

電気自動車用非接触給電装置のギャップ中の異物検知法

学生員 駒崎 伸也* 正員 金子 裕良 正員 阿部 茂 (埼玉大学)

正員 保田 富夫((株)テクノバ) 非会員 鈴木 明(アイシン・エイ・ダブリュ(株))

Methods for Detecting Foreign Metallic Materials in the Air Gap of Contactless Battery Charger for Electric Vehicles

Student Member, Shinya Komasaki*, Member, Yasuyoshi Kaneko, Member, Shigeru Abe (Saitama University),
Member, Tomio Yasuda (Technova Inc), Non-member, Akira Suzuki (AISIN AW CO ,LTD.)

Contactless battery chargers for electric vehicles have the problem of induction heating if foreign metallic materials are in the air gap of the transformer. This paper presents three methods to detect the materials. They are efficiency comparison method, current comparison method and loss comparison method. The successful test results of the three methods are also presented.

キーワード：非接触給電，電磁誘導，誘導加熱，金属異物，検知

Keywords : Contactless battery chargers, Electromagnetic induction, Induction heat, Foreign metallic materials, Detecting

1. はじめに

近年，地球環境問題や石油価格の高騰により，プラグインハイブリッド自動車（PHV）や電気自動車（EV）の普及が進んでいる。現在は電気ケーブルとコネクタで車に給電するコネクタ給電方式であるが，安全性や利便性を考えると，将来は非接触給電方式^{(1)~(3)}が有望である。

電気自動車用の非接触給電装置は，電磁誘導方式が一般的であり，地上側と車載側のトランス間に高周波の磁界が発生する。そのため，トランス間に金属異物が存在すると誘導加熱により金属異物が加熱され，発火・発煙やトランスカバーの変形，効率低下といった問題が考えられる。よって電気自動車の非接触給電の普及には，金属異物の有無を確認する検知手段が必要である。

電気シェーバーやゲーム機のリモコンなどの家庭用電気製品では非接触給電が普及しており，金属異物の検知手段が考えられている。その方法としては（A）センサを使う方法や（B）電圧・電流の変化により検知する方法などがある。しかし，これらを電気自動車用として用いた場合の欠点として（A）では，屋外使用時は周囲環境（汚れ，悪天候）により精度に影響が出る可能性があること，（B）では，家庭用電気製品では専用の充電ケースを用いるため一次二次トランスの位置ずれやギャップ長変動による影響までは考えられていないことなどが挙げられる。

本論文では，二次的機構を用いず一次二次トランスの位置ずれ・ギャップ長変動下でも検知可能な異物検知法として

（Ⅰ）一次二次コイルの電圧比($V_{IN} : V_2$)から推定されるトランス効率と実際の効率を比較する方法，（Ⅱ）駐車前の二次側なし状態で一次側に定電圧を印加したときの電流値を比較する方法，（Ⅲ）伝送損失を定時でサンプリングし比較する方法を提案する。（Ⅰ），（Ⅱ）は給電前に異物が存在した場合の検知方法で，（Ⅲ）は給電中に異物が混入した場合の検知方法である。

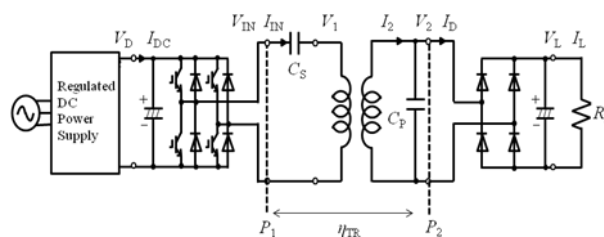


図1 非接触給電システム

Fig. 1. Contactless battery charger.

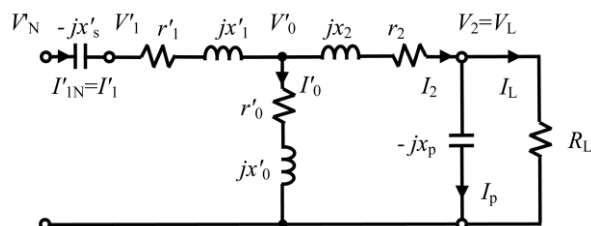


図2 詳細等価回路

Fig. 2. Detailed equivalent circuit.

