

海洋産業に用いるデジタルデータと電力の非接触式伝送システムの開発

次長 兼 グリーンニューデール技術開発支援室長	兵 頭 竜 二
グリーンニューデール技術開発支援室 参 事	神 田 誠
グリーンニューデール技術開発支援室 専 門 幹	田 口 勝 身
グリーンニューデール技術開発支援室 専 門 幹	丁子谷 一
グリーンニューデール技術開発支援室 係 長	釘 宮 雄 一
電子情報科 主任研究員	中 川 豪

本研究は、海洋関連産業の振興に寄与すべく、金属接点を持たない給電部と受電部のコネクタを接続して固定することに特徴を持つ非接触給電技術を開発し、これに海水の影響を受けない光通信技術を付加することで、海面・海中において90%以上の電力伝送効率と45 Mbps以上のデジタルデータ転送速度を実現する小型・軽量な非接触式伝送システムを開発することを目指している。

初年度となる平成28年度は、最終的に1.5 kVAの電力を伝送できるシステムの開発に向けた課題検討のため、500 VAの電力を伝送できるシステムの開発に取り組んだ。また、デジタルデータ伝送については、開発取組み中の非接触式伝送システムに実装可能な光通信技術の探索を行った。

1. 緒 言

海洋再生可能エネルギー分野で新たな産業を興すとともに、その産業拠点を長崎に形成することの重要性から、県では“ナガサキ・グリーンイノベーション戦略”や“長崎県海洋エネルギー産業拠点形成プロジェクト”が重要な施策として推進されている。

金属接点を持つ接続部品は、錆びや漏電などの問題点があるため、海面や海水中での利用に制限がある。また、水中ロボットや観測ブイ、洋上発電装置などとの接続を行う場合、電力の伝送とともに情報収集やメンテナンスのためのデータ転送が欠かせない。

そこで本研究では、県内製造業者の得意技術を活用して、海洋再生可能エネルギー分野で広く利用可能なデジタルデータと電力を伝送するシステムを開発する。具体的には、むき出しの金属接点を持たない給電部と受電部のコネクタを密着して固定することに特徴を持つ非接触給電技術を開発する。その上で、これに海水の影響を受けない光通信技術を付加することで、海面・海中において90%以上の電力伝送効率と45 Mbps以上のデジタルデータ転送速度を実現する小型・軽量な非接触式伝送システムを開発する。

初年度となる平成28年度は、最終的に1.5 kVAの電力を伝送できるシステムの開発に向けた課題検討のため、500 VAの電力を伝送できるシステムの開発に取り組んだ。また、デジタルデータ伝送については、開発取組み中の非接触式伝送システムに実装可能な光

通信技術の探索を行った。

2. 方 法

2.1 電力伝送部の開発

標準化が進んでいる電気自動車への非接触給電（充電）では、85 kHz \pm 5 kHzの周波数の交番磁界を使った電力伝送が用いられる方向にある。このため、この周波数域の電磁波の利用について電波法の整備などが進むことが想定されることから、本研究でも85 kHz \pm 5 kHzの周波数の交番磁界を使って電力を伝送する。

図1に電力伝送実験の実験系を示す。図中の給電部、給電コイル、受電コイル、受電部が主要な構成部分となる。給電部はDC/ACインバータであり、入力された直流を85 kHzの交流に変換して給電コイルに供給する。受電コイルで受け取った交流電力は、受電部の全波整流・平滑回路で直流に変換される構成とした。なお、本研究での非接触給電は、基本的に電磁誘導方式とした。

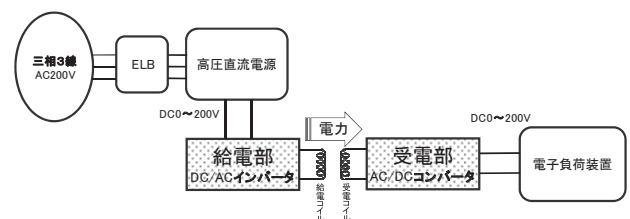


図1 電力伝送実験の実験系

2.2 データ通信機能の実現

電子機器・電気機器や水中ロボットなどの制御には、産業用コンピュータや組込み用小型コンピュータなどが使用されるケースが多い。これらのコンピュータとの通信を考える場合、開発する非接触式伝送システムが提供する通信インタフェースは汎用的なものであるのが望ましい。このため本研究では、LANのインタフェースとして広く普及している100Base-Tのインタフェースの提供を前提とした。

