制限領域以外では定格トルクの出力が可能です。

最高回転速度の制限は、速度設定値よりも優先して動作します。例えば 3000r/min 設定で運転中に電源電圧が低下した場合、電圧に応じて自動的に回転速度を低下させます。設定速度より実際の速度が低下した状態となるのを避けるには、6 章に記載している不足電圧ワーニング機能を使用して、ワーニング発生後は速度設定を 1000r/min 以下にするなどの方法があります。また、電源電圧を上位機器で監視し、速度制限領域より低い速度設定値にさせていただく方法もあります。

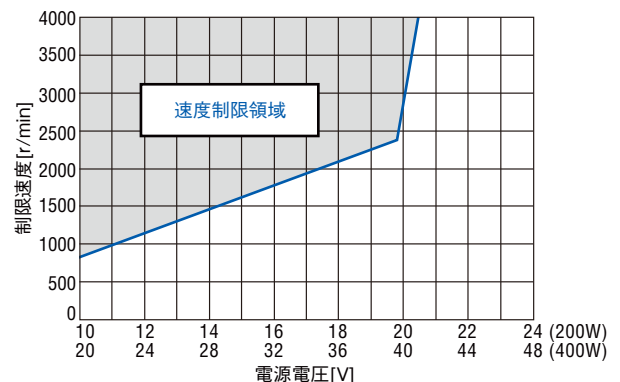


図 3 電源電圧低下時の最高回転速度制限特性

4. 2種類の応答モードを搭載

BLV シリーズは、2種類の応答モードを搭載しています。用途に応じて使い分けが可能です。

「高応答モード」では、俊敏なモーター応答を実現します。しかし、加速時間設定、負荷条件によっては大きな回生電力が発生します。回生電力を吸収できない電源を使用する場合は、回生電力による電源電圧の上昇に注意が必要です。例えば、スイッチング電源を使用していた場合、電源の過電圧保護機能が働き電源電圧が遮断されてしまう可能性があります。

「回生電力抑制モード」では、ドライバ内部で使用している速度指令情報に1次遅れフィルタをかけ、モーター応答を遅くしています。これによって、モーターのオーバーシュートに起因する装置への衝撃の低減、回生電力によるスイッチング電源の遮断を防ぐことができます。しかし、モーター減速時には完全に回生電力を無くすことができません。減速時の回生電力を完全に無くしたい場合は、減速時間設定を長く設定していただくか、巻線短絡制動で停止していただく必要があります。

図4、図5にモード別にモーターの起動・停止応答波形を示します。応答波形から、モーター応答の差、回生電力の発生の有無や大きさを確認することができます。電源電流が負側になっている状態が、回生電力が発生している状態です。

2種類の応答モードについて説明をしました。回生電力を気にせずに使用できる場合は「高応答モード」、回生電力によって電源が遮断してしまうなどの問題が発生する場合は「回生電力抑制モード」でのご使用を推奨します。

