



Title: Simulating and Modeling for Capacitance and Conductance of Parallel-Plate Coupler for Under Sea Water Applications (海水中応用における平行板カプラの静電容量とコンダクタンスのシミュレーションとモデリング)

Authors: Ning Li, Kosuke Iguchi, Xuefeng Liu, Takeshi Shinkai

(李 寧(東京工科大 助教)、井口 公佑(東京工科大 大学院生)、劉 雪峰(東京女子大 教授)、新海 健(東京工科大 教授))

Journal: Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics,

掲載年月: 2025 年 4 月

研究概要: 本論文では、水中容量性ワイヤレス電力伝送 (CWPT) システム用の平行板コンデンサのモデリングと特性を分析しました。有限要素法 (FEM) シミュレーションを使用して、この研究では、静電容量とコンダクタンスの両方のシミュレーション結果にさまざまな要因が及ぼす影響を調査しました。海水環境での結合静電容量とコンダクタンスの近似式を提案しました。導出された式は、カプラのサイズを変化させて検証されました。4 つの異なるサイズについて、静電容量の最大誤差率は、サイズが 180×100mm のときに 9.18% でした。コンダクタンスについては、伝送距離 20mm ですべての誤差率が 3.49% 未満でした。シミュレーション結果と導出式から計算された結果が一致していることから、静電容量とコンダクタンスの両方について導出された式の妥当性が裏付けられています。

研究背景: 近年、静電容量式ワイヤレス電力伝送に関する研究が大きな注目を集めており、特に 2020 年以降、多くの関連論文が学術界から発表されています。CWPT は水の高い誘電率を活用できるため、特に水中での利用において有望視されています。しかし、海水中でのキャパシタンスやコンダクタンスに関する検討は十分に行われていません。

研究成果: 本研究では、静電容量式ワイヤレス電力伝送システムにおいて、キャパシタンスに加えてコンダクタンスの特性も詳細に解析しました。フリンジ容量を考慮したキャパシタンスおよびコンダクタンスの数学モデルを新たに提案しました。提案したモデルを幾多のパターンで検証し、その有効性を確認できました。

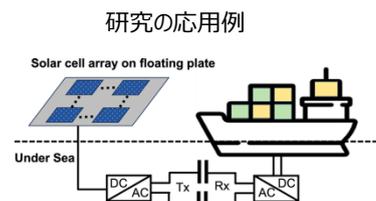


図 1 海水中における静電容量式ワイヤレス電力伝送の応用。

Plate size		Error [%] of C_{dl} & G_{dl} using C_{fl} and G_{fl}			Error [%] of C_{dl} & G_{dl} using C_{cal} and G_{cal}		
W [mm]	L [mm]	$D = 20$ mm	$D = 100$ mm	$D = 180$ mm	$D = 20$ mm	$D = 100$ mm	$D = 180$ mm
180	100	9.18 & 3.34	4.30 & 1.30	0.26 & 0.74	22.7 & 22.7	43.3 & 43.3	53.0 & 53.0
100	100	1.76 & 3.49	0.89 & 2.75	12.5 & 10.4	27.1 & 27.1	50.5 & 50.5	61.2 & 61.2
180	180	2.20 & 1.99	6.68 & 2.11	8.17 & 2.83	18.7 & 18.7	38.8 & 38.8	47.7 & 47.7
300	300	1.83 & 1.37	8.61 & 2.37	11.3 & 5.20	13.3 & 13.3	30.4 & 30.4	38.3 & 38.3

表 1 異なる距離とプレートサイズでのシミュレーション結果と計算結果間の誤差。

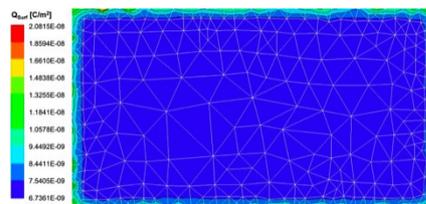


図 2 励起プレート上の表面電荷の分布 (色のグラデーションは左に表示) と四面体メッシュ。

社会的・学術的なポイント: 本研究の成果は、水中静電容量式ワイヤレス電力伝送システムのシミュレーションおよび設計に関する応用が期待されます。

用語解説:

ワイヤレス電力伝送 (WPT: Wireless Power Transfer): 物理的な電線を使用せずに電力を送る技術。

有限要素法 (FEM: Finite Element Method): 複雑な物理現象や構造の解析に用いられる数値解析手法。主に、機械工学、電磁気学、構造解析、熱伝導など、多くの工学分野で使用されている。