

スピードコントローラ **MSC-1** の特徴と制御技術

瀧本 正浩

Feature and control technology of the **MSC-1** speed controller

Masahiro TAKIMOTO

*Inverter control and phase control have been known as the techniques for the variable speed control of induction motors. Phase control has many merits such as small size, low cost, noiseless, etc., and our company has put many of those products on the market. In developing the **MSC-1** speed controller, phase control, which historically had been using analog control, was designed with a microprocessor. This resulted in an improvement in the characteristics and expanded the available functions. Moreover, the **MSC-1** can be powered wide voltage of AC100V~230V.*

*This paper explains the phase control technology adopted for the **MSC-1**, and the new functions.*

1. はじめに

インダクションモーターの可変速駆動の手法として、インバータ制御と位相制御が知られています。インバータ制御は、モーターへの印加電圧の大きさ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適用されます。位相制御は、モーターへの印加電圧の大きさ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適用され、クローズドループ制御と併用されます。

位相制御はインバータ制御のように高周波でスイッチングをしませんので、回路構成がシンプルでありスイッチングノイズを発生しません。回路の大きさもインバータに比べて小型です。

スピードコントローラ **MSC-1** では、位相制御をマイコンを使ってデジタル化することで、従来品と比較して小型、ローコスト、特性改善、機能追加を達成しました。

また、AC100V ~ 230V のワイド電圧にも対応しました。

ここでは、インバータ制御と位相制御の原理説明、位相制御の利点、ならびにマイコン制御にしたことよって達成した内容について説明します。

2. インバータ制御と位相制御

インバータ制御と位相制御について概略を説明します。

2.1. インバータ制御

インバータ制御の制御ブロック図を図2に示します。

インバータは、モーター印加電圧の周波数を変えるために、AC電源電圧を回路内部で一度直流電圧に変換する必要があります。直流に変換する回路がコンバータ部です。コンバータ部は、交流電圧を整流するためのダイオードと、直流電圧を平滑する大型アルミ電解コンデンサで構成されています。



図1 スピードコントローラ **MSC-1**

インバータ部では、パワー素子をPWM（Pulse Width Modulation）制御することによって、直流電圧を交流電圧に戻し、モーターに電圧を印加します。印加電圧の大きさと周波数は、指令速度によって決定します。

図3にPWM波形を示します。モーターへの印加電圧は、矩形波電圧のオン時間とオフ時間の割合（デューティー）で決まります。たとえば、オン時間とオフ時間が同じであれば、電圧の大きさは矩形波電圧の波高値の半分となります。

デューティーを速度指令から与えられた周波数に従って正弦波状に変化させることで、モーターに印加する電圧の周波数を変えることができます。

インバータ制御では、一般の三相インダクションモーターが使用できます。また、モーターの運転速度をフィードバックしないため、速度を検出するためのセンサが不要です。しかし、オープンループ制御であるため、負荷トルクを加えるとモーター速度が低下する特性となります。

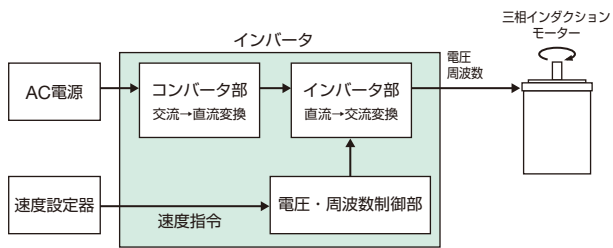


図2 インバータ制御ブロック図

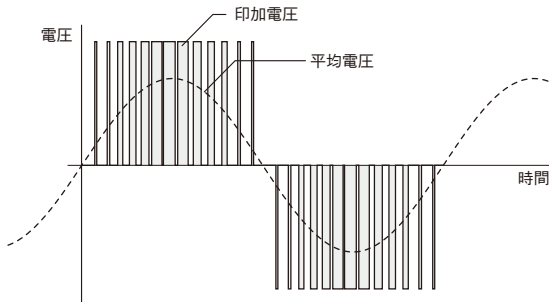


図3 インバータによるPWM印加電圧波形

2.2. 位相制御

位相制御におけるモーターへの電圧印加方法の概略を図4に示します。

モーター巻線に印加する電圧のタイミング（位相）を、トライアックなどのパワー素子を使って制御します。トライアックがONである期間はモーターに電圧が印加され、OFFの期間はモーターに電圧が印加されません。このようにしてモーターの印加電圧を変えることで、モーターの速度を変えることができます。

