



# 超広帯域折返しアンテナの開発

## ☆これ1つで350MHz～40GHzが測定可能☆



東北大学(石上研究室)

### 超広帯域折返しアンテナの設計・開発

- 従来の妨害波測定用アンテナは、**帯域ごとに異なるアンテナ**を使用
- 新開発のアンテナは、
  - 周波数帯域 **350MHz～40GHz**(※絶対利得**0dBi**以上)を実現
  - 小型軽量:幅約200mm, 重さ約350g
  - VSWR: 500MHz以上で**2.0**以下 ⇒ 広帯域に亘り, 良好なインピーダンス整合

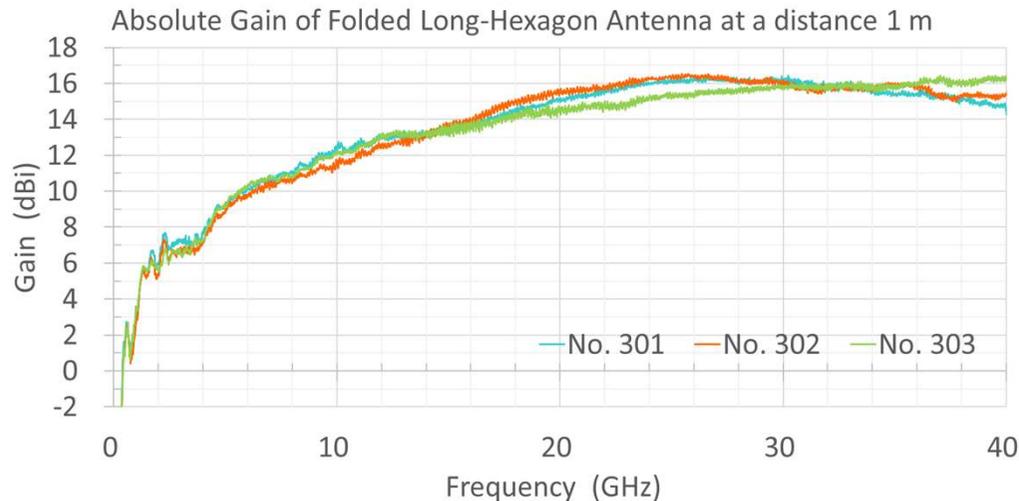


図1 新開発アンテナの絶対利得

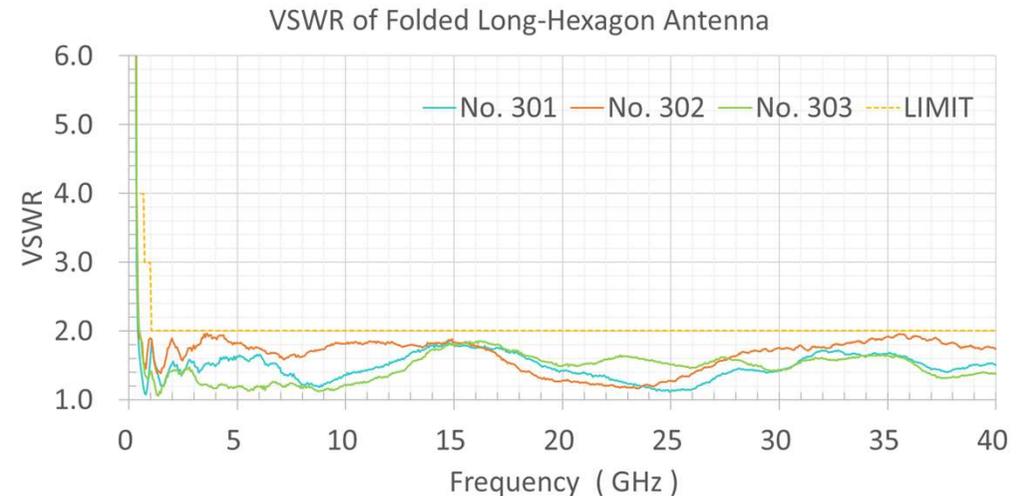


図2 新開発アンテナのVSWR



図3 新開発アンテナの外観

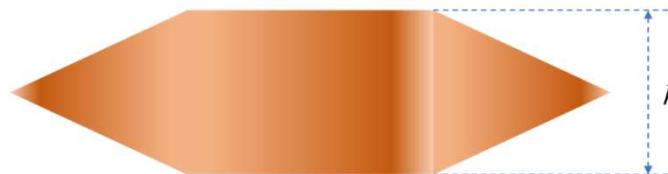


図4 新開発アンテナのエレメント

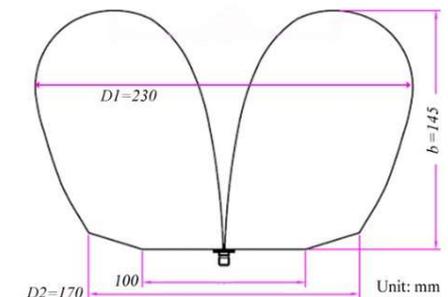


図5 新開発アンテナの上面設計図



# 実測評価とシミュレーション評価による 不要電波干渉と対策効果の可視化



神戸大学(永田研究室)

## 不要電波高分解能評価

- 不要電波を高分解能( $-170$  dBm/Hz以下)で測定
- 広帯域評価( $\sim 6$  GHz)により約**20 dB**の対策効果を確認(図1)

## 無線通信モジュールによる受信感度評価

- LTE通信における最小受信感度を評価(図2, 3)
- 最大約**18 dB**(865 MHz  $\pm$  5 MHz)の対策効果を確認

## 無線通信システムシミュレーションによる受信感度評価

- 不要電波データを記録し、シミュレーションによる無線通信の最小受信感度を評価により最大約**20 dB**の対策効果を確認(図4)

