

オールインワンモーターの開発

堀 亜由香 宮内 俊也 大井 英司

Development of All-In-One Motors

Ayuka HORI, Toshiya MIYAUCHI, Eiji OI

The function of controlling position or speed is required for motors today, and the usage of two or more components (motor, driver and/or controller) has increased. Meanwhile, a product called all-in-one motor which unifies a motor and a circuit was proposed, and it has become quite popular in Europe and America.

Primitive motors had only one single component, the motor with no controller. We reviewed motors today with separated components and considered what the ideal motor should be in each categorized customer application. Therefore we developed three kinds of all-in-one motors with different features. They are the closed-loop controlled stepping motor “ α STEP-One” with a program function, the 5-phase stepping motor “PKA Series” for a built in use, and the AC input brushless motor “BLA Series” that can be fully operated on the back side of the motor.

Here, we introduce the background of developments and the merits of these three kinds of all-in-one motors, the technology behind the countermeasures against heat when combing motor and driver, and the features of each product.

1. はじめに

モーターと回路が一体になった製品は“オールインワンモーター”と呼ばれます。日本ではまだまだあまり普及していませんが、欧米ではかなり一般的になってきました。当社では、クローズドループ制御を採用したステッピングモーターユニット α STEP を一体化してプログラマブルコントローラを内蔵した α STEP-One を販売してきましたが、今回新たに機器組み込み用途に向けて 5 相ステッピングモーターユニットを一体にした PKA シリーズ、AC 入力でモーターの背面ですべての操作が行える 1 台完結のブラシレスモーター BLA シリーズを開発しました (図 1)。

放熱を工夫することで、いずれの製品も一体型でありながら回路が分離したタイプと同等のトルク特性を実現しています。逆にモーターと回路を一体にすることで採用できた技術と、回路をコンパクトにするために進めた制御のデジタル化 (ソフトウェア化) により、機能や一部の特性は向上させることができています。さらに、回路一体型モーターの使い勝手とはどうあるべきかを検討し、設置や配線だけでなくトータルで簡単に使えるモーターを実現しました。

ここでは、制御用モーターのあるべき姿を見つめ直すことから始め、オールインワンモーターのメリット、一体化するための技術、各製品の特徴を紹介します。



PKA シリーズ



BLA シリーズ



α STEP-One

図 1 各種オールインワンモーター

2. 開発の背景

動力用モーターが主力であった時代には、多くのモーターは円筒形の1個の形をしていました。今日では速度や位置など何らかの制御を必要とするシーンが多くなり、モーターにドライバ、コントローラと呼ばれる回路ボックスを組み合わせた製品、つまりふたつ、あるいはそれ以上に分かれた製品が一般的になっています。装置に組み込む際には、モーターは駆動部に、ドライバやコントローラは制御盤内にそれぞれ設置し、取扱説明書を見ながらそれらの間の配線を行うことが当然に行われてきました。しかし、あらためてモーターを「物の回転速度や位置を制御するデバイス」ととらえ、使い手の立場で理想の形をつきつめてみると、そのひとつとして「動かしたいところに1個のできるだけ小さなデバイスを取り付けて、電源と指令を与えれば望んだ動きをする」という姿がうかびあがってきます（図2）。

