

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

水野 公平[†] 宮越 順二 篠原 真毅

京都大学 生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

E-mail: [†] mizuno.kohei.67z@st.kyoto-u.ac.jp

あらまし 近年、新しい無線電力伝送技術として共鳴結合方式が注目を集めており多くの研究が進められている。しかし、共鳴結合無線電力伝送下における生体影響の可能性を実験的に評価した例はない。本研究では、共鳴結合無線電力伝送下における生体影響の可能性を評価することを目的に、安定した共鳴結合無線電力伝送環境、国際的なガイドラインを踏まえた電磁ばく露環境、厳密に管理された細胞培養環境を兼ね備えた、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の開発に取り組んだ。今後、開発したシステムを用い、細胞の基本動態や遺伝毒性を指標とした評価を実施することにより生体影響の可能性を明らかにしていく。

キーワード 共鳴結合, 細胞研究, 生体影響, ICNIRP ガイドライン

New wireless power transfer system using resonant coupling for in vitro study

Kohei MIZUNO[†] Junji MIYAKOSHI and Naoki SHINOHARA

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University Gokashi, Uji, Kyoto, 611-0011 Japan

E-mail: [†] mizuno.kohei.67z@st.kyoto-u.ac.jp

Abstract New EMF related wireless power transfer technology using resonant coupling phenomenon become the focus of attention. This technology has been studied by many researchers. However, the experimental evaluation of the possible relationship between this wireless power transfer exposure and human health is not performed. In this study, we manufactured a new wireless power transfer system using resonant coupling for in vitro study to evaluate the biological effect of this wireless power transfer exposure on cell functions. In order to evaluate the biological effects of this wireless power transfer exposure, our study is in progress by using our manufactured in vitro system.

Keyword Resonant coupling, In vitro study, biological effect, ICNIRP guideline

1. はじめに

現代社会は、生活環境で目には見えない電磁波があふれている。身の回りの電磁波の発生源としては、高圧送電線、家電製品、携帯電話とその基地局、医療の電磁波機器など様々である。このような電磁波の健康影響の可能性についてはこれまでから人々の関心を集め、多くの研究が実施されてきた。

近年、電磁波を活用した新しい無線電力伝送技術として共鳴結合方式が注目を集めている。この方式は従来から実用化されているコイル対による電磁誘導方式を拡張したもので、送電側と受電側のコイルの共振周波数を一致させることで電力伝送効率を飛躍的に向上させることが可能であり実用化に向け多くの研究が進められている。しかし、共鳴結合無線電力伝送下というこれまでにない環境下における生体影響の可能性を実験的に評価した例はない。

電磁波の生体影響評価に用いられる手法の一つに細胞研究がある。この手法は、厳密に管理された細胞培養環境の下で実際に人や動物の細胞を培養し、同時

に特定の強度の電磁波を均一にばく露させることにより生体への影響の可能性を実験的に評価することが可能である。細胞培養には 37°C 温度、5% 二酸化炭素濃度、飽和湿度等の環境を厳密に維持する必要があり、金属管体の恒温細胞培養器 (CO₂ インキュベータ) が一般に活用されている [1-5]。しかし厳密な培養環境を維持するために CO₂ インキュベータ内部の寸法は限定され、また、共鳴結合無線電力伝送では周囲の金属物が伝送特性に影響をおよぼすことが知られている [6-7]。

本研究では、共鳴結合無線電力伝送下における生体影響の可能性を細胞研究により評価することを目的に、CO₂ インキュベータを活用し、安定した共鳴結合無線電力伝送環境、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) の定めるガイドライン [8] を踏まえた電磁ばく露環境、厳密な細胞培養環境を兼ね備えたばく露システムの開発に取り組んだ。

2. システム構成

製作したばく露システムの外観を図 1 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 100 mm 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。

