

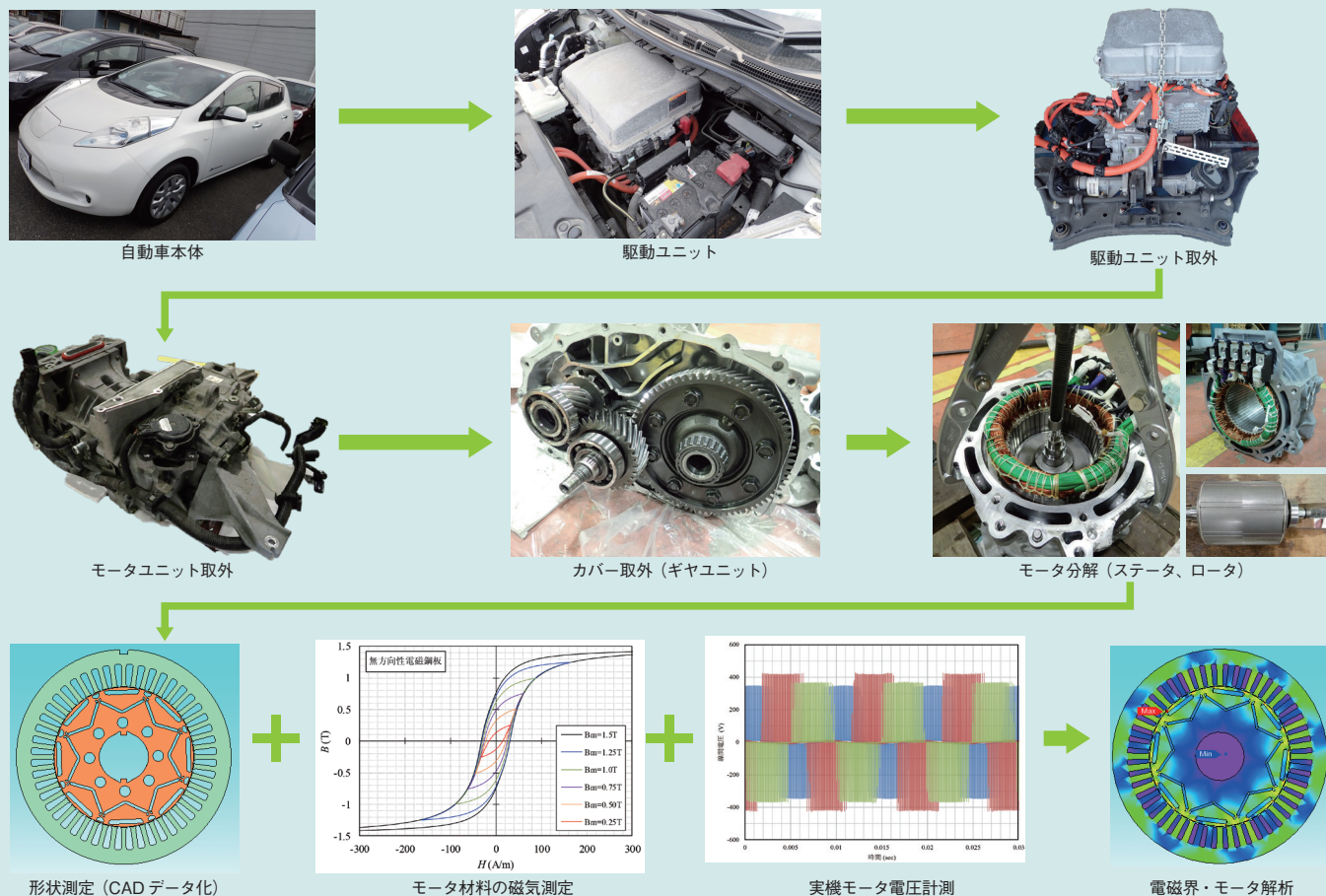


図1 電動車のリバースエンジニアリング例

EV 特集号 Part2 モータ解析技術

電動車用モータの評価・解析技術

Evaluation and Analysis Technology for EV Motors

▶なぜいまこれが？

近年、地球温暖化対策としてカーボンニュートラル（炭素中立）や自動車ビジネスとしてCASE（Connected、Autonomous、Shared&Service、Electric）などの機運が高まっています。これを受け、2030年度に向け電動車（EV、HEV、PHEV、FCV）の比率を高める目標設定が業界各社でなされています。電動車にとっての最重要部品であるモータに対して高性能・高効率化への要求がますます強くなってきています。