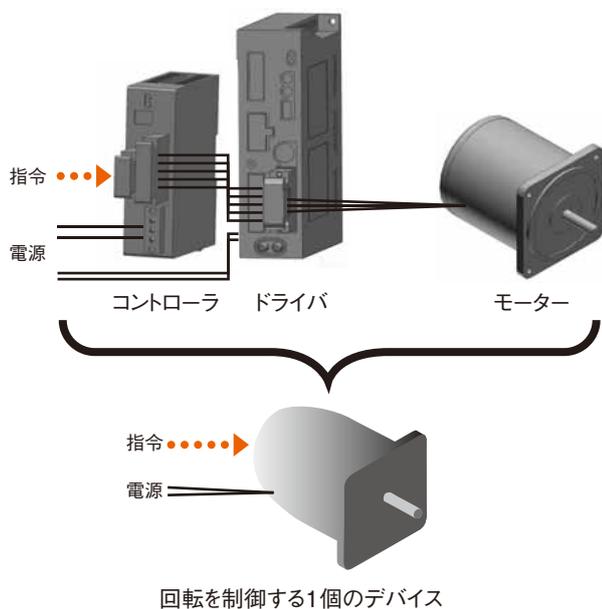


図2 オールインワンモーター

モーターとドライバ、コントローラを一体化できれば設置は一度で済み、それらの間の配線も必要なくなります。加えて装置がコンパクトになり、誤配線での故障、ケーブル上のノイズの輻射や外来ノイズによる誤動作といった心配からも開放されます。さらに、モーター情報を回路がより詳しく知ることができるため、性能や機能を向上させられる可能性も生まれてきます。近年、エレクトロニクス技術の進歩により回路がコンパクトになり、パワー素子の発熱も小さくなってきました。シリアル通信や普及してきた産業用ネットワークを使えば、回路の操作はPLCやPCからリモートで行えるため、ドライバやコントローラといった別体の回路を制御盤内に設置する必要はありません。もう一度モーターを“1個の形”に戻せる時代になった、そして1個の形にするメリットを受け入れている

ただけるのではと考えました。

モーターと回路を組み付けただけでもオールインワンモーターであり、この形態は欧米を中心に一定の評価を得ています。当社では単に一体化するのではなく一体型ならではのメリットを活かし、前述の理想の姿を実現して制御用モーターを再定義すべく、最初のステップとして異なる特徴を持った3種類のオールインワンモーターを開発してきました。お客様が使うシーンとしてコマンド/プログラム制御用途、機器組み込み用途、モーター単体での用途を想定し、そのシーン別に本当に使いやすいモーターを提供しようという試みであり、これらが前ページで紹介した製品です。

3. オールインワンモーターのメリット

モーターとドライバ、コントローラを一体化することで、さまざまなメリットが生まれます。

ここでは、オールインワンモーターのメリットについて紹介します。

①省スペース

ドライバとコントローラがモーター部にコンパクトに内蔵されているため、ドライバとコントローラの制御盤への設置が不要になり、装置の省スペース化に有効です。

②省配線

モーター・ドライバ間およびドライバ・コントローラ間のケーブルが不要になるため、それらケーブルの配線や接続といった作業が不要になります（図3）。また、誤配線やドライバとモーターの組み合わせ違いによる不具合や故障が起こる心配もありません。モーター動力線の高電圧部が露出する心配も解消します。これらは多数の軸を使う際には大きなメリットとなります。

