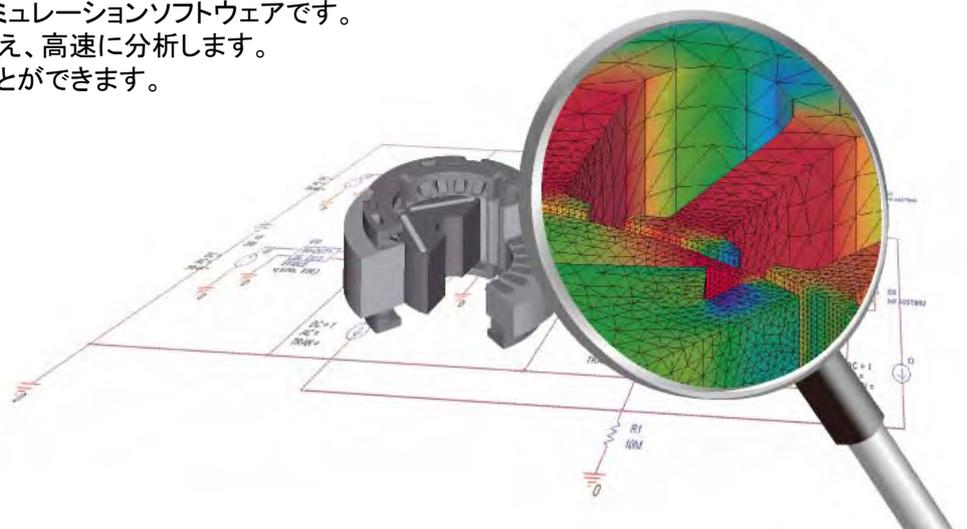


# JMAG News Letter

Sep, 2010

JMAGは電気機器の設計・開発の為のシミュレーションソフトウェアです。  
機器内部の複雑な物理現象を正確にとらえ、高速に分析します。  
少ない経験で迷わず確実に結果を得ることができます。



# 目次

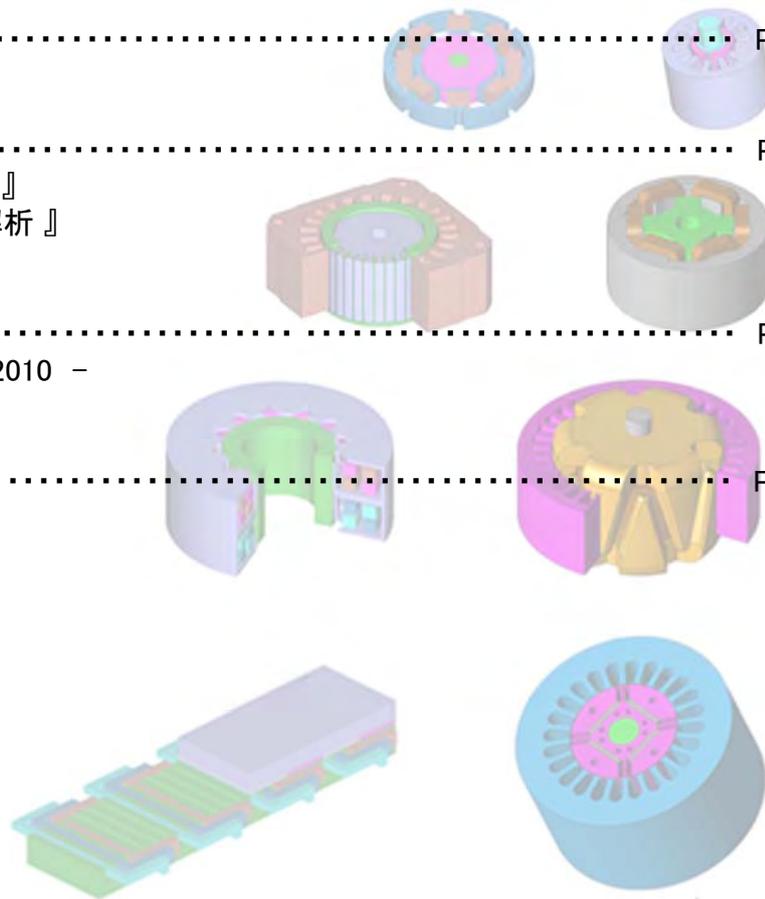
- [1] JMAG導入事例 ..... P.4  
 株式会社 明電舎 様  
 - 事業ドメインの拡大と強化を側面から促すJMAG -

- [2] JMAGによるモータ開発 ..... P.8

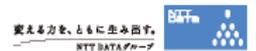
- [3] JMAG解析事例 ..... P.12  
 『IPMモータの鉄損解析』  
 『SPMモータの熱減磁解析』

- [4] 展示会出展報告 ..... P.14  
 - TECHNO-FRONTIER 2010 -

- [5] 定期開催セミナー案内 ..... P.16



## 株式会社 JSOL



エンジニアリング本部

■東京 〒104-0053 東京都中央区晴海2丁目5番24号 晴海センタービル7階  
 TEL: 03-5859-6020 FAX: 03-5859-6035

■名古屋 〒460-0002 名古屋市中区丸の内2丁目18番25号 丸の内KSビル17階  
 TEL: 052-202-8181 FAX: 052-202-8172

■大阪 〒550-0001 大阪市西区土佐堀2丁目2番4号 土佐堀ダイビル11階  
 TEL: 06-4803-5820 FAX: 06-6225-3517

E-mail cae-info@sci.jsol.co.jp URL <http://www.jsol.co.jp/cae/>

※記載されている製品およびサービスの名称は、それぞれの所有者の商標または登録商標です。

## JMAG News Letter 9月号のみどころ

今回のニューズレターはモータ設計特集です。

巻頭インタビューを飾るのは創業113年を迎える株式会社明電舎様。  
明電舎様は、ご存知のとおりモータなど、回転機を中心とした技術に基盤をもつ重電機器メーカーです。  
発電、変電や水処理装置をはじめとした社会システムの充実に貢献されているほか、  
エレベータなどの産業向け電機システムや電気自動車用駆動モータなども製品開発されています。

本インタビューでは、JMAGの導入きっかけから、導入効果を高めるための社内活動、そして今後の展開についてお話しいただきました。

技術を維持共有するための活動など、皆様にとっても大変興味深いお話しをしていただいております。  
皆様のご参考になれば幸いです。

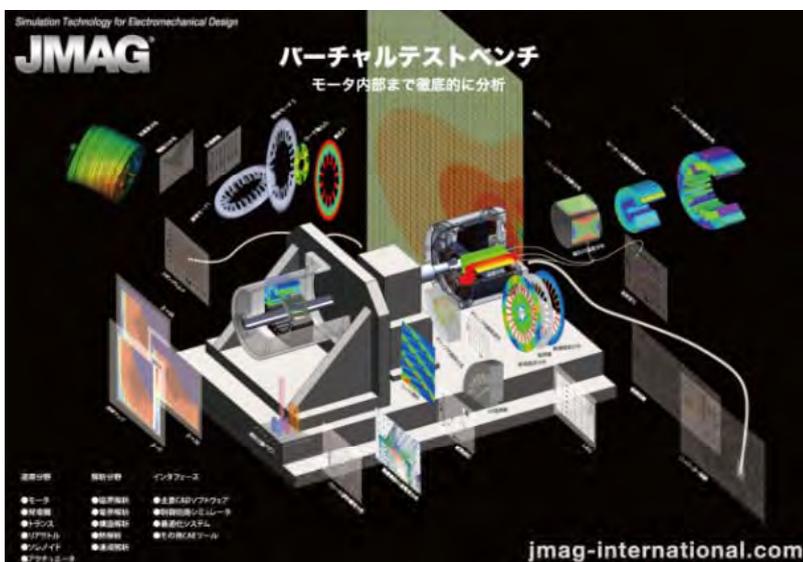
私事ではございますが、JMAGが明電舎様の高い技術を支えるツールの一つでいられる喜びを感じたインタビューとなりました。

