



ケーススタディ



MAGCAM
advanced
magnet
inspection

Magcamテクノロジー を使用して永久磁 石モーターの効率を 最大化する

2023年シーズンのフォーミュラ
エレクトリックベルギーからの洞
察



“

戦略的に高品質の磁石を選択することで、メーカーはコギングトルクやトルクリップルなどのモーター属性を2倍から4倍向上させることができます。

”



はじめに

磁石の品質は、永久磁石電動機の性能に影響します。これは、このケーススタディの主な結論であり、モーター生産の初期段階で磁石の品質を最適化することにより、e-モーターメーカーがトルクリップルやコギングトルクなどの主要なモーター性能特性に2倍から4倍の改善を実現できることを示しています。

これらの結果は、高性能電動モーター/発電機のアプリケーションに新しい可能性を開きます。自動車セクターでは、モータースポーツや高性能消費者車、さらには広範な電動移動市場が含まれます。結果は、航空、産業自動化、消費財、医療機器など、電動モーターの他の応用分野にも同様に適用されます。Magcamが永久磁石電動モーターの未開発の潜在能力を解放するのにどのように役立つかを引き続き読んでください。

“フォーミュラ1のレースカーは、内燃機関に加えて、電動モーター/発電機ユニットを使用しています。モーター性能の向上は、すぐに貴重なラップタイムの短縮に変わります。”

“今シーズン、モーターの電流制御に関連する問題が大幅に減少しました。この改善は、Magcamによるローターの綿密な最適化を通じて可能になった開発、トルク/電流リップルの削減に大部分が帰せられます。”



背景

Formula Electric Belgiumチームが2023シーズンのレースカーの性能を最適化しようとしたとき、彼らは磁石検査の専門家であるMagcamと、トップティアのドイツの電動モーターメーカーであるFischer Elektromotoren GmbHと提携し、各車輪に1台ずつの4台のラジアルフラックス永久磁石同期電動モーターの磁気品質を確保しました。

Fischerは磁石を供給し、ローターとモーターの組み立てを担当しました

が、Magcamの専門知識は、これらの電動モーターローターの磁気品質を確保することに焦点を当てていました。これは、Magcamのユニークな磁場カメラ測定技術を使用して達成されました。これは、組み立て前の個々の磁石と組み立てられたローターの両方に適用され、高度なデータ分析機能と組み合わせられました。

目的は、車両の性能を向上させるだけでなく、意図的に選ばれた劣悪な品質の磁石から作られた「最悪のケース」のローターを作成することにより、比較分析を提供することでもありました。Magcamがこれをどのように達成したのか、結果から何を学べるのかを引き続き読んでください。



2023年のFormula Electric Belgiumチームは、Magcamによって最適化された4つのラジアルフラックス永久磁石モーターを含む、完全電動のレースカー「Apollo」で参加します。
ソース：www.facebook.com/formulaelectricbelgium/posts/730519009084633

“

磁石のバッチには、通常、品質パラ
メーターに大きなばらつきが含ま
れており、それがサブオプティマル
な最終製品の結果となります。

”

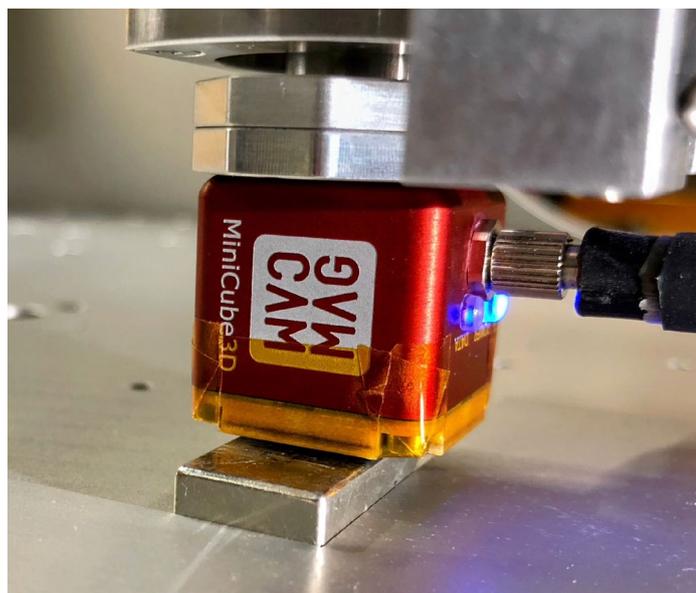


磁場の測定と磁石の選択

Magcamによる個々の磁石のスキャン

この研究は、Magcamがその洗練された磁場カメラCombi Scannerを使用して、Fischerから提供された200個の磁石の高解像度磁場分布を測定することから始まりました。バッチサイズは、品質に基づいて磁石の大部分が拒否される可能性があるため、ローターに必要な磁石の数よりもはるかに大きかった。