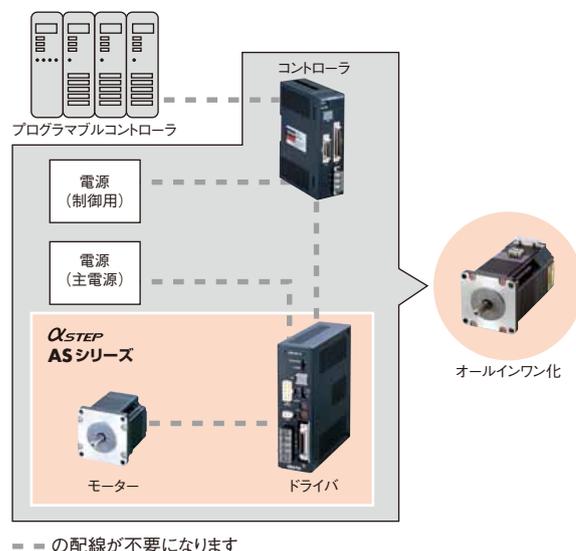


図3 省スペース・省配線（例：αSTEP ASシリーズ）

③輻射ノイズの低減

モーターとドライバをつなぐ動力線がなくなるため、ケーブルからのノイズの輻射がありません（図4）。ほかの機器を誤動作させるリスクを減らすことができます。

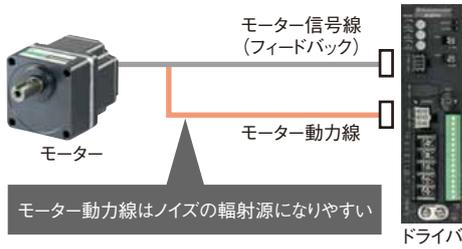


図4 ケーブルによるノイズ輻射

④耐ノイズ性の向上

コントローラとドライバをつなぐ配線やドライバとモーターをつなぐフィードバックの配線など、信号線の配線がなくなり、外来ノイズによる製品の誤動作のリスクが減ります（図5）。

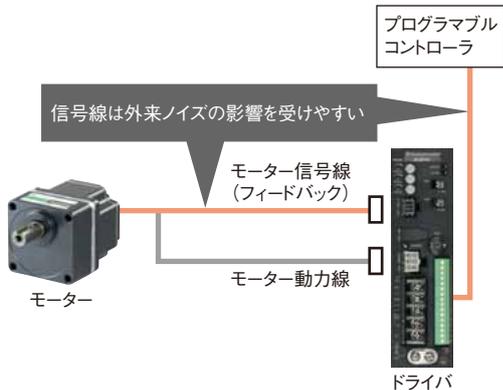


図5 外来ノイズの影響

⑤性能と機能の向上

モーターと回路を一体化することで、性能や機能を向上させられる場合があります。

たとえば、耐ノイズ性が向上することを利用し、BLAシリーズではアナログ電圧出力の新センサを採用し、従来に比べて低速でも安定して駆動することができるようになりました。

また、 α STEP-Oneではモーターと回路の組み合わせが変わらないことを利用し、モーターの特性情報を回路に記憶させることで、自動的に最短時間での位置決めを行ったり、負荷を計測することができるようになりました。

これらについては5章で詳しく紹介します。

4. オールインワンモーターに必要な要素技術

分離型の製品に対し、モーターとドライバを一体化する場合は大きく分けて二つの技術課題があります。一つ目は熱対策、二つ目は小型化です。ここでは熱対策を中心に、これらの課題をクリアできた技術について紹介します。

4.1. 熱対策について

マイコンなどの電子部品は周囲温度が85℃と規定されているものが多く、周囲を高温にしない工夫が必要です。性能を落とすことなくモーターとドライバを一体化するには、熱の問題をクリアする必要があります。一方、モーター駆動用のパワー素子はドライバ内部では一番の発熱源であり、素子のパッケージの表面温度は100℃近くになります。

温度上昇を抑える方法としては発熱を抑えることが最も効果があります。まず、制御電源部の消費電流を低減させました。

発熱源であるパワー素子についても損失を低減させるため、ON抵抗の小さい部品を選定しています。またPWM方式でインバータ部の制御をする場合、パワー素子のON/OFFを早くすると損失は小さくなります。しかしゲートの立ち上がりが高速になるほど発生するノイズが大きくなり、EMC指令に適合できなくなるため、分離型ではトレードオフの関係になります。

オールインワンモーターではモーターとドライバ間のケーブルがないため、インピーダンスなどによる波形の遅れがなくなり、損失が低減されます。さらに、ノイズの発生を気にしなくてよくなるため、従来よりもパワー素子のON/OFFを早くでき、パワー素子の発熱を抑えることができました。

