

小林弘樹*
Hiroki Kobayashi

金森大輔*
Daisuke Kanamori

土屋文昭*
Fumiaki Tsuchiya

野口琢也*
Takuya Noguchi

中村雄一朗†
Yuichiro Nakamura

新型サーボモータ“HKシリーズ”

New Servo Motors "HK Series"

要 旨

近年、ものづくりのグローバル化が進み、サーボモータへの要求は多様化している。それに対応するには、従来の機能・性能面の強化や継承性に加え、ラインアップの拡充や付加価値になる機能の追加が必要である。そこで、従来の三菱電機サーボモータ“HGシリーズ”から基本性能を強化し、バッテリーレス絶対位置エンコーダ搭載や大幅なラインアップ強化を実現した新型サーボモータ“HKシリーズ”を開発した。

モータの小型・高性能化技術について、かしめレス鉄心の採用、磁気ギャップ短縮によって損失を低減した結果、従来比で最大20%の小型化を達成、業界最小クラスのサイズを実現した。

モジュラ設計技術について、モデルをまたいだ全体最適

化設計によって、部品数削減を実現した。ラインアップを拡充するとともに、キーパーツである磁石の種類は従来の20種から9種にした。また、サーボアンプとの組合せ拡充による最大トルクアップと、AC200VとAC400V両方の電源電圧に対応するワイドレンジモータ駆動によって、一つの機種で複数のトルク特性を実現した。

エンコーダ技術について、バッテリーレス絶対位置エンコーダを標準仕様にすることでユーザーのTCO(Total Cost of Ownership)削減に貢献するとともに、バッテリーレス方式及び光学系検出方式の最適化によって、バッテリーレス化を実現した上で、26bitへの高分解能化と小型化を両立させた。



新型サーボモータ“HKシリーズ”

新型ACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”対応として、新型サーボモータHKシリーズを開発した。小型化、ラインアップ強化、バッテリーレス絶対位置エンコーダ標準搭載、ONEコネクタ/ワンタッチロック/1ケーブル、サーボアンプとの組合せ拡充といった特長によって、機械に最適なモータでスマートな装置を構築可能である。

1. ま え が き

サーボモータはFA製品のひとつであり、様々な産業機械の駆動に用いられる。当社のサーボモータとしては、従来機種との高い互換性を持ち、継承を基本としたHGシリーズを2012年に発売した。このシリーズは現在の主力製品になっているが、近年のものづくりのグローバル化に伴い、サーボモータへの要求は多様化している。それに対応するには、従来の機能・性能面の強化や継承性に加え、ラインアップの拡充が必要である。また、エンコーダについては近年、電源OFF時にも多回転位置検出可能なシステムが求められており、一般的には、バッテリーを使用して電源OFF時に多回転位置を検出・記録する方法が採用されている。しかし、バッテリー切れやバッテリー交換時等に原点調整作業が必要になることや、航空輸送規制によって、バッテリーを接続しての輸送が困難である等の課題がある。

そこで、磁気設計最適化及び損失低減によって従来の基本性能を強化し、モジュラ設計による部品共用化で大幅にラインアップを拡充した新型サーボモータHKシリーズを開発した。HKシリーズに搭載するエンコーダは、バッテリーレス絶対位置エンコーダを標準仕様にすることでユーザーのTCO削減に貢献する。

2. 小型・高性能化技術

HKシリーズでは、従来比で最大20%の小型化を達成した。モータ小型化のためには、放熱性の向上と損失(鉄損・銅損)の低減が有効である。HKシリーズでは、損失低減を実現するために、かしめレス鉄心を採用し、モータの鉄損(渦電流損)を低減した。また、ステータとロータ間の磁気ギャップを短縮することで銅損を低減すると同時に、磁気設計最適化によってギャップ短縮時のモータ特性への影響を最小化し、小型化と高性能の両立を実現した。

2.1 かしめレス鉄心の採用

かしめレス鉄心を採用することで、従来のかしめ固定と比較して、平均25%の鉄損低減を実現した。かしめ固定(図1(a))は、電磁鋼板の固定方法として一般的であるが、締結箇所での積層間の短絡による渦電流が発生し、鉄損が増加する。HKシリーズでは、巻線だけで電磁鋼板を固定する工法の開発によって、かしめレス(図1(b))を実現した。

