

学 位 論 文 題 名

ELF 電界の生体作用機序に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

超高圧送電や高出力電気機器の出現により、我々は史上未経験の強度の人工電磁界に曝されるようになってきた。近年、電磁界の生体影響が疑われ、活発な研究が行われている。このような中、国際的安全基準設定の要請が高まり、国連 WHO を中心に国際的安全基準設定に向け努力が続けられている。

本研究では、種々の人工電磁界のうち、とくに ELF (Extremely Low Frequency : 0~300Hz) 電界の生体作用を対象とした。電界の安全基準設定にあたっては、その生体作用を明らかにする必要がある。電界の生体作用については、これまでさまざまな調査研究が行われてきた。しかしその作用機序については不明の点も多く、各国の安全基準は統一されていない。わが国では、電界感知閾値をもとに法的規制値が設定されている。

本研究は、このような状況を背景に、ELF 電界の生体作用機序の一端を明らかにするとともに、安全基準設定に資することを目的としている。電界の生体作用としては、体表電界刺激と体内誘導電流によるものの二種が考えられる。本論文では、これらのうち明確な反応の見られる体表刺激に着目し、理論的および実験的検討を行った。

本論文は、全 8 章から構成されており、主たる内容は以下のように要約される。

第 1 章では、本研究の目的と論文構成について述べている。

第 2 章では、研究の背景として、これまでの ELF 電界の生体影響に関する研究、電界の安全基準設定の動き、さらに電界感知閾値の季節依存性の問題について紹介している。

第 3 章では、電界感知の機序について考察している。理論的検討を通し、電界の体表刺激が生体作用機序として有力であることが示された。また実験的検討を通し、この体表刺激が体毛の動きを介したものであることが確かめられた。さらに、直流電界・交流電界の感知閾値の違いも、この機序に基づき説明できることが明らかとなった。

第 4 章では、体毛に働く電気力の理論解析について述べている。すなわち、体毛の動きを引き起こす電気力について理論的に解析し、体毛に働く力を表わす式を得た。その結果、電気力が体毛の誘電率に直接比例することが理論的に明らかになった。またこの結果より、感知閾値の季節変動の原因として、次の推論の筋道が得られた。つまり、季節変化 → 湿度変化 → 誘電率変化 → 電気力変化 → 運動変化 → 感知閾値変化という連鎖の仮説である。

第 5 章では、前章仮説の妥当性を次のように順次検証した結果について述べている。

- (1) 体毛の誘電率計測法を新たに開発し、誘電率が湿度に依存することを見出した。
- (2) 体毛に働く力を計測する方法を開発し、湿度により電気力や体毛の動きが変化することを確認した。
- (3) 電界感知閾値を計測する方法を考案し、湿度により感知閾値が変化することを新たに見出した。

これらの結果より、感知閾値の季節変動に対する第4章の仮説の妥当性が実証された。

第6章では、感知閾値の個人差について行った実験的検討につき述べている。前章の実験を通し、感知閾値に個人差があることが認められた。これは、安全基準における許容幅を議論する上で重要な問題である。そこで感知閾値の個人差につき実験的検討を行った。その結果、体毛の物理的条件、被験者の心理的条件により感知閾値が変化すること、およびその変化の程度が明らかとなった。ただしこれら変化の程度は、湿度変化に伴う閾値の変化に比べると小さいものであった。

第7章では、安全基準の根拠をより妥当なものにするため、電界感知と生理的变化の関係について検討している。その結果、多くの場合電界感知に伴って体表血流が一時的に増加する現象が見出された。また皮膚電位活動についても、電界曝露に伴って変化する傾向が認められた。これらは、個人差の範囲を超えた一般的生理作用の可能性を示唆するものである。

最後の8章では、ELF電界の生体作用機序に関する基礎的研究についてまとめるとともに、今後の展望を述べている。

本研究は、これまで定性的な議論が多かった電界の生体影響の研究に対し、感知閾値という定量的パラメータを導入することにより新たな方法論的展開を見たものである。その結果、次のような成果が得られた。まず、本研究により、体毛の動きに起因する皮膚感覚が、ELF電界の生体作用機序の一つであることが確かめられた。それを受け、これまで原因不明であった電界感知閾値の季節変動の原因が、一連の因果関係の連鎖として明らかとなった。また、本研究をとおり、感知閾値における個人差の原因についても新たな知見が得られた。さらに、電界感知に伴って生理的变化が生じる可能性を示唆する結果も新たに得られた。これらの結果はすべて、電界の安全基準設定に際し、有用な情報を提供するものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 清 水 孝 一

