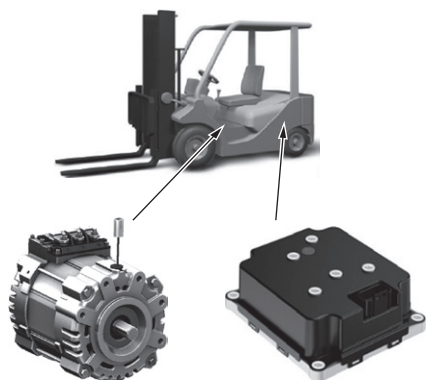


バッテリー式フォークリフト用 モータ・コントローラの新機種開発

桑原健生 Takeo Kuwabara
藤原侍士 Hitoshi Fujihara
中野竜一 Ryuichi Nakano

キーワード 高効率、小形軽量、環境対応、新興国対応

概要



フォークリフト用モータ (左) とコントローラ (右)

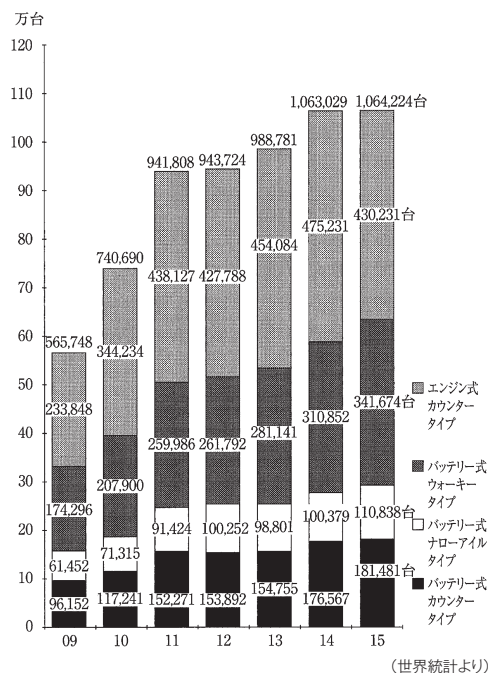
当社は、バッテリー式フォークリフトの駆動源であるモータ及びコントローラを50年以上にわたり供給し、フォークリフト業界を支える一端を担っている。

これまでフォークリフト市場の大部分を日本・北米・欧州が構成していたが、中国をはじめとするアジア市場の成長が著しい。これらの新しい市場に高性能・安価な製品を供給し、当社の確固たる地位を築いていくために、モータとコントローラの開発を進めている。

1 まえがき

フォークリフト市場は、2008年のリーマンショック後の世界同時不況で売り上げが大きく落ち込んだが、その後の中国を中心とする新興国市場の急回復並びに先進国市場の順調な回復で、2015年の世界販売台数は統計開始以来最高の106万4千台を記録した。第1図に世界フォークリフト販売台数の推移を示す。2015年は中国景気の後退もあり新興国市場の伸びは縮小したが、今後は中国での人件費の上昇などで、新興国市場での物流の機械化への要求が拡大すると見込まれ、新興国市場の着実な成長が期待される。

2011年から2015年の販売機種構成では、エンジン式フォークリフトの販売台数は横ばいで、バッテリー式フォークリフトが市場をけん引していることが分かる。この背景として、環境への意識の高まり並



出典：「産業車両」（2016.3）【（一社）日本産業車両協会】

第1図 世界フォークリフト販売台数の推移

世界のフォークリフト販売台数の推移を機種ごとに分類したグラフを示す。

びにフォークリフト電動化によるライフサイクルコスト低減への要求が挙げられる。バッテリー式フォークリフトは、一般的にインシヤルコストが高いが、ランニングコストが安いいためライフサイクルコストを低減できる。

地域別では、先進国の電動化率は既に50%を超え、日本：55%、北米：64%、欧州：82%となっている。これに対し、中国の電動化率は30%と比較的低いが、この5年間では20%から30%と増加している。今後、中国を含む新興国市場でも、急速に電動化率が向上していくものと考えられる。

当社は、市場拡大が見込まれるバッテリー式フォークリフト向けにモータ・コントローラを開発している。新機種では先進国で要求される品質・機能を満たしつつ、新興国でも受け入れられる価格を目標に開発を進めている。本稿では、開発中の新機種の特長を紹介する。

