

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「熱粘弾性加飾フィルム融着法による光機能性樹脂成形部品の開発」

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 公益財団法人茨城県中小企業振興公社

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	
1.1.1 研究開発の背景	2
1.1.2 研究開発動向	3
1.1.3 研究開発概要	3
1.1.4 研究目的及び目標	4
1.2 研究体制	
1.2.1 研究組織・管理体制	5
1.2.2 研究者氏名及び協力者氏名	6
1.3 成果概要	
1.3.1 熱融着技術の開発	6
1.3.2 量産技術の開発	7
1.3.3 試作品評価	7
1.3.4 応用製品の開発	8
1.3.5 プロジェクトの管理・運営	8
1.4 当該研究開発の連絡窓口	9
第2章 本論（研究開発実施内容・成果）	
2.1 熱粘弾性加飾フィルムの開発	10
2.2 熱融着技術の開発	10
2.2.1 真空・圧空を用いた熱融着成形機的设计開発	10
2.2.2 シミュレーション技術の開発	11
2.2.3 研究開発成果まとめ	16
2.3 量産技術の開発	
2.3.1 多数個取りに対応した熱融着制御技術の開発	17
2.3.2 量産製造ラインの設計	18
2.3.3 レーザトリミング技術の開発	19
2.3.4 レーザトリミング部位の評価方法の検討	21
2.3.5 研究開発成果まとめ	22
2.4 応用製品の開発	
2.4.1 光機能性製品の検討及び応用製品の開発	23
2.4.2 研究開発成果まとめ	25
第3章 全体総括	
3.1 平成24～26年度の研究開発成果	
3.1.1 研究開発成果と課題	25

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 研究開発の背景

自動車業界においては、燃費向上や排ガス規制等への環境対応に絡んでハイブリッドカーを代表とするエコカー車輛が主流になりつつある。更に、消費者のニーズは多様化しており、フレキシブルな製品生産に対する要求がある。今以上に先端的技術による高品質、長寿命化への追及を伴うコスト削減が、自動車産業の生きる道と考えられる。以上のような状況から自動車産業における大幅なコストダウンを計った個性のある部品を実現する必要がある。

単なる自動車外装部品についても論外ではない。個性ある、コストダウンを計った自動車外装部品のニーズが高い。現在、自動車外装部品等は ABS 樹脂に金属調を出すため、化学めっき法で製造されている。軽量化のため樹脂製とし、めっきを可能とするため、ABS を含んだ樹脂が採用されている。めっき処理は苛性ソーダ、塩酸、硫酸銅などで ABS 樹脂を前処理し、無電解めっきが行われている。使用薬液の処理技術は確立しているものの、高額な費用を必要としている。

近年、情報家電などでは、環境負荷の少ないめっき代替フィルムを直接樹脂成形部品に接着する加飾フィルム転写法、積層接着法などが脚光を浴びている。

本事業提案の(株)宏機製作所は、樹脂製自動車外装品の部品を製造販売しているが、今般川下企業から、大幅コストダウンを計り、個性的部品性能を備えた、樹脂製自動車外装部品のニーズが出された。開発検討した結果、下記性能を満足させる必要が明白となり、情報家電にはない、加飾技術を高度化させた熱粘弾性加飾フィルムの熱融着技術開発が必要となった。

- ①凸のある複雑 3 次元形状 ②屋外使用外装部品で耐候性必須
③人手による耐摩耗、耐剥離性能必須 ④色調はメタリック調

以上の自動車業界(川下企業)からのニーズに基づき、熱粘弾性加飾フィルム融着法による光機能性樹脂成形部品の開発を目的に本事業に提案した。

特定ものづくり基盤技術の種類には、主たる技術に「プラスチック成形加工に係る技術」を掲げ、川下分野横断的な共通の事項を選定した(表 1. 1. 1-1)。

現状の自動車外装部品などのメタリック装飾は、樹脂成形品への湿式化学めっき法が主流であるが、このめっき法はプロセスが長く、薬液処理のため、コスト高、地球環境汚染や地球温暖化への課題がある。この解決のため熱粘弾性加飾フィルム融着法による、めっき代替のメタリック装飾自動車外装部品の製法を開発することにより、低コスト化と環境対応を図りながら、化学めっきでは実現不可能な LED 光透過電飾や自然光による光彩機能を持つ自動車用光機能部品の開発を目指すに至った。

表 1. 1. 1-1 選定した川下分野と高度化目標

プラスチック成形加工に係る技術において達成すべき高度化目標
(3)川下分野横断的な共通の事項
①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ
ア.低コスト化
イ.環境対応
②高度化目標
ア. 低コスト化のための技術の向上
イ. 環境対応のための技術の向上

1. 1. 2 研究開発動向

1) 加飾樹脂成形品の市場動向

化学めっき法は環境汚染や樹脂が限定されるなど多くの問題がある。このため、めっき法に替わる、外装部品の開発が積極的に進められている。この中でも、めっき代替のフィルム応用加飾(IMD(In mold Decoration/絵柄転写法))はその代表的なものである。株式会社富士経済の報告書「2013 年加飾フィルム関連市場の展望とメーカー戦略」によれば、IML(In mold Lamination/絵柄貼付法)などを含めた加飾フィルムの世界市場は、自動車部品のフィルムによる加飾面積が順調に拡大する2017年には2012年比36.8%増の1,453億円と予想されており、フィルム加飾樹脂成形部品の市場は、平均付加価値をフィルム材料の5倍として計算すると、年間マーケットは7,000億円を超えると予想できる。なお、IMDは加飾フィルムを樹脂成形時金型内に挟み込み、成形後カバーフィルムを剥離して絵柄を転写する方法、IMLは加飾フィルムをプレフォーム後、金型内に挿入、樹脂成形を行って積層接着する方法である。

また、想定する自動車外観部品の市場は、電機自動車やハイブリッド車など次世代自動車において特に重視される先進性を持った新外観と、利便性を追求した高機能化が同時に進められている。さらに各メーカーのデザイナーから近年の自動車デザインの主流となっている光を利用したデザイン(図1. 1. 2-1)に対し、更に高度化した新外観の要求が見込まれている。



図1. 1. 2-1 次世代プラグインハイブリッド

2) フィルム開発とこれまでの取り組み

ヨーロッパにおいて、2010年第16回K展(国際プラスチック+ゴム専門見本市)以来樹脂成形部品のフィルム加飾に関する展示が数多く発表されるようになった。内容は、携帯電話などのIT機器のほか、自動車部品(車内部品)の加飾である。これに先立ちクロムめっき調の加飾フィルムを用いた、携帯電話などの加飾製品が発表されており、以来この分野でのIMD、IMLに関する研究開発は活発に行われている。しかし、自動車外装部品への加飾として温度、湿度、耐候性、耐摩耗性を備える事が可能な施工方法としての熱融着加飾技術は、未だ開発は完成されていない。本技術開発のために熱融着技術の開発はもとより、フィルムの設計・開発も必要な状況にある。

本研究開発実施機関である(株)宏機製作所は、大手フィルムメーカーとの連携を行い、熱融着技術に対するフィルムの適応性試験や試作に着手しており、今回本格的な熱粘弾性加飾フィルムの熱融着技術の開発を実施するに至った。

1. 1. 3 研究開発概要

今回研究開発する熱粘弾性加飾フィルム融着法と従来技術(塗装、化学めっき)との比較を表1. 1. 3-1に示す。金属光沢を有する熱粘弾性加飾フィルムをプラスチック成形品に融着することで、樹脂めっきと同等の外観が得られる他、90%以上の製造工程の短縮化、設備のコ

ンパクト化による電気使用量 40%削減、製品重量の 10%軽量化、化学薬品(劇薬)不使用による環境負荷の低減、光透過性を利用した新外観製品が実現出来るなど川下企業のニーズを満足しつつ、現状の化学めっき法に替わる技術として、自動車をはじめ様々な産業に多大に貢献出来る。

