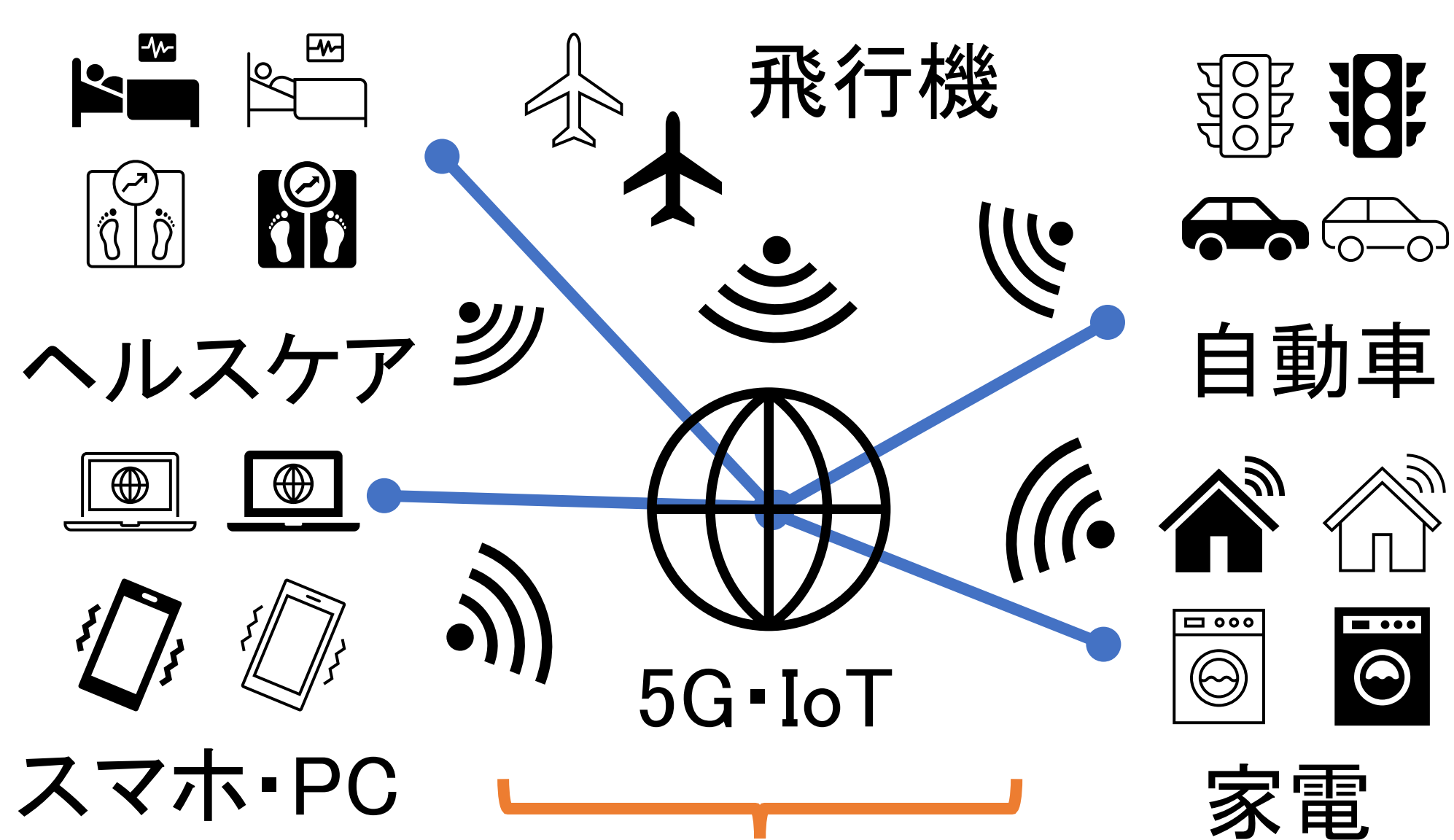


電磁環境を考慮したデジタルツインによる次世代ハードウェア実装設計技術

学術研究院環境生命自然科学学域(工) 助教 吉田 征弘 (EMC設計学)

- 5G・IoT機器が出す電磁波が干渉しノイズ問題が複雑化
- ノイズ発生源を高精度にモデル化し電磁環境を再現
- 再現したデジタルツイン上でAIが最適なフィルタ係数を探索
- ハードウェア実装の高信頼・低コスト設計を実現