※出荷時設定は「回生電力抑制モード」です。

※モーターの応答は負荷条件により異なります。

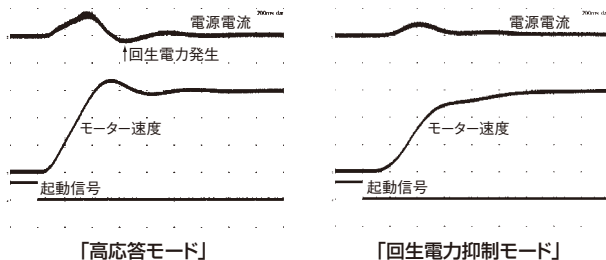


図4 起動応答波形

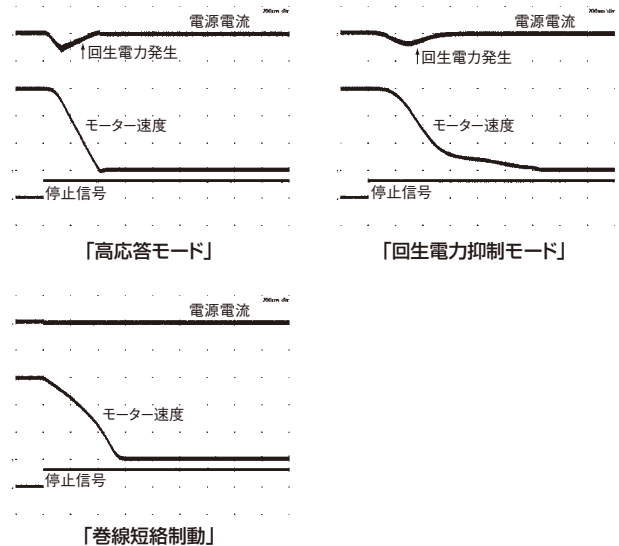


図5 停止応答波形

<図4、図5の波形測定条件>

- ・出力：400Wタイプ
- ・回転速度設定：3000r/min
- ・加減速時間：最短時間設定
- ・負荷条件：許容負荷慣性 ($J=1.5 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$)
- ・電源：バッテリー電源を使用 (DC48V)

5. 高出力設計

出力は式(1)に示すように、電流と電圧の積に比例します。低い電圧で高出力(200W・400W)を出すためには、電流を大きくする必要があります。

$$P \propto I \times V \dots\dots\dots (1)$$

P：出力
I：電流
V：電圧

電流が大きくなると発熱も大きくなり、モーター、ドライバの外形を大きくしないと熱的に耐えるのが難しくなります。BLVシリーズは、設計にさまざまな工夫を取り入れ、コンパクトなサイズで高出力を実現しています。

5.1. モーター設計

発熱を考慮した上で大電流駆動をするためには、抵抗を下げなければいけません。そのためにはモーターの巻線径を太くする必要があります。BLVシリーズでは従来のY結線で設計した場合、巻線径が太くなりすぎてしまい、巻線作業が難しくなります。巻線径を細くする方法としてはY-Δ変換が一般的な方法です。図6、図7にY結線とΔ結線の接続図を示します。

Y結線では線間電圧と相電圧に30°の位相差が発生しますので、1相の巻線にはドライバ印加電圧の1/√3しか印加することができません。これに対しΔ結線では線間電圧と相電圧が等しくなりますのでドライバ印加電圧をフルに印加することができます。モーターの高速での特性は1相に印加できる電圧に比例し、巻線の巻数に反比例して変化するため、同じ巻線仕様の場合はΔ結線の方が√3倍だけ高速性に優れていることになります。

また、高速性を同じにする場合には、Δ結線の巻数を√3倍にできることになります。

$$N_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot N_Y \dots\dots\dots (2)$$

N_Y : 巻数 (Y結線)

N_{Δ} : 巻数 (Δ結線)

Y結線とΔ結線の巻線の量を等しくした場合、式(3)がなりたちます。

$$d_Y^2 \cdot N_Y = d_{\Delta}^2 \cdot N_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot d_{\Delta}^2 \cdot N_Y \dots\dots\dots (3)$$

d_Y : 巻線径 (Y結線)

d_{Δ} : 巻線径 (Δ結線)

式(3)を巻線径 d_{Δ} で整理すると式(4)となります。

$$d_{\Delta} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot d_Y \approx 0.76 \cdot d_Y \dots\dots\dots (4)$$

このようにY結線をΔ結線に等価的に置き換えることでΔ結線の線径はY結線の0.76倍にすることができます。Δ結線にすることで、巻線径が細くなり巻線作業が容易になりました。

