

5相ステッピングモーターユニット **RKII**シリーズの特徴

新免 浩 榊原 昭宏

Features of 5-Phase Stepping Motor and Driver Package **RKII** Series

Hiroshi SHINMEN, Akihiro SAKAKIBARA

Stepping motors are used widely in industries such as semiconductor equipment, medical devices and measuring instruments. We have been supplying them as motor and driver packages, so it is easy to use without making any adjustments.

Now we developed the **RKII** Series motor and driver package which is the renewal of the **RK** Series. The new motor for the package is designed with high-efficient technology that is improved through the development of **α STEP AR** Series. The new driver is smaller in size using the latest digital technology.

Here, we introduce the characteristics and features of **RKII** Series.

1. はじめに

1.1. ステッピングモーターの歩み

ステッピングモーターの需要が急速に伸びていた1980年代前半、ドライバとステッピングモーターは別々に設計され、それらを組み合わせて使用するには電流調整など専門的な知識が必要となり、ユーザの負担となっていました。そのようなわずらわしさを解決するため、購入すれば無調整で使用できる使いやすさをコンセプトとして、5相ステッピングモーターとドライバを組み合わせた業界初の「ユニット」である **UPD** シリーズを1985年に商品化しました。これによりステッピングモーターは誰にでもお使いいただける汎用的なモーターとなり、用途が拡大するきっかけとなりました。

以来、使いやすさに加えて、高トルク、低振動という性能を向上し1994年には5相マイクロステップ駆動の **UFK** シリーズ、2000年には入力パルス周波数を変更せずにマイクロステップ駆動を実現する、スムーズドライブ機能を搭載した **RK** シリーズと、利便性の高い製品を商品化してきました。

新しく商品化した **RKII** シリーズは、 **α STEP AR** シリーズで培ってきた高効率技術を採用した5相ステッピングモーターと、最新のデジタル技術を用いて小型化したドライバを組み合わせたユニットです。この **RKII** シリーズについて紹介します(図1参照)。

1.2. 5相ステッピングモーターの特徴

RKII シリーズは5相ステッピングモーターユニットです。ステッピングモーターには2相、3相などありますが、5相は振動が小さいので、機構などに取り付けでも共振が起りにくく、使いやすいステッピングモーターです。例として2相と5相のステッピングモーターをマイクロステップで回転させたときの振動特性を図2に示します。この図の縦軸は振動の大きさを表します。この図から5相ステッピングモーターは極低速度域から滑らかに回るモーターであることがわかります。



