

平成 26 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「放熱特性を向上させる周期的凹凸構造を持つ立体塗装技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 27 年 3 月

委託者 関東経済産業局
委託先 タマティーエルオー株式会社

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 | 1 |
| 1-2 | 研究体制 | 3 |
| 1-3 | 成果概要 | 3 |
| 1-4 | 当該研究開発の連絡窓口 | 4 |
| 第2章 | 研究開発の背景や目的と実施内容・成果 | |
| 2-1 | 放熱塗装の動向と課題 | 5 |
| 2-2 | 放熱塗装の従来技術 | 5 |
| 2-3 | 放熱塗装の新技术 | 6 |
| 2-4 | 研究開発の実施内容と成果 | 8 |
| 2-4-1 | 立体塗装プロセスの開発 | 8 |
| 2-4-2 | 立体塗装用スプレーガンの開発 | 11 |
| 2-4-3 | 最適放熱表面凹凸形状の設計 | 12 |
| 2-5 | プロジェクトの管理・運営・実施体制 | 14 |
| 2-6 | 成果発表 | 18 |
| 第3章 | 実用化へ向けての取り組み | 18 |
| 第4章 | 全体総括 | 19 |
| 図表一覧 | | 20 |

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

自動車業界においては、各種部品の放熱処理が不十分なために、CO2削減やデザインの競争力アップの妨げになっている。

例えば、ヘッドランプではリフレクター、ハウジングの形状自由度を上げるためにプラスチック化が進んでいる。ヘッドランプの消費電力はLEDでも50W前後と大きく、その大部分が熱となるため、ランプの周囲は高温になる。今後、ヘッドランプの小型化も考えられており、放熱に関する関心は増している。ヘッドランプ自体の温度は、ハウジング上部で、アイドリング時59.2℃、40km/h走行時14.7℃の温度上昇が報告されている。ヘッドランプでは、プラスチック化により放熱が悪くなった結果、光軸のずれ、配光性能の低下などの問題が出ている。また今後、車体デザインの自由度を上げるためにも、熱を移動させ放熱することは、重要な要素となる。

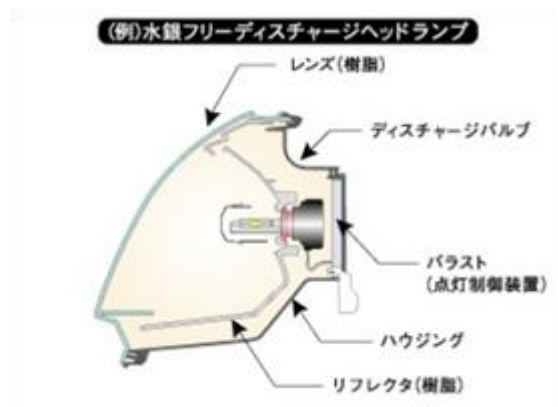


図 1.1.1 ヘッドランプ断面図

川下企業（本田技研工業株式会社）からはヘッドランプ以外にもエンジン回りにおいては、エアクリーナー関連部品、樹脂製インテークマニホールドや、樹脂製エンジンカバー等への展開も示唆を受けている。また、IMA用吸気ホース（ハイブリット自動車用モーター部品）などのプラスチック部品でも放熱特性向上により、部品機能・特性アップが可能のため、放熱処理技術が期待されている。

具体的に前述の川下企業からは、プラスチック部品表面の放熱効果目標値として must 目標 5℃減、want 目標 20℃減の要求がでている。このように自動車業界の放熱課題に対応することは、自動車部品の高付加価値化を進める上で、重要な課題となっている。