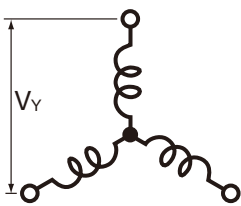


図6 Y結線

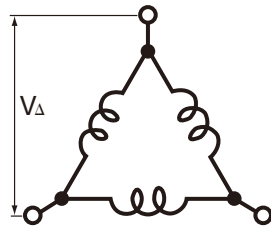


図7 Δ結線

5.2. ドライバ設計

モーターに大電流を供給するため、ドライバにも低発熱化と放熱性向上の工夫が必要です。

損失を低減するため、従来品に比べて基板パターン厚を約2倍にし、スルーホール数を多くしました。インバータ部にはオン抵抗の低い半導体素子を採用し、電流検出回路も低抵抗化して発熱を抑制しています。また、高出力設計に適したパターンの引き回しを行い、基

板での放熱性が大きく向上しています。これらの工夫によってコンパクトなドライバサイズを実現しています。

6. ワーニング機能

BLVシリーズは、保護機能として各種アラーム機能を搭載し、さらに各種ワーニング機能も搭載しています。アラーム機能が作動した場合には、モーターが停止しますが、ワーニング機能が作動した場合には、モーターは停止しません。ワーニング出力信号を上位制御機器で検知することで、アラーム機能が作動してモーターが停止してしまうのを未然に防ぐことができます。ワーニング機能には複数の種類がありますが、いずれか一つのワーニング状態を検出すると、ワーニング出力がオンになります。またワーニング状態から復帰した場合は、自動的にワーニング出力がオフになります。発生しているワーニング種類の確認や、検出レベルの変更は、通信機能またはデータ設定器(OPX-2A)で行うことができます。

＜ワーニング機能の種類＞

・過負荷ワーニング

モーター負荷率が、過負荷ワーニングレベルを超えた場合にワーニングを出力します。検出レベルは任意に設定することが可能です。過負荷アラームによるモーター停止を未然に防ぐことができます。

(初期値：負荷率 100%)

・主回路過熱ワーニング

ドライバの内部温度が過熱ワーニングレベルを超えた場合にワーニングを出力します。検出レベルの変更はできません。主回路過熱アラームによるモーター停止を未然に防ぐことができます。

・不足電圧ワーニング

電源電圧が不足電圧ワーニングレベル以下になった場合にワーニングを出力します。検出レベルは任意に設定することが可能です。不足電圧アラームによるモーター停止を未然に防ぐことができます。またバッテリー電源使用時には、充電時期の目安にも使えます。

(初期値：定格電源電圧 -10% の電圧値)

7. ベクトル制御の採用

BLV シリーズは、モーター制御にベクトル制御を採用しています⁽¹⁾。ベクトル制御を採用することで、高精度なトルク制限や負荷率モニタを実現しています。またトルクを高速に制御できるため、力行・回生トルクの正確な制御ができます。例えば図 8 のように、AGV が坂道下降運転した場合でも、安定した速度制御を実現することができます。

電磁ブレーキ付タイプであれば昇降装置などの上下駆動も可能です。ただし、**BLV** シリーズには回生トルク出力時に発生する戻りエネルギー（回生電力）を消費する能力がないため、回生電力を吸収できるバッテリー電源で使用していただく必要があります。

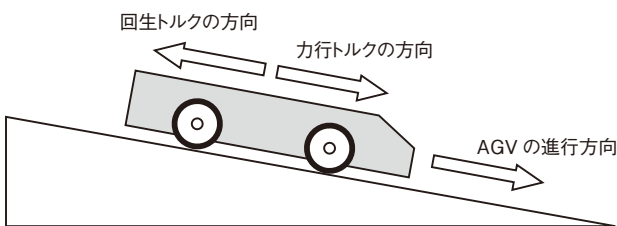


図 8 AGV の坂道下降運転イメージ図

8. 通信機能を搭載

BLV シリーズは、RS485 通信 (Modbus プロトコル) を標準搭載しています。システム構成のスリム化、保守性向上に貢献します。また、別売のネットワークコンバータと組み合わせることで、CC-Link、MECHATROLINK-II・III にも対応可能です⁽²⁾。接続コネクタには LAN 用のモジュラーコネクタを採用し、デジチェーンも可能となっています。