図1 **RKII**シリーズの外観

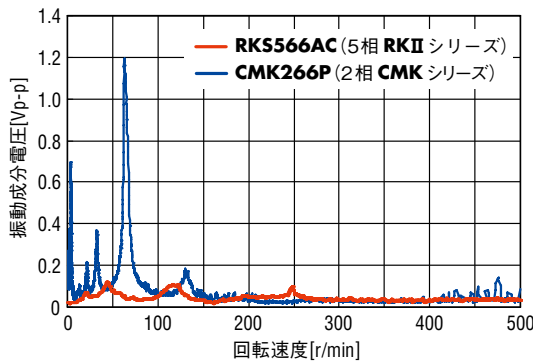


図2 5相と2相の振動特性の違い

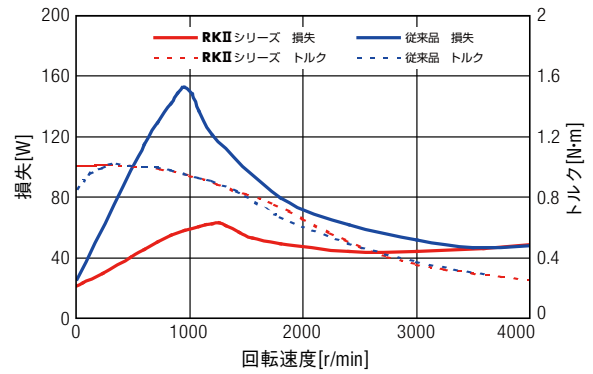


図4 RKIIシリーズと従来品の無負荷損失比較

2. RKIIシリーズの特徴

2.1. 低損失化

ステッピングモーターユニットの損失は、ドライバ部で発生するドライバ損失とモーター部で発生するモーター損失に分けられます。

図3にステッピングモーターユニットのエネルギーフローを示します。

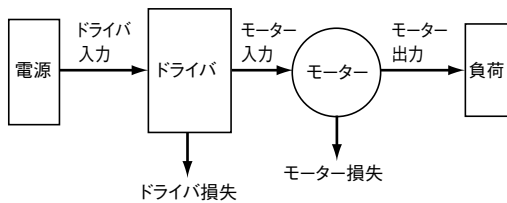


図3 ステッピングモーターユニットのエネルギーフロー

モーターの損失は銅損と鉄損に大別できますが、高速で回転しているステッピングモーターの損失の大部分は鉄損です。モーターのステータとロータには電磁鋼板を使用しており、電磁鋼板内の磁束が変化することで鉄損が発生します。先の研究開発⁽¹⁾で電磁鋼板の材質と締結方法により、鉄損が大幅に低減できることがわかりました。RKIIシリーズには、その技術を用いて低損失化を実現した5相ステッピングモーターを採用しています。

RKIIシリーズ566タイプと従来品の無負荷損失とトルクの比較を図4に示します。どちらも取付角60mmの製品です。従来品と比較してトルク特性が同一で、損失が低減されていることがわかります。

取付角42mm、60mm、85mmの製品で、従来品の入力最大となる回転速度における損失の低減率を表1に示します。従来品に比べ、ユニット損失が大幅に減少しています。

表1 比較回転速度とユニット損失低減率

取付角 [mm]	42 (544タイプ)	60 (566タイプ)	85 (596タイプ)
回転速度 [r/min]	700	1000	400
モーター損失低減率 [%]	45	61	52

ユニット損失をモーター損失とドライバ損失に分離した結果を図5に示します。損失の大部分がモーター損失であり、モーター損失が大幅に減少していることがわかります。

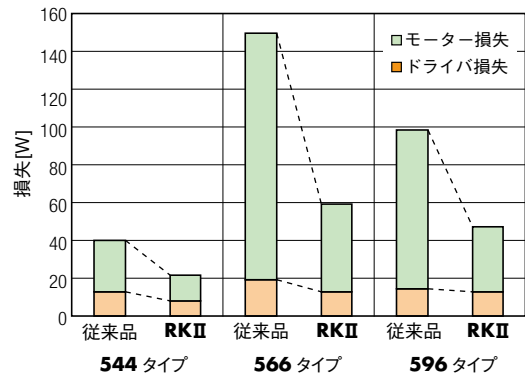


図5 RKIIシリーズと従来品の損失比較

2.2. 発熱低減による効果

回転時の発熱はステッピングモーターの欠点の一つでしたが、損失を低減するとモーターの発熱も低減できます。RKIIシリーズ(RKS566AC)と従来品の外被温度の比較を図6に示します。従来品のモーター外被温度が100℃になる運転条件(表2参照)で駆動した場合、RKS566ACは約60℃までしか上昇せず、従来品に比べて40℃低下します。

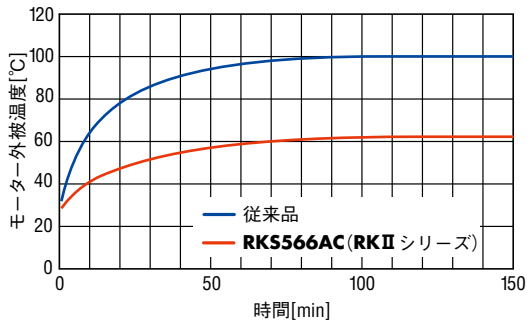


図6 RKIIシリーズと従来品の温度上昇比較

表2 運転条件

周囲温度	27°C
回転速度	1000r/min
負荷トルク	無負荷
運転時間 ^(注1)	駆動1秒、停止1.4秒（運転デューティ42%）
放熱板	アルミ板 250×250×6mm

