

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04262

研究課題名（和文）高効率な海水中ワイヤレス電力伝送を実現する電気二重層結合器の研究

研究課題名（英文）Study on electric double-layer coupler for highly efficient wireless power transfer under seawater

研究代表者

田村 昌也（Tamura, Masaya）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：50736410

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海水中でのワイヤレス電力伝送を実現するため、海水中での電極表面に発生する電気二重層に注目した電界方式を提案した。まず海水中での電気二重層の発生とQ値の変化を調べ、RF帯でも電気二重層が形成されること、および海水のQ値向上を確認した。次に解析より結合器の形状と効率の関係を明らかにし、結合器を試作したところ、解析から得られた効率よりも大幅に改善した結果が得られた。この改善には海水の導電性が大きく寄与していることを発見し、導電性を積極的に活用する結合器を考案した。結果、6.78MHzにて伝送効率90%以上を達成した。さらに、同じ結合器を用いて動画をリアルタイム伝送も成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで電気二重層は電気容量を増やす目的でコンデンサなどの電子部品に使用されてきた。本研究ではその電気二重層によって海水のQ値を向上できるか、それによりワイヤレス電力伝送の高効率化を実現できるかという学術的問いを深耕し、実証した。これにより電解質中での高効率ワイヤレス電力伝送技術の礎を確立できた。人体は電解質でできているため、本成果は人体ワイヤレス通信・ワイヤレス電力伝送の研究にも波及できる。将来的には、点検区域内での通信・充電を可能とする水中常駐型点検ロボットなどの実現も期待できる。

研究成果の概要（英文）：A capacitive wireless power transfer focusing on the electric double layer generated on the electrode surface in seawater was proposed. First, the generation of the electric double layer in seawater and the change in Q-value were investigated. Next, the relationship between the shape of the capacitive coupler and its power transfer efficiency was clarified through analysis. A prototype coupler was fabricated, which showed a significant improvement over the efficiency obtained from the analysis. The conductivity of seawater greatly contributed to this improvement, and a novel coupler utilizing conductivity was developed. The coupler achieved a transfer efficiency of over 90%. In addition, the real-time transmission of moving images using the same coupler was demonstrated.

研究分野：ワイヤレス電力伝送

キーワード：水中ワイヤレス電力伝送 ワイヤレス電力伝送 水中無線電力伝送 無線電力伝送 電界結合 海中電気二重層 導電性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ワイヤレス電力伝送はモバイル端末から自動車への給電まで幅広い分野で注目を浴びている。これまでは陸上環境での研究が主であったが、次のターゲットとして水中環境が期待されている。水中でのワイヤレス電力伝送方式は、国内外とも磁界方式が主流である。磁界方式は距離の変化に強いが、漏洩磁界が大きいと周辺機器に影響を与える。水中点検ロボットなど充電に大きな電力が必要な場合、この問題は顕著に現れる。それに対し、電界方式は結合器の電極間に電気力線が集中するため、結合器周辺への影響は非常に小さい。しかし、海水のQ値は非常に低いと、電界方式では高効率電力伝送が実現できていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究ではこの問題を解決するため、電気二重層の新しい効果を模索する。従来、電気二重層は電気容量を増やす目的で用いられてきた。本研究の目的は電気二重層により海水のQ値が向上するのではないかと新しい切り口を提案し、電界方式による高効率電力伝送を実現することにある。グイ・チャップマン-シュテルンモデルを用いて拡散二重層が支配的と考えたと、複素誘電率の実部と虚部の比で表現される海水のQ値は、電気二重層効果によって複素誘電率の実部が大きくなることで、非常に大きな値を取ることが分かる。一方、虚部を式で表すことは非常に困難である。そこで、測定により虚部を明らかにし、Q値が大幅に向上することを実証する。そして、電気二重層効果を用いて電界方式による高効率電力伝送を実現する。

