

AC 小型標準モーター KIIシリーズ 特性向上の取り組み

本間 正 鈴木 祐貴

電源から直接駆動できる AC モーター、特に単相電源で使用する小型の単相 AC モーターは、使い勝手の良さからサーボモーターやステッピングモーターが普及した現在でも一定速度の用途を中心に幅広く支持されています。

Kシリーズからワールド Kシリーズへと引き継がれた設計思想はそのままに、KIIシリーズは世界各国の電圧仕様で最適な特性となるよう設計し、使いやすさと特性面の両立を図りました。

本稿では、最新の AC 小型標準モーター KIIシリーズの特性改善技術を紹介します。

1. はじめに

小型の単相 AC モーターはシンプルな構造で、交流電源に接続するだけで駆動できます。インバータなどの駆動回路が不要で、サーボモーターやステッピングモーターが普及した現在でも一定速度用途を中心に幅広く支持されています。

AC 小型標準モーターの業界標準をつくったオリエンタルモーターには、長年にわたるお客様とのやり取りからさまざまな要望をいただきました。その期待に応えるべく、さらに使いやすい AC 小型標準モーターを提供するために特性向上を行い、KIIシリーズとして製品をリニューアルしました。(図1参照)

本稿では、KIIシリーズ単相 AC モーターのリニューアル内容を紹介します。



図1 KIIシリーズの外観

2. AC 小型標準モーターの変遷

1950年代、脚取付タイプ(ベッドタイプ)の製品が主流の時代に、オリエンタルモーターは使いやすいフランジタイプを導入しました。1951年にHシリーズとして発売し、出力ごとに取付角寸法・取付ピッチを統一した小型 AC モーターの「標準化」を進めました。1966年に発売されたKシリーズは機器組込用途で幅広くお客様に受け入れられる製品となり、業界標準となりました。

Kシリーズが現在の主力商品の前身となり、その設計思想をワールド KシリーズやKIIシリーズへ引き継ぎました。

図2にKシリーズからKIIシリーズまでの変遷を示します。

Kシリーズは、主に日本国内向けに設計した製品です。その後発売したワールド Kシリーズは、中国をはじめとするアジア各国やアメリカ・ヨーロッパなどの世界各国で使用できるよう設計しました。KIIシリーズはワールド Kシリーズの使いやすさを継承しつつ、さらに特性面が向上しています。



