

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「編物技術を用いた環境対応型耐熱材・断熱材の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 関西ティール・エル・オー株式会社

目次

第1章 序論.....	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	1
1-2 研究体制.....	2
1-2-1 研究組織・管理体制.....	2
1-2-2 研究者氏名.....	3
1-3 成果概要.....	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	6
第2章 本論.....	7
2-1 繊維表面処理技術の確立（北陸ファイバークラス株式会社）.....	7
2-2 高弾性・耐熱繊維の製編.....	11
2-2-1 よこ編物機械を用いた高弾性・耐熱繊維の製編（株式会社リベックス）..	11
2-2-2 たて編物機械を用いた高弾性・耐熱繊維の製編（ヒロベ産業有限会社）..	15
2-3 超低密度断熱材の成形技術の確立（京都工芸繊維大学）.....	20
2-4 編物設計（ヒロベ産業有限会社、株式会社リベックス、北陸ファイバークラス株 株式会社、京都工芸繊維大学）.....	21
2-4-1 力学的特性の観点からの設計.....	21
2-4-2 耐久性の観点からの設計.....	22
2-4-3 断熱特性の観点からの設計.....	23
最終章 全体総括.....	24

第1章 序論

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

地球温暖化問題による温室効果ガス排出削減の推進により、様々な分野において軽量化・高効率化が求められている。自動車分野や航空宇宙分野などの川下製造業者から、更に軽量かつ耐熱性・断熱性能の高い複合材料用基材が求められている。本事業では、炭素繊維やアルミナ繊維など高機能特殊繊維の製編技術を確立し、よこ編物およびたて編物技術を用いた環境対応型耐熱材・断熱材の開発を行う。

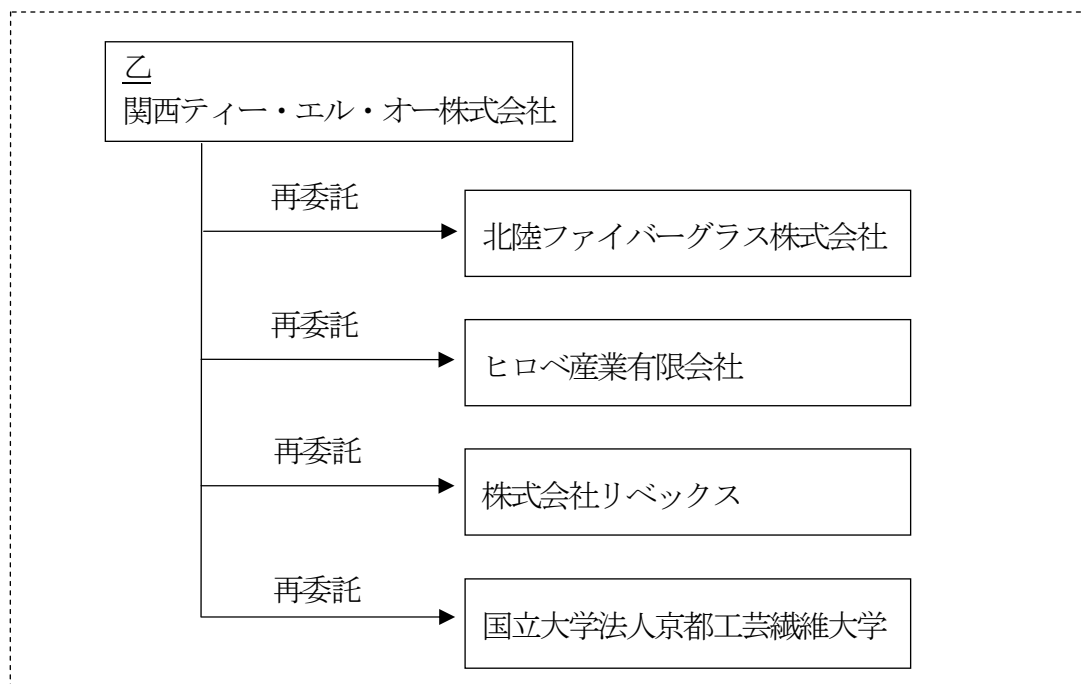
三次元中空編物技術は、軽量かつ力学的特性に優れる三次元中空構造をもつ積層コスト削減が可能なテキスタイルを実現する繊維加工技術である。構造部材等に三次元中空編物を使用することを想定し、これまでの研究開発において、ガラス繊維を用いた三次元中空編物が製編する技術を確立した。しかし、ガラス繊維は、力学的特性や耐熱性が低いため、使用用途が限られる。一方、炭素繊維やアルミナ繊維など、断熱材・耐熱材に適した特殊繊維は、ガラス繊維と比較して、さらに、繊維同士および繊維機械との摩擦により損傷しやすいため、編機に適応させることが技術的に困難である。また、断熱特性の向上と力学的特性の向上は相反するため、両方を同時に満足することは困難である。

そこで、炭素繊維やアルミナ繊維など断熱材・耐熱材に適した特殊繊維でも製編可能な表面処理技術および編物機械を開発し、製編を行う。さらに、発泡成形技術を組み合わせることで、超低密度断熱材を開発する。次に、編物設計を行うことで、要求性能を満たす新規編物基材を実現する。とくに、本事業においては断熱材・耐熱材として使用する構造部材用基材の研究開発を行う。具体的な開発製品としては、航空宇宙用超低密度断熱材および自動車部材成形用耐熱材を対象とする。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織・管理体制

(1) 研究組織 (全体)



