

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「炭素繊維複合材料を用いた軽量化部材製品に適した高速複合プレス成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社 チャレンジ

目 次

第1章	研究開発の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	
1-2	研究体制	
1-3	成果概要	
1-4	当該研究開発の連絡窓口	
1-5	専門用語の解説	
第2章	本論-1「炭素繊維複合材料に適した金型設計技術の確立」・・・・・・・・	9
2-1	基本金型設計技術の確立	
2-2	成形品形状から金型設計にフィードバック	
2-3	プレス機導入の検討	
第3章	本論-2「高速プリフォーム技術の開発」・・・・・・・・・・・・・・・・	15
3-1	プリフォームの為のパターン設計及び賦形性解析	
3-2	プリフォーム型技術のブラシュアップ	
第4章	本論-3「炭素繊維複合材料に適した高速プレス成形技術の確立」・・・・・・・・	17
4-1	プレス成形条件が製品性能に及ぼす影響の把握	
第5章	本論-4「炭素繊維複合材料の選定」・・・・・・・・・・・・・・・・	19
5-1	高速プレス成形用炭素繊維複合材料の特性把握	
第6章	本論-5「プレス成形品及び製品の評価」・・・・・・・・・・・・・・・・	22
6-1	外観の評価	
6-2	成形性の評価	
6-3	物性値の評価	
第7章	全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24

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

オートクレーブ（AC）成形加工工法で炭素繊維複合材料を使用した、量産の製品を製作することは出来るが、顧客メーカーからの要望である、低コスト、量産性、について希望とおりにはずならず、今まで見送り又は凍結、中止というケースが多かった。耐熱、強度・剛性は他の成形品に比べようが無いほど良いがコストが合わない、量産性が悪い、二次加工に時間が掛かる等の顧客ニーズを解決するために、この研究開発を実施し、AC成形加工と同じ強度剛性を保持して低コスト、量産性、更なる軽量化を向上させ製品の安定供給できることを目的とする。

研究の目標として、4時間の成形サイクルがかかるAC成形加工に替えて、新たな炭素繊維複合材料を用いた軽量化部材製造に適した高速プレス成形加工の成形サイクルを10分以下の目標値をする。

最終目標として、二次加工の工程を省略できる成形一体加工を開発できる型設計から成形加工を確立し高速成形技術を構築させ、量産性を高め現行の工法より価格50%ダウン、金属から炭素繊維複合材料へ変更する事による40%軽量化を目指す。又、この新工法は業界に広く公表し標準化して提供することが必要である。

本研究開発では、単一素材では得られない高強度・高弾性を確保し、軽量化を可能とした炭素繊維複合材料に適した金型設計及び高速プレス成形技術の確立、高速プリフォーム技術の開発、炭素繊維複合材料の選定、プレス成形品及び製品の評価を行う。

金型設計及び高速プレス成形技術の確立は、金型クリアランス等のプレス金型に必要な設計指標や成形条件、装置特性等の高速プレス成形におけるパラメーターを把握するために、複数パターンの試作金型で成形した形状を非接触三次元測定器で計測し、設計データとの違いを確認することで最適な型設計の検証や製品の性能に与える影響を把握する。

高速プリフォーム技術の開発は、複合材料エンジニアリング用ソフトウェアを導入し、賦形性を考慮したパターン設計や賦形時にシワ混入しやすい箇所の特定制をする賦形性解析を行い、プリフォーム設計技術の蓄積を図り、プリフォーム工程や脱気工程等のプリフォームに関する一連の技術を見直して、プリフォーム型技術のブラッシュアップを実施する。

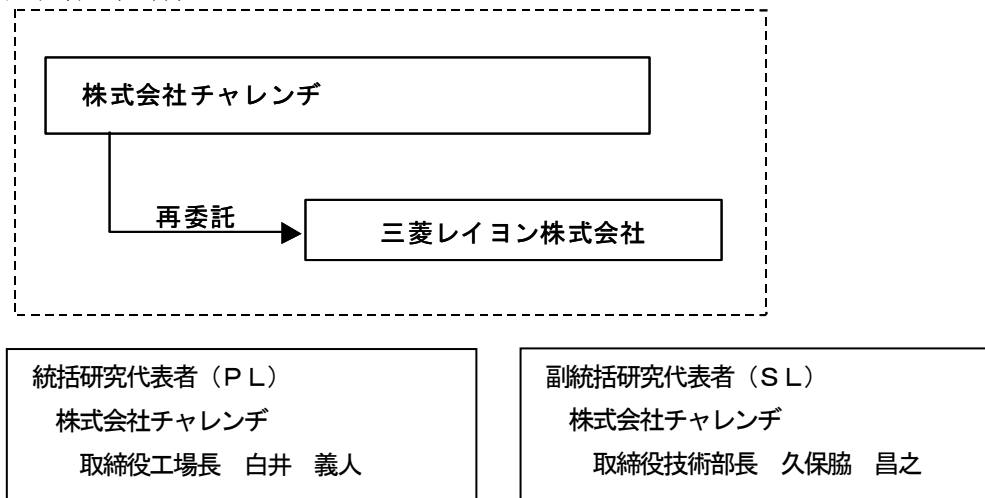
炭素繊維複合材料の選定は、プレス成形可能な炭素繊維複合材料を評価し、機械物性、成形性、耐熱性等の成形材料固有の特性を明確にしてデータベースを構築する。

プレス成形品及び製品の評価は、成形品の材料特性や機械的特性の把握や表面品質と反り、ショート、剥離等の製品不具合の洗い出しと、各開発項目へのフィードバックを実施する。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

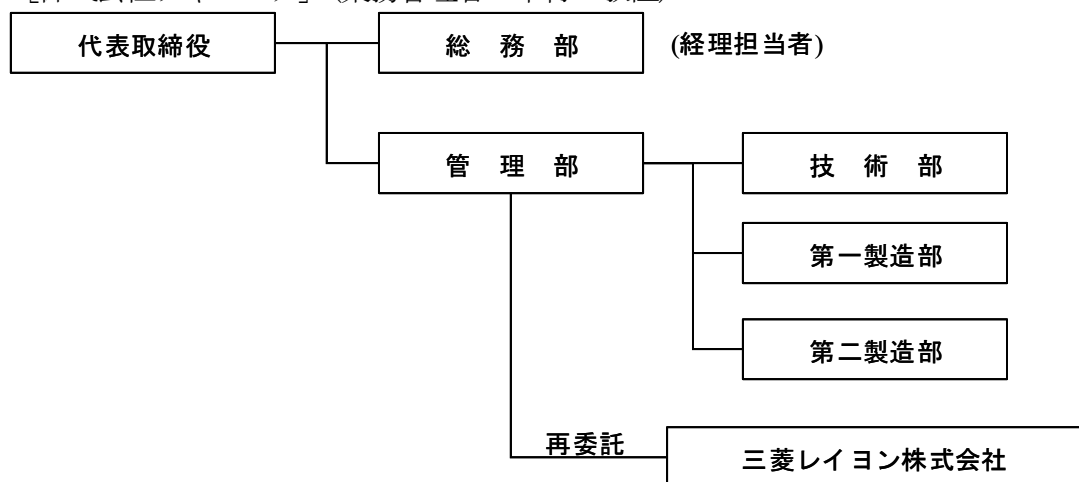
(1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

