

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：海中移動体へ大電力を送る革新的ワイヤレス給電に関する研究
- (2) 研究代表者：パナソニックコネクト株式会社 小柳 芳雄
- (3) 研究期間：平成30年度～令和4年度

2. 終了評価の実施概要

日時：令和5年10月20日

場所：TKP新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

神奈川大学 名誉教授

遠藤 信行

情報通信研究機構 主席研究員

門脇 直人

東京理科大学 工学部 電気工学科 嘱託教授、東京理科大学

名誉教授

村口 正弘

元東海大学 教授

森本 雅之

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究と成果の概要

研究の概要

海中にポジションフリーワイヤレス給電システム及び海中充電スタンドを設置し、kW級の電力を伝送効率80%以上で海中移動体(AUV)へ給電することを目的として、強電磁界に対する海水物性の解明とワイヤレス給電システムを構成する各要素部の損失メカニズムの解明のための研究を実施する。

成果の概要

海中に3連コイルによる海中充電スタンドを設置し、3kWの電力を伝送効率75%以上で海中移動体(AUV)へポジションフリーでワイヤレス給電できることを明らかにした。本技術により、AUVを給電させながら無人で長期間運用できる可能性が高まり、関連する産業分野の発展に幅広く寄与し得る。

- ・海中給電時の伝搬エネルギー損失の解析により各媒質の損失割合を把握し、高効率な給電システムを構築。

- ・実海域（沼津、口之島）にて充放電試験を実施し、実験用 AUV に対して 3kW・伝送効率 75%超の海中電力伝送に成功。
- ・粒子シミュレーションにより電磁界中における伝送損失メカニズムを確認。本研究で検討している磁場強度の範囲では、海水に対して磁場は物理・化学的な影響は与えないことを確認。
- ・海中電波通信による充電制御に成功。
- ・養殖魚及び漁獲対象魚への複数の電磁界ばく露試験にて、魚類への影響なしを確認。

4. 終了評価の評点

| |
|-------------------|
| AA 想定以上の研究成果をあげた。 |
|-------------------|

5. 総合コメント

海水中での非接触充電の可能性にチャレンジし、実現した。当該分野を専門とする国際学会で受賞する等の新規な成果を挙げたことは評価できる。また、海水中の物性に関する知見は副次成果として評価できる。伝送効率の数値目標は未達成であるが、その原因は考察されている。

6. 評価の観点ごとの評価結果と個々の委員によるコメント

6-1. 研究開始時に設定した研究目標の達成度（主題的成果）

①強電磁界に対する海水物性の解明

kW 級の電力を 10 kHz 以下の周波数で伝送することにより発生する強電磁界が、水分子や海水の溶融イオン等に与える影響を調べた結果、本研究で検討している磁場強度の範囲では、海水に対して磁場は物理・化学的な影響は与えないことを明らかにした。

- ・分子動力学（MD）法による粒子シミュレーション結果から、電磁界エネルギーの海水粒子への輸送メカニズムが概ね判明し、また、海水に強磁場を印加しても、分子結合が切断されるほど強磁場でなければ 温度上昇があるのみという事を明らかにした。
- ・複素誘電率の計測から、規定の強磁界印加時においても、計測ノイズの変化を超えるような複素誘電率の変化は観測されず、強磁界による電気特性の変化は見られないことを明らかにした。

②ワイヤレス給電システムを構成する各要素部の損失メカニズムの解明

ポジションフリーワイヤレス給電システムを構成する各要素部での電磁波の伝搬エネルギーの損失電力を明らかにした（海水による損失 60～70%、送電コイル 10%、受電コイル 10%、AUV10%）。

また、コイル周辺を海水から空気に変更したモデルを解析した結果、損失低減に有効であることが分かったため、ポリエチレンパイプ内に送電コイルを巻き、海水と直接接触させない構成を採用した。

