

2025年度 研究成果報告書（短期）

研究テーマ（2025年度採択）

水中モータへ安全に電力伝送が可能なワイヤレスコネクタの開発

研究要旨

1 まえがき

水中機器や防水が必要な箇所でのケーブルの接続には、金属部の露出を防ぐために防水のコネクタが必要となる。ただし、経年劣化などにより、感電や漏電のリスクがある。これに対しワイヤレス給電技術は、金属部の物理的接触無しで電力の伝送が可能であるため、水回りの電子機器の給電に適用されている。本研究では、ワイヤレス給電技術の活用した水中コネクタの基礎検討として、ソレノイド型コイルによる電力伝送を検討する。これは、送受電コイル間で同軸のソレノイド型コイルとすることで、コネクタ形状を確保しつつ高い結合度合いを実現する点に特長がある。以下では、検討するワイヤレス給電の回路構成およびソレノイド型コイルの形状について説明し、基礎検討として、直流 48 V、100 W の試作回路により電力伝送を確認す。

2 実験回路

図 1 に実験回路を、表 1 に回路定数を示す。水中コネクタの意図しない緩みや外れの安全性の担保のために、送電側には並列共振のワイヤレス給電回路を適用する。これにより、コネクタが緩んだ場合であっても送受電回路には過電流や過電圧が生じない。また、小型化のために 1 石形のインバータとする。このときインバータは 85 kHz で動作するものとする。本研究では基礎検討として、48 V の直流電圧を入力とし、出力側にも 48 V が得られるように回路定数を選定している。また、伝送電力は 100 W としている。

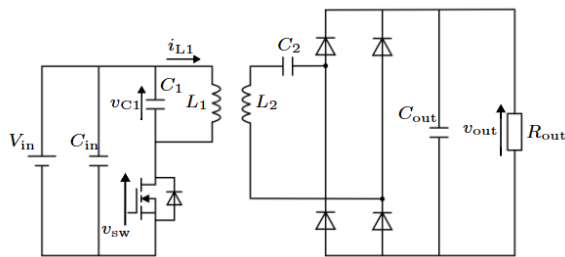


図 1 実験回路

表 1 実験回路の定数

Input dc voltage	V_{in}	48 V
Input dc capacitor	C_{in}	10 μF
Transfer coil (Tx coil)	L_1	25.3 μH
Parallel resonant capacitor	C_1	0.1 μF
Receiver coil (Rx coil)	L_2	15.7 μH
Series resonant capacitor	C_2	1 μF
Output dc capacitor	C_{out}	3.6 mF
Output dc resistance	R_{out}	20 Ω
Switching frequency	f_{sw}	85 kHz

3 試作したソレノイド型送受電コイル

図 2 と 3 に、試作した送受電ソレノイドコイルの写真を示す。送電側のソレノイドコイルは直径 10 mm のフェライトコアに直接リッツ線を巻き付け、長さ 64 mm のソレノイドコイルとしている。受電側ソレノイドコイルは直径 30 mm、長さ 58 mm の空芯ソレノイドコイルとしている。このとき、受電側コイルの直径は、送電側のソレノイドコイルが余裕をもって挿入できるように考慮して決定している。これにより、受電側ソレノイドコイルも送電側ソレノイドコイルのフェライトコアを共有できる。その結果、受電側ソレノイドコイルが空芯の際のインダクタンスは 4.5 μH であるが、送電側ソレノイドコイルが挿入されている際の受電側ソレノイドコイルのインダクタンスは 15.7 μH に増加する。加えて、同軸のソレノイドコイルとしていることで、送充電間で高い結合を実現できる。また、ソレノイドコイルとすることで、巻き数によりコイルのインダクタンスを調整する場合、コイルの長さを変えることになる。これは、ワイヤレス給電で広く用いられる平面状のコイルより、ソレノイドコイルの方がケーブル端に接続するコネクタの形状との親和性が高いと考える。

図 4 に電力伝送用に結合させた際の送受電コイルの写真を示す。実際の接続の際には、まず送受電コイルそれぞれをケース内に格納することで防水機能を確保する。その上で、そのケース同士をコネクタのオスとメスの様に接続すればよい。図 4(a)は電力伝送を行う際の状態であり、送受電コイル間の結合係数 k は $k = 0.76$ である。一方で図 4(b)の状