2 フォークリフト用モータ

電気自動車用モータでは、主に小形・軽量・高効率なPMモータが使用されるが、同じ車両用途であってもフォークリフト用モータでは、安価な誘導機が採用されることが多い。これは車両が求める仕様が大きく異なるためである。

フォークリフトは、重量物の荷役作業時の転倒防止を目的にカウンターウェイトが用意されているため、モータの軽量化は重視されていない。また、モータ搭載スペースの制約も電気自動車用モータほど厳しくないため、小形化への要求も少ない。このように十分な大きさのモータを採用できるため、誘導機でも高効率の性能を実現できる。

また、フォークリフト用モータと電気自動車用モータでは、保護構造の要求仕様が異なる。フォークリフトは電気自動車に比べてバッテリー電圧が低いため、人が通電部を触らない構造とし、必ずしも完全な防水構造とする必要はない。一般的には、直径12mm以下の開口が許容される「開放型」と呼ばれる構造が採用されている。

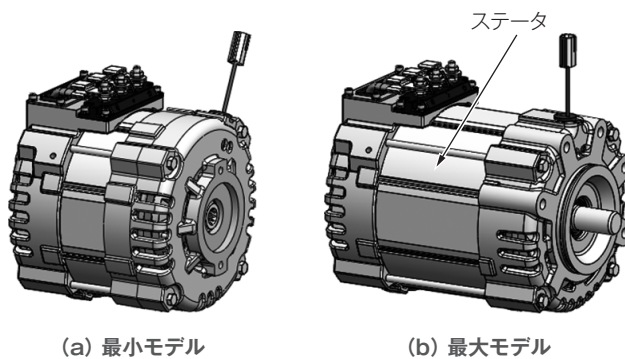
2.1 フレームレスモータ

「開放型」のフォークリフト用モータはロータの両端に設けた羽根が起こした風でステータコイルを直接冷やすため、モータの発熱をモータフレーム経由で放熱する必要がない。当社は「開放型」のフォークリフト用モータで更なるコスト競争力向上のため、フレームレス構造を採用し、用途に合わせた最適設計を行っている。

2.2 フォークリフト用途に特化した最適設計

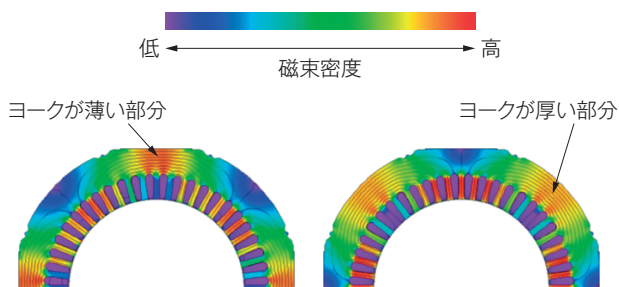
フォークリフトには、走行用と荷役用の2種類のモータが使用されている。また、主にカウンター車とリーチ車の2タイプが存在する。走行用と荷役用、カウンター車とリーチ車のそれぞれのモータに要求される性能は異なる。当社は50年以上のフォークリフト用モータの実績を生かし、走行用と荷役用、カウンター車とリーチ車のそれぞれに最適なモータを設計し、1t系から3t系車両までの製品を供給している。第2図に当社フレームレスモータの最小モデルと最大モデルを示す。ステータ長を変更することで幅広い特性を実現するとともに、ステータ径を統一することで部品の共通化を実現している。

フォークリフト用モータの設計で特に重要なことは、低回転～高回転、軽負荷～重負荷までの幅広い動作範囲を実現することと、より使用頻度の高い実使用領域での高効率を実現することである。これにより車両のバッテリー消費を抑え、一充電走行距離



第2図 フレームレスモータの最小モデルと最大モデル

フレームレスモータの最小モデルと最大モデルを示す。
適用車種：1t系カウンター／リーチ、2t系カウンター／リーチ、3t系カウンター／リーチ
用途：走行／荷役



第3図 ステータ磁束密度分布の解析結果

ステータのヨークが薄い部分は、ヨークが厚い部分に比べ磁束密度が高くなる。磁束飽和しない最適な厚みを検討した。

(1回の充電で走行できる距離)を延ばすことができる。また構造が簡易で部品点数が少ないフレームレスの誘導機では、ステータがモータ全体のコストに占める割合が極めて高い。このため、ステータ材の使用量をいかに低減するかも大きな課題となる。

