

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310022

研究課題名(和文) 共鳴送電による無線電力供給から発生する電磁環境の安全性評価

研究課題名(英文) Safety assessment of the electromagnetic fields generated from wireless power transfer system using resonant coupling

研究代表者

宮越 順二 (MIYAKOSHI, JUNJI)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：70121572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円、(間接経費) 4,470,000円

研究成果の概要(和文)：細胞曝露装置の作製については、共鳴周波数12.6MHz、伝送効率72.4%を主ピークとした伝送特性を示した。さらに送電伝送効率の改善に取り組み、培養条件である温度37℃、湿度100%、二酸化炭素濃度5%等を満足し、伝送効率85.4%の単一ピークを示す伝送特性に改善した。磁界強度は、電磁界シミュレータにより、最大送電時に約170A/mであった。また、電界強度は約160V/m、比吸収率は約24W/kgであった。培養環境の安定性については、細胞基本動態の評価に取り組んだ。細胞の遺伝毒性評価については、コメットアッセイおよび小核試験に取り組み、その結果、共鳴送電下において有意な影響は観察していない。

研究成果の概要(英文)：For manufacturing of exposure device, the specifications are as follows; the main peak operating resonance frequency 12.6MHz, a 72.4% transmission efficiency. We made efforts to improve the resonance transmission efficiency. Finally, it is possible to satisfy the cell culture conditions, such as the 37 degree, 100% humidity, 5% CO2, and the transmission characteristics shows a single peak at 85.4% transmission efficiency. By the electromagnetic field simulator, the magnetic field strength for cell exposure was about 170A/m at maximum power transmission. In addition, the electric field strength was about 160V/m, and the specific absorption rate was 24W/kg. The stability of the cell culture environment, we had performed that the work on the evaluation of the fundamental cell kinetics. For cellular genotoxic assessment, we had done both micronucleus test and comet assay. From these results, no significant effects were observed under exposure to electromagnetic fields.

研究分野：環境学

科研費の分科・細目：環境解析学・環境影響評価

キーワード：健康影響評価 電磁波影響評価 無線電力伝送 共鳴送電 細胞遺伝毒性

1. 研究開始当初の背景

近年、家庭内やオフィス内で用いる電化製品の増加に伴い、電源コードレス化の観点から無線電力供給技術の実用化が期待されている。従来の無線電力供給技術としては、電磁誘導方式、マイクロ波送電方式、レーザ送電方式といった技術がある。電磁誘導方式の場合、コードレス電話の充電器等で既に実用化されているものの、ごく近い距離でしか電力供給できないことや送電側と受電側の位置あわせが必要である。また、マイクロ波送電方式、レーザ送電方式の場合、送電側と受電側の精細な位置あわせの必要性に加えて、容易に伝送が遮蔽される。これらの方式は伝送効率に課題が残ること等の理由から、電化製品の電源コードレス化に対する実用化には不向きであった。

このような状況において、2006年に提案された共鳴送電方式は、コイルとコンデンサを共振器として用い、送電側回路と受電側回路双方の共振による電磁結合を原理とする無線電力供給技術であり、高効率で数cmから数mの伝送の可能性を有する。この利点から、国内外において実用化に向けた技術開発が進められており、近い将来、電化製品の電源コードレス化への適用をはじめ、電気自動車への駐車中、走行中の充電への適用が期待されている。

一方、生活環境における電磁波の利用に伴い、電磁波の生体に対する影響について、発がんをはじめとして、社会的な不安が生じ、国際的にも議論が活発に行われている。共鳴送電によるエネルギー伝送から発生する電磁環境の生体に対する安全性についても同様である。生体影響評価の中でも、細胞生物学的影響評価は、疫学研究や動物研究に比べ、比較的安価で、国際的にも盛んに行われている。特に、変異原性やがんの誘発に結びつくと考えられている細胞生物学的指標(遺伝毒性の指標)について検討されている。遺伝毒性の指標には、小核形成、DNA鎖切断、突然変異などがある。また、高周波電波が細胞の諸機能へ影響を与えている可能性として、熱ショックタンパクを代表とするストレスタンパクの発現に関して研究が行われ

