

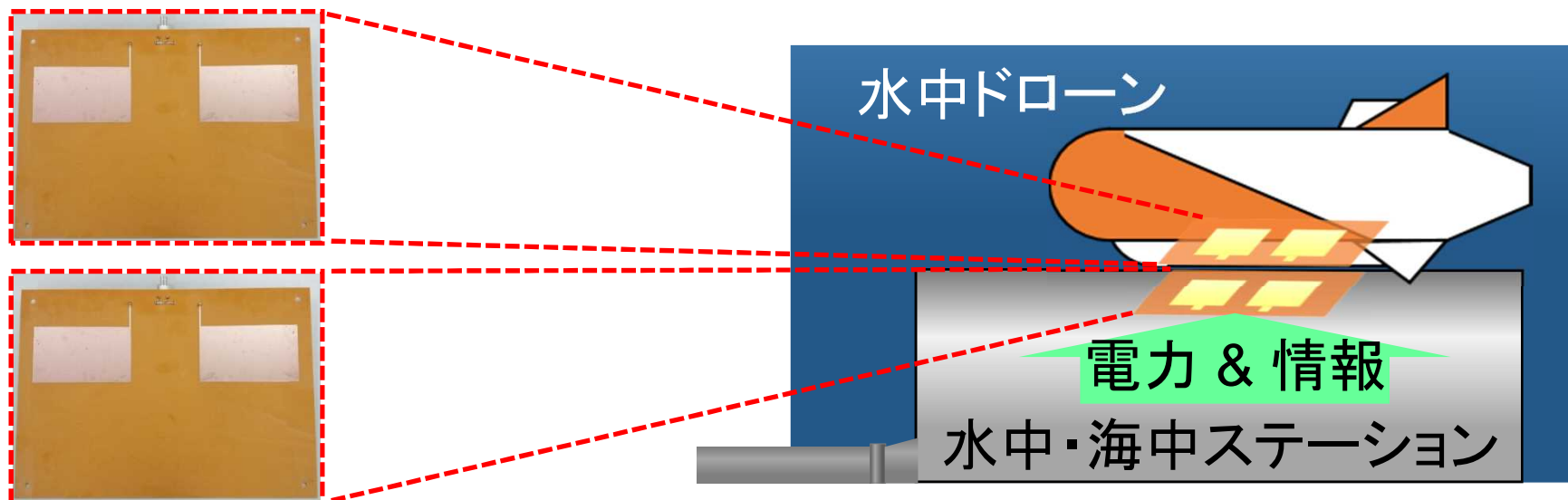
水中で通信と電力を同時に 伝える無線伝送システム

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科
電気・電子情報工学専攻

准教授 田村 昌也

新技術の概要

- ・ 送受電器構造が非常にシンプル
- ・ 非常に軽量(約 300g)
- ・ 伝送距離 2 cm で高周波電力伝送効率 90%
- ・ 他の技術との相違
 - ✓ 淡水では電界によって送電
 - ✓ 海水では導波路を形成して送電



想定される用途

- 本技術は
淡水・海水中における近距離無線電力情報伝送
 に最適である。
 - 構造物ヘルスマモニタリングに用いる常駐型水中ドローン
 (橋梁、ダム of 堤体壁面、排水管内、海底ケーブルなど)
 - 海底資源探査や海底断層調査に用いる無人潜水機
- 人体内部への電力伝送にも応用が期待できる。
- 想定される利用者・対象・業界(市場)は
 - 産業機器・建築機器業界
 - 電機メーカー
 - 医療機器メーカー

などが挙げられる

従来技術とその問題点

磁界を使った無線電力伝送が主流
利点

着底せずに給電が可能 = 数mの伝送距離

欠点

ドローンの**総重量が大幅**に増加

(径の大きい環状コイル、遮蔽金属、フェライトなど)

大型潜水艦には適している一方、

中型・小型潜水艇では浮力制御が困難

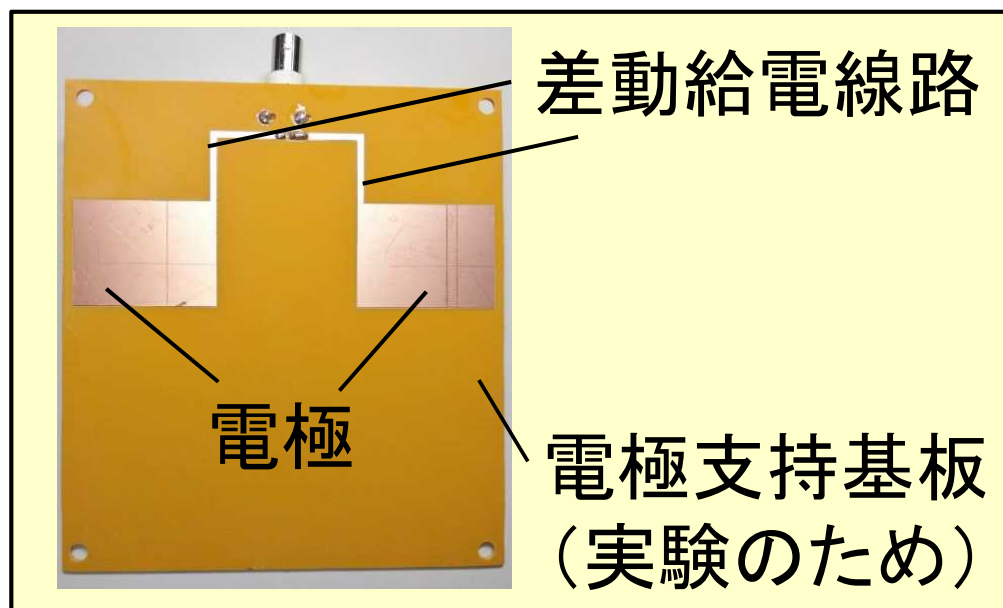
用途に応じた(適材適所)新しい手法が必要

新技術の特徴・従来技術との比較

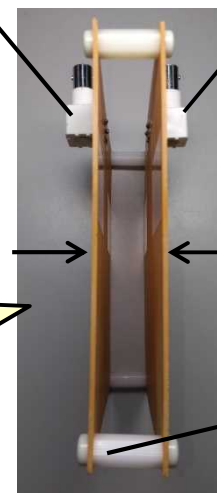
- ・ 並行平板電極からなる送受電器を構成し、
 - 送電に適した周波数帯を発見
 - 差動送受電器の自己結合を低減
 することで**磁界方式と同等の伝送効率90%**を達成。
 (送電電力 400 W、伝送距離 2 cm)
- ・ 試作した送受電器は**総重量300g**
- ・ 本技術の適用により、送受電器の総重量を大幅に削減できることが期待される。

新技術の内容

送受電器構造

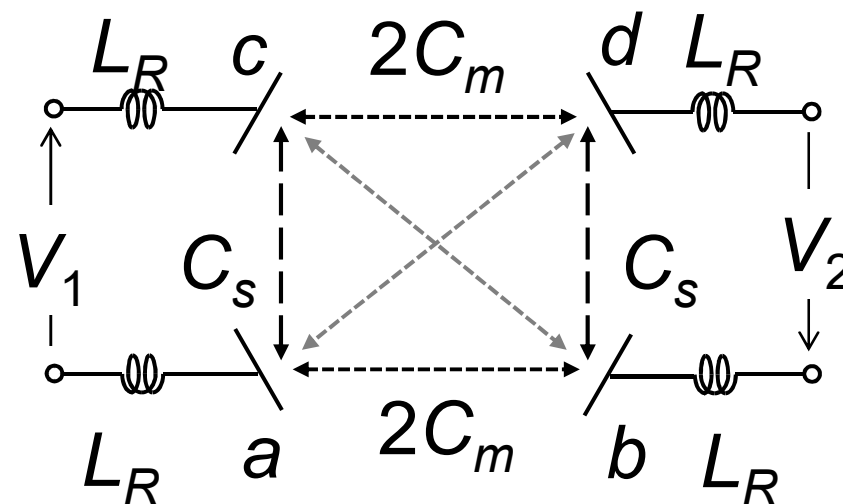
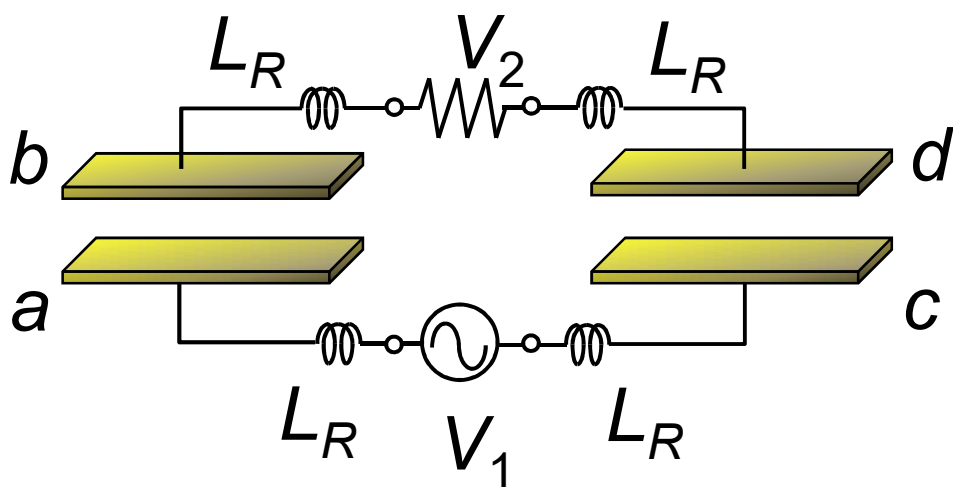