加えて、システム内の電力伝送との干渉が極力無いこと、システム外の他のデータ通信との干渉が無いことなどを条件に、通信方式の選定を行った。

選定した通信方式については、LANの実効速度を知るソフトウェアであるiperf^[1]を用いて、レイヤ2での再送ができない程度の通信負荷となる100Mbpsのデータ送出速度を指定して、疎通試験を行った。

2.3 嵌合用筐体の試作

研究初年度の試作（500VAの電力伝送）では、小型化・軽量化よりも、評価実験の容易性、最終的な目標（1.5kVAの電力伝送）を達成するための課題の明確化などを優先する。

このため、次の条件を加味して、防水機能を有する嵌合用ケースを試作した。

- ・水深1mでの作動を保証する。
- ・内部が見えるように、透明アクリル等の素材を用いる。
- ・電子回路基板部分は完全気密構造とする。
- ・コイルを巻き付けたコア同士を近接対向させるため、嵌合面は可能な限り薄くする。このためコア部には封止材を充填して均圧構造とする。
- ・嵌合されたコネクタ同士は、機械的に締結（ロック）する構造とする。

2.4 システム作動試験

研究初年度の非接触式伝送システム（電力伝送能力：500VA）の試作開発後、次に示すものを含め、いくつか作動試験を実施した。

(1) 電力の伝送

入力はAC100Vの商用電源に、出力（負荷）は抵抗器に接続し、非接触で伝送された電力を抵抗性負荷にて消費させ、基本性能や内部温度上昇の確認を行った。

(2) データ通信

前記2.2と同様に、ソフトウェアiperfを用いて、通信エラーレートを評価した。

(3) 気密試験

組立ての完了した嵌合用筐体を数十分間、水に浸漬し、気泡の発生や水の進入の有無について観察した。

(4) EMI試験

上述(1)と同様の作動条件において、EMI計測室で、試作機からの不要電磁波の放射を測定した。

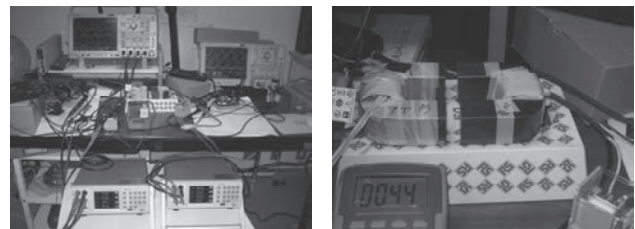
3. 結果と考察

3.1 電力伝送部の開発

図2(a)に電力伝送部の評価実験の様子を示す。図2(b)は、そのコア部分を拡大したものである。ここでは、嵌合用筐体の基本構造が決定していない段階でコイル部分の設計を行う必要があったため、コア間距離が大きくなっても意図した磁路が形成されるように、E字型コアではなくU字型コアを用いた。

図3には回路の基本構成を示している。給電側の電力変換回路にはハーフブリッジ回路を採用した。また、本試作で用いたコイルのインダクタンスが $30\mu\text{H}$ であったので、合成容量が $0.27\mu\text{F}$ となるコンデンサを直列に接続して、LC共振を用いたソフトスイッチングとなる条件で回路を作動させ、スイッチング損を低減する工夫をした。

図4は、コア間距離に応じた電力伝送量と伝送効率の推移を示している。コア間距離が $0\text{mm}\sim 8\text{mm}$ の範囲において、電力の伝送効率は90%以上を達成している。またコア間距離が 1mm の時、受電側の電力が 500W を超えていることも分かる。