ている。

2. 研究の目的

家庭内電化製品や電気自動車への無線電力供給技術として、共鳴送電の実用化がせまっている。我々の生活空間における電磁環境は益々多様化し、発がんをはじめとした、その安全性については、世界保健機関(WHO)も1996年に電磁界プロジェクト(EMF project)を立ち上げ、各国に影響評価を推奨している。低周波電磁場の安全性評価研究は欧米と日本を中心として進められてきた。しかしながら次世代の送電技術である共鳴送電により生ずる電磁環境の生体影響評価はほとんど行われていない。このような背景から、本研究課題では、共鳴送電で発生する電磁環境を細胞に曝露可能な装置を作製する。

細胞レベルの発がん評価として、遺伝毒性への影響を検索する。これらの成果から、共鳴送電の安全性評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

以下の通り実施した。

共鳴送電方式は、送電側回路(コイル)と受電側回路(コイル)双方の共振による電磁結合を原理としており、図1に示すとおり、以下の回路構成であらわされ、また、供給効率 η は以下の式であらわされる

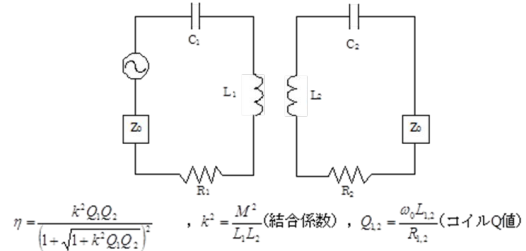


図1 共鳴送電の回路構成と供給効率

この式が示すとおり、共鳴送電の供給効率は、結合係数 k と送電側回路、受電側回路双方のコイル Q 値によって決定されるため、一定のギャップ長において共鳴送電の実験を行う場合には、如何に高コイル Q 値を実現するか、また、高結合係数を実現するかが課題である。共鳴送電方式を最初に提案した米国MITの実験装置では、

10MHzの周波数帯域において、理論 Q 値2500の設計に対し、実測では950程度の Q 値しか得られておらず、その供給効率はギャップ長が1.8mの場合で45%という状況である。(基本情報)

周辺電磁環境評価および生体への安全性評価実験に用いることを視野に入れて、供給効率の良い共鳴送電装置を製作するため、高コイル Q 値の送受電回路の設計を行った。具体的には、一般的な円形コイル、矩形コイルをベースに、コイルの半径、コイルの長さ、コイルの間隔、コイル巻き数、コイル線直径などをパラメータとした最適な形状を設計する。さらに、一般にコイルに用いられている銅線だけでなく、より抵抗の低い金属線、インダクタンス向上を目的とした磁性材料によるメッキ線を用いるなど、適切な材料選定を行ない、ギャップ長1m~2m程度の範囲において高効率(80%程度以上を目標とする。)な装置の設計を行った。また、共鳴送電の実用化に向けて、1つの送電側回路に対して複数の受電側回路という構成を含め、高結合係数を目指した送電側回路と受電側回路の配置について検討を行った。

また、製作した電磁波曝露装置の細胞培養環境について、その安定性を確立させるための基礎実験を進める。具体的には、曝露装置内で、細胞の基本動態について調べる。検討指標は、細胞増殖、コロニー形成能、細胞周期分布について行った。

遺伝毒性評価から、細胞内DNA鎖切断・損傷を評価するため、小核形成試験ならびに comet assay を行った。

製作した共鳴送電装置を用いて無線電力供給時の周辺電磁環境評価に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) システム構成

