

モータ試験装置の開発

Development of motor test equipment

片平 洋一※
Yoichi Katahira
平手 宏昌※
Hiromasa Hirate
吉田 和弘※
Kazuhiro Yoshida

1. はじめに

近年、地球温暖化の観点から、省エネルギー化など環境問題への意識が高まっている。特に二酸化炭素の排出量削減の要求は強く、モータ分野では自動車の電動化やエアコン用モータの高効率化など省エネルギーにつながる技術開発が盛んに行われている。

モータの技術開発をする上で、モータの特性を測定する為の試験装置が必要となる。従来のモータ試験装置は、モータの軸出力を熱に変換しているため、試験時の消費電力が大きくなる課題があった。

本稿では、従来の課題を解決し、モータの特性試験に必要な電力を低減することのできる試験装置を開発した事例について紹介する。

2. 概要

モータ試験装置は、供試モータに負荷を接続し、供試モータを駆動して入力電圧、入力電流、入力電力、軸トルク、回転数を測定する。負荷としては、ヒステリシスブレーキやパウダブレーキ、渦電流ブレーキなどがある。

これらのブレーキを負荷とした試験装置は、供試モータの軸出力が熱エネルギーとして消費される為、供試モータ出力の約120%の電力を消費する。数kW以上の大電力モータを試験する場合には消費電力が大きくなり、電源設備の容量が不足する問題が発生した。

これを解決するため、本研究では供試モータの軸出力を

電力として回収し再利用することを目的に、負荷としてブラシレスDCモータを採用した。負荷モータより発生した回生電力は、供試モータの電源側に戻し、供試モータの入力電力の一部として利用することにより消費電力を低減できるモータ試験装置を開発した。開発したモータ試験装置は、供試モータの最大出力時に軸出力の75%以上の電力を回収することを目標に開発した。

3. 仕様

3.1 モータ試験装置の構成

図1にモータ試験装置の構成、図2にモータ試験装置の外観を示す。

供試モータの駆動には、インバータを使用する。電源は、単相AC 100Vとし、力率改善回路を介して、インバータに接続した。

供試モータの特性を測定する為、供試モータの入力電圧、入力電流、入力電力は電力計を、軸トルクはトルクメータを、回転数はエンコーダの出力信号を用いて測定する。供試モータとトルクメータ、負荷モータとトルクメータはそれぞれカップリングにより接続した。

負荷モータは発電機となり、負荷モータより発生した電力は、回生用インバータを介し、インバータの入力側へ戻す構成とした。これにより、供試モータの入力電力の一部を負荷モータより発生した電力を電源に回生させ、消費電力を低減した。

