

平成 28 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

「非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術及び成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局 中部経済産業局  
補助事業者 サンコロナ小田株式会社  
株式会社すぎはら  
金沢工業大学  
石川県工業試験場

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-2 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 本論一

### 最終章 全体総括

## 第1章 研究開発の概要

軽量化と高付加価値を実現できる熱可塑性 CFRP について、これまで検討してきた炭素繊維拡織技術を用いて、樹脂を含浸させ厚みを制御した薄層樹脂含浸テープ（薄層テープ）を短冊状に切断し、ランダム配置・積層する連続製造技術を検討し、スタンパブルシート化技術を確立することで、賦形性が良く、力学的特性に優れた熱可塑性 CFRP 中間材料（非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート）の製造技術及び成形技術の開発を行う。

本研究で検討する「非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート」とは、炭素繊維を切断して樹脂に含浸させ、方向性が発現しない様に、ランダム（無配向）に並べて作製したシートを指す。

従来技術	新技術
<p>○非連続のランダムシート製造技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プレス機を用いたパッチ式製造</li> <li>・樹脂と繊維の均質一体化させ、脱気しながらプレス圧を掛け、加工時間が掛る製造工程</li> <li>・厚い繊維束、テープ片を用いたシート製造技術</li> </ul>	<p>○薄層テープを用いた高賦形性の非連続炭素繊維熱可塑性樹脂シート製造技術</p> <p>&lt;薄層テープ&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・100<math>\mu</math>m以下の薄層で、樹脂と繊維が均質に分散し含浸され、低ポイドで、厚み変動が少なく、高品質である</li> </ul> <p>→ このテープを用いて、非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを連続製造する</p>
<p><u>課題</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 厚い基材（繊維束）の為、一定厚での積層数が少なくなり、等方性に成り難く、成形品の<b>設計強度が低い</b></li> <li>② 樹脂と繊維が均質に含浸されていないため、ポイドが残存し易く、<b>成形工程での十分な脱気処理が必要</b></li> <li>③ シート化する際の高圧プレス工程で、樹脂の流動により、炭素繊維が屈曲しやすく、設計強度が発現せずに、<b>物性のバラつきが生じる</b></li> </ol>	<p><u>非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートの効果</u></p> <p>従来技術の課題を解決し、CFRP の量産性に優れたシートを提供する</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 厚み方向の積層が増え、<b>等方性が高く、高強度</b></li> <li>② <b>低ポイド</b>により、<b>高品質の成形品</b>が製造可能</li> <li>③ 予め樹脂含浸させることでプレス成形条件が<b>低圧化</b></li> </ol> <p>&lt;新規機能&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>④ 高い賦形性により、<b>複雑な形状の成形品</b>を製造</li> <li>⑤ 薄いテープを使用することで、薄肉 CFRP 製品ができる</li> <li>⑥ 連続シート製造により、長尺成形品が製造できる</li> </ol>
<p><u>厚い基材</u></p>  <p>曲げ</p>	<p><u>薄い基材</u></p>  <p>曲げ</p>

### ○新技術を実現するために解決すべき研究課題

- ・高速・定長テープ片製造技術
- ・ランダム配向、一定嵩積層技術
- ・ランダムシート基礎設計の確立
- ・連続プレス装置を用いた非連続炭素繊維強化等方性シート連続量産技術
- ・開発シートのプレス成形による立体成形技術の確立と実用化

## 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

### (1) 研究開発の背景

近年、環境問題に対する意識が高まり、省エネルギー社会が求められている。その中で、自動車等移動体の燃費向上や、電気自動車等の技術開発で省エネルギー化とCO<sub>2</sub>の排出削減の技術開発が進められている。この燃費向上とCO<sub>2</sub>排出低減を実現する方法として、車両の軽量化が求められている。また、スマートフォン・タブレット等のIT機器の軽量化・薄肉化が求められ、従来の重い金属材料から、軽いCFRPを採用することで軽量化が期待されている。

自動車部品やIT機器の製造工程において、加工する材料がCFRPに替わることによって、マテリアルハンドル（材料取扱い）での重量負荷軽減、加工製造条件の低減化が望め、製造工程まで含めたLCA（ライフサイクルアセスメント）での影響が低減できるものと推察される。

#### (現状と課題)

CFRP成形品は、用途に応じて繊維配向や積層を工夫することで自在な強度設計が可能であり、金属と比較して比重が軽いため、軽



複合材料による軽量化の効果  
自動車：燃費向上、エネルギー有効利用  
IT端末：持ち運びに便利、学校等での利用促進



市場ニーズ  
・プレス成形で成形品を高速で製造したい  
自動車用途…1台/分  
・安価な材料が欲しい

図1 CFRPを用いた軽量化ニーズ

量化材料として金属の代替として有望視されている。特に自動車部品製造メーカー（株式会社すぎはら）では、自動車の燃費向上や自動車製造工程の簡略化・低エネルギー化に対して、部品軽量化のニーズが高く、軽量で高強度のCFRPへの期待が大きい。

これまでCFRPは、マトリックス樹脂に熱硬化性樹脂を用いた熱硬化性CFRPが主流である。この熱硬化性CFRPは、耐熱性、力学特性に優れるものの、樹脂の硬化に時間を要している。CFRPを金属の代替材料として実用化するには、金属と同様に生産性の高い加工方法で成形できることが求められており、量産化に向けたマトリックス樹脂に熱可塑性樹脂を用いた熱可塑性CFRPが注目されている。熱可塑性樹脂は、熱を加えると容易に熔融し、冷やすと固まる性質から、熱可塑性CFRPは、短い時間で成形加工できるプレス成形に対応した素材として期待されている。

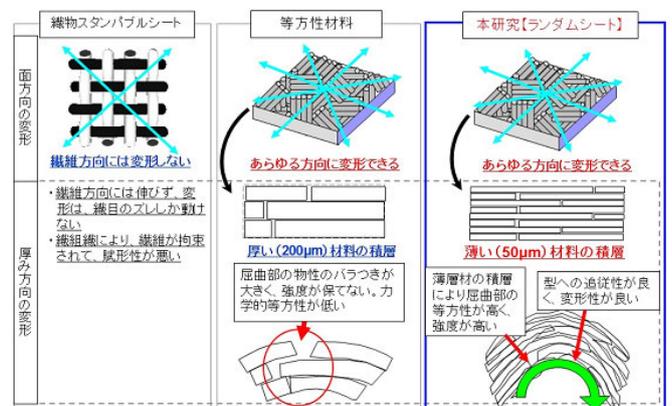
また、プレス成形は、金属材料のように賦形性が良く、力学的等方性を有す材料を

使用することで、量産化が可能となり、安価な部品等の製造方法として広く用いられている。現在、熱可塑性 CFRP はこのプレス成形加工技術により量産化を実現するため、CFRP 中間材料（スタンパブルシート）が開発されており、欧州では商品化されたものも存在する。しかし、プレス成形加工での問題として、連続した炭素繊維を用いた CFRP は炭素繊維が伸びないため、賦形性に乏しいため、複雑形状の成形品等の広い用途に展開するには、課題が多い。

金属と同様なプレス成形で立体成形するには、スタンパブルシートの構造を等方化する必要がある。これまでの研究では、平成 20 年度から実施された NEDO（エネルギーイノベーションプログラム・ナ

ノテク・部材イノベーションプログラム）の「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」で等方性 CFRTP 中間基材が提案されている。この材料の製造方法は、テープ形状にした繊維束に樹脂を含浸した後、厚み 100~300 μm のテープを任意の長さに裁断し、ランダム配向に敷

表 1. 従来材料と新規材料の違い



き詰め、加圧・熱処理によりシート化して製造する。ただし、この開発で検討されたシートは、基材のもととなるテープが厚いため、表 1 の真ん中に示すように立体成形で十分な強度が保ちにくいと考えられ、積層するテープの厚みを十分に検討する必要がある。また、NEDO 研究の中で、物性目標を曲げ強度 400MPa とし検討し、平成 24 年度の報告では 350MPa を達成しているが、十分な物性が発現していない。

この状況で当社において、炭素繊維の  
 拡織テープの開発に着手した。当社は、繊維業界で、繊細な糸の加工技術を長年に渡り開発し、糸加工を実業として行ってきた。この糸加工技術から炭素繊維やアラミド繊維等の高強度繊維加工技術の開発・検討を行い、既存の繊維加工技術を活かして炭素繊維を薄く拡げる拡織テープ製造技術を開発した。更に、この技術を基礎とし、平成 24 年いしかわ次世代産業創造ファンド助成事業の補助金を受け、拡織した炭素繊維テープに、熱可塑性樹脂を含浸した薄層テープの製造技術を検討し、テープ厚み 100 μm 以下の低ボイドの樹脂と繊維が均質に分散した薄層テープを開発した。この

テープは、薄層で、樹脂と繊維が均質に分散・含浸されており、低ボイドで厚み変動が少なく高品位である。このテープを用いて、熱可塑性 CFRP 成形すると、繊維・樹脂積層構造の緻密化し、且つ予め低ボイドで樹脂含浸されているため、加工時に強圧を掛けて脱気処理することが不要であり、繊維の直線性を乱すことなく成形品を製造でき、高強度・高品位の熱可塑性 CFRP を製造可能である。更に厚み 50 $\mu$ m を目標として、技術検討を進めており、この製造方法の特許を出願した。

このテープの特性を活かした熱可塑性 CFRP 中間材料開発を目標とし、非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートの基礎検討を平成 25 年度いしかわ次世代産業創造ファンド助成事業の補助を受け実施した。その結果、使用するテープ幅と長さにより、シート物性の制御が可能であり、曲げ強度を最大で 600MPa のシートを試作した。併せて、シートの材料構成と成形性評価を検討している。

