

【公開版】

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「3次元ウォータージェット交絡による自動車用不織布製電磁波シールド立体成形部品の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
1-3	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8

第2章 本論

2-1	繊維の組み合わせパターンの検討	9
2-2	開織・混綿（混紡）・ウェブ形成（均一化）	23
2-3	電磁波シールド材の評価	24
2-4	金型の工法、形状の検討	25
2-5	ヘッド部小型化	26
2-6	交絡条件の検討	27
2-7	乾燥条件の検討	31
2-8	3次元形状化後の電磁波シールド材の評価	32

第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	33
3-2	研究開発後の課題	33
3-3	事業化展開	33

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の概要

近年普及が進められている次世代自動車において、自動車フロア下の高圧バッテリーが大量の電流をモーターに送るときに発生する電磁波に起因する車両内部電子機器の誤作動（エアバッグ、自動停止装置等）や人体への影響等の理由から、車両内外への放射防止を目的とした電磁波シールド材の軽量化が求められている。

本研究開発はシールド材料の開発（導電性繊維や磁性繊維の配合）及び、世界初のスパンモールド工法（ウォータージェットにて繊維交絡と3次元形状化を同時に行う）を確立することで自動車の様々な部位へ適合し、川下企業からのニーズに応えるものである。

1-1-2 研究開発の背景

電磁波シールドや電波吸収体に関する開発の歴史は古く、1980年代のデジタル機器の普及と共にノイズ問題が顕在化したことにより電気・電子機器の誤作動防止や故障対策、また電磁波の生体に対する影響も明らかになりつつあるが、生体防護の観点からも今後さらに電磁波シールド・電波吸収体の研究開発が重要となる。

自動車業界において高圧バッテリーを搭載するEV車、PHV車、ハイブリッド車は平成24年実績で120万台（図1）となっており、これは国内向け販売台数の3割を占める。今後も増産傾向にあり需要はますます伸びることが予想されることから、これらの対策部品等の研究開発が先進諸国に先んじて日本国内にて取り組まれている。

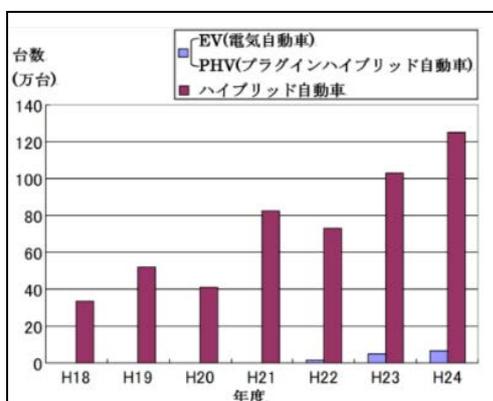


図1 電気自動車等生産販売台



図2 金属筐体

【公開版】

電磁波は金属製の筐体（図2）で覆うことで防ぐことは可能であるが、軽量化した電磁波シールド材として、導電性フィラー等を練り込んだ射出成形品やシールド塗料、ステンレス製のメッシュ、導電性箔、薄膜導電性材料の層間ラミネート多層ブロー成形等の提案がされているが、何れも現行の車両には採用されていない。一番の問題は現行の板金部品と比較してコストが非常に高くなることである。また、導電性繊維を用いたシールド材においては熱プレス成形等の3次元形状化加工の際、熱による影響や、成形時の繊維被覆の破壊によりシールド性能が著しく低下する問題があり、課題の糸口がつかめていない状況である。

本研究開発では非常に高価な導電性繊維の低コスト生産、及びウォータージェットを用いて繊維及び被覆を破壊せずに交絡させ3次元形状に成形する技術を開発することで、電磁波シールド材の低コスト化、部品軽量化を図る。

電磁波シールド材に対する川下企業のニーズは大きく分けて3点ある。

1点目は、軽量化である。軽量化は自動車の航続距離に影響し、燃費向上に貢献することから、現行部材以上の軽量化が要求されている。

2点目は、電磁波シールド材の部品適合性である。電気自動車のフロア下の高圧バッテリーが、大量の電流をモーターに送るときに発生する電磁波の車両内外への放射防止、車両内部電子機器への影響（誤作動）を防止する為、自動車の様々な部位の形状に対応した電磁波シールド部品の開発が求められている。

3点目は製品の高付加価値化である。自動車業界において価格競争は熾烈を極めている状況の中、海外自動車メーカー及び国内競合会社との差別化を図るため、製品の安全性や、高機能化が求められている。

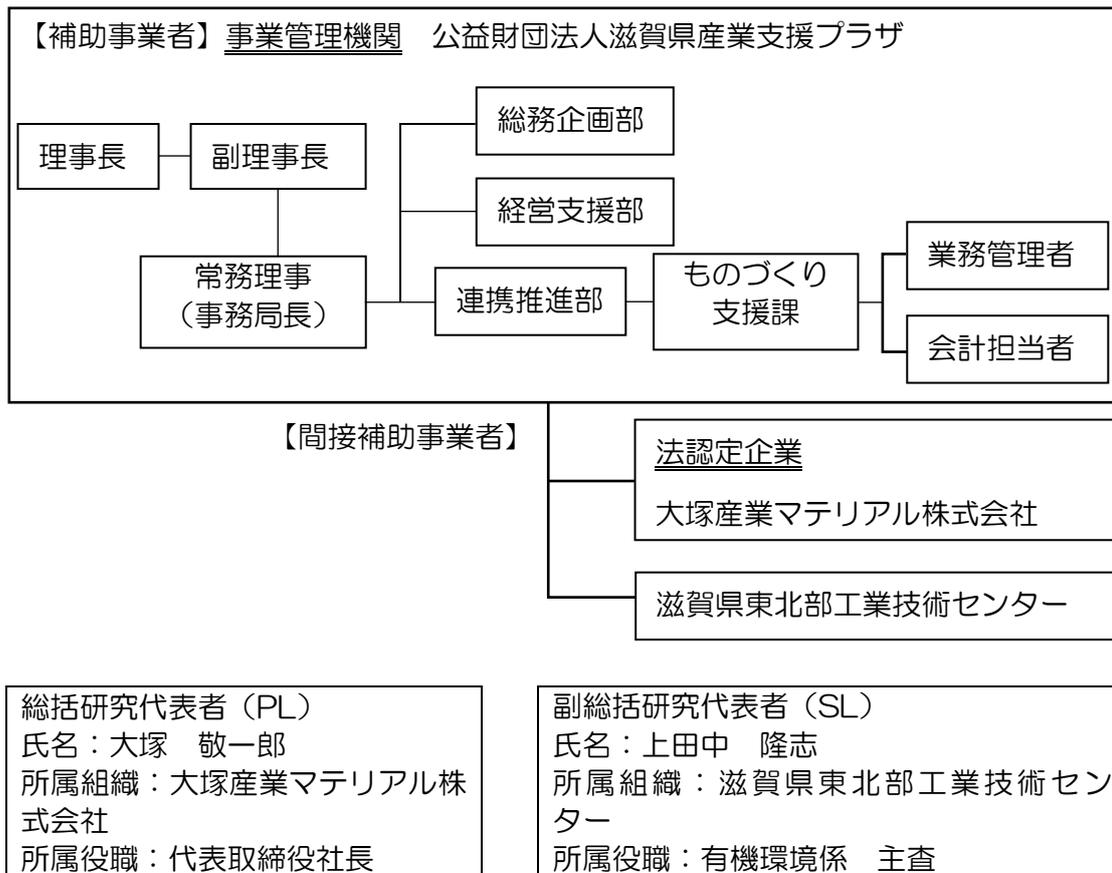
1-1-3 研究開発の目的及び目標

従来技術では、不織布製電磁波シールド材の成形法として熱プレス成形が取り組まれていたが、プレスによって繊維が伸縮し電磁波シールド性能が低下するほか、多工程、バリ発生による材料ロスが発生といった課題があった。本研究開発で取り組んだスパンモールド工法の確立によりこれら課題の解決が図れた。

1-2 研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1-2-1 研究組織・管理体制



1-2-2 研究者・協力者

① 事業管理機関

【事業管理機関】 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

氏 名	所属部署・役職
田中 勝晴	連携推進部 部長
篠原 弘美	連携推進部 ものづくり支援課 課長
熱田 善胤	連携推進部 ものづくり支援課 参与
上島 寛	連携推進部 ものづくり支援課

② 研究者氏名

【間接補助事業者】 大塚産業マテリアル株式会社

氏 名	所属部署・役職
大塚 敬一郎	代表取締役社長

小林 直樹	開発室 顧問
山中 義文	顧問
大塚 誠厳	取締役部長
八若 淳也	開発室 係長
堤 秀樹	開発室 主任
桂 巨樹	開発室 主任

【間接補助事業者】滋賀県東北部工業技術センター

氏 名	所属部署・役職
上田中 隆志	有機環境係 主査
松本 正	金属材料係 参事
三宅 肇	繊維・デザイン係 主任専門員
谷村 泰宏	繊維・デザイン係 専門員

③ 協力者

氏 名	所属部署・役職	実施内容
島田 直樹	福井大学 大学院工学研究科 博士（工学）	電磁波シールド材アドバイス
安齋 正博	芝浦工業大学 デザイン工学科 教授	型の製作等に関する助言
A 氏	川下企業	ニーズ提示・製品化支援
B 氏	川下企業	ニーズ提示・製品化支援

1-3 成果概要

1-3-1 繊維の組み合わせパターンの検討

電磁波をシールドするためには金属のように導電性が高い材料が適しているため、電磁波シールド性があり、かつ軽量化が期待できる材料として、不織布に銅メッキしたメッキ不織布を検討した。銅のメッキ厚を1 μm 、2 μm 、3 μm と増やしたところ、メッキ厚が厚くなるほど電磁波シールド性能が向上した。さらに、200、400、600、800g/m²の不織布にメッキを施し、電磁波シールド性能を測定したところ、目付の増加に伴い電磁波シールド性能が向上することを確認した。

1-3-2 開織・混綿（混紡）・ウェブ形成（均一化）

本研究開発での製造工程は、電磁波シールド材の基になる繊維をカード機と呼ばれる機械で繊維の方向を1方向に揃えてウェブと呼ばれる成形前の不織布を作り、ウォータージェットを当てて成形することを想定している。当初、電磁波シールド材料として金属繊維を検討したが、カード機によるウェブ形成の段階で繊維が折れてしまう問題があった。この問題等を解決すべくPET繊維に銅メッキを施したメッキ繊維を検討した。PET繊維をウェブにした後、メッキを行うことで、この問題を解決した。

1-3-3 電磁波シールド材の評価

メッキ繊維の評価検討については、目付 800g/m²の不織布にメッキを施すために、無電解メッキ・電解メッキの双方で最適条件を見出した。その結果、磁界シールド性能は300kHzで30.7dB、電解シールド性能は300kHzで62.7dBとなり、目標としていた300kHzで30dB以上という電磁波シールド性能を達成できた。

1-3-4 金型の工法、形状の検討

メッシュ型工法、メッシュ数、線径等について最適条件を検討した。加えて、立体形状型の交絡条件と絡めて、型形状と交絡条件の関係を明らかにした。

1-3-5 ヘッド部小型化

ウォータージェットヘッドが、成形時にメッシュ型に接近できるように、ウォータージェットヘッドの小型化をする必要があった。ウォータージェットヘッドを50%以上小型化(43%に小型化)した。

