

# 実電磁波環境におけるマルチマテリアルのシールド特性評価

次世代自動車への適用に最適なEMC評価の提案

2023年12月15日

沖エンジニアリング株式会社  
EMC事業部  
丸山 敏彦

## 目次

1. はじめに
2. 1 サステナブル社会とマルチマテリアル
2. 2 自動車とマルチマテリアル化
3. 1 電磁波とは
3. 2 シールド特性効果とは
3. 3 吸収損失とは
3. 4 実環境の磁界強度を発生させるには
4. 1 材料と試験方法における検証条件
4. 2 検証目的と内容
4. 3 シールド特性効果における減衰量の求め方
4. 4 シールド特性効果\_検証1\_透磁率の差
4. 5 シールド特性効果\_検証2\_磁界強度の差
4. 6 シールド特性効果\_検証3\_材料の厚み差
5. 検証結果
6. まとめ

# 1. はじめに

近年、車載EMC試験サービスのお客様から、シールド特性効果評価に関する引き合いが増えてきた。これは、自動車メーカー各社がサステナブル社会に対応して、車体に従来の鋼板に代わる様々な材料を採用（マルチマテリアル化）していることに起因していると考えられる。車体に様々な材料が採用されると、従来車体を構成する鋼材により電磁波から保護されていた車載電装品が、電磁波の影響を強く受け誤動作する可能性がある。

これら電磁波の影響を評価するのがシールド特性評価であるが、現在は車載電装品向けシールド特性に関連する規格がない。EV車においては、大電流が流れるモーター近辺とその他の部分では車載電装品が受ける電磁波レベルが大きく異なるが、それを考慮した試験評価も確立していない。

本発表では、自動車の実電磁波環境における最適なシールド特性を、車載EMC試験技術を活用して評価する方法を提案する。

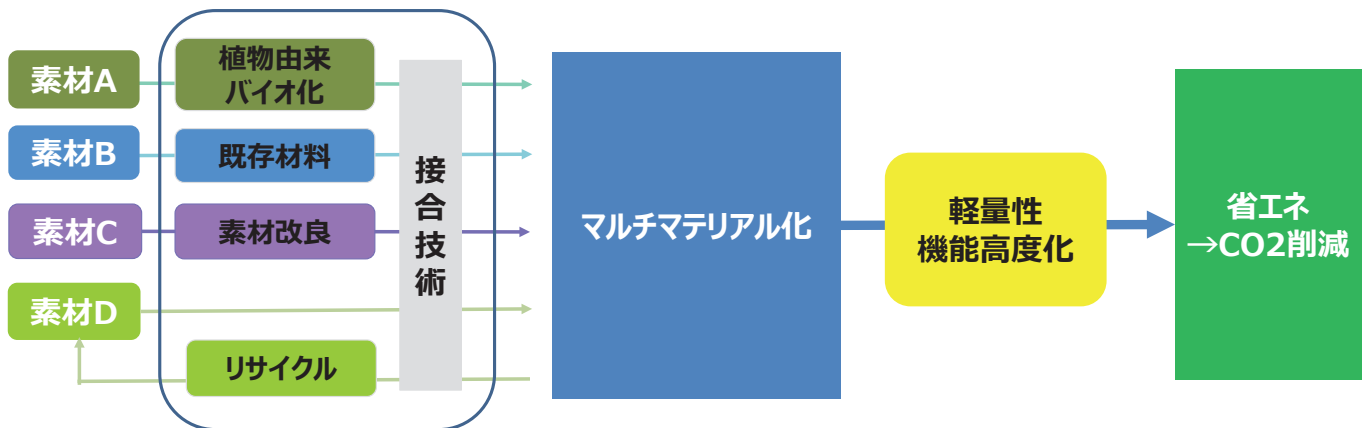
### 引き合い/相談 例

1. 材料メーカーから、とくに従来の磁気シールド評価の結果が自動車で使用すると違うのはなぜか
2. ガソリン車でノイズ耐性が取れていたのにEVによりシールド効果が変わる原因はなぜか
3. ノイズ耐性効果を狙って金属を変えたら余計にノイズ耐性が悪化したのはなぜか
4. 別の試験所で実施した評価に再現性が無かったので正しかったのか確認して欲しい
5. 海外向け規格情報が少ないがこの内容で評価方法の提案は可能か

...

