

# エリア形非接触給電装置の電磁界解析

細江 仁  
Hosoe Hitoshi  
近藤 英二  
Kondou Eiji

## 1 まえがき

最近、電磁機器や電源装置の開発に際して、有限要素法による電磁界解析を用いた高精度なシミュレーションを活用する事例が増加している。

今回、当部で開発中のエリア形非接触給電装置(以降:エリア形装置)に有限要素法による電磁界解析を事前評価段階で適用し、鉄心(以降:コア)形状の最適化を図った。

エリア形装置とは一次側と二次側の間に非金属・非磁性の空隙を介して、二次側コアが一次側コアに対して、左右に移動した位置においても電力を一次側から二次側へ送電することができる非接触給電装置である。

本稿では、エリア形装置のコア形状設計時の電磁界解析を紹介し、さらに計算値と実測値を比較して、電磁界解析の有効性について報告する。

## 2 非接触給電装置

非接触給電装置は、高周波インバータと、一次側と二次側が分離されている高周波トランスと、二次側出力を共振させるためのコンデンサで構成されている。

この高周波トランスは、一次側と二次側の空隙が非常に広く、漏れ磁束が多いと予想された。そこで有限要素法を使用した電磁界解析を実施し、漏れ磁束を減少させるトランス部の構造を検討することとした。

