

平成 27 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「長繊維ペレットによる高強度射出成形を可能とする
金型の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 3 月

担当局	中部経済産業局
補助事業者	伊勢金型工業株式会社 国立大学法人岐阜大学

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1－2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1－3	成果概要	7
1－4	当該研究開発の連絡窓口	8

第 2 章 本論

1	金型内樹脂充填機構の確立	
1－1	金型内の吸引装置の開発	9
1－2	樹脂逆流防止機構の開発	11
2	樹脂流動性の最適化	
2－1	ウェルドラインの固化防止策について	14
2－2	最適ゲート形状の開発	22
3	実証用金型の加工技術の確立	25
4	複合成形品の評価	
4－1	成形用金型の評価	25
4－2	成形品の評価	25

最終章 全体総括

1	研究開発の成果	33
2	研究開発後の課題	34
3	事業化展開について	35

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

高度化指針において定める、川下製造事業者等が抱える共通の課題及びニーズ

(三) 精密加工に係る技術

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項 4) その他の川下分野に関する事項

a. 自動車分野に関する事項

① 川下製造業者の特有の課題及びニーズ

ア. 衝突時の安全性の向上 ウ. 軽量化 エ. 燃費向上

研究開発の背景と方向性

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、航空機の主要構造に使われるほど強度に優れ、軽量化効果も高い材料であり、自動車関連部品としての幅広い採用が期待される素材である。しかし、自動車関連部品へ炭素繊維強化プラスチックを適用するためには、材料設計、構造設計手法の確立や、材料信頼性（長期耐久性やばらつき低減など）の更なる向上、表面品位や内部欠陥（ボイド）の改善、成形のハイサイクル化等の課題があり、実用化への検討が緒に就いたところである。

また、自動車部品として適用していくためには、量産性の確保が不可欠であり、力学強度を保持したまま生産性が高い成形法の開発が必要である。

このような中で、熱可塑性樹脂を母材にする CFRTTP（Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics）では、熱可塑性の生産性を維持したままいかに強度を上げていくかが技術検討課題となっていることから、本研究開発では、炭素繊維複合材の射出成形用の金型を開発するものである。

炭素繊維複合材の射出成形に関しては、「繊維長が長くなると強度は高くなるが、強度を上げるためには、繊維の分散性及び樹脂との密着性が重要となり、混練性を上げることが必要となるが、混練を上げると繊維の分散性は上がるものの繊維は切断されてしまう。」という課題がある。

以上から、CFRTP 射出成形の課題としては、繊維長を維持したままいかに分散性を上げるかが重要となることから、炭素繊維の射出成形における強度維持の方法として、「長繊維ペレットの射出成形による高強度化」により対応するものである。

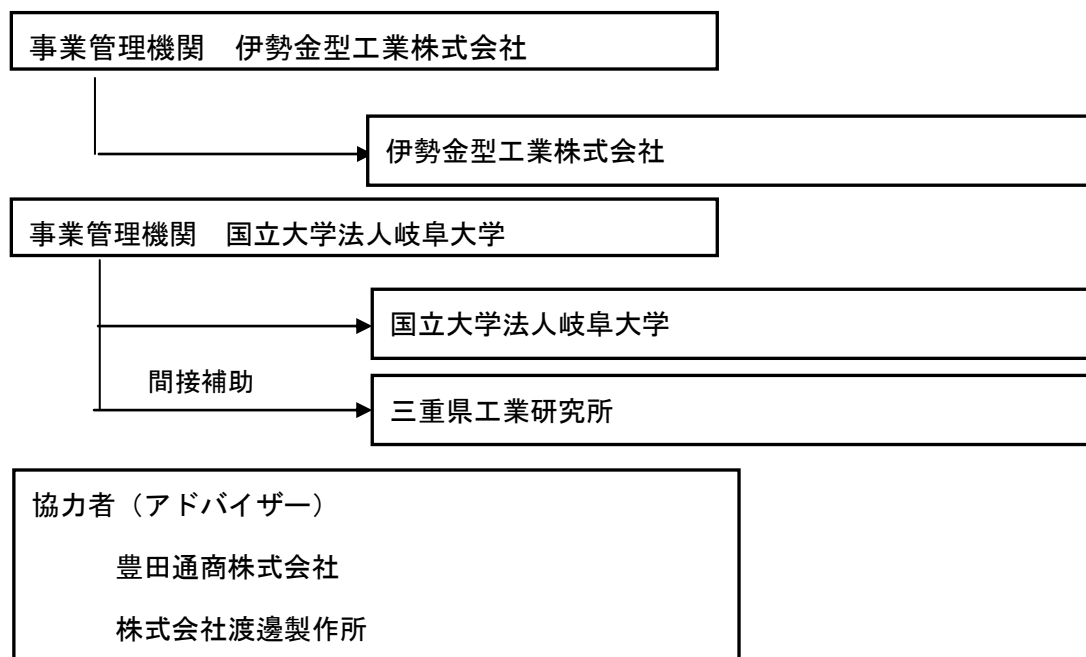
研究目標

本研究の目標は、複合素材である熱可塑性炭素繊維材料を射出成形で成形することで、生産効率、品質を落とす事なく、従来のガラス繊維強化樹脂よりも強度UPを図る事を目的としており、各研究テーマ毎に目標値を設定して研究開発を実施する。

1 金型内樹脂充填機構の確立
1-1 金型内の吸引装置の開発
低圧のスクリーであっても吸引装置の機構により従来と同等の射出成形時間で成形を行う。 本研究で使用する 120 t 成型機で 30 秒以内の成形サイクルを目標とする。
1-2 樹脂逆流防止機構の開発
金型での加圧機構と樹脂逆流防止機構により、ヒケやソリと言った成形不良の発生を防ぐ。 同条件の連続成形 30 個で成形不良 0 を目標とする。
2 樹脂流動性の最適化
2-1 ウェルドラインの固化防止策について
ウェルド部での固化防止構造により、ウェルド部での破損発生を防ぐ。 同条件の連続成形 30 個でウェルドラインの発生 0 を目標とする。
2-2 最適ゲート形状の開発
最適なゲート形状を研究することで、充填後の繊維長を 1mm 製品強度の目標値として以下とする 引張強さ 200MPa 、曲げ強さ 200MPa 、シャルピー衝撃 15Kj/m2 ※この設定値はウェルドラインを含む形状での値となる。ダンベルのようなウェルドを含まない試験の場合はもう少し値が上がるが、本研究では、実用化を目標としており、実際の製品でウェルドラインの無い製品はほぼ無いため、この値を目標値とする。
3 実証用金型の加工技術の確立
焼き付け防止用に脱気構造やシールを行うための密着性が求められることから、金型部品精度を 25 μm の達成を目標とする。
4 複合成形品の品質目標
クラッチペダルをターゲットとして事業化をすることから、クラッチペダルに必要とされる物性値を目標とする。(PA6 の場合、引張強度 85 MPa)

1－2 研究体制

研究実施体制



研究員

【事業管理機関】

扶桑工機株式会社

管理員

氏 名	所属・役職	備考
中川 務	取締役・製造部長	
江口 公一	製造管理	
菊田 雄介	製造管理	

研究員

氏 名	所属・役職	備考
中川 務	取締役製造部長	
白井 哲司	営業技術課長	
浜崎 喜一	設計係長	
川西 銀之助	製造課長	

【事業管理機関】

国立大学法人岐阜大学

管理員

氏 名	所属・役職	備考
砂田 博	次世代金型技術研究センター コーディネーター	

研究員

氏 名	所属・役職	備考
井上 吉弘	工学部准教授	

【間接補助事業者】

三重県工業研究所

氏 名	所属・役職	備考
森澤 諭	ものづくり研究課 主任研究員	
赤田 英里	ものづくり研究課 研究員	
藪谷 祐希	ものづくり研究課 研究員	

1-3 成果概要

(1) 金型内樹脂充填機構の確立

低射出圧力による充填不良（ショートショット）やウェルドの成形不良が発生防止のために、金型内において、樹脂充填の抵抗となる空気の吸引装置及び型充填後に金型側で油圧により圧力をかける機構の設計を行い、それを実用金型の設計に反映した。

(2) 樹脂流動性の最適化

樹脂が分岐し再度交わるウェルド部においては、樹脂温度が低くなり樹脂の結合が困難となることから、この部分の固化防止策を検討するために、流動解析を行うとともに、金型のゲート部は細くなっており圧力が集中するために、圧力集中を防ぐゲート形状の設計を行った。

(3) 実証用金型の加工技術の確立

型内充填機構やウェルドラインにおける固化を防止するヒート装置等の機構の設計を反映する実用金型の設計・製作を行った。

(4) 複合成形品の評価

金型構造について、圧力や温度の値を測定する箇所を決定するとともに、成形品を評価するために、製品形状を想定した試験片から供試体を作製し、各種試験を行うとともに、製品中の繊維長評価についても、繊維の取り出し方法などを検討し、決定した。

以上研究開発における目標値達成状況は以下の通りである。

区 分		目 標 値	達 成 状 況		備 考
射出成形時間		30個連続成形で 30秒以内	30個連続成形で 17秒		
ヒケ・ソリ等の不良発生		30個連続成形で 0	30個連続成形で 0		
ウェルドライン発生		30個連続成形で 0	30個連続成形で ウェルドラインあり		
充填後 繊維長 1mm	引張り強さ	200MPa	充填後 繊維長 最大 1mm未滿	162MPa	
	曲げ強さ	200MPa		276MPa	
	シャルピー衝撃	15kJ/m ²		70kJ/m ²	
金型部品精度		25μm	10μm		
物性値		PA6で引張強度 85MPa	162MPa (ウェルド部最大)		

