

令和 2 年 9 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01887

研究課題名(和文)無線エネルギー送受電システム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 electromagnetic environment generated from wireless energy transfer system

研究代表者

宮越 順二 (Miyakoshi, Junji)

京都大学・生存圏研究所・特任教授

研究者番号：70121572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：国際的な電波の汎用化に伴って、人への健康影響が危惧されている。このような背景から世界保健機関(WHO)をはじめ、電波の健康影響を評価する研究が推奨されている。近い将来に普及が予想されるワイヤレス電力伝送システムに使用される電波による影響を検索するため、ばく露システムの構築、細胞レベル指標として、細胞遺伝毒性(小核形成、DNA鎖切断)、ストレス応答(熱ショックタンパク発現)、および皮膚免疫応答(サイトカイン産生ならびにヒスタミン産生)について解析した。研究成果は、それぞれの細胞指標において、一部の遺伝毒性指標(小核形成)を除いて、400kHz帯域電波ばく露の影響は極めて小さいと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界保健機関(WHO)や国際がん研究機関(IARC)は、電磁波の発がん性や他の健康影響を評価する研究の推進を求めている。本研究課題では、将来利用促進される分野で有望な1つの分野である、無線エネルギー伝送での400kHz帯域電波に関して、細胞レベル指標として、細胞遺伝毒性、ストレスタンパク産生、および皮膚免疫応答について解析してきた。研究結果として、それぞれの細胞指標において、400kHz帯域電波ばく露の影響は極めて小さいと考えられた。これらの成果は、将来の電波利用に関して、生体への安全性や健康影響を評価するうえで、学術的に非常に有意義であるとともに、社会的意義も大きいものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：With the generalization of radio waves internationally, the effects on human health have begun to be concerned. Studies to evaluate the health effects of radio waves are recommended from the World Health Organization (WHO). In this research, to search for the effects of radio waves used in wireless power transmission systems that are expected to spread in the near future, the construction of an exposure system, the genotoxicity (micronucleus formation, DNA strand breaks), the stress response (heat shock protein expression) and skin immune response (cytokine production and histamine production) were analyzed. As a result of the research, it was considered that the influence of 400 kHz band radio wave exposure on each cell index was extremely small, except for some genotoxicity indexes (micronucleus formation).

研究分野：電磁波影響評価

キーワード：電磁波影響評価 共鳴送電 ワイヤレスエネルギー伝送 発がん性 細胞機能

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

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。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。しかしながら、国際的に電波の汎用化に伴って、人の健康影響が危惧され始めてきた。世界保健機関(WHO)をはじめ、電波の健康影響を評価する研究が推奨されてきた。

2. 研究の目的

電化製品や電気自動車への無線電力供給技術として、共鳴送電をはじめ実用化がせまっている。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)も各国に影響評価を推奨している。しかしながら次世代の送電技術である無線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、有力な周波数領域である中間周波数帯の400kHzに注目して、以下の研究を計画する。400kHz帯電波ばく露装置のシステム製作を完了する。400kHz帯における発がん評価として、細胞遺伝毒性への影響を検索する。400kHz帯電磁環境の細胞機能評価として、ストレスタンパクを中心として遺伝子発現への影響を検索する。電波ばく露の可能性が高い皮膚表皮に存在する皮膚免疫担当細胞の免疫応答を検索する。以上の成果から、400kHz帯共鳴送電の実用化に向けた、安全性評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

400kHz帯について、培養環境の最適化を図った細胞ばく露用共鳴送電システムを完成させる。細胞培養環境中における、無線電力供給時や受信側回路を除いた状態での電磁界強度測定結果の比較、および数値解析結果との比較を行う。設計に基づき、ほぼ完了している共鳴送電装置の有限要素法解析を用いた理論伝送効率と実測による伝送効率との差異の評価を行うとともに、差異が生じた原因を検討し、装置の再設計・改造を行うことで装置の最適化に取り組む。このような取り組みにより、400kHz帯細胞ばく露システムとして完成させる。400kHz帯共鳴送電で発生する電磁波の、細胞を用いた発がんへの影響評価研究を行う。

WHOや国際がん研究機関(IARC)も発がん性や他の健康影響を評価する際に、国際的にも推奨され、主要な細胞指標として認めている、細胞遺伝毒性については、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コメットアッセイを行う。小核形成については、比較的大きな損傷が生じたときに、細胞核からDNAのフラグメントが遊離して、細胞分裂時に小核を形成するもので、蛍光染色で確認する。コメットアッセイについては、DNA鎖切断を検出するもので、コメット専用検出ソフトで解析する。次に、細胞の機能的変化で注目されているストレス応答について解析する。熱ショックタンパク(heat shock proteins)を中心として、ストレスタンパクの遺伝子発現を、タンパク電気泳動ならびに遺伝子発現解析キットを用いて調べる。さらに、電波ばく露の可能性が高い皮膚表皮での反応がどのような影響を及ぼすか検討する必要がある。そこで、表皮における細胞である角化細胞(ケラチノサイト)を用い、皮膚免疫応答の測定を行う。サイトカインは、様々な免疫応答によって産生される多種多様な機能を持った体内物質で、ホメオスタシスに非常に重要な役割を果たしている。サイトカインのバランスが崩れるとアレルギーなどの免疫疾患につながることから、電波ばく露によるサイトカインの変化を検索することは非常に有意義である。そこで、様々なサイトカインが、400kHz電磁波ばく露により増減するかを検索する。アレルギー反応への応答も見るため、400kHz電磁波