図1に非接触給電装置の基本構成を示す。

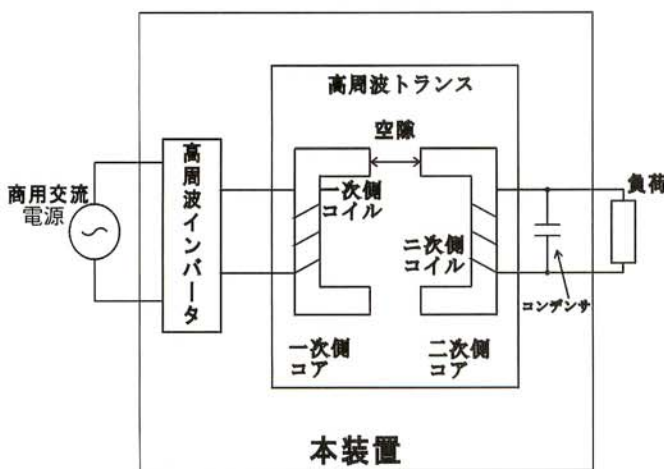


図1 非接触給電装置基本構成図

## 3 解析概要および手順

### 3.1 コア形状

図2にエリア形装置のコア形状の例を示す。二次側コアが給電方向(図中矢印a, b)へ移動した場合でも受電可能とするために、一次側の各脚に給電方向へアームを設けた。

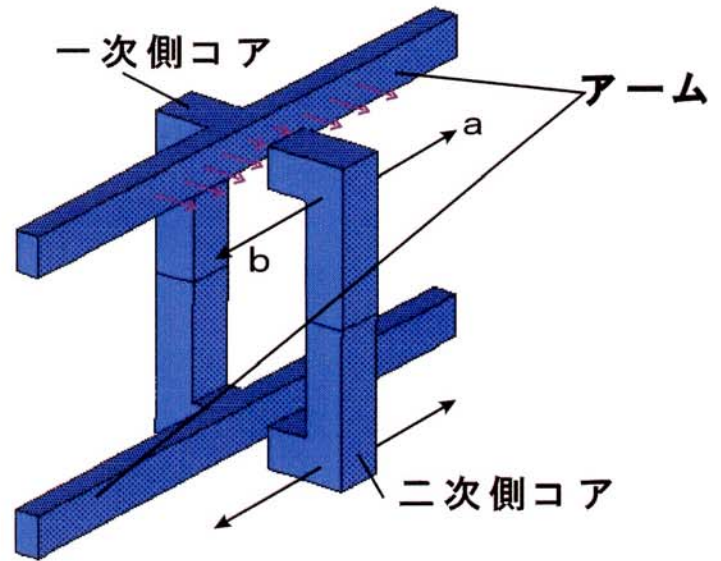


図2 エリア型装置コア図

### 3.2 コア寸法

コア寸法は、図3、4のように設定した。

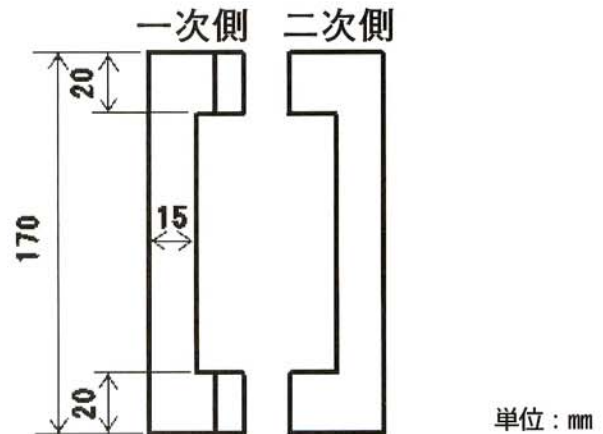


図3 コア側面図

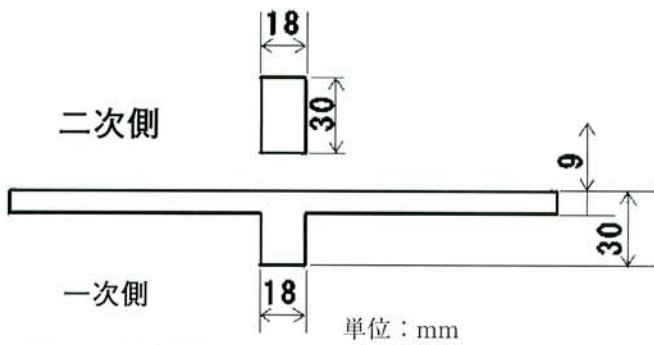


図4 コア上面図

### 3.3 条件設定

図5に解析モデル図を示す。

表1はコイルモデルの解析条件、図6は一次側コイルの入力電圧波形、図7は使用したコア材質の磁化曲線(B-H曲線)であり、これらを用いて三次元電磁界解析を実施した。なお、空隙距離は15mmである。

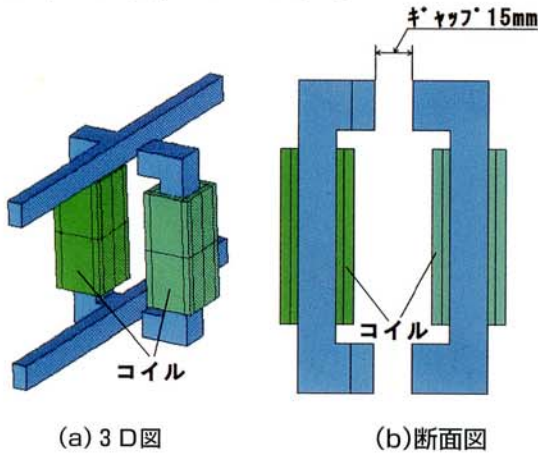


図5 解析モデル図

表1 解析一次側コイルモデル入力諸条件

巻数	19 T
コイル抵抗	10 mΩ
電源周波数	100 kHz
波形	方形波(peak 141V)