お忙しい中、インタビューに答えていただきました明電舎の皆様にはこの場をお借りし、改めて御礼申し上げます。

プロダクトレポートでは全三回にわけてJMAGがモータ開発における課題とJMAGが果たす役割をご紹介します。  
第一回目である今回は「省エネルギーと高効率」です。

このレポートでは、多くの文献をJMAG目線で分類し皆様にご紹介することを試みております。  
分類に際しアドバイスがございましたらご意見お寄せください。二回目以降に対応させていただきます。  
また、関係するJMAGの解析事例(アプリケーションカタログ)もあわせてご紹介をしております。  
ご興味のある機能がございましたら、ぜひお試しください。

最後にテクノフロンティアでの当社発表資料のご案内をしております。  
来場いただけた方も、お越しいただけなかった方もぜひ最後までご覧ください。



株式会社 JSOL  
エンジニアリング本部 電磁場技術部  
須賀田

JMAG導入事例

# 株式会社明電舎

## 事業ドメインの拡大と強化を側面から促すJMAG

各種の重電機器や産業向け電機システムなどを手がけ、創業113年を迎える株式会社明電舎。主な製品の技術的な基盤は、各種のモータに象徴される「回転するモノ」にある。高効率・高出力、そして精細な制御技術の確立と製品開発を支え、さらなる技術発展を促しているのがJSOLの電磁界解析ソフトウェア「JMAG」。環境問題への高度な対応が求められる新技術の開発においても、電磁界解析ソフトは主導的な役割を果たそうとしている。同社執行役員・製品開発本部長の山田氏、シニアフェローの野村氏、製品開発企画部主管技師の渡辺氏、解析制御技術課長の松橋氏にJMAG導入の背景やメリットを聞いた。



株式会社明電舎  
執行役員  
製品開発本部長  
山田 哲夫氏



株式会社明電舎  
製品開発本部  
シニアフェロー  
野村 昌克氏



株式会社明電舎  
製品開発本部  
製品開発企画部  
主管技師  
渡辺 広光氏



株式会社明電舎  
製品開発本部  
製品開発企画部  
解析制御技術課長  
松橋 大器氏

**「貴社は、1897年（明治30年）の創業以来、発電・変電・配電などに関する電機機器の製造販売、また上下水道分野の各種の水処理装置と制御システム、さらに各種の生産設備機械用電気品とコンピュータシステムなど、社会インフラの充実に貢献されていますが、「明電舎らしい強み」とは？」**

**山田氏** 当社の技術と製品のベースには、モータに象徴される「回ること」、つまり「回転機」があります。「回る」という現象は、シンプルなようであって実は大変奥の深い世界です。例えばモータが回り始めるときや減速するとき、あるいはモータに回される負荷の種類によっても、必要な力や回転速度、さらには制御の方法も異なってきます。

モータドライブシステムは通常、モータそのものと、電力を供給してモータの速度を制御するインバータの二つからなります。どちらが主で、どちらが従ということではなく、共に優れていなければ品質の良いシステムにはなりません。モータはインバータの制御に対して迅速かつ正確に反応できなくてはなりませんし、インバータはモータの速度や出力を正確に検出して出力を制御しなくてはなりません。

モータとインバータを別々に購入して組み合わせることは可能です。しかし、当社ではモータとインバータを一体のものとして開発することで、より高い性能を生み出し、お客様に信頼いただける製品を創出しています。

当社では、モータとインバータの開発技術者が一体となって開発にあたり、開発の各ステージで非常に詳細な検証を行います。その結果、モータとインバータを組合せて使用したときの問題を開発段階で解消することができます。お客様が実際に使用する状況を想定した検証を行うことで、お客様がスムーズにお使いいただける製品を提供できるのです。



明電舎のモータ



明電舎のインバータ

## 単なるシミュレーションではなく創造性の喚起へ

**-JMAGを導入していただいたのは1990年代の後半ですが、導入に至った経緯はどのようなものでしょうか？**

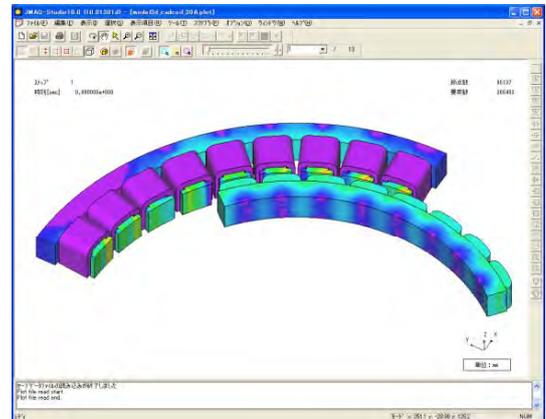
**野村氏** CAE(Computer Aided Engineering)導入の一つの進化、また到達点としてJMAGがあります。当社は、80年代半ばに「CAEセンター」を開業し、有限要素法<sup>I</sup>を用いた解析ソフトによる設計支援が始まりました。この当時はまだ、電磁界解析は自作のプログラムと汎用ソフトを併用して、試行錯誤の中で行っていました。

私たちの業界では、PM(Permanent Magnet)モータ、つまり回転子(ロータ)に永久磁石を使用したタイプのモータの出現が大きな転換点でした。90年代に入ってPMモータの技術開発が本格化すると、3次元の電磁界解析が必要になってきました。例えばエレベーター用途では、トルクリプル<sup>II</sup>は乗り心地に直結するので、正確にトルクを算定できるツールが不可欠です。またPMモータは磁石に生じる渦電流の問題がありますので、渦電流の経路を考慮できない2次元解析では限界があり、どうしても3次元形状を考慮した解析が必須でした。

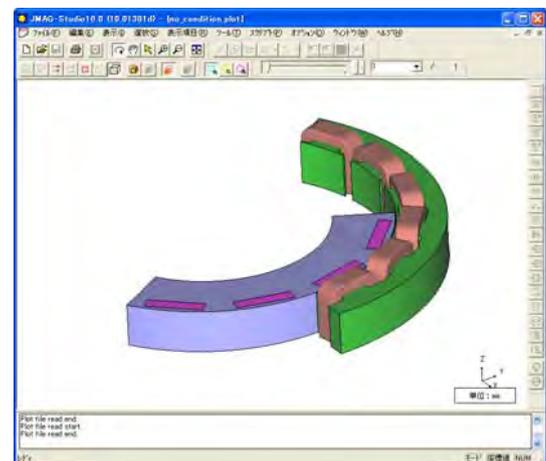
そういった状況の中、種々の電磁界解析ツールを探し、JMAGにめぐり合うことができました。JMAGは抜群の使いやすさがあり、何よりもモータの回転を模擬した過渡現象の解析と、磁石渦電流の発生を3次元でシミュレーションできることが、まさしく期待に応えるものでした。個人的には、PMモータの永久磁石に生じる渦電流の解析には本当に驚かされ、それにより設計段階での新たな冷却方式の検討など、いわゆる前工程と後工程の擦り合わせ作業を充実させられるようになりました。

**松橋氏** 導入当初のJMAGは、ワークステーション上で動作するため解析専任者が必要でしたが、現在は、PC上で動作するようになって操作性が格段に向上し、いろいろな部署で活用されるようになりました。そして、設計・開発者がJMAGを使えるようになった事で、試作のレベルアップと試作回数の削減を同時に実現できるようになりました。