図2 AC 小型標準モーターの変遷

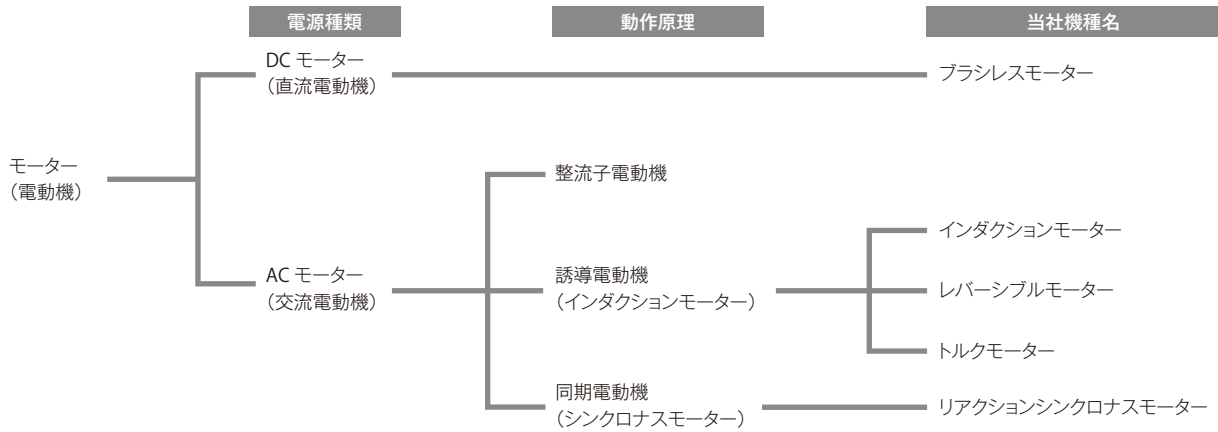


図3 モーター種類による分類

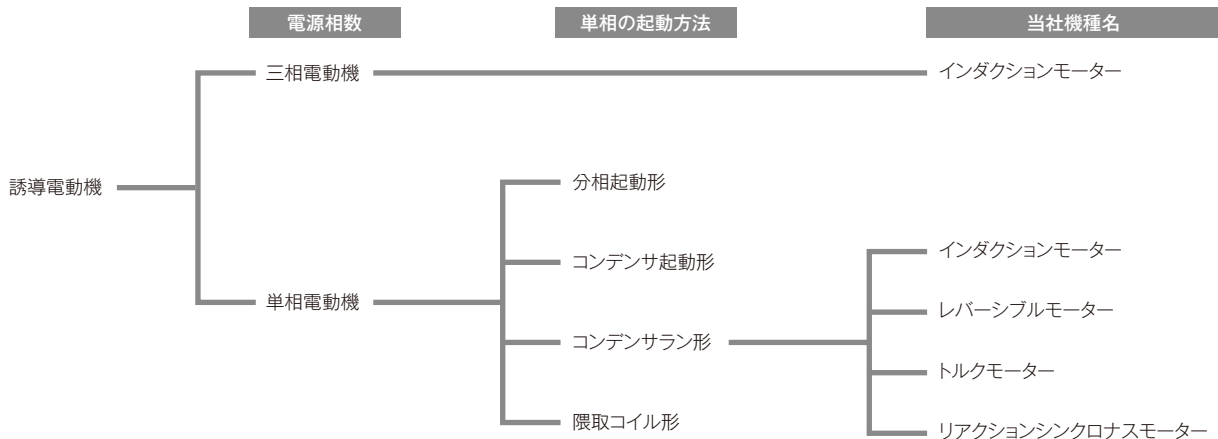


図4 モーター電源相数による分類

3. コンデンサラン形モーターの原理と特徴

3.1. ACモーターの分類と構造

図3に主なモーター種類の分類を示します。モーターは電源種類により、DCモーター(直流電動機)とACモーター(交流電動機)に分類されます。

誘導電動機は、ステータの回転磁界によるロータの誘導電流とステータの回転磁界との相互作用で回転するモーターです。

図4にACモーターの電源相数による分類を示します。交流電源で駆動するACモーターは、電源相数ごとに三相モーターと単相モーターに分類されます。

また、単相モーターは起動方法より分相起動形、コンデンサ起動形、コンデンサラン形、隈取(くまどり)コイル形の4種類に分類されます。

オリエンタルモーターはAC小型標準モーターの機種として、インダクションモーター、レバーシブルモーター、トルクモーター、リアクションシンクロナスモーターを展開しています。

