

2024年 1月 4日

電気・電子情報工学専攻	学籍番号	第219201号	指導教員	田村 昌也
氏名	川原 泰正			市川 周一 上原 秀幸

## 論文内容の要旨 (博士)

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
---------	------------------------------------

(要旨 1,200字程度)

本論文は、電界型水中ワイヤレス給電の実現に取り組んだ成果をまとめたものである。電界型水中ワイヤレス給電の実現を阻害する大きな問題に、水による電力伝送効率の劣化と水流による受電デバイスの位置変動がある。本論文では、電界結合器電極の構造パラメータと電極上の給電/受電点の相対位置に着目した複素振幅制御技術を通して、水中における伝送効率改善を論じている。また、高周波電源の一つである負荷非依存インバータと給電/受電点の相対位置が反転した電界結合器を組み合わせることで、淡水中での位置変動耐性について論じる。

本論文は全5章で構成される。第1章は序論であり、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的要求についてまとめる。また、点検技術として注目されている自律型水中ドローンの概要と運用課題の一つとなる電源の確保について説明し、水中ワイヤレス給電の観点から解決すべき課題を示す。第2章では、電界結合器が水中でどれほどの効率を達成できるのかを明らかにすべく、淡水の一種である水道水と海水中における理論最大効率を計算する。その結果、周波数に対して極小/極大値を有すること、矩形電極の構造パラメータに着目した極大値の改善手法を述べている。また、当該分野の基本理論であるkQ理論の観点から、水道水中と海水中において結合係数(k)水のと品質係数(Q)のどちらの効率因子が支配的であるのかを考察する。第3章では、電界結合器の分布定数表現を通して、電極上の電流・電圧の複素振幅がkQ理論の第三の効率因子(双曲線関数)として現れ、第三の効率因子が周波数変動の要因であることを明らかにしている。さらに、複素振幅制御に基づいて給電/受電点の相対位置に着目した高効率化手法を述べている。導出式の定量評価と電磁界解析の結果、淡水/海水中でそれぞれ反転・同一の相対位置が適することが明らかになる。2章で示した構造パラメータの最適化と本手法を組み合わせることで、小型ドローンに搭載可能な電極サイズにおいて、水道水中の50 mm以下の距離で90%の理論最大効率を達成する。第4章では、水流によるドローンの位置変動に対応する技術を述べる。高周波電源の最先端の研究である負荷非依存インバータと3章で示した相対位置が反転した電界結合器を組み合わせることで、淡水中で高効率かつ位置変動耐性を獲得できることを明らかにし、水道水中で実証する。第5章は結論であり、これまでの章を総括するとともに、今後の展望を述べている。

Date of Submission: January 4, 2024

Department of Electrical and Electronic Information Engineering	Student ID Number D219201	Supervisors Masaya Tamura Shuichi Ichikawa Hideyuki Uehara
Applicant's name Yasumasa Kawahara		

## Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Design of Capacitive Coupler Based on Complex Amplitude Control Technology and Application to Underwater Wireless Power Transfer
-----------------	--

Approx. 800 words

This dissertation summarizes the achievements in realizing capacitive underwater wireless power transfer (UWPT). Major challenges hindering the realization of the capacitive UWPT include the degradation of power transmission efficiency in a water environment and the positional fluctuation of the receiving devices, such as underwater drones, caused by water flow. In this dissertation, I discuss efficiency improvement techniques in underwater environments by optimizing the structural parameters of the capacitive-coupler electrodes and the complex amplitude control focused on the relative positions of the power feeding/receiving points on the electrodes. Furthermore, I propose a straightforward capacitive WPT system with misalignment tolerance in flowing freshwater environments for underwater drone application.

This dissertation consists of five chapters. Chapter 1 serves as the introduction, providing an overview of the background of this research and the technical requirements related to underwater infrastructure inspection. It also addresses the challenges related to ensuring a power source for autonomous underwater vehicles, a technology of particular interest in inspection applications. The issues to be resolved from the perspective of capacitive UWPT are highlighted. In Chapter 2, the theoretical maximum efficiency of the capacitive coupler is evaluated in tap water and seawater to reveal how efficiently can be achieved. The results show that the efficiency has extreme values with frequency, and I discuss methods to improve the maximum value by focusing on the structural parameters of rectangular electrodes. In addition, from the viewpoint of the  $kQ$  theory, the basic theory in a WPT field, I clarify that whether the coupling coefficient ( $k$ ) of water or the quality factor ( $Q$ ) is the primary factor in tap water and seawater. In Chapter 3, through the distributed-element representation of the coupler, the complex amplitude of the current and voltage on the electrode appears as the third efficiency factor (hyperbolic function) in the  $kQ$  theory, and the third factor dominates the frequency variation. Furthermore, an improvement method is discussed focusing on the relative positions of the feeding/receiving points based on complex amplitude control. The quantitative evaluations by the derived equations and electromagnetic simulation reveal that opposite/identical relative positions are suitable in freshwater/seawater environments, respectively. Combining the optimization of the structural parameters described in Chapter 2 with this method, it achieves a 90% theoretical maximum efficiency at transfer distances within 50 mm in tap water. Chapter 4 discusses techniques for adapting to the position fluctuation of drones due to water flow. This system consists of a load-independent inverter, which is the state-of-the-art high-frequency power source, and the capacitive coupler with an opposite relative position. Chapter 5 serves as the conclusion, summarizing the previous chapters and providing insights into prospects.