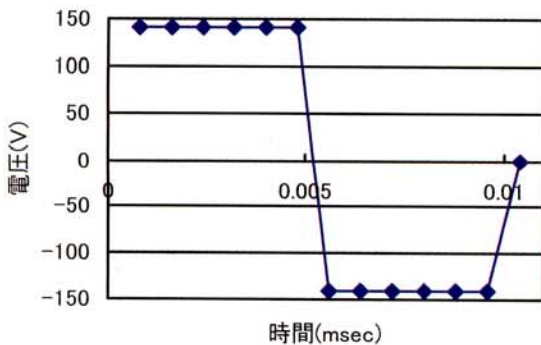


図6 一次側コイルの入力電圧

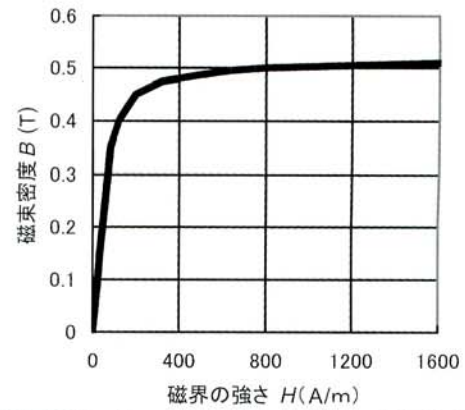


図7 使用鉄心(フェライトコア)の磁化曲線

### 3.4 解析手順

三次元電磁界解析手順を示す。

#### 3.4.1 二次元図の作成

図8に示す解析モデルの二次元平面図を電磁界解析ソフトにて作成した。

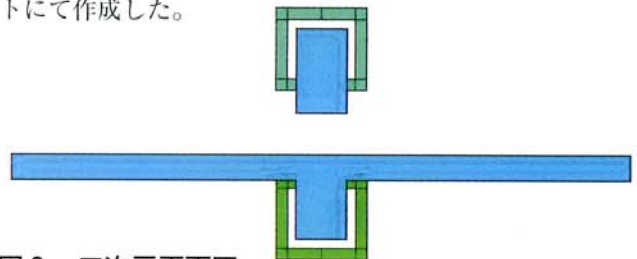


図8 二次元平面図

#### 3.5 要素分割

分割ツールで図8に示す二次元平面図を有限個の要素に分割した。分割図を図9に例示する。

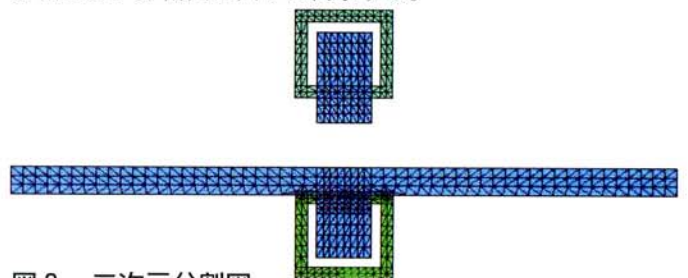


図9 二次元分割図

この分割に際しては、解析時間を短縮するためにあらかじめ磁束密度変化が高いと予想される場所のみ細かく分割し、その他は粗く分割するように検討した。なお、ここでは割愛したが、解析モデルの周囲の空間領域についても分割し解析した。

#### 3.6 解析モデルの積上げ

図9に示す二次元分割図を鉄心とコイル別に区分しZ軸方向に積上げて、三次元解析用の分割図を作成した。

また、解析時間の増大をさけるため、上下対称性を考慮して、図10に示す1/2モデルで解析した。



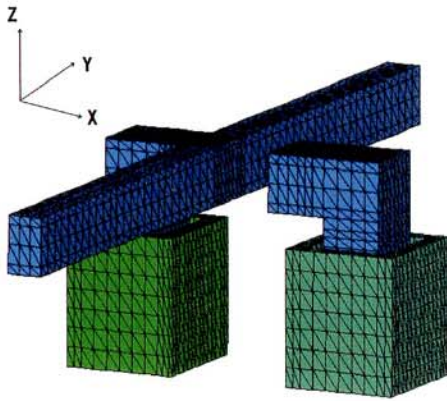


図10 三次元分割図(1/2モデル)

次に、前項3.3の設計条件にて、三次元電磁界解析システムにより解析を実施した。基準となる位置を一次側コアと二次側コアが正面で対向する位置として、そこから二次側を移動させて解析を実施した。

## 4 コアの電磁界解析結果

### 4.1 二次側コア基準位置での解析結果

二次側コアを基準位置に配置した場合の解析を行った。

図11は起動時から0.01msecまでの一次側コイルに印加した入力電圧と入力電流波形とコイルに流れる電流波形を示す。なお電圧投入直後の波形であるため、電流にはオフセ