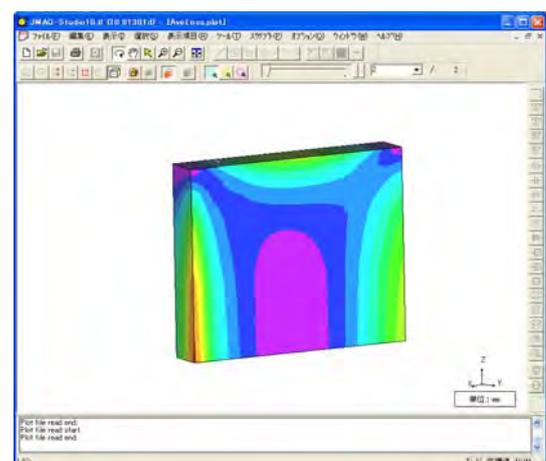
PMモータをはじめとした全ての製品開発では、さまざまなステージ毎に試作を繰り返し、技術と品質の検証を行っています。わたしたちは、ステージ毎の試作を確実に1回で完了するため、解析技術を用いたフロントローディングに取り組んでいます。もちろん究極の目標には、全てをシミュレーションに置き換えた試作レスがありますが、その理想を実現するにはもう少し時間が掛かりそうです。しかし、試作回数削減へのJMAGの貢献度は高く、JMAG導入後は、大幅な作り直しや開発を一からやり直すといったことはほとんど無くなっています。



SPMモータの磁束密度分布



IPMモータモデル



永久磁石の渦電流損失分布

I 有限要素法=物体を、仮想的に有限の大きさの要素に分割して物体を要素の集合体として解析する手法。

II トルクリプル=モータが回転する際に生じるトルク(力)脈動のこと。トルク脈動の発生は騒音や振動の原因となり、制御性を悪くする場合もある。

## 解析成果を共有する環境整備が導入効果 を高める

**-JMAGを皆さんにご利用いただき定着させ、結果的に導入効果を高めるためには、どのような工夫が必要だとお考えですか。**

**野村氏** 確かに当社でも、すぐに全社でJMAGの利用が進んだ訳ではありません。ただ、JMAGが定着していくための要件はあったように思います。

例えば、今の解析制御技術課の元になる部署が主導で、全社的に信頼される解析技術を構築したことも重要なポイントでした。解析した結果のデータと実際の実験データを付き合わせて整合性や誤差を明らかにし、誤差が生じた場合は理由の検討結果も明らかにする。それらすべてを有効なデータとしてどんどん積み上げていき、共有の技術資産として活用を促すことで、関係部署に認知され、普及と活用が進みました。現在も、データベースサーバーを置いて、各部署の情報を可能な限り開示してナレッジ資産による競争力の強化に努めています。

**渡辺氏** 他に、JMAGだけでなくCAEの有効性を社内にもアピールしたのも大きかったと思います。当社では、社長が出席する技術報告会や社内展示会、品質マネジメント会議などの折々に他社のソフトとの比較を示しながらJMAGの有用性をアピールする活動を行いました。

社長の現場診断の際には、試作回数が1回で済んだというようなコスト効果を含めたアピールをしました。それを評価してもらい、トップダウンでPRしてもらおうと説得力がありました。社長も技術者ですので、JMAGの活用によって試作が1回で済むことの意味を十分に理解していただくことができ、全社的にJMAGを展開することができました。



社内展示会の様子

## 一人ひとりの技術者が、JMAGの価値を発見できる機会づくり

**松橋氏** とは言っても、導入効果を高めることの基本となるのは、個々の技術者にJMAGの価値をいかに実感してもらうかです。わたし自身も、JMAGが導入されたときに、渦電流の発生について自らの目で確認できて感激した経験がありますので、JMAGの価値については十分に理解しています。

これは実際にJMAGを使っている開発者から聞いた話ですが、永久磁石に生じる渦電流損失の分布をシミュレーション画像で確認して実際の現象と照らし合わせ、「自分は間違っていなかった」と自信を得たといいます。

私や同僚の経験を一人でも多くの技術者に味わってもらうことが大切だと感じましたし、実際、明電舎では、そのようにJMAGが広がっていきました。特別にキーマンを決めたりしているわけではありません。「そういう解析ができるのならば、こういうこともできるのかな」といった疑問のやりとりを大事にし、皆で気軽に使ってみる。そのために操作方法の基礎的な習得だけでなくディスカッションも含めた組織横断的な技術者交流会を開いたりしています。

もちろんそれを実現できるのも、JMAGそのものの使いやすいさがあることです。当初導入したワークステーション版も、当時としては画期的なマウス操作のユーザーインターフェイスを備えていましたし、JMAG-Studio、JMAG-Designerとバージョンアップと共に、多くの技術者に受け入れられるインターフェースへと進化していると思います。

## 環境新技術にさらなるシミュレーション機能の拡大を

**-ところで三菱自動車の電気自動車「i-MiEV」に、明電舎の駆動用モータとインバータが採用されているそうですね？**

**山田氏** はい。小型で軽量、低騒音、そして優れた耐久性を実現した電気自動車駆動用のモータとインバータを、2008年から納めています。

納入しているPMモータは、JMAGを使ったシミュレーションで最適設計され、損失を低減して高効率・高出力、さらに小型軽量化を実現しています。またモータに流す電流をコントロールするインバータは、高度な制御技術を駆使し、自動車のスムーズかつパワフルな走りを支えています。

もともと当社は、PMモータのエレベータへの利用研究のほか、大手電力会社や大学との共同研究で電気自動車向けのモータの研究を続けてきました。F1並みの高速走行を実現した電気自動車にも当社のモータ技術が利用されています。これら、従来の研究で蓄積してきたモータ・インバータ技術をベースに、更にブラッシュアップして、i-MiEVの優れた走行性能を実現しています。もちろん、そこにはJMAGのシミュレーション技術があったわけです。

## —明電舎様の今後の事業展開のポイントと、JMAGが果たせる役割についてお聞かせいただけますか。

**山田氏** 当社は現在、2009年度から始まった5か年の新中期経営計画「POWER5」に取り組んでいます。この中期計画では、電気自動車用モータとインバータなど、“低炭素社会に貢献できる5つの成長事業の確立”をめざしています。いずれの事業とも、何らかの形でモータなどの回転機技術と関係を持っています。技術のロードマップを描いてみても、やはり回転機を軸とした技術成長が続くと考えられます。そのうえで、環境問題に寄与するための製品への工夫が不可欠になります。

今後は、トータルの環境負荷をいかに減らせるかを課題に、製品のライフサイクルの最終段階である解体性に考慮した設計手法の構築などが求められます。たとえば、PMモータであれば、回転子の永久磁石を簡単に回収できるような設計の工夫が必要になるでしょう。つまり、重電機や産業系電気の世界でも家電と同じような、製造物責任に立脚したりサイクル体制の構築に取り組みなければなりません。

**渡辺氏** 今後の方向性としては、プロダクト・ライフサイクル・マネジメントを確立し、製品の環境負荷を定量的に把握するだけでなく、地球環境にもお客様にも優しい製品開発を進めていかなければなりません。それには開発の早い段階、すなわち素材の選定やコンセプトの段階から性能を検証できる必要があります。それはシミュレーションの重要性が益々高くなるということです。

JMAGには、計算速度の更なる高速化や解析範囲を熱流体解析にまで広げて欲しい、といった現実的な要望もあります。しかし、もう少し広い視点で見たとき、解析段階でCO<sub>2</sub>排出量を計算できるとか、使用した資源のリサイクル率を向上させるための工夫を検討できるといった機能が加味されると本当にありがたい。

JMAGは、1983年の登場以来、電磁界解析ソフトウェアとしては常にトップランナーとして高い評価を得てきたと聞きます。だからこそ、さらに技術者の頼りになるソフトウェアとしての進化を期待したいですね。



MEIDEN

## 株式会社 明電舎

商号 株式会社 明電舎

設立 大正6年6月1日

資本金 170億7,000万円(平成21年3月31日現在)

連結従業員 7,133名(平成21年3月31日現在)

連結売上高 1,987億9,700万円(平成21年3月31日現在)

代表者 取締役社長 稲村 純三

### 事業概要

1897年(明治30年)に創業した重電機器メーカー。発電・変電・制御装置、水処理装置などの「社会システム事業」のほか、エレベーターや電気自動車向け駆動装置、産業用コンピューターなどの「産業システム事業」、各種メンテナンスの「エンジニアリング事業」を柱とする。連結売上高は1987億円(2009年3月期)。グループ連結子会社数は国内23社、海外15社を数え、特にアジアを中心に生産と販売のグローバル体制を構築している。現在、電気自動車向け各種部品、太陽光や風力発電などの自然エネルギー利用分野などに注力している。