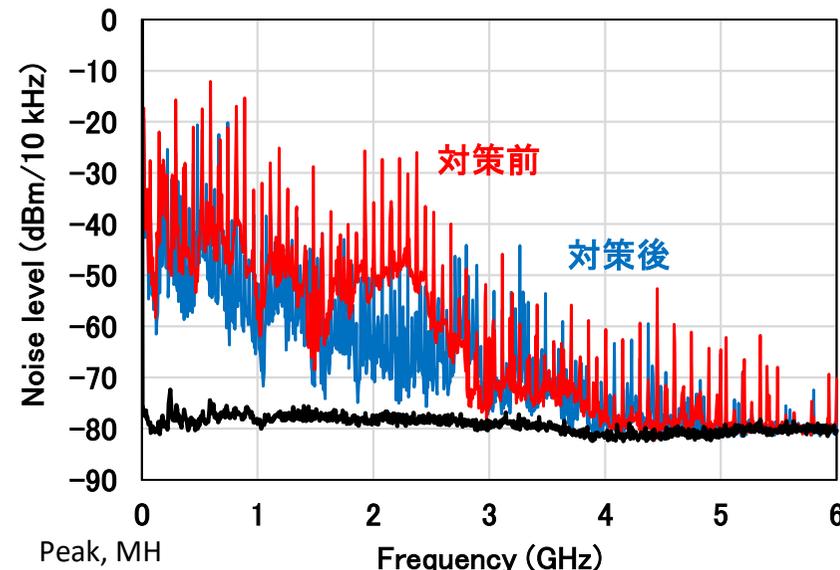


図1 不要電波の広帯域評価



図2 受信感度評価位置

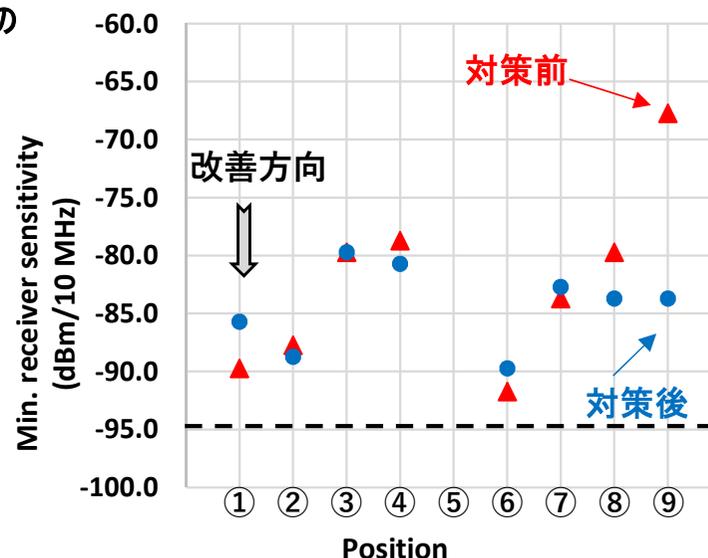


図3 受信感度改善効果

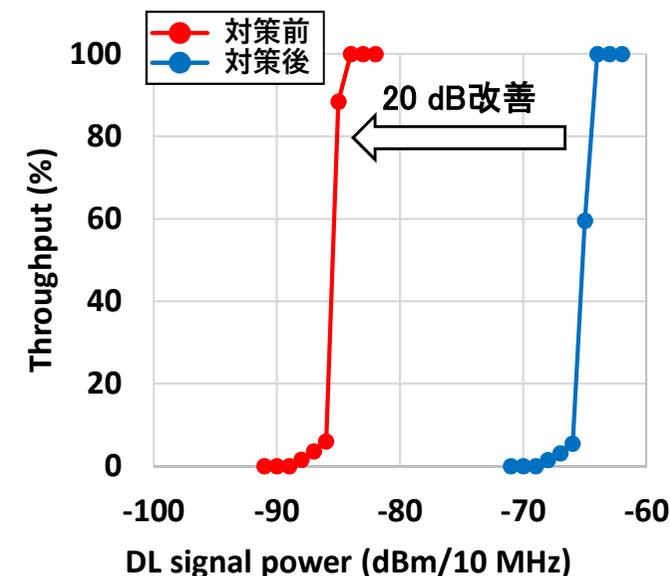


図4 シミュレーションによる受信感度評価



# ドローン向け不要電波抑制設計技術



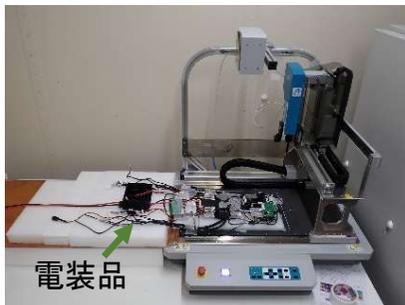
アルティメイトテクノロジーズ(株)

## ドローンのノイズ源探索

- 動作中の電装品を近傍電磁界をスキャン検知しノイズ源と経路を特定(図1)
- 主要ノイズ源は①DC/DCコンバータ、②マイコン、③映像回路であり、研究対象の通信帯域ではバンド18(865MHz帯域)が最もノイズが大きく、かつそれら3つのノイズ源からの放射成分があった

## 不要電波抑制設計技術

- 回路から見直し、基板、ケーブル、筐体に対して不要電波の抑制設計・製造した(表1)
- 評価の結果、**バンド18にて**不要電波のチャンネルパワーを対策前後で-84.5dBmから-96.8dBmと**12.3dB低減**できた(全角度平均)(図2)



(a) 電装品直上を近傍電磁界スキャン計測



(b) 磁界分布

表1 要素毎の主要な不要電波抑制設計

部位	対策前	対策①	対策②
回路	水晶発振器	水晶発振子、CMF追加、パスコン等	+映像リドライバ削除
基板	2~4層	多層化(GND強化)、シールドキャップ等	←
ケーブル	束線+ノイズフィルム	シールド線	+基板間GND接続
筐体	メッキなし	←	メッキあり
設計例			
	基板+ケーブル	シールド付きDCDC	メッキ筐体

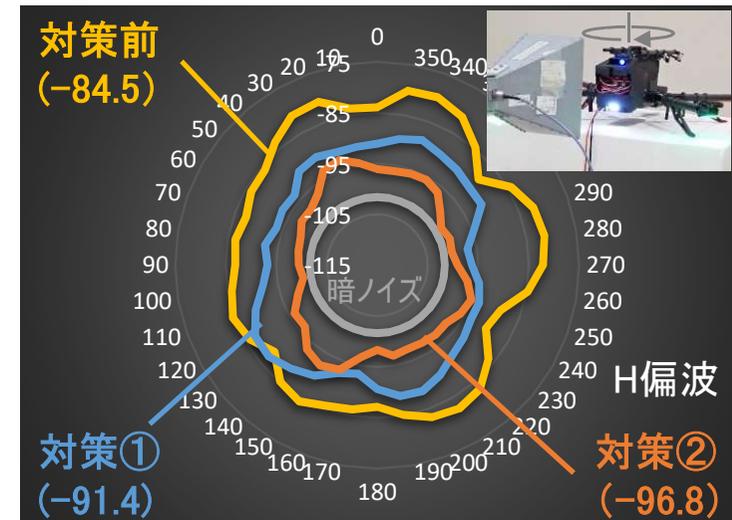


図2 不要電波の角度依存性 (アンテナ出力端でのチャンネルパワー) (全角度の平均; 単位dBm/10MHz)

