

平成２７年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ケナフ繊維複合ボード端材と容器包装リサイクルプラスチック
の複合化による低コスト高強度射出成形自動車部材の開発」

研究開発成果等報告書

平成２８年３月

担当局 中国経済産業局

補助事業者 公益財団法人やまぐち産業振興財団

[目 次]

第1章 研究開発の概要	1
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	
第2章 本論	6
【1】 原料破碎、混練・射出成形技術の検討により繊維長を保つ ペレット及び成形品の製造技術の確立	6
【1-1】 原料のケナフ複合ボード端材の破碎方法及び破碎材料の供給	6
【1-2】 長繊維のペレット作製	9
【1-2-1】 繊維の切断の少ない混練押出機のスクリー、フィーダー等の 設計、仕様の検討	9
【1-3】 繊維長を保つ射出成形技術の開発	21
【1-3-1】 射出成形時の金型内樹脂流動解析によるモデル金型設計	21
【1-3-2】 モデル成形品の射出成形試験及び成形品の強度、形状評価試験	24
【2】 繊維とマトリックスの接着強度を向上させ、流動性（成形性）の 向上を図るためのマトリックス樹脂への添加剤の検討	30
【2-1】 強度、衝撃強度における MPP の効果の検討	32
【2-2】 強度、衝撃強度における高 MFI 樹脂の配合等の効果の検討 及び熔融粘度の低減	33
【3】 まとめ	35

第1章 研究開発の概要

自動車産業ではコスト削減や環境対応のためのリサイクル率向上の要望がある。そこで、ケナフ複合ボード端材と付加価値の低い容器包装リサイクルプラスチック（容リプラ）の複合化を行い、その課題となっている強度向上のため、ケナフ繊維の繊維長の保持、ケナフ繊維とマトリックスの接着性向上技術開発、及び熔融時の流動性改善を行うことにより、ポリプロピレンと同等の性能を持つ、低コストで高強度な射出成形自動車部材を開発する。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

近年、自動車産業では環境面を重視して CO₂ 排出量の削減に効果のある天然素材を活用したプラスチック材料の採用が進展しており、トヨタ紡織(株)ではケナフ繊維の不織布に PP 樹脂を含浸させたケナフ複合ボードを打ち抜いて自動車内装材等の部品を作製している。

しかし、この部品は複雑形状をしているため、ケナフ複合ボードから打ち抜きで作製するとトリミング部分が大量の廃棄物となっている。しかも、繊維含有量が 50 %を超える複合材料であるので、単一樹脂の成形品廃材のように元の用途にリサイクルすることは流動性の点から困難であり、現状ではケナフ複合ボード端材はセメント製造において原燃料化されているため、環境保全に役立つ材料を完全に活かし切ることができていない。

さらに、端材は産業廃棄物として処理する必要があるため、マニフェスト作成等事務処理も煩雑であり、コストもかかるため、有価物としてリサイクルする方法が要望されている。

川下企業である自動車部品メーカーでは、外観部品でない部分（アンダーカバー等）には現在でも他の製品から排出される再生品 PP 等を使用しているが、大型部品が多く、使用材料のさらなるコスト削減が求められている。

容リペレット*については、近年多くの企業が参入して生産量が増加しているが、原料に PE(ポリエチレン)や PP(ポリプロピレン)製包装用資材を主成分とした雑多な成分を含んでいるため、溶リペレットは強度や外観に問題があり、付加価値の低い製品にしか使用できず容器リサイクル協会からの再商品化実施委託単価は徐々に下がってきており、付加価値の高い新たな用途が求められている。

そこで、ケナフ複合ボード端材に容リペレットをマトリックスとして追加した複合ペレットで自動車部品に使用される PP の要求性能が満たせれば、より低コストの材料として射出成形部材に使用することが可能となり、コスト削減が図れる。また、自動車産業から排出された廃材を元の自動車材料に使用することが可能になり、リサイクル率の向上が図れる。

さらに、廃プラと天然繊維を原料としているため、後処理も容易（燃料としてそのまま利用可能）で最終処理でのリサイクル率の向上にも貢献できる。

* 容リペレット：容器包装用廃プラスチックからの再生原料

研究目標は以下のとおりである。

- ①原料破砕、混練・射出成形技術の検討により繊維長を保つペレット及び成形品の製造技術の確立

- ・繊維長が 30 mm 以上を確保し、かつフィーダーで装置内に投入可能な大き

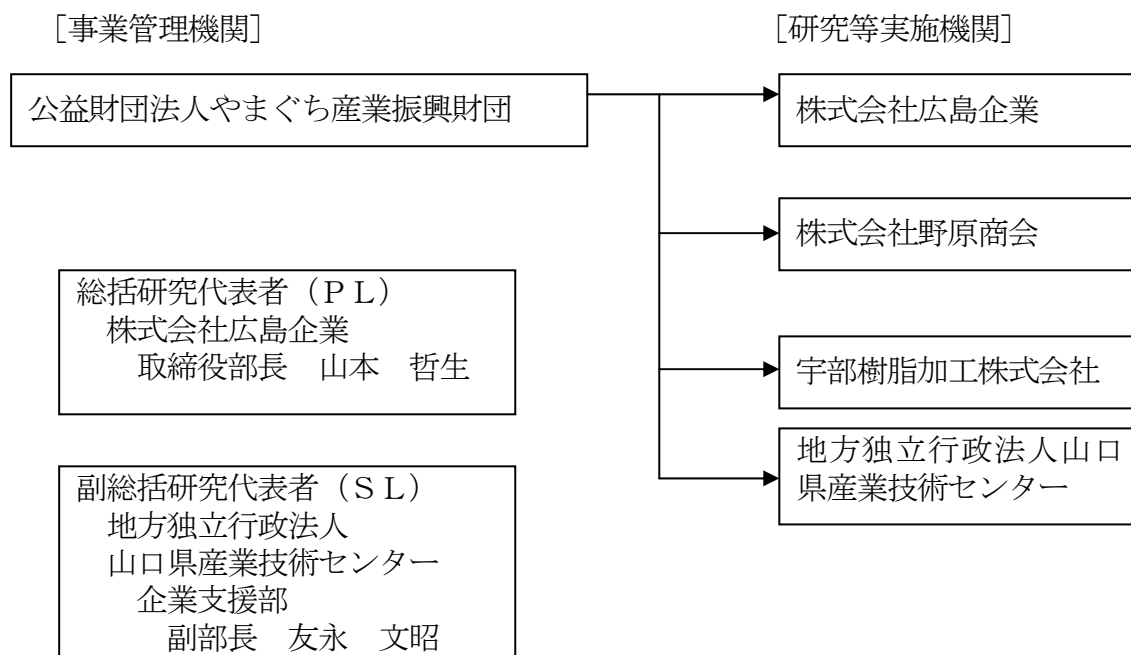
さ・形状への破碎方法を確立する。

- ・混練機内部での剪断力が小さくなるスクリー形状や混練条件を確立して、剪断による繊維切断を押さえて、ペレット内での繊維長を 10 mm 程度に保つ。
- ・射出成形金型のランナーやゲートの位置や形状、そして成形品形状を検討し、成形品中の繊維長を 5 mm 以上に保ち強度の向上を実現する。

②繊維とマトリックスの接着強度を向上させ、流動性（成形性）の向上を図るためのマトリックス樹脂への添加剤の検討

- ・界面改質効果のある MPP(マレイン化ポリプロピレン)により繊維とマトリックス樹脂との接着性を向上させ、長繊維にした効果と合わせ、成形品の強度を高強度グレード PP と同等にする。
- ・MFI(メルト・フロー・インデックス)の大きい回収 PS(ポリスチレン)材料添加や低分子化 MPP 効果により、MFI を 5.0 g/10min 以上にする。

1－2 研究体制



1－3 成果概要

【1】原料破碎、混練・射出成形技術の検討により繊維長を保つペレット及び成形品の製造技術の確立

【1-1】原料のケナフ複合ボード端材の破碎方法及び破碎材料の供給

繊維長が 30mm 以上を確保し、かつフィーダーで装置内に投入可能な大きさ・形状への破碎方法を確立する。

26 年度ではほぼ達成したが、一部長い破砕片とかが含まれフィーダーに詰まる可能性があるため、27 年度に 2 種のスクリーンで 2 段階破碎する方法で使用に問題の無い形状に破碎することが可能になった。

【1-2】長繊維のペレット作製

混練機内部での剪断力が小さくなるスクリー形状や混練条件を見だし、通常より長くカットすることにより、ペレット内での繊維長を 10mm 程度に保つ。

平成 26 年度にストランド状態での繊維長 10mm の確保は達成した。但し、ストランドが切れる等ペレット化について課題が出たので、平成 27 年度に混練条件等について検討し連続したストランドを作成することが可能になった。また、混練機内部とノズルを通過後の繊維長が急激に短くなっていたため、ノズル形状を変更して改善することができた。

【1-3】繊維長を保つ射出成形技術の開発

ランナーやゲートの位置や形状、成形品形状を検討し、成形品中の繊維長を 5mm 以上に保ち強度の向上を実現する。

平成 26 年度は射出成形に用いる金型のデータ採取・製作をした。平成 27 年度は、作成したペレットの流動シミュレーションに必要なデータを取り、射出成形中の樹脂の状態を解析し繊維の切断が起きにくい急激な圧力変動を抑える金型形状等について検討し、実際の成形品の成形が可能になった。

小型射出成形機ではペレット長が 6mm 以下でないと供給口で詰まる問題があるため、ペレット内の繊維長については 10mm を維持するのは困難であった。しかし、使用したケナフ繊維複合材中の繊維の解繊が進んでおり、太さが従来のものより細くなっているためアスペクト比では問題は無く、強度目標は達成できた。

【2】繊維とマトリックスの接着強度を向上させ、流動性（成形性）の向上を図るためのマトリックス樹脂への添加剤の検討

下記の検討の結果、目標としていた高強度 PP と同等以上の性能を達成することができた。

【2-1】強度、衝撃強度における MPP の効果の検討

界面改質効果のある MPP により繊維とマトリックス樹脂との接着性を向上させ、長繊維にした効果と合わせ、成形品強度を表 2 に示した高強度グレード PP と同等にする。

平成 26 年度で、MPP 添加により成形品の強度を MPP なしの場合より 10%以上の向上を達成した。さらに 27 年度は、MPP の効果が PP に対して高いことがわかったのでマト

リックス樹脂を PP リッチ材料（容リ材料から PP を主成分となるように分離した材料）とすることで強度の向上を図ることができた。

【2-2】強度、衝撃強度における高 MFI 樹脂の配合等の効果の検討及び溶融粘度の低減

MFI の大きい回収 PS 材料添加や低分子化 MPP 効果により、MFI を 5.0g/10min 以上にする。

回収 P S と低分子化 MPP の効果では達成困難であったので、マトリックス樹脂を PP リッチ材料に変更し、低粘度 PP を添加することで MFI 5.0g/10min 以上を達成することができた。繊維含有量が 15%程度までなら PP リッチ材料の使用のみで MFI 5.0g/10min 以上を達成することができた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

連絡担当者所属役職・氏名：技術振興部 技術支援課長 竹田拓也

Tel:083-922-9927 Fax:083-921-2013

E-mail:tak@ymg-ssz.jp

第2章 本論

【1】原料破碎、混練・射出成形技術の検討により繊維長を保つペレット及び成形品の製造技術の確立

【1-1】原料のケナフ複合ボード端材の破碎方法及び破碎材料の供給

工場から排出されるケナフ複合ボード端材は大型のボードから図1のような製品を打ち抜いたあとの周辺部等であるため、図2のような不定形で大型のものである。



図1 ケナフ複合ボード製品



図2 端材(周辺部)

そこで、これを混練機のフィーダーに投入し易くかつ繊維長を長く保つ形状に破碎する必要がある。

原料のケナフ複合ボード端材の破碎には、図3に示した一軸破碎機（刃とスクリーンの様子を図4、5に示す）で、スクリーン径を 15、25、45mm に替えて破碎した。形状の安定性という点で二軸で刃に噛み込むタイプの破碎機が有利と思われ検討したが、作業効率に劣るため 1 軸破碎機で形状安定させる方法を検討した。



図3 一軸破碎機本体



図4 刃



図5 スクリーン

次に、それぞれの孔径のスクリーンを使用して破碎し回収された破碎片及び破碎片からマトリクスの PP を抽出し残渣として取り出した破碎片に含まれる繊維を取り出し解繊したものの写真（45mm のみ）をそれぞれ図6～8に示す。