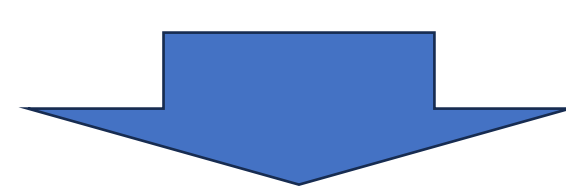
【背景】 5G・IoT時代に複雑化するノイズ問題



有線・無線通信の密集

電磁環境の急速な複雑化

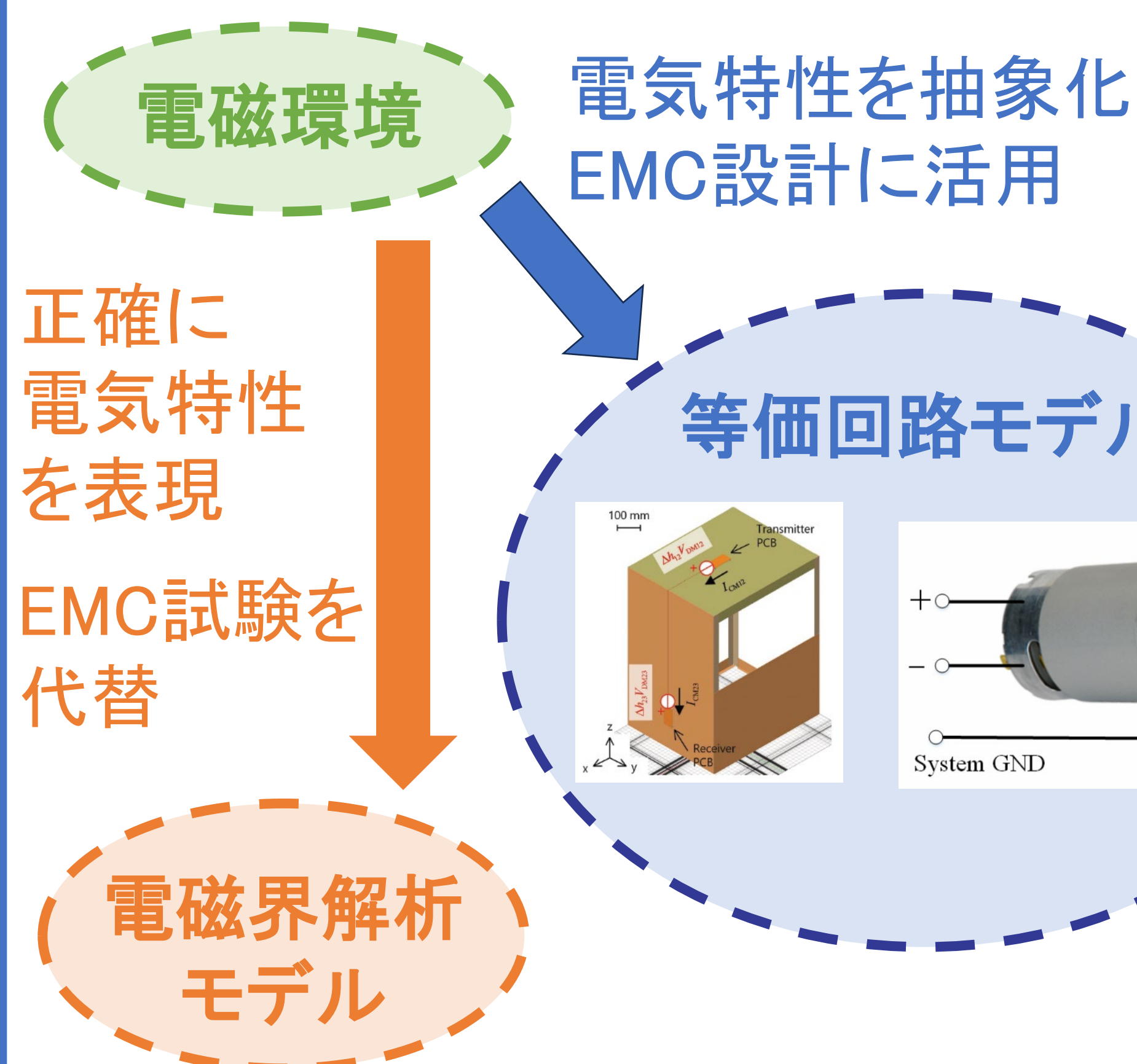
- 5G・IoT時代ではほぼ全ての電子機器が無線・有線通信を行う
- 他の通信信号やノイズが干渉し合い急速な電磁環境の複雑化
- この中で安定に動作するには電磁環境を考慮した設計が不可欠



