



挟み込み構造を用いた 位置ずれに強く 低ノイズなワイヤレス給電

東京都立産業技術研究センター

技術支援本部 多摩テクノプラザ 電子技術グループ

○主任研究員 佐野 宏靖、


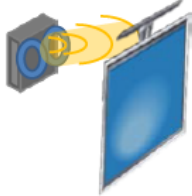


秋山 美郷、新井 宏章、小畑 輝

東京都立大学 システムデザイン研究科

鈴木 敬久、多氣 昌生

2023年1月17日

ワイヤレス給電方式と問題点

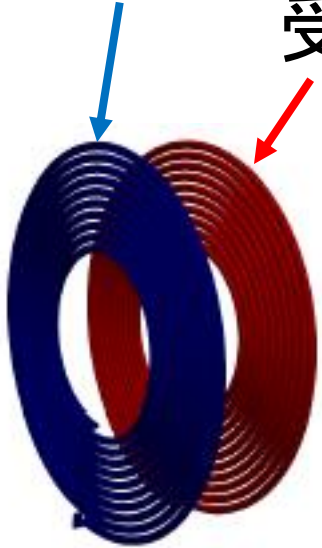
対象WPT	電気自動車用WPT	100kHz以下の 磁界結合型WPT	6MHz帯 磁界結合型WPT	400kHz帯 電界結合型WPT
給電対象・ システム イメージ	電気自動車 	オフィス機器、家電 機器等 	スマートフォン、タブ レットPC等 	ノートPC等 
電力伝送 方式	磁界結合方式			電界結合方式
伝送電力	～3kW程度 (最大7.7kW)	～1.5kW程度	～100W程度	～100W程度
使用 周波数	79kHz～90kHz	20.05kHz～38kHz、 42kHz～58kHz、 62kHz～100kHz	6.765MHz～ 6.795MHz	425～524 kHz (アマチュア無線、海上 無線、中波ラジオ放送 に割り当てられた周波 数帯は除く)
送受電 距離	0～30cm程度	0～10cm程度	0～30cm程度	0～1cm程度

出展：総務省「電波利用環境委員会報告概要」資料106-4-1 平成27年

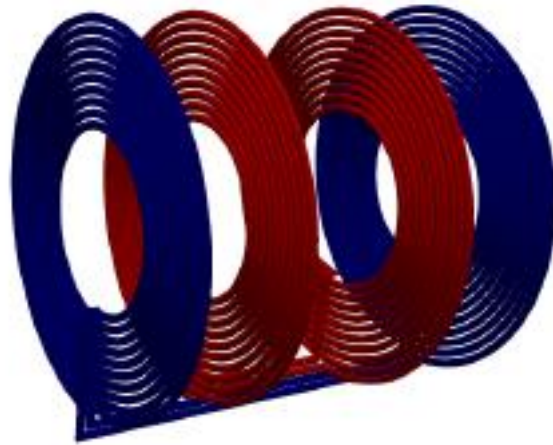
磁界結合方式は位置ずれに弱く、ノイズが大きいといった
問題点がある

提案構造のイメージ

送電コイル
受電コイル

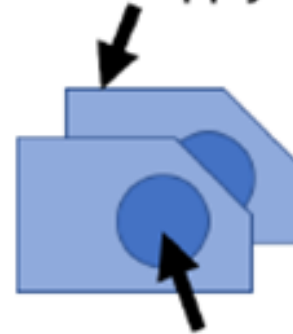


従来型



提案型
(挟み込み構造型)

Power supply stand



Transmission coil

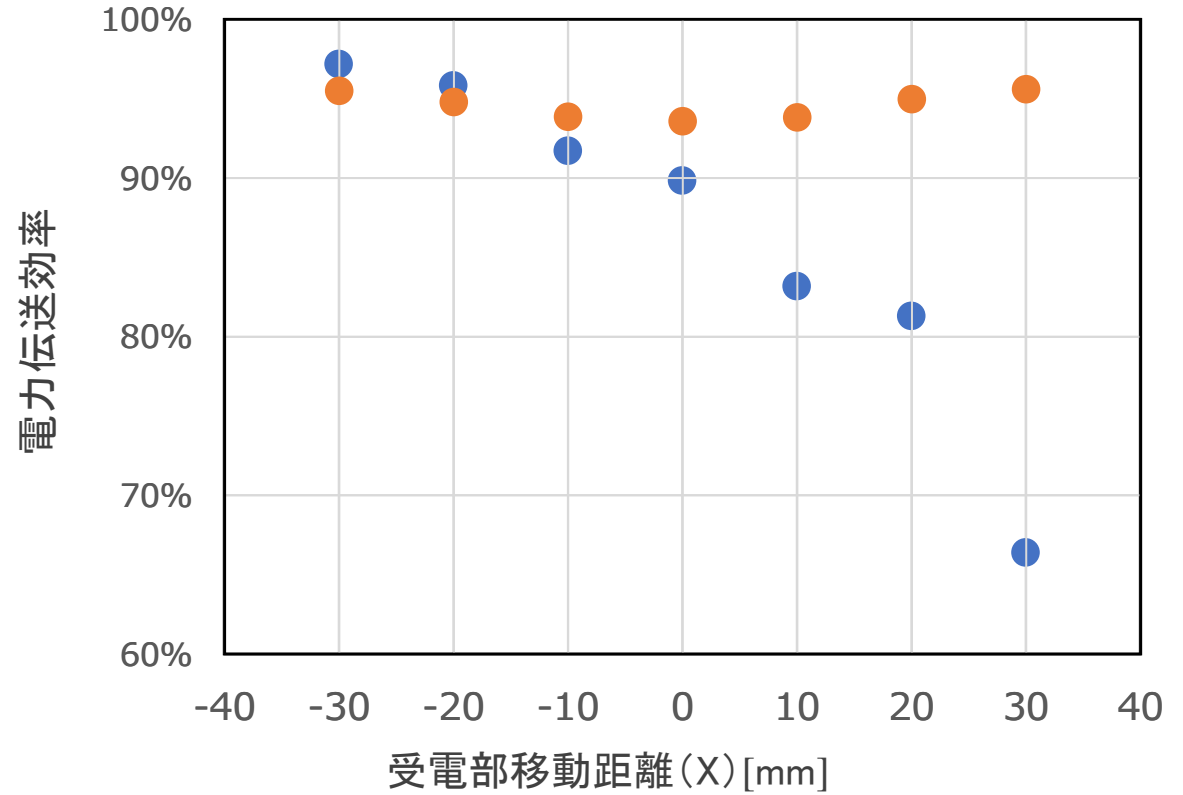
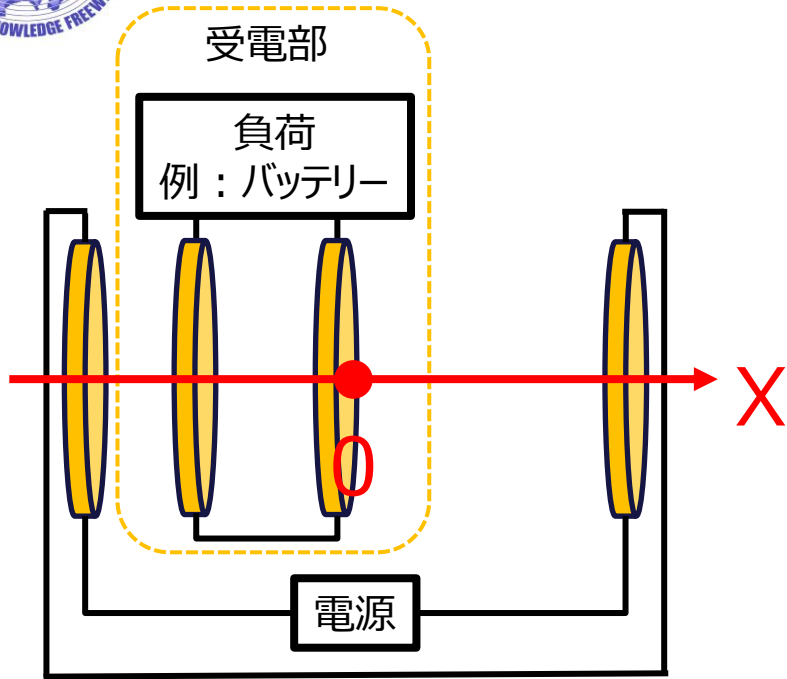


