

## 炭素繊維強化射出成形複合材料を用いた 電波遮蔽プラスチックの開発

### Development of Electromagnetic Shield Plastic using Carbon Fiber Composite Material by Injection Molding

宮本 嗣久\*<sup>1</sup> 稲田 貴裕\*<sup>2</sup> 遠藤 靖之\*<sup>3</sup>  
Tsuguhisa Miyamoto Takahiro Inada Yasuyuki Endo

久常 晃裕\*<sup>4</sup> 鶴長 真里絵\*<sup>5</sup>  
Akihiro Hisatsune Marie Tsurunaga

#### 要約

バンパ内部に搭載されている後側方レーダにおいて、バンパ内面で反射する送信電波が路面等へ漏れると意図しない反射波が返ってきた場合に誤検知の原因となる。誤検知を防ぐためには、不要な反射波を遮蔽する必要がある。今回、炭素繊維強化樹脂を用い、射出成形時に繊維を長く残しながら分散性を高める樹脂複合技術を開発した。本開発により、樹脂内部に炭素繊維の導電ネットワークを効率的に形成させ、少量の添加で十分な電波遮蔽効果を発現させることができた。これにより、同等性能を持たせる他の技術（金属、塗装等）と比べて、低コスト／軽量化を実現し、量産車に適用した。

#### Summary

In the Side-to-Rearward Sensing Radar interposed between the inside of a bumper and a car body, leaking of transmitted radio reflected by the backside of the bumper to a road surface may cause a false alarm. This time we developed a resin compound technology for enhancing dispersibility while suppressing a fiber breakage during injection molding, using carbon-fiber reinforced resin. This development made it possible to produce a sufficient electromagnetic shielding effect with a little fiber content by efficiently forming an electric conduction network for the carbon fiber inside the resin. In addition, a low-cost weight saving technology, which is superior to other technologies (metal, paint, etc.) offering equivalent performance, was put into practice and applied to production vehicles.

#### 1. はじめに

さまざまな走行シーンにおいてドライバに優れた安全性を提供するため、近年、ミリ波レーダやカメラなどの検知デバイスを用いた先進安全技術を開発している。

車両後側方の障害物警報システムに利用する後側方レーダは、リヤバンパ内側の左右に設置しており、準ミリ波の電波を用いている<sup>(1)</sup>。この電波は周囲の車両構造物で反射しやすい特性を持っているため、接近してくる車両を検知することが可能となる。しかし、電波は自車のバンパ内面でも反射してしまい、路面などの意図しない方向に放射すると、その不要な電波を検知して誤った警報を出してしまう（Fig. 1）。そのため、レーダのユニットは、車体とバ

ンパの間にブラケット（以下、BRKT）及びレーダ本体に加え、路面方向への不要電波をカットするために、電波遮蔽カバーを取り付けている（Fig. 2）。この電波遮蔽カバーには、従来、導電性を持った金属材料が採用され、これを取り付けるBRKTも金属製のため、大幅な重量増となっていた。一方、導電性塗料のスプレー塗布では塗料費や塗膜付着性の対策が必要となるなど、コスト増となってしまう。

そこでマツダは、炭素繊維（以下、CF）強化樹脂を用いてこの金属製のBRKTと電波遮蔽カバーを樹脂化して軽量化することを着想した。そのためには、レーダ本体を保持するための剛性と、電波遮蔽性の両立が必要となる。

マツダが本開発において最も重視したのが、「CFが本

\*1 技術研究所  
Technical Research Center

\*5 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

\*2~4 車両システム開発部  
Vehicle System Development Dept.

来持っている特性を最大限引き出す使い方」である。CF強化樹脂では高強度・高弾性率の特性を活かして、大幅な軽量化の可能性があるが、構造部材を対象としたプリプレグの成形品ではCFを多く添加しているため高価になり、高級車での採用にとどまっている。そこでマツダはCFの導電性にも着目した。さらに、CFの一本一本をしっかり機能させて、少ない添加量で最大の効果を得ることで、コストを抑え量産車に広く採用していくことをねらいとした。

そのために、汎用的な成形法である射出成形を採用し、CFを長く残しつつ、分散性を高めて導電ネットワークを形成させることで、数wt%の少量添加でも十分な電波遮蔽効果を実現する樹脂複合技術を開発した。