本研究開発では金属光沢を有する熱粘弾性加飾フィルムをプラスチック成形品に融着する工法を確立するため、①熱粘弾性加飾フィルムの開発、②熱融着技術の開発、③レーザートリミング技術の開発を行い、更に④量産技術の確立と⑤試作品評価、川下企業の新意匠トレンド(発光)を取り入れた⑥応用製品(光機能性製品)の開発行う。

表1. 1. 3-1

工程	塗装	化学めっき	熱粘弾性加飾フィルム融着法
		材料の表面を塗装の被膜で覆う表面処理技術 製造時間: 1時間	材料に金属の薄膜を被覆した表面処理技術 製造時間: 4時間
1	ラッキング	ラッキング	熱粘弾性加飾フィルム・ワーク装着
2	脱脂	脱脂	熱粘弾性加飾フィルムのワークへの融着(真空・圧空成形技術を高度化)
3	プライマリー塗装	アルカリ洗浄	ワーク外周部のレーザートリミング
4	中塗り塗装	活性化処理・水洗	検査
5	上塗り塗装	無電解めっき・水洗	<div style="text-align: center;">  <p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・成形からカットまでの工程が少なくコスト削減を実現(35%以上) ・製品重量比: 10%減 ・環境への適応 ・めっきと同等の高耐候性 ・光及び電波の透過性による高付加価値化 </div>
6	クリアー塗装	ストライク電気銅めっき・水洗	
7	乾燥	光沢電気厚銅めっき・水洗	
8	仕上げ	乾燥	
9	検査	仕上げ	
10		検査	

1. 1. 4 研究目的及び目標

本研究は、熱粘弾性加飾フィルム融着法によるめっき代替のメタリック装飾自動車外装部品の製法を開発することを目的とする。この製法の確立により、現在主流である化学めっき法の課題を解決し、LED、光透過電飾や自然光による光彩機能を持つ自動車用機能部品の開発が可能となる。

研究目標として、化学めっき法での製造工程は約 10 工程であるが、新技術ではこれを単純化させ、熱融着工程とトリミング工程の 2 工程とし工数削減(サイクルタイム 30 秒/個)と自動化を図る。更に化学めっき法では使用が不可能な樹脂への加飾が可能となるため、廉価材への

切り替えによる材料費削減と合わせたコストダウン(めっきに比べ 35%以上)を図る。なお、フィルムシートの使用率を向上させる製造方法を開発し、異物の噛み込みを 0.1%以下とすることで不良率を低減、フィルム廃材を削減し環境負荷低減を実現する。

1.2 研究体制

1.2.1 研究組織・管理体制

本研究開発における組織・管理体制を図1.2.1-1に示す。

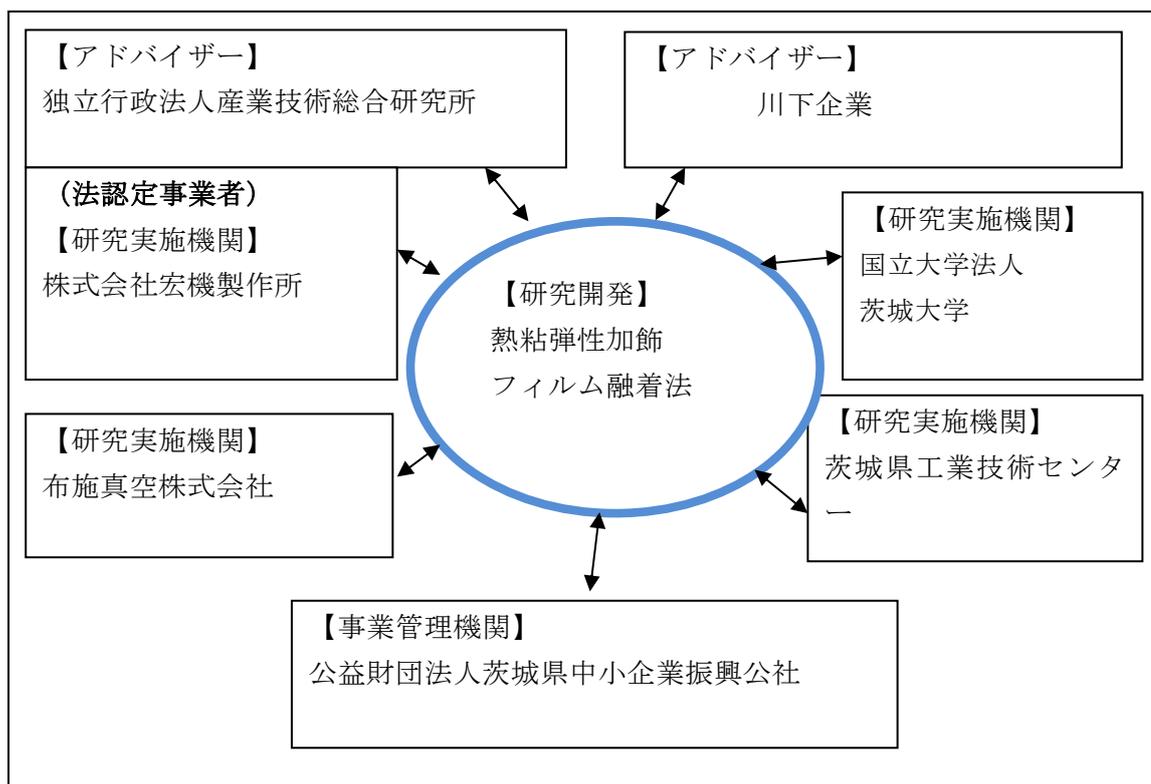


図1.2.1-1 組織・管理体制

1.2.2 研究者氏名及び協力者氏名

本研究開発における研究者氏名および協力者氏名を表1.2.1-1に示す。

表1.2.1-1 研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
大賀 祐一	株式会社宏機製作所 取締役 営業技術部長	PL
羽生 友一	株式会社宏機製作所 取締役 生産部長	
倉持 武	株式会社宏機製作所 生産部 加飾成形次長	
土田 友和	株式会社宏機製作所 生産部 成形課長	
倉持 勇	株式会社宏機製作所 生産部 HL組立課長	
速水 敏朗	布施真空株式会社 総務部長	
池 義広	布施真空株式会社 営業部長	
渋谷 香	布施真空株式会社 営業部 開発営業課リーダー	SL
飯村 修志	茨城県工業技術センター 繊維工業指導所 素材開発部門長	
飯島 義彦	茨城県工業技術センター 繊維工業指導所 素材開発部門主任研究員	
小松崎和久	茨城県工業技術センター 繊維工業指導所 素材開発部門主任研究員	
安藤 亮	茨城県工業技術センター 繊維工業指導所 素材開発部門 技師	
谷萩雄一朗	茨城県工業技術センター 技術融合部門 主任	
山崎 和彦	国立大学法人茨城大学 工学部 准教授	
澤井 信重	独立行政法人産業技術総合研究所 イノベーション推進本部・産学連携室	アドバイザー
川下企業		アドバイザー

1.3 成果概要

1.3.1 熱融着技術の開発

熱粘弾性加飾フィルム融着法による成形加工にあたり、品質上の重要な項目として、ワークへのフィルムの巻き込み具合、フィルムの伸び具合、単品および量産化に向けた多数個配置時のフィルムのシワ(ブリッジ)などが挙げられる。これら項目に対する主な要因は、ワーク形状、フィルム物性値、および、加工条件(ワークの受治具、ワーク配置間隔、ステージ上昇速度、加圧圧力・温度・速度)などである。

この加工条件について、顧客より支給されたワーク現物に対して、フィルム融着試作のトライ&エラーを繰り返して条件決めを行う場合、融着可否の判断や製品の品質についての顧客への回答が迅速に行えない。さらに、顧客からはフィルム融着の試作レス化により、ワークデザイン時に最終製品の品質について回答を求められている。

そこで、顧客より提供されるワークデザインの三次元データを用いてフィルム融着結果を得るシミュレーション技術の開発を行った。フィルム融着過程をシミュレーションするためには非線形(フィ