③kW 級ポジションフリーワイヤレス給電システムの確立

kW 級の電力伝送を行うための、電磁波の伝搬エネルギーの損失を低減する最適なコイルの材料 AUV に用いる磁性体材料、コンデンサの構造や送受電回路、等を選定・開発した他、水槽実験により、真水、海水での大電力伝送に必要なコイルや伝送路パラメータを取得した。また、長期水中海中実験に耐える、充電スタンドの海中構造設計、送受電コイルの防水構造等を検討した。これらにより、電力 3kW 程度かつ、伝送効率 80%以上となる、磁界共鳴方式によるポジションフリーワイヤレス給電システムの設計及び製作方法を確立した。

④海中で運用可能な AUV とポジションフリーワイヤレス給電システムの実証実験

海中に設置した送電コイル（海中充電スタンド）の中に受電コイル搭載の AUV を進入させ、ワイヤレス電力伝送を行う実海域給電実証実験を 2022 年度に実施し、AUV に kW 級の充電ができることを実証した。送電コイル内のいずれの場所でも目標の 3kW 充電は達成できたが、伝送効率は 75%と目標の 80%には僅かに届かなかった。また、搭載されている各種センサやスラスタには影響を与えなかった。

⑤充電制御及びデータ伝送のための海中通信方式の確立

実海域にて AUV を用いての海中通信実験を実施し、充電制御と AUV からの海底画像の伝送を確認した。これにより、海中での AUV への充電状況を確認するための海中通信方式を確立した。

⑥強電磁界での魚類等の生態系への影響調査

魚類の行動特性、育成状況やストレス指標（ATP 関連物質や血液検査等）等について、強電磁界の有り無しで比較することで、強電磁界を海中で発生させた場合の魚類に対する影響を調査した結果、いずれも電磁波ばく露による環境影響は確認されなかった。

【個々の委員によるコメント】（主題的成果）

- ・研究目標は概ね達成した。
- ・海水中で高効率に非接触で電力伝送を実現したことは大きな成果である。
- ・海水中で高効率なポジションフリー電力伝送を実現したことの意義は大きい。

- ・海水中に大パワーの電力を送信する技術確立の成果は大きい。
- ・効率目標は未達成だが、わずかに達しなかったものであり、その他の項目も目標達成している。

6-2. 計画時に想定していなかった成果（副次的成果）

- ・強電磁界に対する海水物性の解明にて、電磁界から海水へのエネルギー輸送過程が概ね理解でき、「人為的なエネルギー輸送過程の調整」は難しいことがわかった。さらに、海水中では磁界が伝搬しているとの解釈が一般的であったが、実際には電界がエネルギー伝搬には重要な役割を持っており、海水イオンは電界によって運動し、水分子に衝突することでローカルなエネルギーの逸脱が発生するメカニズムが理解できた。本研究により、電磁界中の海水の適正な粒子シミュレーション手法を確立できるとともに、低周波における海水の電気パラメータの計測精度向上が実現できた。
- ・充電制御及びデータ伝送のための海中通信方式の確立にて、電波を用いた AUV への充電制御を海水中で実施できただけでなく、AUV に装着したカメラからの画像伝送も行うことができ、電波による海中通信技術の可能性を拓いた。

【個々の委員によるコメント】（副次的成果）

- ・海水の粒子シミュレーション手法の開発はアカデミックな成果として価値が高い。
- ・時間変化する強磁界に対する海水物性の解明は波及効果が期待される。
- ・海水に対する影響の研究は、他の研究者に大きな助けとなる。

6-3. 他の者により派生した成果（間接的成果）

特に無し。

6-4. 科学技術上特筆すべき成果

国際学会 2021 IEEE MTT-S Wireless Power Transfer Conference にて、Best Industry Paper を受賞

