

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19760205

研究課題名（和文） 電位の異なる導体接触時の体内通電電流に関する基礎研究

研究課題名（英文） Conductive currents in human body due to contact with energized source

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

研究成果の概要（和文）：

充電部に接触した際、体内に流れる電流（接触電流）がどのような経路を辿るのかについて、人体数値モデルを用いた数値解析を行い、モデル内の電流密度分布を詳細に検討した。数値解析手法には従来から用いている SPFD 法の一部を改良してコード化し、その妥当性の検証を確認している。数値解析の結果、体内の電流は電流経路を最短に通過するように流れ、かつ導電率の大きい組織を通ることが分かった。各組織における電流密度・電界の最大値や平均値を算出した結果、電流経路ではない脳においてそれらは非常に小さく、電流経路上にある心臓においては 0.5mA(60Hz)の接触電流に対して電界の平均値が 65～85mV/m であった。また、電流経路が手足間や両手間では、接触電流の 33～40%が心臓を通過することが分かった。

研究成果の概要（英文）：

Distributions of 60Hz contact current inside the anatomically realistic human body were demonstrated under typical scenarios of current paths. Current densities and electric fields in the CNS tissues or the heart, the heart-current ratios, and heart-current factors were calculated. The new numerical method which was partly modified from the conventional SPFD method was proposed. Average values of the electric fields in the heart of the model due to the contact current of 0.5mA were 65～85mV/m for the hand-to-foot/feet current paths. It is found that a part of 33～40% of the total contact current passes through the heart in three scenarios of one hand to either the other hand or feet, and these heart-current ratios were much larger than the ones reported by another researcher. Furthermore, the heart-current factor is almost the same as the one in IEC for the right-hand-to-feet, but is twice as much as the one in IEC for the hand-to-hand path.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	420,000	3,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

## キーワード：電気・電磁環境

### 1. 研究開始当初の背景

電位の異なる導電性物体に触れ、さらに体内を通る電流経路が確立したとき、体内には電流が流れる。この電流経路の多くは、両足間に電位差がある場合(ステップポテンシャル)、両手間に電位差がある場合、及び手と足の間に電位差(タッチポテンシャル)がある場合である。約100kHzまでの周波数の場合、この接触電流は筋肉及び(または)末梢神経に刺激を与える可能性がある。電流レベルの上昇につれて、知覚、感電、熱傷による痛み、握った物体を手放すことができない、呼吸困難などが起こり、さらに電流が極めて大きい場合には心室細動が起きる。これらの影響の閾値には周波数に依存しており、10 ~ 100Hzで閾値が最も低い。末梢神経反応の閾値は、数kHzまで低いままである。

接触電流に関して、いくつかの国際機関によってガイドラインが示されている。例えば、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)では2.5kHz以下では職業者に対して1.0mA、大衆に関して0.5mAと定められており、また、IEEEでは接触時の状況により0.5 ~ 3mAと定められている。これらは主に感電を回避することを目的に定められている。一方、IEC報告書では人間が電流を知覚できる閾値として0.5mAとしている。また、低周波電磁界による体内の誘導電界や電流密度を示す基本制限として、ICNIRPでは職業暴露において1cm<sup>2</sup>あたり10mA/m<sup>2</sup>、公衆暴露において2mA/m<sup>2</sup>と定められており、IEEEでは17.7mV/m(脳)、2.10V/m(四肢)や943mV/m(心臓)と定められている。

以上のことを考えると、接触電流を知覚できる閾値などは定められているものの、そのような電流が体内をどのように流れているのかは把握できていない。また、接触電流の閾値の場合でも体内では上述の基本制限(電流密度)を上回る可能性があることを予備実験で示唆している

### 2. 研究の目的

本研究では、1kHz程度以下の低周波領域に着目しており、両足間、両手間または手と足の間のインピーダンスをシミュレーションと実測から調査し、さらに電位差を与えた場合の体内通電電流の詳細な分布特性をシミュレーションから検討することを目的としている。