# 2. 1 サステナブル社会とマルチマテリアル

サステナブル社会の実現に向け、構造材料のマルチマテリアル化が進んでいる。特性の異なる材料（植物由来の樹脂など）を積層、混ぜ合わせるなど、ひとつの材料では実現できない総合的に優れた材料で構造をつくる事をマルチマテリアル化という。

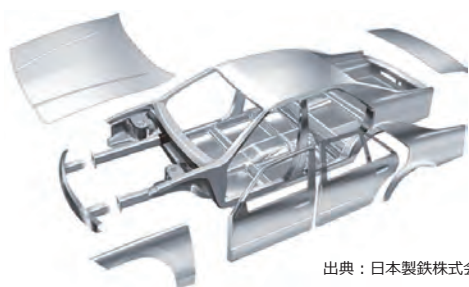


マルチマテリアルの概要図

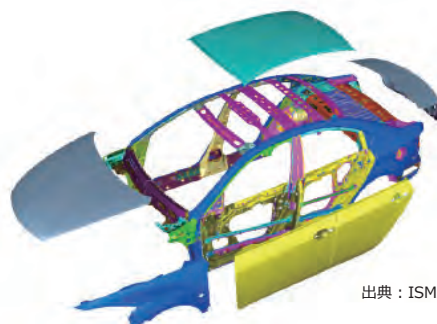
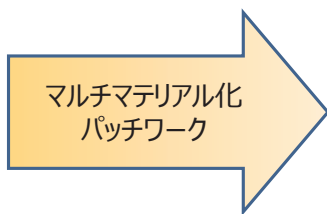
## 2. 2 自動車とマルチマテリアル化

マルチマテリアル化された材料をパッチワークのように組み合わせることで車体の軽量化を図り、エネルギー消費を抑えてCO2排出量を削減する取り組みがおこなわれている。

自動車内にあるECU（エレクトロニックコントロールユニット）や車載電装品は、これまで鋼材などの金属で覆い、強度と耐久性などを確保するとともに、車内外からの電磁波の影響を受けにくくしていた。マルチマテリアル化により強度や耐久性とともに、電磁波による影響が懸念されている。  
電磁波の影響をより受けにくくするためにはECUや車載電装品のシールドが重要になる。