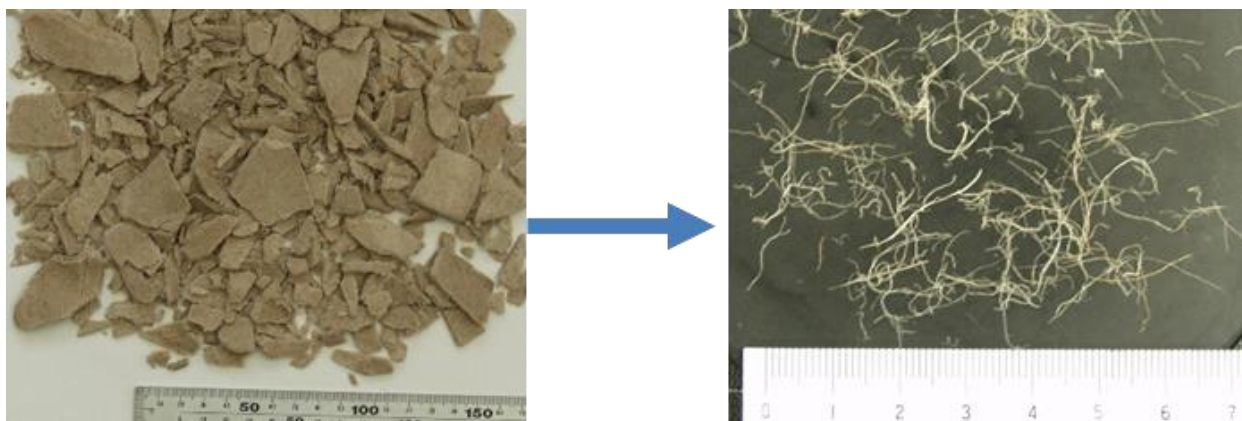


図6 45mm スクリーン使用時の破砕片及び取り出したケナフ繊維



図7 25mm スクリーン使用時の破砕片



図8 15mm スクリーン使用時の破砕片

図6の破砕片の写真のとおりスクリーンを大きくしても粒度の小さい破砕片が多く含まれることがわかった。また、スクリーン径が大きくなると形状のバラツキが大きく、長さが 45mm を超える（アスペクト比が大きい）破砕片が見受けられた。このような破砕片が混じると、フィーダーで詰まる可能性があるため、混練機への供給が困難になると思われた。25mm 以下では十分な繊維長が保たれないことがわかった。



図9 30mmΦスクリーンを使用



図10 40mmΦスクリーンを使用

そのため、45mm と 25mm の中間の大きさとなる 30mm と 40mm のスクリーンを使用して破碎した結果を図9及び図10に示す。

30mm スクリーンを使用した破碎により、粒度のバラツキも少なく、概ね適度な大きさに破碎可能なことがわかった。しかしまだ一部に長い破砕片が残った。

この対策として破碎後篩い分け装置にかけて適度な粒径の破砕片のみを回収することも検討したが、装置が高価で導入が困難であることから、最初に大きめのスクリーンを使用して粗破碎し、その後小さめのスクリーンを使用して再度破碎する二段破碎法を検討し、形状を安定させることを試みた。使用したスクリーンを図11に示す。



50mmφスクリーン



40mmφスクリーン



45mmφスクリーン



35mmφスクリーン

図11 使用した各穴径のスクリーン

先に大きめのスクリーン（50mm 及び 45mm）を使用して粗破碎した後、それぞれ 10mm 小さいスクリーン（40mm 及び 35mm）で再度破碎した結果を図12及び図13に示す。



図12 50→40mm スクリーンで2段階破



図13 45→35mm スクリーンで2段階破碎

この結果、1 段階破碎で得られる破砕片より微細片が少なく、形状の安定した破碎が可能になった。

50→40mm ではまだアスペクト比の大きい破砕片が残るが、45→35mm スクリーンを使用した破砕片はやや細かい成分ができるものの長い破砕片は減少し、混練機に投入するのに適度な形状に破砕可能なことがわかった。

【1-2】 長繊維ペレットの作製

【1-2-1】 繊維の切断の少ない混練押出機のスクリー、フィーダー等の設計、仕様の検討

(1) フィーダーの設計

ケナフ複合ボード端材破砕片の押出機への供給はコイル式スクリーが適しており、このスクリーを採用することとした。

しかし、破砕片の投入の際にコイル式スクリーに負荷がかかっており、スクリーに多少の変形が見られた事、サイドスクリーの入り口が狭く供給が不十分になる恐れがあることから、その部分についての改良を検討、設計した。(参考：図14 標準サイドフィーダー)

供給部を広くする為に、入り口部分を前方に 58mm ずらした。これによりスクリーのケーシング、スクリーも 58mm 長く設計した。(図15)

スクリーに対する負荷については、サイドフィーダーと押出機の接続部に 60°の傾斜を付けた板を取り付けることにより、破砕片を安定的に押出機へ送り出すことで負荷を軽減させた。

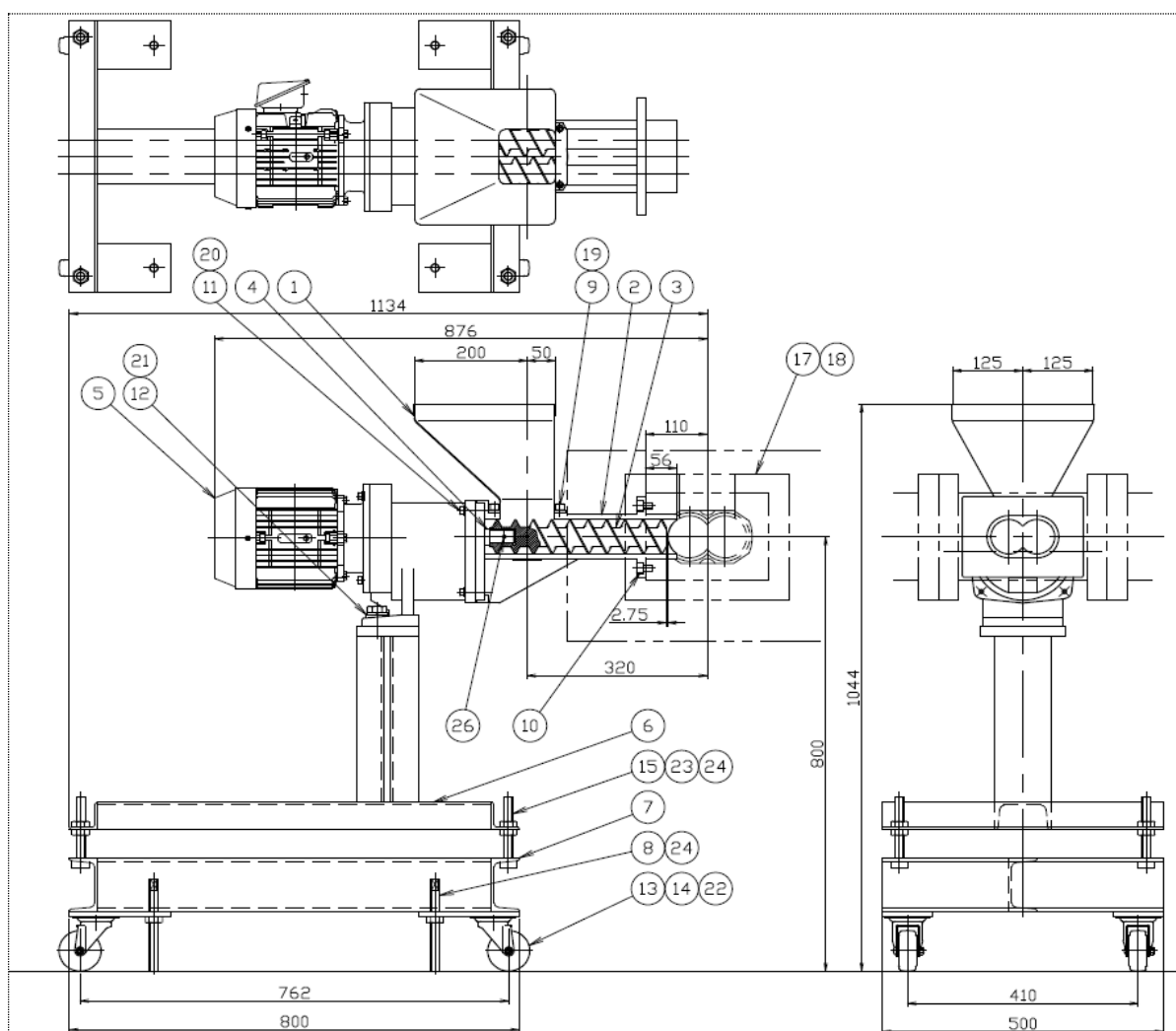


図14 標準サイドフィーダー

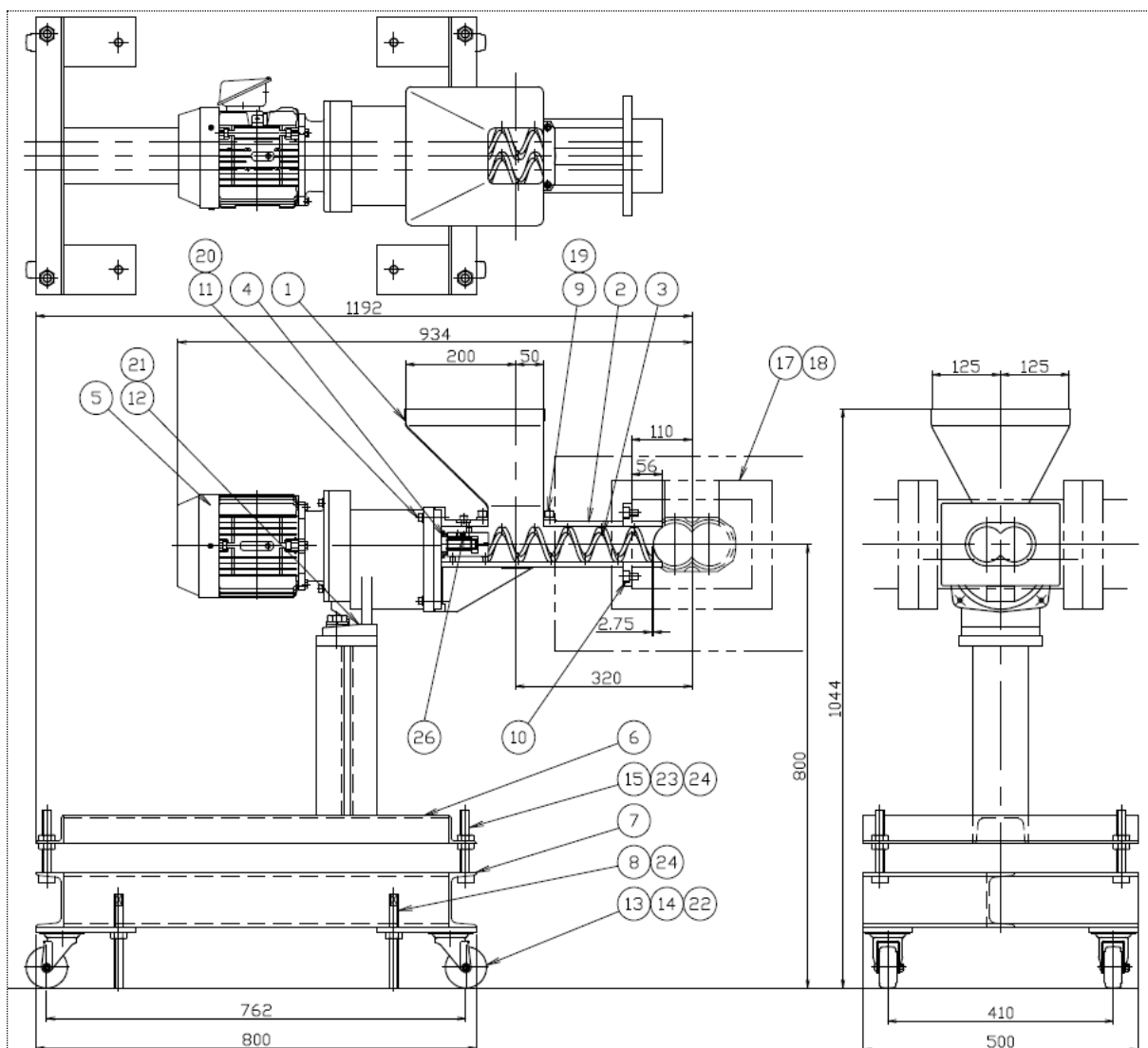


図15 改良したサイドフィーダー

この設計でサイドフィーダーを製作し、ケナフ複合ボード端材破砕片の搬送テストを行った結果、スクリューの変形も見られず、供給も安定した。

(2)ペレタイザーの設計

成形品の物性を高めるために、複合ペレットの段階で繊維を長く保つことが必要である。その為、ペレット長についても一般的な 5mm 程度のものではなく、10～15mm 程度の長さにカットする必要がある。

一般的なペレタイザーの構造としてはストランドをロールで引張りつつ連動したカッターでカットするという構造となっている。この構造では決まった寸法でしかカットすることが出来ず、寸法を変更する場合、カッターそのものを変更する必要がある。そこで、ロール部とカッター部を独立で動作する構造とし、それぞれをインバーター駆動にすることにより、様々な寸法でカットすることができる構造とした。(図16) 回転刃についても刃数を少なくし、奥行きをつけることによりロングペレットに対応できる構造とした。(図17)