### 3. 研究の方法

まず、数値解析手法を確立させる。本研究代表者らは、低周波磁界によって生体モデル内に誘導される電界・電流の数値解析コード

を構築しており、これを本研究の目的用に改良した。コード化後には、簡単な幾何学的モデルにおける解析結果と、同サイズの水槽に生理食塩水を浸したモデル内の電界測定結果とを比較検討し、数値解析手法の妥当性を検証した。電界測定には、間隔2.5mmの差動プローブを用いて整理食塩水内の電位差を測定し、プローブ間隔で除してその位置における電界強度を測定した。電界の方向はプローブの方向である。また、この電界測定にはロックインアンプを使用し、オシロスコープで電極間への印加電圧とプローブ間電圧を観測した。

人体モデルとして、日本人の成人男性の平均的な体型(身長: 173cm, 体重: 67kg)を有する人体数値モデルを用いた。本モデルは、一辺が2mmの立方体ボクセルを約800万個積み重ねて構築されている。それぞれのボクセルは、51の組織・臓器に同定されており、その導電率が割り振られている。なお、欧米においても、それぞれの体型に準じた人体数値モデルが開発されているが、本研究で使用する日本人数値モデルの方が高分解である。

次に、代表的な電流経路について接触電流を流すように人体数値モデルの表面に電極を取り付けた。電流経路として、左手-両足、左手-左足、右手-両足、右手-右足、右手-左手の5通りを考えた。手の場合では手の平に、足の場合では足裏にそれぞれ電極を取り付けた。どの電流経路においても、電極間に1V(60Hz)の電位差を与えて、数値解析した。その後、電極間を流れる電流が0.5mA

(ICNIRPに記載されている、公衆における接触電流の参考レベル)になるように比例的に換算した。

解析結果から、それぞれの電流経路について人体モデル全身における電流密度分布を調査した。さらに、神経系組織や興奮性組織における電流密度の最大値等を定量化し、特に心臓における電流密度の定量的な分布を調査した。また、接触電流のどの程度が心臓を通過するのかについても検討した。

### 4. 研究成果

本研究用に改良した数値解析コードについて、直方体モデル・L字型モデルの両者を用いて妥当性を検証した結果、モデル内における電界の測定結果と解析結果はよく一致していることが確認できた。従って、本数値解析システムの妥当性が認められる。

人体数値モデルを用いて、接触電流によるモデル内の電流密度分布を調べた。その結果、

どの電流経路においても接触電流は基本的には体内で最短経路を通るように流れているが、特に導電率の高い組織や臓器を流れていることが分かった。ここで、本研究で考えた電流経路では手と足に電極を取り付けているため、頭部を流れる電流は非常に小さいことが分かった。また、接触電流の参考レベルである 0.5mA が手足間を流れる場合、胸部を流れる平均電流密度は 10mA/m<sup>2</sup> となり、単純に 0.5mA を胸部の断面積で除した値と一致した。さらにこの場合、腕における電流密度は胸部のおよそ 10 倍であり、胸部と腕部における断面積の比からも確認できた。すなわち、断面積の小さい部位である手首や足首において電流密度は大きくなる。

次に、各電流経路への接触電流(0.5mA)に対する組織毎の電流密度と電界強度を調べた。その結果、灰白質におけるそれらの平均値はどの電流経路でも 0.01mA/m<sup>2</sup> と 0.2mV/m であり、非常に小さい。小脳でも灰白質と同様に小さかった。また、心臓における電界強度の平均値は電流経路によって多少異なるが 65 ~ 85mV/m であった。