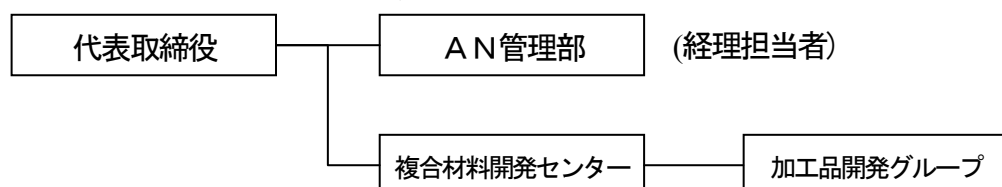
①事業管理者

[株式会社チャレンヂ]（業務管理者：中村 敬佳）



② 再委託先

[三菱レイヨン株式会社]（業務管理者：加工品開発GL）



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 株式会社チャレンジ

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
木下 克己	総務部・グループリーダー	⑥

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
白井 義人	管理部・取締役工場長	①②③④⑤
久保脇 昌之	技術部・取締役技術部長	①②③④⑤
岩瀬 幸二	第一製造部・部長	②③④⑤
船生 泰弘	第二製造部・部長	②③④⑤
中村 博実	管理部・グループリーダー	①②③④⑤
高橋 良明	第一製造部・グループリーダー	②③④⑤
原田 啓介	第一製造部・グループリーダー	②③④⑤
金澤 嘉範	第二製造部・グループリーダー	②③④⑤
山崎 洋介	技術部・グループリーダー	①⑤

【再委託先】

(研究員)

三菱レイヨン株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
風早 祐二	加工品開発グループ・副主任研究員	①②③④⑤
柿本 佳秀	加工品開発グループ・研究員	①②③④⑤

- ① 炭素繊維複合材料に適した金型設計技術の確立
- ② 高速プリフォーム技術の開発
- ③ 炭素繊維複合材料に適した高速プレス成形技術の確立
- ④ 炭素繊維複合材料の選定
- ⑤ プレス成形品及び製品の評価
- ⑥ プロジェクトの管理・運営

(3) 経理担当社及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

株式会社チャレンジ

(経理担当者) 総務部 町田 日記

(業務管理者) 社長 中村 敬佳

(再委託先)

三菱レイヨン株式会社

(経理担当者) AN管理部 課長 鈴木 康彦

(業務管理者) 複合材料開発センター GL 高野 恒男

(4) 他からの指導・協力者

開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
白井 義人	株式会社チャレンジ・取締役工場長	☒ PL
久保脇 昌之	株式会社チャレンジ・取締役技術部長	☒ SL

風早 祐二	三菱レイヨン株式会社・副主任研究員	
柿本 佳秀	三菱レイヨン株式会社・研究員	
水野 和敏	日産自動車株式会社・車両開発主管	アドバイザー
小坂 浩二	トヨタテクノクラフト株式会社・コポジット開発室長	アドバイザー
河西 悟	長瀬産業株式会社・自動車材料事業部	アドバイザー
藤井 悟	カセムテックス株式会社・研究開発本部長	アドバイザー

1-3 成果概要

本研究開発の目標であったオートクレーブ成形と変わらない製品が成形サイクル10分以下の目標値が達成でき、価格に対しても目標値の50%コストダウンに対し45%まで現在達成できた。

1-3-1 「炭素繊維複合材料に適した金型設計技術の確立」

炭素繊維複合材料のプレス成形に適した金型形状を確立するために複数の金型を製作してプレス成形を行い、プレス成形された製品の表面の状態と形状を非接触三次元測定器等を使用して検証を行った結果、製品面のクリアランスは投入する材料に適したスキが必要であり、材料の厚さが変化する部位ではできるだけ投入材料と同じ変化で金型を設計しなければいけない。

コストに関しては、一番重要なのは金型設計の形状である。5分間という短時間で成形ができて、後工程で時間がかかっては意味がない。成形後の完成度が高い製品を作ることがコストに大きく影響し、成形が可能な金型形状を研究した。金型の寸法精度やシアエッジ構造にして後加工をなくし、金型からスムーズに製品を取り外すことができるよう、補正予算内の約6カ月間、最後の最後まで金型の設計開発研究を行い、製品形状に必要な金型形状の把握ができた。

1-3-2 「高速プリフォーム技術の開発」

高速プリフォーム技術の開発については、金型プレス成形における炭素繊維複合材料の賦形を行った。

プリフォーム型に関する材質選定テストを行いながら最適なものを選び出し、それを含めたプリフォーム型の設計を行った。

これまでの研究において、プリフォーム精度がプレス成形品に与える影響は非常に大きいことがわかり、プリフォーム型の精度を向上させていった。

プリフォーム精度とはプレス成形品になるべく近い状態でプリフォームすることであるが、それは形状だけでなく炭素繊維複合材料の目のヨレやシワの無い状態が求められる。

CFパターンの解析により、パターンの違う炭素繊維複合材料の組み合わせを行うことで成形品の品質向上を確認できたが、『複合材料エンジニアリング用ソフトウェア』を用いたパターン設計や賦形性の解析による更なる作業工程の簡略化が求められる。

また、作業環境（特に室温）に大きく左右される材料を使用するため、作業環境の安定化

が求められる。

1-3-3 「炭素繊維複合材料に適した高速プレス成形技術の確立」

三菱レイヨンの協力により140℃×5分で硬化するエポキシ樹脂を含浸させた炭素繊維複合材料が完成できたことにより、オートクレーブで3時間以上成形に掛かっていたものが大幅な時間短縮が可能になった。

これにより今まで困難とされてきた炭素繊維複合材料製品の大量生産とコストの削減が見込まれる。

今後残されている課題として、ボイドの発生や製品の変形、目のヨレの発生など多々あるが、型設計やプリフォームの技術、離型剤の開発を完全なものとすることによって成形が可能であるという道筋が見えてきた。

1-3-4 「炭素繊維複合材料の選定」

三菱レイヨンに協力を依頼し、炭素繊維複合材料の開発を進めてきた。そのなかで新たなエポキシ樹脂が開発され高速プレス成形が可能となった。そのエポキシ樹脂を基材となる炭素繊維に含浸させ基材の選定と含有量の選定を行った。