### 3. 研究の方法

(1) 複素誘電率の実部が急激に上昇すれば、電気二重層が形成された証拠であり、その周波数帯での虚部を調べることで電気二重層によってQ値が向上することを実証する。具体的には以下の手順を進める。

- ① 平行平板電極からなる測定セルを作製し、海水(塩濃度3.5%)を注入して測定セルのインピーダンス周波数特性を測定する。
  - ② 測定結果から等価回路を用いて複素誘電率を導出し、Q値を算出する。
  - ③ 複素誘電率の実部およびQ値と周波数の関係をグラフ化する。
- 電気二重層の生成条件は平行平板電極の面積、電極間距離に依存することが予想されるため、複数の測定セルを作製して電極面積と電極間距離の依存性も調べる。

(2) 結合器の結合係数 $k$ は電極面積および隣り合う電極間距離に依存することから、 $kQ$ 積が最大値を示す結合器の構造パラメータを明らかにする。具体的には以下の手順を進める。

- ① 海水中に配置した電極4枚を対向配置した結合器の電極長を変えて電磁界解析から透過反射特性を算出する。海水の複素誘電率は(1)で測定した値を使用する。
  - ② 算出した透過反射特性に結合器の等価回路をフィッティングして相互キャパシタと自己キャパシタの値を導出し、結合係数 $k$ を算出する。
  - ③ 算出した結合係数 $k$ と(1)で得たQ値を使って $kQ$ 積を求め、結合器の電極長との関係をグラフ化し、 $kQ$ 積が最大となる電極長を見つける。
- 隣り合う電極間隔、電極幅も同様にして $kQ$ 積との関係をグラフ化し、 $kQ$ 積が最大となる値をそれぞれ見つける。最後に得られた構造パラメータで設計した結合器の $kQ$ 積を算出し、理論最大電力伝送効率 $\eta_{\max}$ を明らかにする。

(3) 最後に(2)で得られた結合器を試作し、電力伝送効率を測定する。具体的には以下の手順を進める。

- ① (2)で得た構造パラメータを基に結合器を試作する。
- ② 高周波信号発生器と結合器間、負荷と結合器間にそれぞれ接続する整合回路とバランを試作する。
- ③ 実証実験により電力伝送効率を算出し、電気二重層を使用しない場合の伝送効率と比較して、その効果を実証する。

### 4. 研究成果

(1) 測定セルの電極は円形とし、その半径を $r$ 、電極間隔は5 mmとして、複素誘電率を測定し、Q値の算出( $Q_{EDL}$ )を行ったところ、図1に示すとおり $Q_{EDL}$ は最大値を持つことが確認された。電極の面積が大きくなるにつれて $Q_{EDL}$ は大きくなる一方、周波数が高くなると $Q_{EDL}$ は大きく劣化する。この原因はイオンによる変位電流であると考え、変位電流を考慮した導電率を実効導電率 $\sigma_e$ として定義し算出した。結果、 $\sigma_e$ は1.5 kHz付近から大きく増加した。海水は1.5 kHz以上では誘電体としてだけでなく、導体のようにも振る舞うことが確認された。続いて、 $Q_{EDL}$ の最大値を $Q_m$ とした場合(1.5 kHz付近のQ値)の電極半径 $r$ と $Q_m$ 、電極間距離5 mmにおける電極半径 $r$ と $\epsilon_r'$ の関係を図2に表す。これより測定範囲内の電極半径 $r$ に対する $Q_m$ および $\epsilon_r'$ の傾向は、自然対数で近似できることが分かった。