<http://www.meidensha.co.jp/>



i-MiEV用のモータ、インバータ

# JMAGによるモータ開発

## モータ開発のジャンプアップサポート

### ～モータ開発における課題とJMAGの果たす役割～

このテクニカルレポートでは、モータ開発における課題とJMAGが果たす役割について報告します。シリーズ第一回目は「省エネルギー・高効率化」です。

#### ●はじめに

今、私達の身の回りには無数のモータが存在しています。洗濯機や冷蔵庫といった家電から自動車やエレベータなどの大型製品、はたまた携帯電話や携帯ゲーム機など持ち歩くことのできる小型製品にまで幅広くモータは使用されています。日本で使用される電力の約60%がモータによって消費されているという報告もあります。

モータがこれほど社会に普及した裏には、モータ設計者の並々ならない努力と失敗の積み重ねがあることを忘れることはできません。JMAGはそんなモータ設計者達が持つ課題を解決するために使われ続けてきました。

本レポートでは、JMAGがモータ開発においてどのような課題に対して使われているのか、また使われているのはなぜかについてご紹介いたします。

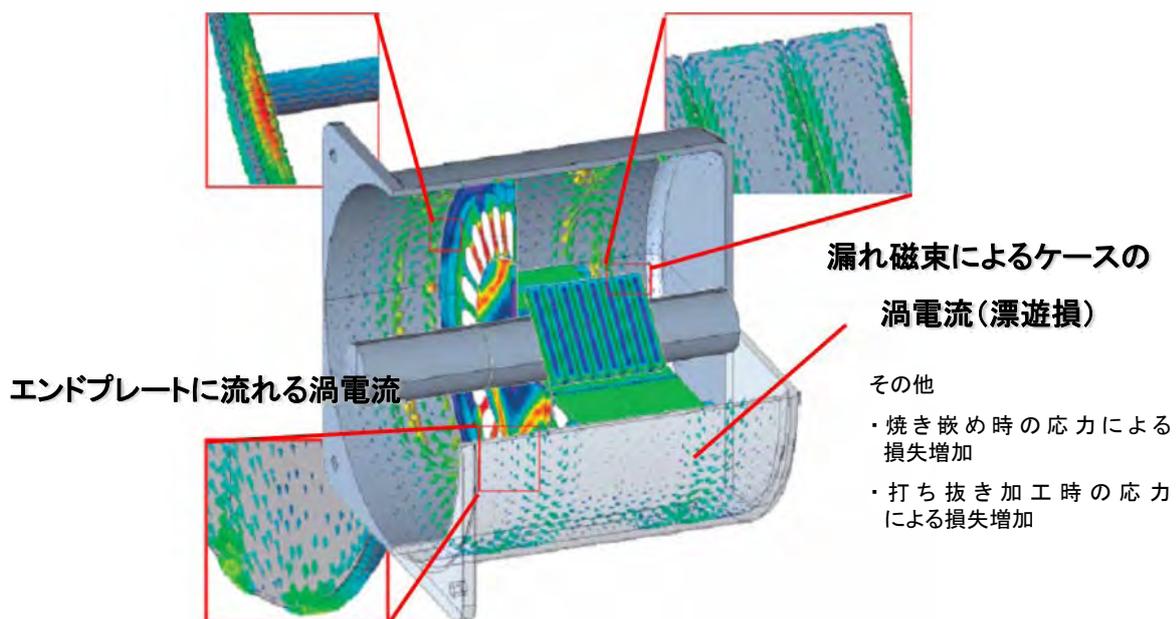
シリーズ1回目の今回は、モータ開発における課題として省エネルギー、高効率化に焦点をあてます。

#### ●モータ開発における課題：省エネルギー、高効率化

省エネ・温暖化防止が叫ばれている現代において、モータの高効率化による環境問題に対する貢献が大きく期待されています。高効率を達成するためには損失を減らす必要があり、損失の発生原因や発生箇所を把握することが重要です。また、現在の世の中ではほとんどのものが小型、軽量化に向かっていきます。モータも類を外れておらず、年々小型、軽量化が進んでいますが、当然出力は落とすことができないため、熱設計を含め高度な設計が求められています。ここでは、損失の発生原因と熱設計についてみていきます。

カシメによる短絡する渦電流

分割磁石による渦電流損低減



<http://www.jmag-international.com/jp/solutions/motordesign.html>

## (1) 損失

### 高調波成分による損失

一言で損失といっても、様々な要因があります。コイルの銅損[1]やコアの鉄損[2][3]が代表的な例ですが、最近では高効率化の要求により、昔は気にしなくてよかった損失も詳細に分析する必要がでてきています。磁石に発生する渦電流などはその典型例です。もともと永久磁石を用いたモータは、トルクを電流によるリラクタンストルクだけでなく磁石の磁力によるマグネットトルクを利用できるため、高効率だということで用いられる機会が増えてきました。しかし、コントローラ、インバータによって実際の駆動状態では電流が空間高調波成分やPWMのキャリア由来成分を多く含んでおり、モータにおける損失が増大することが知られています[4][5]。特にキャリア由来成分によって磁石中の渦電流損失が増えると、熱減磁を引き起こしトルク変動を招く恐れがあります。

対策として、磁石を分割することで渦電流を抑える効果が得られることは良く知られていますが、ロータ表面やステータティース部の形状を変更することで磁束の経路を最適化し、損失低減を実現した報告もあります[6][7][8][9]。この報告では、磁束線の様子を観察することが磁路特定や対策検討の基点となっています。CAEツールを用いて効率マップを作成することで、制御方式や安定性などを含めた検討も良く行われています[10][11][12][13][14]。

### 漏れ磁束による損失

最近注目され始めている損失に、漂遊負荷損があげられます[15][16][17]。モータの小型高出力化が進み、磁束が漏れることを前提に設計する設計者が増えてきていますが、モータの漏れ磁束はケースなど周囲の金属に渦電流を発生させます。特に高回転での駆動時には、発熱量が増大し、異常加熱の問題にまで発展する場合があります。ステータのバックヨーク幅が小さいモータなどでは特にケースでの渦電流を考慮する必要があります。

漏れ磁束は積層鋼板にも渦電流を発生させる場合があります。積層鋼板は層状に鋼板を重ねることにより、積層方向に生じる渦電流を低減した材料です。しかし、漏れ磁による軸方向の磁束が生じると、面内方向の絶縁は行われていないため積層面内に渦電流が発生し、損失の要因となります。ロータにエンドプレートが取り付けられている場合も同様に注意が必要です[18]。

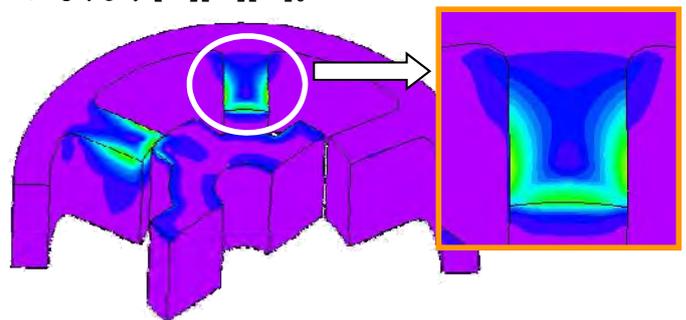
### 製造過程に起因する損失

無視できない損失の要因として、焼き嵌めやかしめによる特性劣化があげられます。フレームとステータコアの接合強度を上げるために焼き嵌めやかしめを行うと、ステータ内に圧縮応力が働き、付加された応力により透磁率や鉄損が変化します[19]。ステータの形状を変更し磁束の少ない場所に応力を集中させることで、鉄損を13%も低減させた事例[20]などあり、高効率化に向けて検討すべき項目のひとつとなっています。