ルム大変形、ワークとフィルム接触・融着など)且つ陽解法(加圧によりフィルムが動的に変化)での計算方式が必要であった。そこで、これらの計算を効率良く解ける計算コードを開発した。また、融着シミュレーションに必要な専用機能(受治具設計機能、ワーク配置機能、オペレーション設定機能(ステージ上昇、加圧圧力・速度))を備えたインターフェースプログラムを含め開発した。

開発した融着シミュレータによる計算結果と、実成形画像の比較より、良好な変形挙動が得られており、試作レスでの顧客への回答が可能となった。また、テスト計算の結果、量産化に向けた多数個配置におけるシワ(ブリッジ)の状況確認は計算単位値 1mm で可能であり、ワークへの巻き込み確認は計算単位値 0.25mm 以下でシミュレートが可能であることが判明した。

開発した融着シミュレーションに必要な専用機能を備えたインターフェースプログラムにより、受治具設計・ワーク配置からシミュレーション計算・結果閲覧まで簡易な操作で行えるようになった。

1.3.2 量産技術の開発

多数個取りに対応した熱融着制御技術の開発は、成形品(ワーク)の配置方向等の見直しを進め、ワーク間の最近接距離を割出すための試験を行った。その結果、フィルム端部から或は、ワーク間の最適間隔を取れば、相互に品質的な干渉を及ぼさないことがわかった。

また、量産製造ラインの設計において、熱融着試作成形機の最適化を行った。前年度、熱融着試作成形機を用いて量産試作品を製作・評価を行い課題となっていた散発的に線状の模様が発生する事案について原因調査を行い、その対策を実施した。熱融着試作成形機に熱融着条件を最適に制御する機能を付加した。

さらに、トリミング工程に対して、小型で安価なレーザセンサを用いた、レーザトリミング後の樹脂成形品表面のステージ観察技術を検証した。その結果、トリミング部位からの反射光強度が周囲よりも低下することを確認した。測定時間を適切にした場合、その反射光強度が設定値を下回る条件でトリミングが行えていた。センサ(ワーク)の走査方向・走査回数の工夫で、レーザトリミング部位の安定したその場観察法とし活用でき、製造ラインへの搭載も可能である。

そのほか、レーザトリミング時のフィルムからの発煙対策として、シングルノズルとマルチノズルを比較検討したところ、レーザ照射部位の周囲から吸引するマルチノズルの方が、発生したガスによる基板表面の汚染を抑制する効果が得られた。

一方で、透明基材への適応に向けた可視光波長レーザトリミングとして、波長 532 nm のパルスレーザ光を用いて、透明アクリル基板上加飾フィルムを融着したワークのレーザトリミングを試みた結果、良好な結果は得られなかった。

1.3.3 試作品評価

これまで、熱粘弾性加飾フィルム融着法により鏡面フィルムをワークに貼り付けた際の品質評価として、フィルム光沢、輝度、反射率の分光測色計による測定やフィルムのめっき密着強度試験測定、レーザトリミング加工における加工部のカット幅の測定等を実施した。

フィルムの反射率については、目標のバラつき 10%以内を満足させ、めっき代替品として十分な性能を有することが確認できた。また、フィルム密着力は、概ね所定の密着力があることがわかり、目標値を完全には満足させることはできなかったが、プラスチック上への装飾用電気めっきと同等の性能を有することが確認できた。レーザトリミングのカット幅に関しては、目標の 1mm 以下を達成することができた。

平成25年度実施工程（平成25年4月～平成26年3月）

平成25年度 実施項目と 研究開発スケジュール

実施内容	平成25年									平成26年		
	4	5	6	7	4	9	10	11	12	1	2	3
①熱融着技術の開発		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
②レーザーリミング技術の開発		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
③量産技術の開発		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
④プロジェクトの管理・運営		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

平成26年度実施工程（平成26年4月～平成27年3月）

実施内容	平成26年										平成27年		
	4	5	6	7	8	9	9	10	11	12	1	2	3
①熱融着技術の開発	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
②量産技術の開発	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
③試作品評価	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
④応用製品の開発	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
⑤プロジェクトの管理・運営	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←

1.4 当該研究開発の連絡窓口

当該研究開発の事業管理者

事業管理機関名称 : 公益財団法人茨城県中小企業振興公社

住所 : 茨城県水戸市桜川2丁目2番35号

代表者役職・氏名 : 理事長 楠田幹人

連絡担当者

所属役職・氏名 : 新事業支援課 課長代理 近藤晴彦

TEL : 029-224-5339

FAX : 029-227-2586

E-mail : h-kondo@iis-net.or.jp

第2章 本論（研究開発実施内容・成果）

2.1 熱粘弾性加飾フィルムの開発

熱粘弾性加飾フィルム融着法は、射出成形等によって予め形状を付与したものに、三次元的な形状に即してフィルムを貼り付けて加飾する手法である。フィルムに施した色彩や質感等をそのまま製品に転用することができるため、例えば金属光沢のあるフィルムを使ってめっき調の表面を再現させ、それらの基材に透光性のある素材を適用することで、めっき調表面でありながらバックライト光源による演出が可能となるような従来には無い新しいコンセプトの製品創出が可能な技術へと発展させることができる。

しかしながら、全ての基材に全てのフィルムが適用可能なわけではなく、熱粘弾性加飾フィルム融着法さらには考案したコンセプトを達成するために、適したフィルム物性、必要なフィルムの物性がある。熱粘弾性加飾フィルムの開発に当たっては、まずこれらのフィルムに対する推奨物性を精査して、その条件を満たすフィルムを選定する作業を行った。また、選定したフィルムについて、熱粘弾性加飾フィルム融着法に使用するに当たって必要となる熱特性及び延伸による物性変化、光応答性等について詳細に評価する試験を行った。

2.2 熱融着技術の開発

2.2.1 真空・圧空を用いた熱融着成形機的设计開発

フィルムによる加飾方法としてはインモールド・インサートモールド成形、水圧転写があるが、両工法とも基材表面への加飾のみとなっている。今回の研究テーマである自動車外装部品では基材裏側までフィルムを貼り付けることが必要となり、その条件を満たすことができる加飾方法を研究し、真空及び圧空を用いてフィルムを貼り付ける工法に辿り着いた。

工法研究による予備実験により得られた成果をもとに、真空・圧空を用いた熱融着成形機的设计開発を行った。

1) 真空・圧空成形装置原理

真空・圧空を用いた成形とは、成形材にヒータにより加熱を行い、成形材が軟化した状態で成形型内部を真空状態にすることで、成形材を成形型に密着させ圧縮空気で加圧することにより確実に成形型の形状にすることができる。(図2.2.1-1)

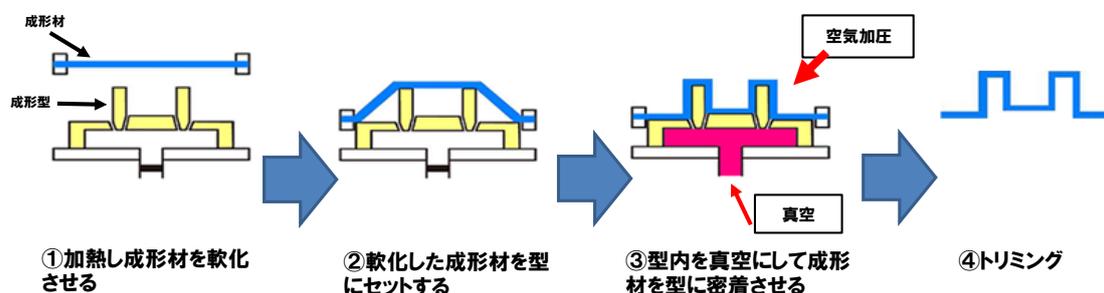


図2.2.1-1 真空・圧空成形プロセス

の原理を元に、熱粘弾性フィルムを三次元樹脂成型品に熱融着させるための装置の開発を行う。

熱粘弾性加飾フィルムの熱融着成形を行う真空・圧空成形装置のプロセスは、フィルムをヒータにより加熱を行い、フィルムが軟化した状態で真空吸引にて基材にフィルムを貼り付け空気加圧を行うことでフィルムの基材への密着性を高める。(図2. 2. 1-2)