<通信機能搭載のメリット>

- ・省配線、配線コストの削減
- ・各種設定の常時更新が可能 (回転速度など)
- ・モーター状態の常時監視 (アラーム、回転速度など)

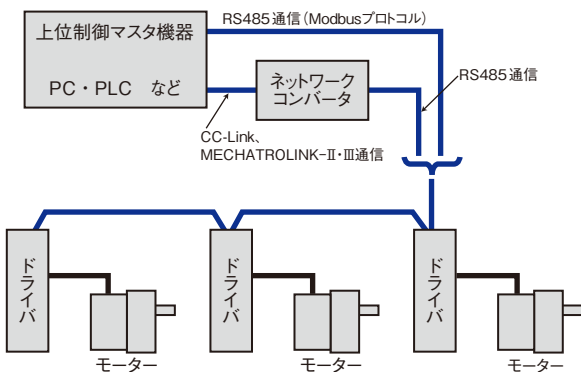


図 9 ネットワークシステム構成例

9. 中空軸フラットギヤヘッドタイプをラインアップ

BLV シリーズには、平行軸ギヤヘッドや中空軸フラットギヤヘッドがあります。中空軸フラットギヤヘッドの代表的な 3 つの特徴を紹介します。

<高許容トルク>

中空軸フラットギヤヘッドは平行軸ギヤヘッドと比較すると、最終段の歯車を大きくすることができるので高減速比でも許容トルクが飽和しません。モーターのトルクを最大限に活用できます。図 10 に減速比と許容トルクの関係を示します。

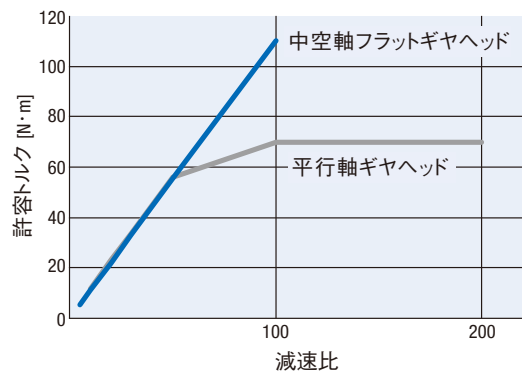


図 10 減速比と許容トルク

<省スペース>

図 11 のように中空軸フラットギヤヘッドであればダイレクトに回転軸を接続することができますので、省スペースかつ機構部品の削減が可能になります。

例えば AGV のような回転軸と床との距離が非常に狭い機構では、中空軸フラットギヤヘッドを使用すると省スペース化のメリットがあります。

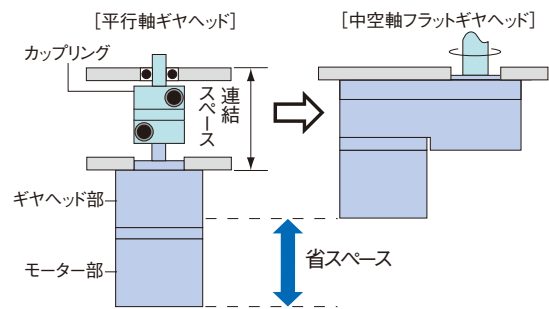


図 11 省スペース

<大きな許容オーバーハング荷重>

中空軸フラットギヤヘッドは平行軸ギヤヘッドと比較すると、最終段の軸受の径が大きいので、より大きなオーバーハング荷重を受けることができます。

表 2 製品仕様 (電磁ブレーキ付タイプ)