1－4 当該研究開発の連絡窓口

伊勢金型工業株式会社 営業技術課長 白井 哲司

電話 0 5 9 6－3 7－1 9 3 3

F A X 0 5 9 6－3 7－2 5 8 4

E-mail tetsuji_shirai@imi-wwg.com

国立大学法人岐阜大学 次世代金型技術研究センター

コーディネーター 砂田 博

電話 0 5 8－2 9 3－2 4 9 7

F A X 0 5 8－2 9 3－2 4 9 6

E-mail sunada@gifu-u.ac.jp

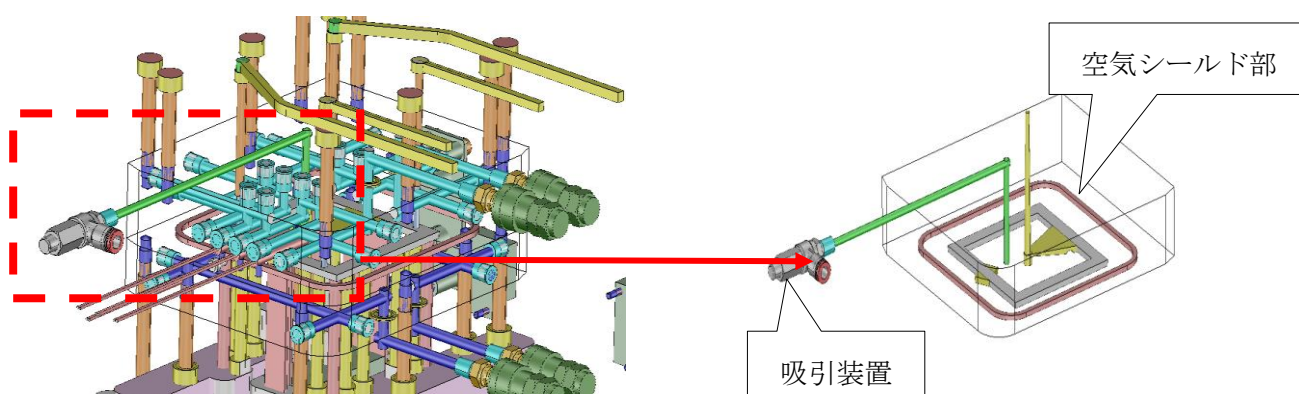
第2章 本論

1 金型内樹脂充填機構の確立

1-1 金型内の吸引装置の開発 実施機関 伊勢金型工業株式会社

金型内に樹脂が流れる前に、空気を吸引することにより空気の圧縮抵抗を防ぎ、低圧でも樹脂が流れるようにするとともに、吸引は入れ子による0.02mmの溝から吸引装置を使い樹脂射出直前に行う必要がある。また、エアもれを防ぐためは、製品の周りのPL（パーティングライン）に溝をつくりゴムシールを行い、樹脂が流れない隙間0.02mmの溝を作り、その先に吸引穴をあける構造とする。そして、吸引穴から金型が閉まった信号を成型機から出し吸引装置を可稼働させ、樹脂が流れる前に抵抗となる空気を抜く機構とするとともに、製品を囲むように溝を作成しOリングを挿入しOリング内の空気を逃がさない構造として、吸引装置を製作して、成形での実証を行った。

型内の圧縮空気排気機構

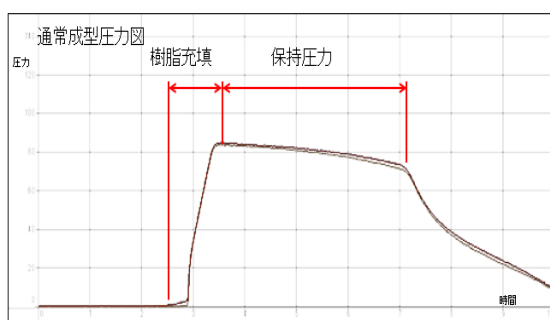
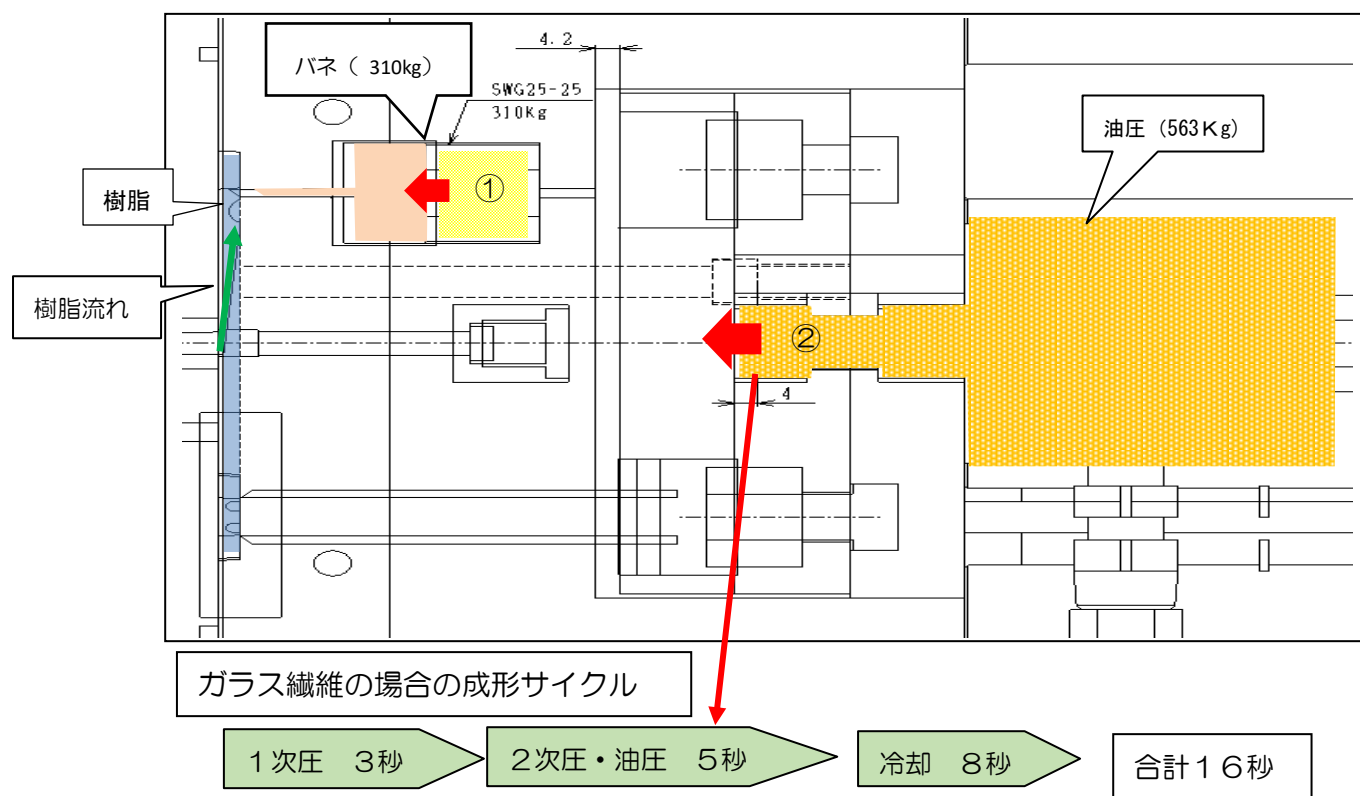


その結果、低圧スクリュウでも成形充填を達成するために、吸引装置と樹脂逆流防止機構の検証を行った結果、目標とする射出成形時間 1サイクル30秒以内（現状と同じ成形時間）を達成することができた。

充填機構について

- ① 樹脂充填圧力によりバネが圧縮されるが、充填された樹脂の逆流を防ぐ
- ② 樹脂充填が完了した後油圧によって圧力をあげ樹脂収縮によるヒケの不具合を防ぐ

開発した樹脂充てん機構の概要は次のとおりである。



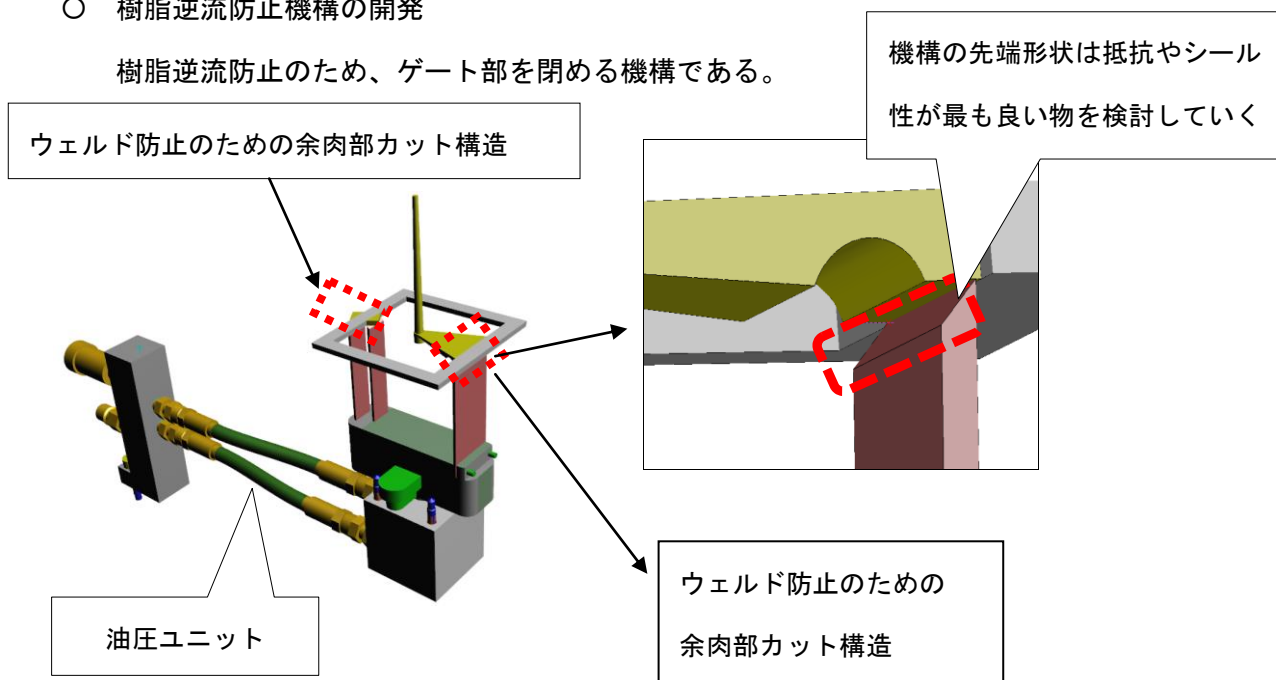
充填機構であるが、ガラス繊維強化樹脂により実施した結果では、油圧機構の稼働を含めて20秒以内での成形が可能であるとともに、油圧構造により「ヒケ」の抑制と吸引によるウェルド状態の改善が確認できたので、この結果をもとに、炭素繊維で実施した結果17秒で成形を行うことができた。

1-2 樹脂逆流防止機構の開発 実施機関 伊勢金型工業株式会社

金型内で圧力を加え、かつ金型内で圧力を加えた場合に逆流しない構造とする必要があるために、金型に樹脂が充填完了後、逆流防止構造部が油圧により押し上げられゲート、余肉部をカットするとともに、樹脂が冷え収縮が始まる直前に製品にピンを挿入し内圧を与えることでヒケ、ソリの発生を防止する機構とする設計を行った。