また、真空吸引により基材の表面のみではなく、裏側にもフィルムを引き込まれ一体化できることが特徴であり、引き込まれたフィルム終端部は、熱融着によって封止構造とすることができる。

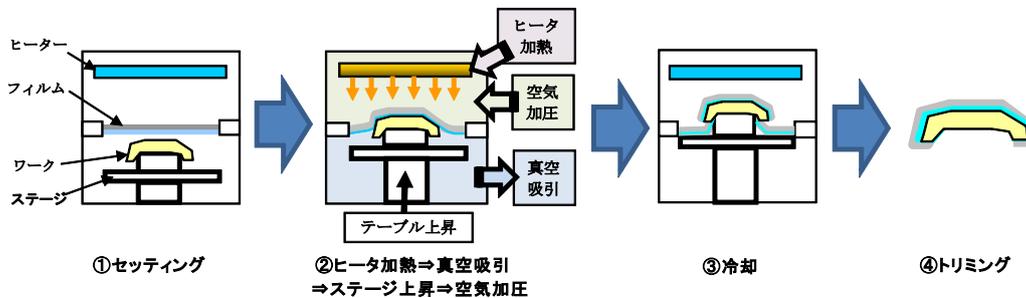


図2. 2. 1-2 真空・圧空を用いた熱融着成形プロセス

2. 2. 2 シミュレーション技術の開発

1) 概要

これまでに熱粘弾性加飾フィルムの熱融着シミュレーションについて、シミュレーションに必要なとなる計算条件を確立するために、処理工程に基づく応力・温度変化・ワーク動作・圧力変化のイメージ化から計算モデルを策定し、フィルム物性値(ヤング率、ポワソン比、密度)の取得・評価を行い、これら条件を基に、汎用有限要素法解析ソフトウェアである ANSYS multi-physics を用いて、ワークの3Dモデルに対するシミュレーションを実施した。その結果、フィルムの伸び挙動について実成形とシミュレーションとで傾向として一致することが確認された。

しかしながら、以下の課題が明らかとなった。

- ①フィルムのワーク下への巻き込み挙動が再現されない。
- ②ANSYS は汎用ソフトウェアのため、フィルム融着シミュレーションに必要な以下の専用機能がない。
 - ・フィルム巻き込み性の最適化に関わる受治具の設計機能
 - ・量産化に関わるワーク配置の設定機能

これら課題を解決するために、熱粘弾性加飾フィルム融着法に適した新たなシミュレータの構築が必要と結論付けられた。

2) 新たに構築するシステムの要求事項と指針

先ず、フィルムの巻き込み挙動のシミュレートについて、フィルムは大気開放・加圧によって短時間に大きく変形し、ワークとの接触・融着によって境界条件が変化するため、陽解法を用いて、フィルムの大変形や非線形な接触・融着を計算しなければならない。ANSYS multi-physics は陰解法かつ有限要素法のため、このような計算は不得手である。

そこで、これらの計算を効率良く行える陽解法の計算コードを開発することとした。本計算コードは有限要素法に比べて、非線形計算に強く、並列化効率が高いため陽解法を高速に解けるといった特徴を持たせた。

しかし、陽解法は計算を収束させるために時間ステップを小さくし演算を行う必要があるため、膨大な総当たり計算とする手法のため演算が高負荷な計算コードとなる。そのため、高負荷演算を高速に行う必要があり、計算装置の開発・製作も行うこととした。

更にフィルム融着シミュレーションに必要な特別な専用機能として、

- ①受治具設計機能
- ②ワーク配置設定機能
- ③計算条件の設定、管理、計算結果の3D 動画・静止画(フィルム伸び、応力)の表示
- ④巻き込み表示やフィルムの無駄確認などのプリ・ポスト機能

の機能を備えた専用インターフェースプログラムの製作も合わせて行うこととした。

3) 計算装置と計算速度

前項で示す計算プログラムコードを高速に計算するための計算装置の CPU の選定について、本コードは陽解法であり、時間ステップを小さくする必要がある。時間ステップ毎の計算は逐次計算となるため、CPU クロック数を高くするほど高速に計算が行える。

一般的に CPU のクロック数とコア数は相反関係になるため、CPU の選定にあたっては計算対象コードの特性に応じて優先する指標を定める必要がある。

ここで、もう一つの重要な指標として、メモリー帯域幅(GB/s)が挙げられる。メモリー帯域幅はメモリーから CPU への単位時間当たりのデータ転送量であり、この値が小さい場合、CPU の処理能力が高くても処理するデータが供給されないため、CPU のデータ待ち時間が発生し、計算効率が落ちることとなる。また、メモリー帯域幅は CPU 内のコア数で共有されるため、コア数が多くなるとメモリー帯域幅が小さくなる。

コンピュータプログラムは CPU 性能律速型とメモリー性能律速型に分類され、前者は CPU による演算処理が複雑かつ頻繁に行う画像処理系のプログラム、後者は CPU 処理が比較的単純かつメモリーアクセスが多くなる流体計算等のプログラムが該当する。本コードはメモリー性能律速型に分類されるため、メモリー帯域幅を重視しなければならない。

4) 専用インターフェースプログラム

専用インターフェースの構成および処理フロー及び入出力フォーム等を新規プログラムを行った。プログラム内では、下記機能を所定のフローに基づき入力→演算→シミュレート→出力される。

処理フローには、大きくは、下記のステージを持たせてある。

- ①ワーク受け治具設計機能(高さ、姿勢、等に関する事項)
- ②ワーク配置機能 (形状、寸法、位置、配置、向き等に関する事項)
- ③計算条件設定・管理(フィルム物性値、強度、製造条件管理値等に関する情報)
- ④計算結果処理機能(フィルム使用量、シミュレーション、製造条件管理値の保存等)

5) シミュレータ検証計算

本シミュレータの動作検証を行うために、下記の検証計算を行った。

- ・検証計算(1):実成形フィルム融着動画像との比較
- ・検証計算(2):計算単位値の違いによる巻き込み計算結果の比較

(1)検証計算(1):実成形フィルム融着動画像との比較

フィルム融着動画像が得られている以下の計算モデルを設定し、シミュレーション計算を行い、動画像から 33msec 毎の静止画像フレームを取得して、シミュレーション結果との比較を行った。

計算モデルと計算条件を(図2. 2. 2-1)に示す。

フィルムサイズ	: 300mm × 300mm
計算単位	: 1mm
ヤング率	: 1.95MPa
フェーズ1	: 100ms 上昇
フェーズ2	: 100ms 加圧
タイムステップ	: 2 μ s
接触境界	: 固着

図2. 2. 2-1 検証計算(1)の計算モデルと条件

実成形動画像の静止画フレームとシミュレーション結果との比較を検証し、本ケースでは良好な変形挙動シミュレーション結果が得られた。

(2)検証計算(2)

- ・巻き込み確認計算を行うために最適な計算単位値

巻き込み確認に必要となるワークのエッジ部におけるフィルム貼り付き挙動の形状追従性について、単位値の違いによる影響が大きい。単位値が大きいほどジャギーが目立つようになる。シミュレーションの結果より、巻き込み確認は単位値=0.25mm以下が必要だといえた。

6) シミュレーション精度向上に向けたフィルム物性値の取得

これまで、シミュレーションに用いてきたフィルムの物性値は、前年度熱機械分析装置により測定した一定応力下における加熱-変形曲線のデータを基に算出したヤング率を用いていた。この値は、簡易的に算出したものである。

そこで、本年度は、フィルムを成形環境に近い温度雰囲気を設置して、引張試験機による応力-伸びの測定を行う試験を実施した。測定は、フィルムの延伸方向と非延伸方向について行い、それぞれの試料について、加熱時の熱膨張及び延伸緩和によるフィルム伸縮率の変化、加熱時のフィルムのヤング率、目標加熱温度で一定時間保持後のフィルムのヤング率を評価した。