図1 ノイズ源探索(スキャン)



# LTE無線端末の筐体設計、電波特性



アルティメイトテクノロジー(株)

## 無線モジュールの電波特性

- 通信帯域(B18,B3,B1)で、**輻射干渉**ならびに**筐体内干渉**がみられないことを確認した(図1)

## 小型、軽量、高放熱で感度抑制がない無線端末

- FPGA、DDRを**プレート**、ガスケット、基板で遮蔽、DCDCコンバータを金属シールドで遮蔽し、アンテナ端ノイズを低減(7dB以上)したことで、LTEカードの感度を全く劣化しない端末構造を実現(図2,3)
- FPGA+DDR、LTEカード(2.5W+5W)を**プレート**で外装に放熱する軽量構造で $\Delta T=35^{\circ}\text{C}$  (風速4m/s  $\uparrow$ )を達成

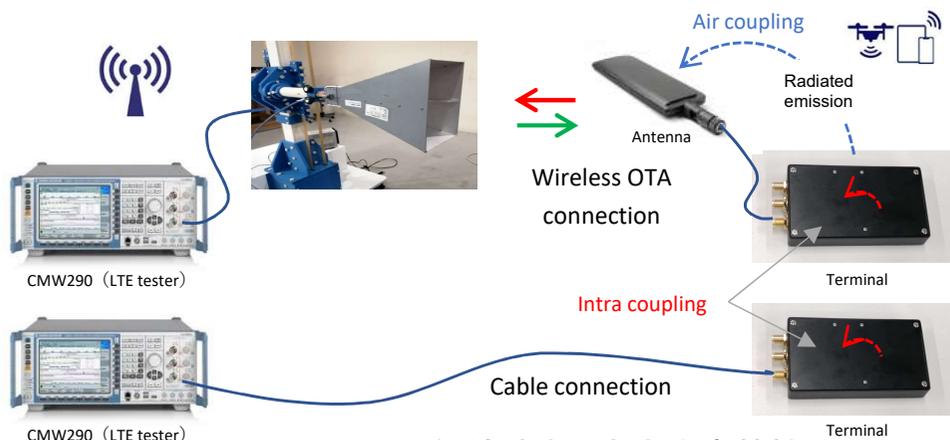


図1 LTE無線端末の自家中毒特性

	B18 10MHz	B3 20MHz	B1 20MHz
Air OTA	-97.3	-92.3	-94.3
Intra Cable	-98.3	-93.3	-94.3
Spec Primary (Typ.)	-96.3	-93.3	-96.3

Rx sensitivity (dBm/CBW)

Data sheet  
AirPrime EM7565

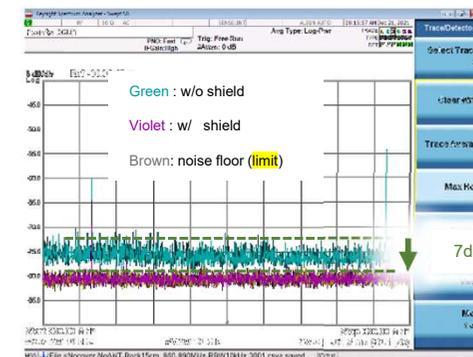


図2 輻射ノイズのシールド効果

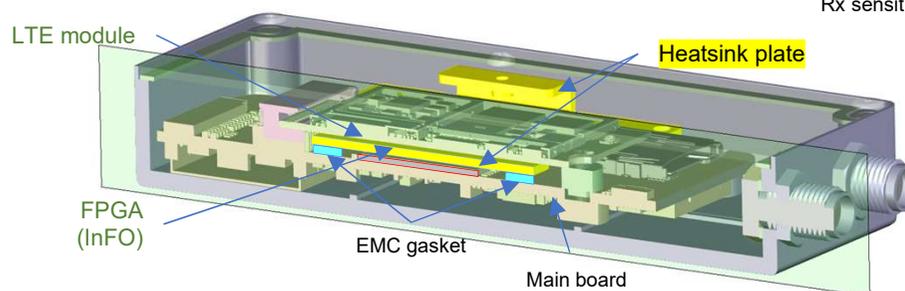
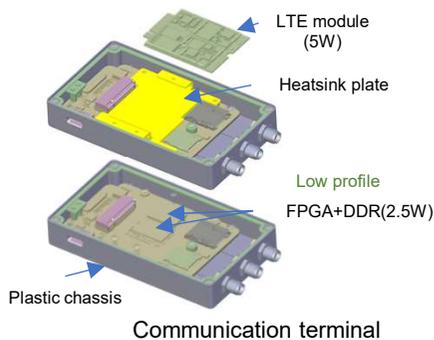
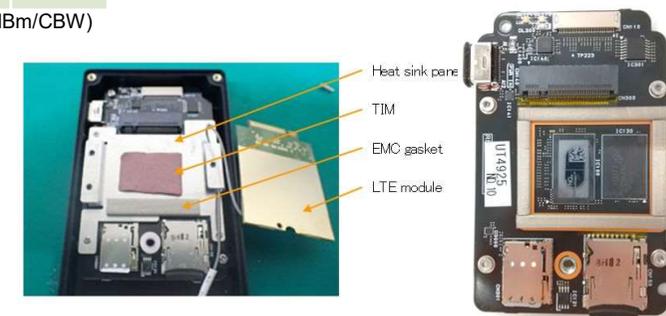


図3 LTE無線端末の内部構造





# ドローンを社会のインフラへ ～ドローンのモバイル通信利活用促進の取り組み～

Tomorrow, Together



KDDI 株式会社

## ドローンにおけるモバイル通信の利活用促進と無線性能の品質確保に向けた取り組み

- 不要電波・ノイズ対策を含めた**ドローン専用**に設計した**LTE通信モジュール「Corewing 01」**を**自社開発**
- Corewing 01の搭載により、**高品質な無線性能**を有する**LTE通信対応産業用ドローン**の実用化を推進
- 機体製造メーカー様へ**LTE通信モジュール搭載時のドローン機体の無線性能評価と品質改善**を支援

## LTEの無線性能の品質改善によるドローン飛行時のカメラ映像伝送品質への効果検証

- LTE 800MHz帯の無線性能の改善前の機体**①**、「Corewing 01」を搭載し無線性能を改善した機体**②**にて中電界エリア(A)、弱電界エリア(B)での旋回飛行とルートCの飛行を行い、カメラ映像のLTE伝送品質を比較検証
- レベル4飛行をはじめとするドローンの遠隔自律飛行において、**無線性能は運航エリアの確保に直結する重要課題**  
十分な無線性能を確保することで、**モバイル通信サービスエリアを最大限活用したドローン運航の実現**が可能