しかし、このような対策だけでは十分な効果が得られなかったため、発熱源（高温部）と熱に弱い部品（低温部）を分離することに着目し、構造を検討しました（図6）。

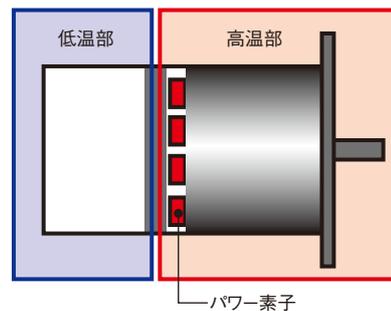


図6 高温部と低温部の分離

PKAシリーズ、BLAシリーズ、 α STEP-One、の3製品ともに、ドライバ側の発熱源であるパワー素子をモーター側へ配置し、モーターに放熱させました。

高温部から低温部への熱の移動を妨げるには、次の三つの要素についての対策が必要です。

伝導：固体の内部で熱が高温の部分から低温の部分へ順次伝わる現象。

対流：気体や液体の温度の高い部分は上昇し、温度の低い部分は下降して、空間的に循環流が生ずる。これによって空間内の熱が移動する現象。

輻射：高温の表面から低温の表面に、直接電磁波の形で伝わる現象。

4.1.1. 熱伝導の対策とその結果

PKA シリーズ、**BLA** シリーズではドライバケースを樹脂ケースにしました。**αSTEP-One**では高温部と低温部の間に樹脂材の壁と、さらに空気層を構成しました。

金属（アルミダイカスト）と樹脂材（PBT）では、樹脂のほうが熱伝導率は低いため、モーター側の熱がドライバ側へ伝わりにくくなります（表1）。

表1 材質による熱伝導率の違い

材質	<金属> アルミダイカスト	<樹脂材> PBT
熱伝導率[W/m・℃]	92	0.18~0.29

ドライバケースを金属（アルミダイカスト）にした場合と樹脂材（PBT）にした場合のそれぞれで、定格トルクをかけ、定格回転速度で動作させたときの内部の温度を3箇所（図7）測定しました。その結果、樹脂ケースにした場合は、ドライバ部の温度上昇を全体的に下げられることがわかりました（表2）。

表2 材質変更による温度上昇の低減効果

温度差[℃]	マイコン側	中央部	パワー素子側
	-8.1	-8.3	-6.0

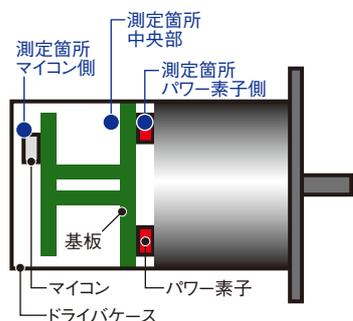


図7 ドライバ内部構造および、測定箇所

4.1.2. 熱対流への対策

αSTEP-Oneでは対流により、高温側の空気が低温側へ流れていかなないようにするため、樹脂ケースで壁を作っています。**BLA** シリーズでは基板を壁として、対流による熱の移動を防ぐ構造としています（図8）。

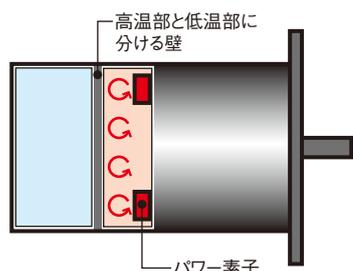


図8 対流を回避する構造

4.1.3. 輻射熱の対策とその結果

αSTEP-Oneではモーター側からの輻射熱でドライバ内部の温度が上昇することを防ぐために、先に述べた樹脂材の壁に加えて、アルミシートを使用し熱を反射させています。反射率の高いアルミシートを追加したことにより、ドライバ内部温度は3.8℃低減させることができました（図9）。



図9 **αSTEP-One (ASX66A)** の輻射熱対策構造

4.1.4. 熱対策のまとめ

伝導、対流、輻射に対し、前述の構造をとることにより、高温部と低温部を熱的に分離させることができました。

BLA シリーズ（**BLA550AB-A**）をサーモグラフィーで確認すると、図10のようにモーター部に比べ、ドライバ側の温度が低いことが確認できます。赤い箇所がパワー素子のある箇所であり、熱に弱い部品であるマイコンが搭載されている基板は温度が低くなっています。