1-3-6 交絡条件の検討

高い電磁波シールド性能を得るためには、高目付のメッキ不織布を作製する必要がある。ウォータージェットによる高目付不織布の成形を検討し、以下の条件で800g/m²の不織布の成形が可能となった。

- 型のメッシュ数 10
- ウォータージェットの水压を5、10、35、35、35MPaの順にあてる

【公開版】

・ウォータージェットを噴射するロボットの移動速度を 100mm/s とし、また立体形状の成形時に、型面直からの水流の角度で 30° で外観の仕上がりの良い成形が可能となった。ただし、水流角度が 0° に近い方が厚み均一性の高いことを確認した。

1-3-7 乾燥条件の検討

ウォータージェットにより、目付 800g/m²の乾燥条件は、450℃、120 秒と決定した。

1-3-8 3次元形状化後の電磁波シールド材の評価

目付 800g/m²の不織布にメッキを施す方法で、無電解メッキ・電解メッキの双方で最適条件を見出し、目標の 300kHz で 30dB 以上という電磁波シールド性能を達成できた。3次元形状化後の成形性については、30x20cm の試作型にて確認した

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

連携推進部 ものづくり支援課 参与 熱田 善胤

〒 520-0806

滋賀県大津市打出浜2番1号 コラボしが21

電話 077-511-1414 FAX 077-511-1418

E-mail atsuta@shigaplaza.or.jp

【研究開発機関】

大塚産業マテリアル株式会社

開発室 主任 堤 秀樹

〒 526-0021

滋賀県長浜市八幡中山町1番地

電話 0749-56-0971 FAX 0749-56-0972

E-mail hi-tsutsumi@otks.co.jp

第2章 本論

2-1 繊維の組み合わせパターンの検討

市場調査等により一般的に電磁波をシールドするためには、導電性のある材料（体積抵抗率が低い材料）または磁性のある材料（比透磁率が高い材料）が適しているとされる。表1は各金属の体積抵抗率と比透磁率の一覧である。

表1 各金属の体積抵抗率と比透磁率

金 属	体積抵抗率 ($10^{-8} \Omega \cdot m$)	比 透 磁 率
銀	1. 59	1
銅	1. 68	1
金	2. 21	1
アルミニウム	2. 65	1
マグネシウム	4. 42	1
亜鉛	6. 02	1
黄銅	5~7	1
ニッケル	6. 99	100-600
鉄（純）	10	200000
鉛	21	1

まずは銅、アルミ、ニッケル、ステンレス、鉄の金属繊維不織布を用いて、KEC 法にて電界シールド性能および磁界シールド性能を測定した。図3に銅金属繊維不織布、図4に電界シールド性能測定結果を示す。



図3 銅金属繊維不織

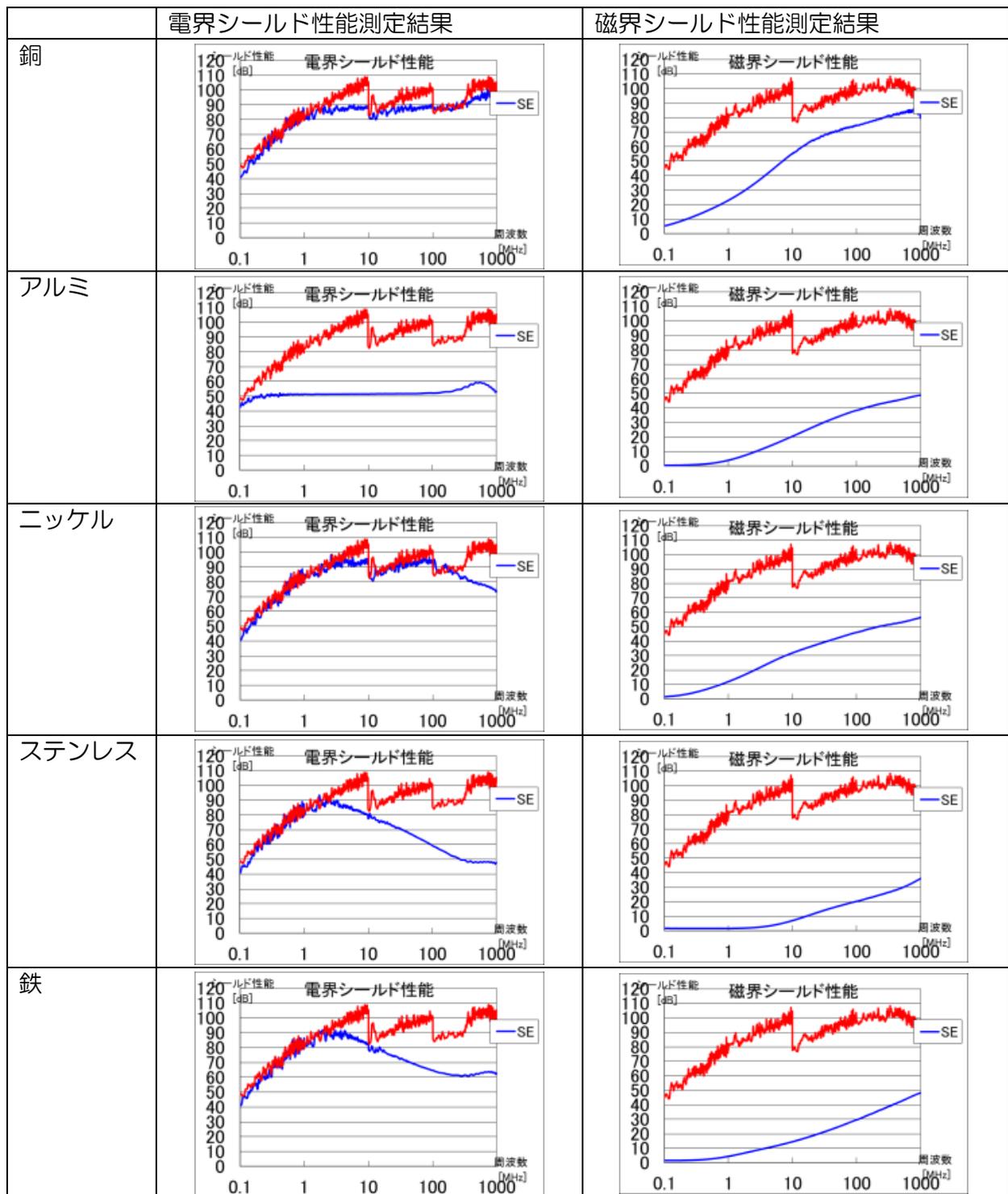


図4 電界・磁界シールド性能測定結果

図4の横軸が周波数[Hz]、縦軸は電磁波シールド性能[dB]、赤線は測定限界値、青線が電磁波シールド性能である。目標は300kHz以上で30dB以上の電磁波シールド性能である。

【公開版】

図4より銅とニッケルの電磁波シールド性能が高く、電界シールド性能は目標値を満足するが、磁界シールド性能は目標に達しなかった。

また、1-3-2で詳しく述べるが、カード機によるウェブ形成の段階で繊維が折れてしまう問題があった。この問題等を解決すべく、PET 繊維に銅メッキを施したメッキ繊維を検討した。金属繊維の検討で、金属として銅を用いることが有効であることがわかったため、銅メッキを行った。PET 繊維をウェブにした後、メッキを行う工法であれば繊維が折れることはないため、問題を解決できる。

メッキ繊維を用いるにあたり、本研究で必要とする特性を得る必要がある。具体的には、どのようなパラメータのメッキ繊維が適切であるか把握する必要がある。このため、様々な仕様のメッキ繊維を調達する必要があるが、市販のメッキ繊維の種類は多くない。このため、ラボレベルで試験的にメッキ繊維の作製できるよう、滋賀県東北部工業技術センターに体制を整えた。

滋賀県東北部工業技術センターで整備したラボレベルでのメッキ工程設備にて、メッキ回数すなわち厚みを変化させた不織布のシールド性能をそれぞれ測定し、メッキ回数とシールド性能の関係について検討を行った。図5にメッキ回数を1、2、3回と変化させた不織布のシールド性能を測定した結果を示す。

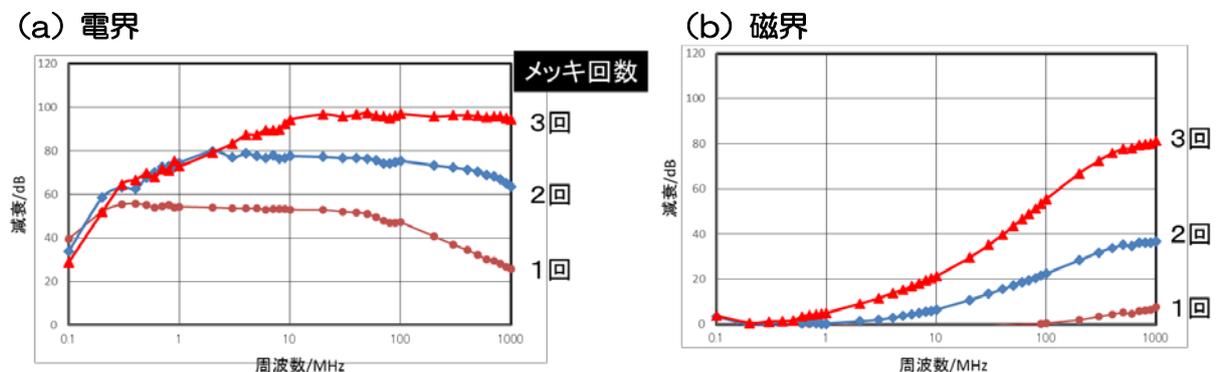


図5 銅メッキの回数変化とシールド性の関係 (a)電界, (b)磁界)

図5よりメッキ回数、すなわちメッキ厚が大きいほど、電磁波シールド性能が向上することが分かった。

滋賀県東北部工業技術センターでラボレベルでの実験を行い、電磁波シールド性能とメッキ条件の関係が解明できたが、更にメッキ厚を増やし、目標とする電磁波シールド性能を得るためメッキのノウハウを持つメッキ業者にてメッキを行った。

①メッキ金属種およびメッキ厚の検討

まずは改めて、電磁波シールド材料として適した金属種は何なのかを確認するため、メッキ業者にて、メッキ繊維の金属種ごとに電磁波シールド性能を測定した（図6）。

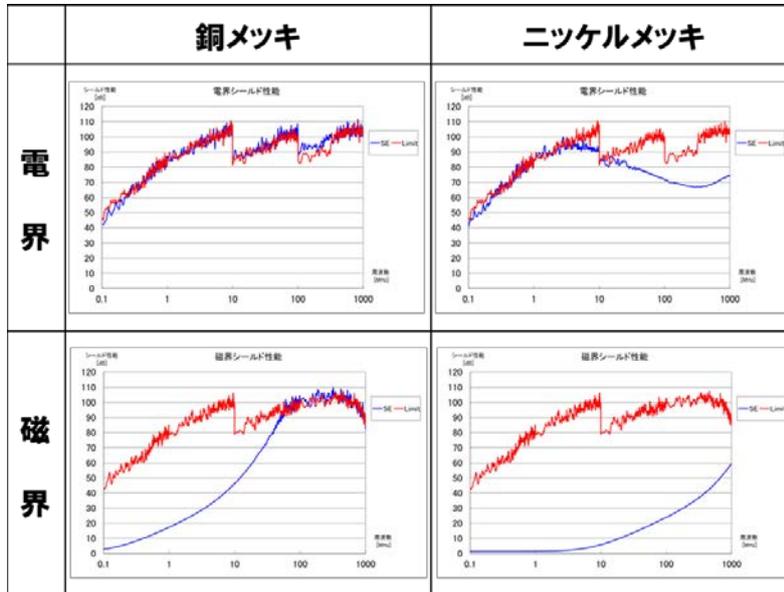


図6 メッキ種の検討結果（X社）（メッキ条件一定）

磁性体のニッケルは磁界シールドが高いと期待したが、抵抗率が低い銅の電磁波シールド性能が高かった。X社だけでなく、Y社にもメッキを依頼し、電磁波シールド性能が高かった銅のメッキ時間を20分、40分、60分と増やして電磁波シールド性能を測定した（図7）。