発熱が低下すると、以下の効果が期待できます。

- ・熱膨張による機構の精度への影響を低減できます。
- ・ファンなどの熱対策部品を削減することができます。
- ・モーター寿命が延びることで、モーター交換の頻度を少なくでき、メンテナンスの手間を低減できます。

2.3. 消費電力の低減

ステッピングモーターの損失を低減すると、消費電力が下がります。消費電力の減少は、電気料金やCO₂の削減につながりますので、従来品との年間消費電力量での比較を行ってみます。

ここで、消費電力とは、ステッピングモーターユニットに供給される電力と定義します。年間消費電力量の計算に当たっては、社団法人日本半導体製造装置協会の「半導体製造装置とユーティリティーのエネルギー算出ガイドライン」に記載されている使用時間を採用しました。ステッピングモーターは安全率を考慮して、出力可能なトルクの50%で使用することが多いため、50%負荷時の条件で算出しました(表3参照)。

表3 使用条件

取付角 [mm]	42 (544タイプ)	60 (566タイプ)	85 (596タイプ)
回転速度 [r/min]	700	1000	400
負荷トルク [N·m]	0.11	0.47	1.2
使用時間 ^(注2)	24時間運転（運転70% 待機25% 停止5%）		

図7に年間消費電力量の比較結果を示します。従来品に対してRKIIシリーズの544タイプでは36%、566タイプでは47%、596タイプでは43%低減しています。

表1に示した損失の比較と数値が異なるのは、消費電力には出力も含まれるためです。

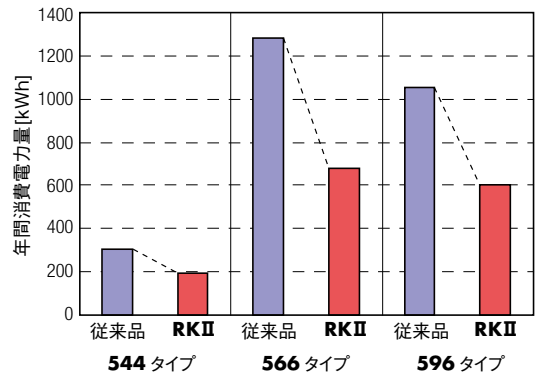


図7 RKIIシリーズと従来品の年間消費電力量比較

2.4. 低振動化

図8に従来品とRKIIシリーズの566タイプの振動特性を示します。いずれもスムーズドライブは有効ですが、従来品は1500r/min付近で振動が大きくなっていることがわかります。これは電流検出方法の違いによるものです。RKIIシリーズでは、5相各相のモーター電流を検出し、フィードバック制御しているため、従来品のような振動が起りません。