測定には、MagcamのMiniCube3D磁場カメラを高速で磁石表面上で数ステップ移動させ、個々のフレームを後で縫い合わせる作業が含まれていました。統合されたチップ上の



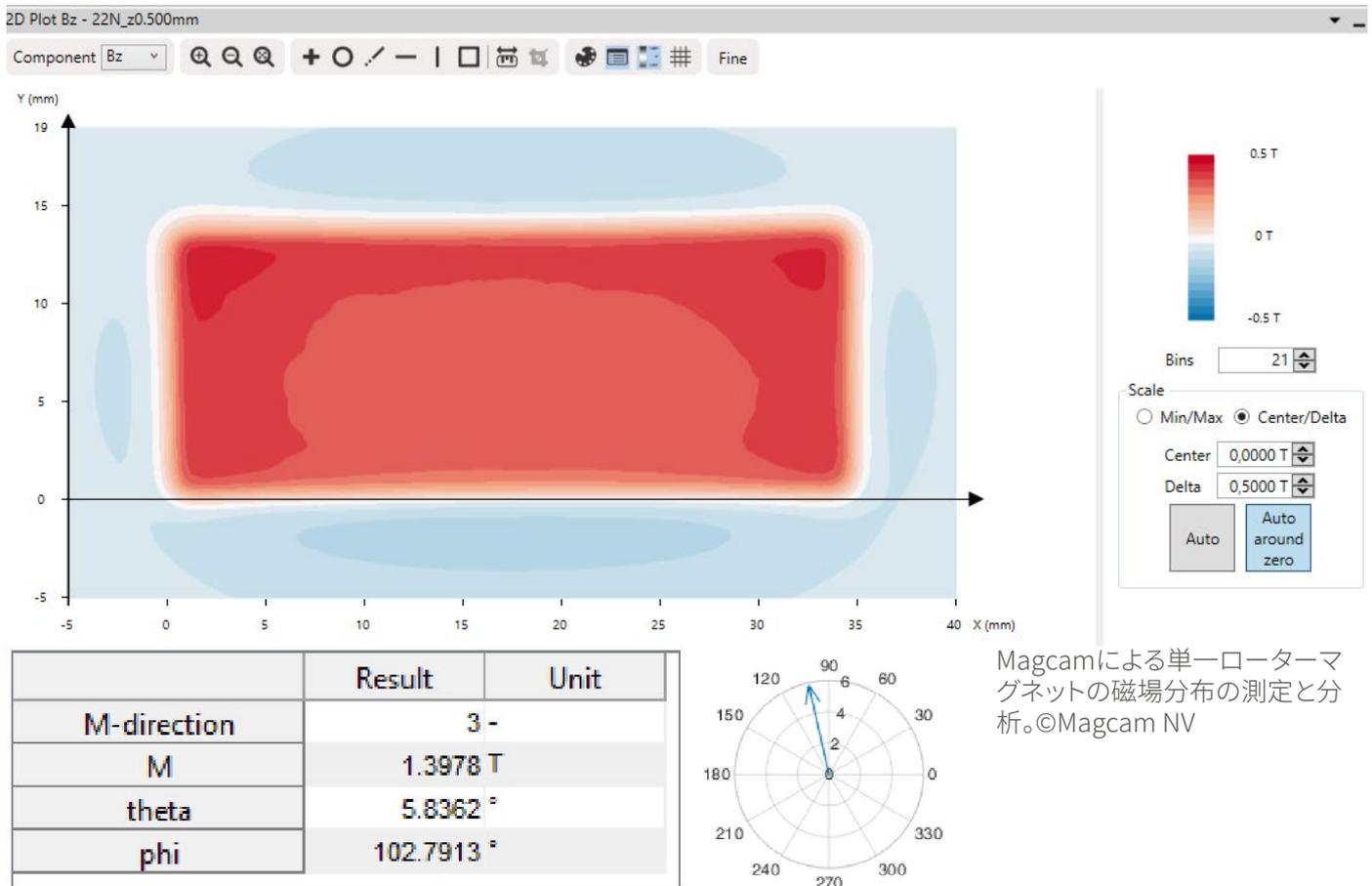
MagcamのMiniCube3D磁場カメラ

2Dアレイには16000以上のホール効果センサーがあり、サイクル時間を短縮し、全バッチの測定時間を数時間に制限しました

測定された磁場分布データの後続の分析から、各磁石の品質パラメーターの配列が現れました。これには、磁石の強さ、磁化角度誤差、局所的な磁気均一性マップが含まれ、他の磁気検査技術と比較して深い品質評価が可能になりました。

これらの結果をヒストグラムに入れると、磁石のバッチ内の品質の変動が視覚化され、さらに分析されました。目的は何か？レースカーのローター用にバッチから最も最適な磁石を識別する一方で、劣悪な磁石の品質の潜在的な結果を示すために、「最悪のケース」のローター用に劣悪な品質の磁石のセットも選択します。