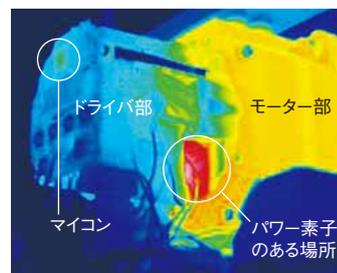


図10 温度分布 (**BLA550AB-A**)

BLA シリーズと**αSTEP-One**を例に、高温部と低温部の温度上昇の差を表3に示します。

表3 高温部と低温部の差

製品	温度差(高温部-低温部)[℃]
BLA550AB-A	14.6
ASX66A	21.8

また、万が一、過熱に起因する異常があった場合を想定し、各製品とも過熱保護機能を搭載しています。

これらの熱対策により、パワー素子に分離型製品と同じ電流を流しても、熱に弱い部品に影響を与えることなく、各製品とも、従来の分離型製品と同等の性能を実現しています。

一例として、**ASX66A** と分離型である **ASC** シリーズ (**ASC66A-K**) の回転速度-トルク特性を図 11 に示します。

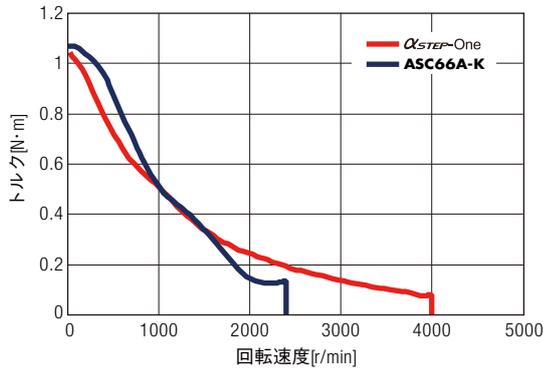


図 11 回転速度-トルク特性の比較

なお、以上述べてきた熱対策の構造に関しては USA と日本で特許を取得しました。

4.2. ドライバの小型化について

ハードウェアによるアナログ制御からソフトウェアによるデジタル制御などを取り入れ、機能をマイコンに集約し、部品点数を削減すると共に、小型の部品を採用し、小型化を実現することができました (図 12)。

さらに、速度表示器やコントローラなどの機能を取り入れても従来品の回路と比べて体積を小さくできました (表 4)。



図 12 CRD-KD と PKA 比較

表 4 オールインワンモーターの分離型に対する体積比率

オールインワンモーター	分離型 (ドライバ部) + オプション	比率 [%]
PKA シリーズ	CRD-KD シリーズ	45
BLA シリーズ	BLU シリーズ + SDM496 (速度表示器)	47
alphaSTEP-One	ASD シリーズ + EMP400 (コントローラ)	19

5. オールインワン商品の紹介

5.1. PKA シリーズ

PKA シリーズは 5 相ステッピングモーターとドライバとコントローラが一体化した、小型で低振動なオールインワンモーターです。低コスト化の工夫を盛り込み、かつシリアル通信にも対応していますので、機器組み込み用途に最適なモーターとなっています。

5.1.1. 制御方法

位置決め機能を内蔵しているため、パソコンや PLC と直結したシステムを構成できます。パルス発振器が不要となるため、省スペースとシステムの簡易化を実現します。

機器組み込み用途での使い勝手を考慮し、3 種類の制御方法に対応しました。「I/O 制御」「Modbus 制御」「ネットワークコンバータを介した CC-Link 制御・MECHATROLINK 制御」から選択できます (図 13)。

