

テックノート

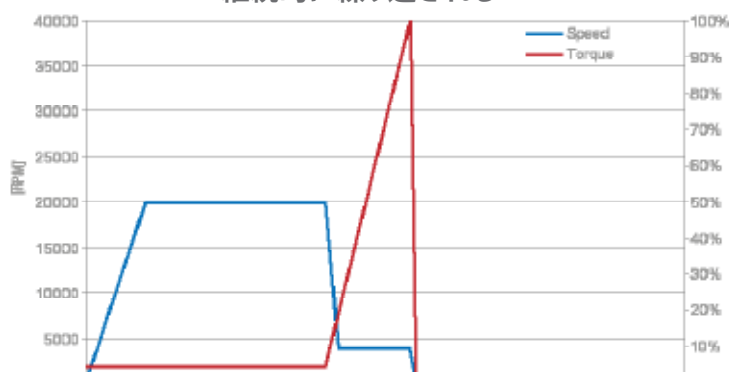
産業用電動工具の設計上の妥協を排除

by Thomas Baile



産業用電動工具(IPT)は、他のモータ駆動アプリケーションとはまったく異なる駆動プロファイルを備えています。一般的な用途では、動作中にモータからのトルク出力が必要となります。固定、グリップ、切断アプリケーションにおいては特有の動作プロファイルがあり、以下のグラフに示すように2つの位相に分かれます。

産業用電動工具で一般的な動作サイクル
継続的に繰り返される



速度

まず第一に、ボルトのねじを締め付ける際や、切断工具の顎部、保持工具が加工対象物に近づいた際でも抵抗がほとんど発生しません。この段階では、無負荷回転速度の速いモータはサイクル時間を節約でき生産性が向上します。

トルク

次に、工具が締め付け、切断、またはグリップなど、より動力が必要となる作業を行う際、トルクへの要求が最も重要になります。高いピークトルクを発揮するモータは、過度な熱を発生することなく、大きな動力が求められる作業に幅広く対応できます。

これらの速度切り替えサイクルとトルクサイクルを、要求の厳しい産業用途において絶えず繰り返し実行できる必要があります。用途に応じて異なる速度、トルク、期間が求められるため、可能な限り最良のソリューションを実現するために、損失を最小限に抑える特殊なモータ設計が要求されています。そのような設計は、低電圧で動作し、電力に制限のあるバッテリー駆動デバイスの場合はさらに不可欠となります。

最適なモータの選択と最適化の方法

携帯型電動工具に最適なモータを選択して最適化するには、まずモータ技術を見直す必要があります。当社の主要製品であるブラシ付き、およびブラシレスDCモータを検討してみましょう。

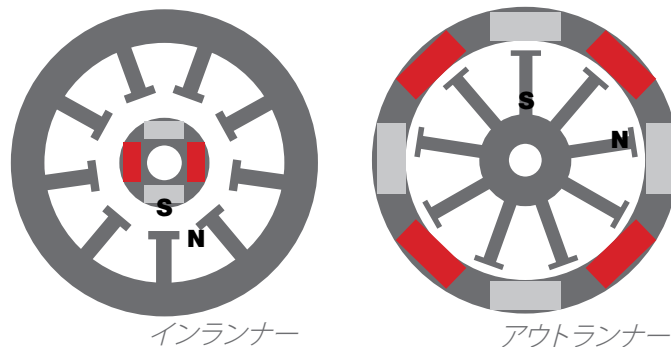
バッテリー駆動の産業用電動工具は低電圧(12 - 60V)で動作します。ブラシ付きDCモータは一般には経済的な選択肢と言えますが、モータの動作寿命に難があります。ブラシは電気的要因(トルクに関連する電流による)および機械的要因(速度に関連する摩擦による)によって摩耗し、動作寿命に到達するまでのサイクル数が制限されます。ブラシレスDCモータは、さらに信頼性の高いモータソリューションです。ブラシの摩擦がないため機械的摩耗の影響を受けにくく、しかもブラシがないことから締め付け位相を通じて高いピーク電流を維持することができます。したがって、携帯型工具の寿命が著しく長くなります。産業用電動工具の用途では、高