出典：日本製鉄株式会社

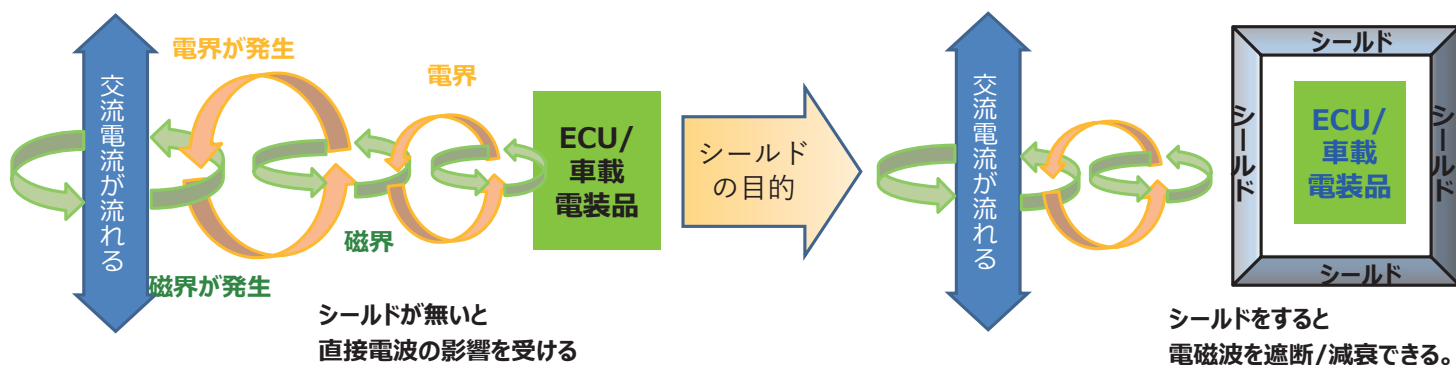


出典：ISMA

## 3. 1 電磁波とは

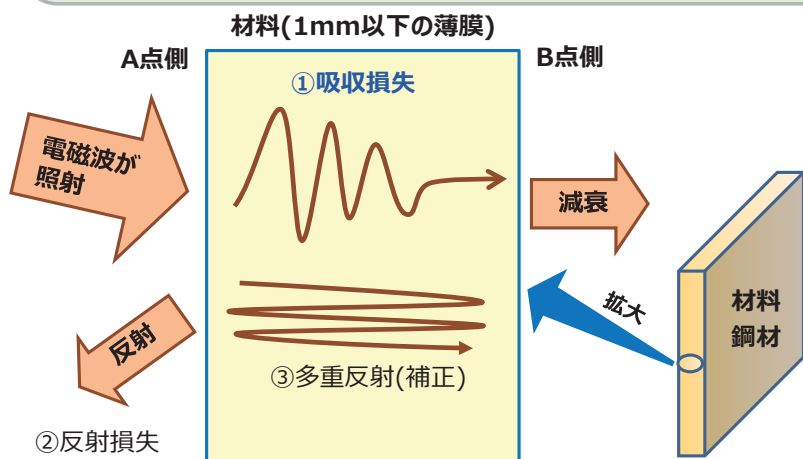
電磁波とは、磁界と電界が組み合わさった状態（直交）を指し、電気回路に電流が流れる事により発生する。

また、ECUや車載電装品をシールドすることにより電磁波を遮断/減衰できる。これをシールド特性効果いう。ECUや車載電装品を守るうえで重要な役割を担う。



### 3. 2 シールド特性効果とは

シールド特性効果は、①吸収損失、②反射損失、③多重反射の3つで成り立つ。ECUを電磁波から保護する材料のほとんどは金属となるが、金属の種類によって②反射損失/③多重反射は大きく変わらないが、透磁率の違いにより①吸収損失は大きく変わる。よってシールド特性効果は①吸収損失が重要である。

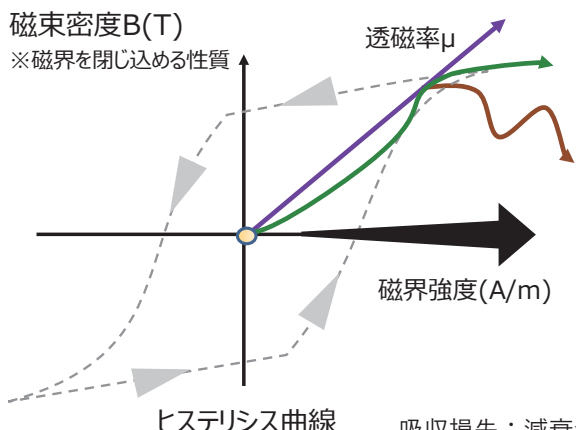


- ①吸収損失 ⇒ 磁界シールド効果  
材料の透磁率が1に近いほど電磁波を熱エネルギーに変換できる。
- ②反射損失 ⇒ 電界シールド効果  
材料が金属の場合表面(境界面)で電磁波は殆ど反射する。
- ③多重反射 ⇒ 電界シールド効果  
材料内で反射を繰り返し減衰するがほとんど表面反射され、内部多重反射波は起きにくい。

### 3. 3 吸収損失とは

吸収損失は材料の持つ透磁率と厚さなどに依存する。透磁率が高く、材料の厚さが増すと、材料内部に電磁波が侵入したときに、磁界成分のみが熱に変換されやすくなる。

よって、磁界領域におけるシールド特性効果も材料の透磁率、厚さ、更に加えられる磁界強度に影響されることになる。



熱に変換できている理想な状態  
(「透磁率」が高い、材料に「厚さ」がある)