定格出力 (連続)	[W]	200	400	
電源入力	定格電圧	[V]	DC24	DC48
	定格入力電流	[A]	13	11
	最大入力電流	[A]	25	18
定格トルク	[N·m]	0.65	1.3	
最大トルク※1	[N·m]	1.15	1.8	
定格回転速度	[r/min]	3000		
速度制御範囲	[r/min]	100~4000 (アナログ設定時) 80~4000 (デジタル設定時 1r/min 単位で設定)※2		
丸シャフトタイプの許容負荷慣性モーメント	[$\times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2$]	8.75	15	
速度変動率	対負荷	$\pm 0.5\%(\pm 0.2\%)$ ※2 以下: 条件 0~ 定格トルク、定格回転速度、定格電圧、常温		
	対電圧	$\pm 0.5\%(\pm 0.2\%)$ ※2 以下: 条件 定格電圧 $\pm 10\%$ 、定格回転速度、無負荷、常温		
	対温度	$\pm 0.5\%(\pm 0.2\%)$ ※2 以下: 条件 使用周囲温度 0~+40°C、定格回転速度、無負荷、定格電圧		
電磁ブレーキ部※3	形式	無励磁作動型、ドライバによる自動制御		
	静摩擦トルク	[N·m]	0.65	1.3
品名	コンビタイプ・ 平行軸ギヤヘッド	BLV620KM□S-◇	BLV640NM□S-◇	
	コンビタイプ・ 中空軸フラットギヤヘッド	BLV620KM□F-◇	BLV640NM□F-◇	
	丸シャフトタイプ	BLV620KMA-◇	BLV640NMA-◇	

※1 最大トルクの使用時間は約 5 秒以内です。

※2 別売のデータ設定器 (OPX-2A)、または通信で設定したときに適用される仕様です。

※3 電磁ブレーキは保持専用です。制動用として使用した場合には寿命が短くなります。

●各仕様値はモーター単体時の値です。

●品名中の□には、減速比を表す数字が入ります。

●品名中の◇には、接続ケーブル (付属品) の長さを表す **1** (1m)、**2** (2m)、**3** (3m) のいずれかが入ります。

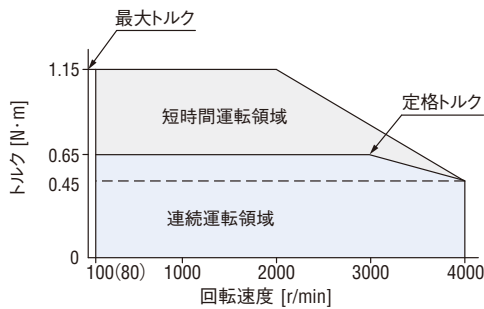


図 12 回転速度 - トルク特性 (200W)

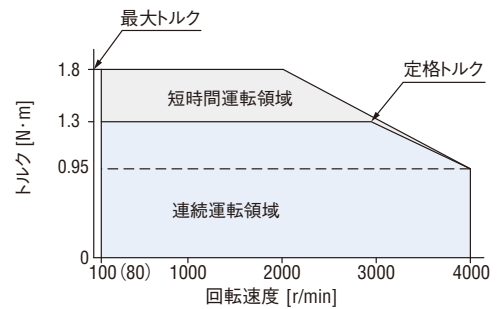


図 13 回転速度 - トルク特性 (400W)

10. まとめ

BLV シリーズは、DC 電源入力で 200W・400W の高出力を実現したブラシレスモーターユニットです。機能・性能面も、さまざまな用途にお使いいただけるよう充実させました。また、従来どおりスイッチング電源を使用した用途に加えて、バッテリー電源を使用した用途にも適した設計を施しています。是非ご検討ください。

参考文献

- (1) 瀧本 正浩, 「ブラシレスモーターユニット **BLE** シリーズの制御技術」, RENGA, No.174, (2010), p4-9
- (2) 大野 智義、大川 俊雄, 「FAネットワーク対応商品の紹介」, RENGA, No.173, (2010), p15-21

筆者



飯田 敏充

鶴岡カンパニー
関東オフィス 開発課



佐藤 晋治

鶴岡カンパニー
PD 事業部 回路技術部