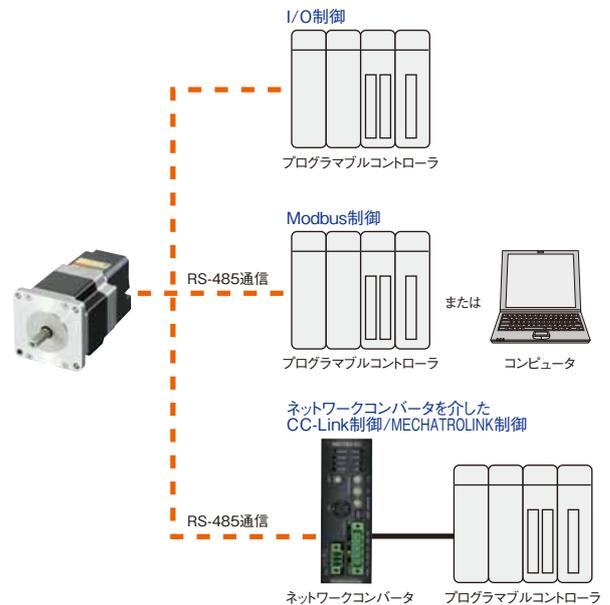


図 13 PKA シリーズの制御方法

5.1.2. 装置全体を意識した小型化

単にドライバのみの小型化を追及するのではなく、装置全体としての小型化・省配線化に貢献できるようにしました。たとえば、ドライバ部に RS-485 通信コネクタを二つ実装しました。こうすることでドライバ部単体のサイズはその分大きくなりますが、デジチェーン接続を行うために別途アダプタの準備やスペースの確保、配線といった作業が不要になり装置全体としてはより小型化されます (図 14)。

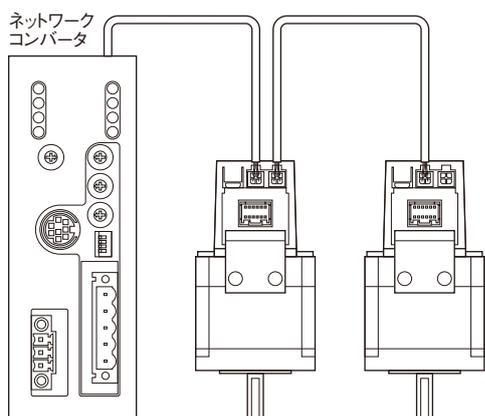


図 14 デイジーチェーン接続例

5.1.3. 低コスト化

機器組み込み装置への適用を想定し、ダイレクト I/O 点数を入力 4 点 / 出力 2 点に抑え、パルス列入力にも未対応として、機能を絞ることで部品点数を削減し低コスト化しました。また、モーターの取付角寸法が異なる場合であっても (□ 42mm、□ 60mm)、ドライバ部は同一とすることで部品の共用を可能にしています。

5.2. BLA シリーズ

5.2.1. 簡単に使えるブラシレスモーター

BLA シリーズのコンセプトは「AC 電源に接続してすぐに使える、簡単結線 / 省配線のオールインワンブラシレスモーター」です。

AC 電源を投入、速度データを入力し、表示パネルの RUN キーを押すだけでモーターを運転できます。また、入力信号を接続しておくことで外部からの遠隔操作や AC 電源の ON/OFF でもモーターを制御できます。

分離型では端子台だった主電源部には、ワンタッチロック式コネクタを採用しています。また、主電源、入出力信号用コネクタに、スプリング結線式のコネクタを採用していますので、専用工具を使用せずに容易に信頼性の高い結線が可能となります。

5.2.2. 新センサの採用

BLA シリーズでは、従来の分離型と異なり、新しくアナログ信号出力のセンサを採用しています。アナログ信号を使用するとローター位置検出の分解能が向上しますが、分離型の製品ではケーブルの延長などによりノイズの影響を受けるため採用していませんでした。オールインワンモーターではノイズの影響を気にすることなく、アナログ信号を使用できます。