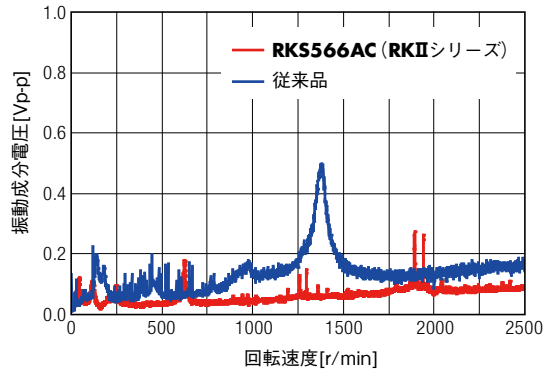


図8 RKIIシリーズと従来品の振動特性比較

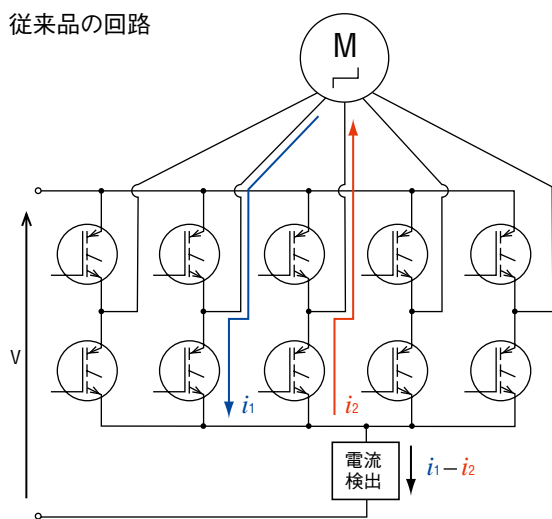
図9に従来品とRKIIシリーズのモーター電流検出方法を示します。従来品では、モーターに接続されているケーブル5本分の電流を一度に検出する全相電流検出方式を用いていました。この方法は検出回路が一つで済み、回路が簡単というメリットがあります。しかし、この検出回路を通らず還流してしまう電流は検出できません。例えば、図9で電流*i*₁と*i*₂が流れていると仮定すると、検出回路は*i*₁ - *i*₂の電流を検出するので、*i*₁と*i*₂を個別に制御することはできません。このため電流制御が不安定となり、振動を抑えるには工夫が必要でした。RKIIシリーズでは、このようなデメリットをな

(注1) 表2の停止は通電停止の状態です。

(注2) 表3の待機は通電停止の状態、停止は非通電状態です。

くすために、5つの電流をおのおの検出する各相電流検出方式を採用しています。検出回路は5つ必要ですが、近年のマイコンの高性能化により、検出が可能になりました。

従来品の回路



RKIIシリーズの回路

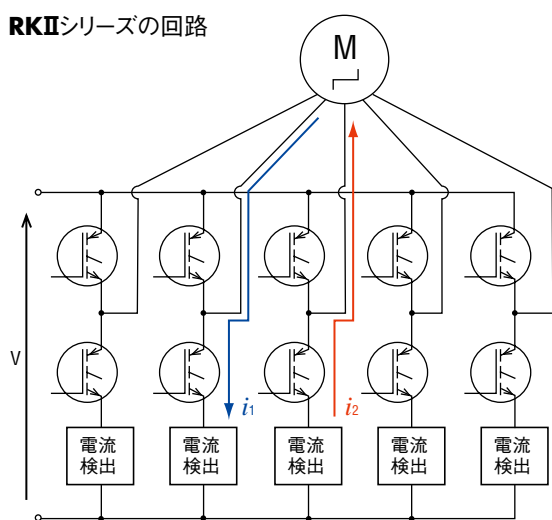


図9 電流検出方法

2.5. 省スペース化

RKIIシリーズのドライバでは、フルデジタルPWM制御と新しい放熱構造の開発を行い、設置幅を従来品よりも最大で45%低減することができます（周囲温度0~40℃、密着取付時）。これにより、装置の制御盤の小型化が可能となります。

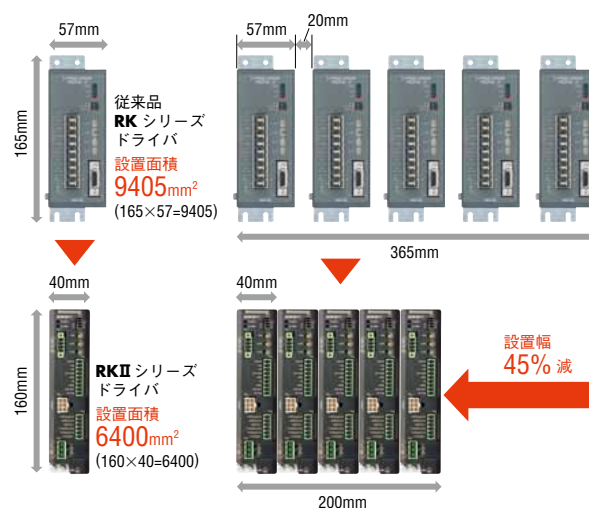


図10 制御盤への取り付けイメージ

2.5.1. ドライバサイズの小型化

RKIIシリーズのドライバでは、電流制御方式を従来品のドライバで採用していたPAM方式からPWM方式に変更しました。また、マイコンでのデジタル制御を採用したため部品点数を大幅に削減でき、小型化を実現できました。従来品と比較してドライバ単体での設置面積は約30%、体積は約17%低減しています。

