

TSUBAME 共同利用 平成 27 年度 産業利用 成果報告書

長距離海中ワイヤレス電力伝送の電磁界シミュレーション基礎検討

Basic study of long distance wireless power transmission for under seawater using EM simulation

小柳 芳雄

Yoshio Koyanagi

パナソニック株式会社 AVC ネットワークス社  
AVC Networks Company Panasonic Corporation  
<http://panasonic.co.jp/avc/>

水中、海水中で用いられるワイヤレス電力伝送が近年検討されている。水中、海水中は空気中と違い、誘電体の性質をもち、導電率が高いという特徴があるため、ワイヤレス電力伝送が困難とされている。

海水中の長距離ワイヤレス電力伝送に用いられるコイルパラメータについての基礎検討を行った。コイルパラメータであるインダクタンス値、抵抗値、Q 値は、周りの媒質(空気、水、海水)により異なってくる。今回検討するコイルは直径 1m と大きく、また海水中で、実際に測定することが困難なモデルである。TSUBAME を用いた電磁界解析で、それらの値を計算し、最適なコイルパラメータ、伝送周波数について示した。

Wireless power transmission in water and seawater has been studied in recent years. It is difficult to transfer wireless power in water and seawater because it has the property of dielectric and conductor.

We studied the coil parameters to be used in the long-distance wireless power transmission in seawater. The coil parameters, such as inductance, resistance and Q value, depend on the medium (air, water and seawater). The coil studied is as large as the diameter 1m, also it is actually difficult to measure the parameters in seawater. We calculate those value by using TSUBAME in the electromagnetic field simulation and show the optimal coil parameter and the transmission frequency.

*Keywords:* Wireless power transfer, Seawater, Electromagnetic simulation

#### 背景と目的

日本近海の深海には「メタンハイドレード」などのエネルギー資源や「レアアース泥」など豊富な鉱物資源が眠っている。これらの資源価値は、海洋資源のフロンティア開拓として期待される。海中で地形や熱水鉱床などを効率よく調査するため、海底を自走するロボット「Remotely Operated Vehicle (ROV:遠隔操作無人探査機)」があるが、調査領域が 1000m~2000m と深い場所であり、ケーブルで電力送るため広範囲な調査を行うことが難しいのが現状である。また海中を自由に動く潜水艇型のロボット「Autonomous Underwater Vehicle (AUV:自立型無人探査機)」は ROV に比べ広範囲な領域を調査できるが、バッテリーの容量が小さく半日程度の運用しかできないため、充電のたびに深海から引き上げる必要があり、運用上の課題がある。運用時間を長くするためバッテリー容量を大きくすると、本体が大きくなり自重も重くなり船上に大きなクレーンを

設置する必要があるなど、取扱いが難しくなるという問題があり、当然コストも高くなる。海洋資源探査を加速するためには、ROV や AUV を複数使い、資源の存在が有望な海域を短時間で集中的に探索することが望まれる。ROV や AUV へワイヤレスで電力を供給しバッテリーレスで動作できれば 24 時間の運用も可能になり海底資源探査の効率は飛躍的に拡大する。また、バッテリーの小型化、軽量化、完全密閉構造も可能となり低コストかつ高信頼性の機材を作ることができ、海底資源の開発が飛躍的に進むことが期待できる。

しかし、これまで水中や海中で長距離にワイヤレスで電力を伝送する研究はおこなわれていない。海中は空中と異なり導電率や誘電率を有する媒質であるため、従来研究されていたワイヤレス電力伝送技術をそのまま適用することはできない。本研究は、電磁界シミュレーション(MW-Studio)を用いてコイルパラメータについて検討した。

本プロジェクトでは、水中、海中のコイルパラメータの最適値を得るため、TSUBAME を使用した電磁界シミュレーションを用いて、コイル伝送周波数の最適値を確認した。

概要

本年度は、伝送するコイルのモデリングと、コイルを各媒質の中に置き、コイルパラメータを比較した。

コイルのモデリング

コイルの線は、材質は銅で、線径  $d1=3.7\text{mm}$ 、被覆厚み  $t1=2.75\text{mm}$  のものを使用した。コイル半径  $ro=1000\text{mm}$  として、ターン数を  $N$  とした。図 1 は巻き数  $N=10$  のコイルモデルである。

