2025 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	**極低周波電界曝露による体内赤血球運動の変化**
キーワード	①赤血球運動、②極低周波電界、③生体影響

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏　名	カネマキ　ミキ 印牧　美紀
配付時の所属先・職位等 （令和 7 年 4 月 1 日現在）	北海道科学大学 保健医療学部 臨床工学科 助教
現在の所属先・職位等	北海道科学大学 保健医療学部 臨床工学科 助教
プロフィール	臨床工学技士の資格を有し、現在は北海道科学大学保健医療学部臨床工学科にて教育・研究に従事している。専門は生体医工学であり、極低周波電界が血液中の赤血球運動に与える影響の解明に取り組んでいる。これまでに、電界曝露による赤血球運動メカニズムの解明に関する研究成果を国際学術誌 Bioelectromagnetics に原著論文として 2 編投稿しており、うち 1 編は Wiley 社の年間最多ダウンロードを受賞している。

1. 研究の概要

本研究は、商用周波数を含む 300 Hz 以下の極低周波（Extremely Low Frequency: ELF）電界が生体内の血液に与える影響を明らかにすることを目的として実施した。具体的には、ELF 電界曝露が赤血球の運動に及ぼす影響について、*in vitro*（体外）実験および *in vivo*（生体内）実験の両面から検討を行った。

in vitro 実験では、ヒトの毛細血管を模擬した微小流路内に血液を封入し、電極と試料が直接接触しない容量性結合方式により電界を印加した。直流電界曝露時には電気泳動による方向性のある赤血球移動が、交流電界曝露時には誘電泳動による赤血球移動がそれぞれ確認された。

さらに、これらの *in vitro* での知見が生体内でも再現されるかを検証するため、ヒメダカを用いた *in vivo* 実験を行った。当初はラット腸間膜を用いる計画であったが、学内の動物実験設備の制約から、透明な体を持ち微小血管内の血球を直接観察できるヒメダカに変更した。ヒメダカの尾部微小血管内の赤血球をリアルタイムで追跡した結果、容量性結合による直流電界曝露下で赤血球の速度変化が確認され、電気泳動効果が *in vivo* 環境においても生じることを世界で初めて実証した。

2. 研究の動機、目的

我々は日常的にスマートフォンやパソコン、家庭用電化製品などから発生する電磁界に囲まれて生活している。電磁界のうち磁界については既に多くの研究が蓄積されているが、ELF 電界については、人体が直接感じにくいこともあり、その生体影響に関する研究は十分に進んでいない。送電線付近での長時間作業など、ELF 電界への曝露が避けられない環境が存在するにもかかわらず、各国の安全基準にはばらつきがあり、統一的な基準の策定に至っていない。

このような背景から、ELF 電界が体内の血液、とりわけ血球の大多数を占める赤血球の運動

に与える影響を科学的に解明することを本研究の目的とした。申請者はこれまでに、体外に取り出した血液に対する電界曝露実験（*in vitro* 実験）により、赤血球運動のメカニズムを明らかにしてきた。本研究では、その知見をさらに発展させ、血流が保たれた生体内（*in vivo* 環境）でも同様の影響が生じるかを検証することを目指した。

3. 研究の結果

本研究では、まず *in vitro* 実験として、ヒトの毛細血管径（直径 0.020 ㎜）を模擬した十字型微小流路を作製し、容量性結合方式により電界を印加した。電極と血液試料の間には空気層を設けることで、電極が血液に直接接触しない実際の曝露環境に近い条件を実現した。

直流電界（500 V）の曝露実験では、電界方向（y 方向）に沿った赤血球速度の顕著な増加が観察された一方、電界に垂直な方向（x 方向）にはほとんど変化が見られなかった。これは電気泳動メカニズムと一致する結果である。交流電界（50 Hz、1000 V）の曝露実験では、電界勾配方向（x 方向）に赤血球速度の増加が確認され、誘電泳動力の影響が示唆された。

次に、*in vivo* 実験として、ヒメダカ（体長 15〜20 ㎜）の尾部微小血管内の赤血球運動を観察した。当初の研究計画ではラット腸間膜の使用を予定していたが、学内の動物実験設備の関係からヒメダカに変更した。ヒメダカは体が透明であるため、生体内の微小血管を流れる赤血球を顕微鏡下で直接観察でき、非侵襲的な *in vivo* 実験モデルとして適している。銅箔電極をヒメダカの両側に配置し、空気層を介した容量性結合により直流電界を印加した。その結果、電界非曝露時には電界方向と逆向きに流れていた赤血球が、電界曝露時には電界方向に速度が正方向へシフトし、赤血球の移動方向が逆転する現象が確認された。この結果は *in vitro* 実験で得られた電気泳動効果と一致しており、非接触の電界曝露が生体内の微小循環動態に影響を及ぼし得ることを示すものである。

これらの成果は、国際会議 PIERS 2025（Photonics and Electromagnetics Research Symposium）にて発表した。

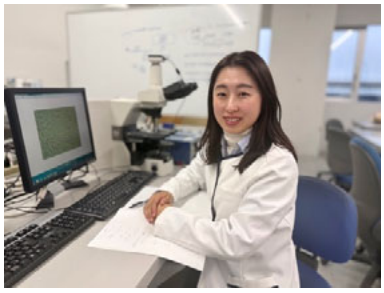
4. 研究者としてのこれからの展望

今後は、ヒメダカを用いた *in vivo* 実験をさらに発展させ、電界強度や曝露時間などのパラメータを変化させた系統的な実験を行い、赤血球運動への影響の閾値を明らかにしていきたいと考えている。また、交流電界による *in vivo* 実験にも取り組み、誘電泳動効果が生体内でも生じるかを検証する予定である。

将来的には、これらの基礎的知見をもとに、電界曝露が血流動態や代謝機能に及ぼす影響をより詳細に解明し、科学的根拠に基づいた電界の安全基準策定に貢献することを目指している。さらに、電界の生体への作用を積極的に活用した新たな医療技術の開発にもつなげていきたいと考えている。教育者としても、臨床工学分野の次世代を担う学生の育成に力を注ぎながら、研究と教育の両立を図っていく所存である。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

この度は、若手・女性研究者奨励金によるご支援を賜り、心より感謝申し上げます。本奨励金のおかげで、研究成果を国際会議で発表するための旅費や、研究に必要な機器・物品の購入が可能となり、研究を大きく前進させることができました。



本研究は、日常生活で避けることのできない極低周波電界が人体内の血液に与える影響を解明するという、人々の安全と健康に直結するテーマに取り組んでいます。今回、非接触の電界曝露が生体内の赤血球運動に影響を及ぼすことを世界で初めて実証できたことは、将来的な安全基準の国際的統一や、電界を活用した新たな医療技術の開発につながる可能性を秘めています。

今後も皆様のご支援を励みに、社会に貢献できる研究成果を生み出せるよう、研究に邁進してまいります。引き続きのご支援を賜りますよう、お願い申し上げます。