

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「再生炭素繊維不織布の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県研究開発財団

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 | 5 |
| (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者) | |
| 1-3 成果概要 | 8 |
| 1-4 当該研究開発の連絡窓口 | 8 |

第2章 本論

| | |
|------------------------------|----|
| ① 不織布加工前処理工程の高度化 | 9 |
| (担当:カーボンファイバーリサイクル工業株式会社) | |
| ② 再生炭素繊維不織布加工技術の高度化 | 15 |
| (担当:株式会社オーツカ) | |
| ②-1 不織布の形成 | 15 |
| ②-2 ニードル形状の最適 | 27 |
| ②-3 ニードル密度(ペネ数)の最適化 | 29 |
| ②-4 目付重量と物性の相関関係の検討 | 32 |
| ③ 再生炭素繊維不織布の評価 | 32 |
| (担当:岐阜県産業技術センター) | |
| ④ 再生炭素繊維不織布シートの製作と衝撃試験 | 38 |
| (担当:岐阜県産業技術センター) | |
| ⑤ プロジェクトの管理・運営 | 42 |
| (担当:財団法人岐阜県研究開発財団) | |

第3章 全体総括

| | |
|-------------------------|----|
| 3-1 研究開発成果 | 43 |
| 3-2 研究開発後の課題・事業展開 | 44 |

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

炭素繊維は軽量かつ高強度で、耐摩耗性、耐熱性、熱伝導性、耐久性および耐薬性に優れた素材であり、その樹脂との複合材(CFPR)は航空機や自動車を初めとして、様々な分野へと需要を拡大している。それにともない今後、製造段階における廃材の増加や、耐用年数を過ぎた航空機などの最終製品に由来する廃棄物も増加すると考えられる。

さらなる燃費向上のため炭素繊維の自動車部品への採用が期待されているが、自動車リサイクル法では自動車製造業者等に対して環境配慮設計の努力義務が課せられている。現在、炭素繊維は埋め立て処分されているが、その高耐久性のため長期間安定した状態で存在し、地球環境保全の観点から問題である。このため、EUが2011年に炭素繊維廃棄物の処理め立て処分を禁止するなど、国際的に規制が強化されつつある。

炭素繊維のリサイクルは困難な問題を含んでおり、その普及の大きな足かせとなっている。従来開発されてきた炭素繊維リサイクル技術は粉砕工程を含んでおり、長繊維状の炭素繊維を回収することが困難であった。そのためその用途は限られ、炭素繊維のリサイクルはほとんど行われていない。このような背景から、高度な炭素繊維リサイクル技術の開発が求められている。

一方、エネルギーの観点から見ると、バージン炭素繊維を製造するには莫大なエネルギー(290MJ/kg)を必要とするため、環境負荷の大きな素材ともいえる。製造プロセスより少ないエネルギーで炭素繊維廃棄物から炭素繊維を回収再生し再利用(リユース)することが可能になれば、炭素繊維に関わるCO₂排出量を削減し、地球温暖化防止にも貢献できる。

本事業再委託先の一つであるカーボンファイバーリサイクル工業(株)はこれまでの研究開発によって、高精度雰囲気制御熱処理加工によって、複合材マトリックスから長繊維状炭素繊維を回収する技術を開発した。500℃で行う本処理法に必要なエネルギー(48MJ/kg)は、バージン炭素繊維を製造する場合のエネルギー(290MJ/kg)の約1/6である。

この処理法で得られる再生炭素繊維は、長繊維状でランダムに配向しているため、バージン炭素繊維のように織物加工することが困難である。このため、再生炭素繊維を用いた一次製品として、他の合成繊維と混合して柔軟性を持った不織布を製造することが考えられる。柔軟性を持った不織布からは、さまざまな形態の再生複合材を成型することが可能であり、多様な用途でリユースすることができる。たとえば自動車の場合、平板アンダーカバーから三次元局面をもった内装材までさまざまな部品として活用可能である。そこで、(株)オーツカ、カーボンファイバーリサイクル工業(株)および岐阜県産業技術センターは平成22年度戦略基盤高度化支援事業において、岐阜県研究開発財団からの再委託を受けて再生炭素繊維不織布の開発を分担して行った。

本事業で、カーボンファイバーリサイクル工業は「不織布加工前処理工程の高度化」についての研究開発を担当した。再生長繊維炭素繊維を、他の繊維と均一に混合し高品位な不織布へ加工

するには、切断したあと繊維長をそろえる必要がある。まず切断工程では、切断による衝撃で炭素繊維粉塵が発生する。そこで、本事業で購入する炭素繊維切断装置を用いて作業効率の高い切断刃の材質等を検討するとともに、購入する集塵装置を用いて局所集塵を行うなど、作業環境に考慮した切断工程の高度化を行った。また、引っ張り強度や厚さなどの物性が均質な不織布を製造するには、原料繊維の長さが均一である必要がある。そこで繊維長を 50mm にそろえることを目標として、繊維長のばらつきの少ない切断および分繊処理工程の検討を行った。

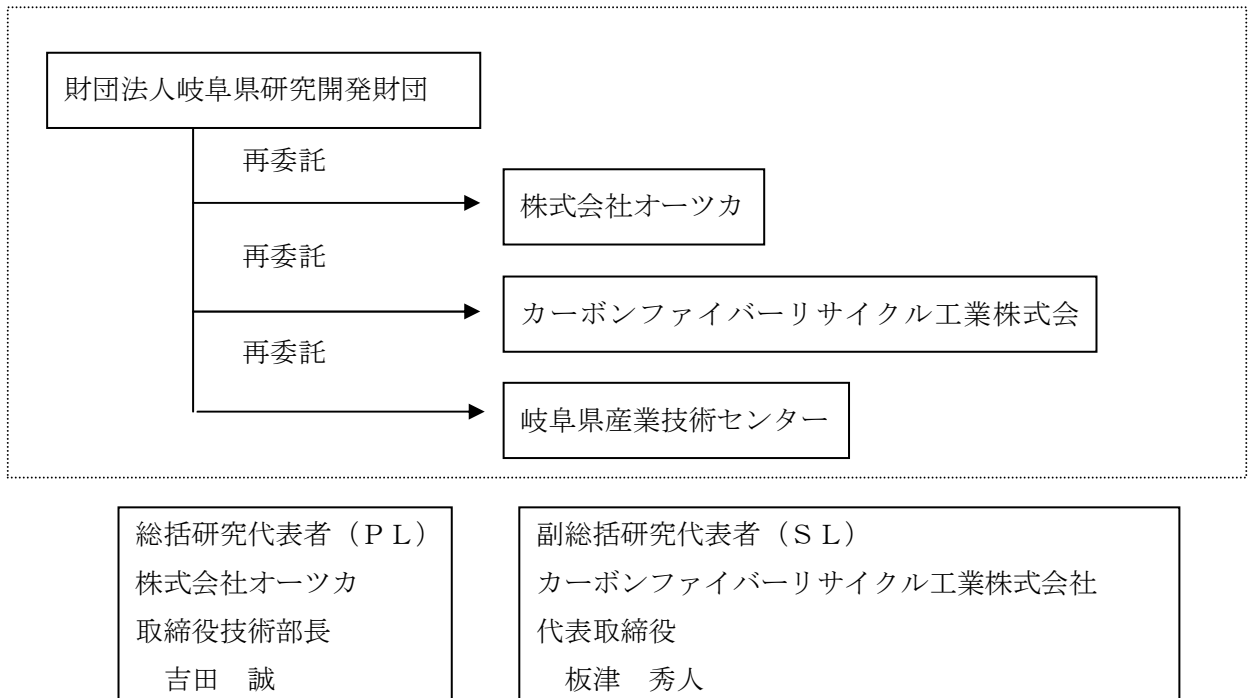
株式会社オーツカでは切断された再生炭素繊維の不織布加工技術を確立するため、斑の少ないウェブ・シートを得るための投入方法、混合方法の検討、カード条件の最適化を行い、バージンの炭素繊維を使って従来 25%軽量化車両内装天井基材の補強材として展開実績のあるカーボン面材を目標品質とした。

その目標物性値は再生炭素繊維とポリプロピレン繊維を 50/50 混合、40g/m²ウェブ・シートを 20 μmPPフィルムと積層しプレス溶融一体化して、引張強度タテ 60N、ヨコ 25Nとした。

ウェブ・シートの斑については実績のあるバージン炭素繊維を複合炭素繊維含有シートと目視比較し、バージン炭素繊維を使用したもの以上の仕上がりを目標とした。また、ニードルパンチ法では最適なニードル形状の検討、ニードル密度(ペネ数)、打ち込み深さ、目付を検討し、目標強度をタテ 60N、ヨコ 25Nとした。岐阜県産業技術センターでは株式会社オーツカで作成した再生炭素繊維不織布を走査型電子顕微鏡によって観察し、ニードルによる炭素繊維の損傷、交絡の程度を評価した。また、不織布の引張り強さ、最大荷重時伸び率、所定伸長時の引張り応力、伸長弾性率、引裂き強さを測定し、これらの評価結果から炭素繊維の損傷が少なく、より繊維が交絡し不織布の強度が高いニードルパンチ条件を選定した。再生炭素繊維不織布の目標強度はタテ 60N、ヨコ 25N とした。また熱可塑性繊維と混綿した再生炭素繊維不織布を所定の熱プレス条件によってシート状に成形し、衝撃試験機によって自動車部材の性能として重要な落下衝撃試験を行い、既存のガラス繊維を用いた複合材と自動車部材とのモデル比較評価を行い、市場探索を進めた。本報告書ではその成果について報告する。

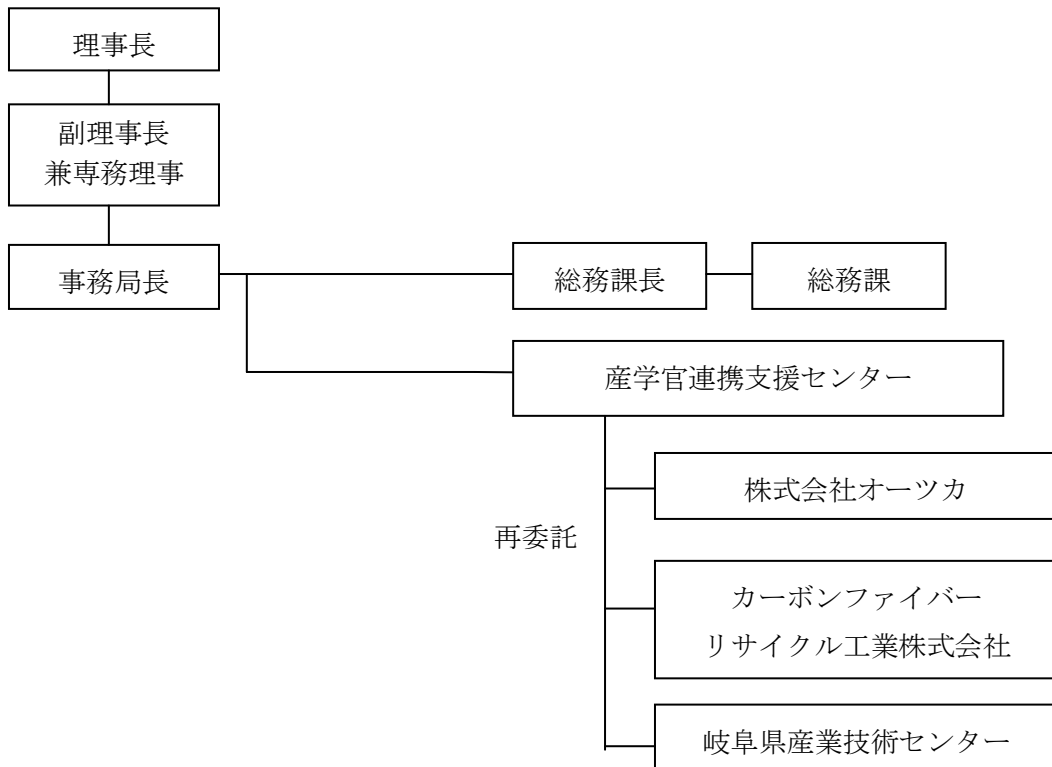
1-2 研究体制

1) 研究組織(全体)



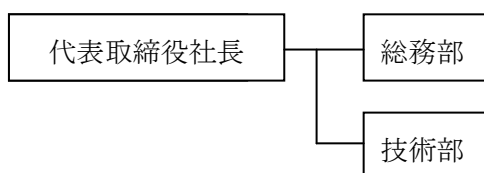
2) 管理体制

①事業管理者(財団法人岐阜県研究開発財団)

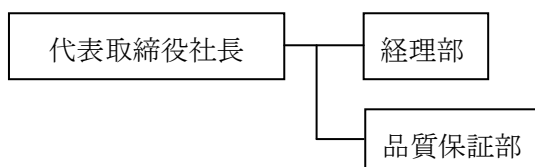


②再委託先

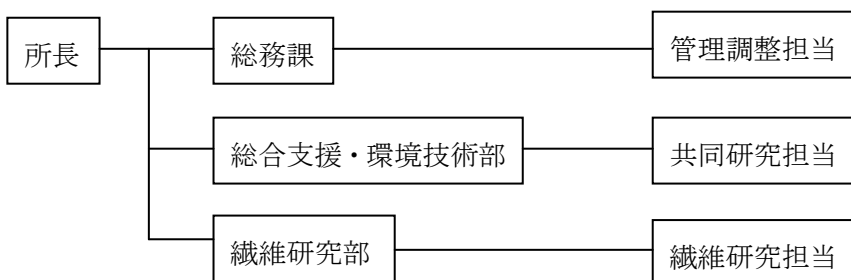
株式会社オーツカ



カーボンファイバーリサイクル工業株式会社



岐阜県産業技術センター



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人岐阜県研究開発財団

管理員

石原 保雄 (産学官連携支援センター長)
鷺見 浩 (産学官連携支援センター 事業推進員)
伊藤 元 (産学官連携支援センター 事業推進員)