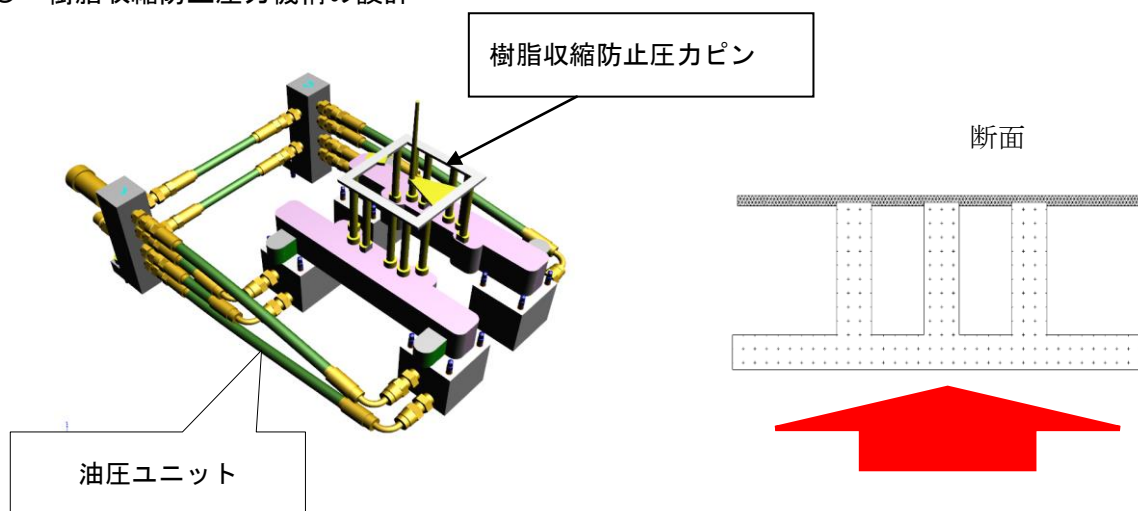
○ 樹脂逆流防止機構の開発

樹脂逆流防止のため、ゲート部を閉める機構である。



逆流防止用ゲート閉め機構とウェルド防止のための余肉部カット構造を稼働させる油圧ユニットは同時に稼働させる計画である。

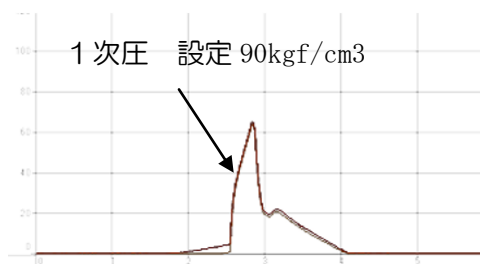
○ 樹脂収縮防止圧力機構の設計



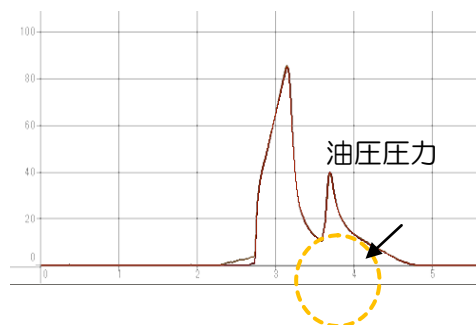
○ CFPテスト型による圧力波形計測の実施結果

標準のスクリーンの保持圧力を0にした金型構造での圧力のかかり方を計測し検証を行った。

標準スクリーンで保持圧0



油圧補完



検証結果

保持圧が0となったあと、金型内での圧力が油圧機構により増加している。

しかしゲートなどからまだ圧力抜けていることがわかるが、製品の外観評価はヒケが明らかに改善されており、効果が見られることから、低压スクリーンを補完する機構としては効果があることが判った。



○ ヒケにかかる評価【製品比較】

保持圧0の成形品と油圧補完の成形品での比較を行った結果、外観上の変化が顕著にみられた。ヒケ度合としては“油圧補完する構造”による圧力が内部にかかり、製品の表面に“張り”を持たせることが分かった。

保持圧0 成形品



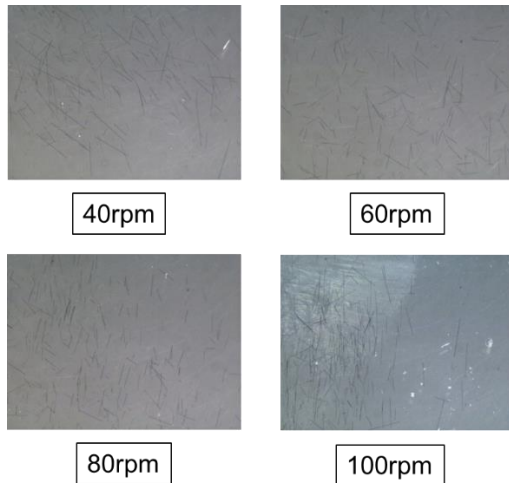
油圧補完成形品



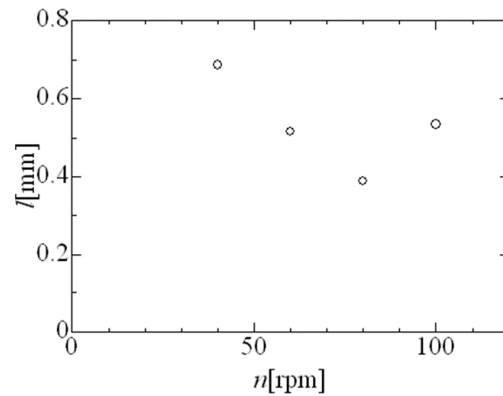
○ 長繊維ペレットの射出状況にかかる検討

繊維の折損状況について、ポリプロピレン樹脂を母材として混錬押出機により混錬後、押し出された溶融樹脂をプレス成形し、引張強度試験用のテストピースにより評価した。評価は、炭素繊維重量比率ならびにスクリー回転数を変化させ、繊維長分布および引張強度である。

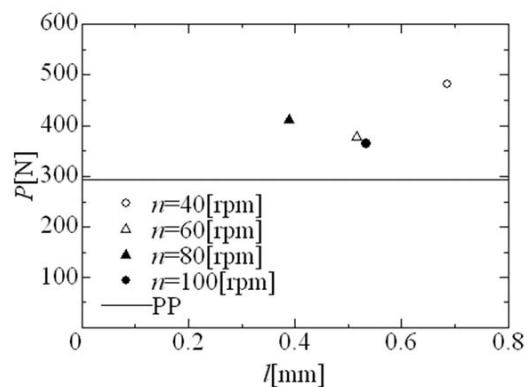
評価結果では、製品内繊維長 1 mm に対して、混錬押出工程のみでこの目標値以下の繊維長であったが、理由として、スクリー形状並びにスクリー先端で射出時の逆流を防止する部品形状にあると思われる。



上図 焼成後の顕微鏡観察



上図 繊維長の変化



上図 繊維長に対する引張強度の変化

2 樹脂流動性の最適化

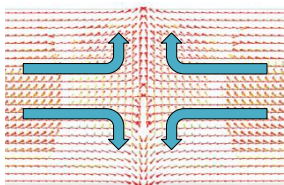
2-1 ウェルドラインの固化防止策について 実施機関 伊勢金型工業㈱、岐阜大学

樹脂の流れに対する流動解析により、樹脂温度が低下する部分の分析を行い、低下する部分を加熱する計画である。

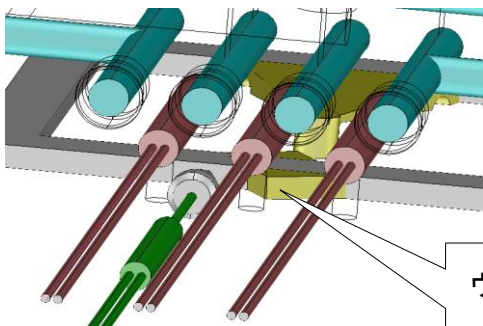
そして、加熱装置はキャビ側に配置し、加熱方法としてIHは、瞬間的に加熱することから成形時間を短縮することができ非常に有効であるが、加熱する形状によりIHコイルが作成出来ない場合があるため、形状によってはカートリッジヒーターの選択も視野に置いて検討した。

一方、加熱温度が高くなると冷却に時間がかかることから、加熱構造部と冷却構図を合わせた設計にするとともに、逃がし構造により、樹脂の流れを逃がしながら繊維が正面でぶつかることを回避することで樹脂流動方向をずらし、繊維の配向をランダムにして、繊維を絡ませる構造で対応することとした。逃がし構造は「逆流防止&余肉部カット構造部」で自動的にカットされる内容にする。

- ウェルド部での固化防止構造の設計を行った。

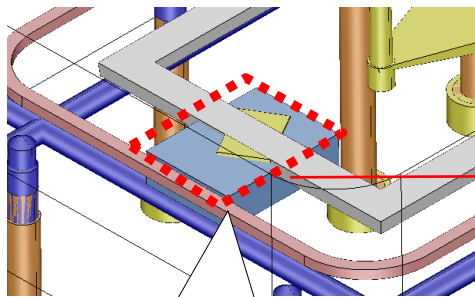


ウェルド部では樹脂が溶けていない状態でぶつかり接合が悪い。

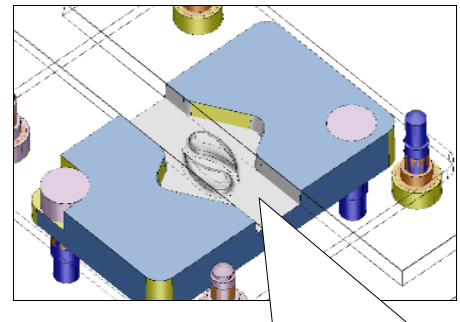


ウェルド部への加熱
による流動性確保





炭素繊維が絡みあう機構を
検討するための入れ子構造

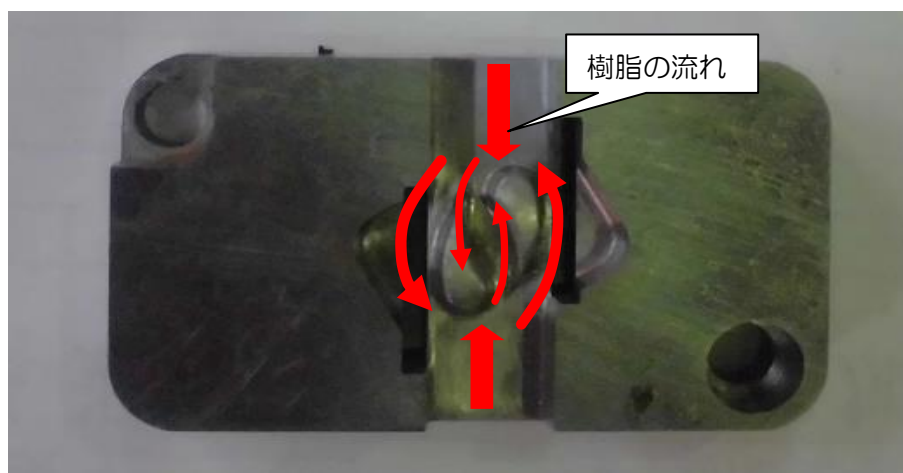


炭素繊維が最も効果的に絡みあう形状の
解析を行う。

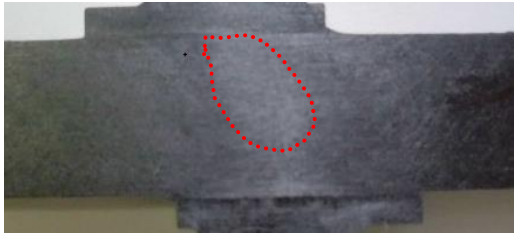
○ ウェルド部の密着状況の検証（流動性について）

射出成形での樹脂部品の強度が最も低下する部分がウェルド部であり、ウェルド部での樹脂の密着不良が原因となる。そのため金型に特殊な入子を組み込む方法で樹脂流れを変更し密着不良を抑える実験を行い、外観検査と強度検査によりその効果を検証した。