最初の事前選択は、磁化ベクトル角度の偏差が大きすぎるすべての磁石を拒否することによって行われ、実行中の磁石の約半分だけが残されました。次に、内部の磁化分布内に大きな不均一性を示す磁石も除去されました。これは、磁場マッピングとMagcamの独自の分析アルゴリズムの組み合わせを使用してのみ測定できる特性です。この残りの磁石のセット内には、内部の磁化強度にまだかなりの変動が存在していました。これ

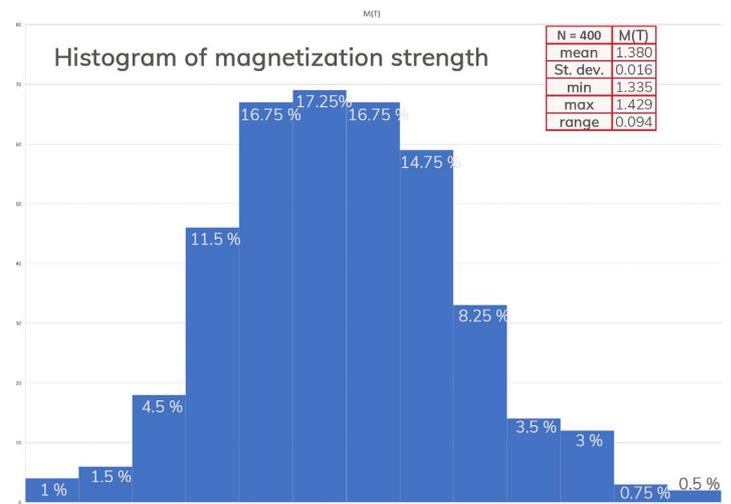
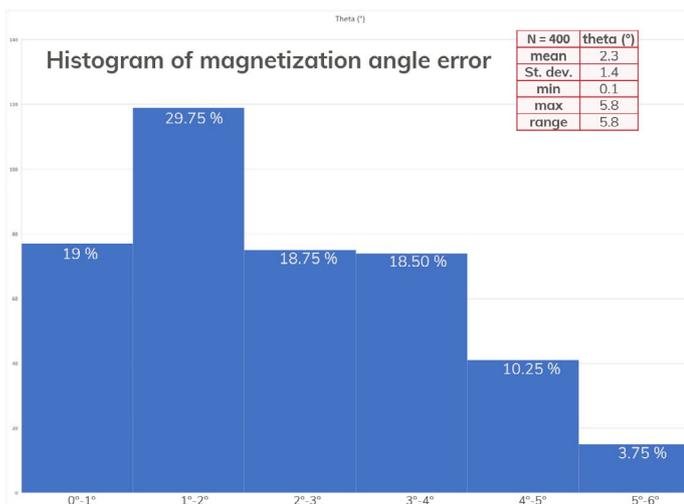


は、Magcamのアルゴリズムも外部の磁場分布から抽出できる指標です。目標は、高性能なモーターを作成することだったので、厳密な許容差を持つ高強度の磁石が選ばれました。同時に、4つのローターの間で磁石の品質の均一性を最大化しました。この慎重な選択は、各ローターに1セットの高品質な磁石、合計4セットの結果となりました。