【再委託先】

研究員

株式会社オーツカ

吉田 誠 (取締役技術部部长)
早川 和男 (技術部副部长)
三輪 陽介 (技術部機能材グループグループマネージャー)
高仲 道仁 (技術部機能材グループ 研究員)

カーボンファイバーリサイクル工業株式会社

板津 秀人 (代表取締役)
眞島 英壽 (品質保証部研究員)
神吉 肇 (品質保証部研究員)

岐阜県産業技術センター

奥村 和之 (繊維研究部 主任専門研究員)
立川 英治 (繊維研究部 専門研究員)
林 浩司 (繊維研究部 専門研究員)
中島 孝康 (繊維研究部 専門研究員)
野村 貴徳 (総合支援・環境技術部 専門研究員)

4) 経理担当者及び業務管理者

【事業管理者】

財団法人岐阜県研究開発財団

(経理担当者) 総務課長兼総務係長 打田 克弘
(業務管理者) 産学官連携支援センター長 石原 保雄

【再委託先】

株式会社オーツカ

(経理担当者) 取締役総務部長 岩佐 吉隆
(業務管理者) 取締役技術部長 吉田 誠

カーボンファイバーリサイクル工業株式会社

(経理担当者) 経理部部长 板津 幹子
(業務管理者) 代表取締役 板津 秀人

岐阜県産業技術センター

(経理担当者) 総務課長 西田美千雄
(業務管理者) 総合支援・環境部 部長研究員兼部長 村田 明宏

1-3 成果概要

再生炭素繊維切断のためアトリエピエ社製高速切断装置 GR、加工時の粉塵対策としてアマノ社製炭素繊維加工用集塵装置 TFP-0302-TFP をそれぞれ導入し、再生炭素繊維の切断試験を行った。不織布製造に一般に用いられている 5cm を切断後の繊維長とすることを目標にして、再生済み炭素繊維プリプレグおよびクロス織物について試験を行った。試験の結果、繊維切断長を不安定にする要因として(1)被切断繊維方向の切断刃に対する角度および(2)被切断繊維の折り返しの二つのあることが明らかとなった。

単一条件で再生炭素繊維を切断する場合、切断刃に対して垂直な繊維の長さが最短となり、切断刃に対して平行に成るに従って切断長が長くなる。繊維方向が一方向のプリプレグは、切断機への投入時に方向をそろえることで、この影響を小さくすることができた。一方、クロス織物は繊維方向が 2 方向あるため、試料投入時の操作だけでは不十分であり装置設定長より長く切断されやすい傾向が認められた。切断機を 5cm 長切断に設定した場合に、その 3 倍の 15cm 長に切断されたものが認められた。直行する 2 方向に 2 回切断することによって、被切断繊維方向の切断刃に対する角度の影響を小さくすることが可能であった。

また、被切断繊維に切断刃と平行な軸を持つ折り返しのある場合、最大で装置設定長の 2 倍の長さに切断される場合のあることが判明した。特にクロス織物は適当にしなりやすく、折り曲げられた状態で切断機を通過しやすかった。一旦切断すると折り曲げられた繊維を伸ばすのは困難であり、繊維を伸ばした状態で装置に投入することが必要なことが判明した。

再生炭素繊維を用いて作成したカーボン面材はバージン炭素繊維を用いて作成したカーボン面材と同等の引張り強度を確保できることが確認された。

再生炭素繊維とポリプロピレン繊維を混綿したウェブ・シートを形成するために導入したカード機 DS-40SD は 5 対のワーカ/ストリッパ組をそなえているが開織能力が高すぎて繊維が過開線となり、再生炭素繊維の破壊が大きいことが判明した。再生炭素繊維の破壊を小さくするための適正なワーカ/ストリッパ組数の検討、ファンシーローラの追加が今後の検討課題である。

再生炭素繊維とポリプロピレン繊維を混綿・紡出して得られたウェブ・シートを積層し、ニードルパンチを施した再生炭素繊維不織布シートを積層し熱プレスによって得られたシートはポリプロピレン繊維 70%とガラス繊維 30%からなるアンダーカバー材に対して 23%軽量であるにもかかわらずその衝撃強度は同等であることが確認された。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社オーツカ

取締役技術部部长 吉田 誠

〒503-1543 岐阜県不破郡関ヶ原町今須野田 231-1

TEL: 0584-43-5281

FAX: 0584-43-5289

E-mail: myoshida1@otsukacorp.co.jp

カーボンファイバーリサイクル工業株式会社

代表取締役 板津 秀人

〒505-0041 岐阜県美濃加茂市太田町 2727-2 佐光ビル 2F

TEL: 0574-49-9836

FAX: 0574-49-9837

E-mail: hidehito_itazu@siren.ocn.ne.jp

第2章 本論

① 不織布加工前処理工程の高度化

導入装置

炭素繊維切断装置 アトリエ・ピエレ G28R1

不織布製造の前処理工程として再生炭素繊維の切断を行うため、アトリエ・ピエレ製高速切断装置 G28R1(図1)を導入した。本装置は以下のような特徴を持つ。



図1 アトリエピエレ G28R1

(1) 切断方式:高速楕円ギロチン

ギロチン方式のメリットである低負荷で確実に切断できる機能はそのままに、従来のギロチン方式(往復運動)のデメリットであった低速運転による処理量の低下を、独自の楕円運動(往復運動と回転運動を組み合わせたもの)により解消し、確実にかつ高速で大量に切断でき方式である。炭素繊維用に10.6kW駆動電動機を装備し、切断速度:400回/分の高速切断が可能である。

(2) 切断刃:

切断刃として超硬(タングステンカーバイト)製移動刃(平刃)1枚と固定刃(平刃)1枚を備える。超硬製であることから、強靱な炭素繊維についても耐久性が高く、再研磨も可能である。また、平刃2枚のみを使用するため、スパイラル刃を用いた装置と比較してナイフ調整作業(シム調整)が容易である。

(3) 投入幅および方法:

投入幅は280mm であり、様々な形状の炭素繊維の投入を容易に行うことができる。また投入方法はベルトコンベア式であり、ベルトコンベアを速度をギア交換によってり変化させ、切断長を6~150mm の範囲で変化させることが可能である。 また投入炭素繊維が過大で詰まり等が生じた場合は、ベルトコンベアを逆回転させることでそれを解消することができる。

炭素繊維用集塵装置 アマノ PPC-3032-TFP

不織布製造の前処理工程として再生炭素繊維の切断を行う際に発生する粉塵を適切に集塵するため、アマノ社製 PPC-3032-TFP を導入した。本装置は図2のとおりであり、以下のような特徴を持つ。

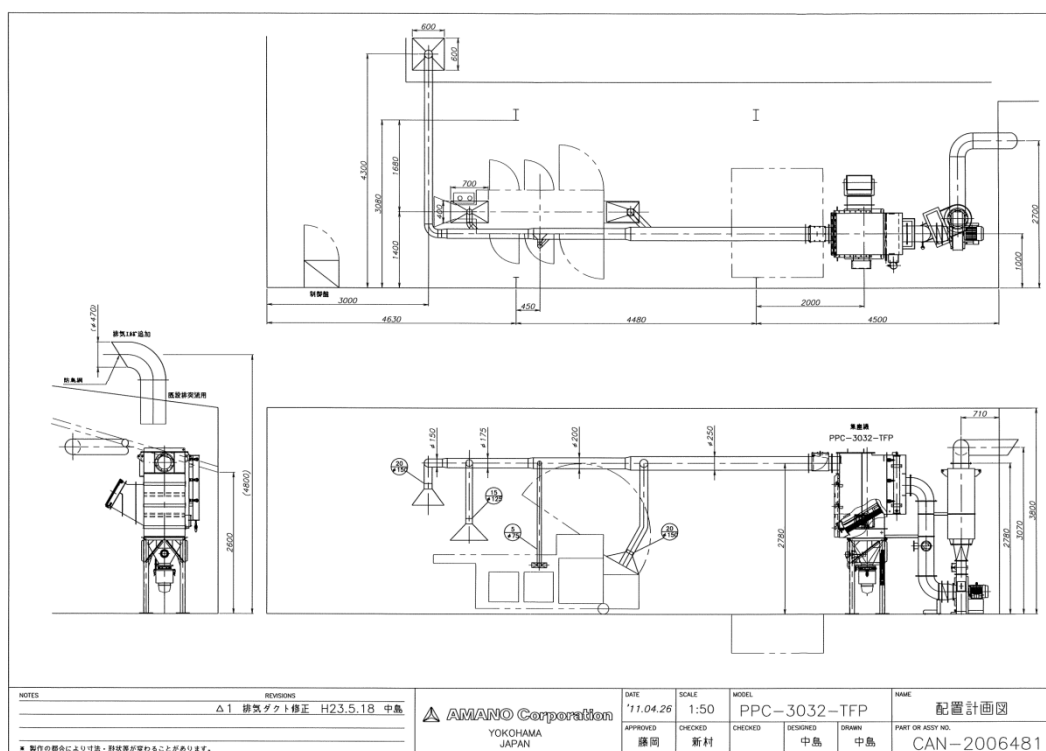


図2 PPC-3032-TFP カーボンファイバーリサイクル工業工場内配置図

- (1) 集塵性能: 集塵静圧 60m³/min、集塵静圧-4.0kpa、フィルター面積 40.5m²。
- (2) 粉塵爆発(静電気)の対策: 静電フィルターおよび接粉部導電塗装を備えている。
- (3) 粉塵排出部分は作業者が粉体に接触する事のなく袋詰めする構造を有している。
- (4) フィルター交換時、作業者が直接フィルター、粉塵に触れることなく交換する機能を有している。

切断試験

1) 1回切断試験

廃プリプレグおよび廃クロス織物から再生した炭素繊維について切断試験を行った。高速切断機の切断長は5cmに設定して行った。

繊維方向が1方向のプリプレグから再生した炭素繊維では、切断刃に対する繊維方向の角度のばらつきが小さく、1回の切断で目標長の5cmに近い切断長が得られた(図3)。



図3 切断済み再生炭素繊維プリプレグ

一方、再生した炭素繊維クロス織物を切断した場合、再生プリプレグの場合と比較して切断長のばらつきが大きく、設定長の3倍程度の長さのものが認められた(図4)。



図4 切断済み再生炭素繊維クロス織物。設定長の3倍に切断された繊維が認められる。

クロス織物の長さのばらつきが大きかった理由として以下の因子が考えられる。導入した切断機の切断刃往復速度は一定であり、コンベア速度を調整することによって切断長を変化させている。従って、設定した切断長は図5のとおり被切断繊維が切断刃に対して垂直に通過することを仮定している。

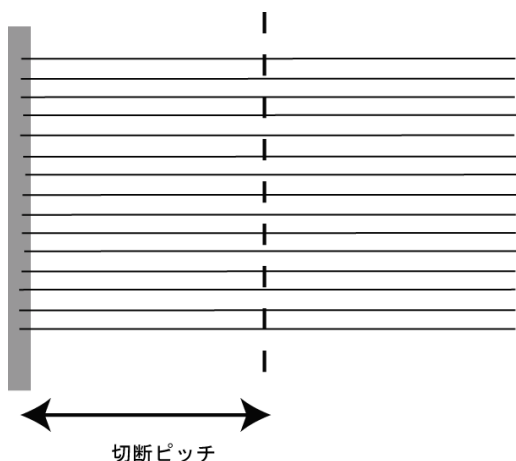


図 5 切断刃と繊維方向が垂直な場合の切断長

しかし、実際には繊維が切断刃に対して斜めに通過してしまう場合があり(図6)、設定長より長く切断されてしまう場合がある。また廃棄物となったクロス織物の伸張方向と編み込まれた繊維の方向も一致していない場合が多く、切断機の搬送コンベアに乗せた時に、繊維の方向をそろえることが難しい。また、クロス織物はプリプレグから再生したフィラメントの集合体と比較して、しなりがあり、切断刃手前の圧縮ローラーを通過する場合も元々の方向性を維持しやすい。これらの理由からフィラメントの場合と比較して、斜めに通過する割合が高いと考えられる。

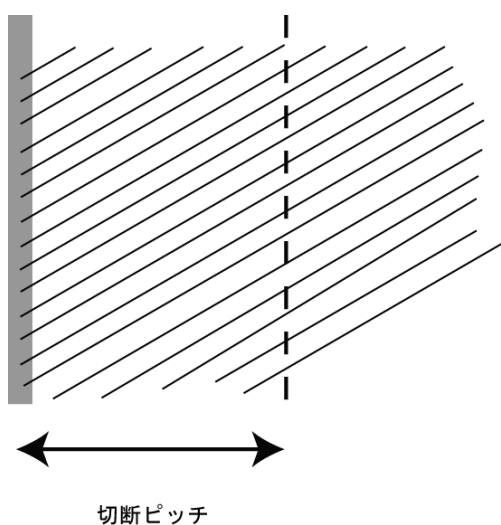


図 6 切断刃と繊維方向が斜めな場合の切断長

また、クロス織物を切断機に乗せる場合、折りたたみやしわができることは避けられないが、搬送中に折りたたみを取り除くことは困難である。このため、設定長の2倍程度の長さに切断される場合がある(図7)。

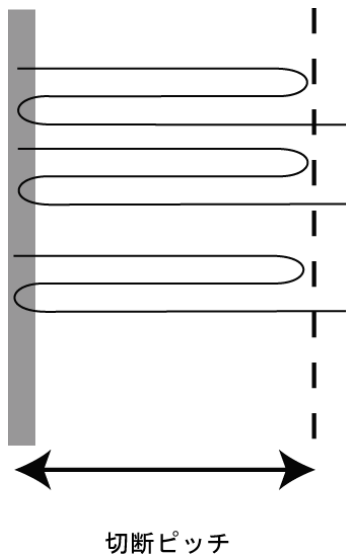


図7 繊維の折りたたみが切断長へ与える影響

2) 2回切断試験

1回切断試験の結果、(1)切断刃と繊維の角度と(2)折りたたみという二つの切断長をばらつかせる因子が認められた。クロス織物を切断する場合、切断刃と繊維の方向の一つが平行な場合、無限長の繊維が得られる可能性があり、ばらつきへの影響は切断刃と繊維の角度の方が大きいと考えられる。