態では、コネクタを抜いた状態を模擬しており、 $k = 0.04$ である。

4 実験結果

図 5 に実験波形を示す。ここでは、48 V の直流電を入力に、20 Ω の抵抗を出力に接続している。また、一石形インバ

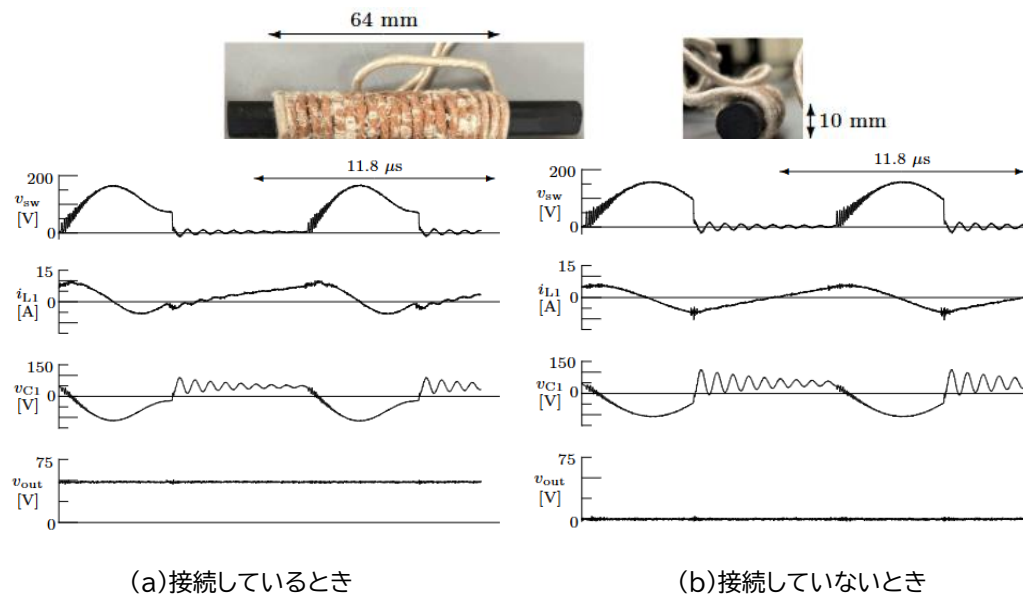


図 5 送電側ソレノイドコイルの写真



(a) 接続しているとき (b) 接続していないとき

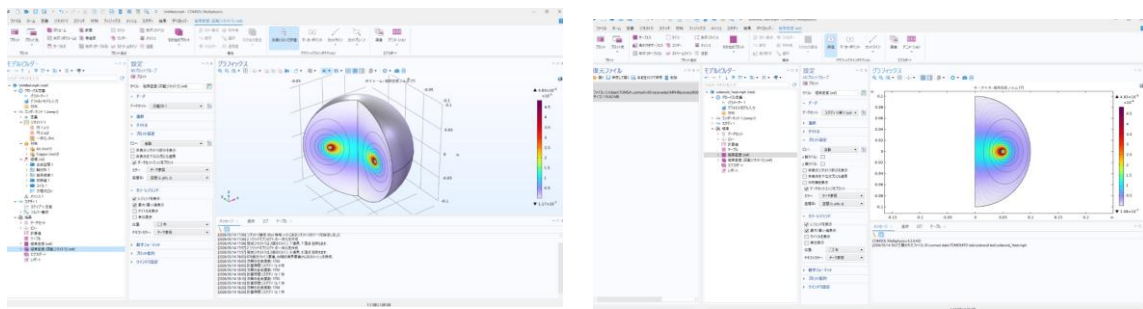
図 4 実験における送受電コイルの状態の写真

ータのスイッチのデューティ比は 0.55 と設定している。図 5(a)は図 4(a)の状態における実験波形である。送電側ソレノイドコイル電流 i_L は最大値 9 A 程度、実効値 4.9 A であった。このとき、出力電圧 v_{out} は 48 V を得ている。図 5(b)は図 4(b)の状態における実験波形である送電側ソレノイドコイル電流 i_L は最大値 8 A 程度、実効値 3.9 A であった。このとき、出力電圧 v_{out} は 0 V となり、受電側電力を受け取っていない。ただし、送電側はコイルとコンデンサが並列に接続されているため、受電コイルが無い(無負荷)の場合であっても送電コイルには 3.9 A の電流が流れている。これは、回路構成上避けられない電流ではあるが、定常電流として設計可能なものである。また、実験では、送電コイルを抜いていく過程においても送受電コイルともに過電圧や過電流が生じていないことを確認している。

5. その他の検討状況

送受電コイルに内蔵可能な通信手法として、光通信を検討している。例えば、浜松ホトニクスから光空間伝送用トランシーバー「P16548-01AT」が発表されており、送受電コイルに組み込む際の配置などの検討を始めている。

加えて、COMSOL Multiphysics に RF モジュールを追加し、ソレノイドコイルが作る放射磁界についてもシミュレーション検討を始めている。図 6 にシミュレーション画面のスクリーンショットを示す。年度末に導入したため、まだ基本モデルの作成およびシミュレーションの動作確認の段階ではあるが、今後順次評価を進めてゆく。



(a)全体

(b)垂直面

図 6 送電側ソレノイドコイルの写真

6 まとめ

本研究では、ワイヤレス給電技術の活用した水中コネクタの基礎検討として、ソレノイド型コイルによる電力伝送を検討した。これは、送受電コイルに同軸のソレノイド型コイルを用いている点に特長がある。試作した実験回路により、直流 48 V、100 W の電力伝送を確認した。今後は直流用コネクタのみではなく、商用周波数の三相交流に接続可能なワイヤレス給電コネクタも検討し、モータの駆動実験を実施する予定である。

本研究にご支援いただきました一般財団法人鶴見奨学研究助成財団の皆様に厚く御礼申し上げます。

7 発表論文

ワイヤレス給電方式水中コネクタの基礎検討」, 2026 年電気学会全国大会講演論文集(第 4 分冊), pp.207-208(2026)

※詳細は当財団までお問い合わせください。