

平成 2 5 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「熱可塑 C F R P プレス成形品の高度マテリアル
リサイクルシステムの構築」

研究開発成果等報告書

平成 2 6 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 株式会社 大阪シティ総合研究所

目 次

第1章 研究開発の概要.....	2
1-1 研究開発の背景・研究目的および目標.....	2
1-1-1 研究開発の背景.....	2
1-1-2 研究目的および目標.....	4
1-2 研究体制.....	9
1-2-1 研究組織および管理体制.....	9
1-2-2 研究者および協力者.....	12
1-3 成果の概要.....	13
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	15
第2章 汎用金属プレス機で利用できる加熱搬送装置の開発.....	16
2-1 熱可塑 CFRP の加熱方法および熱源の選定および加熱特性試験.....	16
2-2 加熱搬送装置の開発.....	18
2-3 繊維強化熱可塑プラスチックのプレス金型の設計研究.....	20
2-4 再生・繊維強化熱可塑プラスチックに適合するプロダクトデザインの開発.....	24
第3章 再生・繊維強化熱可塑プラスチックの複合成形技術の開発.....	27
3-1 繊維強化熱可塑プラスチックの破碎方法の高度化研究.....	27
3-2 再生材と未使用材の複合プレス成形技術の開発.....	30
3-3 繊維強化熱可塑プラスチックのペレット製造法の研究.....	32
3-4 再生材と未使用材の複合押出し成形技術の開発.....	32
3-5 繊維強化熱可塑プラスチックのプレス成形と射出成形の融合技術の開発.....	33
第4章 全体総括.....	35
参考文献.....	35

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

1-1-1 研究開発の背景

近年、環境・エネルギー問題が深刻化しており、自動車や航空機等の輸送機器の省エネルギー化を目的に、構造材料の軽量化が進んでいる。主要構造部品の材質を金属から繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastic, FRP）に置き換えることにより、従来の車体の軽量化を実現し、燃費が大幅に向上される。構造材の軽量化が燃費という形で直接的な経済効果がもたらされる航空機の例として、ボーイング社製の大型旅客機 B-787 が従来の二次構造部材から尾翼や床支持材のような一次構造部材に炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP）の使用が拡大し、尾翼、主翼および胴体等を含む構造重量の約 50%以上が CFRP で製造されるまでに至っている。その結果、従来のアルミニウム合金製の旅客機と比較して約 2 割の燃費向上を達成し、近年話題になっている。

一方、自動車の主要材料に鋼板が用いられているが、自動車分野への CFRP の使用は製造プロセスの転換において大きな技術的課題があり、CFRP の自動車への適用は高級スポーツカー等特殊な場合に限られてきた。しかし、昨今の地球温暖化防止対策のための新技術の要請が急務となり、自動車軽量化のために CFRP の本格的採用が再び注目されている。また、環境意識が高まり、プラグインハイブリッド車（PHEV）、電気自動車（EV）および燃料電池車（FCEV）などの環境対応車の需要は世界的にますます高まっている。これらの次世代車はモーターや大型バッテリー等の電気機器部品の重量が大幅に増加するため、車体重量をより一層軽量化することが求められている。そのため、今後は CFRP の適用範囲が拡大することが予想され、CFRP の採用により環境対応車の走行距離を伸ばすことが可能になると期待されている^{[1][2]}。

CFRP と環境との関わりとして、そのプラス要因は自動車および航空機等の輸送機器の軽量化ならびに耐久性向上によるエネルギー消費の低減であり、軽量化による燃費向上は民間航空機ですでに証明されている。一方、そのマイナス要因は製造および廃棄段階で環境負荷が大きく、本質的にリサイクル性が欠如していることである。このような背景から、CFRP の産業界へのさらなる導入に向けた製造および廃棄段階での環境負荷の低減とハイサイクル成形が必要である。加えて、CFRP を用いた軽量化・耐食性の向上と同時に、耐衝撃性の向上による安全性と高い強度信頼性、さらに低コスト化の実現も同時に図る必要がある。

FRP は、強化繊維とマトリックス樹脂を組み合わせた複合材料（Composite Materials）であるが、強化繊維やマトリックス樹脂の材質は多種多様である。強化繊維の使用量はガラス繊維（GF）が 89%と大部分を占め、炭素繊維（CF）やアラミド繊維（AF）の生産量はそれぞれ 0.6%、0.4%であり、非常に少ない。強化繊維全体の 0.6%の生産量しかない炭素繊維が注目される理由は、その主な原料あるポリアクリロニトリル（Polyacrylonitrile, PAN）を用いた炭素繊維が日本発の技術であり、炭素繊維の製造はその黎明期から日本企業が先導し、国内の 3 社およびその海外系列会社

の世界シェアは約 70%を占有しているからである。しかし、炭素繊維の複合材料としての利用技術は航空宇宙を中心に欧米主導で行われ、国内需要は世界生産量の 15%程度しかなかった。CFRP は鉄やアルミニウムなどの金属に比べて同じ強度および同じ剛性であってもより軽量化できるという特長に加え、振動吸収性に優れており、また炭素繊維織物の独特の美観性を併せ持つため、その主な用途はスポーツ用品に多く採用されてきた。しかし、近年では省エネルギー・CO₂ 低減の環境問題の観点から、輸送機器や産業機器においてその需要が急速に高まっている。

FRP に用いられるマトリックス樹脂は、熱硬化性樹脂 (Thermosets, TS) と熱可塑性樹脂 (Thermoplastics, TP) に大別されるが、それらの使用割合は約 70% : 30%であり、熱硬化性樹脂を用いた FRTS の方が圧倒的に多い。また、熱可塑性樹脂を用いた FRTP の大半は短い繊維で強化した射出成形品であり、一方向や織物などの連続繊維で強化した FRP の使用は非常に少ない。これまで、自動車や航空機等の輸送機器に用いられてきた CFRP の大半は、熱硬化性樹脂をマトリックスとする炭素繊維強化熱硬化性プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Thermosetting Plastics, CFRTS) である。熱硬化性樹脂はエポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂などの主剤に、硬化剤や触媒などを添加させ、重合反応により発熱を伴い、三次元架橋により高分子の網目構造を形成し、硬化する。

そのため、熱硬化性樹脂をマトリックスとする CFRTS の製造方法は、航空機部品に対してはオートクレーブ成形法が主として用いられてきた。このオートクレーブ成形法は、高価で使用期間の短いプリプレグシートを用い、手作業による積層を必要とし、大型の加圧加熱装置を使用する必要があるため、生産性とコストに課題がある。その問題を解決するために開発された樹脂注入 (Resin Transfer Molding, RTM) 法や VaRTM (Vacuum Resin Transfer Molding) と称される液状樹脂成形法は、繊維への樹脂含浸および樹脂の硬化に時間を要するため生産性が低く、品質の安定や作業環境に課題がある。近年、その熱硬化性樹脂の硬化反応を数分以内に短縮する開発も進み、大幅な生産性の改善が確立されてきている。しかし、いずれの製造方法においても熱硬化性樹脂を使用するため、硬化後は再加熱を行っても溶融しないため再成形ができず、不用品や廃棄物の再利用が極めて困難など、CFRTS のリサイクル性を改善することは非常に困難である。

そこで、近年、リサイクル性および生産性が高く、耐衝撃性に優れる熱可塑性樹脂をマトリックスとする炭素繊維強化熱可塑性プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics, CFRTTP) が注目されている。この CFRTTP は、従来の短繊維や長繊維を強化形態とする射出成形品や圧縮成型品ではなく、一方向繊維や織物などの連続繊維で強化した積層材である。それらに使用される熱可塑性樹脂は、エンジニアリングプラスチック (エンブラ) やスーパーエンジニアリングプラスチック (スーパーエンブラ) と称される耐熱性および力学的特性が高い高性能な樹脂である。

熱可塑性樹脂は、ガラス転移温度以上に加熱すると樹脂が軟化し、金属のようにプレス加工が可能であり、冷却すると固化して形状が保持される。さらに、融点以上に再加熱することにより、溶融加工が可能であり、金属に比べて比較的低温で再成形・再加工が容易な材料である。また、

熱可塑性樹脂は一般的に衝撃性に優れている。しかし、熱可塑性樹脂は熱硬化性樹脂に比べて溶融粘度が高いため、繊維への樹脂含浸が非常に困難であり、またガラス転移温度や融点などが熱硬化性樹脂に比べて低いため耐熱性に乏しいことなどが課題である。

本研究開発課題の「熱可塑CFRPプレス成形品の高度マテリアルリサイクルシステムの構築」は、地球温暖化（エネルギー）対策である低炭素化社会の実現に向けた取り組みであり、運輸部門である自動車や電車の車両、および生活関連の情報家電において、部材の軽量化により省エネルギー化を促進できる新しい材料を普及させることを目的とし、材料の高度リサイクルシステムの構築を目指した研究開発である。

今後、情報家電や自動車、車両等の部品に繊維強化熱可塑性プラスチックが多く使用されるためには、その材料の高性能化や耐久性向上などの研究開発に加え、『環境に配慮したコンポジット（e-コンポジット）・デザイン』が重要である。本研究開発では、プレス成形工程で排出される不用材や製品使用後の廃棄品から作り出される資源の“再生”方法について調査し、高価な素材を有効に活用できる高度リサイクルシステムを構築する。

情報家電、自動車および車両などの川下製造業は、プラスチック成形加工に係る技術に対して以下のような課題を抱えており、早急な解決が待たれている。

情報家電に関する事項

- 生産性向上
- 環境対応
- 高付加価値化

自動車に関する事項

- 環境
- 軽量化

車両に関する事項

- 異素材との競争

1-1-2 研究目的および目標

(1) 高度化目標

本研究開発では、以下に示す目標に基づいて、情報家電、自動車および車両の部品に対する繊維強化熱可塑性プラスチックに対して、プレス成形工程で排出される不用材や製品使用後の廃棄品から作り出される資源の“再生”方法について調査し、高価な素材を有効に活用できる高度リサイクルシステムの構築によって、高度化することを目指す。

情報家電に関する事項

- 生産性向上：情報家電を構成する部材は、鋼板やアルミニウムなどの金属材料をプレス成形した筐体に、プラスチックを射出成形した外装を取り付けて用いられることが多い。家電メーカーでは、高品質化、高生産性、低コスト化を維持したまま、大幅な軽量化に対する要求が高まってきている。そのため、プレス筐体に用いる材料を、鋼板からアルミニウムやマグネシウムなどの軽金属材料に代替することにより、その要求に応じてきた。金属材料特有の高強度・高剛性、塑性加工性、および熱伝導率や光沢感など他の素材にはない優れた特性があるため、耐食性や成形自由度の欠点を塗装やメッキなどの表面加工技術により補ってきた。プレス板材の薄肉化や立体成形による軽量化、リベットやネジを使用しない一体成形による低コスト化が順送プレス鍛造と呼ばれる現場の高い技術力により達成してきた。しかし、さらなる軽量化と、CAD/CG 設計による形状自由度の要求に応えることは困難になってきている。そこで、金属からプラスチックへと材料転換を行う動きが活発化しているが、プラスチックだけで寸法精度、強度や耐熱性への要求に応えることは難しいため、金属並みの力学的特性を持たせるためプラスチックを『繊維強化』し、低コストで生産性を向上したいという要求がある。
- 環境対応：情報家電は、モデルチェンジが多いため、他の生活家電や OA 機器と比較して、生産から廃棄までのサイクルが短く、大量の廃棄物が出る。また、日々の生活で常時身につける製品も多く、その製品を所有していることへの消費者の環境への高まりが重視され、またメーカーの営業戦略として環境がブランド力や技術力と見なし、エコ対応商品としての価値は高まっている。そのため、高品質・低コストから高付加価値・高性能を重視した時代から、製造時や使用後のライフサイクルアセスメント (LCA) を宣伝する時代になり、環境に適合した製品と製造が商品の企画・開発の初期段階から重視する動きが家電メーカーにある。
- 高付加価値化：金属からプラスチックへ材料転換が進むと、プラスチックが持つ軽量性・耐食性・成形性などの特性を発揮できるが、金属が持つ高強度・熱伝導性・耐熱性・光沢感などの特性が失われる。そこで、プラスチックに高付加価値を施すため、その成形品の表面を高機能化させる特殊な処理や、プラスチックの内部や表層に材料を複合化させるなど、プラスチック成形企業にとって製造の品質を維持することが困難な要求を顧客から押し付けられ、それに応じる必要がある。

情報家電業界では、環境適合性と高付加価値化を最も重要な要求事項とし、これを低コストかつ短納期で量産可能な材料や製造法を求めているが、金属から樹脂化への材質変更だけでは強度的および熱的な特性の制約から、また材質ごとに異なる産業構造、すなわち製造法や各業界の設計思想の差異から、それらの要求に十分に答えられていないのが実情である。