Receiving coil

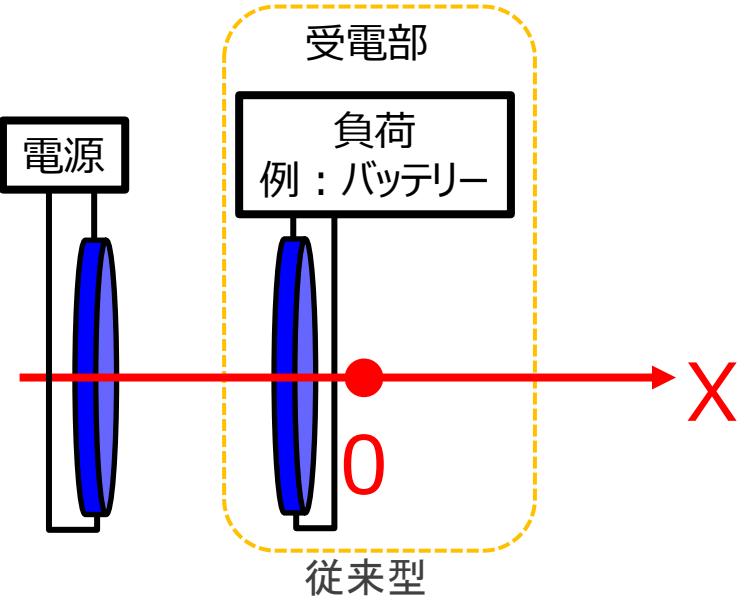
挟み込み構造の使用例



位置ずれに強い構造

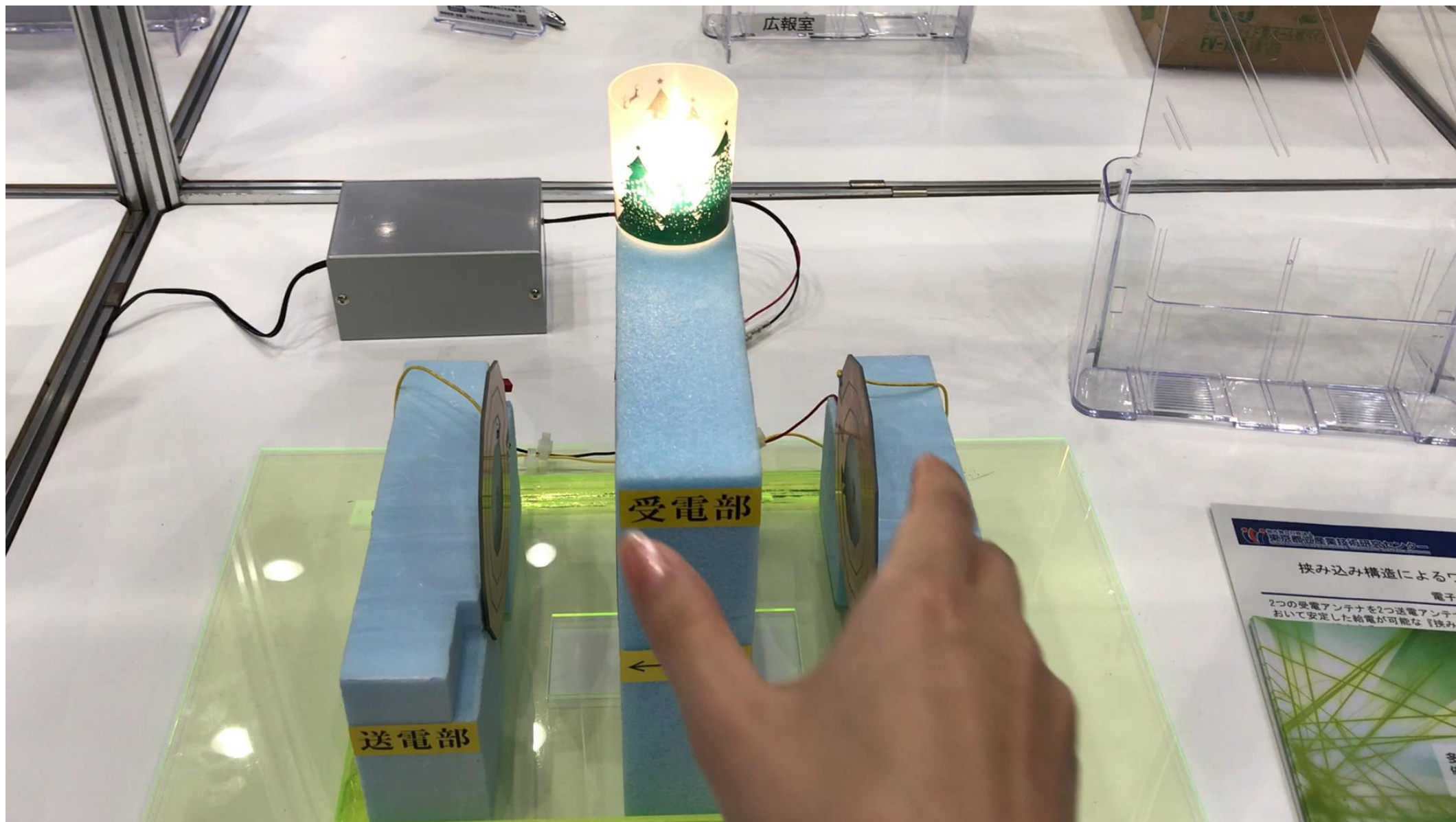


受電部位置ずれに対する電力伝送効率



限定された空間の中で
安定した給電が可能

位置ずれに強い構造の提案





挟み込み型コイルの等価回路

回路方程式

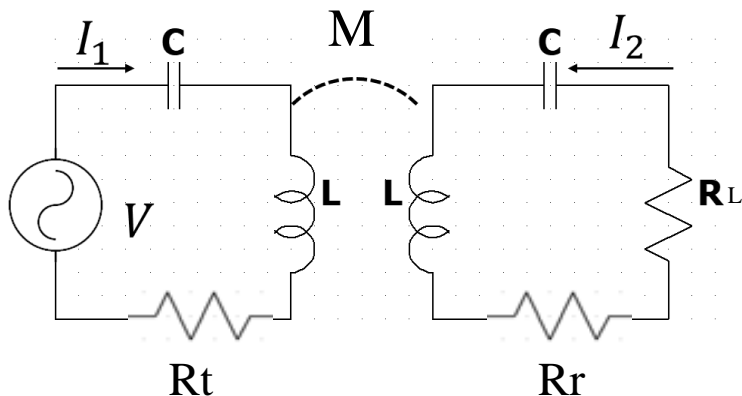
$$\begin{bmatrix} V \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_{11} = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R_t$$

$$Z_{12} = j\omega ML$$

$$Z_{21} = j\omega ML$$

$$Z_{22} = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R_r + R_L$$



従来型

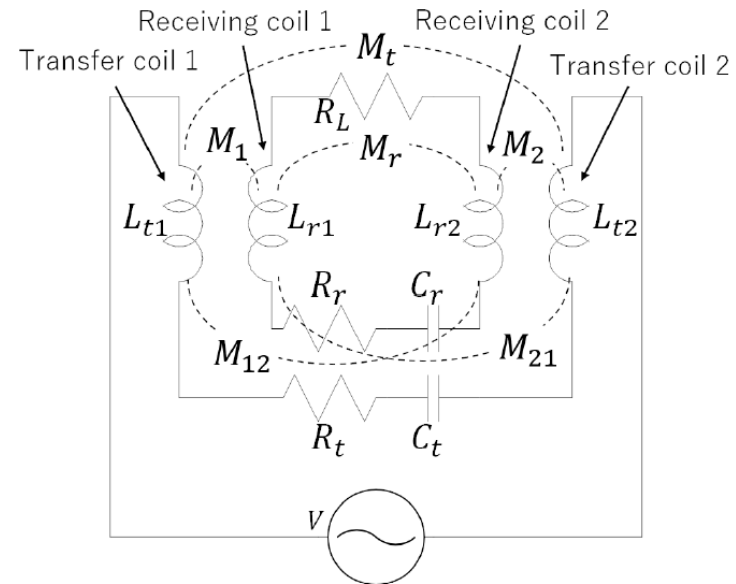
$$Z_{11} = 2j\omega(L + M_t) + \frac{2}{j\omega C_t} + R_t$$