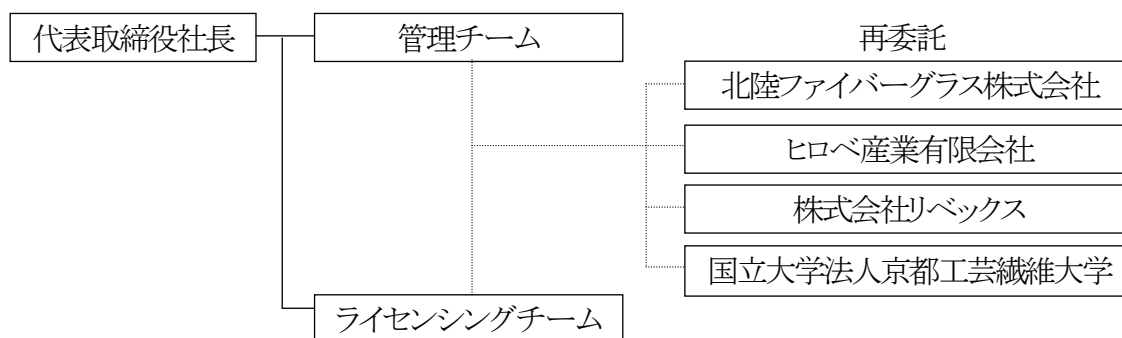
総括研究代表者 (PL)
北陸ファイバーグラス株式会社
代表取締役 北村 雅之

副総括研究代表者 (SL)
国立大学法人京都工芸繊維大学
准教授 仲井 朝美

(2) 管理体制

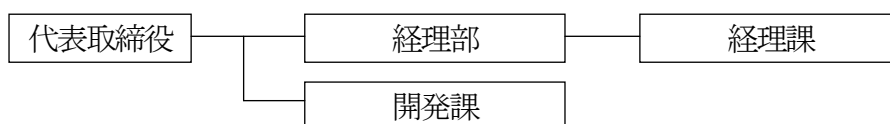
①事業管理機関

関西ティー・エル・オー株式会社

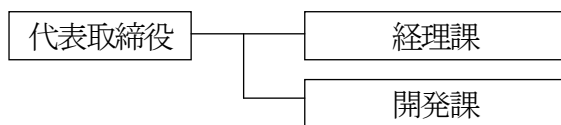


②再委託先

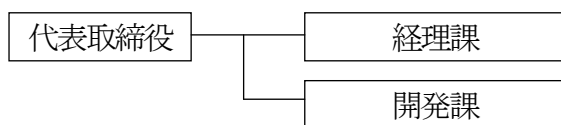
北陸ファイバーグラス株式会社



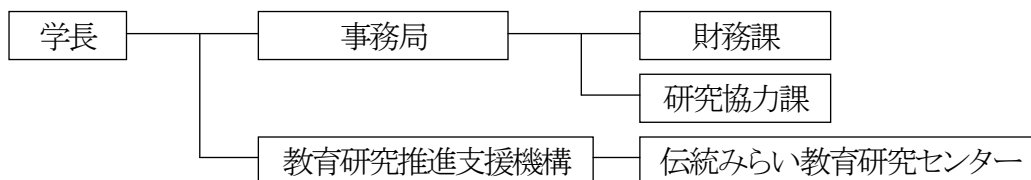
ヒロベ産業有限会社



株式会社リベックス



国立大学法人京都工芸繊維大学



1-2-2 研究者氏名

(1) 事業管理者

関西ティール・エル・オー株式会社

氏名	所属・役職
坂井 貴行	取締役
広野 秀之	管理部長
岡田 裕子	管理チーム

(2) 研究者

北陸ファイバーグラス株式会社

氏名	所属・役職
北村 雅之	代表取締役
北村 裕樹	開発課
川原 明人	開発課

ヒロベ産業有限会社

氏名	所属・役職
廣部 晋彦	代表取締役
上野 友実	開発課

株式会社リベックス

氏名	所属・役職
山本 有二	代表取締役
中澤 時彦	開発課

国立大学法人 京都工芸繊維大学

氏名	所属・役職
仲井 朝美	伝統みらい教育研究センター 准教授

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

関西ティール・エル・オー株式会社

(経理担当者) 管理チーム

岡田 裕子

(業務管理者) 管理部長

広野 秀之

(再委託先)

北陸ファイバーグラス株式会社

(経理担当者) 経理部 経理課

林 花織

(業務管理者) 代表取締役

北村 雅之

ヒロベ産業有限会社

(経理担当者) 代表取締役

廣部 晋彦

(業務管理者) 代表取締役

廣部 晋彦

株式会社リベックス

(経理担当者) 代表取締役

山本 有二

(業務管理者) 代表取締役

山本 有二

国立大学法人 京都工芸繊維大学

(経理担当者) 財務課長

辻 直人

(業務管理者) 伝統みらい教育研究センター

仲井 朝美

(4) その他

アドバイザー

岩尾株式会社	耐熱材料の開発に関する技術指導
JAXA 宇宙科学研究所 後藤 健	発泡成形技術に関する技術指導、超低密度断熱材の設計に関する技術指導

1-3 成果概要

(1) 繊維表面処理技術の確立（北陸ファイバークラス株式会社）

アルミナ繊維、炭素繊維、シリカ繊維にテフロン樹脂、シリコン樹脂を用いて異なる乾燥温度条件において表面処理を施し、よこ編み機にて編製を行い、引張試験を行い、強度低下率を算出し、最適な条件を検討した。その結果、アルミナ繊維、炭素繊維、シリカ繊維にシリコン樹脂を用いて表面処理を施した試験片において、目標値である強度低下率 5%を達成した。

(2) 編機改良（ヒロベ産業有限会社、株式会社リベックス）

- ① 平成22年度の研究から引き続き、よこ編物機械を用いてシリカ繊維、アルミナ繊維などを製編した。その結果、北陸ファイバークラス（株）での糸の表面加工の効果もあり、製編後の強度低下率5%以内を達成することが出来た。

昨年度の研究では製編不可能と言われたアルミナ繊維を編むということには成功し、強度低下率 10%以内の目標も達成したものの、その編地では実用途には適さず、また製編にも時間がかかり、現実的なものではなかった。そこでより厚みがあり、目の詰まった編地を製編することを目標としたが、十分な編地を製編することは出来なかった。

また、各種耐熱繊維とステンレス繊維との混紡糸を用いた編地を製編し、編地化に成功、強度試験を実施するに至った。まだ改良の余地はあるものの、アルミナ繊維等に比べ製編性が良く、各種用途に展開が期待出来ると思われる。

②たて編物機械を用いたガラス繊維の製編

平成22年度の研究により得られた知見をもとに、平成21年度補正予算事業にて購入した たて編物機械をさらに改良することで、炭素繊維などを用いた三次元中空編物を作製できるようにする。