### ドローン専用LTE通信モジュール

## Corewing 01



特長 1 耐ノイズ設計による通信品質

特長 2 電波ログ解析

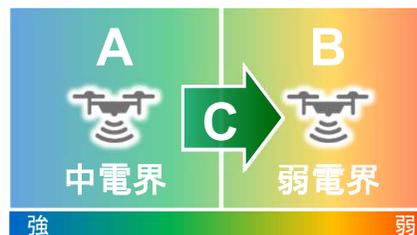
特長 3 運航管理システム連携

### ドローン機体のLTE無線性能



LTE 800MHz帯の送信性能

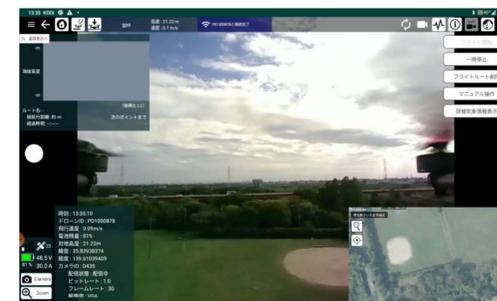
### 検証エリアのLTE電波環境



LTE 800MHz帯の受信強度

### ドローン飛行時のLTE映像伝送品質の検証結果

機体	地点A	地点B	ルートC
①	良好	映像断発生	映像断発生
②	良好	良好	良好



カメラ映像モニター画面  
(KDDIスマートドローン運航管理システム)



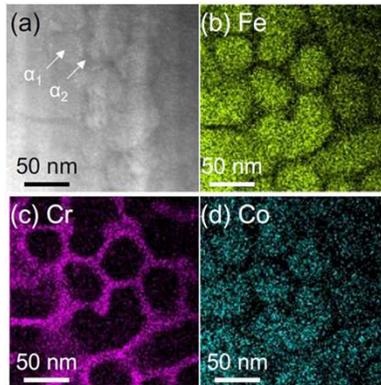
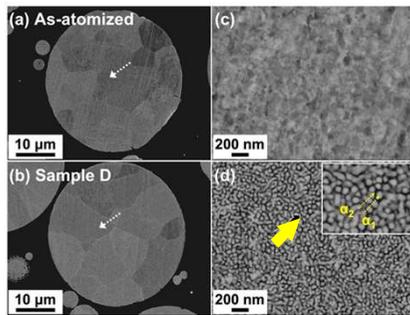
# Fe-Cr-Co系合金粉末を用いた 新たなノイズ抑制材料の開発



東北大学  
(杉本研究室)

## 広帯域基板集積化ノイズ抑制構造体用材料の研究開発 (移動通信システム5G 対応)

- Fe-Cr-Co系合金粉末は、組織形態制御や熱処理により 数 GHz~30 GHz帯で有用
- 相分離した扁平状Fe-Cr-Co系合金粉末は、ノイズ抑制材料として高い可能性を示す (世界初)
  - ・さらなる高性能化を検討中



$\alpha_1$ 相:FeCo-rich(強磁性),  $\alpha_2$ 相:Cr-rich (非強磁性)  
磁壁無し・単磁区粒子の磁化回転 (強磁性共鳴が主)

図1 球状粉末の組織

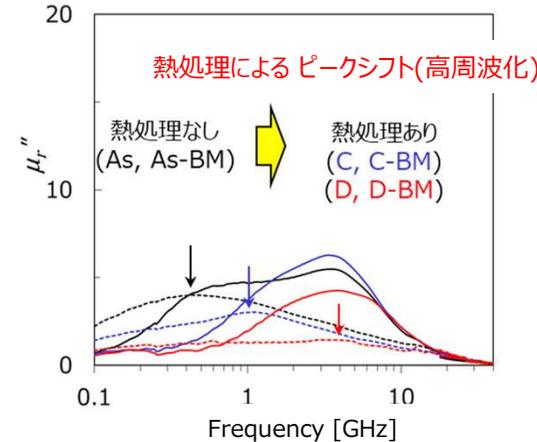
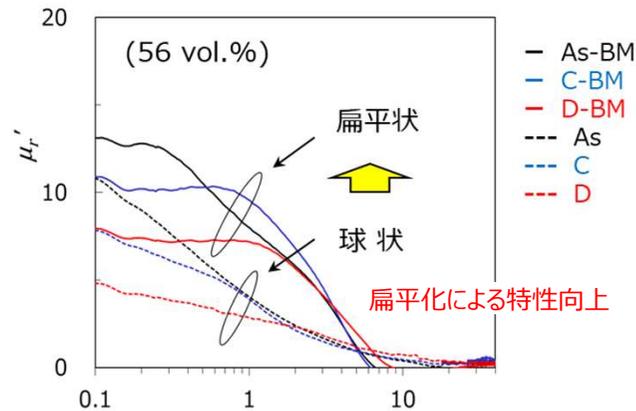


図2 樹脂複合体の透磁率特性

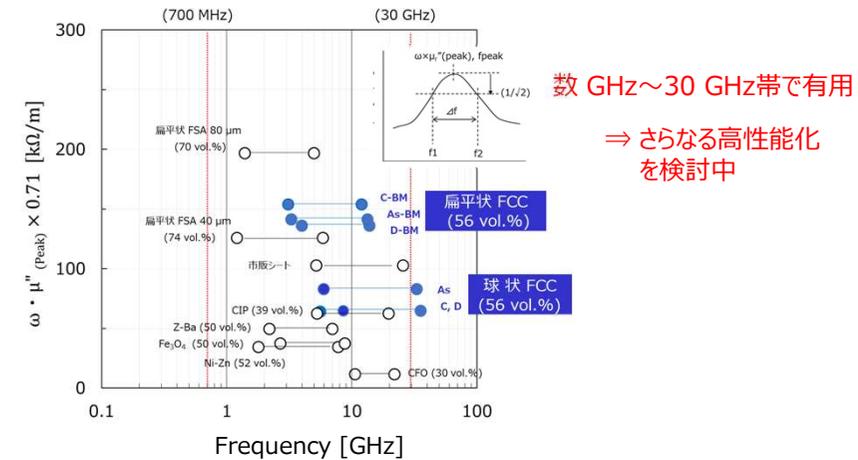
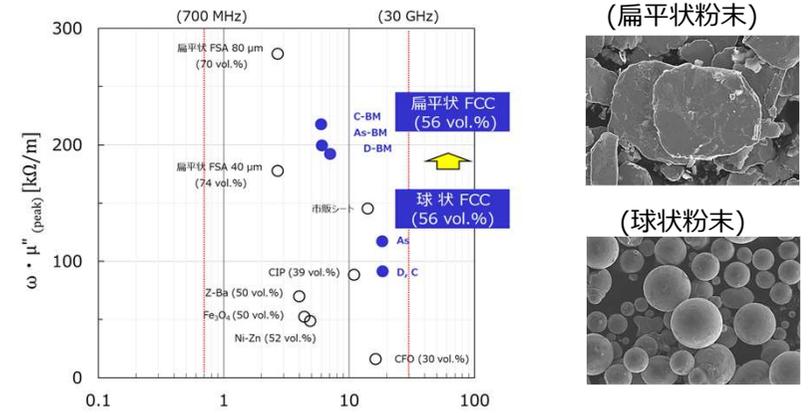