実験材料：ガラス繊維強化樹脂（PBT（PMC445 GF30%東洋紡）



ウェルド部での樹脂の流れを変えるための入れ子部品

サンプル	入子形状	ウェルド部
1	コントロール（工夫なし）、通常圧 	 ガラス繊維にムラが見られ、表面が均一でない。
2	入れ子構造（勾玉形状2つ・片面）、通常圧 	 Sample1 よりも薄い が若干ムラが見える。
3	入れ子構造（くさび型大1つ・両面）、通常圧 	 Sample1 よりもよい が一部ムラが見られる。
4	入れ子構造（くさび型小3つ・片面）、通常圧 	 ガラス繊維にムラがほとんど見られない。
5	入れ子構造（くさび型小3つ・両面）、低圧 	 ウェルド部に筋のよう なへこみが見られる。

検証した結果、ウェルドに効果のある形状はサンプル4の「くさび型小3つ・片面」が最適であることが判明した。またサンプル4の形状で、油圧機構を使わない低圧成形の場合、ウェルドが発生することから、油圧機構と流動対策入れ子の相乗効果があることが理解された。

○ ウェルド部密着性向上にかかる実証実験状況

ウェルド部の密着性に関して、入れ子構造を以下の5タイプ・条件で成形テストを行い外観を検査した。

Sample1 コントロール（工夫なし）・通常圧

Sample2 入れ子構造（勾玉形状2つ・片面）・通常圧

Sample3 入れ子構造（くさび型大1つ・両面）・通常圧

Sample4 入れ子構造（くさび型小3つ・片面）・通常圧

Sample5 入れ子構造（くさび型小3つ・片面）・低圧

実験材料：ガラス繊維強化樹脂（PBT（PMC445 GF30%東洋紡）

その結果、Sample4の外観の状況は以下の通りであった。



入子形状



ガラス繊維のムラがほとんど見られない。

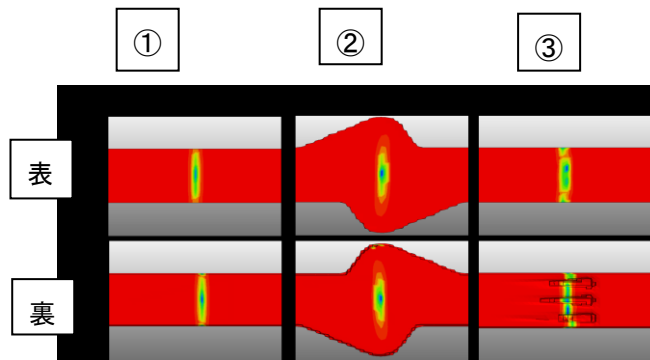
検証結果

実証の結果から、ウェルドに効果のある形状は Sample4 の「くさび型小3つ・片面」が最適であった。また Sample4 の形状で、油圧機構を使わない低圧成形の場合、ウェルドが発生することから、油圧機構と流動対策入れ子の相乗効果があることが判った。

○ ウェルド部にかかるシュミュレーションソフト解析とX線CT結果との評価

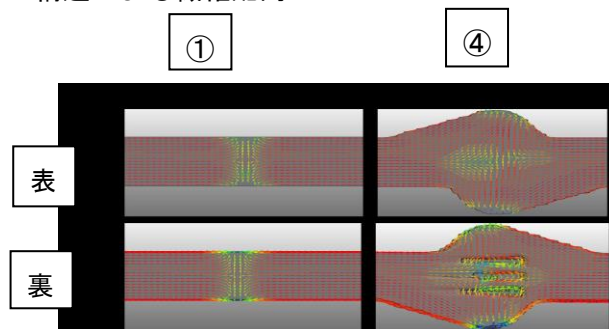
ウェルドラインに対する影響として樹脂合流部の会合角の影響があることから、入れ子形状により樹脂合流部がどのように影響を受けるかに関して、Sample を活用して、シュミュレーションにより分析するとともに、実際の成形品をX線CTで計測し評価した。

構造による樹脂界面会合角の違い



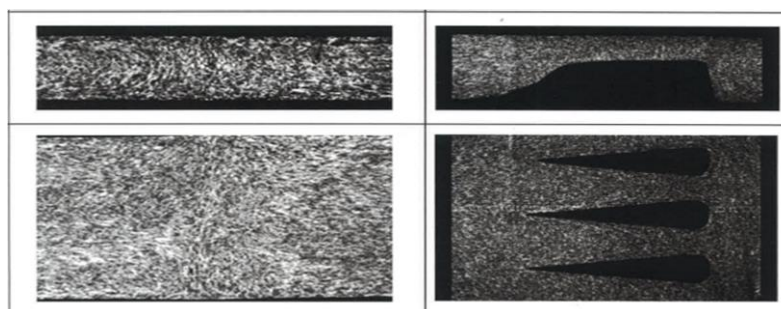
①と比べて、樹脂の会合部が、
②では、巾広くなっている。
③では、流動方向に対して直角方向が
短くなっている

構造による繊維配向



ウェルドが発生する箇所にふくらみをもたせ、巾を広げたり、窪みを作り流路を制限することにより、流れが乱され、ウェルド部が緩和される可能性が示唆された。

X線CT結果



シミュレーションソフトによる解析及びX線CTによる分析結果でも、未対策品に比べ樹脂結合部の繊維が分散されていることが理解された。

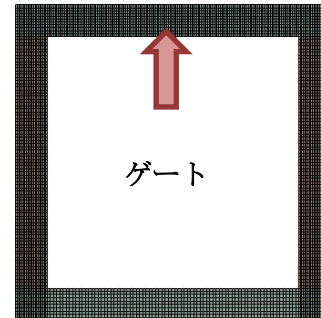
○ 樹脂流動性の最適化に係る数値解析

数値解析の必要性

繊維の配向及び密度の最適化

脱型後の反り・ヒケの予測

繊維強化樹脂の数値解析



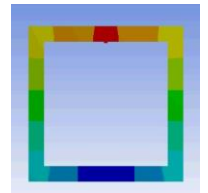
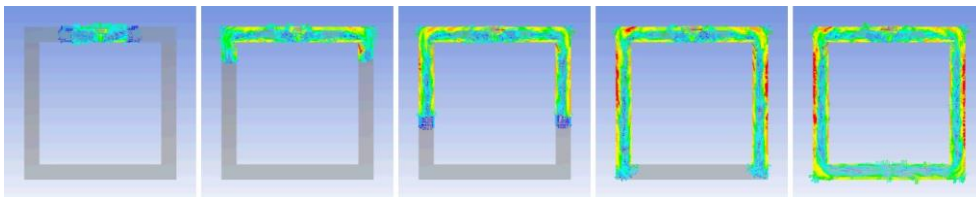
短繊維 → 細長比の小さい繊維, 速度・応力場からモデル計算

長繊維 → 細長比の大きい繊維, 曲がりや折れの表現に問題

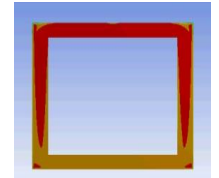
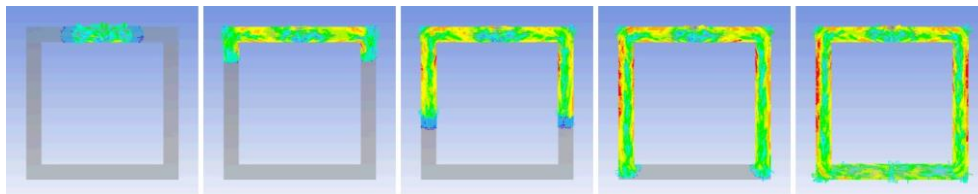
連続繊維 → マトリックス樹脂の含浸性繊維強化樹脂の数値解析

数値解析状況 (GPPS 200°C 充填時間 2 sec)

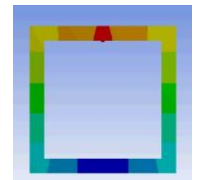
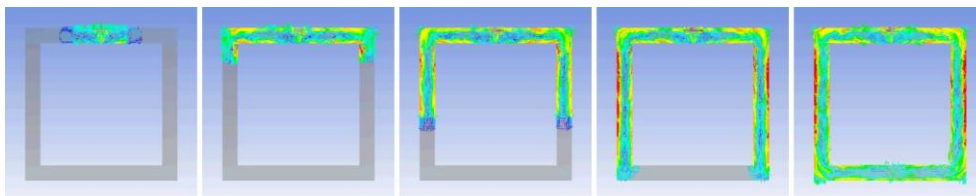
圧力 $T_m = 50^\circ\text{C}$ 、 $y = 0 \text{ mm}$



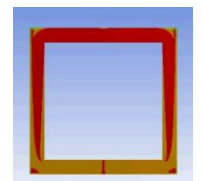
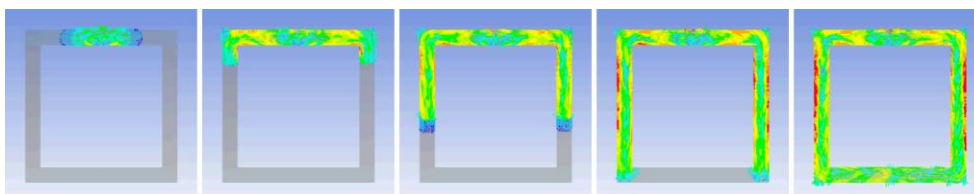
温度 $T_m = 50^\circ\text{C}$ 、 $y = 1 \text{ mm}$