自動車に関する事項

- 環境：自動車を構成する部材として、車体やドアは低炭素鋼板や高張力鋼板をプレス成形し、スポット溶接により接合した構造材が多く使用されているが、内装材やバンパーなど

は金属から樹脂化されており、その使用割合が高くなっている。たとえば、自動車の安全性と外観形状を支配するバンパーは大型化と単一樹脂化が進み、主としてウレタン樹脂を多点ゲートでハイサイクルに成形を行う製造技術が確立されている。また、エンジン周辺部材としてインテークマニフォールドがあるが、この材質は従来アルミニウム鋳造品が使用されていたが、近年では耐熱性の高い樹脂に代替され、軽量で複雑な形状の一体成形品が用いられている。さらに、ハイブリッドカーや電気自動車などの電装部品や電池は樹脂製の大型ケースで保持されている。金属からプラスチックへ材料転換が進むと、リサイクルの問題が重要になってくる。そのため、オレフィン系のポリプロピレンやポリエチレンの採用が好まれ、ポリマーブレンドや熱硬化性樹脂などは敬遠される。しかし、このような環境に適合した樹脂は強度や耐熱性、耐久性が乏しいため、何らかの特性改善が求められる。その1つに、『繊維強化』による樹脂の特性改善方法があるが、材料コストが高く、生産性に課題があるため、特殊な部位の使用に限定される。このような高コストな繊維強化樹脂素材は、製造時に排出される不用品や、使用後の廃棄物を有効利用できる高度なリサイクルシステムの構築が求められている。

- 軽量化：自動車の軽量化には、鋼板の成形性を低下させずに強度を上げ、複雑形状にして剛性を高め薄肉化している。また、バンパーや内装材、電装部品の多くは樹脂化により軽量化を達成してきたが、ハイブリッドカーや電気自動車などは従来にないさらなる軽量化が求められている。炭素繊維協会の自動車の LCA の試算によると、普通乗用車（車体重量：約 1380kg）のうち鋼製品は 968kg であるのに対して、炭素繊維樹脂複合材料を 17%（約 174kg）使用した場合、鋼製品は 385kg に大きく減少し、結果として車体の重量が 970kg になり、約 30%の重量減少が達成されると公表している。国土交通省では、CO₂ ガスの排出量の割合として、産業部門が 37.2%、運輸部門が 22%と第 2 位と多く、そのうちの 88%が自動車による排出と公表している。そのため、使用エネルギーを大幅に減少するには自動車の軽量化が効果的であり、自動車メーカーでは重要課題としている。ただし、安全性、低コスト、生産性、リサイクル性など製造側の要求を低下させずに、快適性や操舵性、優越感などの顧客満足度を高める必要がある。

自動車業界では、構造材は主として金属プレス成形における軽量化・高耐食性・美観性を重視し、一方、樹脂部品は耐衝撃性部材や内装材および電装関連部材に重点をおいて開発がなされてきたが、これら 2つの材質の業界を交えて、環境適合化のための材料およびその製造法に関して前向きな取り組みは少ない。金属に及ぶ強度・剛性を持つ炭素繊維で強化した“熱硬化性樹脂”部品は、生産性とリサイクル性が極めて低く、環境への負荷も大きく、高い生産コストが障壁になっている。

車両に関する事項

- 異素材との競争：産業機械、家具・建築関連、事務用機器、厨房機器、農業用機器、精密機器、輸送機械等の川下製造業者が共通して抱える課題として、木材や鉄鋼などの汎用材料からアルミニウムなどの軽金属材料への代替、さらに金属材料からプラスチックへと

素材の代替が多くなっている。その際、素材のコスト増に対する性能の効果、さらに新しい材料を活用できる意匠と設計・製造技術への理解が乏しく、これらを視覚的に理解しやすい形での提供を望んでいる。とりわけ、電車の車両においては、家電や自動車ほど新しい素材に対する必要度は低い。しかし近年、新幹線の N700 系車両のように先頭車両が「エアロダブルウイング」と称される鳥が羽根を広げたような形は高いデザイン性よりもむしろ、空気抵抗、乗り心地、省エネを極限まで考え出された高性能な形状である。この形状をアルミ合金の六軸加工や高度な職人技のヘラ絞り加工で製造されることに加え、炭素繊維強化樹脂複合材料で成形されている。さらに、「車体傾斜システム」と称される曲線での速度向上と乗り心地に対する最新鋭技術を確立するため、さらに高速化と省電力化には車両の軽量化が必要である。列車の安全性と信頼性を確保しつつ、また車内の内装や設備は快適性が求められており、新しい素材への代替が求められており、異素材への競争には材料そのものの開発のみならず、成形を中心とする周辺技術をより高度化させることが求められている。

電車の車両業界では、低炭素鋼やステンレス鋼、アルミニウム合金が構造材として使用されることが多く、主に溶接に関して研究開発が行われてきた。しかし、電池で動く低床車両では従来の架線を使う車両とは要求水準が異なり、さらなる軽量化や美観性および生産性と低コストが重視される。しかし、欧州のような炭素繊維強化複合材を 2 階建て車両へ適用するような取組は少なく、他の業種に比較して遅延しているのが実情である。内装材も含め、より迅速に耐久性と信頼性を確保しつつ、環境適合性に配慮した材料と製造法の開発が必要である。

(2) 技術的目標

本研究開発では、上記の高度化目標を具体化するために、以下に示す技術的目標を定め、これに基づいて作業が行なわれている。

情報家電に関する事項

- マテリアルリサイクル技術、自然由来のプラスチック、生分解性ポリマーの導入に関する技術開発、プラスチックに添加される染料や可塑剤等における安全な新材料の開発
- ◆ 汎用プラスチックの特性改善のため、様々な添加材が開発され、プラスチックの性能は大きく向上してきており、軽金属に迫る特性の持つスーパーエンブラなどが、電子部品関連用に開発・使用されてきた。このスーパーエンブラを情報家電等の構造材に使用することも検討されている。ここで問題となるのが、複合化および高性能化した高価なプラスチックを使用した製品の製造過程に排出される不用材、さらに製品使用後の廃棄品の有効活用であり、このマテリアルリサイクルの技術を高度化させる開発が必要である。高価な材料をいかに再利用するか？第一次製造側から、再生側、および第二次製造側に及ぶ異業種全体で取り組む必要がある。
- マグネシウム合金、アルミニウム合金等に対抗するプラスチック材料技術

- ◆ 金属からプラスチックへの材料転換が進む反面、軽金属の特性改善の進歩は著しい。マグネシウム（比重 1.74）はアルミニウム（比重 2.7）に比べて軽く、プラスチックに比べて耐熱性や寸法安定性に優れるため、射出成形技術や切削や塑性加工しやすい合金が開発されている。しかし、これらの軽金属はプラスチック（比重 0.9～1.5）ほど軽量ではなく、耐食性や耐衝撃性が十分でない。そのため、プラスチックをマグネシウムやアルミニウム合金などの特性に対抗するには、『繊維強化による複合化』が有効な手法であり、他に比強度（強度／密度）・比弾性率（強度／密度）に勝る材料技術は見当たらない。しかし、高コストとリサイクル性の問題がその普及を妨げている。

自動車に関する事項

- プラスチック部品の衝撃吸収構造の向上に関する形状、複合成形技術での衝突安全に寄与する技術（バンパー、エアバック、車内衝撃吸収部材等）
- ◆ プラスチックの耐衝撃性の向上には、樹脂の破壊じん性を高める高分子合成に加え、粒子や繊維などの充填材の添加により、破壊の起点となる亀裂の成長を分散させている。そのため、連続繊維で強化した熱可塑性樹脂複合材料を用いた部材の製造法の開発が必要である。マクロな形状の改善として、薄肉部材にリブなどの補強材を設けた構造材がプラスチック射出成形により実現されている。しかし、短繊維強化プラスチック射出成形品では重量増になり、鋼板やアルミニウムなどの軽金属よりも大幅な軽量化は期待できない。そのため、曲げや引張負荷が大きく作用する側には連続繊維で強化した熱可塑性樹脂で成形された構造材とし、その背面には短繊維プラスチックをオーバーモールドすることによりリブ構造を形成させ、強度や剛性とクラッシング性能を確保するなど複合成形技術の確立が求められている。

車両に関する事項

- 複合材のリサイクル技術や成形シミュレーションの開発
- ◆ 電車の車両では、情報家電や自動車と比較して使用寿命が長く、多くの人命を失う危険性も高いため、高い安全基準を満足させる必要があり、またその製品サイズも大きい。そのため、使用後は大量の廃棄物が生み出されるため、リサイクルやそれを活用できる製品の用途開発が重要になる。加えて、試作コストも膨大な経費が掛かるため、成形シミュレーションにより得られた結果に対する妥当性を裏付ける最新の計測装置の利用技術が求められる。今後、情報家電や自動車、列車の車両の部品に繊維強化熱可塑性プラスチックが多く使用されるためには、その材料の高性能化・耐久性向上などの研究開発に加え、『環境に配慮したコンポジット（e-コンポジット）・デザイン』が重要である。本研究開発では、原料となる素材そのものの開発は実施対象としていないが、製造過程で排出される不用材や製品使用後の廃棄品から作り出される資源（再生材）の“再生（製造）”方法について研究開発を実施する。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織および管理体制

(1) 研究組織（全体）

本研究は，図 1.1 に示す組織によって行なわれる。

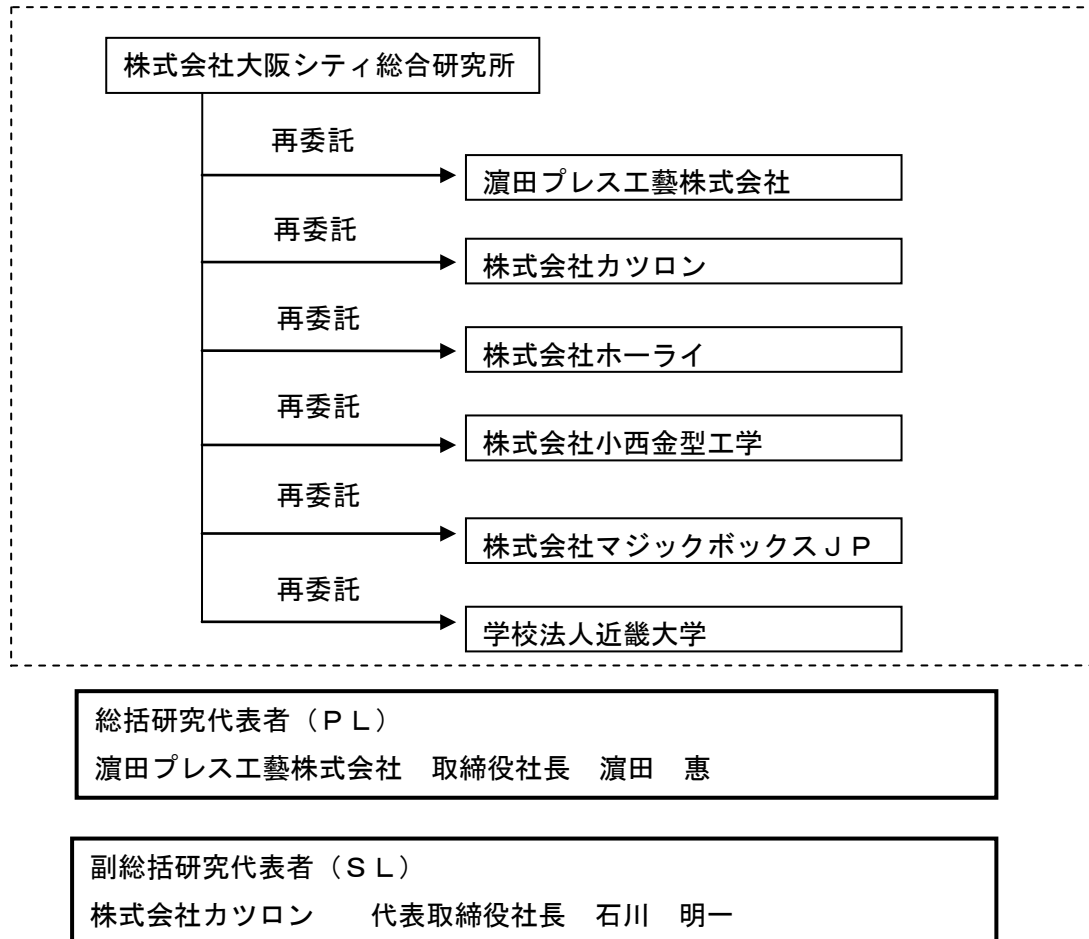


図 1.1 研究組織図

株式会社大阪シティ総合研究所	経理担当者	取締役	酒井 孝司
	業務管理者	取締役	山本 俊史
濱田プレス工藝株式会社	経理担当者	取締役（経理担当）	三崎 貴子
	業務管理者	技術部 部長	荻野 芳英
株式会社カツロン	経理担当者	管理部 課長代理	小原 和樹
	業務管理者	八尾工場技術部 工場長	山田 吉郎
株式会社ホーライ	経理担当者	経理部	田中 正行
	業務管理者	技術部 副参事	矢野 正二郎
株式会社小西金型工学	経理担当者	経理課	山本 智子
	業務管理者	技術開発部 取締役	小西 修史
株式会社マジックボックスJP	経理担当者	代表取締役	柳原 淳一
	業務管理者	代表取締役	柳原 淳一
学校法人近畿大学	経理担当者	学術研究支援部研究支援課	山田 英治
	業務管理者	理工学部機械工学科 准教授	西藪 和明

