



# 電磁環境整備のための広帯域電波吸収体の開発

石井 啓介・森本 貴明(防衛大学校 電気情報学群・機能材料工学科)

中村 僅兵・島 宏美\*(防衛大学校 電気情報学群・通信工学科)

澤井 真也・濱崎 容丞(防衛大学校 応用科学群・応用物理学科)

山本 雅司(防衛大学校 防衛学教育学群・国防論教育室)

\*E-mail: shima@nda.ac.jp

## Introduction

我が国の安全保障戦略に基づき策定された防衛大綱において、**宇宙・サイバー・電磁波**といった新たな領域における能力強化が防衛力強化の優先事項として明記された。特に、電磁波領域における能力の強化は、国家安全保障上の喫緊の課題である。

### 電磁波領域の能力強化と喫緊の課題

電磁波領域における能力とは、敵による電磁周波数帯域の利用を検知、分析し、妨害や逆用を行う活動（電子戦）と、自国の電磁波の円滑な利用を確保する活動の総称である。この能力強化は、以下の具体的な取り組みに不可欠である。

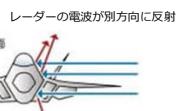
◆ **装備品の電子防護（ステルス化技術）**：敵レーダー探知を避ける**ステルス化技術**は、装備品の生存性を高める上で極めて重要である。ステルス技術は、電波の反射を物理的に制御する**形状ステルス**と、電波を反射させない素材である**電波吸収体**で反射量を制御する**材料ステルス**の二つに分けられる。現在、材料ステルスは形状ステルスを補完する位置づけにあるが、その性能向上が**電磁波領域における能力の維持・向上**に直結し、安全保障の観点から非常に高い将来性を持つ。

◆ **レーダー施設の電磁環境整備**：レーダー施設等において、不要な電波の反射を抑制し、電磁波の円滑な利用を確保するための環境整備が急務となっている。

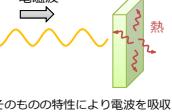
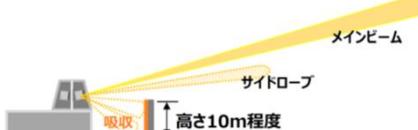
### ◆装備品の電子防護



ステルス技術



### ◆レーダー施設の電磁環境整備

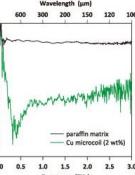
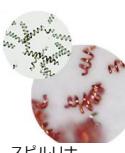


形状に依存しない**材料開発からのアプローチ**が必要

## Materials design

### ▶ 磁性誘電性材料

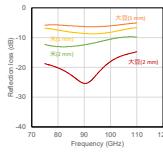
✓ 装備品の秘匿性から使用周波数が未知  
⇒元素置換による**吸収ピークのチューニング**が可能



### ▶ バイオテンプレートを利用した金属マイクロコイル ※防衛医科大との共同研究テーマ

#### ✓ レーダーの高周波化

⇒**テラヘルツ波**での電波吸収が期待できる



### ▶ 産業廃棄物を使用した多孔炭素素材材料

✓ 広範囲に及ぶレーダー施設の防護壁  
⇒**低価格・大面积な広帯域**電波吸収体

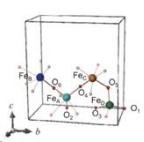
イプシロン酸化鉄は粒径を10 nm以下まで小さくできるナノ粒子フェライト磁石で、2004年に大越らが合成に成功した。反転対称の破れた結晶構造を持つことから、強磁性であるとともに強誘電性をあわせもつ、いわゆるマルチフェロイック材料であることも大きな特長である。このため、大容量の磁気テープ材料や、100 GHzをこえるミリ波の電波吸収材料といった用途での応用が期待されている。これまで、100 GHzをこえる周波数帯の電波を吸収する磁性材料は存在しなかった。これに対してイプシロン酸化鉄はその大きな磁気異方性により182 GHzにおいてゼロ磁場強磁性共鳴周波数を示すことが観測されている。また、3価の鉄イオンの一部を他種の金属イオンで置き換えることにより磁気特性の制御が可能であり、これにより保磁力を20 kOeから3 kOeまでの幅広い領域で制御でき、同時に磁化の大きさを2倍以上向上できることが報告されている。