本研究では、この非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート製造技術を検討し、高賦形性中間材料の連続製造装置及び成形技術の開発を行う。本研究の検討において、薄層テープを用い、①テープ切断技術の開発、②ランダム配向技術の開発、③積層技術の開発により非連続炭素繊維強化等方性シートの製造技術を確立し、さらに④成形品の試作検討を実施する。

## (2) 研究目標

### 高度化目標

Ⅰ 複合材料の成形技術の向上

高賦形性を有する非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術の開発及び成形技術の開発を行う。

本研究シートの物性目標値：曲げ強度 800MPa、弾性率 40GPa、CV 値 10%以内

等方性の指標を、シート曲げ強度で評価し、シート内の任意の方向で切り出した試験片の曲げ強度の CV 値を 10%以内とする。

## (3) 研究開発項目

<各検討項目目標値>

【1】非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続量産装置の開発

- 【1-1】連続テープ切断装置の開発
  - 多条挿入装置、細幅裁断装置、テープ片連続切断技術の検討
  - 技術目標値：幅精度±1 mm以内、長さ±0.5 mm以内、切断速度 120 回/分以上
- 【1-2】連続ランダム配向装置の開発
  - 連続ランダム配向積層技術の確立
- 【1-3】均一厚み積層装置の開発
  - 積層嵩の一定化技術の確立
  - 技術目標値：端部、中央部の積層嵩変動±10%以内
- 【2】非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立
  - 【2-1】プレス成形技術の検討
    - 力学物性（曲げ、弾性率、CV 値）、金型を用いた成形性評価、成形技術の検討
  - 【2-2】後加工性評価、加工技術の確立
    - 後加工（切断、接合、穴あけ）性評価、後加工技術検討
  - 【2-3】非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立
    - 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の検討
- 【3】非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術の開発
  - 【3-1】連続プレス装置を用いた非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続製造技術の開発
    - 連続プレス装置を用いた製造技術の確立
    - 技術目標値：幅 500mm、1000 mm、厚み 0.6、1.0、2.0 mm、厚み公差±0.03 mm、加工速度 1.0m/min
  - 【3-2】連続プレス装置を用いた非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続生産連続プレス装置での長尺シート試作
- 【4】成形性、実用性評価
  - 【4-1】立体賦形性の検討
    - 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを用いたプレス成型の成形性評価、物性評価を実施
  - 【4-2】実用性検討

成形品を用いた自動車向けプレス部品性能評価を実施し、従来品との比較により実用性の評価を実施

#### 【4-3】量産性検討

非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを用いたプレス部品の量産技術の確立

### 1-3 成果概要

平成 28 年度は、量産条件下での等方性シート製造技術・品質検証、ハイサイクル成形（スタンピング）での材料加工・実用成形品（自動車用アンダーカバー）を用いた実用性検討を進めた。

シート連続製造装置開発では、連続カット・散布装置を検討し、連続カット速度目標値の10倍の加工速度と精度を達成した。テープ積層精度が材料物性に影響する事から、散布機構を用いたテープ積層方法を検討し、試験機導入に至った。積層条件により、引張り物性で目標値とした等方性を立証し、製造装置の確立に至った。達成度は、95%である。

連続プレス機を用いたシート連続生産技術検討では、連続プレス機を用いて、幅 540 mm×長 1500 mm・厚 0.8~2.0 mmのシートを、材料の大きな流動無く製造する条件を見出し、シート試作に至った。目標速度に対しては、現状装置を用い、材料段階で重合を進める方法を検討したが、樹脂加工に課題があり、高速・広幅連続プレス装置設計を行った。達成度は、90%である。事業化に於ける段階では、本検討結果より得た技術・知見から連続プレス装置よりもバッチプレス方式を採用し、製造する技術開発を並行して進めるとし、本研究期間中に大型シート製造技術確立に至った。

シート成形技術開発では、シートを用いた材料成形性を検証し、アンダーカバー成形品を試作した。曲げ特性(強度・剛性)、耐熱性、取付部強度の測定を行い、現状の材料に対して軽量で高剛性である特長が確認できた。但し自動車部品として耐熱性が大きく劣っている為、材料側の対応として樹脂耐熱性向上、使用側の対応として耐熱が不要な部分への適用又は材料の複合化等の対策が必要である事が分かった。達成度は85%である。

等方性シート設計については、材料の成形による物性への影響を解析し、ロボット搬送装置を用いたスタンピング成形における材料物性への影響解析を実施し、成形に求められる材料仕様の課題洗出しが出来た。シートの切削・穴あけ加工性を検討し、適正な工具を選定する事で加工できる事を確認した。当初目標に対する達成度は、90%である。

市場検討では、ユーザーに紹介し、用途の要求特性と評価項目を調査した結果、ハイサイクル成形での賦形性に評価があり、サンプルの提供・ユーザーでの評価開始に繋がった。

全体として、当初目標の等方性シートの連続製造技術を確立し、当初想定通りアンダーカバー成形品の実用性評価検証を進める事が出来た。成形における材料物性への影響解析結果から本研究開発内容を踏まえ材料のエンジニアリングシートの作成に至り、ユーザーへのデータ提示・より詳細な技術・材料設計検証が進められ、概ね計画通り、開発を遂行できた。

本研究における全体達成度 90%

各テーマにおける達成度を下記に示す。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

サンコロナ小田株式会社 (PL)

新規事業開発部 部長 小田 宗一郎

TEL. 0761-43-2268

E-mail. s-oda@sunoda.co.jp

## 第2章 本論一（1）

### 1. 補助事業の具体的内容

#### （1）補助事業の具体的内容

##### （1－1）非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続量産装置の開発（連続テープ切断装置の開発）

シート製造における量産性に優れる連続カット・散布装置を検討した。27年度までの実施結果を踏まえ、切断性・操作性からカッター装置を導入し、連続カット性・カット速度を検討した。

###### ① カッター装置による連続テープ片製造試験

##### （1－2）非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続量産装置の開発（連続ランダム配向装置の開発）

テープ散布時のテープ積層精度が材料物性に大きく影響する事から、散布機構を用いて、テープ積層方法を検討した。散布条件によるシート物性への影響を検証し、引張り物性で等方性・バラつきの評価を実施した。

###### ① 散布方法による物性への影響解析

###### ② 装置設計

##### （1－3）非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続量産装置の開発（均一厚み積層装置の開発）

平成28年度は、（1－2）実施と合わせて実施した。

##### （2－1）非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立（プレス成形技術の検討）

平成28年度は、（3－2）で試作したシートを用いて、等方性の検証を実施し、（1－2）検討で、連続シート製造における散布・積層技術による物性への影響を評価した。

###### ① （3－2）連続シートの等方性評価、課題洗い出し

###### ② ①課題に対する（1－2）散布・積層による課題解決方法検証

(2-2) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立（後加工性評価、加工技術の確立）

平成28年度は、シートの切削加工性を評価し、適正工具の検討を実施した、

- ① ドリルの加工性耐久評価
- ② ミーリングによるトリミング加工（切断加工）の加工性

(2-3) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立（シート基礎設計検討）

等方性シート基礎設計の検討を行うとし、平成28年度は、ターゲットとした部品特性に対するテープ繊維長・樹脂仕様の選定を行った。

- ① 要求特性に対する等方性シート構成材料繊維長の検証
- ② 高耐タイプ樹脂の選定及び高耐熱タイプ樹脂の適応検討

(3-1) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術の開発（連続製造（基本）技術の開発）

連続プレス装置を用いた積層・加圧・加熱・冷却処理条件を検討し、シート化する技術を検討する。平成28年度は、(3-2) 連続シート生産技術検証と合わせて実施した。

(3-2) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術の開発（連続生産（量産）技術の開発）

連続プレス装置を用いて、大型・長尺非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを試作し非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術を検討する。平成28年度は、(1-2)(1-3) 装置を用いて、連続シート製造技術を検討した。

- ① 連続プレス装置を用いたシート製造検討

(4-1) 立体賦形性の検討

非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを用いたプレス成型の成形性評価、物性評価の実施

非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを用いたプレス成型の成形性評価、物性評価を実施した。平成26年度に導入したアンダーカバー型を改造し、試作メーカーにてアンダーカバー成形品を製作した。また本年度導入したアンダーカバー型(小型)にて成形検証を行なった。

#### (4-2) 実用性検討

成形品を用いた自動車向けプレス部品性能評価を実施し、従来品との比較により実用性評価の実施

自動車向けプレス部品(アンダーカバー)としての性能評価を、従来材料との比較により行い、実用性を評価した。

#### (4-3) 量産性検討

非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを用いたプレス部品の量産技術の確立

非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを用いたプレス部品の量産条件を検討し、材料の加熱/冷却/搬送方式の選定及び設備の検討を実施した。

## 2. 補助事業の成果及びその効果

### (1-1) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート連続量産装置の開発(連続テープ切断装置の開発)

【技術目標値】： 幅精度±1mm以内、

長さ±0.5mm以内、

シート製造における量産性に優れる連続カット・散布装置を検討した。27年度までの実施結果を踏まえ、切断性・操作性から新規カッター装置を導入し、連続カット性・カット速度を検討した。

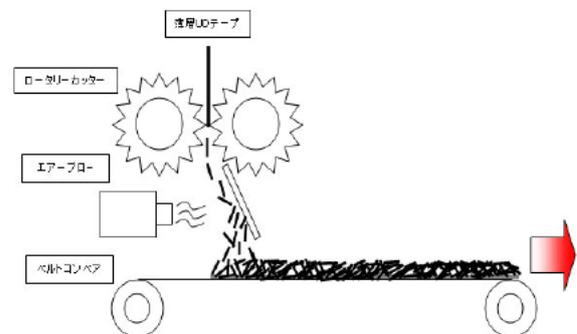


図1-1-1. カッター装置モデル

【方法】

上記設備を用いて、連続カット性を検証した。カット速度を当初想定速度A、1

高速化条件（Aの 10 倍）の2条件とする。Vf40%で製造したテープを10分間連続カットし、その内 1,000 枚を任意で抽出した。150mm定規を用いて 1 mm 単位で寸法を測り、テープ長を測定した。

