

令和元年9月2日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05973

研究課題名(和文) 電磁調理器による漏れ磁界と接触電流の実態調査に基づいたドシメトリ研究

研究課題名(英文) Measurements of magnetic fields and contact currents from IH cookers

研究代表者

太良尾 浩生 (Tarao, Hiroo)

香川高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：00321498

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：電磁界による生体影響に関して、日本だけでなく、欧米でも電磁調理器が使用されるようになり、その漏れ磁界による生体影響が懸念されている。電磁調理器からは、その原理上磁界だけでなく、電界も発生している。漏れ磁界によるヒトに対するばく露評価は国内外でも多く報告されている。しかし、電界に起因して、金属鍋に触れた際に体内へ流れ込む接触電流によるばく露評価はほとんど行われていないのが現状である。

本研究では、家庭用として利用されている種々の電磁調理器を対象に、漏れ磁界と接触電流の両者を測定した実態調査を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電磁調理器による漏れ磁界のばく露評価が行われた報告は国内外でいくつかあるが、接触電流の実態調査やそれによるばく露評価を行っている例はない。本申請ではこれらの同時ばく露を評価するものであり、学術的に特色をもっており、独創的である。総務省が5年毎に行う統計によると、都市部と地方でバラツキがあるものの電磁調理器の普及率は約20%である。また、調理者が片手で金属鍋に触れて、もう片方の手で筐体の一部にある接地帯に触れる状態になることはよくある光景である。したがって、電磁調理器からの接触電流によるばく露評価を慎重に行っておくことは重要であり、多くの利用者に関心があることから、社会的な意義がある。

研究成果の概要(英文)：With regard to the biological effects of electric and magnetic fields, Induction heating (IH) cookers have been used not only in Japan but also in Europe and the United States, and some of users have concerns about the biological effects of leaked magnetic fields. In principle, electric fields are generated from such IH cookers, as well as magnetic fields. Many reports on human exposure assessments due to leakage magnetic fields have been published. However, the exposure evaluation by the contact current flowing into the body, based on the electrostatic induction by electric fields, when touching the metal pot on an IH cooker has been hardly performed at present. In this study, we investigated with measurements of both the leakage magnetic fields and the contact currents for various IH cookers used for household use.

研究分野：電磁環境工学

キーワード：電磁調理器 漏れ磁界 接触電流

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電磁界による生体影響に関して、概ね 100kHz までの低周波領域では電界または磁界によって体内に誘導される電流(または電界)の神経や筋に対する刺激作用が、科学的根拠と再現性のある指標として考えられている。その安全性の拠り所として、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)やIEEEなどの国際的な機関による人体防護指針(ガイドライン)が広く認識されるようになり、WHO から公表された Fact Sheet においても、そのガイドラインの採用が推奨されている。これらのガイドラインでは指針値(基本制限)として体内誘導電界が示されている。例えば、ICNIRP では脳において誘導電界が 24mV/m (60Hz)を超えないように指針値が設けられている。近年では、計算機が発達し、人体の断層画面(MRI 画像など)に基づく数値モデルが開発されたことにより、詳細な体内誘導電界の数値解析が可能となり、様々な場面を想定したばく露評価(ドシメトリ)結果が申請者を含む非常にたくさんの研究者によって報告されている。最近では、国内だけではなく欧米でも、家庭用や業務用の電磁調理器が使用されるようになり、これによる漏れ磁界を磁界源としたばく露評価を行うため、漏れ磁界の分布特性や漏れ磁界による体内誘導電界を数値解析した結果が国内外からいくつか報告されるようになった。

電磁調理器について、その原理上、加熱コイルから生じる 10kHz-100kHz の磁界によって金属鍋に渦電流を発生させている。その磁界の一部が金属鍋と天板の間から漏れて調理者へばく露することから、(特に、調理者が妊婦のようなときに)生体影響が懸念されている。その一方で、昇圧された加熱コイルと接地帯との間には電界が生じており、その空間内には電氣的に浮いた金属鍋があるので、金属鍋は静電結合により電位を有している。結果的に調理者が鍋に触れたとき手から体内を通して接地帯へ電流が流れる(申請者はこれを「接触電流」と呼んでいる)。さらに、例えば片手で鍋を、もう片方の手で接地帯に触れた場合には両手間に接触電流が流れる。しかし、このような接触電流に関する定量的な調査はほとんど行われていない。

以上の背景において、電磁調理器からの漏れ磁界のみによるばく露評価はいくつか行われているが、接触電流の実態調査やそれによる体内電界を評価する報告を行っているのは現在のところ申請者とそのグループのみである。また、実態調査の方法やばく露評価手法は申請者によってある程度確立しているが、調査対象が限定的であり、データ数が少ないのが現状である。