JFEスチール(株)が電磁鋼板製造会社であることから、当社はモータに使用される無方向性電磁鋼板の高い分析・評価技術を保有しています。また応用分野として、実際のモータ製造時の種々の

加工による磁気特性の変化の影響を把握する技術や局所的な磁気特性の可視化技術を開発して参りました。更にモータを構成する永久磁石の基礎物性や実装時の磁性評価技術、数値解析によるモータ特性評価についても取り組んできました。

▶これがポイント！

今回は、最近開発された技術を紹介いたします。電動車用モータの調達から、モータ試験、解体、分析、CAE等を組み合わせてモータ出力特性の再現ができるリバースエンジニアリングを構築しました（図1）。また無方向性電磁鋼板の一般的なカタログには提示されていない、EVモータの高出力領域で必要となる高磁束密度・高周波での磁気特性

評価、モータ内部では永久磁石も高温となるため、磁石の高温下での磁気損失評価も実現しました。

更には、モータ振動解析技術、モータの熱解析、巻線の被膜をはじめとする絶縁材料の評価技術なども紹介いたします。

当社は、EVモータのみならず種々のモータに関わる分析とソリューション提案を実施しておりますので、お気軽にご相談ください。

▶お問い合わせ先

西日本ソリューション本部 倉敷材料評価センター

高宮 俊人

t-takamiya@jfe-tec.co.jp

EVモータのリバースエンジニアリング

▶なぜいまこれが？

環境問題への対応からEVなどの電動化への関心が高まっています。電動部のコアの1つであるモータに対し新たなビジネス模索のためEVモータ部品の調査に需要が増えています。当社ではモータの調達・調査のサービスを提供しています。

▶これがポイント！

モータの性能調査・解体・構造調査のサービスにおいて当社は他社に比べて材料調査に強みがあります。材料の組成、材料の磁気特性などの物性調査、グレード調査、それらを基にしたモータの数値解析 (CAE) までのワンストップソリューションサービスとして提供しています。例えば、モータ実機を調達し、ベンチマーク試験によってモータ諸特性を実測後に解体調査をしていきます。その際、取り出した磁石のEDX分析や磁気測定、形状寸法の計測など、お客様のご要望に応じて調査することができます。

それらの情報から図1に示すような数値解析モデルを構築し、モータ駆動時の諸特性を電磁界解析によって解析します。表1に示すように、モータ損失 (銅損、鉄損) を実測とCAEで比較すると、概ね一致する結果が得られました。これは、実測とCAEとの比較が直接的に可能であることを意味しており、モータ諸特性を高いレベルと精度で評価することにつながります。また、電磁界解析では駆動条件として仮想的に正弦波電流を適用することで、図2に示すようなモータ効率マップを導出することができます。これにより、モータの広範な駆動条件に対する諸特性を予測することができ、モータ設計の試作コスト低減化などが図れます。

モータリバースエンジニアリングの詳細をご希望でしたら、お気軽にご相談ください。

▶お問い合わせ先

計測・プロセスソリューション本部 CAEセンター 田中 進也
西日本ソリューション本部 倉敷材料評価センター 永井 大資
shi-tanaka@jfe-tec.co.jp、d-nagai@jfe-tec.

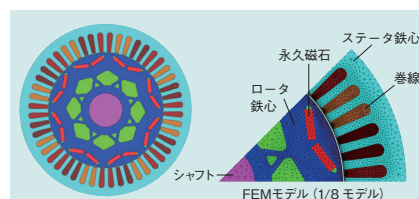


図1 モータの数値解析モデル

表1 実測と電磁界解析による諸特性の比較
(a) 2,000rpm/72Nm

	電流 (実効値) (Arms)	銅損 (直流) (W)	鉄損 (W)
測定値	131.79	509.27	320.39
計算値	131.26	498.69	350.02

(b) 4,250rpm/42Nm

	電流 (実効値) (Arms)	銅損 (直流) (W)	鉄損 (W)
測定値	85.35	214.07	613.89
計算値	84.64	207.45	740.87

