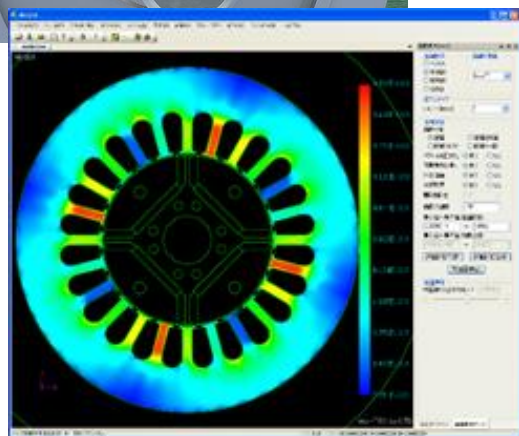


E V用モータなどの低損失・高効率化をサポートする！ベクトル磁気特性解析ソフトウェア

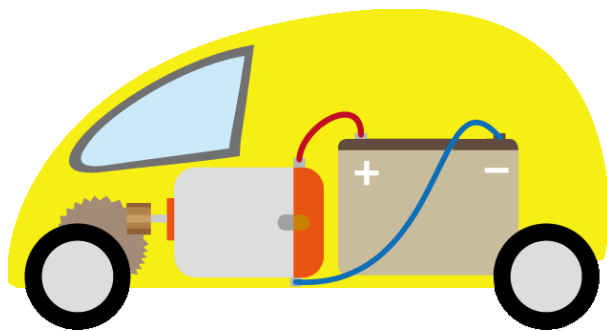
小さくて熱くならないモータで、もっと遠くまで走りたい！



μ-E&S は、ベクトル磁気特性を考慮した鉄損解析ソフトウェアです。
モータの小型軽量化かつ低損失高効率化のための解析ツールで、モータ積層鉄心の精度良い磁束密度・磁界・鉄損分布をシミュレーション出来ます。鉄損が多く発生している場所が特定できれば、あとはそこに狙いを定めて様々な対策をケーススタディし、鉄損低減設計を行う事が可能になります。

この技術は、大分大学 榎園正人 名誉教授のご支援を受けています。

(「ベクトル磁気特性技術と設計法」著者、科学情報出版)



ベクトル磁気特性鉄損解析ソフトウェア

μ-E&S

ミューイーアンドエス

www.mutec.org

〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 1-12-7 CR-VITE9F

TEL:03-3409-2887 FAX:03-3409-2886 E-MAIL:info@mutec.org



お客様と共に解析技術を進化させる
株式会社ミューテック

電磁鋼板のベクトル磁気特性とは

モータコアに使われる電磁鋼板内部では、絶えず磁束密度と磁界が変化しています。場所によって交番磁束（磁束密度が一方向に変化する）や回転磁束（磁束密度が回転）が発生しています。同様に磁界も変化していますが、詳細に測定すると、磁束密度と磁界の向きがズレています。例えば回転磁束に先行して磁界が回転したり、途中で遅れたり。このように磁束密度と磁界の関係は、大きさだけでなく向き（ベクトル）も考慮しないと正確に表現できないのです。(Fig.1 回転磁束・回転磁界のリサージュカーブ)

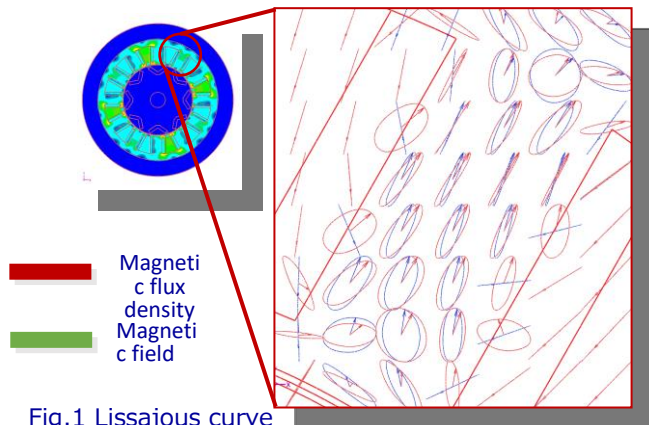


Fig.1 Lissajous curve

鉄損は渦電流損とヒステリシス損の合計

鉄損は、渦電流損とヒステリシス損の合計になります。

渦電流損は電磁鋼板を薄くすると減らすことが出来ます。モータコアを薄い電磁鋼板の積層にしているのはこのためです。例えば 50A470 という電磁鋼板の厚みは 0.5mm です。さらに薄くできる技術が進歩すれば、渦電流損はかなり低減できるでしょう。あとはヒステリシス損対策です。