BNC コネクタ



2 cm

スペーサ

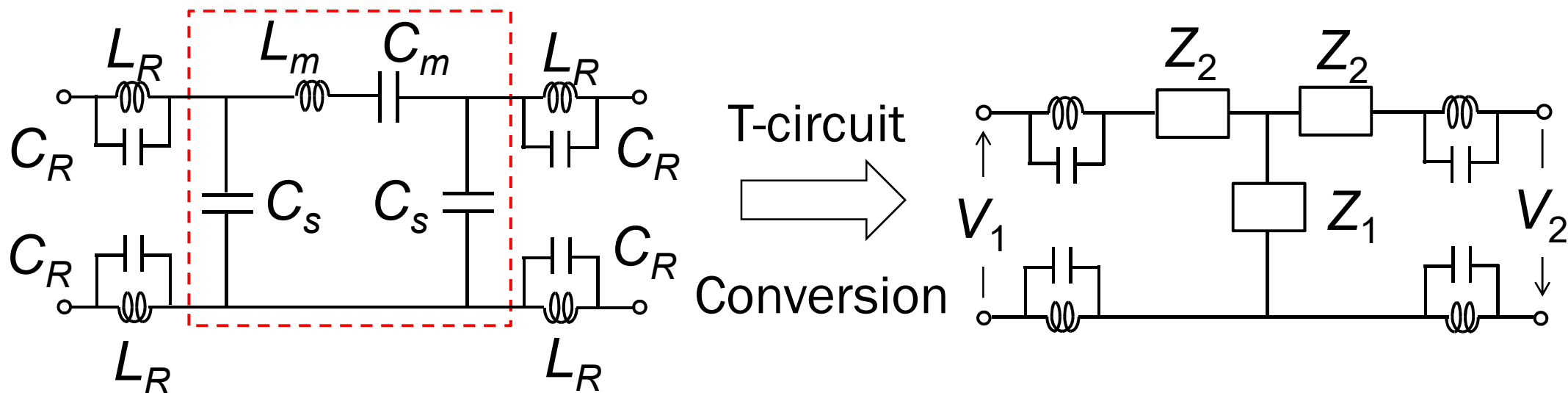


構造モデル

等価回路

新技術の内容

送受電器の設計方針



準結合係数: $k = \left| \frac{Z_1}{j\omega L_R // (1/j\omega C_R) + Z_1 + Z_2} \right| = \left| \frac{C_m (1 - \omega^2 C_R L_R)}{A\omega^4 - B\omega^2 + C_m + C_s} \right|$

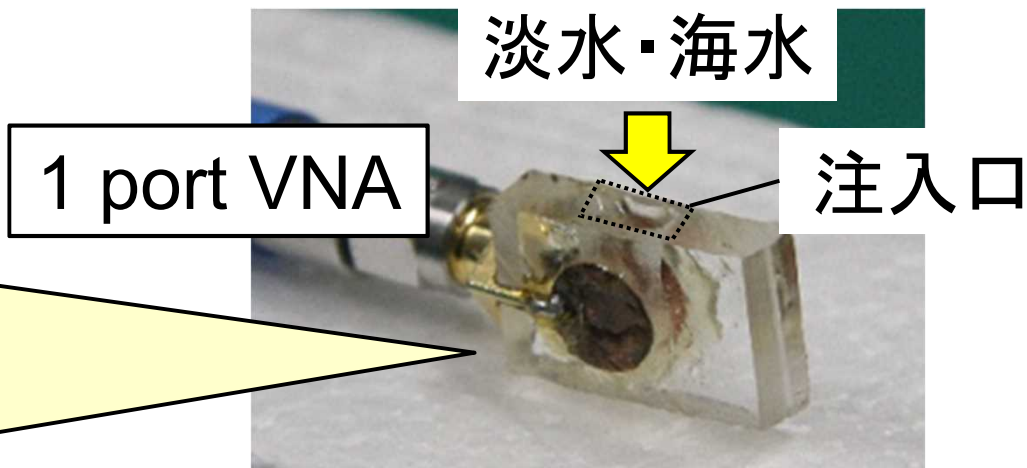
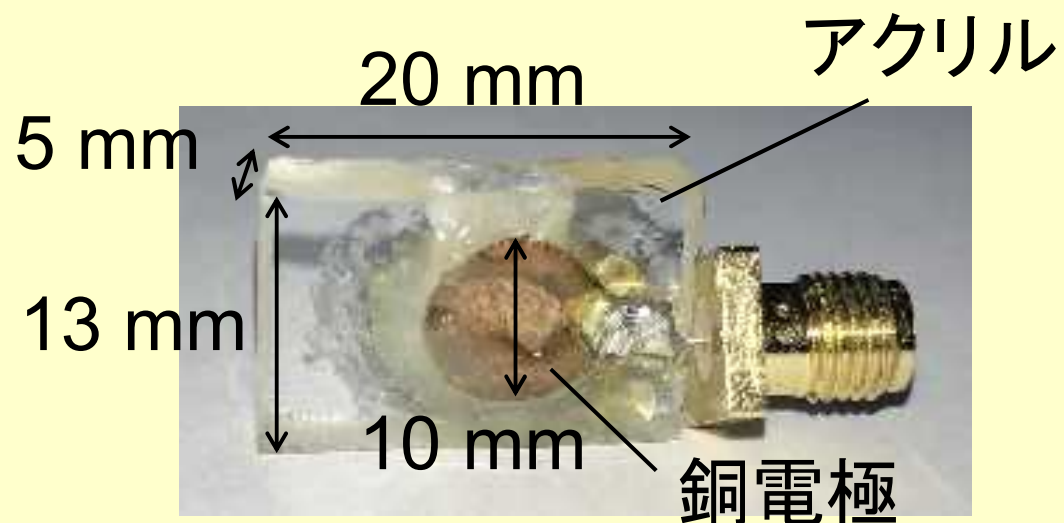
$$A = (C_R + 2C_s) C_m L_m C_s L_R, \quad B = \left\{ (C_s + C_m) C_R + 2C_s (C_s + 2C_m) \right\} L_R + C_m C_s L_m$$

近似 $k \cong \frac{C_m}{C_m + C_s}$

自己結合容量 C_s を低減
相互結合容量 C_m を増加

新技術の内容

淡水の高周波特性測定系



測定セルのアドミタンス Y_{DUT} から複素誘電率を算出

$$Y_{DUT} = j\omega C_{DUT} + G_{DUT}$$

$$= j\omega(\epsilon_r' C_0 + C_r) + \omega\epsilon_r'' C_0$$

C_0 : セル定数

C_r : 寄生容量

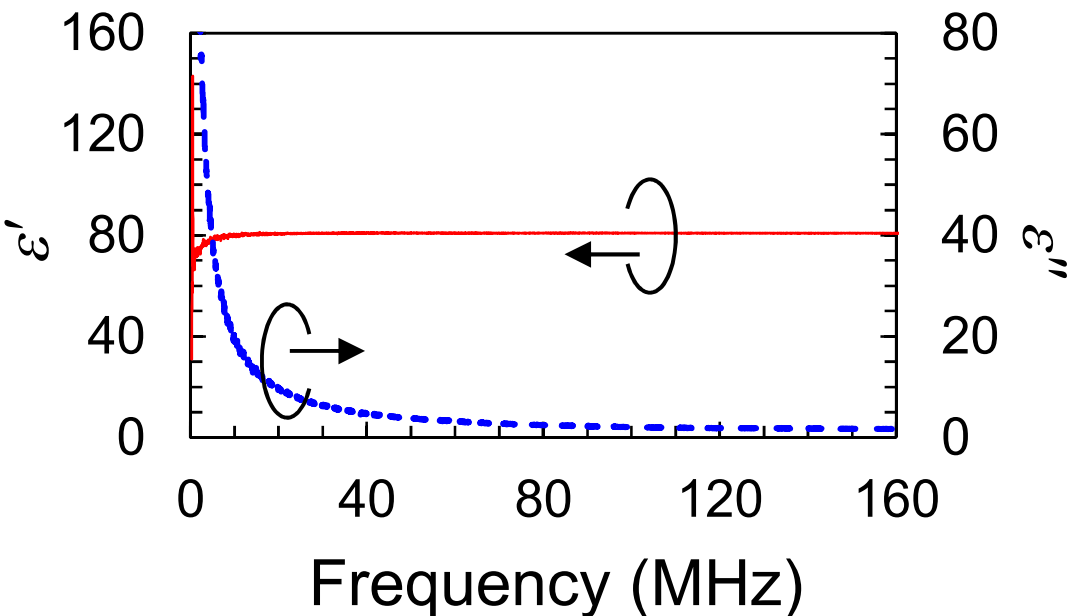
$$Q = \frac{\omega\epsilon_r' \epsilon_0}{\omega\epsilon_r'' \epsilon_0 + \sigma}$$

$$\approx \frac{\omega\epsilon_r' \epsilon_0}{\sigma} = \frac{1}{\tan \delta} \quad (1)$$