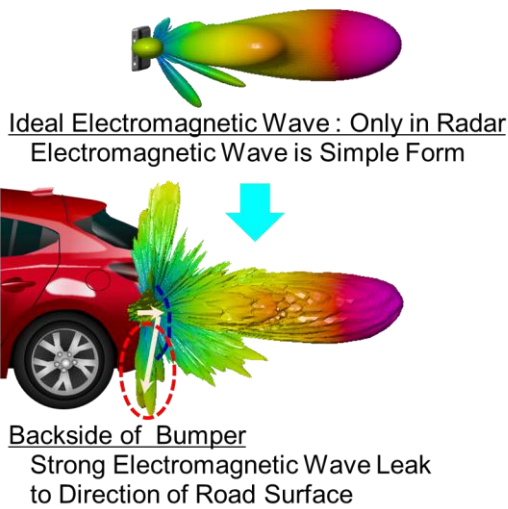


Fig. 1 Electromagnetic Wave Leaked by Bumper

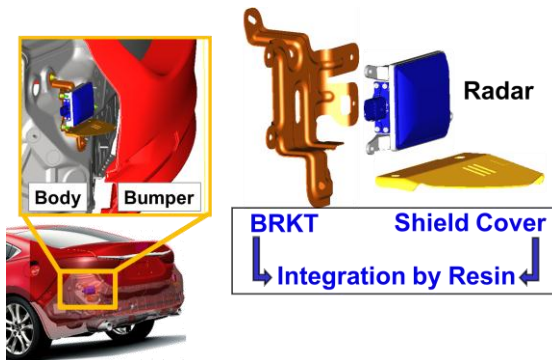


Fig. 2 Electromagnetic Shield Cover Integrated BRKT

## 2. 材料開発の考え方

### 2.1 要求材料特性

自動車に使われている電波は多種多様であり、周波数により遮蔽メカニズムが異なる。後側方レーダで使用される電波はラジオや、タイヤ空気圧センサなどに比べて周波数が高い24GHzの直線偏波である。

通常、電磁波を構成する電界成分は低周波から高周波

まで導電体で遮蔽できるが、磁界成分は低周波と高周波で遮蔽メカニズムが異なる。低周波の磁界遮蔽には透磁率が高い磁性体を使用する必要があるが、高周波では導電体において電磁誘導効果により遮蔽が可能となる。従って、高周波である本用途においては、遮蔽用材料として導電体を採用することで電波遮蔽が可能となる。

射出成形に用いる導電性フィラーは、カーボンブラックが一般的であるが、粒子状であり、導電性塗料のスプレー塗布による層形成により高密度化するのとは異なり、製品内全体にフィラーが分散するため、高い電波遮蔽効果を得るには30wt%以上の高充填が必要となる。一方で、繊維状の導電性フィラーは高価なため、いかに少ない添加量で製品内に効率的に導電ネットワークを形成するかが電波遮蔽効果を達成するためのポイントとなる。

そこで、電波遮蔽機能を得るための導電性フィラーとして、繊維状で径が細く低比重、すなわち同じ添加量でも繊維の数を多くできる、また導電性の経時安定性に優れる、といった利点を持つCFを選定した。CF添加量は5wt%未満に抑えて、遮蔽効果は一般的に効果があるとされる20dBより高い値とすることを目標とした。また、レーダユニットを車体に締結するためのBRKTの機能を、樹脂製電波遮蔽カバーに統合させた。レーダ本体の保持に対するワースト条件を想定して、高温の弾性率を確保する必要がある、目標値はCAEにより算出し、1.1GPa以上とした (Table 1)。

Table 1 Target Value of Material Properties

Item	Unit	Target
CF Content	wt%	<5
Electromagnetic Shielding Effect	dB	>20
Elastic Modulus (80℃)	GPa	>1.1

### 2.2 開発方針

CF少量添加で目標とする遮蔽効果を達成するポイントは、CFの繊維長と分散性の両立である。CFを射出成形する場合、Fig. 3に示すように混練条件によって繊維長と分散性は背反する。例えば、混練条件を調整してせん断力を抑えると、繊維長を長く残すことができるが、解繊しにくくなり繊維が密集したところが出てしまい、CFの機能を十分に活用できない。従って、樹脂内部でCFを均一分散させる対策が必要である。

マツダは、成形プロセスのなかでペレットをシリンダ内で熔融混練する際の解繊性が重要と考え、特にCFとPPの界面の接着性に着目した。つまり、接着性が低いとCFにせん断力が伝わらないためCFが凝集してしまうが、接着性が高いとCFがPPに引き寄せられ一緒に動くことで解繊が進み、均一に分散する考えた。そこで、マトリクスPPの変性とCF表面の改質処理を選定し、界面接着性を上