電磁環境を考慮した次世代ハードウェア設計

- ノイズ発生源を高精度にモデル化
- モデルを用いてデジタルツインを作成
- AIとデジタルツインを用いた最適設計

電磁環境を考慮したデジタルツイン



- 電磁環境に影響しない・影響されないことを Electromagnetic Compatibility (EMC) という
- 電磁環境を考慮したデジタルツインは EMCを考慮した設計において重要となる

デジタルツインの強み

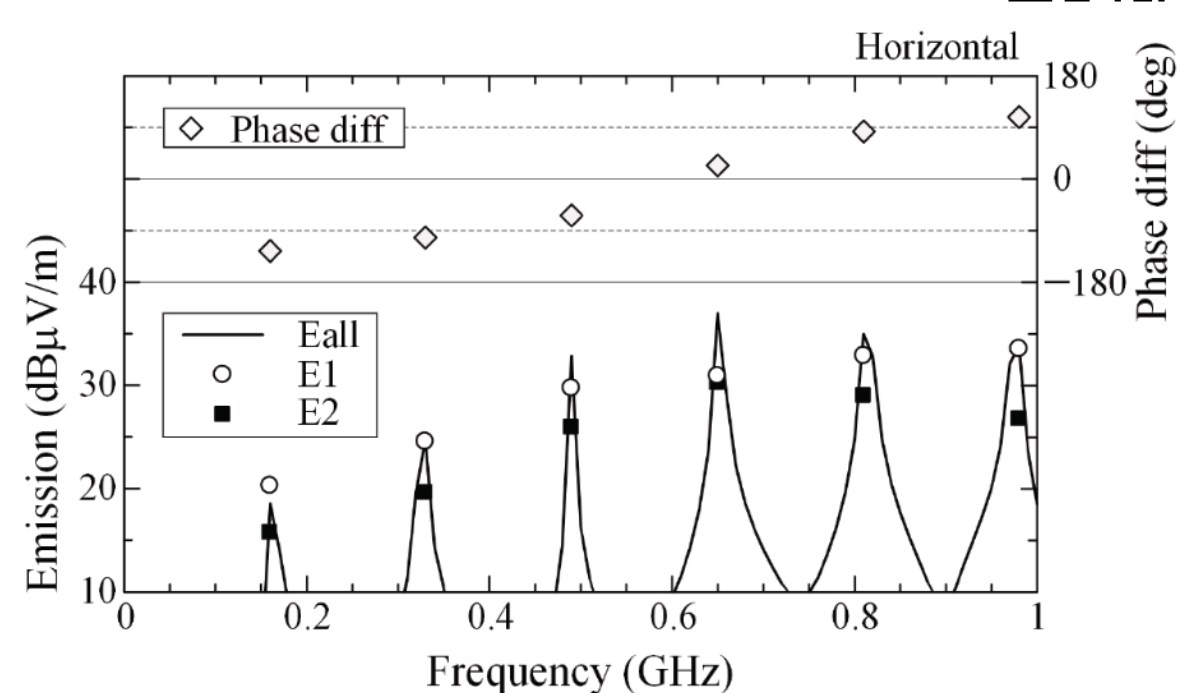
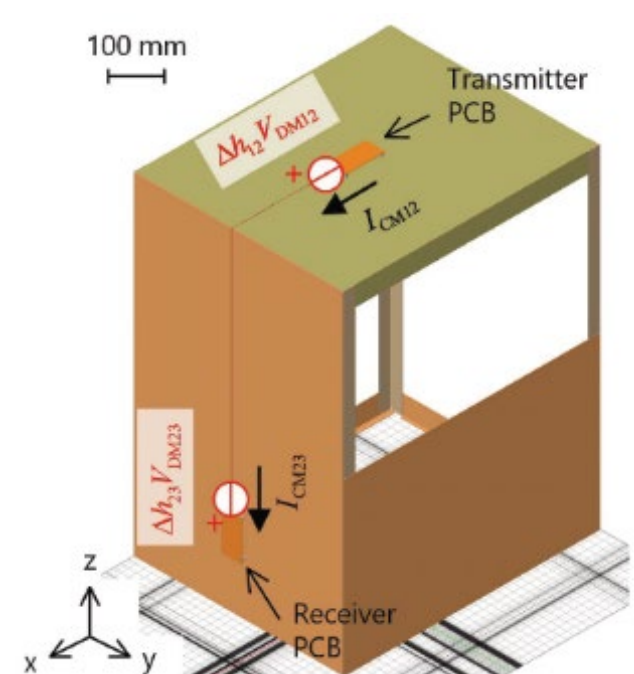
- ノイズに強いEMC設計を実現
- ノイズを測るEMC試験を代替