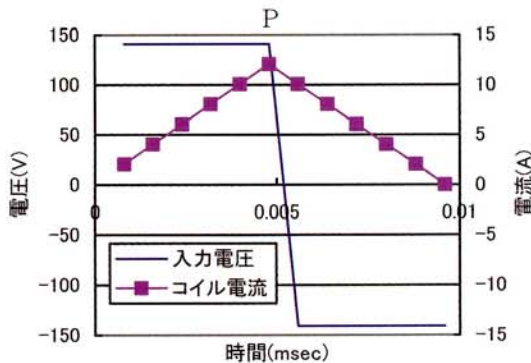


図11 コイルの入力電圧と電流

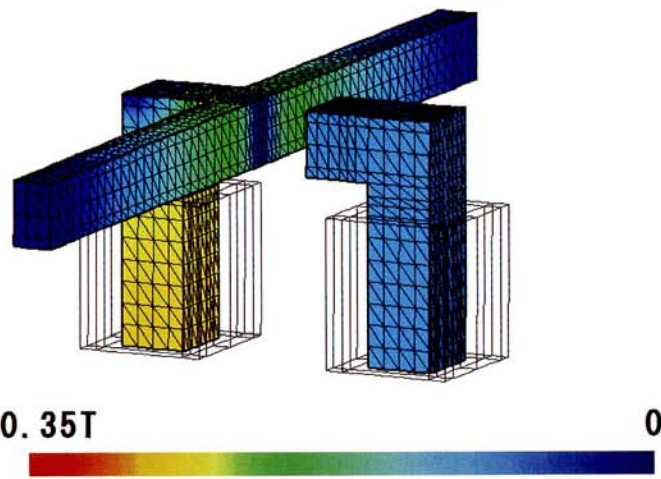


図12 磁束密度分布(1/2モデル)

ット成分が重畳している。図11でコイル電流が最大となる点Pの磁束密度分布を図12に示す。

図12の結果から、一次側コアのアームの末端位置では磁束密度が低くなっていることがわかる。そこで二次側コアが一次側コアのアーム末端の位置に移動した場合、二次側に鎖交する磁束がどのようになるかさらに検討を加えた。

### 4.2 二次側コア各移動時の解析結果

エリア形装置は、アーム面と二次側コア断面が対向して、同じギャップ長を保って移動する。したがって基準位置と同じ電圧を印加して、二次側が基準位置から20mm・40mm・60mm・80mmの距離に移動した位置での解析を行った。前項と同様の電流最大となる点での磁束密度結果を図13に示す。