げること分散性の改善を試みた (Fig. 4)。

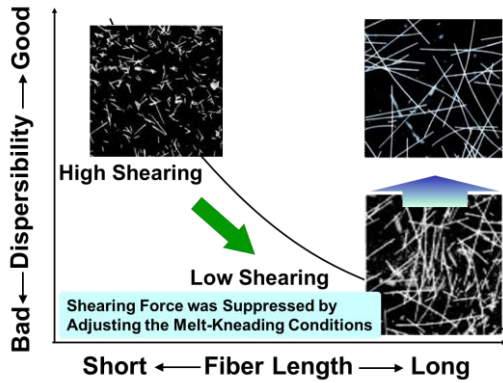


Fig. 3 Dispersibility of CF by Molding Conditions

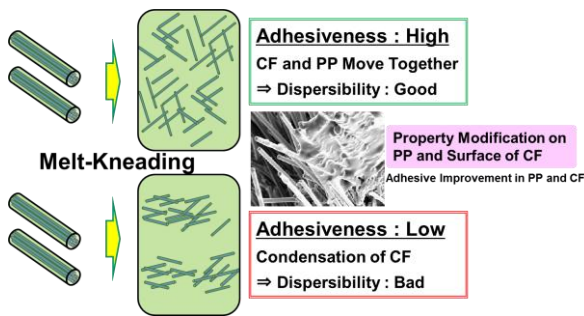


Fig. 4 Concept of CF Content Reduction

### 3. 実験

#### 3.1 実験方法

電波遮蔽機能を得るCFペレットは、繊維長8mmのCFを40wt%含有したものを使用し、マトリクスPPの変性とCF表面の改質処理の組み合わせが異なる3タイプ (A, B, C) とした。このCFペレットとPPペレットをドライブレンドしてCF5wt%未満に希釈して射出成形することにより、360mm×250mm、板厚1.5~2.5mmの平板を作製した。

電波遮蔽効果の評価は、ホーンアンテナ (23dBi 標準矩形、導波管規格WR-34) を用いて後側方レーダの電波を模擬した評価装置を用い、電波の送信機と受信機の間成形品を置いて電波の減衰量を測定した (Fig. 5)。試験片の設置に際しては、CFの分散性を図る一つの指標とするため、樹脂の流動方向と電波の偏波方向が平行な場合を「平行」方向、直交する場合を「垂直」方向とし、置き方を90度変えて測定した。

弾性率の測定は、成形品から切り出したテストピースを用いてISO 527-1に準じて、後側方レーダの使用環境を想定し雰囲気温度80℃にて行った。

成形品中の繊維解析には、デジタルマイクロスコープを用いた。

PPとCF界面の接着性評価に関しては、マイクロ、ナノの

領域の接着力を実験的に測定することは簡単ではない。そこで、界面で起こる現象や反応を電子レベルで見える化できる計算化学シミュレーションを用いて、界面の官能基に着目して相互作用の大きさを評価した。改質処理が異なる材料の界面モデルを構築し、量子力学計算プログラム Materials Studio DMol3を用いて構造最適化計算および電子密度解析を行った。各モデルについて最適化構造の全エネルギーから接着エネルギーを算出し比較を行った。

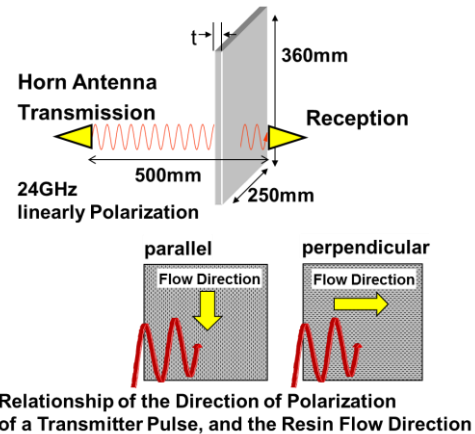


Fig. 5 Measuring Method of Electromagnetic Shielding Effect

#### 3.2 実験結果

まず、成形品中の残存繊維長による影響を評価した。繊維長は、射出成形の混練条件を振って変化させることを試みた。A材を使用し、CF添加量は1wt%とした。残存繊維長と電波遮蔽効果の関係をFig. 6に示す。左から混練度がHard→Mildとなるにつれ平均残存繊維長が長くなり、ねらいどおり遮蔽効果が高くなることが確認できた。繊維長を長く残すことにより、繊維同士の接触確率が増えたためと考えられる。ただし、混練度を低くしすぎると、CFが未解繊となる傾向があった。射出成形機のシリンダサイズやスクリュ仕様により混練状態が変化するため、成形機仕様ごとに混練条件のチューニングが必要である。