ばく露により、ケラチノサイトからのヒスタミンの放出増減を検索し、影響評価を行う。

4. 研究成果

400kHz帯域の磁界共鳴送電下における細胞影響評価に必要な共鳴送電細胞ばくろ装置の伝送効率の向上ならびにCO₂インキュベータ内でのコイル再構築および細胞培養皿の適切な温度管理を実施するための細胞培養台の構築に取り組んだ。また、ばく露装置が正常培養環境を保持しているかについて、本実験の開始前に、細胞基本動態試験を行った。基本動態である増殖能、コロニー形成能、細胞周期分布について調べた。試験の結果は、対照インキュベータとして比較して、ばく露装置との差は観察されなかった。以上の結果から、400kHz帯域ばく露装置の細胞培養安定性を評価し、構築したばく露装置内蔵のインキュベータでの細胞培養が適正であることを確認した。

400kHz帯域ワイヤレス電力伝送(WPT: Wireless Power Transmission)システムに使用される電磁波により、生体にどのような影響が見られるかを検索するため、電波の生体表面からの深度を考慮して、ヒト角膜由来上皮細胞(HCE-T細胞)を用い、400kHzばく露による遺伝毒性指標である小核(Micronucleus: MN)形成頻度、コメットアッセイ(DNA鎖切断)試験および生理的影響評価の1つとして熱ショックタンパク(Heat shock protein: Hsp)発現試験を実施した。その結果、400kHz帯域ばく露(条件: 160A/m、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)の職業者ガイドライン80A/mの2倍、1時間)を行ったHCE-T細胞において、有意な小核形成上昇が観察された。ただ、DNA鎖切断の指標であるTail Momentの上昇は観察されなかった。また熱ショックタンパク、Hsp-70に関して、ばく露による発現量の増加は認められなかった。以上のことから、HCE-T細胞において、400kHz帯域電波ばく露によるストレスタンパク発現誘発への影響はないか極めて低いものと考えられるが、細胞遺伝毒性について、特に小核形成増加を示す結果が得られたことから、遺伝毒性への影響を及ぼす可能性が考えられる。ただし、DNA鎖切断の指標では影響は認められなかったため、この小核形成の陽性結果については、重篤な影響とは考えにくい。

さらに、生体の免疫能への影響が見られるかを検索するため、電波の生体表面からの深度を考慮して、ヒト表皮角化細胞(HaCaT細胞、ケラチノサイト)を用い、400kHzばく露による皮膚免疫応答指標であるサイトカイン産生試験、およびヒスタミン産生試験を実施した。400kHzばく露(条件: 160A/m、ICNIRPの職業者ガイドライン80A/mの2倍、1時間)を行ったHaCaT細胞において、培養液上清におけるサイトカイン(IL-6, IL-8およびGM-CSF)ならびにヒスタミンの産生影響についてELISA法により解析を行った。その結果、薬剤(イオノマイシン、または水酸化ナトリウム水溶液)による陽性対照では有意なサイトカイン産生が観察されたが、ばく露サンプルの上清ならびに細胞抽出物においてはサイトカインの上昇は観察されなかった。以上のことから、HaCaT細胞において、400kHzばく露による皮膚免疫への影響はないか極めて低いものと考えられる。

世界保健機関(WHO)や国際がん研究機関(IARC)は、電磁波の発がん性や他の健康影響を評価する研究の推進を求めている。本研究課題では、将来利用促進される分野で有望な1つの分野である、無線エネルギー伝送での400kHz帯域電波に関して、ばく露システムの構築、細胞レベル指標として、細胞遺伝毒性、ストレスタンパク産生、および皮膚免疫応答について解析してきた。研究結果として、それぞれの細胞指標において、一部の遺伝毒性を除いて、400kHz帯域電波ばく露の影響は極めて小さいと考えられた。これらの成果は、将来の電波利用に関して、生体への安全性や健康影響を評価するうえで、学術的に非

常に有意義であるとともに、社会的意義も大きいものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Junji Miyakoshi, Hiroshi Tonomura, Shin Koyama, Eijiro Narita, and Naoki Shinohara	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of Exposure to 5.8 GHz Electromagnetic Field on Micronucleus Formation, DNA strand breaks, and Heat Shock Protein Expressions in Cells Derived from Human Eye	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on NanoBioscience	6. 最初と最後の頁 257-260
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNB.2019.2905491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Junji Miyakoshi (eds. Ben Greenebaum and Frank Barnes)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 637
3. 書名 Cellular Effects of Radio Frequency, Millimeter, and Terahertz Waves in “Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields, Fourth Edition”	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----