2. 自動車用非接触給電システム

〈2・1〉 非接触給電装置 一次直列二次並列コンデンサ方式の非接触給電システム⁽²⁾⁽³⁾の構成を図1に示す。高周波電源にはフルブリッジインバータを用い、給電トランスのコアにはフェライトを、巻線にはリッツ線を用いる。給電トランスの出力にはダイオード整流器、バッテリーを模擬した抵抗負荷が接続されている。

〈2・2〉 等価回路 給電トランスを T 形等価回路で表し、直列および並列共振コンデンサ C_s , C_p と抵抗負荷 R_L を加えた詳細等価回路を図2に示す。なお、巻数比を $a=N_1/N_2$ とし、一次側諸量は二次側に換算し' (ダッシュ) をつけて表す。実際の給電トランスでは、フェライトコアとリッツ線を用いると鉄損を表す r_0 と巻線抵抗 r_1, r_2 は、電源周波数においてトランスのリアクタンス x_0, x_1, x_2 に比べ十分小さい。従って巻線抵抗 r_1, r_2 と鉄損の r_0 を省略した回路で解析を進める。

〈2・3〉 直列および並列共振コンデンサ まず二次側並列コンデンサ C_p の値を、電源周波数 f_0 において励磁リアクタンス x'_0 と漏れリアクタンス x_2 との和 (二次巻線の自己リアクタンス L_2) に共振するように(1)式の値に決める。

$$\frac{1}{\omega_0 C_p} = x_p = x'_0 + x_2 \dots\dots\dots(1)$$

次に一次側直列コンデンサの値を(2)式の値に決める。

$$\frac{1}{\omega_0 C'_s} = x'_s = \frac{x'_0 x_2}{x'_0 + x_2} + x'_1 \dots\dots\dots(2)$$

〈2・4〉 理想変圧器特性 ここで、 V_{IN} と V_2 , I_{IN} と I_L の関係を求めると、(3)式が成り立ち巻数比 b の理想変圧器と等価となる。

$$V'_{IN} = b V_2, \quad I'_{IN} = \frac{I_L}{b}, \quad b = \frac{x'_0}{x'_0 + x_2} \dots\dots\dots(3)$$

〈2・5〉 給電効率の理論式 図2の詳細等価回路において、鉄損を表す r_0 を無視すると給電効率 η は、

$$\eta = \frac{R_L I_L^2}{R_L I_L^2 + r'_1 I_1^2 + r_2 I_2^2} \dots\dots\dots(4)$$

で表され、一般に $R_L \gg x_p$ となるので(5)式で近似できる。

$$\eta \cong \frac{R_L}{R_L + \frac{r'_1}{b^2} + r_2 \left\{ 1 + \left(\frac{R_L}{x_p} \right)^2 \right\}} \dots\dots\dots(5)$$

また、(5)式から給電効率 η が最大となる抵抗 R_{Lmax} の値と、そのときの最大効率 η_{max} を求めると(6)式となる。

$$\eta_{max} = \frac{1}{1 + \frac{2r_2}{x_p} \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r'_1}{r_2} + 1}}, \quad R_{Lmax} = x_p \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r'_1}{r_2} + 1} \dots(6)$$

従って、(5)(6)式を用いれば、給電トランスの最適設計や最大効率運転が可能となる。

3 検知対象異物の設定

〈3・1〉 検知対象異物の設定条件 (1)身近に落ちている、(2)トランス間 (最大20cm) に入る、(3)1.5kW 給電で危険温度まで上昇する、という条件より検知する必要のある異物を設定する。ここで危険温度とは発火・発煙やトランスカバーの変形といった問題を考慮して設定した温度である。発火・発煙という点では自然発火温度が 225°C 以上 (IUCALID2000) であること、トランスカバーの変形という点では合成樹脂の融点が 120°C 程度であることから危険温度を 100°C と設定した。