切断刃と繊維の角度の影響を小さくするため、直交する2方向で2回切断することを試みた。V字型の簡易ホッパーを製作して、切断したクロス織物を回収し90°回転させた状態でもう一度切断した。その結果、1回切断で認められたような設定長の3倍の長さを持つような繊維は認められず、1回切断より繊維長のばらつきは小さくなった。まれに折りたたみのため、設定長の2倍程度の長さをもつ繊維が認められるものの、直交する2方向で2回切断することは切断長のばらつきを小さくする上で極めて有効であることが確認された(図8)。



図8 直交する2方向で2回切断した再生炭素繊維クロス織物

本研究開発を通じて、再生炭素繊維の切断長のばらつきを大きくする要因として(1)切断刃と繊維の角度および(2)織物の折りたたみの二つのあることが判明した。(1)の切断刃と繊維角度の影響は、直交する2方向で2回切断することによって小さくすることが可能なことが確認された。

本研究開発では、切断された短冊状クロス織物の方向を維持するため、1回目の切断の後V字ホッパーに一旦回収し90°回転させた後、2回目の切断を行った。事業化を考慮した場合、この方法では繊維の方向を維持しながらホッパーからベルトコンベアに効率的に繊維を供給するという問題がある。事業化する場合には、切断機を直交方向に配置して連続的に2回切断行う方が繊維方向を制御する上で有効であると考えられる。

②再生炭素繊維不織布加工技術の高度化

②-1 不織布の形成(図9)

(1)原料投入・開繊維工程

不織布を形成するにあたり、数種類の原料を使用する場合には均一に繊維が混ざって分散していることが、不織布の物性、仕上がり具合に大きな影響を及ぼす。特に再生炭素繊維の場合は、ストランド形状の剛直な繊維であるため、それ単体では後に示すウェブ作成工程でウェブを作成することが非常にむずかしい為に、再生炭素繊維のキャリアー材料となる別の繊維との混合が不可欠となる。そのため、本工程の目的は、再生炭素繊維と熱可塑性繊維(ポリプロピレン)の2種類を使用し、均一な混合、分散の最適な条件を研究することにある。

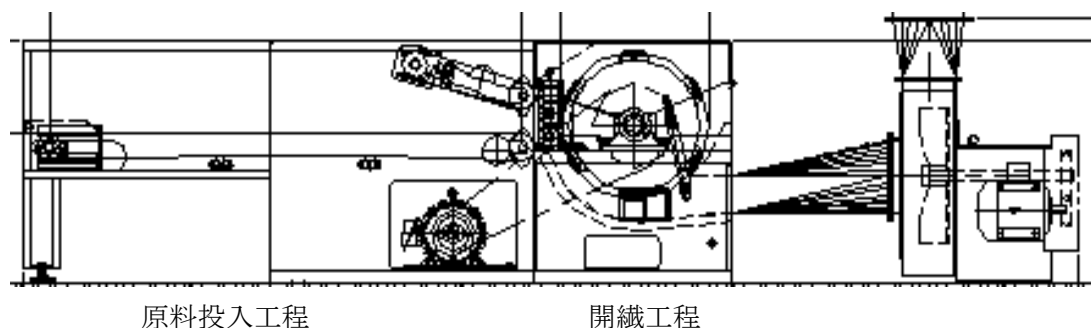


図9 工程の概略図

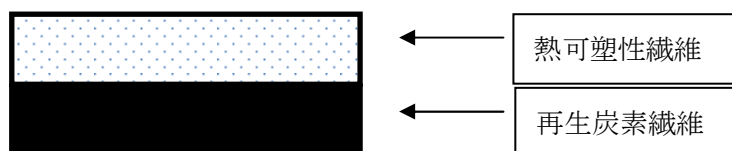
※(評価方法について)

ここでは、再生炭素繊維と熱可塑性繊維の混合割合を重量パーセント比率で50%:50%と固定して投入する。次工程(B:定量供給工程)で混合綿を N=5 でランダムにサンプリングし重量を測定する(A グラム)。混合綿 A をライターで着火し大気中で燃焼させ、熱可塑性繊維は全て燃焼して消失し、残渣で残った再生炭素繊維(B グラム)の重量を測定する。

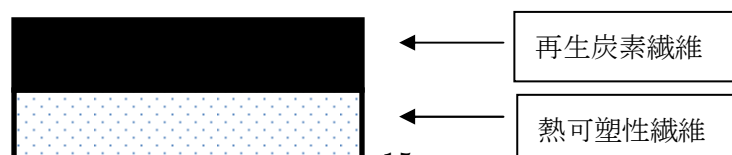
それを下記式により、燃焼後残渣の割合としてバラツキを評価する。

$$\text{残渣の割合(\%)} = B(g) / A(g) \times 100$$

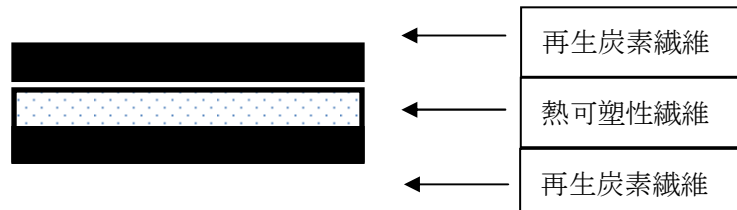
水準Ⅰ:再生炭素繊維の上に熱可塑性繊維を置く



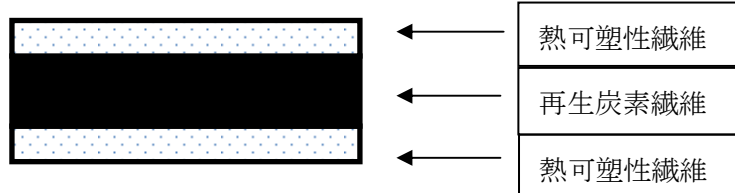
水準Ⅱ:熱可塑性繊維の上に再生炭素繊維を置く



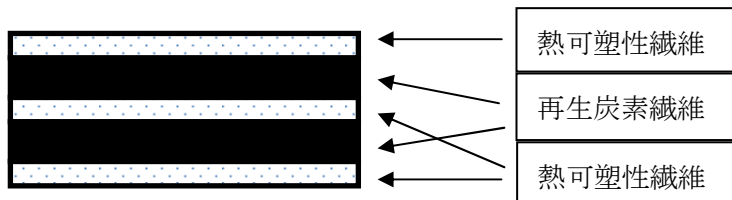
水準Ⅲ:熱可塑性繊維を再生炭素繊維で挟み込む



水準Ⅳ:再生炭素繊維を熱可塑性繊維で挟み込む(3層)

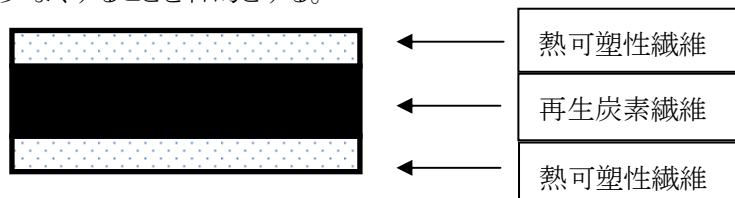


水準Ⅴ:再生炭素繊維を熱可塑性繊維で挟み込む(5層)



水準Ⅵ:再生炭素繊維を予備開織した熱可塑性繊維で挟み込む(3層)

予め熱可塑性繊維のみを開織工程を通して、予備開織することにより繊維の塊、ムラを少なくすることを目的とする。



水準Ⅰ～Ⅵまでの結果を表1に示す。以上の結果から

投入方法については水準Ⅳが最適であると結論づける

表1 投入方法による燃焼後残渣の割合

| 水準 | 燃焼後残渣の割合 | |
|-----|----------|------|
| | AVE(%) | 標準偏差 |
| 水準Ⅰ | 42 | 16.2 |
| 水準Ⅱ | 49.4 | 8.4 |
| 水準Ⅲ | 51.8 | 15.4 |
| 水準Ⅳ | 48.6 | 4.7 |
| 水準Ⅴ | 49.2 | 4.6 |
| 水準Ⅵ | 48.6 | 5.8 |

I 処理量の検討

投入方法は、上記水準Ⅲに固定し、1時間当たりの処理量の違いにより燃焼後残渣の割合にバラツキが出るか検証を実施。結果を表2に示す。

表2 処理量による燃焼後残渣の割合

| 水準 | 処理量(kg/h) | 燃焼後残渣の割合 | |
|----|-----------|----------|------|
| | | AVE(%) | 標準偏差 |
| 1 | 30 | 48.8 | 5.6 |
| 2 | 50 | 47.3 | 4.8 |
| 3 | 80 | 47.9 | 4.4 |
| 4 | 100 | 49.5 | 4.1 |
| 5 | 200 | 48.2 | 12.7 |

表2のとおり、処理量が100kg/hまでは、特筆すべきことはなく、安定した状態で開繊、混綿が進んでいることが分かる。しかしながら200kg/hになると、再生炭素繊維の量が多くなり処理能力の限界を超えてしまい、炭素繊維が均一に開繊、搬送されずに、塊やムラのあるままで混綿されている。

II 開繊方法の検討

原料投入工程の次工程に、開繊工程と呼ばれるものがある。この工程は三角円錐形状のピンがついている高速回転するシリンダーに、原材料を通過させることにより収束している繊維を開いて分散させる工程である。このシリンダーの回転数を変化させることにより、燃焼後残渣の割合のバラツキに差が出るか検討を実施した。処理量は100kg/hで固定する。結果を表3に示した。

表3 シリンダー回転数による燃焼後残渣の割合

| 水準 | シリンダー設定 | | 燃焼後残渣の割合 | |
|----|----------|-------------|----------|------|
| | 回転数(rpm) | 表面速度(m/min) | AVE(%) | 標準偏差 |
| 1 | 100 | 196 | 48.3 | 8.6 |
| 2 | 300 | 588 | 49.7 | 6.0 |
| 3 | 500 | 981 | 48.5 | 4.8 |
| 4 | 700 | 1373 | 49.0 | 4.1 |
| 5 | 900 | 1766 | 49.1 | 4.2 |

表3のとおり、シリンダーの回転数が大きくなる(表面速度が速くなる)につれて、燃焼後残渣の割合のバラツキは小さくなる傾向がある。これは、炭素繊維に接触するピンの数が増えることにより、炭素繊維の開繊が進み、塊が小さくなって分散性が増すものとする。しかしながら、表面速度が1500m/minを超えてくると、炭素繊維の開繊が進み炭素繊維の束状の塊が少なくなる。次工程のウェブ作成工程で、炭素繊維に1本1本にかかる負荷が増大するため、炭素繊維切れや破壊が発生してきてしまう為、製品の物性、品質、生産性低下が懸念される。そのため、シリンダーの回転数としては、表面速度で1000～1500m/minの範囲内にあるのが最も適正であるとする。

以上の研究結果から、再生炭素繊維を使用する場合の原料投入・開繊工程において品質、物性、生産性において最も適正な方法としては、以下の3点を挙げる。

- ① 再生炭素繊維を別種類の繊維により挟み込み、垂直方向に3層に積層して投入する
- ② 処理量は50～100kg/hとする
- ③ 開繊速度は、シリンダー表面速度を1000～1500m/minとする

(2) 定量供給工程

再生炭素繊維とPPを一定の割合で調合することを混綿とよぶ。定量供給工程とは混綿された集合体をウエイトパンスケール計量後、フィードロールで定量供給する工程である。再生炭素繊維不織布の目付(1m²辺りの重量)を管理する重要な工程である。

I. 最適紡出量の決定

供給安定性や均一性を観察する目的で、表4に条件①から⑤までの写真を取り観察し、判定した。100gから計量を10g単位で減らしていき、最適な条件の検討をした(図10～12)。

表4 計量条件

| | |
|-----|-------------|
| 条件① | 100g×2.1回/分 |
| 条件② | 90g×2.3回/分 |
| 条件③ | 80g×2.6回/分 |
| 条件④ | 70g×3.0回/分 |
| 条件⑤ | 60g×3.5回/分 |