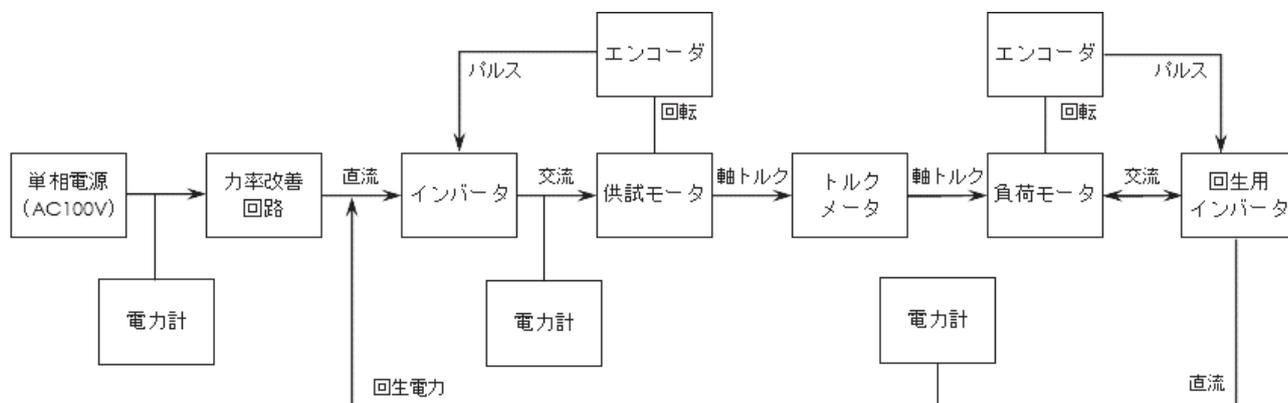


図1 モータ試験装置の構成図

※ モータカンパニー 研究・開発センター

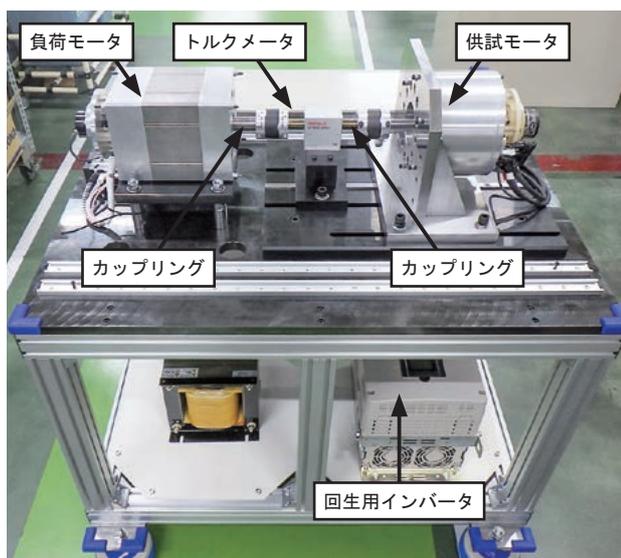


図2 モータ試験装置の外観

3.2 詳細仕様

3.2.1 力率改善回路⁽¹⁾

力率改善(Power Factor Correction、以下PFCとする)回路とは、電源の力率を1に近づける回路のことである。

インバータ回路の入力部はコンデンサ入力型の整流平滑回路が使用されていることが多く、この場合、力率が0.55～0.65程度となり、無効電流が電源から流れて入力電流が大きくなる。PFC回路は電源設備の容量低減に効果がある。

PFC回路の入出力に関する設計仕様を表1に示す。

実際の回路ではPFC回路以外に下記の回路も追加している。

- ・保護回路
- ・フィルタ回路
- ・突入防止回路

これらを含めた回路ブロック図を図3に示す。

表1 PFC回路の設計仕様

項目	仕様
入力電圧	AC 100 V ± 10 %
出力電圧	DC 300 V
最大出力電力	4000 W
効率	90 %
力率	0.99



図3 回路ブロック図

3.2.2 負荷モータ

負荷モータの仕様を表2に示す。

負荷モータは、トルク発生器として使用する。軸に与えられたトルクを電力として回収するため、永久磁石モータを使用した。また、ブラシレスDCモータを使用することで、寿命と効率を改善している。

固定子は、4極36スロット分布巻とし、回転子は永久磁石を内部に埋め込んだInterior Permanent Magnet(以下、IPMとする)型とした。また回転子に用いる永久磁石には、ネオジウム、鉄、ボロンを主成分とした希土類焼結磁石を採用した。この磁石は、高い磁気特性を持つ為、負荷モータを小型化することが可能となる。

表2 負荷モータの設計仕様

項目	仕様
定格電圧	AC 200 V
極数	4極
最大電流	110 A
最大出力電力	5.0 kW
最大トルク	22.3 N・m(0 ~ 2145 min ⁻¹)
最高回転数	10000 min ⁻¹
効率	90 % (2145 min ⁻¹ / 4.2 kW)

3.2.3 回生用インバータ

回生用インバータの仕様を表3に示す。正弦波PWMベクトル制御で負荷モータを電流制御することで、停止状態から高回転域まで、安定した負荷トルクを出力することができる。出力可能な周波数は最大400 Hzであり、モータの回転数は12000 min⁻¹まで対応可能である。

この回生用インバータの直流回路を、供試モータ駆動用インバータの直流入力部へ接続することにより、回生電力を再利用することができる構成になっている。

表3 回生用インバータ仕様

項目	仕様
入力電圧	DC 270 ~ 340 V
出力電圧	AC 0 ~ 240 V
出力電流	115 A
定格出力電力	30 kW
最高出力周波数	400 Hz
制御方式	正弦波PWMベクトル制御