【結果】

旧装置では、連続カット速度目標値（想定速度A）を達成したが、繊維長精度のバラつきが大きく、新規導入装置の 8 倍であった。新規装置により、指定速度の 10 倍の高速化技術を確立した。

### ランダム配向積層技術の確立

テープ散布時のテープ積層精度が材料物性に大きく影響する事から、散布機構を用いて、テープ積層方法を検討した。散布条件によるシート物性への影響を検証し、引張り物性で等方性・バラつきの評価を実施した。

- ① 散布方法による物性への影響解析
- ② 装置設計

【結果】

テープ積層精度により材料物性に影響する事がわかり、散布機構を用いた、テープ積層方法を検討した。

その結果、散布機構・装置を設計し、試験機の導入に至った。連続プレス装置との連動については、連続散布により課題解決が出来る見込みとなった。

### （2-1）非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立（プレス成形技術の検討）

【技術目標】： 等方性シート基礎設計の確立

平成28年度は、（3-2）で試作したシートを用いて、等方性の検証を実施し、（1-2）検討で、連続シート製造における散布・積層技術による物性への影響を評価した。新たな課題として（3-2）検討の結果、分子量のバラつきが発生したことから、テープ製造条件の解析を実施し、テープ製造における適正条件の検討を実施した。

- ① （3-2）連続シートの等方性評価、課題洗い出し
- ② ①課題に対する（1-2）散布・積層による課題解決方法検証

(1-2) 検討結果で既報。

【方法】

① (3-2) 連続シートの等方性評価、課題洗い出し

(3-2) で試作したシートの等方性評価を実施した。連続プレス装置にて試作したシートを用いて、引張り物性による等方性評価を実施した。試験片の抜き取りを、従来の0°/90° に、45°/135° を追加し実施した。

①-ア テープ製造条件の解析

- ・テープ製造時の重合炉内温度バラツキの測定

炉内の温度を、0.75m の熱電対 (φ1.2) を用いて、1.5m の重合炉内の温度分布を測定した。測定位置は、テープ製造ラインが3条である事から、各テープ位置で測定した。

- ・分子量への影響評価

上記炉内温度測定結果から、ゲル濾過クロマトグラフィー装置 (GPC/SEC) にて、分子量評価を実施した。抽出液を THF で抽出し評価を行った。

①-イ 材料の繊維長バラツキによる物性への影響

シート製造に用いる材料による物性への影響を解析した。ASTM-D790 にて曲げ物性を評価し、(1-2) 報告カッター装置を用いたシート及び旧装置で製造したテープ片 (テープ幅方向の割れが発生しているテープ/発生の無いテープ) で評価を実施した。

② ①課題に対する (1-2) 散布・積層による課題解決方法検証

(1-2) 検討結果で報告した。

【結果】

① (3-2) 連続シートの等方性評価、課題洗い出し

評価の結果、0/45/90/135° とともに物性は大きな差が無い事を確認した。目標とした等方性指標に対しては、本結果に於いては未達であった。

①-ア テープ製造条件の解析

- テープ製造時の重合炉内温度バラツキの測定
- 分子量への影響評価

結果として、重合炉内の温度分布により、テープ樹脂分子量にバラツキが発生していた。バラツキの発生原因は、熱炉内の加温と炉内保温性に差があり、バラツキが発生した。これに対して、新規装置を導入し再度評価を実施した。その結果、炉内温度が均一化した結果、分子量が安定化し、製造条件により制御できる事を確認した。

#### ①ーイ 材料の繊維長バラツキによる物性への影響

テープ片の割れによるバラツキの発生は無い事が分かり、(1-2) 検討結果によるテープ長精度により、シート物性の安定化と製品製造における製造条件を確立した。

#### (2-1) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート成形性評価

シート成形性の評価を実施した。下図に示すシート加熱機及び材料搬送多関節ロボットを使用して、シートを加熱し樹脂溶融した状態で図7に示す 200 トン油圧プレス機の金型に配置した。ここで、シートは不連続なテープ積層構造からなるため加熱時にテープ積層構造を乱さない把持機構を工夫した。そして直ちにプレス荷重による樹脂フロー繊維移動で形状成形を実施した。ここで金型は下図に示す平板金型及び BOX 形状賦形金型を用いた。



図2-1-1. シート加熱機及び材料搬送ロボット      図2-1-2. 200トン油圧プレス機

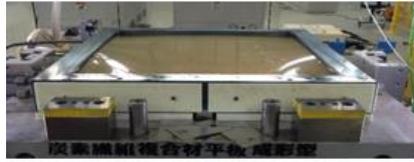


図 2-1-3. 平板金型（左）、BOX 形状賦形型（右）

図 2-1-4 には DMA を用いた曲げモードでの動的粘弾性の評価結果を示す。本結果から樹脂粘弾性を把握しプレス条件の設定に生かした。

プレス条件はシート加熱温度、プレス荷重を各々変化させて、プレス成形性（樹脂フローの状態）への影響を試験評価した。

図 2-1-5 には異なるプレス条件での平板金型成形前後のシート厚さ測定結果を示す。ここで成形後の厚みの減少分が樹脂フロー性を示しており、プレス条件により本シートが高いフロー性があることを示す。

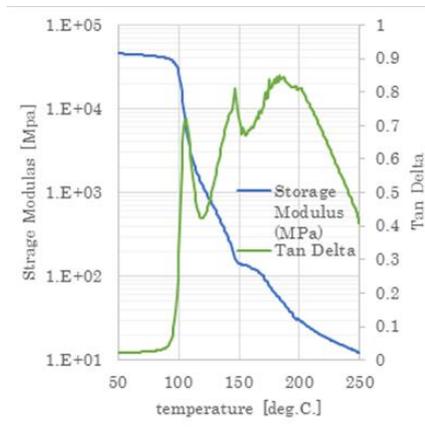


図 2-1-4. 動的粘弾性評価結果

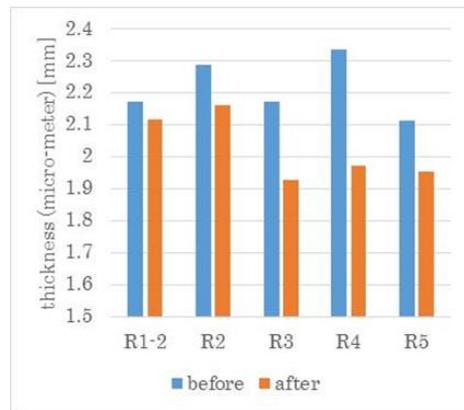


図 2-1-5. 平板金型成形前後のシート厚さ結果

図 2-1-6 には BOX 形状賦形金型を用いて成形した成形品写真を示す。ここではプレス条件の一つの例の結果として、シート加熱 250°C、プレス荷重 8MPa の場合を示した。型温を 150°C にしてプレス後冷却工程を含むヒート&クール成形では樹脂フローが十分な結果が得られた。一方、型温を 90°C にしてスタンピング成形した場合は樹脂フロー不十分で大きなプレス荷重が必要であった。

以上、本プレス成形システムを用いて本シートの搬送ロボットを用いたスタンピング成

形での材料流動による成形性について解析とデータ化を進めることができた。



図2-1-6. BOX形状賦形金型成形品（左：H&C成形、右：スタンピング成形）

(2-2) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立（後加工性評価、加工技術の確立）

### 2-2-1. ドリルの加工性耐久評価

本節では、ドリル加工の性能試験結果において加工性状が良好であったドリルについて、加工数500穴までの加工試験を行い、加工性状、工具摩耗の観察、及び切削抵抗の推移を評価した。

#### ①. 工具種類

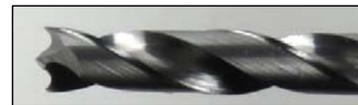
ドリル工具は図2-2-1に示す3種類のドリルを加工試験に供した。(a)は金属加工用の標準形ツイストドリルである。(b)は熱硬化性CFRP用の工具として開発されたダイヤモンドタイプのダブルアングルドリルである。また、(c)はFRP用ドリルとして用いられているロウソク形ドリルであり、これについてはノンコートタイプである。工具直径はいずれも約5mmである。



(a) 標準形ツイストドリル



(b) ダブルアングルドリル



(c) ロウソク形ドリル

図2-2-1.加工試験に供したドリル工具

#### ②. 加工試験および測定方法

表2-2-1に加工試験におけるドリル加工条件を示す。

試験に供した材料は板厚3mmとした。加工条件は、これまでの試験の標準試験条件として、切削速度を80m/min、送り量を0.04 mm/rev、加工雰囲気は乾式とした。