(2) 管理体制

本研究の事業管理機関および再委託先を以下に示す。

(a) 事業管理機関

本研究の事業管理機関は株式会社大阪シティ総合研究所であり，その組織を図 1.2 に示す。

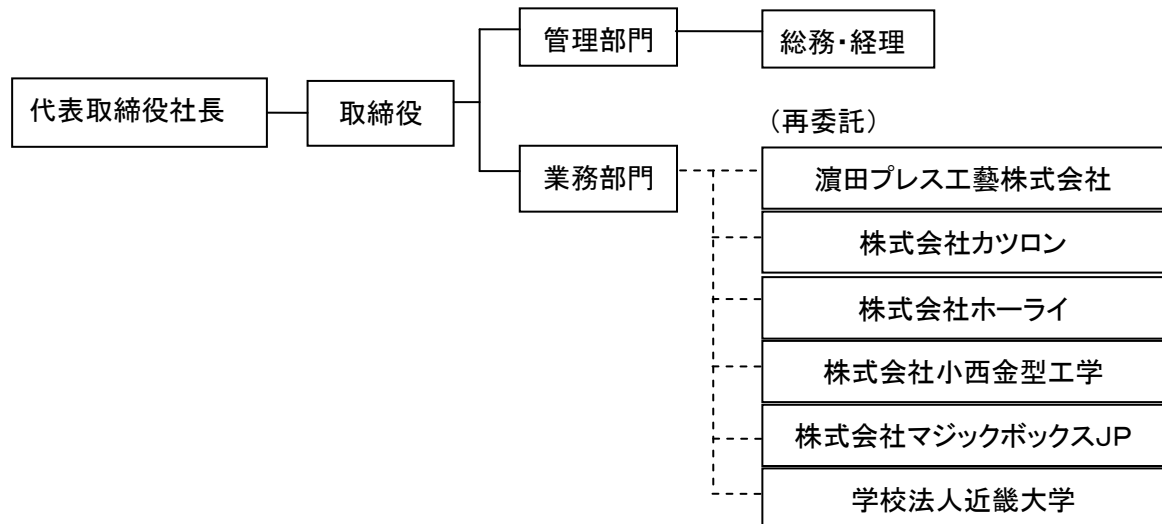


図 1.2 株式会社大阪シティ総合研究所

(b) 再委託先

以下に再委託先とその組織について列記する。

- ・ 濱田プレス工藝株式会社：図 1.3 に組織を示す。

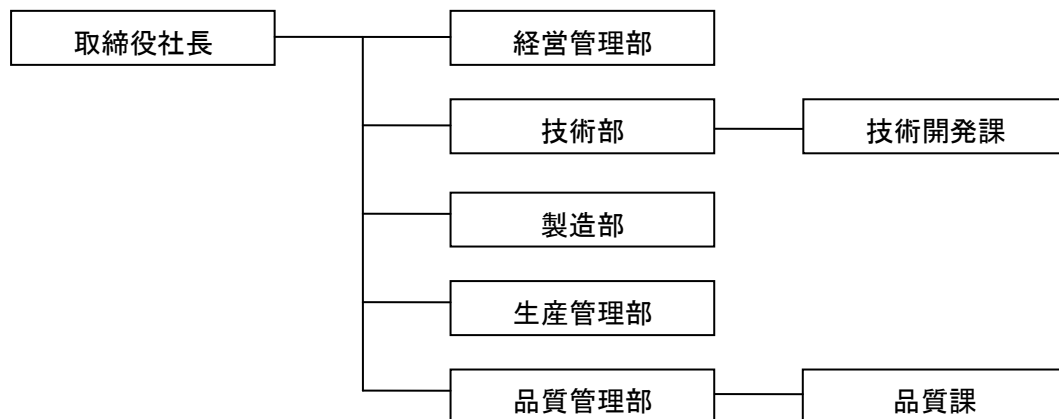


図 1.3 濱田プレス工藝株式会社

- ・ 株式会社カツロン：図 1.4 に組織を示す。

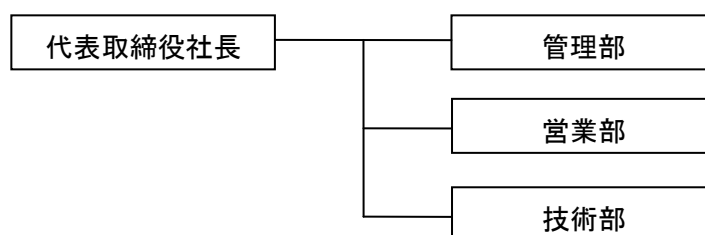


図 1.4 株式会社カツロン

- ・株式会社ホーライ：図 1.5 に組織を示す.

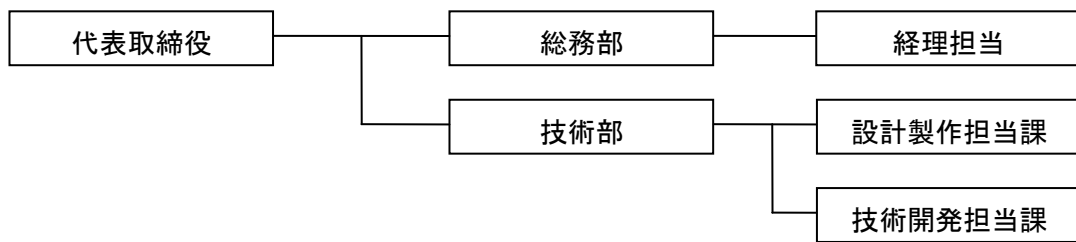


図 1.5 株式会社ホーライ

- ・株式会社小西金型工学：図 1.6 に組織を示す.

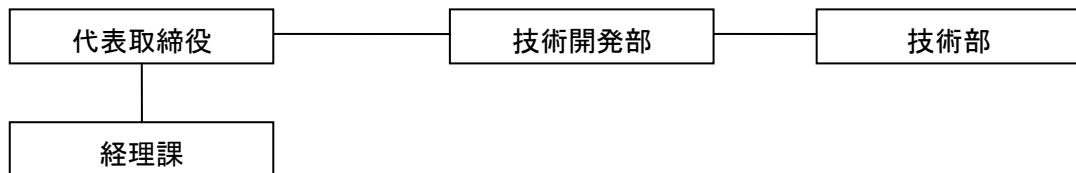


図 1.6 株式会社小西金型工学

- ・株式会社マジックボックス J P：図 1.7 に組織を示す.

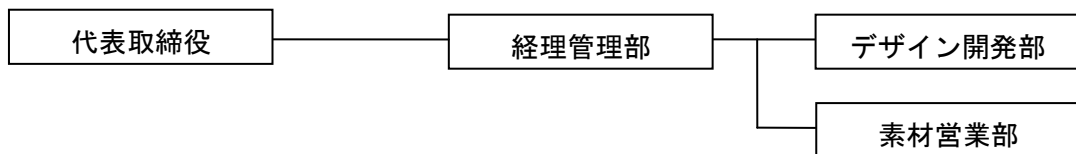


図 1.7 株式会社マジックボックス J P

- ・学校法人近畿大学：図 1.8 に組織を示す.

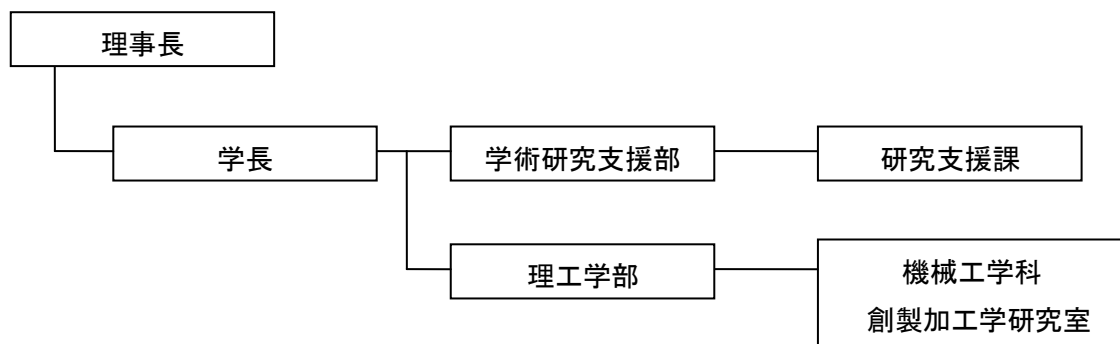


図 1.8 学校法人近畿大学

1-2-2 研究者および協力者

本研究に従事した研究者は、以下の通りである。

- ・濱田プレス工藝株式会社

荻野芳英： 技術部・部長 兼 品質管理部・部長

大木雅生： 製造部・部長

新山孝志： 技術部・課長

藤原真治： 技術部・課長

山下将徳： 技術部・課員

檜井寛晶： 生産管理部・課長

山口晃司： 品質管理部・課員

- ・株式会社カツロン

山田吉郎： 八尾工場技術部・八尾工場長

竹若大知： 営業部・課長

林 成隆： 営業部・課長代理

森本真未： 技術部・部員

- ・株式会社ホーライ

矢野正二郎：技術部・副参事

波多野 充：技術部・部員

- ・株式会社小西金型工学

小西修史： 技術開発部・取締役統括部長

長田憲治： 技術部・部員

- ・株式会社マジックボックス J P

柳原淳一： 代表取締役

- ・学校法人 近畿大学

西藪和明： 理工学部 機械工学科・准教授

1-3 成果の概要

研究成果について、その概要を実施テーマごとに以下に記す。なお、成果の詳細は、各項目に付記した対応する章・節において記述しているが、守秘義務やノウハウを多数含む項目も存在するため、記載を控えている項目もある。

【 1. 高速複合化技術課題への対応 】

【 1-1 】 汎用金属プレス機で利用できる加熱装置の開発（濱田プレス工藝株式会社）

(a) 熱可塑 CFRP の加熱方法および熱源の選定 [節 2-1]

本事業で開発する加熱・搬送装置の仕様を決定するための基礎的な検討として、波長の異なる赤外線ヒーターを用いた加熱実験を行い、種々の異なる加熱条件での熱可塑 CFRP 積層板に生じる温度分布を計測し、それらの実験結果に基づき、汎用金属プレス機の付帯可能な加熱装置に用いる加熱ヒーターの選定を行った。

(b) 熱可塑 CFRP の加熱特性試験 [節 2-1]

熱可塑 CFRP 積層板の熱的特性を調査し、熱電対と赤外線放射温度計による温度計測を試みた後、短波長と中波長の 2 つの小型赤外線ヒーターを用いて、各種の熱可塑 CFRP 積層板の加熱特性実験を行った。赤外線ヒーターへの印加電圧、ヒーター位置やヒーター本数などの加熱条件の違いが熱可塑 CFRP 積層板の加熱特性に及ぼす影響の調査を行った。

(c) 熱可塑 CFRP の加熱装置および搬送装置の設計・試作 [節 2-2]

短波長赤外線ヒーターおよび安定化電源装置の機種選定を行い、熱可塑 CFRP 積層板の加熱、加圧、冷却および搬送など一連の生産工程を検討し、加熱装置と搬送装置を一体化した熱可塑 CFRP の加熱・搬送装置の設計および試作を行った。

【 1-2 】 繊維強化熱可塑プラスチックのプレス金型の設計研究（株式会社小西金型工学および学校法人近畿大学）

(a) 熱可塑性 CFRP 用 V 曲げプレス金型の設計 [節 2-3]

熱可塑 CFRP 積層板のプレス成形方法を検討し、サーボプレスユニットを用いた卓上サイズの加熱・プレス成形装置に取り付ける V 曲げプレス装置および金型を設計・試作を行った。