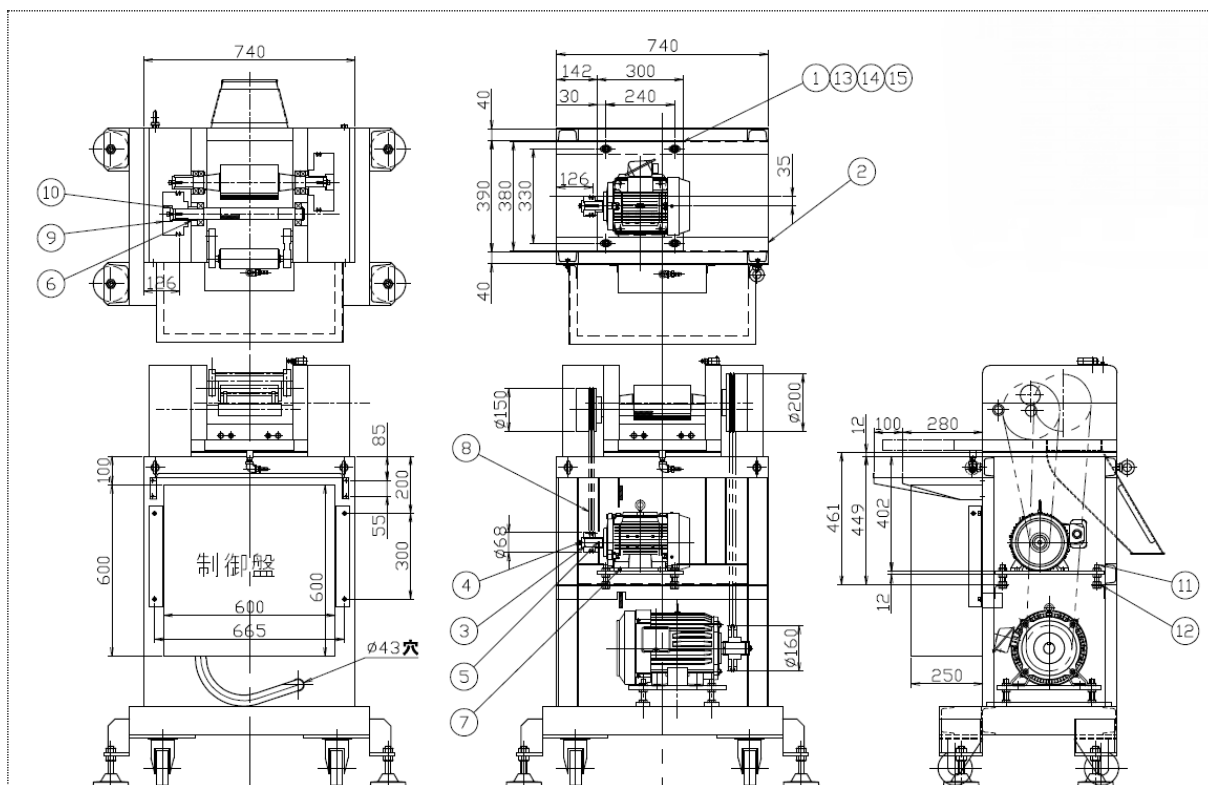


図16 改良したペレタイザー

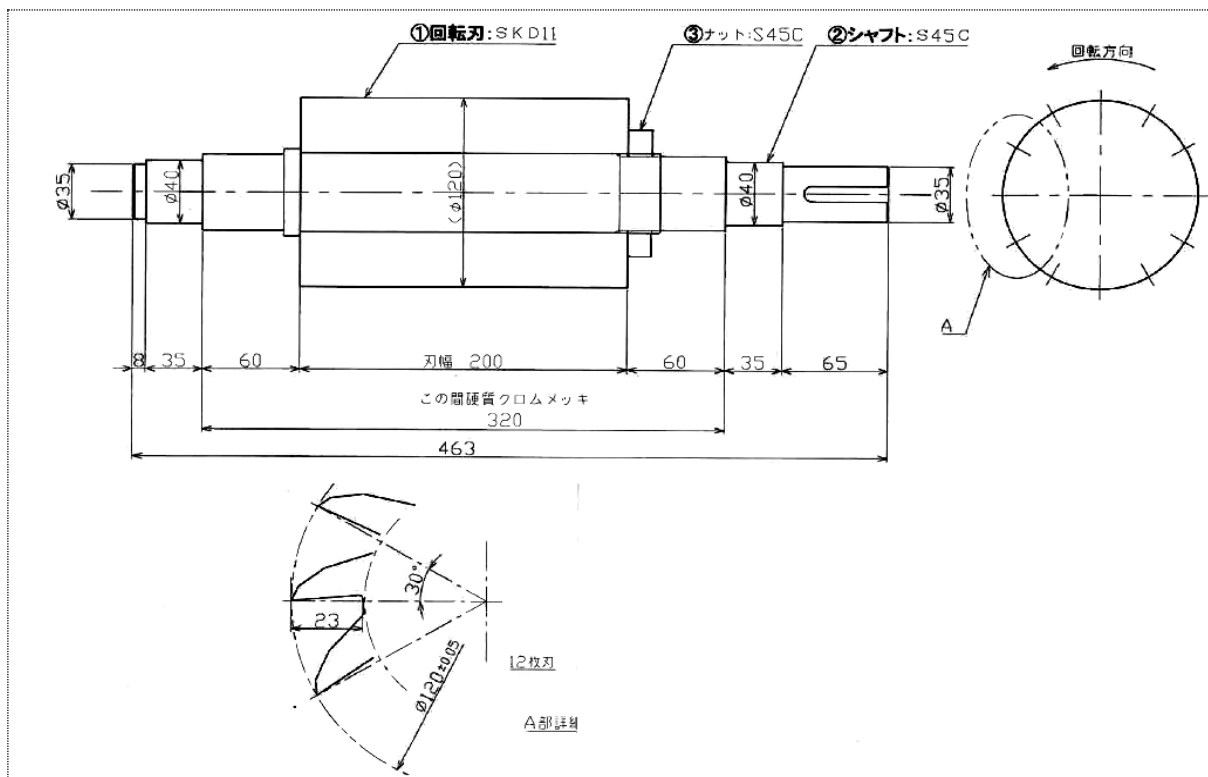


図17 改良した回転刃

(3) ケナフ複合ボード端材破砕片搬送コンベアの設計

ケナフ複合ボード端材破砕片を所定の割合でサイドスクリーへ投入する為に、搬送コンベアを設計した。ケナフ複合ボード端材破砕片が 30mm 程度であり、搬送中に破砕が起こらないようにシングルフライトスクリーで、インバーター駆動とした。(図18)

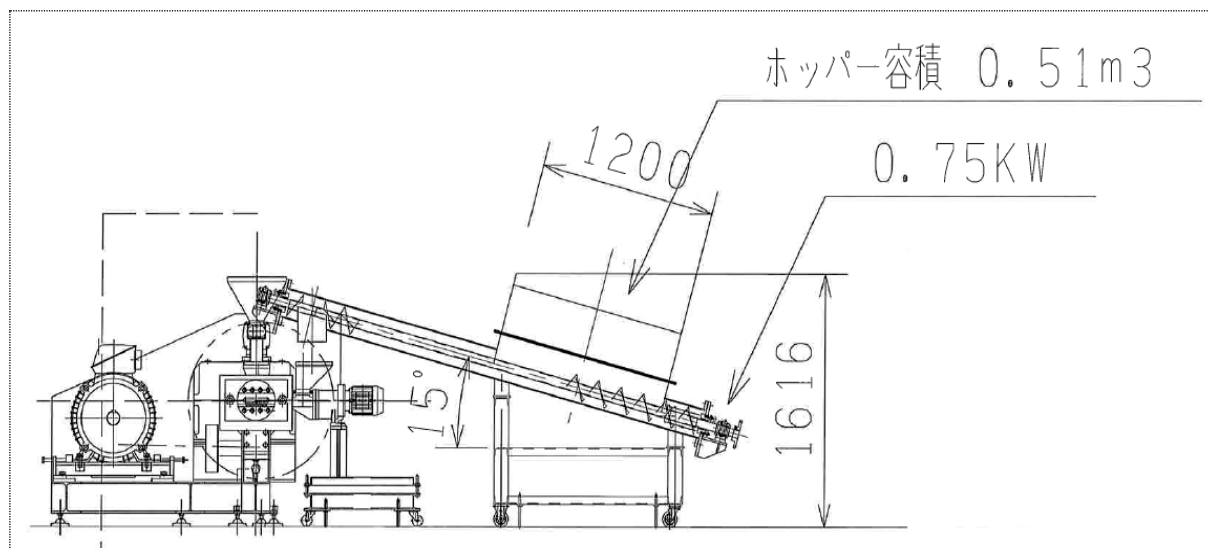


図18 ケナフ複合ボード端材破砕片搬送コンベア

ケナフ複合ボード端材破砕片の破砕は起こらず、安定した供給が出来た。

(3) 流動解析シミュレーション

押出機内樹脂についての流動解析シミュレーションを行なった。

繊維については押出機内部で温度、圧力等様々な影響を受けて破断されていく。

吐出量を 120kg/h と固定し、吐出部樹脂温度を 200℃、230℃とした場合の回転数とトルク、充填長をシミュレーションした。(図19、図20)

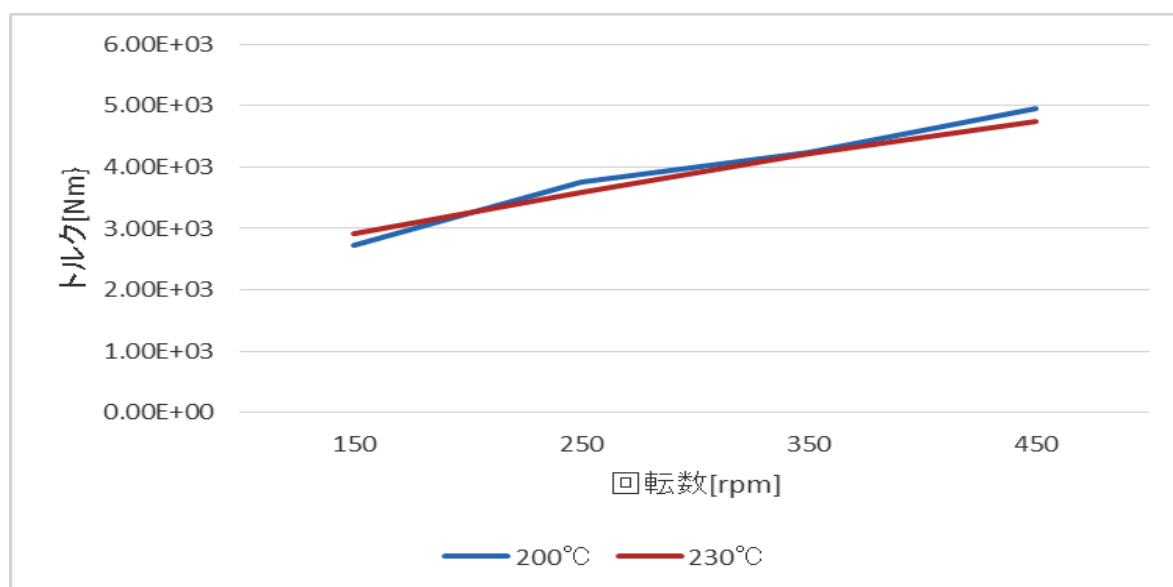


図19 温度別トルクと回転数の関係

回転数が増えていくにつれてトルクも比例して上昇する。吐出時の温度による違いはほとんどない結果となった。

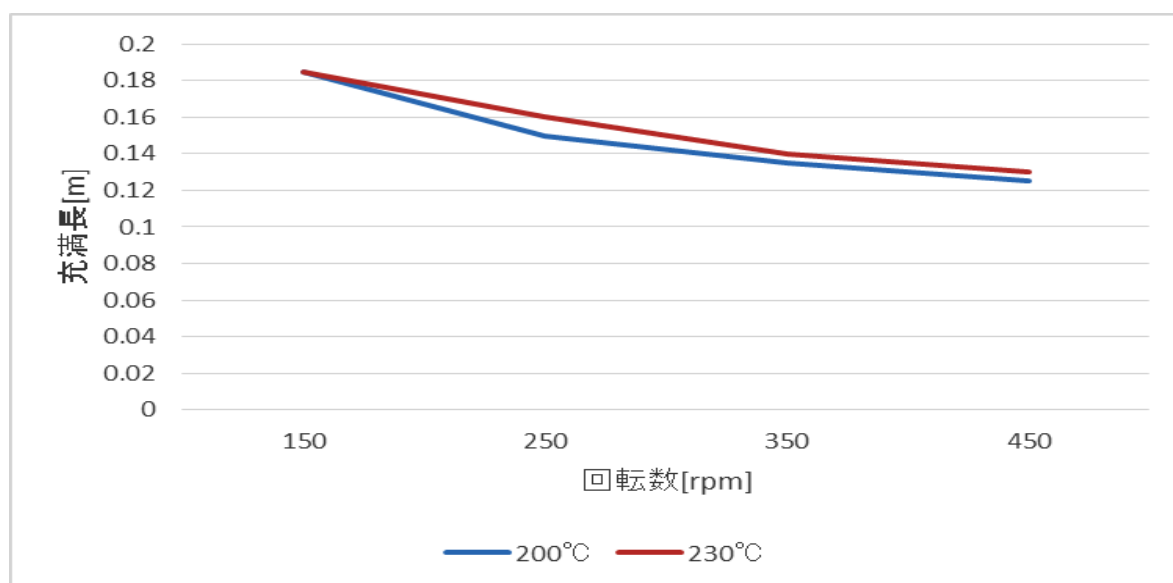


図20 温度別充填長と回転数の関係

回転数が増えていくにつれて充填長は短くなっている。吐出時の温度による違いはほとんどない結果となった。

繊維の破断を抑えるには出来るだけ圧力、温度をかけずに吐出するのが良い。充填長が長いことによる温度劣化は見られなかった為、回転数は150rpmとし、圧力を低減させる運転方法とした。