図5に、AC小型標準モーター(インダクションモーター)の構造を示します。ステータは電磁鋼板を積層したコアに銅線(コイル)を挿入しています。ロータはかご型

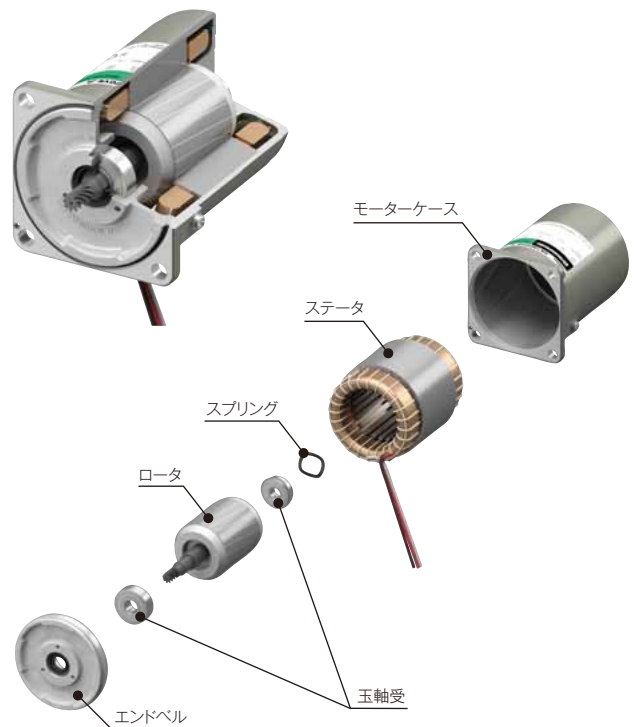


図5 AC小型標準モーター(インダクションモーター)の構造

ロータで、電磁鋼板を積層したコアとアルミ導体で構成しています。

3.2. ACモーターの起動方法

ACモーターはステータの回転磁界によりロータに誘導電流が発生し、その電流と磁界により力が発生します。このため、回転磁界より遅い速度でロータが回転します。

図6に三相電源の回路と電圧波形を示します。三相電源は各相に 120° の電気角位相差(以下、位相差)があるためモーターに電源を接続するだけで回転磁界が発生し、モーターを起動することができます。

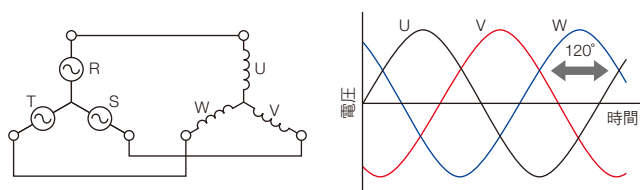
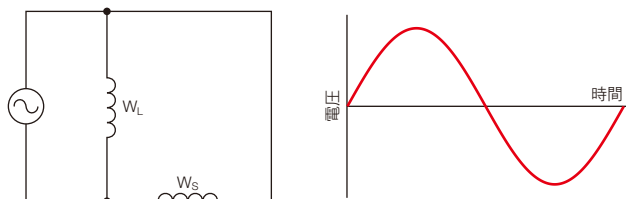


図6 三相電源の回路と電圧波形

これに対し、単相電源は一相の交番電圧なので電源に接続しただけでは回転磁界ができません。そのため、モーターを起動することができません。図7に単相電源の回路と電圧波形を示します。

回転磁界をつくるためには、分相巻線(分相起動形)や隈取コイル(隈取コイル形)を設ける方法もしくは、コンデンサを補助巻線に挿入(コンデンサ起動形、コンデンサラン形)する方法があります。



WL: 主巻線
WS: 補助巻線

図7 単相電源の回路と電圧波形

オリエンタルモーターの単相モーターは後述の利点より構造が簡単で信頼性が高く、そして、高効率であるコンデンサラン形を採用しています。

3.3. コンデンサラン形モーターの特徴

図8にコンデンサラン形モーターの回路と電圧波形例を示します。

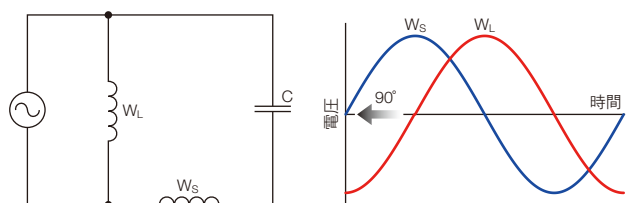


図8 コンデンサラン形モーターの回路と電圧波形例

コンデンサラン形モーターは主巻線 W_L と補助巻線 W_S を設け、この W_S に直列にコンデンサ C を挿入し、起動時と運転時に同じコンデンサを利用しています。モーター種類としては、二相誘導電動機となります。

コンデンサを利用して擬似的に二相電圧をつくり、モーターを起動します。このコンデンサを、進相コンデンサといいます。

コンデンサラン形には、以下の利点があります。

- ・ 単相電源で直接駆動できるため、駆動用の回路が不要
- ・ 運転時の特性が高効率、高効率で消費電力が少ない
- ・ ほかの単相モーターに比べて小型
- ・ 分相起動形やコンデンサ起動形で必要な起動スイッチが不要なため、構造が簡単で信頼性が向上