〈3・2〉 温度上昇試験 実際の給電中に異物を混入させた場合の異物の温度上昇を測定した。試験対象異物は上記の(1)、(2)より図3の各異物で実験を行った。異物の大きさはアルミ缶は 350ml、スチール缶は 190ml、アルミ箔は 4つ折りにしたもので大きさは 120mm×70mm、釘は大きい方が直径 5.4mm 長さ 48mm、小さい方が直径 1.8mm 長さ 24mm である。

給電条件は図1の回路の R_L を 30Ω、電源周波数 50kHz、給電電力 1.5kW、ギャップ長 120mm、位置ずれなしの標準状態とした。異物の設置位置は図4の位置 B (磁界が最も強く、温度上昇が大きい位置) とした。測定条件は室内無風状態で室温は約 25°C、温度測定には熱電対を用いた。各異物の温度上昇を測定した結果を表1に示す。

この結果、アルミ缶、スチール缶、アルミ箔は 100°C 以上に温度上昇し、硬貨や釘といった小さなものは 100°C 以下で温度が飽和した。これより検知対象異物としてアルミ缶、スチール缶、アルミ箔を考える。



図3 試験対象異物
Fig. 3. Foreign materials.

表 1 温度上昇試験結果

Table 1. Temperature rise test.

Foreign material	temperature[°C]
Aluminum can	over100
Steel can	over100
Aluminum foil	over100
1 yen coin	47.6
5 yen coin	57.1
10 yen coin	50.0
50 yen coin	53.0
100 yen coin	64.1
500 yen coin	53.5
Small nail	44.1
Big nail	60.5

Top view of primary transformer

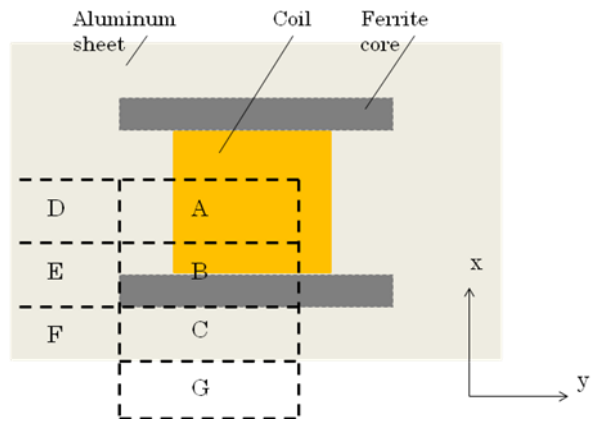


図 4 異物設置位置

Fig. 4. Installation position.

表 2 各異物の各設置位置における温度上昇試験結果

Table 2. Temperature rise test of each installation position.

	A	B	C	D	E	F	G
Aluminum can	over100°C (4'45'')	over100°C (1'50'')	98°C	31.8°C	33.4°C	37.4°C	
Steel can	over100°C (20'')	over100°C (14'')	over100°C (29'')	62.0°C	81.7°C	48.5°C	64.0°C
Aluminum foil	over100°C (30'')	100°C以上 (20'')	48.2°C	34.2°C	35.4°C	31.7°C	

〈3・3〉 異物設置位置における温度上昇試験 各異物をトランスの様々な位置に設置したときの温度上昇試験を行った。異物の設置位置はトランスの対称性より図 4 の位置 A~F の 6 箇所とした。給電条件、測定条件は前述の温度上昇試験と同様である。

各異物の各設置位置における温度上昇を測定した結果を表 2 に示す。アルミ缶、アルミ箔ではトランス上の位置 A および B にある場合のみ危険温度まで温度上昇し、スチール缶ではアルミ板上の位置 C でも危険温度まで温度上昇した。そこでスチール缶では同様の実験を位置 G でも行ったところ、位置 G では危険温度以下で飽和した。