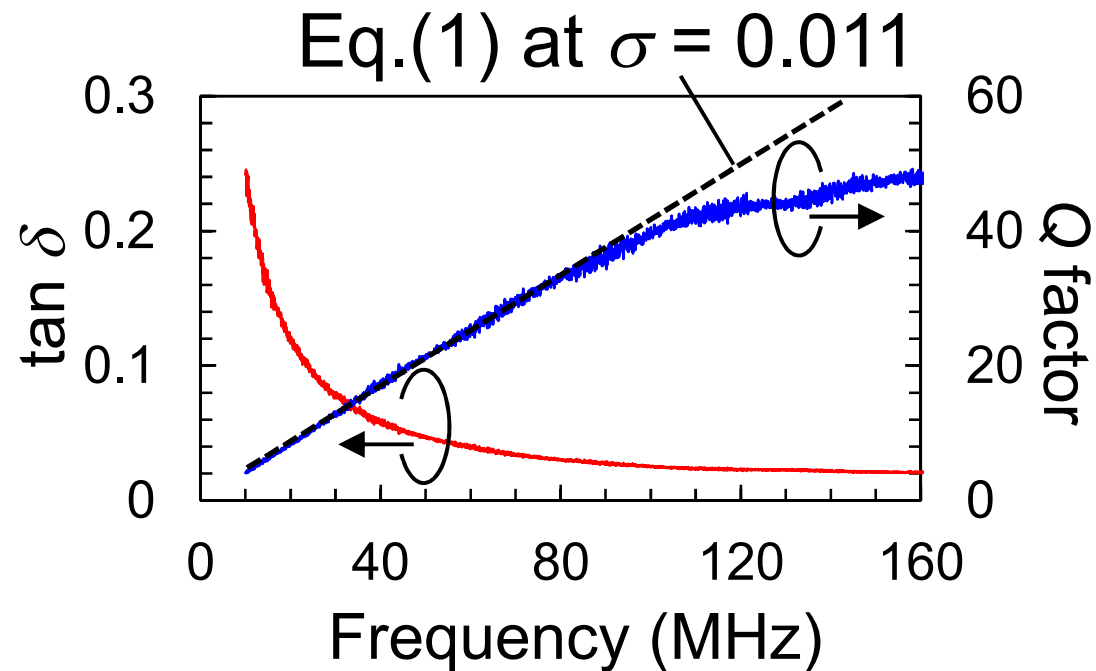
σ : 導電率

新技術の内容

淡水の高周波特性



複素誘電率



Q 値と $\tan \delta$

周波数が高くなるほどQ値は向上

(110 MHz付近から測定セルの自己共振とともに誘電損が増加)

新技術の内容

設計の注意点

$$kQ = \left| \frac{C_m(1 - \omega^2 C_R L_R)}{A\omega^4 - B\omega^2 + C_m + C_s} \right| \cdot \frac{\omega \varepsilon_r' \varepsilon_0}{\sigma} \quad \begin{aligned} A &= (C_R + 2C_s)C_m L_m C_s L_R \\ B &= \{(C_s + C_m)C_R + 2C_s(C_s + 2C_m)\}L_R + C_m C_s L_m \end{aligned}$$

理論最大電力伝送効率 $\eta_{\max} = 1 - \frac{2}{1 + \sqrt{1 + (kQ)^2}}$

(1) kQ product = 0 ($\eta_{\max} = 0$)

$$f_{k,0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_R L_R}}$$

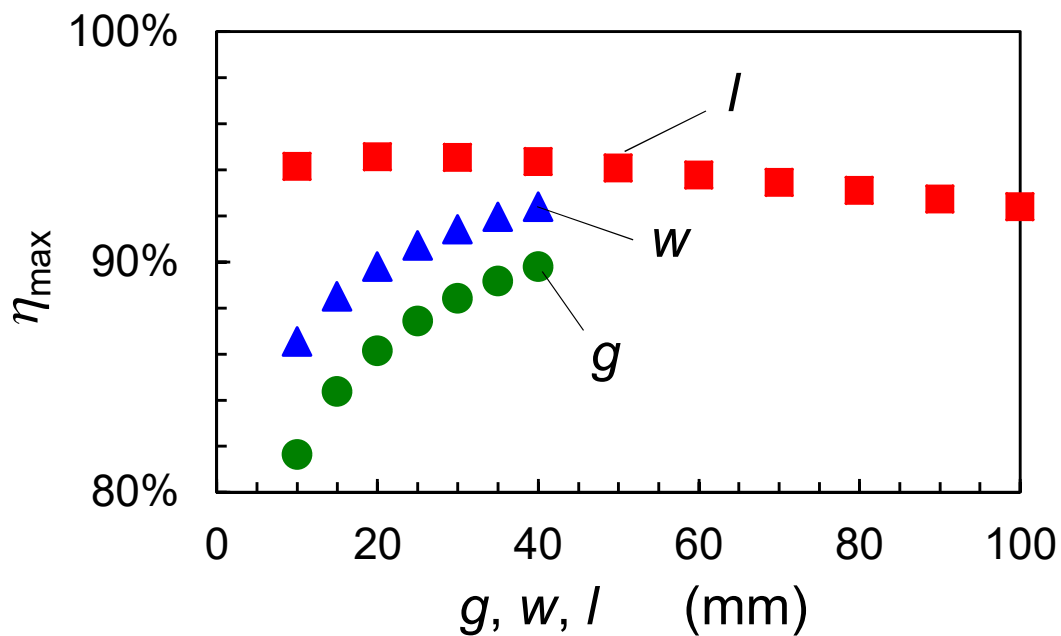
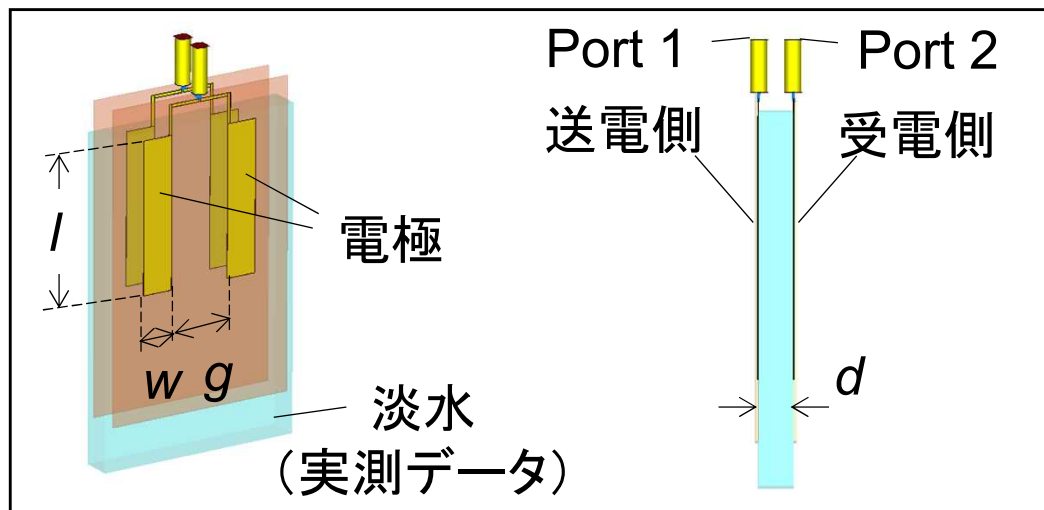
(2) kQ product = ∞ ($\eta_{\max} = 1$)

$$f_{kQ,1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B - \sqrt{B^2 - 4A(C_m + C_s)}}{2A}} = f_{k,1} \quad f_{kQ,3} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 - 4A(C_m + C_s)}}{2A}} = f_{k,3}$$