炭素繊維を用いた三次元中空編物を作製する為に編物設計、試作、作製条件で開発を進め、試作では、①炭素繊維に適合する機械部品の選定。②編み組織によってどう影響するかを検証。③炭素繊維に樹脂を表面処理し編網にどう影響するかを検証。④コア材への炭素繊維挿入試験。⑤炭素繊維使用 2 cm幅の編物の試作。⑥炭素繊維表裏 10 cm使用の編物の試作。

以上の試作より炭素繊維を用いた三次元中空編物を作製する予定であったが、炭素繊維 100%の三次元中空編物を作製するに至らなかった。しかし、作製条件は検証出来たので炭素繊維 100%の三次元中空編物は作製可能と思われる。

(3) 超低密度断熱材の成形技術の確立 (京都工芸繊維大学)

3次元中空編物複合材料の中空領域を発泡樹脂で充填した試験片を作製する事を目的とした。まずは樹脂と発泡剤を混合し、発泡条件の最適化検討を行った。そして、一番良いとされる発泡条件を用いて3次元中空編物の中空部分を充填することによる発泡樹脂成形を試みた。

以上の成形および断面観察結果より、樹脂が基材に十分に含浸されており、3次元中空編物の中空部分に発泡した樹脂が隙間なく充填されていることが確認された。また、密度の増加率も平均13%程度であった。一番良いとされる発泡条件を用いて3次元中空編物の中空部分を充填することによる発泡樹脂成形を試みた結果、平成23年度目標値である密度 0.5g/cm^3 を大幅に達成する値が得られた。これにより、3次元中空編物複合材料を用いた超低密度断熱材の成形技術を確立できたといえる。

(4) 編物設計—力学的特性の観点からの設計 (ヒロベ産業有限会社、株式会社リベックス、北陸ファイバークラス株式会社、京都工芸繊維大学)

泡成形により作製された複合材料の、静的・動的力学的特性について中空のものと比較検討を行った。また、発泡成形が断熱特性に及ぼす影響についても検討を行った。

曲げ試験、圧縮試験結果において、中空試験片ではパイル長さに伴って力学的特性が低下していたのに対して、発泡樹脂含浸を行うことで傾向が逆転し、12mmで最も優れた値となる事が明らかとなった。その結果、上述の超低密度断熱材においても、平成23年度目標値である三次元中空織物複合材料(弾性率:3.22GPa、強度:37.4MPa)以上の値を達成することが可能となった。

熱伝導率に関しては、定常法による測定の結果、中空、発泡試験片に関わらずパイル長さに伴って、熱伝導率がよくなる事が明らかとなり、非定常法の試験結果、表面層の熱伝導率は中空よりも発泡試験片でより大きいことが明らかとなった。以上の結果より、中空試験片、発泡試験片ともに目標値であった熱伝導率 0.05W/mK を達成することが明らかとなった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

関西ティー・エル・オー株式会社
取締役 坂井 貴行

〒600-8216
京都市下京区西洞院通塩小路下がる東塩小路町939番地
キャンパスプラザ京都 6F

Tel : 075-353-5890

Fax : 075-353-5891

E-mail : ta-sakai@kansai-tlo.co.jp

第2章 本論

2-1 繊維表面処理技術の確立（北陸ファイバーグラス株式会社）

これまでの研究開発において、ラッセル編機および強化繊維を改良することにより、ガラス繊維を用いた三次元中空編物が作製可能となった。しかし、ガラス繊維は、力学的特性や耐熱性が低いため、使用用途が限られる。一方、炭素繊維やアルミナ繊維・シリカ繊維など、断熱材・耐熱材に適した特殊繊維は、ガラス繊維と比較して、繊維同士および繊維機械との摩擦により損傷しやすいため、編機に適応させることが技術的に困難である。そこで、炭素繊維やアルミナ繊維などに特殊な表面処理を施し、摩擦での損傷を減少させることを目的とする。

従来の技術：炭素繊維・アルミナ繊維・シリカ繊維での製編は不可能

平成23年度目標値：炭素繊維・アルミナ繊維・シリカ繊維での製編を可能とする。製編時の繊維強度低下を、5%以下とする。

2-1-1 表面処理の条件

作製した表面処理機を用いて、炭素繊維・アルミナ繊維・シリカ繊維にシリコン樹脂・テフロン樹脂を塗布し、その後、横編み機においてよこ編み基材を編製した（図1-1-1）。作製したよこ編み基材から繊維を取り出し、強度低下率を測定した。

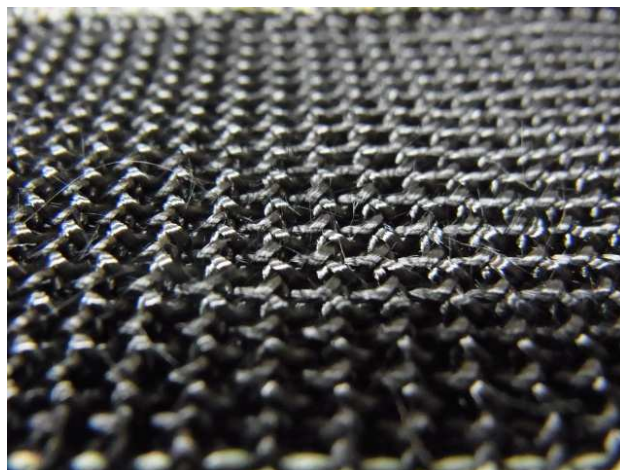


図1-1-1 よこ編み基材

2-1-3 材料および表面処理方法

材料は、アルミナ繊維・炭素繊維・シリカ繊維・テフロン樹脂・シリコン樹脂を使用する。表面処理方法は、繊維を引出し、糊付け制御部において適量の樹脂を塗布し、乾燥室において乾燥させた後、巻取り装置にて繊維を紙管に巻き取る。

2-1-4 試験方法

表面処理を施した繊維束を長さ300mmに切り出し、繊維束の両端に紙製のタブを張り付けしたものを用意した。紙製のタブは20mm×50mmとし、エポキシ系接着剤（アラルダイト：昭和高分子製）で張り付けた。