2.5.2. 密着取付

RKIIシリーズのドライバでは放熱構造を改善し、単体取付時の使用環境温度範囲を従来品のドライバの0~50℃から0~55℃と広げました。図11にドライバ単体での温度分布のシミュレーション結果を示します。ドライバのヒートシンクと取付板（200mm×200mm×2mmのアルミ板）の温度がほぼ同じ温度となっており、取付板に効率よく放熱できていることがわかります。

また**RKII**シリーズのドライバでは、発熱するパワー用部品と熱に弱い制御用部品の配置を改善し、ドライバ同士を隙間なく取り付ける密着取付を可能としました。図11に示すように、発熱部品が実装されているヒートシンクと、制御用部品が中に実装されているプラスチックケースが、赤い点線に沿って分けられています。この点線を境に、温度が高い部分と低い部分に分かれていることがわかります。

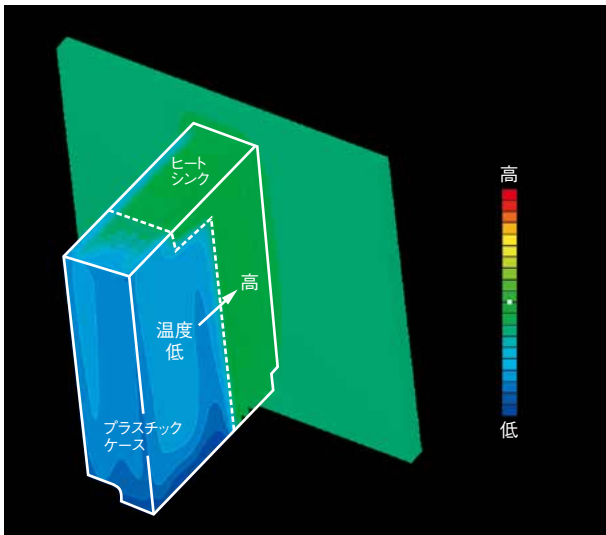


図 11 ドライバ単体時の温度分布

図 12 に密着取付時の温度分布のシミュレーション結果を示します。密着してもやはり温度の高い部分と低い部分が分離できています。このように、放熱構造を見直すことにより熱に弱い部品の温度上昇を抑え、密着取付を可能としました。

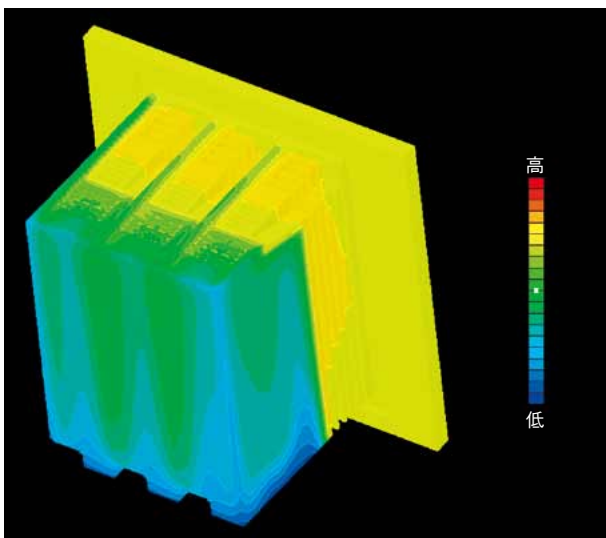


図 12 ドライバ3台密着時の温度分布

2.6. 取付角 42mm サイズのトルクアップ

モーターの低損失の効果を活かし、200V 対応のドライバとの組み合わせを可能にするため、取付角 42mm サイズは絶縁機能を向上しています。モーターに 200V の電圧を印加することで、図 13 に示すように、従来品に比べトルク特性を改善しています。