(a) 評価実験の様子 (b) コイルとコア部分

図2 試作した電力伝送部の外観

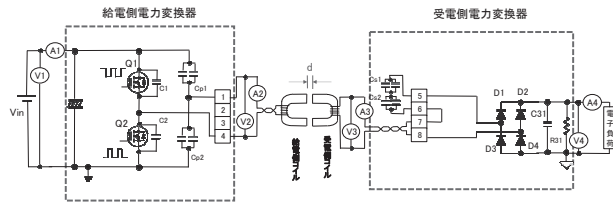


図3 非接触式給電の測定回路

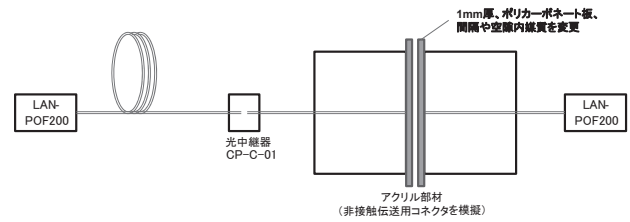


図5 データ通信の試験系

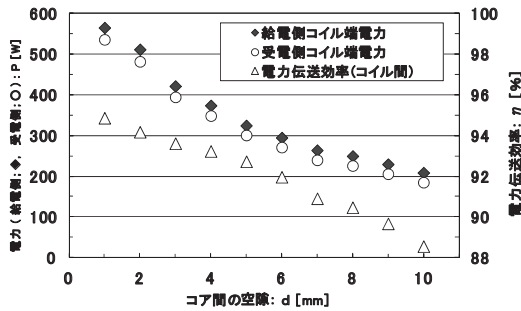


図4 コア間距離に対する電力伝送量と伝送効率

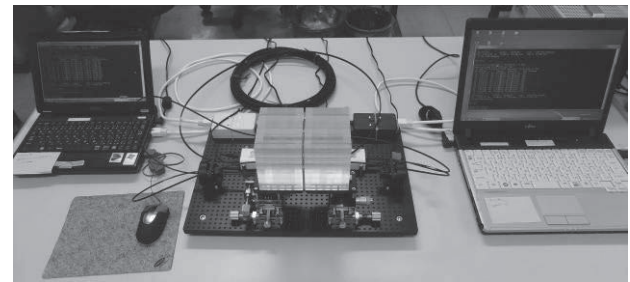


図6 実験評価の様子

3.2 データ通信機能の実現

開発する非接触式伝送システムは、嵌合面で光路が分断される。この状況で、システム両端に100Base-Tのインタフェースを提供することが要求される。このため、市販の電気/光変換器と光/電気変換器のセットを流用し、100Base-T通信環境を光通信で延長することを考えた。

市販の光通信機器には、直径が200 μm程度のガラス製ファイバを用いるものや、直径が1 mm程度の樹脂製ファイバを用いるものなどがある。本研究では、光ファイバの直径が太く、光軸のずれに対して耐性の強い樹脂製ファイバを用いた製品(サンワサプライ製、LAN-POF200) [2] を選択した。

図5に試験系を、図6に実験評価の様子を示す。LAN-POF200の光インタフェースに接続する長さ約15 mの光ファイバの途中2箇所を切断し、間に光中継器(CP-C-01)と非接触式伝送システムの嵌合用筐体を模したものを配置して疎通試験を行った。

表1は、模擬した嵌合用筐体の空隙距離と、その空隙内の媒質(空気あるいは水)を変えて、通信エラーレートを評価した結果である。この結果、軽微な値のエラーレートにとどまり、大きな通信障害要因も発見されないことから、両端で100Base-Tのインタフェースの提供が可能であることが確認できる。

表1 疎通試験の結果

空隙距離	空隙内媒質	方向	エラーレート
0 mm (密着)	空気	→	0.049%, 0.063%, 0.056%
		←	0%, 0%, 0%
0.5 mm	空気	→	0.049%, 0.028%, 0%
		←	0%, 0%, 0%
1.0 mm	空気	→	0%, 0.035%, 0.13%
		←	0%, 0%, 0%
0.55 mm	水道水	→	0.028%, 0.07%, 0.035%
		←	0%, 0%, 0%

3.3 嵌合用筐体の試作

嵌合用筐体は水密耐圧構造とするため、厚み10 mmのアクリル樹脂で試作した。その基本的な構造図を図7に示す。給電部と受電部との嵌合機構は、給電用コアと受電用コアが収容される部分に、取付けができる構造とした。完成した筐体の外観は、図8と図9に含まれている。

給電側の筐体サイズは、突起箇所を含まずφ140 mm×長さ292 mmであり、総排水量は約0.468 m³であった。重さについては、後に電子基板やコア等を実装した状態で、4.2 kgであった(ただし、封止用樹脂材は除く)。コア収容部については、均圧構造とするために樹脂充填をする予定であるが、現在は性能評価などを円滑に進めるため、実施していない。給電線の引出しは、耐圧ホースに線材を挿入したものをPT 3/8"ソケット・ネジを用いて固定しており、気密状態が保持されている。