表中に記載してある時間は給電を開始してから異物の温度が危険温度に達した時間である。温度変化が小さい位置では異物にする鎖交する磁束が少なく、異物が回路に与える影響が小さいと考えられる。よって提案する検知方法がアルミ缶、アルミ箔は位置 A に設置した場合、スチール缶では位置 C に設置した場合に検知可能であれば設置位置を問わず検知可能であるとする。

4. 提案する検知方法

〈4・1〉 検知方法 自動車用非接触給電装置は、前後左右の位置ずれや積荷などによるギャップ長の変動が避けられない。ギャップ長や位置ずれにより回路各部の電圧・電流・電力といったパラメータも変化する。本章ではこれ

らの影響を考慮した検知方法として (I) 一次二次コイルの電圧比($V_{IN} : V_2$)から推定されるトランス効率と実際の効率を比較する効率比較法、(II) 駐車前の二次側なし状態で一次側に定電圧を印加したときの電流値を比較する電流比較法、(III) 伝送損失電力を定時でサンプリングし比較する給電損失比較法を提案する。(I)、(II) は給電前に異物が存在した場合の検知方法で (III) は給電中に異物が混入した場合の検知方法である。

〈4・2〉 効率比較法

〈4・2・1〉 検知方法の概要 この検知方法は自動車の駐車後、給電を開始する前に小電力給電における効率を比較することによって異物の有無を確認する方法である。

トランスの結合係数 k と一次二次コイルの Q を用いると (6)式の理論最大効率は(7)式に変形できる⁽⁴⁾。

$$Q = \frac{\omega \cdot L}{r}, \quad \eta_{\max} = \frac{1}{1 + \frac{2}{k\sqrt{Q_1 Q_2}}} \dots\dots\dots(7)$$

Q はコイルの性能を表わし、位置ずれやギャップ長によってほとんど変化しない。結合係数 k は(3)式の理想変圧器の巻数比 b とほぼ等しい値となることが知られている⁽²⁾。 b は(3)式より一次二次コイルの電圧比より容易に測定可能であるため、給電中において一次二次コイル電圧を測定し、 b を算出することにより効率を推定することが可能である。

金属異物が混入した際の等価回路は図5となる⁽⁵⁾。一次および二次巻線の漏れリアクタンスを x_{11}, x_{21} ，一次および二次巻線と異物回路との相互リアクタンスを x_{10}, x_{20} ，一次および二次の異物回路の漏れ磁束を x_{f1}, x_{f2} ，抵抗を r_{f1}, r_{f2} で示す。図5を図2の回路に変換した場合，異物なし時と異物混入時では x_1, x_2, r_1, r_2 が変わる。まず， x_1 について異物なし時は

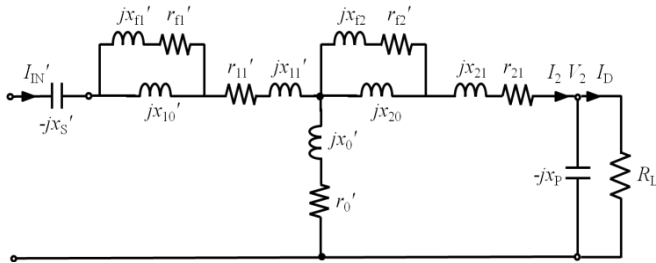


図5 異物混入時の詳細等価回路
Fig. 5. Detailed equivalent circuit with foreign material.

表3 異物混入における回路定数測定結果

Table 3. Transformer parameters.

	Q_1	Q_2	b	k
Nothing	209	181	0.196	0.196
Aluminum can	128	149	0.198	0.199
Steel can	77.1	131	0.200	0.201
Aluminum foil	160	122	0.200	0.196

表4 測定範囲

Table 4. Range of measurement.

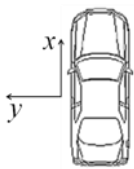


図6 軸設定
Fig. 6. Axis .