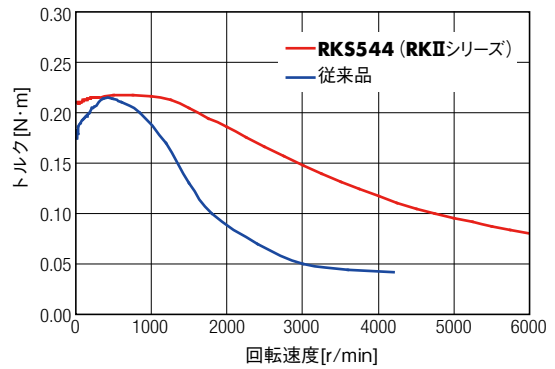


図 13 取付角 42mm (544 タイプ) のトルク特性

3. RKIIシリーズの新機能

3.1. モーターの改良点

AC 入力タイプ 5 相ステッピングモーターのリニューアルに合わせ、従来品に対しての改良点として、次の内容を盛り込んでいます(図 14 参照)。

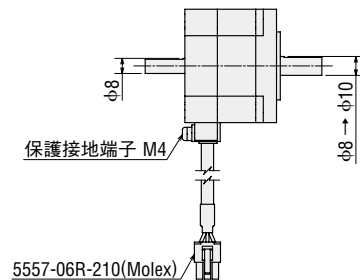


図 14 モーター外形図 (564 タイプ)

- ・ 保護接地端子を、全製品に対して取り付け作業のしやすい背面に設置しています。
- ・ 誤配線の防止と配線工数の低減のためにコネクタ結線方式を採用しています。
- ・ 出力軸径を大きくし、強度を上げ、**AR** シリーズと互換性のある取り付けに変更しています。

(取付角 42mm・60mm)

反出力軸は従来のオプションを取り付けられるように、従来品と同じ軸径にしています。

3.2. 機能の設定

設定できる機能は次のとおりです。

- ・ パルス入力方式の選択 (2P/1P スイッチ)
- ・ ステップ角設定 (STEP、R1/R2 スイッチ)
- ・ 運転電流設定 (RUN スイッチ)
- ・ 停止電流設定 (STOP スイッチ)

これらの機能は、図 15 のスイッチを用いて設定します。

RKII シリーズから使いやすくなった機能である、ステップ角とモーター電流の設定方法について説明します。

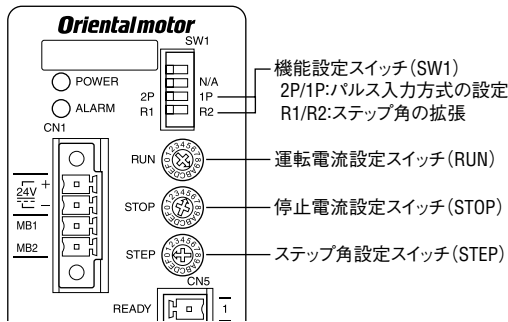


図 15 設定スイッチ

3.2.1. ステップ角の設定

ステップ角は R1/R2 スイッチとステップ角設定スイッチを用いて設定します。R1 を選択するとステップ角設定スイッチで、従来の 5 相ステップモーター **RK** シリーズのステップ角が設定できます。R2 を選択すると、2 相ステップモーターの分解能や、ボールねじスライダと組み合わせるときに、使いやすいステップ角が選択できます。