速回転および高いピーク電流が求められるため、ブラシレスDCモータはブラシ付きDCモータよりも最適な選択肢です。

ブラシレスDCモータは以下のように様々な物理構成が可能です。

- インランナーとして知られる従来の構成では、永久磁石は3本の固定子巻線に囲まれているロータの一部です。
- アウトランナー構成(または外部ロータ)では、コイルと磁石間のラジアル関係が逆になっています。固定子巻線がモータの中心(コア部)を形成し、永久磁石はコア部を囲むオーバーハングロータ内で回転します。

イン/アウトランナー設計モータの横断面図



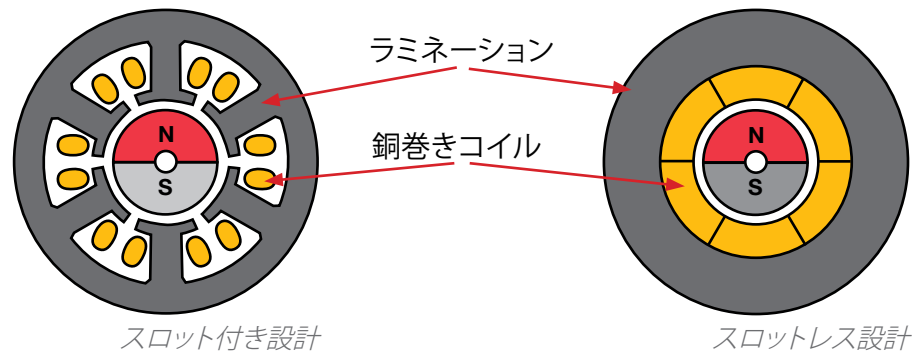
インランナーモータ構成は慣性が低減され、軽量かつ低損失ということから、携帯型産業用電動工具に適しています。長さを確保し、径を小さく抑えた設計は、より人間工学的で携帯型デバイスに容易に組み込むことができます。さらに、ロータ慣性が低いことで、より優れた締め付けおよび把持制御が可能になります。

ブラシレスDCモータの巻線は、以下のように様々な物理的構成が可能です。

- スロット付き固定子。コイルは固定子まわりのスロット内部に巻きつけられています。ラミネーション(固定子)と磁石間のエアギャップが狭いため、ラミネーションの磁気誘導は強くなっています。そのため、径の小さい磁石を使用できます。銅の有効体積がスロットのスペースにより制限され、スロット内で巻き付けが困難になります。固定子のスロット内にコイルを配置することで、コイル/固定子アセンブリの熱抵抗を低減できるメリットを得ることができます。電流がないと、ロータは、ラミネーションの表面に最適な磁石の位置を確保し、コギング、またはディテントトルクを生成します。ディテントトルクを低減する方法の1つは、ラミネーションにスキューを入れることです。スロット付きモータ設計は、コイルがラミネーションに埋め込まれているため堅牢な作りになっています。



- スロットレス固定子。スロットレスモータの場合、コイルは別の外部駆動部に巻かれており、独立しています(下図を参照)。このコイルは、モータを組み立てる際にエアギャップ部に直接差し込まれます。この設計では、エアギャップが増加するためコイルの磁気誘導率が低下します。したがって、通常の場合モータ直径は最適な銅の有効体積で理想的な磁気誘導率を確保できるように最適化されます。一般的に、そのようなモータでの誘導率は設計によってスロット付きブラシレスモータよりも大幅に小さくなります。誘導損失を補償するために通常は大きい磁石が使用されるため、ロータ慣性に影響する場合があります。出力密度の観点では、スロットレスモータは誘導率と銅の有効体積の関係が最適化されているため(傾斜曲線)、優れた性能指数(R / K^2 - 負荷下で速度を維持する能力、より低い方が良い)を有します。循環電流がなければロータは優れたパーミアンスを継続的に確保できるため、スロットレスモータではコギング、またはディテントトルクが発生しません。スロットレスモータの高回転時の鉄損は、設計により大幅に低減されます。



スロット付き設計はスロットレス設計(150度)よりも高温(200度以上)に耐えることができるため、より多くのトルクを生成することが可能です。ただし、ほとんどの場合は、使用者の快適レベルに相当する経時的な最大温度(47度)が電動ハンドツールの使用時の制限要因となります。実際にも、使用者は時間に伴う加熱を不快に感じます。また、安全規制上も最高温度を低く保つ必要があります。