(1) 加熱時の熱膨張及び延伸緩和によるフィルム伸縮率の変化

測定は、図2. 2. 2-2に示した様な温度制御ボックスを備えた引張試験機を用いて、加熱

温度をワーク温度に設定して試験を実施した。加熱時の熱膨張及び延伸緩和によるフィルム伸縮率の変化を測定する試験では、試験温度に加熱した温度制御ボックス内で、フィルムをつかみ具に固定し、フィルムの伸縮状況を測定した。試料幅 25mm、つかみ具間隔 50mm、初期荷重を最小(≒0)として、延伸方向、非延伸方向で測定を行った結果を図2. 2. 2-3に示した。延伸方向では、フィルムの熱膨張と延伸緩和による収縮が生じていると考えられ、全体として

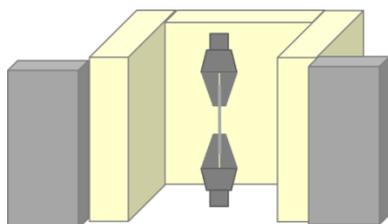


図2. 2. 2-2 温度制御ボックスを備えた引張試験装置のイメージ

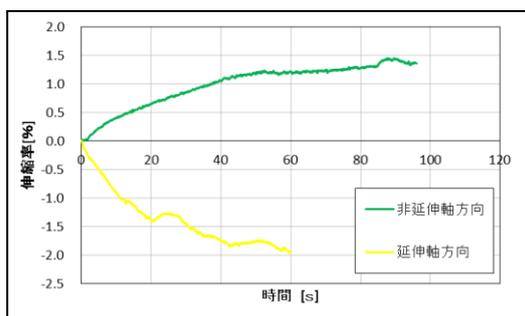


図2. 2. 2-3 加熱時の熱膨張及び延伸緩和によるフィルム伸縮率の変化

(2) 加熱時のフィルムのヤング率

(1)と同様の試験機器により、加熱した温度制御ボックス内で、フィルムをつかみ具に固定した直後から、50mm/min の引張速度で、引張試験を実施した時の応力-歪みの測定結果を図2. 2. 2-4に示した。延伸方向の試料では、初期の過程において歪みの少ない応力発生が確認でき、延伸緩和にともなう収縮力が働いているものと思われる。この初期過程における歪みの少ない応力発生以降の領域では、応力-歪み曲線の傾きは、延伸方向に因らずほぼ同じ変化を示していることがわかる。初期過程の延伸緩和分も含めて、それぞれの方向におけるフィルムのヤング率を算定すると、この値は、昨年度算出した値よりも数倍大きな値であることがわかった。

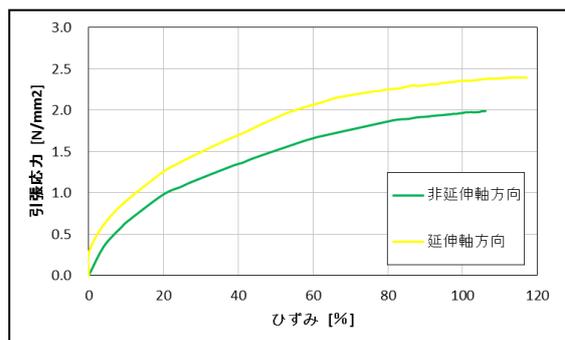


図2. 2. 2-4 加熱雰囲気におけるフィルムの引張試験結果

(3) 目標加熱温度で一定時間保持後のフィルムのヤング率

実際の熱粘弾性加飾フィルム融着法の製造工程では、フィルムの加熱と成形開始の間に僅かな時間差が生じている。そこで、一定時間、加熱雰囲気内で保持して、延伸緩和の影響を排除した後に、引張試験を実施した時の応力-歪みの測定結果を図2. 2-5に示した。目標加熱温度×一定保持時間経過後に引張速度 50mm/min で試験を行った。延伸方向で切出した試料は、保持時間の間に延伸緩和にともなう収縮応力を示した後、熱による膨張が確認できた。引張試験の結果では、切出し方向に係わらず変曲点を有する曲線が得られた。一方で、変曲点の位置や曲線の傾きが異なっており、フィルムの配置方向による製品品質の差が生じる可能性が示唆された。

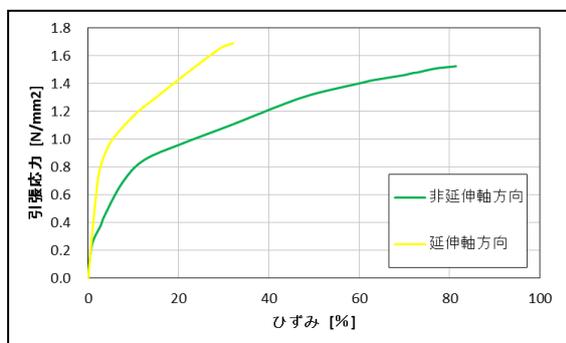


図2. 2. 2-5 目標加熱温度×一定保持後に開始した引張試験結果

(4) シミュレーションに適用するための試験結果の解析

先に測定した応力-歪み曲線の結果からフィルムを非線形の弾性体としたときの各歪み量に応じたヤング率を決定するため、非線形な歪み依存の変数として導出を試みた。

図2. 2-5の延伸方向試料に関する測定結果をフィッティング処理し、得られた関数を基に導出したヤング率の結果を図2. 1. 1-6に示した。このヤング率データを基にワークのフィルム伸びを評価するシミュレーションを行った。

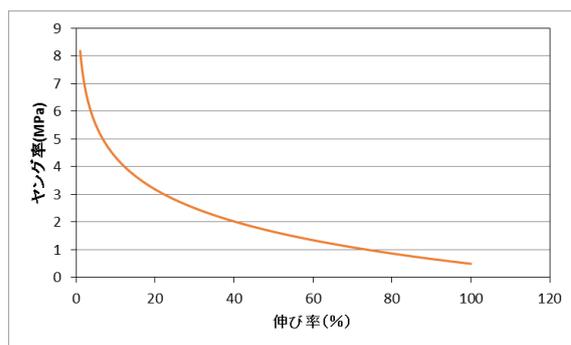


図2. 2. 2-6 引張試験結果のフィッティング結果を基に導出したヤング率変化

以前のヤング率測定結果を基にしたシミュレーション結果において、シミュレーションと実物との結果が完全には合致していない状態であることがわかっていました。一方、今回新たに解析したヤング率の導出結果を導入して行ったシミュレーションの結果では、より実物に近い状態を再現することができました。

2. 2. 3 研究開発成果まとめ

熱融着技術開発に於いて、既に試作を行った、熱融着成形機を、量産技術開発のため、改造設計を行い、それに伴った、試作品での検証を実施した。

一方、量産のための、シミュレーション技術の開発も実施し、シミュレーションと改造量産設備との両方から試作検討を行い、試作条件、を確認し試作を実施した。

本件で開発したフィルム融着シミュレータによる計算結果は図2. 2. 2-5に示す通り、実成形と比較して良好な変形挙動を示しており、顧客から提供されたワークデザインの三次元データを用いてフィルム融着結果を得ることが可能となり、試作レスにて顧客への回答が可能となった。

また、量産化に向けた多数個配置におけるシワ(ブリッジ)の状況確認は、シミュレーション計算単位値=1mm で可能であり、ワークへの巻き込み確認は単位値=0.25mm 以下で可能であることが判明した。計算時間と単位値の関係は三乗で逆比例となることが判っており、単位値0.25mmの方が1mmより64倍計算時間が長くなる。従って効率良くシミュレーションするために、最適な単位値の選択が重要と言える。

さらに、融着シミュレーションに必要な専用機能を備えたインターフェースプログラムにより、受治具設計・ワーク配置からシミュレーション計算・結果閲覧まで簡易な操作で行えるようになった。