(b) 三次元デジタイザによる成形品の形状測定 [節 2-3]

繊維強化熱可塑プラスチックのプレス金型の設計研究を迅速かつ視覚的に進めるために、三次元デジタイザを用いた熱可塑 CFRP 成形品の形状測定を試み、複雑な形状部品に対する三次元形状測定の有用性についての調査を行った。

【 1-3 】 繊維強化熱可塑プラスチックの複合押出し成形技術の開発（株式会社カツロン）

(a) 炭素繊維フィラメントを用いた複合押出し成形実験

炭素繊維フィラメントをインサート材として用いて、PA12 樹脂と複合押出し成形を試みた。

(b) 一方向開繊炭素繊維熱可塑テープを用いた複合押出し成形

一方向開繊炭素繊維/PA6 セミプリプレグシートを手作業でテープ状に裁断し、PA6 樹脂との複合押出し成形を試みた。プリプレグシートが表層に存在する成形品と、プリプレグシー

トが成形品中に完全にインサートされた 2 種類の成形品の試作を試みた。

【 2. 環境配慮型技術課題への対応 】

【 2-1 】 繊維強化熱可塑プラスチックの破碎方法の高度化研究（株式会社ホーライおよび学校法人近畿大学）

(a) 繊維強化熱可塑プラスチックの破碎方法の選定 [節 3-1]

様々な破碎機の中から、シート専用破碎機、二軸式破碎機および一軸せん断式粉碎機を取り上げ、これらの破碎機を単独もしくは複合させて、繊維強化熱可塑プラスチックに適した破碎方法の選定を行った。

(b) 繊維強化熱可塑プラスチックの破碎実験 [節 3-1]

破碎方法の違いによる破砕片の破碎状態を把握し、破砕片の形状やサイズを評価するため、3 種類の破碎機を用いて、厚さの異なる熱可塑性 CFRP 積層板の破碎実験を行った。

(c) 繊維強化熱可塑プラスチックの破砕片の評価 [節 3-1]

シート専用破碎機と回転剪断式粉碎機を用いて熱可塑性 CFRP 積層板の破碎実験を行い、破碎後の破砕片の形状およびサイズの偏差についての評価を行った。

【 2-2 】 繊維強化熱可塑プラスチックのペレット製造法の研究（株式会社カツロン）

(a) 織物 CFRP 積層板の破砕片の熔融押出し成形によるペレット製造の試行 [節 3-3]

CFRP 製ノートパソコンの外装部材の不用品の破砕片の加熱押出し実験を行い、また各種の熱可塑 CFRP 積層板の破碎実験により得られた破砕片、および未強化の樹脂ペレットを添加した熔融押出し成形を行い、粒状のペレットの製造を試行した。

【 2-3 】 再生・繊維強化熱可塑プラスチックに適合するプロダクトデザインの開発（株式会社マジックボックス J P および学校法人近畿大学）

(a) 熱可塑 CFRP を用いたプロダクトデザイン [節 2-4]

熱可塑 CFRP 積層板を用いた LED ランプシェードをプロダクトデザインし、開発した加熱搬送機を用いて積層板を加熱し、プレス成形することで LED ランプシェードを成形した。また、熱可塑性 CFRP 製ペン立てのプロダクトデザインを行い、展示会等の限られたスペースで製造可能な小型製造装置を製作した。

【 3. 成形加工と結びつける材料複合化技術課題への対応 】

【 3-1 】 繊維強化熱可塑プラスチックのプレス成形と射出成形の融合技術の開発（濱田プレス工芸株式会社、株式会社カツロン、学校法人近畿大学）

(a) 再生材の射出成形実験 [節 3-5]

織物炭素繊維強化ナイロン 66 (CF/PA66) 積層板を破碎・粉碎処理した再生材と、未使用材であるナイロン 66 樹脂ペレットを二軸混練押出し機を用いて混練し、射出成形に最適な混練材を作製した。また、再生材と未使用材を混練した混練材を射出成形原料として用い、曲げ試験片を作製し、JIS 規格に準じて 3 点曲げ試験を行い、力学的特性を調査した。

【 3-2 】 再生材と未使用材の複合押出し成形技術の開発（株式会社カツロン，株式会社ホーライ）

(a) 炭素繊維束をインサートした再生材または未使用材の複合押出し成形実験 [節 3-4]

複数本の炭素繊維束を押出し成形時のインサート材として用いて，再生材である織物 CF/PA66 積層板の破砕・粉砕片と未使用材の PA66 樹脂ペレットを押出材として用いて，複合押出し成形を実施した．

(b) 再生材の押出し成形実験 [節 3-4]

織物 CF/PA66 積層板を破砕処理した再生材ペレットのみを押出成形時の原料ペレットとして用い，丸棒状の押出成形品を作製した．

(c) 再生材と未使用材の複合押出し成形実験 [節 3-4]

二軸混練押出し機を用いて予め作製した破砕・粉砕片と未使用材の混練ペレットを押出材として用いて，複合押出し成形を実施した．また，開繊炭素繊維シートをインサート材として用いた複合押出し成形も実施した．

【 3-3 】 再生材と未使用材の複合プレス成形技術の開発（濱田プレス工藝株式会社，株式会社ホーライ，株式会社小西金型工学，学校法人近畿大学）

(a) 再生材と未使用材を用いた複合プレス成形 [節 3-2]

破砕・粉砕片を加熱プレス成形し，LED ランプシェードを成形した．また，未使用材である織物 CF/PA66 積層板と破砕・粉砕片の複合プレス成形を行い，未使用材と再生材が融合した LED ランプシェードを成形した．

(b) 再生材の圧縮成形およびその力学的特性評価

再生材を用いた加熱プレス成形を行い，得られた成形品の力学的特性を評価した．

(c) デジタル画像計測による熱可塑性 CFRP プレス成形品の形状評価

熱可塑性 CFRP 製 LED ランプシェードをデジタル画像計測装置によって形状を測定し，各成形条件が成形品の形状に与える影響を調査した．

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1) 事業管理者

株式会社 大阪シティ総合研究所 取締役 酒井 孝司 取締役 山本 俊史

〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜 2 丁目 5 番 4 号

Tel : 06-6203-1631 Fax : 06-6203-1632

E-mail : souken@ever.ocn.ne.jp

(2) 総括研究代表者

濱田プレス工藝株式会社 取締役社長 濱田 恵

〒579-8057 大阪府東大阪市御幸町 2 番 8 号

Tel : 072-981-5052 Fax : 072-982-0232

E-mail : hamada.megumi@hmd-hamada.co.jp

第2章 汎用金属プレス機で利用できる加熱搬送装置の開発

2-1 熱可塑 CFRP の加熱方法および熱源の選定および加熱特性試験

本研究開発で開発する加熱搬送装置を用いた熱可塑 CFRP のプレス成形プロセスを図 2.1 に示す。本装置は熱可塑 CFRP を赤外線加熱により、成形可能な温度まで加熱し、汎用の金属プレス成形機へ加熱された熱可塑 CFRP を自動的に搬送する装置である。

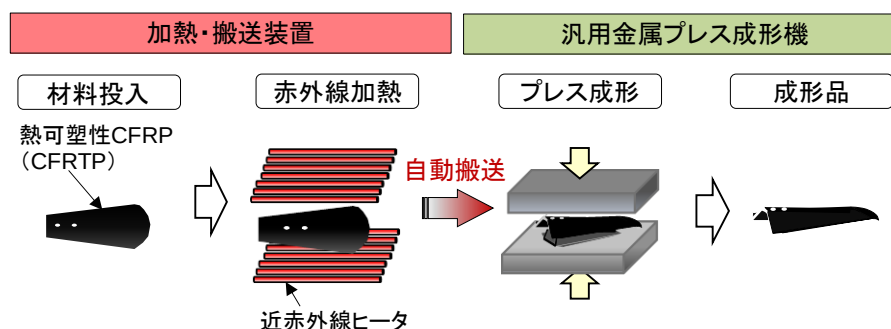


図 2.1 加熱搬送装置を用いた熱可塑 CFRP のプレス成形プロセス

本研究開発では、熱可塑 CFRP の加熱搬送装置を開発するため、赤外線ヒーターを用いて熱可塑 CFRP 積層板の加熱特性試験を繰り返し行い、赤外線ヒーターの種類や加熱条件が熱可塑 CFRP 積層板の加熱速度や温度分布に及ぼす影響について調査した。これらの実験結果から、温度分布、昇温速度、到達温度、ヒーターの価格やサイズなどを考慮し、本研究で採用するヒーターとして、短波長赤外線ヒーター（近赤外線ヒーター）が適していることが分かった。以下に、近赤外線ヒーターを用いた熱可塑 CFRP の加熱実験例を記す。

加熱対象の試験片は、図 2.2 に示す TenCATE 社製の織物 CF/PPS 樹脂積層板（CETEXTM、炭素繊維 5H 朱子織、厚さ 1.3mm）である。



図 2.2 織物 CF/PPS 樹脂積層板の表面像

加熱特性実験に用いた装置の外観写真および模式図を図 2.3 に示す。アルミフレームを用いて締結された試験片台の上に試験片を置き、赤外線ヒーターを用いて試験片の上部から表面のみを加熱する。その際、赤外線ヒーターと試験片の距離（ヒーター距離 L ）を種々変化させて、その影響を調査した。

複数本の赤外線ヒーターを並べて試験片の広い領域を加熱することや、表面と裏面の両側から加熱することも可能であるため、本実験では小型の赤外線ヒーターを1本もしくは複数本用いて、AC100Vの家庭用電源で簡易的に加熱特性の実験を行うことにした。その理由は、加熱実験が低コストで多様な条件で効率よく実施できることに加え、1本および複数本の赤外線ヒーターによる温度分布を計測し、試験片への面内および板厚方向への熱伝導による温度低下を把握することに重点を置いたためである。

試験片の表面に生じた温度変化の測定は、赤外線放射温度計を用いて測定した。図 2.3 に示すように、2 台の赤外線放射温度計を用いて、試験片の表面と裏面の両側から非接触で試験片の表面の温度計測を実施した。

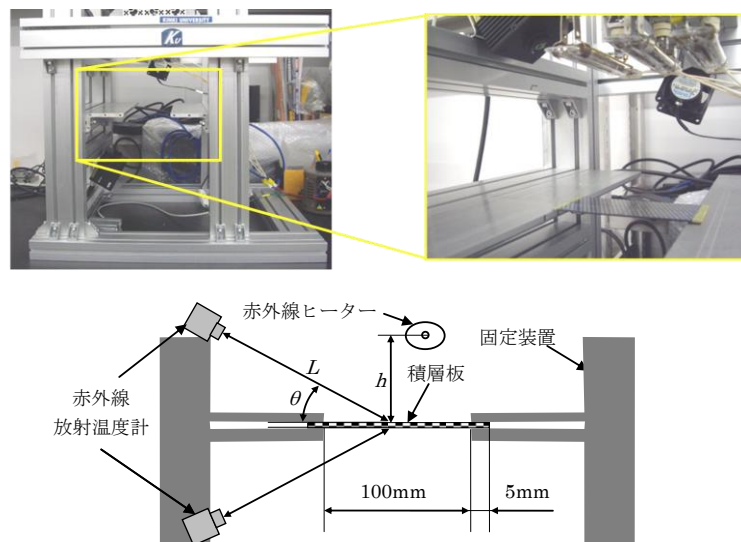
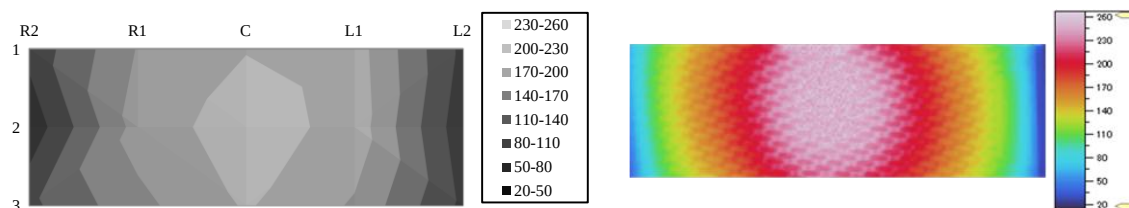