このヒステリシス損はヒステリシスカーブの面積に対応します。(Fig.3)詳細に磁束密度と磁界を計測し、低減対策を設計する必要があります。

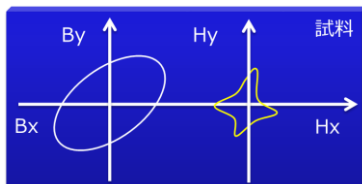


Fig.2 B: Rotating Magnetic Flux density and H: Magnetic Fields curve

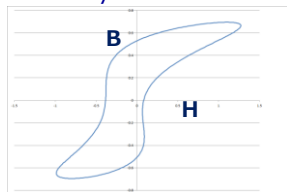


Fig.3 Hysteresis curve

ベクトル磁気特性解析で何が変わるのか

ところで現状の測定法はスカラ測定と言って、一方向に励磁して、その方向の磁束密度と磁界の関係からヒステリシスカーブを計測するものです。ところが実際は磁束密度と磁界がベクトル関係になっています。そこで回転磁束を発生させて、その時々磁界を測定する装置が開発されました(Fig.4 ベクトル磁気特性測定装置)。電磁鋼板の圧延方向も考慮した正確な材料特性が得られます。この材料特性を使って鉄損解析をするのが、ベクトル磁気特性解析です。例えば、従来得られなかった正確なヒステリシス損分布を計算できるようになります。

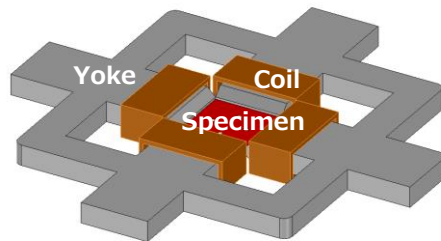


Fig.4 BH Tester

E&Sアルゴリズムとは

E&S アルゴリズムとはベクトル磁気特性を考慮して鉄損解析を行う手法の事です。電磁鋼板の回転磁束・回転磁界を多数測定し材料データベース化します(Fig.5)。ここには、ある時刻の磁束密度と磁界の大きさと向き（ベクトル）の関係が記述されています。このデータベースを参照しながら、有限要素法磁場解析を行います。従来手法では磁束密度と磁界の大きさの関係は考慮できましたが、向きの関係までは考慮できませんでした。この点が実測に沿った鉄損分布を出力できる理由になります。従来手法では得られなかった正確な鉄損分布が分かる事により、具体的な対策の検討が可能になります。この技術は、真正面から電磁鋼板の鉄損低減を目指すもので、I E 4 モータ開発への重要な要素技術になります。

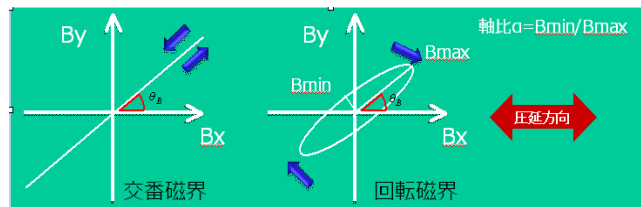


Fig.5 Database within Magnetic Field characteristics at rotating Magnetic Flux density

Bmax : Maximum Magnetic Flux density
θB : Bmax angle from Rolling direction
α : Bmax/Bmin

E & Sアルゴリズムのフローチャート

E&S アルゴリズムの計算は、回転磁束 1 周期分が基本になります。まず初期条件で 1 周期分の磁場解析を行います。各要素ごとの磁束密度の波形結果からフーリエ級数的に基本波形を取り出します。この基本波形から最大磁束密度 Bmax（長軸の値）、最少磁束密度 Bmin（短軸の値）、傾角θB（圧延方向と Bmax の角度）、軸比α（Bmax/Bmin）を求めます。この情報を基にデータベースから対応する回転磁束を見つけ出し、その時の磁界波形を抽出します。磁束密度と磁界から 1 周期分の透磁率波形を算出し、これを使って 2 回目の 1 周期分の磁場解析を行います。これを収束（波形の変化が充分小さくなる）するまで行います。結果は、各要素毎に実測で求めた材料特性に沿った結果になります。最後に磁束密度・磁界波形からヒステリシスカーブを求め、鉄損を算出します