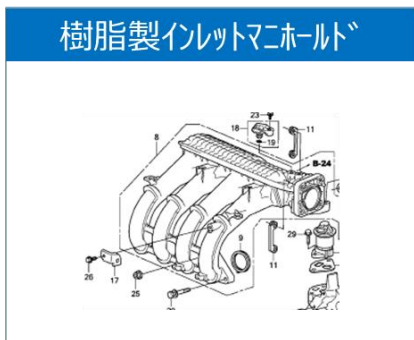


図 1.1.2 放熱効果を期待する部品

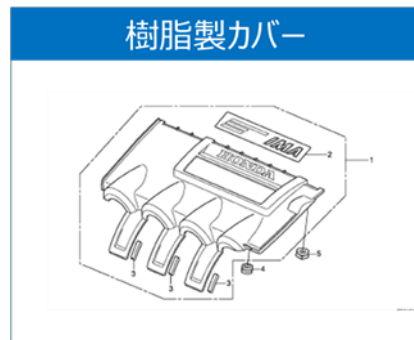


図 1.1.3 放熱効果を期待する部品

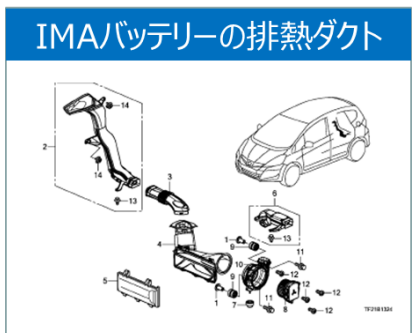


図 1.1.4 放熱効果を期待する部品

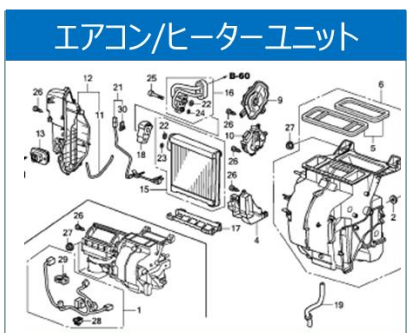
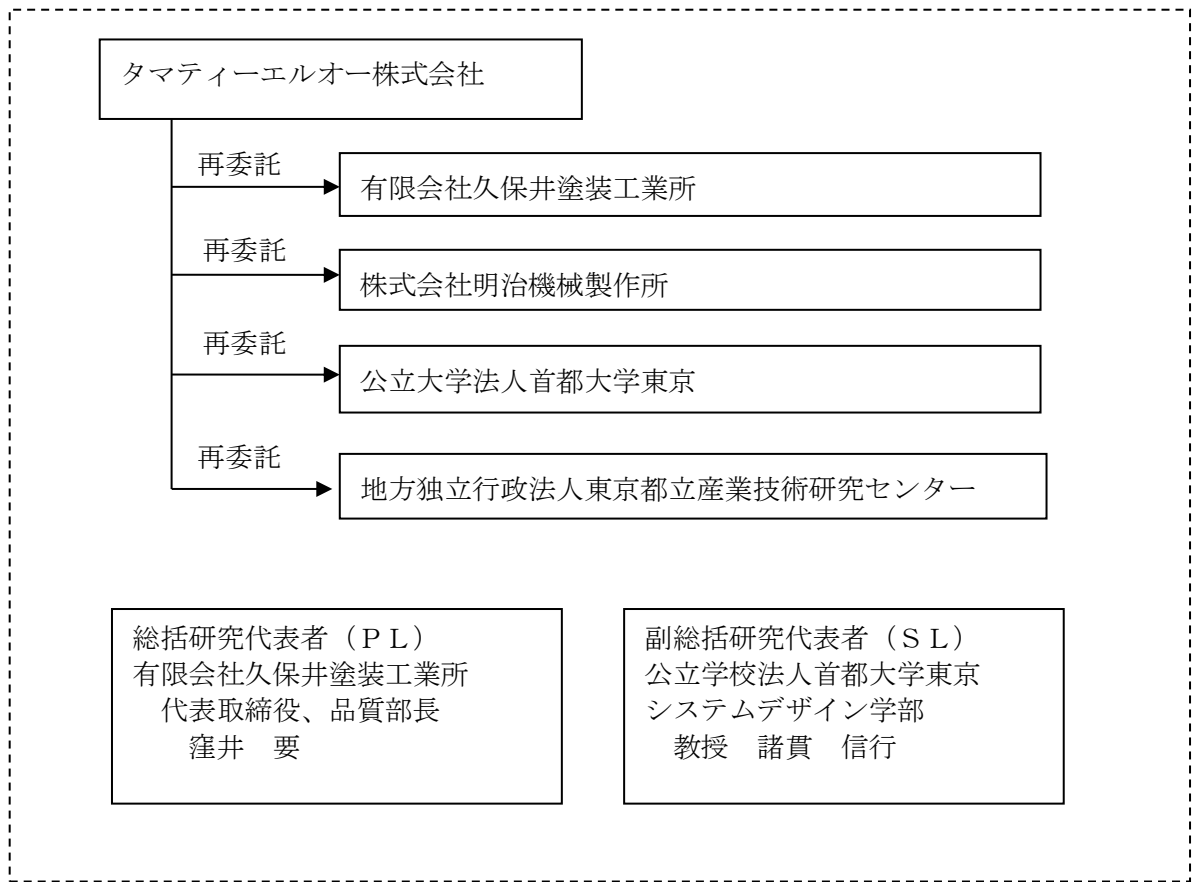


図 1.1.5 放熱効果を期待する部品

自動車ヘッドランプ回りのケースやリフレクターなどのプラスチック部品の放熱特性を塗装技術で高めることにより、ヘッドランプ形状のデザイン自由度の向上、電子部品の温度耐久性の向上など、自動車への高意匠性、高耐久性の付与を実現することを本開発の高度化目標とする。

1-2 研究体制



1-3 成果概要

昨年度の研究成果を踏まえ、立体塗装プロセスの研究に際し、塗料種別・性状、被塗物素材、骨材の放熱に関する基礎的特性を解析し、有効性の確認を行った。そのうえで、当面のバインダーとなる暫定塗料を確認し、放熱特性に優れた塗膜構造を考察し、実証実験を行った。現在段階で塗装可能で、性能面でも有効とされる骨材はミルドファイバー（炭素繊維）であり、実験の結果、塗料（アクリルウレタン）：骨材=30：70までの骨材リッチな混合比率で塗装することが可能となった。

つづいて、平面上においての最適放熱表面凹凸形状を目指し検証を行った。都産技においてモデルとなる凹凸構造をもつ板材を削り出し、そのモデルの下方から加熱するモデル解析（有限要素法）を行い、放熱効果を見積もった結果、3mm程度の高さがあれば畝に沿って熱が拡散し、冷却効果があることが分かった。このデータに従って、前述の塗料をもちいて畝塗装を実現した。また、平面への塗装とデータ収集から一歩踏み出し、ロボットをもちいて三次元形状への塗装を実現した。

一方、大学側では、立体塗装物に対する性能検証が可能な測定装置を開発し、立体物への塗装品の性能検証が行えるようになった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

〒192-0083 東京都八王子市旭町10-2

八王子TCビル5階

タマティーエルオー株式会社

産学官連携事業部 調査専門員 三宅 隆

Tel: 042-649-8461 Fax: 042-649-8462

E-mail: miyake@tama-tlo.com

第2章 研究開発の背景や目的と実施内容・成果

2-1 放熱塗装の動向と課題

プラスチック部品からの放熱を改善するために、熱伝導性のよいプラスチックの使用、放射特性を改善するための塗料が一部で商品化されているが、その有効性についてはまだまだ不十分と思われる。

たとえば、高熱伝導プラスチックは、一般に金属や窒化アルミなどのフィラーを高濃度に混入することにより、1~2桁の熱伝導率改善が図ったものである。しかし、機械特性の低下、成形性の悪化があるため、使用は限定されており、汎用自動車部品には、使われていない。