ドリル加工は図2-2-2に示すようにマシニングセンタによる連続加工を行った。  
加工穴数は500までとし、1穴目とそれ以降は100穴ごとに工具切れ刃と加工穴の

表2-2-1. ドリル加工条件

CFRP板厚	3 mm
加工穴径	f 5 mm
切削速度	80 m/min
送り量	0.04 mm/rev
加工雰囲気	Dry



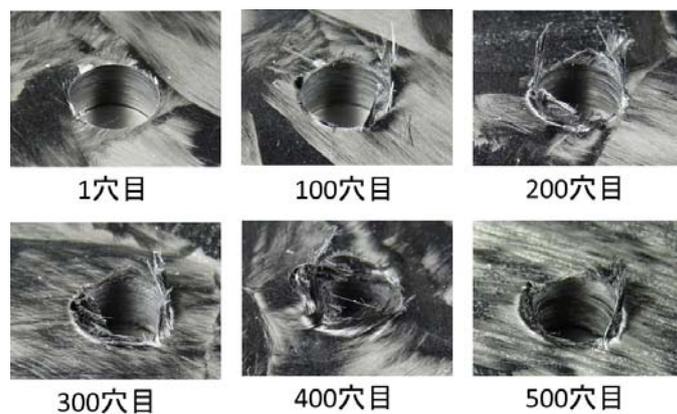
図2-2-2 加工試験の様子図

観察写真の撮影、および切削抵抗の測定を行った。

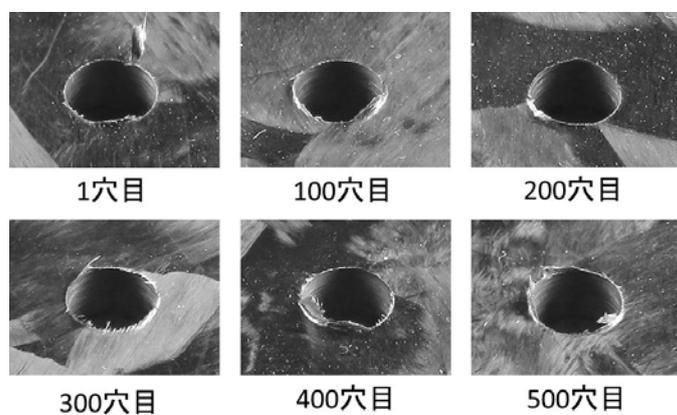
### ③. 実験結果

#### (1) 加工性状の推移について

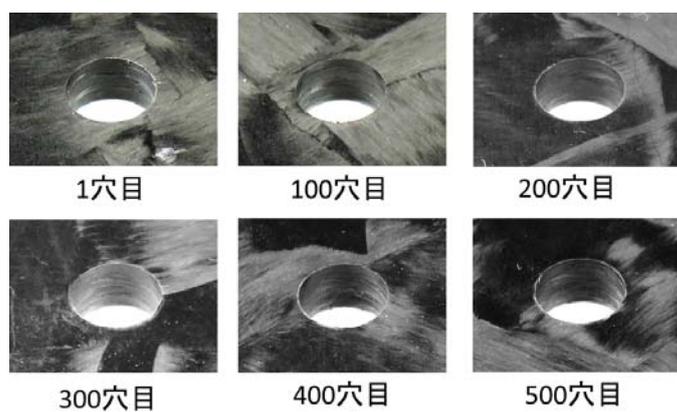
図2-2-3に、各ドリルにより加工されたドリル穴の観察写真をそれぞれ示す。



(a)標準形ツイストドリル



(b)ダブルアングルドリル



(c)ロウソク形ドリル

図2-2-3.各ドリルにおける加工穴の観察写真（ドリル出口側）

(2) 工具摩耗の推移について

図2-2-4に、各ドリルにおける切れ刃の工具摩耗状態の推移を示す。

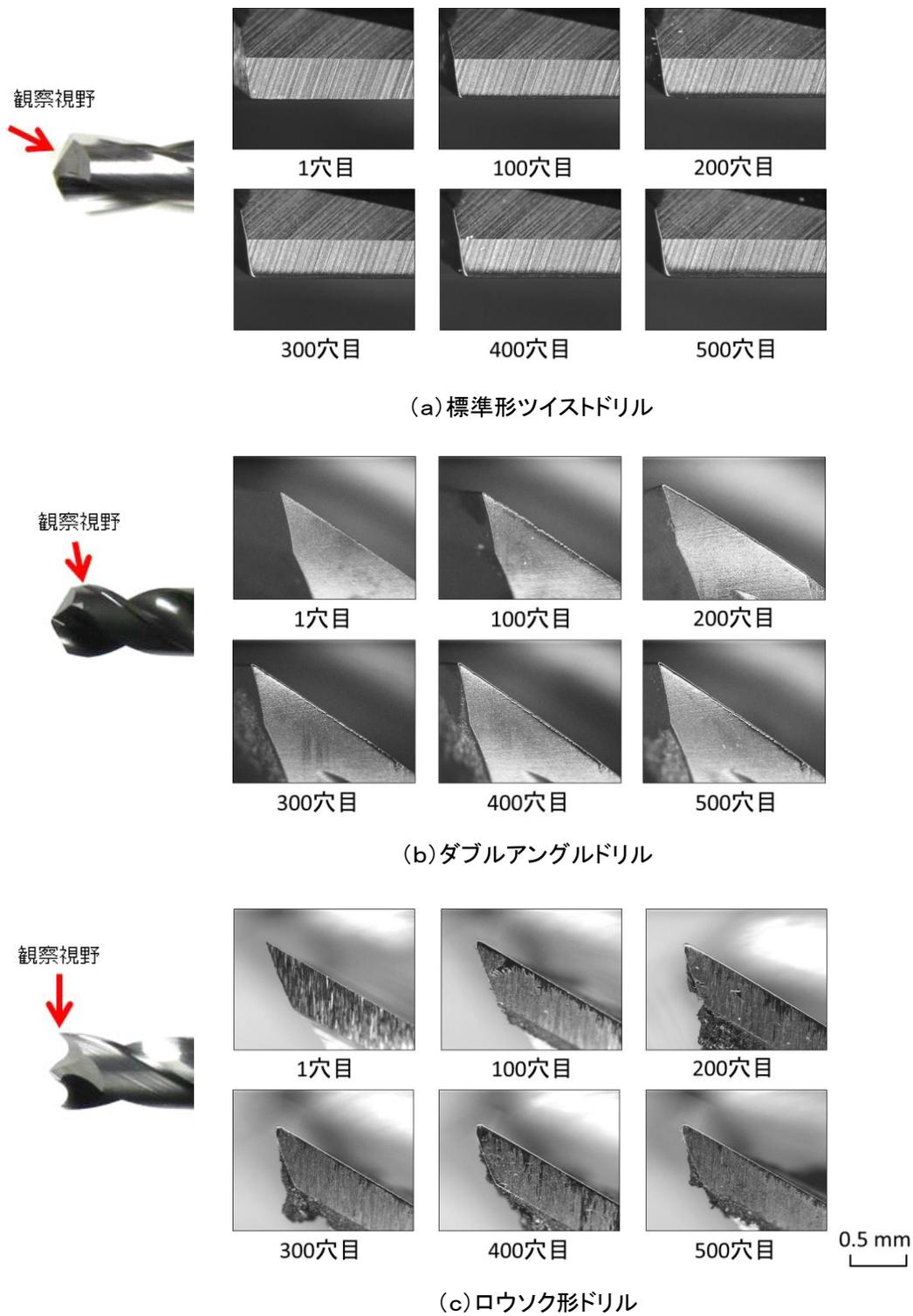


図2-2-4. 各ドリルにおける工具切れ刃の摩耗状態の推移

### (3) 切削抵抗の推移について

図2-2-5に、各ドリルの加工中における切削抵抗の推移を示す。図2-2-5(a)は最大スラスト力の推移を示し、図2-2-5(b)には1穴目のスラスト力を基準としたスラスト力（比スラスト力と表記）の推移を示す。

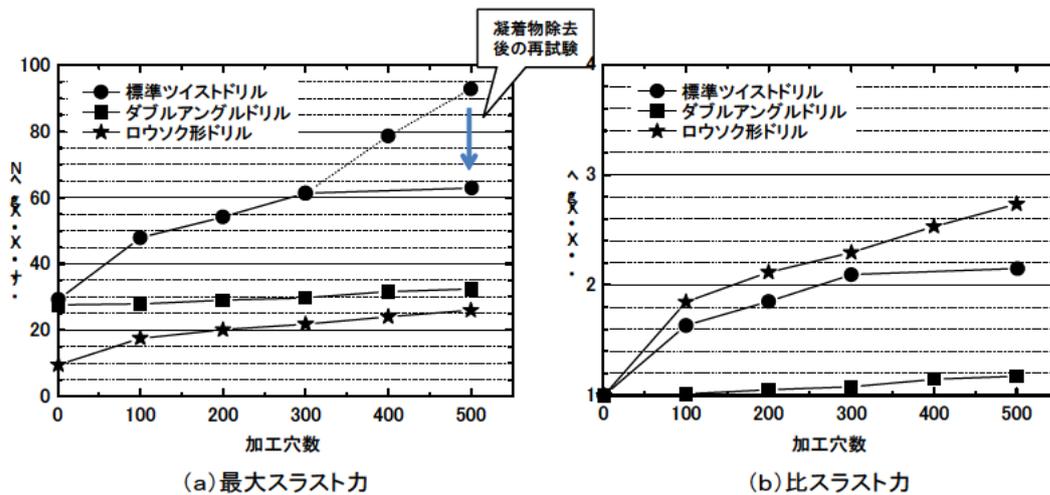


図2-2-5. 各ドリルにおける切削抵抗の推移

### ④. まとめ

ドリル加工性能試験の結果において加工性状が良好であったドリルについて、加工数500穴までの加工試験を行った結果、以下の所見が得られた。

#### (1) 標準形ツイストドリルの加工性能について

- 加工が進行するにつれて加工穴出口側のバリが大きく出現した。
- 本ドリルはノンコートであるため、工具切れ刃の逃げ面摩耗も同様に進行しており、それに対応するように切削抵抗も上昇する傾向にあった。

#### (2) ダブルアングルドリルの加工性能について

- バリはやや出る程度であり、加工数の進行に伴って著しい成長は見られなかった。
- 本ドリルはダイヤコートが施してあるため工具摩耗の進行も鈍く、切削抵抗の変動も小さく推移した。

#### (3) ロウソク形ドリルの加工性能について

- バリの出現は初期段階から終了時までほとんど顕在化せず良好な状態が維持された。

- 本ドリルはノンコートであり、外周部先端のシャープエッジが加工の進行に伴い丸みを帯びた。また、初期段階の切削抵抗は最も低い値を示したが、加工の進行に伴い徐々に増加する傾向にあった。
- ダイヤコートを施した同形ドリルの性能に興味を持たれる。