図9に進相コンデンサ、図10に進相コンデンサ有無におけるトルク特性の比較例を示します。



図9 進相コンデンサ

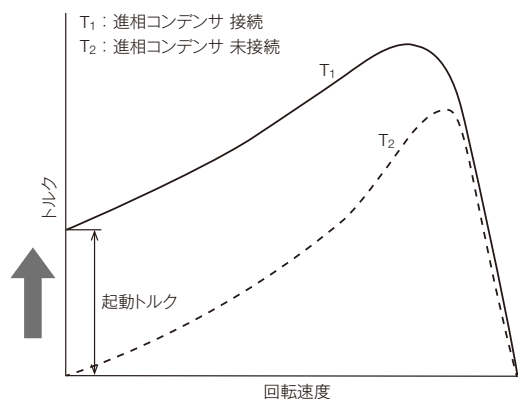


図10 進相コンデンサ有無によるトルク特性例

進相コンデンサが無い場合、点線のトルク特性となります。外力で回転させるとトルクが発生しますが、起動トルクが0であり運転トルクが低くなります。一方、進相コンデンサを接続すると実線のように起動トルクが発生し、運転トルクが高くなります。なお、コンデンサは製品仕様を満たせるよう製品ごとに容量値を選択しています。

3.4. コンデンサラン形モーターの磁界バランス

次に単相モーターの回転磁界と磁界バランスについて説明します。磁界バランスは、主巻線と補助巻線の電流値と位相差で表されます。図11に理想の磁界バランスのリサージュ図形と各巻線の電流波形を示します。

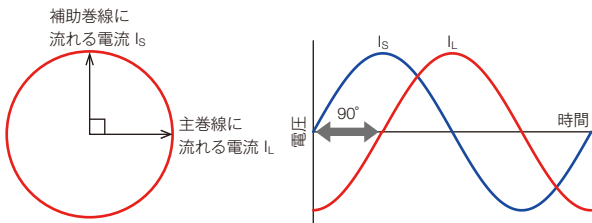
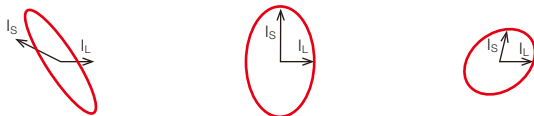


図 11 理想の磁界バランスと電流波形例

コンデンサ形モーター（二相誘導電動機）の場合、理想の磁界バランス条件は以下のようになります。

- ・ 主巻線と補助巻線の電流値が等しい
- ・ 主巻線と補助巻線の位相差が 90°

よって、二相交流電源で駆動すると理想の磁界バランスになります。しかし、単相電源で駆動するとコンデンサを用いた擬似的な二相電圧で駆動されるため、主巻線と補助巻線の電流値が異なり、位相差も 90° とならないケースが多くなります。そのため、磁界バランスが理想状態から離れてしまいます。図12に負荷条件による磁界バランスの例を示します。



無負荷(位相角 $>90^\circ$) 定格負荷(位相角 $=90^\circ$) 過負荷(位相角 $<90^\circ$)