また、表面に放射特性の良いフィラーを混入した塗料を塗るという方法は、高温の壁、真空環境では効果的な方法として知られている。しかし、プラスチック表面からの放射と熱対流熱伝達を比べると、100~200℃程度の温度では放射による熱の逃げはひと桁小さく、プラスチック部品表面への放射塗料塗布は現実的には行われていない。

そこで首都大学東京の諸貫教授の研究により、表面形状により放熱特性を上げる方法を検討した。放熱特性と表面形状の関係を調べた過去の研究例を下記に示す。表面積の増加・渦による熱伝達促進のために表面に大きな凹凸や周期的な凹凸構造を作ることにより、低い温度領域でも10~50%の放熱特性の改善が見られることがわかった。これを適用し、プラスチック表面に畝や格子、ピンなどによる周期的な凹凸構造を付与することにより、放熱特性を向上することができると考えられる。

2-2 放熱塗装の従来技術

周期的な凹凸構造を付与する加工方法には、プラスチックを直接加工する、放熱特性のよい金属部品で覆うなどの方法がある。これらの加工方法についての比較対照を、表2.2.1に示す。

表 2.2.1 プラスチック表面に周期的凹凸構造を付与する方法の比較対照

| 分類 | 非塗装 | | | 塗装 | | |
|----------|------------|---------|-------|------------------|------------------|------------|
| | プラスチック金型成形 | 金属フィン追加 | 表面後加工 | 意匠塗装技術 (工業塗装) | 外壁塗装技術 (建築塗装) | 新しい塗装技術開発案 |
| 製法 | 型成形 | 切削・プレス | 切削 | しぶき塗装等 | 塗装、コーキング | 立体塗装 |
| 空気への熱伝達率 | ○ | ◎ | ○ | △ | △ | ○ |

| | | | | | | |
|------------|------------|---------|------------|------------|-------------|------------|
| 材質熱伝導率 | △(高熱伝導骨材入) | ◎ | △(高熱伝導骨材入) | △(高熱伝導骨材入) | × | △(高熱伝導骨材入) |
| 凹凸高さ(mm) | 0.01以上 | 5~30 | 0.1~3 | 0.1~1 | 1~5 薄膜困難 | 1~10 |
| 表面周期形状 | 問題なし | 曲面不可 | 曲面コスト高 | 周期性困難 | 可能 | 可能 |
| 裏面への影響 | ひげによる凹凸発生 | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 影響なし | 影響なし |
| 曲面など形状自由度 | △ | × | △ | ◎ | × | ◎ |
| 製品開発期間への影響 | 金型改造(影響大) | 金型改造など大 | 金型改造など大 | 影響なし | 影響なし | 影響なし |
| コスト | △ | × | × | ○ | △ | ○ |
| 工程 | 変化なし | 工程追加 | 工程追加 | 工程追加 | 工程追加 | 工程追加 |

金型によるプラスチック表面への周期的凹凸構造の付与は、裏面のひげがヘッドランプの反射鏡面（リフレクター）に悪影響を及ぼし、また、金型開発時に放熱形状を決める必要があり、設計のコストアップになるため採用されていない。金属フィンの付与は、形状の制限が大きいなどヘッドランプの意匠自由度への影響が大きく、平面構造への付与などでよく使用されているものの、リフレクターのような曲面へは使えない。切削後加工は、特に曲面加工は困難でコスト高になるため、試作品以外では採用されていない。

また、塗装により凹凸構造を付与する方法として、工業用として意匠塗装、建築用として外壁塗装がある。意匠塗装は凹凸高さに制限がある、周期性が困難などの理由により、放熱効果が確保できないため、現在では部品の放熱塗装は採用されていない。同様に、外壁塗装方式も、凹凸構造は可能であるが、曲面ができない、凹部の薄膜化ができないなどの理由で、放熱塗装として部品などに適用されていない。

2-3 放熱塗装の新技术

既存の加工方法では、ヘッドランプのリフレクター、ハウジングなどのように曲面で構成される表面に放熱特性を向上させる効果的な立体構造を低コストで形成するのは困難であり、立体塗装による放熱機能の付与はコストを含めた総合的な効果が期待できる。

畝構造塗装実現にむけヘッドランプに使われるプラスチック及びその他のプラスチック（PP等）の表面に、付着力を向上させるプライマーを塗布し、ベースコートの後、凸部を構成する畝構造塗装を行う。その後、耐候性が必要な場合トップコートを行う。（図 2.3.1）

畝構造の高低差は 5mm を目標としている。(図 2.3.2)

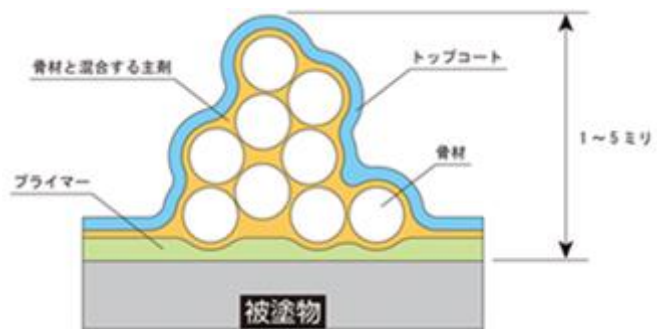


図 2.3.1 付着力向上プライマー／骨材入り畝構造塗装／耐候性向上トップコート (3 コートの場合)

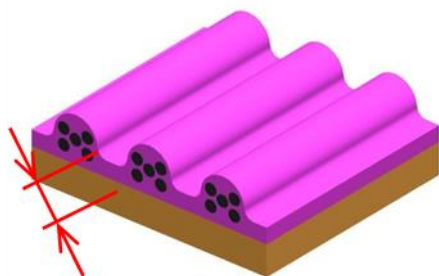


図 2.3.2 畝構造の目標値

畝の高さは
目標5mm

以上のように、プラスチック表面からの放熱特性を向上するために、現状の塗装方法では、まだ達成されていないプラスチック表面への周期的凹凸構造を付与する上記の新しい塗装技術の確立が有効であると考えた。