$$Z_{12} = j\omega M_{trans}$$

$$Z_{21} = j\omega M_{trans}$$

$$Z_{22} = 2j\omega(L + M_r) + \frac{2}{j\omega C_r} + R_r + R_L$$

$$M_{trans} = M_1 + M_2 + M_{12} + M_{21}$$

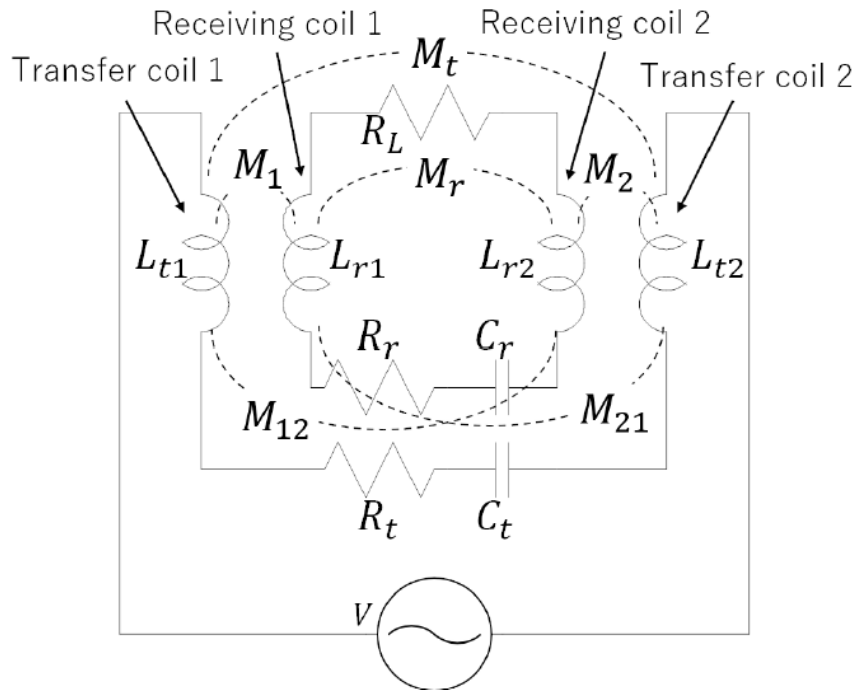


提案型

- 提案型は従来型に比べて複雑な磁界結合が生じ、力率悪化の要因が送電コイル同士、受電コイル同士の相互インダクタンス M_t, M_r が影響している

[1]北原, 鈴木, 多氣, 秋山, 佐々木, 佐野, “挟み込み型のコイル構造を持つ無線電力伝送システムの解析”, 電気学会論文誌D, 2022年8月

挟み込み型コイルの等価回路



$$Z_{11} = 2j\omega(L + M_t) + \frac{2}{j\omega C_t} + R_t$$

$$Z_{12} = j\omega M_{trans}$$

$$Z_{21} = j\omega M_{trans}$$

$$Z_{22} = 2j\omega(L + M_r) + \frac{2}{j\omega C_r} + R_r + R_L$$

$$M_{trans} = M_1 + M_2 + M_{12} + M_{21}$$

同相接続：コンデンサで補償 $\Rightarrow C_{t,r} = \frac{1}{2\omega^2 M_{t,r} L}$

逆相接続：インダクタで補償 $\Rightarrow L_{t,r} = -2M_{t,r} L$

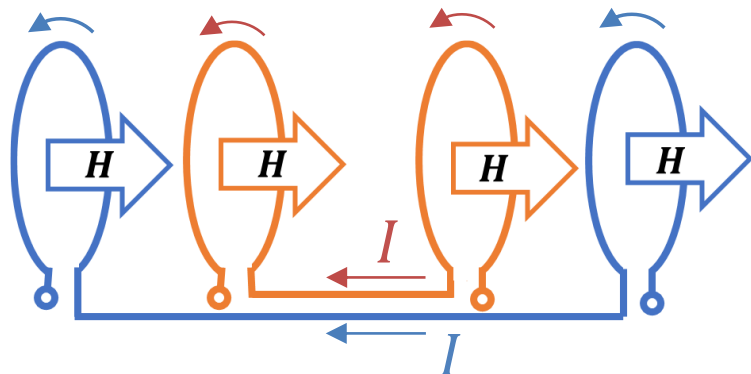
- 共振用コンデンサに追加して補償用リアクタンスの考慮が必要
- 補償の際は送受電コイル同士の結合係数によってのみリアクタンス値が決まるため、**給電位置が変化した場合にも値を変更する必要がない**

挟み込み型コイルについて

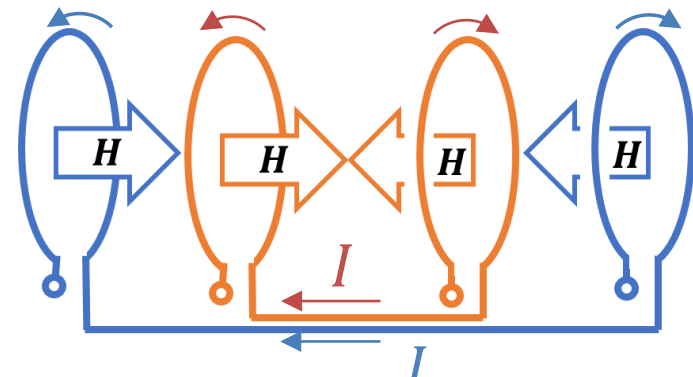
		送電側	
		同相 	逆相
受電側	同相 	タイプA 	タイプC
	逆相 	タイプB 	タイプD

挟み込み構造では、コイルの接続方法によって発生する磁界の分布が異なる

実質的に電力伝送ができる接続方法は2種類

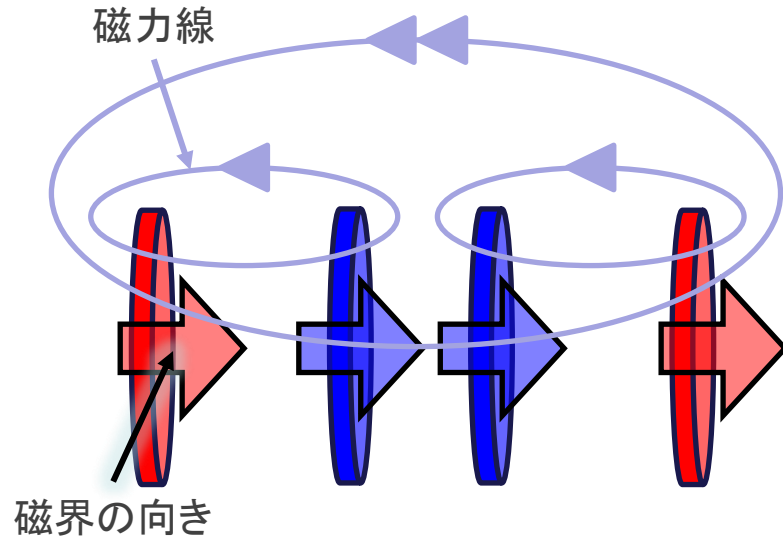


和動接続モード(同相接続)

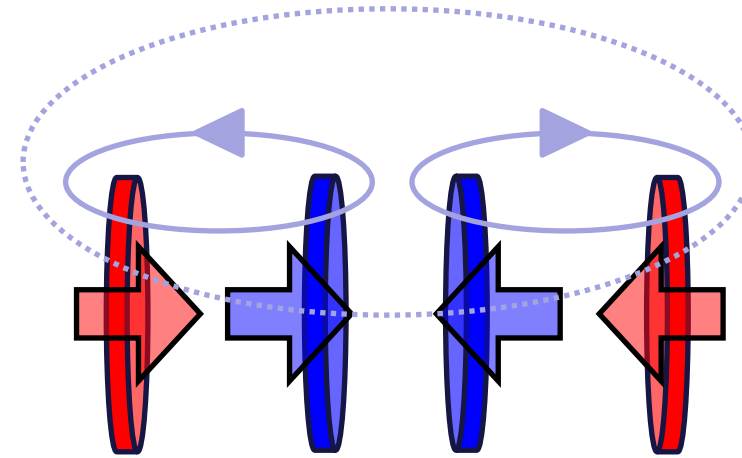


差動接続モード(逆相接続)

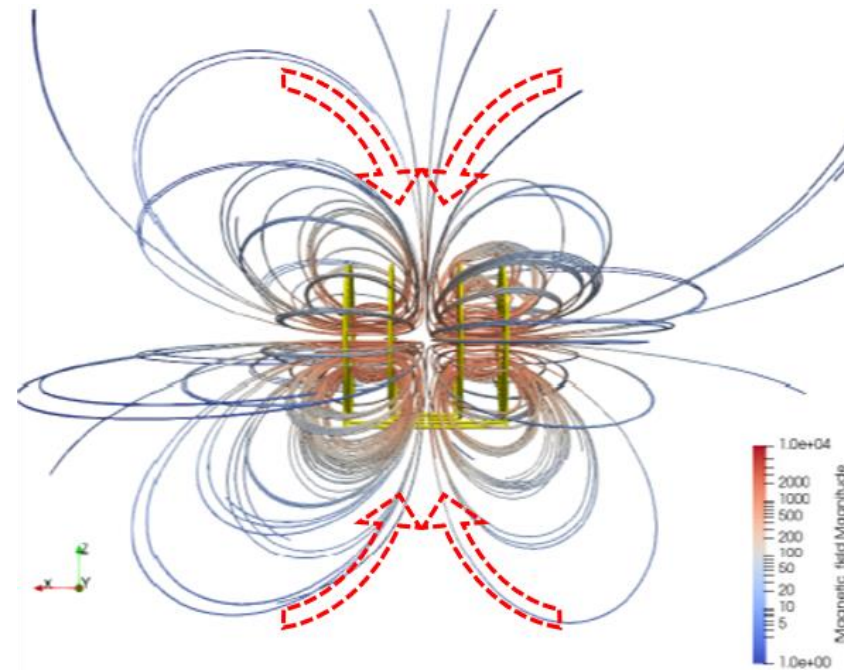
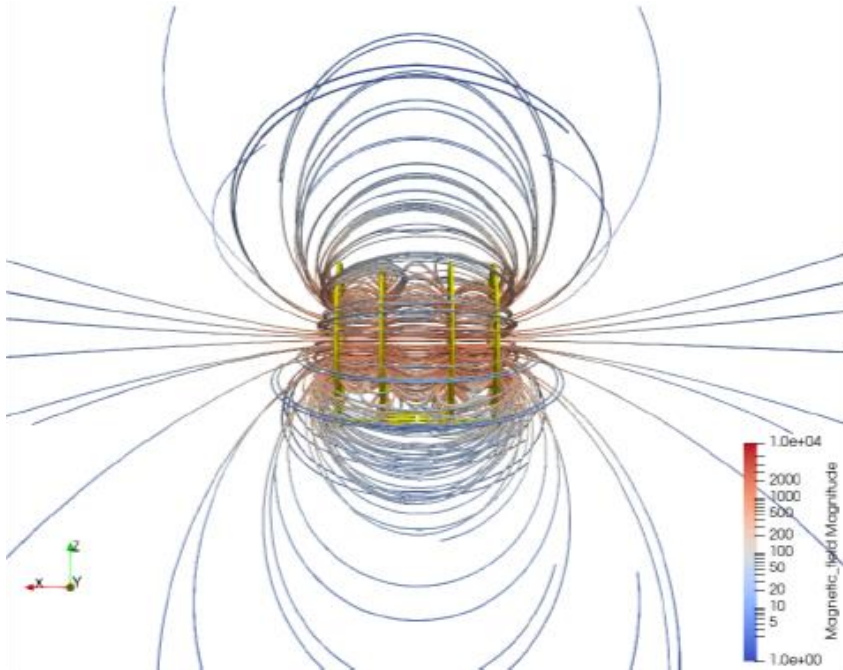
挟み込み型コイルの磁界分布