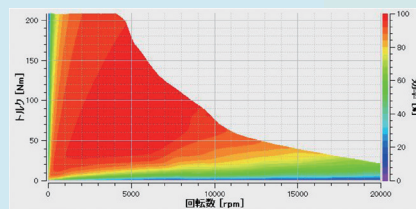


図2 電磁界解析による正弦波駆動時のモータ効率マップ

モータの振動評価技術

▶なぜいまこれが？

モータで動く電動車 (EV / HEV) は、従来のエンジン車に比べて低振動ですが、従来車では問題とならなかった振動が問題となることがあります。例えば、電動パワーステアリング (以下EPS) や、エアコンのコンプレッサなどの振動は、従来車ではエンジンの振動に埋もれてあまり問題となりませんでしたが、EV / HEV では問題となることがあります。このようなことから、モータの振動はこれまで以上にクローズアップされてきています。

▶これがポイント！

モータの振動を解析することで、「モータの回転が直接原因である振動」と「機械的構造による共振」を区別して把握することができます。その例として、EPSなどに用いられる埋め込み型磁石モータ (以下IPMモータ) の振動を解析した結果について紹介します。

解析したIPMモータは、写真1に示すモータ試験装置で駆動しました。トルク

を一定とした状態で、回転数を500rpmから3000rpmまで毎秒+5rpmで増加し、モータケースに取り付けたセンサーで振動加速度を測定し、FFTアナライザーによりトラッキング解析をおこないました。

その結果を図1に示します。図中に赤矢印で示した斜めの直線上で振動加速度が増加しています。これはモータの回転数に比例して振動の周波数が増加していることを表し、モータの回転が直接原因の振動です。また、図中の青矢印の周波数範囲でも振動が増加しています。この範囲はモータの回転数には関係なく、モータおよび試験装置の機械的構造に起因する共振周波数を表しています。

当社では、モータ効率の評価等もおこなっていますので、お客様の目的に合わせたモータ評価を検討いた

します。ぜひ、お気軽にご相談ください。

▶お問い合わせ先

西日本ソリューション本部 倉敷材料評価センター
中西 匡
ta-nakanishi@jfe-tec.co.jp

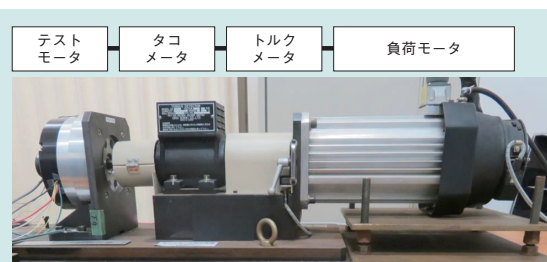


写真1 モータ試験装置

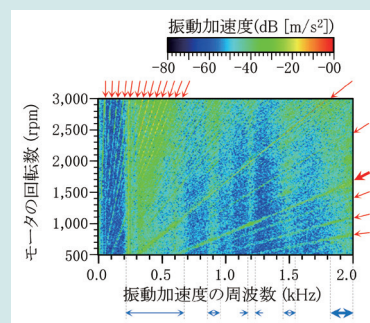


図1 モータ振動のトラッキング解析

永久磁石の高温磁気損失評価

～高温環境下における磁石の磁気損失測定～

▶なぜいまこれが？

電動車のモータ用の希土類磁石では、磁石に発生する磁束の変動により磁気損失が発生し、その磁気損失に伴うジュール熱も発生します。磁石の磁気特性は温度上昇に伴い低下するため、モータ設計には、この磁気損失を考慮する必要があります。一方、EVモータ内部の平均温度は80～120℃に及ぶことから¹⁾、モータ実機環境に即した高温での磁石の磁気損失評価が望まれます。

▶これがポイント！

本評価では図1の磁気測定用励磁枠を用いています。試料の磁石は、励磁コイルの中に設置し、磁石の磁束密度 B と印加磁界 H は、磁石の外周の検出コイルで取得します。この励磁枠に交流を印加したときの B - H 曲線を図2に示しま

す。交流磁界下における磁気損失は交流損失と言い、交流損失は図2の B - H 曲線の積分値を用いて得ることができます。また、高温での評価は、この励磁枠を恒温槽に入れて、測定することで行います。図3は、温度変化に伴う、磁石の交流損失の変化イメージを示したものです。磁石の磁気損失の実測をご希望でしたら、お気軽にご相談下さい。

1) 今西裕・西口慎吾：「電動車両用モータの磁石温度推定技術の開発」, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.5, (2014)