デジタルツインの課題

- 複数の製品にまたがる際の機密保持
- ノイズ低減手法の属人化による未活用

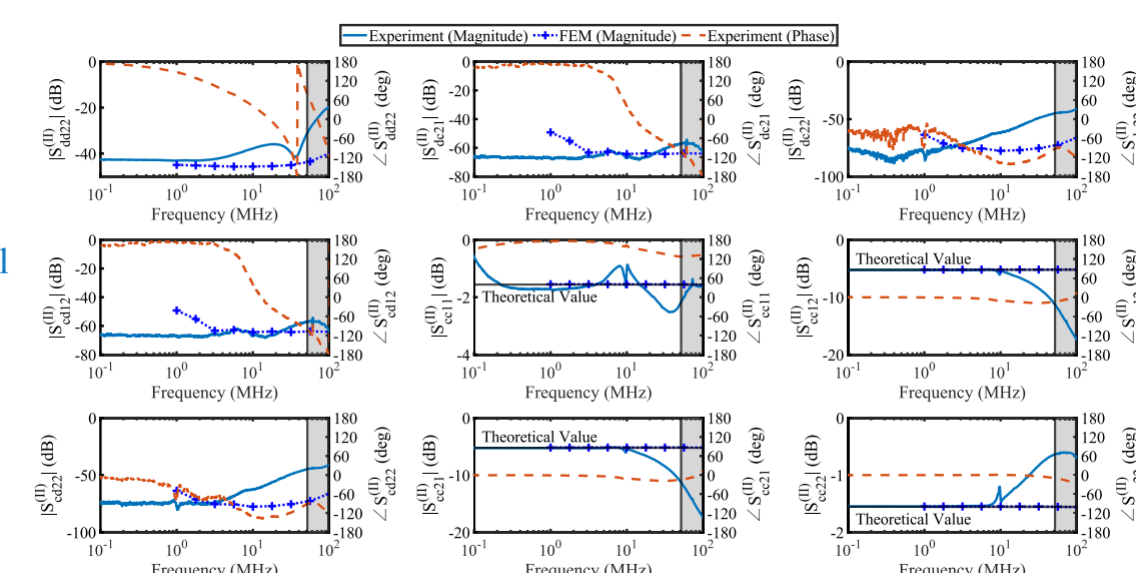
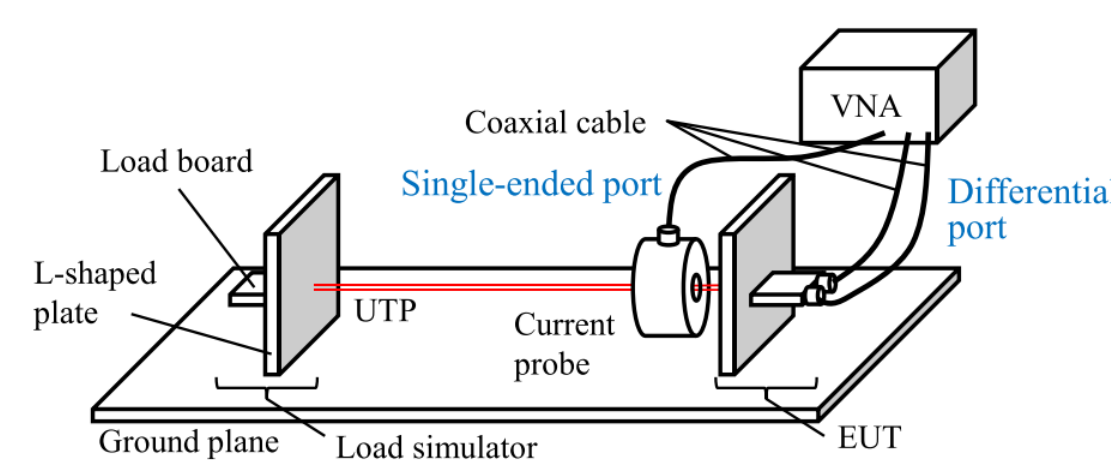
【1】 ケーブルと基板の接続により発生するノイズ発生源のモデル化