図1-1-2に示すように、チャック間距離を150mm、試験速度を20mm/minとして引張試験を行い、強度低下率を算出した。

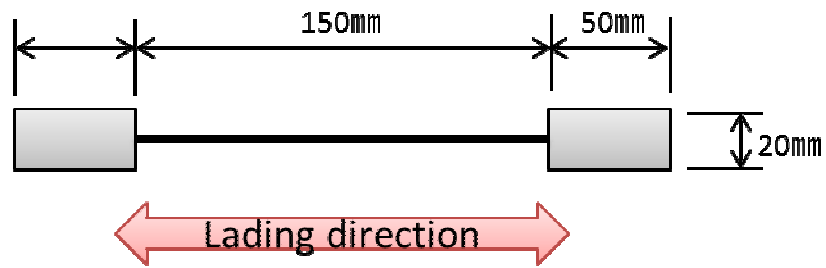


図 1-1-2 試験片の模式図

2-1-5 試験結果および考察

図 1-1-3、図 1-1-4 にアルミナ繊維にテフロン樹脂およびシリコン樹脂で表面処理を施した引張試験により得られた強度低下率を示す。図 1-1-5、図 1-1-6 に炭素繊維にテフロン樹脂とシリコン樹脂で表面処理を施した引張試験により得られた強度低下率を示す。図 1-1-7、図 1-1-8 にシリカ繊維にテフロン樹脂およびシリコン樹脂で表面処理を施した引張試験により得られた強度低下率を示す。

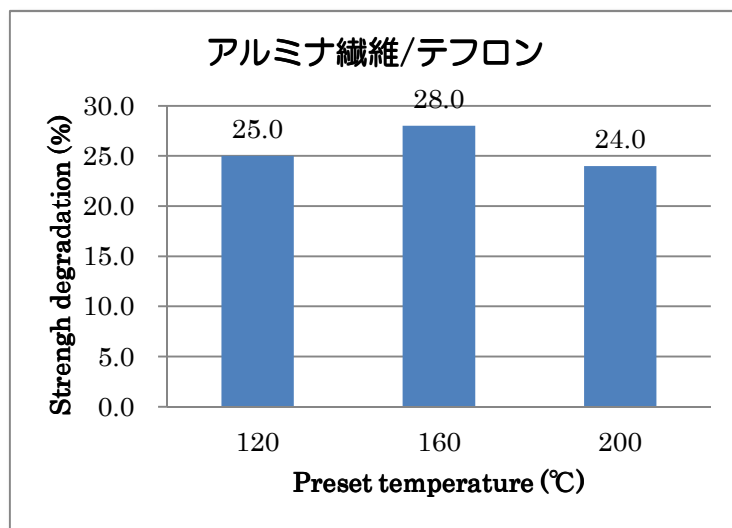


図 1-1-3 強度低下率 (アルミナ繊維/テフロン樹脂)

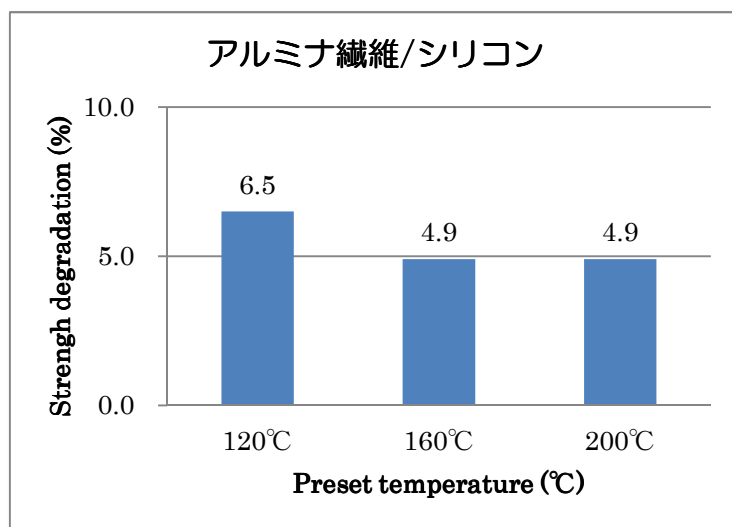


図 1-1-4 強度低下率 (アルミナ繊維/シリコン樹脂)

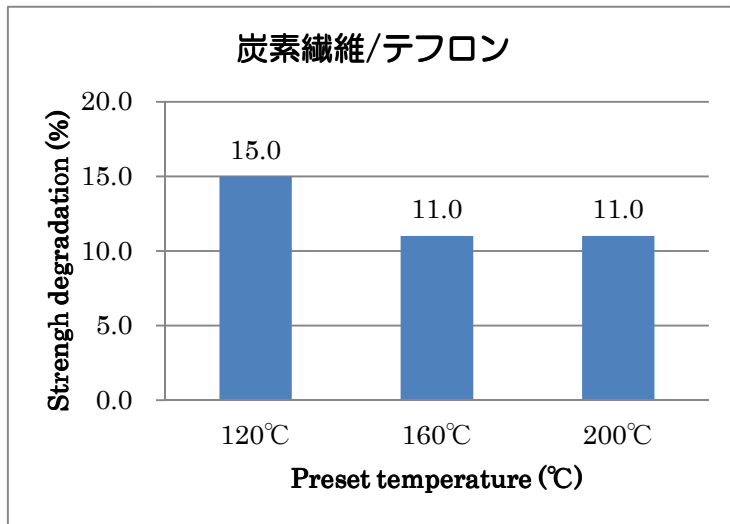


図 1-1-5 強度低下率 (炭素繊維/テフロン樹脂)

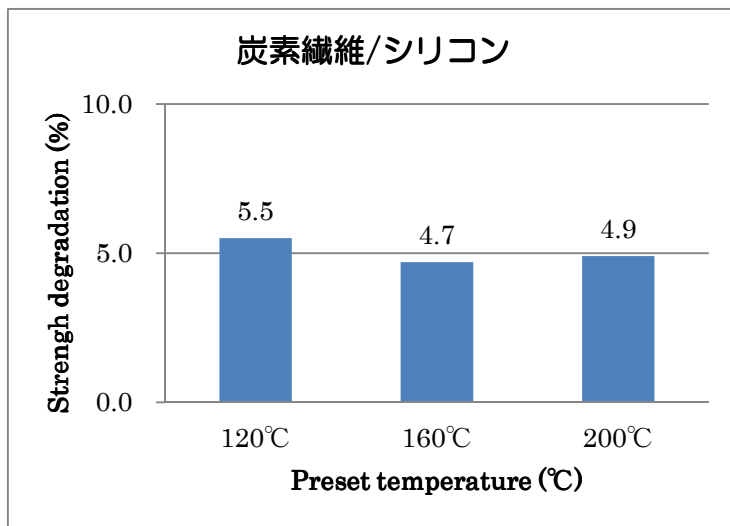


図 1-1-6 強度低下率 (炭素繊維/シリコン樹脂)