和動接続モード(同相接続)

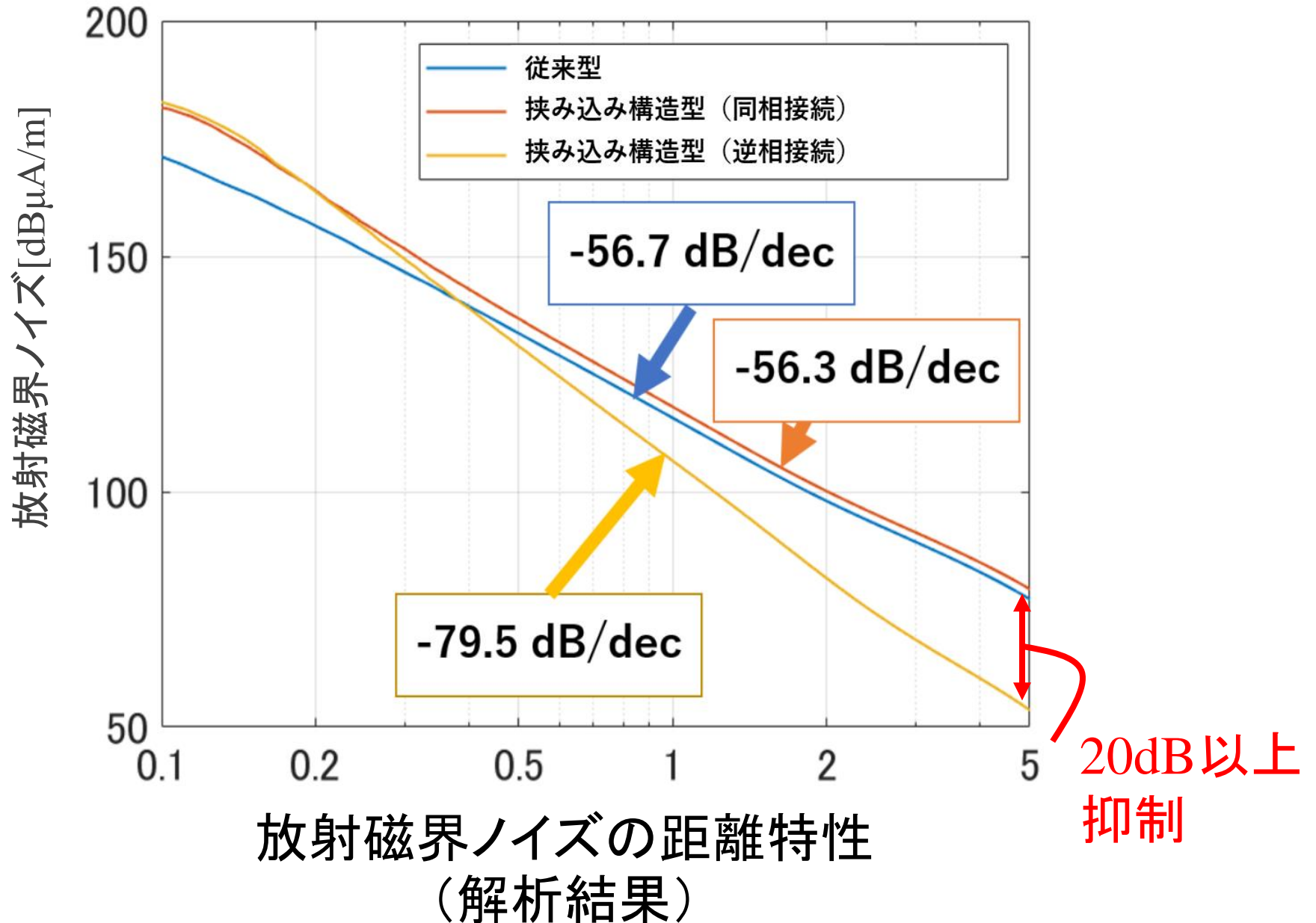


差動接続モード(逆相接続)

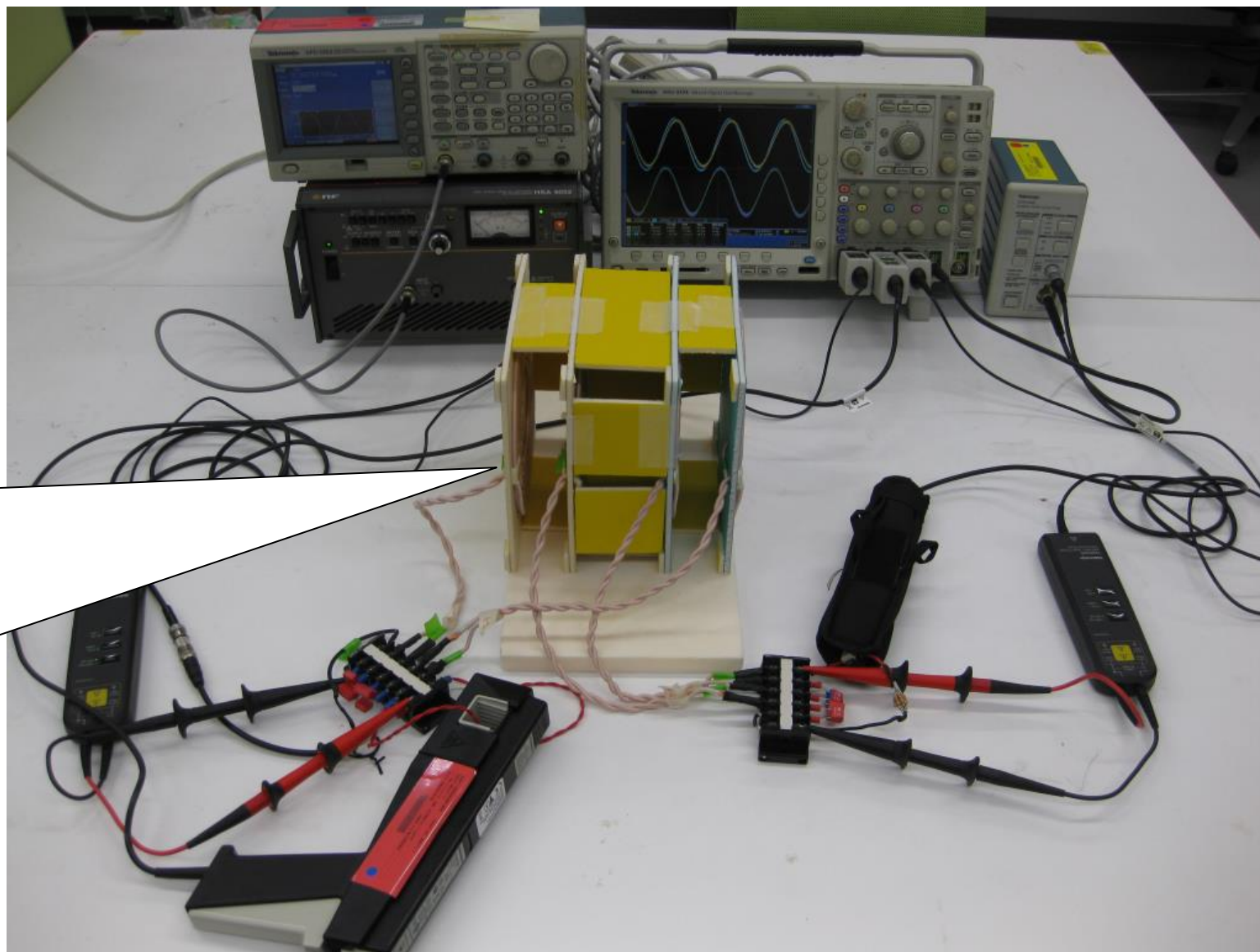
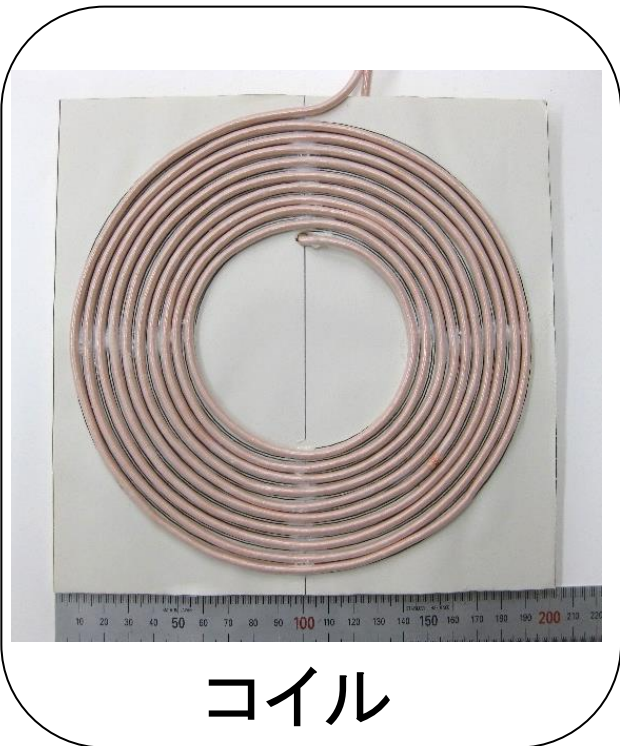