今回検討した材料は含有率を変化させた3種類で、製品に対する意匠性や表面精度を確認した。その結果、プレスで高圧力がかかるため樹脂の含有率が多いものは、炭素繊維が樹脂と一緒に流れてしまい意匠性が悪く、3種類の中では、樹脂含有率が低いものが最適であった。

1-3-5 「プレス成形品及び製品の評価」

本テーマでは、それぞれの目的を持って作成した金型にて製作した成形品の外観、成形性及び物性値について評価し、各研究テーマへのフィードバックを行うことを目的とした。

成形品の外観については、表面のボイド低減及び目のヨレ無しについては適正な材料及び成形条件を見い出すことができた。表面の白濁についても若干課題は残るが白濁低減の施策が見つかっている。

成形品の変形については、金型形状、樹脂含有率、炭素繊維基材及び成形条件それぞれについて少なからず影響はあるが、離型剤の影響が一番大きいことが確認できた。

また、プレス成形の製品が従来工法であるオートクレーブ加工の製品と物性的に有意差があるか否かについては、引張試験及び曲げ試験を行った結果においては有意差がなく、全体的にプレス成形の物性値の方がオートクレーブ加工の物性値を上回っているという結果であった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 チャレンジ

技術部：久保脇 昌之

〒350-1325 埼玉県狭山市根岸 679-1 チャレンジ テクノロジーセンター内

TEL 04-2900-2111

FAX 04-2954-0303

E-mail:kubowaki@vollstrom.co.jp

1-5 専門用語の解説

専門用語	用語の解説
オートクレーブ (AC)成形加工	Autoclave成形加工の略(圧力釜)。缶内部に真空バッグした型を入れ、真空を保持した状態で、缶内を加熱、加圧、冷却、減圧を決められたプログラムで自動稼働しバッグ内の製品を硬化させる成形方法。 真空バッグとは密閉されたフィルムでシールされた積層品を真空にされたものをいう。
プリフォーム	複合材料のプレス成形において、成形前にあらかじめ成形材料を成形用型内に配置する状態に積層しておき、この積層物を成形型内で加熱加圧して硬化させる方法で、積層物を作る工程のことを意味する。また、積層物をプリフォームと呼ぶ。
インサート成形	金属部品または、その他の材質の部品を埋め込む射出成形方法。成形部品に金属のボスやネジを埋め込んだりするインサート成形では、樹脂と金属部品との間にクラックが、発生しやすいので、樹脂の肉厚、金属の材質等を検討する必要があるといわれる。
シアーエッジ	成形用金型のパーティングライン形状の一種。型勘合時の上型と下型のかみ合い部で0.05~0.10mm程度のクリアランスを設けている。キャビティー内のエアは排出するが、材料のモレは最小限になるように設計される。磨耗を防ぐため、焼入れされる場合もある。
炭素繊維複合材料	炭素繊維織物等にエポキシ樹脂と硬化剤が含浸させてあり、熱をかけることによって硬化する材料。
ボイド	積層された物が、型の表面に密着していないまま成形されてしまうと、そこに空洞が出来たまま固まってしまう。その空洞を指す。
ラップ代	積層材料同士の繋ぎ目、重なり目。
バギング	積層の終わった製品をオープンやオートクレーブで成形する為にバックフィルムを型にシールして真空引きする行為。
ブリーザー	(ブリーザークロス) リリースフィルムとバックフィルムの間に入れる副資材。真空引きを早く全体に行き渡らせたり、余分な樹脂を吸ったりする。
リリースフィルム	製品と他の副資材とが張り付かないようにするためのフィルム。
キャビ型	製品の外側を成形するための金型をキャビ型という。
コア型	製品の内面を成形するための金型をコア型という。
CFパターン	炭素繊維複合材料をカッティングプロッターでカットした後の形状をいう。

第2章 本論－1 「炭素繊維複合材料に適した金型設計技術の確立」

2－1 基本金型設計技術の確立

2－1－1 研究目的

炭素繊維複合材料のプレス成形に使用する金型に必要な設計指標であるクリアランス（寸法精度）、シアーエッジ構造及び、脱型方法等の最適条件を把握するために、モデル金型を用いて「いくつかのパターンを設計し、どの形状が最適な型設計なのか」を検証する。

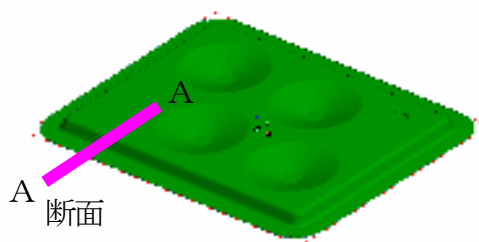
2－1－2 研究内容

- 1) 同一製品形状の型でクリアランスやシアーエッジの構造違いを設計し、金型を製作した。各金型でプレス成形し、製品の状態を調べてどのような金型形状が適しているかを検証した。（表2－1）
- 2) 製品の厚さを途中で変化した金型を製作しプレス成形して、製品の状態を検証した。（図2－1、2、3、4）
- 3) 厚さ1mmで中央部を平面形状の製品用金型を製作して、製品の状態を検証した。（図2－5、6）
- 4) 金型にエアブロー弁を設置して、脱型に対しての有効性を検証した。（図2－7）

表2－1 製品形状の仕様とキャビ型の配置

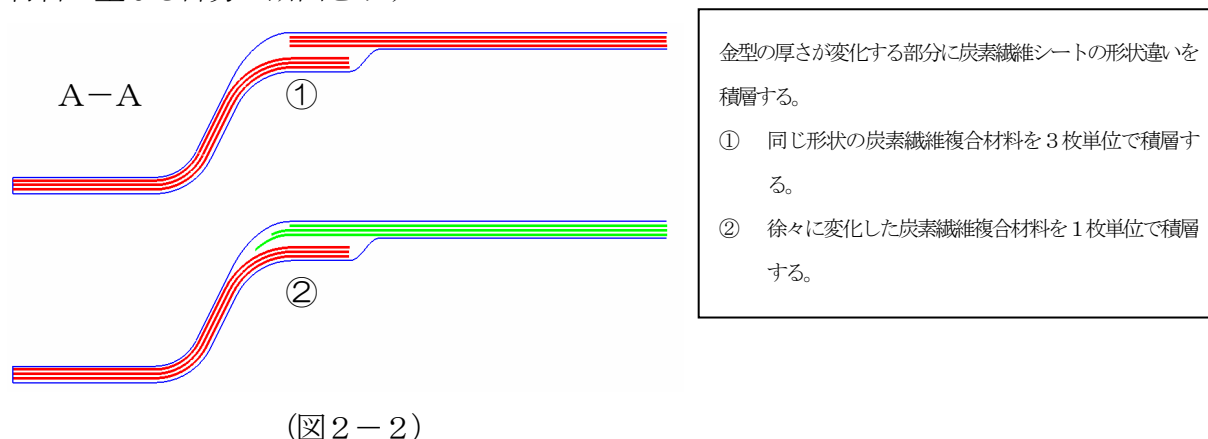
品番	品名	正面厚さ	側面厚さ	穴形状	立部A	立部B
H21-CH001	金型A	0.4	0.4	有り	5度	10度
H21-CH002	金型B	0.4	0.4	無し	5度	10度
H21-CH003	金型C	0.4	0.6	有り	5度	10度
H21-CH004	金型D	0.4	0.6	無し	5度	10度
H21-CH005	金型E	0.4	0.4	有り	2度	5度
H21-CH006	金型F	0.4	0.4	無し	2度	5度
H21-CH007	金型G	0.6	0.6	無し		
H21-CH008	金型H	1	1	無し		