製作したばく露システムの外観を図2に示す。CO₂インキュベータ(Model BNA-111, ESPEC; 内寸法:幅 480mm × 奥行 480mm × 高さ 585mm)に電力伝送用のコイル等を配置している。送受電用コイルはヘリカルコイル型を採用しており、コイル材料には外径 6mm、内径 4.2mm の銅パイプを用いている。これはコイル自体の発熱を抑制するためにパイプ内に冷却水を通水するためである。送受電用コイルの直径は 200mm、コイル巻数は 10 巻、送電用コイルのピッチは 10mm、受電用コイルのピッチは 8mm である。また、送電用コイルと受電用コイルの間隔は 100mm である。CO₂インキュベータ外部に設置した高周波電源(Model T161-5356AEM, サムウエイ; 最大出力 200W, 発信周波数 8MHz ~ 15MHz) から電力供給を受ける給電側コイル、および受電電力を CO₂インキュベータ外部の負荷(200W 白熱電球)に伝達するための負荷側コイルは、直径 1.4mm の銅線を用いており、コイル直径は 200mm である。送電用コイルと受電用コイル間の4枚の細胞培養皿(60mm)は、その下の水冷式冷却装置により 37 温度に維持される。

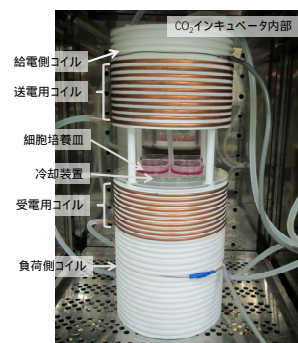


図2 ばく露システムの外観

(2) 電力伝送特性評価

開発したばく露システムの電力伝送特性の評価には、パワーメーター(Model N8481B, アジレントテクノロジー)および有限要素法解析ソフト(HFSS version 13.02, Ansoft)を用いた。伝送効

率の評価結果を図 3 に示す。共振周波数 12.5MHz において伝送効率率は約 85%であり、また、実測結果と HFSS による解析結果との間に良い一致が確認できた。

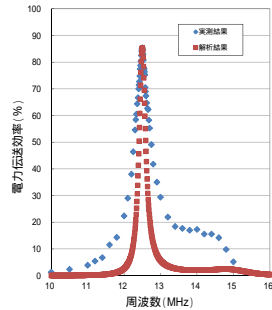


図 3 伝送効率評価結果

(3) 電磁ばく露環境評価

構築した HFSS 解析モデルを用いて磁界強度分布の解析を行った。細胞培養位置における磁界強度は、ICNIRP のガイドラインで定められる磁界強度 80A/m の約 2 倍を実現している。各細胞培養皿位置における平均磁界強度および標準偏差、範囲内の最大値・最小値を算出した(メッシュ:0.1mm×0.1mm)結果を表 1 に示す。電磁波の生体影響評価に用いられるばく露システムは一般に ±3% から ±5% 程度の均一性を有するものが用いられている。開発したばく露システムにおいてはポジション A, B, C を細胞ばく露に用いることとし、ポジション D は光ファイバー温度計による培地温度モニタリングに用いることとした。

表 1 各細胞位置における平均磁界強度および分布

| 細胞位置 | 平均磁界強度 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
|--------|----------|-------------|-----------------|-----------------|
| ポジションA | 168.7A/m | ±2.2(±1.3%) | 174.8A/m(+3.6%) | 162.4A/m(-3.7%) |
| ポジションB | 170.5A/m | ±2.2(±1.3%) | 178.0A/m(+4.4%) | 166.6A/m(-2.3%) |
| ポジションC | 167.4A/m | ±1.7(±1.0%) | 173.6A/m(+3.7%) | 163.8A/m(-2.1%) |
| ポジションD | 171.2A/m | ±2.3(±1.3%) | 180.4A/m(+5.4%) | 167.8A/m(-2.0%) |

(4) 細胞培養環境評価

製作したばく露システムが厳密な細胞培養環境を維持していることを確認するため、ばく露システムにおいて高周波電源を入力しない状態で実際に細胞(ヒト胎児肺由来繊維芽細胞

WI38VA13 subcloned 2RA)を培養するとともに、厳密な細胞培養環境を維持していることが確認できている別の CO₂ インキュベータを用いて同様に細胞を培養し、細胞の基本動態である細胞増殖能力および細胞周期分布について比較評価を行った。

細胞増殖能力の評価結果を図 4 に示す。横軸は細胞の培養時間を示している。縦軸は各培養時間断面における細胞数であり培養開始時の細胞数(2×10⁵個)に対する相対比で示している。ばく露システムで培養した細胞の増殖カーブと比較用の CO₂ インキュベータで培養した細胞の増殖カーブに有意な差異は見られなかった。