図 2.3 加熱実験装置の外観写真および模式図

織物 CF/PPS 樹脂積層板（TenCate 株式会社，CETEXTM，炭素繊維 5H 朱子織，50mm×110mm，厚さ 1.3mm）を加熱した際の試験片裏面の温度分布を図 2.4 に示す。図 2.4(a)は、熱電対を用いて試験片の裏面を 15 点測定した結果の等温度分布図である。図 2.4(b)は、赤外線放射温度計の設置角度 $\theta=90^\circ$ で、試験片の裏面を測定した等温度分布図である。どちらの結果からも、短波長赤外線ヒーターを試験片中央に配置しているため、試験片中央が最も高温であり、試験片中央から試験片両端へ向かって熱伝導し、温度低下が生じていることが分かる。試験片中央付近のみ、PPS 樹脂の熱変形温度である $T=260^\circ\text{C}$ に到達しているが、両端では昇温しないことが分かる。



(a) 熱電対による測定

(b) 赤外線放射温度計による測定

図 2.4 短波長赤外線ヒーターにより加熱した織物 CF/PPS 積層板の温度分布

印加電圧 $V=100\text{V}$ で、ヒーター位置 h を変化させた場合の織物 CF/PPS 樹脂積層板の温度変化を図 2.5 に示す。試験片の表面の温度は裏面の温度よりも高いことが明らかである。

試験片の表面と裏面との温度差 ΔT を図 2.6 に示す。ヒーター位置 h が大きくなると、表面と裏面との温度差 ΔT は小さくなることが分かった。ヒーター位置が $h=100\text{mm}$ の表面と裏面との温度差は $\Delta T=10^\circ\text{C}$ であるが、ヒーター位置 h と温度差 ΔT の関係は完全な線形ではないことが分かった。ヒーターを試験片から離して設置して加熱すると温度上昇は小さくなるが、表面と裏面の温度差は小さくすることができ、また広範囲に加熱できる。そのため、ヒーター距離は $h=75\text{mm}$ 以上にすることが望ましいと思われる。

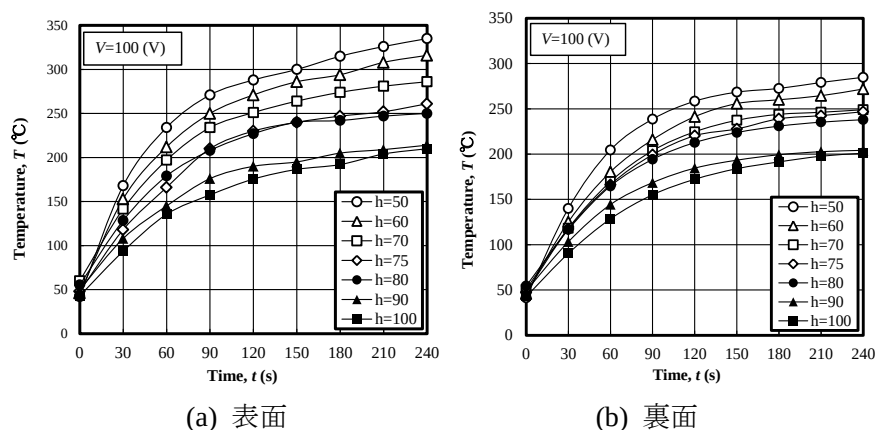


図 2.5 ヒーター位置 h による温度変化

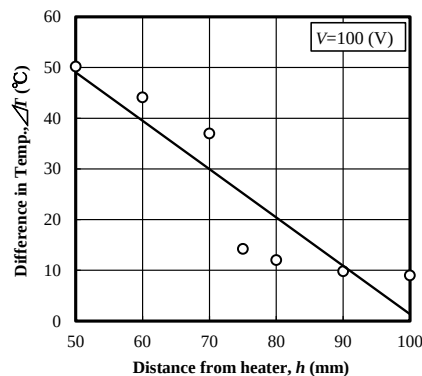


図 2.6 ヒーター位置 h による表裏の温度差 ΔT

2-2 加熱搬送装置の開発

当初の研究開発の計画段階では、加熱装置と搬送装置は別々に仕様を定めて設計および試作する方針であった。しかし、加熱装置に使用するヒーターの選定を行う際にヒーターの特徴を調査した結果、加熱と搬送の2つの動作を近い距離で行い、加熱した熱可塑 CFRP 積層板の温度低下を軽減させ、また装置全体を省スペースで設置できるように、加熱装置と搬送装置を一体化した加熱・搬送装置とする方が適していると判断した。

加熱・搬送装置は、金属プレスやプラスチック成形など多くの中小企業で使って頂けるように、できるだけ低価格で、汎用性のある仕様となるよう、下記の条件を満足するように設計した。

- ・材料の搬送・供給のストロークを大きく設定し、幅広いプレス機に対応できる様に配慮する。
- ・材料が非常に高価であるため、A4 版サイズの小さい板から大きいサイズの板まで試作できるように、様々なサイズ of 材料でも搬送できるように配慮する。
- ・ヒーターが非常に高価であるため、端子部や金メッキ部の破損を防止し、併せて放熱性を高めるために、ヒーターモジュールボックス内にファンを設置するように配慮する。
- ・ヒーターの高さ方向の位置調整幅を大きくし、様々な実験条件で加熱できるように配慮する。
- ・それぞれのヒーターに 1 本ずつ電源制御装置を設け、個々のヒーターを独立して温度制御可能なように配慮する。

加熱搬送装置は図 2.7 に示すように供給部および加熱部，設置部に分かれる．加熱の流れとしては供給部に試験片を置いた後，搬送スイッチを押すことで加熱が開始され，加熱終了後に加熱部へ搬送される．再度搬送スイッチを押すことで，再加熱終了後に赤外線放射温度計設置部へ搬送される流れとなる．

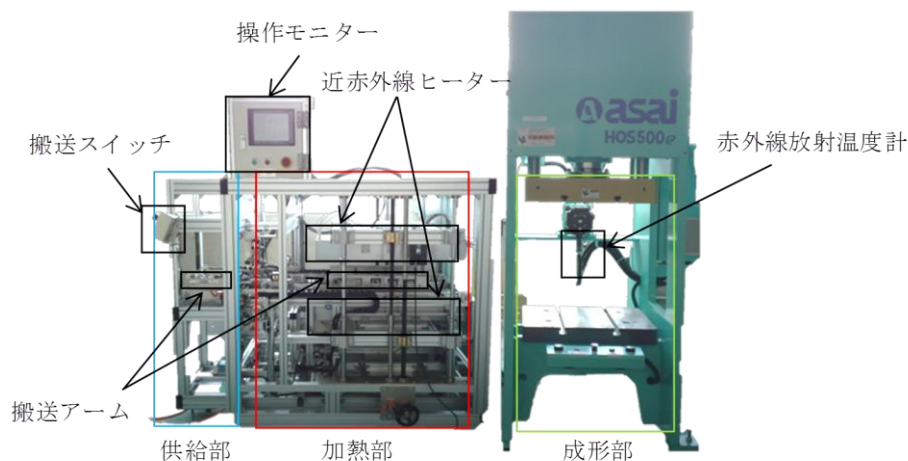


図 2.7 加熱搬送装置の外観

加熱搬送装置のパラメータを表 2.1 に示す．パラメータはヒーター位置，加熱時間，ヒーター出力，ヒーター本数，供給可能試験片幅，移動速度の計 6 種類である．

表 2.1 変更可能なパラメータ

ヒーター位置, h (mm)	70~290mm
加熱時間, t (s)	0~6553.5s
ヒーター出力, P (W)	0~4200W
ヒーター本数, n (本)	0~14 本
供給可能試験片幅, W (mm)	150~350mm
移動速度 V (mm/s)	70~1100mm/s

近赤外線ランプの外観写真を図 2.8 に示す．本実験で使用した近赤外線ランプは短波長赤外線ヒーターである．上下に 7 本，計 14 本の近赤外線ランプが設置されている．

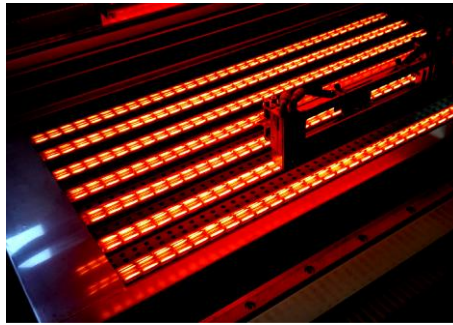


図 2.8 近赤外線ヒーターの外観（下部）

2-3 繊維強化熱可塑プラスチックのプレス金型の設計研究

繊維強化プラスチックを専門としない金属プレス事業者が，工場に設置されている汎用金属プレス機を用いて熱可塑 CFRP 積層板の加熱プレス成形が可能であることを知って頂き，本成形法の理解を深めて頂く必要がある．そのため，研究室や展示会等の限られたスペースや電源容量で，熱可塑性 CFRP の加熱プレス成形が実演できるよう，卓上サイズの加熱・プレス成形装置を設計・試作することにした．この卓上サイズの加熱・プレス成形装置に用いる金型は，単純な V 曲げ用の凸型と凹型であるが，板材のプレス成形における基本であり，熱可塑性 CFRP の加熱プレス用金型および成形のメカニズムを把握するためには重要である．V 曲げプレス成形実験例を以下に記す．

加熱 V 曲げ加工に使用する試験片は，織物炭素繊維強化ポリアミド 66 積層板（織物 CF/PA66 積層板）である．PA66 樹脂は，アミド結合の繰り返しによって構成される直鎖状の熱可塑性樹脂であり，ガラス転移点は 50°C ，融点は 265°C と高い値を示す．本実験では，織物 CF/PA66 積層板（幅 620mm ×長さ 800mm ，厚さ 1mm ，ply 数 4 層）を図 2.9 に示すように経糸が長手方向に向くように幅 50mm ×長さ 110mm に切断した試験片を用いた．

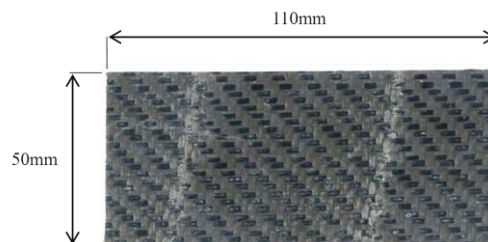


図 2.9 織物 CF/PA66 積層板の表面写真

実験手順の概略図を図 2.10 に示す．近赤外線ヒーター（ヘレウス㈱，ZKB600/80G，定格電圧 115V ，定格出力 600W ，有効加熱長 80mm ，ヒーター本数 3 本）を用いて織物 CF/PA66 積層板を 250°C まで(a)加熱し，中波長赤外線ヒーターによって加熱した V 曲げ成形用金型に手動で試験片を搬送し，(b)加熱 V 曲げ加工を行う．その後，非接触三次元デジタイザを用いて得られた成形品の(c)形状測定を行い，成形品の断面形状および板厚さを評価した．

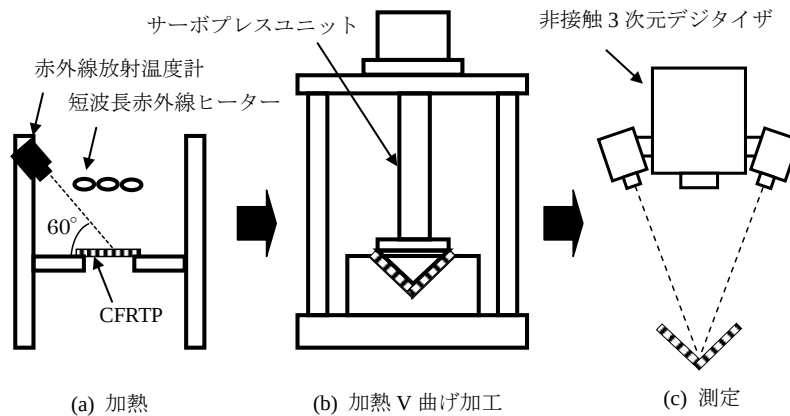


図 2.10 実験手順の概略図

加熱 V 曲げ加工を行うために試験片を加熱する際、試験片表面の温度分布が不均一になることがある。温度分布の不均一性が成形板の形状に与える影響について調査した。図 2.11 に試験片の温度分布測定実験の概略図を示す。試験片加熱時のヒーター位置 l を調節し、試験片表面の温度分布が偏るように $l=0\text{mm}$ 、 20mm と変化させ実験を行った。短波長赤外線ヒーターを用いて試験片を 250°C まで加熱し、加圧保持時間 $t=30\text{s}$ および加圧力 $P=5\text{kN}$ の条件でサーボプレスユニットを動作させ、加熱 V 曲げ加工を行った。