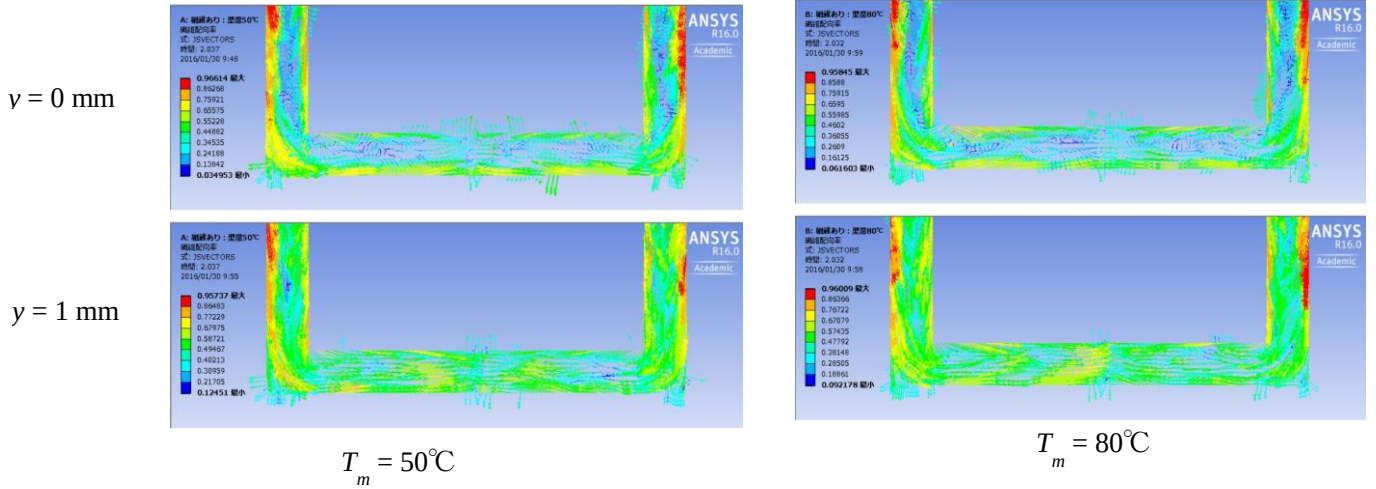
圧力 $T_m = 80^\circ\text{C}$ 、 $y = 0 \text{ mm}$



温度 $T_m = 80^\circ\text{C}$ 、 $y = 1 \text{ mm}$



数値解析状況：繊維配向（GPPS 200℃ 充填時間 2 sec）



○ ウェルドラインの固化防止策について

ウェルド強度を調べることを目的に、クラッチペダル成形品を想定した金型設計による金型で検証した。（金型図面下記図）

図中の緑丸がスプルーであり、青丸はランナーチェンジャーである。この切り替えによりインサート成形品とそうでない成形品、樹脂の充填を両方向から行う場合と片方向から行う場合が可能となる。後者の樹脂充填方向は、ウェルド形成位置の変更にも用いる。さらに、インサート成形時（金型図面の下側キャビティ）において、金属製円環をインサートしていなくても成形を行うことができる構造とした。

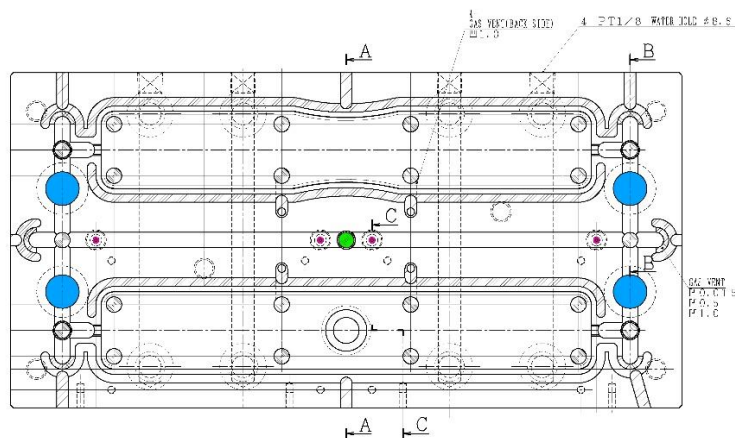


図 ヒンジインサート成形用金型

検証に際しては、ポリプロピレンを用いたが、成形品の写真は下記のとおりである。

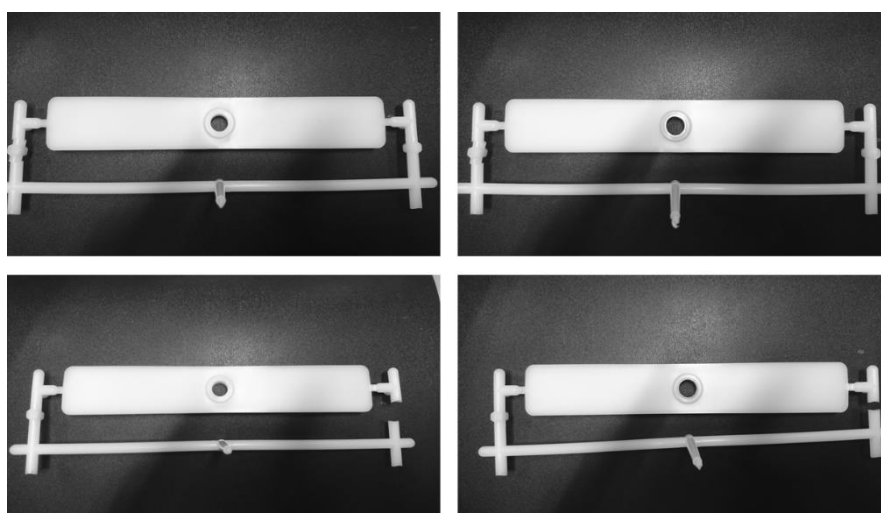
金型図面中の赤丸に樹脂圧センサーを設置して、樹脂圧力の測定結果を行った。

2本のセンサーは同一ランナーの流動方向に設置したが、樹脂圧力の時間勾配がセンサー1とセンサー2で異なり、さらに、 $t = 2 \text{ s}$ の辺りで何れのセンサーも時間勾配が緩やかになっている。

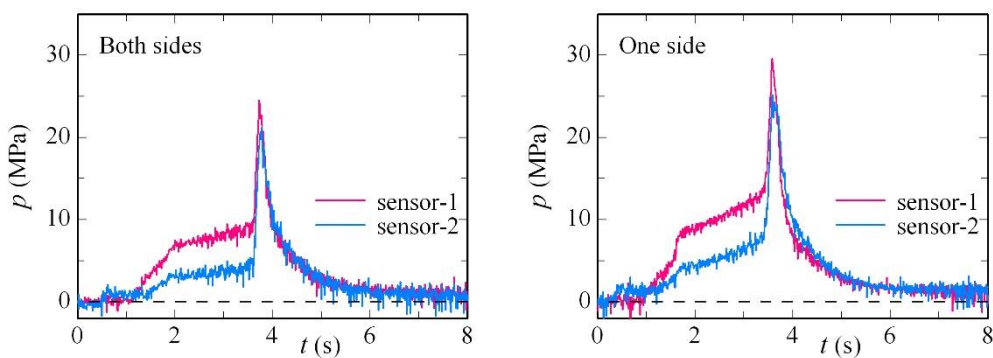
圧力の時間勾配の大きさは、樹脂の流量が一定あると仮定すれば、樹脂の粘度と金型内における樹脂の流動抵抗の大きさに対応することとなる。

その結果、樹脂粘度は繊維長と繊維量に依存して変化することから、樹脂圧力が成形状態の監視量として重要であることが判った。

図 ヒンジインサート成形用金型



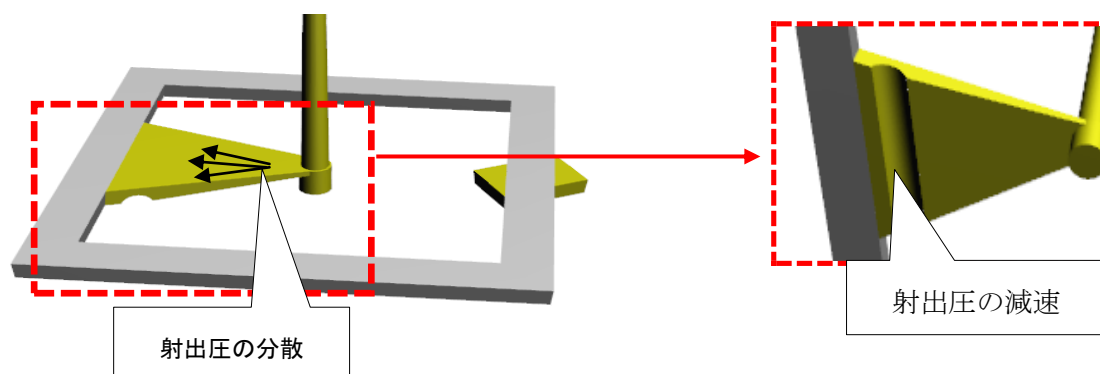
成形品写真（上；両方向，下；片方向，左；インサートなし，右；インサートあり）



上図 樹脂圧力測定結果（左；両方向，右；片方向）

2-2 最適ゲート形状の開発 伊勢金型工業株式会社、岐阜大学

圧力が集中せず、成形不良が起こらないゲート形状の開発を行うが、そのためには、圧力の分散や流れの勢いを抑える形状が必要となる。また、圧力や勢いを抑えすぎると充填不良の原因にもなることから、最適な形状の検証を実施した。

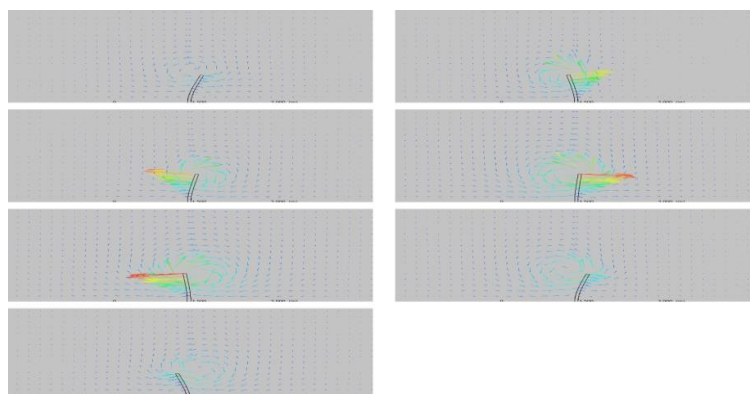


○ 流体－固体の連成解析

金型の構成要素としてのゲートは、最もストレスフルな要素であり、通常は通路断面積が最も狭く樹脂速度が最も速いことから、樹脂に混練された繊維の挙動は、樹脂流動のせん断変形速度の影響下であり、せん断変形速度は、通路断面の形状や寸法、樹脂の温度と速度によって決定される。