【個々の委員によるコメント】（科学技術上特筆すべき成果）

- ・当該分野を専門とする国際学会での受賞に象徴される新規な成果を挙げた。
- ・海水物性の解明は科学技術上特筆すべき成果である。

6-5. 論文（投稿中のものも含む）、学会発表等

論文 3 件、国際学会発表 5 件、口頭発表 10 件、その他 1 件

【個々の委員によるコメント】（論文（投稿中のものも含む）、学会発表等）

- ・研究成果の発表は標準以上であると判断する。

6-6. 特許（出願中のものも含む）

基礎出願 7 件、外国出願 5 件（うち 1 件登録）

6-7. 科学技術への波及効果

- ・海中での AUV の活動範囲や時間を拡大するため、海中で安定した電源確保ができるワイヤレス給電システムの実現が期待されている。海水のような電磁波の損失の大きな媒質内でワイヤレス給電を行う場合、従来は送受電コイルを極近接させることでコイル間の結合を高めて電力を送る方式が一般的であった。本研究で実施された、ポジションフリー方式の給電技術では、大きな送電コイル内の広い範囲で高効率かつ大電力で受電可能であることを明らかにしており、海中給電技術としては画期的なものである。
- ・これまで AUV の運用は船と一体であったが、本方式の充電スタンドを探索する海中に設置すれば、人を介することなく無人で作業を行えるようになるため、気象などの影響を受けず効率的な運用が可能となる。これにより AUV を無人で給電させて長期間運用できる可能性が高まり、関連する産業分野の発展に幅広く寄与し得る。
- ・令和 4 年度安全保障技術研究推進制度「水中自律航行システムに向けた画像解析による位置推定手法の開発」（いであ社）にて、本研究成果を活用した水中充電ステーションを製作することで AUV による実海域実験の効率化を図っている。
- ・令和 3 年度国立研究開発法人情報通信研究機構の Beyond 5G 研究開発促進事業「海中・水中 IoT における無線通信技術の研究開発」（九工大）にて、パナソニックホールディングス（株）が開発した電波による水中通信技術を活用発展させて、電波を使った海水中での通信距離のさらなる拡大を図っている。

6-8. 効率的な研究実施体制とマネジメント

効率的な研究プロジェクト運営を行うためのプロジェクト管理を行う専門部署の設置、デザインレビュー等の研究の質を高めるための取り組みが行われた。

さらに、再委託先との定期的な打合せや共同実験により、研究の方向性について調整が行われた。

【個々の委員によるコメント】（効率的な研究実施体制とマネジメント）

- ・目標に向けて効果的実施を行ったと判断する。
- ・フィールド実験を含め、効率的に行っている。

6-9. 研究推進時に生じた問題への対応

- ・従来より測定が困難であった低周波における海水の電気パラメータの計測について、海水中で使用可能な磁界プローブを用いる等の工夫により測定精度を向上でき、電磁波印加時との差分が無いことを確認できた。
- ・AUV の受電コイルの内側に使用したフェライトの磁気飽和の影響で 3kW の電力を印加できない課題が発生したが、動作周波数を 1kHz から 1.5kHz に変更することで大電力伝送と高効率をバランスさせることができた。
- ・充電中は主耐圧容器からの鳴音により、主に蓋（鏡板）が振動していることが判明したが、制振ゴム等による制振対策を施すことで、慣性航法装置の稼働に問題無いレベルまで振動を低減させた。
- ・伝送効率を劣化させる要因として、AUV の吊り金具の影響をシミュレーションにより把握し、非金属性の吊り具に変更することで伝送効率を 3%改善した。

6-10. 経費の効率的な執行

無駄が無く、適正な経費の執行を行うため、プロジェクト管理を行う専門部署を設置し、物品や外注費等の購入に関わる経費執行状況の確認、作業日報の確認及び整備、経理関係書類の確認、定期的なレビューの実施等を行った。さらに、経費に関わる事務処理を担当する事務処理担当者を配置し、物品や外注費等の購入に関わる事務手続き、作業日報の作成とりまとめ等を専門的に行うことで、効率的な経費の執行を行った。

【個々の委員によるコメント】（経費の効率的な執行）

- ・経費は効率的に執行されている。