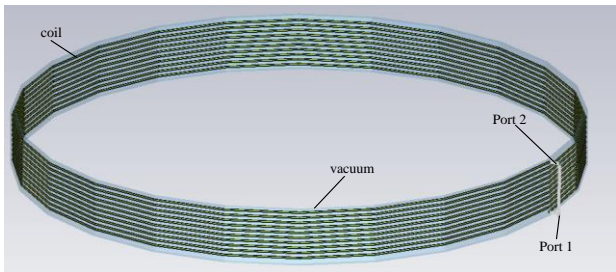


図 1 コイルモデル 巻き数  $N=10$

図 2 はコイルを Z 方向から見たものである。コイルのインピーダンスを計算するために、励振用のポート 1, 2 を作成し、ポートとコイル間には  $0 [\Omega]$  のエレメントを挿入している。周辺の媒質が塩水だと、電気が流れてしまうため、コイルの周りに被覆として、空気の絶縁層を作成した。

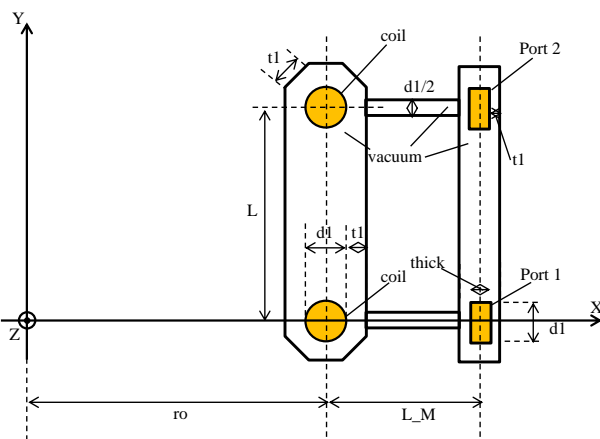


図 2 Z 方向から見たコイルモデル

解析条件

解析空間の材質は、海水として、解析エリアサイズは、 $X \times Y \times Z = 2 \times 2 \times 2\text{m}$  とした。解析周波数は、 $1\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$  とした。解析には、電磁界シミュレータである CST STUDIO SUITE MW STUDIO を用いた。表 1 は解析空間である海水の電気特性である。

表 1 海水の電気特性

	海水
比誘電率	74
比透磁率	0.999991
導電率 (S/m)	3.53

結果および考察

コイルの巻き数  $N$  を変更して、コイルパラメータの比較を行った。インダクタンス値、抵抗値は、 $Q$  値が最大のところを計算した。

図 3, 4 からコイルの巻数  $N$  に比例して、インダクタンス値、抵抗値が比例して増大していることがわかる。図 5 は、巻数ごとの  $Q$  値の最大点を示したものである、巻き数  $N$  が増えていくと、 $Q$  値は飽和していき、 $N=100$  のところで最大値  $Q=84$  となることがわかった。