以上の観点から、ゲートの役割を充たしつつも、繊維の折損の少ないゲート形状に関して、流体－固体の連成解析を実施した。その結果の一例は下記のとおりである。

一端固定の薄板に初期曲げ変位を与え、薄板のたわみ振動とそれによって誘起される流体の流れの解析状況である。



流体－固体の連成解析の一例

○ 最適ゲート形状の開発

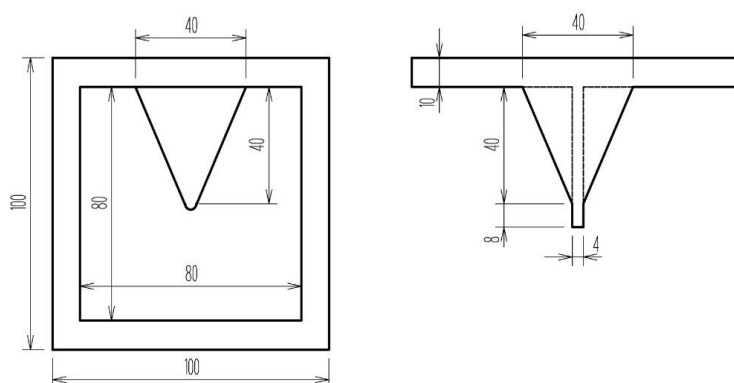
ゲート形状の最適化については流動解析により、ゲート部の樹脂流動パターンを最初に調べ、その流れに繊維をのせた際に生じる問題を検討した。

具体的には、下図に示すように、ゲート形状はファン状であることから、図示のようにゲートに沿う方向から幅 4 mm で樹脂を流入させ、その開き角と繊維に作用する曲げ応力の関係を評価した。なお、開き角としては、流入部の幅 4 mm のまま直線でゲートを設けた場合から、16 mm, 28 mm, 40 mm と順次ゲートの幅を拡げて変更したが、その状況にかかる樹脂の流動パターンを図に示す。

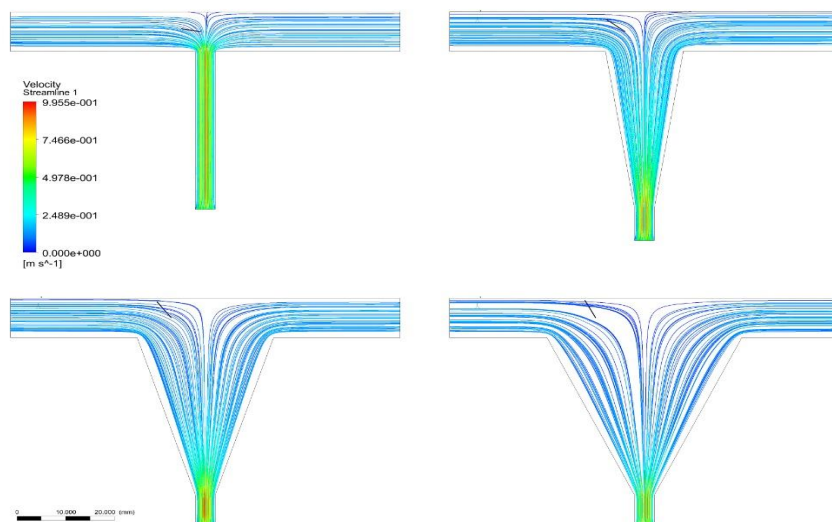
ゲート幅が広くなるにつれ、流線の曲率は小さくなる一方、ゲートの対壁面近くの流線密度は低くなり、すなわち流量が減少していることが判る。

ゲート対壁上のよどみ点からゲート角部に至る中央に繊維を固定し、片方向連成計算を行った結果を図に示すが、繊維の右端が固定端であり、樹脂流動の影響によって繊維表面上にはせん断応力と圧力が作用し、その結果として繊維は変形している。

この結果から、原理的には繊維の折損現象を推定することが可能である。

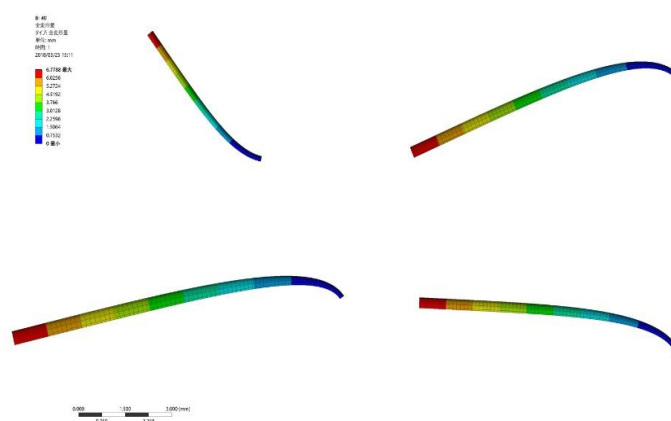


上図 左；伊勢金型工業における成形品形状，右；数値解析モデル



上図 ゲート部における流動パターン

(左上 ; 4 mm, 右上 ; 16 mm, 左下 ; 28 mm, 右下 ; 40 mm)



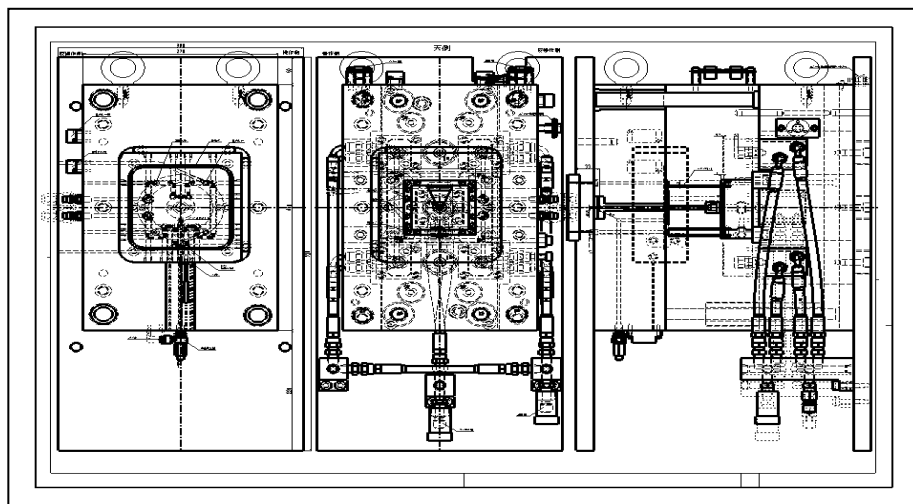
上図 ゲート部対角上に固定した繊維の変形

(左上 ; 4 mm, 右上 ; 16 mm, 左下 ; 28 mm, 右下 ; 40 mm)

3 実証用金型の加工技術の確立 実施機関 伊勢金型工業㈱

型内充填機構やウェルドラインにおける固化を防止する機構を有する実用金型の設計・製作を行い、成形機による実証実験を通じて、各種データを収集しながら、金型の加工技術の確立を行った。

実証用金型設計図



4 複合成形品の評価

平成28年度においては、ガラス繊維強化樹脂を材料として、製作した実証用成形金型での評価を実施したが、平成29年度においては炭素繊維を含有する樹脂を材料として成形を行い成形品の評価を行った。