図 12 コンデンサ形モーターの磁界バランス例

磁界バランスは上記負荷条件のほかにモーターの電圧・周波数定格によっても異なります。90 Wモーターの例を図13および図14に示します。

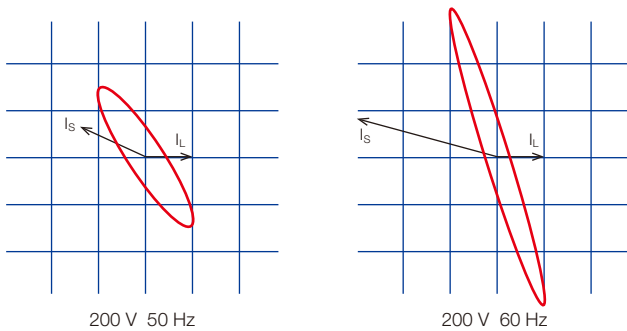


図 13 電圧・周波数と磁界バランスの関係（無負荷時）

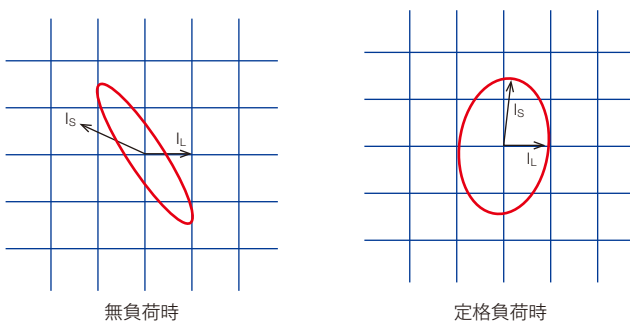


図 14 負荷トルクと磁界バランスの関係（200 V 50 Hz 時）

3.5. 各巻線電圧と巻線比

軽負荷～定格負荷の範囲で使用した場合、主巻線側より補助巻線側の電圧が高くなります。90 Wモーターの例を図15に示します。

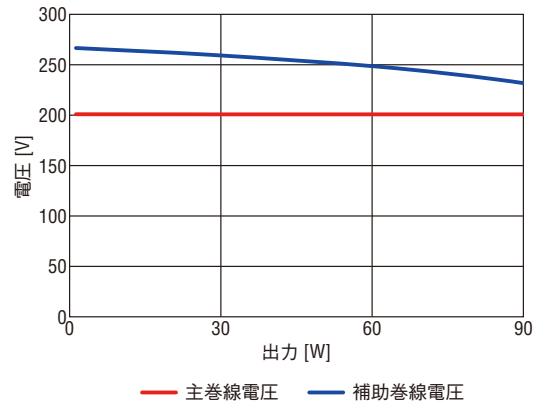


図 15 出力-電圧特性（電源電圧 200 V 50 Hz 時）

この特性より、通常は主巻線と補助巻線の巻数比を $1:n$ (n は $1.0\sim 1.2$ 程度)に調整し、理想の磁界バランスに近づける設計を行います。以上のことから、電圧・周波数定格を固定した巻線仕様とし、コンデンサを含めたインピーダンスを適切に調整する必要があります。

また、巻数比 $1:n$ の場合は図16のようにリード線を4本として、正逆運転時は結線を入れ替えて正転時と逆転時で同一特性となるようにします。しかし、電源への接続や正逆運転時の結線が複雑になります。

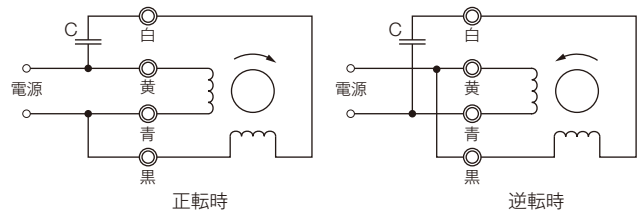


図 16 巻数比 $1:n$ モーター回転方向の切り替え方法

4. KIIシリーズの特性改善技術

4.1. 従来製品の特長と課題

ワールドKシリーズは、お客様が国や地域によらず同じモーターが使えるように設計しています。結線と回転方向の切り替えを容易にするため、主巻線と補助巻線の巻数比を $1:1$ とし、主巻線と補助巻線の巻線抵抗を等しくしています。

巻数比を $1:1$ にすると正転時と逆転時において主巻線が補助巻線へ、補助巻線が主巻線へと役割を転換できます。よって、リード線を3本にできるため、結線や回転方向の切り替えが容易になります。

図17に巻数比 $1:1$ モーターの回転方向切り替え方法を示します。結線の入れ替えが不要で、接点の切り替えだけで回転方向を切り替えることができます。

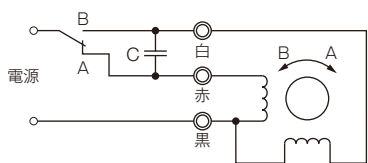


図 17 巻数比 1:1 モーター回転方向の切り替え方法

しかし、ワールド **K** シリーズは、電圧・周波数定格への対応範囲を広くしたため（例：200~230 V 50/60 Hz）磁界バランスの適正化が難しくなり、電流の位相差や大きさが理想状態から離れる場合があります。そのため、磁界バランスが崩れ、回転振動が発生しやすくなります。