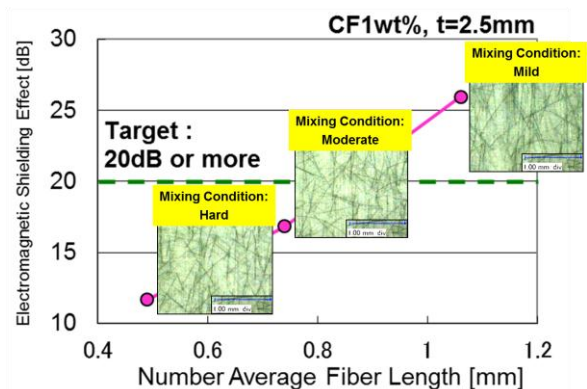


Fig. 6 Relationship between Fiber Length and Electromagnetic Shielding Effect

次に、改質処理の影響を評価した。処理の異なるA~C

の材料において、遮蔽効果を比較した結果をFig. 7に示す。C材は平行方向の遮蔽効果が低く、「平行」と「垂直」の方向による差が大きいことが分かった。一方、A材とB材は、方向による差が小さく、CFの分散性が良いと考えられる。また、遮蔽効果の低い「平行」方向で比較すると、A材の遮蔽効果が最も高いことが確認できた。

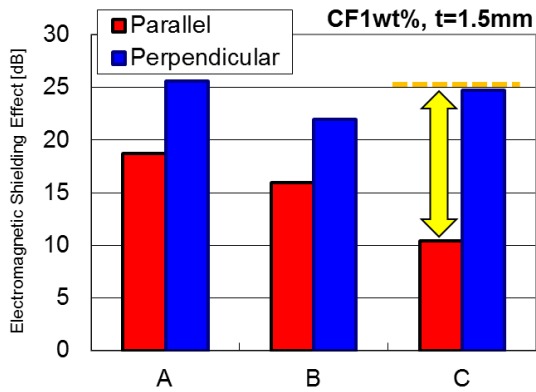


Fig. 7 Electromagnetic Shielding Effect of Developed CFPP

PPとCF界面の接着性が良いものが、本当に分散性が良いのかを検証するため、計算化学シミュレーションを用いて改質処理の違いによるPPとCF界面の接着性を評価した。

改質処理が異なるA～Cの界面モデルを構築し、各モデルについて接着エネルギーを算出し比較を行った (Table 2)。また、界面の電子雲の重なりも比較した。その結果、C材は界面に電子雲の重なりがないのに対し、A材とB材は電子雲の重なりが認められ接着エネルギーも大きいことが確認できた。この結果は、電波遮蔽効果の優劣と一致していることから、ねらいどおり改質処理の違いによる界面接着性がCFの分散性に影響していることが示唆された。

Table 2 Material Properties of Developed CFPP

	Material A	Material B	Material C
Adhesion Energy [Calculation Result]	14.1kJ/mol	11.1kJ/mol	5.8kJ/mol
Electromagnetic Shielding Effect [Experimental Result]	22.2dB	19.0dB	17.6dB

次に、開発した材料の物性を示す。以上の結果から選定したA材および成形条件により、板厚2.0mmの成形品を試作して評価を行った (Fig. 8)。この結果、CF2wt%以上で目標物性を満足することが確認できた。

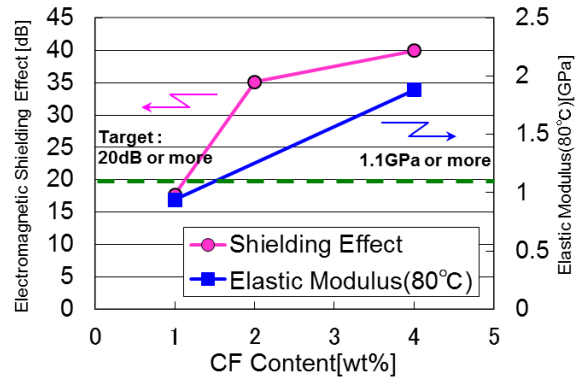


Fig. 8 Electromagnetic Shielding Effect and Elastic Modulus of Developed CFPP

#### 4. 部品での検証

##### 4.1 量産性

量産で使用する射出成形機を用いて、CFが未解繊とならないように混練条件をチューニングした上で成形を行った。遮蔽効果の評価部位は、部品の一般面とウェルド部とした。ウェルド部では、射出成形時に樹脂の流動がぶつかり、CFの配向が極端に強くなるため、遮蔽性能が低下する。ここで、ウェルド部の局所的な電波遮蔽効果を評価するには、これまで使用していたホーンアンテナでは測定ができないため、小型のプロープアンテナ (金属導波管、導波管規格WR-34) に変更した。なお、アンテナの違いによる測定値の相関を調べたところ、決定係数は0.96で相関が高いことを確認した。