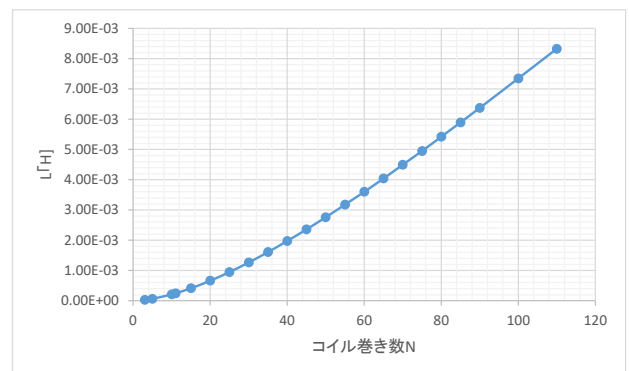


図 3 コイル巻き数  $N$  とインダクタンス値

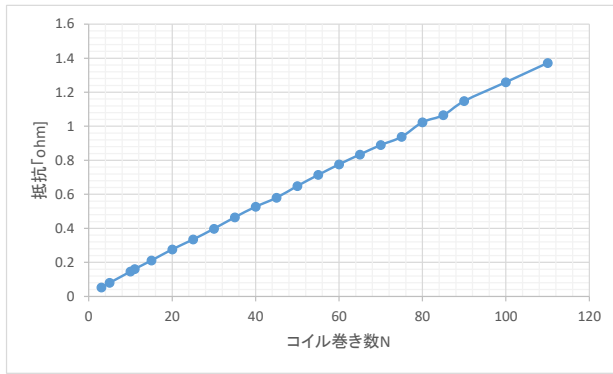


図 4 コイル巻き数 N と抵抗値

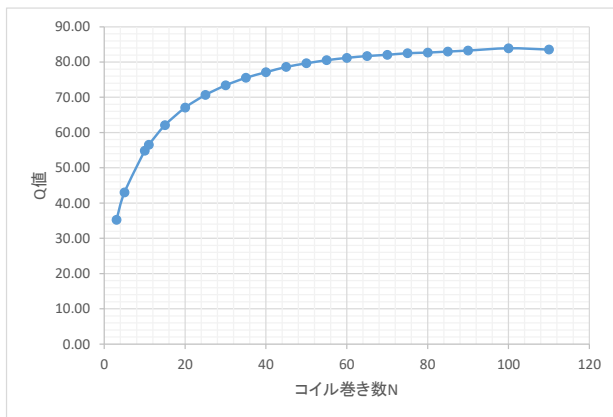


図 5 コイル巻き数 N と Q 値

図 6 は巻き数 N ごとに Q 値が最大となる周波数を示したものである。巻数 N を増やしていくと、周波数が 2kHz に飽和していることがわかる。コイルの Q 値を上げるには、線径を大きくし、抵抗値を下げる必要がある。

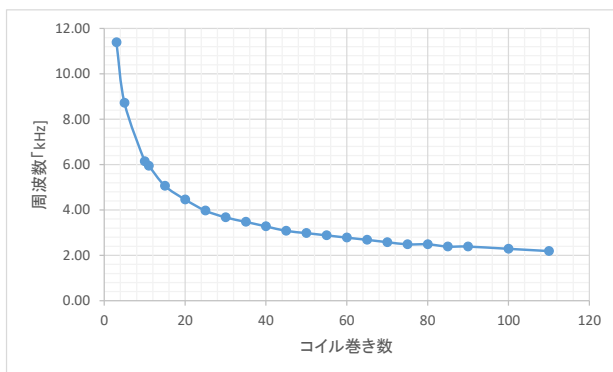


図 6 コイル巻き数と Q 値が最大となる周波数

## 計算機の比較

計算機の比較を行うため、当所有 PC と TSUBAME で比較を行った。表は、メモリを 30GB 程度使用するモデルの計算結果である。

今回、解析に用いた方法は、有限要素法であるため、PC のメモリ量が重要となる。表 2 は弊社所有 PC と TSUBAME を比較したものである。30GB のメモリ使用モデルでは、計算時間に大きく差が出ない。しかしながら、巻き数が十数以上である 30GB 以上のモデルであると、当所有の PC では、計算自体できないので、TSUBAME が所有している高メモリ搭載の解析は非常に有用な結果となった。

表 2 計算機の比較

	PC-A	TSUBAME 2.5 TypeB	
CPU	Xeon E5-2630 2.6GHz	Xeon 5670 2.93GHz	
コア	6	12	
論理プロセッサ	12	24	
メモリ	32GB	96GB	
GPU	NVIDIA Quadro k4000 NVIDIA Tesla K20c	K20X * 3	
同モデル計算	メモリ最大値	24472944	27719488
	メッシュ (Number of mesh cells)	1532277	1531298
	Solver time	9429 s (= 2 h, 37 m, 09 s)	8114 s (= 2 h, 15 m, 14 s)

## まとめ、今後の課題

海水中のコイルパラメータについて電磁界シミュレーションを用いて解析した。

コイルの巻き数増加に伴い、コイルの Q 値が最大となる周波数が低い周波数側にシフトしていることがわかった。コイルの巻き数増加に伴い、コイルの Q 値が増加するが、最大点が存在することがわかった。コイルの直径 1m、線径 3.7mm では、Q の最大値は、巻き数 N=100 で Q=84 となることがわかった。コイルの Q 値を上げるためには、線径を太くし、抵抗値を下げる必要がある。

今後の課題は、コイルの直径、コイルの線径や、被覆の材質を変更した場合のコイルパラメータの検討と、コイルを 2 素子、3 素子と増やした時の、伝搬特性を解析することである。