スロットレス技術は、ラミネーションで誘導率が抑えられて鉄損がないため、ほとんどの産業用電動工具に最適です。

	スロット付きBLDC	スロットレスBLDC (Ultra EC™)
長所	<ul style="list-style-type: none"> 小さい熱抵抗(コイル/筐体) 100krpmを超える最大回転速度 完全にカスタマイズ可能なモータ 優れた耐電圧性(最大2500V) トルク 	<ul style="list-style-type: none"> コギングのないスムーズな操作 高速回転時、低温時でも少ない鉄損、制御のしやすさ 低ノイズおよび低振動 柔軟性の高い巻線
短所	<ul style="list-style-type: none"> コギング 非標準製品 	<ul style="list-style-type: none"> オートクレーブ対応オプション使用不可 高い熱抵抗

磁気回路がモータの電気的特性を定義。メインの構成部品である磁石は固定値を有します。しかし、二次構成部品である銅製の巻線には容易に変更を加えることができます。線径や巻き数を変更することで、トルク定数「 k_t 」および抵抗値「 R 」を微調整

トルク定数の微調整

k_t トルクと回転数の選定

産業用電動工具の動作プロファイルをさらに詳細に分析し、モータの巻線設計の課題を検討してみましょう。

速度: モータは抵抗を抑えて高速回転する必要があります

$$\omega = (U - R * I) / k_t$$

ω (回転数は s^{-1})

U (電圧はVolts)

R (抵抗はオーム)

I (電流はAmps)

k_t (トルク定数はNm/A)

トルク定数は計算式の分母にあるので、 k_t が小さいほど速くなります。これにより、同じ時間内でさらに多くの動作が可能となり、生産性が大幅に向上します。

トルク: 次の位相の間中、モータは低速でピークトルクを提供することが求められます。物理法則に従うと、トルクはトルク定数と電流の積となります。

$$C = k_t * I$$

C (トルクはNm)

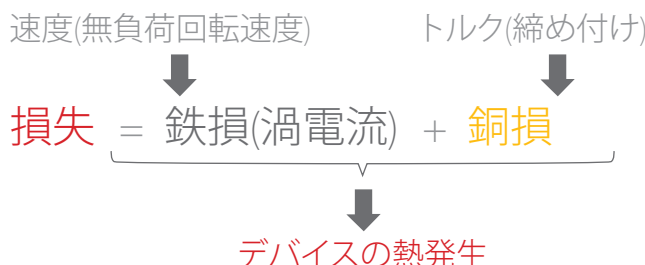
I (電流はAmps)

k_t (トルク定数はNm/A)

k_t が大きくなるにつれ、所定の電圧における出力トルクが大きくなります。

設計者は、トルクと回転数の良いバランスを見つけて動作サイクル時間を短縮するために、モータ巻線の k_t を調整して回転数と出力トルクを最適化することができます。独自の解決策はありません: k_t は、動作プロファイル範囲内における最善の妥協点として選択する必要があります。モータ設計の専門家が、シミュレーションや経験に基いて、このコイルの設計プロセスをサポートいたします。

産業用電動工具の動作サイクル間の熱損失のレビュー



銅損とトルク

回転数を上げるために k_t 値を低く設定し、より多くの電流(I)で値の小さい k_t を補償してより多くの出力トルクを達成することもできます。ただし、大きな電流により銅損の増加が想定されます。

$$\text{銅損} = R * I^2$$

電流が大きくなると、モータおよびハンドツールの発熱がより速くなるため、可能な最大トルクを制限します。モータは、放熱(生産性に影響を与える携帯ユニットの温度)を制限し、バッテリー寿命を伸ばすために、引き出される電流は可能な限り小さくなるように設計する必要があります。