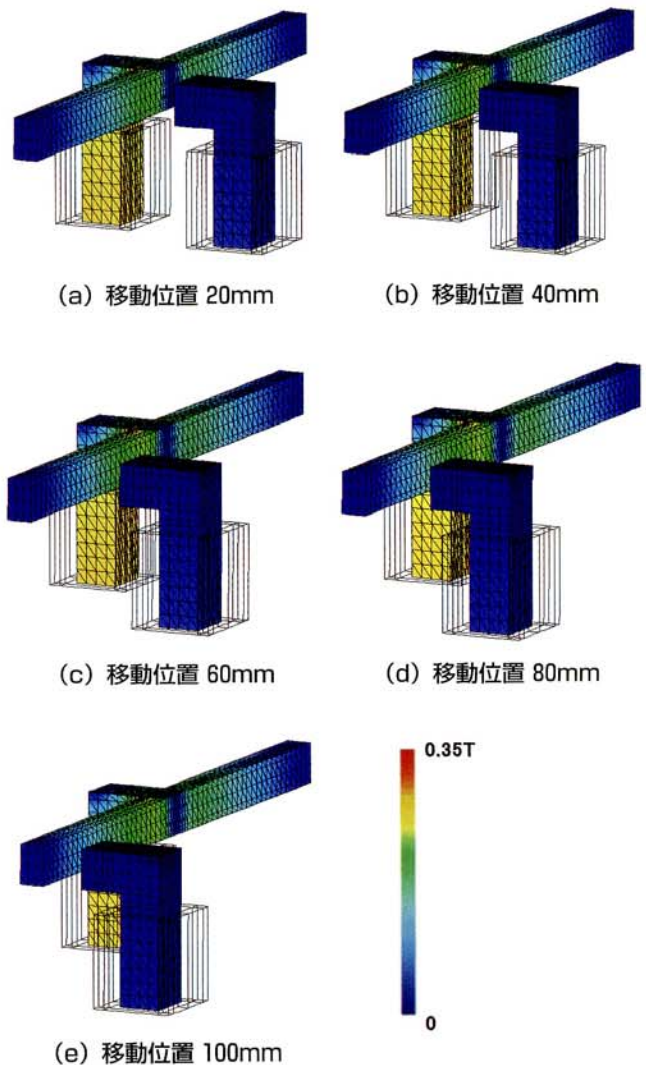
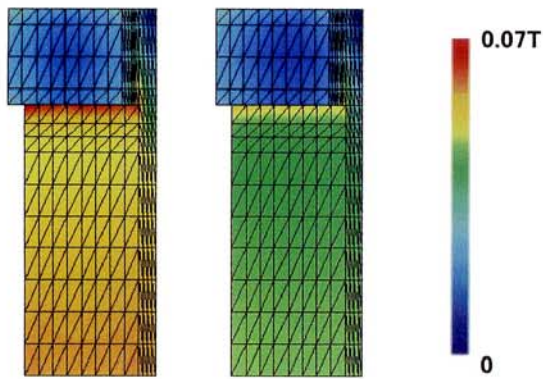


図13 二次側移動時の磁束密度分布(1/2モデル)

図13の磁束密度分布の二次側コア部に着目した拡大図を図14に示す。ただし、図14は図15に示されたA方向から見た図である。なお図14の(a)は二次側コアを基準位置に配置した場合であり、(b)は二次側コアを100mmの位置に配置した場合である。





(a) 基準位置 (b) 移動位置 100mm  
 図14 二次側コア磁束密度分布 (1/2 モデル)

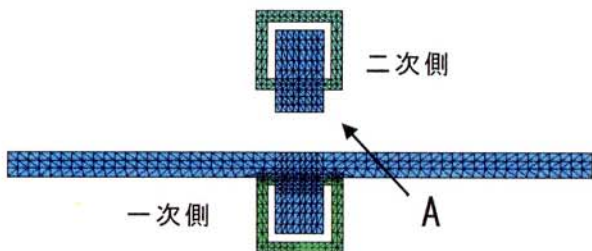


図15 解析モデル上面図

図14の結果から二次側コアがアームの末端位置まで移動した場合、磁束密度が大幅に減少し、このことから末端位置に移動するほど漏れ磁束が増加すると考えられる。

移動位置100mmのときの磁束ベクトル図を図16に示す。なお図16は横方向からみた二次側コアの中心での断面図である。図中の三角形は磁束密度のベクトルの大きさと方向を表している。

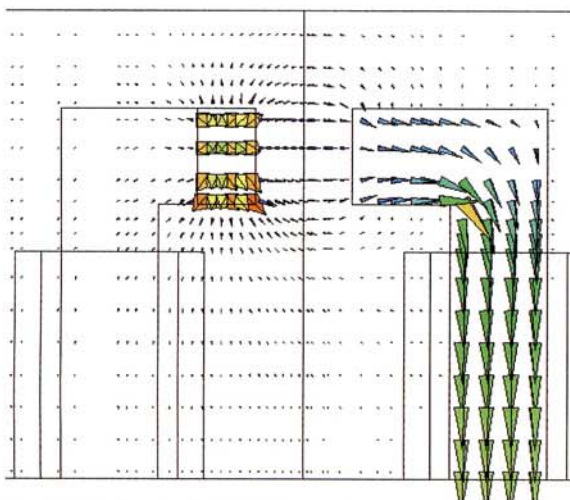


図16 磁束ベクトル図(1/2 モデル)