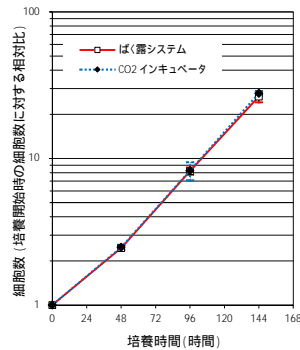


図 4 細胞増殖能評価結果

これらの結果から、製作したばく露システムは細胞培養に対して厳密な培養環境を維持していることが確認できた。

(5) 細胞遺伝毒性評価結果

細胞の遺伝毒性指標として、国際的にも代表的に用いられている、小核形成試験ならびに DNA 鎖切断の有無を解析するコメットアッセイを行った。ヒト胎児肺由来繊維芽細胞(WI38VA13 subcloned 2RA)を用いて、基本動態試験で用いたばく露条件では、小核試験、コメットアッセイ試験とともに、ばく露による有意な影響は観察されなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

Junji Miyakoshi: Cellular and Molecular Responses to Radio-Frequency Electromagnetic Fields. Proceedings of the IEEE. Vol.101 (6); 1494-1502, June 2013. (<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6492114>)

Junji Miyakoshi: Electromagnetic fields and environmental health. An Environmental Journal for the Global Community, SANSAL, No. 6: 53-60, 2012 (<http://hdl.handle.net/2433/170267>)

Kohei Mizuno, Junji Miyakoshi, and Naoki Shinohara; Coil design and dosimetric analysis of a wireless energy transmission exposure system for in vitro study. IMWS-IWPT, 79-82, 2012. (<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=06215824>)

[学会発表] (計 6 件)

宮越順二、水野公平、成田英二郎、小山眞、三谷友彦、篠原真毅、ワイヤレス共鳴送電の生体影響評価 ～ばく露装置と細胞研究～、電子情報通信学会総合大会(招待講演)、2014年3月18-21日、(新潟大学)

水野公平、宮越順二、篠原真毅、細胞研究のための新たな共鳴結合無線電力伝送システム、電子情報通信学会無線電力伝送研究会、2014年1月30-31日、(佐賀大学本庄キャンパス理工学部 6号館 2階多目的セミナー室)

Kohei Mizuno, Eijiro Narita, Shin Koyama, Tomohiko Mitani, Naoki Shinohara, Yukihisa Suzuki², Masao Taki, and Junji Miyakoshi, New in vitro wireless power transfer exposure system and effects of radio-frequency fields

on T cell dependent antibody responses (TDAR), International Symposium on Frontier Researches in Sustainable Humanosphere 2013, 2013年11月27-28日、(京都大学宇治おうばくプラザ きはだホール)

Kohei Mizuno, Junji Miyakoshi, Naoki Shinohara, New in vitro wireless power transfer exposure system using resonant coupling, Asia-Pacific Radio Science conference, 2013年9月3-7日、(Howard International House, Taipei city, Taiwan)

Kohei Mizuno, Junji Miyakoshi, Naoki Shinohara, Characteristics of new in vitro exposure system using resonant coupling wireless power transfer, Bioelectromagnetics annual meeting, 2013年6月10-14日、(Conference Center of Thessaloniki Concert Hall, Greece)

Kohei Mizuno, Junji Miyakoshi, Naoki Shinohara, Coil design and manufacture of in vitro exposure system for wireless power transfer using resonant coupling phenomenon, Asia-Pacific International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, 2013年5月20-23日、(Melbourne Cricket Ground, Melbourne, Australia)

[産業財産権]

なし

取得状況(計 件)

なし

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮越 順二(MIYAKOSHI JUNJI)
京都大学・生存圏研究所・特定教授
研究者番号:70121572

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

篠原 直毅(SHINOHARA NAOKI)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号: 10283657

三谷 友彦(MITANI TOMOHIKO)
京都大学・生存圏研究所・准教授
研究者番号: 60362422

小山 眞(KOYAMA SHIN)
京都大学・生存圏研究所・特任講師
研究者番号: 10465487