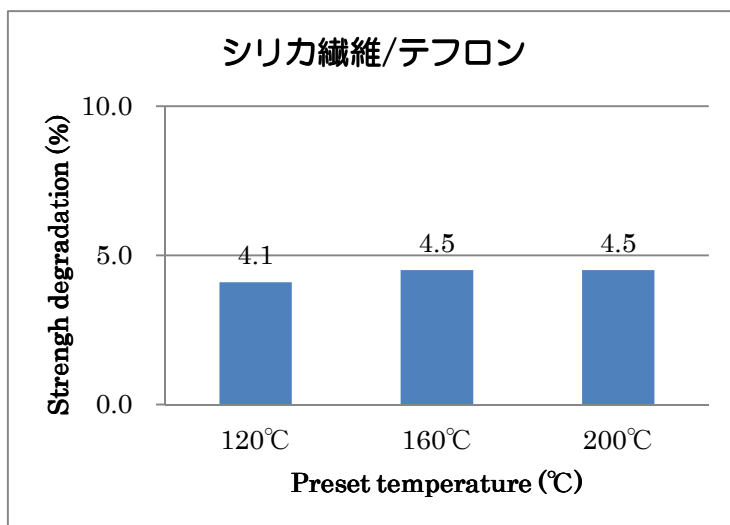


図 1-1-7 強度低下率 (シリカ繊維/テフロン樹脂)

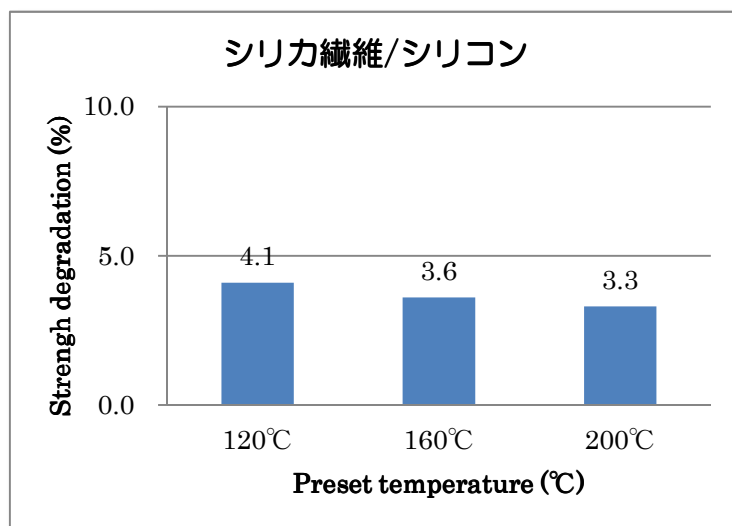


図 1-1-8 強度低下率 (シリカ繊維/シリコン樹脂)

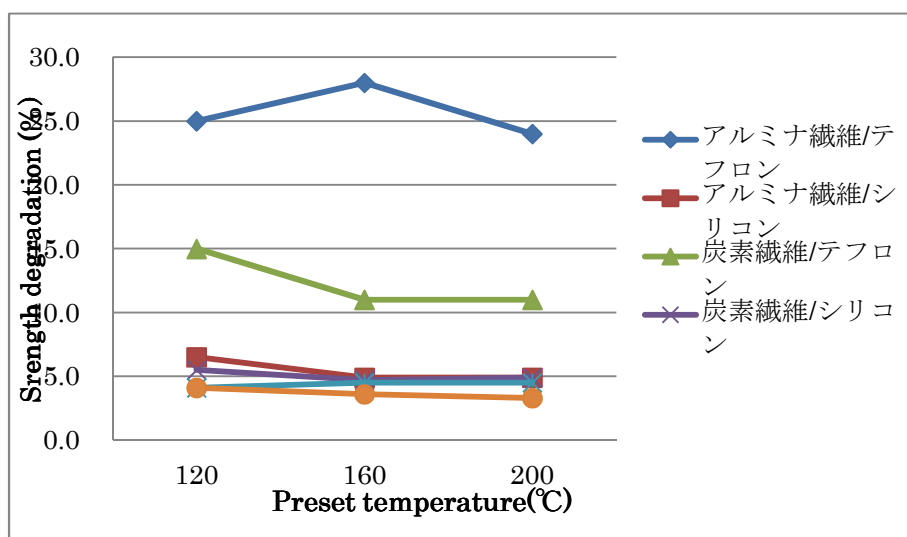


図 1-1-9 強度低下率と処理温度

図 1-1-9 に、すべての試験片に対する、強度低下率と乾燥温度の関係を示す。アルミナ繊維にテフロン樹脂で表面処理を施した試験片においては、温度条件を変化させた試験片において、強度低下率は 25%~28%であったが、シリコン樹脂を用いて表面処理を施した試験片において 160°C、200°Cにおいて強度低下が小さくなった。

炭素繊維にテフロン樹脂で表面処理を施した試験片においては、温度条件が 160°C、200°Cにおいて強度低下が小さくなった。炭素繊維にシリコン樹脂で表面処理を施した試験片においては、強度低下率が低い値を示し、160°Cおよび200°Cにおいては目標値である強度低下率 5%以下を達成した。