部品の遮蔽効果を評価した結果、予想どおりウェルド部の遮蔽効果が低いが、CF2wt%以上で目標を満足することを確認できた (Fig. 9)。

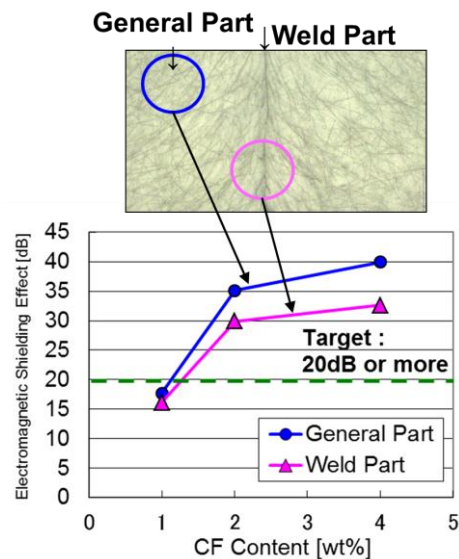


Fig. 9 Electromagnetic Shielding Effect of Developed Electromagnetic Shielding Cover

次に、工程能力を検証した。評価部位は、遮蔽性能が低いウェルド部とした。しきい値は、電波遮蔽性能20dBを下限とし、無検査が可能とされるCpl $\geq$ 1.67を目標とした。CF2wt%と4wt%における工程能力を評価した結果、4wt%であれば十分な工程能力を得られることが確認できた (Fig. 10)。

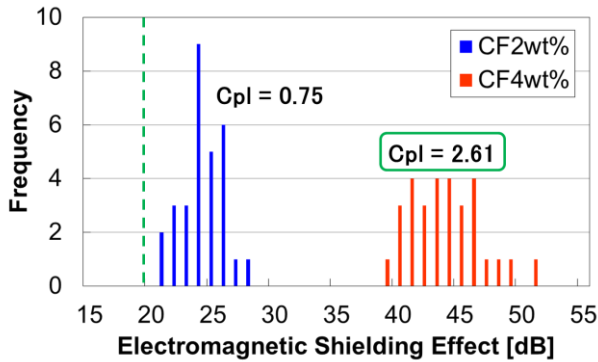


Fig. 10 Process Capacity of Developed Electromagnetic Shielding Cover

4.2 部品性能

不要電波の低減効果をCAEで評価したところ、電波遮蔽カバーにより大幅に電波漏れが抑えられ、路面等への反射が低減することを確認した (Fig. 11)。

また、部品でも全ての目標物性を満足することを確認し (Table 3), 部品単体での剛性, 耐熱試験や、実際の車両に搭載し走行耐久試験などの信頼性評価を行った結果、全ての基準を満足することを確認した。



Fig. 11 Effect of Electromagnetic Shielding Cover

Table 3 Material Properties of Developed Electromagnetic Shielding Cover

Item	Unit	Developed Material
CF Content	wt%	4
Electromagnetic Shielding Effect	dB	40
Elastic Modulus (80°C)	GPa	1.8

5. おわりに

CF強化樹脂を用い、射出成形時に繊維を長く残しながら分散性を高める樹脂複合技術を開発した。これにより、樹脂内部にCFの導電ネットワークを効率的に形成させ、少量の添加で十分な電波遮蔽効果を発現させることができた。そして、従来の金属部品を樹脂化することにより、軽量化30%と低コスト化を実現し、量産車に適用した。

参考文献

- (1) 信時ほか：後側方障害物警報システムの開発, マツダ技報, No.26, pp.124-130 (2008)
- (2) 大迫ほか：金属/エポキシ樹脂界面の接着に関する分子論的研究, 高分子論文集, Vol.68, No.2, pp.72-80 (2011)

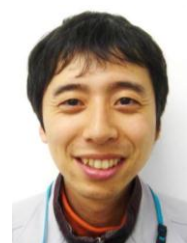
■ 著 者 ■



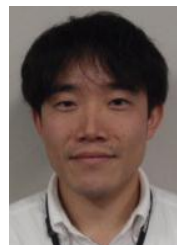
宮本 嗣久



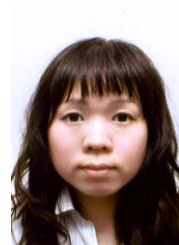
稲田 貴裕



遠藤 靖之



久常 晃裕



鶴長 真里絵