【1-2-2】複合ペレット製造試験及びその評価

(1)ダイヘッドの評価

これまでの研究で樹脂を押し出した際のストランドが途中で切断され、ペレット化についての課題があった。その課題の解決の為に穴数、形状の違う数種類のダイヘッドでペレット化テストを行なった。

<テスト条件>

複合ペレット 容リペレット(PE/PP)80%、ケナフ複合ボード端材 20%

押出機回転数 150rpm

吐出量 100kg/h

ペレット長 15～20mm

混練部 C6～C8

押出機スクリー構成は図21に示す。また、ペレット製造時の押出機の各部の温度設定は表1のとおりである。

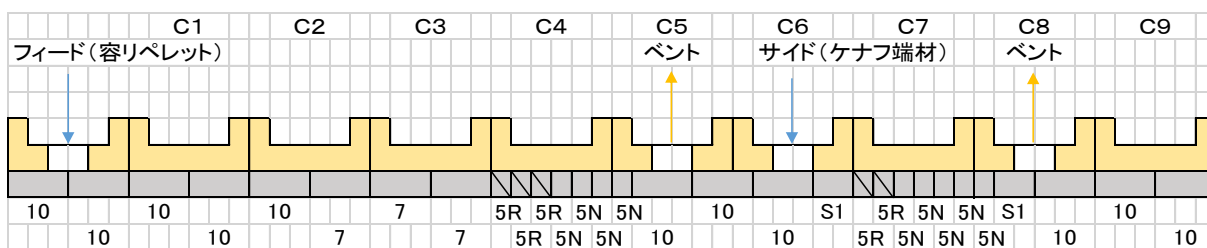


図21 押出機スクリー構成

※スクリーの説明：10、7、S1 は樹脂を前方に搬送する構造。5R は混練しながら樹脂を前方に搬送する構造。5N は混練するが、樹脂を搬送する機能はない構造。

表1 押出機設定温度

C1(℃)	C2(℃)	C3(℃)	C4(℃)	C5(℃)	C6(℃)	C7(℃)	C8(℃)	C9(℃)
190	190	190	190	190	160	160	160	160

各ダイヘッドとテスト状況を図22～25に示す。



図22 ダイヘッド 21 穴

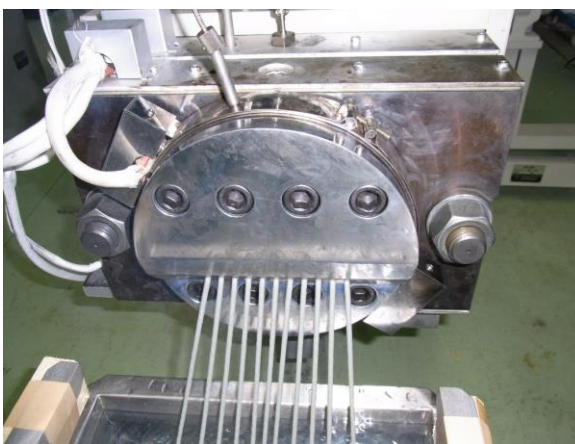


図23 ダイヘッド 11 穴(テーパ加工)



図24 ダイヘッド 12 穴(丸ダイ)

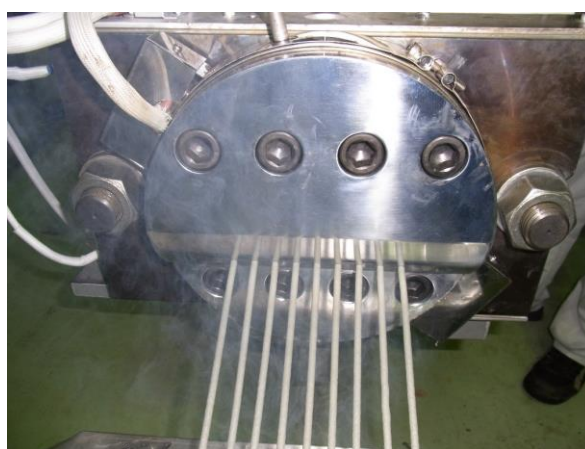


図25 ダイヘッド 9 穴

＜ダイヘッド 21 穴 結果＞

ノズルから吐出される複数のストランドに混練不足による圧力変動があり、ストランドが度々切断された。また、ストランド本数が多い為、ペレタイザでカットする際に過負荷による停止が頻発した。(図22)

＜ダイヘッド 11 穴 テーパー加工 結果＞

ダイヘッド 11 穴標準のものと同様に両端のノズルから吐出されるストランドに混練不足による圧力変動があり、両端のストランドが度々切断された。運転に関してはダイヘッド 11 穴標準のものと変化は無かった。(図23)

＜ダイヘッド 12 穴 (丸ダイ) ＞

ストランド状態での混練不足は見られず、均一に吐出することが出来た。しかし、ノズル上部から冷却水槽までの距離が長い為、樹脂を冷却するまでの間でストランドの切断が見られた。(図24)

＜ダイヘッド 9 穴＞

ストランドに混練不足は見られず、均一に吐出された。また、ストランドの切断も無くスムーズにカットすることが出来た。(図25)



図26 ①ダイヘッド 21 穴 複合ペレットと繊維

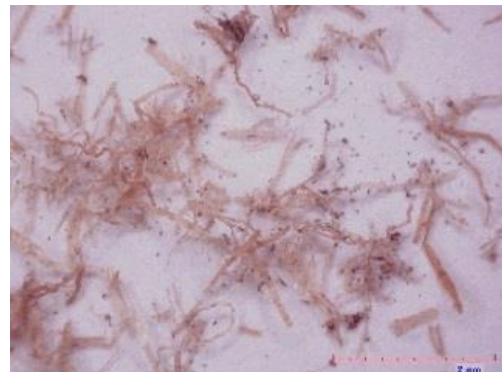


図27 ②ダイヘッド 11 穴(テーパー加工)複合ペレットと繊維

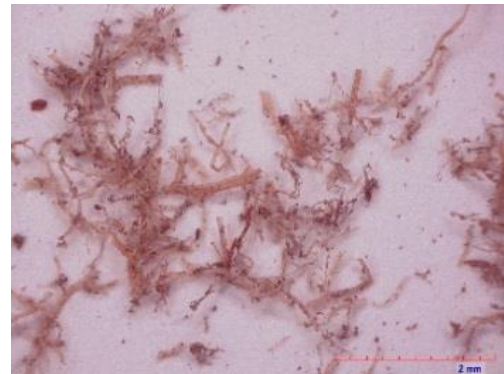


図28 ③ダイヘッド 12 穴(丸ダイ) 複合ペレットと繊維

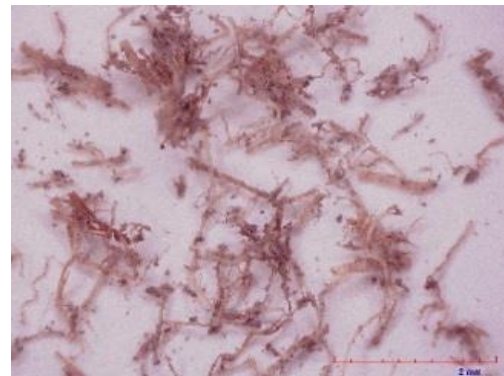


図29 ④ダイヘッド 9 穴 複合ペレットと繊維

表2 各繊維量、PO 量、PS 量の割合

	繊維量(%)	PO 量(%)	PS 量(%)
①	7.1	83.9	6.7
②	10.1	75.0	11.9
③	13.4	78.6	6.6
④	12.5	79.8	6.5

各繊維量、PO 量、PS 量の割合を表2に示した。また、各ダイヘッドで作製した複合ペレット中の繊維の寸法、外観(図26、図27、図28、図29)を確認したが、繊維長は1~2mm程度となっており、破断されてしまっている。各ダイヘッドでの繊維長についてはほとんど変化が無い為、ダイヘッドはストランドの切断が殆ど無く、運転が容易な9穴のタイプで固定することとした。繊維長の確保を目的に、スクリー構成を混練が少ないものに変更して、再度テストを行った。

<テスト条件>

複合ペレット 容リペレット(PE/PP)80%、ケナフ複合ボード端材 20%

押出機回転数 150rpm

吐出量 100kg/h

ペレット長 15～20mm

混練部 C6～C7

スクリー構成は図30のとおり、押し出し機各部の温度設定は表3のとおり。

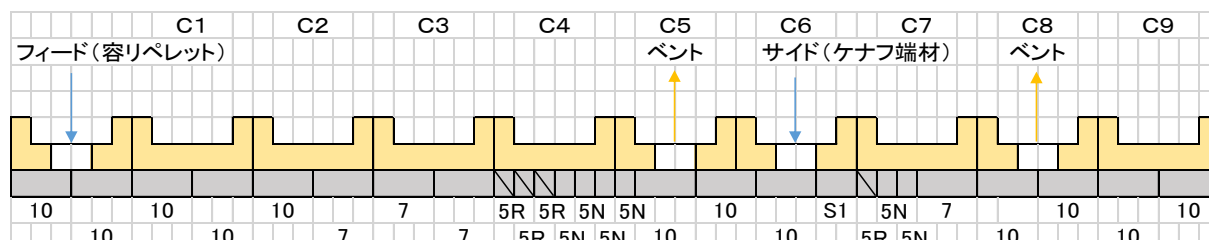


図30 スクリュー構成

表3 押出機設定温度

C1(℃)	C2(℃)	C3(℃)	C4(℃)	C5(℃)	C6(℃)	C7(℃)	C8(℃)	C9(℃)
190	190	190	190	190	160	160	160	160

スクリー構成を変更して作製した複合ペレットの形状と抽出した繊維の写真を図31に示す。繊維量、PO 量、PS 量の割合を表4に示した。このスクリー構成で作製した複合ペレットの繊維長も1～2mm程度のもとなり、破断されていた。スクリーの混練の強弱による繊維の破断については、本研究でテストしたスクリー構成では影響が少ないことが分かった。

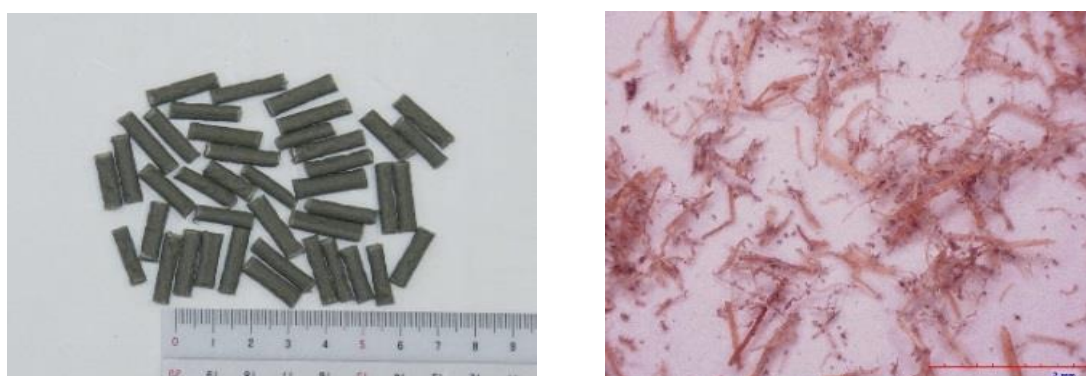


図31 ⑤ダイヘッド9穴 スクリュー構成変更(混練少)

表4 各繊維量、PO 量、PS 量の割合

	繊維量(%)	PO 量(%)	PS 量(%)
⑤	14.9	77.3	5.9

(2) 押出機各部の繊維の状態の確認

ケナフ複合ボード端材をサイドフィーダーから投入後、ダイヘッドからストランド状態で吐出

されるまでの各部でのケナフ繊維の破断状態の確認をした。サンプル採取箇所はケナフ複合ボード端材投入直後、C8 部、ダイヘッド直前の 3 カ所とした。(図32)

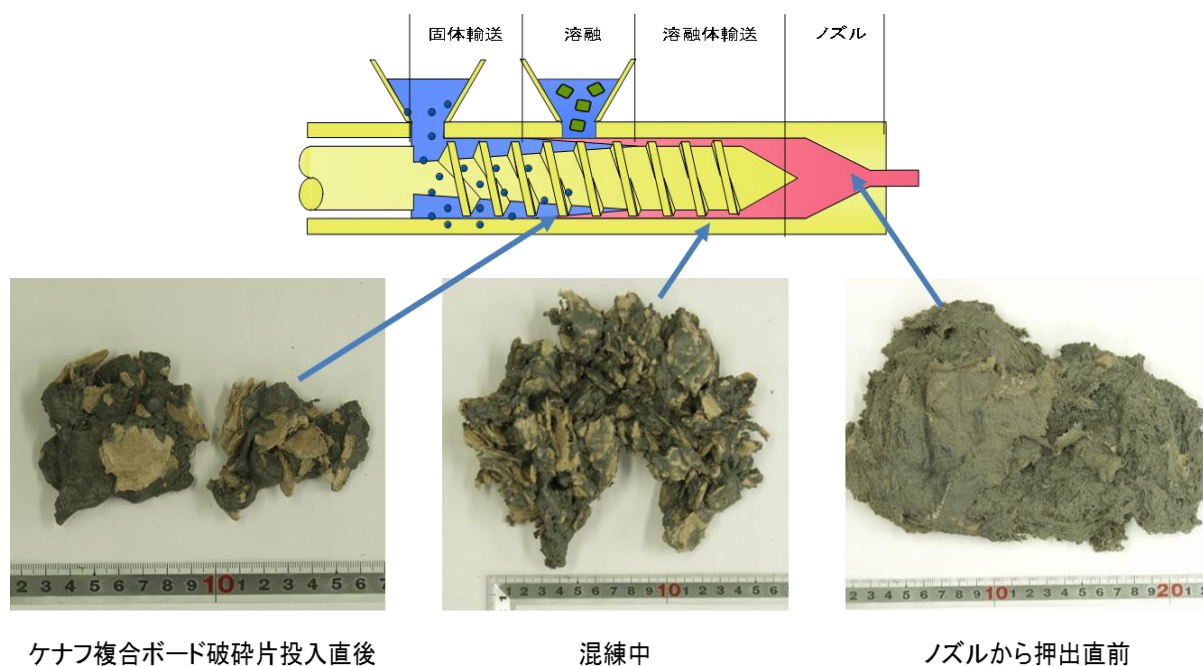


図32 混練機内の複合材の混練状況

ここで、ノズル直前部分の混練物から取り出した繊維を図33に示す。その混練物をノズルから押出ペレット化したものとその繊維を図34に、そのペレットを使用して射出成形した成形品とその繊維を図35に示す。