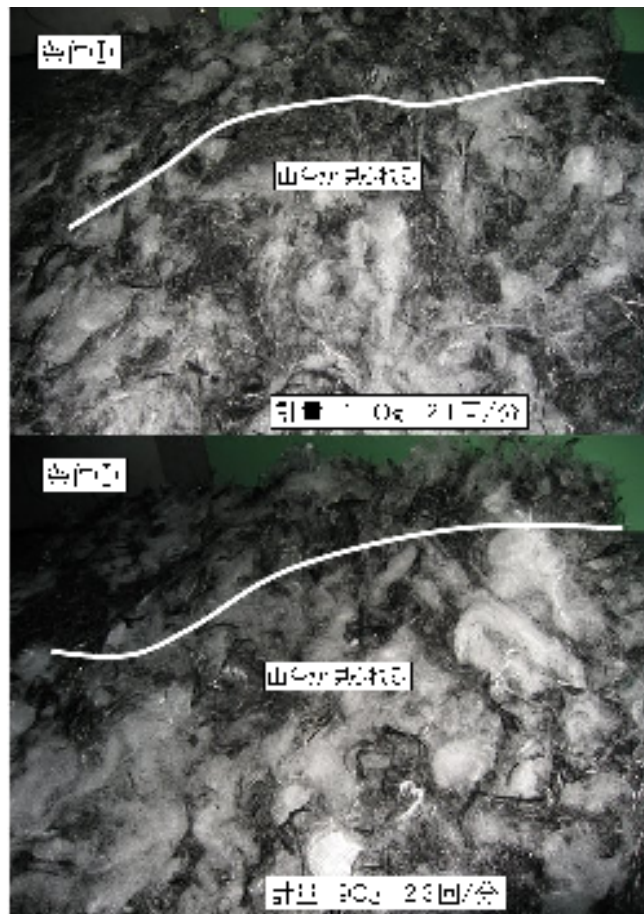


図10 計量実験写真

条件①100g×2.1回/分、条件②90g×2.3回/分の計量実験写真を示す(図10)。

山谷の様子を「太い白線」で表現している。写真のような山谷がある状態で、フィードロールに供給されると、不織布の目付バラツキが大きくなる。

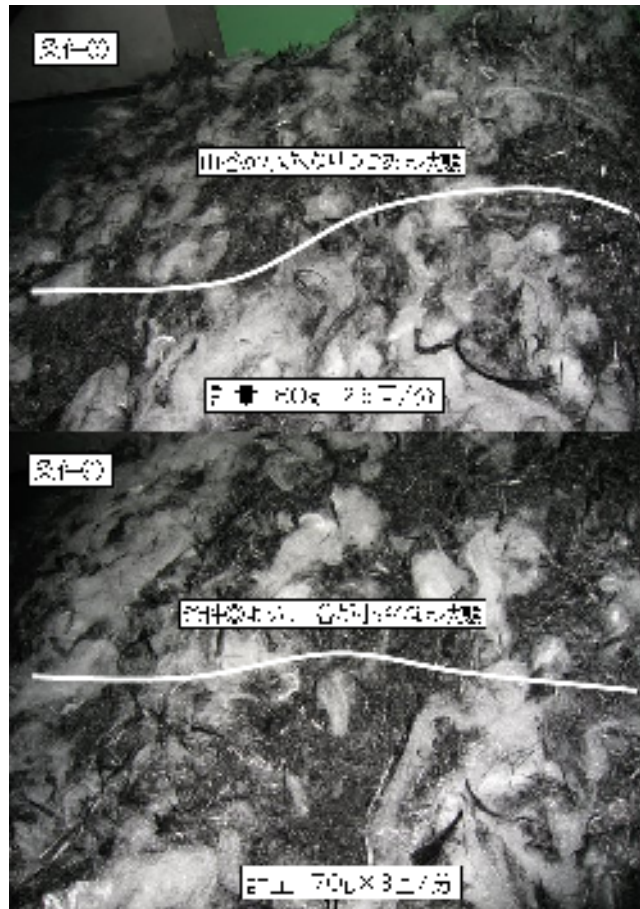


図11 計量実験写真

条件③80g×2.6回/分、条件④70g×3回/分の計量実験の写真を示す。山谷が少しずつ小さくなるのが確認できた(図11)。

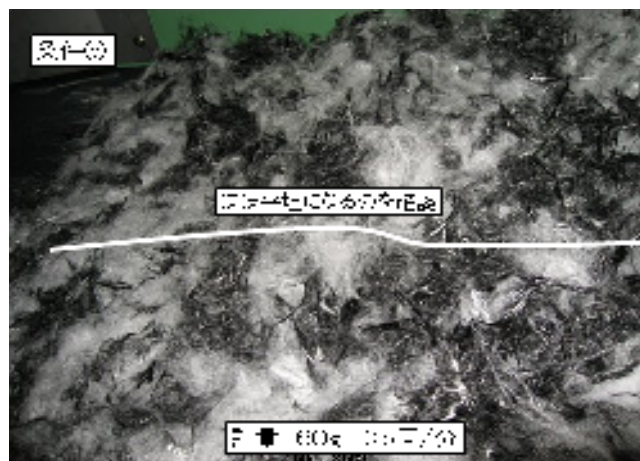


図12 計量実験写真

条件⑤の60g×3.5回/分の計量実験の写真を示す(図12)。この条件にて、原綿の山谷がなくなり、ほぼ平坦になるのを確認した。これにより、局部的な不織布の目付バラツキは解消に向かうと考えられる。よって、断続供給ムラが解消された

(3) ウェブ形成工程

不織布の形成には表面に無数の突起(のこ刃状)が付いた10数本の表速が異なるローラを組み合わせて図14のように各ローラの表速差を利用して繊維を解きほぐし(開繊作用)、繊維を一定方向に引き揃えてシート状の繊維集合体を得る図13のカードという機械を用いる。カードから得られる繊維集合体のことをウェブという。

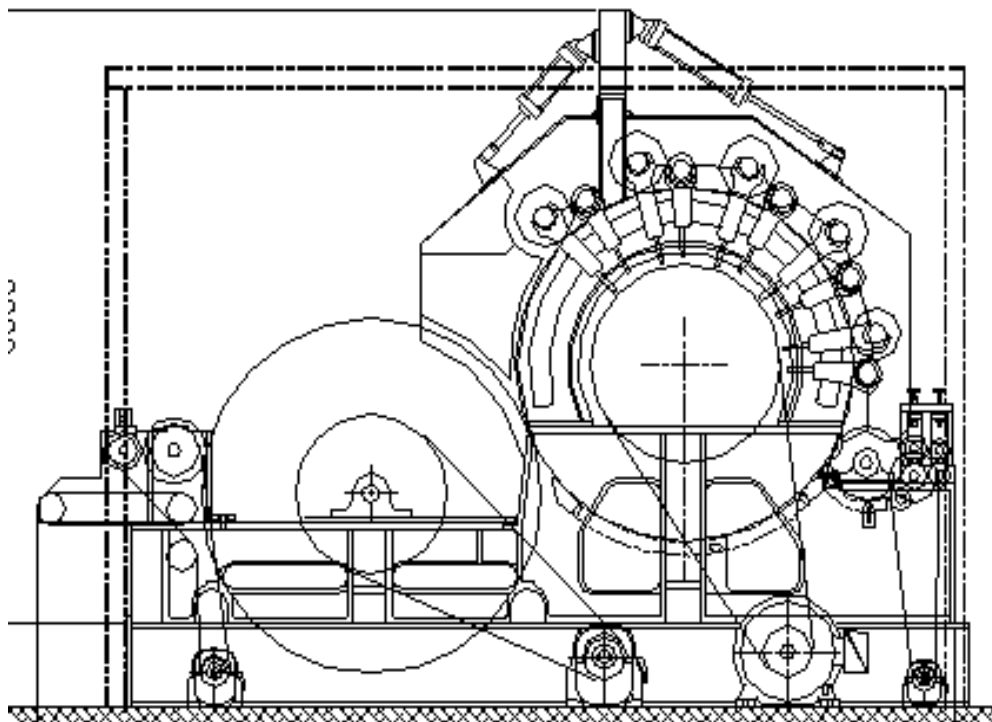


図13 カード

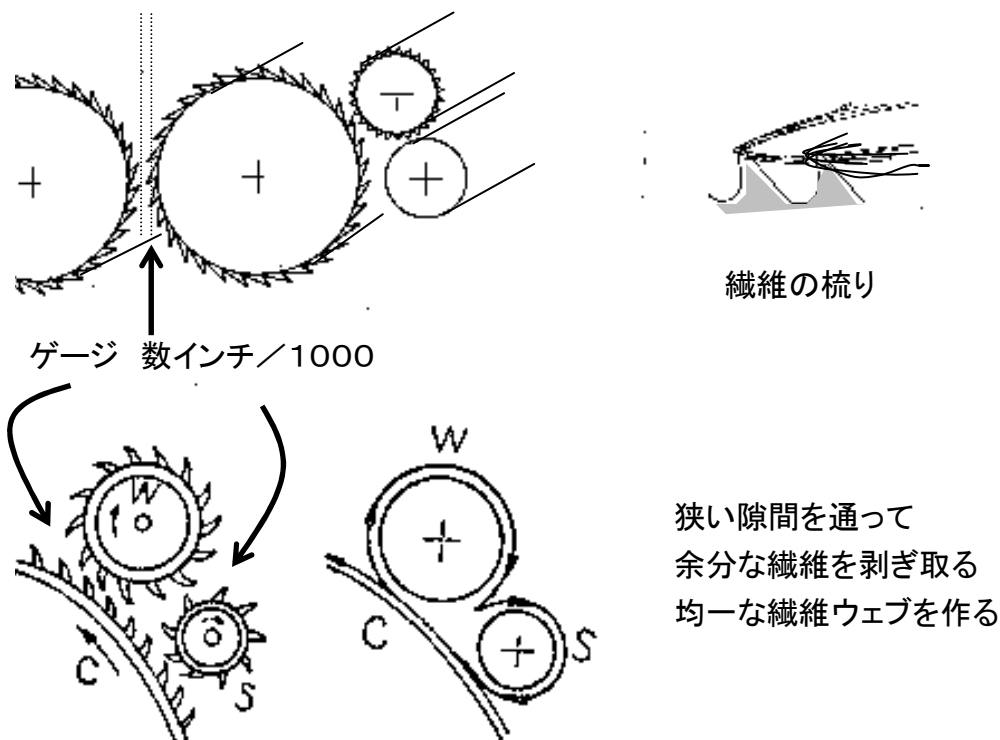


図14 カードの開繊作用

最終製品の強度・伸びなど諸物性のばらつきを小さくするためにはカードから紡出されるウェブのバラツキを小さくする必要がある。また各部の再生炭素繊維の割合のバラツキも小さくする必要がある。炭素繊維は硬く、割れやすいため、なるべく炭素繊維へのダメージを小さくするよう配慮しなければならない。そこでカードの各ローラの速度を変化させてもっともバラツキの小さいカード条件を検討することにした。

その際、紡出量はB. 定量供給工程での検討から $60\text{g} \times 3.5\text{回/分}$ (12.6kg/時間) が最もバラツキが小さく $60\text{g} \times 3.5\text{回/分}$ に固定した。

バラツキは次の2つの方法で評価した。

I. カードから紡出されたウェブの外観観測

カードから紡出されたウェブが切れたり、穴が開いたり、ムラが発生しないかを観測する。

II. 燃焼後残渣の割合のバラツキ

カードから得られたウェブの重量(A)を測定したのちライターで着火し大気中で燃焼させ残った灰分(B)の重量を測定し、残渣の割合を求めた。

この残渣の割合を 各カード条件につき5回測定し、もっとも残渣の割合のバラツキが小さな条件が再生炭素繊維の分散が優れている条件とした。

カード各部の条件を表5のとおり設定し、ウェブの観察および燃焼後残渣の割合のバラツキをおこなった。

表5 カード条件

| 水準 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| シリンダ (rpm) | 129 | 19 | 129 | 155 | 155 | 155 |
| (m/分) | 500 | 500 | 500 | 600 | 600 | 600 |
| ロータリコム(m/分) | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 |
| ドファ(m/分) | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 |
| ワーカ(m/分) | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 |

| 水準 | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| シリンダ (rpm) | 181 | 181 | 181 | 207 | 207 | 207 |
| (m/分) | 700 | 700 | 700 | 800 | 800 | 800 |
| ロータリコム(m/分) | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 |
| ドファ(m/分) | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.7 |
| ワーカ(m/分) | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 |

I. ウェブの外観観測

ウェブの外観観測の結果からウェブの均一さは

良 ← 水準⑩ > ⑪ > ⑦ > ⑫ > ⑧ > ⑨ > ④ > ⑤ > ⑥ > ① = ② = ③ → 悪

となった。

これらの結果からウェブの均一さは

シリンダスピード、ワーカスピードが速いほど均一になることが確認された。

II. 燃焼後残渣の割合のばらつき

各カード条件で紡出されたウェブを採取し、大気中で燃焼させその残渣の割合を測定した。

表6 各カード条件の残渣の割合

| | 水準① | 水準② | 水準③ | 水準④ | 水準⑤ | 水準⑥ |
|-----------|-----|-----|-----|------|------|------|
| 残渣の割合 N=1 | — | — | — | 29.8 | 29.9 | 25.3 |
| 2 | — | — | — | 26.3 | 27.6 | 28.5 |
| 3 | — | — | — | 27.3 | 29.3 | 26.4 |
| 4 | — | — | — | 33.1 | 30.8 | 35.2 |
| 5 | — | — | — | 29.6 | 24.0 | 29.9 |
| 平均 | — | — | — | 29.2 | 28.3 | 29.1 |
| 標準偏差 | — | — | — | 2.63 | 2.68 | 3.87 |

| | 水準⑦ | 水準⑧ | 水準⑨ | 水準⑩ | 水準⑪ | 水準⑫ |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 残渣の割合 N=1 | 28.5 | 25.8 | 28.1 | 34.2 | 31.0 | 31.2 |
| 2 | 32.1 | 29.2 | 33.0 | 28.7 | 34.0 | 29.3 |
| 3 | 26.0 | 29.9 | 27.8 | 27.6 | 29.3 | 33.2 |
| 4 | 26.0 | 31.0 | 25.5 | 29.3 | 29.4 | 25.8 |
| 5 | 27.2 | 26.8 | 29.0 | 33.1 | 27.8 | 27.2 |
| 平均 | 28.0 | 28.5 | 28.7 | 30.6 | 30.3 | 29.3 |
| 標準偏差 | 2.53 | 2.17 | 2.74 | 2.89 | 2.36 | 2.98 |

表6に各水準の燃焼後残渣の割合を示す。

いずれの水準でも残渣はおおよそ30%程度であり大きな差は見られなかった。

材料投入時での再生炭素繊維/PP比は50/50であること、再生炭素繊維単体の燃焼残渣が4.6%であることから約60%の再生炭素繊維が粉碎・粉化していると考えられる。

今回のカードは5対のワーカ/ストリッパを備えているが開繊力が高すぎ、過開繊となり、再生炭素繊維の破壊が大きい。

これについては条件面ではこれ以上対応できないため、適正なワーカ/ストリッパ組の組数の検討、ファンシーローラの追加が今後の課題である。

またバラツキには大きな差がないと考えられる。

前記の結果より約60%の再生炭素繊維が失われるため、失われる分を織り込んで再生炭素繊維/PP比を70/30に変更し、ウェブを紡出した。

その際、紡出量は60g × 3.5回/分、カード条件は水準⑩とした。

ウェブ状態を図15に示す。

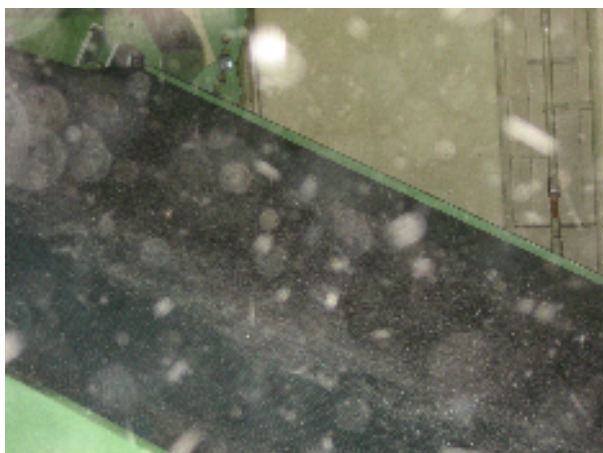


図15 再生炭素繊維／PP=70／30 水準⑩

粉碎したカーボンの飛散が見られるがウェブを得ることができた。
こうして得られたウェブを採取し、燃焼し残渣の測定を行った。

表7 燃焼後の残渣割合

| | 水準⑩ 再生炭素繊維/PP=70/30 |
|-----------|---------------------|
| 残渣の割合 N=1 | 57.0 % |
| 2 | 45.7 % |
| 3 | 46.2 % |
| 4 | 55.3 % |
| 5 | 58.2 % |
| 平均 | 52.5 % |
| 標準偏差 | 6.05 % |