Forward direction x [mm]	0~60 (per 20)
Lateral direction y [mm]	0~150 (per 50)
Air gap z [mm]	120±30

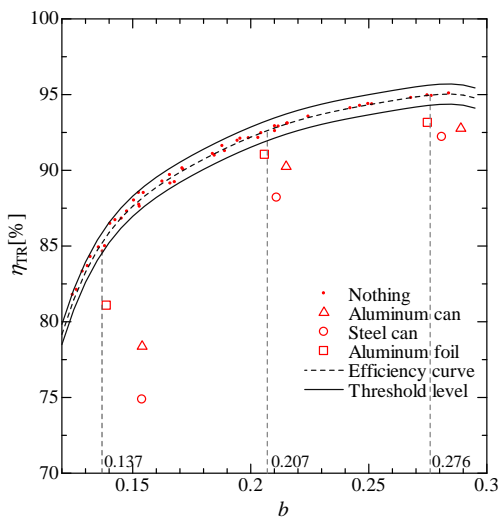


図7 効率比較結果

Fig. 7. Efficiency comparison result.

$$x_1 = x_{10} + x_{11} \dots \dots \dots (8)$$

となり，異物混入時は

$$x_1 = \frac{x_{f1}^2 + r_{f1}^2 + x_{10}x_{f1}}{(x_{f1}^2 + r_{f1}^2 + x_{10}x_{f1}) + x_{10}^2 + x_{10}x_{f1}} \cdot x_{10} + x_{11} \dots \dots (9)$$

となる。(8)(9)式より異物混入時の方が x_1 が小さくなること
がわかる。次に， r_1 について異物なし時は

$$r_1 = r_{11} \dots \dots \dots (10)$$

となり，異物混入時は

$$r_1 = r_{11} + \frac{x_{10}^2 r_{f1}}{(x_{10} + x_{f1})^2 + r_{f1}^2} \dots \dots \dots (11)$$

となる。(10)(11)式より異物混入時の方が r_1 が大きくなること
がわかる。 x_2, r_2 も同様となり，異物混入時は $l(=x/\omega)$ が小
さくなり， r が大きくなるので(7)式より Q が小さくなる。

周波数 50kHz での Q と b を測定した結果を表3に示す。
各異物混入時は表3より b の値はほとんど変化せず， Q の
値が小さくなる。このため異物混入時は b による推定効率
と実際の給電効率に差が生じる。この差が閾値を超えた時，
異物ありと判断する。

ここで，(7)式は〈2・5〉節で述べた通り，鉄損を無視して
いる。しかし鉄損は巻線端子電圧によって決まり， b が等し
い場合，(3)式の理想変圧器特性よりトランス各部の電圧・
電流は等しくなるので鉄損も等しくなる⁽⁶⁾。よって鉄損の影
響を含んでも b によってトランス効率 η_{TR} を推定できる。

しかしながら b の値が等しくても磁界の偏りやフェライ
トコアの温度に差異があると鉄損の大きさが異なる。これ
らの影響を小さくするため低電圧で給電を行う。鉄損はコ
イル電圧に対して2次関数的に増加するので，低電圧で駆
動することによって鉄損の影響を小さくできる。

〈4・2・2〉実験概要 図1の回路の R_L を 30Ω，周波数
50kHz で 200W 給電実験を行い， b と η_{TR} を測定した。

測定範囲は表4の組合せ48点で異物なし状態における測
定を行った。また， b が標準状態，大きい時，小さい時で異
物を混入させ同様の条件の給電実験を行い b と効率を測定
した。異物設置位置は〈3・3〉節で述べた通り，アルミ缶，
アルミ箔は図4の位置A，スチール缶は位置Cとした。

〈4・2・3〉実験結果 b と η_{TR} を測定した結果を図7に示
す。異物なし時の測定点から推定効率曲線を描き，異物な
しと判定する許容範囲を設けた。許容範囲は効率低下 1.33%
(1.5kW 給電で損失 20W) を検知可能となるようにした。

