

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電磁波制御 高次パターン織物の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人 科学技術交流財団

## 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	4
1.3. 成果概要	9
1.4. 当該研究開発の連絡窓口	9

### 第2章 本論

〈サブテーマ1〉 「高導電率／高透磁率金属加工織物の研究開発」	10
〈サブテーマ2〉 「共振型シールド織物の研究開発」	11
〈サブテーマ3〉 「フォトニック結晶織物の開発」	13
最終章 全体総括	14

## 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

○当該特定ものづくり基盤技術において達成しようとする高度化の目標

特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応。

(十四) 織染加工に係る技術に関する事項

1 織染加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(4) 自動車に関する事項

①川下製造業者等の抱える課題及びニーズ

ア. 高機能化

普及が進められている電気自動車では、電気駆動系システムで発生する電磁波の車両外への放射防止、又は車両内部部品への放射による影響を防止する為、特定周波数に対して効果的な設計が可能で、且つ各種部品に適用可能な加工性に優れた電磁波シールド材が望まれている。

②上記を踏まえた高度化目標

ウ. 導電特性や半導体特性、光学特性等により多様・高度な電気特性等をより簡便に付与するための織染技術の開発

金属材料そのものに代えて、軽量且つ強度に優れた合成繊維による織物をベースとする、電磁波シールド織物を開発する。

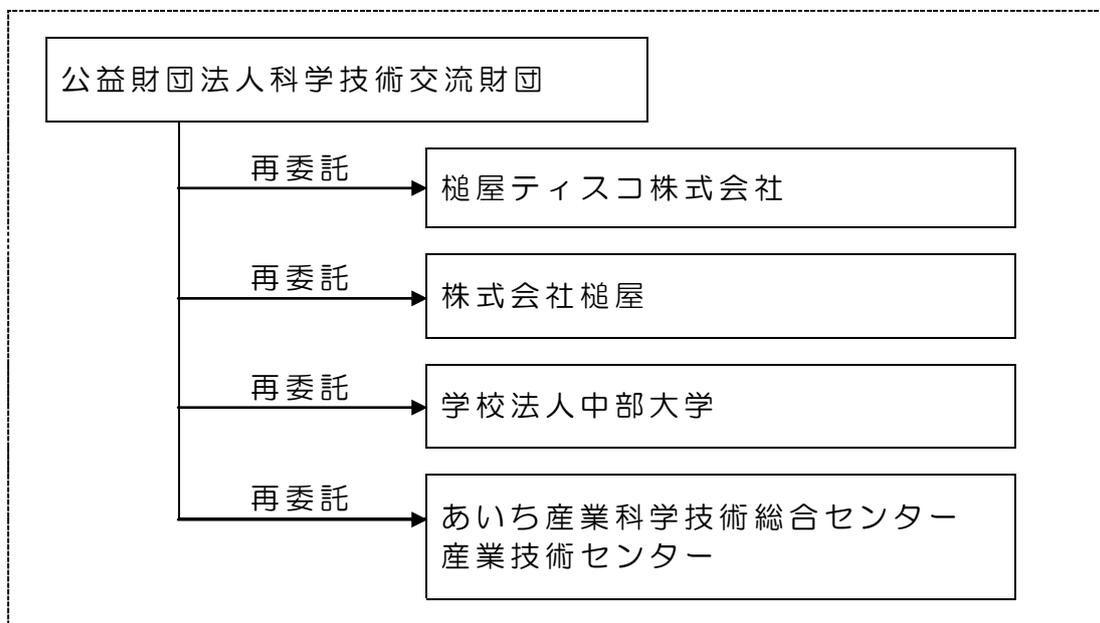
	従来技術	新技術
シールド特性	高周波におけるシールド効果は高いが、特に低周波においては不足する	500kHz～2GHz で、設定した周波数に対して-40dB 以上のシールド効果を得る
重量	金属主体のため重い	合成繊維主体とし、30%以上の軽量化を図る
加工性	切断や形状の賦与に特殊な設備を要する	形状追従性に優れ、容易に加工可能