放射磁界ノイズの距離特性

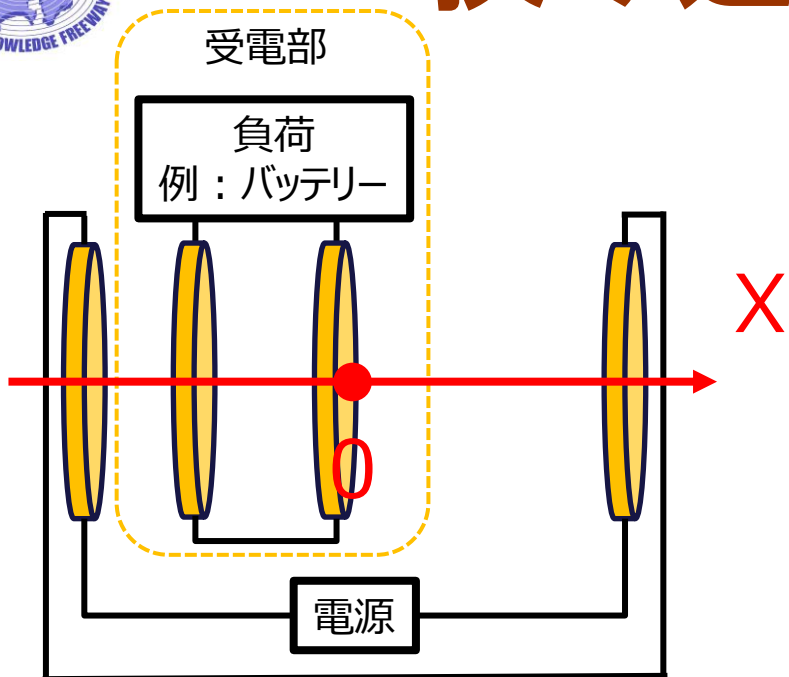


効率測定の実験

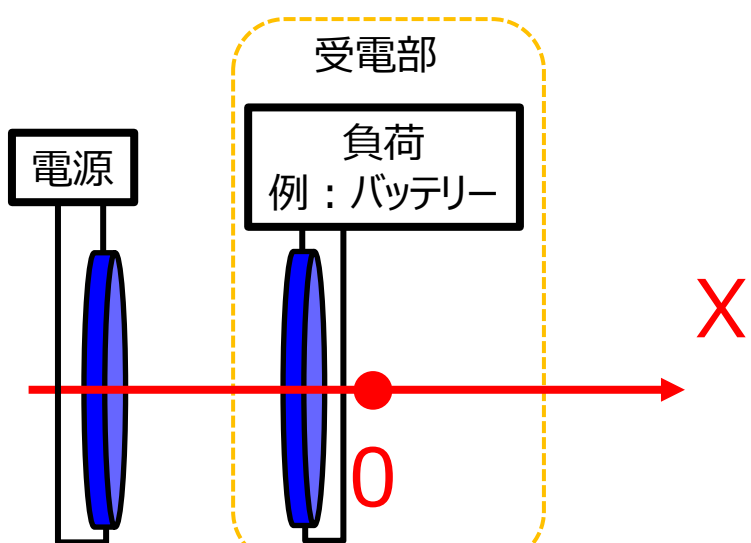




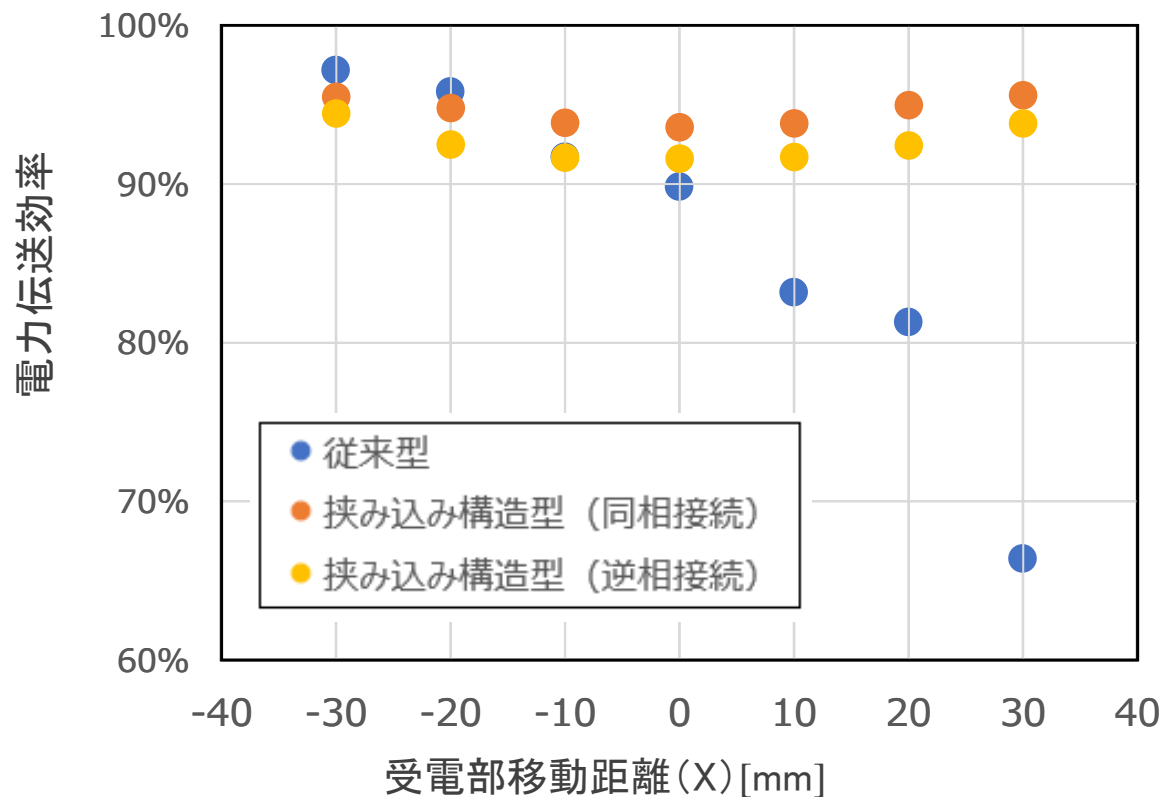
挟み込み型コイルの効率



挟み込み構造型



従来型

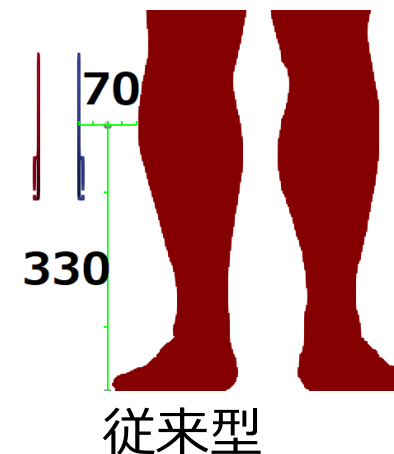
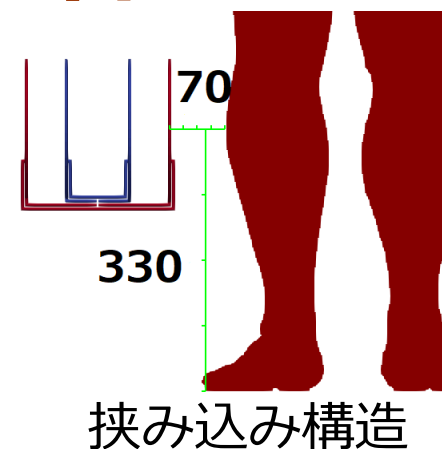


受電部位置ずれに対する電力伝送効率(実測)