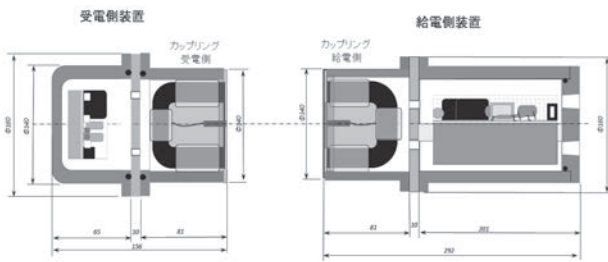


図7 嵌合用筐体 (コネクタ) の構造

3.4 システム作動試験

(1) 電力の伝送

図8に試作品（電力伝送能力：500 VA）の作動試験の様子を示す。

嵌合面を密着させた状態で電力伝送を行った結果、開始直後の給電側消費電力は552.6 W、受電側抵抗性負荷の消費電力は501.4 Wであり、システム全体としての電力伝送効率は90.7%であった。しかし、40分経過後、それらの値は395.5 W、333.2 W、84.2%に低下した。この時、筐体内部のヒートシンク温度は28℃から103℃まで上昇し、電力伝送のキャリア周波数も85.3 kHzから88.3 kHzまで上昇していた。

最終的なシステムの開発では、伝送電力量や効率の低下を防ぐため、内部温度上昇の防止やキャリア周波数の安定性などに配慮する考えである。

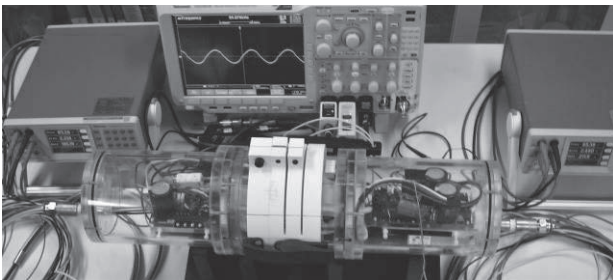


図8 非接触給電システムの電力伝送試験の様子

(2) データ通信

図9は、100Base-T インタフェースを介して両端に接続したパソコンを使用した疎通試験の様子である。

疎通試験の結果、通信不良発生を許容範囲に抑えるためには、

- ・光ファイバ端面間の距離は2 mm 以下
 - ・嵌合の角度ズレの許容値は $\pm 1^\circ$ 以内
- の条件を満たす必要があることが分かった。

なお、間に用いる光中継器が、通信不良発生を起こす要因になることも確認された。このため、最終的な

システムの開発では、パッシブ型の光中継器は用いず、同一の光通信モジュールを“光/電気変換”=“電気/光変換”の順序で内挿し、アクティブ型の光中継とする予定である。

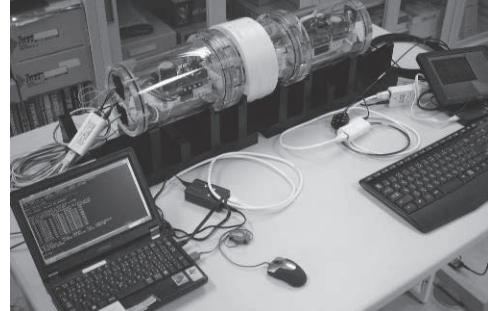


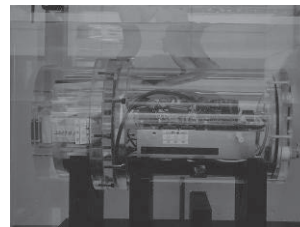
図9 非接触給電システムのデータ通信試験の様子

(3) 気密試験

図10 (a)に浸漬による気密試験の様子を示す。

浸漬開始から10分経過後に、筐体内部への浸水の有無を目視確認した。この結果、浸水は全く見られなかった。

なお、図10 (b)に示すように、給電線の引出し部分に気泡の発生が見られたが、これは継手とケーブル・コンジットとの隙間に残留していた空気であると推察され、気密状態の不良は発見されなかった。