その結果，異物なし時の測定点はすべて許容範囲内に収
まり，各異物混入時は b の大小によらず許容範囲から外れ
検知可能となった。

〈4・3〉 駐車前電流比較法

〈4・3・1〉 検知方法の概要

この検知方法は自動車駐車する直前に，トランスの一次側のみを用いて電流値を比較することによって異物の有無を確認する方法である。

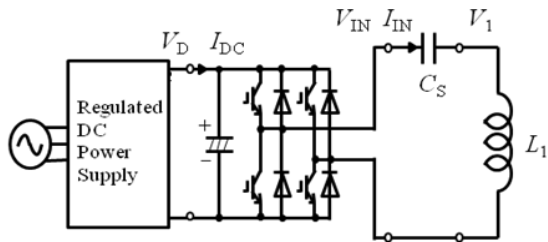


図8 トランス一次側回路
Fig. 8. Primary coil circuit.

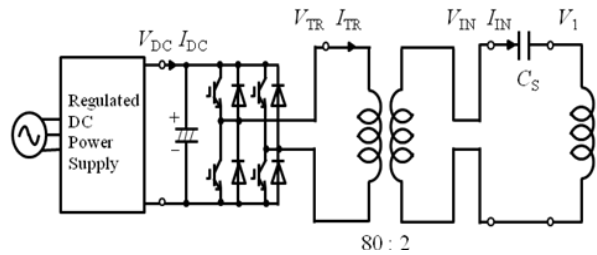


図10 電流比較法実験回路
Fig. 10. Experiment circuit.

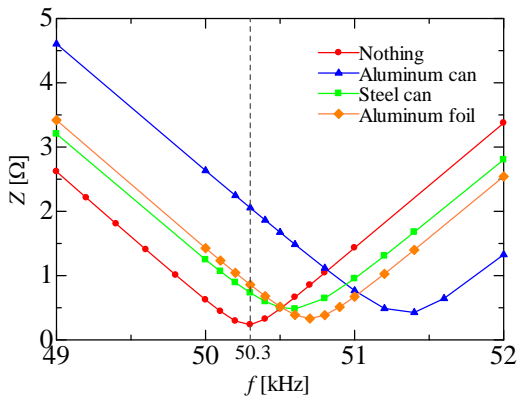


図9 周波数-インピーダンス特性
Fig. 9. Impedance frequency characteristic.

表5 50.3kHzでのインピーダンスの値

Table 5. Impedance.

Foreign material	Z[mΩ]
Nothing	237
Aluminum can	2055
Steel can	733
Aluminum foil	859

この方法は、トランスの二次側なし状態なのでギャップ長や位置ずれの影響を受けない。トランスの一次側のみでは図8のようなLC直列回路となる。この回路のインピーダンスZは回路の抵抗を r_{o1} とすると(12)式となる。

$$Z = \sqrt{r_{o1}^2 + \left(j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_s}) \right)^2} \dots\dots\dots (12)$$

この回路を異物なし時の共振周波数 f_0 で駆動すると式(12)の虚部は異物なし時に0となるが、異物混入時は(8)(9)式と同様にインダクタンスが変化するので0とならない。また、異物混入時に r_{o1} は(10)(11)式と同様に大きくなるので、これらより異物混入時はZが大きくなる。

トランス一次側の各異物混入時の周波数-Z特性を図9に示す。異物なしのとき $f_0=50.3\text{kHz}$ でLC共振となりZが最小となった。各異物混入時は共振のずれや抵抗分の増加より f_0 でのZが3倍~9倍程度に大きくなった。 f_0 での各異物混入時のZの値を表5に示す。

この回路にLC共振周波数の一定電圧を印加したときの I_{IN} を測定する。各異物混入時は表5よりZが大きくなるため I_{IN} が小さくなる。 I_{IN} が閾値以下で異物ありと判断する。

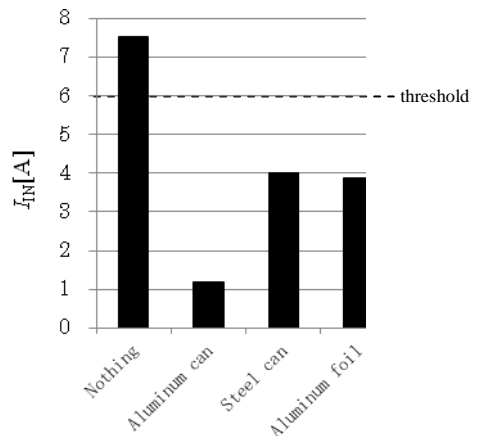


図11 電流比較結果
Fig. 11. Current comparison result.