高度化目標：自動車ヘッドランプを構成するハウジングやリフレクター及び、IMA バッテリーカバーやエアコンダクト等、プラスチック部品の放熱特性を立体塗装技術により高める。ひいては、ヘッドランプ形状のデザイン自由度の向上による自動車の高意匠性の実現、電子部品の温度耐久性の向上、省エネルギー等を実現する。

2-4 研究開発の実施内容と成果

2-4-1 立体塗装プロセスの開発

シンナー希釈率を変化させることと、攪拌方法の変更、添加剤を使用することで、塗料：骨材=30：70の混合塗料のベースコート（図2.4.2）及び畝塗装（図2.4.3）を実現した。

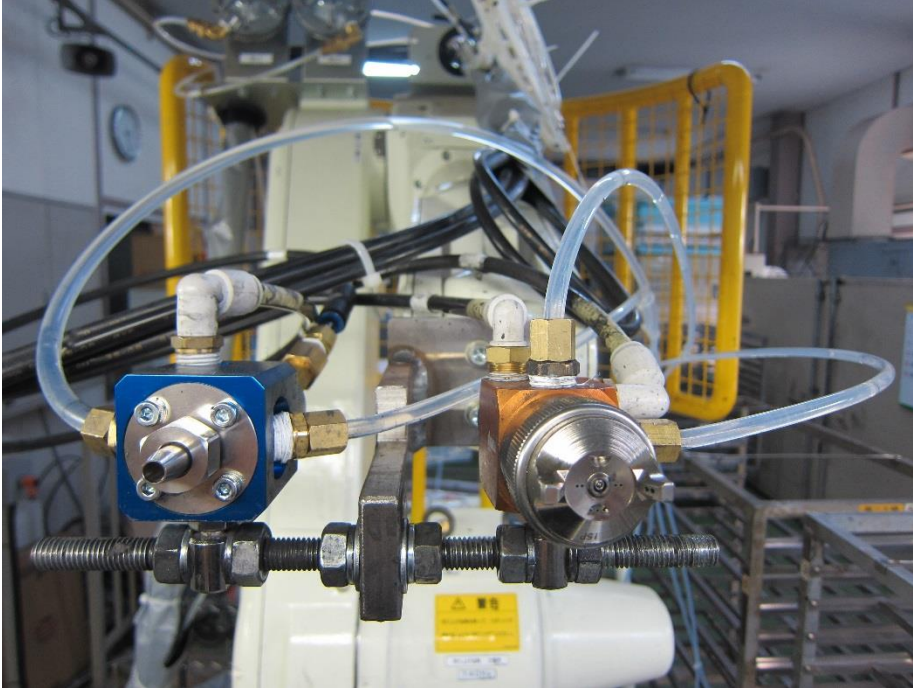


図2.4.1.1 右：ベースコート専用ガン 左：畝構造塗装専用ガン



図2.4.1.2 塗料：骨材=30：70によるベースコート 図2.4.1.3 ロボットによる畝構造塗装

2-4-1-1 3コート立体プロセスの開発

畝構造塗装を行う対象部品として、川下企業から示唆されている部品はヘッドランプにとどまらず、幅広く展開している。ヘッドランプ以外の部品に使われている材料が、主にポリプロピレン（PP）製であることから、年度の後半よりPPに対応する塗膜設計を行うこととした。

PP材は塗料が付着しづらい材料であるため、付着力を向上させるプライマーを下塗りすることが必要となる。したがって、塗装工程はプライマー塗装を行いベースコートをし、その後凸部を構成する畝構造塗装を行う。畝塗装はこの工程までで完成するが、耐候性が必要な場合、さらにトップコートを行うことも想定した。

本年度の課題として、汎用性の高いPP材に対してのアプローチとして、下記の工程を考案し、調査を開始した。

表 2.4.1.1.1 PP 素材への 3 コート塗装の概念

| 塗膜階層 | 現在の実験状況と今後の展開 |
|---------------|--|
| プライマー（付着強度向上） | PP 材に対して、付着強度を向上させるため、プライマーの付着強度を確認するための塗装実験の結果をもとに塗料の選定を行った |
| ベースコート及び畝塗装 | 塗料：骨材=30：70の実現を果たした ベースコート、畝塗装共にロボット塗装を実現 |
| トップコート（耐候性向上） | 当面、耐候性ウレタンクリアー等を設定している。今後は、無機塗料も含めトライアルする |

PP材に対する塗装に向けて塗膜品質の確認を行う。PP材のテストプレートとして、本田技研工業様がインパネ等で使用している材料と同じ材料を紹介して頂いた。その材料メーカーにサイズ 150X150、厚さ 3mm のテストプレートを成形して頂き使用することとした。



図 2.4.1.1.2 エアスプレーによる

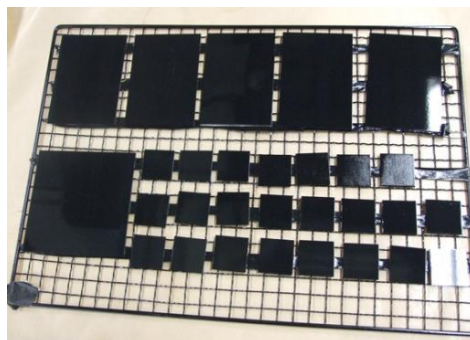


図 2.4.1.1.3 塗装された試験片

2-4-1-2 機能性骨材と塗料の最適な組み合わせの開発

塗装による凹凸構造の形成に適し、より熱伝導性と放熱特性などの熱特性を向上するため、各種の骨材を混合した塗料を試作し、塗膜形成後、基本特性、飽和温度を測定して、最適な組み合わせを検討、開発した。