逆相接続でも高い効率

ばく露評価 シミュレーション条件

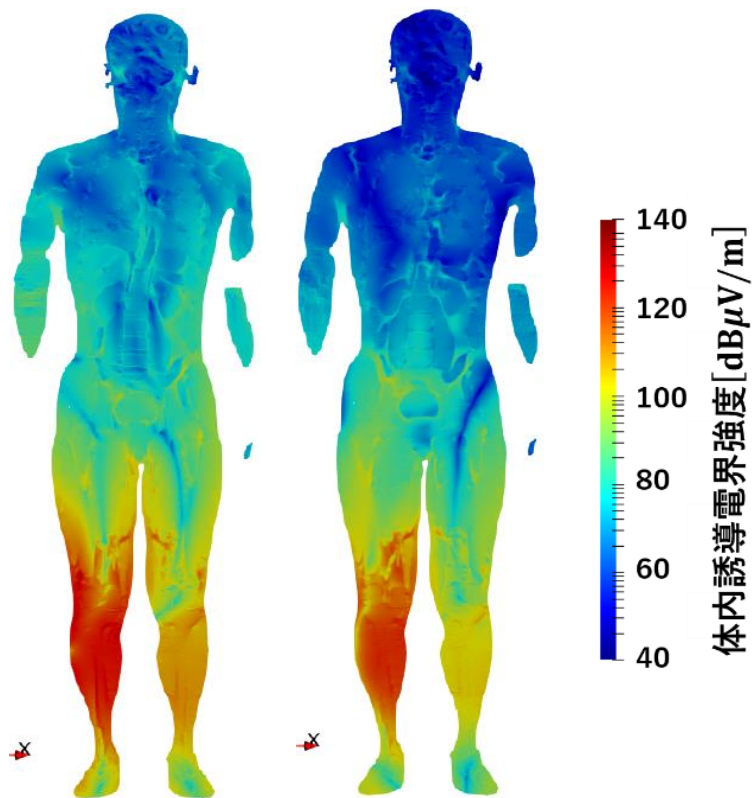
- 計算モデル: TAROモデル[2]
- ボクセルサイズ: 2 mm×2 mm×2 mm
- 周波数: 85 kHz
- 送電電力: 500 W
- 逆相接続
- 連立一次方程式解法: SOR法[3]
- 相対残差ノルム: $<1 \times 10^{-4}$
- 人体、コイルは右図のように配置



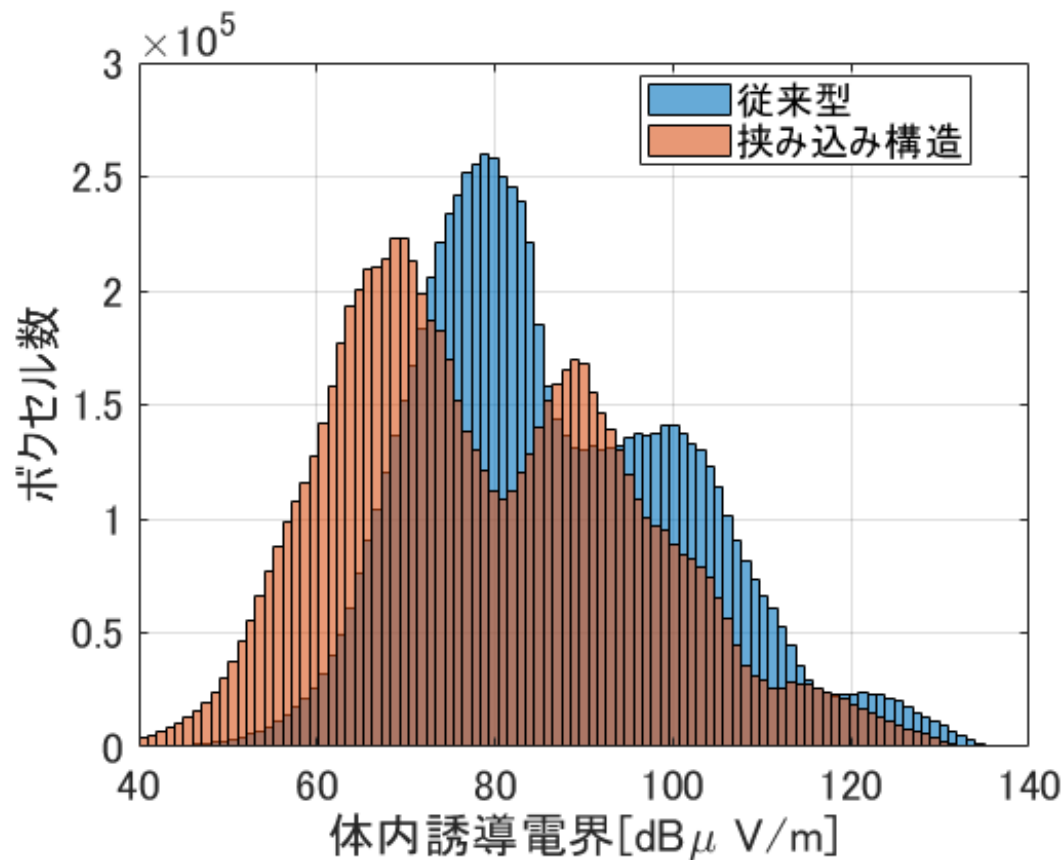
[2] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, M. Taki, and Y. Yamanaka, "Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry", Physics in medicine and biology, v10.49, no.1, p.1, 2004

[3] Richard Barrett, Michael Berry, Tony F Chan, James Demmel, June Donato, Jack Dongarra, Victor Eijkhout, Roldan Pozo, Charles Romine, and Henk Van der Vorst, "Templates for the solution of linear systems: building blocks for iterative methods,". SIAM, 1994

体内誘導電界強度の ヒストグラム



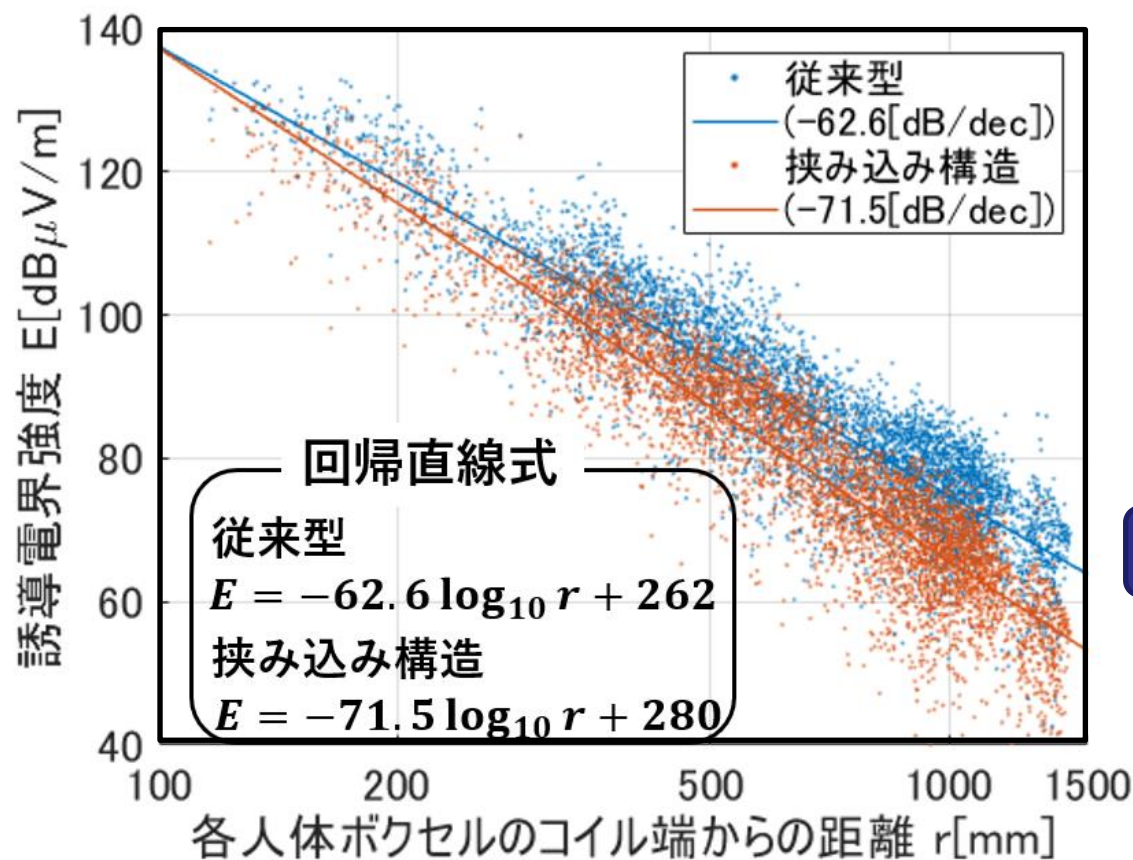
従来型 挟み込み構造



体内誘導電界平均値
従来型: 86.5 [dBμV/m]
挟み込み構造: 79.1 [dBμV/m]