図33 ノズル直前の繊維の状態

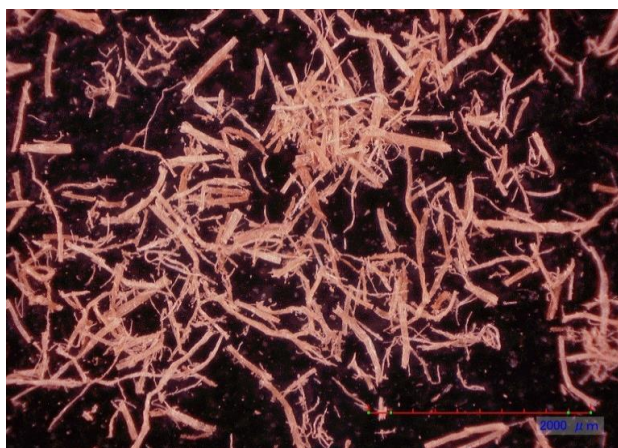


図34 ペレット化後の繊維の状態

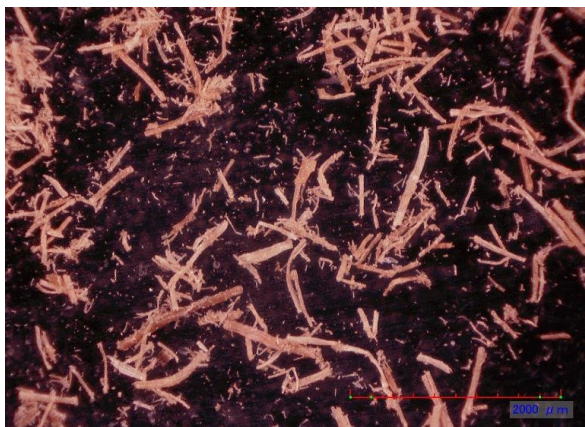
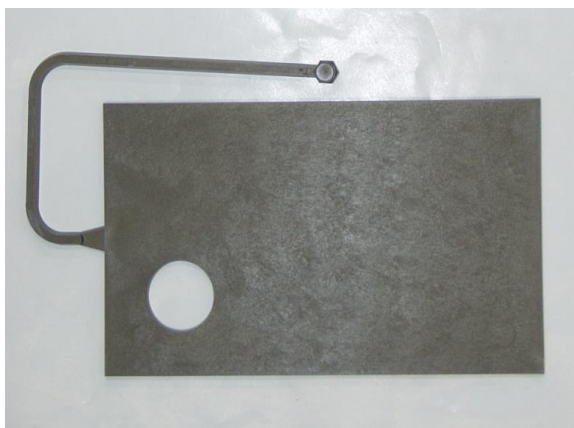


図35 成形品の繊維の状態

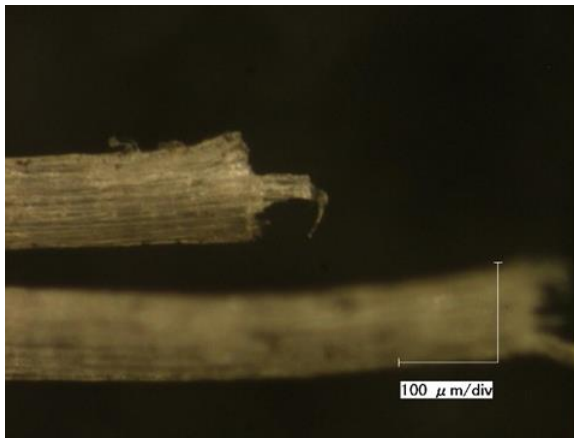


図36 従来品のケナフ単繊維

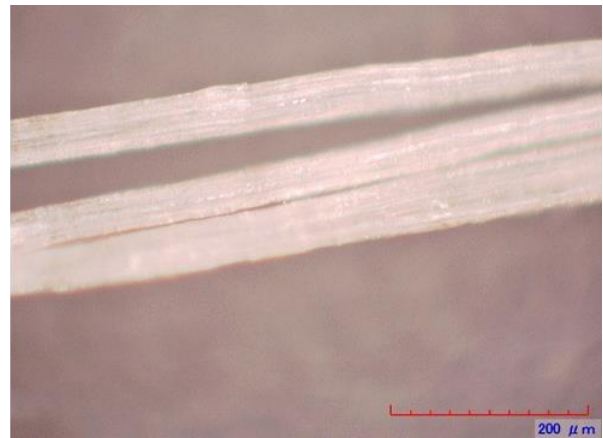
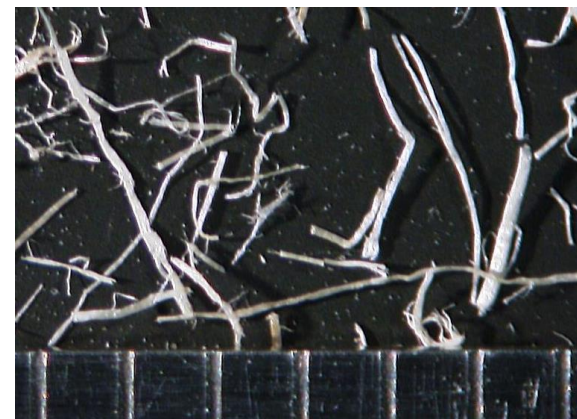


図37 今回品のケナフ単繊維



また、【2-1】強度、衝撃強度における MPP の効果の検討の項でも述べるが、MPP の効果が PP に対して高いことが本研究で分かったので、マトリックス樹脂を PP リッチ材料（容リ材料から PP を主成分となるように分離した材料）とすることで強度の向上を図ることができたので、マトリックス樹脂を PP リッチ材料にすることとした。物性は表5～8の通りとなった。

表5 PP リッチ容リペレット 80% + ケナフ複合ボード端材破砕片 20%の物性値

曲げ試験		引張試験		衝撃強度	MFI
強度(Mpa)	弾性率	強度(Mpa)	弾性率	(kJ/mm ²)	(g/10min)
38.8	1762	26.7	1607	3.6	6.7

表6 PP リッチ容リペレット 70% + ケナフ複合ボード端材破砕片 30%の物性値

曲げ試験		引張試験		衝撃強度	MFI
強度(Mpa)	弾性率	強度(Mpa)	弾性率	(kJ/mm ²)	(g/10min)
40.4	2029	27.0	1704	3.6	5.5

表7 PP リッチ容リペレット 60% + ケナフ複合ボード端材破砕片 40%の物性値

曲げ試験		引張試験		衝撃強度	MFI
強度(Mpa)	弾性率	強度(Mpa)	弾性率	(kJ/mm ²)	(g/10min)
49.7	2955	33.4	2211	4.1	6.8

表8 PP リッチ容リペレット 50% + ケナフ複合ボード端材破砕片 50%の物性値

曲げ試験		引張試験		衝撃強度	MFI
強度(Mpa)	弾性率	強度(Mpa)	弾性率	(kJ/mm ²)	(g/10min)
53.3	3617	35.3	2493	4.2	6.4

参考値として、PE/PP 混合容リペレット及びPP リッチ容リペレットの物性値を表9及び表10に示す。

表9 PE/PP 混合容リペレットの物性値

曲げ試験		引張試験		衝撃強度	MFI
強度(Mpa)	弾性率	強度(Mpa)	弾性率	(kJ/mm ²)	(g/10min)
18.2	528	19.6	304	7.7	3.5

表10 PP リッチ容リペレットの物性値

曲げ試験		引張試験		衝撃強度	MFI
強度(Mpa)	弾性率	強度(Mpa)	弾性率	(kJ/mm ²)	(g/10min)
31.2	997	24.8	809	6.4	6.5

【1-3】 繊維長を保つ射出成形技術の開発

【1-3-1】 射出成形時の金型内樹脂流動解析によるモデル金型設計

1. モデル金型の設計条件

モデル金型は図38に示したように、強度評価試験用テストピースと試験用プレートの成形品を同じ金型で成形できる設計とした。また、金型のゲート、ランナーの変更が容易にできることも配慮し、ランナーチェンジ、入れコマ方式の構造とした。

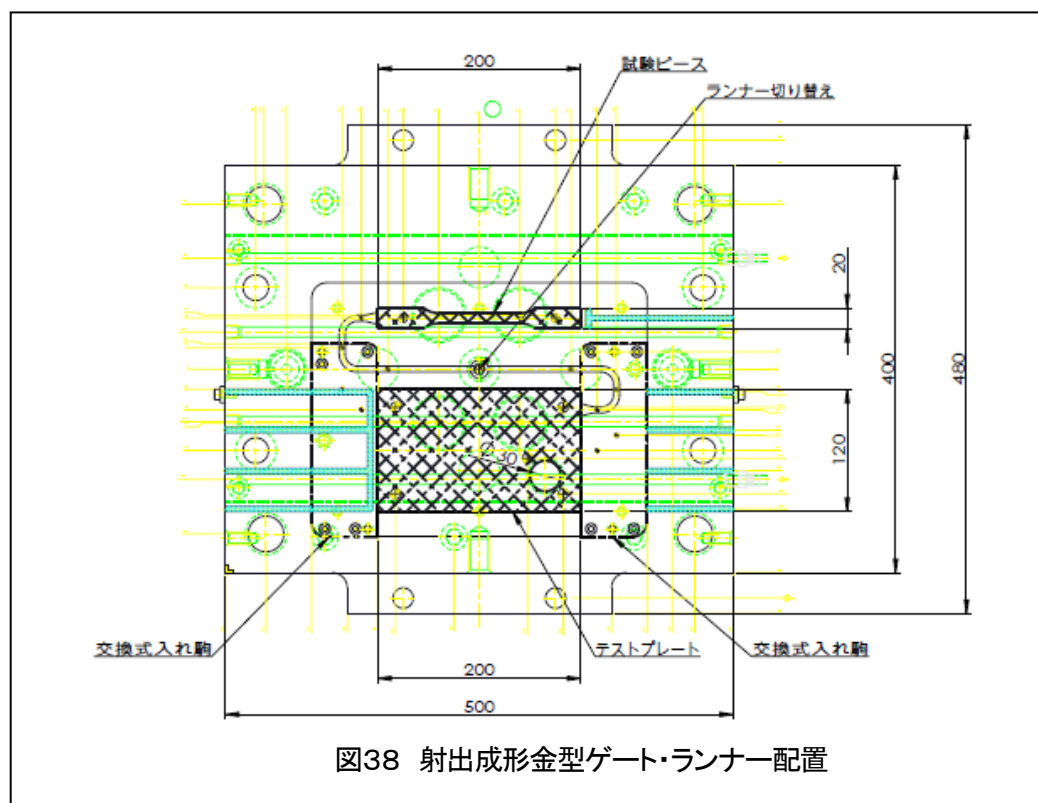


図38 射出成形金型ゲート・ランナー配置

ランナー、ゲートは樹脂の流動性と繊維の破断を抑制し配向性を考慮した寸法形状とした。
 図45のパターン1～4で流動解析を行い、樹脂の流動性、繊維配向性を検証した。