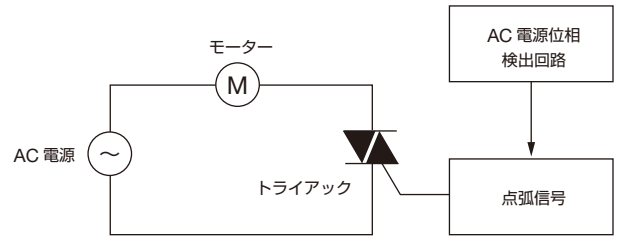


図4 位相制御時のモーター印加電圧

MSC-1では、位相制御による速度制御を行っています。位相制御の制御ブロック図を図5に示します。

インバータ制御と異なり、回路内部で電源を交流から直流、直流から交流に変換する必要がないため、コンバータ部とインバータ部がありません。

モーターはレートジェネレータ付きの単相インダクションモーターを使用します。レートジェネレータの信号からモーター速度を検出してフィードバック制御を行うクローズドループ制御です。速度制御部で、モーター運転速度と指令速度を比較演算し、指令に追従するようにモーター印加電圧の大きさを決定します。

速度のフィードバック制御のため、負荷トルクを加えても設定した指令速度に追従します。

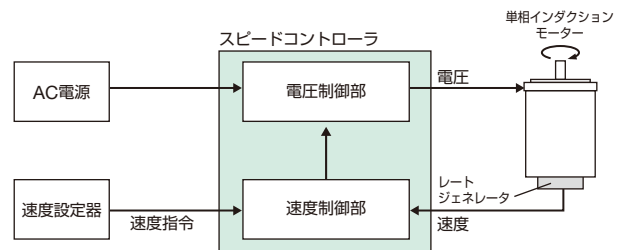


図5 位相制御ブロック図

3. 位相制御のメリット

3.1. 静音・ノイズレス

インバータのスイッチング周波数は人間の可聴領域にあるため、耳障りなスイッチング音が問題になることがあります。また、高周波スイッチングはノイズの発生源とな

るため、同一装置に使われている他の機器へのノイズ源となってしまうことがあります。その対策として、ノイズフィルタを設置することが必要となります。

一方、位相制御の場合、パワー素子のスイッチング周波数は、ドライバに供給する電源の周波数の2倍となります。たとえば、電源周波数 50Hz の場合には、100Hz でスイッチングします。低周波でのスイッチングのため耳障りな音も聞こえにくく、外部機器へ影響を及ぼすノイズ源にもなりません。図 6 は回路から発生するノイズのレベルを周波数ごとに測定したものです。インバータ制御では、ほとんどの周波数において 40dB μ V 以上の放射ノイズを発生していますが、位相制御では約 0.3MHz 以上の放射ノイズは 30dB μ V 以下となっています。

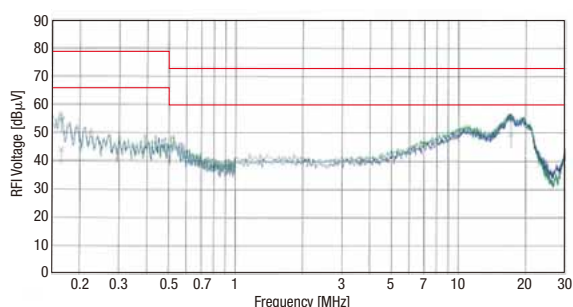


図 6 位相制御とインバータのノイズレベル比較

3.2. 少ない漏れ電流

高周波スイッチングは、漏れ電流の増加にもつながります。**MSC-1** は低周波でのスイッチングのため、漏れ電流は 1mA 以下であり、インバータと比較して 1/10 以下です。高調波による漏れ電流が少ないため、ブレーカ選定が容易になるなどのメリットがあります。

3.3. 長寿命

PWM 制御を行っている駆動回路では、AC 電源電圧を一度、直流電圧に変換する必要があります。その際、整流素子（大型ダイオードブリッジ）と、安定した直流電圧を確保するために、大型アルミ電解コンデンサが必要となります（図 7）。