6dB以上
小さい

体内誘導電界の距離特性

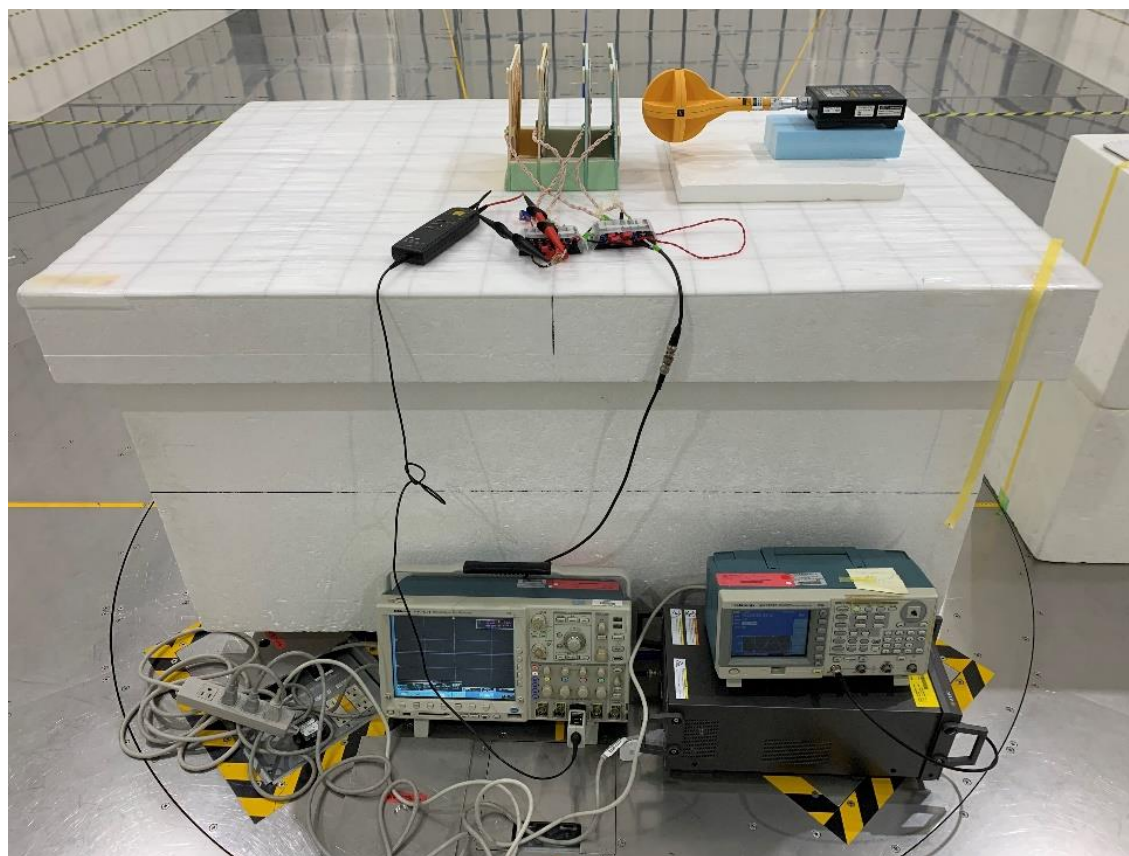


挟み込み構造のほうが距離に対しての減衰が大きく、コイル端から離れるほどその差は顕著になる

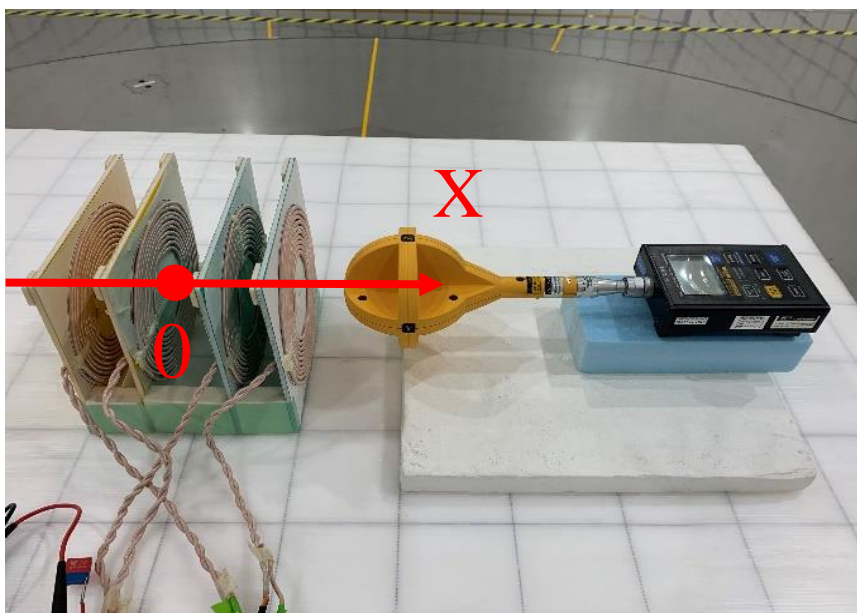
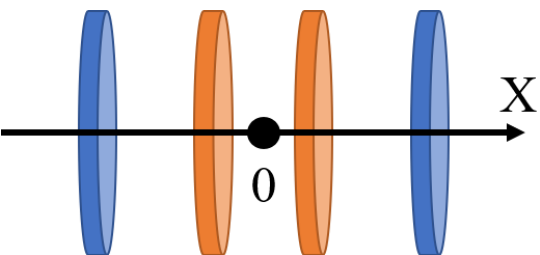
↳ 上半身のばく露量が小さくなる

85kHz磁界強度距離特性(実測)

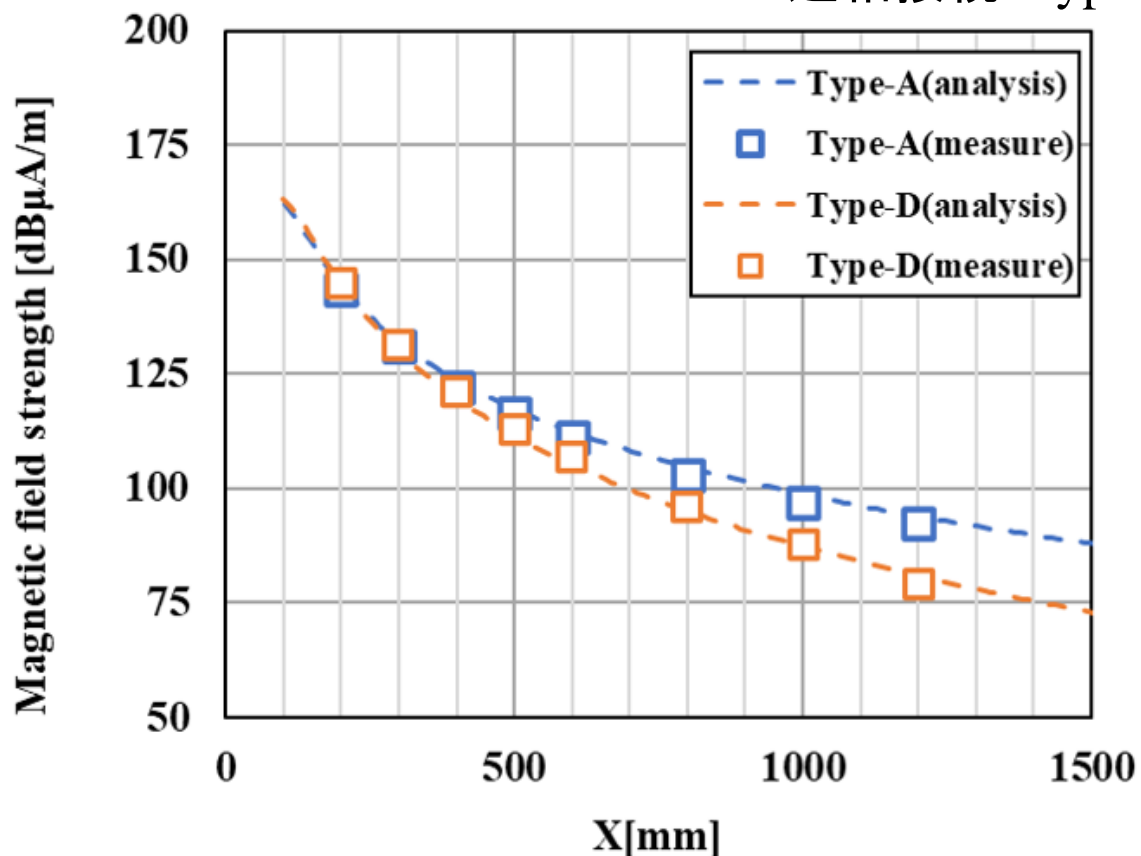
- 負荷抵抗 : 5.1Ω
- 負荷側電力 : 2.5W
- 磁界測定器 : FT3470+100cm²磁界 (日置)



磁界強度距離特性 (X軸方向)