上記の課題を解決するために、当社は電磁界解析を駆使して最適なステータとロータ形状の検討を重ね、フォークリフト用途に適した高効率モータを開発している。第3図にステータ磁束密度分布の電磁界解析を示す。

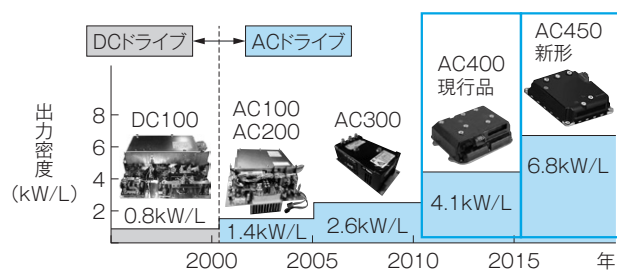
3 フォークリフト用コントローラ

バッテリー式フォークリフト用コントローラでは高効率化と小形化が求められる。第4図にバッテリー式フォークリフト用コントローラの実出力密度の変遷を示す。2000年当時の最初のACドライブは、出力密度0.8kW/Lだったが、最新のAC450では6.8kW/Lと大きく向上するとともに効率も向上している。

新たに開発しているAC450シリーズの機種構成は、現行のAC400シリーズと同様に小容量のSタイプ(以下、AC450S)と大容量のLタイプ(以下、AC450L)がある。それぞれの容量にバッテリー電圧48V系と72V系を用意し、このように当社のモータラインアップに対応している。第5図にAC450Sの外観を、第6図にAC450Lの外観を示す。

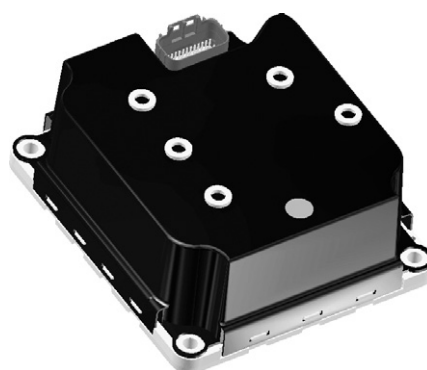
3.1 高効率

新形MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor



第4図 コントローラ出力密度の変遷

これまでのコントローラの実出力密度向上の変遷を示す。



第5図 AC450S

コントローラAC450Sのイメージ図を示す。



第6図 AC450L

コントローラAC450Lのイメージ図を示す。

Field Effect Transistor)を採用することで、主回路素子のオン抵抗を低減した。さらにスイッチング方式を見直すことでスイッチング損失の低減を実現した。これにより、インバータ効率をAC400Lの最大96%からAC450Lでは最大97.5%(計算値)まで向上した。

3.2 高出力密度

大容量の新形MOSFETの採用及びスイッチング

方式の見直しによる損失低減によって、主回路素子の数を削減し、さらにデジタル入出力・アナログ入力などの入出力点数の最適化によって、制御コネクタの数を削減した。その結果、AC450シリーズでは主回路基板及び制御基板の面積を大幅に削減し、コントローラの取り付け面積で従来比約70%を達成した。

3.3 保護構造

AC400の保護等級はIP54レベルだが、より厳しい環境下での使用を考慮し、保護構造を見直した。樹脂カバーとコネクタハウジングを一体成型とすることで接合面を無くし、さらに樹脂カバーとベースの間隙から水圧による水の浸入を防止するため、パッキンの使用から接着剤による密封に変更した。これらの対応で、保護等級IP65レベルを実現した。

4 むすび

フォークリフトの電動化率を向上することで、CO₂排出量の低減が進むことが期待されている。当社は、50年以上の実績を持つフォークリフト用モータ・コントローラの国内トップサプライヤとして、

バッテリー式フォークリフトの性能向上を目指した製品の開発を進めている。

今回、新たに開発中のフレームレスモータ及びAC450シリーズは、従来機器と比較して小形で高効率な製品である。本製品は2018年には販売を開始する予定で、これら製品の供給を通して環境負荷低減に貢献していく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



桑原 健生
Takeo Kuwabara

EV営業部
フォークリフト用モータ・コントローラの販売活動に従事



藤原 侍士
Hitoshi Fujihara

回転機技術部
フォークリフト用モータの開発業務に従事



中野 竜一
Ryuichi Nakano

名古屋工場
フォークリフト用コントローラの開発業務に従事