2.2 磁気ギャップ短縮

磁気ギャップを従来の1.5mmから0.5mmに短縮し(図2)、銅損を従来比で約30%低減した。ステータとロータ間の

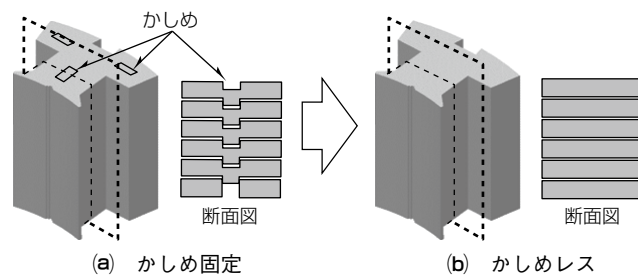


図1. ステータ鉄心固定方法の比較

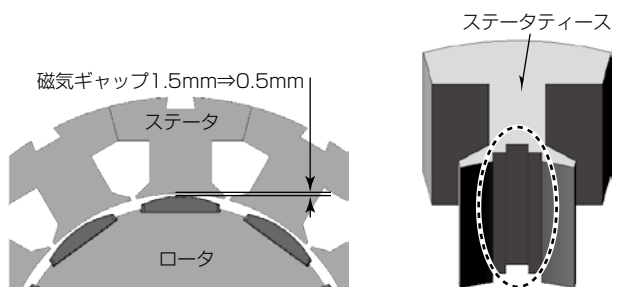


図2. モータ断面構造

図3. 2段ダミースロット

磁気ギャップは、短縮すると磁気効率が向上して銅損を低減できる一方で、コギングトルクが大きくなる。サーボモータは、ロータに永久磁石を持つため、無通電時でもコギングトルク(トルク脈動)が存在する。コギングトルクは外乱要素になるので、サーボの高性能化のためには、小さくすることが望まれる。コギングトルクは、ロータ磁極数とステータスロット数の組合せ、磁石のばらつき、ステータのばらつき等、複数の要因によって発生する。

HKシリーズでは、磁気ギャップ短縮によるコギングトルク増加の課題に対して、図3に示す2段ダミースロットを採用してコギングトルク低減と銅損低減を両立させた。ステータティース先端に切欠き状のダミースロットを設ける手法はコギングトルク対策の一つとして一般的であるが、通常のダミースロットの場合、設計パラメータがダミースロット幅だけのため、これだけで複数の要因に対して同時に対策することは困難である。2段ダミースロットでは、1段目と2段目の幅を個別に設計することで、複数要因への対策が可能になり、より高いコギングトルク低減効果が得られる。

3. モジュラ設計技術

HKシリーズでは、モジュラ設計で部品数を削減すると同時に、従来に比べて58機種を78機種に拡充した。さらに、サーボアンプとの組合せ拡充やワイドレンジモータ駆動で、全体で約270パターンものトルク特性を実現した。

3.1 磁石共用化設計

従来のHGシリーズでは、容量帯・イナーシャ帯に応じ

て、主に七つのモデルをそろえているが、個別最適化設計をして、高性能化を実現していた。このような手法では、各モデルで設計が異なることから、ラインアップ拡充時に部品数の増加が課題となる。HKシリーズでは、モデルをまたいだ全体最適化設計によって、部品数削減とラインアップ拡充を両立させた。

モータのキーパーツである磁石については、イナーシャ帯の違いを利用して、異なるモデルに同一磁石を適用する共用化設計によって、従来の20種類から9種類へと削減した。当社のサーボモータは、同一出力で異なるロータ外径を設計することで、イナーシャ帯の違いを実現している。これらを他の容量帯と比較すると、異なるイナーシャ帯でも、容量帯が違うモデルでは、ロータ外径寸法は近い値となる。しかし、従来の個別最適設計では、類似のロータ外径であっても、各モデルで異なる磁石を使用していた。HKシリーズでは、**図4**に示すようにこれらを共通化設計することで、磁石の種類を削減すると同時に、更なるラインアップ拡充を実現した。例えば、**図5**に示すように、小容量・低イナーシャモデルと、中容量・超低イナーシャモデルのロータ外径寸法は同一に設計し、同一の磁石を使用している。