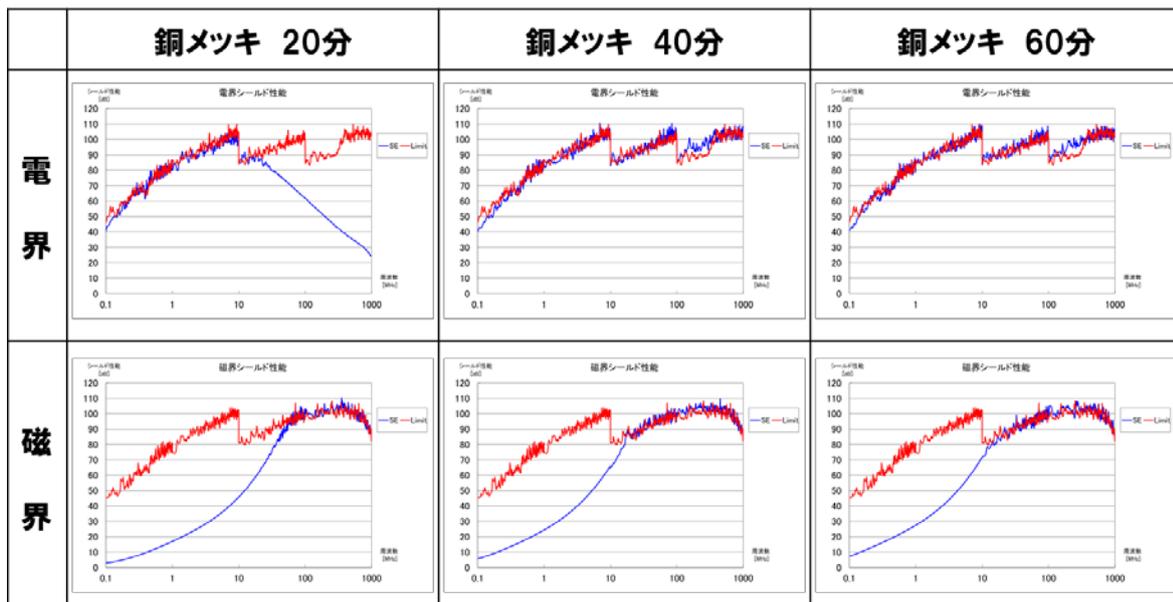


図7 メッキ時間ごとの電磁波シールド性能測定結果（Y社）

図7よりメッキ時間を長くすると電磁波シールド性能が向上することが分かった。

図8に Y 社でメッキした不織布の繊維断面の電子顕微鏡像を示す。

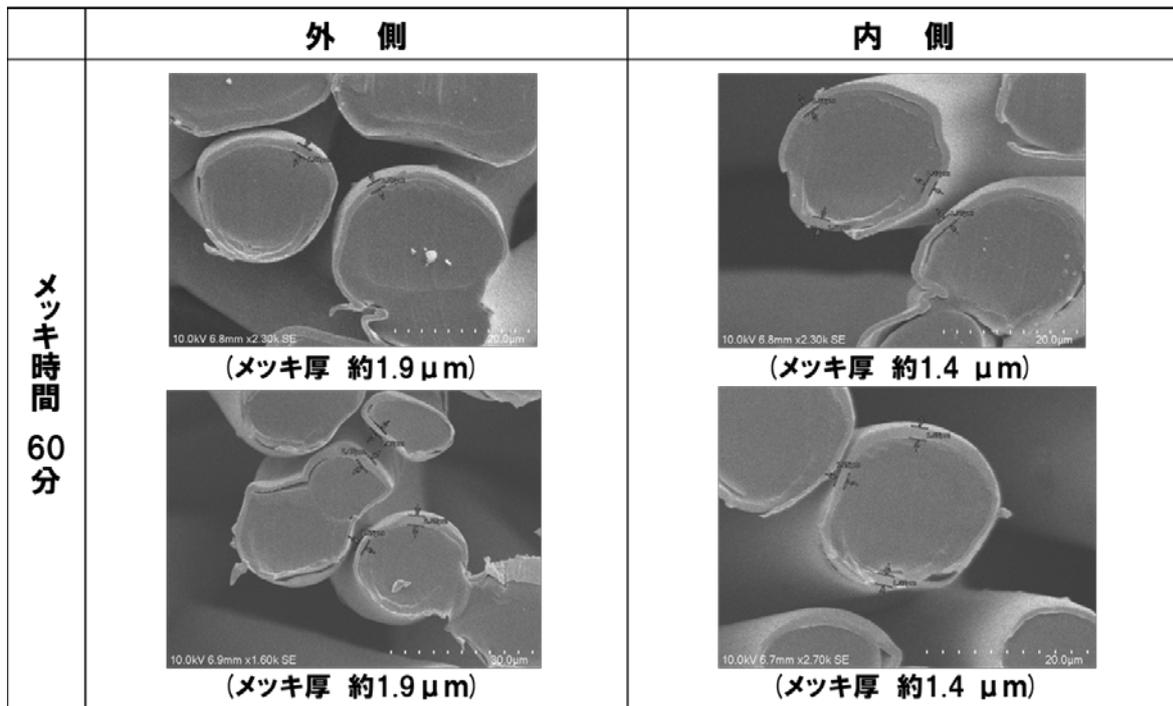


図8 Y社でメッキした不織布の繊維断面

また、図9は Y 社のメッキ不織布を複数枚重ねて磁界シールド性能を測定した結果である。

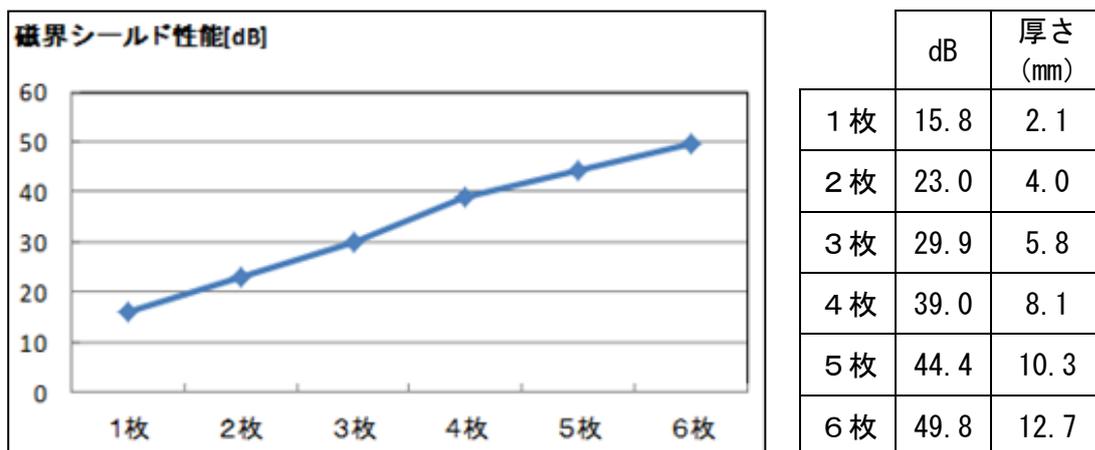


図9 メッキをした不織布成形品の重ね枚数と磁界シールド性能測定結果

メッキ不織布を4枚重ねると、目標の 30dB の性能を満たすことが出来た。

②原綿およびウェブへのメッキ

成形した不織布を重ねるのは現実的に難しい為、不織布の厚みやメッキ厚等で工夫が必要である。そのため、原綿またはウェブにメッキし、ウォータージェットで高目付な不織布を成形するか、高目付な不織布にメッキまたはメッキ厚を厚くする検討を行うこととした。まずは、原綿へのメッキを検討した。しかし、図10に示すようにメッキをした原綿をカード機に通したところ、カード機には剥がれ落ちたと思われるメッキ片が多数落ちていた。これは、カード機のローラーにニードルが付いており、そのニードルが当たるときの衝撃により、メッキが剥がれたと考えられる。



図10 原綿にメッキをし、カード機に3回通した後のカード機の受け皿の様子

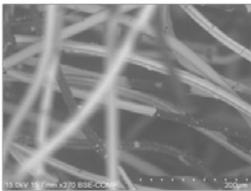
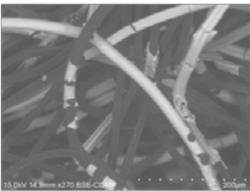
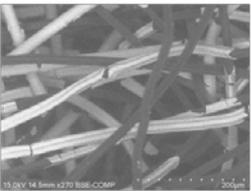
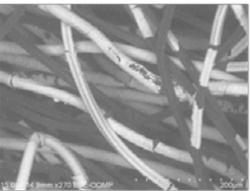
	カード3回	カード3回+WJ	カード6回+WJ	カード8回+WJ
明るい箇所				

図11 メッキをした原綿をカードに通した後のSEMによる繊維表面の観察結果
 (図中「WJ」は「ウォータージェット」を意味する)

メッキした原綿はカード機に3回通しており、図11に示すようにメッキの剥がれが確認された。そこで、次はウェブへのメッキを検討した。ウェブへのメッキはすでにカード機に3回通した後にメッキをしており、メッキ後のカード工程は一回のみで良いため、メッキの剥がれが最小限に抑えられるのではないかと考えた。



図1 2 ウェブにメッキをし、カード機に1回通した後のカード機の受け皿の様子

図1 2のようにウェブへのメッキは原綿にメッキした時と比べて、メッキ剥がれが少なかった。

ここで、ウェブへのメッキがどれほどの電磁波シールド性能があるのかを確認するため、電磁波シールド性能の測定を行った。図1 3がその結果であるが電磁波シールド性能はほとんど得られなかった。電磁波シールド性能が低かった原因は、カード機に繊維を通す工程でメッキが剥がれたこと、そして、メッキ時に無メッキ部分があったことが理由として考えられる（図1 6参照）。