新センサにより低速域での速度変動が小さくなり、60r/min まで低速域の速度範囲を広げることができました。

また、最高回転速度も 2400 r/min としたことで BLU シリーズと比較すると速度比もアップしました (表 5)。

表 5 BLU シリーズとの比較

	BLU シリーズ	BLA シリーズ
速度範囲 [r/min]	100~2000	60~2400
速度比	1 : 20	1 : 40

ドライバ内部に EMC フィルタを内蔵しましたので外付けの AC ラインフィルタなしで EMC 指令に適合しています。そのため、周辺部品を追加することなく、BLA シリーズ単体で使用できます。

5.2.3. 背面パネルでのモニタ、データ設定

背面の表示パネルで、速度・負荷率・アラームコード・アラーム履歴を確認することができます。速度として、ギヤ出力軸やコンベアの速度を表示することも可能です。

背面パネルで回転速度や加速、減速時間のデジタル設定ができます。

速度の設定はモーターを回転させながらも可能 (ティーチング機能) なので、実機合わせで速度を決定する場合に便利です。



図 15 背面パネルでの設定および運転 / 停止

5.2.4. BLA シリーズのラインアップ

単相 100-120V と単相 200-240V 入力に対応し、出力は 50W (定格速度 2000r/min、定格トルク 0.25N・m) です。

モーター単体だけでなく、ギヤヘッドと組み合わせたコンビタイプもラインアップしています。

5.3. α STEP-One

α STEP-Oneはクローズドループ制御を採用したステッピングモーターユニット α STEPの技術を採用したオールインワンモーターです。2章で述べた理想をつきつめて“知性を持った1個のデバイス”をめざし、「位置決め運転を行うのであれば、目標位置だけを指令すれば動く」「簡単に使える」モーターを実現しました。これらを中心に製品の特徴を紹介します。

①チューニング不要

α STEP技術により、サーボモーターに必要なチューニングの手間がなく、一般的なステッピングモーターで気になる脱調も起こりません。

②自動加減速／最短時間位置決め

回路とモーターの組み合わせが変わる心配のないオールインワンモーターなら、回路がモーターの特性を記憶しておくことができます。 α STEP-Oneでは、位置決め運転なら目標位置だけ指令すれば、記憶されている速度-トルク特性とあらかじめ入力された負荷トルクの情報をもとに、製品内部で最適な速度パターンを自動的に生成し、運転を実行します。これまでのようにユーザが計算する必要がありません。加減速中の回転速度で変化するモーターのトルクに従い、トルク利用率に基づいて連続的に加速度を変えるため、一般的な直線加減速に比べて短い時間で位置決めが行えます(図16・図17)。

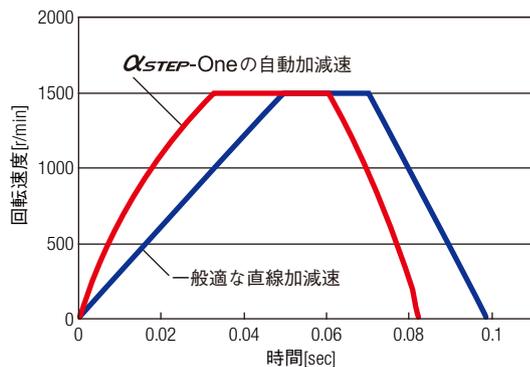


図16 一般的な直線加減速と α STEP-Oneの自動加減速

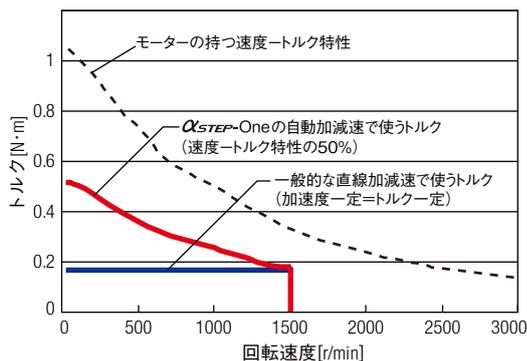


図17 速度-トルク特性とトルクの利用状態(トルク利用率が50%の場合)