<製品の厚さを途中で変化した金型G>



(図2－1)

材料の重なる部分の断面を示す



2-1-3 研究成果

炭素繊維複合材料のプレス成形で最適な製品クリアランスを検証するために複数の金型を製作した。金型A及び金型B型では製品正面と側面を同じ厚さ（0.4 mm）で金型を製作し金型C及び金型D型では側面を+0.2 mm（0.6 mm）で金型を製作した。

プレス成形した結果金型A及び金型B型の正面及び側面には同程度のボイドが発生したのに対して、金型C及び金型D型の側面は同正面に対して著しいボイドが発生した。結果金型の製品面の厚さは正面側面問わずに均一の精度で製作しなければならないことがわかった。



金型とプレス成形機

(図 2-3)

製品の厚さを途中で変化させた金型をプレス成型した結果、製品表面の状態は投入材料の量（炭素繊維シートの大きさ）に影響することがわかった。

材料厚さが変化する部分で炭素繊維複合材料を徐々に変化させて配置しないと表面にエアー（図 2-4）が出来てしまいよくないため、金型を設計する前に炭素繊維複合材料の大きさ、入れ方を先に決めた後その範囲を考慮して金型を設計することが重要であることがわかった。

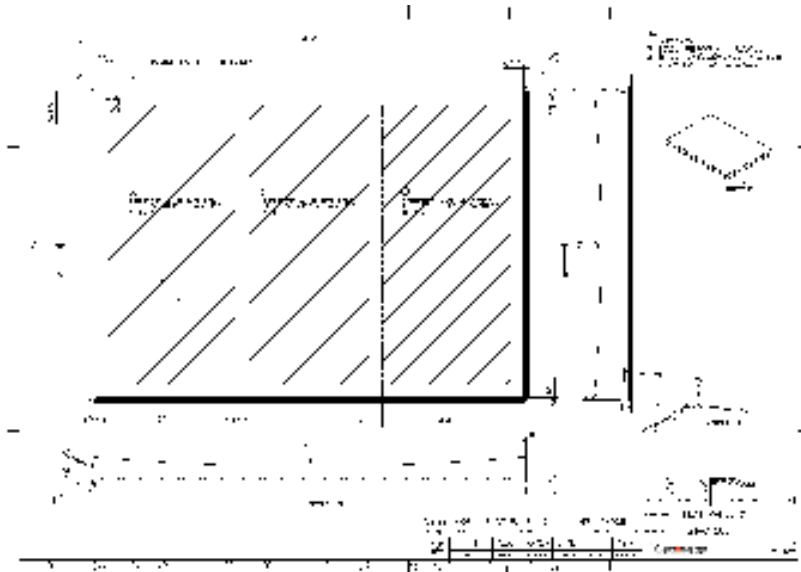


矢印の部分にエアーが発生。（樹脂分がなくショートした部分）

(図 2-4)

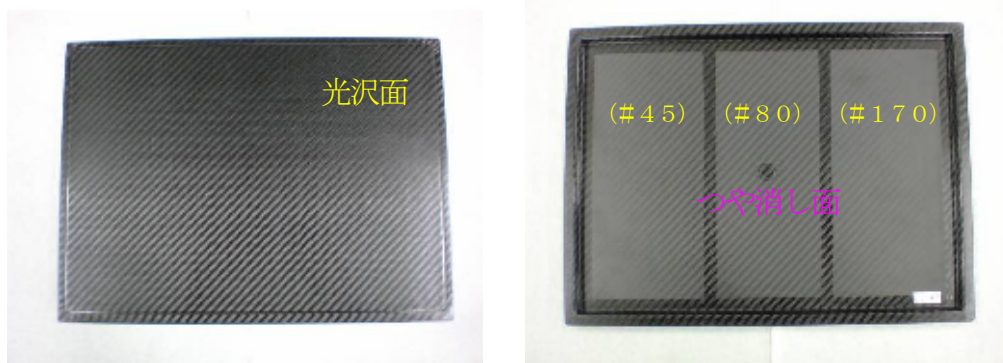
厚さ1mmで中央部を平面形状にした金型では、表面側（キャビ型）を光沢仕上げにして裏側（コア型）をつや消し（サンドブラスト加工による）仕様にした。この金型表面の違いによる製品表面の状態に変化があるかを検証することにした。（図2-5）

サンドブラスト加工は#45 #80 #170の3種類を試す。



（図2-5）

成形後の製品側表面状態を検証した結果、型の表面状態の違い（光沢面 つや消し面）による製品表面のボイド発生状況や目のヨレ等の差は見られないことがわかった。（図2-6）



（図2-6）

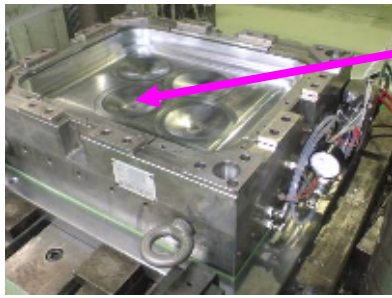
脱型方法だが、当初エアブロー弁による脱型方法を予定していた。しかし、隙間にエポキシ樹脂が浸入して硬化してしまい動作不良がおこってしまう。

エアブロー弁とは、空気力でシリンダーを動かしてバルブを開き同時に金型と製品の間に空気を入れ、製品を脱型する装置である。（図2-7）

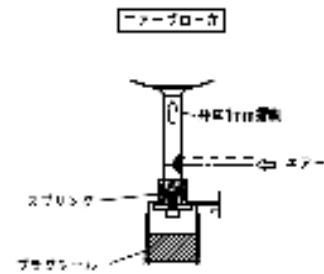
エポキシ樹脂は非常に流動性が高いためすこしの隙間にも浸入することがわかった。

今後はインジェクター用エアバルブの隙間をより少なくするか、もしくは油圧シリンダーに変更するなどの対策が必要である。

しかし、製品形状が小さいものであれば離型剤の最適化により脱型が可能であることがわかった。



エアブロー弁位置を示す。



(図 2-7)