### 2. 研究の目的

主に家庭用の電磁調理器からの漏れ磁界と接触電流の両者において測定を行う。測定では、調理に使用する鍋の種類やサイズも考慮し、様々な観点からのデータを蓄積して、ICNIRP などのガイドラインに記載された制限値と比較することで実態調査を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 漏れ磁界の測定方法

主に家庭用として利用されるビルトイン型、据置型および卓上型の電磁調理器から合計 20 台を調査対象とした。なお、これらの電磁調理器には加熱コイルが 1 個あるものと 2 個あるものがあり、合計 26 個の加熱コイルを調査対象とした。また、それぞれの加熱コイル毎の出力(公称値)は 1 kW~3kW であり、測定時は加熱コイルの出力を最大とした。金属鍋として、金属材料は同じであるが、サイズ(直径)の異なる片手鍋やフライパンを 3 セット用意した。漏れ磁界の測定には市販の磁界測定器(HIOKI, FT3470-51)を用いた。本製品の仕様として、磁界センサの大きさ: 3cm<sup>2</sup>、磁界の大きさ: 0.2 $\mu$ T-2.0mT、磁界の周波数: 10Hz-400kHz となっている。予備調査により、磁界は電力周波数成分と 20kHz 程度の加熱周波数成分を含んでいることが分かってきている。測定では加熱周波数成分の大きさ(合成値)を測定した。

次のように 2 通りの測定を実施した。φ18cm の片手鍋を用いて、全ての加熱コイルを対象とし、片手鍋の中心から 0.3m、0.5m および 0.8m 離れた位置における漏れ磁界を測定した。また、一つの電磁調理器に対して、金属鍋のサイズを変化させたときの漏れ磁界を測定した。

#### (2) 接触電流の測定方法

上述の漏れ磁界測定と同様に、26 個の加熱コイルを対象とし、片手鍋とフライパンの 2 セットを金属鍋として使用した。片手鍋は底面の直径が 14cm~20cm の 4 種類のサイズがあり、フライパンは 22cm~28cm の 3 種類のサイズのものを用意した。

接触電流の予備測定において、漏れ磁界とは異なり、接触電流には電力周波数成分をほとんど含んでおらず、漏れ磁界と同じ加熱周波数成分のみであることが分かった。実際の測定では、金属鍋と接地を直接接続して、金属鍋からの短絡電流を CT プローブを用いて測定した。

次のような 2 通りの測定を実施した。卓上型(100V)と据置型(200V)の 2 つの電磁調理器を実験室に持ち運び、それぞれについて金属鍋のサイズを変化させて接触電流を測定した。また、

26 個の加熱コイルを対象として、電磁調理器の置かれている現場(実際の台所など)で片手鍋(φ18cm)とフライパン(φ28cm)を設置して接触電流を測定した。いずれの測定においても金属鍋に 70%程度の水を浸し、加熱ヒータの中心と鍋底の中心が一致するように配置し、加熱コイルへの出力を最大とした。なお、加熱ヒータが 2 つある電磁調理器では、測定対象の加熱コイルのみを稼働させた。

### 4. 研究成果

### (1) 漏れ磁界の測定結果

漏れ磁界は金属鍋からの距離が遠くなるに従って小さくなり、距離に対して3乗に反比例することを確認した。図1は、測定対象とした加熱コイルに対する、金属鍋から0.3m離れた位置における漏れ磁界の統計分布（ヒストグラム）を示している。また、図中の折れ線図は累積分布を示している。同図から、80%の加熱コイルにおいて0.3mの位置における漏れ磁界は3mT以下となっていることが分かる。一方、公称電力に対する漏れ磁界の統計を調べたところ、卓上型の電磁調理器では相対的に弱いながらも公称電力が大きくなるにしたがい漏れ磁界が大きくなる傾向があった。しかし、全体的には相関性は認められなかった。

図2は、一つの電磁調理器を対象として、鍋サイズを変化させた場合の、金属鍋(中心部)から0.3m離れた位置における漏れ磁界を示している。同図から、鍋サイズが大きくなるに従って漏れ磁界は小さくなっていることが分かる。鍋サイズが大きくなることで磁界の漏れが抑制されていると考えられる。ただし、フライパンのように鍋サイズがある程度大きくなると飽和していることが確認できる。