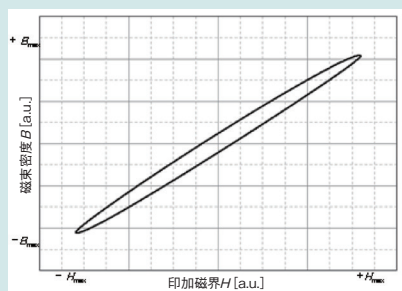


図2 交流を印加したときの B - H 曲線

▶お問い合わせ先

西日本ソリューション本部 倉敷材料評価センター
高崎 亜希
a-takazaki@jfe-tec.co.jp

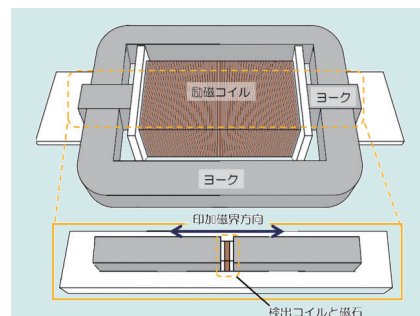


図1 磁気測定用励磁枠

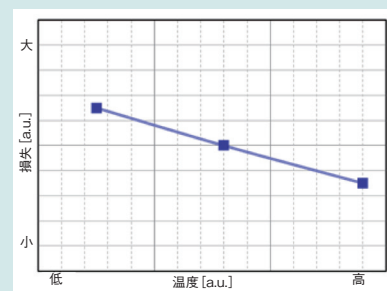


図3 温度変化に伴う、磁石の交流損失の変化

FEMによる電動モータの温度評価

～モータ内部の温度を可視化する～

▶なぜいまこれが？

地球温暖化抑止にむけ、様々な産業で脱炭素社会への取り組みが行われています。自動車分野では電動化に向けた流れが加速し、駆動モータの需要が拡大しています。また、建設用の重機や農業用車両など産業車両においても駆動系にモータを使用する動きとなってきています。

今後需要が高くなることが予想されるモータにおいて、熱の問題は必ず生じる問題です。

モータの耐熱温度を超えると、絶縁物や軸受部分の劣化、部品の破損や焼損等の問題が発生し、モータの寿命を左右する事象が生じてきます。また、温度上昇に伴い、永久磁石の磁力が低下し、モータ性能にも影響がでます。モータを開発する上で、熱の問題は考慮しておく課題となっています。

▶これがポイント！

当社では、CAEによるモータの温度予測を実施しています。

図1に示すようなIPMモータをモデル化

し、温度解析を実施しました。図2に温度上昇履歴、図3にコイルに生じる銅損や、コア（ステータやロータ）に生じるジュール損失密度を示します。モータ内部の温度は時間とともに上昇し、定常状態の温度となります。温度上昇はコイルやコアでのジュール発熱によるもので、可視化することで熱源となる銅損やジュール損失の分布を知ることができます。

回転する永久磁石の温度を知りたい、定常状態の温度を知りたいなど、モータを開発する際に押さえておきたい項目は数多くあると思われます。モータ開発に当社CAEをご利用されてはいかがでしょうか。