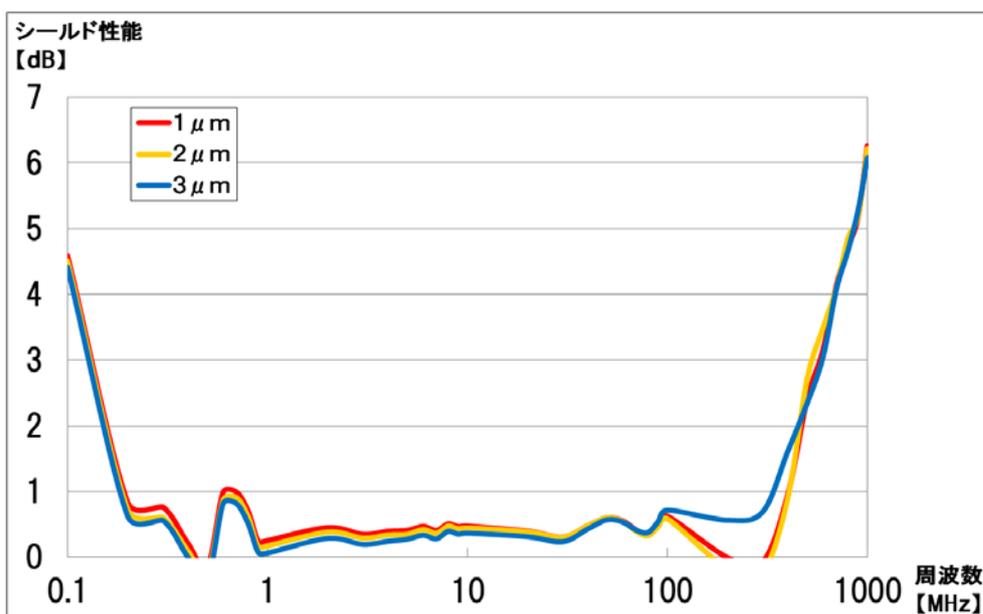


図1 3 メッキをしたウェブの磁界シールド性能測定結果



図14 ウェブ



図15 メッキ時のイメージ



図16 メッキをしたウェブ

図15のようにウェブをネットに入れウェブにメッキをしたが、メッキ液の水圧でウェブが凝集し、中までメッキ液が侵入せず内部がメッキされなかった。ウェブへのメッキは特性が上げにくく、メッキ業者でメッキしづらいため、成形品へのメッキの方向で検討した。

③成形品へのメッキ

成形品のメッキは、不織布へのメッキに取り組み始めた当初に行っており、メッキ不織布を複数枚重ねることで目標値を達成することは分かっていたが、立体形状の場合複数枚重ねるのは技術的に難しいため、高目付の不織布にメッキまたはメッキ厚を厚くする検討を行うこととした。まずは、メッキ厚を厚くする検討を行った。目付200g/m²の不織布成形品に無電解メッキを60分、90分、120分、180分とつけていき、シールド性能を測定した。

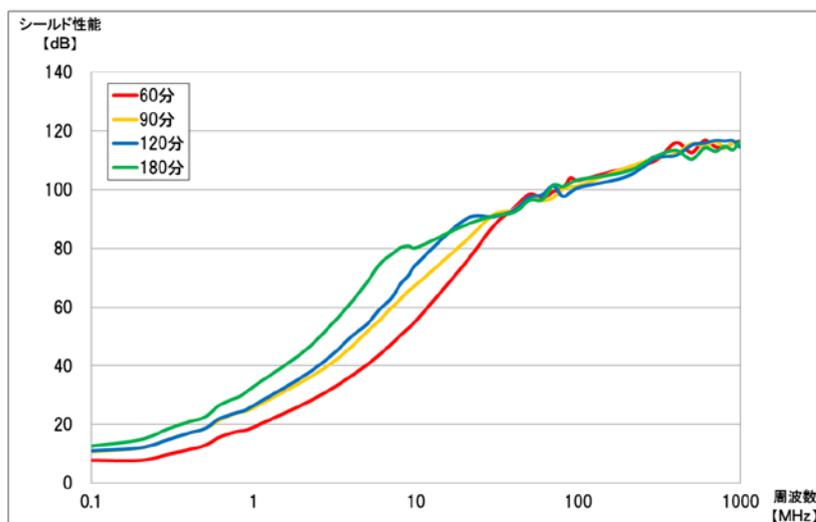


図17 無電解メッキ時間を変えたメッキ不織布の磁界シールド性能測定結果

【公開版】

図17が電磁波シールド性能の測定結果である。目標値は300kHzで30dB以上であるが、無電解メッキ時間を180分の場合でも300kHzで18.7dBだった。

図18は、無電解メッキ時間を180分でメッキをした不織布の繊維の断面である。メッキ厚は最大2.5 μ である。

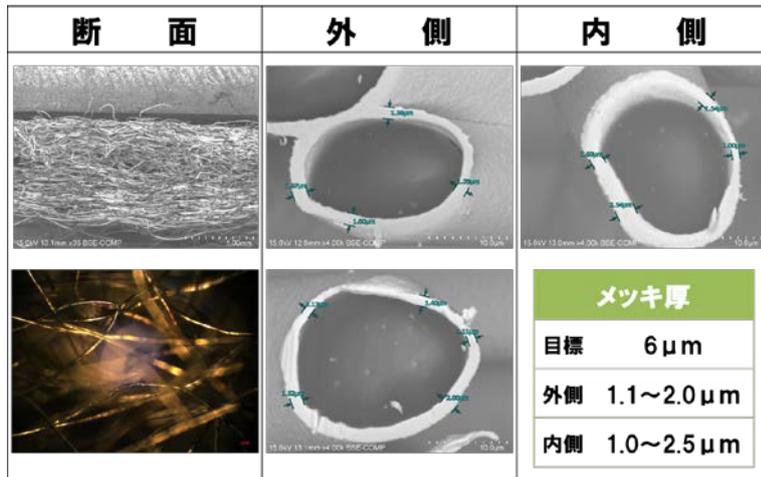


図18 無電解メッキ時間180分の不織布の繊維断面

メッキを行った会社によると、無電解メッキは厚付けに向いておらず、時間ばかりかかるとのこと。電解メッキは厚付けに向いており、低コストとのことで、電解メッキを行った。

図19が無電解メッキ後、電解メッキの目標メッキ厚を増やしたメッキ不織布の磁界シールド性能測定結果である。

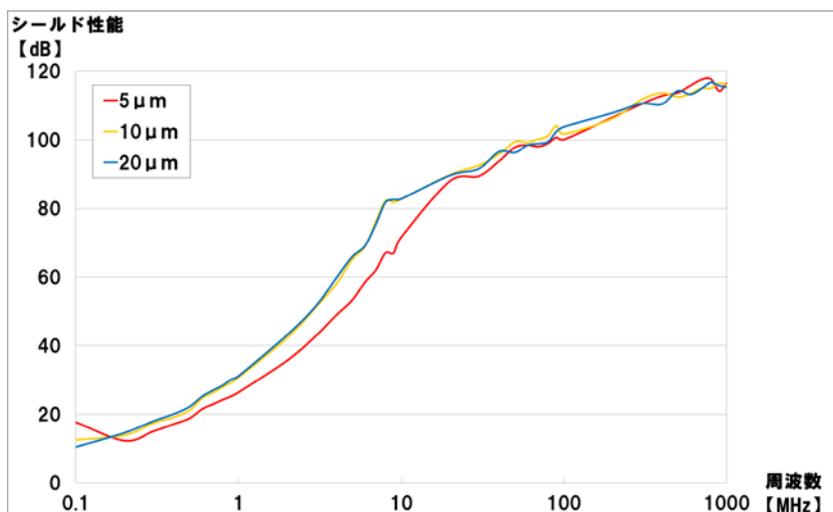


図19 無電解メッキ後、電解メッキをした不織布の目標メッキ厚と磁界シールド性能測定結果

【公開版】

板厚換算ではあるが、 $20\mu\text{m}$ のメッキ厚を目標としてメッキを行った不織布の磁界シールド性能は 300kHz で 18.0dB であった。

また、図20は無電解メッキを90分後、メッキ厚 $20\mu\text{m}$ 目標で電界メッキをした不織布の繊維断面である。メッキ厚は最大 $2.3\mu\text{m}$ であった。

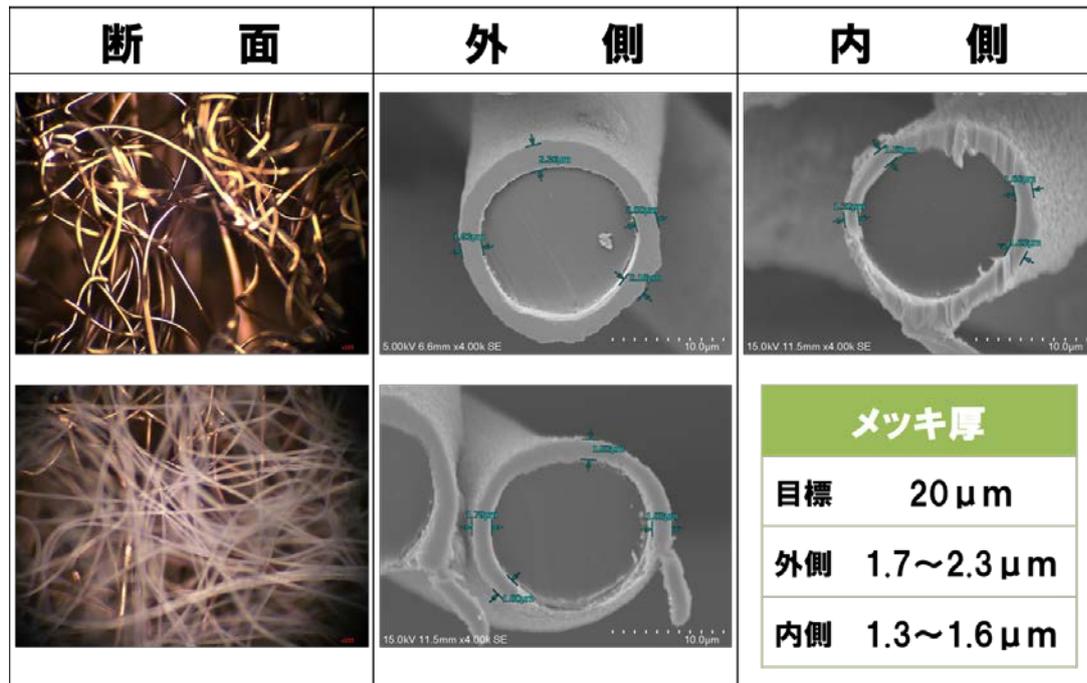


図20 無電解メッキを90分後、メッキ厚 $20\mu\text{m}$ 目標で電界メッキをした不織布の繊維断面

以上のように、電解メッキでメッキの厚付けを狙ったが、メッキ厚、電磁波シールド性能ともに無電解メッキのみの場合とほぼ同じであった。

無電解メッキ、電解メッキともにこれ以上のメッキは時間・コストの観点からも難しいため、不織布成形品の目付を増やすことで、メッキ量を増やし、電磁波シールド性能を上げる取り組みを行った。具体的には、目付 400 、 600 、 $800\text{g}/\text{m}^2$ の不織布に、無電解メッキ・電解メッキを行い、双方で最適なメッキ時間でメッキを施した。この時、目付ごとに厚みが一定になるように電流密度を変えた。図21に 400 、 600 、 $800\text{g}/\text{m}^2$ の不織布にメッキをしたサンプルの磁界シールド性能測定結果を示す。