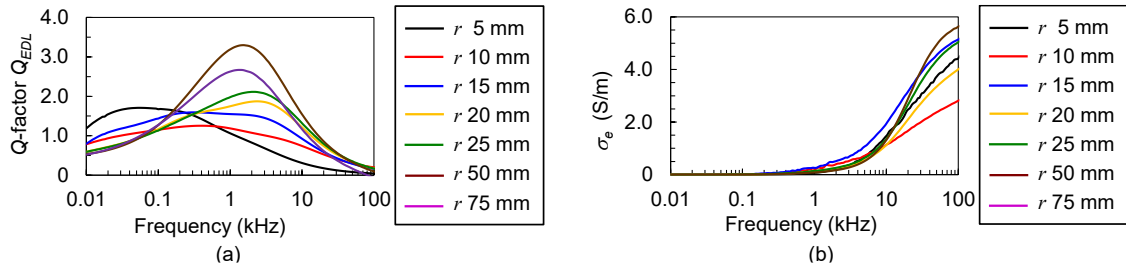


図1 電気二重層の周波数特性：(a) Q値  $Q_{EDL}$ , (b) 実効導電率  $\sigma_e$

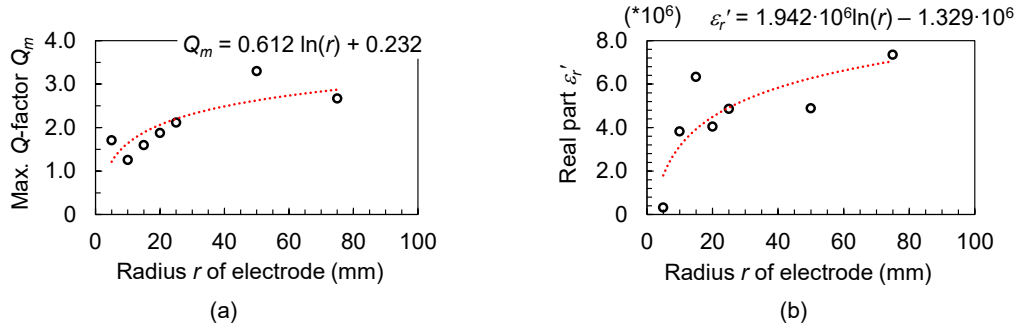


図2 (a) 電極の半径  $r$  と  $Q_{EDL}$  の最大値  $Q_m$ , (b) 電極の半径  $r$  と複素誘電率の実部  $\epsilon_r'$