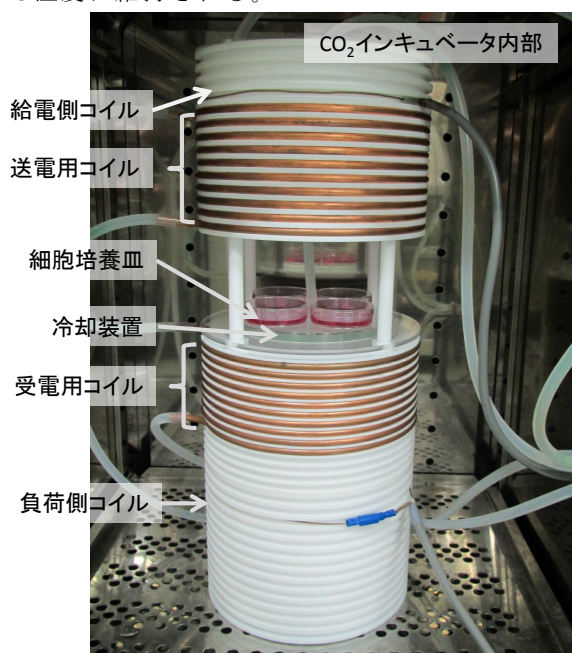


図 1 ばく露システムの外観

3. 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 2 に示す。共振周波数 12.5MHz において伝送効率は約 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。

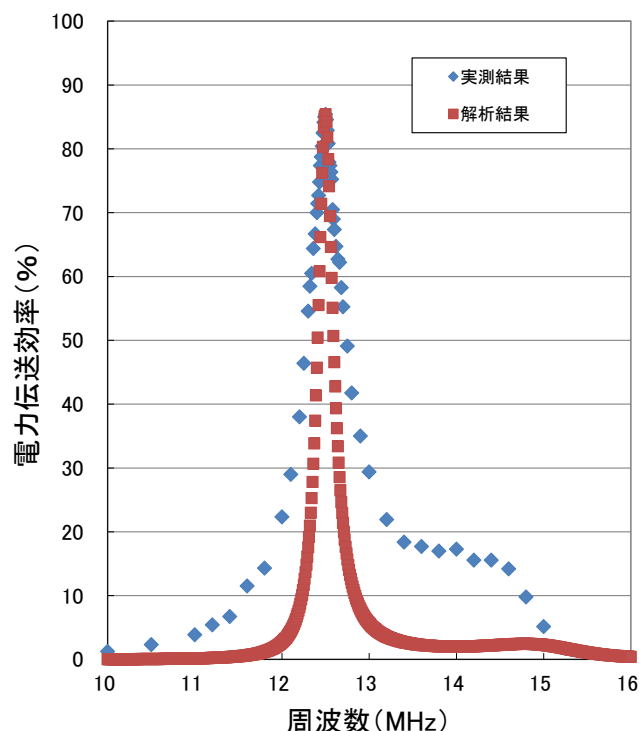


図 2 伝送効率評価結果

4. 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。図 3 は入力電力 200W における磁界強度分布 (垂直断面) である。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。次に、細胞培養皿底部における磁界強度分布 (水平断面) を図 4 に、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 [1-5]。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%)