実施事項は下記の通り。

- (1-1) 骨材の種類選定
- (1-2) バインダー選定
- (1-3) 骨材の混合、塗料の調合
- (1-4) 熱特性検討のための試験片作成
- (1-5) 作成した試験片での性能分析
- (1-6) 試験片の基本特性値測定
 - a. 膜厚測定
 - b. 色彩測定
- (1-7) 電子顕微鏡 (SEM) による観察

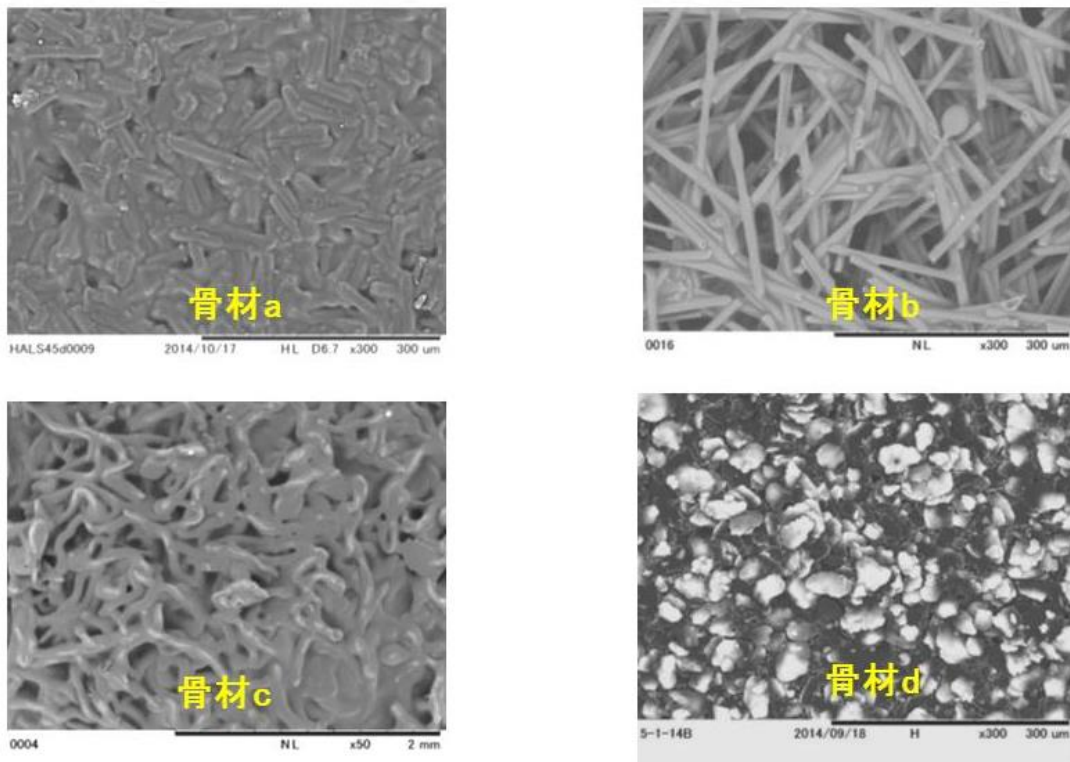


図 2.4.1.2.1 電子顕微鏡 (SEM) 写真

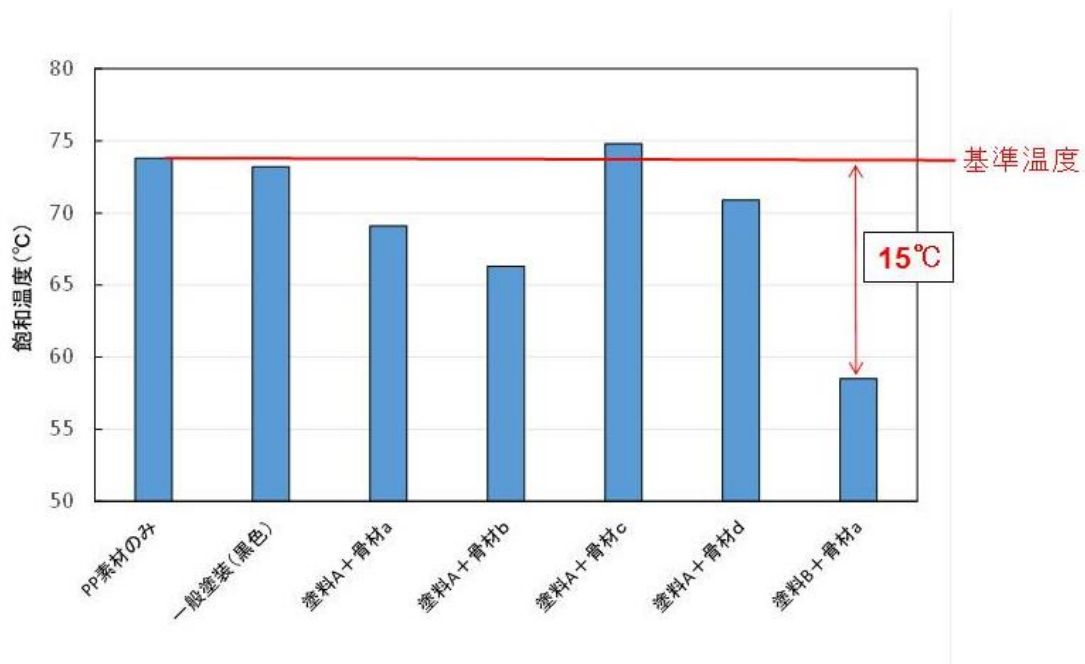


図 2.4.1.2.2 塗料中骨材の種類の違いによる熱特性

結果として、顕著な放熱効果が認められた。

2-4-2 立体塗装用スプレーガンの開発

ロボットでの塗装になるため試作するスプレーガンは自動スプレーガンタイプとし、形成できる畝構造と塗装パターンを確認すべく試作を行い、吹付けテストを行った。

実際に塗装システムにスプレーガンを組み込んで連続塗装を行った所、塗料の噴出を止めた後の塗料ノズル先端からの液垂れの問題や、吹き付け直後は塗料の吹き付けが可能だが、吹き付けに間隔を設けると回路内で塗料が固着し、吹き付け不可能になる問題が発生した。そのため、その問題を解決するスプレーガンを開発した。