投入量を再生炭素繊維/PP=70/30 にすることでおよそ53%の再生炭素繊維を含有したウェブを得た(表7)。この不織布ウェブ40g/m²になるよう重ね合わせ、熱プレスで 20 ミクロン PP フィルムと貼り合わせてカーボン面材を作成した。プレス条件を次の通りである。

卓上熱プレス機：(株)ハシマ 製 HP-380A
温度 : 上面 180℃ 下面 180℃
エア圧 : 4kgf/cm²
プレス圧 : 314kgf (0.348/cm²)
プレス時間 : 20 秒

このようにして得られた再生炭素繊維を用いたカーボン面材をバージン炭素繊維を用いたカーボン面材と外観を比較した(図16・17)。



図16 再生炭素繊維を用いたカーボン面材

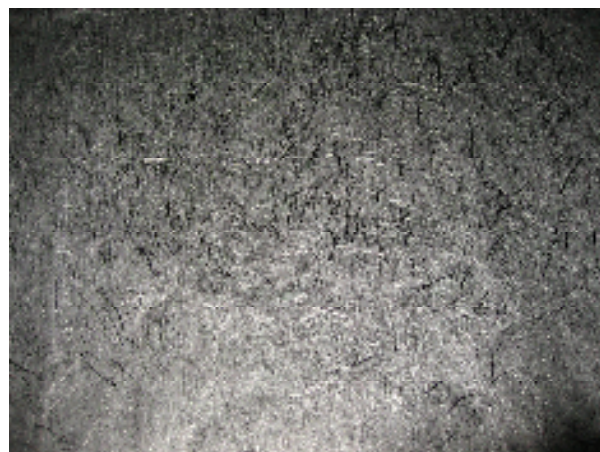


図17 バージン繊維を用いたカーボン面材

再生炭素繊維は単糸であり、バージン炭素繊維はストランドを形成している。このため、単純な比較はできないが再生炭素繊維の斑はバージン炭素繊維と同程度であると考える。

前述のようにして得た再生炭素繊維を用いたカーボン面材の強度を岐阜県産業技術センター繊維研究部で測定した。試験条件は下記のとおりである。

試験機 : (株)島津製作所製 万能試験機 オートグラフ AGS-5kN

ロードセル : (株)島津製作所製ロードセルセット AGS-J 1kN

試験巾 : 3cm

チャック間距離 : 100mm

試験速度 : 200mm/分

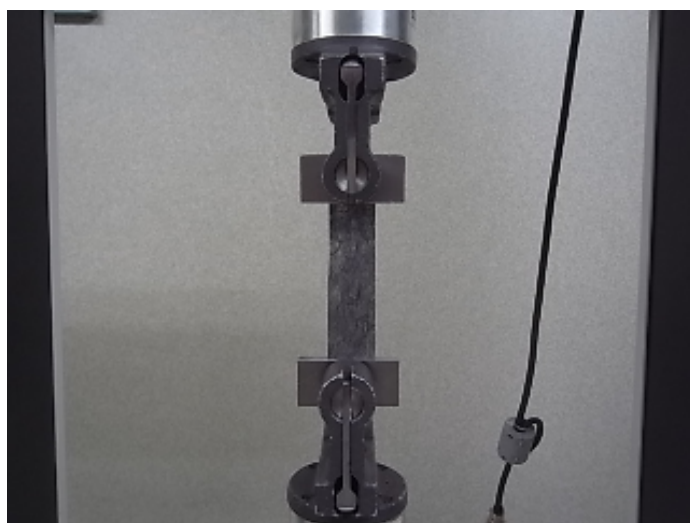


図18 強度の測定

表8に再生炭素繊維を用いたカーボン面材の引張強度試験結果を示す。

表8 再生炭素繊維を用いたカーボン面材の強度試験結果

| 名前 単位 | 最大点 試験力 N | 最大点 変位 mm | 最大点 応力 N/mm ² | 最大点 ひずみ % |
|----------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| たて1-1 | 123.610 | 0.87033 | 103.008 | 0.87033 |
| 1-2 | 151.845 | 0.87033 | 126.537 | 0.87033 |
| 1-3 | 150.455 | 0.95300 | 125.379 | 0.95300 |
| 1-4 | 128.350 | 0.93250 | 106.958 | 0.93250 |
| 1-5 | 96.1800 | 0.89100 | 80.1500 | 0.89100 |
| 1-6 | 86.2800 | 0.80800 | 71.9000 | 0.80800 |
| 1-7 | 97.5150 | 0.68367 | 81.2625 | 0.68367 |
| 平均値 | 119.176 | 0.85840 | 99.3135 | 0.85840 |
| 標準偏差 | 26.5507 | 0.09024 | 22.1254 | 0.09024 |
| 最大値 | 151.845 | 0.95300 | 126.537 | 0.95300 |
| 最小値 | 86.2800 | 0.68367 | 71.9000 | 0.68367 |
| レンジ値 | 65.5650 | 0.26933 | 54.6370 | 0.26933 |
| 中央値 | 123.610 | 0.87033 | 103.008 | 0.87033 |
| JIS平均 | 146.255 | 0.93238 | 121.879 | 0.93238 |
| 変動係数 | 0.22278 | 0.10512 | 0.22278 | 0.10512 |
| 3s | 79.6520 | 0.27072 | 66.3762 | 0.27072 |

| 名前 単位 | 最大点 試験力 N | 最大点 変位 mm | 最大点 応力 N/mm ² | 最大点 ひずみ % |
|----------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| よこ1-1 | 47.5350 | 1.14000 | 39.6125 | 1.14000 |
| 1-2 | 62.6550 | 1.05700 | 52.2125 | 1.05700 |
| 1-3 | 55.9000 | 1.26433 | 46.5833 | 1.26433 |
| 1-4 | 50.3100 | 1.26433 | 41.9250 | 1.26433 |
| 1-5 | 64.2300 | 0.97400 | 53.5250 | 0.97400 |
| 1-6 | 60.7400 | 1.05700 | 50.6167 | 1.05700 |
| 1-7 | 49.9450 | 1.38867 | 41.6208 | 1.38867 |
| 平均値 | 55.9021 | 1.16362 | 46.5851 | 1.16362 |
| 標準偏差 | 6.77161 | 0.14730 | 5.64301 | 0.14730 |
| 最大値 | 64.2300 | 1.26433 | 53.5250 | 1.26433 |
| 最小値 | 47.5350 | 0.97400 | 39.6125 | 0.97400 |
| レンジ値 | 16.6950 | 0.41467 | 13.9125 | 0.41467 |
| 中央値 | 55.9000 | 1.14000 | 46.5833 | 1.14000 |
| JIS平均 | 62.5755 | 1.31407 | 52.1463 | 1.31407 |
| 変動係数 | 0.12113 | 0.12659 | 0.12113 | 0.12659 |

バージン炭素繊維を用いて弊社にて過去生産していたカーボン面材の規格値はたて 60N、よこ 25Nである。今回の再生炭素繊維を用いたカーボン面材はたて最小値 86N、よこ最小値 47 Nであり、カーボン面材の強度を満たすことが確認できた

②—2 ニードル形状の最適

(1) ウェブ交絡工程

ニードルパンチ方式では、ニードルの選定が物性を左右する。再生炭素繊維は汎用合成繊維と比較して伸度小さく、脆い材料である。強度が高く、油剤がなく、すべりが悪いことからニードルが折れやすいことも考えられる。そのため、ニードル折れがなく、絡みやすい形状が求められる。

最適なニードルを選定するにあたり、ニードルの貫通抵抗試験を行った。ニードルには多くの種類があるが、目付200g/m²を作成するのに適している針番手(ゲージ)36番と40番を検討した。ニードルには3社から4種類(A、B、C、D)選択した。

I 貫通抵抗試験

図19はニードル貫通抵抗試験機である。

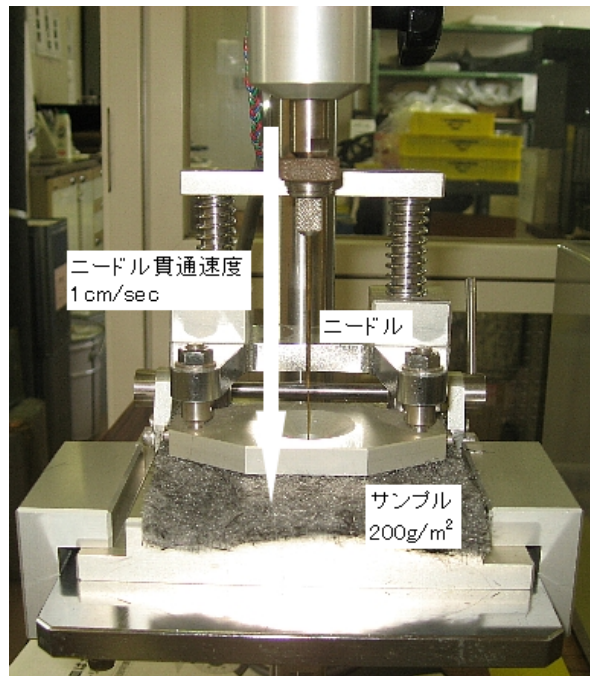


図19 貫通抵抗試験機

II 貫通抵抗実験

X軸Strain(距離) Y軸Force(力)を示す。図の「赤い×印」をニードル貫通抵抗値とよぶ。

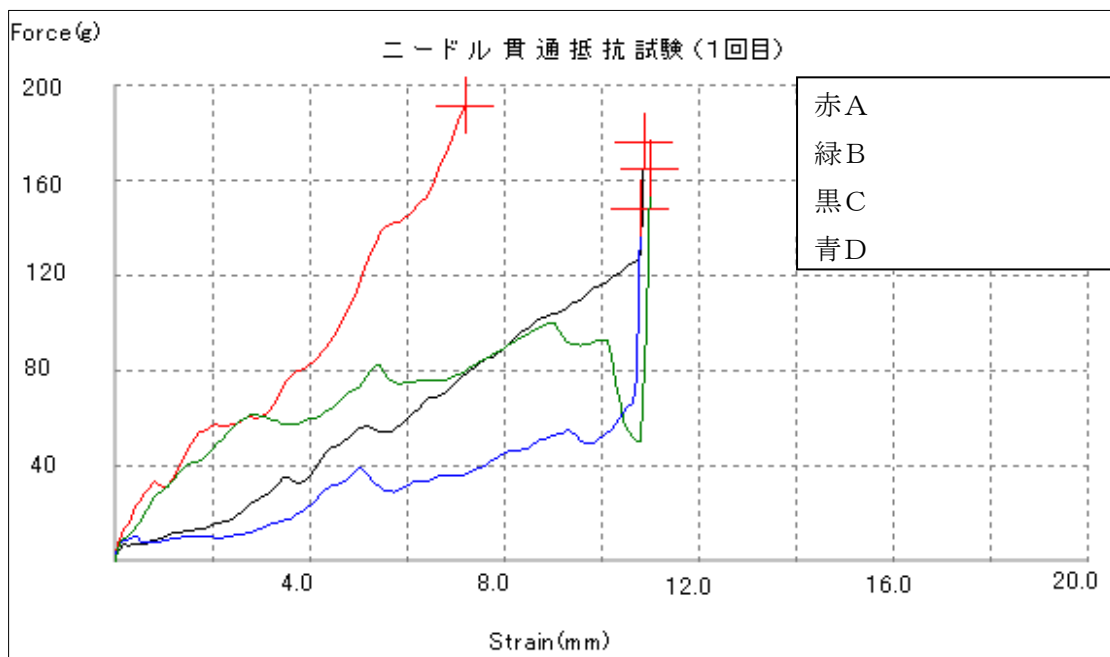


図20 ニードル貫通抵抗試験

図20を見ると3種類(B、C、D)の貫通抵抗値に大きな差は見られない。

しかし、Aのみが、小さいStrainで大きなForceになっている。まず、ニードルバープによって、再生炭素繊維が押し込まれる。しかし、再生炭素繊維は脆く、伸度がないため、破断し、保持されにくい。よって、Aは保持力に優れている。

再生炭素繊維の損傷を小さくするには、Aが最適なニードルであると考えられる。

②-3 ニードル密度(ペネ数)の最適化

(1)ニードル機の原理

ニードル機の写真を次に示す(図21)。

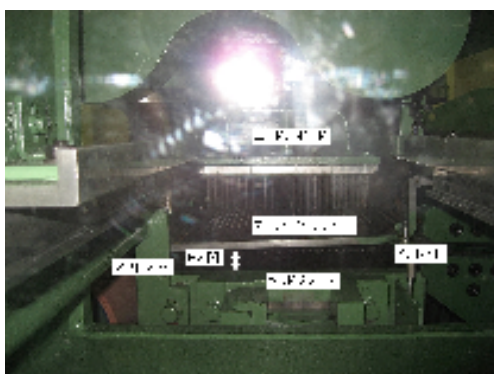


図21 ニードル機

ニードル機には、ウェブを搬送するフィードコンベア、ウェブを圧縮してニードル機に送り込むインレットローラ、ウェブを送り出すアウトレットローラが備え付けられている。

このアウトレットローラ速度と針の上下運動回数によりパンチ密度が決定される。また、ベットプレート上下移動させることにより針の深さを調整することができる。ニードル機は、繊維ウェブを一定速度で進行させ、進行方向に一定間隔、横方向に等ピッチで植えられた複数のニードルで突き刺す機械である(図22)。