2.3 量産技術の開発

2.3.1 多数個取りに対応した熱融着制御技術の開発

熱粘弾性加飾フィルム融着法は、既定サイズの中で互いに干渉しない領域を保っていくつのワークを配置できるかは、生産コストの面で重要な課題となる。前年度はワークを同一方向に配置して、干渉を生じないワーク間距離について、升目付フィルムを使ったフィルム伸びや2つのワーク間に生じるシワ等の観点から評価を行い約 150mm のワーク間距離を取ると、品質的な影響が無くなることを確認した。本年度は、各種ワークの配置で、ワーク間距離や、各種配列形状で配置し、ワークのポイントとなる部分のフィルム伸びを測定評価した。

また、ワークの配置限界について、シミュレーションを用いて評価を行った。

1) 前後反転配置したワークのワーク間距離による品質への影響

ワークを1個だけ配置した場合の測定ポイントにおけるフィルムの伸びは、初期状態のフィルムに対して伸び率が全体的に 100%となっていた。

ワーク2個を反転した状態で配置し、ワーク間距離を 100mm から徐々に広げていった場合の測定ポイントにおけるフィルムの伸び率を表2. 2. 1-1に示した。ワーク間距離が狭いところでは、伸び率が大きくなる。ワーク間距離を徐々に広げていくと伸び率が小さくなり、ワーク間距離を 125mm まで広げると全体が 1 個取りの伸び率と同じ 100%となることが確認できた。このことから、本ワークの形状では、反転配置で 125mm のワーク間距離を取ることで、製品品質に差異の無い製品が得られることがわかった。

表2. 3. 1-1 ワーク間距離を変えて配置したフィルム伸び率の変化

測定ポイント	1個取り	100mm 反転配置	110mm 反転配置	120mm 反転配置	125mm 反転配置
①	100%	108%	100%	100%	100%
②	↑	115%	118%	108%	100%
③	↑	145%	130%	109%	100%
④	↑	129%	113%	104%	100%
平均伸び率	100%	124%	115%	105%	100%

2) 前後反転配置したワークのシミュレーション評価

ワーク2個を間距離 120mm で反転配置した場合のシミュレーション結果では、先の伸び測定の試験結果からわずかに大きなフィルム伸びがあることが確認できている。しかし、実際の製品状態では品質的な影響を確認することは難しく、升目フィルムを使った伸び判定が生産初期段階で必要不可欠な作業となることが予想される。

一方で、シミュレーションの結果を見ると、ワーク下部の赤で表示されているフィルムの大きな伸びを示す領域がワーク間で広がっている様子が確認でき、より簡易的に精度の高い生産初期条件の設定が可能になることが期待できた。

3) フィルム加工領域から制限されるワークの配置限界

熱粘弾性加飾フィルム融着法は、バッチ式の加工処理となるため、フィルム加工領域が一定の大きさに制限される。その加工領域の端部に対して、ワークを配置可能な品質的影響を生じ

ない距離を、開発したシミュレーションソフトを使って評価した。

シミュレーションの結果、フィルム加工領域端部からの距離が 50mm の場合は、赤で異常と表示され、フィルムの大きな伸び領域が端部側に広がっていた。ワークの前面と側面では、影響の度合いが異なり、端部からのフィルム伸びの影響はワーク側面で顕著であることがわかった。

結果として、フィルム加工領域端部からの距離を 100mm にして配置した場合、フィルム伸びは端部の影響をほとんど受けなくなることがシミュレーションでも確認できた。

2.3.2 量産製造ラインの設計

1) 熱融着試作成形機の改造

平成 26 年度、熱融着試作成形機を用いて量産試作品を製作・評価を行い、当初掲げていた目標値については全て達成することが出来た。しかし、川下企業より商品性を確保するため「表面に著しいキズ等が無いこと」を求められているが、散発的に線状の模様が発生、原因調査を行ったところワーク温度が低いと加熱されたフィルムが急激に固化し、均一にフィルムが伸びないことにより模様が発生することが判明した。

このため、今年度は加熱されたフィルムの急激な固化を防止するため、熱融着試作成形機(図 2. 2. 1-2 に量産熱融着装置の概念図を示す)に加圧力・温度・速度など熱融着条件を一定に保つ条件管理制御機能を付加する改造を行った。

(1) 改造設計仕様

熱融着試作成形機にワークへのフィルム加圧力・フィルムとワークの温度制御・ステージ速度などの熱融着成形機条件を一定に保つ条件管理制御機能を付加する改造を行うにあたり、下記を改造の設計条件とした。

- ・熱融着時の初期圧力設定は、一定に設定可能とする
- ・ワーク受け治具は、均等にワークへ熱が加わる構造とする
- ・フィルム加熱温度に対して、ワークの温度制御は常温から任意に変更可能とする
- ・高い量産性

(2) 改造概要

試作熱融着成形機に成形条件を一定に保つ条件管理制御機能を付加する改造の詳細仕様については次の通りとする。

① ワーク条件管理制御装置

熱融着試作成形機のフィルム加圧力・フィルムとワークの温度制御・ステージ速度などを条件管理値に基づき制御可能な装置とする。

- ・管理値: $\pm 10\%$ 目標

② ワーク受け治具

平成 24、25 年度で開発した受け治具を基本形状とし、小型・軽量化・耐食性とする。

- ・材質: 耐熱材

(3) 試運転・評価

改造・据付完了後、熱融着試作成形機に成形条件を一定に保つ条件管理制御機能が正常に作動することを確認、各研究員に操作の習熟訓練を実施した。

2) 量産製造ラインの設計

平成25、熱弾性加飾フィルムを熱融着させ、ワーク及びフィルム供給と熱融着加飾済み製品の取り出しが可能な量産製造ライン(熱融着量産成形機)の設計を行い、下記設計仕様とすることで目標値であるサイクルタイム 30 秒/個以下を達成することが出来た。

(1) 設計仕様

① 多数個取りの設定

多個取り/サイクル(最大成形寸法を幅 450mm×長さ 1,250mm)とする。

② 工程の複線化

B: 熱融着成形と、A: フィルム及びワークの取付け・取外しの工程を複線化し、A・B工程の切替が最小となるロータリー式を採用

③ 量産熱融着工程

多数個取りと工程の複線化により、設計上はサイクルタイム25sec/個となり、目標値であるサイクルタイム 30 秒/個以下を達成

(2) 量産製造ラインの設計

前述の設計条件を基に、熱融着量産成形機の詳細設計を行い、装置の仕様及び全体レイアウト図を作成し、目標値であるサイクルタイム 30 秒/個以下の量産製造ラインの設計を完了した。

2. 3. 3 レーザトリミング技術の開発

1) 最適レーザの研究

金属光沢を有する熱粘弾性加飾フィルムを融着したプラスチック成形品(ワーク)は、成形工程でワーク裏面側にフィルムの余剰を生じる。そこで、材料のロスや取り残しが少ないようにフィルムを切断することが可能なレーザトリミング技術を開発する。図2. 2. 1-1に、本研究開発で目指すレーザトリミング技術の概要を示す。レーザ光を吸収した基板で発生する熱を利用して加飾フィルムの切断と、フィルム端部と基板との融着を行う。

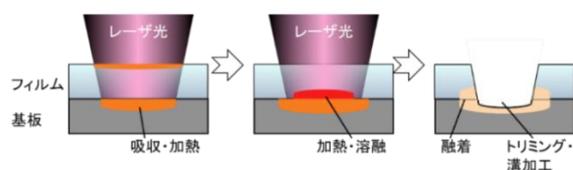


図2. 3. 3-1 レーザトリミング技術の概要

(1) 使用するレーザー光源

レーザートリミングのためのレーザー光源の選定を実施した。

レーザー光を照射するサンプルは、加飾フィルムを融着したワークとし、レーザー照射後の表面や断面形状を観察した。その結果、①Nd:YAG レーザマーカが本技術のレーザートリミングに比較的適していると方向づけた。