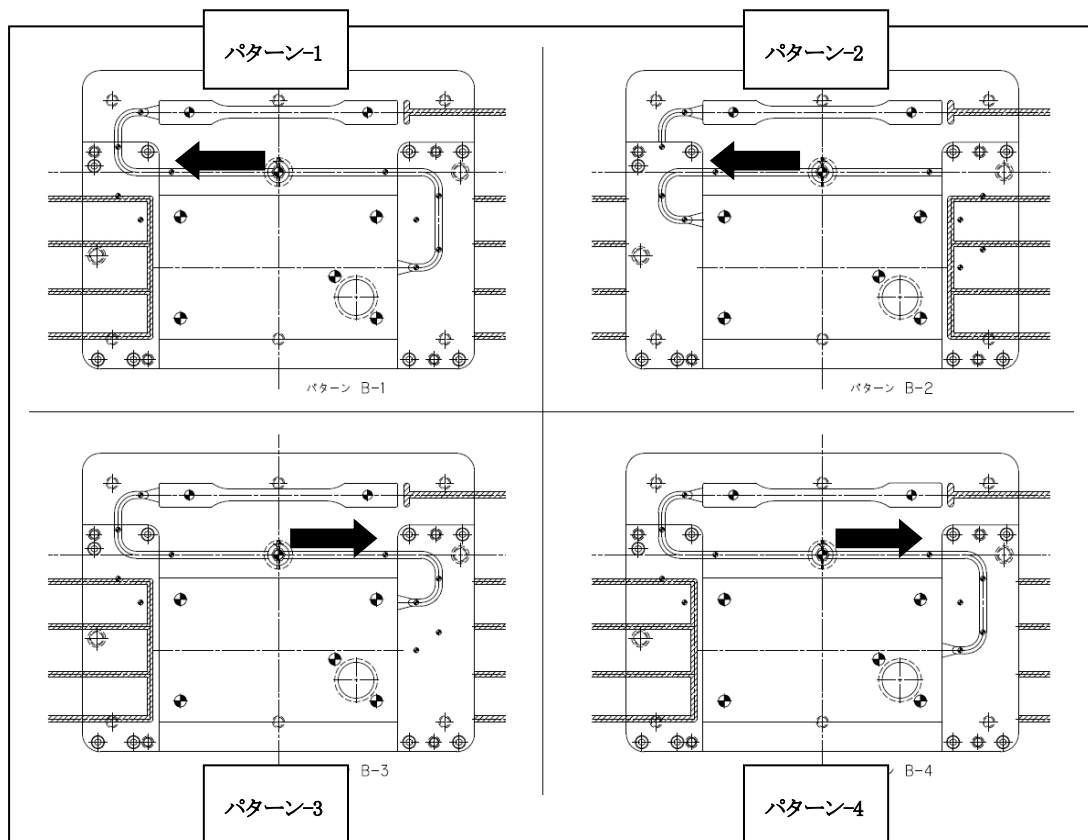


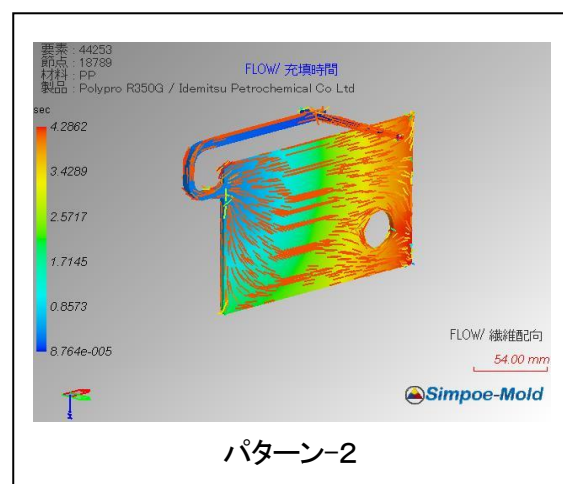
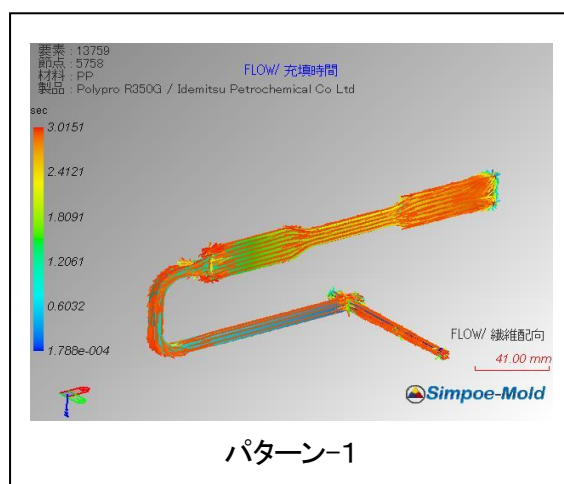
図39 射出成形金型ゲート・ランナーのパターン

2. 流動解析の結果

図39 のパターンでランナー、ゲートの形状、寸法は流動解析の結果、充填可能であることを確認した。

但し、流動解析に用いる樹脂特性データは、検討時点ではケナフ複合繊維材料は開発中でデータが無かった為、PP-GF30%のデータを代用した。

繊維配向性は、図40に示したように各パターンできれいな配向を示しており、ランナー、ゲート設計に無理がないことを確認した。



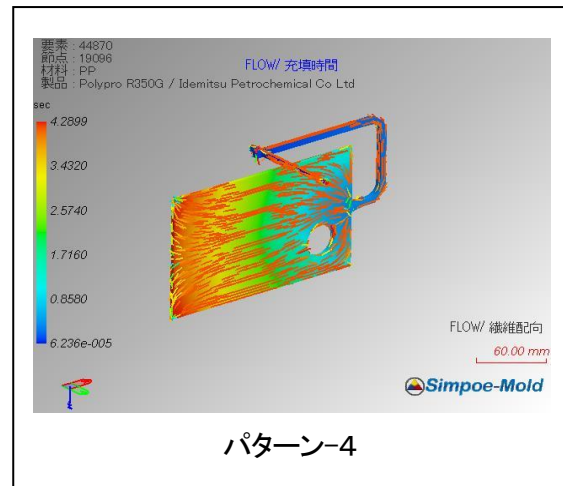
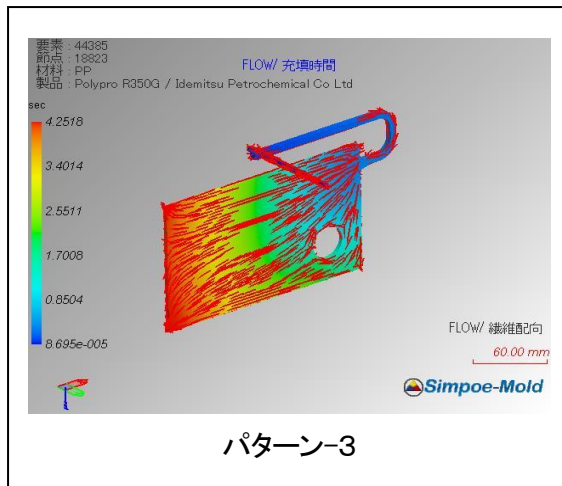


図40 流動解析結果

3. 射出成形金型

流動解析の結果を踏まえてランナー、ゲートおよびガス抜き対策を考慮した金型設計で金型を製作し、射出成形トライをした。それぞれを図41、図42、図43、図44に示す。

金型確認の成形トライで各パターンの形状確認を行い、設計通りであることを確認した。

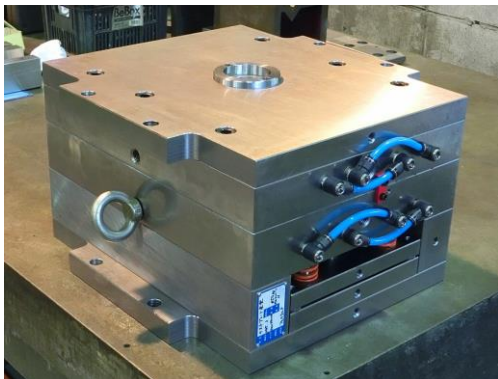


図41 射出成形金型

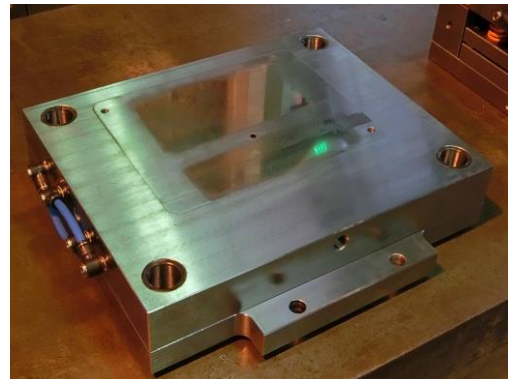


図42 射出成形金型(キャビティー側)



図43 射出成形用金型(コア側)



図44 射出成形トライ確認

【1-3-2】モデル成形品の射出成形試験、及び成形品の強度、形状評価試験

1. 射出成形試験

1-1 成形機 100t での成形

・仕様・条件

成形機：JSW100

金型：モデル金型

複合ペレット種類：ケナフ 20%配合 $\phi 5 \times 6 \text{mmL}$ ・・・改善効果確認ペレット

ケナフ 30%配合 $\phi 5 \times 10 \text{mmL}$

ケナフ 50%配合 $\phi 4 \times 10 \text{mmL}$

・ペレット形状

初回の試作複合ペレットは棒状($\phi 5 \times 10 \text{mmL}$)で表面肌が荒く、成形機の方法投入ホッパーで詰まる為、ケナフ 20%配合複合ペレットは形状寸法 $\phi 5 \times 6 \text{mmL}$ に変更した。材料投入は、ホッパーを外して直接投入口から入れた。ケナフ 20%配合複合ペレットは、落下するが、他の材料は途中で引っ掛け落下が不安定であった。材料形状と寸法の検討が必要である。

・材料乾燥

初期の試作複合ペレットでは材料の乾燥不足で木酢系の臭気ガスが発生。金型製品面にガスヤニが付着して1ショットごとに金型洗浄が必要であった。今回は箱型温風乾燥機で $85^{\circ}\text{C} \times 15 \text{Hr}$ で乾燥。臭気ガスの発生は大幅に減少、金型にガスヤニの付着は殆ど見られなかった。この材料の適正な乾燥条件は検討を要する。

・成形および形状評価

成形品は図45のとおりで、収縮率は表11のとおりとなった。

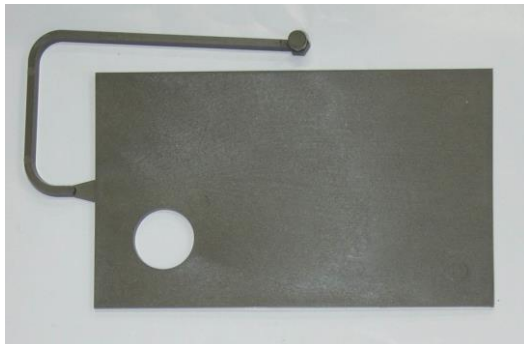


図45 モデル成形品

表11 各試料の収縮率

	ケナフ20%	ケナフ30%	ケナフ50%
	(広島企業製造)		(センター試作)
収縮率	1.65%	1.78%	1.95%

材料の焼け対策で成形温度は最高 195°C で設定。連続成形時には材料焼けは発生しなかったがシリンダー内での滞留時間が長くなると材料焼けを起こした。

成形性はケナフ配合比が少ないほど良好であった。

成形品の表面で 20%、30%配合品は、光沢面を維持していたが 50%配合では繊維が目立つ。成形品の収縮率は表11のとおり通常の PP と同程度で PE より低かった。そのため反り、ヒケは、どちらも良く抑えられた。

- ・まとめ

成形に関しては、十分な乾燥と適正な成形条件で成形できる事は確認できたが複合ペレット形状とサイズを改善しないと量産成形は難しい。また、今回は成形機のホッパーから直接原料を投入したが材料自動供給装置で使えるよう供給パイプ内での抵抗についても考慮する必要がある。

1-2 成形機 350t での実用品の成形

- ・仕様・条件

成形機：UBE PZ II 350・・・図46

金型：スレ防止パットⅡ（自社製品金型）

取り数：4個取り

ゲート：サイドゲート（ゲート寸法：3mm×5mm）

成形重量：371～378g/ショット

複合ペレット：ケナフ 20%配合 小判形状(3.5/5×5mmL)

ケナフ 30%配合 小判形状(3.5/5×5mmL)

- ・テスト目的

大型成形機での材料投入の確認および成形確認。

- ・複合ペレット形状

複合ペレットは小判形状(3.5/5×5mmL)で断面形状にばらつきがあったが成形機への材料投入は問題なく落下した。スクリーアの噛み込みも良好であった。このクラス以上の成形機であれば使用可能である。

- ・材料乾燥

(株)広島企業で乾燥された複合ペレットを使用。(107℃×2Hr)

臭気ガスの発生は少なく、金型へのガスヤニの付着は見られなかった。

十分に乾燥された材料であった。

- ・成形および形状評価

成形温度は最高 200℃でノズル先端温度は 190℃設定した。

成形品の形状がシンプルでランナー、ゲートに無理がなくケナフ複合材の成形に適していたことで良好な成形品が確保できた。・・・図47、図48

また、製品の取り出し機による自動運転にも支障がなかった。・・・図49、図50

- ・まとめ

使用した成形機は、Bタイプのスクリーアで射出容量が大きいシリンダーになっているので今回の通常よりかなり大型の複合ペレットでも噛み込みは良好であった。今回の複合ペレット形状、寸法であれば中型クラス以上の成形機で使用することは可能である。また、原料ペレットの乾燥を十分に行えば良好な成形品が作成できた。