2 相ステップモーターを採用されていて低振動などを望まれるお客様は、上位のコントローラのラダーなどの変更もなく、容易に **RKII** シリーズへ移行することができます。例えば、2 相ステップモーターユニットの **CMK** シリーズを分解能 3200 で使用している場合は、**RKII** シリーズで R2 を選択し、ステップ角設定スイッチを 6 にすれば同じ分解能に設定できます。

また、**RKII** シリーズをボールねじに取り付けたとき、位置を容易にミリメートル単位の長さで管理できるステップ角を選択できます。例えば、リード 12mm のボールねじの場合は、R2 を選択し、ステップ角設定スイッチを 4 にすれば最小設定単位が 0.01mm となり、計算が容易になります。

表 4 ステップ角の設定

機能設定スイッチ R1			機能設定スイッチ R2		
STEP	ステップ角 [deg]	分解能	STEP	ステップ角 [deg]	分解能
0	0.72	500	0	1.8	200
1	0.36	1000	1	0.9	400
2	0.288	1250	2	0.6	600
3	0.18	2000	3	0.45	800
4	0.144	2500	4	0.3	1200
5	0.09	4000	5	0.225	1600
6	0.072	5000	6	0.1125	3200
7	0.036	10000	7	0.06	6000
8	0.0288	12500	8	0.05625	6400
9	0.018	20000	9	0.05	7200
A	0.0144	25000	A	0.045	8000
B	0.009	40000	B	0.03	12000
C	0.0072	50000	C	0.028125	12800
D	0.00576	62500	D	0.0225	16000
E	0.0036	100000	E	0.014063	25600
F	0.00288	125000	F	0.0018	200000

3.2.2. モーター電流設定

モーター電流設定には、RUN スイッチと STOP スイッチを用います。従来品と大きく異なるのは、RUN 電流と STOP 電流をそれぞれ独立に設定できることです。例えば、RUN スイッチを 5、STOP スイッチを 5 に設定すると、運転時も停止時も定格電流に対し 50% の電流値となり、停止時にカレントダウンさせないで使用することができます。

常にモーターに負荷の加わる昇降装置などにおいて、停止時にカレントダウンを行うと $\theta - T$ 特性が変化し、微小に下降することがあります。精密装置におけるこのような微小なずれが問題になる場合は、カレントダウンをしないことで解決できます。

表 5 モーター電流の設定

運転電流		停止電流	
RUN	電流比率 [%]	STOP	電流比率 [%]
0	0	0	0
1	10	1	10
2	20	2	20
3	30	3	30
4	40	4	40
5	50	5	50
6	60	6	60
7	70	7	
8	80	8	
9	90	9	
A	100	A	
B			
C			
D			
E			
F			

3.3. 入出力信号の種類

入出力信号にはパルス信号と I/O 信号があります。図 16 のようにドライバの前面には、どの端子がどの信号になるのかが一目でわかるように、信号名を印字していますので、結線が簡単にできます。また、結線にはスクリーンレスコネクタを採用していますので、はんだ付けなどが不要です。

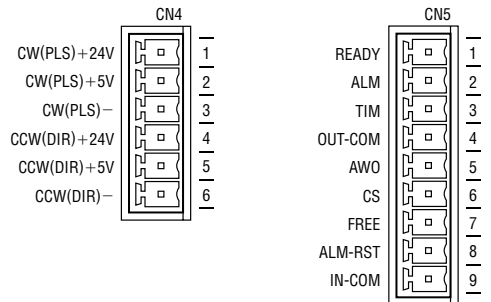


図 16 入出力信号用のコネクタ

CN4 : パルス信号用コネクタ
CN5 : I/O 信号用コネクタ

3.3.1. パルス信号

パルス信号はラインドライバ (3V~5.25V) に対応し、ノイズ環境に強いシステムが構築できるようになりました。

また、24V のパルス信号にも電流制限抵抗を外付けすることなしに接続できます。

3.3.2. I/O 信号

I/O 信号を表 6 にまとめます。RKII シリーズから READY 信号を出力できるようになりました。この信号により上位コントローラでラダーを組みやすくなります。