シリカ繊維にテフロン樹脂およびシリコン樹脂で表面処理を施した試験片においては、全ての温度条件において目標値である強度低下率 5%を達成した。

2-2 高弾性・耐熱繊維の製編

2-2-1 よこ編物機械を用いた高弾性・耐熱繊維の製編（株式会社リベックス）

平成22年度の研究において、これまで不可能とされてきたアルミナ繊維、シリカ繊維などの高耐熱繊維の製編を可能にすることを目標とし、開発を進めてきた。その結果、よこ編物生地を製編することに成功した。今年度はその編地を更に高気密化し、厚みを持たせることを目指した。また、昨年度の目標値である繊維強度低下率 10%以内に引き続き、下記目標の達成を目指した。

① アルミナ繊維の製編

平成22年度の研究において、アルミナ繊維を用いたよこ編物生地を製編することは出来たが、図 2-1-1 に示すように、その製法や生地自体の評価は芳しいものではなかった。以下にその問題点と対応を示す。

・厚みの不足

耐熱性を生かした用途展開のためには最低でも 5mm 以上の厚みが必要と思われる。22年度での編地厚みは 2~3mm 程度であった。

・高気密化

アルミナ繊維自体が屈曲に弱く、製編時に編目を詰める（度詰）ことが出来なかった。そのため、編目の空間が大きく、クッション性に乏しく、気密性も確保出来ない。

本研究では、細番手の糸を多く引き揃えるか、太番手の糸を少量で編むか、どちらが良いか検証する。



図 2-1-1 平成 22 年度作製のアルミナ繊維編地

・編み組織の検討

昨年度製編に成功したアルミナ繊維編地の組織は下記の通りであった。以下に各組織の概要および問題点を示す。

●フクロ編み（筒状編地）

よこ編機上の前後の針床（ニードルベッド、以下ベッド）を前面 ⇒ 後面を交互に繰り返す組織である。図 2-1-2 にアルミナ繊維で作製したフクロ編みを示す。前天竺組織と後天竺組織が生地の左右だけで交わり筒状になっている。糸のワタリが横並びの針間のみであり、糸へのダメージが少なく製編が出来たものと考えられる。

しかし、前後のベッド間の糸の行き来が無いいため厚みがなく、前生地と後生地との接結もされていないため、編地としての強度に乏しい。



図 2-1-2 アルミナ繊維編地 フクロ編み

●ミラノリブ

上記フクロ編みにゴム編み（前後ニット）を加えた編地で、通常の横編地では固く、横方向への伸びを抑える効果がある。前天竺 ⇒ 後天竺 ⇒ 前後ニット 前天竺 ⇒ 後天竺 ⇒ 前後ニートを繰り返すことで得られる編地である。フクロ編みに対して前後ニットが入るため、前後の生地が接結され、1枚生地となる。

図 2-1-3 にアルミナ繊維で作製したミラノリブを示す。ゴム編みのみでは全く製編が出来なかったが、ゴム編みが連続せず、フクロ編みとなるため製編が可能であったと考えられる問題点としては編成上の効率が悪く、フクロ目とゴム目の度目調整が難しいことが挙げられる。



図 2-1-3 アルミナ繊維編地 ミラノリブ

・アルミナ繊維の製編

フクロ編み、ミラノリブに組織を絞り、製編をすすめた。製編には、図 2-1-4 に示す編み機（島精機製作所株）MACH2 12G）を用いた。製編に用いたアルミナ繊維（株ニチ

ビ AFL ヤーン) を図 2-1-5 に示す。



図 2-1-4 島精機(株) MACH2



図 2-1-5 アルミナ繊維 ニチビ ALF ヤーン

編物作製条件は以下のとおりである。

フクロ編み

度目設定 35、40、45、50

巻下げ設定 20%

制編 可能

厚み 平均 1.7mm (複数点測定の平均値)

ミラノリブ

度目設定 フクロ 40/ゴム 30 フクロ 45/ゴム 35 フクロ 50/ゴム 40

巻下げ設定 25%

制編 可能

厚み 平均 2.2mm (複数点測定 of 平均値)

アルミナ繊維の製編は図 2-1-6 に示すとおり可能であったが、厚みの増加、編目の高気密化は達成出来なかった。編立実施度目よりも詰めていくと、図 2-1-7 および 2-1-8 に示すとおり、製編が不可能となった。



図 2-1-6 アルミナ繊維編地 ミラノリブ



図 2-1-7 アルミナ繊維編地フクロ編み



図 2-1-8 製編不可の編機

詳しくは2-1 繊維表面処理技術の確立（北陸ファイバークラス株式会社）に記載されているが、各種表面処理を施すことにより、編地から解し取った繊維の強度低下率を調べ、目標値である5%以下という数値をクリア出来た。

しかしながら、編地そのものの改善、評価は昨年度までと変わらず、芳しいものは作製出来なかった。しかし出来ることの組み合わせによって製編の精度を上げることは可能であったので、研究を続け、より良いものを目指したい。

② 総評

22年度に引き続いて特殊繊維の製編をすすめてきたが、結論からいうと昨年度から飛躍的にイノベーション出来たこと・ものは少なかった。昨年度中に糸ガイドや巻下げ装置の改良、糸送り装置の開発は市販品の改良で概ね効果が見られ、製編性の向上は図られたが、製編される編地そのものの評価を上げるまでには至らなかったと言える。

これまで製編、ニット生地化が困難、不可能とされてきた繊維を製編するという事は達成出来たが、製品化、商品化が出来てこそであり、まだまだ中途段階である。

今後はそれぞれの繊維での用途展開をより絞り込み、製編できるもので出来ることを突き詰めていきたい。

2-2-2 たて編物機械を用いた高弾性・耐熱繊維の製編（ヒロベ産業有限会社）

平成22年度の研究により得られた知見をもとに、平成21年度補正予算事業にて購入した たて編物機械をさらに改良することで、炭素繊維などを用いた三次元中空編物を製編可能とすることを目的とする。

I 編物設計

I-①中空構造を有する条件

三次元中空編物は、2枚のスキン材（表面材）の間を、厚さ方向に配向したパイル糸（コア材）が通ることで作製される。パイル部分の織り構造が適切に設計されていないと複合材料に成形した際に、パイル糸が厚さ方向に配向せず、中空構造が実現しない。

I-②スキン材構造設計

スキン材の構造は密度と表面組織を変更することができる。密度を低くすると、スキンが凸凹になり、密度を高くすることで、スキンが滑らかになる。しかし一方で、スキン層の厚さが増し、複合材料の重量が増加する。また表面の組織を変更させることで、力学的特性および断熱特性が大きく変化する。