図22 ニードルパンチによる再生炭素繊維不織布

(2) ニードルピッチの検討

ニードルピッチとは「1ストローク辺りの送り量の事である」。パンチ密度を上げるには細かいピッチを選択すればよい。自動車用成形用基材を作成するには200g/m²のシートを複数枚組み合わせ、熱プレスにて作成する。表9のように3水準の試作を行った。後述するニードル深さは「10mm」に固定化しておく。

表9 ニードルピッチ条件

| | ピッチ | ポイント数 | ストローク |
|-----|-----|-------|-------|
| 水準1 | 8.0 | 38 | 78 |
| 水準2 | 6.0 | 50 | 105 |
| 水準3 | 4.0 | 75 | 157 |

水準1、2、3へと進むに従って、ニードルピッチを細かくしていった。水準毎の写真を取ったので以下に示す。ポイント数(本/cm²)とは、1cm²辺りに打ち込まれるニードル密度の事である。数字が大きいほど、高密度であることを示す。ストロークとはニードルビームの回転数のことで、単位は「rpm」である。

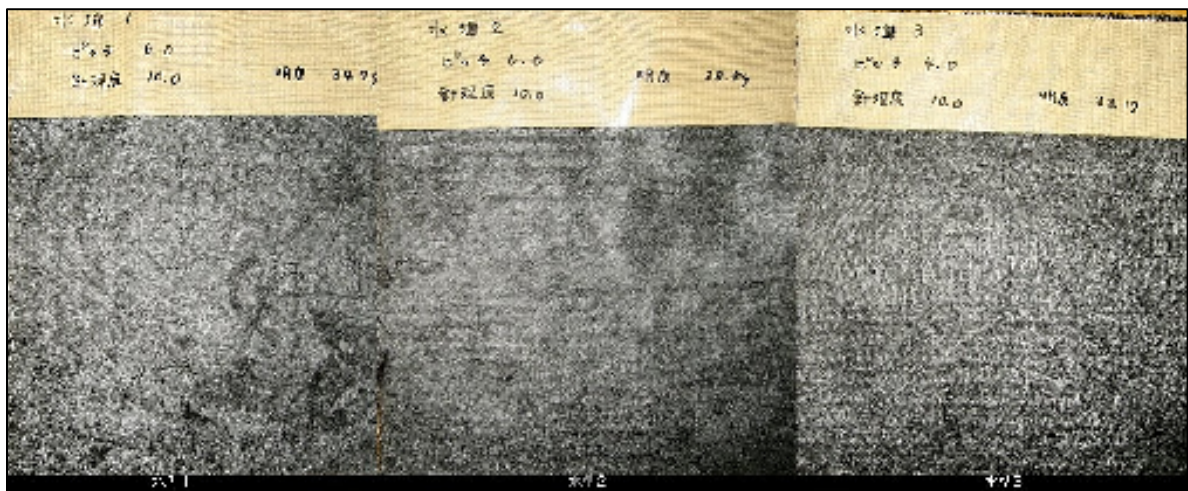


図23 水準ごとの状況

「水準2」、「水準3」はニードルパターンと呼ばれる横段(同調現象)が見られる(図23)。

ニードルピッチを細かくした方が、引張強度等の物性面では有利である。しかし、ニードルピッチを細かくするにはストローク数を上げなければならない。ストローク数を上げると再生炭素繊維が損傷する現象が懸念される。

「水準1」では、ポイント数が少なく、再生炭素繊維の損傷は最も少ないと考えられる。同調現象も特に起きていない。ストローク数「78rpm」が安定可能な最小の回転数であった。60rpm以下では機械が動作しない。60rpm～70rpmでは、電氣的ブレを拾ってしまい、回転が安定せず、機械動作が不安定であった。ニードルピッチとしては、水準1の「8.0」が優れていた。

(3) ニードル深さの検討

ニードルパンチ方式では、ニードル深さのことを針深度という。

表9に示した水準1、2、3に対して、針深度を「10mm→14mm」に変更した試作を行った。

表10 ニードル深さの検討

| | ピッチ | ポイント数 | 針深度 |
|-----|-----|-------|-----|
| 水準4 | 8.0 | 38 | 14 |
| 水準5 | 6.0 | 50 | 14 |
| 水準6 | 4.0 | 75 | 14 |

同様に次に写真を示す。

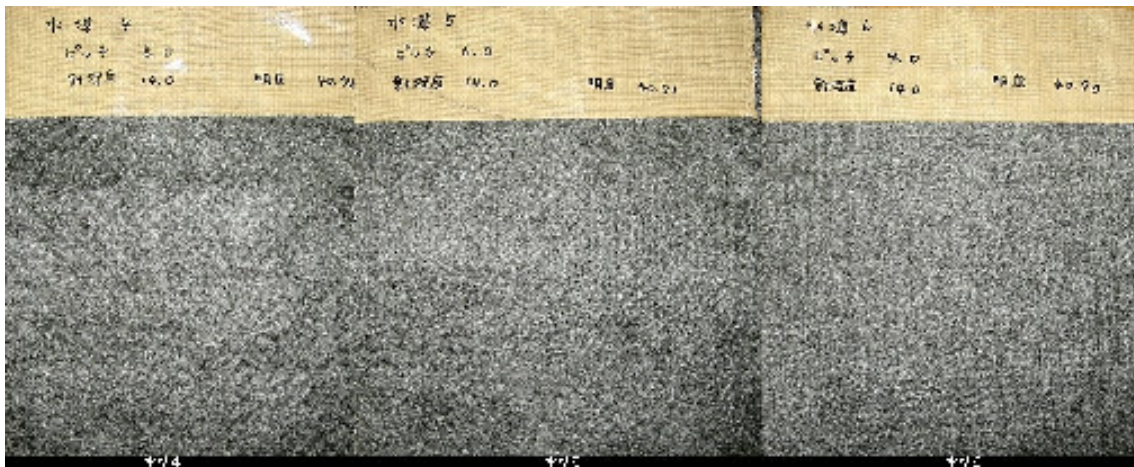


図24 ニードル深さの検討

目視判定で表面(ニードルの突き出し側)が全体的に白っぽくなっているのが分かる。この白いのはPPである。再生炭素繊維は、針深度が深くなると、変形量が大きくなり、破壊されて、突き出し側まで出てこない現象である。すなわち、繊維層の分離により、再生炭素繊維の破断が始まっている。PPのみがニードルバンプに引っ掛かって出ているためである。針深度14mmは、深度が深すぎると判定する。

②-4 目付重量と物性の相関関係の検討

作成した6水準の引張強度を「岐阜県産業技術センター 繊維研究部」で、評価した。

表11. 12は③「再生炭素繊維不織布の評価」の引用データである。

ただし、PP100%の不織布は繊維研究部の機械を用いて試作したものである。

表11 評価した不織布の組成、ニードルパンチ条件、及び目付

| 組成 | 水準 | 目標目付 (g/m ²) | ピッチ (mm) | 針伸度 (mm) | 目付(g/ m ²) |
|-------------------------|----|-----------------------------|-------------|-------------|---------------------------|
| 再生炭素 繊維/PP =50/50 | 1 | 200 | 8 | 10 | 231 |
| | 2 | 200 | 6 | 10 | 218 |
| | 3 | 200 | 4 | 10 | 265 |
| | 4 | 200 | 8 | 14 | 255 |
| | 5 | 200 | 6 | 14 | 228 |
| | 6 | 200 | 4 | 14 | 221 |
| PP100% | - | 200 | 3 | 14 | 246 |

表12 再生炭素繊維不織布とPP100%の強伸度

| サンプル | 水準 | 目標目付 (g/ m ²) | 針ピ ッチ (mm) | 針伸 度 (mm) | 目 付 (g/ m ²) | たて方向 | | | | よこ方向 | | | |
|-------------------------|----|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|
| | | | | | | 引張 強さ (N) | 標 準 偏 差 | 伸 度 (%) | 標 準 偏 差 | 引張 強さ (N) | 標 準 偏 差 | 伸 度 (%) | 標 準 偏 差 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 再生炭素 繊維/PP =50/50 | 1 | 200 | 8 | 10 | 231 | 12.4 | 1.9 | 67 | 22 | 119.9 | 26.6 | 44 | 4 |
| | 2 | 200 | 6 | 10 | 218 | 11 | 4.7 | 57 | 15 | 101.8 | 22.7 | 48 | 6 |
| | 3 | 200 | 4 | 10 | 265 | 37.9 | 8.6 | 115 | 10 | 284.6 | 45.3 | 47 | 3 |
| | 4 | 200 | 8 | 14 | 255 | 38.5 | 6.6 | 105 | 20 | 314.4 | 25.7 | 61 | 4 |
| | 5 | 200 | 6 | 14 | 228 | 35.5 | 5.6 | 98 | 9 | 184.5 | 50.9 | 58 | 4 |
| | 6 | 200 | 4 | 14 | 221 | 41 | 4.3 | 100 | 21 | 138.7 | 32.7 | 56 | 5 |
| PP100% | - | 200 | 3 | 14 | 246 | 258.8 | 51.2 | 123 | 12 | 491.7 | 72.7 | 86 | 10 |

③ 再生炭素繊維不織布の評価

各種ニードルパンチ条件により作成された再生炭素繊維不織布について、既設の走査型電子顕微鏡を用いて、ニードルによる炭素繊維の損傷とPP繊維及び炭素繊維の交絡を観察した。観察した再生炭素不織布と観察条件は次のとおりである。

- 再生炭素繊維不織布
 - 混率:再生炭素繊維/PP=50/50
 - ニードルパンチ条件
 - ピッチ:3水準(8mm、6mm、4mm)
 - 針深度:2水準(10mm、14mm)
 - 計 6水準
 - 目付 218~265 g/m²
- 使用機器 走査型電子顕微鏡 JSM-5400(日本電子(株)製)
- それぞれ表面と断面を観察(金を蒸着してから観察)

再生炭素繊維不織布表面の 15 倍観察画像を図25に示す。

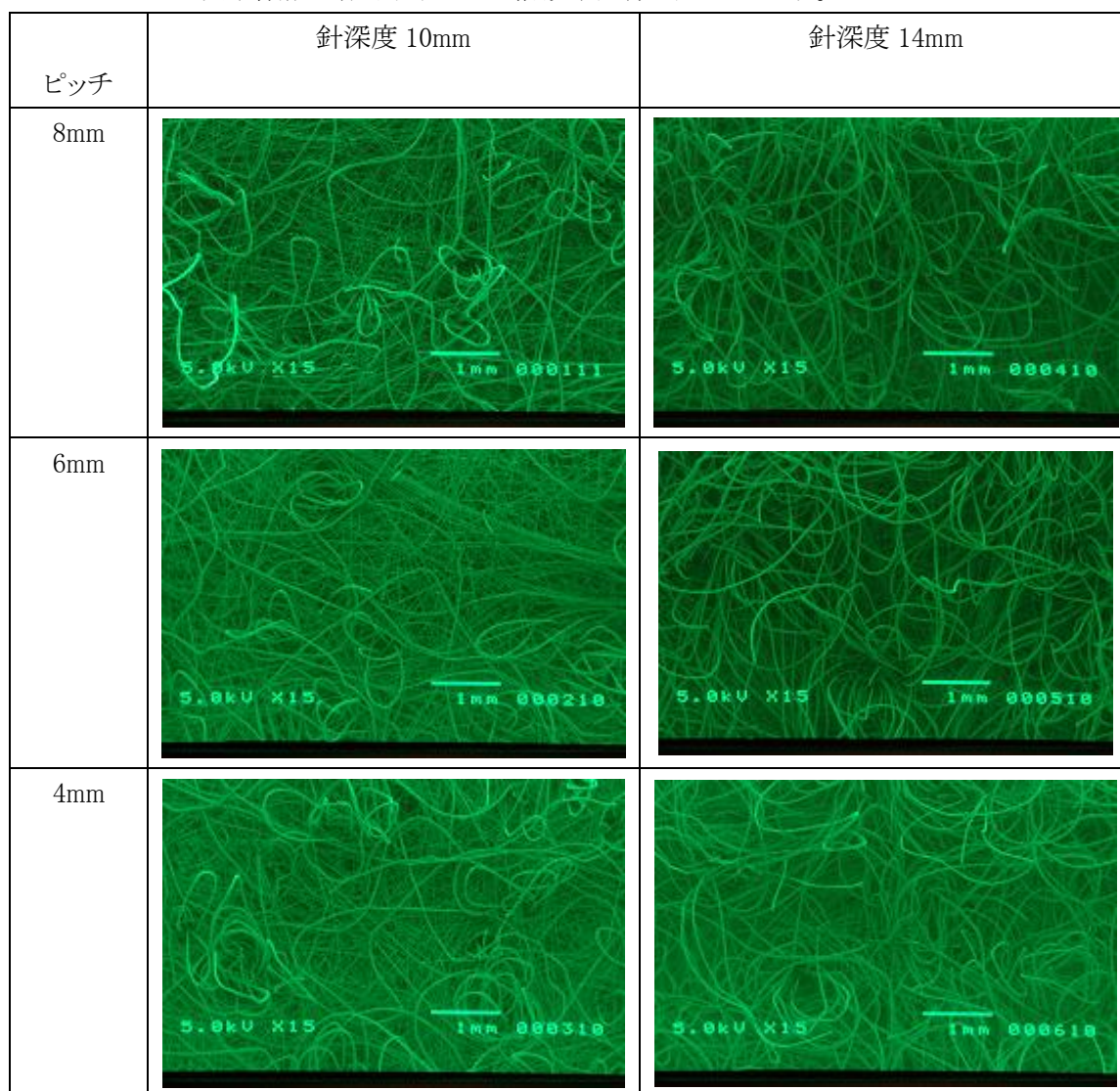


図25 再生炭素繊維不織布表面の 15 倍観察画像

針深度 14mm では、10mm に比べて、表面で PP の露出が目立った。
 炭素繊維表面には目立った傷は見られなかった。炭素繊維は PP と比べて屈曲が少なく、直線的であった。