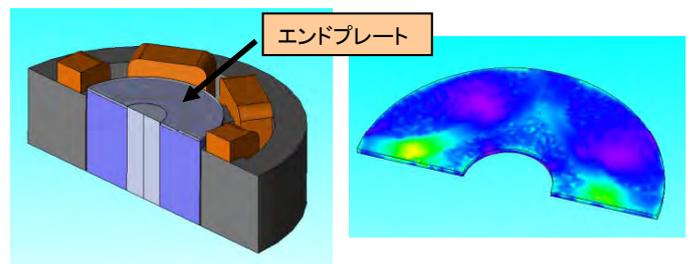
## (2) 熱設計

上述のように高効率化を進めたとしても、損失を完全に無くすことはできません。またすでに述べたように、モータの小型高出力化が求められていますので、熱設計上限界ぎりぎりでの駆動が前提となる場合が多くなってきています。出力を大きくしようとすると損失が増え、モータ各部の温度を上昇させます。高温になると温度依存性の高い磁石では負荷逆減磁が発生して熱破壊を起こす危険があり[21]、コイルでは抵抗値が上がりさらに損失を増やす悪循環に陥る場合があります。このように高出力と発熱にはトレードオフがあり、熱マネージメントが必要になります[22][23][24]。

熱マネージメントを行うためには、まず発熱源を特定する必要があります。発熱源は損失が発生している箇所ですので、損失低減と同じアプローチを行うこととなります。発熱源を特定することで、発熱を抑える対策や熱の逃げ道、冷却方法などの検討を行うことができるようになります[25][26][27]。



積層鋼板に生じる渦電流分布



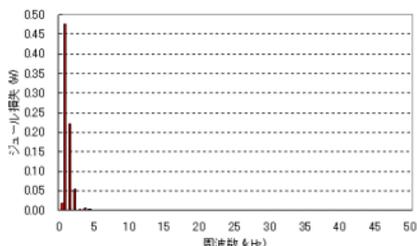
漏れ磁束によるエンドプレートのジュール損失

## ●JMAGの貢献

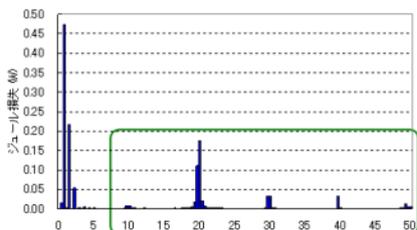
JMAGでは、実機を用いた実験だけでは難しい、損失の発生要因、発生箇所の特定制が行えます。実際の解析方法については、アプリケーションカタログ(以降、JAC。http://www.jmag-international.com/jp/catalog/index.html)を参照していただきたいと思いますが、JMAGが選択されている理由を次にご紹介いたします。

### (1)利便性と柔軟性を備えた材料モデリング

高精度な解析結果を得るためには、高精度なモデリングが必要です。中でも材料のモデリングは損失を求めるとして極めて重要な要素となります[15][16]。JMAGは、12社、700項目以上の豊富な材料データを保有しています。細かいパラメータ設定をしなくても、材料をツリーからモデルへドラッグ&ドロップするだけで希望の材料特性を得ることができます。鉄損の磁束密度依存性や応力依存性を持った材料も多数登録されているため、応力依存性を考慮した鉄損解析などを簡単に行うことができます。材料の各パラメータをユーザが設定することもできます。JMAGの材料データをベースに鉄損の情報のみ測定データを使用するなど自由な設定が可能です。

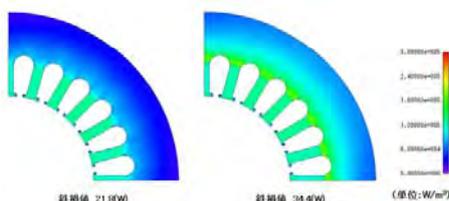


正弦波駆動



PWMインバータ駆動

ロータコアのジュール損失周波数成分



鉄損密度分布(左:応力考慮なし、右:応力考慮あり)

### (2)様々な損失を求めるための計算機能

JMAGの鉄損計算機能(鉄損条件、鉄損スタディ)では、鉄損の要因となっている渦電流やヒステリシス損失をそれぞれ求めることができます[JAC69][JAC106]。材料の非線形性を考慮して計算されるため、高精度の結果を得ることができます。特に渦電流の計算[JAC22]では、表皮厚を考慮した表皮メッシュ機能を用いてモデル表層付近のみを詳細に計算することが可能です。得られた損失を用いて、効率が求まります[JAC58][JAC103]。また、回路連携機能を用いることで、インバータなど実際の駆動状態でキャリア高調波を考慮した損失を求めることができます[30][31][32][JAC90][JAC59]。回路との連携は、駆動時の電流波形が解析に使用できるだけでなく、回路側の制御システムを確認するために用いられます。SRモータで励磁タイミングの最適化を行うことで損失低減を実現した報告もあります[33]。

JMAGでは、構造解析で得られた応力分布を磁界解析の条件として設定することができます。事前に構造解析を行い、焼き嵌めや圧入による応力分布を求めることで、透磁率や鉄損の応力依存性を考慮した解析を行うことができます[JAC87][JAC142]。

また、磁界解析で得られた損失を熱解析の条件として設定する[JAC18]ことができますので、発熱源を特定するだけでなく、駆動時のモータの温度上昇傾向なども解析することが可能です。磁石の温度上昇による熱減磁の影響も求めることができます[JAC120]。

### (3)多彩なポスト機能による表現力

解析の結果から如何に多くの勝ちある情報を引き出せるかが、解析の質を決めます。JMAGは多彩なポスト機能を提供し、様々な角度からの結果評価を支援します。マルチカットプレーン機能により、渦電流の流れをモデル内部まで詳細に確認したり、プローブ機能で任意点の磁束の時刻歴を確認したりすることができます。磁束の経路も磁束線を3Dで表示して確認することが可能です。また、グラフ機能を用いて、損失の時刻歴からFFTによる周波数成分の抽出も簡単に行えます。

### まとめ

本レポートでは、モータ開発の課題から省エネルギー、高効率について取り上げ、JMAGがどのように使用されているかをご紹介いたしました。次回は、低振動、低騒音化と低コスト化に焦点をあてます。

## 参考文献

### ●高調波成分による損失

- [1] Patel. B. Reddy, Theodore. P. Bohn「Transposition Effects on Bundle Proximity Losses in High-Speed PM Machines」、IEEE ECCE 2009 p.1919-1926
- [2] Kan Akatsuら「Impact of Flux Weakening Current to the Iron Loss in an IPMSM Including PWM Carrier Effect」、IEEE ECCE 2009 p.1927-1932
- [3] Mahmoud A. Sayed, Takaharu Takeshita「All Nodes voltage Regulation and Line Loss Minimization in Loop Distribution System Using UPFC」、IEEE ECCE 2009 p.2719-2726
- [4] 山崎克己、大木俊治ら「永久磁石渦電流損を低減した集中巻IPMモータの開発」、IEEJ-Trans IA vol.129 No.11 (2009) p.1022
- [5] Katsumi Yamazaki, Shunji Ohkiri「Reduction of Magnet Eddy Current Loss in Interior Permanent Magnet Motors with Concentrated Windings」、IEEE ECCE 2009 p.3963-3969
- [6] Patel. B. Reddy, T. M. Jahns「Modeling of Stator Teeth-Tip Iron Losses in Fractional-Slot Concentrated Winding Surface PM Machines」、IEEE ECCE 2009 p.1903-1910
- [7] Liang Fang, Hyuk Namら「Rotor Saliency Improved Structural Design For Cost Reduction in Single-phase Line-Start Permanent Magnet Motor」、IEEE ECCE 2009 p. 139-146
- [8] Katsumi Yamazaki, Shunji Ohkiri「Reduction of Magnet Eddy Current Loss in Interior Permanent Magnet Motors with Concentrated Windings」、IEEE ECCE 2009 p.3963-3969
- [9] Patel. B. Reddy, T. M. Jahns「Modeling of Stator Teeth-Tip Iron Losses in Fractional-Slot Concentrated Winding Surface PM Machines」、IEEE ECCE 2009 p.1903-1910
- [10] Liang Fang, Hyuk Namら「Rotor Saliency Improved Structural Design For Cost Reduction in Single-phase Line-Start Permanent Magnet Motor」、IEEE ECCE 2009 p. 139-146
- [11] Natee Limsuwan, Yuichi Shibukawa, David Reigosaら「Novel Design of Flux-Intensifying Interior Permanent Magnet Synchronous Machine Suitable for Power Conversion and Self-Sensing Control at Very Low Speed」、IEEE ECCE 2010 p.555-562
- [12] Yuichi Takano, Masatugu Takemotoら「Torque Density and Efficiency Improvements of a Switched Reluctance Motor without Rare Earth Material for Hybrid Vehicles」、IEEE ECCE 2010 p.2653-2659
- [13] Tomoaki Shigeta, Takashi Katouら「New Concept Motor that User Compound Magnet Motive Forces For EV Application」、IEEE ECCE 2010 p.2963-2970
- [14] David G.Dorrell, Mircea Popescu, Andrew M. Knightら「Comparison of Different Motor Design Drives for Hybrid Electric Vehicles」、IEEE ECCE 2010 p.3352-3359