鉄損と回転速度

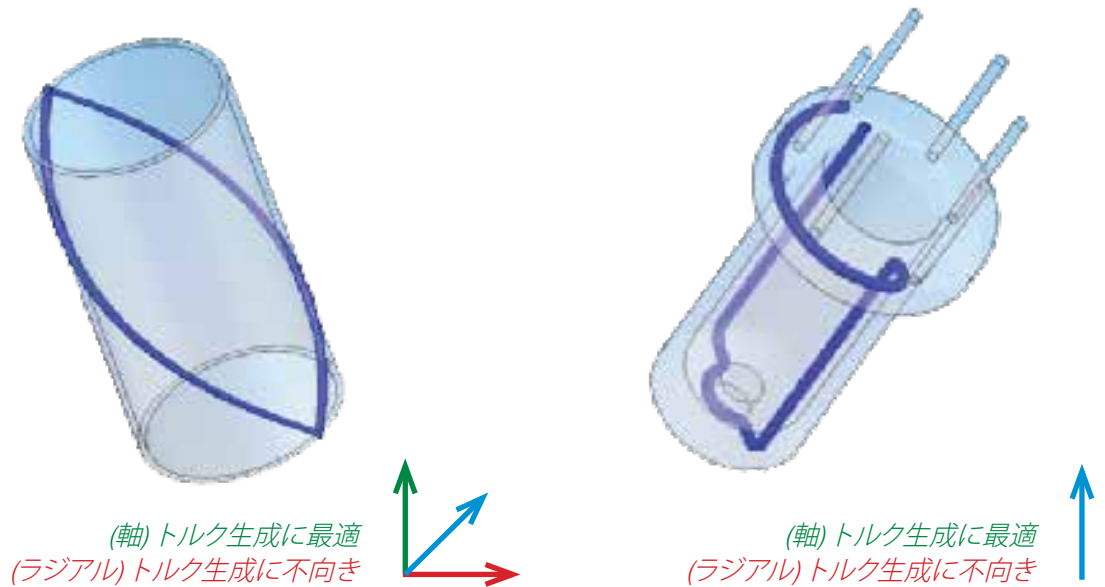
鉄損は回転速度と関係しています。渦電流損は回転数の2乗に比例して増加し、無負荷状態でもモータが回転するだけで発熱します。高速モータを設計する場合、渦電流損を抑制するため特別な予防措置が必要です。

産業用電動工具向けモータのイノベーションと最適化

ポルテスキャップのエンジニア達は優れたソリューションを提供するために、革新的な特許取得済みUコイル技術を備えた新しいUltra EC™ブラシレススロットレスモータを開発しました。

まず第一に一般的なスキュー付きスロットレス巻線方式とは異なり、Ultra ECではモータ軸に並行に巻かれているため、銅損が低減され、垂直方向の磁力が最大化されるため、より大きな出力を実現します。

概略図 - 巻線方式による力 - ストレート螺旋 vs スキュー付き螺旋 + グラフ正弦曲線力 k_t



次に、スロットレスモータの高回転時の鉄損は、設計により大幅に低減されます。このストレート巻線では、Ultra ECモータはスキュー付き巻線に比べてロータ長が短くなり、ロータの慣性が小さくなるため、鉄損が低減されます。

この画期的な新しい設計により、コンパクトなパッケージで最も困難な用途においても最適な速度とトルクをお届けします。締め具、保持工具、および切断工具においては、この性能の向上、重量の軽減、エネルギー効率の向上のメリットのすべてが期待できます。

機能

- 直線巻
- インナーヘッドとアウターヘッド
- ワイヤのゆるみを防ぐ特殊な出力
- 軸方向と径方向へのフォーミング

利点

- 高効率の銅巻線により、ジュール損を最小化
- 最適なパッケージ寸法
- 銅の有効体積がきわめて大きい
- コイルの信頼性が高い
- モータデザインに完璧に一体化
- 幅広いトルク定数の実現が可能