I-③コア材構造設計

コア材の構造はパイル糸の密度、高さ、構造を変更することができる。三次元中空編物の構造上、上記3点を個別に検討することは不可能であるため、まとめて検討した。編物設計の条件として、下記のパラメータA-Fを検討した。

- A・・・スキン材、コア材の原糸の太さ
- B・・・スキン材の組織
- C・・・コア材の構造
- D・・・打ち込み（縦方向の密度）
- E・・・ゲージ（横方向の密度）
- F・・・カマ間（パイル糸の長さ、生地の厚み）

I-④箆と針の動き

たて編みは”地糸”で編目（クサリ編み）を作り、それに”柄糸”を編み込ませて（挿入糸）生地を作るが、炭素繊維を編織するには繊維と針の運動が大きく影響するため、編み目を作る1回の運動であるアンダーラップからスイングイン、オーバーラップ、スイングアウト、ノックオーバーを検証材料とする。

II 試作内容

II-①22年度に試作した基本形の KNE200E18(F1/0C0-0) (P1/2IXI1-1) (B1/0C0-0)

8-13において、パイルのコア材のみをポリエステル1000Dに変えた生地の試作をおこない、コア材が有機繊維になった場合との比較をした。

II-②炭素繊維を用いた三次元中空編物

炭素繊維は、原糸が太いため、18ゲージのままでは製編が困難である事が予想されるため、9ゲージにゲージを変えて試作をおこなった。基本形を KNE200E9 (F1/2C0-0)(P1/2IXI1-1)(B1/2C0-0) 10-8、CRG751/2 のガラス繊維を基本生地とし、スキン材を両面角目、コア材を筋違い構造、厚み8mm、打ち込みを10回にて、1)～6)の内容で炭素繊維の挿入試験をおこなった。

検討した項目は以下のとおりである。

- 1) 使用ガイドの選定および繊維強度低下試験
- 2) 編み組織によってどう影響するかを検証

- 3) 炭素繊維に樹脂を表面処理し編網にどう影響するかを検証
- 4) コア材への炭素繊維挿入試験
- 5) 炭素繊維使用2cm幅の編物の試作
- 6) 炭素繊維表裏10cm使用の編物の試作

②-1) 使用ガイドの選定および繊維強度低下試験

炭素繊維 3K にて摩擦が少ないと思われるパイプガイドを使用し、通常ガイド、編網前の原糸とで繊維強度低下、編網状況を確認する。図 2-2-2 に通常ガイド、図 2-2-3 にパイプガイドを示す。



図 2-2-2 通常ガイド



図 2-2-3 パイプガイド



通常ガイドおよびパイプガイドを使用し、図 2-2-4 に示すように炭素繊維を挿入した。図 2-2-5 に示すように編網後原糸を取り出し、使用前の原糸と合わせて、3種類の繊維束に対しての引張試験をおこない、繊維強度を比較した。この時点では、繊維束1本だけを挿入させたため、通常ガイド、パイプガイドともに特に問題なく編網可能であり、パイプガイドが優れているという様子は見られなかった。



図 2-2-4 挿入された炭素繊維



図 2-2-5 スキン材との分解

②-2) 編み組織の影響

ラッセル編みの基本である、クサリ編み、横挿入、縦挿入で編網し、挿入糸は a ~ c の条件で編網試験をおこなった。

- a, スキン材の部分に縦方向に入る縦挿入で試作
- b, スキン材の部分に横方向に入る挿入糸で試作
- c, スキン材の部分に縦横方向に入る、縦挿入+挿入糸にて試作

図 2-2-6 はクサリ編みを横から見た写真、図 2-2-7 はクサリ編みを正面から見た写真、図 2-2-8 は縦挿入、図 2-2-9 は横挿入の2針振りを示す。挿入糸に関してはきれいに編網できるが、クサリ編みは図 2-2-1 のスイングイン 2 の時にニードルのフックにしっかり原糸が掛からないのと、ノックオーバー1、2 の時に繊維を折ってしまうので、図 2-2-6 のように繊維を損傷した。



図 2-2-6 クサリ側面



図 2-2-7 クサリ



図 2-2-8 縦挿入

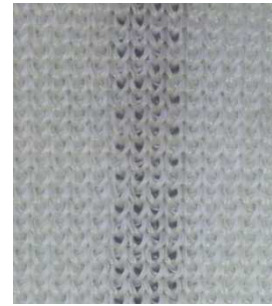


図 2-2-9 横挿入

②-3) 炭素繊維に樹脂を表面処理し編網

今回、北陸ファイバークラス(株)にてテフロンおよびシリコンの表面処理を実施した炭素繊維を作製し、未処理の原糸を含め3種類を編網した。図 2-2-10 は左がシリコン加工、右がテフロン加工した原糸である。さらに、クサリ編み、縦挿入、横挿入の3パターンで編網し、比較をおこなった。図 2-2-11 は左よりシリコン加工したクサリ編み、真ん中はテフロン加工したクサリ編み、右は未処理のクサリ編み。図 2-2-12 は縦挿入の左よりシリコン、テフロン、未処理2種類を示す。図 2-2-13 は横挿入の左よりシリコン、テフロン、未処理2種類を示す。



図 2-2-10 表面処理された炭素繊維



図 2-2-11 表面処理糸のクサリ



図 2-2-12 表面処理糸の縦挿入

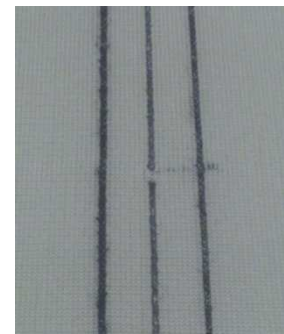


図 2-2-13 表面処理糸の横挿入

編網の結果、クサリ編みに関しては、3種類とも繊維が折れてしまい、編網しにくいですが、シリコン加工は他の2タイプと比べると編み易く、条件をさらに最適化すれば編網可能と思われる。横挿入に関しては3タイプ共に編網可能であった。縦挿入に関しては未処理の繊維はフィラメントが開きやすく、ニードルに引っかけてしまうため編網しにくい。テフロン加工に関しては、原糸が処理剤の影響で摩擦抵抗が大きくなり、紙管から取り出しにくく、他の糸道においても滑りが悪く編網しにくい。