### ●漏れ磁束による損失

- [15] Aldo Bogliettiら「Impact of the Supply Voltage on the Stray Load Losses in Induction Motors」、IEEE ECCE 2009 p.1267-1272
- [16] Emmanuel B. Agamloh「An evaluation of induction machine stray load loss from collated test result」、IEEE ECCE 2009 p.1273-1279
- [17] G. Pellegrino, A. Vagati, F. Villata「Core loss and torque ripple in IPM machines: dedicated modeling and design trade off」、IEEE ECCE 2009 p.1911-1918
- [18] 河瀬順洋「最近の大規模三次元有限要素解析と応用例」、JMAG User Conference 2004講演論文集 (2004) p.12-1

### ●製造過程に起因する損失

- [19] 小堀勝ら「ハイブリッド型ステッピングモータへの電磁界解析的応用」、JMAG Users Conference 2009講演論文集 (2009) p.16-1
- [20] 吉川祐一「エアコン用IPMSMの変革と今後の動向」、JMAG Users Conference 2006講演論文集 (2006) p.20-1

### ●熱設計

- [21] 樋口大「希土類磁石の最新開発動向」、JMAG Users Conference 2009講演論文集 (2009) p.9-1
- [22] David Gerada, Chris Geradaら「Optimal Split Ratio for High Speed Induction Machines」、IEEE ECCE 2010 p.10-16
- [23] Yao Duan「A Novel Method for Multi-Objective Design and Optimization of Three Phase Induction Machines」、IEEE ECCE 2010 p.284-291
- [24] S. Andrew Semideyら「Optimal Electromagnetic-Thermo-Mechanical Integrated Design for Surface Mount Permanent Magnet Machines Considering Load Profiles」、IEEE ECCE 2010 p.3646-3653
- [25] Dave Farnia, Tetsuya Hattoriら「Electro-mechanical and Thermal Simulation of a Permanent Magnet Brushless DC motor」、JMAG User Conference 2006 講演論文集 (2006) p.7-1
- [26] David Reigosa, Michael W. Degnerら「Magnet Temperature Estimation in Surface PM Machines Using High Frequency Signal Injection」、IEEE ECCE 2009 p.1296-1303
- [27] David Reigosa, Michael W. Degnerら「Temperature Issues in Saliency-Tracking Based Sensorless Methods for PM Synchronous Machines」、IEEE ECCE 2010 p.3123-3130

### ●JMAGの貢献

- [28] 茂木尚ら「無方向製電磁鋼板の動向と評価技術」、JMAG User Conference 2006講演論文集 (2006) p.21-1
- [29] 丸川泰弘「NdFeB系永久磁石の最新動向及設計技術」、JMAG User Conference 2006講演論文集(2006) p.22-1
- [30] 山崎克己ら「インバータ駆動誘導電動機のキャリア損」、IEEJ-Trans IA vol.129 No.11 (2009) p.1068
- [31] 青山真大ら「小型車に適したHEV駆動用モータの開発およびJMAG-RTを用いた制御連成解析の紹介」、JMAG Users Conference 2009講演論文集 (2009) p.15-1
- [32] 成田一行ら「晴海1号プロジェクトの報告」、JMAG Users Conference 2009講演論文集 (2009) p.23-1
- [33] 鈴木貴紀、田中直輝、深尾正、二宮弘憲ら「高効率スイッチトリラクタンスモータの開発」IEEJ-Trans IA vol.126 No.4 (2006) p.511
- [JAC69] IPMモータの鉄損解析
- [JAC106] ブラシモータの鉄損解析
- [JAC22] IPMモータの永久磁石渦電流解析
- [JAC58] IPMモータの効率解析
- [JAC103] 永久磁石同期モータの効率解析
- [JAC90] PWMを考慮したIPMモータの鉄損解析
- [JAC59] PWMを考慮したIPMモータの鉄損解析  
～直接連携～
- [JAC87] 焼き嵌めを考慮したIPMモータの鉄損解析
- [JAC142] 分割コアの圧入解析
- [JAC18] IPMモータの熱解析
- [JAC120] SPMモータの熱減磁解析

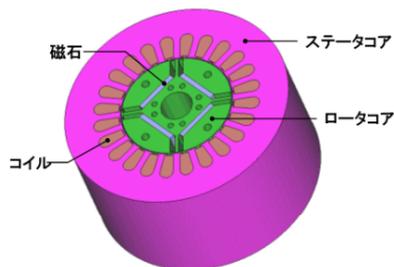
## JMAG解析事例

解析初心者の方や新しい分野の解析に取り組もうとされる方がスムーズに解析業務を立ち上げられるように、事例がガイドします。

今回は、最新事例の中から「IPMモータの鉄損解析」、「SPMモータの熱減磁解析」をご紹介します。

### 『IPMモータの鉄損解析』

近年、モータに対する省エネや高効率化の要求が厳しく、損失低減の重要性が高まっています。モータにおける主な損失の1つである鉄損は、磁性体内部で熱として電力を消費するためモータの温度上昇や効率低下の原因になります。モータ設計時にシミュレーションにより鉄損を予測することは有益です。ここでは、正弦波電流駆動において回転数1,800(rpm)、電流振幅4.0(A)時のステータコア、ロータコアの鉄損を求めた事例を紹介します。



#### 磁束密度分布

ステータコアとロータコアの磁束密度分布を図1に、測定点①と測定点②における磁束密度r成分の磁束密度波形を図2に示します。

測定点①では磁束密度の値も変化量も大きいのにに対し、測定点②では磁束密度の値は大きいですが変化量は小さくなっています。これらの磁束密度の違いは鉄損に影響を与えます。

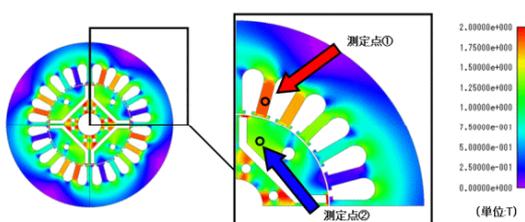


図1 磁束密度分布(1回転時)

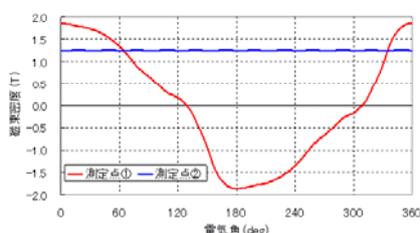


図2 磁束密度波形(r成分)

#### ジュール損失密度分布/ヒステリシス損失密度分布 / 鉄損密度分布

ステータコアとロータコアのジュール損失密度分布、ヒステリシス損失密度分布および鉄損密度分布をそれぞれ図3、図4、図5に、ステータコアとロータコアそれぞれの損失割合を 表1に示します。