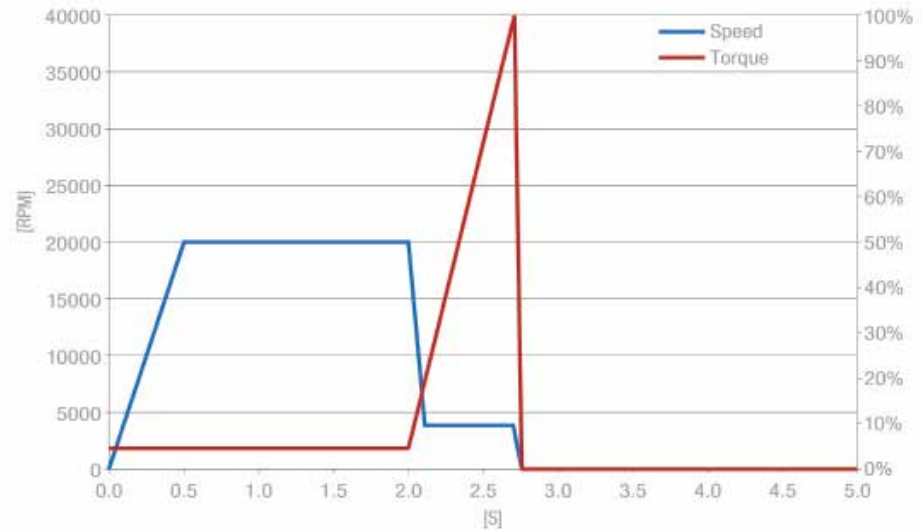
IPT用途におけるUltra EC巻線の利点

本項では、一般的な産業におけるデューティサイクルでのモータ性能にUltra ECが与える影響について解説します。

動作環境:

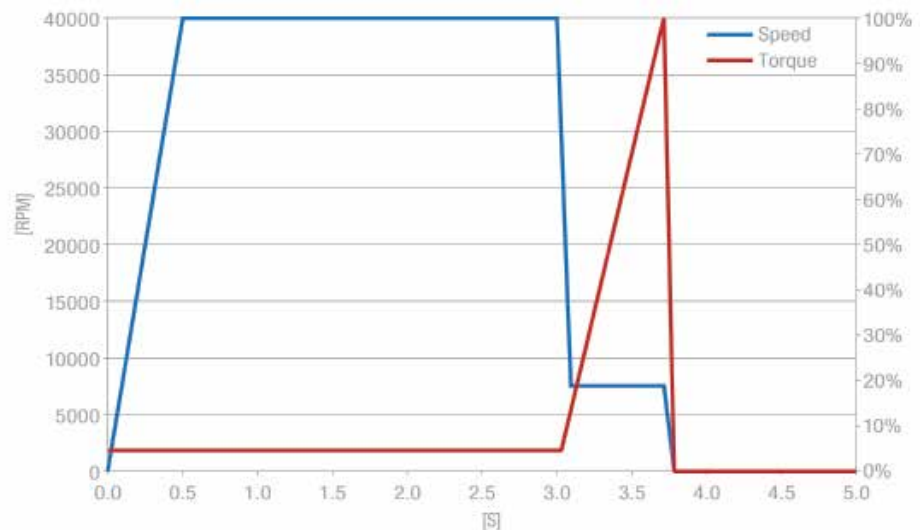
平均デューティサイクル: 中速での2秒間における無負荷回転速度

例: 剪定ばさみ、ナットランナー、グリッパー、ステープラー



速度: 20,000 rpm - 2s Torque 0.84Nm

ヘビーデューティサイクル:高速での3秒間における無負荷回転速度
 例: 生産用に最適化された自動車用ナットランナー

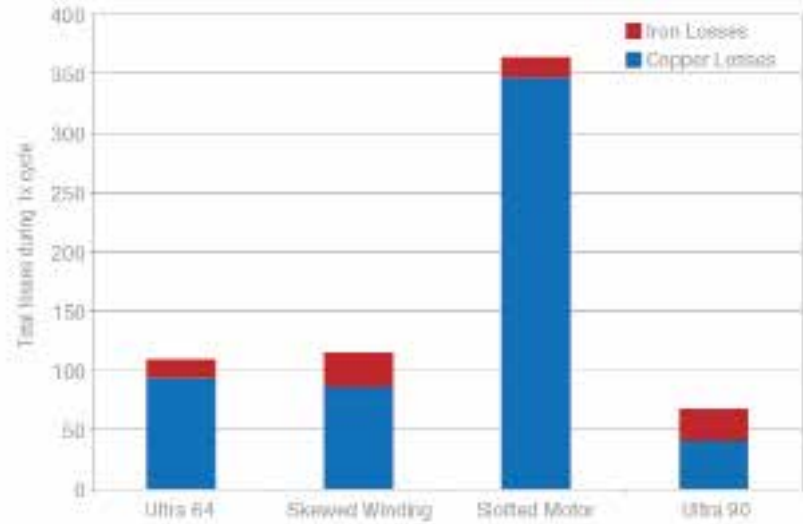


速度: 40,000 rpm - 3s Torque 0.69Nm

平均デューティサイクル - モータ比較

平均デューティサイクル間における、モータ性能を比較してみましょう:

モータ	Ultra 64	スキュー付き巻線	スロット付きモータ	Ultra 90
外径寸法 * L (mm)	30 * 64	30 * 64	28.5 * 88.5	30 * 90
極数	4	4	4	4

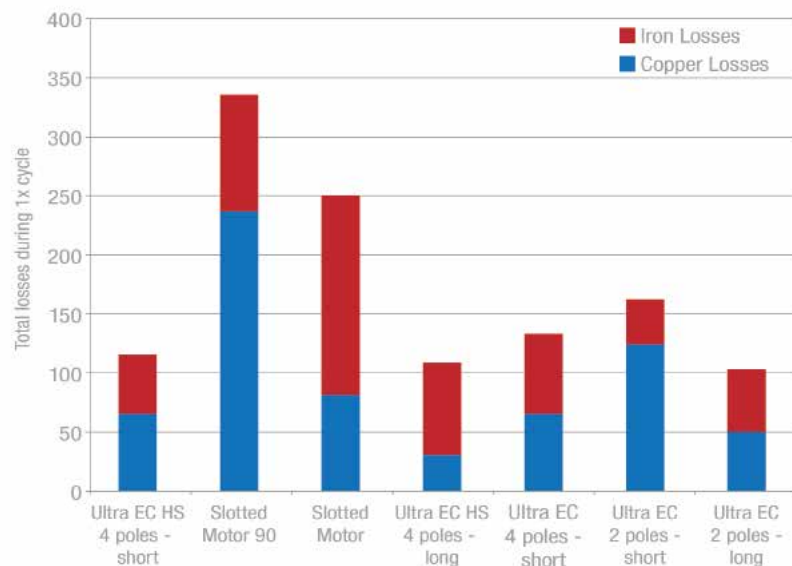


比較すると、スキュー付き巻線またはスロット付きモータよりも、ストレートコイル(Ultra)の方が効率性が高い(低損失)ことがわかります。

ヘビーデューティサイクル - モータ比較

ヘビーデューティサイクル間における、モータ性能を比較してみましょう:

モータ	Ultra 64 HS	スロット付きモータ 90	スロット付きモータ 100	Ultra 90 HS	Ultra 64	Ultra Speed 60	Ultra Speed 80
外径寸法 * L (mm)	30 * 64	28.5 * 88.5	34 * 99	30 * 90	30 * 64	35 * 60	35 * 80
極数	4	4	4	4	4	2	2



回転速度が2倍になったことで、鉄損が増えたことがわかります。それでも、スキュー付き巻線やスロット付きモータよりも、ストレートコイル(Ultra)の方が効率性が高い(低損失)であることがわかります。

結論

速度を大幅に上げると、銅損よりも鉄損が急速に損失を生じるようになります。損失を効果的に抑えるために、各デューティサイクルに合わせて調整する必要があります。Ultra巻線技術によって鉄損および銅損が大幅に低減され、設計者にとっての柔軟性が向上します。

Portescapについて

主要メーカーは25年以上にわたり、ポルテスキャップの革新的な製品、そして品質管理、柔軟性、エラープルーフを向上しながらも高度なコード付き工具の開発、バッテリー駆動工具への移行を実現するポルテスキャップの専門性、サポートに信頼を置いてきました。ポルテスキャップのイノベーションは、空気圧駆動式工具から電動工具への移行を可能にすると同時に、産業用電動工具の性能基準を定めてきました。2013年、ポルテスキャップは次世代型の駆動方式と性能を誇る、初代Ultra EC™コイルの特許を取得しました。

Thomas Baile

ビジネス開発マネージャ

Portescap

詳細情報

PORTESCAP CO., LTD.
ポルテスキャップ株式会社
〒108-6107
東京都港区港南2-15-2
品川インターシティ B棟7階

TEL: +81 3 5479 7701
FAX: +81 3 5479 8232

SALES.ASIA@PORTESCAP.COM
HTTP://WWW.PORTESCAP.CO.JP

エンジニアへのお問い合わせ

WWW.PORTESCAP.COM/ポルテスキャップへのお問い合わせ