もう1セットの品質が劣る磁石が「最悪のケース」のローター用に使われました。これは、磁石の強度、角度の偏差、磁石の不均一性に大きな変動を示し、そのようなモーターが機能モーターテストでどのように動作するかを確認するためです。

発見

- 磁石の品質にはばらつきがあり、認知された供給業者からでも明らかでした。これは、組み立て前の詳細な評価の重要性を強調しています。
- 最良の磁石を厳選することで、MagcamはFischerに高性能なローターを組み立てることを可能にしました。



磁化角度の偏差(左)と磁化強度(右)の結果バッチヒストグラムは、典型的なマグネットバッチにおけるかなりの変動を示しています。©Magcam NV

“

高速かつ高解像度のMagcam測定により、品質メトリクスの配列上で磁石をスクリーニングし、悪質な磁石が完成品に入るのを防ぐことができます。

”

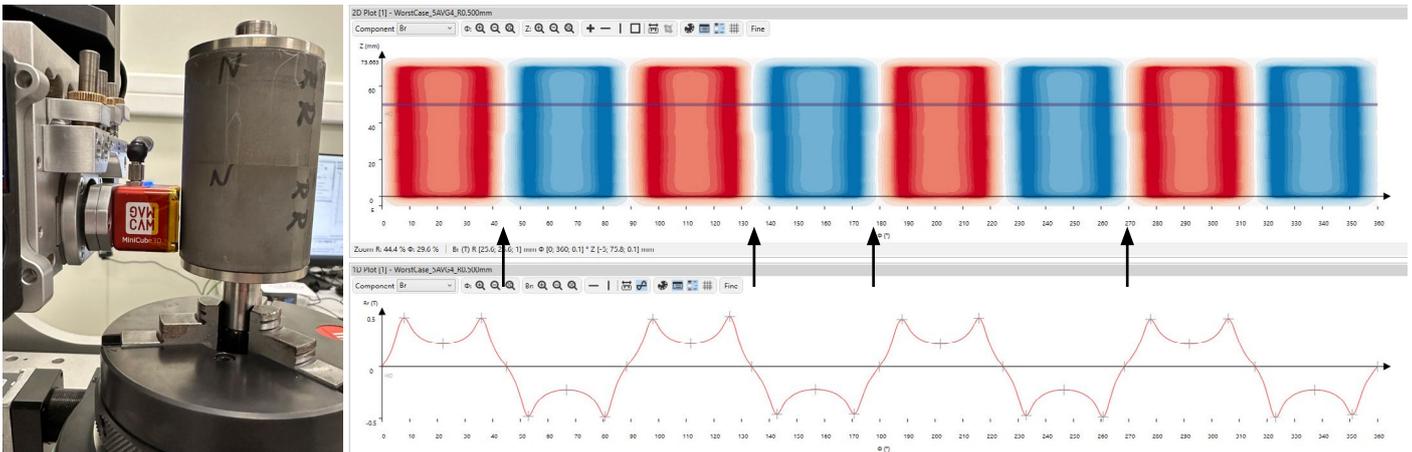


ローターの組み立て、測定、および分析 Fischer Elektromotorenによるローター組み立て

磁石が慎重に選ばれた後、Fischerが最適化された4つのローターと「最悪のケース」のユニットを組み立てる番でした。すべてのローターは、正確に同じ専門的な手順に従って組み立てられたので、ローター間の違いは主に内部の磁石の品質によるものであり、組み立てプロセスの許容差の影響も若干ありました。