## 1.2. 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

### (1) 研究組織及び管理体制

#### 1) 研究組織 (全体)



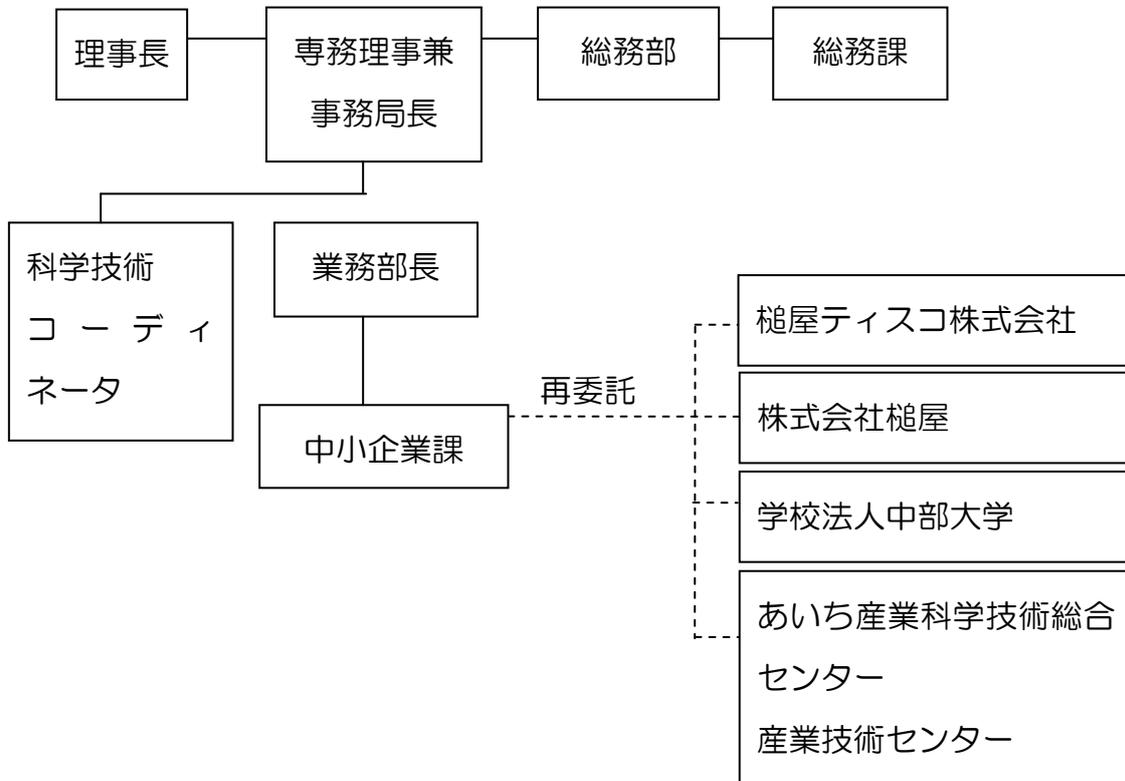
総括研究代表者 (PL)  
槌屋ティスコ株式会社  
商品開発室 室長 高見 肇