## 2-2-2. ミーリングによるトリミング加工（切断加工）の加工性

本節では、開発 CFRP 材料のミーリングによるトリミング加工（切断加工）の加工性を調べるため、市販工具を用いたミーリング加工実験を行い、工具の違いによる切削抵抗の比較や被削材の加工性状について観察を行った。

### ①. 工具種類

トリミング加工用工具は図2-2-6に示す3種類の市販工具を加工試験に供した。工具はいずれもダイヤモンドコートが施されており、直径は4mmである。

(a)はアルミ等金属加工用の2枚刃エンドミル工具である。(b)は熱硬化性 CFRP を対象に仕上げ加工用として用いられている6枚刃のルーター工具である。また、(c)も熱硬化性 CFRP を対象に開発されたルーター工具である。これは工具(b)の切れ刃を切れ目（ニック）を付けた形態であり、FRP 積層材の剥離抑制に効果がみられる。

### ②. 加工試験および測定方法

表2-2-1に加工試験におけるミーリング加工条件を示す。試験に供した材料は板厚1.4mmとした。加工条件は、主軸回転速度が5000、10000、20000 rpmの3通りと、送り量が0.08、0.16、0.32 mm/revの3通りの組み合わせとなる9通りとした。加工雰囲気は乾式とした。

ミーリング加工は、図2-2-7に示すようにマシニングセンタに切削動力計を設置し、その上に試験片を固定するホルダージグをセットした。本試験では50mm角の試験片を用い、その中央部を切断加工し、切断加工された試験片断面の観察を行った。また、加工条件が主軸回転速度10000 rpm、送り量0.16mm/revの条件については、切削

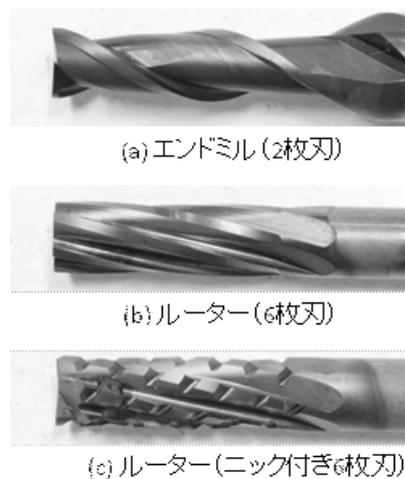


図2-2-6. 加工試験に供した工具

動力計により直交3成分の切削抵抗を測定した。

表 2-2-1. ミーリング加工条件

CFRP板厚	1.4 mm
工具径	f 4 mm
主軸回転速度 (切削速度)	5000, 10000, 20000 rpm (63, 126, 252 m/min)
送り量	0.08, 0.16, 0.032 mm/rev
加工雰囲気	Dry

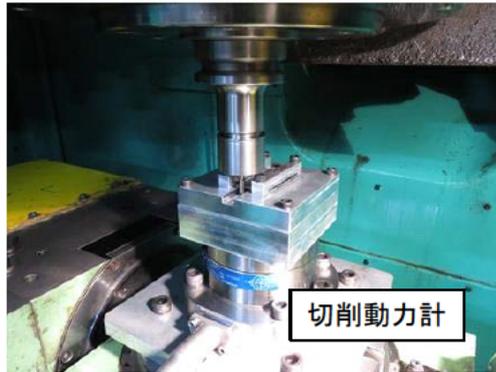


図 2-2-7. 加工試験の様子

### ③. 実験結果

#### (1) 切削抵抗の比較について

図 2-2-8 に各工具の加工中における切削抵抗のプロファイルを示す。また、図 2-2-9 には各工具の加工時間 1 秒間における切削抵抗の平均値とばらつき度合い（標準偏差）を示す。

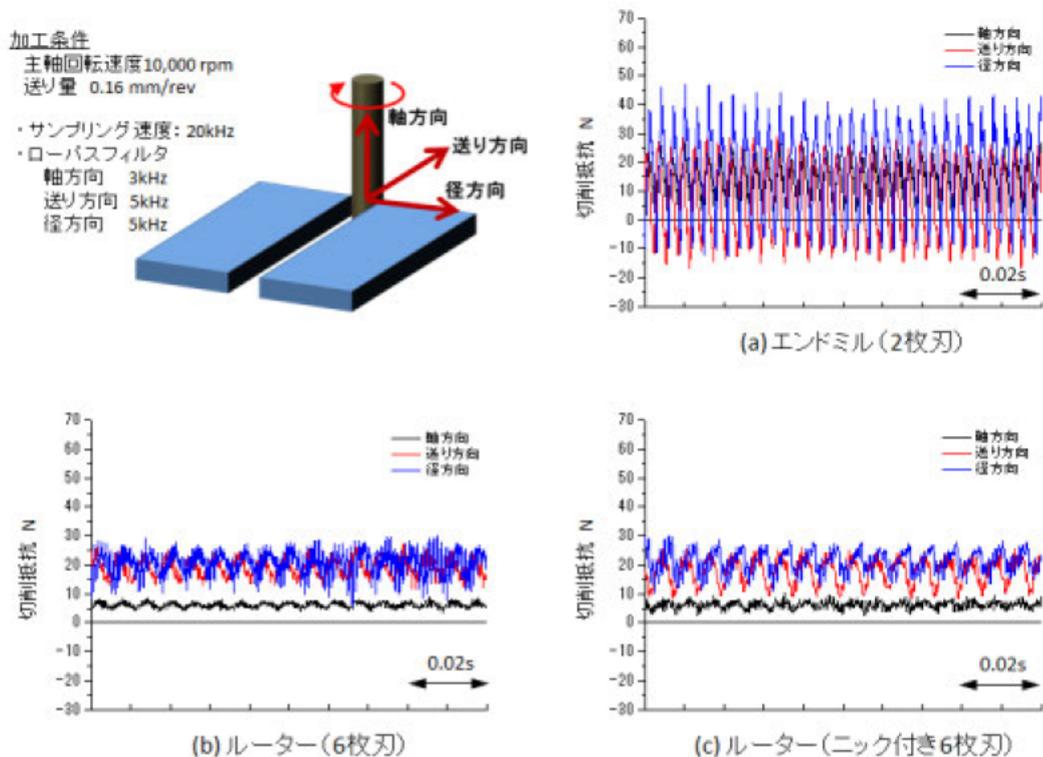


図 2-2-8. 各工具の切削抵抗プロファイル

切削抵抗値は、サンプリング速度を 20kHz とし、測定系の固有振動数をカットオフ値としてローパスフィルタ処理を施した。カットオフ値は、軸方向が 3kHz、送り方向および径方向は 5kHz とした。

切削抵抗のプロファイルはいずれの工具においても主軸回転に同期した周期的な変動が観察される。(a)エンドミル工具では、薄板を 2 枚刃で切削するため 1 周期に 2 回のパルスが検出され、そのピーク値は径方向成分で約 40N 程度になった。一方、(b)および(c)のルーター工具は両方で類似のプロファイルとなり、(a)の 2 枚刃エンドミルに比べて周期的な変動幅が小さい。特に積層材の剥離作用に影響を及ぼす軸方向成分の値は変動幅が小さいことに加え、平均的な切削抵抗値も半分程度に抑制されている。

## (2) 加工面性状について

下記図に切断加工された試料の観察写真の説明を記す。加工は回転工具による溝切断加工となるため、工具の左側はアップカットとなり、右側はダウンカットとなる。アップカットは工具切れ刃の切り込み量がゼロから増大するように作用し、一方、ダウンカットは切り込み量が最大からゼロとなるように作用する。以後の観察写真では、図のようにダウンカット側を上方に示し、アップカット側を下方に示す。

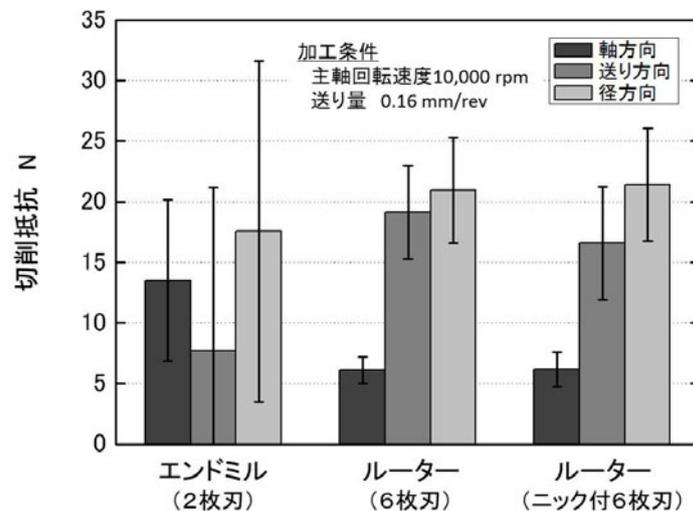


図 2-2-9. 切削抵抗の比較

図 2-2-10 に、各工具を用いた切断試料の観察写真を示す。まず、試料の表層部にバリが最も発生しているのは(a)エンドミル工具である。(b)ルーター工具と(c)ニック付きルーター工具では、送り量が  $0.08\text{mm/rev}$  であり、主軸回転速度が  $5000\text{rpm}$  及び  $10000\text{rpm}$  の条件を