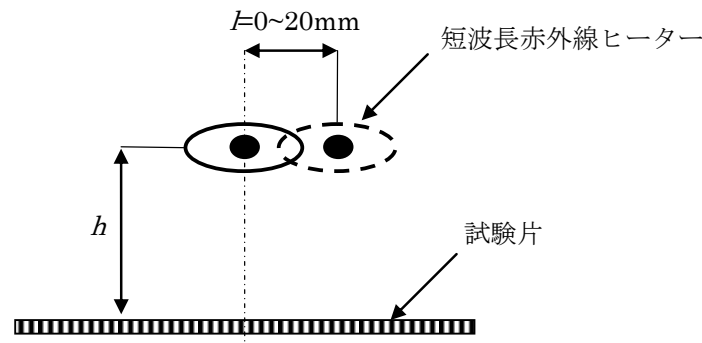


図 2.11 試験片の温度分布測定実験の概略図

赤外線放射温度計を用いて織物 CF/PA66 積層板の温度分布を計測した結果を図 2.12 に示す。図 2.12(a)はヒーター位置 $l=0\text{mm}$ の場合の温度分布を示し、図 2.12(b)はヒーター位置 $l=20\text{mm}$ の場合の温度分布を示す。図 2.13(a)はヒーター位置 $l=0\text{mm}$ の場合の断面形状、図 2.13(b)はヒーター位置 $l=20\text{mm}$ の場合の断面形状を示す。

図 2.12(b)のヒーター位置 $l=20\text{mm}$ の場合、高温域が試験片の中心から 20mm ずれていることが分かる。図 2.13 より、加熱 V 曲げ加工した成形板はそれぞれ図 2.12 の高温域を中心に成形されていることが分かる。そのため、図 2.13(b)の $l=20\text{mm}$ の場合、加熱 V 曲げ加工を行うと高温域を中心に成形されるので断面形状は左右非対称になった。

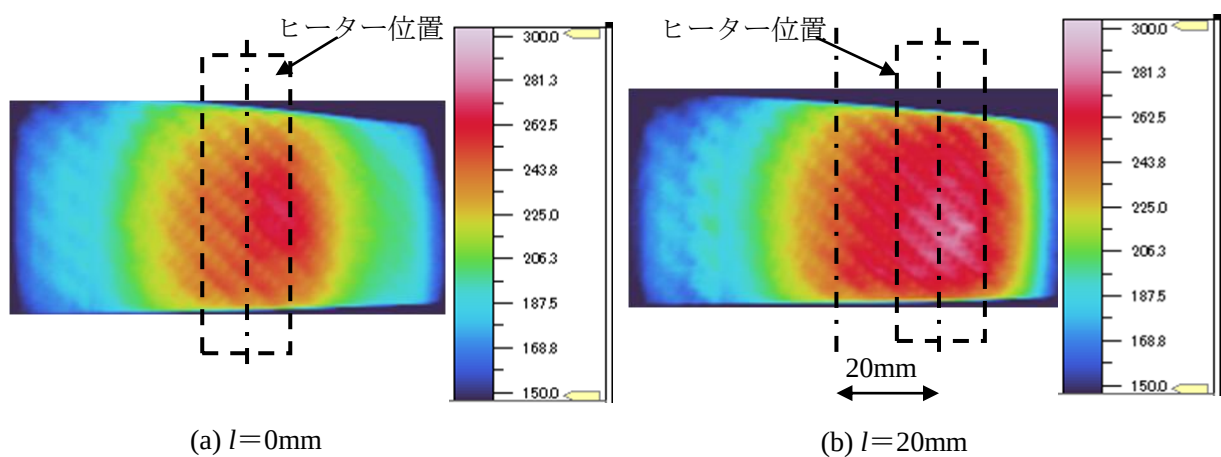


図 2.12 ヒーター位置と積層板の温度分布の関係



図 2.13 成形品の形状プロファイル

本研究では、V 曲げプレス成形品の形状評価のために、図 2.14 に示すような市販の三次元デジタイザ（GOM 社製 ATOS™）を用いた。本装置は測定対象物を高精度の測定することができるハイエンドな形状測定測定器である。本体の左右に CCD カメラ、中央に青色レーザー投影機が設置されている。

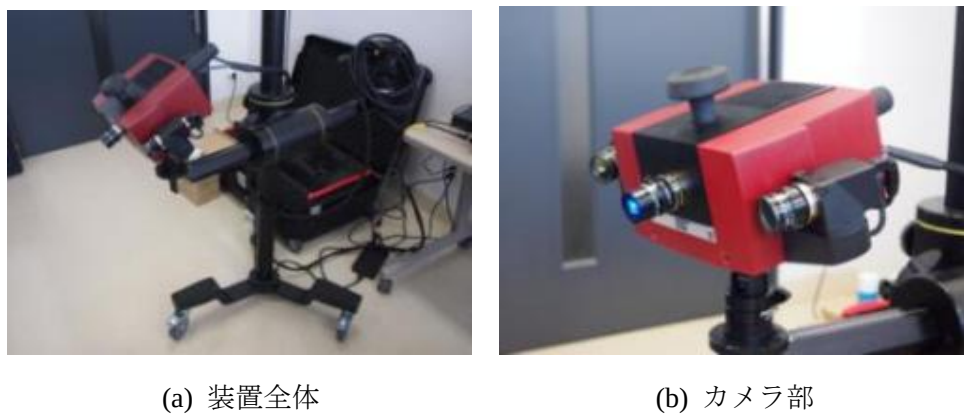
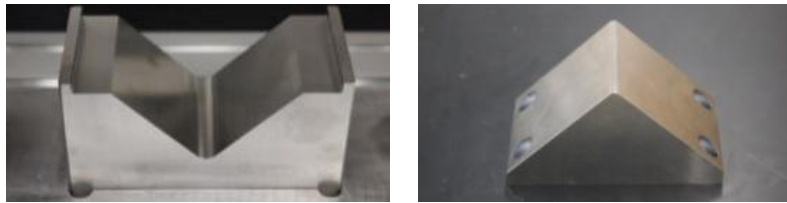


図 2.14 三次元デジタイザの外観

測定対象物は、図 2.15 に示すような V 曲げ金型の凹型および凸型と、図 2.16 に示すような V 曲げ加工を行った熱可塑 CFRP 積層板である。V 曲げ金型および V 曲げ後の熱可塑 CFRP 積層板は V 曲げ部の角度や表面の粗さの測定の検出可能性を検証することを目的とした。



(a)凸型 (b)凹型

図 2.15 V 曲げ金型

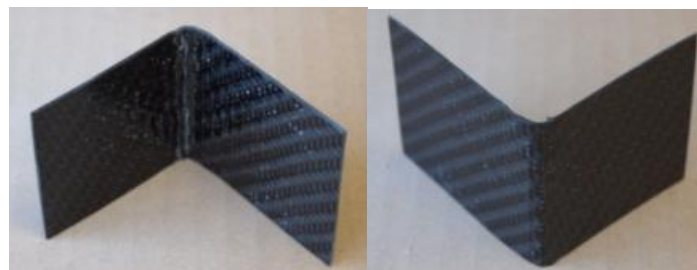


図 2.16 V 曲げ後の熱可塑 CFRP 積層板

三次元デジタイザにより V 曲げ金型の凹型の V 部の角度を評価した結果、図 2.17 より V 曲げ部の角度は 90.00° であり、設計通りに加工されていることが分かる。一方、V 曲げ金型の凸型の V 部の角度は図 2.18 より 90.02° であり、おおよそ設計通りに加工されていることが分かる。

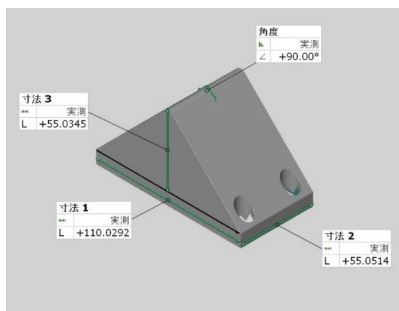


図 2.17 V 曲げ金型の凸型の V 部の角度

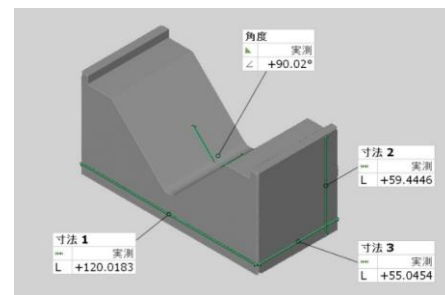
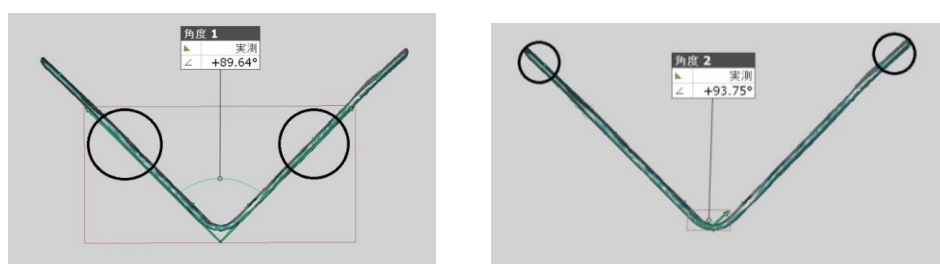


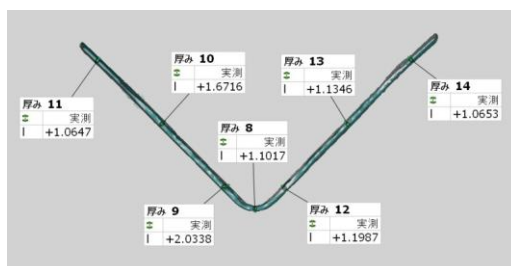
図 2.18 V 曲げ金型の凹型の V 部の角度

V 曲げ加工を行った熱可塑 CFRP 積層板の V 部の角度は、図 2.19 より V 部に近い側が 89.64° ，両端の角度 93.75° であり、凹型と凸型の勘合型を用いて成形したが両端が広がっており、スプリングバック現象が生じていることが分かった。また、先端部の厚さは 1.1017mm ，V 部近傍の厚さは 2.0338mm と 1.1987mm ，両端の厚さは 1.0647mm と 1.0653mm である。先端部と両端の厚さに大差はないが、V 部近傍はしわの発生により厚さは大きくなっている。



(a) V 部の角度 (V 部に近い側)

(b) V 部の角度 (両端)



(c) 厚さ

図 2.19 V 曲げ加工後の熱可塑 CFRP 積層板の V 部の角度と厚さ変化

2-4 再生・繊維強化熱可塑プラスチックに適合するプロダクトデザインの開発

再生 CFRP 成形品の高度マテリアルリサイクルシステムを恒久的に循環するために重要な点は、再生のための不用品や廃棄品が安定して入手できることに加え、再生材を活用できるプロダクトデザインが確立され、それがコンシューマーにより支持されなければ、この高度マテリアルリサイクルシステムは実質的には機能しない。本研究では、再生材と未使用材または再生材のみを用いた LED ランプシェードのプロダクトデザインを行った。

熱可塑性 CFRP を用いた LED ランプシェードのモデル図を図 2.20 に示す。本提案例は第 5 章で記述する加熱プレス成形で成形し、成形後は非接触三次元デジタイザを用いて実製品と三次元データとの形状比較などを行う。また、強度や剛性の向上のために再生材を用いたリブ構造をランプシェードの背面に配置するなどの提案を行い、プレス成形や射出成形による高度マテリアルリサイクルシステムの構築を目指す。

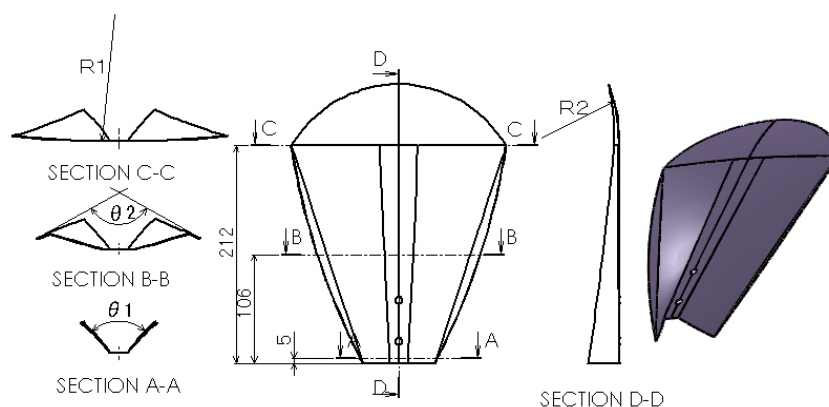


図 2.20 LED ランプシェードのモデル図

前項で示した熱可塑性 CFRP 製 LED ランプシェードを複数枚組み合わせることで、図 2.21 および図 2.22 に示すような LED 照明器具のプロダクトデザインを行った。各ランプシェードには球形の LED ランプが設置されており、LED ランプから発せられる光が熱可塑性 CFRP 表面の光沢を利用して反射・拡散される。また、LED 照明により織構造等の CFRP 特有のデザインを強調させることで、十分なデザイン性も確保した。