副総括研究代表者 (SL)  
株式会社槌屋 技術開発本部  
新製品開発センター  
副部長 林 宏明

## 2) 管理体制

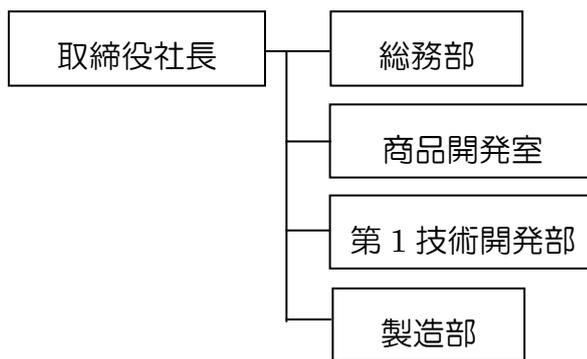
### ① 事業管理者

公益財団法人科学技術交流財団



### ② 再委託先

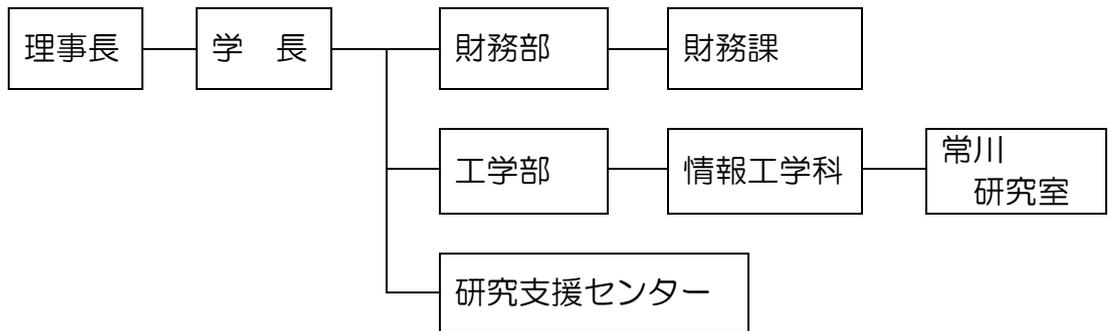
槌屋ティスコ株式会社



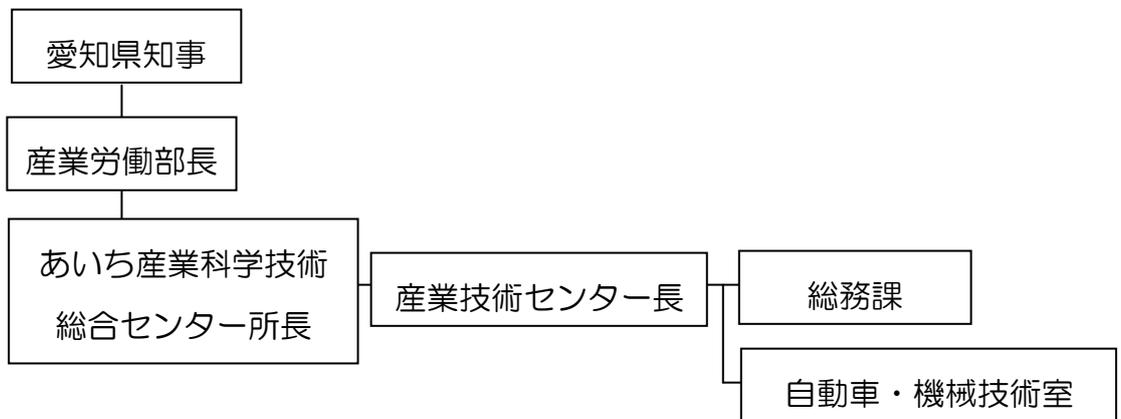
株式会社槌屋



学校法人中部大学



あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 公益財団法人科学技術交流財団

管理員

氏名	所属・役職
岩田 勇二	専務理事兼事務局長
出口 和光	業務部長
朝比奈 正	科学技術コーディネータ
富田 鋭司	科学技術コーディネータ
松本 茂	業務部中小企業課・課長
高橋 亜希子	業務部中小企業課

【再委託先】

研究員

槌屋ティスコ株式会社

氏名	所属・役職
高見 肇	商品開発室 室長
鹿島 美彰	商品開発室 課長代理
岡本 吉雄	第1技術開発部 担当
鬼頭 翔太	第1技術開発部 担当
杉浦 芳美	製造部 テクニカルスタッフ
菅沼 雅則	製造部 班長
山本 哲也	製造部 係長補

株式会社槌屋

氏名	所属・役職
林 宏明	技術開発本部 新製品開発センター 副部長
神谷 達志	技術開発本部 新製品開発センター 主査
柵木 貴宏	技術開発本部 新製品開発センター 担当員
林 秀共	技術開発本部 新製品開発センター 担当
山口 雷太	技術開発本部 新製品開発センター 担当

学校法人中部大学

氏名	所属・役職
常川 光一	工学部 情報工学科 教授

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター

氏名	所属・役職
酒井 昌夫	自動車・機械技術室 主任研究員
竹中 清人	自動車・機械技術室 主任
山本 紘司	自動車・機械技術室 技師

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人科学技術交流財団

(経理担当者) 総務部総務課係長 大川 修平

(業務管理者) 業務部中小企業課長 松本 茂

(再委託先)

槌屋ティスコ株式会社

(経理担当者) 総務部長 大見 廣行

(業務管理者) 商品開発室長 高見 肇

株式会社槌屋

(経理担当者) 総務部 総務課長 高田 伸幸

(業務管理者) 技術開発本部 新製品開発センター  
副部長 林 宏明

学校法人中部大学

(経理担当者) 財務部 財務課 課長 岡畑 満孝

(業務管理者) 研究支援センター 課長 高島 昌明

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター

(経理担当者) 総務課長 新見 寿康

(業務管理者) 自動車・機械技術室長 山本 光男

### 1.3. 成果概要

これまで3年間の研究成果を当初目標に沿ってまとめると、以下の表ようになる。  
3のサブテーマに分けて各プロジェクトが取り組んできた3つの技術を総合することで、当初目標のとして掲げたシールド材としての目標の達成だけでなく、実際に製品として使用される中で目標を達成する可能性も示すことが出来た。結果として、本技術を商品化する具体的な道筋をつけることができ、次年度以降により具体的な商品化に向けた開発を進めることになった。