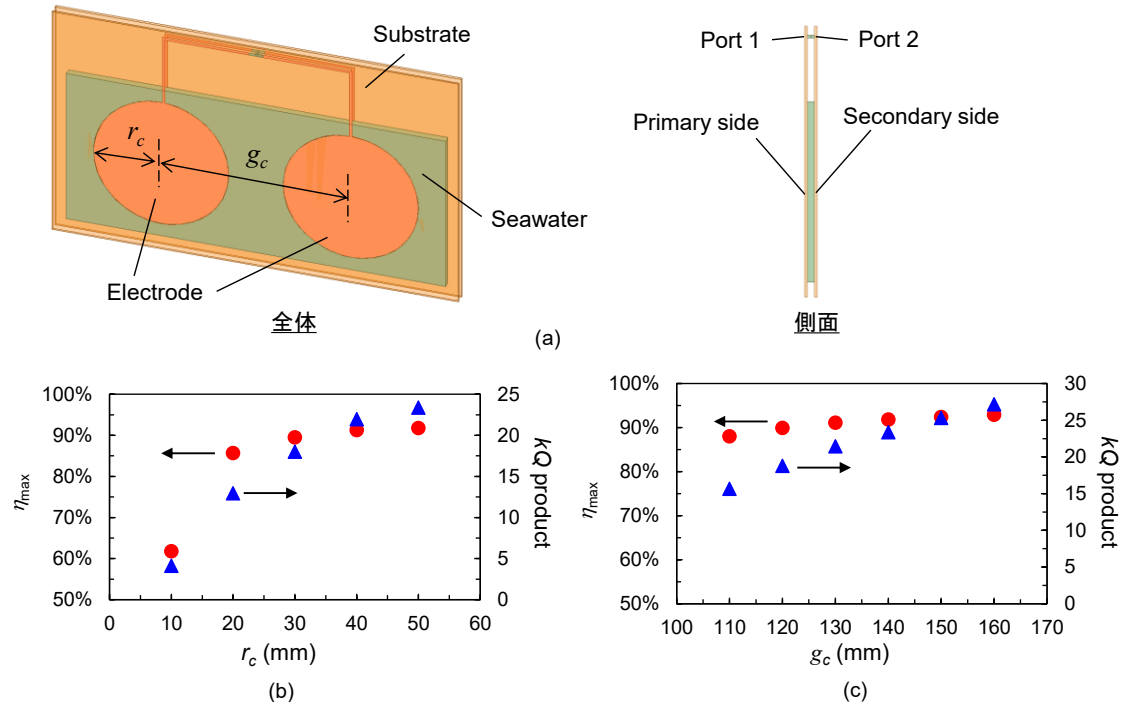


図3 (a) 解析モデル, (b)  $r_c$  vs  $\eta_{max}$  と kQ 積 @1.5 kHz, (c)  $g_c$  vs  $\eta_{max}$  と kQ 積 @1.5 kHz

(2) (1)の結果から  $Q_{EDL}$  が高くなるとともに  $\sigma_e$  も高くなることが確認できており、これは電界による送電経路と変位電流による送電経路の2経路が存在することを意味している。そのため、結合係数  $k$  と Q 値に分けて議論することは難しい。そこで、電磁界解析によって kQ 積を指標に結合器の設計を行う。解析モデルを図3(a)に示す。結合器は  $360 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 1.6 \text{ mm}$  の誘電体基板 ( $\epsilon_r = 3.9$ ,  $\tan \delta = 0.008$ ) 上の電極で形成する。電気二重層効果を観測した測定セルと同じく円形の銅電極 (半径  $r_c$ ) を採用する。伝送距離は  $5 \text{ mm}$  とする。海水の Q 値と複素誘電率の実部  $\epsilon_r'$  は、半径  $r_c$  を変化させると図2の近似式から計算し、材料パラメータに割り当てた。

まず、kQ 積と電極半径  $r_c$  の関係を調べた。隣接する電極間の距離  $g_c$  は  $140 \text{ mm}$  とした。結果を図3(b)に示す。 $r_c$  が大きくなると、kQ 積も大きくなった。その結果、理論最大伝送効率  $\eta_{max}$  も大きくなり、約  $80 \text{ mm}$  で飽和し始めた。これより、 $r_c$  はできるだけ大きな値に調整することが望ましいと言える。次に、kQ 積と隣接する電極間の距離  $g_c$  の関係を算出した。電極半径  $r_c$  は  $50 \text{ mm}$  とした。比較結果を図3(c)に示す。 $g_c$  も大きくなると kQ 積が大きくなり、 $\eta_{max}$  も大きくなったが、 $g_c = 150 \text{ mm}$  のときの kQ 積がすでに大きな値を取っているため、 $r_c$  と比較して  $g_c$  での  $\eta_{max}$  の改善量は小さいことがわかる。

(3) (2)の結果をもとに試作した電界結合器 ( $r_e = 50 \text{ mm}$ ,  $g_e = 160 \text{ mm}$ ) の測定結果を図4に示す。算出された $\eta_{\max}$ は、電磁界解析で設計した1.5 kHzにおいて79.5%を達成した。試作した電極半径 $r_e = 50 \text{ mm}$ における海水のQ値は図2から $Q_m = 2.62$ が算出される。結合係数を理想状態 $k = 1$ としてkQ積から算出される $\eta_{\max}$ は約47%であり、今回の試作結果はここから32.5ポイントの向上が見られる。これは、海水の $\sigma_e$ に起因するものである。つまり、電気二重層を形成して電界結合を実現するとともに、変位電流による送電も高効率化に寄与していると言える。 $\sigma_e$ は周波数特性を有し、結合係数 $k$ やQ値に影響を与えるため、kQ積も周波数依存性を有する。そのため、 $\eta_{\max}$ の最大値は電気二重層効果による最大Q値を示した1.5 kHz付近ではなく11.87 kHzで、約85%となった。次に、送電距離 $d$ を変えた場合のkQ積と $\eta_{\max}$ について測定を行った結果、送電距離が30 mmとなると $\eta_{\max}$  28%まで低下した。したがって、電気二重層を利用した電界方式WPTは、送電距離を長くすることが難しい。