4. 負荷モータのコギングトルク低減

負荷モータは回生電力を回収することが要求される。最大出力点(2145 min⁻¹、22.3 N・m)で効率90 %となるよう電磁界解析にて設計を行った。

ここで課題となったのはコギングトルクである。モータ

負荷試験装置は、低速回転域からトルクを測定する必要がある。負荷モータのコギングトルクは、低回転、低トルク域での軸トルクの測定精度に悪影響を及ぼす為、極力小さくすることが求められる。今回、負荷モータに採用したIPM型のモータは、回転子を回転させた際に磁氣的吸引力が回転角度に依存して細かく脈動するコギングトルクが発生する。

当初、製作した負荷モータは、コギングトルクが約 $1.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ (図5青線)あり、低回転、低トルク域での測定精度に悪影響を及ぼす為、コギングトルクを低減する必要があった。

コギングトルクの低減には以下の方法がある⁽²⁾。

- ・回転子のスキュー追加
- ・分数スロットの採用
- ・回転子コア形状の変更

今回は、当初製作した負荷モータから大幅な変更をすることなく、容易にコギングトルクを低減できる回転子のスキュー追加を採用した。スキューとは、磁気回路を周方向に捻ることで、トルク脈動、コギングトルクを抑制する方法である。IPM型の回転子の場合、永久磁石を軸方向に分割し、周方向にオフセットする方法が多く用いられる。今回の回転子は、永久磁石を軸方向に3分割し、周方向にオフセットして積層した。スキューさせる角度は、固定子スロットの1スロット分をスキューさせる必要がある。固定子のスロット数が36スロットである為、 10° とした。図4にスキュー有り、無しの回転子を示し、図5にコギングトルクの磁場解析結果を示す。