	当初の目標	研究の達成度
シールド特性	500kHz～2GHzで、設定した周波数に対して-40dB以上のシールド効果を得る	アンプによる増幅という手法でKEC法の低周波測定限界を向上させることで、開発したCuめっき織物、Cuスパッタリング不織布が左記の周波数帯域で-40dB以上のシールド効果を示すことを示した。また、サブテーマ2で構築した測定系により、部品としてステンレスメッシュ以上の効果を確認できた。 上記の材料ですでに目標は達成したが、特定の周波数に対応したパターンを織り込んだ共振型シールド布の技術で、低周波では500kHz～1.5MHzで15～20dB程度のシールド性能を、GHz帯では-20～60dBのシールド効果を達成し、同じ対象物に対して併用が可能であることも確認した。
重量	合成繊維主体とし、30%以上の軽量化を図る	ステンレスメッシュの5～15%という大幅に軽量のシールド材が開発できたとともに、部品とした場合にも50%以上の重量減が測れる一体成形法を開発した。
加工性	形状追従性に優れ、容易に加工可能	シールド効果の付与により繊維素材の柔軟性を失うことはなく、その柔軟性を活用した部品成形技術を提案した。

### 1.4. 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 科学技術交流財団 担当者：松本

〒470-0356

愛知県豊田市八草町秋合1267番1

「知の拠点」あいち産業科学技術総合センター内

電話：0561-76-8326

FAX：0561-21-1651

## 第2章 本論

### 〈サブテーマ1〉 「高導電率／高透磁率金属加工織物の研究開発」

（担当：槌屋ティスコ株式会社、株式会社槌屋）

#### （1）目標達成度

電気自動車において現在使用されているステンレスメッシュ製の電磁波シールド材からの改善を目標として、500kHz～2GHz の周波数範囲で-40dB 以上のシールド効果が得られ、30%以上の軽量化が図れることを研究の目標として掲げて研究に取り組んできた。低周波での測定限界を改良した KEC 法により「銅めっき織物」と「銅スパッタリング不織布」がシールド効果を達成し、不織布タイプを自動車のモーターに装着しての評価で、要求されるシールド効果を持つことが確認できた。織物及び不織布ともに目標を超える大幅な軽量化が図れた。しかし、実際にこれらの材料を自動車で使用するには部品へ組み込む技術の開発が不可欠であり、基本的な加工技術の提案はできたが、実車装着を実現するには更なる改良が必要と考えられ、今後の課題として残されている。

#### （2）成果概要

これまでの3年間の研究成果を実施項目ごとにまとめる。

##### ・シールド材料の基本構成検討

電磁波シールドに影響を与える金属の反射損失と吸収損失に関連する比導電率及び比透磁率のことなる金属材料を選定し、これらの金属の中で織物などの繊維素材に加工が可能なものを選定した。加工方法としてはスパッタリングと無電解めっきを用いた。KEC 法によるシールド効果の測定により、比導電率の高い銅（Cu）が電界波及び磁界波ともに比較的高い効果を持つことが判明した。高い透磁率は磁界波に効果が示すといわれるが、薄膜ではパーマロイの効果は確認できなかった。

本研究では、以降銅をシールド金属として用いた。

##### ・基材及び加工方法の検討

織物への加工では、繊維間への付きまわり性が高い無電解めっきが優位であることが確認できた。銅を約 0.3  $\mu\text{m}$  の厚さで無電解めっきしたポリエステル繊維織物で最大 90 dB の効果が得られた。更なる軽量化と柔軟性（追従性）を目指して検討したポリエステル不織布（30g/m<sup>2</sup>）に対してはスパッタリング法が有効であり、銅を約 100nm で加工した場合で最大 70dB のシールド効果が得られた。更に、低周波帯域の測定時にアンブによる測定限界を上げることで、上記めっき織物とスパッタリング不織布が自動車で採用

されているステンレスメッシュ(#40)と比較して、低周波で高い効果を示すことが確認できた。

織物だけではなく、サブテーマ 2、3 で用いる電磁波制御パターン製作用に銅めっき繊維を研究し、高い生産性で安定した抵抗値のめっき繊維が得られた。この繊維が織物や編物の形でシールド材として使えることを示した。