これ以上は熱に変換ができない状態 (飽和状態)  
(「磁界強度」が高い、材料に「厚さ」が無い)

実際に飽和となっている状態  
(特性が不安定で定まらない)

$$\text{吸収損失：減衰量(dB)} = 131.4 \times t(\text{材料の厚さ}) \times \sqrt{f(\text{周波数Hz}) \times \mu r(\text{透磁率}) \times \sigma r(\text{導電率})}$$

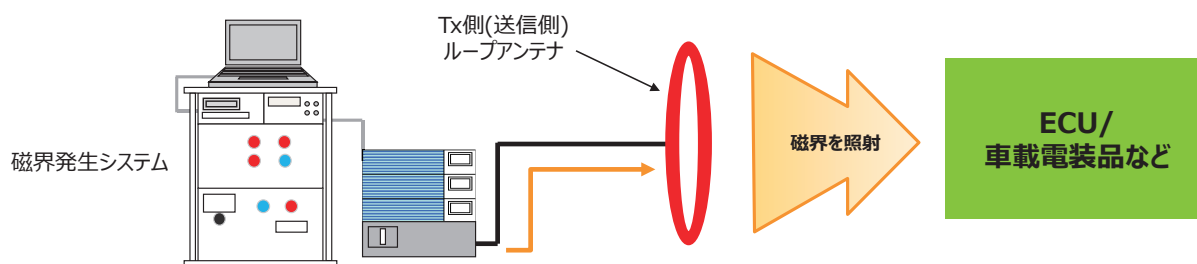
### 3. 4 実環境の磁界強度を発生させるには

車載EMC試験における国際規格ISO11452-8\_磁界イミュニティ試験\_ループコイル法で生成することが可能である。

これは『実電磁波環境』における磁界強度レベルを模擬した試験方法である。

磁界イミュニティ試験とは、磁界発生システムで交流電流を生成させ、送信側ループアンテナから磁界を照射し、ECUや車載電装品などに磁界強度からの耐性(誤作動しないかどうか)を確認する試験方法となる。

磁界強度レベル 実電磁波環境を想定	磁界強度レベル I → 10A/m(低い) 自動車内の座席付近の磁界の影響	磁界強度レベルIV → 1000A/m(高い) 自動車電源周り(インバーター、モーターなど)の磁界の影響
----------------------	--	---



### 4. 1 材料と試験方法における検証条件

磁界強度レベル差による観点から、材料の透磁率、材料の厚さについて検証する。材料は透磁率が最高水準であるパーマロイ※1と、透磁率が最も低いアルミの2種類とする。磁界強度は実電磁波環境(参照規格)では強弱の規定があるため両方採用する。

材料名	パーマロイ	アルミ
物質の透磁率 $\mu$ (1に近いと高い)	0.01	0.00000126
物質の比透磁率 $\mu_r$ (数字が大きいほど高い)	100,000	1
準備した材料の厚さ	0.1mm 0.03mm	0.03mm

試験方法	参照規格 ISO11452-8 (磁界イミュニティ試験_ループコイル法)	
磁界強度レベル	磁界強度レベル I → 10A/m	磁界強度レベルIV → 1000A/m
周波数範囲	15Hz~150kHz	