Magcamによるローター磁場スキャンと分析

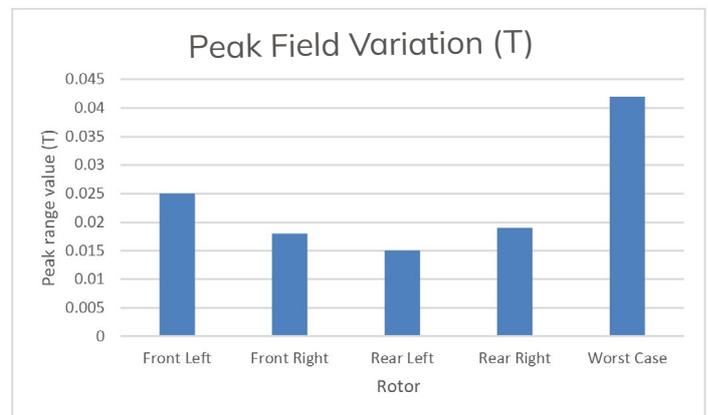
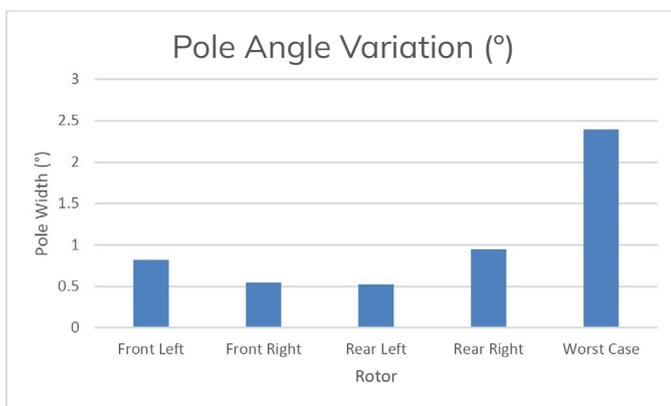
組み立て後、MagcamのCombi Scannerが再びアクションを起こし、ローターの高速、高解像度磁場分布マップを測定しました。測定前に、ローターシャフトの初期自動ランアウト補正が実行され、ランアウトのない測定が保証されました。結果として得られた磁場マップは、Magcamの洗練されたアルゴリズムを使用して分析され、後にこれらのメトリクスを機能モーターテストと相関させることを目的として、極角の一貫性、極強度の均一性、場の勾配の変動、および南/北の対称性を含む磁気ローターパラメーターを明らかにしました。



Magcamローターの測定と結果の磁場分布(最悪のケースのローター)。磁石の品質の変動による極角の変動は、すでに肉眼で可視化されています(黒い矢印で示されています)。©Magcam NV

構築された5つのローターの結果として得られた磁気ローターの指標を比較すると、すぐに明確な観察が指摘されました:品質パラメーターの大きなバリエーションを持つ磁石で構成される「最悪のケース」のローターは、磁石が狭い許容範囲に従って選択された最適化されたローターと比較して、キーとなる磁気ローター品質の指標に2倍から4倍の大きなバリエーションを示しました。

この驚くべき違いから、最適化された4つのローターの間にはより小さな違いも観察されました。これらのローターすべてに対して磁石がその品質パラメーターに厳密な許容範囲で慎重に選択されたため、これらの残りの違いはローター組み立てプロセスの許容範囲が原因と考えられます。これは、ローター組み立てプロセスを最適化することにより、ローターの品質、そしてしたがってモーターの性能のさらなる改善が達成できることを示しています。これは、Magcamローター測定によって検証することができます。



すべてのローターの極角(左)とピークフィールド(右)の変動の要約グラフ。‘最悪のケース’のローターは、2倍から4倍の因子で目立ちます。フィールド勾配の変動(表示されていない)も同様のパターンを表示します。©Magcam NV

洞察

- 最適化されたローターは、最良の磁石を選んで組み立てられ、‘最悪のケース’のローターと比較して、キー磁気指標の性能が2倍から4倍良くなっています。
- 最適化されたローター間のより小さな違いもまだ観察されており、組み立ての許容範囲が原因と見なされ、組み立てプロセスをさらに完璧にする可能性を示しています。
- この包括的な分析は、2段階の品質管理の直接的な利点を示しています: 最初は、磁石の選択で、次に、ローターの組み立て後です。

“

品質パラメーターのばらつきが大きい磁石で構成されるローターは、狭い許容範囲に従って事前に選択された磁石のローターと比較して、キーマグネットローター品質指標のばらつきが2倍から4倍大きくなる可能性があります。