2-2 成形品形状から金型設計にフィードバック

2-2-1 研究目的

弊社が保有する技術の一つである製品の設計データと非接触測定器で測定した成形品形状データとの比較をパソコン上で出来る技術を応用して、金型設計にフィードバックし、より設計データに近い成形品を得られることを確認する。

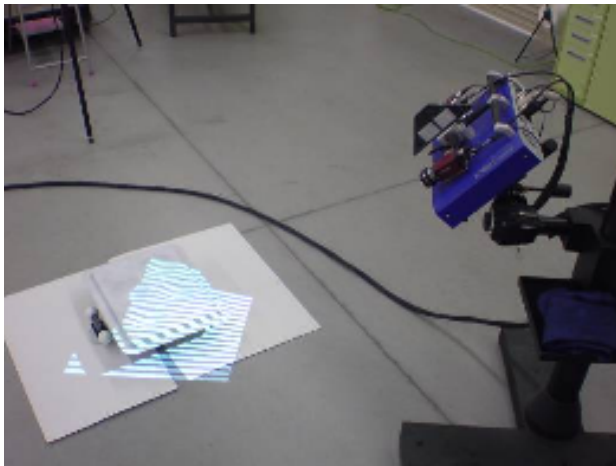
2-2-2 研究内容

非接触三次元測定器を使用して各製品の形状を測定し変形度を検証する。(図 2-8)

測定機器：Optical 3D-Measuring Machine kolibri move

メーカー：IVB GmbH

Serial Number：2008 KS050 5M/2



プレス成形された製品を白色のつや消しスプレーで着色する。プロジェクターより縞模様を投影してその影をステレオカメラで読み取り形状をデータ化する。

(図 2-8)

2-2-3 研究成果

成形された製品を非接触式三次元測定機で製品形状を測定し検証した。

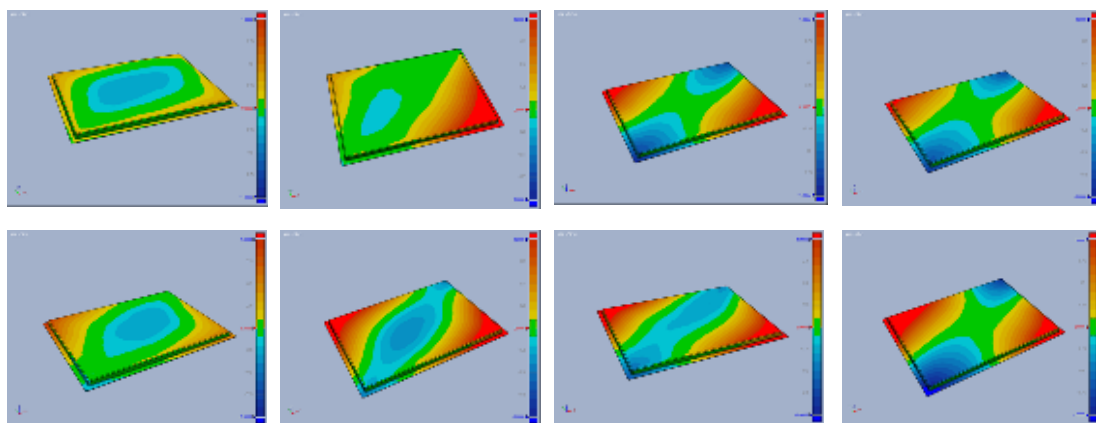
下記表は製品の設計データと成形後の製品のスキャンデータを比較したものである。

青色の部分は設計データよりもマイナス側にスキャンデータがあり赤色の部分はプラス側、緑の部分は中間を示す。

色の一段階の差は0.1mmで赤と青の差は2mmあることを示す。

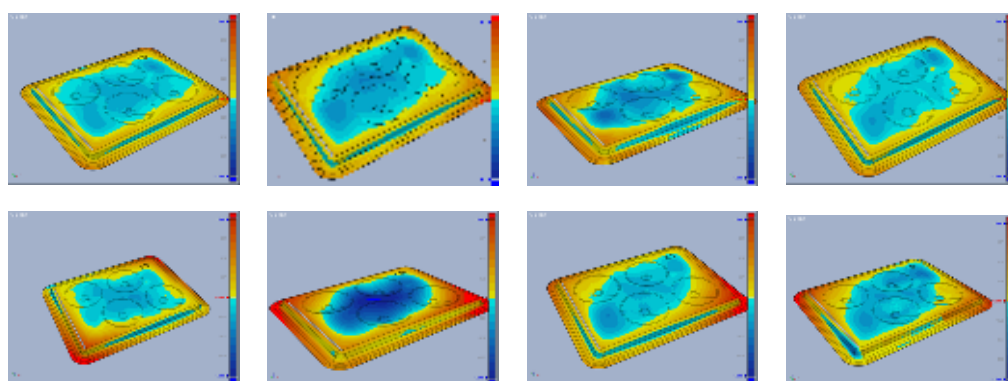
(図2-9、10)

金型H



(図2-9)

金型G



(図2-10)

測定結果をみると、設計データと比較して変形具合が安定していない。それは、金型から脱型する時の状態（脱型性）に関係することがわかった。

金型と製品のつき具合が強いと脱型時に製品が引っ張られた方向に変形してしまい、つき具合が弱いと脱型が簡単になるため変形も少ない。

そのためにプレス成形後型開きを行った後速やかに脱型することが出来るような離型処理を行うことが重要である。

2-3 プレス機導入の検討

2-3-1 研究目的

2-1項及び2-2項の結果をもとに、複合成形技術に適したプレス機の導入を検討する。

2-3-2 導入検討

炭素繊維複合材料をプレス成形するために適したプレス機は、基準盤面の精度（平行度）が重要である。

成形する製品の厚さが非常に薄いものがあり、上下からの力を直接材料の投入面だけで受けるためプレス機の精度がよくなると板厚のバラツキやボイド発生の原因になる。

そのため、丸柱構造の物より精度と剛性面で有利な角柱のガイド構造のプレス機が良い。プレス成形するために $30\text{ kgf/cm}^2 \sim 120\text{ kgf/cm}^2$ の力が必要であるため成型する製品の投影面積により調整可能な物を選定しなければならない。

製品の投影面積が小さい物は、その分細かく制御しなくてはいけないため小さいところから調整可能なプレス機が必要である。

また、真空設備について、上下型が閉じる少し前から真空を始め完全に型が閉じるまで保持することにより製品表面に良い影響があることが確認された。そのため真空開始や保持時間の調整可能な真空装置が必要である。