図2. 3. 3-2に Nd:YAG レーザマーカのセットアップを示す。レーザー光源は、連続発振の Nd:YAG レーザで、写真の上部から集光したビームが照射される。

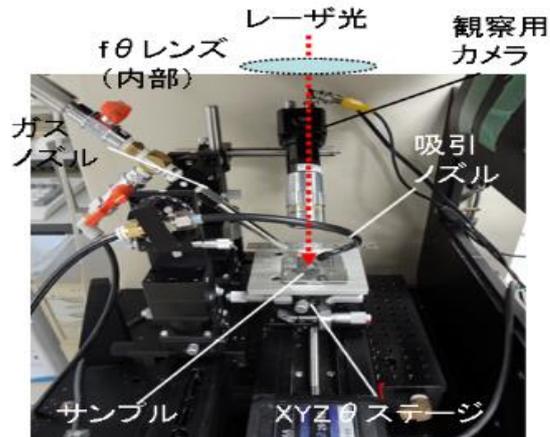


図2. 3. 3-2 レーザ光学系セットアップ

図2. 3. 3-3、レーザー照射後のワークの、表面の拡大図と断面のレーザー顕微鏡像を示す。走査速度 10mm/s~20mm/s で、いずれの出力においても、レーザートリミング(加飾フィルムの切断)と、レーザー加工溝端部でのフィルムの融着が確認されている。

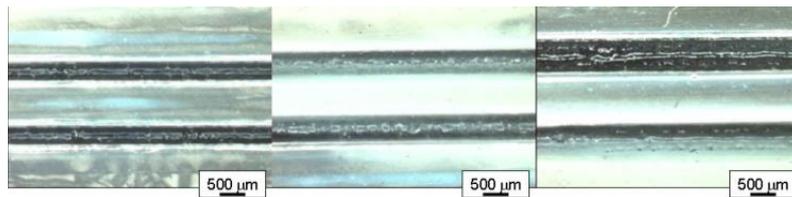


図2. 3. 3-3、レーザー照射後のワークの表面

加工幅は 400~800 μm 前後

(左から) : 1.2 W、2.5 W、3.8 W

ここで、トリミング方法の比較のために、従来のカッターとホットナイフによるワークのトリミングを行った。トリミング後の基板表面には、レーザートリミング同様、基板の黒い色が確認された。

カッターやホットナイフでも、加工幅 50~100 μm のフィルムのトリミングが可能となるが、カッターの場合はほとんど熱が発生しないため、トリミング端部のフィルムと基板との間に隙間が生じ、剥離している印象を受ける。ホットナイフのトリミングでは、レーザートリミング同様、加工端が

盛り上がっているものの、融着が見られるレーザトリミングの断面とは大きく異なっている。

以上の結果から、①Nd:YAG レーザを、融着したフィルムに集光照射することで、レーザ光が加飾フィルムを透過して基板に吸収され、加飾フィルムの切断と融着に至ったと推測される。

2.3.4 レーザトリミング部位の評価方法の検討

レーザトリミングによってフィルム材料のロスが少なくなるが、製造ラインに搭載し、量産技術としての効果を得るためには、レーザトリミング後のフィルムのその場観察方法や、トリミング時の透明基材への適応が必要となる。フィルムのその場観察は重要な課題である。

(1)レーザトリミング後のフィルムのその場観察方法

これまでレーザトリミングのためのレーザ光源を選定し、トリミング装置に搭載された。そこで、フィルムをトリミングした樹脂成形品表面にレーザ光を照射して、短時間でレーザトリミングの良し悪しを判断可能な技術について開発した。

トリミング部位の観察方法としては、光学顕微鏡や暗視野像観察が有効であるが高額の設備が必要となる。そこで、安価なレーザセンサによる短時間でレーザトリミング装置への導入も可能なその場観察方法について開発を行った。その方式を図2.3.4-1に示す。

この方法は、高出力のレーザ光を照射するレーザトリミングと似ているが、レーザセンサー用の半導体レーザの出力は小さく、装置も小型である。

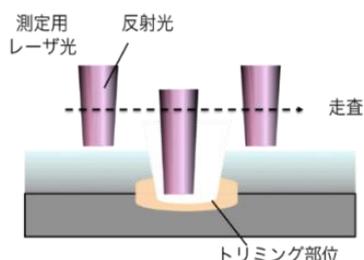


図2.3.4-1

(2) トリミング部位の断面観察

レーザセンサで評価したワークの断面観察を行った。本方式によるトリミング性を判別したのち、評価後のワークを切出して樹脂に埋め込み、トリミング部位断面のレーザ顕微鏡像を確認した。評価結果は、トリミングでの合否判定結果と断面観察の合否判定とほぼ一致する結果であった。

2.3.5 研究開発成果まとめ

多数個取りに対応した熱融着制御技術の開発を実施。ワーク成形品の配置方向等の見直しを進め、ワーク間の最近接距離を割出すための試験を行った。その結果、フィルム端部からの間隔を適切に取れば、相互に品質的な干渉を及ぼさない結果が定量化された。

また、量産製造ラインの設計において、熱融着試作成形機の改造を行った。課題となっていた散発的に線状の模様が発生する事案について原因調査し、加熱されたフィルムの急激な変形を防止するため、熱融着試作成形機に加圧力・温度・速度など熱融着管理条件を一定に保つ条件管理制御機能を付加する改造を行った。

さらに、レーザトリミング技術についての検討結果は、以下のとおりである。

1)レーザトリミング

試験用に選択したレーザ装置を用い、レーザトリミング技術の試作試験を実施した。結果としてトリミングに最適な Nd:YAG レーザを選定した。

2) レーザトリミング部位の評価方法

トリミング部位の観察方法としては、高額な光学顕微鏡や暗視野像観察方式を避け、安価なレーザセンサによる短時間でレーザトリミング装置への導入も可能なその場観察方法について開発を行った。

この方法は、高出力のレーザ光を照射するレーザトリミングと似ているが、レーザセンサ用の半導体レーザの出力は小さく、装置も小型である。

またその検証もトリミング部位の断面確認試験を実施し、性能の確認を行った。

2.4 応用製品の開発

2.4.1 光機能性製品の検討及び応用製品の開発

2.4.1.1 加工条件による透過光への影響評価

熱粘弾性加飾フィルム融着法により鏡面フィルムを透明の基材に貼り付けることで、光透過性のある金属調樹脂成形加飾部品を作製することができる。製品を透過する光の状態は、フィルムの伸び率や基材の厚さの影響を受けて変化することが予想される。そこで、フィルム伸び、基材厚さの異なる試料を用意して、鏡面反射の影響を受ける蛍光灯下と鏡面の影響を受けない暗所において、色調の異なる波長のモノクロ光を裏面から照射して、透過する光の発色や見映え等について比較する試験を行った。

試験では、図2.4.1-1に示した様な Xe ランプから出射した光をモノクロメーターで分光する装置を用い、20mm 円形の光を照射して、光強度測定システムで透過光量を測定した。Xe ランプからモノクロメーターで分光した光の波長は、500nm, 600nm, 650nm, 450nm, 575nm で、それぞれ水色、オレンジ色、赤色、青色、黄色の発色の光である。

フィルム伸びの異なる試料について暗所及び蛍光灯下で測定した各波長の光の透過光強度を測定した結果を図2.4.1-2及び図2.4.1-3に示した。

照射光の強度は、モノクロメーターを使った分光であるため、長波長側ほど低くなる傾向がある。透過光の強度は、フィルムの伸びが少ないほど低くなる傾向がある。しかしながら、50%及び100%のフィルム伸びでは、照射光強度と透過光強度が相対的に変化しているのに対して、0%の伸びのフィルムでは照射光強度の変化が透過光強度に反映されていないことがわかった。

これは、フィルムの状態によって透過光強度に飽和強度が存在する可能性を示唆するものと考えている。すなわち、製品設計における光源に関する指針として、光源強度を一定値以上に強くしても透過光強度を上げることができない可能性があることを示すことができると考えられる。

