

令和元年6月14日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06342

研究課題名(和文)送信ループアンテナ係数を利用した液剤中ループアンテナによる近傍磁界強度推定

研究課題名(英文) Estimation of Near-Field Produced by Loop-Antenna Operated in Tissue-Equivalent Liquid Using Transmit Loop-Antenna Factor

研究代表者

石井 望 (Ishii, Nozomu)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：50232236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：スマートフォンのワイヤレス充電などのように、MHz帯の周波数での無線電力伝送が身近な生活シーンで行われるようになった。その電波の安全性を担保するために、比吸収率という指標で人体への電力吸収量が評価される。本研究では、MHz帯の周波数で比吸収率測定を可能とするために、比吸収率測定用液剤中で動作するアンテナが生成する電磁界強度の距離特性を送信アンテナ係数を用いて評価できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機器により制御されるとはいえ、電波を用いたワイヤレス充電を実現する化するためには、その人体への安全性を定量的に測定し、広く社会にオープンにすることが求められる。本研究では、比吸収率という携帯電話やスマートフォンの電波の安全性評価に利用されている指標に着目し、その測定をMHz帯の周波数に拡張するために必要となる、組織等価液剤中におけるアンテナの送信アンテナ係数の決定方法を確立した。これにより、MHz帯の周波数において比吸収率の評価が可能となった。この方法を中核とする比吸収率推定法は当該標準化委員会にインプットされている。

研究成果の概要(英文)：Wireless power transmission at MHz frequency has come to be performed in familiar life scenes, such as wireless charging of smartphones. In order to secure the safety of the radio waves, the amount of power absorbed into the human body is evaluated by the specific absorption rate, SAR, of the device under test. In this research, we can find that it is possible to evaluate the distance characteristics of the electromagnetic fields generated by the antenna operating in the liquid for SAR measurement using the transmit antenna factor to enable SAR measurement at the frequency of MHz band.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：情報通信工学 比吸収率測定 電磁界強度測定 送信アンテナ係数 組織等価液剤 SARプローブ 較正

1. 研究開始当初の背景

(1) 無線電力伝送 (WPT)、近距離通信 (NFC) などの 100kHz 前後から数 MHz までの周波数帯を利用した無線アプリケーションが検討され、実装されつつある。生活空間における電波利用にあたっては、その安全性の確保はアプリケーションの普及にとって重要なファクタである。国内的には人体に及ぼす影響について電波防護指針が定められており、無線機器はその指針値に適合する必要がある。しかしながら、電波防護指針は携帯電話の普及に伴って整備されてきた経緯があり、その中核となっている比吸収率 (SAR) 測定法は IEC 標準化文書において下限周波数が 30MHz まで拡張されているものの、100kHz 前後から数 MHz までの周波数帯に対応するためには測定系の改良が必要であった。

(2) SAR の標準測定法では、人体をファントムで模して携帯電話の使用状況に合わせて配置し、疑似基地局より電波を出射し、ファントム内に生じた電界強度をプローブ (探針) で受信する。このために、プローブの出力電圧と電界強度の関係 (比例係数に相当) を予め決定しておく必要がある。この作業をプローブの較正という。GHz 帯で使用されている SAR 標準測定法を MHz 帯に拡張するためには、このプローブ較正を MHz 帯で実現できればよい。しかしながら、GHz 帯での標準的なプローブ較正法は導波管を利用するため、800MHz 以下の周波数では、導波管サイズが大きくなってしまい、現実的な測定系を組めないという問題が生じる。組織等価液剤中で動作するアンテナによる電磁界強度を 2 アンテナ法で決定する標準アンテナ法は、原理的にはサイズの問題に関係なく、測定系を組めるという利点がある。

(3) 研究開始前、研究代表者は、標準アンテナとしてループアンテナを使用した場合について、周波数 30MHz で送信ループアンテナ係数を決定し、このループアンテナによるその中心軸上の磁界強度を推定できていた。これを MHz 帯 WPT でよく利用される 6.78MHz の周波数に拡張することが研究開始当初の目的であった。