しかし、アルミ電解コンデンサは部品の特性上、長

年使い続けると容量が減ってくるため、汎用インバータや AC サーボアンプなどでは定期的な交換が必要となります。

位相制御では、平滑用のアルミ電解コンデンサが不要なため回路を小型化でき、長寿命となります。

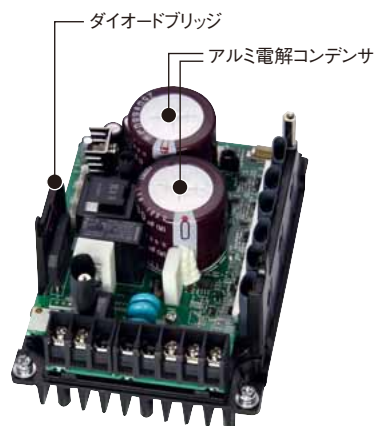


図 7 インバータ回路の大型部品

4. マイコンによるデジタル位相制御

従来のスピードコントローラはアナログ回路による位相制御でした。アナログ制御では、温度ドリフトなどによる速度変動などの問題がありましたが、**MSC-1** ではモーター制御をデジタル化することにより、これらの問題を解決しました。

ここでは、速度変動率の改善、および応答特性の向上について紹介します。また、マイコンを使用したことによるコントローラの小型化についても述べます。

4.1. MSC-1 の位相制御方式

図 8 に、**MSC-1** の位相制御方式を示します。従来のアナログ制御と異なり、モーターの速度演算、速度指令値との比較演算、トライアックへのトリガ信号発生をマイコンで行っています。

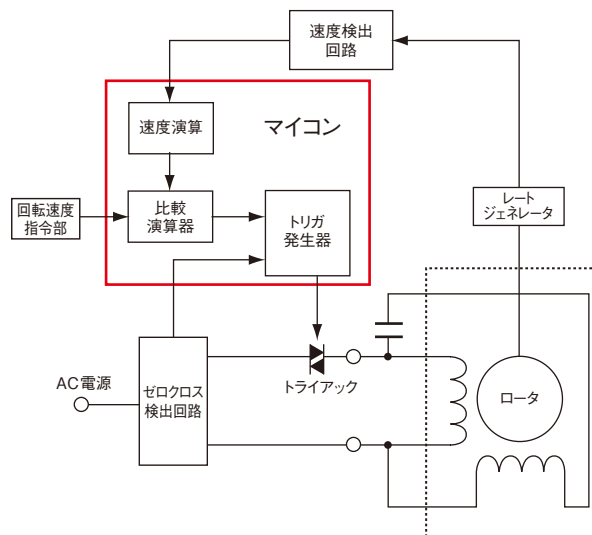


図 8 MSC-1 の位相制御ブロック図

4.2. 速度変動率の改善

図9は、**MSC-1**と従来品の速度-トルク特性を比較したものです。

従来のスピードコントローラ (**MSS-W** シリーズ) では、アナログ回路による速度の比較演算であったため、負荷トルクによってモーター速度の低下が見られました。また、**FE** シリーズインバータは、オープンループ制御のため、負荷トルクを加えるとモーター回転速度が低下する特性となります。

一方 **MSC-1** では、マイコン内部において速度指令値と速度検出値の偏差を常にゼロに制御する完全積分制御を行っています (図10)。その結果、負荷を加えても回転速度の低下は見られず、設定した速度に精度良く追従できるようになりました。

