

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電磁波を用いた海中移動体向け無線電力伝送，無線通信に関する研究
Title(English)	Study of Wireless Power Transfer and Communication using Electromagnetic Waves for Underwater Vehicles
著者(和文)	栂場亮祐
Author(English)	Ryosuke Hasaba
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12858号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣川 二郎,阪口 啓,西方 敦博,青柳 貴洋,TRAN GIA KHANH
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12858号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	栂場 亮祐		審査員主査： Chief Examiner 廣川 二郎

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は“Study of Wireless Power Transfer and Communication using Electromagnetic Waves for Underwater Vehicles Mobile (電磁波を用いた海中移動体向け無線電力伝送, 無線通信に関する研究)”と題し, 全5章で構成した。 第1章“Introduction (序章)”では, 6Gなど次世代通信の通信エリア拡大において, 非地上系ネットワークである海中の電波利用が重要となる社会背景から述べた。資源探査などに用いられる自律型無人潜水機 (Autonomous Underwater Vehicle : AUV) の課題についてまとめ, AUVへの無線電力伝送, 無線通信の有用性を述べた。無線電力伝送について, 磁界結合型の先行研究に述べ, 海中通信については, 既存の有線通信, 光通信, 音響通信, 無線通信の特徴, 電波通信の先行研究についてまとめた。最後に本論文の構成とその概要を説明した。 第2章“Wireless Power Transfer using Multistage Coils (多段コイルを用いた無線電力伝送)”では, 直径3.4 mのコイルを用いて海中内で長距離無線電力伝送を行った。コイルを励振した場合, 周波数ごとに材料別の損失をシミュレーションにより示した。はじめに, コイルを2つ用いて, コイルのインダクタンス, 抵抗値, 結合係数をVNAで測定し, シミュレーション値, 実測値で確認した。つぎに直径3.4 mのコイルを7つと直径1.7 mのコイルを用いて, 10 m先への電力伝送を行った。電源, 負荷, コイルを用いて, 整合がとれるキャパシタ容量の決定方法を示した。その式を基に容量を決定し, 各コイルにキャパシタを接続, 10 m先へ給電する実験を行った。受電電力100 W, 効率20.7 %であることを確認した。直径1.7 mの受電コイルを送信コイル内部へ移動させ, 受電コイルの高さを0 mから10 mを変えて実験を行った。伝送効率はいずれも20 %以上であり, 送電コイル内部で無線電力伝送できることを示した。 第3章“Wireless Power Transfer for Underwater Vehicles (海中移動体向け無線電力伝送)”では, AUVに無線給電を行った。AUVの筐体は金属であるため, コイルを取り付けるとコイルのQ値が大きく劣化してしまう。そこで, AUVにフェライト貼り付けて, その上からコイルを巻くことで, 特性劣化を防止した。AUVへの充電は位置のアライメント調整が難しいため, AUVを囲むように直径2mのコイルを3つ配置し, そのコイルの中ではどこでも無線電力伝送できるシステムを提案した。はじめに, AUVを金属柱とみなし, 特性を確認した。受電コイルを送電コイル内に移動させた際の効率を計算し, 80 %以上の高効率で無線給電できることを示した。受電電力を3 kWとした大電力の実験を行った。受電コイルの位置を送電コイル内部で変えても, 効率が75 %であることを確認した。つぎに実際のAUVにコイルを組み込み実験, 計算を行なった。AUVにはスラスタ, フレーム, バラストなどいろいろなコンポーネントがある。それらが無線電力伝送に与える影響を見るため, 損失の内訳を計算により確認した。スラスタを動かしていない場合, 動かした場合で, 無線充電できるかを実海域で実験した。いずれの場合においても, AUVのバッテリーに無線給電できることを示せた。 第4章“Underwater Radio Communication System Using Loop-Shaped Antennas (ループ形状アンテナを用いた海中無線通信システム)”では, AUVへの海中通信を検討した。直径0.8 mのループアンテナを用いて, 海中内の電波伝播の特性を確認した。塩水内に沈めるため, 防水構造のアンテナを試作した。塩水中では, 周波数が1 MHz以上に高くなると急激に挿入損失が大きくなり, 低い周波数を用いなければ, 長い距離を伝送できないことがわかった。Wavelet OFDMの通信モジュールを用いて, 通信実験を行った。海水中の通信を想定し, 周波数を低域側にシフトするモードを用いた。アンテナ間の距離を変えて, 低域側の周波数で通信距離を伸ばせることを示した。次にAUVにアンテナを組み込むとともに, 置局側の2 mのループアンテナを設計・試作した。置局側アンテナを中心に水平方向に-2 mから+2 m, 垂直方向に-1.6 mから1.6 mの範囲で, 通信モジュールを用いて数Mbpsで通信できることを示した。これらの通信を用いて, AUVの制御, 映像伝送できることを確認し, 海中内の電波を利用した無線通信の有用さを示した。 第5章“Conclusions and Future Study (結論と今後の課題)”では, 本研究で得られた結果をまとめるとともに, 海中内でAUVに対して, 数メートルの範囲内で, kW級の無線給電, 数Mbps級の無線通信が可能であることを示し, 本研究が海中アプリケーションに有効であることを述べた。 無線電力伝送と無線通信の融合を考えた際のお互いのノイズ影響や, 海中通信の適用アプリケーションの拡大のため, 通信距離の数十メートル以上出せるようなアンテナ形状が必要であること述べ, 今後の研究の方向性について説明した。