次に、断面の 15 倍観察画像を図26に示す。

断面の 15 倍観察画像では、ところどころ、PP が垂直方向に配向しているのが観察された。
 以上の結果、再生炭素繊維／PP 繊維のニードルパンチ不織布の繊維交絡は、主に PP 繊維で起こっていることが観察された。

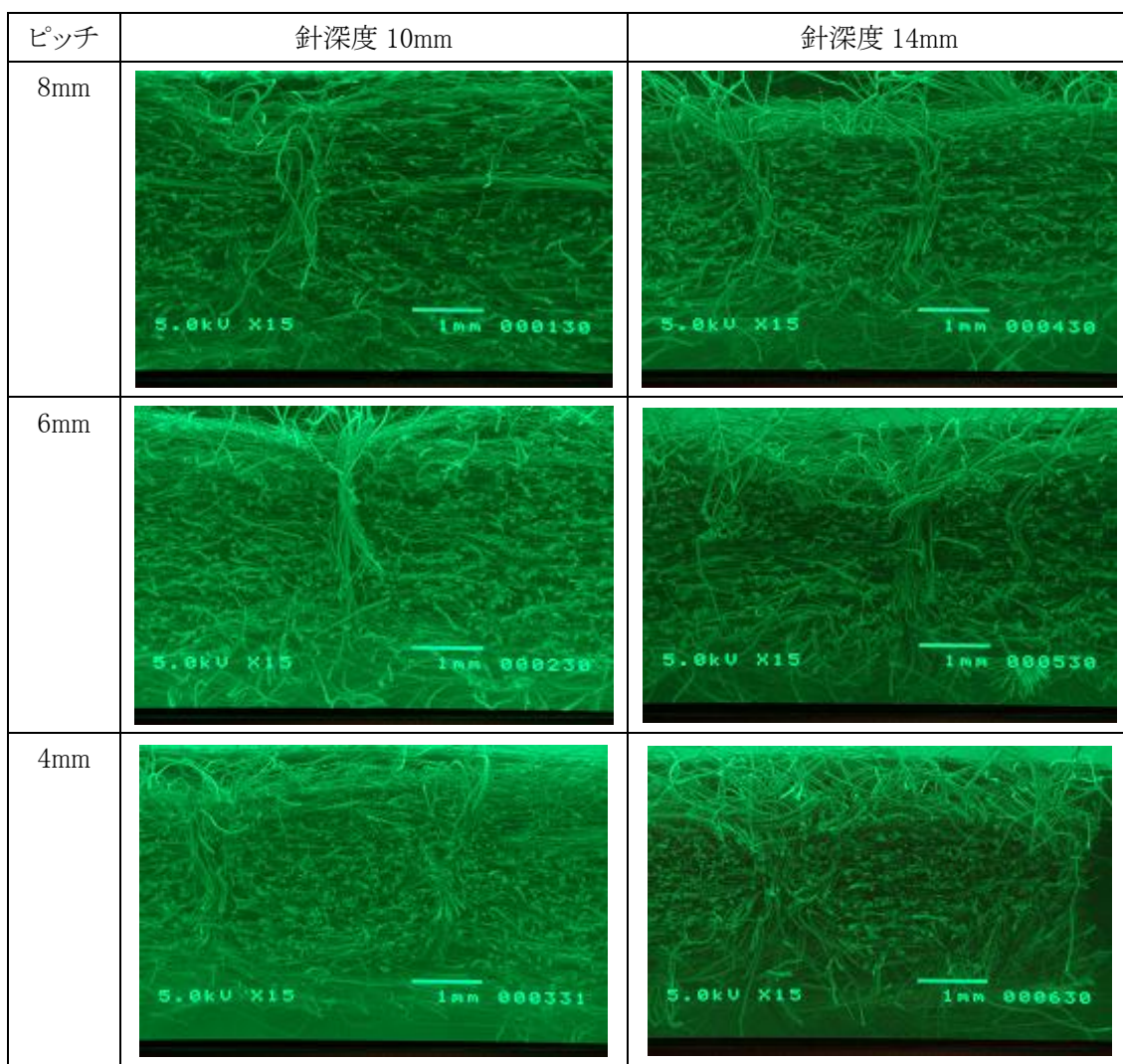


図26 再生炭素繊維不織布断面の 15 倍観察画像

また、導入した炭素繊維不織布引張り試験機用ロードセルセット及び炭素繊維不織布引張り試験用制御ソフトウェア、及び炭素繊維不織布用引裂き試験を用いて、不織布の引張り強さ、最大荷重時の伸び率、10%伸長時の引張り応力(10%モジュラス)、引裂き強さ、及び定伸長時伸長弾性率を測定した。

測定条件は次のとおりである。

- 引張り試験: JIS L1913:2010 6.3 準拠 試験片の幅 5cm、つかみ間隔 20cm
 - 10%モジュラス: 試験片の幅 5cm、長さ 30cm、つかみ間隔 20cm、引張り速度 10cm/分
 - 定伸長時伸長弾性率: JIS L1096:2010 8.15.1 A 法準拠 一定伸びは原長の 105%、初荷重 1N
- 試験機器: 株式会社島津製作所製 AG-500C 型万能試験機 (図27)
ロードセルセット AGS-J 1kN、コントロール制御ソフトウェア (図27)
- 引裂き強さ: JIS L1913:2010 6.4.4 ペンジュラム法 準拠
- 試験機器: 株式会社大栄科学精機製作所製 エレメンドルフ引裂試験機 DAU-6400 (図27)

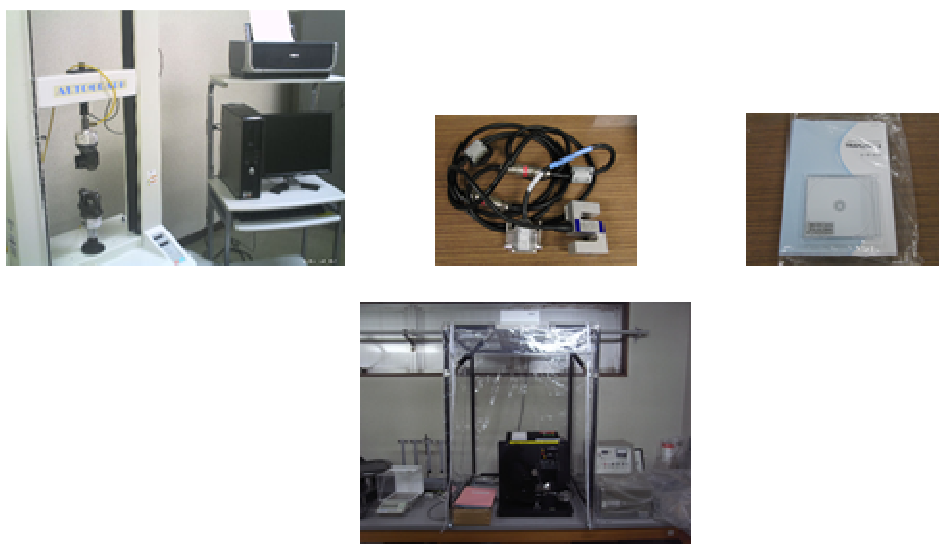


図27 引張り試験機(上段 左: 本体、中: ロードセル、右: ソフト) 引裂き試験機(下段)

評価した不織布の組成、ニードルパンチ条件、及び目付を表13に、再生炭素繊維不織布のたて方向の強伸度を図28に、よこ方向の強伸度を図29に、再生炭素繊維不織布とPP100%不織布の強伸度を表14に示す。

今回評価した再生炭素繊維不織布は、クロスラッパーの作用により、よこ方向に繊維が配向している。たて方向の引張り強さは、水準3~6でほぼ最大となり40N前後、よこ方向の引張り強さは、水準3~4で最大となり300N前後であった。たて方向の伸び率は、水準3~6で約100%とほぼ最大となり、よこ方向はすべての水準で50%前後であった。また、10%モジュラス、引裂き強さ、及び定伸長時伸長弾性率は水準1~6で大差なかった。

以上から、ニードルパンチ条件は、水準3の針深度10mm、ピッチ4mm、或いは、水準4の針深度14mm、ピッチ8mmが最適であることが分かった。

再生炭素繊維不織布の目標強度はたて60N、よこ25Nであった。今回の再生炭素不織布は、繊維の配向方向を「たて」とした場合（再生炭素繊維不織布のよこ方向＝「たて」、再生炭素繊維不織布のたて方向＝「よこ」と反転させた場合）、たて300N前後、よこ40N前後と目標強度をクリアしていることが確認できた。

表13 評価した不織布の組成、ニードルパンチ条件、及び目付

| 組成 | 水準 | 目標目付 (g/m ²) | ピッチ (mm) | 針伸度 (mm) | 目付(g/ m ²) |
|-------------------------|----|-----------------------------|-------------|-------------|---------------------------|
| 再生炭素 繊維/PP =50/50 | 1 | 200 | 8 | 10 | 231 |
| | 2 | 200 | 6 | 10 | 218 |
| | 3 | 200 | 4 | 10 | 265 |
| | 4 | 200 | 8 | 14 | 255 |
| | 5 | 200 | 6 | 14 | 228 |
| | 6 | 200 | 4 | 14 | 221 |
| PP100% | - | 200 | 3 | 14 | 246 |

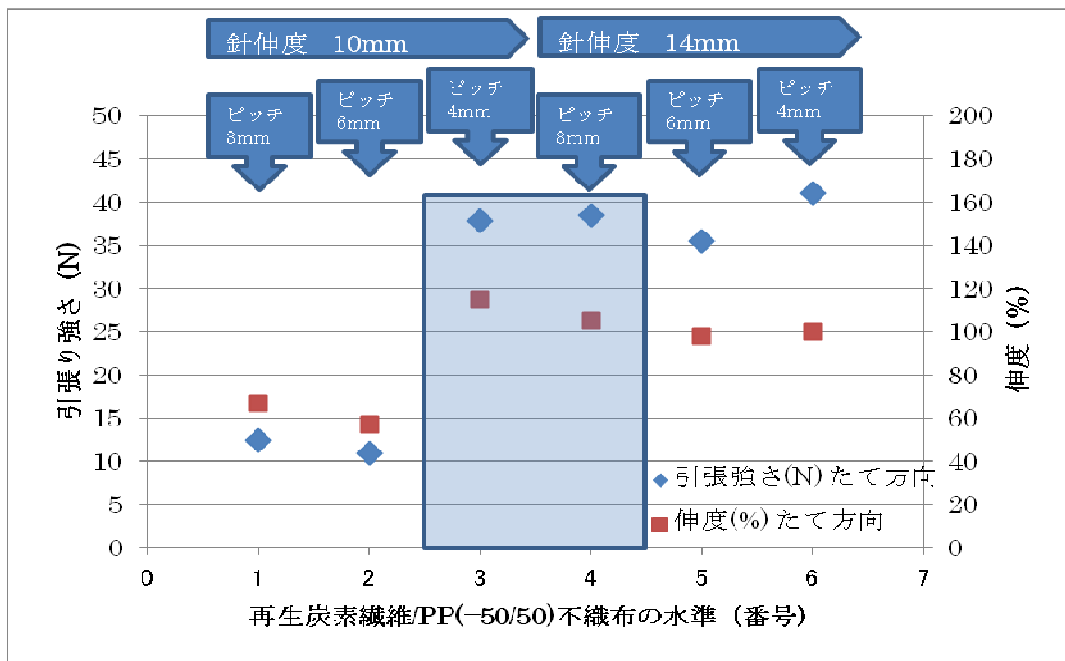


図28 再生炭素繊維不織布のたて方向の強伸度

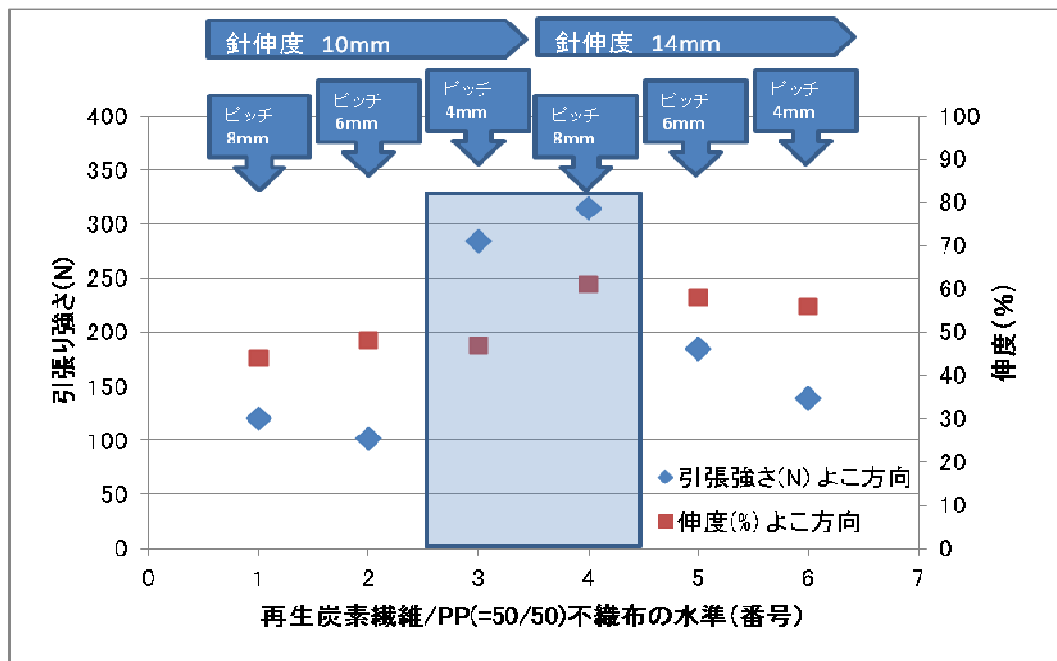


図29 再生炭素繊維不織布のよこ方向の強伸度

表14 再生炭素不織布とPP100%不織布の強伸度

| サンプル | 水準 | 目標目付 (g/m ²) | 針ピッチ (mm) | 針伸度 (mm) | 目付 (g/m ²) | たて方向 | | | | よこ方向 | | | |
|-------------------------|----|-----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|-------------|------|-----------|------|-------------|------|-----------|------|
| | | | | | | 引張強さ (N) | 標準偏差 | 伸度 (%) | 標準偏差 | 引張強さ (N) | 標準偏差 | 伸度 (%) | 標準偏差 |
| 再生炭素 繊維/PP =50/50 | 1 | 200 | 8 | 10 | 231 | 12.4 | 1.9 | 67 | 22 | 119.9 | 26.6 | 44 | 4 |
| | 2 | 200 | 6 | 10 | 218 | 11 | 4.7 | 57 | 15 | 101.8 | 22.7 | 48 | 6 |
| | 3 | 200 | 4 | 10 | 265 | 37.9 | 8.6 | 115 | 10 | 284.6 | 45.3 | 47 | 3 |
| | 4 | 200 | 8 | 14 | 255 | 38.5 | 6.6 | 105 | 20 | 314.4 | 25.7 | 61 | 4 |
| | 5 | 200 | 6 | 14 | 228 | 35.5 | 5.6 | 98 | 9 | 184.5 | 50.9 | 58 | 4 |
| | 6 | 200 | 4 | 14 | 221 | 41 | 4.3 | 100 | 21 | 138.7 | 32.7 | 56 | 5 |
| PP100% | - | 200 | 3 | 14 | 246 | 258.8 | 51.2 | 123 | 12 | 491.7 | 72.7 | 86 | 10 |