図3 主な磁性材料のノイズ抑制効果指標  $\omega \times \mu''$

(主な関連論文) [1] S.Ajia, H.Asa, Y.Toyoda, M.Sato, M.Matsuura, N.Tezuka, and S.Sugimoto, "Development of an alternative approach for electromagnetic wave absorbers using Fe-Cr-Co alloy powders", Journal of Alloys and Compounds, Vol.903, 163920 (2022). [2] 阿加賽見, 麻博隆, 豊田雄一郎, 佐藤光晴, 松浦昌志, 手束展規, 杉本諭. "Development of a new approach for electromagnetic wave absorbers using Fe-Cr-Co based alloy powder", 日本金属学会, 2022年度春期(第170回) 講演大会, 9-G, (2022年3月). [3] S.Ajia, H.Asa, M.Sato, M.Matsuura, N.Tezuka, and S.Sugimoto. "Enhancement of microwave absorption properties using spinodally decomposed Fe-Cr-Co flakes", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, MAGMA\_170200, Nov.15, 2022. (Accepted). [4] S.Ajia, H.Asa, M.Sato, M.Matsuura, N.Tezuka and S.Sugimoto. "Fabrication of high-performance microwave absorbers and noise suppression sheets using spinodally decomposed Fe-Cr-Co flakes", 粉体粉末冶金協会, 2022年度秋季大会(第130回講演大会), 1-12A, (2022年11月). (特許出願) 杉本 諭, "電磁波吸収ならび電磁ノイズ抑制材料", 世界知的所有機関(WIPO), PCT/JP2021/023045.



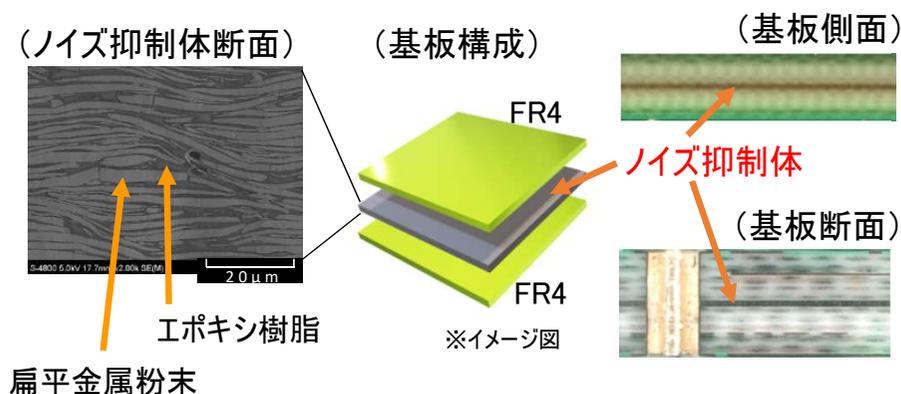
# ノイズ抑制体の基板内蔵技術と効果検証 ～DCDCコンバータ基板への適用事例～

## プリント基板に内蔵可能なノイズ抑制体を開発

- 扁平にした金属粉末とエポキシ樹脂を原料とし、プリント基板製造プロセスで基板に内蔵可能なノイズ抑制体を開発
- 小型・軽量化が求められ、電子モジュールが稠密に配置されるドローン等への不要電波対策として適用を検討

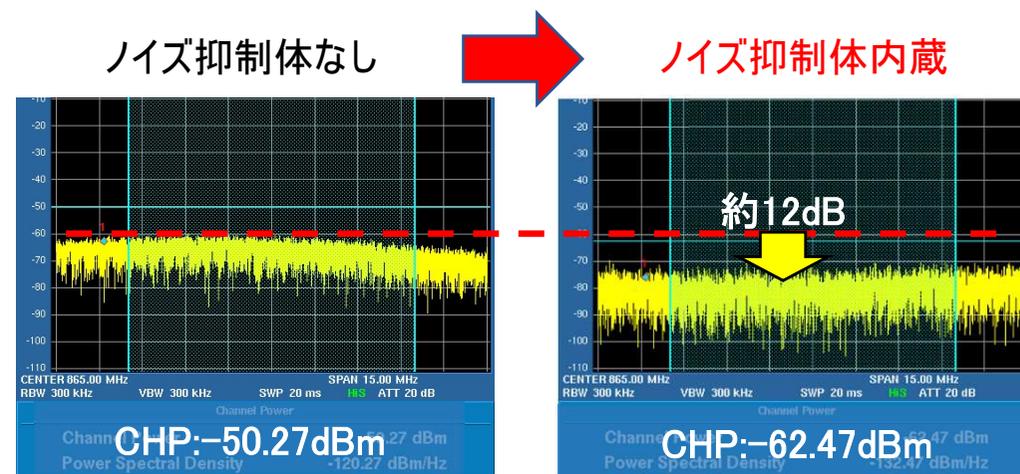
## DCDCコンバータ基板にノイズ抑制体を内蔵しノイズ低減効果を検証

- センダスト扁平粉を原料とするノイズ抑制体をDCDCコンバータ基板に内蔵し、部品実装プロセスへの適合を実証
- 最小受信感度との相関が確認された不要電波のチャンネルパワーを800MHz帯において10dB以上低減



(ノイズ抑制体内蔵基板にリフローで部品実装)

図1 ノイズ抑制体内蔵基板の作成と部品実装



(チャンネルパワー測定: 中心周波数865MHz/帯域幅10MHz)