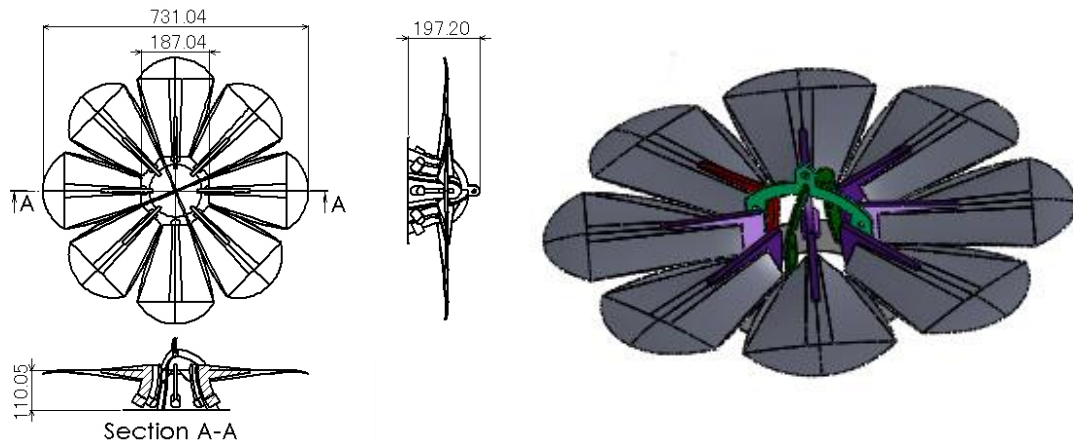


図 2.21 複数枚の LED ランプシェードを組合わせた照明器具のプロダクトデザイン例



図 2.22 LED ランプシェードを用いた照明器具の点灯例

開発した加熱搬送装置をプラスチック成形加工業やプレス成形加工業などの中小企業に使って頂き、成形時に生じる不要なトリミング材等の不要材をリサイクルすることで、本研究開発で掲げる高度マテリアルリサイクルシステムを実現したい。そのため、本研究開発では展示会等の限られたスペースで製造可能な熱可塑性 CFRP 製ペン立てのプロダクトデザインを行った。使用する材料は織物 CF/PA66 樹脂積層板 (Bond- LaminateTM, 厚さ $t=1.0\text{mm}$, ガラス転移温度 $T_g=70\sim 90^\circ\text{C}$, 融点 $T_m=265^\circ\text{C}$) である。これを $155\times 70\text{mm}$ の長方形に切り出してミニ製造ラインを用いて各種成形を行い、図 2.23 に示すような成形品を得ることに成功した。



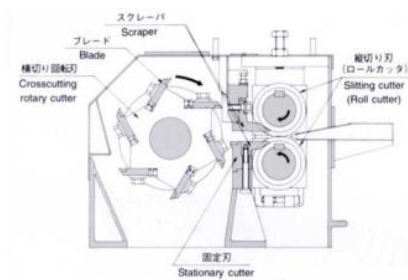
図 2.23 熱可塑性 CFRP 製ペン立て

第3章 再生・繊維強化熱可塑プラスチックの複合成形技術の開発

3-1 繊維強化熱可塑プラスチックの破碎方法の高度化研究

繊維強化熱可塑プラスチックを再利用するためには、加熱により樹脂を変形または熔融させて、繊維を元のシート状に戻すことが最も優れたリサイクル法であるが、繊維の連続性から容易に元の形態に復元することは容易ではない。そのため、繊維強化熱可塑プラスチックを所望の形状に制御して破碎し、再利用しやすいサイズや形状に“加工”する必要がある。これは、不用品や廃棄物を単に破壊させ、減容化により搬送または燃焼・埋め立てしやすい形状にする廃棄処理とは全く異なる。以下に述べるように、熱可塑 CFRP 積層板に適する破碎方法を検討するため、シート専用破碎機および二軸式破碎機と一軸せん断式粉碎機を用いて破碎実験を行った。

繊維強化熱可塑プラスチックシートの破碎には、図 3.1 に示すようなシートペレタイザーを用いた。シートペレタイザーは、縦切り刃によりシートを引取りつつ縦切りし、その後で回転刃と固定刃で横切りして均等な角形の碎片に切断できる。材料と接触するのは縦切り刃もしくは横切り刃と固定刃の刃のみであり、本体内部で材料が擦り付けられることが無いため、細粒状の碎片の発生が無い。ただし、材料の供給の最終端部は縦切り刃で挟むことができないため、長尺品が混入する機制的な制約はある。



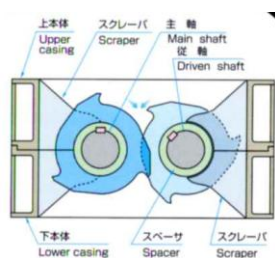
(a) 構造図



(b) 外観図

図 3.1 シートペレタイザー

成形不良品の破碎を行うことを想定し、厚肉シート品の破碎を行った。成形不良品は様々な形状で嵩高いため、シートペレタイザーでの破碎は不可であるため、二軸式破碎機（図 3.2）とスクリーン付き一軸せん断式粉碎機（図 3.3）を用いた複合破碎法の有効性を検討した。

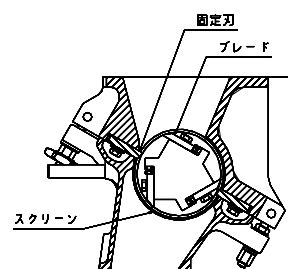


(a) 構造図



(b) 外観図

図 3.2 二軸式破碎機



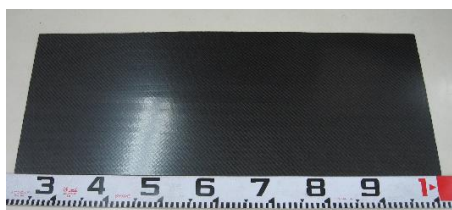
(a) 構造図



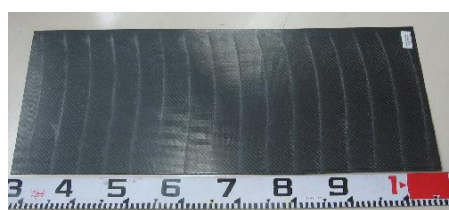
(b) 外観図

図 3.3 スクリーン付き一軸せん断式粉砕機

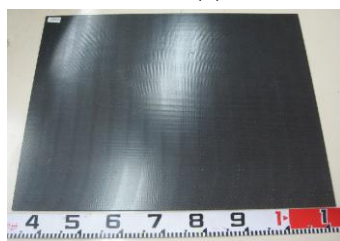
繊維強化熱可塑性プラスチックの破碎実験に用いた材料は、図 3.4 のような積層数の異なる熱可塑性 CFRP 積層板である。破碎実験は、(a)シートペレタイザー、(b)二軸式破碎機、および(c)スクリーン付き一軸せん断式粉砕機の 3 種類の破碎機を用いて行い、破碎後に得られた破碎片の外観を観察した。



(a) 織物 CF/TPU 積層板 (W310×L800×t1mm)



(b) 織物 CF/PA66 積層板 (W200×L800×t1mm)



(c) 織物 CF/PA66 積層板 (W620×L800×t3mm)

図 3.4 破碎実験材料

シートペレタイザーによる織物 CF/TPU 積層板の破碎実験後の状況を図 3.5 に示す。縦切り刃により材料は円滑に引き込まれ、縦切りおよび横切りとも問題は見られず、碎片のサイズの大部分は 4×3mm 角に破碎され、細粒状のものは見られなかった、しかし、少量の未切断品や最大 40mm 長の最終未切断品も含まれていることが分かった。



(a) 破碎片



(b) 最終未切断品

図 3.5 シートペレタイザーによる破碎実験後の状況 (織物 CF/TPU 積層板 (W310×L800×t1mm))

織物 CF/PA66 積層板は材料表面が硬く滑りやすいため、縦切り刃が引き込まず、破碎が不可であった。そのため、ニップ力の高いシートペレタイザーを用いて破碎実験を行った結果、図 3.6 に示すように問題無く引き込まれ、碎片のサイズの大部分が 4×4mm 角に破碎され、細粒状のものは見られなかった。しかし、少量の未切断品や最終未切断品が少し含まれていた。

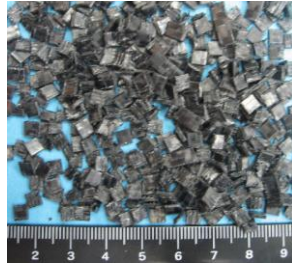


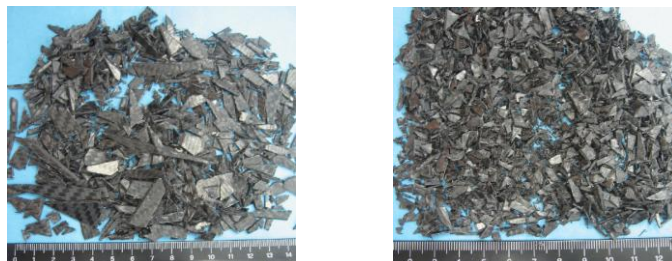
図 3.6 シートペレタイザーによる破碎実験後の状況(織物 CF/PA66 積層板 (W200×L800×t1mm))

シート厚さが大きい織物 CF/PA66 積層板 (W620×L800×t3mm) を二軸式破碎機により破碎した結果を図 3.7 に示す。W20×L40～70mm のサイズに破碎されている。幅(W)は回転刃の刃厚が 20mm であるため均等であるが、長さ(L)の偏差が大きい。しかし、細粒状の破碎片は無く、一軸せん断式粉碎機に投入可能な形状であることが分かった。



図 3.7 二軸式破碎機による破碎実験後の状況 (織物 CF/PA66 積層板 (W620×L800×t3mm))

織物 CF/PA66 積層板 (W620×L800×t1mm) をスクリーン付き一軸せん断式粉碎機で破碎実験を行った結果を図 3.8 に示す。図 3.8(a)は、φ15mm スクリーンを用いた場合で、破碎は問題無く、本体内部での持ち回りが少ないため細粒状の碎片は少ないが、不均等な形状の長尺品が多いため、この形状では押し出し機への供給は不可である。一方、図 3.8(b)は φ8mm 斜穴スクリーンを用いた場合で、破碎は問題無く、スクリーン穴径が小さいため、本体内部での持ち回りが多くなり、細粒状の碎片が多いが、大半の碎片は 5～6mm 程度の不均等な形状で長尺品が見られない。この形状での押し出し機への供給は可能と思われる。



(a)φ15mm スクリーンの場合 (b)φ8mm 斜穴スクリーンの場合

図 3.8 スクリーン付き一軸せん断式粉碎機による破碎後の状況

織物 CF/PA66 積層板 (W620×L800×t3mm) をスクリーン付き一軸せん断式粉碎機で破碎実験を行った結果を図 3.9 に示す。二軸式破碎機による一次破碎は問題無く、シート厚さが大きいいため、少し本体内部での持ち回りが多くなり、細粒状の碎片が多くなったが、大半の碎片は 4~5mm 程度で、不均等な長尺品は見られないため、この形状での押出し機への供給は可能と思われる。



(a)φ8mm 斜穴スクリーンの場合

図 3.9 スクリーン付き一軸せん断式粉碎機による破碎後の状況

3-2 再生材と未使用材の複合プレス成形技術の開発

再生材と未使用材の複合プレス成形技術を実証するために、再生材には織物 CF/PA66 積層板 (Bondlamine 社製, $V_f=45\text{vol.}\%$, 厚さ $t=1\text{mm}$) を破碎・粉碎処理した破碎片を使用した。また、未使用材には再生材と同一の織物 CF/PA66 積層板を用いた。

本研究開発では、(1) 再生材シート、(2) 再生材を用いた LED ランプシェード、(3) リブ付き再生材および(4) 再生材と未使用材を用いた LED ランプシェードをそれぞれ成形した。

再生材シートの成形例を図 3.10 に示す。金型温度 262°C 、加圧力 5ton で 10 分間加熱および加圧し、加圧保持したまま型内で 10 分間冷却して取り出したものである。破碎片が均一に分散した再生材シートを得ることに成功した。



図 3.10 再生材シートの成形例

再生材を用いた LED ランプシェードの成形例を図 3.11 に示す。全ての破碎片サイズで LED ランプシェードの加熱プレス成形に成功した。破碎サイズが大きくなる程、積層板の織り構造が成形品の表面で明瞭に確認することができた。