副 査 教 授 下 澤 楯 夫

副 査 教 授 三 田 村 好 矩

学 位 論 文 題 名

ELF 電界の生体作用機序に関する基礎的研究

超高圧送電や高出力電気機器の出現により、我々は史上未経験の強度の人工電磁界に曝されるようになってきた。近年、電磁界の生体影響が疑われ、活発な研究が行われている。このような中、国際的安全基準設定の要請が高まり、国連 WHO を中心に国際的安全基準設定に向け努力が続けられている。

本研究では、種々の人工電磁界のうち、とくに ELF (Extremely Low Frequency: 0～300Hz) 電界の生体作用を対象としている。電界の安全基準設定にあたっては、その生体作用を明らかにする必要がある。電界の生体作用については、これまでさまざまな調査研究が行われてきている。しかしその作用機序については不明の点も多く、各国の安全基準は統一されてはいない。わが国では、電界感知閾値をもとに法的規制値が設定されている。

本研究は、このような状況を背景に、ELF 電界の生体作用機序の一端を明らかにするとともに、安全基準設定に資することを目的としている。電界の生体作用としては、体表電界刺激と体内誘導電流によるものの二種が考えられている。本論文では、これらのうち明確な反応の見られる体表刺激に着目し、理論的および実験的検討を行っている。

本論文は、全 8 章から構成されており、主たる内容は以下のように要約される。

第 1 章では、本研究の目的と論文構成について述べている。

第 2 章では、研究の背景として、これまでの ELF 電界の生体影響に関する研究、電界の安全基準設定の動き、さらに電界感知閾値の季節依存性の問題について紹介している。

第 3 章では、電界感知の機序について考察している。理論的検討を通し、電界の体表刺激が生体作用機序として有力であることが示されている。また実験的検討を通し、この体表刺激が体毛の動きを介したものであることが確かめられている。さらに、直流電界・交流電界の感知閾値の違いもこの機序に基づき説明できることを明らかにしている。

第4章では、体毛に働く電気力の理論解析について述べている。すなわち、体毛の動きを引き起こす電気力について理論的に解析し、体毛に働く力を表わす式を得ている。その結果、電気力が体毛の誘電率に直接比例することを理論的に明らかにしている。またこの結果より、感知閾値の季節変動の原因として、次の推論の筋道が得られている。つまり、季節変化 → 湿度変化 → 体毛の誘電率変化 → 体毛への電気力変化 → 体毛の運動変化 → ヒトの感知閾値変化という連鎖の仮説である。

第5章では、前章仮説の妥当性を次のように順次検証した結果について述べている。まず、体毛の誘電率計測法を新たに開発し、誘電率が相対湿度に依存することを見出している。次に、体毛に働く力を計測する方法を開発し、湿度により電気力や体毛の動きが変化することを確認している。最後に、電界感知閾値を計測する方法を考案し、湿度により感知閾値が変化することを見出している。これらの結果より、感知閾値の季節変動に対する第4章の仮説の妥当性を実証している。

第6章では、感知閾値の個人差について行った実験的検討につき述べている。前章の実験を通し、感知閾値に個人差があることが認められた。これは、安全基準における許容幅を議論する上で重要な問題である。そこで感知閾値の個人差につき実験的検討を行っている。その結果、体毛の物理的条件、被験者の心理的条件により感知閾値が変化すること、およびその変化の程度を明らかにしている。ただしこれら変化の程度は、湿度変化に伴う閾値の変化に比べると小さいものであることも示している。

第7章では、安全基準の根拠をより妥当なものにするため、電界感知と生理的变化の関係について検討している。その結果、多くの場合電界感知に伴って体表血流が一時的に増加する現象を見出している。また皮膚電位活動についても、電界曝露に伴って変化する傾向を認めている。これらは、個人差の範囲を超えた一般的生理作用の可能性を示唆するものである。

最後の8章では、ELF 電界の生体作用機序に関する基礎的研究についてまとめるとともに、今後の展望を述べている。

本論文の著者は、これまで定性的な議論が多かった電界の生体影響の研究に対し、感知閾値という定量的パラメータを導入することにより新たな方法論的展開を行っている。その結果、次のような成果が得られた。まず、本研究により、体毛の動きに起因する皮膚感覚が ELF 電界の生体作用機序の一つであることが確かめられた。それを受け、これまで原因不明であった電界感知閾値の季節変動の原因が、一連の因果関係の連鎖として明らかにされた。また、本研究を通し、感知閾値における個人差の原因についても新たな知見が得られた。さらに、電界感知に伴って生理的变化が生じる可能性を示唆する結果も新たに得られた。これらの結果はすべて、電界の安全基準設定に際し、有用な情報を提供するものであり、環境電磁工学とりわけ電磁界の生体影響研究の進歩に寄与するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格のあるものと認める。