4.2. **KII** シリーズのステータ設計

ステータの巻数と一般的な特性傾向は、以下のとおりです。

- 主巻線巻数 ≠ 補助巻線巻数 … 巻数比 1:n 特性 ○
- 主巻線巻数 = 補助巻線巻数 … 巻数比 1:1 特性 △

磁界バランスを良くするためには、主巻線と補助巻線の巻数比を 1:n にすることで理想に近い特性にすることができますが、主巻線と補助巻線の巻線抵抗が異なります。

その状態でリード線を 3 本とした場合、回転方向により主巻線の抵抗値が変わるため、正転時と逆転時でモーター出力が変わってしまいます。

KII シリーズは、ワールド **K** シリーズの使い勝手を維持したまま特性改善を図ることを目指しました。使用される地域ごとのステータ巻線仕様とし、主巻線と補助巻線の巻数比を 1:1 にしてコンデンサを含めたインピーダンスの最適設計と磁界バランスの改善を追求しました。

図 18 に電圧仕様に対するステータとコンデンサ容量の組み合わせを示します。

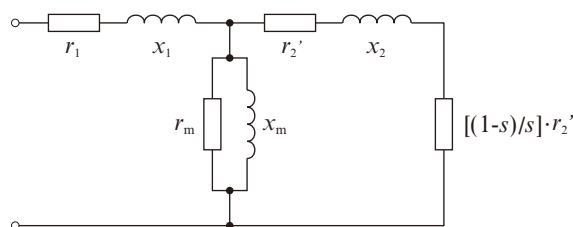
これにより、従来は難しかったお客様の結線や回転方向の切り替えがしやすいリード線の 3 本化と特性改善を同時に達成しました。

4.3. **KII** シリーズのロータ設計

KII シリーズは主巻線と補助巻線の巻数比を 1:1 として設計を行いました。巻数比 1:n を採用しているモーターと比較すると主巻線と補助巻線の抵抗値を合わせることで主巻線の抵抗値が大きくなることから、特に起動トルクが低下する傾向があります。

起動トルクを上げるため磁界バランス調整後にさらに巻線仕様やコンデンサ容量を変更すると、トルク特性と共に磁界バランスも変化してしまいます。そこで、機種によってはロータコアのエンドリング寸法を変更することで起動トルクを調整しました。

図 19 に AC モーターの一相分の T 型等価回路を示します。



- r_1 : 一次抵抗
- x_1 : 一次漏れリアクタンス
- r_m : 鉄損抵抗
- r_2' : 二次抵抗
- x_2 : 二次漏れリアクタンス
- x_m : 励磁リアクタンス

図 19 AC モーターの T 型等価回路（一相分）











電源仕様		200 V 50 Hz	200 V 60 Hz	220 V 50 Hz	230 V 50 Hz	220 V 60 Hz	230 V 60 Hz	特徴
ワールドK シリーズ 	ステータ							世界各国の幅広い電圧仕様に対応 結線や回転方向の切り替えが容易 (主巻線と補助巻線の巻数比を 1:1 としてリード線を 3 本化)
	コンデンサ							
KII シリーズ 	ステータ							世界各国の電圧仕様にあわせて、 ステータ巻線を最適設計 結線の容易さを維持し、ワールド K シリーズの振動や損失特性を改善
	コンデンサ							

図 18 電圧仕様に対するステータとコンデンサ容量の組み合わせ (90 W・200 V 系)

トルクの計算式を式(1)に示します。

$$T = \frac{3}{\omega_s} E_2^2 \frac{\frac{r_2'}{s}}{\left(\frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_2^2} \dots\dots\dots (1)$$

- T: トルク [Nm]
- E₂: 二次誘起電圧 [V]
- s: すべり (同期速度に対する遅れの割合)
- ω_s: 回転速度 [rad/s]
- x₂: 二次漏れリアクタンス [Ω]
- r₂': 二次抵抗 [Ω]