図16の断面のベクトル図よりギャップ通過磁束が低いのに二次側中心部の磁束密度が高いことがわかる。これは一次側コアのアームの上下から出た磁束が空間中を通過して二次側入るためである。磁束が空気中を通過する距離が長

いと磁気抵抗が高くなり二次側コアに鎖交しない漏れ磁束が増加する原因になると考えられる。

## 5 漏れ磁束対策と電磁界解析結果

### 5.1 解析内容

一次側コアのアームからの漏れ磁束対策としてアルミシールドを設けた。これは、漏れ磁束が金属を通過するとき磁束を妨げる方向に渦電流が流れる現象を利用したものである。アームの漏れ磁束を軽減するために図17に示すように、2種類のシールド板(アルミ)を設けた。アルミの厚さは2mmである。

図17の解析モデルで、電磁界解析を実施した。

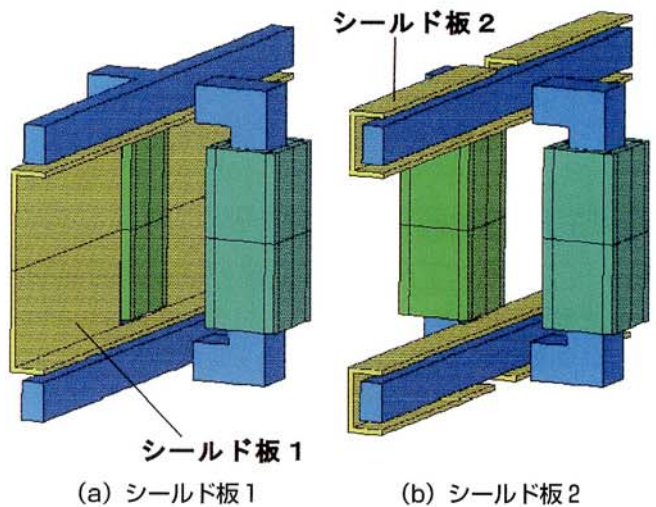


図17 解析モデル図

### 5.2 解析結果

二次側が一次側に対して平行に100mm移動したときの二次側コアの磁束密度分布を、図14のA方向から見た詳細図を図18に示す。

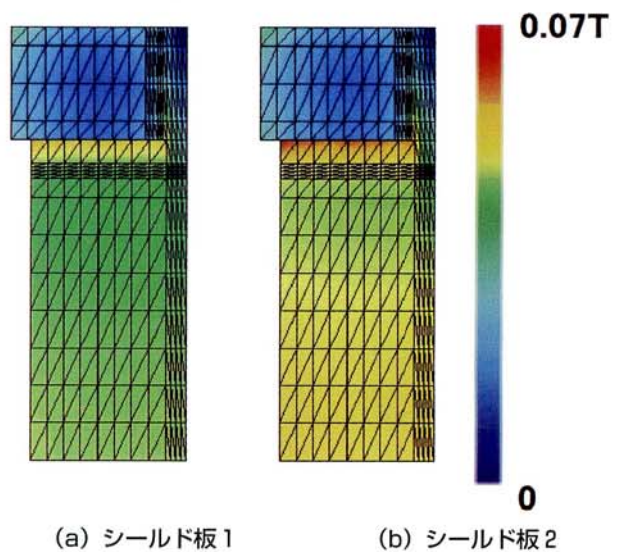


図18 磁束密度分布(1/2 モデル)



図14(b)と図18とを比較すると、図18(b)は、他の2つに比べ磁束密度が増加していることがわかる。

次に、二次側のコア中心部の磁束密度と各移動位置との関係をグラフ化して図19に示す。

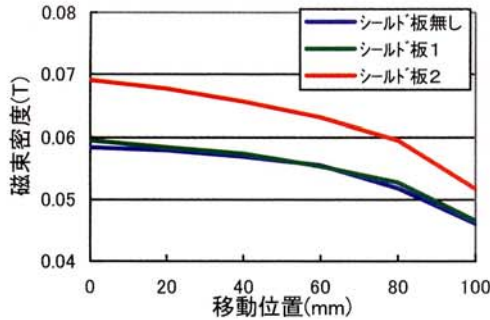


図19 二次側コア移動とコア中心の磁束密度

図19のグラフから、図17(b)を使用した時は、他の2つの結果より平均で0.01Tほど、磁束密度が増加していることが確認できた。シールド板を装着したときの磁束ベクトルを図20に示す。図16と同様に二次側コアが移動位置100mmにあるときの断面図である。