さらに、心臓内外における電流密度分布に着目して詳しく検討した。心臓における電流密度の最大値は、電流経路が手足間の場合と両手間の場合でほとんど同じであった。しかし、最大値の現れる位置は手足間の場合で心臓下部、両手間の場合で心臓上部と異なることが分かった。このことから、心臓下部における電流密度に統一した場合、IEC 規格に記載されている心臓電流係数と一致していた。さらに、それぞれの電流経路において、接触電流のうち心臓を通過する割合を調べた結果、手足間で 33 ~ 40%、両手間で 35% であることが分かった。すなわち、例えば 0.5mA の電流が両手間を流れた場合、0.18mA の電流が心臓を通過することになる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

・ N. Hayashi, H. Tarao, and K. Isaka: "Effects of Electrode Systems on Numerical Estimation of Internal Human Body Impedance at Power Frequency", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Eng.*, Vol.5, No.1, pp.118-120 (2010). (査読有)

・ N. Hayashi, H. Tarao, and K. Isaka: "Numerical Characterization of Dosimetry, Human Body Impedance and Heart Current Resulting from Power-Frequency Touch Current for an Anatomically Realistic Human Model", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Eng.*, Vol.4,

No.4, pp.523-533 (2009). (査読有)

・ H. Tarao, N. Hayashi, and K. Isaka: "Heart Current in an Anatomically Realistic Human Model due to the Contact with Low-Frequency Energized Source", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, Vol.4, No.2, pp.306-308 (2009). (査読有)

[学会発表] (計 10 件)

・ 太良尾・竹内, 林, 伊坂: 「商用周波数における人体内部抵抗の数値解析」, 平成 22 年電気学会全国大会, No.1-161, 明治大, 2010

・ 太良尾・林: 「低周波接触電流による体内電流密度の数値解析」, 平成 21 年 電気学会電子・情報・システム部門大会, MC8-1, pp.804-807, 徳島大学, 2009

・ H. Tarao, N. Hayashi, K. Isaka, and T. Matsumoto: "Numerical Analysis of Heart Currents in Anatomical Human Model due to the Contact with 60Hz Energized Conductor", *Proceedings of Joint Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European Bioelectromagnetics Association*, P-62, Davos, 2009.

・ N. Hayashi, H. Tarao, and K. Isaka: "Parameters Affecting Numerical Estimations of Internal Body Resistance of Human Model at Power Frequency", *Proceedings of Joint Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European Bioelectromagnetics Association*, P-83, Davos, 2009.

・ H. Tarao, N. Hayashi, K. Hirao, and K. Isaka: "Effects of Lung Conductivity on Currents Flowing through Heart due to the Contact to 60Hz Energized Source", *Proceeding of 14th Asian Conference on Electrical Discharge*, No.G-2, Bandung, 2008.

・ 太良尾・平尾・井上・林: 「ELF 平等磁界暴露及び接触電流で生じる詳細人体モデル内の電界分布と電流密度分布」, 電気学会全国大会, No.1-151, 北海道大, 2009

・ 太良尾・林・伊坂: 「詳細人体モデル内の低周波接触電流に起因する心臓電流密度の解析」, 電気学会研究会資料, EMC-08-15, pp.19-23, 電力中央研究所, 2008.

・平尾・太良尾・林・伊坂：「低周波接触電流による体内電流密度分布の基礎的検討」, 信学技報, EMCJ2008-16, pp.53-58, 2008.

・ H.Tarao, N.Hayashi, and K.Isaka: "Current Densities inside numerical human body resulting from low-frequency contact currents", *Proceedings of 22nd International Symposium on Biological and Physiological Engineering*, P4-1, pp.290-291, Harbin, 2008

・ H.Tarao, N.Hayashi and K.Isaka: "Induced Current Densities for Real Human Model Exposed to Rotating Magnetic Fields from Transmission Line", *Proceeding of 15th International Symposium on High Voltage Engineering*, T1-603, Ljubljana, 2007.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

林 則行 (HAYASHI Noriyuki)

宮崎大学 工学部・教授

研究者番号: 30156450