ω_sが一定の場合、x₂とE₂は一定になることからTはr₂'/sで変化します。

等価回路上の二次抵抗を変更すると、式(1)よりトルクが変化します。この特性を利用し、二次抵抗を高くして起動トルクを調整します。図20のようにエンドリング寸法を変更すると、アルミ導体の体積が変わるため二次抵抗が変化します。

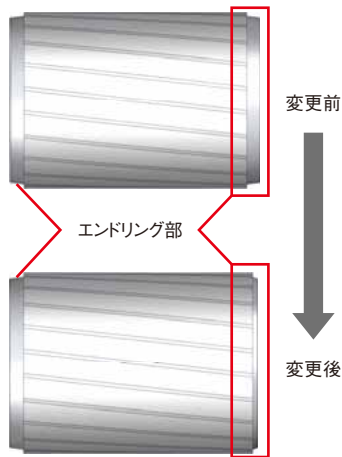


図20 ロータコアの変更例 (90 W)

定格出力を維持しつつ、起動トルクを確保できるようにしました。エンドリングを変更前後の回転速度-トルク特性を図21に示します。

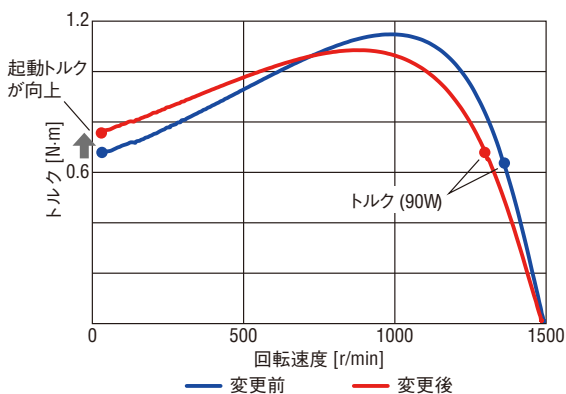


図21 ロータコア変更前後の回転速度-トルク特性 (90 W)

5. モーター特性の改善結果

5.1. 磁界バランスの改善結果

改善結果の一例を示します。90 W (図22) と 60 W (図23) の 200 V 50 Hz の無負荷時及び定格負荷時の比較です。

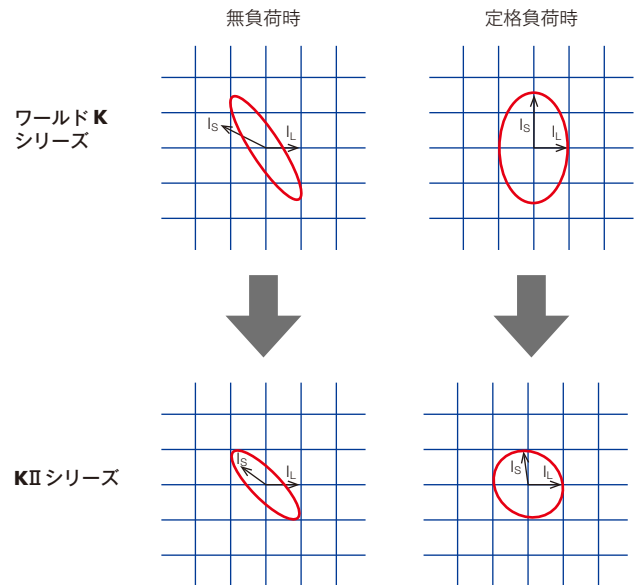


図22 磁界バランスの比較結果 (90 W)

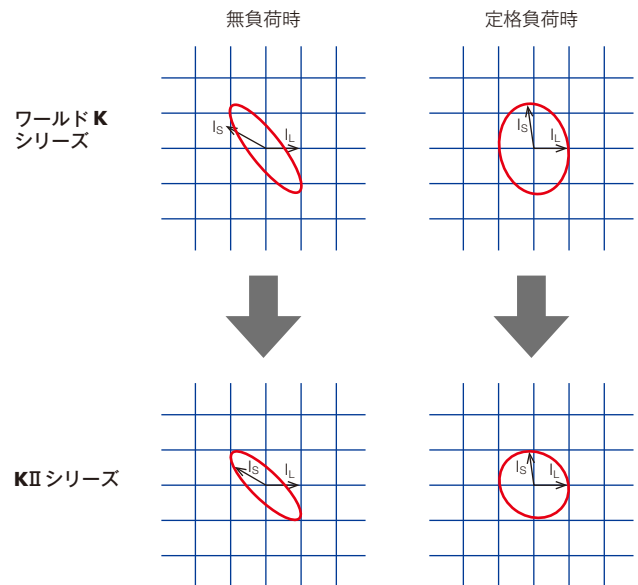


図23 磁界バランスの比較結果 (60 W)