$\sigma_e$ が効率に大きく影響するという事は、この挙動も電力伝送に利用できる。水中心検ロボットが給電ステーションに着底する際、衝撃を低減するためクッションダンパを利用することから、電極を囲うようにクッションダンパを配置した新しい結合器構造を考案した(図5(a))。これにより海水中のイオンを対向電極間に閉じ込めることができるため、変位電流も電力伝送に利用できる。この構造を用いて同様の実験を行ったところ、 $\eta_{\max}$ は送電周波数6.78 MHz、送電距離20 mmで94.5%、送電距離150 mmで85.3%を達成した(図5(b))。また、送電電力1 kWでも92%以上の効率を維持できた(図5(c))。

最後に考案した結合器を水中ドローンに実装し、海中で充電できることを実証した。また、同じ結合器を使ってドローンに搭載したカメラの動画も給電ステーションを介して伝送することに成功した。

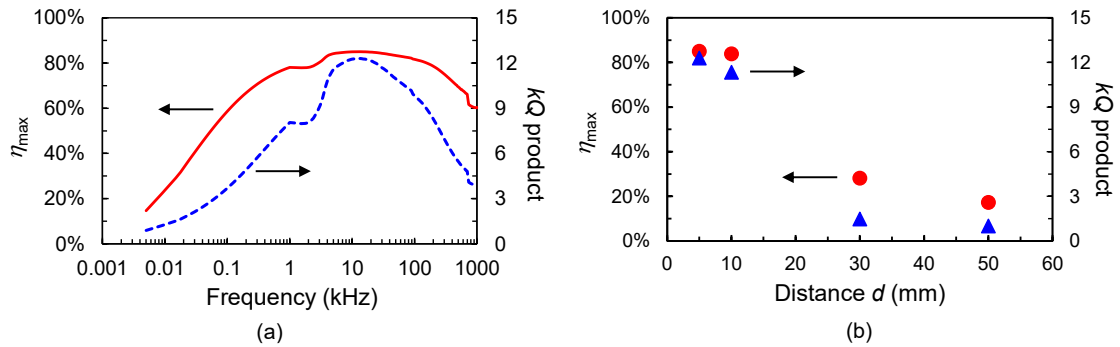


図4 測定結果：(a)送電周波数 vs  $\eta_{\max}$ とkQ積，(b)送電距離 $d$  vs  $\eta_{\max}$ とkQ積 @11.87 kHz