当社では、モータに発生する熱の測定も実施しております。CAEとの組み合わせで、モータ開発に

係る情報を数多くご提供できるものと思います。モータの開発や改良など、モータの細部に亘る情報を得たいときには、ぜひとも当社のメニューをご活用ください。

▶お問い合わせ先

計測・プロセスソリューション本部 CAEセンター
川西 昭
a-kawanishi@jfe-tec.co.jp

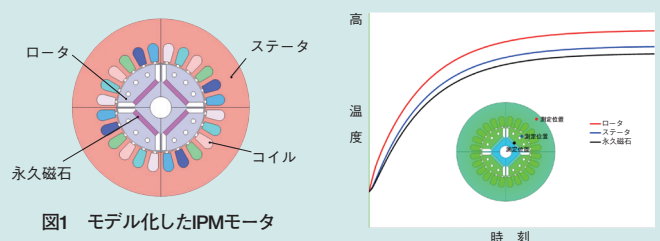


図1 モデル化したIPMモータ

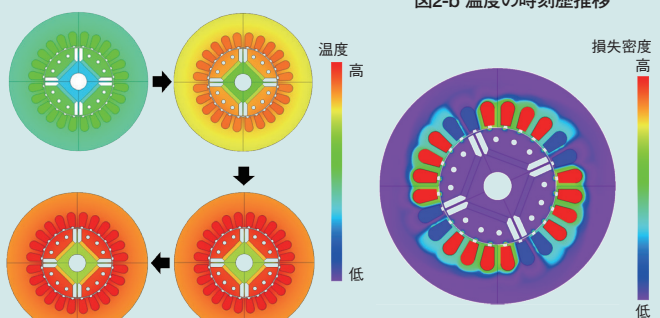


図2-a 温度履歴コンター図

図2-b 温度の時刻歴推移

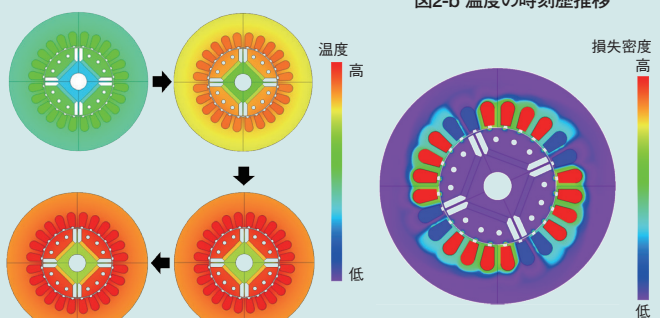


図3 銅損・ジュール損失密度表示

電動車駆動モータ 絶縁材料の評価・解析技術

電動車の普及には、走行距離の向上が、重要です。そのためモータには、小型化と高出力化の両立が、求められてきました。さらに最近では駆動電圧の上昇が進んでおり、絶縁材料の高耐熱・高熱伝導・低誘電化に向けた研究開発が進められています。

▶なぜいまこれが？

図1は市場モータにおけるステータ巻線の切断外観とその模式図です。ステータ導体（巻線）の絶縁には、エナメル被膜、絶縁紙、含浸ワニス等、多くの高分子材料が適用されています。

高分子材料は、モータ駆動時の発熱、

湿度（水分）、冷却油との接触などの環境にさらされ、熱劣化（酸化、分解等）することが予想されます。また、絶縁抵抗の低下や電界と温度との相乗作用による絶縁破壊電圧の低下が予想されます。さらに、温湿度の複合環境下では絶縁材料の接着性低下が予想されます。

そのため、①市場モータの化学的、強度的または電気的な性能、②走行による性能の劣化状況を知りたいというニーズがあります。

▶これがポイント！

表1は、当社のモータ絶縁材料に関する分析・評価の流れと評価メニューを示しています。新品または走行後のモータを入手し、環境耐久性試験を実施後に解体し、絶縁材料を採取した後に各

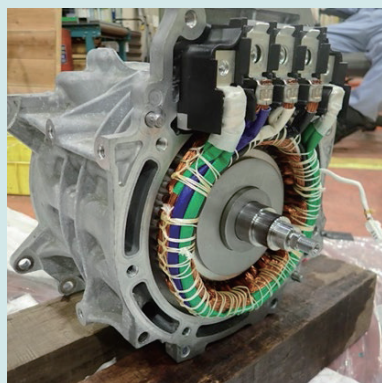
種分析および評価を実施いたします。

図2は、絶縁紙／電磁鋼板間の接着力を測定した結果です。独自に考案した治具を用いて、接着力の測定ができることを確認しました。

当社では、走行や環境耐久性試験後のモータを解体し、絶縁材料を採取、各種の分析・評価を実施することができます。これらのデータから絶縁材料の劣化進行を解析することができます。その他、モータに関する様々なご要望にも広く対応することができますので、是非お気軽にご相談下さい。

▶お問い合わせ先

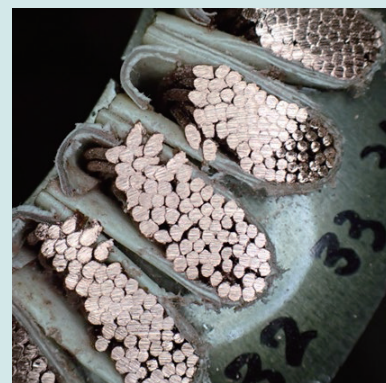
機能材料ソリューション本部 マルチマテリアル評価センター
堀江 由美、尾形 浩行
y-horie@jfe-tec.co.jp, h-ogata@jfe-tec.co.jp