第3章 本論－2「高速プリフォーム技術の開発」

3－1 プリフォームの為のパターン設計及び賦形性解析

3－1－1 プリフォーム型の構造材料選定と設計

プリフォーム型の構造に関しては、温めて賦形した炭素繊維複合材料を離型するためにプリフォーム型自体の離型性だけではなく、炭素繊維複合材料自体の粘度による貼り付きを抑える離型加工が必要であることがわかった。

材料選定を行った結果、プリフォーム型本体は樹脂ブロックとし、離型フィルム＋離型剤が最適であった。

プリフォーム型の設計については炭素繊維複合材料の厚さを測定し、更に脱型性を考慮したクリアランスを設定してプリフォーム型のオフセット量を決めた。

基準側の型のオフセットは0に設定し、相手側の型に炭素繊維複合材料厚さプラス脱性型クリアランスを設けることとした。

3－1－2 プリフォーム装置の設計

プリフォーム成形するにあたって、材料セットと脱気をするための真空引き装置が必要であり、またプリフォーム成形後の脱型補助のための冷却装置が必要であるため、装置の作成に取り組んだ。

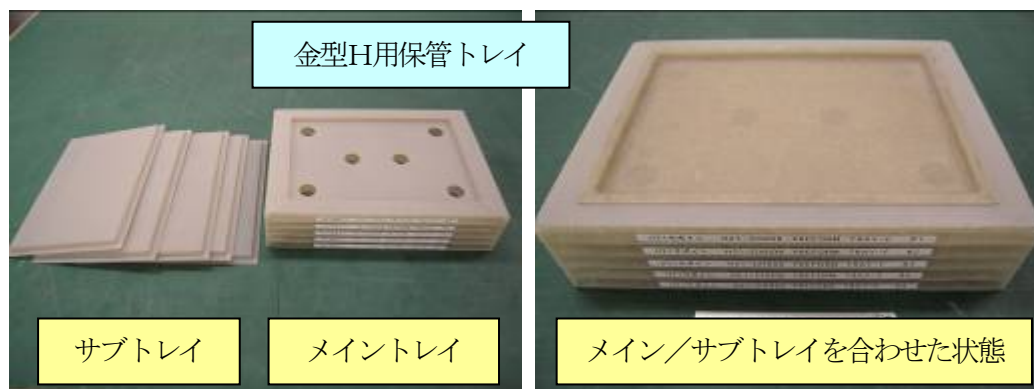
真空冷却装置の完成後、本テーマにおける製品形状のプリフォーム成形に取り組んだが、今回の製品形状に対して、真空冷却装置は成形性、作業性ともにメリットが出ず、真空及び冷却能力の見直し、圧着フィルムの種類検討等、いくつかの問題が見つかり、今後の検討課題とした。

3－1－3 プリフォーム品の保管トレイの設計

炭素繊維複合材料は剛性が高く、元の形状に戻りやすいためプリフォームした材料を金型にチャージするまでの間形状保持しておく必要がある為、保管トレイの設計～製作し保管することとした。

保管トレイをつくるための材質はGFRP製とし、複数個必要になると考えられ、縁に段を作りトレイが上に積み重ねられるようにした。実際にプリフォーム品を保管トレイにセットしておいた結果、時間が経つにつれて賦形されていたプリフォーム品がその形状を保てなくなることがわかったので、プリフォーム品をキャビ／コア形状で挟み込む保管トレイにした。

保管トレイもプリフォーム型と同様に、炭素繊維複合材料との離型性が必要となるのでプリフォーム型と同じ離型加工を行った。(図3－1)



(図3-1)

3-1-4 CFパターンの解析

CFパターンについては、ファイバーシム等の解析ソフトでパターンを製作するよりも、カッティングプロッターで準備した材料でトライしてから、次にファイバーシムでのパターンと比較しながらの計画という方向で検討することとした。

どのプリフォーム品をとっても、炭素繊維複合材料を賦形する際の四隅のシワや目のヨレが製品へ直接の影響を及ぼすため、十分注意しなければならない。

3-2 プリフォーム型のブラシュアップ

これまでの研究において、プリフォーム精度がプレス成形品に与える影響は非常に大きいことが分かった。

プリフォーム精度とは、プレス成形品に近い状態にすることであるが、それは形状だけでなく炭素繊維複合材料の目のヨレやシワの無い状態も求められる。

今回の研究ではプリフォームを全て手作業で行ってきた。金型Gについては複数のプリフォーム品を組み合わせでの成形となってしまった。

高速プリフォーム技術の開発においては、複雑なプリフォーム工程を簡略化しなければならないため、更にCFパターンの解析を行い手作業を減らしていく研究もしていかなければならない。

使用する炭素繊維複合材料は気温によって樹脂の粘度が変わりやすく、室温が低ければベタつきは少なく、室温が高ければベタつきが多くなり作業性も悪くなることが予想される。

ベタつきにより脱型がスムーズにできない場合は目のヨレやシワを発生させてしまうことも予想される。よってプリフォームを行う作業環境を安定させることが求められる。

第4章 本論－3 「炭素繊維複合材料に適した高速プレス成形技術の確立」

4－1 プレス成形条件が製品性能に及ぼす影響を把握

4－1－1 温度条件

今回の実験では金型表面温度を 140°C に設定した。ただし、実験に使用した全ての型の大きさや形状、熱源の位置が異なるため、あくまで型の中心付近を基準とした。



右側に表示されているのが熱伝対の温度である。

(図4－1)

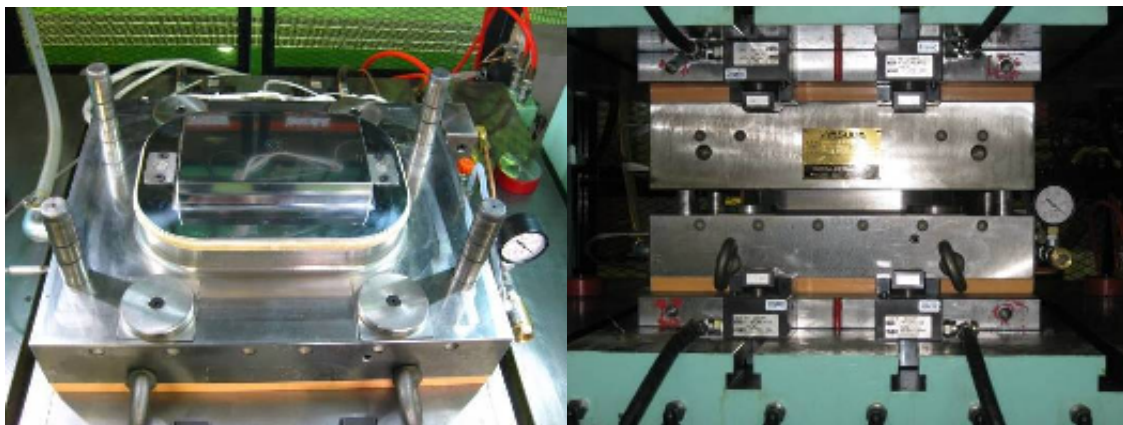
4－1－2 プレス圧力条件

成形時の圧力を $15\text{ kg f/cm}^2 \sim 120\text{ kg f/cm}^2$ の範囲で加圧を行った。この実験では 100 t プレス機を使用したため、型の大きさによっては 120 kg f/cm^2 以上加圧できないものもあった。