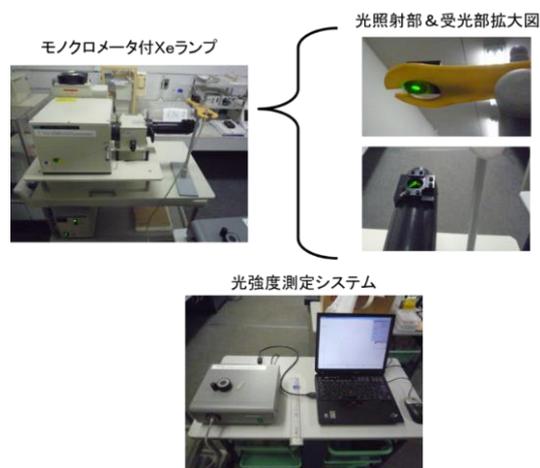


図2.4.1-1 フィルム透過光強度の測定試験機器の構成

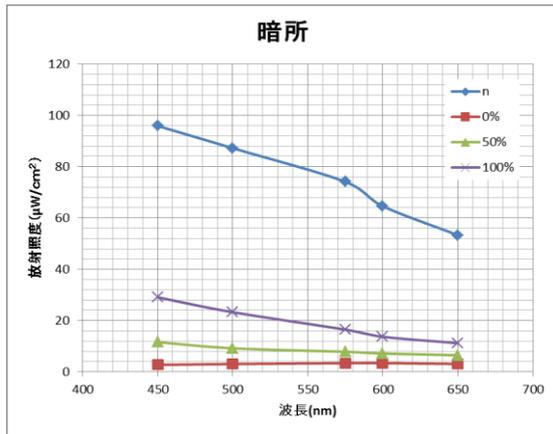


図 2. 4. 1-2 暗所で測定した各波長の光の透過光強度測定結果

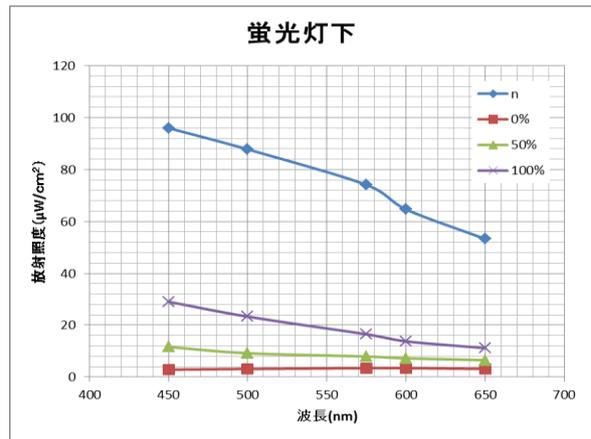


図 2. 4. 1-3 蛍光灯下で測定した各波長の光の透過光強度測定結果

図 2. 4. 1-4 から図 2. 4. 1-8 には、上記試験中の透過光の状態を観察した結果を示した。透過光は、フィルムの伸びによって照射円をシャープに再現するものから照射円の周辺に光彩が広がるもの、光彩の大きさがフィルム伸びの増加にともなって大きくなっている様子が確認できる。さらに、暗所で見映えのする色調、蛍光灯下で映える色調等を確認することができた。

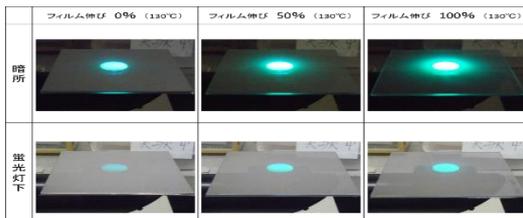


図 2. 4. 1-4

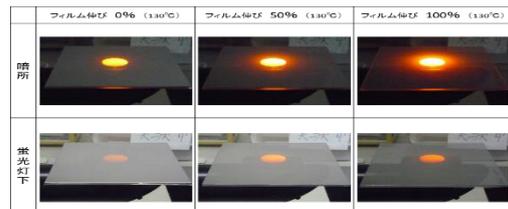


図 2. 4. 1-5

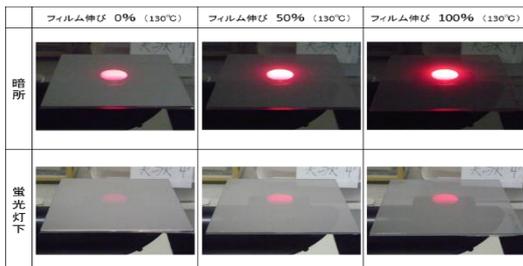


図 2. 4. 1-6

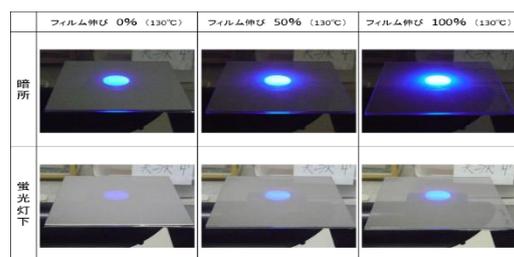


図 2. 4. 1-7

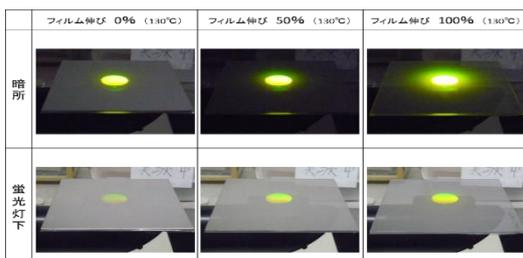


図 2. 4. 1-8

- 図 2. 4. 1-4 波長 500nm の光の結果
- 図 2. 4. 1-5 波長 600nm の光の結果
- 図 2. 4. 1-6 波長 650nm の光の結果
- 図 2. 4. 1-7 波長 450nm の光の結果
- 図 2. 4. 1-8 波長 575nm の光の結果

2.4.2 研究開発成果のまとめ

熱粘弾性加飾フィルム融着法により鏡面フィルムを透明の基材に貼り付けることで、光透過性のある金属調樹脂成形加飾部品を作製した。製品を透過する光の状態は、フィルムの伸び率や基材の厚さの影響を受けて変化することがわかり、デザインに応じた様々な光の状態を再現することが可能となった。LED点光源を配列した発光ユニットを装着し、白色、赤色、青色、黄緑色の4色の光機能性製品の試作品を作製した。色再現性も良く、状態判別の表示としての視認性を付与するために十分活用可能な水準の試作品が得られた。

第3章 全体総括

3.1 平成24～26年度の研究開発成果

3.1.1 研究開発成果と課題

量産化に向けた自動車外装部品へのフィルムの熱融着技術の高度化(ワークの温度制御技術の確立)を図ることで、昨年度の課題であった製品外観の改善も図ることが出来、量産試作品として掲げていた数値目標を全て達成した。

また、上市化に向けた川下メーカーへの大きな提案材料となるシミュレーション技術では、製品化に必要な受治具の設計やワーク配置の設定まで行える実践的な装置の開発に成功した。

更に自動車外装部品への光機能性を付加した試作品の作成も予定通り行い、掲げた開発テーマについては全て計画通り進行し無事完了することが出来た。

平成24年から3年間に渡り本研究開発を実施してきたが、事業管理機関、各研究実施機関、アドバイザーが一体となり密なコミュニケーションを図ったことと、関東経済産業局様のご支援・ご指導頂いた結果、当初掲げていた計画だけでなく、川下企業からのニーズに合わせた柔軟な研究開発体制を常に維持することが出来た。

これにより、川下企業からもアドバイザーとして貴重な情報(ニーズ)をタイミング良くご提供頂くことが出来、常に方向性を明確にした研究開発を行えたことが本成果へ繋がったと思われる。

今後の課題としては、本研究開発で確立した工法を用いた製品の、一日も早い上市化が最大の課題となるが、この実施体制を継続・維持していくことで必ず達成できるものと確信している。

以上