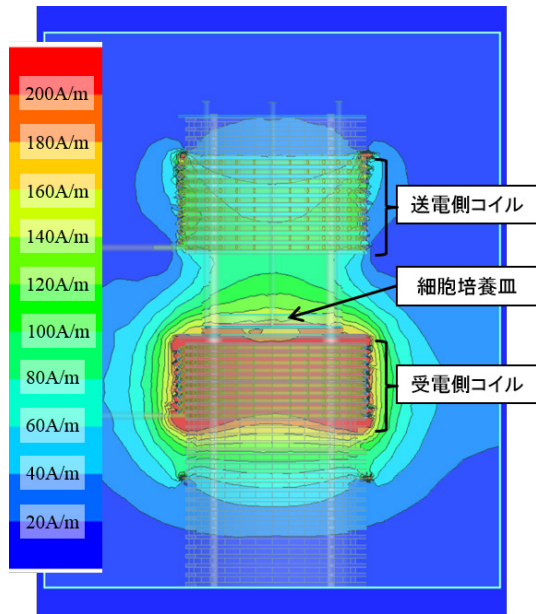


図3 磁界強度分布解析結果（垂直断面）

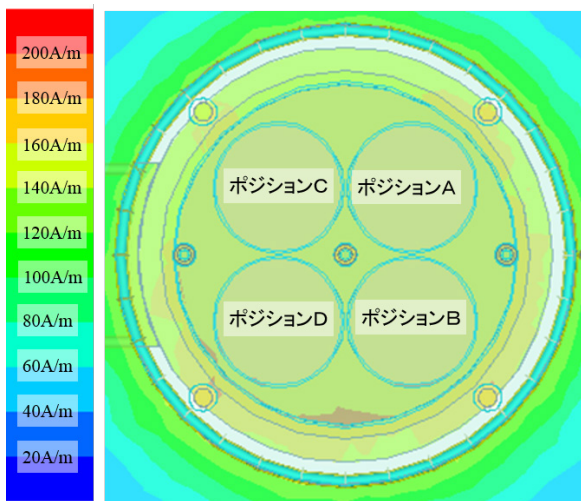


図4 磁界強度分布解析結果（水平断面）

5. 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5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（ 2×10^5 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6は、培養開始から48、96、144時間後の時点における細胞周期分布の評価結果である。細胞の増殖は、細胞の分裂期（M期）、第1間期（G₁期）、DNA合成期（S期）、第2間期（G₂期）を周期的に繰り返すことで行われるが、それぞれの時点において、細胞周期分布割合に有意な差異は見られなかった。

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。

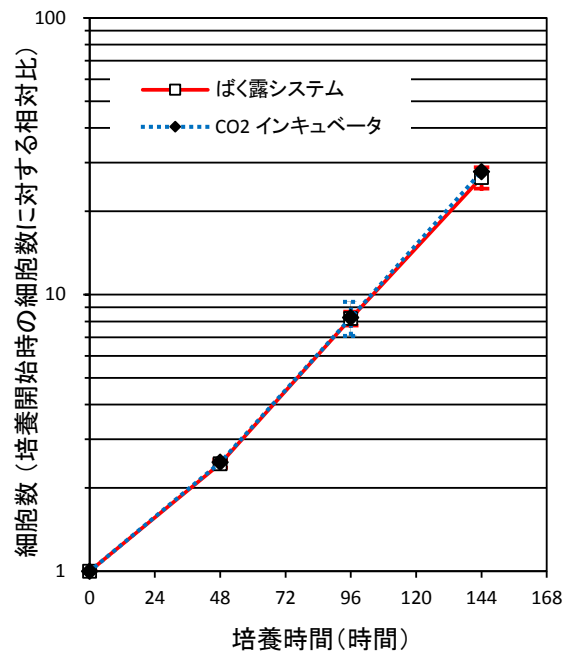


図5 細胞増殖能評価結果

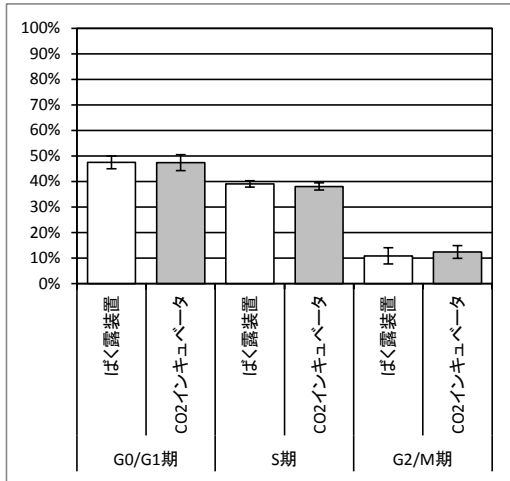
6. 今後の取り組み

共鳴結合無線電力伝送下における生体影響の可能性を細胞研究により評価することを目的に、CO₂インキュベータを活用して新たなばく露システムの開発に取り組んだ。本システムは共振周波数12.5MHzにおいて約85%の伝送効率を有し、ICNIRPガイドライン値の約2倍の磁界強度を実現している。さらに実際の細胞を用いた基本動態評価により、厳密な細胞培養環境を保持することが確認された。