ケーブルからの放射モデリング^[1]



モード変換の解析対象と放射の計算結果

ケーブルと基板接続部の測定^[2]



提案測定手法と測定結果

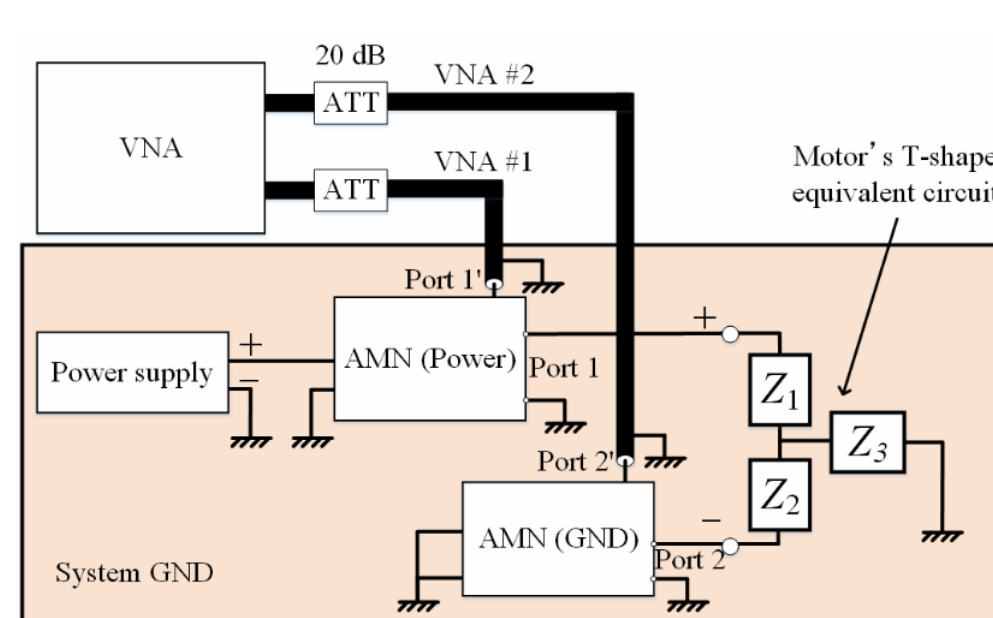
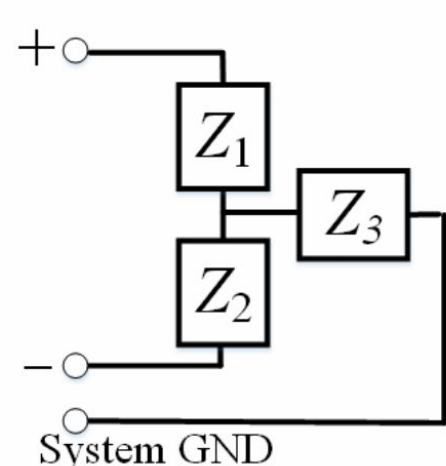
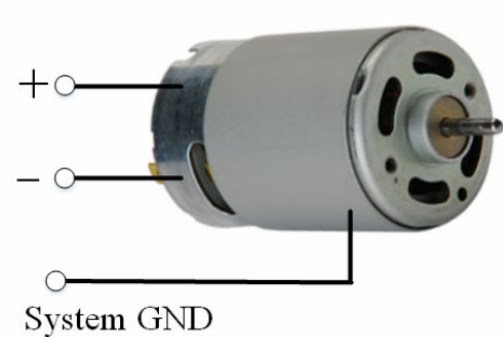
基板との接続部のモード変換をモデル化
放射に対するそれぞれの寄与度を計算
⇒不明瞭であった放射のメカニズムを解明

ケーブルにも基板にも含まれない
接続部に対する測定法を提案
⇒測定により接続部単体の特性を測定

[1] K. Iokibe, T. Nomura, H. Takatsu, T. Tsujimoto, and Y. Toyota, "Common-Mode Radiated Emission Analysis of Cable-Connected Printed Boards with Adjacent Metal Chassis by Imbalance Difference Model," *Trans. of The Jpn. Inst. of Electronics Packag.*, vol. 16, pp. E22-003-1-E22-003-9, 2023, doi: 10.5104/jiepeng.16.E22-003-1.