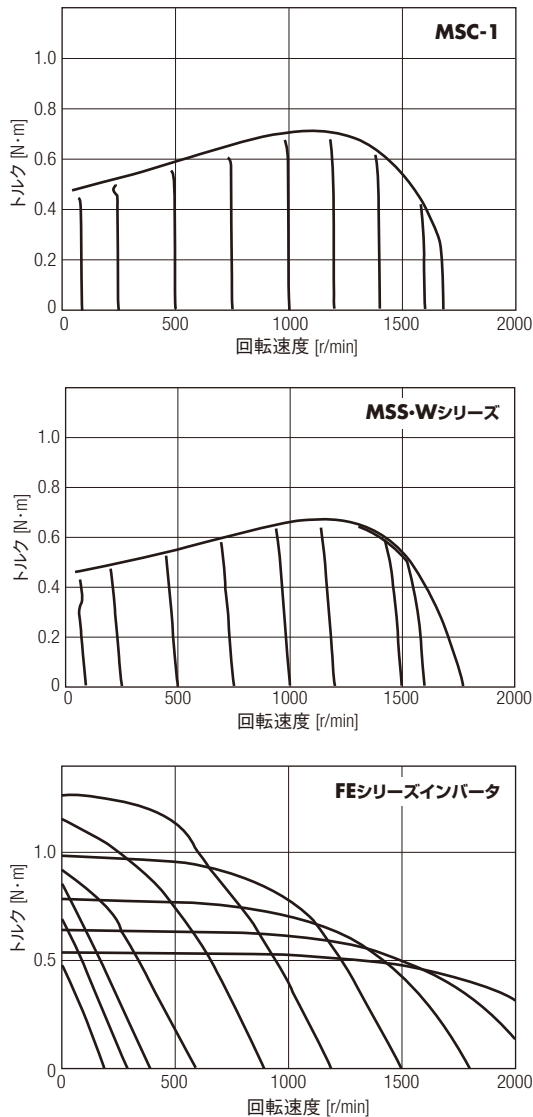


図9 速度トルク特性

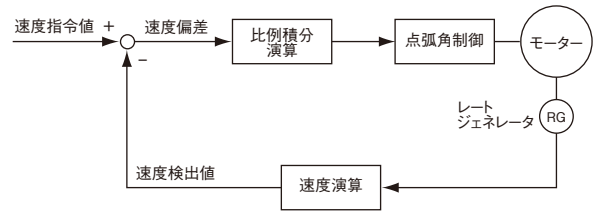


図10 速度比較演算ブロック図

4.3. 起動特性

図11は、**MSC-1**と従来品 (**MSS-W** シリーズ) の起動特性 (無負荷時) を比較したものです。

ソフトウェア処理により起動時の補償制御を行うことで、従来品よりも起動特性を改善しました。停止状態から設定速度までの速度立ち上がり時定数が、従来品では約100msであるのに対し、**MSC-1**では約65msであり、約35%短縮しています。

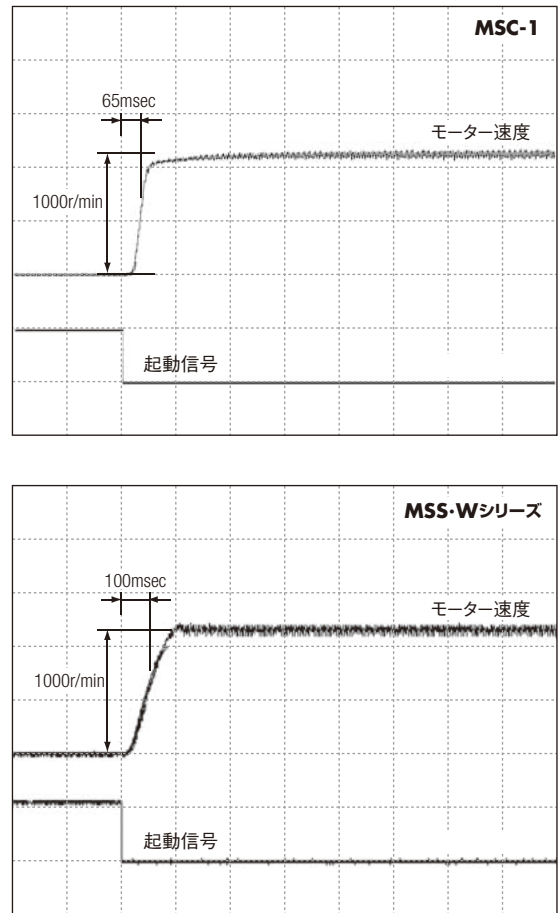


図11 起動特性比較 (無負荷)

4.4. 小型・ローコスト

MSC-1では、機能をマイコンに集約し、電子部品を大幅に削減しました。その結果、コントローラサイズを従来品と比較して体積比で約55%に減らしました (図12)。



図12 コントローラ外観
(左: MSC-1、右: 従来品 MSS・W シリーズ)

5. 機能

MSC-1では、マイコンを使ったソフトウェア処理によっていくつかの新機能を搭載し、よりお客様に使いやすい製品としました。ここでは、MSC-1に搭載されている代表的な機能について説明します。

5.1. アラーム機能

過負荷でモーターがロックした場合など、モーターが異常な状態になったときに、モーターへの電力供給を遮断する必要があります。そのためには、たとえば、モーターに必要な以上の電流が流れたときに電流を遮断するサーキットブレーカを装置の電源部に設けたり、モーターシャフトのロックを検知するためにエンコーダを取り付けたりする必要があります。

MSC-1では、モーターが発熱あるいは過負荷によりロックしたときにアラームを発生し、モーターへの電力供給を自動的に遮断します。以下の2種類のアラーム機能を搭載しました。

- ・モーター過熱
- ・モーターロック

モーター過熱アラームは、モーター動力線に直列に接続されたサーマルプロテクタが作動したときにアラームを出力します。したがって、モーター動力線が断線した場合にもアラームを出力します。