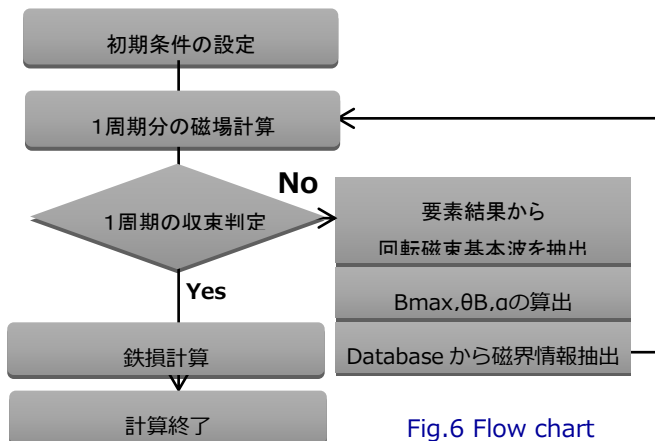


Fig.6 Flow chart

圧延方向の影響

電磁鋼板は、無方向性（例では 50A470）でも圧延方向に磁束が通りやすく、それに直角方向は通りにくい傾向があります。それをベクトル磁気特性解析で再現します。

リング状に切り抜いた電磁鋼板にコイルを巻いて励磁するモデルです。圧延方向は X 軸（横方向）です（Fig.7）。ベクトル磁気特性解析の結果コンター図を示します。磁束密度分布は周方向にほぼ均一です、磁路長の短い内径側が大きな値になっています。これに対して磁界分布は左右部分に大きな値が出ています。これは磁束密度ベクトルが X 軸を向いて圧延方向にそろっている上下部分では磁束が通りやすく、小さな磁界でも結果の磁束密度になるためです。逆に左右部分では磁束の流れと圧延方向が直角で磁束が通りにくく、大きな磁界で結果の磁束密度を達成するからです。磁束密度と磁界から得られる鉄損分布も、圧延方向の影響を受けて左右部分に大きな値が出ています。

従来のスカラー磁気特性解析では得られない結果が、ベクトル磁気特性で計算できる基本問題です。

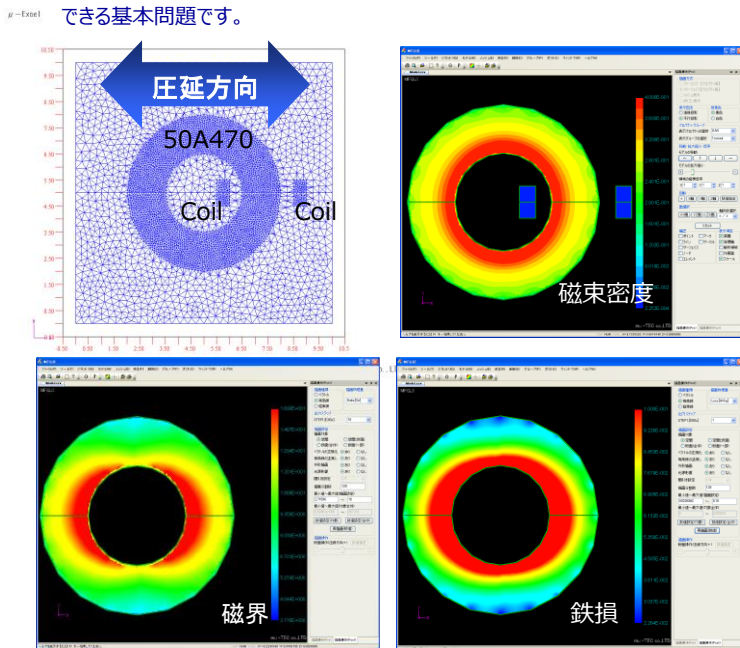


Fig.7 effect of rolling direction

電圧を与えて電流波形を算出

リングモデル解析の電流波形結果です（Fig.8）。

μ-E&S では電圧を与えられた有限要素法解析が出来ます。正弦波電圧励磁を行うと、磁束密度が大きい電気角で飽和傾向を示します。実際は磁束密度が出来るだけ正弦波形に近づくような現象になりますので、電流波形は正弦波の大きい場所とがった波形になります。ベクトル磁気特性解析は、それも精度よく再現しています。