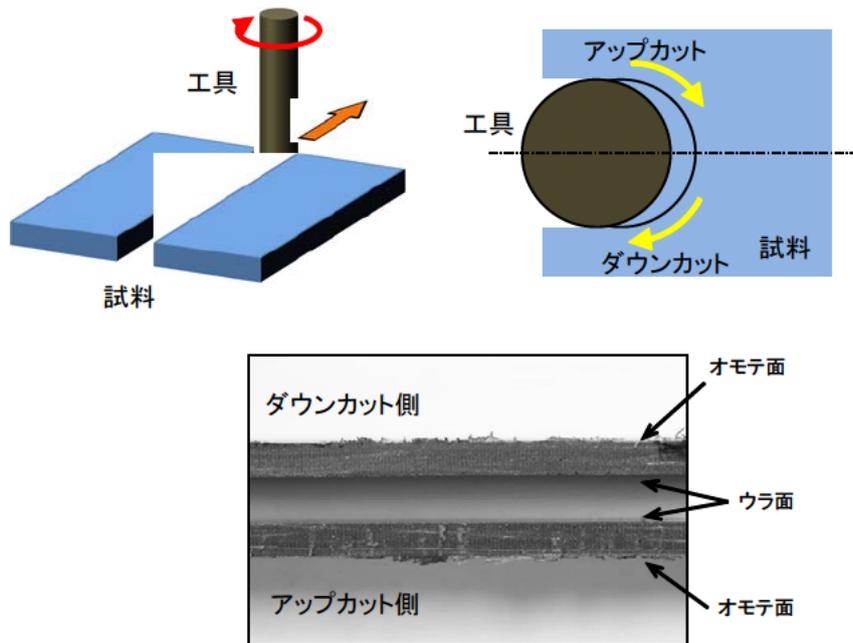
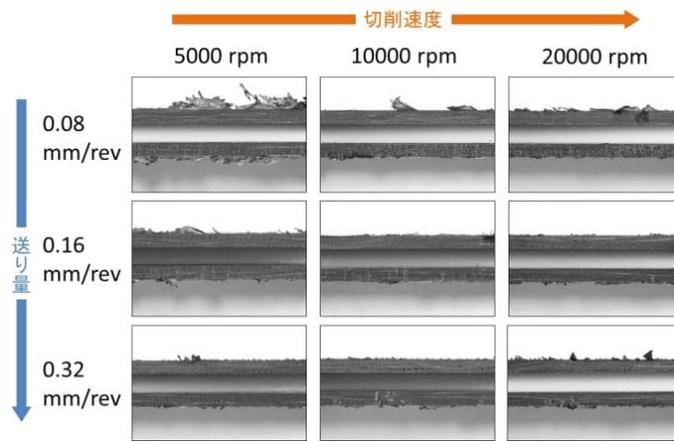
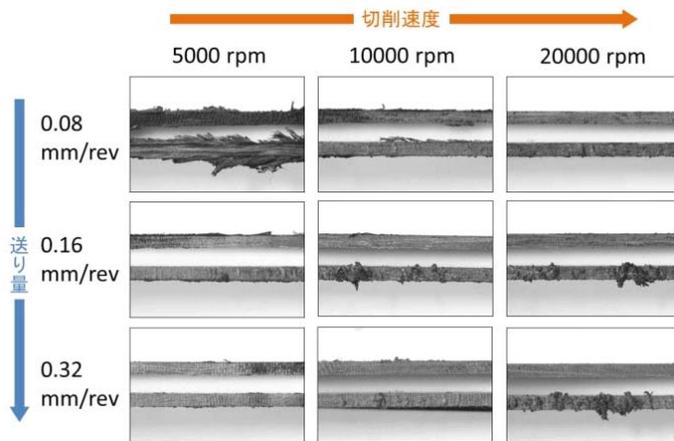


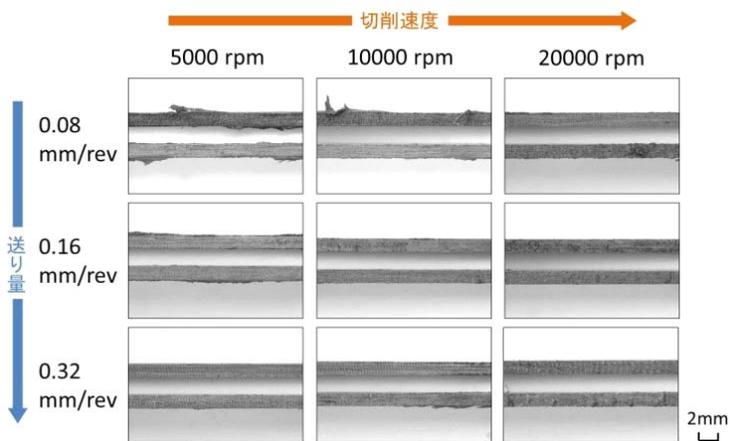
図2-2-10. 切断試料の観察写真の説明



(a) エンドミル(2枚刃)



(b) ルーター(6枚刃)



(c) ルーター(ニック付き6枚刃)

図 2 - 2 - 1 0 . 各工具を用いた切断試料の観察写真

除くと比較的バリの発生は抑えられた。しかし、これらの工具は高速・高送り条件のアップカット側においては加工面に CFRP 材料の溶着物の付着が観察され、この傾向は(b)ルーター工具の方が(c)ニック付きルーター工具よりも高かった。

### (3) 工具への被削材の溶着について

図2-2-1 1に、工具の切削性耐久試験において、被削材の著しい溶着が発生した事例を示す。(b)ルーター工具及び(c)ニック付きルーター工具は、図の中央の写真に示すように被削材が工具半径方向へ飛び出す様子が観察された。これは、切削熱により溶融した CFRP 材料が回転工具の遠心力により工具半径方向へ飛び出し、その後冷却されて固化しものと考えられる。さらに溶着状態が著しくなると、図の右写真のように工具の溝部分に溶融物が入り込み、堆積してしまう。しかしながら、図2 3の切断試料の観察写真からわかるように、切削不能状態になっているものではない。切削中は切削熱により溶融物の流動性が高く、加工は継続されているものと考えられる。なお、(a)の2枚刃エンドミル工具は著しい溶着は観察されなかった。

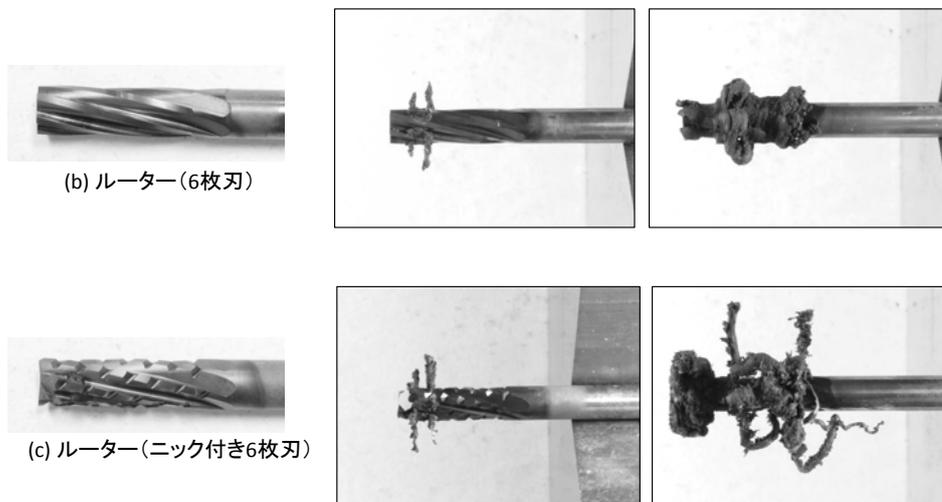


図2-2-1 1. 切削工具への被削材の溶着

## ④. まとめ

エンドミル、ルーター工具を用いて、ランダムシート材料のトリミング加工（切断加工）を行った。その結果、以下の所見が得られた。

### (1) エンドミル工具の加工性能について

- エンドミル工具はねじれ角が大きく、また2枚刃のため、被削材を上向きに引き上げる作用が他の2種類の工具に比べて2倍程度大きくなる。
- 上記作用のため、被削材の表層部にバリが発生しやすい傾向にある。

#### (2) ルーター工具の加工性能について

- ルーター工具はねじれ角が小さく、6枚刃のため、被削材を上向きに引き上げる作用は小さいが、その分、送り方向や径方向の抵抗が大きくなる傾向にある。
- バリはエンドミルに比べて抑えられ、ニック付きはさらに良好であった。しかし、工具への被削材の溶着が発生しやすく、高切削速度や高送りの高能率加工条件においては顕著である。

#### (3) 工具の溶着について

- ルーター工具には顕著な溶着が見られるが、加工面や切削抵抗値から判断すると、加工プロセスでは切削熱により樹脂成分は十分に軟化し、切れ刃の切削作用を著しく阻害しているものではないと推察される。

### (2-3) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート基礎設計の確立（シート基礎設計検討）

#### 【技術目標】： 等方性シート基礎設計の確立

等方性シート基礎設計の検討を行うとし、平成28年度は、ユーザー要求特性に対するテープ繊維長・樹脂仕様の選定を行った。

シート厚みと試験片から得られる力学特性とそのばらつきについて整理した。図24には試験片の厚みと引張弾性率及びそのCV値の関係を示している。1mm以下の厚みでは弾性率が低くばらつきも大きいですが、厚みが増すと弾性率は上昇、ばらつきは低下して一定値に近づくようになる。本結果の原因として、下図イメージに示すように隣接するテープ片同士の界面の樹脂がクラックパスとなりやすく、厚みによりそれが大きく影響を受けることが考えられる。