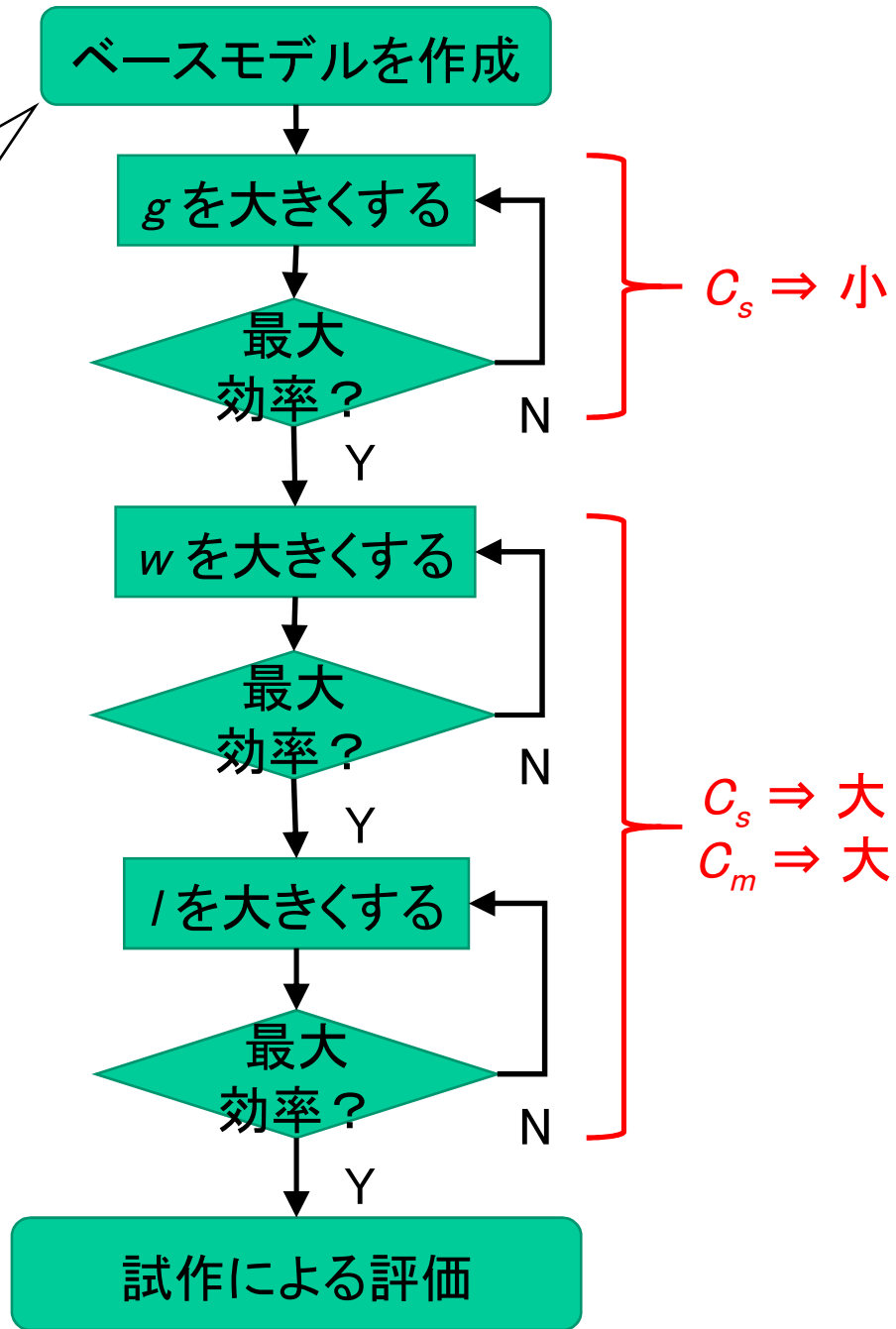
極大を有し、その周波数は構造によって変化

新技術の内容

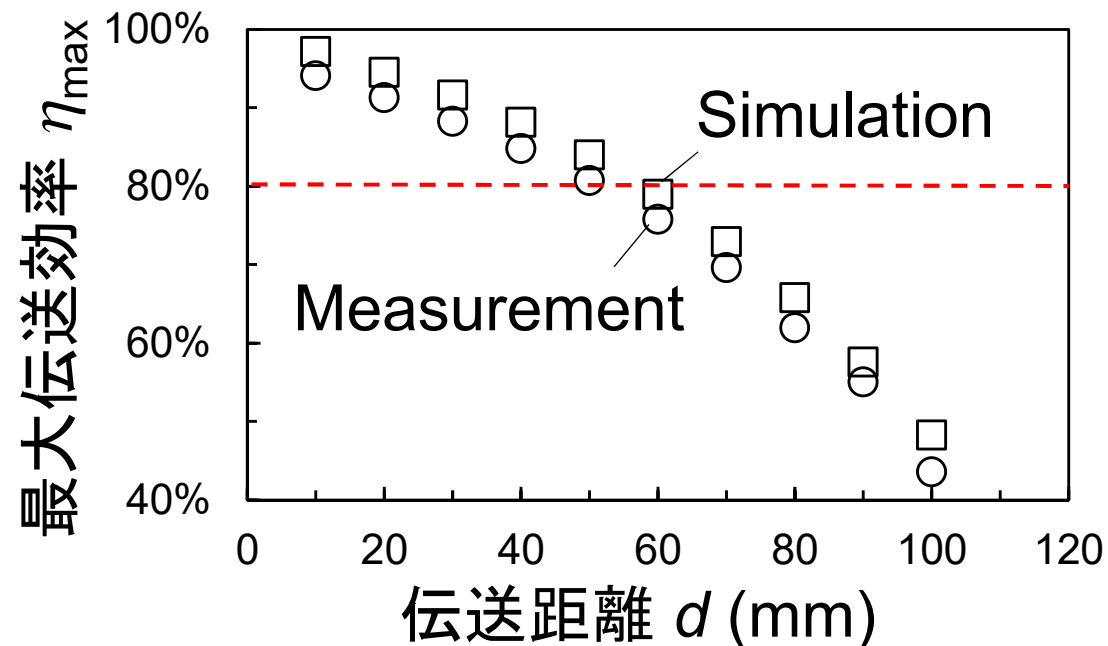
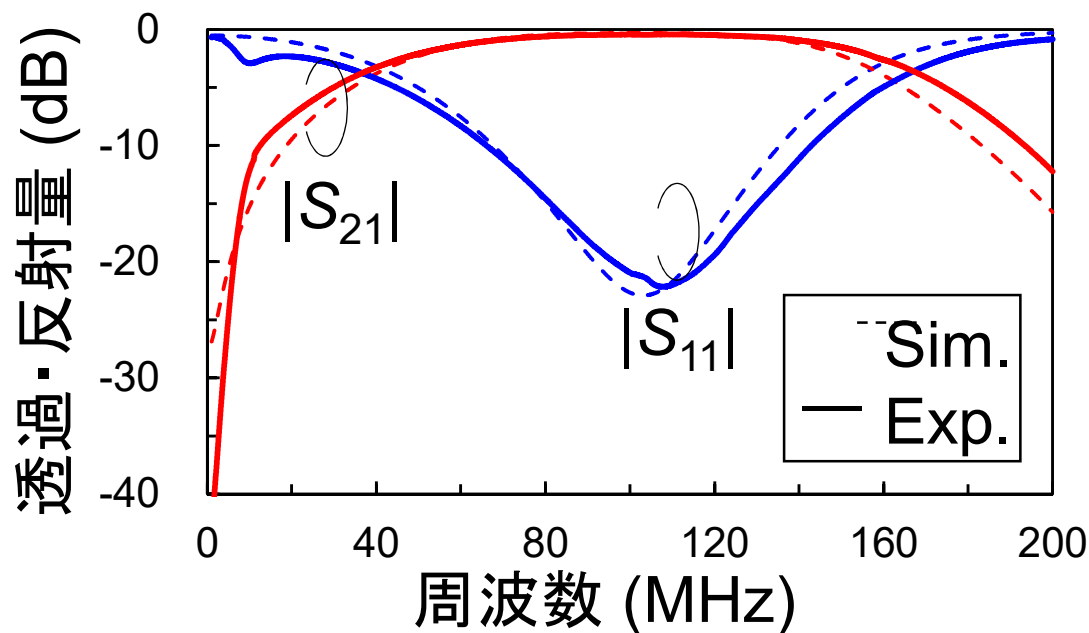
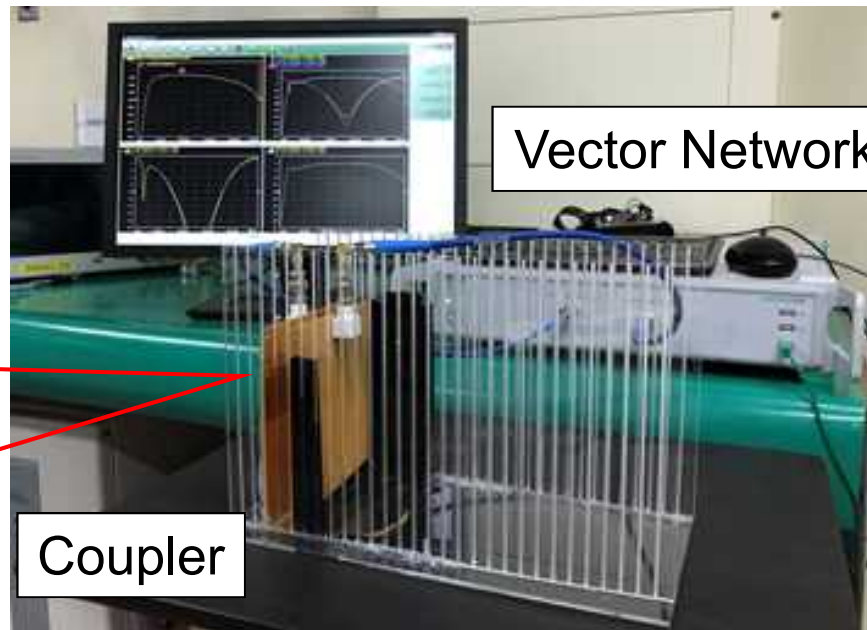
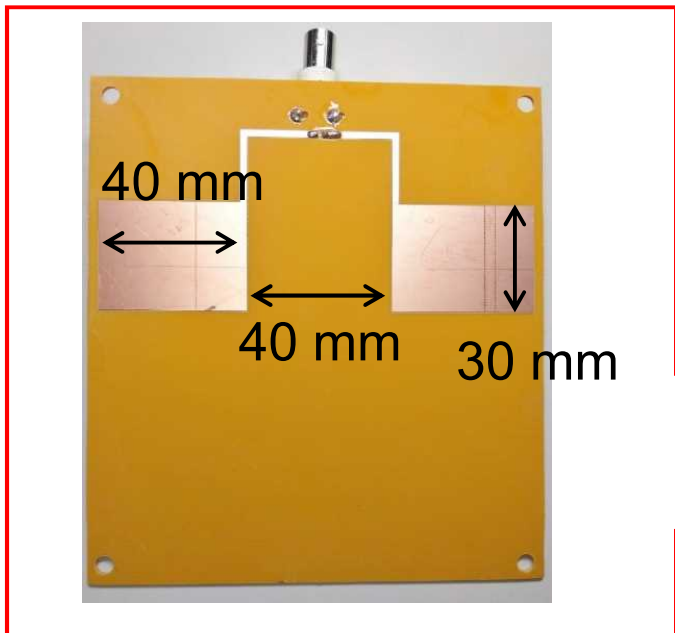
設計フロー