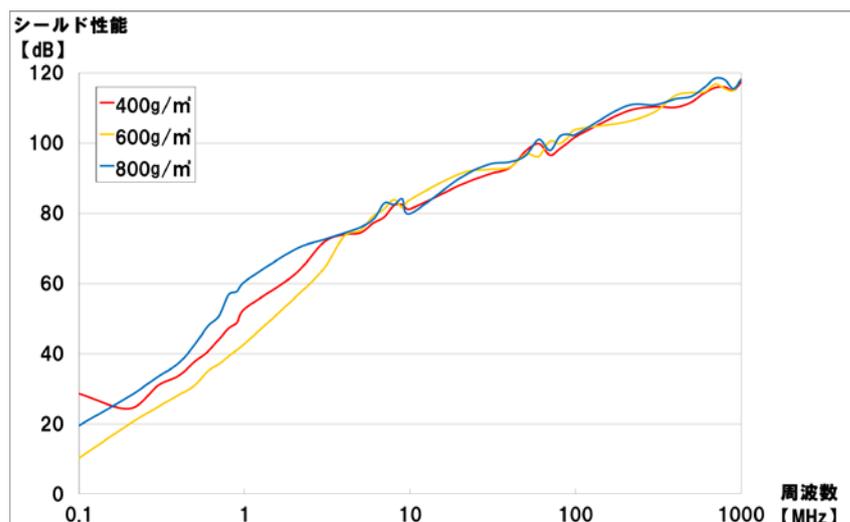


図2 1 400、600、800 g/m²の不織布にメッキをしたサンプルの磁界シールド性能測定結果

電界シールド性能はどの目付の不織布も 300kHz で 60dB 以上であった。磁界シールド性能は N 数 1 だが、300kHz で、400、600、800g/m²の不織布がそれぞれ 18.0、30.9、24.8、33.4dB であった。

また、サンプル内でのメッキのバラつきを考慮し、一つのサンプルで7か所測定した結果を表2に示す。

表2 200、400、600、800 g/m²の不織布にメッキをしたサンプルの磁界シールド性能測定結果

	金属 付着量 (g)	磁界シールド性能(dB)		メッキ厚み (μ m)	不織布厚み (mm)
		at 300kHz	at 500kHz		
200g/m ²	16.4	18.0	22.2	1.3~2.3	1.5
400g/m ²	21.7	25.9	33.7	1.5~4.4	3
600g/m ²	22.6	25.2	33.1	0.0~4.6	4.5
800g/m ²	27.4	30.7	39.3	0.0~4.3	5.5

800目付のメッキ織布は、300kHz、500kHz とともに目標の電磁波シールド性能 30dB 以上を満足していたため、この条件のメッキ不織布で川下企業にて測定していただくこととなった。評価用形状については、今回はサイズが大きいため、評価用形状そのものを作製できない。平面を評価用形状に貼り付けることで、評価用形状にて評価する。

④客先評価用メッキ不織布の電磁波シールド性能

不織布のサイズが変わるとメッキの条件を再検討する必要があるため、前回の条件と同じ15cm×15cmのサイズの不織布にメッキをした。評価用形状を覆うため、それらを28枚製作し、それぞれの電磁波シールド性能を測定した（表3参照）。

表3 目付800g/m²のメッキ不織布の磁界シールド性能測定結果

項番	300kHz (dB)	500kHz (dB)	メッキ前 (g)	メッキ後 (g)	付着量 (g)
25-1	30.7	39.3	16.1	43.5	27.4
26-24	30.6	42.7	15.7	45.5	29.8
26-33	29.4	39.5	16.1	40.5	24.4
26-22	25.5	34.3	15.7	43.7	28.0
26-16	25.3	33.5	16.9	36.4	19.5
26-1	24.6	33.3	15.6	45.9	30.3
26-17	24.0	31.6	16.1	35.3	19.2
26-14	23.4	30.6	15.7	35.2	19.5
26-32	23.0	30.6	15.2	38.7	23.5
26-29	23.1	30.4	15.8	46.5	30.7
26-30	23.1	29.9	15.7	41.9	26.2
26-31	21.7	29.1	16.0	38.4	22.4
26-18	21.3	28.9	16.6	36.5	19.9
26-25	19.5	26.9	15.1	38.8	23.7
26-2	18.3	25.9	16.1	47.3	31.2
26-27	18.4	25.3	16.0	41.8	25.8
26-28	18.3	24.8	17.3	43.9	26.6
26-23	17.7	23.9	15.7	45.0	29.3
26-4	16.2	22.4	15.6	37.1	21.5
26-8	14.3	22.0	16.5	38.6	22.1
26-11	15.0	21.4	16.7	40.0	23.3
26-12	15.0	20.6	15.7	36.6	20.9
26-3	13.9	19.8	16.1	38.0	21.9
26-26	13.3	18.3	15.8	35.1	19.3
26-6	10.6	14.8	15.3	42.1	26.8
26-9	9.4	13.9	15.7	36.2	20.5
26-5	8.7	12.8	15.6	38.9	23.3
26-7	8.0	11.8	16.6	37.4	20.8
26-10	5.1	7.7	16.6	39.7	23.1
平均値	18.9	25.7	16.0	40.2	24.2
R(最大値-最小値)	25.59	34.99	2.20	12.20	12.00

【公開版】

以前、目付 200、400、600、800g/m²の不織布にメッキをしたときは、800g/m²のメッキ不織布の磁界シールド性能は、図2.2の赤い点で示したように 300kHz で 30.7dB だったため、今回作製した 28 枚のメッキ条件も同等の性能が得られると想定していたが、磁界シールド性能は 300kHz で 30dB に届かないサンプルが大半であった。性能が低かったのはメッキの付着量が少なかったからではないかと考え、メッキ付着量とシールド性能の相関性を確かめた（図2.2参照）が、あまり相関性があるようには見受けられなかった。

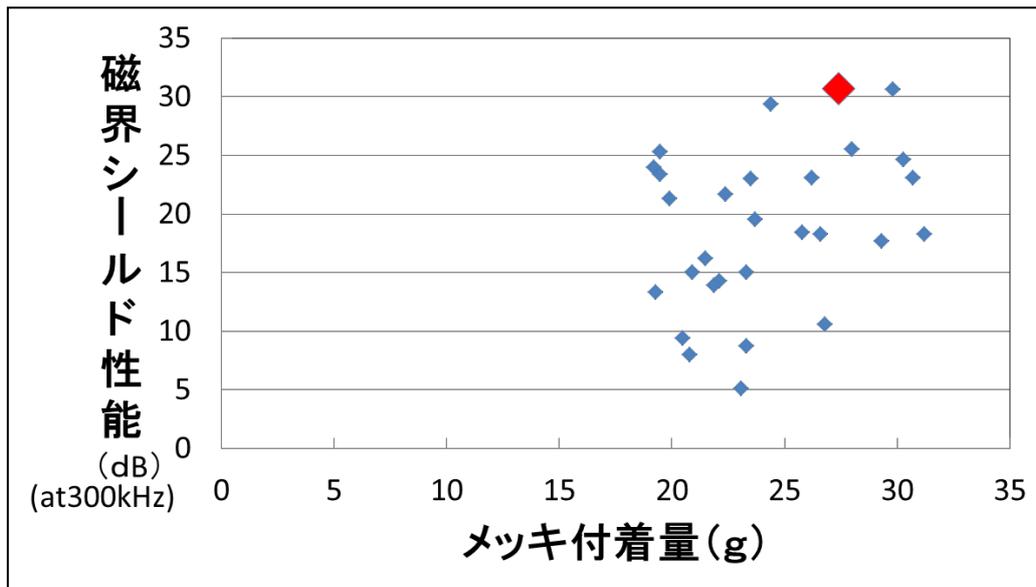


図2.2 目付 800g/m²のメッキ不織布 28 枚のメッキ付着量と磁界シールド性能の関係

サンプル一つの中で場所によりメッキの付着量がバラついているのではないかと考え、一つのサンプルで7か所測定したところ、測定箇所によるバラつきがあり、またメッキ付着量が極端に少ないわけでもないにも関わらず、7か所すべてで性能が低いサンプルもあった（表4参照）。原因をメッキ会社に聞いたところ、メッキ時、不織布が膨張するが、その程度に個体差があり、その個体差がメッキの浸透具合の個体差として影響し、結果として、シールド性能とメッキ量に相関が見られなかったのではとのことであった。

表4 測定箇所によるバラつき調査

【測定箇所によるバラつき調査】											測定箇所： ***** 1 2 3 7 4 5 6 *****	
磁界シールド性能結果 (dB)												
項番	周波数	1	2	3	4	5	6	7-1	7-2	平均値	標準偏差	変動係数
25-1	300kHz	32.3	31.2	34.5	29.8	27.7	29.2	30.3	-	30.71	2.1	0.07
26-1	300kHz	14.3	14.4	13.9	15.8	16.6	16.7	24.6	25.2	17.69	4.3	0.24
26-10	300kHz	10.0	8.2	8.7	7.7	8.5	10.7	6.3	5.1	8.15	1.7	0.21
26-24	300kHz	26.8	23.1	21.1	17.1	15.3	13.9	30.6	23.3	21.40	5.4	0.25

図23に示すように、メッキ不織布の電磁波シールド性能について、川下企業からは、他社の軽量シールド材と比しても高い評価を頂き、開発段階での目標は達成した。事業化に向けては、電磁波シールド性能のバラつき極小化を検討していく。

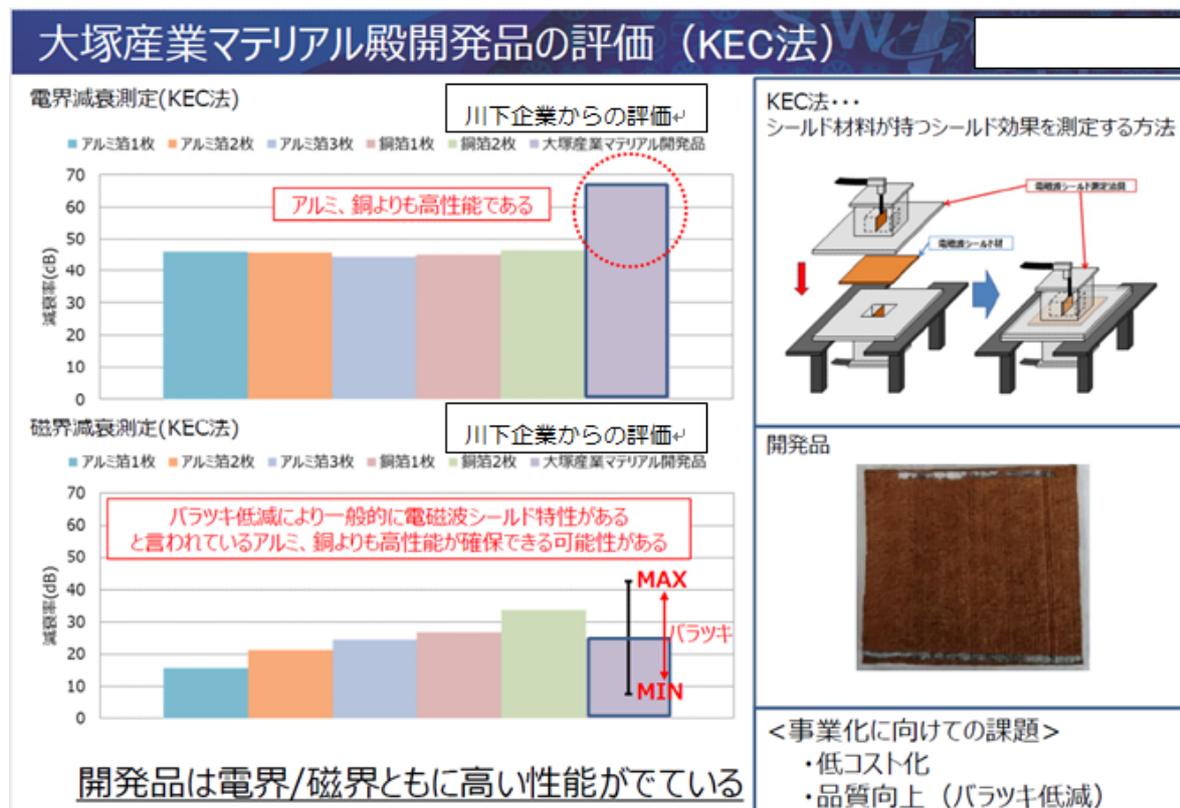


図23 川下企業からの評価

2-2 開繊・混綿（混紡）・ウェブ形成（均一化）

電磁波をシールドするため、導電性のある金属繊維とPET繊維を用い、カード機で混綿し、ウェブと呼ばれる成形前の不織布を作った（図24）。



図24 ウェブ作製のイメージ図

その結果、表5のようにカード3回の後、重量を測定すると、金属繊維の50%程度はカード機から脱落するという課題が出た。

表5 繊維の脱落量

(Cu1枚68.5g PET1枚9.9g)

