

2024年 2月 13日

豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学専攻  
学位審査委員会  
委員長 服部 敏明

## 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	川原 泰正		学籍番号	第 219201 号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 電気・電子情報工学専攻	
博士学位 論文名	複素振幅制御技術に基づく電界結合器の設計と水中ワイヤレス給電への応用 (Design of Capacitive Coupler Based on Complex Amplitude Control Technology and Application to Underwater Wireless Power Transfer)			
論文審査の 期間	2024年 1月 11日 ~ 2024年 2月 13日			
公開審査会 の日	2024年 2月 7日	最終試験の 実施日	2024年 2月 7日	
論文審査の 結果*	合格		最終試験の 結果*	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	市川 周一			
委員	上原 秀幸		村上 義信	
	田村 昌也			

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

本論文は、自律型水中ドローンによるインフラ無人点検作業の高効率化を可能にする技術として注目されている電界型水中ワイヤレス給電の実現に向けた要素技術開発に取り組んだ成果をまとめたものである。

本論文は全5章で構成される。第1章では、本研究の背景となる水インフラの点検技術に関する動向と技術課題について述べている。さらに、点検技術として注目されている水中ドローンの概要、及び運用課題の一つとなる電源の確保について説明し、解決策に関する従来研究の概要をまとめている。そこから、水中ワイヤレス給電の観点で解決すべき二つの問題点（電力伝送効率の低下と水流によるドローンの位置変動）を示し、本研究の目的と内容について述べている。第2章では、電界型水中ワイヤレス給電の可能性検討を行っている。電界結合器で達成し得る理論最大電力伝送効率の周波数変動に着目して、矩形電極の構造パラメータに着目した効率改善について述べている。第3章では、電極上の給電・受電点の相対位置に着目した改善手法を提案している。電界結合器を二つの終端開放された結合線路として扱うことで、準静電界の結合係数と双曲線関数で表現される電極上の複素振幅で表現されること、及び効率の高まる給電・受電点の相対位置関係が淡水・海水といった水の種類（誘電体の $Q$ 値に依存）によって変化することを明らかにしている。その結果、水道水中で磁界型と同等の電力伝送効率を達成している。第4章では、淡水中で高効率かつ位置変動耐性を有する電界型水中ワイヤレス給電システムを紹介している。本システムは、高周波電源の分野で提案されている負荷非依存インバータと本研究の成果である給電・受電点の相対位置が反転した電界結合器から構成される。これにより受電電極の位置が変動したとしても、理論最大電力伝送効率が極大となる周波数において高周波電源を安定動作させることに成功している。第5章は結論であり、これまでの章を総括するとともに、今後の課題と展望を述べている。

## 審査結果の要旨

本論文では電極に生じる高周波の複素振幅から水中における理論最大電力伝送効率の定式化に成功し、これまで再現できなかった効率の周波数特性を完全に再現している。さらに、結合器電極の給電・受電点と効率の関係を明らかにすることで、非常に単純なシステムで位置変動に高い耐性を有する水中ワイヤレス給電を実現している。

電界結合器は「水中に存在するイオンの追従性」及び「水流による位置変動」に起因する電力伝送効率の低下を解決しなければならない。前者に関する研究では、一様媒質中（水中）の電界結合器の等価回路から理論最大電力伝送効率の定式化に成功した。従来は無負荷 $Q$ が支配的とされていたが、水中では媒質の無負荷 $Q$ が小さくとも、結合係数が高ければ高効率となることを明らかにしている。さらに、電界結合器を2組の終端開放された結合線路として表現することで、電極上の電流・電圧の複素振幅に起因する第三の効率因子を明らかにし、従来の理論では再現できなかった理論最大電力伝送効率の周波数特性を完全に再現した。考案した理論をもとに、水の塩分濃度と給電・受電位置の関係を解明している。この結果から作製された電界結合器は、これまでの電界型をはるかに凌駕する電力伝送効率を達成しており、磁界型と遜色ない値を実現している。また、後者に関する研究では、給電・受電点の相対位置が反転した電界結合器と負荷非依存インバータを組み合わせ、位置変動耐性の改善を達成している。電極上に生じる電圧定在波の複素振幅特性から、結合器の理論最大効率が極大値を有し、入力インピーダンス虚部の絶対値が最小になることを発見している。これより、可変整合回路を用いることなく理論最大電力伝送効率を達成する、電子制御が不要な極めて単純かつ軽量のシステムで高効率・安定駆動を実現している。

本論文で考案された水中における理論モデルは学術的に価値があり、それらに基づいて構築された電界型水中ワイヤレス給電は水インフラの点検に導入されようとしているドローンの完全自動化を可能にすることから社会的にも意義がある。以上より、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。