※1 : Ni(ニッケル)-Fe(鉄)を主成分とした合金

## 4. 2 検証目的と内容

目的：磁界強度レベルを振り、材料の透磁率、厚さによるシールド特性効果の検証

検証1：パーマロイとアルミを厚さ0.03mm、磁界強度レベル I →透磁率の差

検証2：パーマロイとアルミを厚さ0.03mm、磁界強度レベル I / IV →磁界強度の差

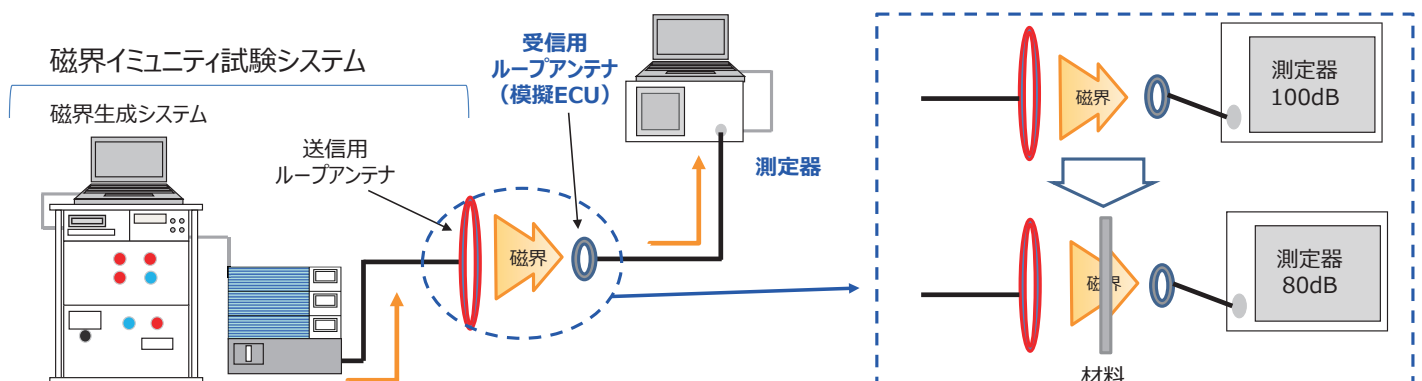
検証3：パーマロイを厚さ0.03mmと0.10mm →材料の厚さ

検証1 透磁率の差	材料	パーマロイ		アルミ	
	物質の透磁率	0.01		0.00000126	
	磁界強度レベル	I		I	
	厚さ	0.03mm		0.03mm	
検証2 磁界強度の差	材料	パーマロイ		アルミ	
	磁界強度レベル	I	IV	I	IV
	厚さ	0.03mm		0.03mm	
検証3 材料の厚み差	材料	パーマロイ		パーマロイ	
	厚さ	0.03mm		0.10mm	
	磁界強度レベル	I	IV	I	IV

## 4. 3 シールド特性効果における減衰量の求め方

磁界イミュニティ試験システムを利用する。本来であればECUや車載電装品に対して磁界強度を照射するが、今回はECUや車載電装品を、受信ループアンテナと測定器に置き換え、シールド特性効果における減衰量を算出する。

材料が無い状態（基準）に測定器で100dBと表示され、材料を設置したときに測定器が80dBと表示されると、シールド特性効果は20dB（減衰できる量）となる。数字が高いほど電磁波を減衰させる効果がある。