(a) 市場モータ



(b) ステータ巻線切断面



(c) ステータ巻線切断面拡大

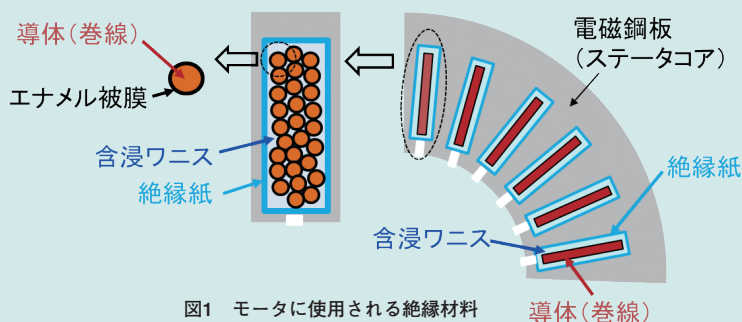


図1 モータに使用される絶縁材料

表1 モータ絶縁材料の分析・評価メニュー

評価・解析メニュー	
■解析	・モルフォロジー ・分子構造 ・層構造
■熱的特性	・酸化開始温度 ・熱減量開始温度 ・硬化度 ・結晶化度
■速度特性	・硬さ ・強度（引張、クリープなど） ・接着力
■絶縁性	・絶縁抵抗 ・部分放電開始電圧 ・誘導率 ・絶縁破壊電圧

[1]モータ*1入手 *1 ①新品、②走行品 [2]環境耐久性試験*2 *2 ①CCT、②高温多湿、③温度衝撃など [3]モータ*3解体 *3 ①新品、②走行品、③環境耐久試験など ↓ [4]絶縁材料採取 ↓ [5]評価・解析	絶縁材料 巻線被膜 含浸ワニス 磁石固定剤 絶縁紙
---	--

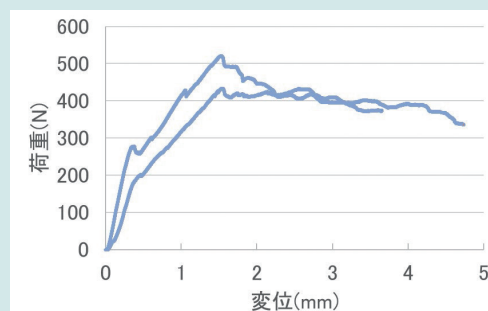


図2 絶縁紙／電磁鋼板間の接着力測定結果
(繰返し2回測定)

電動車モータコアの 高出力対応磁気測定技術

～近年のEVモータの小型化・高回転化に対応～

▶なぜいまこれが？

電動車 (EV) に対する社会的な期待はますます高まっており、自動車各社は、より優れたEVの開発にしのぎを削っています。EVにとって、駆動モータは走行のための出力を担う最も重要な部品ですが、このモータには、高いトルクを出せること、エネルギーの損失が低いことが必要とされます。また一方では、占有スペースが小さいこと、軽量であることが望まれます。このようなモータの小型化実現のために、モータを高回転化し、さらに鉄心の内部に流れる磁気量の量である磁束密度を高くする設計がとられます。つまり、小型・軽量化を志向したEV用の駆動モータでは、高磁束密度・高周波の条件で鉄心材料が磁化されることになります。

▶これがポイント！

当社では、最新のEVのモータ鉄心や

鉄心材料の磁気特性を正確に評価するため、従来になかったレベルの高磁束密度・高周波での鉄損測定を可能とした磁気測定手法を確立しました。

交流の磁気測定においては、測定する周波数と磁束密度、鉄心断面積に比例して高い電圧が必要となります。実際のモータ鉄心を交流磁化させて測定する場合や、試験片を用いた磁気測定においても、従来の磁気測定で一般的に用いられた200Vの電源では、駆動モータの条件を再現した測定を行うことができませんでした。これに対し、当社は図1の装置において励磁電源の電圧を600Vまで高め、さらに鉄損を正確に評価するために重要となる磁束密度波形の正弦波制御を高磁束密度域に至るまで実現する方法を確立しました。これにより、図2に示すように、これまで測定できなかったEV駆動モータの広域な動作条件に対応した鉄損評価が可能になりました。