2. 研究の目的

(1) 本研究の最終的な到達目標は、MHz 帯において SAR 測定に利用される電界プローブの較正を実現することである。標準アンテナとしてループアンテナを利用した場合、その中心軸上にプローブ先端を配置し、推定される磁界強度とプローブ電圧の関係を導くのがスマートであるが、実際のところ、ループアンテナの近傍における中心軸上での電界はヌルを示すため、プローブ先端を中心軸からオフセットさせて較正を行う必要が生じることが判明した。このオフセット量の決定、実際に配置する際の位置合わせの困難さ、ループアンテナ自体がほぼ全反射特性を示すことなどの問題を考慮し、標準アンテナとしてループアンテナの代わりにダイポールアンテナを採用することにした。

(2) 初年度当初にダイポールアンテナが液剤中に形成する電界強度を推定し、電界プローブの出力電圧と関連づけることに関する種々の問題に対して検討することの方針転換を行ったため、次項のように研究の目的を変更した。

(3) 無線電力伝送システムの実現に向けて、安全性の評価指標である比吸収率の測定が検討されている。研究代表者は近傍界利得を利用した SAR 測定用プローブの較正について検討を進めてきたが、MHz 帯において測定系が大きくなり、実験室内で測定系の構築が難しいという問題が生じた。これを解決するために、本課題では、標準アンテナとしてダイポールアンテナを採用し、送信アンテナ係数を利用したプローブ較正法に関して

- ① ダイポールアンテナを用いた標準電界推定が可能となる範囲のシミュレーションおよび実験的検討
- ② ダイポールアンテナにいる標準電界強度の距離特性に関するあてはめ曲線の検討
- ③ 180 度ハイブリッド結合器を利用した平衡給電ダイポールアンテナの改良

について検討する。これにより、大規模な水槽を要することなく、MHz 帯における SAR 標準測定が実現可能となる。

3. 研究の方法

(1) 送信アンテナ係数を利用して標準ダイポールアンテナが生成する電界強度を評価する方法について、従来法の定式化をトレースするとともに、損失媒質中であること、微小であることを考慮した、より厳密な定式化への改良を試みる。その際、モーメント法などの数値シミュレーションにより微小ダイポールアンテナに流れる電流分布の形を調べ、区分的ハイパボリック正弦関数により電流分布を表現してよいかを確認する。

(2) 定式化した電界強度推定法について、モーメント法によりその定式化の有効性を確認する。特に、室内に設置可能な水槽内の液剤という拘束条件の下で、この推定法が精度の観点から適用できる距離範囲を明らかにする。推定される電界強度を有理多項式による曲線あてはめを行う。

(3) 数値シミュレーションにより検証した使用可能範囲において、定式化した電界強度推定法

を測定により検証する。具体的には、180度ハイブリッド結合器を利用した平衡給電ダイポールアンテナを組織等価液剤(食塩水)内で対向させ、距離を変化させてSパラメータを測定し、送信アンテナ係数の距離特性を算出する。その結果を数値シミュレーションと比較し、妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) 組織等価液剤中において、微小ダイポールアンテナを対向させ、その間のSパラメータを測定することにより、送信アンテナ係数の距離特性を決定することができることを理論的に明らかにした。決定された送信アンテナ係数を用いて、微小ダイポールアンテナが生成する電界強度を距離の関数として表すことが可能となる。以上の解析的な導出をモーメント法による電磁界シミュレーションおよび実験により検証している。次項以降、数値シミュレーションおよび実験の結果に関する成果等を列挙する。