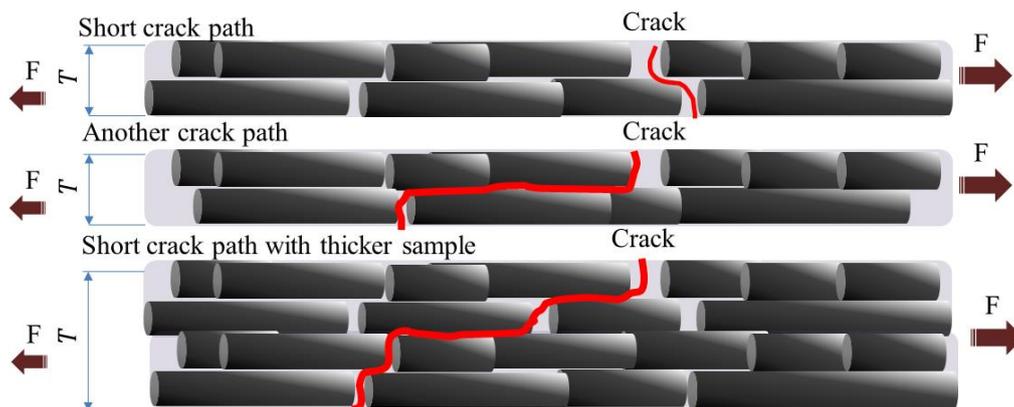


図2-3-1. シート厚さとクラックパス

次に、手作業でテープ片を散布積層シラボプレス機（37トン油圧ホットプレス機）で成形した平板の引張強度及び引張弾性率を評価した。ここで、成形圧を0.4, 1.2, 2MPa と変化させた。また、成形品からは0, 45, 90° 方向から各々引張試験片を切り出した。その結果を図2-3-2に示す。強度、弾性率ともに成形圧よりも成形品ごとのテープ積層・配向状態の変化によるバラツキの影響の方が大きいことが示されている。つまり、テープ積層・配向状態の均一化を図ることが安定した力学特性を得るのに必要なことを示している。

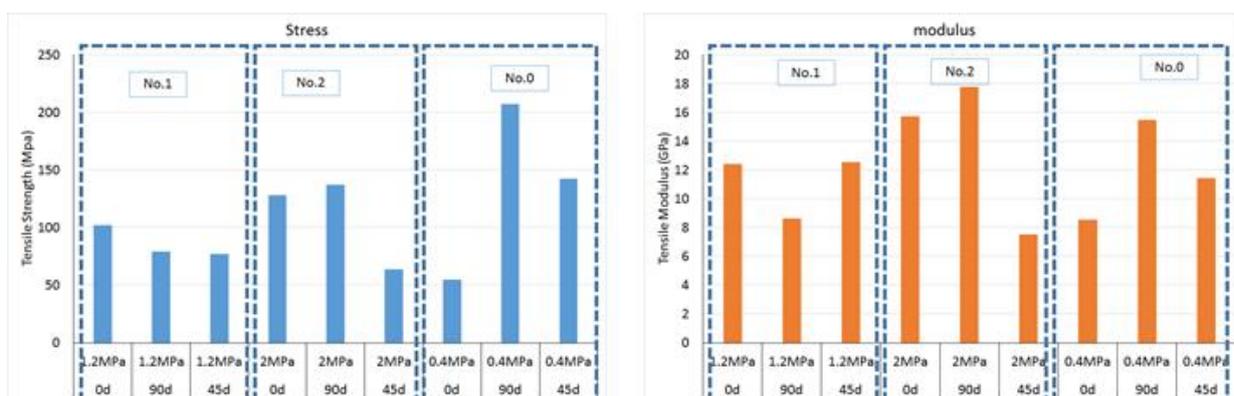


図2-3-2. 異なる成形圧での成形平板の引張強度及び弾性率

図2-3-3にはテープ片の長さ及び積層状態（オーバーラップの状態）の違いによる引張強度・弾性率の結果を示す。配向を一方向にするとランダム配向の状態より強度、弾性率ともに高い。また、テープ片の長さが長いほど強度、弾性率ともに高くなる。一方、オーバーラップの状態には強度は影響を受けるものの弾性率はあまり影響を受けない。これらの基礎的検討結果はテープの配向性の力学特性への影響の大きさと異

方性シート活用の有用性を示唆している。

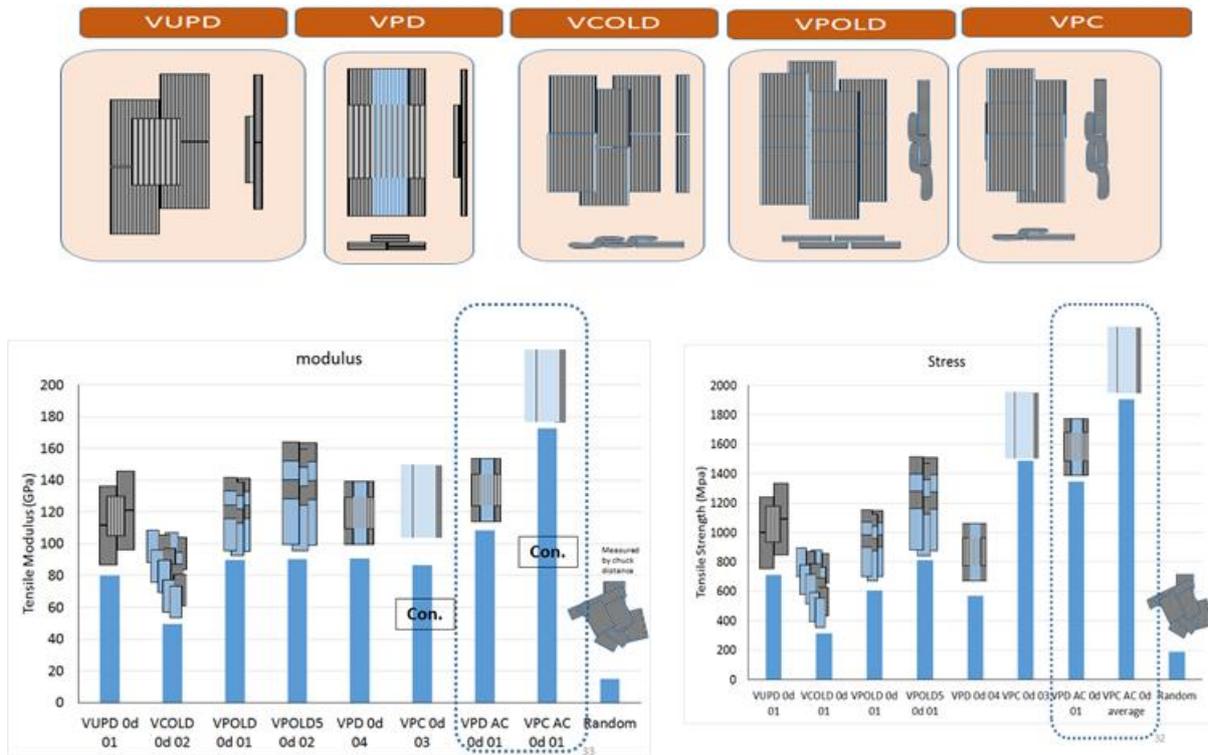
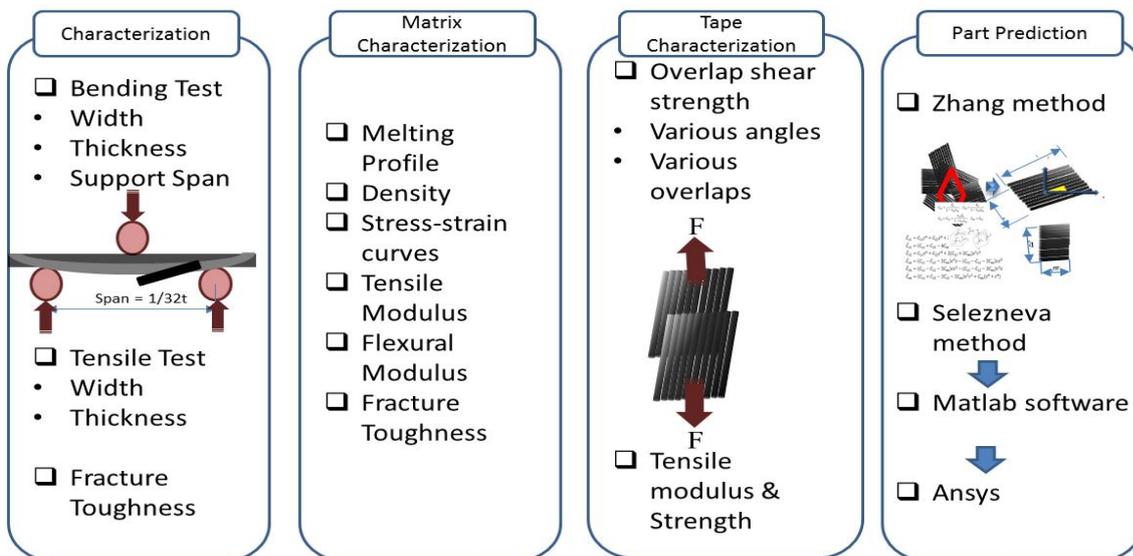


図2-3-3. テープ片の長さ及び積層状態の違いによる成形平板の引張強度・弾性率

試験片での力学特性試験、材料の解析、テープ仕様及び積層仕様に基づいて、理論的な予測手法と解析ソフトウェアを用いて、力学特性の予測をすることを検討している。本方法が確立されれば本研究のランダムシートを用いた部材の設計、品質管理に大きく寄与することができると思われる。



(3-1) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術

の開発(連続製造(基本)技術の開発)

【技術目標値】: 幅 500mm、1000 mm、厚み 0.6、1.0、2.0 mm、厚み公差  
±0.03 mm、加工速度 1.0m/min

連続プレス装置を用いた積層・加圧・加熱・冷却処理条件を検討し、シート化する技術を検討する。平成28年度は、(3-2)連続シート生産技術検証と合わせて実施した。

(3-2) 非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術の開発(連続生産(量産)技術の開発)

【技術目標】: 連続プレス装置での量産技術の検証

連続プレス装置を用いて、大型・長尺非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートを試作し、非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート量産技術を検討する。平成28年度は、(1-2)(1-3)装置を用いて、連続シート製造技術を検討した。