図2 ノイズ抑制体内蔵基板による不要電波の低減

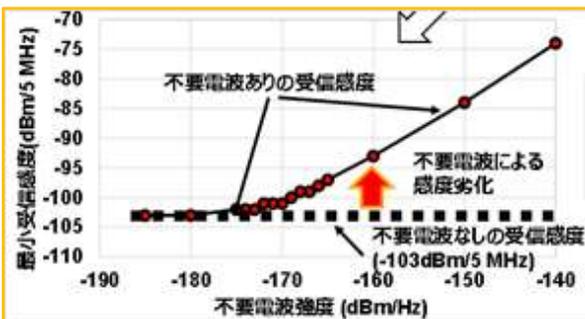


# 不要電波の計測・解析に基づくノイズ抑制効果評価方法

## 研究成果に基づくノイズ評価指標と低減目標

- 神戸大学・UTI・KDDIの研究成果により、不要電波強度と最小受信感度の相関を確認
- アンテナに混入する不要電波強度をチャンネルパワーとして評価
- 低ノイズ設計基板・ノイズ抑制体内蔵基板の2つの基板設計アプローチにより、目標とした不要電波チャンネルパワー10dB低減を達成

✓ 不要電波強度と最小受信感度の相関



✓ ノイズ遮蔽による感度改善

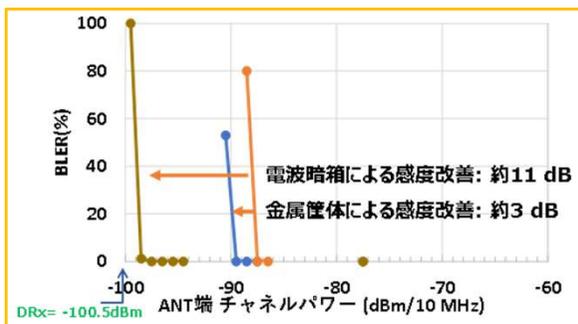
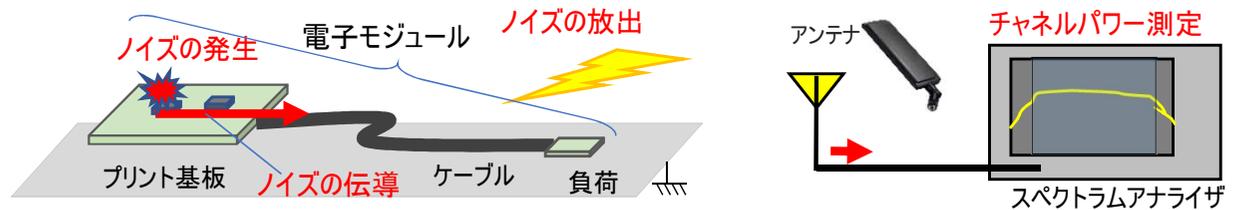


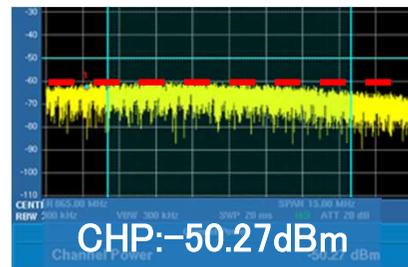
図1 神戸大学・UTI・KDDIの研究成果



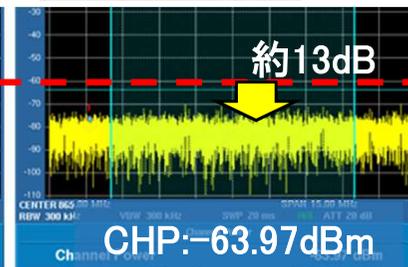
- プリント基板、ケーブル、負荷からなる電子モジュールから放出され、無線通信アンテナに混入する不要電波強度をチャンネルパワーとして評価する。
- ノイズ遮蔽による感度改善と同等の10dB低減を目標とする。

図2 研究成果に基づきノイズ評価指標と低減目標を策定(各機関連携)

オリジナル



低ノイズ設計基板



ノイズ抑制体内蔵基板

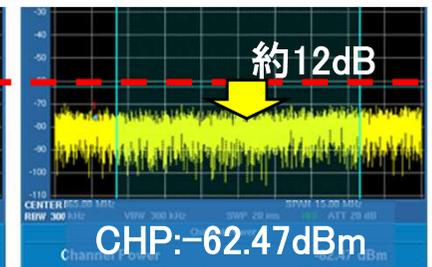
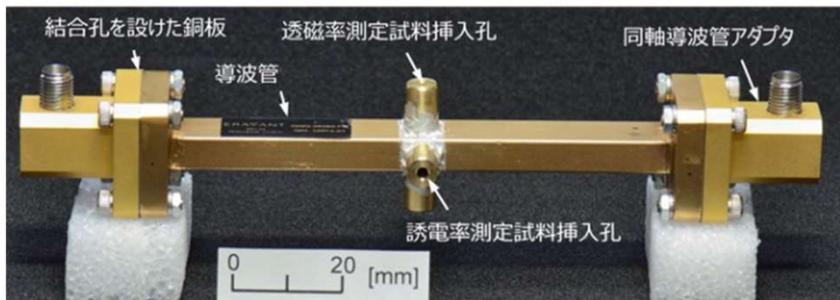


図3 2つの設計アプローチにより、10dB低減を達成(865MHz/帯域幅10MHz)

ノイズ抑制構造体用材料の評価技術として複素比透磁率および複素比誘電率測定を開発

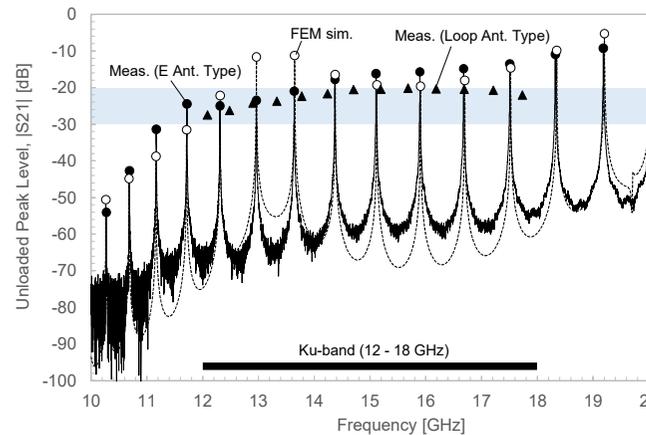
- IEC TR 63307:2020 (~6GHz)に掲載された独自技術を基に、30GHz超への広帯域化を目指す
- 高感度を特徴とする**ハーモニック共振器摂動法**：**電界アンテナと結合板を組み合わせた新構造**により5G周波数帯域をカバーする**30 GHz超の高精度測定を実現**。従来のループアンテナ型と新構造の電界アンテナ型で誤差6%以内での測定精度を実現。
- 700 MHz~30 GHzにおいて測定誤差15%以下を実証
- 世界に普及した**シールドループコイル法**(~9GHz)を30GHz超へ広帯域化