図46 PZ II 350 成形機

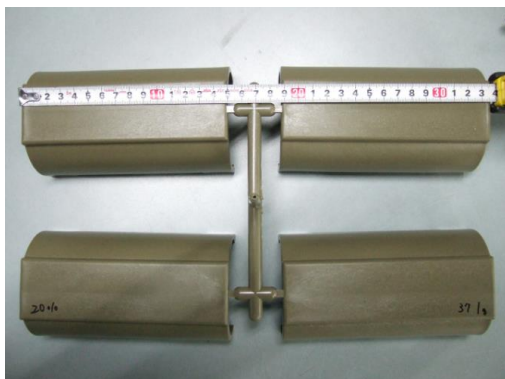


図47 成形品



図48 成形品



図49 製品取出し



図50 製品取出し

2. ケナフ複合繊維材料の物性測定データでの流動解析結果

2-1 ケナフ複合リサイクル原料の流動解析に必要な特性データの測定

25℃における熱伝導率と 35℃における比熱測定結果を表12及び表13に示す。

25℃における熱伝導率は、図51の熱伝導率計を使用して測定した。測定に使用した試験片作成には図52のホットプレスを使用して作成した。

35℃における比熱は、図53の示差走査熱量計で DSC を測定した結果（図54）から、 α -アルミナとの比較で計算して求めた。

表12 熱伝導率

熱伝導率	
W/m・K(25℃)	
1	0.2426
2	0.2398
3	0.2446
平均	0.242
偏差	0.002
参考:PP	
0.20	

表13 比熱

比熱 (J/g・K)	
(DSCにより測定)	
1.88	2.19
(35℃)	(50℃)
参考:PP	
1.7	(25℃)

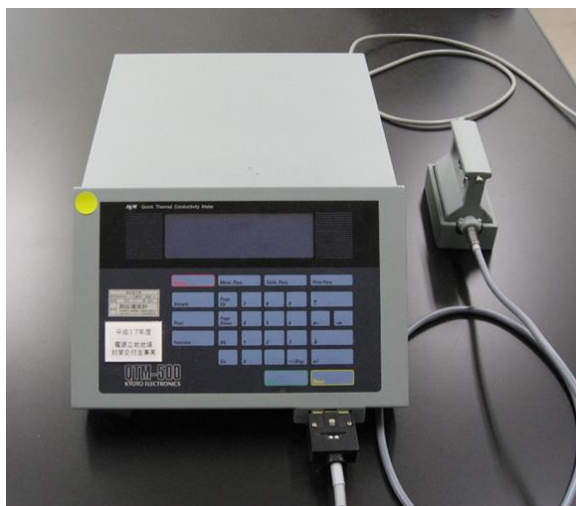


図51 熱伝導率計



図52 ホットプレス



図53 示差走査熱量計

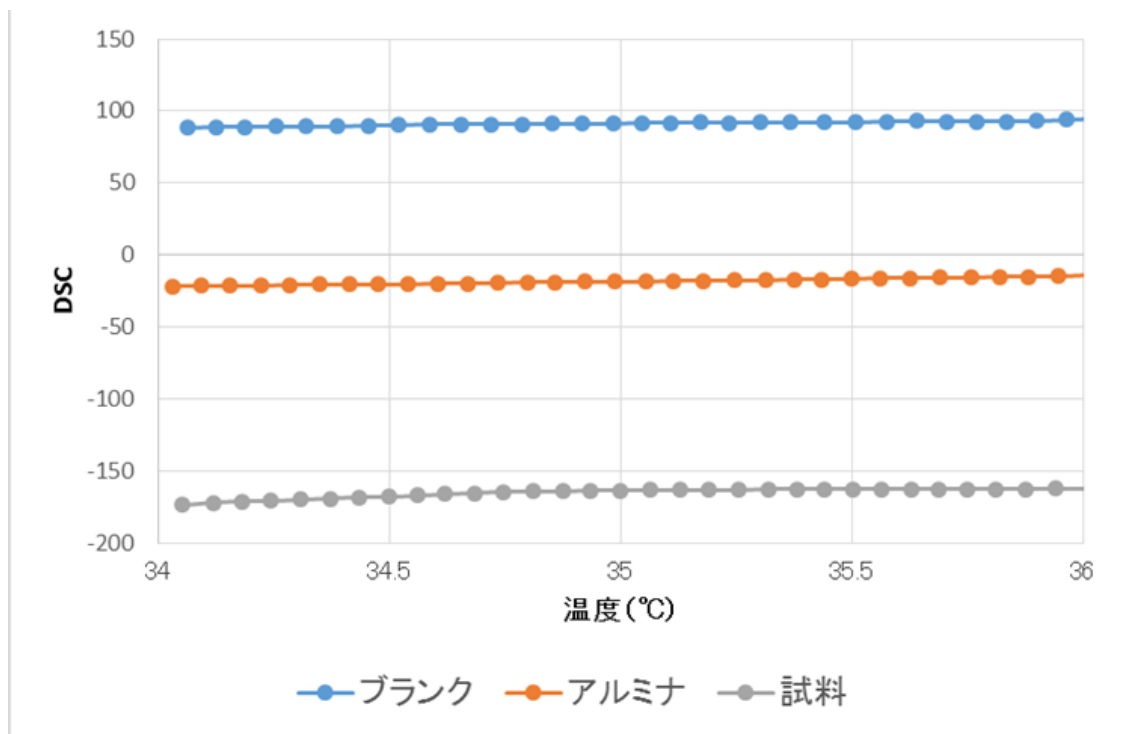


図53 35±1°Cにおけるケナフ複合材とアルミナの DSC

以下の 200°C熱伝導率、溶融粘度測定、PVT試験については(株)テラバイトに外注して実施した。

表14 200°Cにおける熱伝導率測定結果

試料名	測定温度[°C]	熱伝導率[W/(m・K)]
ケナフ天然繊維強化樹脂	200	0.119

※参考値：25°C …0.235W/(m・K)

表15 溶融粘度測定結果

試験速度 (mm/min)	剪断速度 (s ⁻¹)	溶融粘度(Pa・s)	
		180℃	200℃
0.5	6.08	3260	2800
1	12.2	2540	2080
2	24.3	1770	1590
5	60.8	1100	976
10	122	756	637
20	243	502	424
50	608	281	238
100	1220	181	152
200	2430	115	95.1
500	6080	63.8	50.9
1000	1200	40.3	30.4

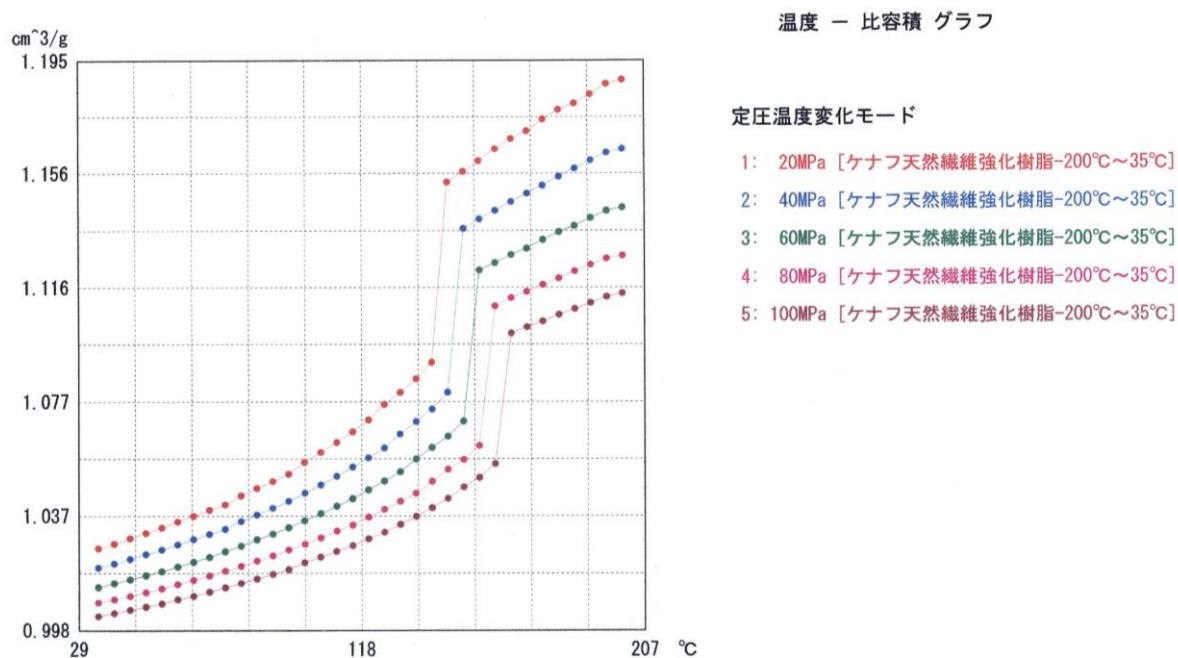


図54 圧力・比容積・温度特性測定結果

2-2 流動解析

モデル金型でのパターン 1～4 でケナフ複合繊維材料の前記の物性データを使用して流動解析をした結果は図55のとおり。充填、流動性、繊維配向に問題は見られなかった。
今後のケナフ複合繊維材料の流動解析に利用していくことができる。

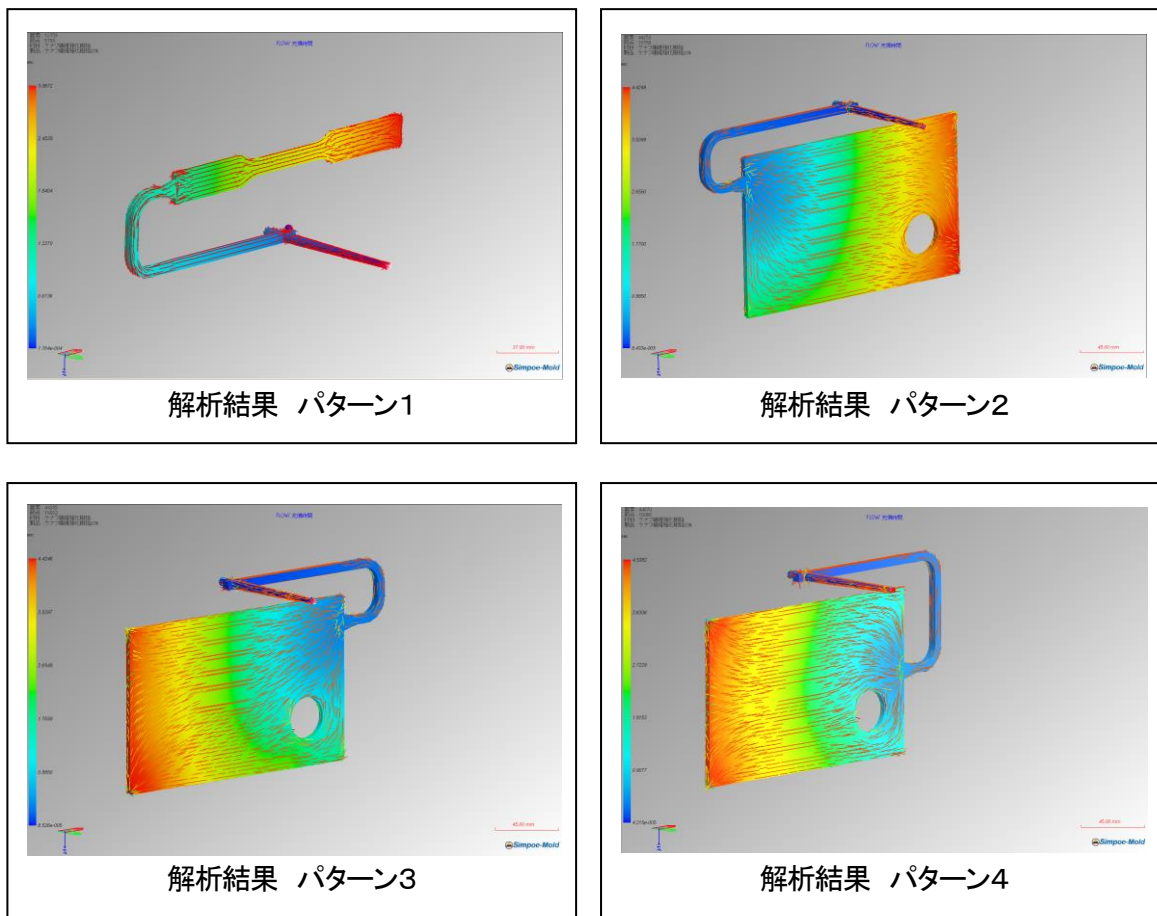


図55 流動解析結果

【2】繊維とマトリックスの接着強度を向上させ、流動性(成形性)の向上を図るためのマトリックス樹脂への添加剤の検討

試料の作成には図56の小型射出成形機のノズルからストランドを押出、それをカットしてペレット化し、そのペレットを使用し金型を装着した同成形機で試験片を作成して強度試験に供した。MPP は図57に示した化薬アクゾ製カヤブリッド 006PP を使用した。

なお、曲げ強度は JIS-K7171 により、引っ張り強度は JIS-K7162 の小型試験片 1BA を作成し JIS-K7161 により図58の万能試験機を使用して測定した。シャルピー衝撃強度は図59の衝撃試験機にシャルピー用の治具及びハンマーを装着して JIS-K7111 の 1 号試験片によりノッチ付きエッジワイズ法で測定した。