構造パラメータと効率の関係

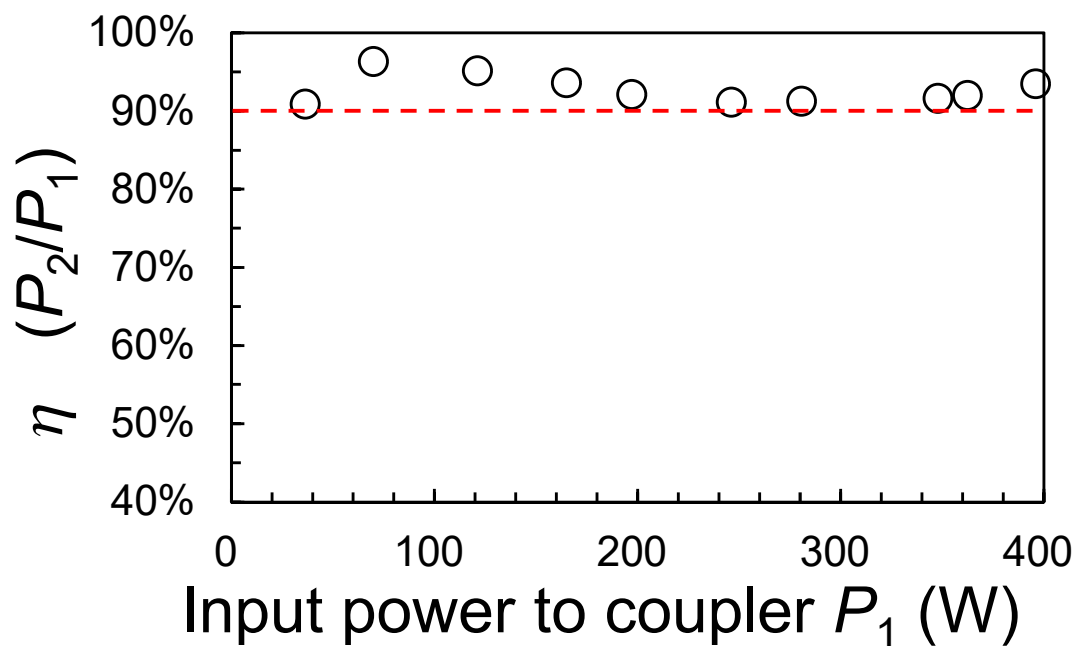
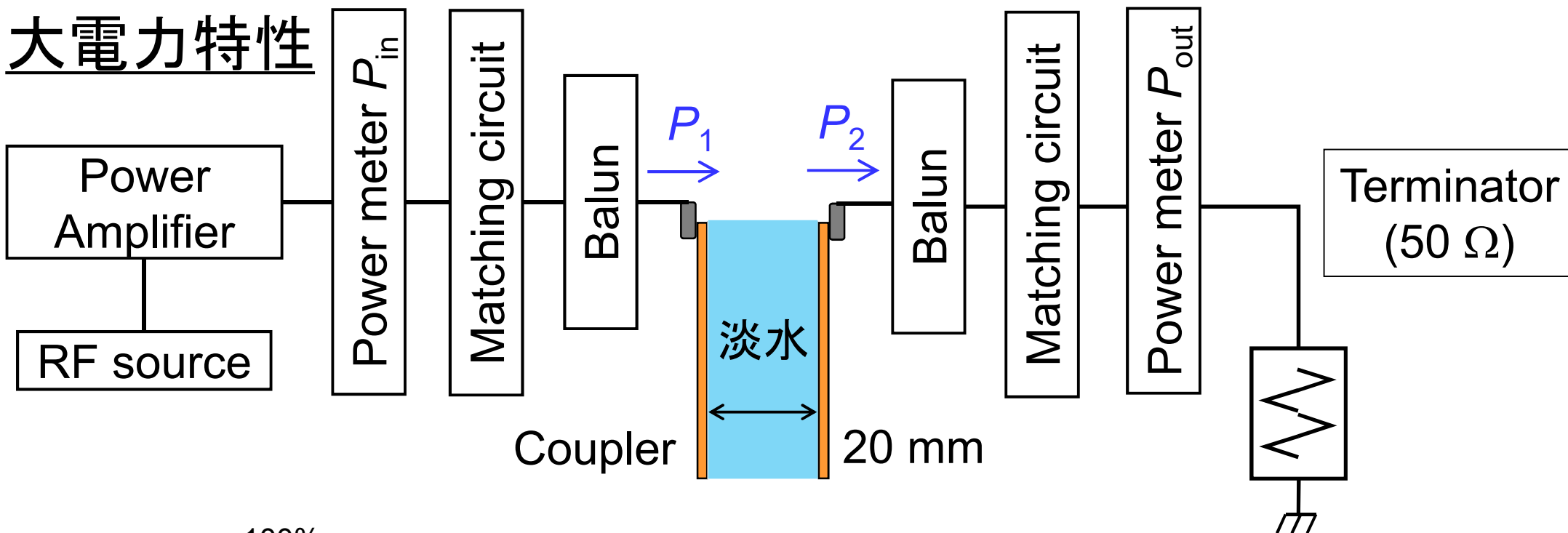