〈4・3・2〉降圧トランスの接続 表5より回路のインピーダンスが数百mΩと小さい。そのため大電流による V_1 の増加での絶縁破壊に注意する必要がある。低電圧で駆動しなければならない。しかし安価な直流安定化電源として昇圧型PFC回路が用いられた場合、100V商用電源を用いると出力最低電圧が140V程度となってしまふと考えられる。そのため異物検知時のみ図10のように降圧トランスを接続し非接触給電トランスへの印加電圧を下げる必要がある。

〈4・3・3〉実験概要 図10の回路の電源周波数50.3kHz、 $V_{IN}=3\text{V}$ とし、異物なし時と各異物混入時の I_{IN} を測定した。また、降圧トランスの巻数比は80:2とした。異物設置位置はアルミ缶、アルミ箔は図4の位置A、スチール缶は位置Cとした。

〈4・3・4〉実験結果 各異物混入時の I_{IN} を測定した結果を図11に示す。異物なし時と比べ、異物混入時は I_{IN} が小さくなり、閾値を6Aに設けることで設定した異物が検知可能となった。

I_{IN} の変化が表5のインピーダンスの変化ほど大きくなかった。これはインピーダンス測定にはLCRメーターを用い、 I_{IN} が0.1mA程度で測定しているが、給電では I_{IN} が数Aとなるために C_s により一次側巻線端子電圧 V_1 が大きくなり、鉄損が大きくなったため異物混入によるインピーダンスの変化が小さくなったと考えられる。そのため印加電圧を小さくすることで検知精度の向上が期待できる。

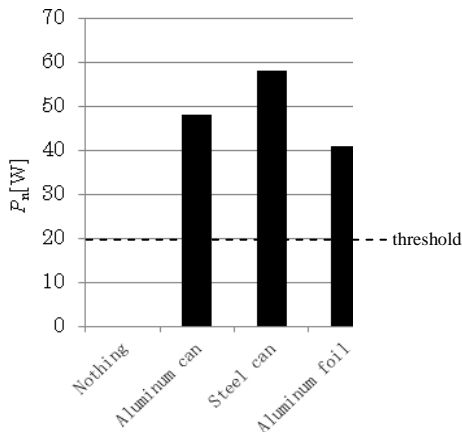


図 12 給電損失比較結果
Fig. 12. Loss comparison result.

〈4・4〉 給電損失比較法

〈4・4・1〉 検知方法の概要 この検知方法は給電中に異物が混入した場合の検知方法である。図 1 の一次側入力電力 P_1 と二次側出力電力 P_2 の差を給電損失(P_1-P_2)とする。 P_1-P_2 を一定時間毎にサンプリングし現サンプリング値(P_1-P_2)_nと前サンプリング値(P_1-P_2)_{n-1}を比較する。あるサンプリング時 n に異物が混入すると(P_1-P_2)_nと(P_1-P_2)_{n-1}との比較値 P_n が異物による損失分だけ大きくなる。 P_n が閾値以上になったとき異物ありと判断する。これを式で表わすと(13)式となる。

$$P_n = (P_1 - P_2)_n - (P_1 - P_2)_{n-1} \dots\dots\dots(13)$$

〈4・4・2〉 実験概要 図 1 の回路の R_L を 30Ω, 周波数 50kHz, ギャップ長 120mm, 位置ずれなしの標準状態で 1.5kW 給電実験を行った。異物なし時と各異物混入時で P_1 と P_2 を測定し, P_1-P_2 を計算した。また, 各異物混入時の P_1-P_2 と異物なし時の P_1-P_2 の差を計算し P_n とした。異物設置位置はアルミ缶, アルミ箔は図 4 の位置 A, スチール缶は位置 C とした。