圧力が同じでも樹脂の含有率によってボイドの発生に変化があることから樹脂量とのバランスも大事であると考えられる。

4－1－3 シム調整条件

成形厚さを想定したシム調整を行った。(図4－2)



(図4－2)

炭素繊維複合材料自体を加圧できればボイドがなくなるという実績を得ることができた。
製品を綺麗に作る上で重要なことは圧受け板に当てることなく、炭素繊維複合材料自体に圧力が掛かることであることがわかった。

4-1-4 成形時間条件

成形時間（プレスし圧力と熱を加えている時間）は基本的には5分にした。
今後、型の種類が多様化することを予測すると、それぞれの型に適応した熱源の確保が課題となってくる。

4-1-5 離型条件

今回の実験で離型剤は6種類検討した。
離型剤A及びBは離型性が悪く型に貼りつくといった現象もあったためすぐに除外した。
型の曇りも少なく抜群の離型性を発揮したのが離型剤Cであった。
脱型性の良し悪しが製品の変形に大きく影響を与えることがわかったため、離型剤Dか離型剤Cが候補となったが、離型剤Dはシリコン成分を含んでおり、後工程（接着や塗装）で不具合が出る可能性があるため、離型剤Cを使用していくことにした。

第5章 本論－4「炭素繊維複合材料の選定」

5－1 高速プレス成形用炭素繊維複合材料の特性把握

今回の実験は、三菱レイヨンの開発した高速プレス成形用樹脂を使用し、その特性を活かし樹脂含有率などを調整しながら行った。

使用した炭素繊維複合材料

- ① 試作材料A 樹脂含有率40%
 - ② 試作材料B 樹脂含有率50%
 - ③ 試作材料C 樹脂含有率45%
 - ④ 試作材料D 樹脂含有率40% 半含浸タイプ
 - ⑤ 試作材料E 樹脂含有率40% 樹脂の流動性を遅くしたもの
- 以上の炭素繊維複合材料を組み合わせ実験した。

結果

① 試作材料Aについて

製品の目のヨレが一番少なく見た目も綺麗だった。ボイドに対しては金型A～金型Fなどでは発生しているが、金型Hではほとんど発生しておらずPLY数及び型からの樹脂の流出量によって決まってしまうと思われる。

② 試作材料Bについて

試作材料Aに比べ同条件での成形でも明らかな目のヨレが発生していた。樹脂量を多くすることでボイドの発生を抑えることができるかもしれないということから実験に臨んだが、ボイド発生量で目を見張る程の差は出ず、成形後の重量も試作材料Aと変わらない重さになってしまい試作材料Aと比較して目のヨレが発生しただけとなってしまった。

その理由としてはプレスしながら樹脂量を搾り出すだけでなく、炭素繊維も同時に流れ出る傾向があると推測されることにある。

③ 試作材料Cについて

試作材料Bと同様に目のヨレが発生し、ボイド量に変化は無かった。(図5－1)



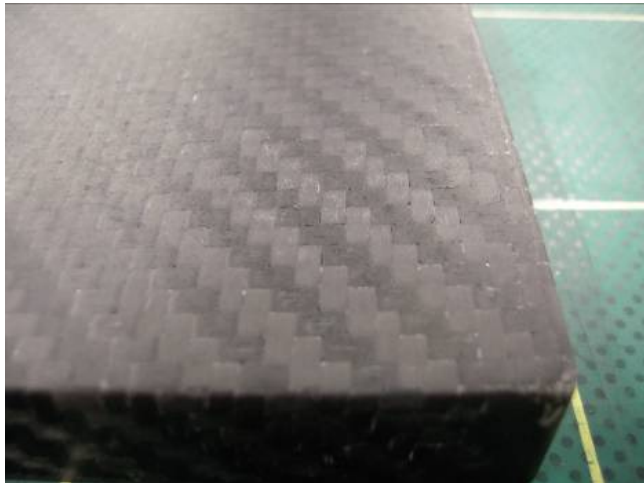
(図5－1)

又、図5－1のように樹脂の色の違いもある。右側は試作材料Cでやや褐色がかった色で樹脂の流出も多い。左側は試作材料Aで樹脂の流出量も少ない。

④ 試作材料Dについて

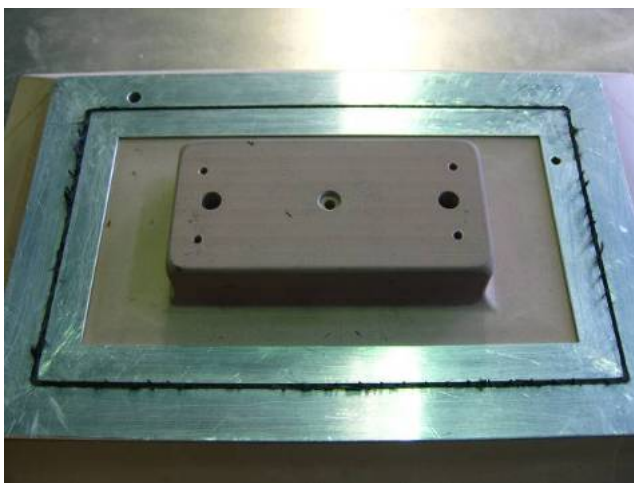
金型Dで3PLY貼るところの意匠面の1PLY目に使用してみたのだが、樹脂が含浸しきらないうちに硬化してしまったようなざらざらな出来栄であった。

3PLY全て試作材料Dというものも成形してみたが効果は見られなかった。また、白化した部分が発生しており繊維間を樹脂が移動する際、硬化剤と混ざりきらず硬化剤のみが残ってしまった結果である。(図5－2)



(図5－2)

プリフォーム時にキレイにナイフカットできず、炭素繊維が残ってしまい、取り除くには一度脱型してから、はさみ等でカットしなければならず浮遊した炭素繊維の混入といった懸念からも選定対象から除外した。(図5－3)



(図5－3)

成形された表面を見てみると繊維のクロスする部分にまったく樹脂が行き届いておらず、連続したボイドとなっている。硬化するタイミングと樹脂の流動が一致していないのではと推測される。(図5－4)



(図5－4)

⑤ 試作材料Eについて

今までの試作材料Aより明らかにボイドの発生量は減っている。しかし、樹脂の流動速度が遅いにもかかわらず白化している部分がある。この材料は急遽作ったため十分なn数を取れるほど用意できず、詳しい原因追究ができないまま終了してしまった。