磁束密度波形で確認したように、磁束密度の変化量が小さい箇所 비해大きい箇所の方が、ジュール損失密度が高くなっています。また、ヒステリシス損失でも同様の傾向が見られ、表1よりジュール損失、ヒステリシス損失ともにステータが占める割合が大きいことが確認できます。

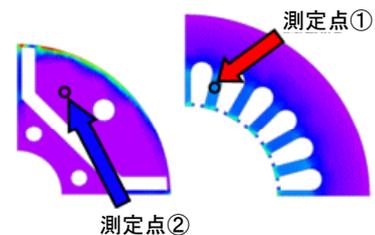


図3 ジュール損失密度分布  
(左:ロータコア、右:ステータコア)



図4 ヒステリシス損失密度分布  
(左:ロータコア、右:ステータコア)



図5 鉄損密度分布  
(左:ロータコア、右:ステータコア)

	ロータコア	ステータコア	全体
ジュール損失(W)	1.2	7.5	8.6
ヒステリシス損失(W)	0.3	9.9	10.2
鉄損(W)	1.5	17.4	18.9

表1 損失割合

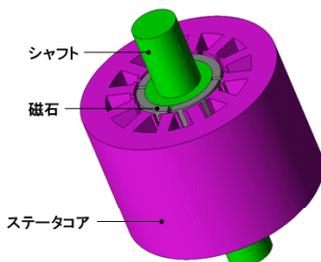
## 『SPMモータの熱減磁解析』

モータの回転中、永久磁石には渦電流損失による温度上昇やコイルの作る反磁界によって減磁が生じる恐れがあります。

永久磁石の減磁は、モータの性能を低下させる一因となるため、磁界解析による減磁評価の必要性が高まっています。

特に、温度上昇によって磁石の動作点がクニック点を越えた場合、温度を下げても磁化特性は元に戻らないため、駆動時の昇温による減磁を考慮した機器特性を把握する必要があります。

ここでは、永久磁石の温度を変えて解析を行い、トルク波形や減磁の状態を求めています。



### トルク波形

電気角1周期分(機械角180(deg))ごとに磁石の温度を60(°C) → 140(°C) → 60(°C)と変化させた場合のトルク波形を図1に示します。

図1より、磁石を140(°C)に昇温させた状態において、熱減磁により平均トルクが下がっていることがわかります。また、60(°C)に戻した場合においても、昇温前に比べ平均トルクが16(%)減少していることから、昇温中に不可逆減磁が起きたことがわかります。

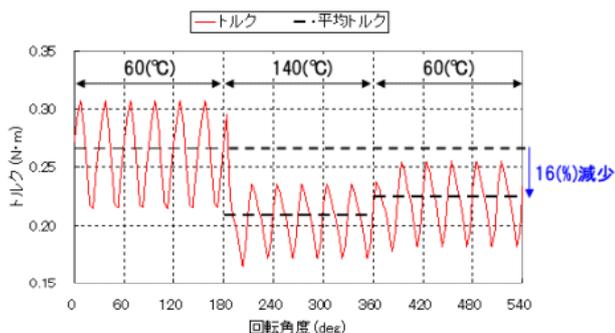


図1 トルク波形

### 減磁率分布

昇温前の磁化状態を基準とした場合の、各状態における減磁率※分布を図2に示します。

図2より、140(°C)の場合は昇温前に比べ全体的に減磁しており、特に端部において7割程度の減磁が見られます。また、60(°C)に戻しても、昇音前に比べ広範囲で減磁していることがわかります。

※減磁率とは、指定した磁化状態を基準に減磁進行したかどうかを示すものです。

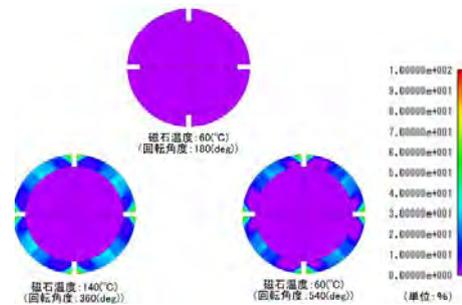


図2 減磁率分布

### 動作点

図3に動作点を確認するために選択した要素を、図4に各温度における動作点を示します。図4より、昇温後の要素Aにおいて動作点がクニック点を越えており、60(°C)に戻しても動作点が元のB-Hカーブ上に戻っていないため、不可逆減磁が生じていることがわかります。また、横軸を見ることで、各要素にかかる反磁界の大きさを確認することができます。

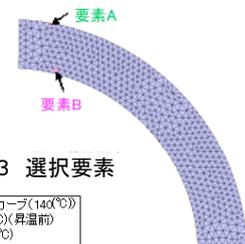


図3 選択要素

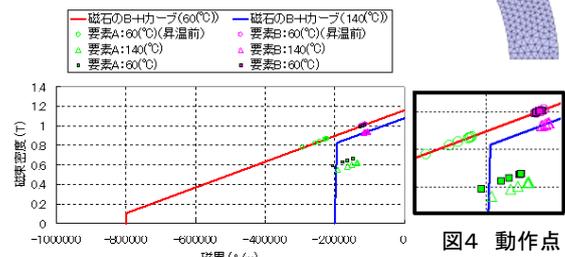


図4 動作点

JMAGでは、120以上の事例を紹介しております。

WEBページからもご確認できますので、ぜひWEBページもご覧ください。

<http://www.jmag-international.com/jp/catalog/index.html>

# 展示会出展報告

## TECHNO-FRONTIER 2010 モータ技術展・電源システム展



JSOLは7月21日～23日に東京ビックサイトで開催されたTECHNO-FRONTIER2010 モータ技術展、電源システム展に出展しました。当日は1500名を超えるお客様にご来場いただき、盛況のうちに幕を閉じることが出来ました。

ブースでは同日にリリースされたJMAG-Designerの新バージョンの発表やJSOLがリードするモータシミュレーション技術の数々をご紹介します。

JMAGのWEBサイトでは展示会に参加が出来なかったお客様の為に、モータ技術展の配付資料を掲載しております。ぜひご覧ください。

### モータ技術展 出展内容

#### ●プレゼンテーション

- ・JMAGにおけるモータ設計
- ・モータ性能の追求
- ・JMAGではじめる設計効率化
- ・使いやすいJMAG
- ・高精度モータモデルの流通～サプライチェーン革命～
- ・JMAGモータにかかわるすべての方へ
- ・モータドライブのノイズ問題
- ・最適設計の追及
- ～設計を最適化するためのシミュレーション活用～

#### ●展示内容

- ・JMAG-Designer発進！
- ・JMAG-Designerによるモータ設計
- ・パラメトリック解析で設計案をとことん検証
- ・モータ性能の追求～より詳細な分析へ～
- ・モータ設計ツールJMAG-Express
- ・モータのデジタルカタログをつくりませんか？
- ・JMAG高速ソルバー～速くなければ意味がない～
- ・最先端をいくJMAGの自動メッシュ
- ・JMAG-RT利用事例
- ・JMAG-Designerによるモータの温度上昇対策を！
- ・インバータ駆動モータドライブの伝導ノイズ解析
- ・充実したサポート体制

### モータ技術展配付資料の掲載先

<http://www.jmag-international.com/jp/>



こちらをクリック



パネル・配布資料



プレゼンテーション資料

## モータ技術展プレゼンテーション概要

### JMAGにおけるモータ設計

モータの設計開発で圧倒的な実績を持つ解析ツールJMAGの最新バージョンを7月にリリースしました。モータ設計を行う上でのJMAGならではのおすすめ機能をご紹介します。

### モータ性能の追求

今日の高性能モータには極限設計が求められています。高い要求を満たすためにはモータの中で何が起きているのかを把握し、分析することが重要です。CAE技術を駆使した評価分析環境を提案します。

### JMAGで始める設計効率化

時間はだれにとっても貴重です。だから、JMAGは常にスピードアップにチャレンジしています。リニアソルバー高速化、マルチコア・クラスタ並列化、ネットワーク分散処理によって従来に比べ大規模、大量ケースの計算が可能になってきました。JMAGの実力をご覧ください。