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース :	電気電子	系	申請学位 (専攻分野) :	博士
Department of, Graduate major in	電気電子	コース	Academic Degree Requested	Doctor of (工学)
学生氏名 :	栂場 亮祐		審査員主査 :	廣川 二郎
Student's Name			Chief Examiner	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation, titled "Study of Wireless Power Transfer and Communication using Electromagnetic Waves for Underwater Vehicles Mobile," is composed of five chapters.

Chapter 1, "Introduction," discusses the importance of utilizing electromagnetic waves in underwater environments as part of non-terrestrial networks. The challenges faced by Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) used in resource exploration are summarized, highlighting the usefulness of wireless power transfer and communication for AUVs. Previous research on wireless power transfer and underwater communication is reviewed. The chapter concludes with an overview of the dissertation's structure and content.

Chapter 2, "Wireless Power Transfer using Multistage Coils," describes long-distance wireless power transfer in underwater environments using coils with a diameter of 3.4 meters. Wireless Power transfer over 10 meters is achieved using seven coils with a diameter of 3.4 meters and additional coils with a diameter of 1.7 meters. Experiments confirm a received power of 100 W with an efficiency of 20.7%. Moving the receiving coil within the transmitting coil shows that power transfer efficiency remains above 20%, demonstrating effective wireless power transfer within the transmitting coil.

Chapter 3, "Wireless Power Transfer for Underwater Vehicles," focuses on wireless power transfer to AUVs. Due to the metallic casing of AUVs, attaching coils directly would degrade the coil's Q-factor. To prevent this, ferrite is attached to the AUV, and coils are wound over it. A system is proposed where three coils with a diameter of 2 meters are arranged around the AUV. Experiments with a received power of 3kW show an efficiency of 75% regardless of the receiving coil's position.

Chapter 4, "Underwater Radio Communication System Using Loop-Shaped Antennas," investigates underwater communication for AUVs using loop antennas. Waterproof antennas are developed for use in saltwater. Communication experiments using Wavelet OFDM modules demonstrate extended communication distances at lower frequencies. Antennas are integrated into AUVs, and a 2-meter loop antenna is designed and tested for the base station. Communication at several Mbps is achieved within a horizontal range and a vertical range.

Chapter 5 presents the summary of the dissertation and future works.