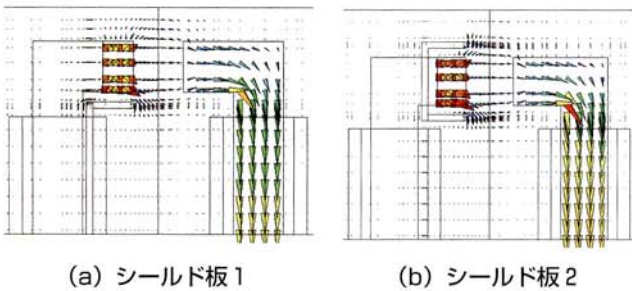


図20 磁束密度ベクトル図 (1/2モデル) (シールド板の効果)

図20(b)に示すようにコアのアーム部全体をシールド板で覆った構造で漏れ磁束は大幅に減少し、図19の結果と同様に漏れ磁束対策として最も効果的であることを確認した。

## 6 実機試験

エリア形装置実機でシールド板が無い場合と、シールド板装着の場合の比較試験を行った。図21に、シールド板が無い場合とシールド板(シールド板2の形状)を使用した場合の二次側コア位置と二次側誘起電圧の関係を示す。

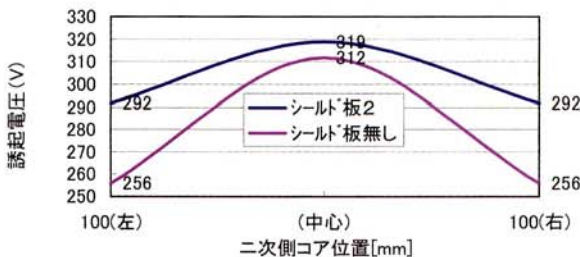


図21 二次側誘起電圧の測定

シールド板無しとシールド板装着時は、いずれも二次側コアが一次側コアのアームの末端位置に移動するほど誘起電圧低下の傾向を示すが、シールド板2装着時は末端位置での誘起電圧の低下が少なく、シールド板の有効性を確認できた。

図19と図21より、二次側コア位置に対する誘起電圧と磁束密度変化の様子は類似傾向を示し、三次元電磁界解析によりコア形状の適否が判断できることを確認した。

## 7 まとめ

三次元電磁界解析は二次元では不可能であった複雑なコア形状の解析が可能のため、エリア型装置の基準位置と各移動位置における磁束密度を比較できた。磁束がコア内部およびコアから空間中にどの大きさでどの方向に流れているか明確となり、シールド板の形状やシールド板の設置位置を容易に決定することができた。

電磁界解析をエリア形非接触給電装置のコアやシールド板の形状設計に活用すると、最小限の型製作で済み、コスト削減、時間短縮に極めて有効である。

今後、電磁界解析をさまざまな開発分野で利用し、最適設計に活用して行く所存である。

最後に本研究を進める過程で、電磁界解析システムの提供ならびに有益なご指導ご助言を頂きました岐阜大学河瀬・山口研究室のみなさまに深く感謝いたします。

## 8 参考文献

- (1)河瀬, 伊藤:「最新 三次元有限要素法による電気・電子機器の実用解析」森北出版(1997)

## 筆者紹介



細江 仁  
Hosoe Hitoshi  
機器開発事業部 商品開発部 開発1グループ  
電磁界解析の研究に従事



近藤 英二  
Kondou Eiji  
機器開発事業部 商品開発部 開発2グループ  
電子制御装置の開発および設計に従事