新技術の内容



新技術の内容

大電力特性



入力電力400Wでも
効率 90% 以上達成

新技術の内容

情報伝送実験

- 同じ結合器を介して情報伝送に成功
- 電力と情報を切り分けるダイプレクサを設計中

カメラモジュール
の動画を
PCに表示

RF電源

整合回路1

受信モジュール

結合器

整合回路2

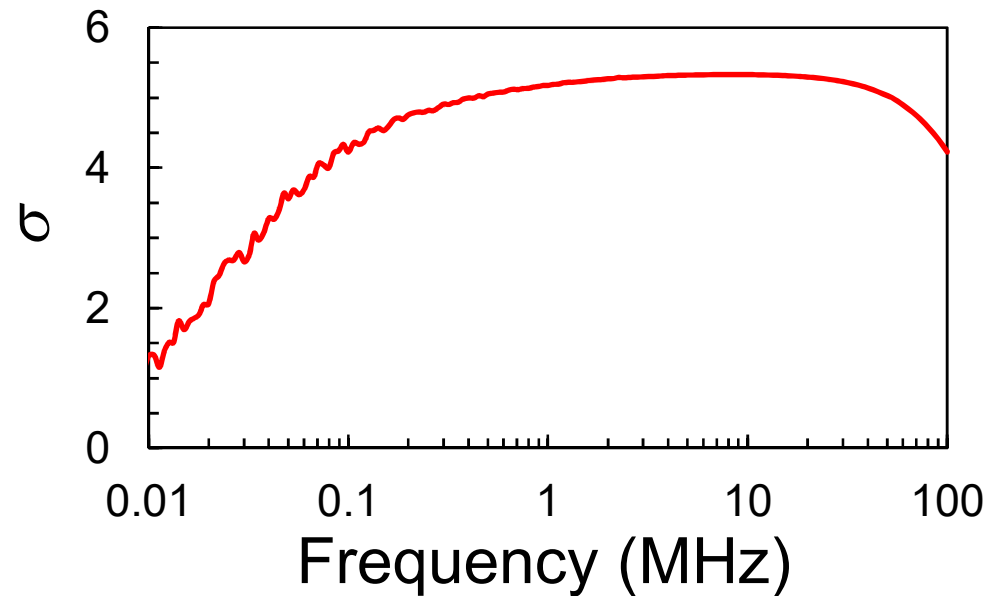
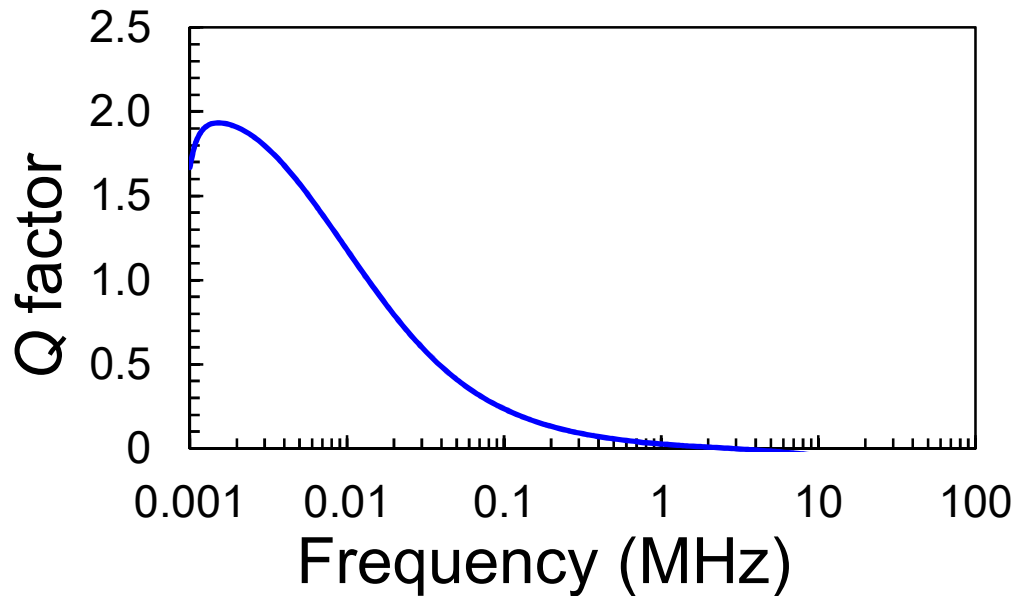
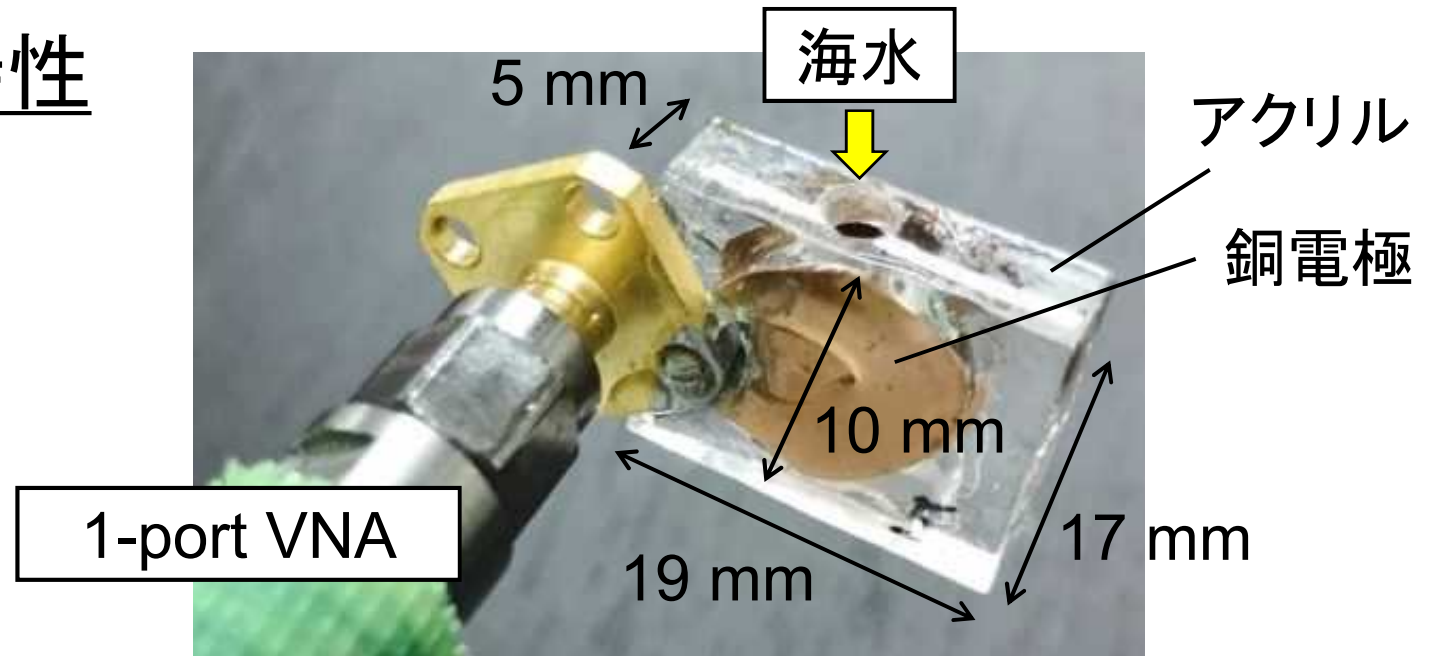
整流回路

カメラモジュール
(送信回路付き)