(2) 図1に示すように、損失媒質中に2つの同一ダイポールA, Bをx軸に平行に配置する。ダイポールの長さを $l = l_A = l_B$ とし、ワイヤ半径を1.1mmとし、ワイヤの導電率を $5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$ とする。 $|z| \leq 10 \text{ mm}$ の部分、比誘電率 $3.0 - j0.0$ 、厚さ5mmの無損失誘電体で被覆する。このように、一部が被覆されたダイポールを0.074 mol/l (0.432%)の食塩水に浸す。周波数は6.78 MHzとする。液温 25°C のとき、食塩水の複素比誘電率は $\epsilon'_r - j\epsilon''_r = 77.4 - j1999$ であり、波長は $\lambda_e = 1372 \text{ mm}$ である。電磁界シミュレーションはRichmondのモーメント法(MoM)を利用する。

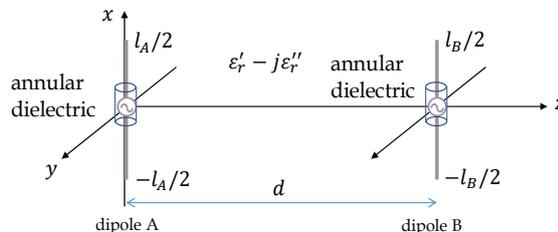


図1 損失媒質中におけるダイポール配置

(3) ダイポールの長さを選ぶ際の目安とするため、ダイポール長をパラメータとして、平均電界強度 $|E_{av}|$ の距離特性を比較検討した。図2はダイポール長100mmの場合の距離特性を示す。実験室内で利用できる水槽の大きさを考慮し、アンテナからの距離が60mmから100mmの範囲でプローブ較正を実施することを前提とする。このとき、ダイポール長 $l = 100 \text{ mm}$ と $l = 150 \text{ mm}$ のダイポールとの間のレベル差は2dB以内であったことから、標準ダイポールとして $l = 100 \text{ mm}$ のダイポールを選択しても構わない。しかしながら、 $l = 30 \text{ mm}$, $l = 50 \text{ mm}$ のダイポールを選択すると、電界強度レベルが $l = 100 \text{ mm}$ に比べて5~10dB低下するため、測定系のダイナミックレンジを確保するという観点から好ましくない。以上により、標準ダイポールとして長さ $l = 100 \text{ mm}$ のダイポールを選択する。

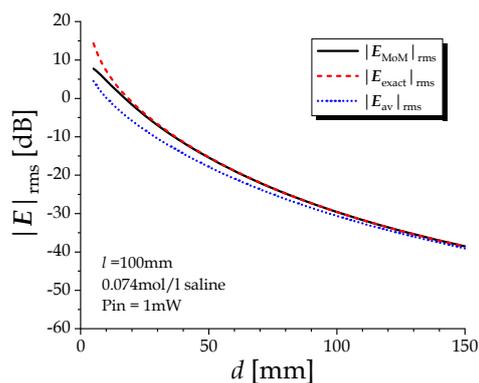


図2 電界強度の距離特性 ($l = 100 \text{ mm}$)

(4) 図3に、ダイポール長が $l = 100 \text{ mm}$ の場合について、ダイポールアンテナ間のSパラメータの距離特性の測定値とMoMによる計算値を示す。 $|S_{21}|$ については、 $d \geq 80 \text{ mm}$ の範囲では、測定値とMoMによる計算値はよく一致している。図4に、送信アンテナ係数の大きさの距離特性の測定値とMoMによる計算値を示す。 $|S_{21}|$ の一致していた範囲、すなわち、 $d \geq 80 \text{ mm}$ の範囲では、両者はよく一致する。この一致する範囲で、電界強度較正を実施することが望まれる。

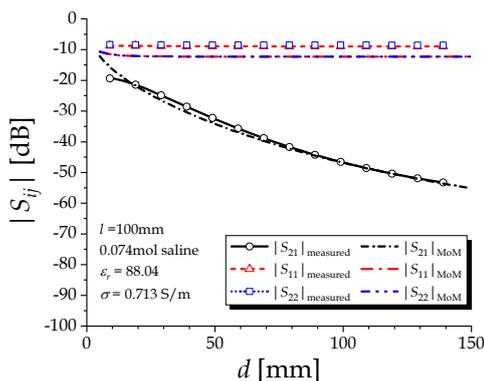


図3 Sパラメータの距離特性 ($l = 100 \text{ mm}$)