[2] M. Yoshida, Y. Yano, and J. Wang, "Measurement Method for Mixed-Mode S-Parameters of Termination Structure in Differential Communication Line," *IEEE Trans. on Electromagn. Compat.*, vol. 67, no. 2, pp. 362-373, 2025, doi: 10.1109/TEMC.2024.3495038.

【2】 動作中のブラシモータの内部インピーダンス測定法の提案^[3]

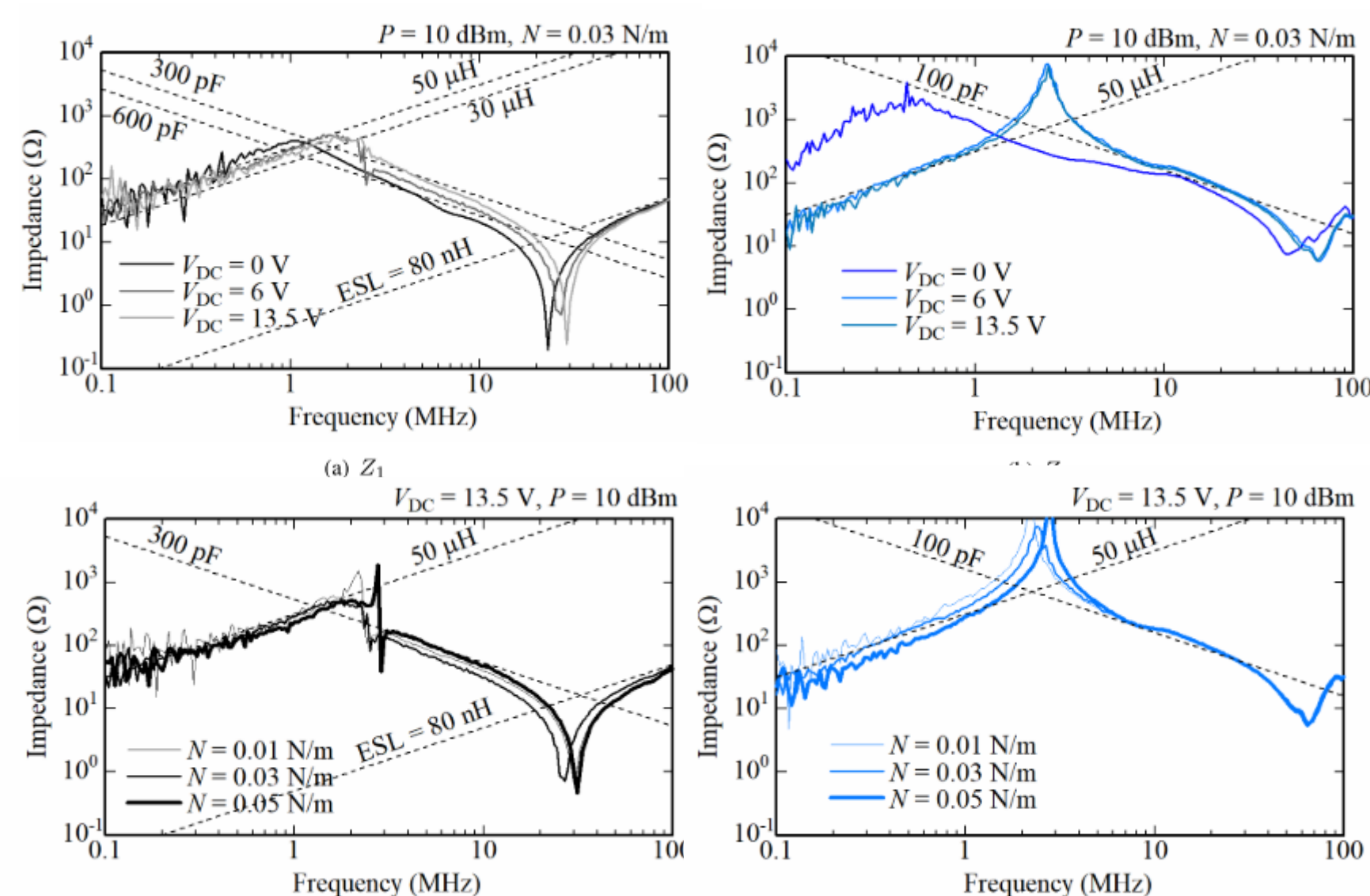


AMN: Artificial Mains Network

動作中の内部インピーダンスは静止中と異なる
AMNを使用した測定系により動作中に測定

印加電圧・動作負荷によるインピーダンス特性を解明

ブラシモータのインピーダンス特性

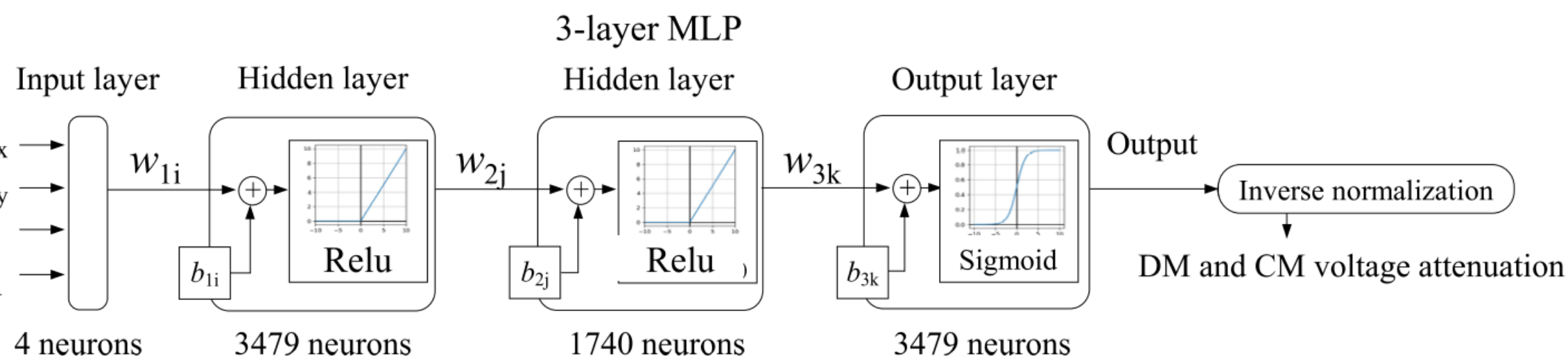
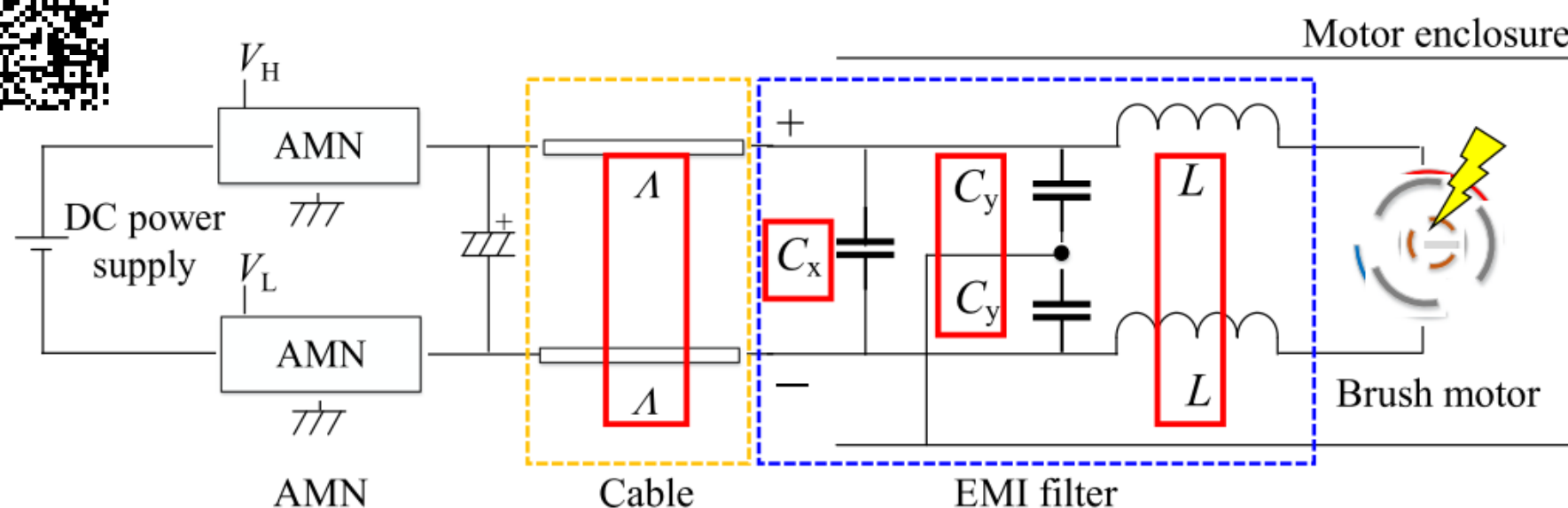