PET : Cu	カード前		カード1回後		カード2回後		カード3回後	
	重量(g)	脱落率	重量(g)	脱落率	重量(g)	脱落率	重量(g)	脱落率
1 : 2	146.9	0%	110.8	25%	92.6	37%	75.0	49%

そこで、細長い繊維であれば繊維同士の絡まりが良くなり、混綿しやすいのではないかとこの考えのもと、繊維径が20 μ m、30 μ m、40 μ mのものでウェブ形成した。結果は表6の通りである。

表6 細い繊維を用いた時の繊維の脱落量

脱落率(%) 銅金属繊維+混合 (表中右下はカード3回後の目付(g/m²))

PET/Cu	1/0.5	1/1	1/2	1/2.5
繊維径(μ m)				
20	50% (360)	45% (702)	54% (1022)	75% (836)
30	47% (342)	59% (627)	74% (707)	69% (969)
40	37% (453)	51% (644)	48% (1058)	59% (1338)

結果として、繊維径が違って脱落率に顕著な違いは見られなかった。

しかし、この問題等を解決すべく、PET 繊維に銅メッキを施したメッキ繊維を検討した。PET 繊維をウェブにした後、メッキを行う工法により、繊維が折れる問題を解決した。

2-3 電磁波シールド材の評価（吸音性能の評価）

電磁波シールド性能については、上述の通り、サンプルによってバラつきがあるが、目標値を達成したサンプルのみ集めることで技術的には電磁波シールド性能は満足できる。

吸音性能については、400、600、800g/m²のメッキ不織布およびメッキをしていない800g/m²の不織布の吸音率を滋賀県立大学にある吸音率測定装置を用いて測定した。結果は図25の通りである。目付が増えると吸音率が向上することが確認できた。これは目付の増加に伴い不織布の厚みが増加したためと考えられる。また、メッキの前後で吸音率はほとんど変わらないことが分かった。メッキにより重量が増すと吸音率は向上する要因となるが、メッキ後の不織布は厚みが薄くなり吸音率が低下する要因となるため、この二つの要因が相殺して、メッキの前後で吸音率がそれほど変化しなかったのではないかと考えられる。測定の結果、800g/m²の不織布は、周波数 3150Hz 以上で 0.3 以上の吸音率であった。一般的に不織布は金属板に比べて高い吸音率があると言われており、本開発品も一般的な不織布と同等である。

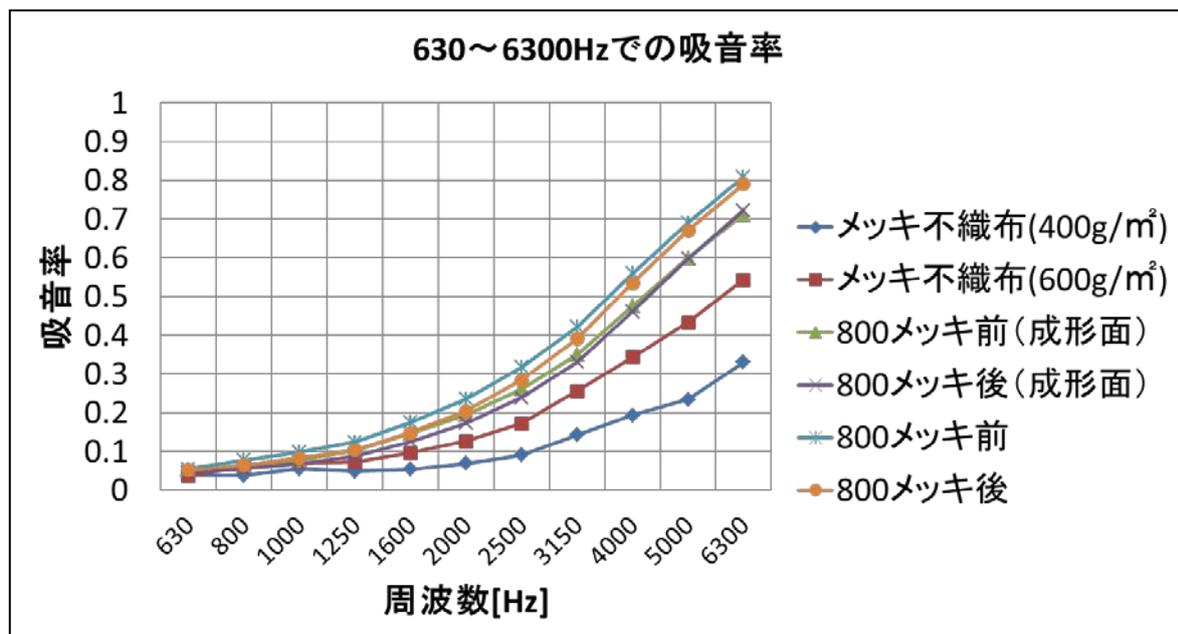


図25 不織布およびメッキをした不織布の吸音率測定結果

2-4 金型の工法、形状の検討

①3Dプリンタ導入によるメッシュ型の製作

ウォータージェットによる成形の工程では、立体形状のメッシュ型の上にウェブをのせ、その上からウォータージェットをあてて、成形する。当初、メッシュ部分は金網を貼り合せていたが、金網を貼り合せた結合部分や金網線交差部に繊維が引っかかるという課題があったため、3Dプリンタを導入し、当社でメッシュ部分を作成した。これにより、図26に示す通り線の交差がなくなり、課題は解決された。

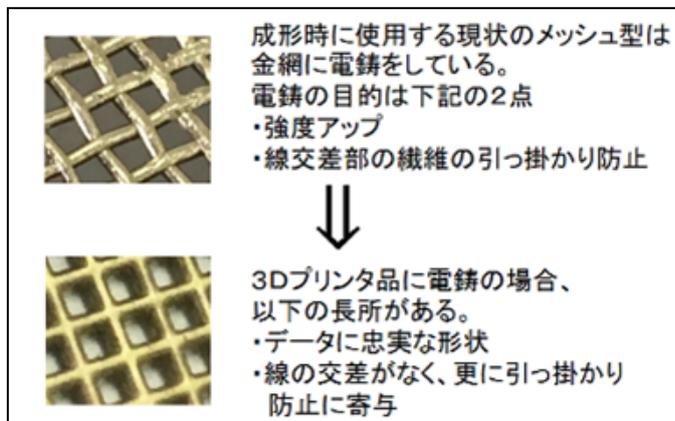


図26 3Dプリンタ導入によるメッシュ型の製作

②メッシュ線径、間隙の検討

図27に示す 50×50×20mm の箱型メッシュを作成し、図28に示す通り、線径、間隙等の条件を検討した結果、メッシュの線径 0.5mm 以上、メッシュの間隙は 0.7~1.5mm に選定した。以上により、メッシュ型の基礎的な条件は確立された。

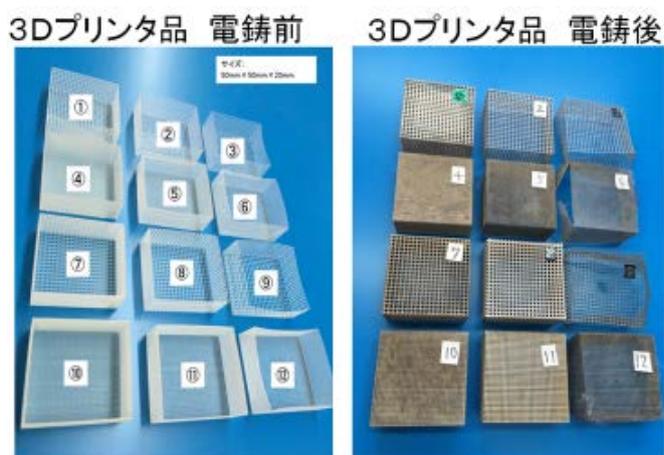
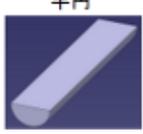


図27 メッシュ条件検討用の箱型メッシュ

①	線断面	メッシュ	線径	間隙	電鍍面	電鍍1回目	電鍍2回目	結果			
①	半円	10	Φ 1.0mm	1.54mm	内側片面	時間	時間	内容	○	①	
②			Φ 0.5mm	2.04mm		3	10	⑦と同等の硬さ	○	②	
③			Φ 0.3mm	2.24mm		3			×	③ 強度不足	
④			Φ 1.0mm	0.27mm		3				×	④ 目詰まり
⑤		Φ 0.5mm	0.77mm	3				○	⑤		
⑥	円	20	Φ 0.3mm		全面	3			×	⑥ 強度不足	
⑦			Φ 1.0mm			3		基準	○	⑦	
⑧			Φ 0.5mm			3	24	⑦と同じ線径	○	⑧	
⑨			Φ 0.3mm			3				×	⑨ 強度不足
⑩		20	Φ 1.0mm		全面	3			×	⑩ 目詰まり	
⑪			Φ 0.5mm			3	3	ハードな電鍍	○	⑪	
⑫			Φ 0.3mm			3				×	⑫ 強度不足

・線径0.3mmは強度不足
 ・間隙が0.27mmではウォータージェットが型を通過できず、繊維が交絡しない。
 (40メッシュでも確認済み) よって、間隙は0.7mm～1.5mm程度が良い

図28 メッシュ条件検討結果

2-5 ヘッド部小型化

ウォータージェット不織布成形装置導入前に試作を行った結果、ウォータージェットヘッドをメッシュ型に接近させるためには、ウォータージェットヘッドの小型化をする必要があった。図29および図30に示すように、ウォータージェットヘッドを50%以上小型化(43%に小型化)することができた。