### イプシロン酸化鉄

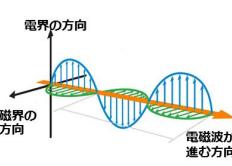
□ 10 nm以下まで小さくできるナノ粒子フェライト磁石

□ 4つの鉄サイト及び6つの酸素を最小単位に持ち4つの鉄サイトの配位形態には六配位構造と四配位構造がある

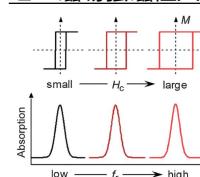
□ キュリー温度が 500 Kの強磁性体であり、室温において磁気ヒステリシスを示し、保磁力は20 kOe



### 電波吸収体の原理

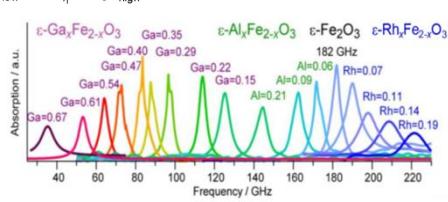


### ゼロ磁場強磁性共鳴



□ ゼロ磁場強磁性共鳴とは外部磁場がなくても磁気的性質を持つ物質が特定の周波数で共鳴する現象

□ 共振周波数f\_rは一軸磁気異方性を示す強磁性体では保磁力H\_cに比例する



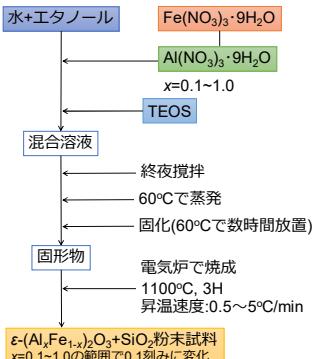
Namai, et al., J. Am. Chem. Soc., 131(3), 1170-1173, (2009).

保磁力を制御することで共振周波数を変化させることが可能  
→電波吸収ピークのチューニング

## Research and Development Process

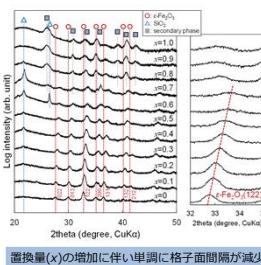
### 試料作製

ジルゲル法にて粉末試料を作製した

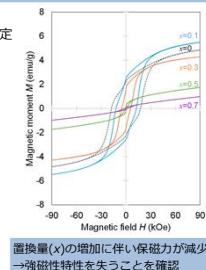


### 物性評価

□ 結晶構造解析  
粉末X線回折装置  
Rigaku MiniFlex



□ 磁気特性  
磁気ヒステリシス・低温磁化測定  
Quantum Design  
無冷媒型PPMS DynaCool



### 電波吸収特性評価

誘電体レンズアンテナを用いた自由空間法にて評価

測定器材

□ KEYSIGHT N5222B  
Vector Network Analyzer

測定範囲 : 900 Hz-26.5 GHz

□ KEYSIGHT N5293AX01  
Frequency Extender

測定範囲 : 900 Hz-110 GHz

□ EMラボ FS-330  
誘電体レンズアンテナ・

フリースペース測定装置

同軸導波管変換器 :

K-band (18-26.5 GHz)

R-band (26.5-40 GHz)

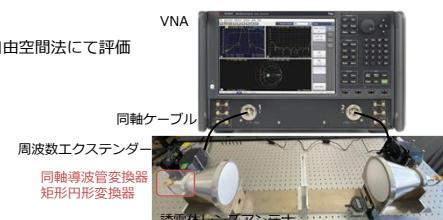
U-band (40-60 GHz)

E-band (60-90 GHz)

W-band (75-110 GHz)

G-band (140-220 GHz)

J-band (220-330 GHz)



□ 標準試料(石英)の反射損失S11・挿入損失S21の測定例  
✓ サンプル径100 mmφ、厚さ3 mm