表 6 I/O 信号

表示	入出力	内容
READY	出力	ドライバの準備が完了したときに出力されます
ALM		ドライバのアラーム状態を出力します
TIM		モーターの励磁状態が励磁原点のときに出力します
AWO	入力	モーターを無励磁にします
CS		ステップ角を切り替えます
FREE		モーターを無励磁にします 電磁ブレーキ付の場合、電磁ブレーキも解放されます
ALM-RST		現在アラームをリセットします

3.4. アラーム表示

RKII シリーズではアラーム LED の点滅回数により、ドライバの異常が容易にわかるようになりました。

表 7 アラーム一覧

ALARM LED 点滅回数	アラームの種類と原因
2	主回路過熱 ・ドライバの内部温度が約 85°C に達した
3	過電圧 ・電源の電圧が許容値を超えた ・大きな慣性負荷を急停止した、または昇降運転を行なった
4	指令パルス異常 ・指令パルスの周波数が仕様値を超えた
5	過電流 ・モーター、ケーブル、またはドライバ出力回路が短絡した
6	不足電圧 ・電源が瞬間的に遮断された、または電圧が不足した
7	電磁ブレーキ自動制御異常 (電磁ブレーキ付モーターのみ) ・DC24V 電源を接続していない ・電磁ブレーキを接続していない ・電磁ブレーキの配線ミス
9	電解コンデンサ異常 ・主回路の電解コンデンサが破損した EEPROM 異常 ・ドライバの保存データが破損した
点灯	マイコン異常 ・マイコンが誤動作した

4. ラインアップ

RKII シリーズは、パルス列入力タイプに加え、FLEX 対応製品の位置決め機能内蔵タイプをラインアップしました。FLEX とは、ドライバ 1 台で I/O 制御、Modbus RTU 制御、ネットワークコンバータを経由した FA ネットワーク制御に対応した製品の総称です。⁽²⁾

平行軸歯車減速機と組み合わせた TS ギヤードタイプ、遊星歯車減速機と組み合わせた PS ギヤードタイプ、ハーモニックギヤと組み合わせたハーモニックギヤードタイプのそれぞれに電磁ブレーキ付タイプを新しくラインアップしています。単相 100-120V、200-240V の電源入力仕様に対応しています。位置決め機能内蔵タイプではエン

コード付モーターをラインアップし、脱調検出ができるようになりました (表 8 参照)。

表 8 RKII シリーズ ラインアップ

	パルス列入力タイプ	位置決め機能内蔵タイプ
片軸シャフト	○	○
両軸シャフト	○	○
電磁ブレーキ付	○	○
エンコーダ付	-	○
TS ギヤード	○	○
PS ギヤード	○	○
ハーモニックギヤード	○	○

5. まとめ

RKII シリーズは、高効率技術を用いたモーターと最新のデジタル技術を用いて小型化したドライバを組み合わせ、AC 入力タイプの 5 相ステッピングモーターユニットを 10 年ぶりにリニューアルした商品です。

モーターの損失を大幅に低減することで、従来では使用できなかった運転条件でも使用可能になっています。また、5 相ステッピングモーターの良さである低振動性がさらに向上しています。

RKII シリーズをお使いいただくことで、装置の性能向上・小型化・省エネルギー化に貢献できると考えています。

当社は、誰にでもお使いいただける「使いやすさ」を求め、ステッピングモーター商品の開発を進めてきました。今後も、ステッピングモーターの「使いやすさ」にこだわった商品開発を継続し、さらなる進化とバリエーションの拡大を進めていきます。

参考文献

- (1) 佐藤 靖雄、「脱調レスステッピングモーターユニット AR シリーズの低損失化技術」、RENGA, No.170, (2008), pp4-10
- (2) 菅野 毅、「新概念 FLEX と FLEX 商品群の紹介」、RENGA, No.176, (2012), pp4-13

筆者



新免 浩

回路事業部



榊原 昭宏

MC 事業部