3.2 サーボアンプとの組合せ拡充

組み合わせるサーボアンプを変更することで、最大トルクアップを可能にした。モータのトルク特性は電流値に依

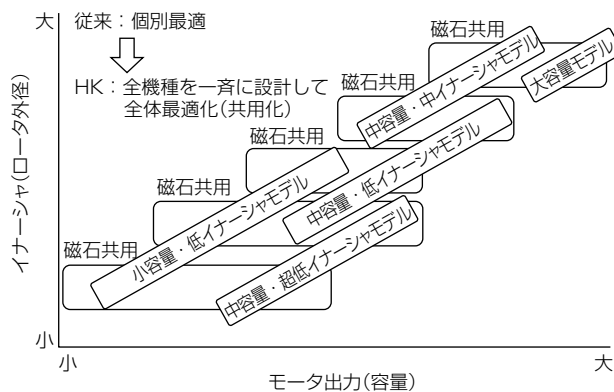


図4. 磁石共用化設計

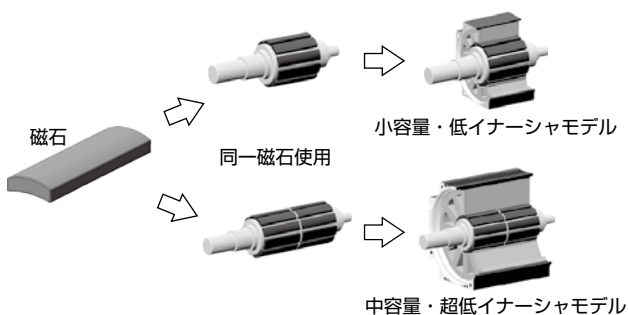


図5. 複数モデルでの磁石共用化

存するため、組み合わせるサーボアンプの許容電流値に制約を受ける。従来は、サーボモータとサーボアンプの組合せは1通りであったため、トルク特性も一意に決まっていた。HKシリーズでは、容量の大きいサーボアンプとの組合せも可能にすることで、最大トルクアップを実現した。これによって、一つの機種でも、組み合わせるサーボアンプを変更することで、2パターンのトルク特性を選択できる(**図6**)。

3.3 ワイドレンジモータ駆動

一つの機種でAC200V/AC400V両方の電源電圧に対応するワイドレンジモータ駆動によって、複数のトルク特性を実現した。サーボモータは高速域で、モータ端子電圧が入力電圧に達する電圧飽和領域が存在することから、トルク特性は入力電圧に制約を受ける。モータ端子電圧はモータの電気設計によるため、入力電圧(=電源電圧-サーボアンプでの電圧降下)に応じた電気設計が必要である。したがって、一つのトルク特性に対して、各電源電圧(AC200V/AC400V)に合わせて設計(A)された二つの機種をラインアップしている。これらは、従来は、どちらか一方の電源電圧(上記(A)で設計した電圧)にだけ対応し、絶縁設計もそれぞれの電圧に応じて個別に実施していた。HKシリーズでは、両方の電源電圧に対応することで、トルク特性での運転領域の拡大(高速化)・縮小(サーボアンプ小容量化)を実現した。また、絶縁解析技術を用いた薄肉絶縁設計によって、200V/400V電源対応での絶縁構造共通化を実現した(**図7**)。

ワイドレンジモータ駆動対応のHKシリーズでは、標準特性を得られる方の電源電圧(上記(A)で設計した電圧)がAC200Vの場合は形名の末尾に、“W”を、AC400Vの場合は“4W”を付与して区別するため、それぞれ“□Wタイプ”、“□4Wタイプ”と呼称する。□Wタイプをワイドレンジ駆動によってAC400V電源で使用する場合、元の設計より

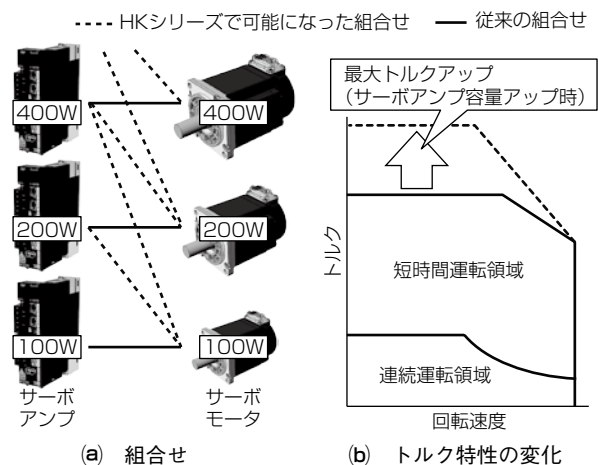


図6. サーボアンプとの組合せ拡充(小容量の場合)

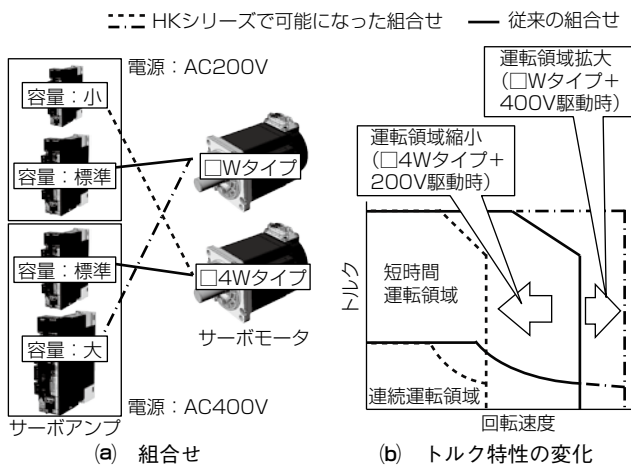


図7. ワイドレンジモータ駆動

表1. トルク特性のパターン

組合せ サーボアンプ	□Wタイプ (従来の200Vクラス)		□4Wタイプ (従来の400Vクラス)	
	AC200V電源	AC400V電源 (ワイドレンジ 駆動)	AC200V電源 (ワイドレンジ 駆動)	AC400V電源
標準 サーボアンプ	標準	運転領域拡大	運転領域縮小	標準
容量アップ サーボアンプ	トルクアップ	トルクアップ 運転領域拡大	トルクアップ 運転領域縮小	トルクアップ