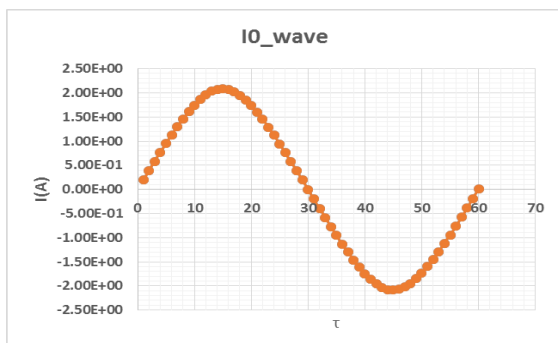


Fig.8 Current wave

従来鉄損解析法との比較

従来の鉄損解析法では、磁束密度の結果から鉄損式を使った後処理で鉄損分布を求めています。従って、磁束密度分布と鉄損分布は同じになります。またヒステリシスを考慮した鉄損解析でも、ヒステリシス材料特性がスカラ測定から得られたものでは正確な鉄損分布は得られません。ベクトル磁気特性解析では、磁界分布が正確に計算できるので鉄損分布を精度よく計算できます（Fig.9）。

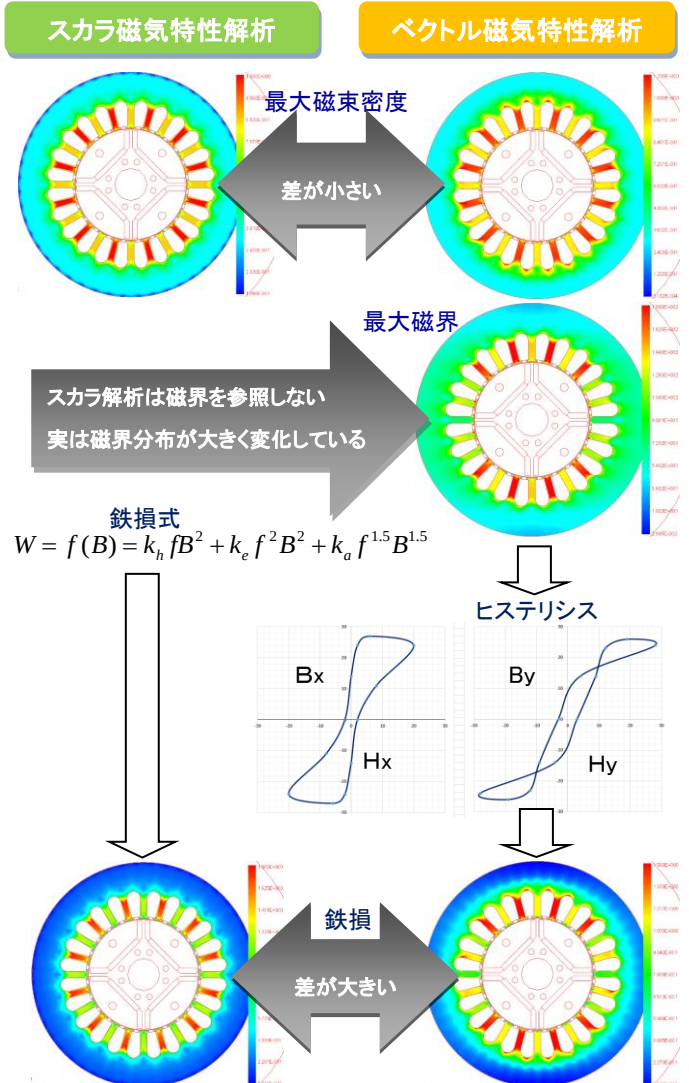


Fig.9 Conventional method vs E&S

鉄損分布が分かったら

ベクトル磁気特性解析で正確な鉄損分布が分かったら、鉄損が多く発生している場所に対策を施します。例えば、ステータの形状（形やアールとか）を変更してケーススタディ解析を繰り返します。分割コア型（Fig.10）では、圧延方向と磁束方向が一致するように、ステータコアを分割してアセンブルすることにより、鉄損を低減しています。