### ■ ハーモニック共振器摂動法 (治具展示・測定デモ実施中)

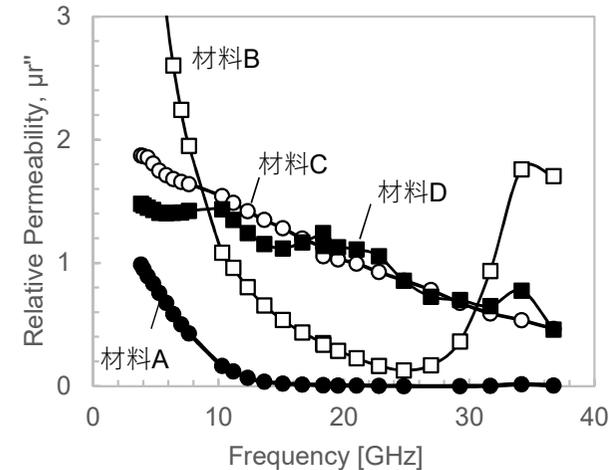


ハーモニック共振器摂動法 測定部本体 (~38 GHz)

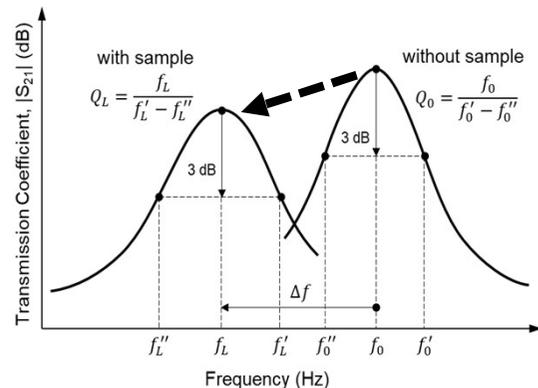
共振周波数：設計周波数と一致  
共振ピーク強度：概ね一致  
→ 解析モデルは妥当



Ku-band共振器の設計と実測



各種磁性コンポジットシートの複素透磁率



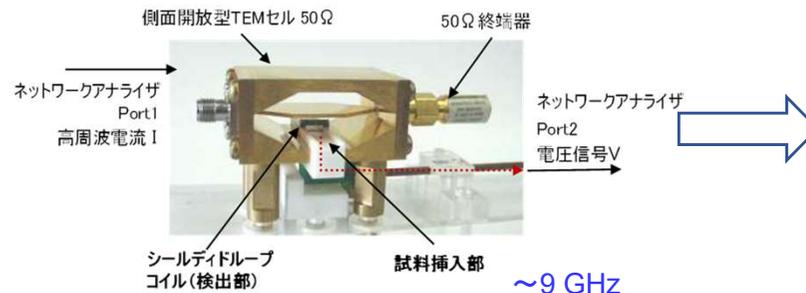
測定原理

$$\mu'_r = 1 - \frac{1}{\alpha_\mu} \frac{f_L - f_0}{f_L} \frac{V}{\Delta V} \quad (1)$$

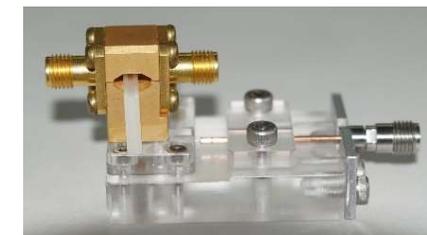
$$\mu''_r = \frac{1}{2\alpha_\mu} \left( \frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_0} \right) \frac{V}{\Delta V} \quad (2)$$

- $V$  共振器の体積
- $\Delta V$  試料の体積
- $\alpha_\mu$  共振モードと試料形状で定まる定数
- $\lambda$  共振器の管内波長
- $L$  共振器の長さ

### ■ シールドループコイル法 (治具展示)



~9 GHz



~40 GHz



# IEC国際規格化活動



TOKIN  
a YAGEO company

東北大学・トーキン

ノイズ抑制シートの複素比透磁率・複素比誘電率、および漏洩磁界・漏洩電界に関する国際規格に貢献

- IEC TR 63307:2020 (TC51/WG10) Measurement methods of the complex relative permeability and permittivity of noise suppression sheet ノイズ抑制構造体の設計に必要な構成材料の複素比透磁率および複素比誘電率について、その絶対値、周波数特性、共鳴周波数など設計に必要なパラメータを選定し計測法とともに提示。周波数帯は6GHzまで。 **シールドループコイル法掲載。**
- IEC TR 63307 ED1 (TC51/WG10) Measurement methods of the complex relative permeability and the complex relative permittivity of noise suppression sheet: 6 – 30 GHz 上記測定法を30GHzまで拡張。2023年NP提案を目指して、**MSLプローブ法、ハーモニック共振器摂動法、シールドループコイル法の3方式を提案中。**
- IEC63341 Ed. 1.0(TC51/WG9) Transformers and inductors – Near Magnetic and Electric Fields Characterization ノイズ抑制構造体の性能評価指針を磁性コアからの漏洩磁界および漏洩電界により評価。CD精査中。**漏洩電界の指標化等に貢献。**

IEC Webstore  
International Electrotechnical Commission

HOME SIGN IN HELP CART

## IEC TR 63307:2020

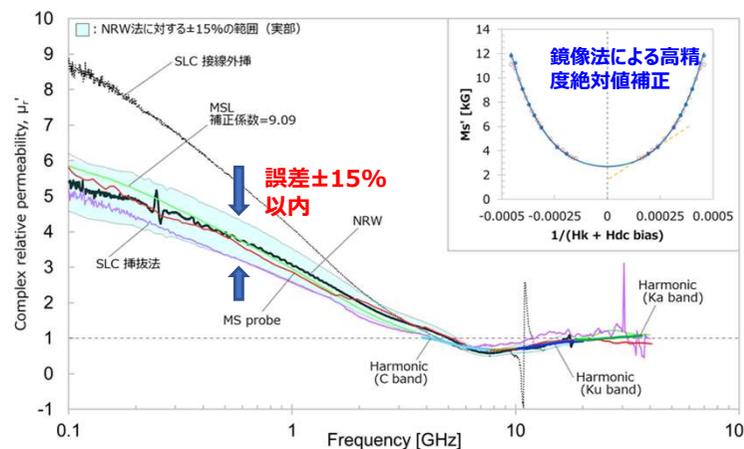
Measurement methods of the complex relative permeability and permittivity of noise suppression sheet