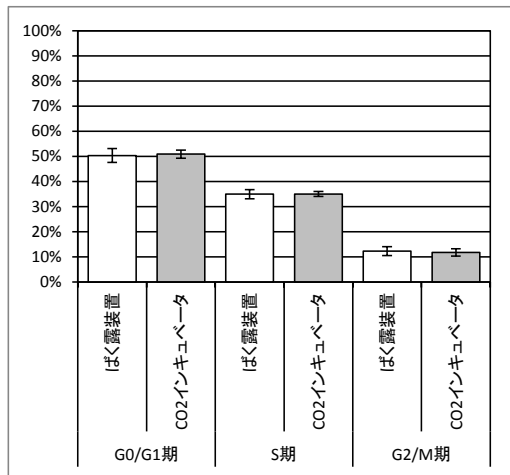
今後、高周波電源を投入し、実際の共鳴結合無線電力伝送下において細胞の基本動態や遺伝毒性を指標とした比較評価を実施することにより、生体影響の可能性を明らかにしていく。

謝辞

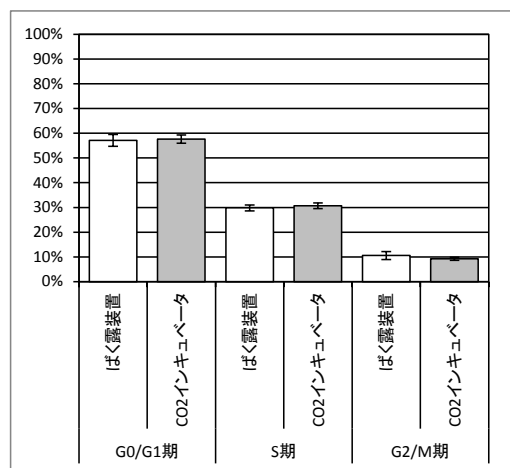
本研究の一部は文部科学省科学研究費（2331022）および新領域開拓特別研究費の助成を受けた



(a) 培養開始から 48 時間後



(b) 培養開始から 96 時間後



(c) 培養開始から 144 時間後

図 6 細胞周期分布評価結果

文 献

- [1] Yamazaki K, Fujinami H, Shigemitsu T, and Nishimura I, Low stray ELF magnetic field exposure system for in vitro study. Bioelectromagnetics vol.21, pp.75-83, 2000.
- [2] Fujita A, Kawahara Y, Inoue S, and Omori H, Development of a higher power intermediate frequency magnetic field exposure system for in vitro studies. Bioelectromagnetics. Vol.31, pp.156-163, 2010.
- [3] Miyakoshi J, Horiuchi E, Nakahara T, and Sakurai T, Magnetic fields generated by an induction heating (IH) cook top do not cause genotoxicity in vitro. Bioelectromagnetics vol.28, pp.529-537, 2007.
- [4] Sakurai T, Yoshimoto M, Koyama S, and Miyakoshi J, Exposure to extremely low frequency magnetic fields affects insulin-secreting cells, Bioelectromagnetics vol.29, pp.118-124, 2008.
- [5] Sakurai T, Narita E, Shinohara N, and Miyakoshi J, Intermediate frequency magnetic field at 23 kHz does not modify gene expression in human fetus-derived astroglia cells, vol.33, pp.662-669, 2012.
- [6] 水野嘉祐, 小泉正剛, 小紫公也, 荒川義博, “金属に囲まれた空間内における共鳴エネルギー伝送”, 無線電力伝送時限研究会 2011-2, pp.7-12, July, 2011.
- [7] 山川将人, 水野嘉祐, 石田隼, 小泉宏之, 小柴公也, “地場共振結合を用いた金属閉空間内への無線電力伝送”, 無線電力伝送時限研究会 2013-2, pp.6-9, April, 2013.
- [8] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz-100kHz), Health Physics vol.99, PP.818 - 836, 2010.