[3] A. Mashino, S. Kan, K. Iokibe, and Y. Toyota, "Identification of Internal Impedance of Brush Motor in Operation Using AMN," in *2024 IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat., Signal & Power Integrity (EMC+SIPI)*, Aug. 5-9, 2024, pp. 430-435, doi: 10.1109/EMCSIP149824.2024.10705536.

【3】 ANNを用いたブラシモータ用EMIフィルタの多目的最適設計^[4]



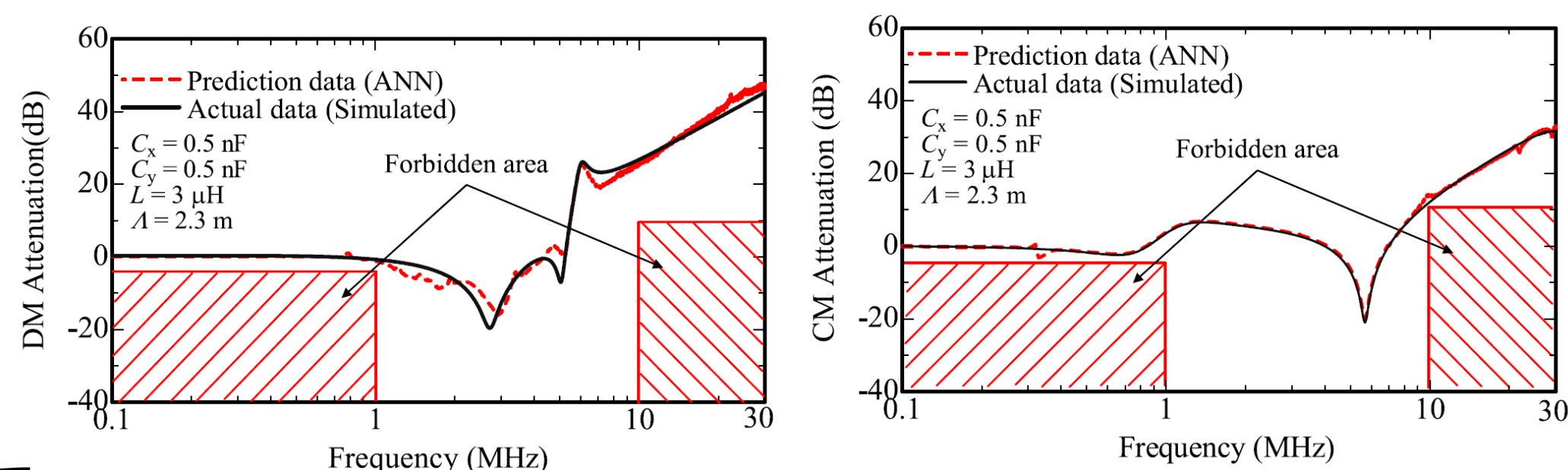
ANN: Artificial Neural Network



EMIフィルタは設計パラメータが多い

- 全探索をSPICEで行うと149時間
- 一部を学習データとしたANNでは12分

⇒従来取得が難しい範囲解の特定が可能に



EMIフィルタ減衰量の測定値と予測値

[4] S. Kan, M. Himuro, R. Maekawa, K. Iokibe, and Y. Toyota, "Investigation of Relationship between Learning Amount and Interval Solution Range in Multi-Objective Optimal Design Using ANN Model," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E108-B, no. 9, pp. 1015-1022, 2025, doi: 10.23919/transcom.2024MCP0008.