(a) 全体



(b) 引出し部分

図10 給電側コネクタの浸漬試験の様子

(4) EMI 試験

図11は、EMI計測のために電波暗室内のターンテーブル上に設置した試作品の様子を示している。また、周波数域が30 MHz～1 GHzにおける放射妨害電界強度の測定結果を図12に示す。

測定の結果、主に100 MHz以下の周波数域に比較的強度の強い放射が見られた。CISPR（国際無線障害特別委員会）Pub 11 クラスAの規格を超える箇所は周波数が88 MHz付近に見られたが、規格値に対する余裕は1.8 dBであり、軽微である。最終的な非接触式伝

送システムにおける嵌合用筐体の材料には金属を使用することも考えており、十分に対応可能な範囲である。

また今後は電気自動車への非接触給電等を対象にした安全基準（ICNIRP2010 ガイドライン、1 Hz ～）を参考にした人体曝露量の評価も実施する。

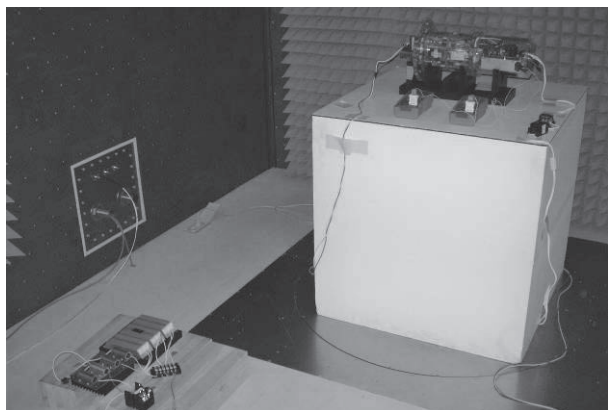


図 1.1 非接触給電システムの EMI 試験の様子

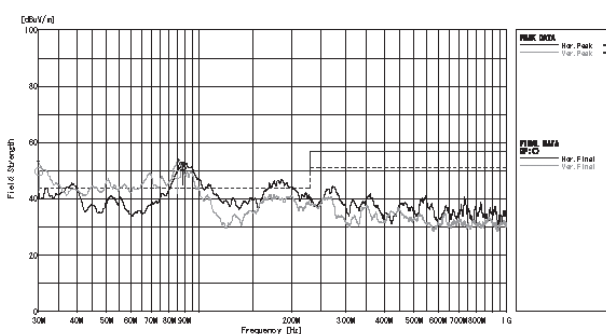


図 1.2 30 MHz ～ 1 GHz での測定結果

4. 結 言

研究事業初年度である平成 28 年度は、電気自動車への非接触給電に関する標準化の状況を考慮して、中心周波数が 85 kHz の高周波電力を用いた非接触給電回路を試作した。評価の結果、効率 90% 以上、電力容量 500 VA 以上の性能を実現できることを確認した。

デジタルデータ伝送については、市販の電気/光変換インタフェースを流用し、その中間部分（光ファイバ部分）を非接触にした状態（分断した状態）で、システム両端で 100Base-T の通信インタフェースを提供できることを確認した。

また、これらの回路等を実装できる耐圧水密筐体と、給電側と受電側とを位置合せして嵌合締結する機構を試作し、嵌合用筐体とした。

現在は、この嵌合用筐体に非接触給電用の回路などを実装して、詳しい性能評価や水中ロボットへの適用

実験などを進めている。

今後は、1.5 kVA の電力伝送の実現を目指して、新たな給電回路、嵌合用筐体などの開発を進めるとともに、県内企業への技術移転も適宜、進めて行く予定である。

謝 辞

本研究事業を推進するにあたり、長崎大学海洋未来イノベーション機構の山本郁夫教授と長崎大学大学院工学研究科の盛永明啓助教、長崎大学大学院工学研究科の樋口剛教授と横井裕一助教、イサハヤ電子株式会社の徳永秀昭部長と服部慎一郎課長と上野孝太氏、ロボットテクノス株式会社の長嶋豊研究開発部長に、多大なるご協力とご支援を頂いた。

参考文献

- [1] ESnet/ Lawrence Berkeley National Laboratory, The network bandwidth measurement tool, iperf (iperf3), <https://iperf.fr/>, (accessed 1 Jul. 2015).
- [2] サンワサプライ, POE メディアコンバータ DIY キット, LAN-POE200, <https://www.sanwa.co.jp/>, (accessed 9 Sep. 2016).