4-1 成形用金型の評価 実施機関 伊勢金型工業㈱、岐阜大学、三重県工業研究所

4-2 成形品の評価 実施機関 伊勢金型工業㈱、岐阜大学、三重県工業研究所

成形用金型の評価を実施して、その結果を機構の確立にフィードバックした。

【使用材料】 プラストロン40%+東レ CM1016

【炭素繊維割合】 プラストロンと同様量を成型前に混ぜ合わせ20%とした

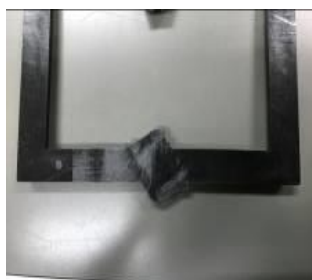
【成型条件】 射出成形機 NISSEI 120t

スクリー径：45mm、 射出容量：254 cm³、

出圧力 1770Kg/cm² 、 射出率：185/sec、

射出ストローク：160mm

・ 内圧縮無の成形品



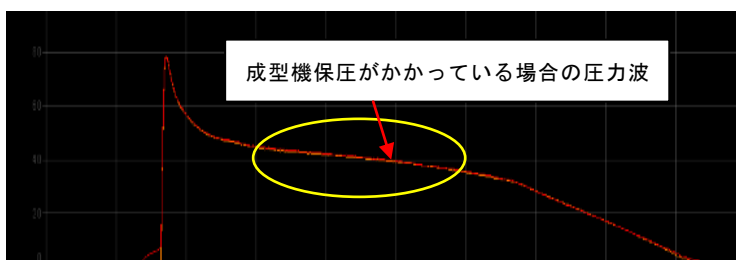
・ 内圧縮有の成形品



外観評価での変形量は写真のとおり さほど大きな差が生じていないが、「圧縮あり」の方が良い。

○ 成形品の波形状況

CFRP

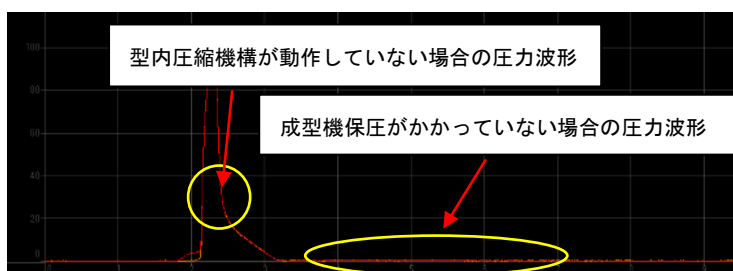


材料：CFRP、油圧：なし

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 80℃

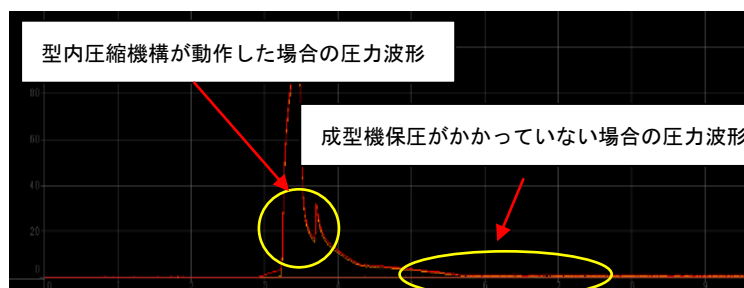


材料：CFRP、油圧：なし

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 80℃

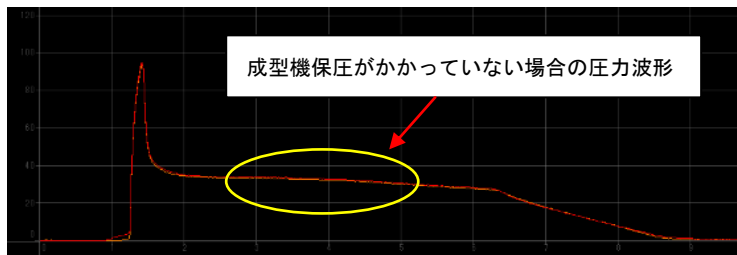


材料：CFRP、油圧：あり

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 80℃



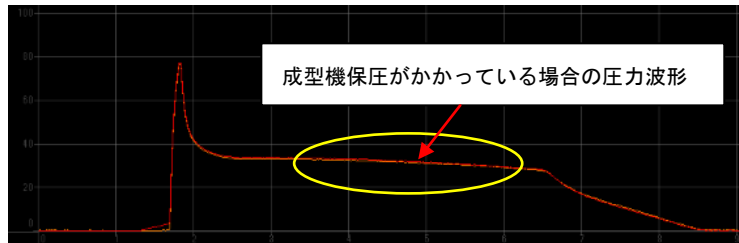
P B T

材料：C F R P、油圧：なし

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：なし

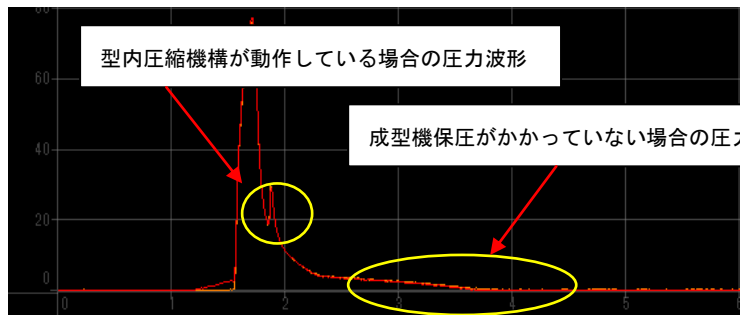


材料：P B T、油圧：なし

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 80℃

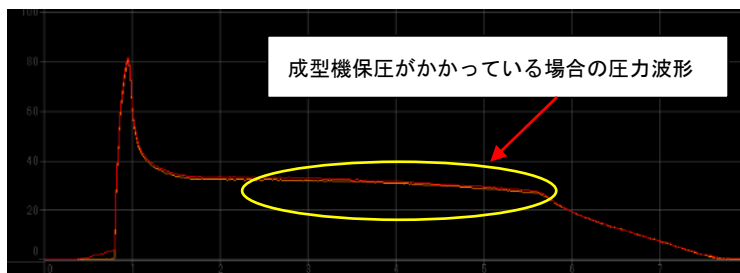


材料：P B T、油圧：あり

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 80℃



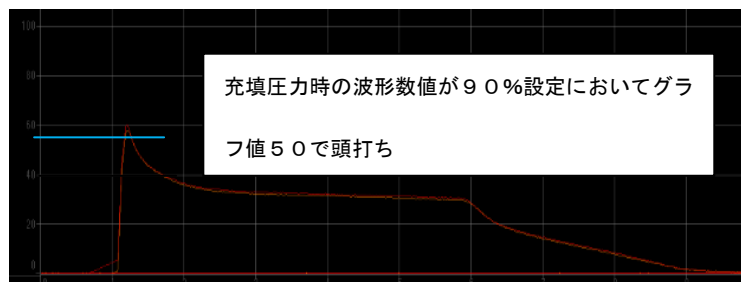
材料：P B T、油圧：なし

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：なし

P P

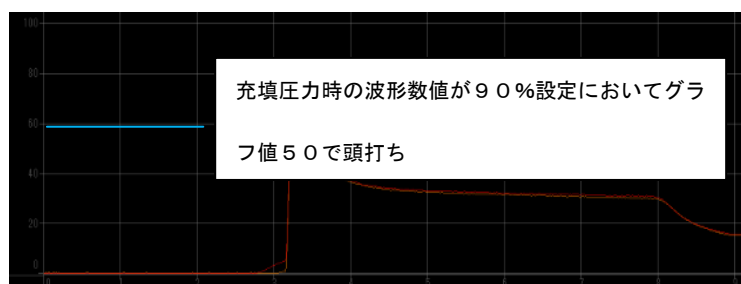


材料：P P、油圧：なし

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 65℃



材料：P P、油圧：あり

軽量：30mm、サックバック：4mm

回転：40%、エア抜き：ポンプ使用

ヒータ：有 設定温度 65℃

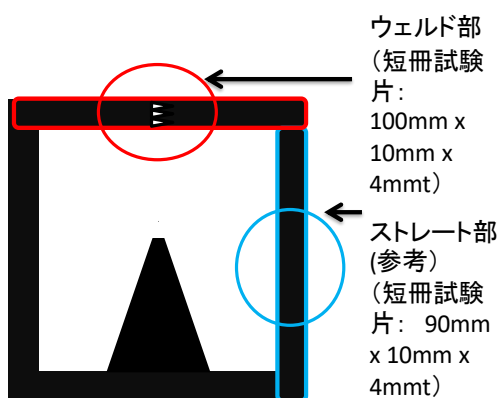
評価結果

- ア) CFRP樹脂での圧力変化を波形で監視したが、波形には大きく変化が見られないことから、PBT成形時の圧力と同等であると判断できる。
- イ) PBT樹脂に関しては、金型内部にかかる圧力が間違いなく変化し、成形できているかの確認を目的として実施したが、波形に大きな変化が生じたのは、成形機保圧をかけた場合の波形とかけなかった場合の波形及び油圧（型内圧縮）を動作させた場合の波形に現れた。
- ウ) PP樹脂に関しては、ピーク圧力の波形（数値）が低く、1次圧力の数字が上がらない。材料特性上、PPは弾力が強いいため、圧力をかけても、材料ないで吸収してしまう可能性があると思われる。

○ 成形品評価状況

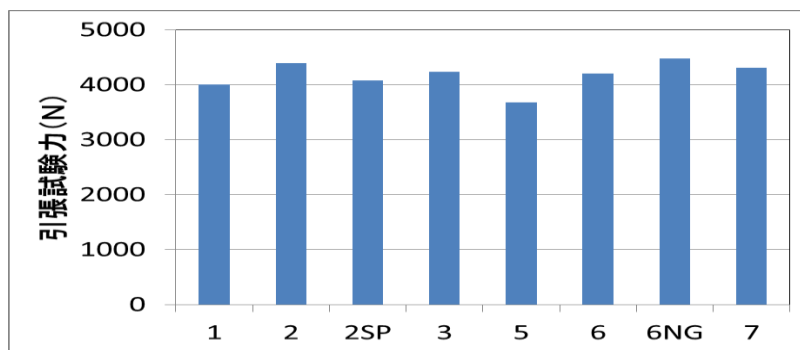
試験片形状・成形条件

試験片採取位置（下図）



評価結果（ストレート部）

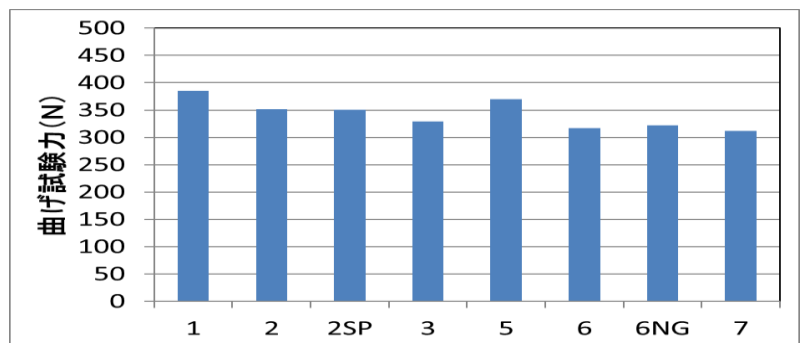
サンプル名	エア	ヒータ	2次保圧	油圧
1	○	○	20	無
2	○	○	5	無
2SP	○	○	無	無
3	○	○	0	有
5	×	○	20	無
6	○	×	20	無
6NG	○	×	20	無
7	×	×	20	無



参考

引張強さに換算の場合は、40で除す。(概算値)

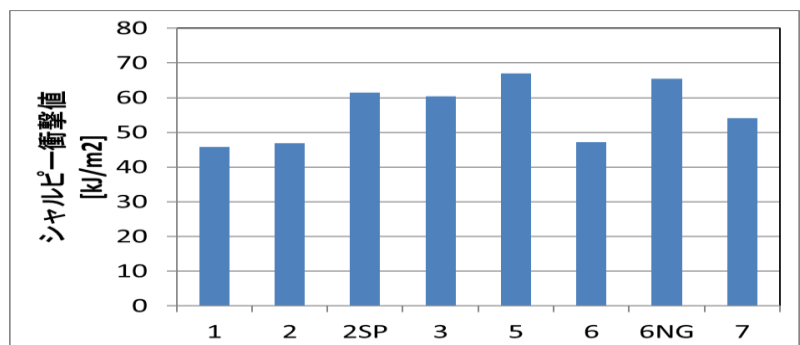
No. 1 の引張強さは、114MPaとなる。



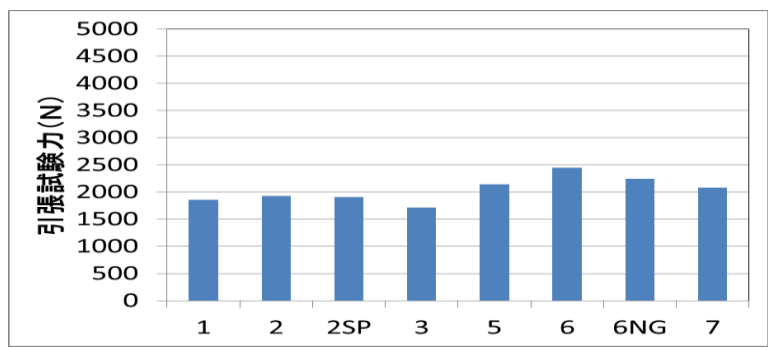
参考

曲げ強さに換算の場合は、0.6 を乗ずる。(概算値)