モーターロックは、モーターのジェネレータからの信号の有無で判別しています。過負荷などでモーターシャフトが5秒以上拘束されたときと、ジェネレータ線が断線したときにアラームを出力します。

アラーム時には、ドライバ前面に配置したLEDの点滅回数でアラームの種類を識別することができるほか、アラーム信号出力機能も搭載しているため、上位コントローラでドライバの異常を信号検出することもできます。

アラームは、原因を取り除いてからALARM-RESET信号を入力するか、主電源の再投入によって解除されます。

表1 MSC-1のアラーム機能

アラーム名称	原因	ALARM LED 点滅回数
モーター過熱	<ul style="list-style-type: none"> ・モーター内蔵のサーマルプロテクタが動作 (OPEN) した ・モーターケーブルの断線または接続不良 	9
モーターロック	<ul style="list-style-type: none"> ・モーター出力軸が5秒以上拘束された ・モーターのレートジェネレータ線の断線または接続不良 	2

5.2. 加速時間・減速時間の設定

従来品にも搭載されている、スロースタート、スローダウン機能を標準で搭載しました。内蔵のボリュームを使って、加速時間および減速時間を個別に設定することができるので、負荷を時間をかけて加速、あるいは自然停止よりも長い時間をかけて減速させたい場合に有効な機能です。

ただし、自然停止よりも短い時間での減速設定や巻下げ運転はおこなえませんのでご注意ください。

5.3. 無接点瞬時逆転

スピードコントローラを使って、モーターを瞬時に逆転させる場合、モーター動力線の結線を外部リレーで切り換える場合があります。外部リレー制御では頻繁なON/OFFの繰り返しによる接点の溶着があるため、定期的なメンテナンスが必要となります。

MSC-1は、回路内部に正転用トライアックと逆転用トライアックを備えており、上位コントローラからの正転信号 (FWD) と逆転信号 (REV) を切り換えることによって、モーターを瞬時に逆転させることができます。そのため、外部リレーが必要なく接点の溶着の心配もありません。

図13に瞬時逆転のタイミングチャートを示します。モーターが反時計方向の回転中にFWD入力をONにすると、図13のように瞬時にゼロ速度まで減速してから正転方向に設定時間での加速を始めます。

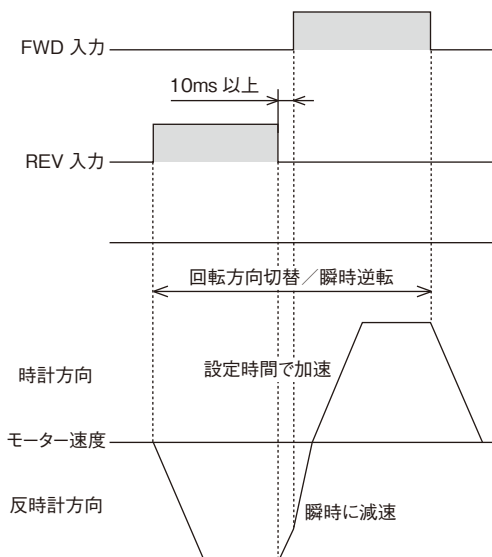


図13 瞬時逆転の動作

5.4. 無接点瞬時停止

FWD 入力と REV 入力を同時に入力すると、直流制動が働きモーターが瞬時に停止します（図 14）。直流制動時間は 0.4 秒です。負荷を瞬時に停止させたい場合に有効な機能です。

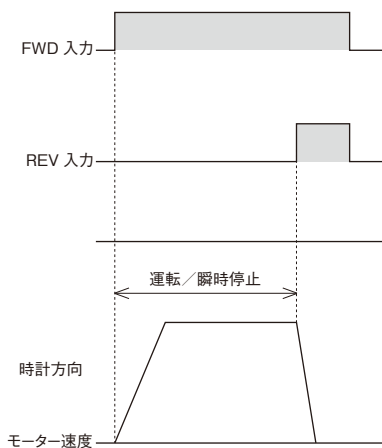


図 14 瞬時停止の動作

5.5. 外部直流電圧による速度制御

外部直流電圧入力を利用すると、モーターの運転速度を上位コントローラのアナログユニットなどからリアルタイムに変更することができます。図 15 に、外部電圧と速度指令の関係を示します。速度の設定範囲は 50Hz のときは 90 ~ 1400r/min、60Hz のときは 90 ~ 1600r/min です。外部直流電圧の設定範囲はコントローラ前面のディップスイッチで切り替えが可能で、0 ~ 5V または 0 ~ 10V を選択できます。