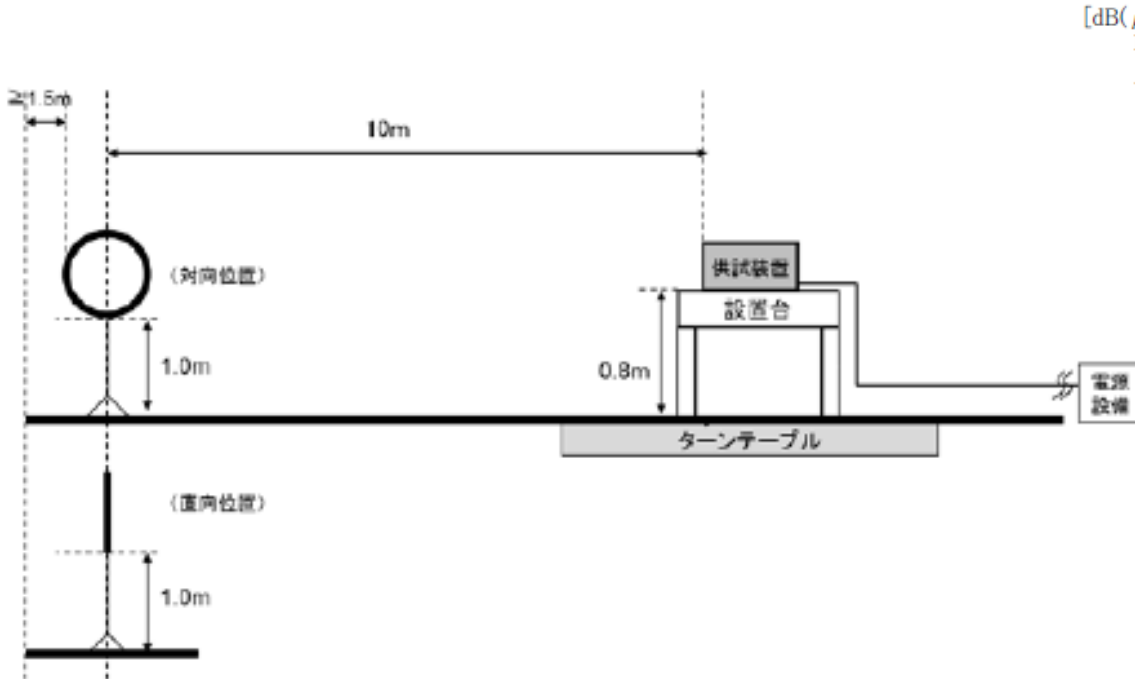


同相接続: Type-A
逆相接続: Type-D

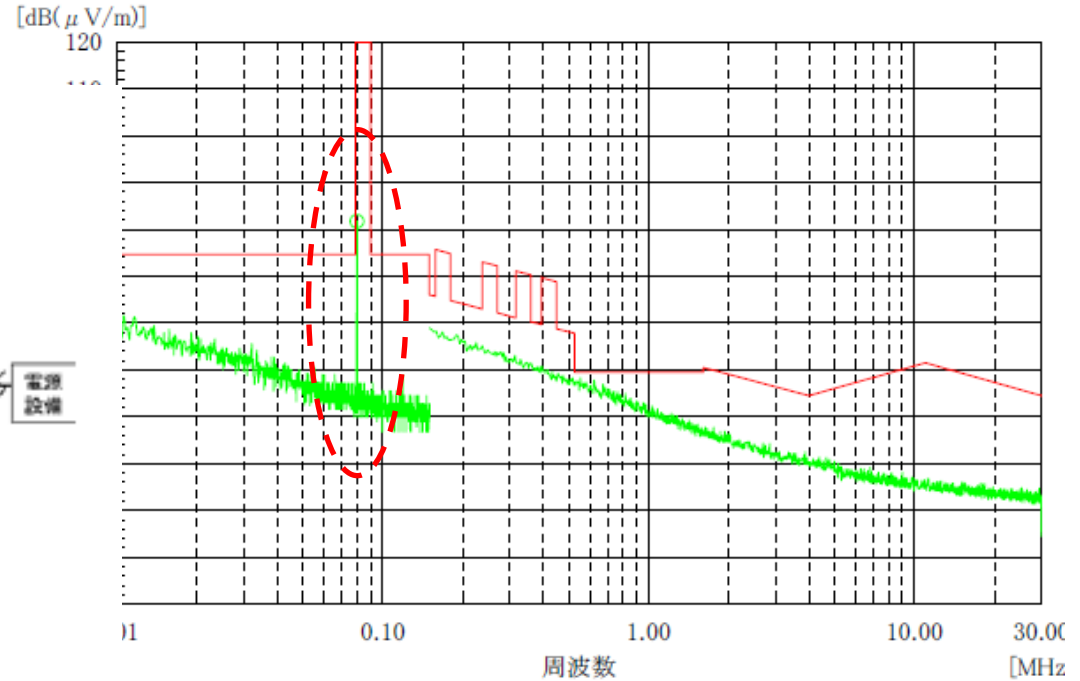


[4]M. Akiyama, M. Kitahara, T. Obata, H. Sano, Y. Suzuki, M. Taki, "Leakage magnetic field suppression using wireless power transmission with sandwiched structure", IEICE ComEX, vol.11, no.3, pp.135-140, 2022年3月

漏えい磁界の測定



磁界強度予備測定(電波法第46条)



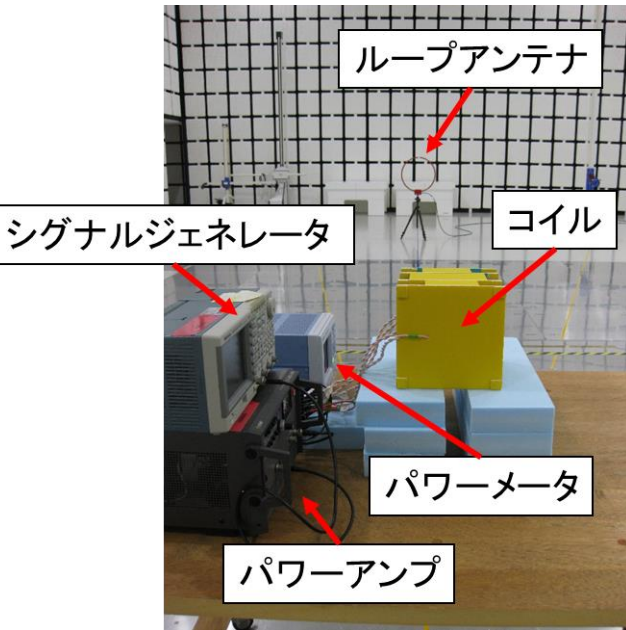
磁界強度測定結果イメージ

負荷抵抗 : 5.1Ω

負荷側電力 : 2.5W

85kHz sine波

測定結果



対向



直交



水平

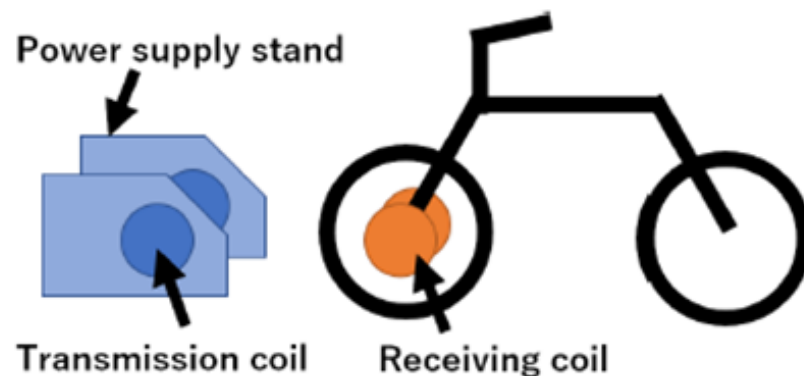
接続方式	ループアンテナ向き		
	対向	直交	水平
同相接続	35.1 dB μ A/m	31.5 dB μ A/m	21.3 dB μ A/m
逆相接続	14.1 dB μ A/m	9.1 dB μ A/m	0.6 dB μ A/m

➡ 逆相接続のほうが漏えい磁界が20dB以上小さい

想定される用途



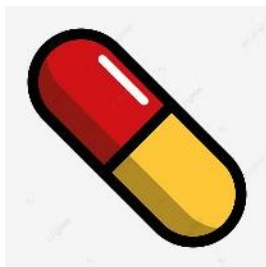
ドローン



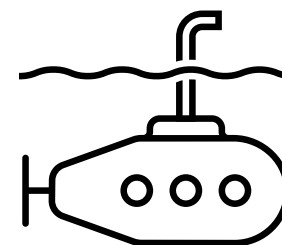
小型モビリティ



自律走行ロボット



体内の移動体



水中探査ロボット

位置ずれ許容度やEMCの要求が高いアプリケーションを想定



新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来型と比較し、挟み込み構造型（同相接続）では、高効率で位置ずれ許容度が高い
- 挟み込み構造型（逆相接続）では、体内誘導電界強度、遠方界磁界強度を抑えて高い効率で給電可能



実用化に向けた課題

- 現在、市販の高周波電源を用いて原理試作は確認済み。
- まだ小型の電源等を用いて、実際のアプリケーションへの搭載は未検証である。



企業への期待

- ワイヤレス給電技術を開発中の企業、ワイヤレス給電を搭載を希望の企業との共同開発
- 位置ずれに対する要求が厳しいアプリケーションやEMCの要求が厳しい医療分野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 : 非接触給電構造およびこれを備える駐輪施設
- 出願番号 : 特願2017-37309
- 出願人 : 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター
- 発明者 : 秋山 美郷、佐野 宏靖、大森 学

- 発明の名称 : 非接触給電回路
- 出願番号 : 特願2020-138710
- 出願人 : 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター、東京都公立大学法人
- 発明者 : 秋山 美郷、佐野 宏靖、佐々木 秀勝、鈴木 敬久、多氣 昌生、北原 真

- 発明の名称 : 非接触給電構造
- 出願番号 : 特願2020-138711
- 出願人 : 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター、東京都公立大学法人
- 発明者 : 秋山 美郷、佐野 宏靖、佐々木 秀勝、鈴木 敬久、多氣 昌生、北原 真



お問い合わせ先

東京都立産業技術研究センター
企画部 連携企画室 産業交流係

TEL 03-5530-2134

sangakuko@iri-tokyo.jp

都産技研ウェブサイトの技術相談受付フォーム(お問い合わせ)も
ご利用いただけます

<https://www.iri-tokyo.jp/>