モータや鉄心材料の開発を担当される皆様にご活用いただきたいと思いますので、お気軽にお声かけください。

▶お問い合わせ先

西日本ソリューション本部 倉敷材料評価センター
千田 邦浩
k-senda@jfe-tec.co.jp

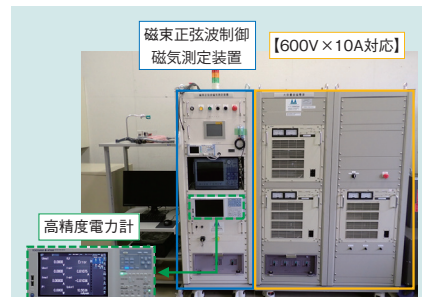


図1 大容量励磁電源 (600V×10A)

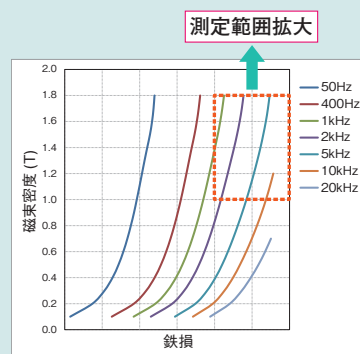


図2 高磁束密度・高周波での鉄損測定結果

モータベンチによる EVモータ特性評価

▶なぜいまこれが？

環境問題への対応からEVなどの電動化への関心が強まっています。自社開発モータまたは市場モータの性能調査需要が増えており、基本となるモータの駆動性能であるトルクと回転数などの評価ができるベンチ試験はモータに係

る評価の中で最も重要と言えます。

▶これがポイント！

EVモータのベンチ試験に要求されるお客様のニーズは多種多様であり、当社では図1に示すように外部の協力機関と提携することでサービスの強化を図っています。これにより質的量的にもお客様のニーズに対応しております。

またベンチ試験をはじめとして、モータの解体調査、材料調査、CAEにモデ

リングと駆動シミュレーションなどの幅広いサービスを展開しておりますので、是非お気軽にご相談下さい。

▶お問い合わせ先

西日本ソリューション本部 倉敷材料評価センター
永井 大資
d-nagai@jfe-tec.co.jp

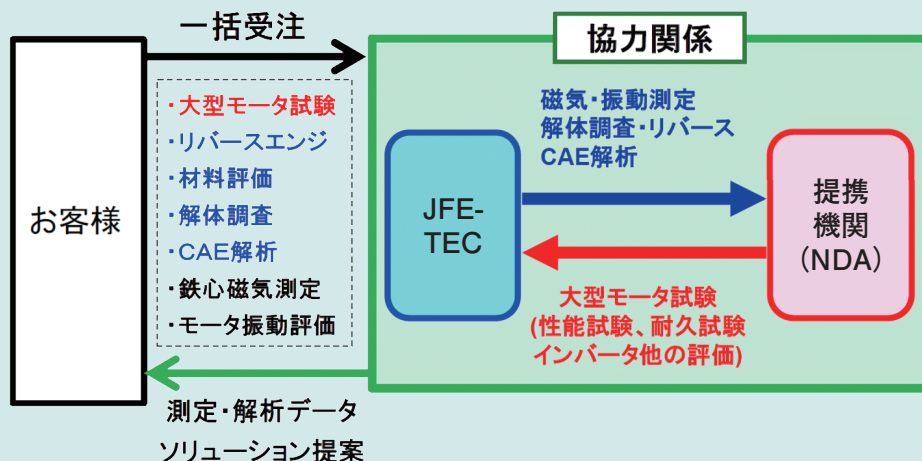
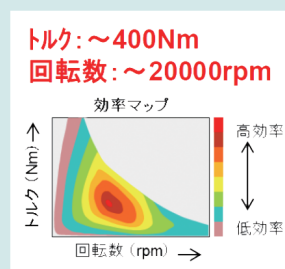


図1 ベンチ試験における外部協力関係



鉄鋼、非鉄金属等の 水素分析

～多岐にわたる材質への適用～

▶なぜいまこれが？

近年、水素はCO₂を発生しないクリーンな燃料として注目されていますが、金属中の水素は、古くから「水素脆化」による製品の耐久性を劣化させることが知られています。特に医療用精密部品や自動車部品に用いられるチタン合金、電子機器部品用途のタンタル合金においては、水素脆化は製品の耐久性を左右する重要な指標の一つであり、