④ 再生炭素繊維不織布シートの製作と衝撃試験

本研究開発は、再生炭素繊維を利用した軽量自動車部材の開発を目指している。天井材やアンダーカバーなどの自動車部材は、熱可塑繊維不織布或いは熱可塑性樹脂を熱プレス成型することによって製造される。本開発では再生炭素繊維不織布に50%の割合で混ぜ合わせたPP繊維を熱プレスによって熔融しシート状に成型した。導入した炭素繊維不織シート材用衝撃試験機によって、自動車部材の性能として最も重要な衝撃試験を行い、既存の自動車アンダーカバーとのモデル比較評価を行った。

既存の自動車アンダーカバーの品名、再生炭素不織布の熱プレス条件、衝撃試験方法は次のとおりである。

○自動車アンダーカバー(4品、図30)

①メルセデス、②BMW PP-GF30、③フーガ、④マークX PP+E/PP-TD20



図30 既存自動車アンダーカバー(左上: ①、左下: ③、右上: ②、右下: ④)

○熱プレス条件

試験片: 25cm×25cm 角の再生炭素繊維不織布(水準3、水準4)
繊維配向を揃えて4~5枚積層(目標目付1000g/m²)

型枠の厚み: 2mm

型枠の面積: 900cm² = 30cm×30cm

圧力: 1.6MPa

温度×時間: 200°C×5分

使用機器: (株)丸東製作所製 ML-43 (図31)

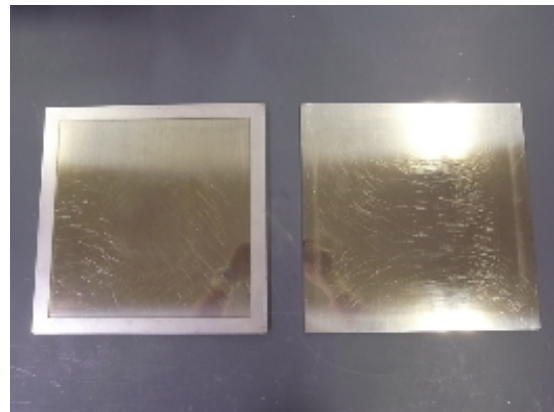


図31 熱プレス装置及び型枠

○衝撃試験

試験機器: (株)東洋精機製作所製 No451 デュポン衝撃試験機(図32)

撃芯: φ6.35,

おもり: 1kg

落下高さ: 5cm, 10cm, 25cm, 50cm, 100cm, 200cm

試験回数: 1回(正規は5回)

試験片: 8cm 角

衝撃強度(J) = おもりの重量(kg) × 最大高さH(cm)

最大高さH: 衝試験片がクラック無しとなる最大高さ

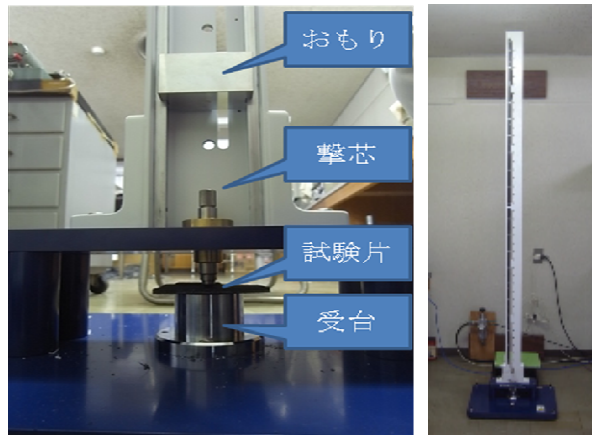


図32 衝撃試験機

再生炭素繊維不織布シートの外観を図33、既存の自動車アンダーカバーと再生炭素不織布シートの衝撃強度を表15に示す。

試作した再生炭素繊維不織布シートは、PP 繊維 70%とガラス繊維 30%を混ぜ合わせた不織布を熱プレスして製造されたと推測される②BMW PP-GF30 に最も類似している。試作した再生炭素不織シートは、②BMW PP-GF30 に対して 23%軽量であるにもかかわらず、その衝撃強度は②BMW PP-GF30 同等で 10J の衝撃強度を有していることが確認された。

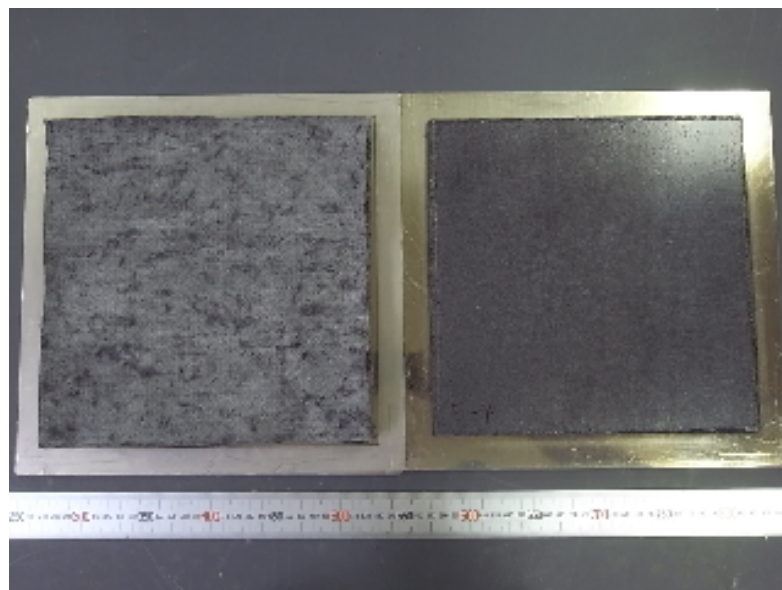


図33 再生炭素繊維不織布シートの外観

(左:熱プレス前の不織布、右:熱プレス後のシート)

表15 自動車アンダーカバーと再生炭素不織布シートの衝撃強度

| | | ① メルセ デス | ② BMW PP-GF30 | ③フーガ | ④マークX | 再生炭素 繊維不織 布シート (水準3) | 再生炭素 繊維不織 布シート (水準4) | 衝撃 (J) |
|-----------------------|-------|-------------|------------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 厚み(mm) | | 4.0 | 2.0 | 5.5 | 2.0 | 4.9 | 4.9 | — |
| 目付(g/m ²) | | 1400 | 1300 | 1100 | 2000 | 1000 | 1000 | — |
| 衝撃強度(J) | | 50 | 10 | 30 | 60 | 10 | 10 | — |
| 落 下 高 さ | 5cm | 凹みφ9 | 凹みφ6 | 凹みφ7 | 凹みφ7 | 凹みφ11 | 凹みφ11 | 5 |
| | 10cm | 凹みφ10 | 凹みφ8 | 凹みφ8 | 凹みφ9 | 凹みφ12 | 凹みφ12 | 10 |
| | 25cm | 凹みφ12 | クラック 10mm | 凹みφ11 | 凹みφ13 | クラック 12mm | クラック 12mm | 25 |
| | 50cm | 凹みφ14 | クラック 13mm | クラック 13mm | 凹みφ | クラック 12mm | 穴φ12 | 50 |
| | 100cm | 穴φ12 | クラック 13mm | クラック 13mm | クラック 13mm | 穴φ12 | 穴φ12 | 100 |
| | 200cm | 穴φ13 | 穴φ13 | 穴φ13 | 穴φ13 | 穴φ13 | 穴φ13 | 200 |

※ 凹み:凹みの外径(mm)を測定。

※ クラック:クラックの最大長さ(mm)を測定。

※ 穴:撃芯の貫通によってできた穴の外径(mm)を測定

※ 試験回数 N=1

⑤ プロジェクトの管理・運営

(1) 研究開発推進委員会の設置及び開催

研究開発推進委員会を設置して、2回委員会を開催し、意見交換等を行った。

また、第2回委員会終了後、試験用機械設置場所及びオーツカ第2関ヶ原工場を見学した。

・第1回

日時：平成23年4月25日（月） 13:00～15:00

場所：テクノプラザ会議室

出席者：委員 5名、オブザーバー 7名、事務局 2名 計14名

・第2回

日時：平成23年9月6日（火） 14:00～16:00

場所：株式会社オーツカ 関ヶ原第2工場 会議室

出席者：委員 6名、オブザーバー 8名、事務局 6名 計20名

(2) 進捗管理

研究実施プロジェクトの管理・運営、研究共同体構成員の相互の調整、財産管理等事務的管理を行った。

(3) 報告書のとりまとめ

当成果報告書のとおり報告書をとりとまとめた。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

再生炭素繊維切断のためアトリエピエレ社製高速切断装置 GR、加工時の粉塵対策としてアマノ社製炭素繊維加工用集塵装置 TFP-0302-TFP をそれぞれ導入し、再生炭素繊維の切断試験を行った。不織布製造に一般に用いられている 5cm を切断後の繊維長とすることを目標にして、再生済み炭素繊維プリプレグおよびクロス織物について試験を行った。試験の結果、繊維切断長を不安定にする要因として(1)被切断繊維方向の切断刃に対する角度および(2)被切断繊維の折り返しの二つのあることが明らかとなった。

単一条件で再生炭素繊維を切断する場合、切断刃に対して垂直な繊維の長さが最短となり、切断刃に対して平行に成るに従って切断長が長くなる。繊維方向が一方向のプリプレグは、切断機への投入時に方向をそろえることで、この影響を小さくすることができた。一方、クロス織物は繊維方向が 2 方向あるため、試料投入時の操作だけでは不十分であり装置設定長より長く切断されやすい傾向が認められた。切断機を 5cm 長切断に設定した場合に、その 3 倍の 15cm 長に切断されたものが認められた。直行する 2 方向に 2 回切断することによって、被切断繊維方向の切断刃に対する角度の影響を小さくすることが可能であった。

また、被切断繊維に切断刃と平行な軸を持つ折り返しのある場合、最大で装置設定長の 2 倍の長さに切断される場合のあることが判明した。特にクロス織物は適当にしなりやすく、折り曲げられた状態で切断機を通過しやすかった。一旦切断すると折り曲げられた繊維を伸ばすのは困難であり、繊維を伸ばした状態で装置に投入することが必要なことが判明した。

再生炭素繊維を用いて作成したカーボン面材はバージン炭素繊維を用いて作成したカーボン面材と同等の引張り強度を確保できることが確認された。

再生炭素繊維とポリプロピレン繊維を混綿したウェブ・シートを形成するために導入したカード機 DS-40SD は 5 対のワーカ/ストリッパ組をそなえているが開繊能力が高すぎて繊維が過開線となり、再生炭素繊維の破壊が大きいことが判明した。再生炭素繊維の破壊を小さくするための適正なワーカ/ストリッパ組数の検討、ファンシーローラの追加が今後の検討課題である。

再生炭素繊維とポリプロピレン繊維を混綿・紡出して得られたウェブ・シートを積層し、ニードルパンチを施した再生炭素繊維不織布シートを積層し熱プレスによって得られたシートはポリプロピレン繊維 70%とガラス繊維 30%からなるアンダーカバー材に対して 23%軽量であるにもかかわらずその衝撃強度は同等であることが確認された。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

1) 今後必要となる研究課題

- ・ 炭素繊維メーカーと協力し、炭素繊維の複合材料を開発
- ・ 合繊機能繊維を持つ合繊メーカーと協力し、機能繊維との混合等により、炭素繊維複合材について検討する。

2) 製品・技術の生産・普及体制における課題と事業化展開

- ・ 自動車分野では、自動車メーカーや自動車部品メーカーなどと連携する。
- ・ 炭素繊維メーカーで製品展開しているメーカーと連携し、炭素繊維のリサイクル技術の普及を図る。

3) 販路開拓における課題と事業化展開

- ・ 今後、製品展開の可能性が出てくれば、自動車分野は現状の自動車部品メーカーのルートで展開可能である。
- ・ 自動車以外では、協力した炭素繊維メーカーや、検討中のメーカーでの展開が可能である。
- ・ 再生した不織布を利用し、部品を作る成型技術が重要で、現在所有している成型技術の適用が重要である。
- ・ 当技術の再生炭素繊維不織布の成形により、アンダーカバーや三次元曲面の成型部品を軽量自動車部品として展開することが期待できる。

4) その他

- ・ 炭素繊維の埋め立て処理が、いつまで認められるか(法的規制)が重要と考える。
- ・ 自動車部品としてリサイクル比率がどのように規制されるか(法的規制)が重要と考える。