No. 1 の曲げ強さは、232MPaとなる。



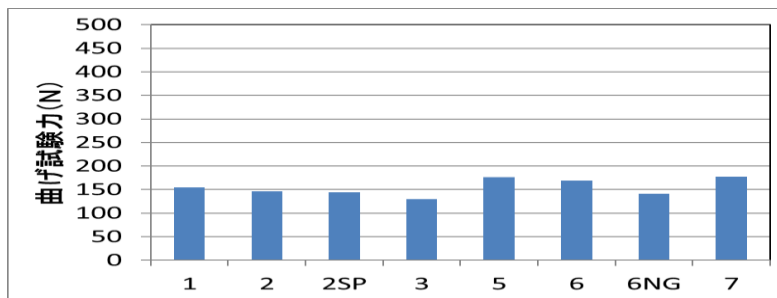
評価結果（ウェルド部）



参考

引張強さに換算の場合は、40で除す。(概算値)

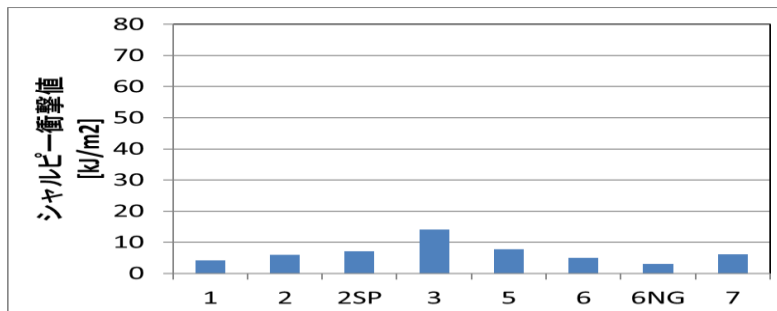
No. 1 の引張強さは、47MPaとなる。



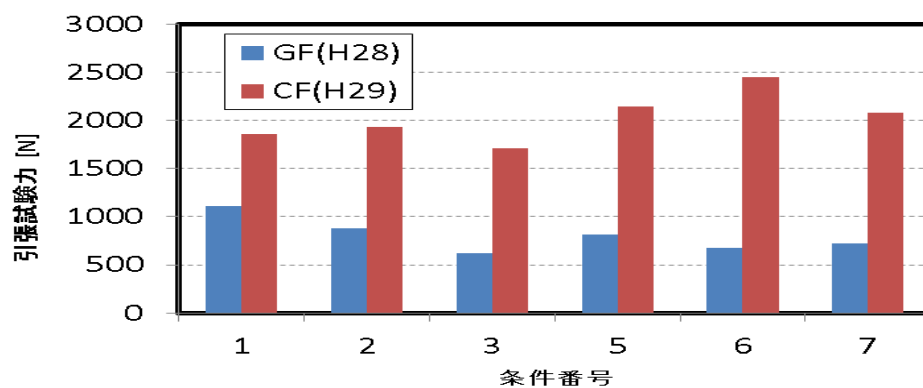
参考

曲げ強さに換算の場合は、
0.6 を乗ずる。(概算値)

No.1 の曲げ強さは、93MPa と
なる。



○ 平成29年度実証で成形したガラス繊維製品と炭素繊維製品との引張評価比較



N	1	2	3	5	6	7
GF (H. 28)	1.1×10^3	8.8×10^2	6.2×10^2	8.2×10^2	6.8×10^2	7.3×10^2
CF (H. 29)	1.9×10^3	1.9×10^3	1.7×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3	2.0×10^3

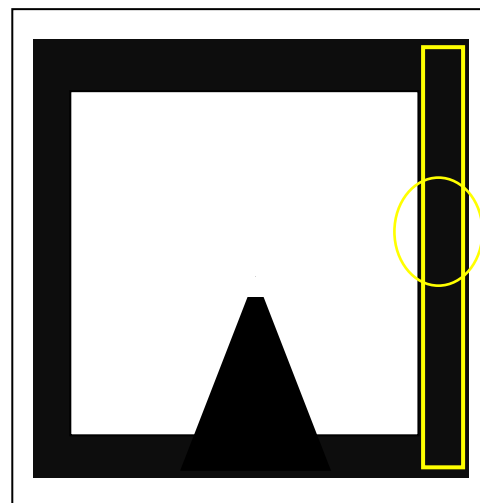
炭素繊維製品のほうが明らかに強度が高いことが理解できる。

○ 繊維長測定結果

右図の丸印を付けた流動部より、長さ20mmで試験片を切り出し、繊維長を測定。

サンプル成形条件

	ピン	保圧
サンプル1	なし	なし
サンプル2	なし	あり
サンプル3	あり	なし
サンプル4	あり	あり



区 分	サンプル 1	サンプル 2	サンプル 3	サンプル 4
計測個数	1,758	1,800	1,881	8,099
最大繊維長 [mm]	3.00	2.81	6.89	5.28
個数平均繊維長 [mm]	0.21	0.20	0.20	0.26
長さ加重平均繊維長 [mm]	0.49	0.42	0.74	0.57

評価結果からすると、成形条件に対する繊維長は以下の傾向となった。

ピン : 無 < 有

保圧 : 無 >or≒ 有

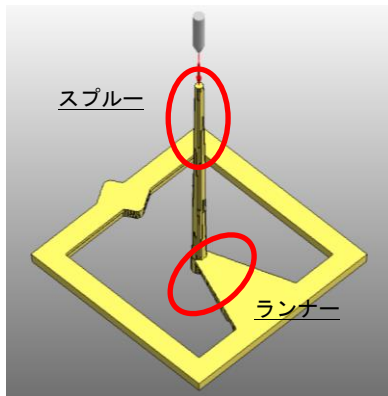
ピンの有無については、明確に違いが出ている。

物性値に関しても、以下のように、同様となっているため、繊維長が物性に大きく影響を与えていると考えられる。

ピン : 無 < 有

保圧 : 無 > 有

○ 成形品部位に対する繊維長



保圧、ピンともに行ったサンプル3・4で、スプルーとランナーの繊維長を計測し、ペレットおよび成形品と比較を行った。



サンプル 3	ペレット	スプルー	ランナー	成形品
計測個数	1, 710	3, 190	13, 618	1, 881
最大繊維長 [mm]	7. 23	5. 08	6. 84	6. 89
個数平均繊維長 [mm]	0. 72	0. 21	0. 24	0. 20
長さ加重平均繊維長 [mm]	4. 45	0. 65	0. 48	0. 74

サンプル 4	ペレット	スプルー	ランナー	成形品
計測個数	1, 710	5, 202	3, 985	8, 099
最大繊維長 [mm]	7. 23	6. 31	6. 08	5. 28
個数平均繊維長 [mm]	0. 72	0. 27	0. 25	0. 26
長さ加重平均繊維長 [mm]	4. 45	0. 74	0. 58	0. 57

評価結果

サンプル4を見ると、『ペレット→スプルー』及び『スプルー→ランナー』の段階で、繊維長がそれぞれ短くなっている傾向である。

また、ランナーと成形品ではと大きく変わらない結果となっている。

サンプル3では、成形品が高くなってしまっている。

最終章 全体総括

1. 研究開発結果

本研究開発であるが、目標値に対する達成状況は次の通りであった。

(1) 金型内樹脂充填機構の確立

1-1 金型内の吸引装置の開発

低圧のスクリュウであっても吸引装置の機構により従来と同等の射出成形時間で成形を行うことを目標として、120t 成形機で30秒の成形サイクルを目標としたが、17秒で成形することを確認した。

なお、ガラス繊維による実証では、16秒であったことから、吸引装置が十分稼働していることが実証された。

1-2 樹脂逆流防止機構の開発

炭素繊維による実証実験で、目標は30個連続成形で成形不良0であるが、実証の結果加圧機構と樹脂逆流防止機構が機能したことに伴い、ヒケやソリと言った成形不良は発生しなかった。

(2) 樹脂流動性の最適化

2-1 ウェルドラインの固化防止策について

連続成形30個でウェルドラインの発生0を目標に対して、樹脂温度が低下する部分に関する加熱により（IHや高出力ヒータを使用）対応した。

2-2 最適ゲート形状の開発

充填後の繊維長を1mm、製品強度として 引張強さ 200MPa 、曲げ強さ 200MPa 、シャルピー衝撃 15KJ/m² を目標として研究開発を実施した。

そして、ゲート形状3φで炭素繊維含有20%、ピン有・無、保圧有・無等の条件を変えて実証を行った。

その結果、強度（引張強さ）に関しては、ガラス繊維含有製品に比して、炭素繊維含有製品が倍以上の強度を有することが判った。

(3) 実証用金型の加工技術の確立

焼き付け防止用に脱気構造やシールを行うための密着性が求められることから、金型部品精度を $25\mu\text{m}$ の達成を目標としたが、部品加工精度の関しては $10\mu\text{m}$ を達成した。

(4) 複合成形品の品質目標

クラッチペダルをターゲットとして事業化をすることから、クラッチペダルに必要とされる物性値として、PAで引張強度 85MPa を達成した。

2. 研究開発今後の課題等

本研究開発における繊維長及びウェルドライン並びに強度面にかかる課題に関しては、これらに関しては、補完研究を通じて目標値達成と金型技術を生かした事業化を進める計画である。

(1) ゲート形状の検討

成形品部位の繊維長を測定するとスプルー部の繊維長が他の部位に比して低くなっている。

そのため現状のゲート形状を変える必要があることから、ゲート形状についてCAE解析をおこなって最適化をはかる。

(2) 炭素割合について

本年度の実証実験においては、炭素繊維の割合を 20% で実施したが、引張強さに課題が残っていることから、新たなスクリュウの導入と併せて、炭素繊維の割合を 30% 、 40% と変えて、実証実験を行う。

以上のテーマで補完研究を進め、課題への対応を図る。

3. 事業化展開

本研究開発で、複合素材である熱可塑性炭素繊維材料を射出成形で成形する金型システムを構築した。これにより、生産効率、品質を落とす事なく、従来のガラス繊維強化樹脂よりも強度UPを図る成形が可能となった。

開発した金型を事業化する分野は、自動車産業をターゲットとしている。

自動車分野は安全性と環境性能の向上が求められ、軽量化のニーズはますます高まり、さまざまな素材を用いて数百グラムから数キログラム単位での軽量化努力が続けられていくものと思われることから、長繊維ペレットによる射出成形方式は、適用部材の選定拡大へつながるとともに、従来多数の金属部品で構成されていた部材が、同強度を維持しながら軽量化が可能となることから、川下企業のニーズ添った内容といえる。

自動車部品の軽量化が実現可能となりコストメリット等からその波及効果は十分期待できる。