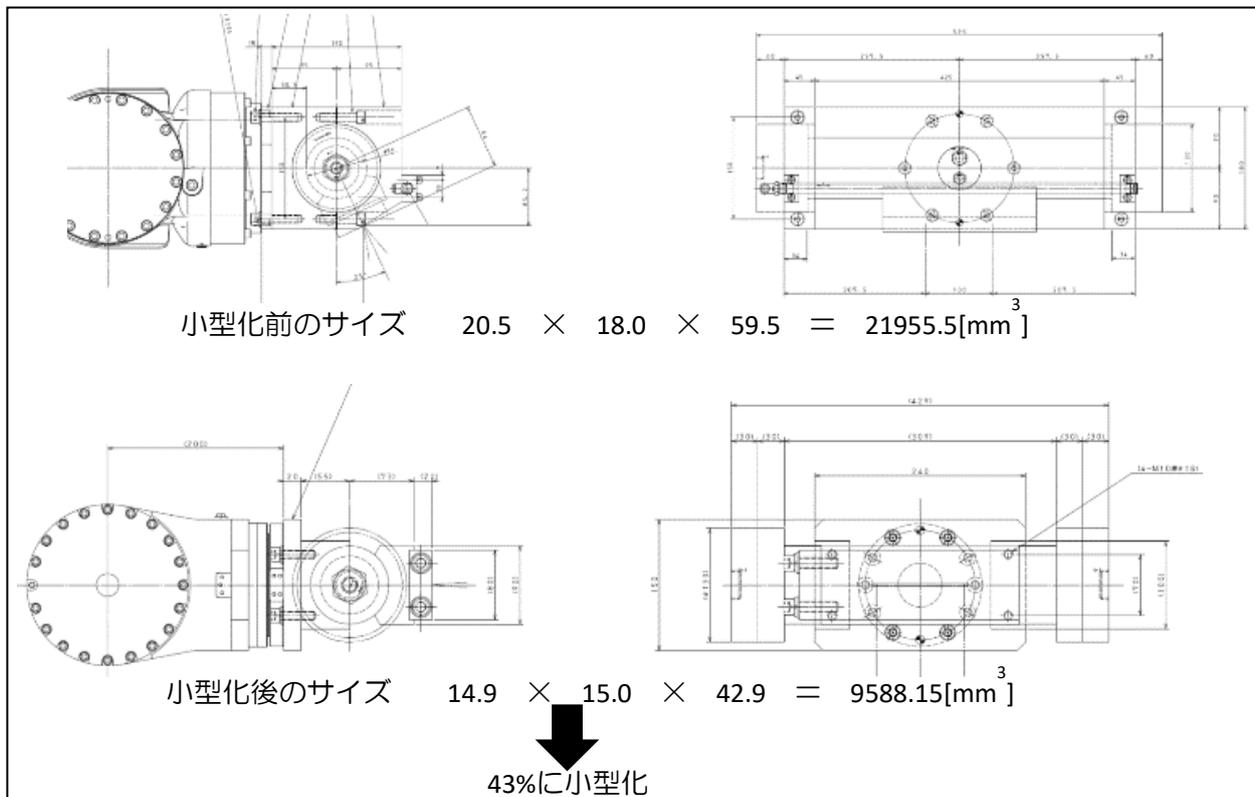


図29 ヘッド部小型化(設計図)

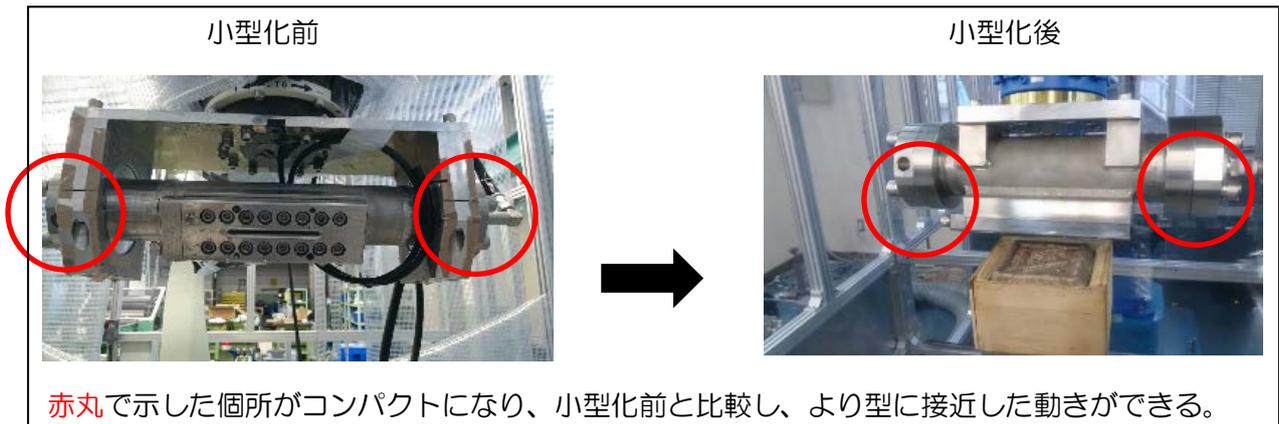


図30 ヘッド部小型化（実施前と実施後の比較）

2-6 交絡条件の検討

本テーマは成形工程の交絡条件の検討である。



図31 メッシュ型と成形の様子

図31の15cm×15cm×2cm程度のメッシュ型で試作した結果、下記図32【現状】のように型の側面傾斜部で不織布が薄いという課題があった。

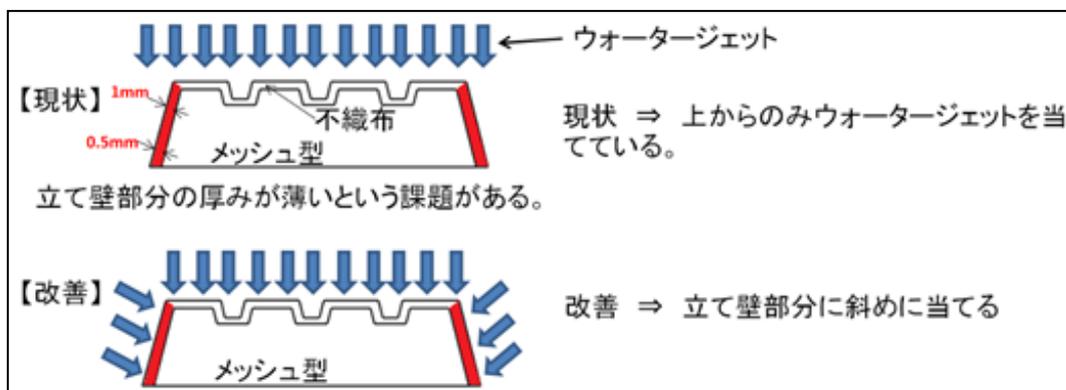


図32 15cm×15cm×2cm程度のメッシュ型による交絡条件の検討

そこで図32【改善】のように側面傾斜部に斜め上からウォータージェットをあてたが、下記図33のように不織布に偏りが見られた。

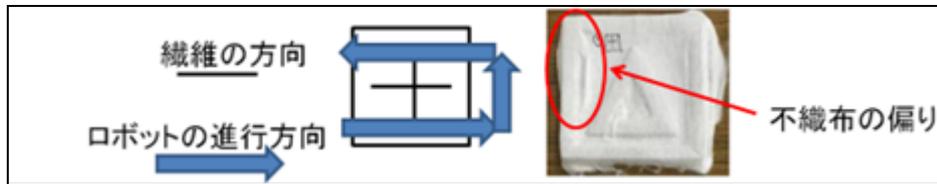


図33 不織布の偏り

ウォータージェットを当てる角度によって不織布の厚みがどのように変化するか検討したかったが、図31のメッシュ型は型の高さが低いため、型の高さ方向で不織布の厚みがどれほど違うかを確認するには適していない型だった。そこで、図34に示す型の高さを増した、高さ10cmの型を作製した。

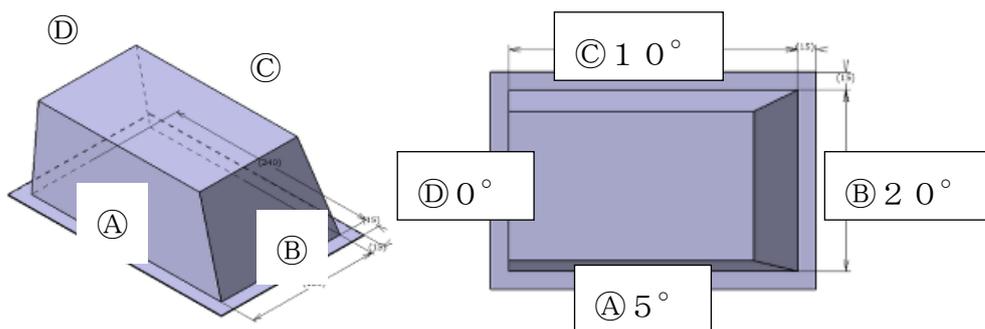


図34 交絡条件検討用の台形メッシュ型

不織布を均一な厚みに成形するための条件を確認するため、以下の実験を行った。型は傾斜角が異なる4つの側面（A、B、C、D）を有している。その面に対して、斜め上30度、45度、60度の角度からウォータージェットを当て、不織布の厚みを高さ方向の①、②の2か所測定し、不織布の均一性を確認した（図35参照）。

成形条件

不織布の目付	200g/m ²
面との距離	5cm
水圧	5MPa、10MPa
移動速度	10cm/s
材サイズ	30cm×30cm

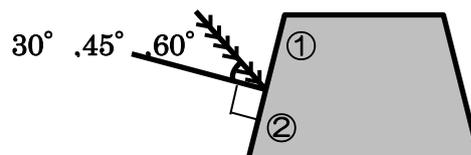


図35 成形条件

成形条件の検討結果を表7および図36に示す。

表7 面の傾斜角度、面に対して垂直からの角度、不織布厚(単位:mm)の関係(水圧 5MPa)

		A面(傾斜 5°)		B面(傾斜 20°)		C面(傾斜 10°)		D面(傾斜 0°)	
		①	②	①	②	①	②	①	②
面に対して垂直からの角度	30°	2.2	2.5	1.4	1.7	1.4	1.6	2.0	2.2
	45°	2.3	2.8	2.5	2.5	2.7	2.7	2.5	2.5
	60°	2.5	2.5	成形不良		2.3	2.7	2.9	2.9

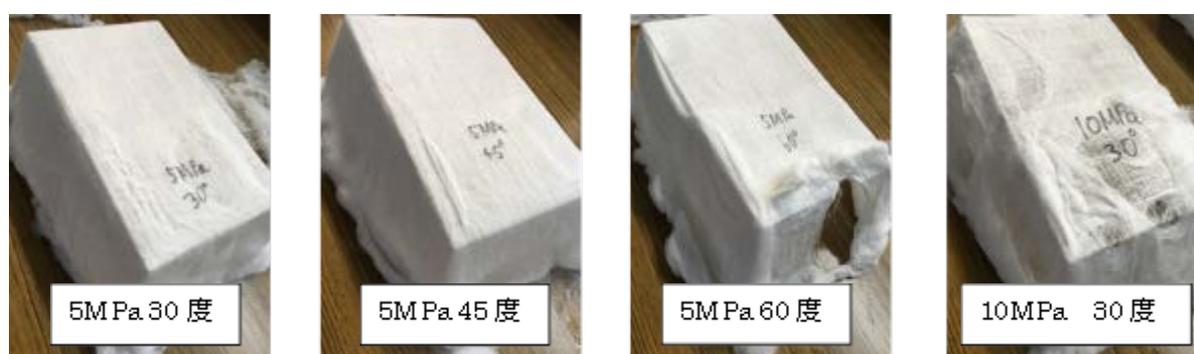


図36

結果として以下の事が言える。

- 傾斜が0度のとき、面に対して、45度～60度で当てると、均一な不織布となる。
- 傾斜が5度のとき、面に対して、60度で当てると、均一な不織布となる。
- 傾斜が10度、20度のとき、面に対して、45度で当てると、均一な不織布となる。
- 面の傾斜が20度で、面に対して60度以上の角度で当てると、成形できない
(水平から80度以上の場合ともいえる)
- 今回の型のように傾斜がきつい型は、水圧 10MPa だと不織布が不均一になるので、水圧は5MPa くらいがよい