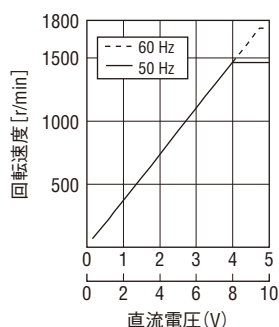


図 15 外部直流電圧による速度設定

5.6. ボリュームによる速度設定

コントローラ前面に内蔵した内部速度設定器、または外部速度設定器（オプション）を使用して、モーターの運転速度を設定することができます。図 16 に速度設定器の目盛と速度指令の関係を示します（代表値）。速度の設定範囲は外部直流電圧による速度設定と同様に 50Hz のときは 90 ~ 1400r/min、60Hz のときは 90 ~ 1600r/min です。

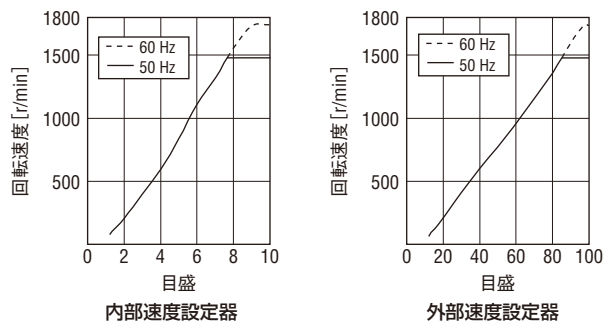


図 16 速度設定器による速度設定

5.7. SPEED 出力

SPEED 出力は、モーター 1 回転あたり 12 パルスの矩形波パルスを出力する信号です。

上位コントローラで一定時間の SPEED 出力パルス数をカウントすることで、モーターの速度をモニタすることができます。また、簡易的な位置決めや、モーターが回転中であることを検知するための信号としても利用できます。

6. まとめ

MSC-1 の主な仕様を表 2 に示します。

今回開発したスピードコントローラ **MSC-1** は、当社の AC スピードコントロール用モーターと組み合わせると、回転速度を自由に可変することができます。また、電源電圧は AC100V ~ 230V のワイド電圧に対応しました。

コントローラにマイコンを採用し、モーター制御演算をデジタル化することによって、速度変動率の改善、速度応答性の向上を達成しました。また、従来品よりも体積比約 55% に小型化することに成功しました。

さらに、アラーム機能、加速減速時間の設定、無接点瞬時正逆転機能や無接点瞬時停止機能、外部直流電圧制御、SPEED 出力など、多くの機能を搭載しました。

今後も、更なるモーター制御性能向上と機能の充実に努めてまいります。

表 2 MSC-1 の主な仕様

電源電圧	単相 100/110/115V±10% 単相 200/220/230V±10%
電源周波数	50/60Hz
適用モーター出力	6W、15W、25W、40W、60W、90W
可変速度範囲	50Hz：90~1400r/min 60Hz：90~1600r/min
機能	スピードコントロール、無接点瞬時停止、無接点正逆転、無接点回転速度切替（内部／外部速度設定の無接点切替）、スロースタート・スローダウン（0.3~15秒：1000r/min無負荷時）
回転速度設定方法	・内部速度設定器 ・外部速度設定器：オプション（別売） PAVR-20KZ （20kΩ、1/4W） ・外部直流電圧：DC0V~5V、またはDC0V~10V切り替え、1mA以上
制御電源	DC24V±10% 100mA以上
入力信号	フォトカプラ入力 入力抵抗4.7kΩ FWD、REV、INT/EXT、ALARM-RESET
出力信号	オープンコレクタ出力 DC30V以下 SPEED-OUT：10mA以下、ALARM-OUT：40mA以下
保護機能	モーターロック、モーター過熱
絶縁抵抗	常温常湿において連続運転後、主回路端子と制御回路端子間、主回路端子とケース間をDC500Vメガーで測定した値が100MΩ以上あります。
絶縁耐圧	常温常湿において連続運転後、主回路端子と制御回路端子間、主回路端子とケース間を50Hzまたは60Hz、AC1.9kVを1分間印加しても異常を認めません。
使用周囲温度	0~+50°C
使用周囲湿度	85%以下（結露のないこと）
保護等級	IP10

筆者



瀧本 正浩

PD 事業部