図 2.4.2.1 スプレーガン外観

2-4-3 最適放熱表面凹凸形状の設計

2-4-3-1 放熱塗装表面形状の設計

確立した解析技術を用いて放熱効率を上げるための畝形状条件を検討した。車のヘッドランプを模した椀形状の底面に発熱源を持ったものをCAD (SolidWorks) でモデル化し、風洞で強制対流を与えた時の表面温度分布を同ソフトが持つ解析機能で調べた。

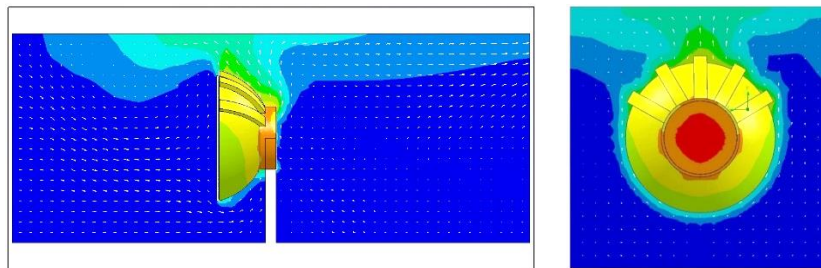


図 2.4.3.1.1 畝高さ 5mm, 幅 10mm の場合の放熱の様子と表面温度

2-4-3-2 検証実験

風洞実験装置により強制対流条件下での表面温度を測定し、畝塗装による放熱効果を評価した。図 2.4.3.2.1 に実験装置を示す。図右側から導入した空気を整流しながら測定部に導き、ここに置いた椀の表面温度を写真の向かい側に設置したサーマルビデオで時々刻々の温度変化を測定した。

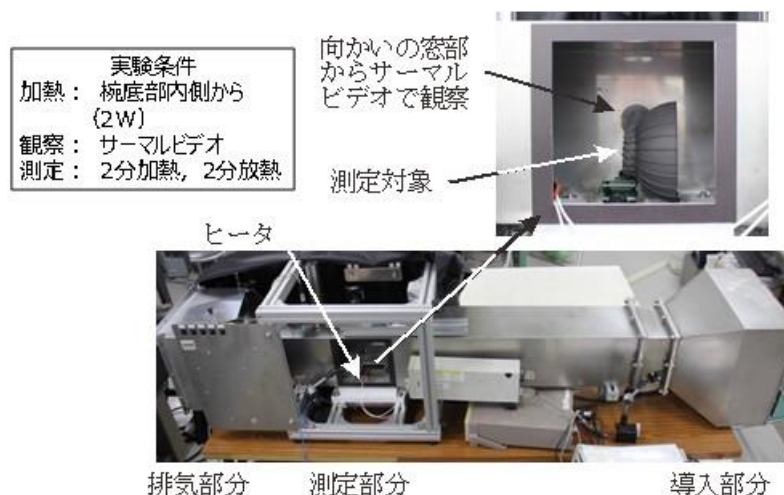
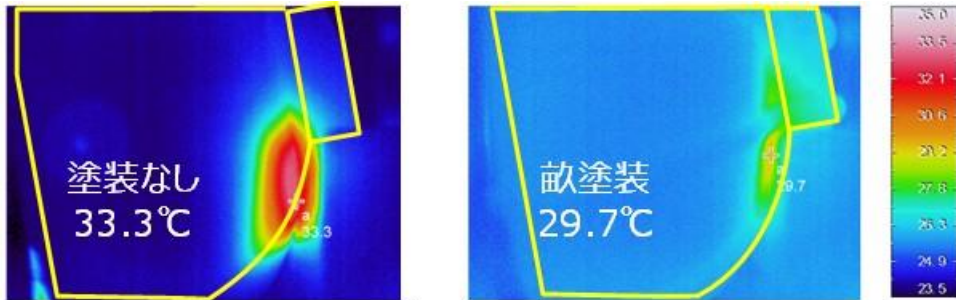
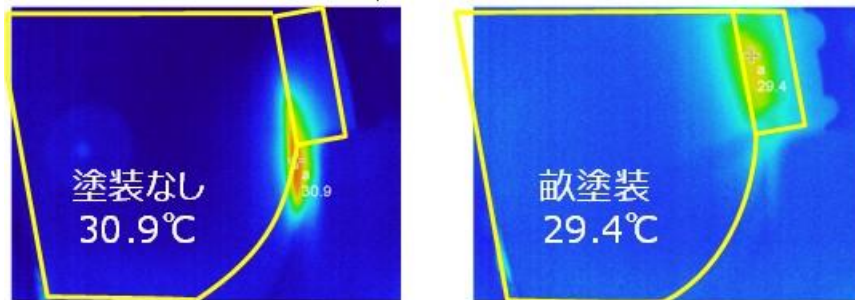