以上より、目付の 200g/m²の不織布の成形条件を検討した結果、型の傾斜面に対して、ウォータージェットを当てる適切な角度があると分かった。

しかし、目付を 200g/m²、400g/m²、600g/m²、800g/m²と増やしていき、成形が可能か確認した結果、現状設備では 600g/m²以上は不織布の裏側が成形できていなかった。

これまでの取り組みから、電磁波シールド性能の目標値を達成するためには、高目付な不織

【公開版】

布を成形する必要があるとの判断に至り、ウォータージェット成形機の水圧上限を 20MPa から 35MPa に改造した。まずは平板にて高目付不織布を成形するための条件を検討した。表8の通り、パラメータを検討し、表9の通り、成形条件を決定した。

表8 平板での成形条件のパラメータ

目付	800g/m ²
メッシュ	10 or 20
水圧	1~35(可変)
ロボット移動速度	5 or 20 or 100mm/s

表9 平板にて決定した成形条件

目付	800g/m ²
メッシュ	10
水圧	5,10,35,35,35
ロボット移動速度	100mm/s

平板での成形条件が決定したので、実用的な成形条件を決定するために立体形状での成形条件の検討を行った。立体形状での成形条件の検討は、既存立体型で行った。

まずは、図37のように側面の傾斜角度がそれぞれ異なる立体形状の型を用意し、その型の面に対して垂直から 30° の角度で水流を当て、成形した。

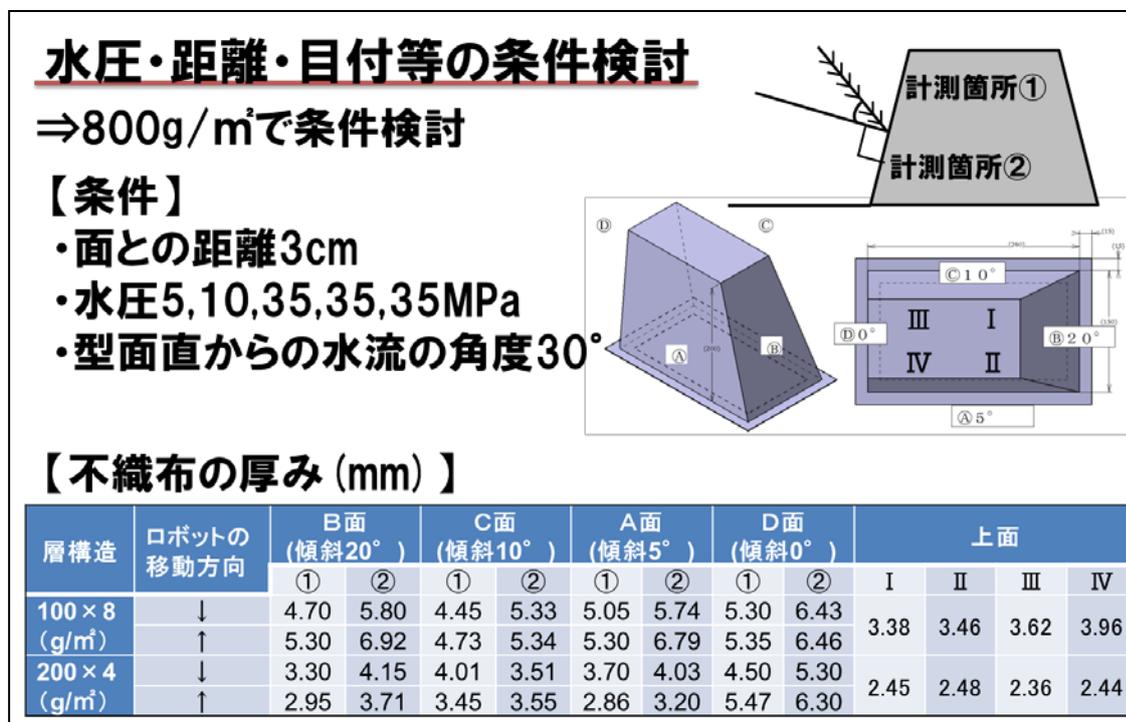


図37 型面直からの水流の角度 30° で成形した不織布の厚み測定結果

成形後厚みを測定したところ、それぞれの面の上側よりも下側の方の不織布が厚いことが分かった。そこで、不織布の厚みを均一にするために型面直からの水流の角度 0° を図38の通り、検討した。

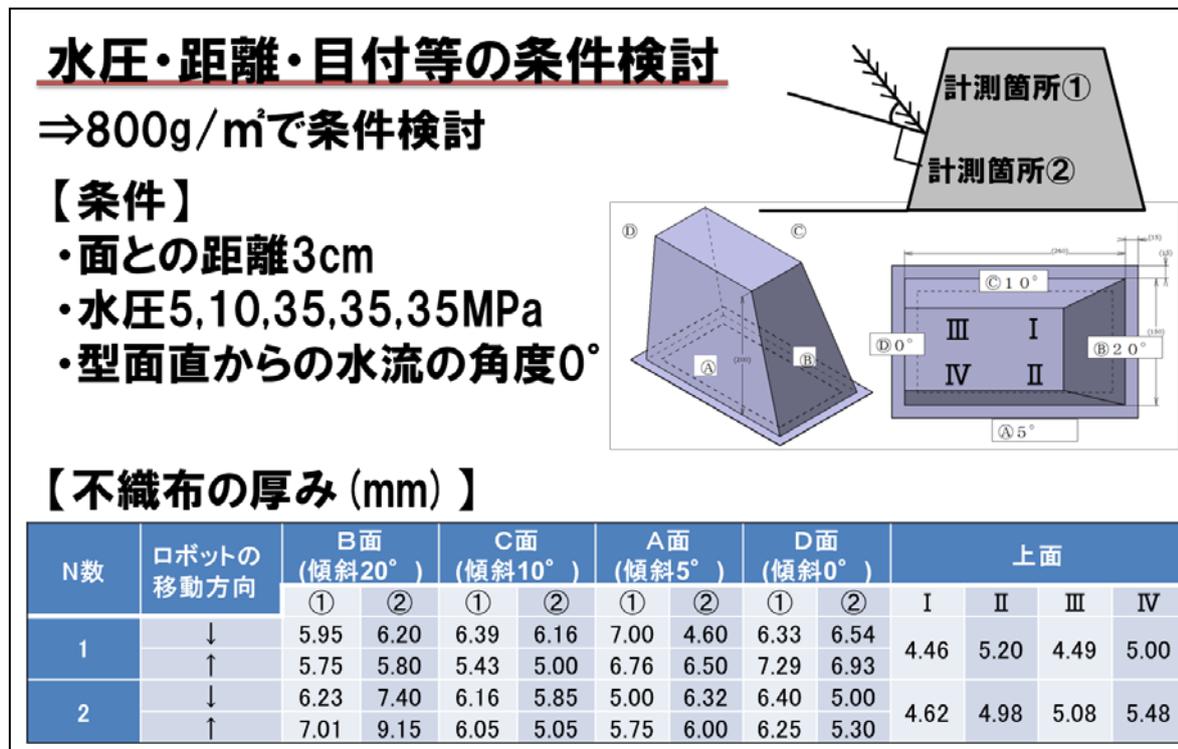


図38 型面直からの水流の角度 0° で成形した不織布の厚み測定結果

実験の結果、立体形状の成形では、型面直からの水流の角度 30° で外観の仕上がりの良い成形が可能となった。ただし、水流角度が 0° に近い方が厚み均一性の高いことを確認した。

2-7 乾燥条件の検討

ウォータージェット成形後の不織布の乾燥および不織布の形状固定化を目的として、乾燥を行い、その乾燥温度、ヒーターとの距離、風量を検討した。ヒーターとの距離は乾燥時間にそれほど影響せず、風量は最大にして、設定温度 400°C であれば、目付 200g/m^2 の不織布を $30\sim 60$ 秒程度で乾燥が可能となった。目付 800g/m^2 の乾燥条件は、 450°C 、 120 秒と決定した。

2-8 3次元形状化後の電磁波シールド材の評価

メッキ不織布の検討を行い、電磁波シールド性能の目標値を達成できた。具体的には、目付 800g/m²の不織布にメッキを施す方法で、無電解メッキ・電解メッキの双方で最適条件を見出した。その結果、電解シールド性能は 300kHz で 62.7dB、磁界シールド性能は 300kHz で 30.7dB となり、周波数 300kHz で 30dB の磁界シールド性能という目標値も達成できた。

電磁波シールド結果について、川下企業からは高い電磁波シールド性能であるとの評価を頂いている。複数枚のサンプルを作製したところ、サンプルによって電磁波シールド性能にバラつきがあるが、目標値を達成したサンプルのみ集めることで電磁波シールド性能は満足できる。今後、サンプルごとの電磁波シールド性能のバラつきを小さくする検討を行っている。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

本研究開発により、以下の成果が得られた。

- ①メッキ繊維の評価検討については、目付 $800\text{g}/\text{m}^2$ の不織布に無電解メッキ後、電解メッキをすることで、磁界シールド性能は 300kHz で 30.7dB 、電解シールド性能は 300kHz で 62.7dB となり、目標としていた 300kHz で 30dB 以上という電磁波シールド性能を達成できた。
- ②立体形状の成形では、型面直からの水流の角度 30° で外観の仕上がりの良い成形が可能となった。ただし、水流角度が 0° に近い方が厚み均一性の高いことを確認した。

3-2 研究開発後の課題

研究開発後の課題は以下の2点がある。

①電磁波シールド性能のバラつき抑制

複数枚のサンプルを作製したところ、サンプルによって電磁波シールド性能にバラつきがあった。目標値を達成したサンプルのみ集めることで電磁波シールド性能は満足できるが、今後、品質向上に向け、サンプルごとの電磁波シールド性能のバラつきを小さくする検討を行っていく。

②低コスト化

現段階では、現行のアルミ鋳物製と比較して、研究開発で作製したメッキ不織布の方が高コストである。事業化に向けては性能だけでなく、低コスト化も必要となる。

3-3 事業化展開

上記の課題等について川下企業と打ち合わせを行い、事業化を行っていく。

電磁波シールド材の市場規模は、自動車産業の市場規模と密接に関係している。自動車業界において高圧バッテリーを搭載するEV車、PHV車、ハイブリッド車は平成24年実績で120万台となっており、これは国内向け販売台数の3割を占める。今後も増産傾向にあり需要はますます伸びることが予想されている。当然ながら電磁波シールド材の需要も増加すると考えられることから、このような、市場に向けて事業化展開を行っていく。