破砕サイズ	表面		裏面	
φ 6				
φ 12				
φ 50				

図 3.11 再生材を用いた LED ランプシェードの成形例

再生材と未使用材を用いたリブ付き板の成形例を図 3.12 に示す。各材料において、リブ高さ 2 ～4mm のリブ付き板を成形することに成功した。未使用材と再生材を用いた成形品では、リブが有する面に破砕片を配置した。

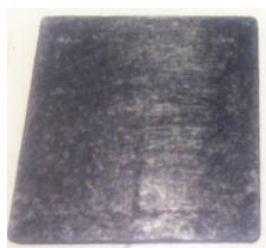
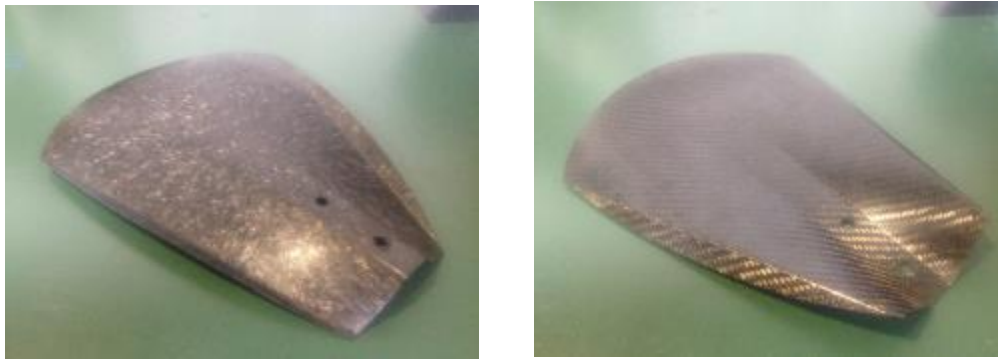
	リブ面	表面
破砕片(φ 6)		
未使用材と再生材		

図 3.12 リブ付き板の成形例

再生材と未使用材の複合プレス成形例を図 3.13 に示す。LED 光が照射される裏面に未使用材の織物 CF/PA66 積層板を配置した。再生材と未使用材が良好に接合されていることが分かった。



(a) 表面

(b) 裏面

図 3.13 再生材と未使用材の複合加熱プレス成形例

3-3 繊維強化熱可塑プラスチックのペレット製造法の研究

繊維強化熱可塑プラスチックのプレス成形時に排出される不用品や使用後の廃棄品を破砕および粉砕された後、再生原料として幅広く利用されやすい形態にするには、熔融押出し成形により粒状もしくは円柱状のペレット化にして、保管・提供することが望ましい。そこで、本研究は繊維強化熱可塑性樹脂積層板の破砕実験により得られた破砕片を用いて、熔融押出し成形による再生ペレットの製造法を研究した。

破砕・粉砕ペレットは繊維 CF/PA66 積層板（Bond Laminate 社製， $V_f=45\text{vol.}\%$ ）を破砕・粉砕処理し，PA66 樹脂ペレット（東レ㈱，アミラン[®]）を任意量添加し，二軸混練押出し機を用いて，図 3.14 に示すような長さ 4～5mm 程度の再生ペレット材を得ることに成功した。

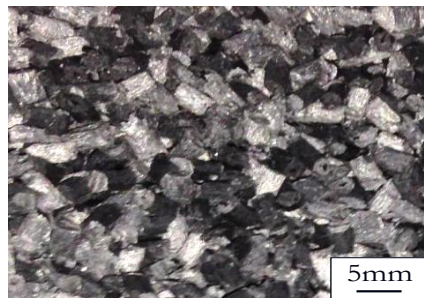


図 3.14 再生ペレット材

3-4 再生材と未使用材の複合押出し成形技術の開発

再生材ペレットと未使用材の複合押出し成形品の外観像を図 3.15 に示す。再生材および未使用材を用いたどちらの試験片でも，矩形断面を有する押出成形品の作製に成功した。

未使用材の短繊維 CF/PA66 ペレットのみを用いた成形体では，再生材を用いた成形体と比較して，表面粗度が低下した。再生材では破砕片と未使用材の樹脂ペレットを予め混練した樹脂含有率の高いペレットを用いているため，表面粗度が向上したと考えられる。

再生材を用いて，開繊 CF/PA6 セミプリプレグテープをインサートした成形品では，セミプリプレグテープと再生材の一体成形品が得られたが，開繊 CF/PA6 セミプリプレグテープが再生材とわ

ずかに接合されている程度に留まった。セミプリプレグテープをインサートするサイジング機内の冷却水により、樹脂が急冷されたためにセミプリプレグテープと良好に接合しなかったためと考えられる。



図 3.15 再生材および未使用材を用いた複合押出し成形例

3-5 繊維強化熱可塑性プラスチックのプレス成形と射出成形の融合技術の開発

使用済みの不要な熱可塑性 CFRP を破碎・粉碎処理し、再成形して所望の形状を量産するためには射出成形法が有望である。しかし、熱可塑性 CFRP 積層板を破碎・粉碎処理しただけでは樹脂含有率が低いために、樹脂熔融時に流動が困難であり、射出不良が生じる。射出成形時に良好な樹脂流動を実現させるためには破碎・粉碎ペレットに一定の樹脂を添加し、均質に混練する必要がある。本研究では、破碎・粉碎片のサイズや樹脂添加量等が曲げ特性に与える影響を詳細に調査し、再生材の適正な射出成形条件を見出し、プレス成形と射出成形の融合技術を提案した。

再生材には織物 CF/PA66 積層板（Bond Laminate 社，TEPEX[®]，201-C200(4)， $V_f=45\%$ ）を一軸高速剪断式粉碎机（榊ホーライ，V-210）で破碎処理し、所定の破碎サイズに分別したものを使用した。本研究では破碎片に対する樹脂の添加量に合わせて、プランジャー式小型立型射出成形機を用いて 3 点曲げ試験片の作製を行った。

プランジャー式小型立型射出成形機を用いて成形を行った射出成形品に付着しているバリを含む重量および射出成形品のみの重量を電子天秤で測定し、3 点の厚さおよび幅をマイクロメータおよびノギスを用いて測定し、測定結果からバリ量、密度を算出した。また、JIS K7074 に準じて曲げ試験片を 5 枚作製した。3 点曲げ試験には卓上万能試験機を用い、曲げ弾性率および曲げ強さを算出した。

破碎片サイズ変更時の密度、バリ量を図 3.16 に示す。4～15mm の破碎片と PA66 樹脂を混練した混練材の射出成形時にショートショットが発生し、15～30mm の破碎片を破碎片と PA66 樹脂を混練した混練材の射出成形時では、シリンダー内に繊維が詰まり成形が不可能であった。そのため、15～30mm 以上の破碎片と PA66 樹脂を混練した混練材の射出成形は不可能である。密度、バリ量ともに 4mm 以下の方が大きな値を示している。

曲げ弾性率および曲げ強度の比較図を図 3.17 に示す。破砕片サイズが 4～15mm では、4mm 以下に比べて曲げ弾性率、曲げ強度ともに高い値を示した。破砕片サイズ 4mm 以下の再生板は未使用板に比べて、曲げ弾性率で 54%，曲げ強さで 42%の曲げ特性が得られた。4～15mm 再生板は未使用板に比べて、曲げ弾性率で 56%，曲げ強さで 46%の曲げ特性が得られた。

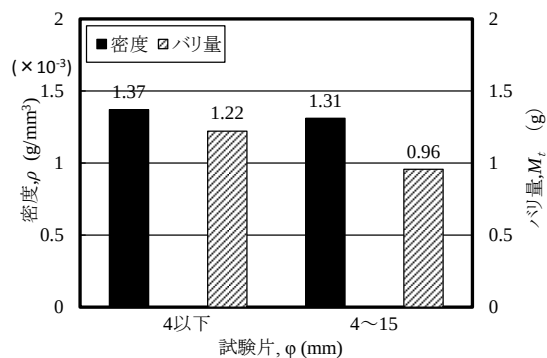


図 3.16 破砕片サイズと曲げ弾性率および曲げ強さの関係

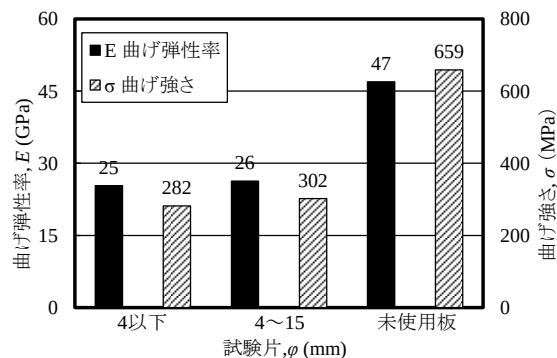


図 3.17 破砕片サイズと密度およびバリ量の関係

熱可塑性 CFRP の射出成形とプレス成形の融合成形技術を図 3.18 に示す。前項で示したように、不要な熱可塑性 CFRP の破砕・粉砕片を射出成形時の原料として用いて、適正な成形条件や材料パラメータを評価した。これらの結果を用いて、例えば未使用材の熱可塑性 CFRP をヒーター加熱して射出成形の金型内に挿入し、型締め時の加圧力を利用してプレス成形を行い、金型内に再生材を射出成形することで、未使用材と再生材のインサート射出成形等が実現可能と考えられる。

本研究開発では射出成形とプレス成形の融合した成形技術を提案するに留まった。現在、学校法人 近畿大学で導入した汎用射出成形機に敷設可能な特殊な加熱装置を開発しており、その製作・調製が遅延したため、本事業で製造した再生材やプレス成形品を用いて試作することができなかった。そのため、次年度も継続して研究を行うこととする

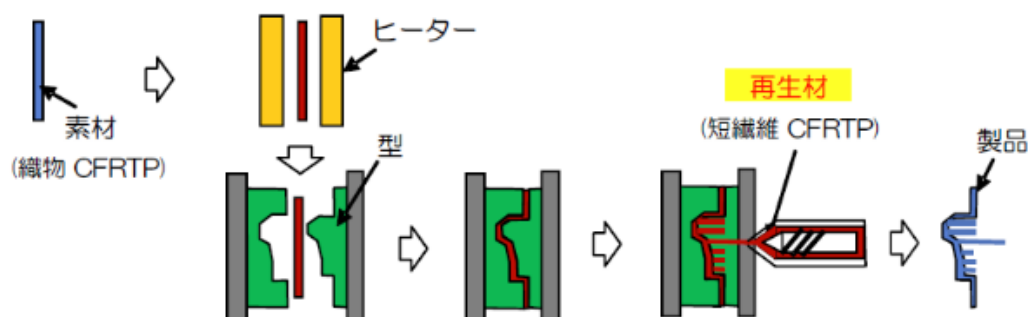


図 3.18 熱可塑性 CFRP の射出成形とプレス成形の融合成形技術

第4章 全体総括

本研究開発では、熱可塑 CFRP プレス成形品の高度マテリアルリサイクルシステムを構築することを目的とし、汎用金属プレス機に使用可能な加熱搬送装置を開発した。また、プレス成形時に生じる不要材や使用済みの熱可塑 CFRP を破砕・粉砕処理することで再生材として使用し、プレス成形や押出し成形および射出成形を試みた。その結果、再生材を用いて所望の形状を得ることに成功し、種々の成形条件が成形品の諸特性に与える影響を明らかにした。

前章で記述したように、繊維強化熱可塑プラスチックのプレス成形と射出成形の融合技術の開発については、融合成形技術を提案するに留まった。本テーマについては、学校法人 近畿大学が主体となり、次年度も継続して研究を行う。

今後は、加熱搬送装置を事業化し、プレス成形加工業やプラスチック成形加工業等の中小企業に使用して頂けるよう、販促活動を行っていく予定である。

参考文献

- [1] (社)日本機械工業連合会, (財)次世代金属・複合材料研究開発協会, “平成 19 年度熱可塑性樹脂複合材料の機械工業分野への適用に関する調査報告書” (2008).
- [2] (社)日本機械工業連合会, (財)次世代金属・複合材料研究開発協会, “平成 20 年度熱可塑性樹脂複合材料の航空機分野への適用に関する調査報告書” (2009).
- [3] ヘレウス株式会社, “赤外線ヒーター技術資料, 最適な赤外線加熱システムの構築と応用”, http://www.heraeus.co.jp/noblelight/noble_01/gijutsu_pdf/CO01-02.pdf (2012).
- [4] (有)フィンテック, “光過熱の物理”, <http://www.fintech.co.jp/hikaributuri.htm#4> (2012).
- [5] 井上俊英 他, “ポリフェニレンスルファイド”, エンジニアリングプラスチック, 高分子学会編, 初版第 1 刷, 共立出版, pp.63-71 (2004)