図.1 電磁波シールド不織布



図.2 銅めっき繊維

#### ・シールド部品成形方法の検討

織物や不織布などは素材だけではシールド材として用いることが出来ないため、自動車などの部品として用いる方法を研究した。樹脂シートとのラミネート後に熱プレスなどにより賦形することで、低コストで軽量のシールド部品を製作した。具体的なニーズを受けて、電気自動車のバッテリーアンダーカバーとモーターの樹脂筐体として検討中である。



図.3 バッテリーアンダーカバーの成形例



図.4 インサート成形用予備賦形シート

部品としてのシールド性能の評価では、中部大学が構築した「測定系」を用いることで、実際の電気自動車に用いられているバッテリーアンダーカバーと相当形状に加工したシールド織物やシールド不織布が 500kHz 及び 1MHz でより高い効果を示した。また、自動車用モーターでは自動車メーカーによる評価で樹脂筐体のシールド材として使用可能なレベルであるとの回答を得ている。

#### 〈サブテーマ 2〉 「共振型シールド織物の研究開発」

(担当：学校法人中部大学、株式会社槌屋、あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター、槌屋ティスコ株式会社)

##### (1) 目標達成度

薄く柔軟な布製品でシールド効果を得るために、金属線を所定の長さ縫い込むことで、金属線を共振させる「共振型シールド布」を開発した。平板型、円筒型ともに 500kHz～1.5MHz で15～20dB 程度のシールド性能を、機械製造可能な方法で試作した製品で実現した。また、布である特徴を生かし雑音源に“かぶせる”程度で同様の効果が見られた。さらに編機/織機、工業用ミシンによる製造法も確立し、製品化が可能となった。さらに測定法もノウハウを蓄積し、簡易電波暗室での高精度なシールド特性測定を可能とした。ただし、目標のシールド特性 30dB には到達しなかった。

## (2) 成果概要

### ・シールド特性（電磁波制御）

平板型シールド材について偏波と電磁界による特性を明らかにした。電界では偏波によらず 1.5MHz 程度まで 15～20dB 程度のシールド効果があるが、磁界に対してはシールド効果が1 dB 程度とほぼ無いことがわかった。ただし、磁界に対しては特殊な電流状況でなければ実用上問題無いと考えられる。さらに平板型変形時の性能を検討し、電波を放射するもの（雑音源）に“かぶせる”または“覆う”だけでも 5MHz 程度まで 10～20dB のシールド効果が確認された。これはアンテナとなっている雑音源に共振金属を近づけることで形状変化し、インピーダンスが変わったことが理由と考えられる。円筒型シールド材についても検討し、ケーブル等を覆うと場所により 10dB 程度シールド性能に差があること、しかしほぼ平板型と同程度の 15～20dB 程度のシールド効果が 5MHz 程度まであることがわかった。これにより本共振型シールド材の特性が明らかになったが、シールド性能が金属板に比べて 10dB 程度低く、実装置への適用法を考える必要がある。

### ・測定法の構築

材料のシールド特性ではなく、実際のシールド材設置状態のままシールド性能を電波暗室で測定する実シールド測定のノウハウを確立した。さらに本測定の精度向上に向けて提案した「反射波除去法」について実験で効果を確認し、測定ノウハウを得た。特に直接波を吸収する電波吸収体の性能と大きさ、設置位置、測定点との関係が重要である。具体的には電波の吸収量が大きく、回り込みが少ない測定点を探す必要があることがわかり、電波吸収体の中央付近で測定することが最も精度が向上することがわかった。本方法により具体的なシールド性能の測定を行い、理論値と同等の結果を得た。これにより性能が十分でない電波暗室においても低周波数で高精度な測定が可能となったが、電波暗室の形状や性能により測定ノウハウが異なるため、一般的な測定基準を検討していく必要がある。

#### ・試作製造法の検討

平板型の製造法について検討し、十分強度があり低い抵抗値の金属線（Cuメッキ線の複数より線）を用いれば編機/織機で大量製造が可能であること、さらに適量であれば布に工業用ミシンで金属線を縫い付ける方法がより簡易で確実であることがわかった。これにより「共振型シールド布」の製造法が明らかになり製品化の目途がついたが、価格的な問題は残る。