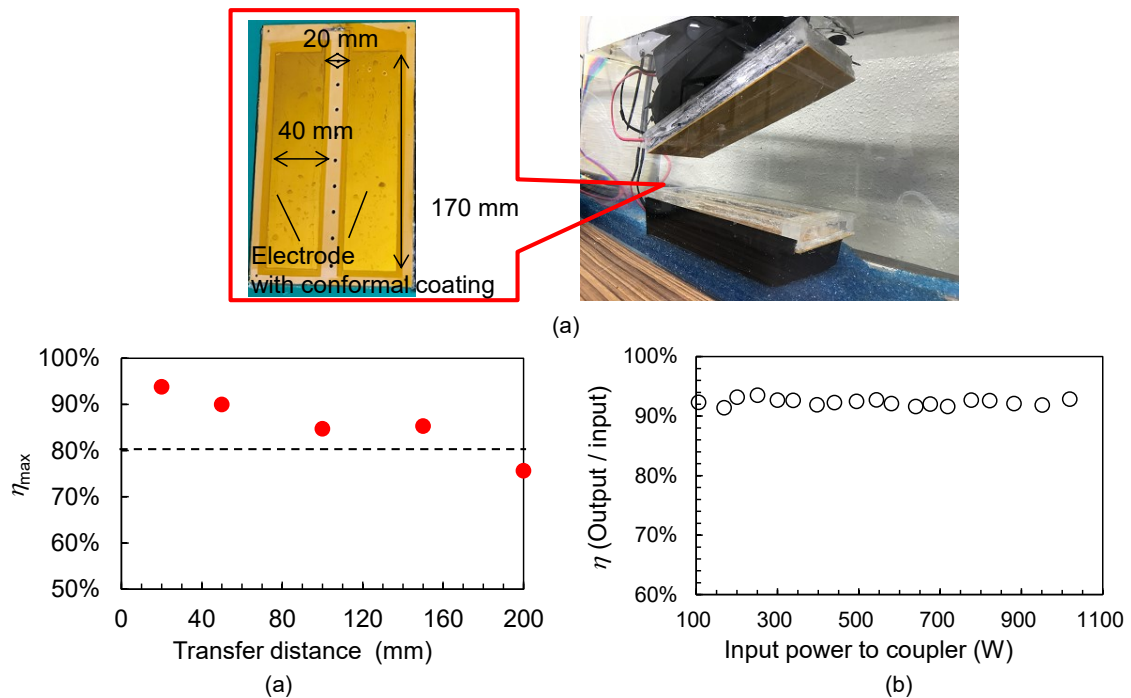


図5 (a)考案した結合器，(b)送電距離 vs  $\eta_{\max}$  @6.78 MHz，(c)入力電力 vs  $\eta$  @6.78 MHz

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tamura Masaya, Segawa Takamasa, Matsumoto Marimo	4. 巻 -
2. 論文標題 Capacitive Wireless Power Transfer Through a Saline Medium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. 2022 Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 58 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APMC55665.2022.9999816	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tamura Masaya, Segawa Takamasa, Matsumoto Marimo	4. 巻 32
2. 論文標題 Capacitive Coupler for Wireless Power Transfer to Intravascular Implant Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Microwave and Wireless Components Letters	6. 最初と最後の頁 672 ~ 675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMWC.2022.3160688	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumoto Marimo, Tamura Masaya	4. 巻 E105.C
2. 論文標題 Coupler Design and Analysis of Capacitive Wireless Power Charging for Implantable Medical Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 398 ~ 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2021ECP5058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Matsumoto Marimo	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of disposable film-type capacitive wireless charging for implantable medical devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 2021 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium	6. 最初と最後の頁 58-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IMS19712.2021.9574969	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naka Yasumasa, Tamura Masaya	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis and Optimization of Feeding Position on Electrode for High-Efficiency Capacitive Wireless Power Transfer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 2021 Asian Wireless Power Transfer Workshop	6. 最初と最後の頁 1~3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsukami Hiroaki, Murai Kosuke, Tamura Masaya	4. 巻 10
2. 論文標題 Design of a misalignment-resistant capacitive coupler for wireless power transfer under fresh water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 73~80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2020XBL0159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Matsumoto Marimo	4. 巻 69
2. 論文標題 Design of Conductive Coupler for Underwater Wireless Power and Data Transfer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques	6. 最初と最後の頁 1161~1175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMTT.2020.3041245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naka Yasumasa, Tamura Masaya	4. 巻 9
2. 論文標題 Representation of an equivalent circuit for capacitive wireless power transfer using a distributed-constant circuit	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 457~463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2020XBL0093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Naka Yasumasa	4. 巻 -
2. 論文標題 Design Theory of a Parallel-Plate Coupler for Underwater Wireless Power Transfer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. 2020 IEEE MTT-S Int. Symp. on Radio-Frequency Integration Technology	6. 最初と最後の頁 256 ~ 258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RFIT49453.2020.9226220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Matsumoto Marimo	4. 巻 -
2. 論文標題 Conductive Coupler for Wireless Power Transfer Under Seawater	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. 2020 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium	6. 最初と最後の頁 1176 ~ 1179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IMS30576.2020.9224107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naka Yasumasa, Tamura Masaya	4. 巻 -