今後、その原因等の追究を三菱レイヨンに依頼しこの樹脂を発展させれば良い製品ができるであろうと予想される。

全体的に見て樹脂の含有率40%で今回はテストしているが、プレスされることによる樹脂の流動といった点で若干の目のヨレが発生していると思われる。

樹脂の流失ばかりに目を向けがちだが、一緒に炭素繊維の目のヨレも視野に入れなければならない。

例えば35～37.5%の含有率の炭素繊維複合材料で成形した場合どうなるのか。

樹脂が少ないせいで、樹脂自体の流動が少なく目のヨレも低減されると推測され、次回以降での課題とする。

また、プリフォーム時の脱型時も樹脂分が少ないため、必要以上のべた付きも抑えられると思われる。

第6章 本論－5 「プレス成形品及び製品の評価」

6－1 外観の評価

外観として、表面のボイド、繊維の目のヨレ及び表面の白濁について評価を行った。

表面のボイドについて、その発生を低減するためには金型のキャビ型とコア型のクリアランスによる樹脂の流失を防ぐこと、シアーエッジまでの充填割合が大きく影響することが判明した。

繊維の目のヨレ発生を防ぐには、樹脂含有率と成形圧力について、適正なバランスを取ることが効果があると判明した。

また、表面の白濁発生を抑えるためには、樹脂の流動を抑え圧力を上げすぎずに成形することが有効であることが判明した。

この結果、金型形状について穴形状ありに関してはキャビ下の成形型で、樹脂含有率については現時点では40%のものが望ましく、今後の課題として40%未満のものをテスト、圧力については型の面圧の適正な数値を探ることが望ましい。

6－2 成形性の評価

成形性の評価として、主にプレス成形における変形及び離型性について行った。

変形の発生を抑えるために、金型形状、樹脂含有率、炭素繊維基材、成形条件及び離型剤の種類等について検討した。その結果、変形を抑えるには金型形状、樹脂含有率、炭素繊維基材及び成形条件それぞれについて、少なからず影響はあるが、離型剤の影響が一番大きいことが確認できた。

この離型剤については、数種類の離型剤を使用して比較検討した結果、離型性が良く、製品の変形に悪影響を及ぼさないものが見つかり、今後のプレス成形に使用する目処がついた。

6－3 物性値の評価

オートクレーブ成形及びプレス成形にて作成したテストピースで引張試験及び曲げ試験を行い、それぞれの試験結果より、成形方法違いによる有意差判定を行った。

6－3－1 引張強さ (MPa)

	AC加工材料		プレス成形材料	
	0°	90°	0°	90°
n = 1	631	601	763	585
n = 2	725	615	701	731
n = 3	540	637	757	643
n = 4	662	632	744	736
n = 5	688	663	612	676
平均	649.2	629.6	715.4	674.2

引張強さについては、上表のように目の方向 0° 、 90° ともにプレス成形品材料の方が、オートクレーブ加工材料を上回っている。

6-3-2 曲げ強さ (MPa)

	AC加工材料		プレス成形材料	
	0°	90°	0°	90°
n = 1	909	804	820	907
n = 2	908	847	883	844
n = 3	884	830	847	932
n = 4	837	852	790	875
n = 5	845	864	895	944
平均	876.6	839.4	847.0	900.4

曲げ強さについて、上表のように目の方向 0° ではオートクレーブ加工材料が上回っており、目の方向 90° ではプレス成形品材料の方が上回っているが、両者の差はわずかであり有意差判定においても差が見られなかった。

6-3-3 曲げ弾性率 (MPa)

	AC加工材料		プレス成形材料	
	0°	90°	0°	90°
n = 1	52,900	50,700	55,200	54,800
n = 2	51,700	51,000	54,200	54,400
n = 3	51,800	51,500	56,400	54,500
n = 4	51,600	51,600	55,200	54,200
n = 5	51,700	50,600	55,300	54,300
平均	51,940	51,080	55,300	54,440

曲げ弾性率については、上表のように目の方向 0° 、 90° ともにプレス成形品材料の方が、オートクレーブ加工材料を上回っている。

以上より、本研究開発であるプレス成形品の物性値は、現行のオートクレーブ加工品と同等又は上回っているといえる。

第7章 「全体総括」

株式会社チャレンヂは、平成21年度補正予算、研究開発にて炭素繊維複合材料を用いた軽量化部材製造に適した高速複合材プレス成形技術の開発を進めてきた。

従来の成形方法オートクレーブ工法ではコストや量産性に関し課題が多く、お客様からのニーズに答えるため、新工法に取り組んだ。この工法が高速複合材プレス成形技術である。オートクレーブ成形では、成形時間に約4時間必要だったが、高速複合材プレス成形技術では成形時間を短時間し成形できることを目標にして研究を進めてきた。プレス成形の条件と合った材料を、三菱レイヨンに製作を依頼し、現在では約5分という短時間で成形可能になった。

炭素繊維複合材といっても、今回開発に使用した材料は、一方向性及び短繊維でもない、3Kクロス材の炭素繊維を使用し研究を行った。

従来、炭素繊維を使用した部品でプレス成形が出来たものは平板や、形状があってもとても単純な形状の製品しか製作できず、後工程で穴加工やトリム加工して製品としていた。複雑な形状になると炭素繊維の破断や目のヨレで製品完成度が低いものも多く、表面の意匠性も重視できないため、塗装などで目のヨレを隠し一部のみ炭素繊維を見せる等、課題が多かった。

本研究開発では、どのような形状であれば美しく良品でオートクレーブ成形と性能が変わらない製品が低コストで供給出来るかを考え、研究開発を進めてきた。

高級車やスポーツカーにしか採用が出来ないのは、製造コストや量産性が大きな原因である。

高速複合材プレス成形は5分でできるが、後加工で時間が多くかかるのでは、意味がなく、成形と同時に穴形状や、トリム形状が出来ないと製造コストを下げることは困難だ。

クロス目を乱さず穴形状や、トリム形状が同時に成形できることを目的に、研究開発に取り組んだ。最初の金型で研究者達が作成した試作品は、目のヨレや穴形状に繊維が入っていない不良品が多かったが、金型形状を検討し材料の特徴や不良の原因を調査し、現在では当初の問題点がほぼ改善できた。このプレス成形品をオートクレーブ成形品と比較しコストを50%程度低減できれば、多くの自動車部品等にも採用されることが予想され、部品の軽量化によりCO2削減等、地球温暖化防止に貢献できる。

本研究開発の目標であったオートクレーブ成形と変わらない製品が成形サイクル10分以下の目標値が達成でき、価格に対しても目標値の50%コストダウンに対し45%まで現在達成できた。



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。