これらの磁気品質指標は、Magcamの機器を使用して、個々の磁石と組み立てられたローターの両方で測定することができます。

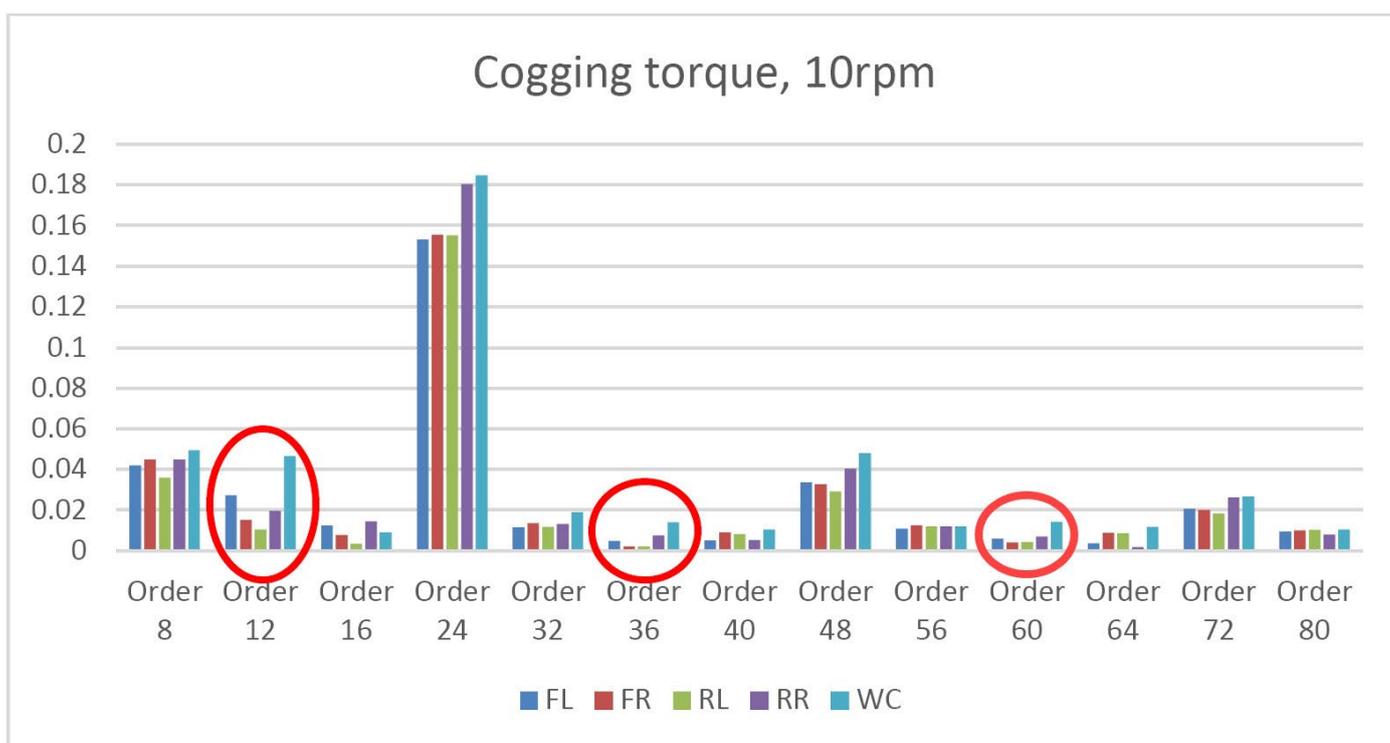
”