2. 論文標題 Distributed Equivalent-Circuit Representation of Capacitive Coupler	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. 2020 Asian Wireless Power Transfer Workshop	6. 最初と最後の頁 1 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Matsumoto Hiroaki	4. 巻 E103-C 6
2. 論文標題 Feasibility of Electric Double-Layer Coupler for Wireless Power Transfer Under Seawater	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 308 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2019ECP5033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murai Kousuke, Tamura Masaya	4. 巻 -
2. 論文標題 Improvements of Transfer Efficiency in Capacitive Wireless Power Transfer Under Seawater	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 in Proc. 2019 Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 840 ~ 842
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC46564.2019.9038820	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Fujii Daiki	4. 巻 -
2. 論文標題 Lightweight and High-Efficiency Coupler Suitable for Underwater WPT System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 in Proc. 2019 Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 7 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC46564.2019.9038178	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Nimura Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Underwater WPT and Cavity Resonance Enabled WPT Focusing on Capacitive Coupling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 Asian Wireless Power Transfer Workshop	6. 最初と最後の頁 1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Masaya, Murai Kousuke, Naka Yasumasa	4. 巻 -
2. 論文標題 Capacitive Coupler Utilizing Electric Double Layer for Wireless Power Transfer Under Seawater	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium	6. 最初と最後の頁 1415-1418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MWSYM.2019.8701013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Tamura Masaya, Naka Yasumasa, Murai Kousuke, Nakata Takuma	4. 巻 66
2. 論文標題 Design of a Capacitive Wireless Power Transfer System for Operation in Fresh Water	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques	6. 最初と最後の頁 5873 ~ 5884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMTT.2018.2875960	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Fuma Arito, Masaya Tamura
2. 発表標題 Design of non-tunable matching circuit to improve the charging speed of drone with underwater WPT
3. 学会等名 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲泰正, 田村昌也
2. 発表標題 水中電界結合型ワイヤレス電力伝送に向けたkQ理論の定式化
3. 学会等名 電子情報通信学会 マイクロ波研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬川貴優, 松本まりも, 田村昌也
2. 発表標題 多層構造をもつ生体組織の合成複素誘電率測定
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田村昌也
2. 発表標題 水中ドローンへのワイヤレス給電と情報伝送
3. 学会等名 公益社団法人 精密工学会 第420回講習会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Tamura
2. 発表標題 Underwater Wireless Power Transfer System Utilizing Conductivity of Seawater
3. 学会等名 International Workshop on Wireless Power Supply Solutions for the Next Generation Vehicle(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田村昌也
2. 発表標題 給電ステーションを介した水中ドローンへのワイヤレス給電と通信
3. 学会等名 マリノフォーラム21 水中におけるワイヤレス給電と光通信の新技术に関する勉強会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村井宏輔, 田村昌也
2. 発表標題 電界結合型海中無線電力伝送における高効率結合器の設計
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村井宏輔, 松上裕明, 田村昌也
2. 発表標題 淡水下での電界型無線電力伝送における伝送効率の電力特性
3. 学会等名 電子情報通信学会 無線電力伝送研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井宏輔, 田村昌也
2. 発表標題 電界型水中無線電力伝送結合器の電極設計
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田村昌也 他 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 化学工業社	5. 総ページ数 63
3. 書名 月刊 化学工業 「次世代エネルギー技術の新展開」	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 水中無線電力伝送システム	発明者 村井宏輔, 田村昌也, 仲泰正	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-097264	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------