新技術の内容

海水の高周波特性



低周波数では誘電体、高周波では導体として動作

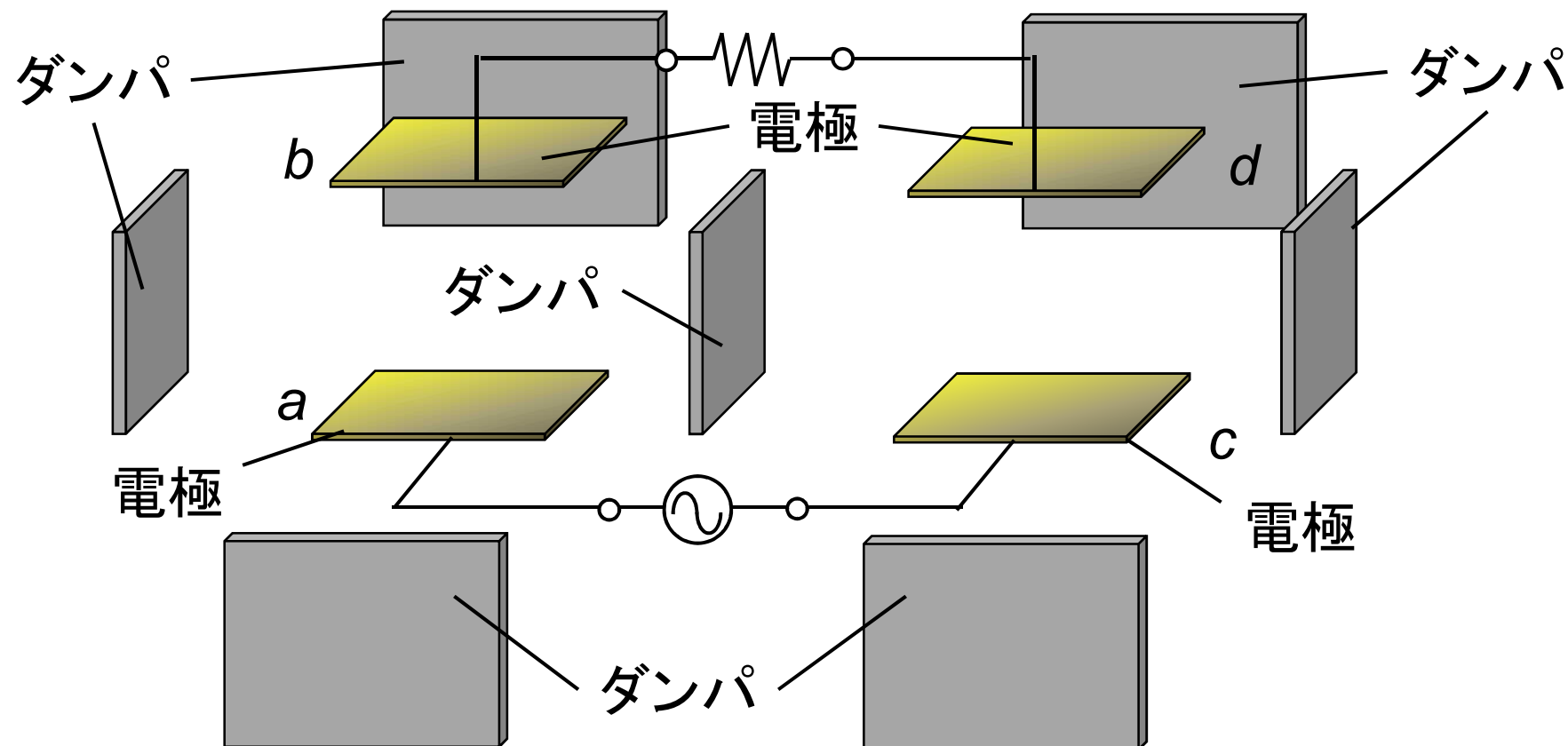
新技術の内容

送受電器の設計方針

- 高周波: 導電性を利用した**導波路**で送電

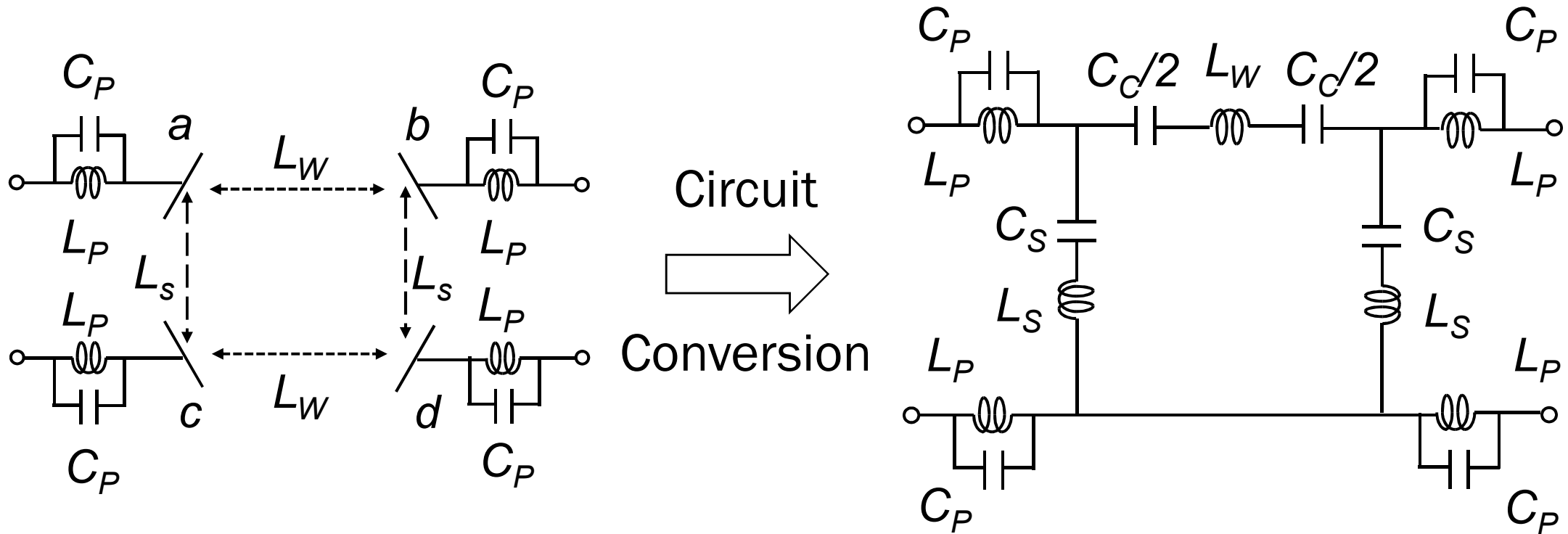


ダンパを使って表現



新技術の内容

導波路型送受電器の設計方針



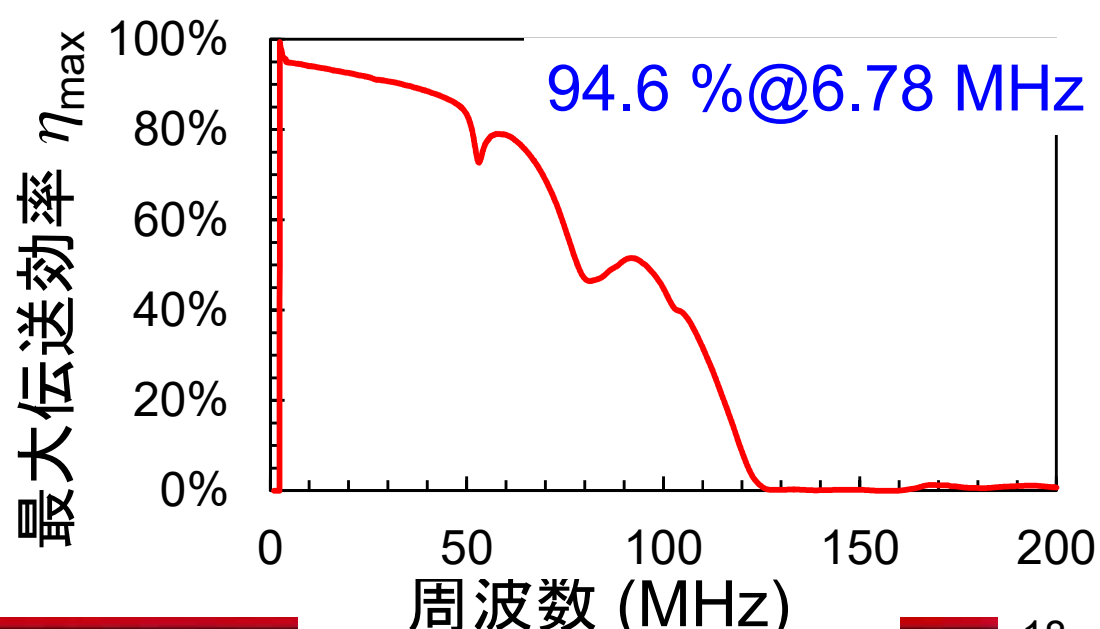
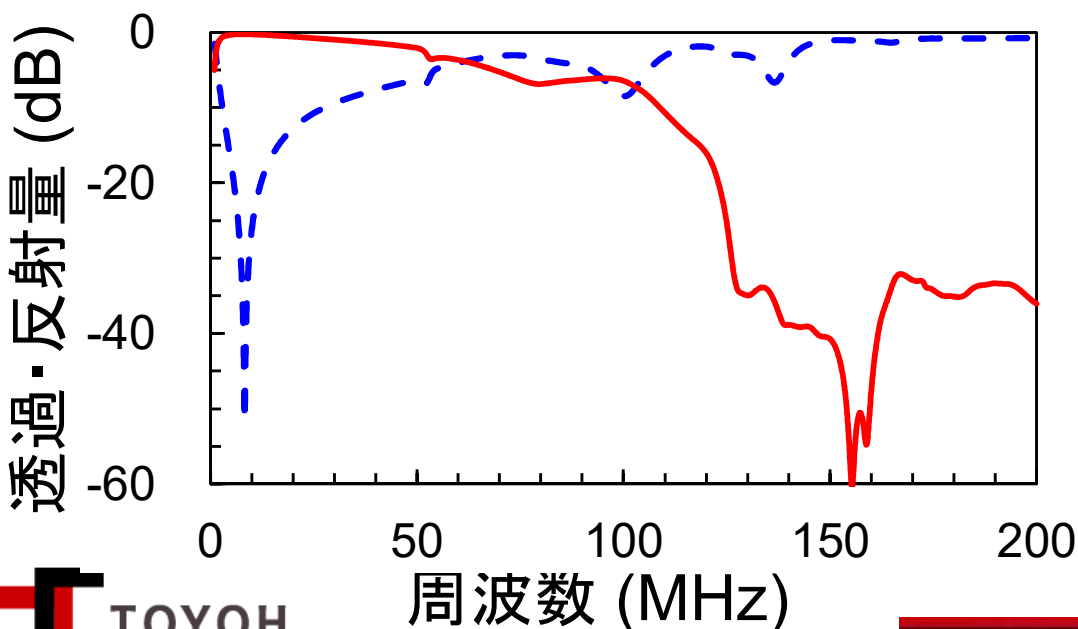
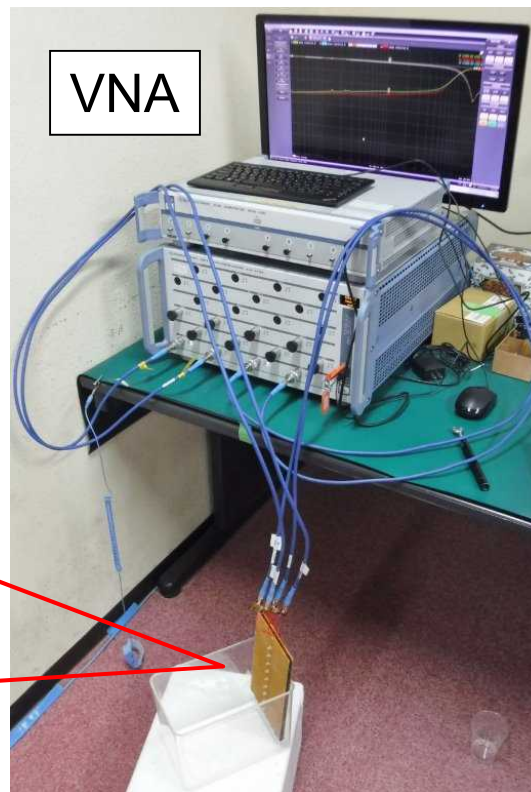
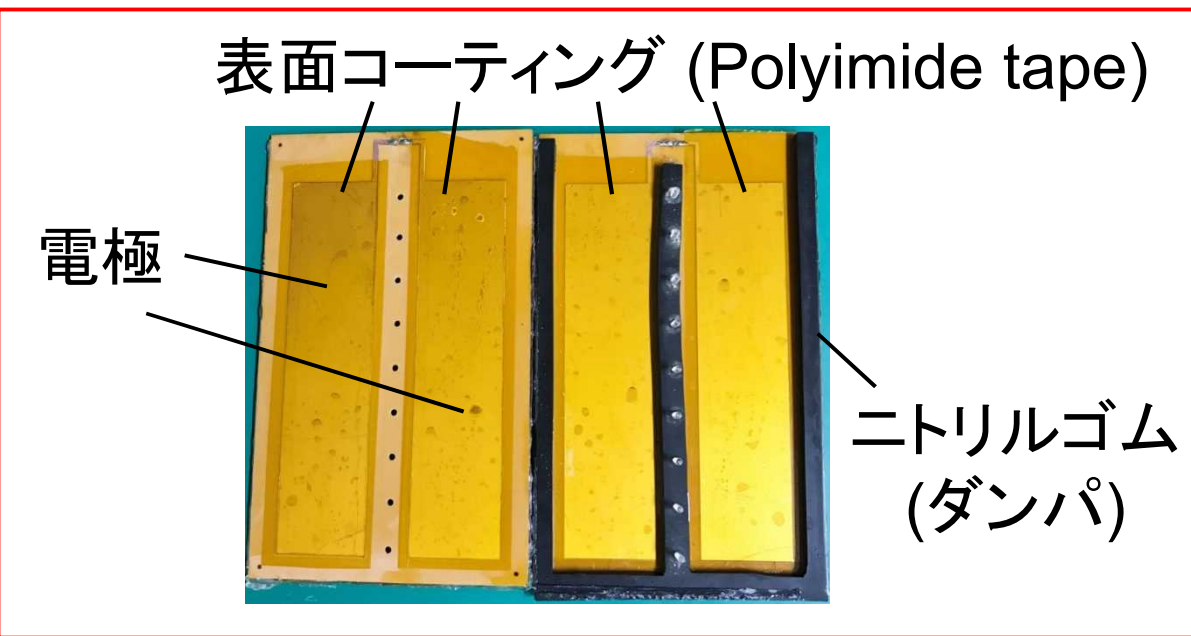
$$\text{準結合係数: } k = \left| \frac{C_c (\omega^2 C_p L_p - 1)}{2\omega^2 L_p C_s (2C_c + C_s) + B\omega^2 (\omega^2 C_p L_p - 1)(C_c + C_s)} \right|$$

$$\text{近似 } k \cong \frac{C_m}{C_m + C_s}$$

淡水の結合器と同じ設計指針

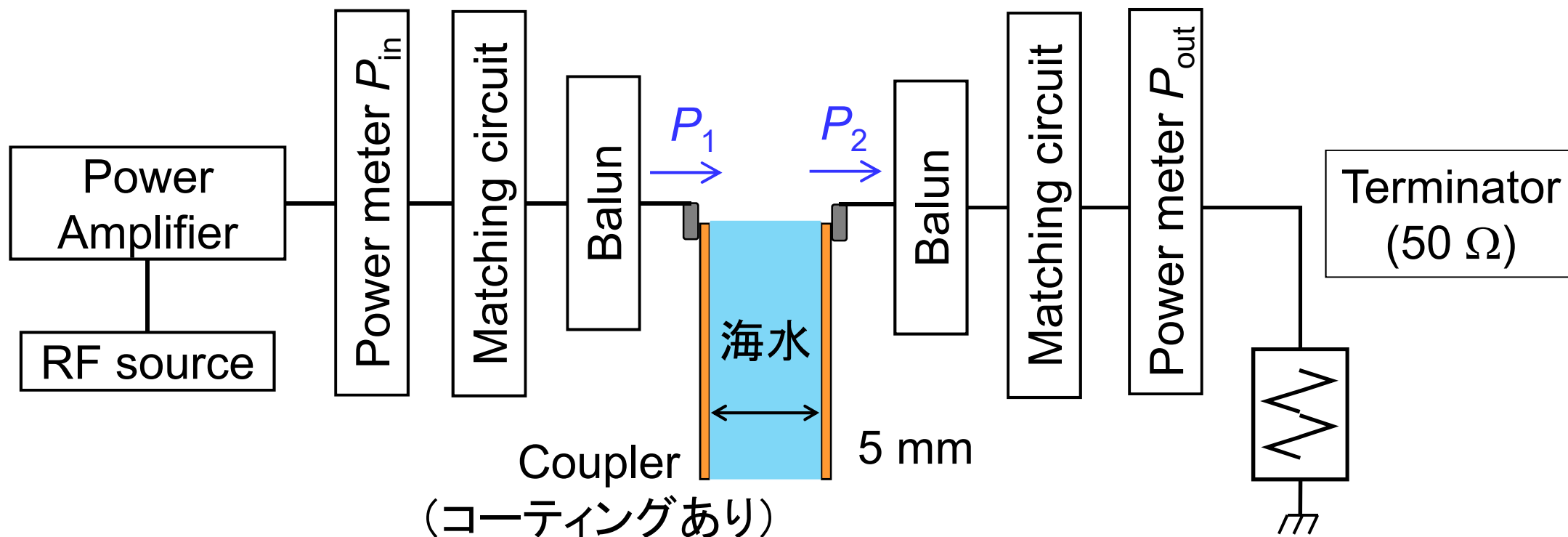
新技術の内容

高周波帯での伝送



新技術の内容

大電力特性



伝送距離 5 mm 入力電力 P_1 369 W 効率 P_2 / P_1 94 %
 周波数 6.78 MHz 出力電力 P_2 347 W

入力電力 約370Wまで効率90%以上達成

実用化に向けた課題

- ・ 実際の環境における伝送効率の測定
流れ、泥・砂、水深(水温)、マリンスノーなどの影響は不明
- ・ 位置ずれに対する効率変動の定量化
定性的には確認済み
- ・ ダンパを含む実用的な構造の検討
- ・ EMIの測定

企業への期待

- ・ 実環境に近い設備があれば課題抽出可能なので実環境に近い設備を持つ、企業との共同研究を希望。
- ・ 構造物ヘルスマモニタリング、あるいは資源探索への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : (出願手続き中)
- ・ 出願番号 : 特願2019-000000
- ・ 出願人 : 豊橋技術科学大学
- ・ 発明者 : 田村昌也、村井宏輔、仲泰正

お問い合わせ先：研究推進アドミニストレーションセンター

Phone: 0532 - 44 - 6975

FAX: 0532 - 44 - 6980

E-mail: tut-sangaku@rac.tut.ac.jp 担当: 白川正知