図 2.4.3.2.1 畝塗装の効果を調べるための風洞実験装置と条件



風速0.1m/s時の表面温度分布

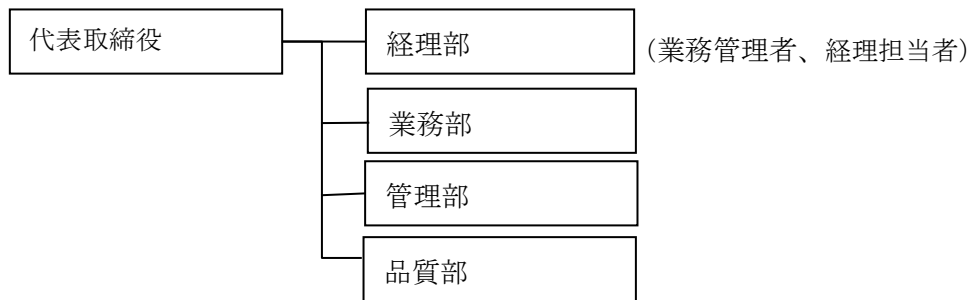


風速1.0m/s時の表面温度分布

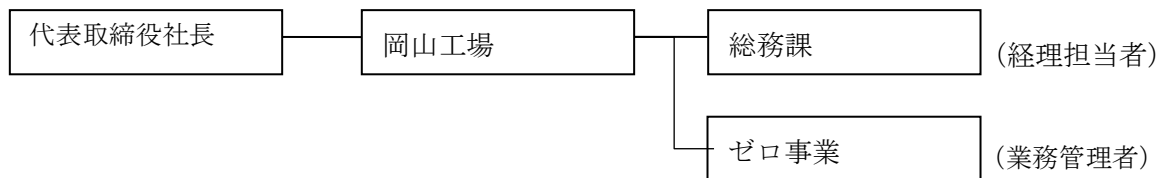
図 2.4.3.2.2 風洞実験における畝塗装の効果

2-5-3 再委託先

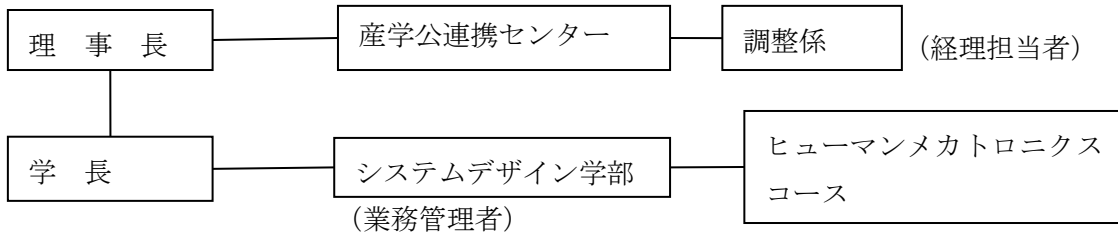
[有限会社久保井塗装工業所]



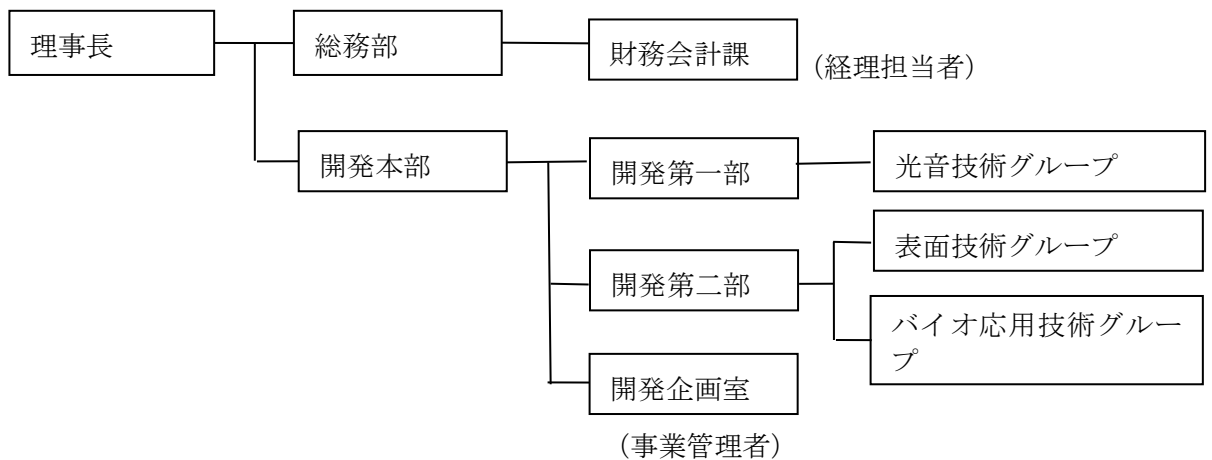
[株式会社明治機械製作所]



[公立大学法人首都大学東京]



[地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター]



2-5-4 管理員及び研究員

【事業管理機関】タマティールエルオー株式会社

管理員

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容（番号） |
|------|----------------|----------|
| 三宅 隆 | 産学官連携事業部 調査専門員 | ④ |

【再委託先】

(研究員)

有限会社久保井塗装工業所

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容（番号） |
|-------|------------|----------|
| 窪井 要 | 代表取締役、品質部長 | ①②③ |
| 窪井 仁 | 常務取締役、業務部長 | ① |
| 細田 正幸 | 管理部 主任 | ①②③ |
| 加茂 大尚 | 管理部 | ① |

株式会社明治機械製作所

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容（番号） |
|-------|--------------|----------|
| 福田 浩二 | 岡山工場長 | ② |
| 吉野 和彦 | 岡山工場 ゼロ事業 主任 | ② |

公立大学法人首都大学東京

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容（番号） |
|-------|---------------|----------|
| 諸貫 信行 | システムデザイン学部 教授 | ③ |

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容（番号） |
|--------|------------------------------|----------|
| 木下 稔夫 | 開発本部 開発第二部 表面技術グループ長 | ①③ |
| 中島 敏晴 | 開発本部 開発第一部 光音技術グループ主任研究員 | ①③ |
| 紋川 享 | 開発本部 開発第二部 バイオ応用技術グループ副主任研究員 | ①③ |
| 小野澤 明良 | 開発本部 開発第二部 表面技術グループ副主任研究員 | ①③ |

2-5-5 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

タマティーエルオー株式会社

(経理担当者) 管理部長 吉野 正喜

(業務管理者) 研究成果移転事業部長 松永 義則

(再委託先)