### 使いやすいJMAG

JMAGは1983年のリリース以来、世界中の多くのモータ開発プロジェクトで活躍してきました。長年にわたるモータ分野で培われたノウハウが使いやすい形で提供されています。高度な解析も簡単に行える機能を中心にをご紹介します。

### 高精度モータモデルの流通 ～サプライチェーン革命～

モータの複雑化あるいはモータの用途指向化が進むに従い、紙の要求書／仕様書では伝わりにくくなっています。JMAG-RTは特性をモータを使う側で確認でき、詳細な仕様書となります。モータメーカーの皆様、モータ購入者の皆様、モータ納入前の事前検証用として、JMAG-RTモータモデルを活用しませんか？

### JMAGモータにかかわるすべての方へ

こんなものも、こんなことまでJMAGつかって解析をしているの???をテーマに様々な使われ方をご紹介します。うちは特殊だから…という方、必見です。新たな発見があるかもしれません！

### モータドライブのノイズ問題

スイッチングデバイス的高速化に伴い、モータドライブの電磁ノイズ問題が顕在化しています。JMAG+EMC Studioが提供する解析ソリューションを提案します。

### 最適設計の追求 ～設計を最適化するためのシミュレーション活用～

モータの中の物理現象はとても複雑です。磁気回路と強度、出力と温度など、こちらを立てればこちらが立たずで設計者の悩みは尽きません。最新のシミュレーション技術で物理現象に一步踏み込むことで解決の糸口が見つかるかもしれません。JMAGを使った最適設計についてをご紹介します。

## 電源システム展 出展内容

### ●展示内容

- ・JMAGのトランス設計機能
- ・信頼されるトランス設計

JMAG-Designer Ver.10ではトランスやリアクトルの解析に特化したインターフェースが組み込まれました。JMAG-Designerのカatalogや電源トランス、スイッチングトランスの事例をご希望されるお客様は右側のお問い合わせ先までご連絡ください。

(お問い合わせ先)

株式会社JSOL エンジニアリング本部

TEL: 03-5859-6020

e-mail: event@sci.jsol.co.jp

# 電磁界解析体験イベントのご案内

2010年度版

JMAGでは導入ご検討のお客様、ご使用中のお客様に各種体験イベントをご用意しております。

## 基本操作体験

体験セミナー

## 電磁気学入門

WEBセミナー

## トレーニング

(初級)トレーニングセミナー  
(中級)ワークショップ

## スキルアップ

スキルアップセミナー

お申し込みは弊社営業または以下のURLをご覧ください。

<http://www.jmag-international.com/jp/>

## ●JMAG体験セミナー

JMAGのご導入を検討されているお客様、トライアル始めるお客様を対象としております。  
製品概要のご説明と実際にJMAGを使いながらご自身で解析を実習していただきます  
この機会に是非、JMAG-Designerの使いやすさをご体験下さい。

### 基本操作体験

### ■体験セミナーの内容

- JMAGの概要説明
- 参加者各自のオペレーションによる解析実習（講師が説明を加えさせていただきます。）  
実習内容  
（貴社の解析テーマに合わせて、実習したいテーマを1つお選びください。）
  - PMモータ(3D) : CADデータを用いて、定常トルク、磁束密度を求めます。
  - 三相誘導機(2D) : N-Tトルクを求めます。
  - モータ解析からRTモデル作成 : PMモータの2次元解析を行い、RTモデルを作成します。
  - トランス : 単相トランスの自己インダクタンス、漏れインダクタンスを求めます。

### ■開催スケジュール

毎月、各会場でテーマ別に開催しております。詳しくはWEB上でご確認ください。

## ●JMAG WEBセミナー

### 電磁気学入門

### ■JMAG-Designer移行セミナー

JMAG-Studioをお使いの方で、JMAG-Designerへの移行を検討されているお客様に向けた集合セミナーを開催します。

#### ■セミナーの内容

- ・DesignerのGUIの特徴と構成、モジュール構成
- ・一連の解析を、StudioとDesignerで並行して実施
- ・Studioとの機能差分について
- ・Designer特有の新機能のご紹介

#### ■開催スケジュール

10月21日(木) 18:30~20:30

### ■設計者のための電磁界シミュレーション活用セミナー

CAEにあまり馴染みのないモータ設計に携わっておられる方々を対象に、CAEでの設計検討事例や電磁気学の基礎などを解説します。

#### ■セミナーの内容

- ・モータの動作原理
- ・モータ設計における磁気回路検討
- ・電磁気学の基礎
- ・磁石・磁性材料の基礎

#### ■開催スケジュール

10月21日(木) 10:00~11:30

## ●(初級)トレーニングセミナー

JMAGを使い始めたお客様向けに、解析対象をモデル化するために必要な基本的な知識や操作方法に重点をおいたセミナーです。

前半では磁界解析を行うために有用な基礎知識について講義形式で行います。

後半はハンズオン形式で実際に操作しながらJMAGを学んで頂きます。

トレーニング

### ■セミナーの内容

- ・磁界解析のための基礎知識
- ・PMモータ編
- ・トランス編

### ■開催スケジュール

毎月、各会場でプロダクト別に開催しております。  
詳しくはWEB上でご確認ください。

## ●(中級)ワークショップ

ある程度JMAGに慣れたお客様がより深い解析を行う場合や、新しいテーマに挑戦される際の助けになることを目的としたセミナーです。

解析スキルを向上していただくため、初級セミナーとは異なり、解析テーマ毎の考え方や特定機能の操作について、120種を超える解析事例「アプリケーションノート」の中からテーマを選択していただき、実践的な例題を用いてのハンズオンの自習形式で実施して頂きます。

トレーニング

### ■開催スケジュール

東京(晴海) : 10月22日(金)・11月26日(金)  
名古屋(丸の内) : 10月05日(火)  
大阪(土佐堀) : 11月02日(火)

## ●スキルアップセミナー

JMAGをお使いになるに当たって有用な解析ノウハウや情報を、月に1テーマ提供する座学形式のセミナーです。

メッシュ、ソルバーなどJMAGの機能にスコープを絞って、基礎的な考え方から、高度な応用方法までをお伝えします。新機能についても合わせてご紹介し、お客様が効率的な解析を行っていただくための情報を提供します。

スキルアップ

### ■セミナーの内容

8月:メッシュ	1月:連成解析
9月:ソルバー	2月:回路連成解析
10月:形状作成、パラメトリック	3月:材料モデリング、鉄損
12月:連成解析	

### ■開催スケジュール

東京(晴海) : 10月26日(火)・12月07日(火)・1月25日(火)・2月22日(火)・3月22日(火)  
名古屋(丸の内) : 10月28日(木)・12月16日(木)・1月27日(木)・2月24日(木)・3月24日(木)  
大阪(土佐堀) : 10月29日(金)・12月17日(金)・1月28日(金)・2月25日(金)・3月25日(金)

※記載の日程は予告無く変更する場合がございます。予めご了承ください。



新しい時代を元気にします  
*Empower for new days*

アイ・ミーブ  
i-MiEVで走る、エコライフ。  
明電舎の技術が  
お役に立っています。

明電舎の電気自動車駆動システム



PMモータ



インバータ



2009年7月、三菱自動車から発売された新世代電気自動車「i-MiEV(アイ・ミーブ)」。  
その心臓部ともいえる駆動システムに、明電舎のモータとインバータが採用されています。

モータは、小形軽量・高効率・高出力・低騒音を実現したPMモータ(永久磁石同期電動機)。  
これを高精度インバータで制御することにより、「i-MiEV」のスムーズかつパワフルな走りを支えています。  
明電舎は先進のテクノロジーで、地球環境を考えた「ものづくり」を続けていきます。

株式会社 明電舎 〒141-6029 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower



詳しくは、明電舎HP内 PICK UP!ページへ。  
<http://www.meidensha.co.jp>