#### ・製品化の検討

電気自動車用のみならず、カーテンやパーティションでの製品化も目指すものとした。特に電磁環境/携帯不感問題などの解決のため、薄く柔軟な本シールドを用いた方法は有効である。さらに電気自動車においても、数か所の部費追加により車内での電波雑音問題が解決できることを示した。製品化の目標は H26 ごろと考えており、そのために測定法の活用や編機による試作を繰り返し行い、実用品として仕上げていく必要がある。

### 〈サブテーマ3〉 「フォトニック結晶織物の開発」

（担当：株式会社槌屋、槌屋ティスコ株式会社）

#### （1）目標達成度

高誘電率系の研究開発において、樹脂材料中へ高誘電率セラミックスを高充填可能な加工条件の検討を行うために混練実験を実施した。混練実験で作製した高誘電率材料については、誘電率測定を行うことで材料評価を行い、誘電率測定結果からセラミックス充填量との相関が得られ、混練材料の測定が可能であることが実証できた。さらに、混練材料を繊維化するための紡糸加工を行い、繊維化可能な高誘電率セラミックスの充填量を見極め、高誘電率系を作製した。織物及び編物の試作では、ターゲット周波数である GHz 帯域（特に、1～2GHz、2.45GHz）において、 $-20\sim-60\text{dB}$  のシールド特性を有する織物及び $-10\sim-25\text{dB}$  のシールド特性を有する編物を作製し、目標である $-10\text{dB}$  以上のシールド特性を達成した。製品化検討では、サブテーマ1との併用により低周波数から高周波数にわたる広帯域のシールド特性を実現した。環境耐久性、摩擦耐久性及び難燃性の評価も実施した。より具体的・特徴的な製品へとつなげるためには、周波数選択性の特性を付与することが必要であり、編み及び縫製による周波数選択性電磁波シールド材の作製に着手した。

## (2) 成果概要

### ・高誘電率系の研究開発

H22 年度に導入した東芝機械株式会社製同方向回転二軸スクリュ式二軸押出機 TEM-18SS-15/2V を利用して、樹脂と高誘電率セラミックスの混練試作を行い、高誘電率材料を作製した。作製した高誘電率材料を用いて紡糸検討を行い、高誘電率系を作製した。さらに、安定して紡糸加工可能な最大セラミックス充填率を見極めることができた。

### ・織物及び編物の試作及びシールド特性評価（メートルサイズ）

作製した高誘電率系の製織性の確認を実施した。高誘電率系、メッキ系及び極細銅線を用いた織物や編物を試作した。試作した織物や編物に関して、メートルサイズのシールド特性の評価を行い、織物で-20~-60dB のシールド特性を、編物で-10~-25dB のシールド特性（1~3GHz）を得た。

### ・製品化検討

サブテーマ3の織物とサブテーマ1の不織布の併用により、低周波数~高周波数（GHz 帯）にかけて高いシールド特性を実現した。高誘電率系織物に関して、不織布化検討を行うことで、サブテーマ1との一体成形など応用検討するための初期試作を実施し、高誘電率不織布を試作した。織物については、環境耐久性、摩擦耐久性は良好な結果で、難燃性は難燃処方での対策可能であることがわかった。より具体的・特徴的な製品へとつなげるためには、周波数選択性の特性を付与することが必要であり、編み及び縫製による周波数選択性電磁波シールド材の作製に着手した。

## 最終章 全体総括

サブテーマ1では金属材料がもつ電磁波遮蔽効果を基礎から研究することで、加工特性に優れ、従来の金属製シールド材の劣らない効果を有する織物、編物及び不織布といった材料の提案が出来た。また金属薄膜の性能的な限界をカバーする技術として、アンテナパターンやメタマテリアルといった共振型電磁波制御技術の研究を実施した。これではシミュレーションやモデルによる評価から、繊維素材の基礎開発や織物・編物でシミュレーションから得られたパターンを実現する技術開発を進め、低周波・高周波で有効なシールド材を開発することが出来た。各チームが持つ独自技術を持ち寄って3年間の研究を進めたことにより、当初計画した目標を達成することが出来たと判断する。

自動車部品での電磁波対策は緊急の課題として寄せられており、取り組み始めたバッテ

リーアンダーカバーやモーター筐体の部品化で技術開発を推進する。ここで開発された技術はいずれも加工性の良い繊維素材をベースとしており、同じく製品化可能である。また自動車だけでなく、カーテンやパーティションといった用途への展開も考えられ、医療現場や家庭で要求される選択的な電磁波制御製品として商品化を図る。