〈4・4・3〉 実験結果 給電損失を比較した結果を図 12 に示す。各異物混入時は P_n が大きくなり, 閾値を 20W に設定することで設定した異物が検知可能となった。

5. 給電前検知方法の考察

〈5・1〉 効率比較法の考察 効率比較法では b が小さいとき, 異物なし時の測定値と推定効率曲線の誤差が大きくなり, 許容範囲を小さくとることができなかつた。そのためアルミ缶やアルミ箔のように比透磁率が 1 に近く, 電気伝導率の大きい異物では効率低下が小さく, 特に b が大きいときにおいて許容範囲の境界付近に測定されてしまい, これらの検知精度に不安があると考えられる。

しかし, スチール缶のように比透磁率が大きく, 電気伝導率も比較的小さい異物は効率低下が大きいため, この方法で容易に検知することが可能である。

〈5・2〉 電流比較法の考察 電流比較法では共振を利用しているため, アルミ缶やアルミ箔のように電気伝導率が大きい異物の方が共振のずれが大きくなり, 電流値の変化が大きくなり得られた。したがって電流値比較法はアルミ缶やアルミ箔に対し検知精度がよいと言える。

〈5・3〉 給電前検知方法の比較 給電前に異物が存在した場合の検知方法として効率比較法と電流比較法の二法を提案した。効率比較法は, スチール缶のような透磁率が大きく, 電気伝導率の小さい異物に対し検知精度がよい。一方, 電流比較法はアルミ缶やアルミ箔のように電気伝導率が大きい異物に対し検知精度がよい。したがって, この両法を組み合わせると異物検知を行うことが望ましいと考えられる。

6. まとめ

本論文では, 非接触給電装置の金属異物の誘導加熱問題に対する異物検知法として, 給電前では推定効率と実効率を比較する効率比較法とトランスの一次側のみを用いた電流値比較法, 給電中では給電損失を定時でサンプリングし比較する給電損失比較法を提案した。さらに, これらの検知方法で設定した異物が検知可能であることを実験で確認した。また, 給電前の検知方法では効率比較法と電流比較法の二法を提案したが, 効率比較法はスチール素材の異物に対し検知精度がよく, 電流比較法はアルミ素材の異物に検知精度がよいから, これら二法を組み合わせると異物検知を行うことが望ましいと考えられる。

文 献

- (1) 江原夏樹・長塚裕一・金子裕良・阿部 茂・保田富夫・井田和彦:「電気自動車用角型非接触給電トランス」, 電気学会産業応用部門大会講演論文集, 2-25, (2009)
- (2) 藤田敏博・金子裕良・阿部 茂:「直列および並列共振コンデンサを用いた非接触給電システム」, 電学論 D, Vol.127, No.2, pp.174-180(2007)
- (3) 金子裕良・松下真也・及川康史・阿部 茂:「直列および並列共振コンデンサを用いた移動型非接触給電と給電効率」, 電学論 D, Vol.128, No.7, pp.919-925 (2008)
- (4) 遠井敏大・金子裕良・阿部 茂:「非接触給電の最大効率の結合係数 k とコイルの Q による表現」, 電学論 D, Vol.127, No.2, pp.174-180(2007)
- (5) 江原夏樹・岩田卓也・辻 俊明・金子裕良・阿部 茂・保田富夫:「漏れ磁束遮蔽アルミ板付き非接触給電の特性」, 電気学会産業応用部門大会講演論文集, 2-6, (2010)
- (6) 千明将人・長塚裕一・金子裕良・阿部 茂・保田富夫・鈴木 明:「電気自動車用非接触給電トランスの新たなコア構造と鉄損のモデル化」, 電学論 D, Vol.132(2012), No.1, pp.9-16