磁界バランスとして望ましいのは主巻線と補助巻線の電流値の差が小さいこと、主巻線と補助巻線の位相差が90°(上図の場合、真円)に近くなることです。

KIIシリーズは、モーター仕様範囲内である無負荷から定格負荷のいずれにおいても磁界バランスが改善されています。

5.2. モーター振動の改善結果

90 Wモーターの200 V 50 Hzにおける、無負荷時のモーターケース表面の振動特性を図24に示します。

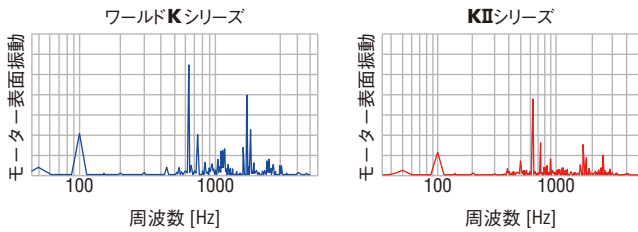


図24 無負荷時の振動特性比較 (200 V 50 Hz 時)

磁界バランスが改善したことにより、全周波数域で振動が低下しました。

次に、無負荷時のモーターケース表面の振動を出力ごとに比較した結果を図25に示します。

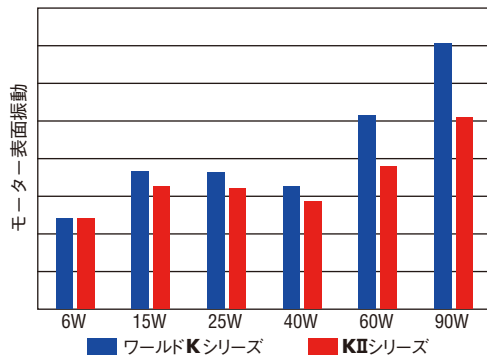


図25 無負荷時のモーター振動特性 (200 V 50 Hz 時)

いずれの出力においても KIIシリーズの振動が小さくなりました。

5.3. モーター損失の改善結果

90 Wモーターにおける、出力と損失の関係を図26に示します。

磁界バランスが改善されたことにより、負荷条件によらず損失が低下しています。消費電力が少なくなり、発熱も抑制することができました。

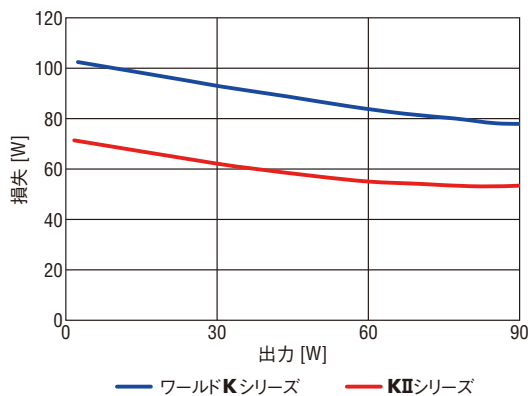


図26 モーター損失の比較 (90 W : 200 V 60 Hz 時)

6. まとめ

KIIシリーズの単相ACモーターは、ワールドKシリーズの使い勝手を維持しつつ世界各国でより良い特性となるよう設計し、振動特性や消費電力面で改善を図りました。

2013年に発売後もインダクションモーター、レバーシブルモーター、電磁ブレーキ付モーターのラインアップを行い、各種用途へ対応できるようになりました。

今後も引き続き特性向上を行い、お客様により良い製品を提供できるよう取り組んでまいります。

筆者



本間 正

モーター開発統括部



鈴木 祐貴

AC・BLモーター事業部