TC 51 | Additional information

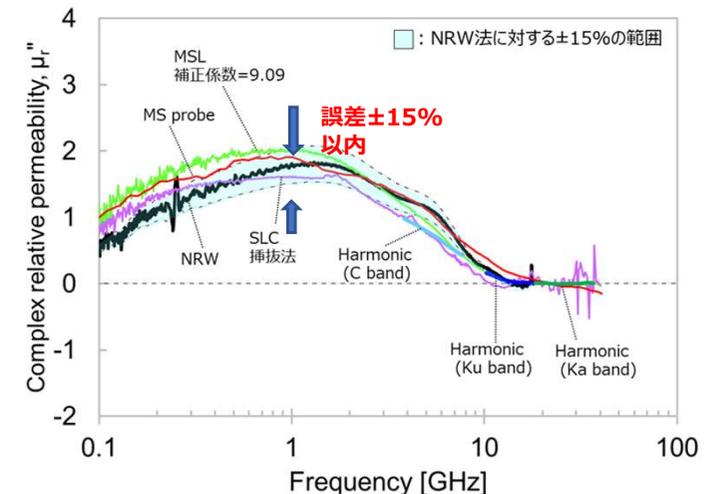
**Abstract** PREVIEW

IEC TR 63307:2020(E) provides guidelines on the methods for measuring the frequency characteristics of permeability and permittivity in the frequency range of 1 MHz to 6 GHz for a noise suppression sheet for each electromagnetic noise countermeasure.

## 高精度複素比透磁率測定（～30GHz、誤差15%以内、2022年3月現在）



(a) 複素比透磁率の実部  
各種測定法による複素比透磁率の比較



(b) 複素比透磁率の虚部  
(Ni-Znフェライトコンジットシート)



# 一つのセンサーで超広帯域(10MHz~67GHz)を実現したMSLプローブ法がIEC規格へ



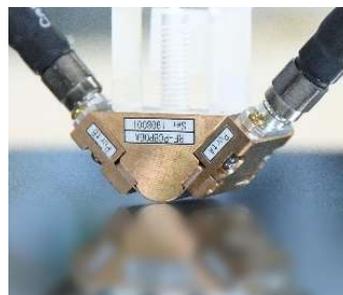
東北大学(藪上・桑波田研究室)

## 東北大学のMSLプローブ法の特徴

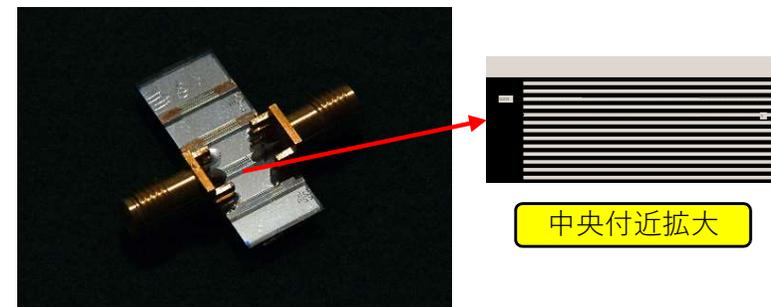
- 測定可能周波数 : 10MHz~67GHz
- 試料形状 : 1mm×10mmから300mmφウェハーまで
- 測定項目 : 複素比透磁率( $\mu'$ 、 $\mu''$ )及び複素比誘電率( $\epsilon'$ 、 $\epsilon''$ )
- システム構成(例) : MSLプローブ(東北大オリジナル)、ベクトルネットワークアナライザ、電磁石、測定治具、PC
- 規格適合 : 2024年度、IEC規格に採択予定

表1. 他方法との比較

名称	東北大学のMSLプローブ法	自由空間法	ニコルソン・ロス・ウィア法
原理図・写真			
5G市場適合性	◎	○	△
サンプルサイズ	◎ 制約なし (大口径ウェハー可)	△ 大サイズシート (数cm角以上) 必要	× トロイダル形状限定
測定周波数帯域	◎ 67 GHz	○ 数10 GHz ~100 GHz	△ 18GHz程度
薄膜デバイス適合性 (膜厚限界)	◎ 1nm(強磁性共鳴, $\alpha$ 定数), 3nm(透磁率)	× 数mm以上, 感度悪い。厚膜のみ	× 数mm厚以上
誘電率	○	○	○

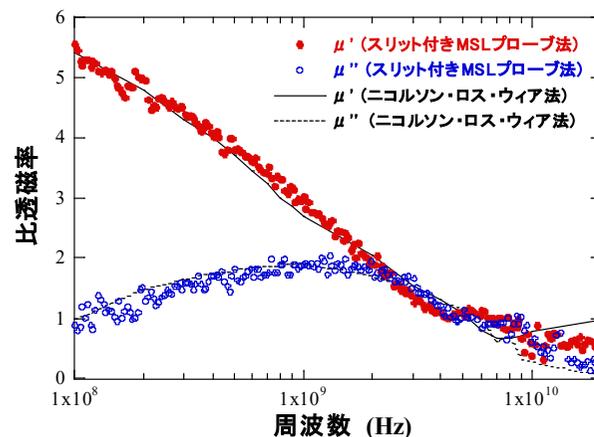


(a) 高感度型MSLプローブ

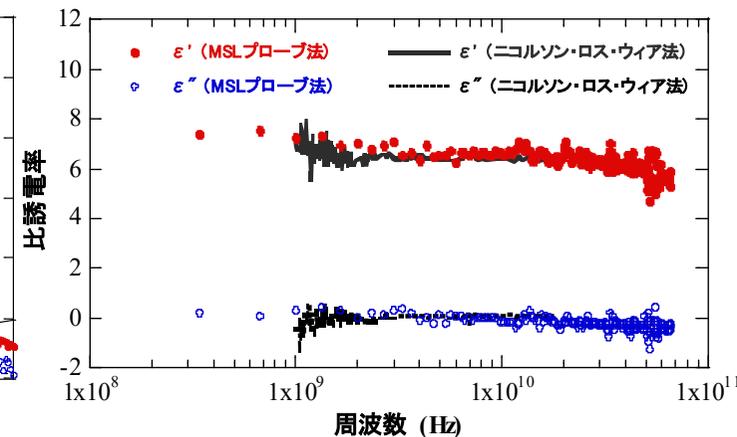


(b) 厚膜対応型薄膜スリット付きMSLプローブ

図1 色々な用途に対応したMSLプローブ



(a) 複素比透磁率 $\mu$



(b) 複素比誘電率 $\epsilon$

図2 測定結果の一例(100 $\mu$ m厚NiZnフェライト)