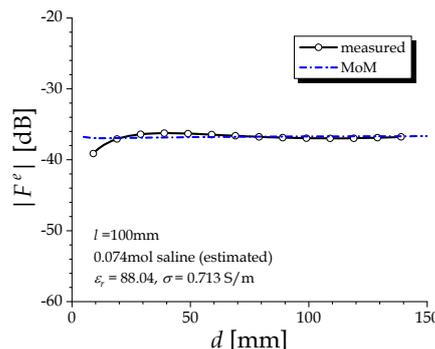


図4 送信アンテナ係数の距離特性 ($l = 100 \text{ mm}$)

(5) 本課題では、液剤中で動作する標準ダイポールアンテナの送信アンテナ係数を2アンテナ法により決定し、平均電界強度を推定する方法を提案した。またMoMによるシミュレーションにより、具体的に実験室に設置可能な水槽サイズから、ダイポールアンテナの長さを決定した。さらに、プローブ較正のための実験系を構築し、標準ダイポールアンテナの送信アンテナ係数を決定した。以上の結果を利用すれば、標準ダイポールアンテナが生成する電界強度の距離特性が評価でき、電界プローブの較正が可能となる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計10件)

- ① 石井望, 小原大貴, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 渡辺聡一, 導電媒質における微小ダイポールアンテナによる電界, 2019年電子情報通信学会総合大会, B-1-118, p.118, 東京, Mar.2019.
- ② 石井望, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 浜田リラ, 渡辺聡一, 微小ダイポールアンテナによる液体中電界強度距離特性較正法の改良, 信学技報, AP2018-62, pp.119-124, 札幌, July 2018.
- ③ 石塚雄大, 石井望, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 浜田リラ, 渡辺聡一, "食塩水中における微小ダイポールアンテナの伝達特性", 平成29年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 4D-2, p.73, 長野, Oct. 2017.
- ④ 武笠龍, 石井望, 浜田リラ, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 渡辺聡一, "空気境界近傍に配置された水中ダイポールアンテナ間のS21測定", 平成29年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 4D-1, p.72, 長野, Oct. 2017.
- ⑤ 石井望, 郭育維, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 浜田リラ, 渡辺聡一, MHz帯食塩水内における微小ダイポールアンテナ間電力伝送係数の3次元測定, 無線端末・アンテナシステム測定技術研究会資料, AMT2017-2, pp.7-12, 与那国, May 2017.
- ⑥ 郭育維, 石井望, 浜田リラ, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 渡辺聡一, "MHz帯における液体中ループアンテナ間の近傍伝達特性測定", 平成28年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 4D-2, p.56, 長岡, Oct. 2016.
- ⑦ 武笠龍, 石井望, 浜田リラ, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 渡辺聡一, "空気境界近傍に配置された水中ダイポールアンテナ間のS21測定", 平成29年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 4D-1, p.72, 長野, Oct. 2017.
- ⑧ 石井望, 浜田リラ, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 渡辺聡一, 液体中動作微小ダイポールアンテナによる電界強度の距離特性較正法の提案とそのシミュレーション, 信学技報, AP2016-91, pp.19-24, つくば, Sep. 2016.
- ⑨ N. Ishii, L. Hamada, J. Chakarothai, K. Wake and S. Watanabe, "Derivation of some expansions of near-field gain of antennas in lossy medium," Proc. URSI AP-RASC 2016, A1-2, pp.796-798, Seoul, South Korea, Aug. 2016.
- ⑩ 石井望, 浜田リラ, チャカロタイ ジェドウィスノブ, 和氣加奈子, 渡辺聡一, 損失媒質中における電磁界および近傍界利得の展開, 信学技報, AP2016-49, pp.73-78, 小樽, July 2016.