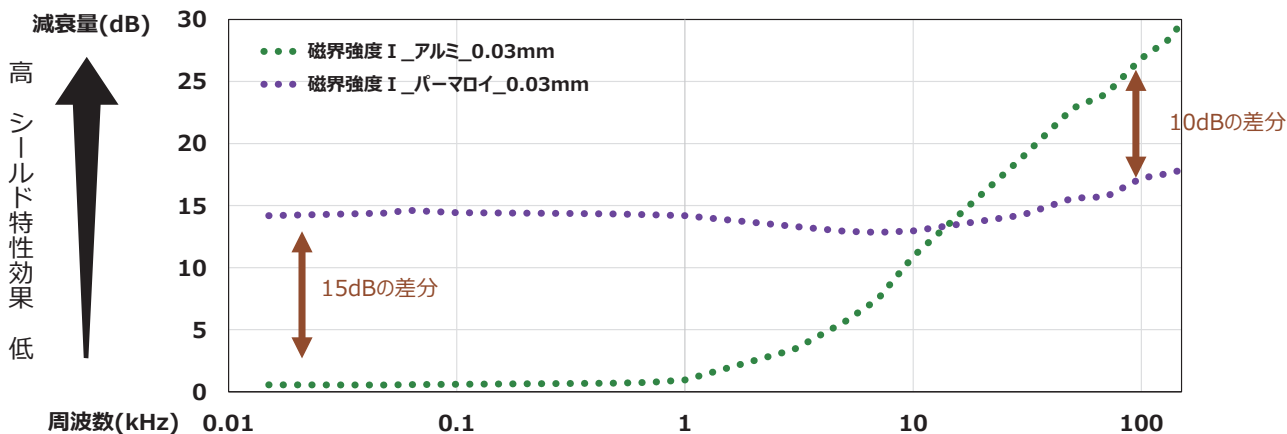


## 4. 4 シールド特性効果\_\_検証1\_\_透磁率の差

**検証1**：磁界強度レベル I における透磁率の差を検証した。

**結果**：透磁率の低いアルミでは、高い周波数でのシールド特性効果は高いが、低い周波数ではほぼシールド特性効果はない。

：透磁率が高いパーマロイでは、周波数に関わらず一定のシールド特性効果がある。

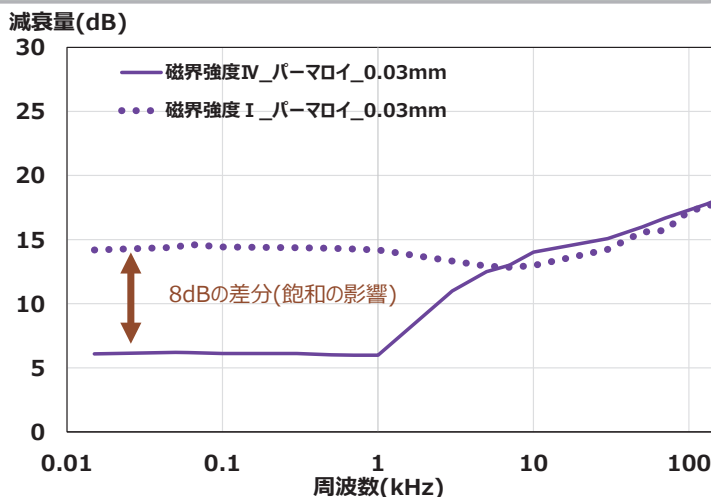
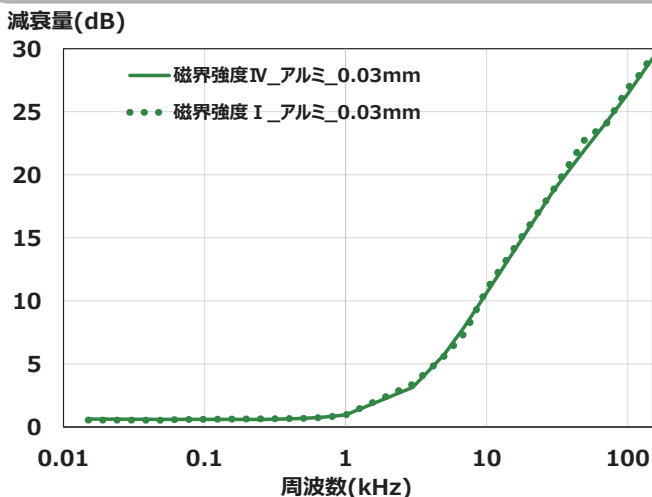