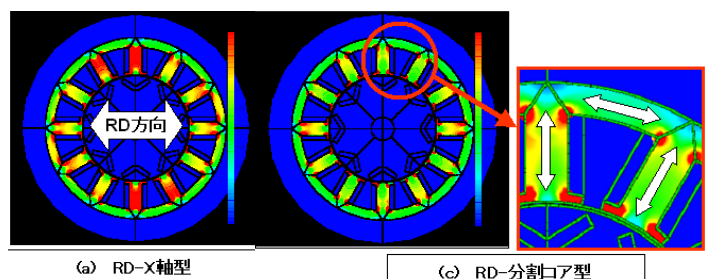


Fig.10 new Type Motor

μE&S の機能表

解析種類：	2次元非定常磁場解析 (FEM)
アルゴリズム：	E & Sモデル
励磁：	電圧源、電流源、永久磁石
材料データベース：	方向性・無方向性電磁鋼板 4種
対象モータ：	同期モータ、(誘導モータは開発中)
モデル入力：	FemapNEU ファイル (別途 自社メッシャー付属)
出力 (数値、図)：	磁束密度・磁界ベクトルの時間変化、ヒステリシスループ、鉄損、電流波形、最大磁束密度、最大磁界強度、傾角、軸比 (回転磁束密度に関する情報)
GUI：	ウィザード方式の使いやすいインターフェース装備

解析の種類に応じたウィザード



Fig.11 μE&S GUI

方向性電磁鋼板の出力例

方向性電磁鋼板を使ったトランス解析の出力例を示します(Fig.12)。トランスでは方向性電磁鋼板を組み合わせることで鉄損低減対策を行っています。それでも中央ヨーク接合部に回転磁束が発生しています(リサージュベクトル図)。また最大磁束密度は、磁路長の短いヨーク内側が大きくなっています。が、最大磁界は接合部が大きくなっています。その結果、鉄損分布も接合部に集中しています。圧延方向を考慮したベクトル磁気特性解析でないと、この結果は得られません。さらに傾角 θ_B (最大磁束軸と圧延方向のなす角)、軸比 α (回転磁束の長軸と短軸の比) 分布も鉄損低減対策の指針として活用する事が出来ます。

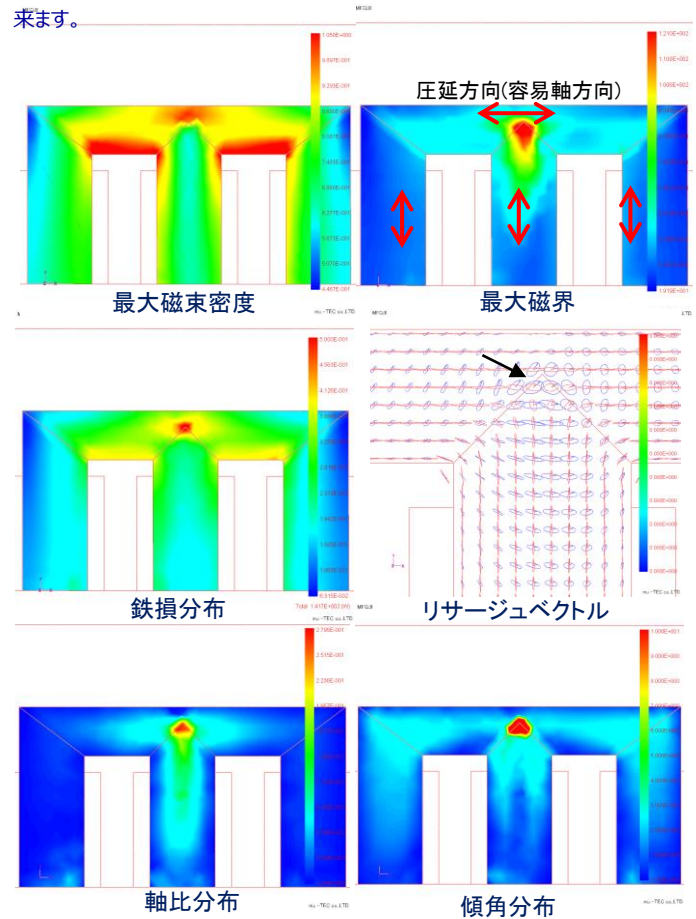


Fig.12 trance

マップおよび連絡先



株式会社ミュートック

〒150-0002

東京都渋谷区渋谷 1-12-7 CR-VITE 9B

TEL 03-3409-2887

FAX 03-3409-2886

URL <http://www.mutek.org>

E-mail info@mutek.org

【交通】

JR 渋谷駅 (宮益坂口徒歩 3分、郵便局手前)

私鉄東急東横線・井の頭線 地下鉄銀座線・半蔵門線・副都心線