有限会社久保井塗装工業所

(経理担当者) 経理部 窪井 初枝

(業務管理者) 経理部 窪井 初枝

株式会社明治機械製作所

(経理担当者) 岡山工場 総務課 総務係長 藤原 順

(業務管理者) 岡山工場 ゼロ事業 部長代理 江田 尚也

公立大学法人首都大学東京

(経理担当者) 産学公連携センター 調整係長 中島 宇寿

(業務管理者) システムデザイン学部 教授 諸貫 信行

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター

(経理担当者) 総務部 財務会計課経理係 金子 真由美

(業務管理者) 開発本部 開発企画室 室長 田中 実

2-5-6 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|-------|---|-----------------------------|
| 窪井 要 | 有限会社久保井塗装工業所 代表取締役、品質部長 | PL <input type="checkbox"/> |
| 諸貫 信行 | 公立大学法人首都大学東京 システムデザイン学部 教授 | SL |
| 細田 正幸 | 有限会社久保井塗装工業所 管理部主任 | <input type="checkbox"/> |
| 廣田 貢 | 株式会社明治機械製作所 代表取締役社長 | |
| 福田 浩二 | 株式会社明治機械製作所 岡山工場長 | <input type="checkbox"/> |
| 吉野 和彦 | 株式会社明治機械製作所 岡山工場 ゼロ事業 主任 | <input type="checkbox"/> |
| 木下 稔夫 | 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター 開 発本部 開発第二部 表面技術グループ長 | |

| | | |
|-------|--|-------------------|
| 井深 丹 | タマティーエルオー株式会社 代表取締役社長 | |
| 松永 義則 | タマティーエルオー株式会社 研究成果移転事業部長 | |
| 三宅 隆 | タマティーエルオー株式会社 産学官連携事業部 調査専門員 | |
| 小林 哲 | 本田技研工業株式会社 カスタマーサービス本部 部品供給部 部品調達ブロック 主幹 | アドバイザー (旅費、謝金) |
| 小林 悟 | 独立行政法人産業技術総合研究所 産学・地域連携室 産業技術指導員 (環境エネルギー分野) | アドバイザー (旅費、謝金) |

2-6 成果発表

日本塗装技術協会 会誌 「塗装工学」 2014年 7月号
 第10回 生産加工・工作機械部門講演会 2014.11.15-16
 で成果の一部を発表

第3章 実用化へ向けての取り組み

現在の車の進化状況であるが、電気自動車、燃料電池車はインフラ普及等の時間がかかることもあり、本流になるには多少時間がかかりそうである。

対極でガソリンエンジンのダウンサイズ化、クリーンディーゼル化と既存の技術の進化も進んでいる。

また、ヘッドランプ等の補機類も (ハロゲン→H I D→L E D) 一段と進化している。

量産ラインに適用されるためには下記の要件を満たす必要が出てくる。

- 1) 求められる性能 (本研究開発で達成した数値で良いか)
- 2) 塗料のコスト、塗装工数
- 3) メーカーの塗装仕様 (色、塗装強度、耐候性等々) への適合性

このため、自動車メーカー、塗料メーカーとの情報交換等が必要不可欠となる。

いずれにしても車に熱源がることに変わりなく、塗装するだけで放熱効果を発揮する塗料は、冷却効果を高める技術として画期的であると考ええる。

このため、自動車メーカー、塗料メーカーとの情報交換を蜜にし、実用化へ向けての研究開発を続けていき、3年後には76百万円、5年後には360百万円の売上を見込んでいる。更に、専用塗装システムの販売、・ヘッドランプハウジング以外の製品への展開も考えている。

第4章 全体総括

最終目標値である「ヘッドランプハウジング高温部上昇を5℃以上（実績15℃）低減を達成した。

また、これを支える各技術目標である

- ①立体塗装プロセスの開発（凸部形状1～5mm）⇒5mm
- ②立体塗装スプレーガンの開発（可能骨材濃度0～100%⇒実用性を考慮し70%）
- ③最適放熱表面凹凸形状設計（放熱効果10%以上⇒実績20%）

も達成した。

更に、塗装機器の開発では、超高粘度塗料の連続塗装に対応した機器を完成させることができた。

これに付随し、特許出願を24年度に1件、26年度に1件申請した。

最後に3年間の研究開発プロジェクトの実施にあたり、経済産業省・関東経済産業局等々、いろいろな方々に様々な形でお世話になっており、この場を借りて御礼申し上げます。

図表一覧

【】：ページを示す

第1章

図 1.1.1 ヘッドランプ断面 【1】

図 1.1.2 放熱効果を期待する部品 【2】

図 1.1.3 放熱効果を期待する部品 【2】

図 1.1.4 放熱効果を期待する部品 【2】

図 1.1.5 放熱効果を期待する部品 【2】

第2章

表 2.2.1 プラスチック表面に周期的凹凸構造を付与する方法の比較対照 【5】

図 2.3.1 附着向上プライマー／骨材入り畝構造塗装／耐候性向上トップコート 【7】

図 2.3.2 畝構造の目標値図 【7】

図 2.4.1.1 専用ガン 【8】

図 2.4.1.2 ベースコート 【8】

図 2.4.1.3 畝構造塗装 【8】

表 2.4.1.1.1 PP 素材への3コート塗装の概念 【9】

図 2.4.1.1.2 エアスプレーによる試料 【9】

図 2.4.1.1.3 塗装された試験片 【9】

図 2.4.1.2.1 電子顕微鏡 (SEM) 写真 【10】

図 2.4.1.2.2 塗料中骨材の種類の違いによる熱特性 【11】

図 2.4.2.1 スプレーガン外観 【11】

図 2.4.3.1.1 放熱の様子と表面温度 【12】

図 2.4.3.2.1 畝塗装の効果を調べるための風洞実験装置と条件 【12】

図 2.4.3.2.2 風洞実験における畝塗装の効果 【13】