JIS等の成分規格において含有量をppmレベルで決められています。

▶これがポイント！

当社では、「不活性ガス融解－熱伝導度法」により各種金属材料中の水素分析を行っています。

黒鉛るつぼに鉄鋼、非鉄金属等の試料を投入し、アルゴンガス気流中で加熱溶解して水素を他のガスと共に抽出します。抽出したガスを、分離カラムに通すことで、水素を他のガスと分離し、水素特有の熱伝導度を測定、ppmレベルまで濃度を定量します(図参照)。

また、最大約2800℃まで加熱すること

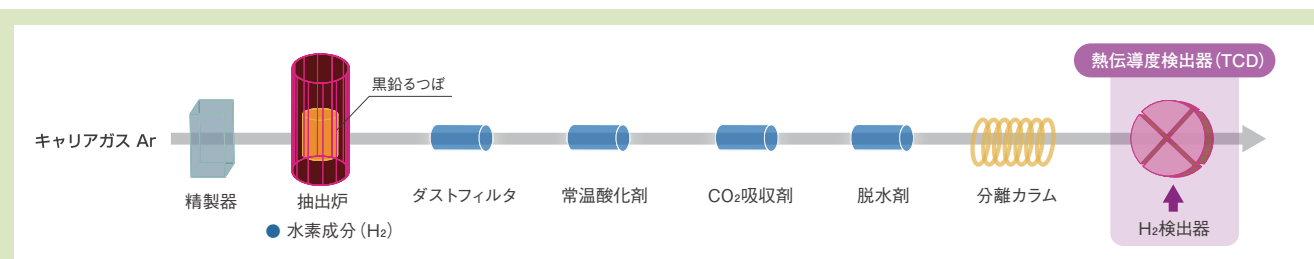
ができるので、高融点の金属材料中の水素分析も可能です。今までの実績として、チタン、モリブデン、ニオブ、タンタル、銅等の各種合金の分析ノウハウがあり、検討から最適条件のご提案までさせていただきます。製造部品の品質管理、研究試作品の分析など多種多様なニーズに適用することが可能となっておりますので、お気軽にお問合せください。

▶お問い合わせ先

東日本事業部 工程分析部(千葉)

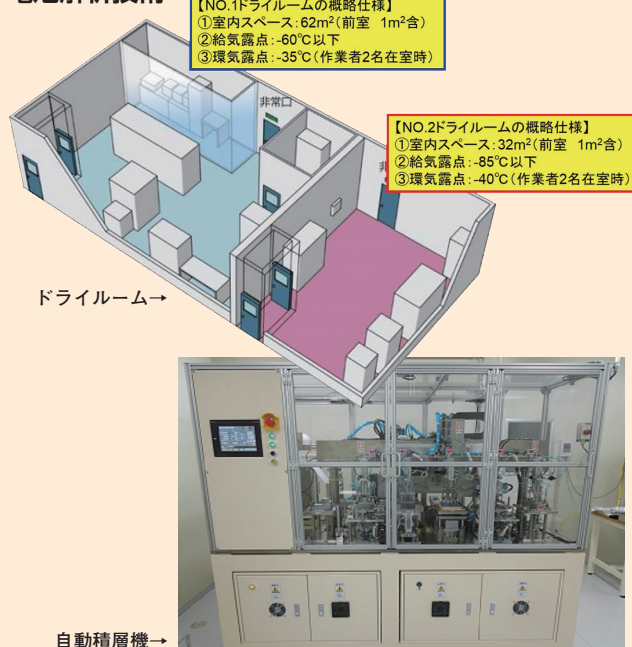
山崎 一鷹

k-yamazaki@jfe-tec.co.jp



設備・装置紹介

電池解析技術



モータ解析技術



上記以外の設備・装置も多数保有しております。お気軽にお問い合わせください。

◆このパンフレットの送付中止、宛名変更は jfetcsalesmarketing@jfe-tec.co.jp へご連絡ください

JFE-TEC News <2021>
No.68
2021年7月発行

発行人/蛭田 敏樹
発行所/JFEテクノリサーチ株式会社 営業企画部
〒100-0004 東京都千代田区大手町2-7-1 (JFE商事ビル7F)
☎ 0120-643-777



Copyright ©2021 JFE Techno-Research Corporation. All Rights Reserved.
本資料の無断複製・転載・WEBサイトへのアップロード等はおやめ下さい。