機能モーターテストと相関分析

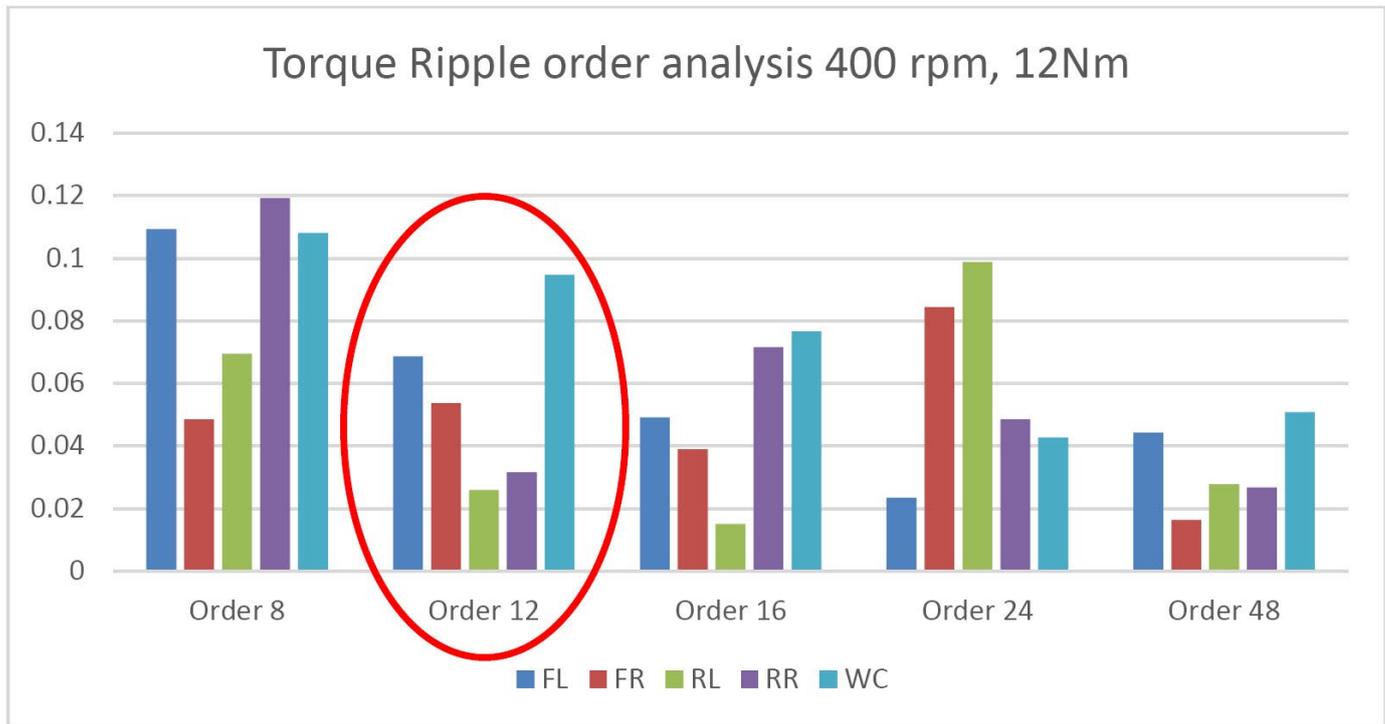
モーターテスト by Formula Electric Belgium Team

組み立てられたローターを装備して、Formula Electric Belgiumチームは完成したモーターに機能テストを実施しました。テストは、自動車用途の電動モーターで必須なパラメーターであるトルクリップルとコギングトルクなどの主要な性能指標に焦点を当てて行われました。彼らのテストは、生産された5つのモーターすべてのトルクリップルとコギングトルクのフーリエ解析の結果となりました。



比較分析 & 相関 by Magcam

モーターのコギングトルクとトルクリップルのローター関連調和の結果のグラフを見ると、馴染みのある絵が観察されました：最適化されたローターの値は、ワーストケースのローターよりも2倍から4倍良いことがわかりました。さらに、これらの機能メトリクスの相



コギングトルク(上)とトルクリップル(下)の完成したモーターの測定結果。ローター関連の調和(赤い円)で異なるモーターの相対値に注意してください。©Formula Electric Belgium

対値は、Magcamローター測定から得られたさまざまな磁気品質パラメーターを完璧に反映していました。

この比較分析の強力な結論:ローター上のMagcam測定から得られた磁気品質パラメーターは、最終モーターのコギングトルクとトルクリップルと完璧に相関します!言い換えれば:最終モーターの性能は、Magcamローター測定からの測定された磁気極角偏差、磁気ピークフィールド変動、およびフィールド勾配変動から予測できます、完全なモーターを組み立てる必要はありません。

この結論は、莫大なコスト削減の道を開きます。なぜなら、悪いローターはモーター組み立て前にスクラップにでき、ベアローターの磁気スキャンを実行することで、時間と材料を節約できるからです。

結論

- モーターの性能、ローターの磁場分布メトリクス、そして使用される磁石の品質の間には、明確で直接的な相関関係が現れました。
- モーターメーカーは、ローター組み立て前の個々の磁石品質管理を通じて、モーター性能を2倍から4倍まで最適化することができます
- モーターの特性は、最終モーター組み立て前に、組み立てられたローターの測定された磁場分布から予測することができます