電磁界解析の結果から、回転子にスキューを追加することにより、コギングトルクを約25%まで小さくすることができた。

前述の仕様に合わせて製作した負荷モータの特性測定結果を図6に示す。図6の結果より効率90%を確認できた為、この負荷モータを用いて試験を行った。

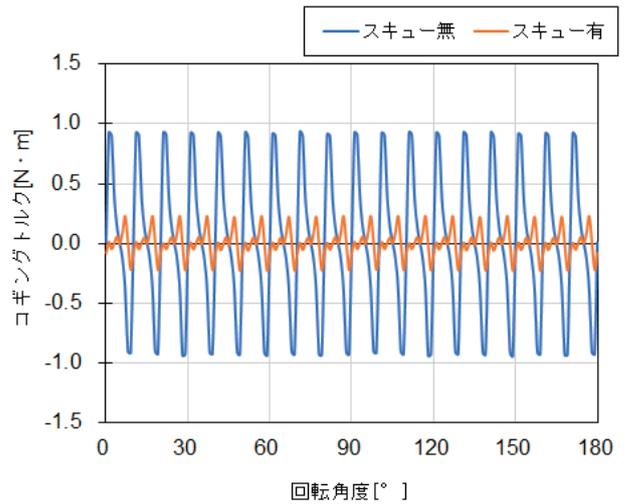


図5 コギングトルクの電磁界解析結果

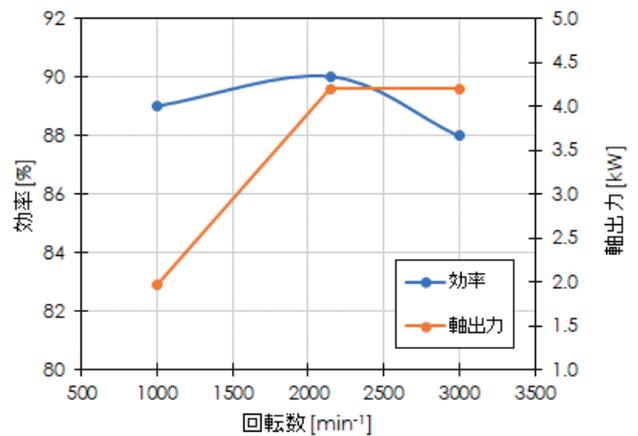


図6 負荷モータの特性測定結果

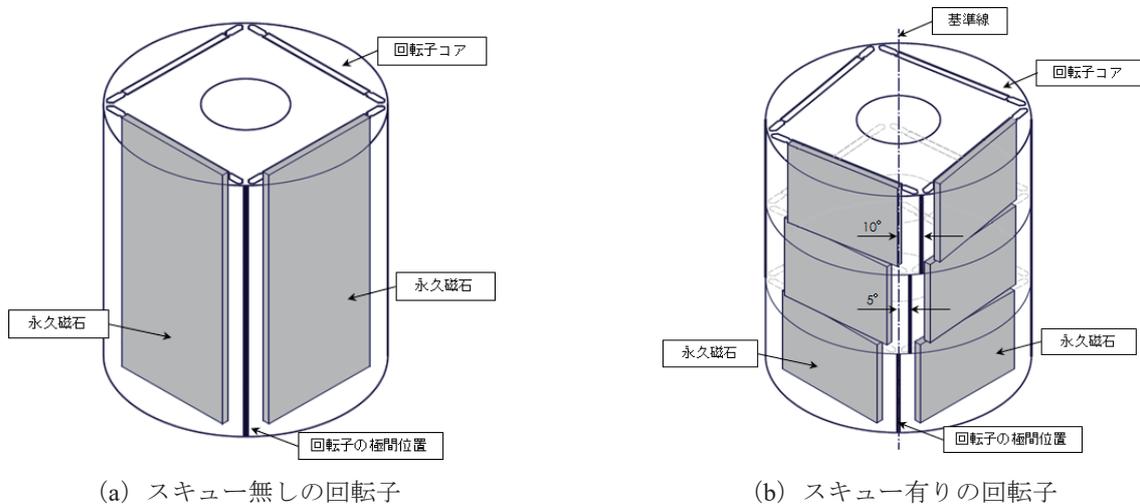


図4 スキュー有り、無しの回転子

5. 試験結果

開発したモータ試験装置を用いて、供試モータの特性測定及び回生電力測定を行った。

モータ試験装置の試験対象となる供試モータは、16極、固定子外径φ172 mmのIPM型モータとした。供試モータの仕様を表4、供試モータを駆動する為のインバータの仕様を表5に示す。

上記供試モータ及びインバータを用いて、測定したモータ試験装置の電力特性を図7及び表6に示す。

モータ試験装置は、モータの最大出力時に軸出力の約83%の電力を回収することができた。

表4 供試モータ仕様

項目	仕様
定格電圧	DC 48 V
最大電流	270 A
最大出力	4.2 kW(2145 ~ 7500 min ⁻¹)
最大トルク	18.7 N・m(0 ~ 2145 min ⁻¹)
最高回転数	7500 min ⁻¹

表5 インバータ仕様

項目	仕様
入力電圧	DC 270 ~ 340 V
出力電圧	AC 0 ~ 240 V
定格出力電流	283 A
定格出力電力	75 kW
最高出力周波数	400 Hz
制御方式	正弦波PWMベクトル制御

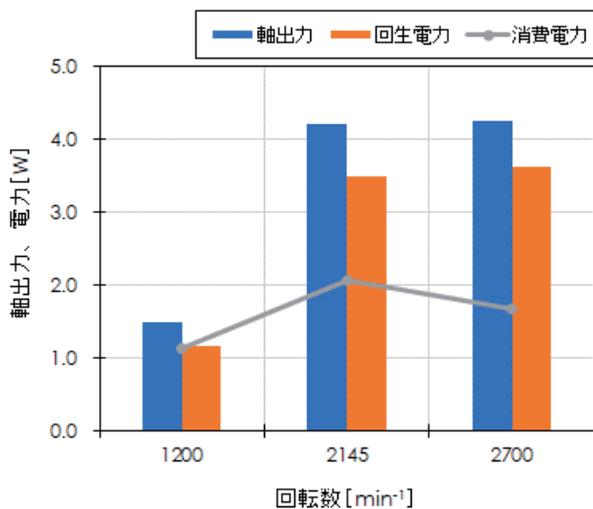


図7 モータ試験装置の電力特性

表6 モータ試験装置の電力特性

回転数 [min ⁻¹]	軸出力 [kW]	消費電力 [kW]	回生電力 [kW]
1200	1.5	1.13	1.16
2145	4.2	2.06	3.48
2700	4.2	1.68	3.62

6. まとめ

回生電力を電源側に戻すことで消費電力を低減できるモータ試験装置を開発した。それによりモータの最大出力時に軸出力のおよそ83%を回収することができた。

今後は、モータ試験装置を利用し、開発モータの特性測定を行う。

参考文献

- (1) 東芝デバイス&ストレージ株式会社:『PFC回路』(2019)
- (2) 杉野、伊藤、吉田:「畜舎用換気扇の改良」愛知電機技報 No.41 (2020)