## 4. 5 シールド特性効果\_\_検証2\_\_磁界強度の差

**検証2**：磁界強度 I と IV における透磁率の差を検証した。

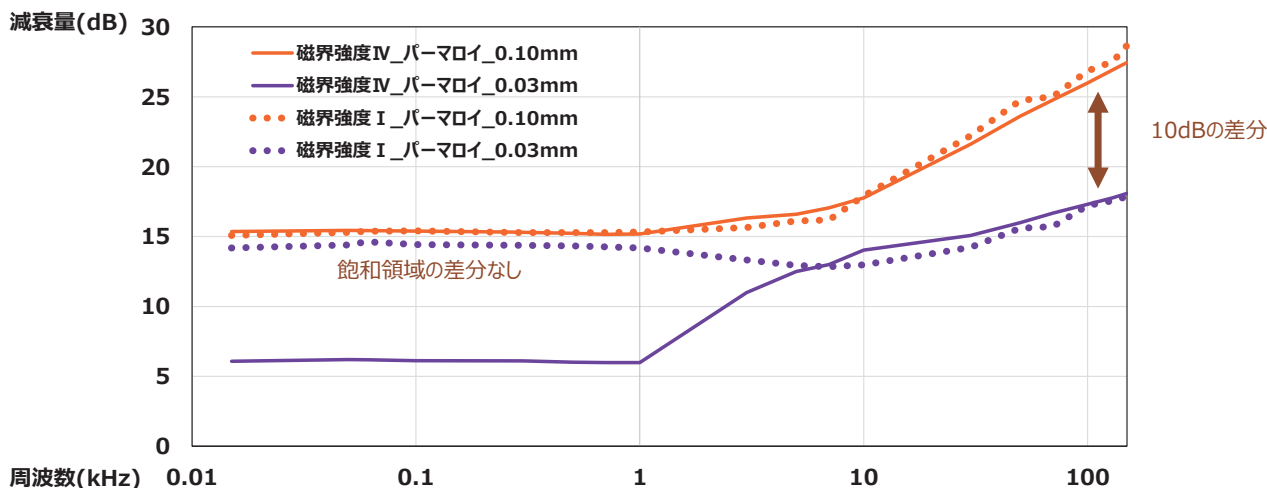
**結果**：透磁率の低いアルミでは、磁界強度レベルにおける差分は無い。

：透磁率の高いパーマロイでは、磁界強度レベル IV ではシールド特性効果が低くなる。



## 4. 6 シールド特性効果\_検証3\_材料の厚み差

**検証3** : 磁界強度 I とIVにおける材料の厚さ違いによる検証をした。  
**結果** : 透磁率の高いパーマロイでも、厚さを増すと飽和状態が解消され、強磁界環境でもシールド特性効果が得られる。



## 5. 検証結果

車載EMC試験にある磁界免疫試験を実電磁波環境の磁界強度レベルとして活用し、材料の透磁率、材料の厚さによるシールド特性効果を検証した結果をまとめた。

検証内容	結果
検証 1 : 透磁率の差	透磁率の高い材料に比べて透磁率の低い材料では、高い周波数でのシールド効果は高いが、低い周波数ではシールド効果は見られない。 →低い磁界強度では両方の材料の特性が必要になる可能性がある。
検証 2 : 磁界強度の差	透磁率の低い材料では、磁界強度による差は見られないが、透磁率の高い材料では、強磁界の環境において、シールド効果の低下がみられる。 →低い周波数では、透磁率の高い材料でも強磁界環境では、シールド特性効果が得られない場合がある。
検証 3 : 材料の厚み差	強磁界環境においても、透磁率の高い材料の場合は、厚さを増せば、シールド効果が得られる。 →透磁率の高い材料では、厚さを増せばシールド効果が高められるが、実電磁波環境において、必要とされる厚さを見極める必要がある。



## 6. まとめ

自動車向けシールド特性効果は、材料の透磁率、厚さ、および磁界強度の影響を受けますが、マルチマテリアル(複合材料)の場合、使用される実環境により最適な材料選択が必要になることが改めて検証により判明した。

当社では実電磁波環境を模擬したEMC試験環境をご提供することで、マルチマテリアル(複合材料)による次世代自動車の実現に向けた支援を通してサステナブル社会の実現に貢献していきます。

ご清聴いただき、ありがとうございました

*Open up your dreams*

沖エンジニアリング株式会社

- EMC事業部
- 担当 : 丸山 敏彦
- TEL : 0495-22-8412
- E-mail : oeg-emc-div@oki.com
- URL : <https://www.oeg.co.jp/>