図56 小型射出成形機

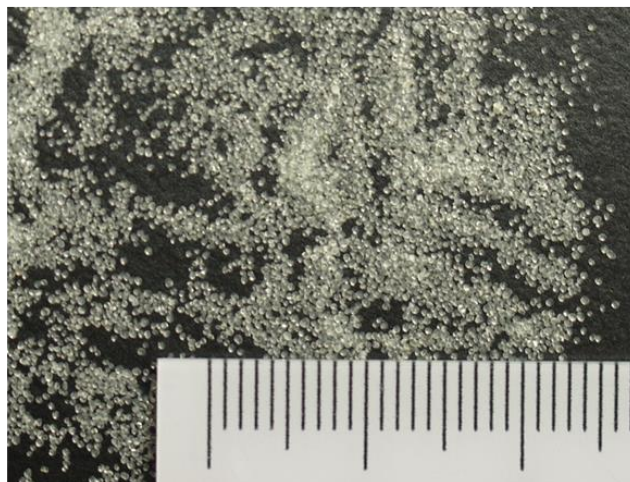


図57 化薬アクゾ製 MPP(微粒子状)



図58 万能試験機



図59 衝撃試験機

図60に示したように、強度向上のために繊維とマトリックス樹脂（PP+PE を主成分とする）との接着性を向上させるマレイン化ポリプロピレン（MPP）を使用してその効果を検討した。

また、MFI が低い容リプラの流動性改善については平成 26 年度の検討で、高流動性の PS では不十分だったため MFI=55 の PP 及び MFI=70 の PE の添加効果及び MPP も低分子化したものを使用することで MFI の向上効果についても検討した。

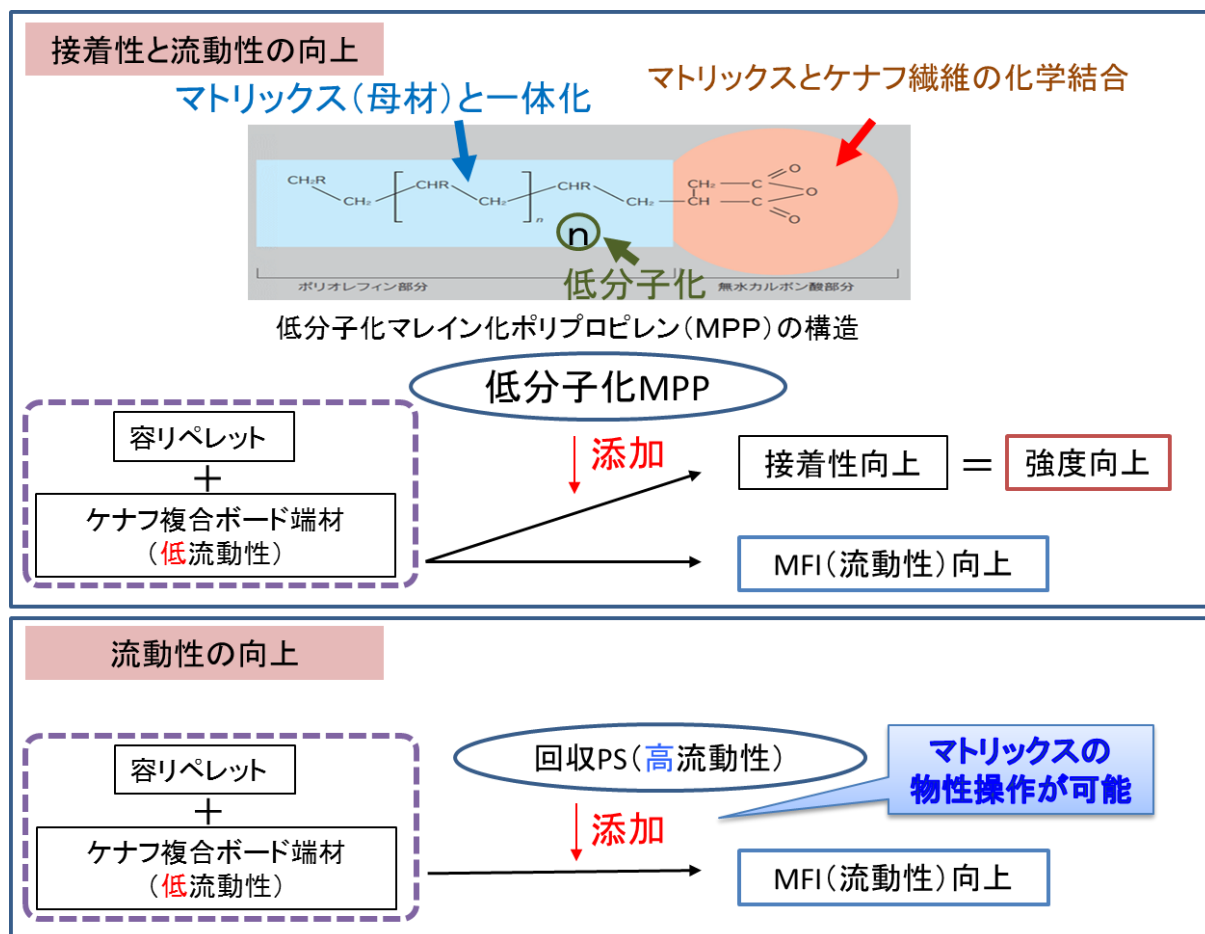


図60 接着性と流動性の向上のための原理図

【2-1】強度、衝撃強度における MPP の効果の検討

小型射出成形機を使用してペレットを作成する場合、1回混練では繊維と樹脂が十分混ざらず、強度が十分発現しなかった。そこで、1回混練して作成したペレットを再度混練してペレットを作成して強度等の試験に使用した。実際のペレット化には二軸混練押出機を使用するため、2回混練と同程度の混練ができると思われる。図61に示すように1回混練では繊維の塊が残存し内部で膨張しペレットの径が太くなっているが、2回混練すると繊維に樹脂が染み込み十分混練が進んでいることがわかる。



図61 1回混練押出によるペレットと2回混練押出によるペレット

2回混練することにより MPP を 2%添加した場合で曲げ強度は 12%、引っ張り強度は 13%向上した。本材料に高流動性 PP、PE を添加したところ特に PP で強度が大きく向上した。(曲げ=32%、引張り=34%)

これはカヤブリッドと PP の相性がいいためと思われる。

表16 MPP と高流動性 PP、PE 添加による強度における効果

	化薬アクゾMPP(カヤブリッド)使用					
	曲げ試験(MPa)		引張試験(MPa)		衝撃試験C	繊維含有率
	強度	弾性率	強度	弾性率	(kJ/m2)	(wt%)
MPP0%	33.0	2051	22.7	1617	5.9	23.0%
MPP2%	37.0	2075	25.7	1643	4.8	23.6%
MPP2%+PP(55)添	43.8	2577	30.4	1867	5.0	23.7%
MPP2%+PE(70)添	33.7	1957	23.3	1501	4.6	21.2%

【2-2】強度、衝撃強度における高 MFI 樹脂の配合等の効果の検討及び溶融粘度の低減

メルトフローインデックスの測定には図62のメルトインデクサーを使用して、PP の測定方法により測定した。最初に予定していた容りから回収した PS の添加効果では MFI が十分向上しなかったため、MFI が大きい PP と PE を添加して検討した。それと低分子化 MPP の効果と合わせて検討した結果を表17に示す。

その結果、低分子化 MPP と高流動樹脂の両方で効果は認められたが、MFI を 5 以上にするには至らなかった。

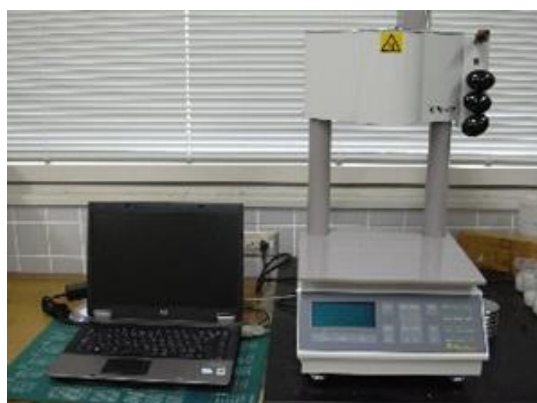


図62 メルトインデクサー

表17 MPP と高流動性 PP、PE 添加による流動性における効果

化薬アクゾMPP(カヤブリッド)使用				
MPP	高MFI樹脂	量	MFI	(g/10min)
0	無し	0	3.1	
2%	無し	0	3.7	
4%	無し	0	3.9	
2%	MFI55のPP	20%	4.4	
2%	MFI70のPE	20%	4.3	

表17より、PP の方が効果が大きいと考えられることと、PE が主成分で PP を含む容りそのまま (3~4) よりも容りから PP を主成分に分離した PP リッチ材料 (6.5) の方が MFI が大きい (表21の参考値参照) ため、マトリックス樹脂を PP リッチ材料とすることで MFI=5 以上にできると考えられた。

最後に【2-1】【2-2】の効果を合わせて目的とする高強度 PP の性能を目指し、表18のような配合について検討した。

その結果、表18に示したケナフ複合材組成のうち No.1 のケナフ複合材 50%、PP リッチ容り 20%、PP (MFI=55) 28%、MPP (カヤブリッド) 2%の配合で目標とする高強度 PP の性能を持

つ複合材料を製造することができた。この組成で MFI が 6.4 であるので PP (MFI=55) の使用量を更に減少させることも可能と思われるため、以下 No.3~5 の配合の試料を作成して強度等を測定した結果をまとめて表20に示す。また、参考として使用材料の特性について表21に示す。

その結果、MFI=55 の PP と MPP の量を減少すると MFI の低下が見られ No.3 以外は 5 以上にならなかったが、強度については殆ど同等であった。

ここで、ロックウェル硬度は図63のロックウェル硬度計を使用して測定した。



図 6 3 ロックウェル硬度計

表18 試験した複合材料組成

試料No	ケナフ複合材	PPリッチ容リ	PP(MFI55)	MPP(アクリ)
1	50%	20%	28%	2%
2	40%	30%	28%	2%
3	50%	30%	18%	2%
4	50%	48%	0%	2%
5	50%	49%	0%	1%

表19 高流動 PP を 28%使用した複合材料の特性

試料 No.	曲げ試験結果		引っ張り試験結果		衝撃強度	硬度	MFI	繊維含量
	強度(MPa)	弾性率	強度(MPa)	弾性率	(kJ/m ²)	HRR	(g/10min)	(実測)
1	53.3	3617	35.3	2493	4.2	98	6.4	27.7%
2	49.7	2955	33.4	2211	4.1	95	6.8	22.5%
目標値	43.0	1500	35		3.5	100	5.0	

表20 高流動 PP 使用量を減少した複合材料の特性

試料 No.	曲げ試験結果		引っ張り試験結果		衝撃強度	MFI	繊維含量
	強度(MPa)	弾性率	強度(MPa)	弾性率	(kJ/m ²)	(g/10min)	(実測)
3	51.2	3100	32.5	1993	4.6	5.0	29.2%
4	51.1	3346	33.4	2279	4.4	4.2	
5	50.6	3333	33.6	2380	4.7	3.5	

表21 使用した各成分の特性

※ 参考: PP(MFI=55)のみの成形体					
曲げ試験結果		引っ張り試験結果		衝撃強度	MFI
強度(MPa)	弾性率	強度(MPa)	弾性率	(kJ/m ²)	(g/10min)
33.6	1085	23.5	756	5.2	55
※ 参考: 普通の容リ(PE、PP混合)のみの成形体					
曲げ試験結果		引っ張り試験結果		衝撃強度	MFI
強度(MPa)	弾性率	強度(MPa)	弾性率	(kJ/m ²)	(g/10min)
18.2	528	19.6	304	7.7	3~4

※ PPリッチ容リ廃プラのみの成形体					
曲げ試験結果		引っ張り試験結果		衝撃強度	MFI
強度(MPa)	弾性率	強度(MPa)	弾性率	(kJ/m ²)	(g/10min)
31.2	997	24.8	809	6.4	6.5

【3】まとめ

原料であるケナフ複合ボード端材の破砕方法としてコスト面を考え1軸破砕機で破砕することにした。繊維長を保てる程度のスクリーンを使用すると長い破砕片や小片が多くなったため、45mm スクリーンと 35mm スクリーンの2段階で破砕すると良好な破砕片が得られることがわかった。

混練条件やダイヘッドの穴の数、配列等を検討した結果、ストランドが連続して出せ、長形の複合ペレットを製造することができた。しかし、繊維長はかなり短くなっていた。また、実際に小型の成形機のフィーダーに入れることを考えると 6mm 程度にする必要があった。

複合ペレット中の繊維長について検討したところ、ノズル直前の混練部ではかなり繊維長が長くノズルを出た時点では短くなることがわかったため、ノズルにテーパーを付けてスクリュウ回転速度も下げることで流速変化を抑えたと長く残すことができたため、さらなるノズル形状の検討により改善する見通しが立った。

実際の工場で射出成形試験を実施したところ、長さ 6mm の複合ペレットなら材料フィードに問題は無かった。ケナフ繊維を含むため水分やヤニの影響が考えられるが、事前に材料を乾燥することで良好な成形が可能であった。また成形品はケナフ複合ボード端材 30%までは表面の光沢も十分であり、ヒケやソリ等の不良も無かった。収縮率も通常の PP と同程度の 2%弱であった。

低分子化マレイン化 PP を 2%程度使用することにより強度が 10%以上向上し、MFI も向上することがわかった。またマトリックス樹脂を容リから PP リッチとなるように分取したものが強度向上と MFI 向上に繋がることがわかった。このことから、ケナフ複合ボード端材 50%、PP リッチ容リ 20%、MFI=55 の PP28%、MPP2%を混練した複合ペレットで目標とする高強度 PP の性能を達成することができた。