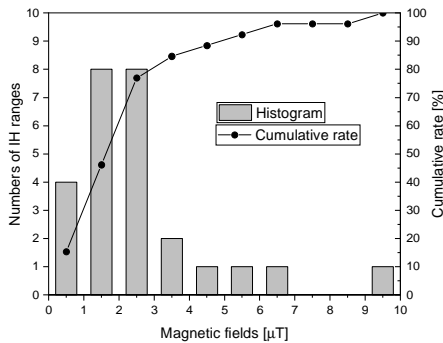


図1 漏れ磁界のヒストグラム

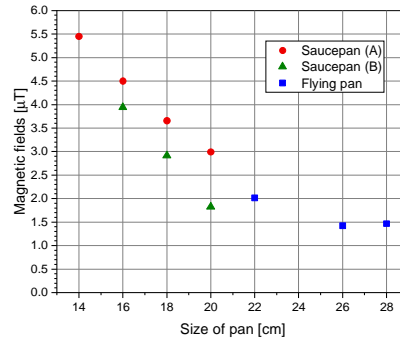


図2 鍋サイズを変化したときの漏れ磁界

### (2) 接触電流の測定結果

金属鍋のサイズが大きくなるに従って接触電流は大きくなることが分かった。ただし、鍋サイズがある程度大きくなると接触電流は飽和する(図3)。これは、加熱コイルと金属鍋との間で静電結合によるキャパシタンスが形成されることによると考えられる。すなわち、鍋サイズが大きくなるに従いキャパシタンスが大きくなり、結果的にキャパシタンスによるインピーダンスが減少したためである。

26個の加熱コイルを対象として測定したデータを、国内の電気用品安全法(EAMSA)に基づく電気用品の技術上の基準を定める省令の解釈として記載されている電流の限度値と比較した。図4は、この限度値に対する割合を横軸に、その限度値の割合を超えない加熱コイルの累積的な割合を縦軸として示している。例えば、限度値の5%未満に属する加熱ヒータは全体の63%である。本測定で用いた電磁調理器のすべてにおいて限度値を十分下回っていることが分かる。

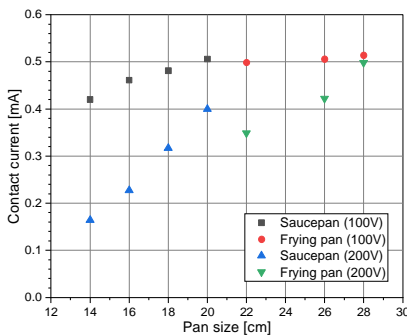


図3 鍋サイズを変化したときの接触電流

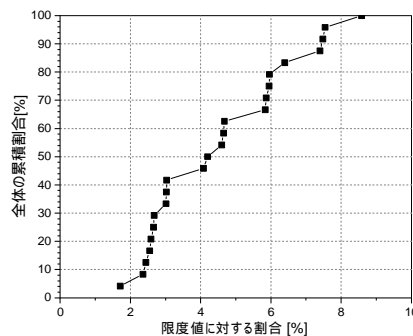


図4 限度値に対する接触電流の割合に関する累積分布

### 5. 主な発表論文等

太良尾・林・伊坂：「実稼働中の家庭用電磁調理器の金属鍋に直接接触した場合における定常短絡電流の実測」, 電気設備学会論文誌, Vol.39, No.3, pp.12-19, 2019.

野村・太良尾・武居：「解剖学的人体データを用いた体内電流密度解析における前処理手法の性能評価」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J101-C, No.10, pp.400-409, Oct. 2018.

太良尾・武居・林・伊坂：「商用周波平等電界内で腕を挙げて接地面上に直立した人体数値モデル内の誘導電界解析」, 電気学会論文誌A, Vol.138, No.6, pp.322-328, 2018.

Hiroo Tarao, Noriyuki and Katsuo Isaka: "Survey of Leakage Magnetic Fields from

Various Induction Heating Ranges", Proceeding of the 39th Progress In Electromagnetics Research Symposium, p.847, Singapore, 2017.

桑野・太良尾・林・伊坂：「家庭用電磁調理器からの漏れ磁界に関する実態調査」, 平成 29 年電気学会 A 部門大会, 19-P-20, 2017.

Hiroo Tarao, Hironobu Miyamoto, Leena Korpinen, Noriyuki Hayashi and Katsuo Isaka, "Simple Estimation of Induced Electric Fields in Nervous System Tissues for Human Exposure to Non-Uniform Electric Fields at Power Frequency", Physics in Medicine and Biology, Vol.61, No.12, pp.4438-4451, 2016.

桑野・太良尾・林：「電磁調理器からの漏れ磁界による体内誘導電界の解析 鍋のサイズによる影響」, 平成 28 年電気学会 A 部門大会, 5-P-21, 2016.

Hiroo Tarao, Noriyuki Hayashi, Leena Korpinen and Katsuo Isaka, "Measurements of Leakage Magnetic Fields from Induction Heating Range Using Different Sized Pans", The 37th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), pp.2937-2939, 2016.

〔雑誌論文〕(計 11 件)

〔学会発表〕(計 37 件)

〔図書〕(計 0 件)

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：伊坂 勝生

ローマ字氏名：Katsuo Isaka

研究協力者氏名：林 則行

ローマ字氏名：Noriyuki Hayashi

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。