“

Magcamローターの測定で見られる改善は、2倍から4倍の範囲で、最終的なモーター性能に反映されています。これにより、モーターメーカーは、モーター品質の最適化と検証の両方に貴重なツールを提供されます。

”



電動モーター産業のための主な教訓

1. 単一の磁石バッチ内でも、変動の範囲は広い可能性があります。トップティアのローターを製造するためには、これらの変動を減らす必要があります。供給業者の磁石品質スクリーニング、組み立て前の測定、および磁石の事前選択は、最終製品の品質を大幅に向上させます。
2. Magcamの磁場カメラスキャナーとMagScopeデータ解析ソフトウェアを使用することで、モーターエンジニアは、ポール幅の変動や場の一様性など、磁気ローターの主要なパラメーターを最適化することができ、劣れる磁石で組み立てられたローターと比較して2倍から4倍の改善が見られます。
3. 戦略的に高品質の磁石を選択することで、メーカーはコギングトルクやトルクリップルのようなモーター属性を2倍から4倍改善することができます。
4. 組み立てられたローターの磁場分布を測定することにより（事前に選択された磁石でさえも）、磁気ローターパラメーターを評価してローターの品質を評価し、完全なモーター組み立て前に機能的なモーター特性を予測することさえできます。これにより、時間とスクラップが節約されます。
5. Magcamは、最高品質の磁石検査機器を提供するとともに、専門的なアドバイスとサービスを提供することで、モーター開発と生産の各段階でモーターメーカーや磁石供給業者を支援することができます。

パートナーについて Magcam NV



MAGCAM
advanced
magnet
inspection

Magcamは、独自の磁場カメラ技術に基づいて永久磁石の検査における技術リーダーです。Magcamのハードウェア、ソフトウェア、およびサービスは密接に連携して、永久磁石、永久磁石ローター、および他の磁石アセンブリの詳細な分析のために、高速で高空間分解能を持つ完全な三次元磁場分布を測定、可視化、および分析します。Magcamの完全

なソリューションは、永久磁石の高品質なアプリケーションの開発を保証し、着信および発信の品質管理を改善し、100%のインライン生産テストを実現します。Magcamの専門家チームは、測定および分析サービス、アプリケーションのコンサルティングサービス、そしてもちろん優れたカスタマーサポートも提供します。

www.magcam.com

info@magcam.com

LinkedIn: @magcam

Youtube: @magcam



Fischer Elektromotoren GmbH

Fischerは、高品質で顧客特有のさまざまなタイプの電動モーターの開発と生産の専門家です。開発と設計から信頼性のある一連の生産に至るまで、包括的なサービスを提供しています。また、電動モーター、ギアモーター、サーボモーター、ポンプ、ファン、電気機器、および他の駆動システムのプロフェッショナルな修理サービスも提供しています。

www.fischer-elektromotoren.de

info@fischer-elektromotoren.de

Formula Electric Belgium



Formula Electric Belgiumは、ベルギーのKU Leuven 大学とThomas More University Collegeのさまざまなキャンパスの意欲的な工学生を結集しています。各シーズンで新しい電気レースカーが設計、製造され、

国際Formula Studentコンペティションのいくつかのイベントで走行します。チームは、車の製造を実現するのに助けるパートナーにサポートされています。2023シーズンには、MagcamとFischerが、彼らの電動モーターの最適化をサポートしています。

www.formulaelectric.be

info@formulaelectric.be



MAGCAM
advanced
magnet
inspection

電動モーターの性能を向上させる

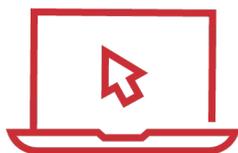
このケーススタディで示されているように、適切なツールを装備し、適切な専門知識と提携することで、電動モーターの性能に顕著な向上を達成することが可能です。Magcamは、あなたの信頼できる味方として立ち、モーター性能の前例のない進歩を促進する最先端の技術を提供します。満足せず、今日私たちに連絡して、業界の新しい基準を設定するトップクラスの電動モーターを作成するサポートができる方法を探ってください。

Magcamの専門家に連絡する

電動モーターの性能を最適化する準備はできましたか? 今日私たちに連絡して、あなたのアプリケーションについて話し合い、高品質な電動モーターを作成するお手伝いをしましょう。



info@magcam.com



www.magcam.com



+32 16 19 79 67