□: HKシリーズで新規に実現したトルク特性

も大きい電圧を印加できるため、トルク特性での運転領域が拡大し、サーボアンプ容量は大きくなるが高速化が可能になる。一方で□4WタイプをAC200V電源で使用する場合、元の設計よりも入力できる電圧が小さいため、運転領域が縮小し、回転速度は低下するがサーボアンプ小容量化が可能になる。3. 2節で述べたサーボアンプとの組合せ拡充と、この節で述べたワイドレンジ駆動は双方選択可能なため、一つの機種で最大4パターン of トルク特性を実現できる(表1)。これによって、機械の運転パターンに合わせた最適なサーボモータとサーボアンプの選択が可能になる。

4. エンコーダ技術

HKシリーズに搭載するエンコーダは、バッテリーレス絶対位置エンコーダを標準仕様にした。また、バッテリーレス方式及び光学系検出方式の最適化によって、バッテリーレス化に伴うサイズアップを抑制しつつ、モータの小型化や、更なる高分解能化等の基本性能向上を実現した。

4.1 バッテリーレス方式

一般的に、バッテリーレスの実現方法としては機械式(ギヤ式)と発電式が挙げられるが、機械式は発電式に比べ、摺動(しゅうどう)部の磨耗によって寿命が短い、検出器が大型化する、電源OFF時にカウント可能な回転数が少ないなどの課題があるため、HKシリーズに搭載するエン

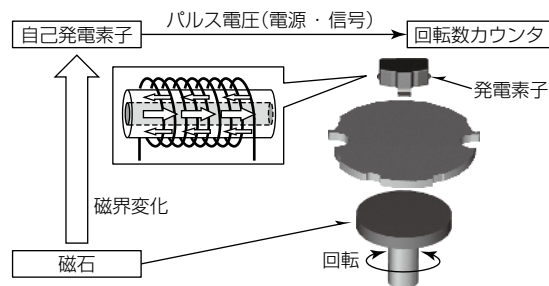


図8. バッテリーレス検出原理

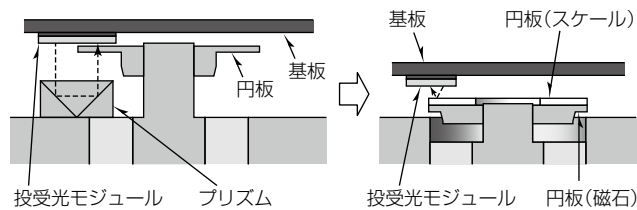


図9. 光学系検出方式の最適化

コーダは、当社独自の自己発電方式を採用した。

自己発電方式は、図8に示すように、モータ軸端の磁石が回転する際に発生する磁界の変化で発電素子に発生するパルス電圧によって位置を検出し、磁界の変化によって発生する電圧を活用して不揮発メモリに位置を記録する。

なお、この方式では回転速度や、駆動頻度が低い場合に、位置情報が消失する懸念があるが、発生するパルス電圧の最適化や、低速時の電圧を考慮した回路構成、専用ASICの開発等を実施することで、駆動条件によらず、約10年の位置検出・記録を可能にした。

4.2 光学系検出方式の最適化

4.1節で述べた方式はギヤ式よりも小型になるものの、発電素子を基板上に配置するため、モータ全長が長くなる点が課題になる。そこで、①光学系の検出方式を当社の従来方式である折り返し方式から反射方式への変更による全長短縮(図9)、②モータ部品と連携した構造設計による全長短縮、③磁気/光学の複合円板とし、専用ASICで双方の信号を処理することで、高分解能化を単一の基板/円板で実現した。これによって、バッテリーレス化を実現した上で、22bitから26bitへの高分解能化と、従来比で最大20%の小型化を両立させた。

5. むすび

新型サーボモータHKシリーズは、小型・高性能、大幅なラインアップ拡充、ユーザーのTCO削減となる機能追加を実現している。

今後も、先端技術と最高品質をベースにしたサーボモータの開発で、世界のものづくりに貢献していく。