① 連続プレス装置を用いたシート製造検討

【方法】

散布後のシートを平成28年年度に導入した装置を用いて仮止めした。仮止めしたシートを連続プレス装置でシート化し、これまでの製造条件を踏まえ連続的に製造できるか検討した。

【結果】

実施結果内容を下記に示す。

図3-2-1には本研究で用いたダブルベルトプレス装置(DBP)と散布積層されたテープ片を本装置で連続成形したシートを示している。本装置は、基材の導入口から重合・熔融加圧させる加熱加圧ゾーンと、次に続く冷却固化ゾーンからなる。また、加熱加圧ゾーンは固定ローラー式となっておりベルト Gap を設定することで基材にかかる圧力を調整する仕組みとなっている。これらのイメージを図28に示す。本装置での一番の課題はこの固定ローラーによる基材の加圧にあり、図28のイメージ図に示すように固定ローラーの下では、積層過剰の部分は荷重集中によりテープが流動し積層不足の部分はヒ

ケとなりやすい。そこでローラー線圧下でテープ流動や表面ヒケなく成形するために、テープの均一積層とベルト Gap 設定の最適化が重要でありその支援を実施した。以上により、ダブルベルトプレスによるランダムシートの連続成形技術確立することができた。



図3-2-1. ダブルベルトによるランダムシートの連続成形

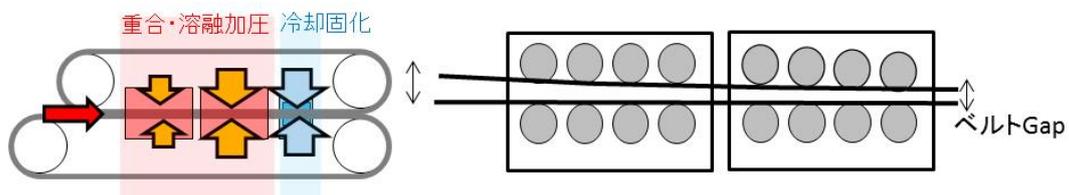


図3-2-2. ダブルベルトプレスの成形模式図 (右は固定ローラー部イメージ)

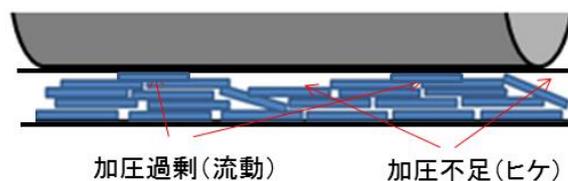


図3-2-3. 固定ローラー下の加圧イメージ

#### (4-1) 成形性、実用性評価 (立体賦形性評価)

##### ① アンダーカバー成形型(小型)にて、プレス条件の検討、評価

###### ・型温上限値の検証

型温が高くなると必要プレス圧等の成形条件の緩和につながる為、型温の上限値を検証した。その結果型温が90℃台では脱型後の成形品に反りが発生する為、型温は90℃未満の必要が有る事が確認された。

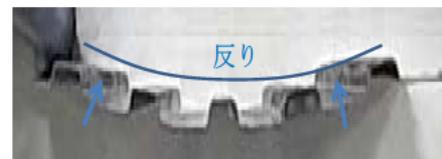
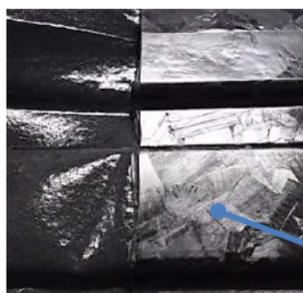


図4-1-1.反り図説

###### ・不織布同時プレスの検討

成形条件の緩和を狙い、不織布を成形型の片面にセットし、非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートとの同時成形を試みた。その結果、非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シート単体で成形した場合に表面の荒れが発生する成形条件下においても、不織布と同時成形を行ったものは良好な表面が得られ、成形条件の緩和が確認された。今回使用した不織布では不織布としての見栄えは良くない結果となったが、適切な不織布を選択する事により、新たな用途展開につげる事が出来る。



樹脂面

成形面良好



不織布面

図4-1-2.不織布との同時成形による成形品外観

###### ・仮止め材料の検討

コスト低減を狙い、非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートの仮止め材料の成形を試みた。その結果、通常非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートの成形条件ではテープ同士が接着せず、良品を得るには、型温又はプレス圧を上げる必要が有る事が確認された。

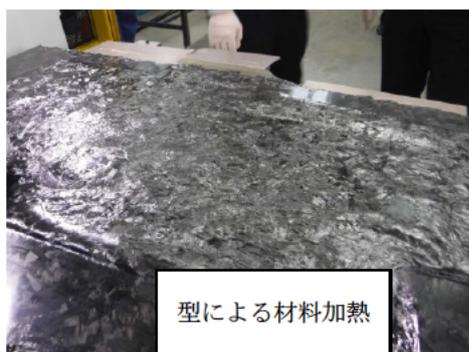


テープ接着せず

図4-1-3.仮止め材料を用いた成形テスト結果

②アンダーカバー型を改造し試作メーカーにてアンダーカバー成形品の製作。

試作メーカーにて 300t プレスを用いてアンダーカバーの試作を行った。型温 180℃→70℃のヒート&クールの条件で良品が取得できた。



型による材料加熱



型締め



冷却後脱型



アンダーカバー試作品

図4-1-4.試作メーカーでの成形テスト実施状況及び得られた成形品

(4-2) 成形性、実用性評価 (実用性検討)

① アンダーカバーの部品としての評価

・曲げ特性(3点曲げ)

最大荷重は 0.6~2.0mm 厚の全て合格、弾性勾配は 2.0mm が合格。弾性勾配は

板厚が小さい為不利なので、ビード形状を付ける等、設計的な対応が可能であった。

- 耐熱性(ヒートサグ試験)

耐熱性評価を実施した結果、70℃では、目標値に入ったが、110℃以上は目標値を下回った。本検討で使用した材料の  $T_g$  が 100℃ (軟化開始温度 80℃) であり、材料耐熱性に課題があり、自動車用途で使用するには、耐熱性の向上が必要となった。。

- 取付部強度(繰返しボルト締め座屈量/ボルト引抜強度)

0.6t で合格。高強度の特徴が現れた。

#### (4-3) 成形性、実用性評価 (量産性検討)

賦形性検討より得られた条件によりプレス部品の量産設備の検討を行った。当初マテリアルハンドリングロボットで検討していたが、大型の成形品の場合、加熱完了～型締め完了まで 10s 以上かかる為、プレス位置で加熱する方式が選択された。成形品のサイズによって設備の移動時間が算出され、概略の成形 C/T 算出のベースデータが整った。



マテリアルハンドリングロボット(例)



可動式ヒーター(例)

図4-3-1.成形品量産におけるモデル

## 最終章 全体総括

本研究開発に於いて、等方性シートのユーザーを自動車用途と想定し、連続製造技術開発と実用性評価を平成 26 年度から進めた。平成 26 年度に、製造装置基礎検討を行い、テープ片の連続散布積層技術及び装置の開発を行った。平成 27 年度は、平成 26 年度結果を踏まえ、連続プレス装置を用いた長尺シート (540 mm×1500mm、0.8~2.

O t) を試作し、自動車部品（アンダーカバー）を試作した。合わせて、シート材料設計と耐熱性樹脂の導入を検討した。平成 28 年度は、シートの連続生産技術を検討し、散布から連続シート製造までの一連工程の技術確立に至った。合わせて、27 年度より実施した自動車部品形状を用いて、実用条件で評価した。材料の設計では、材料の仕様による物性への影響を解析し、合わせて成形による材料流動による成形品物性への影響を検討した。この結果、材料の製造条件の適正化及びエンジニアリングシートの作成に至った。また、当初の想定を大きく上回るシート製造装置化技術の確立に至り、本研究事業の当初想定した目標を概ね達成でき、達成度は 90% である。残り 10% の未達については、研究開発の課題として、成形品の実用性評価があり、本研究事業内で検討した結果を、今後ユーザーでの実用性評価及び製品の合わせ込みを進める計画である。

事業化展開については、想定するユーザーが部品の軽量化を検討しており、現状の鉄板または樹脂部品を CFRP を用いたプレス部品に置換えることにより、部品重量を 1/3 程度に軽量化できると試算している。また、本研究結果から生産サイクルタイムを短縮できることが確認され、力学的等方性と高い賦形を有す非連続炭素繊維熱可塑性樹脂等方性シートにより、プレス成形加工で CFRP 成形品を製造できる中間材料を提供し、自動車部品の量産性を向上させ、自動車部品の軽量化することができると考えられる。研究開発期間内に、国内・海外の展示会に出展し、市場動向・ニーズの調査を行った。また、ユーザーへのサンプル供給を行い、成形加工・実用性評価をユーザーにて進めている。本研究開発の中で、当初想定しなかった非自動車用途でも成形品の表面性・外観性、賦形性から引き合いがあり、用途開発を進めることができた。

また、本研究開発に於いて、等方性シートを構成する材料の検討を合わせ実施し、高効率生産技術を確立し、等方性シートの低コストに達成できる見込みとなった。材料である高品質 UD テープにも市場ニーズが高く、また、より幅広のテープのニーズが高い事が分かった。使用方法として、テープを任意の長さにカットし、積層させるテララーメイドブリフォーム技術が進んでおり、従来の UD シート・織物等の積層に比較し、材料の無駄を無くし任意配向性を持たせた強度と経済性を備えた複合材料が製造出来る。この事から、本研究開発材料の構成材料でもニーズがあることが分かった。予め均質に樹脂含浸した本研究開発の UD テープ・そこから本研究開発のシートの優位性がある。但し、コストの課題があり、本研究開発結果で高速量産技術の確立が可能となり、課題解決できると見込んでいる。