トルク利用率は任意に設定できるため、機械の負担を抑えるソフトな運転やより急激な加減速運転を行うことも可能です。さらに、前述の速度パターン生成に必要な負荷トルクを自動的に計測する機能も備えています。

③ユーザ単位

ステッピングモーターの運転を指令する単位には、一般的に“パルス”や“Hz”が使われています。しかし、コントローラまで含めて一体化すればコントローラとドライバをつないでいたパルスを使う必要はなく、その基準単位である“ステップ角”も、モーターを正弦波電流で駆動し任意の位置で停止させられるのであれば、意識する必要がありません。そこで、 α STEP-Oneではパルスやステップ角の概念をなくし、ユーザが実際に使う単位で運転を指令するようにしました。一度モーター1回転当たりの移動量(ほかの変化量でもよい)と単位名を設定すれば、回転量ならRev、距離であればmm、液体ならml(ミリリットル)といった任意の単位が使えます。

④プログラマブルコントローラ内蔵

α STEP-Oneは豊富な機能を持つプログラマブルコントローラと汎用I/Oを搭載しています。たとえばスイッチが押されたら一連の運転を開始する、センサを感知したら停止し、ほかのアクチュエータを動かす、LEDを点灯させる、といったことが自動で行えます(図18)。小規模な装置であればPLCを使わずにこれ1台で簡単に構成することができますし、大規模な装置をモジュールに分けた分散制御にも適しています。

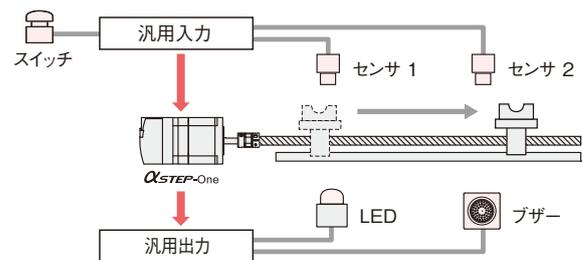


図18 PLCを使わない構成例

⑤その他の特徴

- ・ GUIソフト: パソコンと接続すれば直感的にすぐ試運転が行えるPCソフト、Immediate Motion Creatorを添付しています。オシロスコープ機能で位置、速度の指令とモーターの応答を比較しながら運転条件を調整したり、各種設定やプログラム作成したりすることもこのソフトで簡単に行えます。
- ・ 通信機能: RS-232CでパソコンやPLCと接続し、運転させることができます。ダイジーチェーン接続に対応しており、36台までの多軸運転も可能です。

- ・トルクフィードフォワード：負荷を速度パターンどおりに動かすために必要なトルクをあらかじめ与えることにより、振動を抑える機能です。
- ・運転時電流自動調整：負荷に応じて一定速運転時の電流を自動で調整する機能です。消費電力、発熱、振動を抑える効果があります。
- ・温度監視：モーター部、回路部それぞれに温度センサを搭載しており、常時温度をモニタする、設定した温度に達するとワーニングを出す、あるいは自動的に運転を停止する、といったことが行えます。これも一体型だからこそ可能な機能といえます。

6. まとめ

制御用モーターのあるべき姿を見つめ直し、その一つの結果として開発した3種類のオールインワンモーターの特徴について紹介しました。

オールインワンモーターには「省スペース」、「省配線」、「低ノイズ」、「耐ノイズ性の向上」という特長があります。従来の分離型と同等以上のトルク特性を実現するため、発熱の抑制と熱伝達の三つの要素それぞれへの対策を行い、デジタル化とあわせて製品の小型化も実現することができました。

今後もより使いやすいモーターを提案し、商品の開発に努めていきたいと考えています。

筆者



堀 亜由香

PD 事業部



宮内 俊也

回路事業部



大井 英司

技術本部