図 2-2-14 のように、挿入糸として編網された炭素繊維は編網後も損傷は少ないが、図 2-2-15 のようにクサリ編みで編網された炭素繊維は、ループ形成時に激しい損傷が見られる。

以上の編み方3タイプ、表面処理3タイプの6点を分解し、炭素繊維を取り出し、繊維強度低下を測定した。



図 2-2-14 炭素繊維挿入糸



図 2-2-15 炭素繊維のクサリ編みを分解

②-4) コア材への炭素繊維の挿入試験

三次元中空編物のコア材部分の挿入試験を実施した。コア材部分はスキン材のクサリ編みのループを形成するという点ではクサリ編みと同等であり、箆のスイングによって繊維をしごくため、一番編網しにくい。

1本の針（ニードル）にスキン材のクサリ編みのループとコア材のループが2重に掛かるため、3Kの細い繊維で1本だけの挿入ではなんとか編網可能であるが、すべてを炭素繊維で編網しようとする場合は、繊維の太さ等条件がかなり制限される。図 2-2-16 は1本挿入した三次元中空編物を示す。



図 2-2-16 コア材として編網された炭素繊維

②-5) 炭素繊維使用2cm幅の編物の試作

2cm幅でのクサリ編みおよび挿入糸に炭素繊維を適用し、織度および使用ガイドが製編状況に及ぼす影響を検討した。

クサリ編みのパイプガイド使用は、原糸が切れた場合ガイドの穴に通すのが困難であるため、通常ガイドを使用した。挿入糸での3Kの原糸は、編網後細くみえ、繊維量が不足していると判断し、12Kを使用した。

これまでの試験を考慮して炭素繊維2cmの強度測定用サンプルを作製した。試作条件は、クサリ編み3K通常ガイド使用、挿入糸12Kパイプガイド使用とした。図 2-2-17 は2cm幅の試作状況で、クサリ編みの通常ガイドを使用した様子と、挿入糸でパイプガイドを使用した様子、12Kのクサリ編みで編網不可の様子、作製後の編物の外観写真である。周辺のガラスの生地より、炭素繊維の織度が大きいため、波打ち現象が発生した。



図 2-2-17 2 c m幅試作状況

②-6) 炭素繊維表裏10 c m使用の編物の試作

1 2 K 使用、挿入2針振り10 c m x 1 m

炭素繊維は1 2 K と3 K の太さの異なる2種類の織度があるが、今回は1 2 K を使用した。表裏両面に片面3 6本ずつ計7 2本を2針振りの挿入糸として炭素繊維を編み込んだ。

予定としては10 c m巾×50 c mの3針振りの作製予定であったが、炭素繊維の糸が太すぎるのが原因と思われるが、クサリのガラス糸が切れやすく表面が汚くなったため、きれいなところで含浸試験をおこなう。

図 2-2-18 は炭素繊維が編み込まれた三次元中空編物の外観写真である。

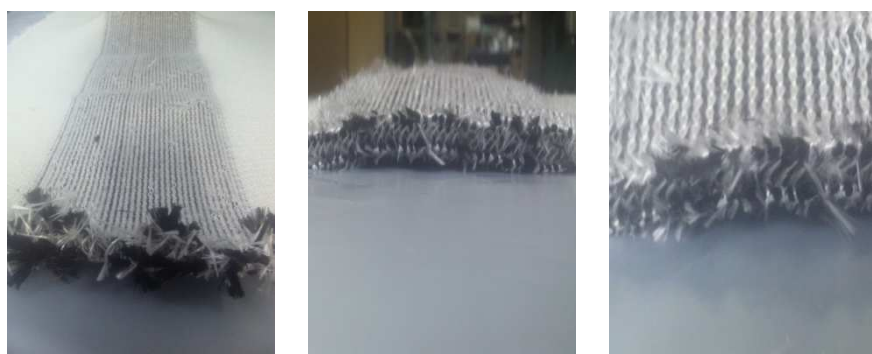


図 2-2-18 炭素繊維が編み込まれた三次元中空編物

編網評価としては、今回一番編網しやすい挿入糸での編網であったが、糸本数が増えるとガラス生地と炭素繊維挿入生地のバランスが悪くなり編網しにくくなる。

1本の挿入試験では見られなかったパイプガイドへの繊維くずの発生がひどくパイプガイドの中に詰まる現象があり繊維の損傷が大きいと思われる。

挿入の炭素繊維の原糸が太すぎるため、生地に波打ち現象が見られた。1 2 K では繊維が太すぎて表面がボコボコするので6 K (1 2 Kの半分の太さの原糸) で再試作。

6 K 使用、挿入2針振り10 c m x 1 m

1 2 K の試作より生地を平滑にするため、6 K の炭素繊維にて試作をおこなった。同時にクサリ編みとコア材のつなぎ部分も6 K で編網を試みたが、編網不可能であった。

今後は、クサリ編みに適した炭素繊維の条件をさらに検討していく必要がある。また、炭素繊維の挿入比率によって物性がどう変化していくかをみるため、挿入糸によって比較が必要であると考え。

2-3 超低密度断熱材の成形技術の確立（京都工芸繊維大学）

緒言

3次元中空編物複合材料の中空領域を発泡樹脂で充填した試験片を作製する事を目的とした。まずは樹脂と発泡剤を混合し、発泡条件の最適化検討を行った。そして、一番良いとされる発泡条件を用いて3次元中空編物の中空部分を充填することによる発泡樹脂成形を試みた。

使用材料および成形方法

母材樹脂には、フラン樹脂(ヒタフラン VF302、日立化成株)を用いた。通常この樹脂の硬化反応は、硬化剤 A3(エチレングリコールモノエチルエーテル、日立化成株)を樹脂に対して0.7wt%添加した後に、40, 60, 80度でそれぞれ2時間保持することで硬化反応が成される。一方、硬化材を用いない場合でも硬化反応は行われる。硬化材を用いない場合は、樹脂を200度付近で一定時間の熱処理をすると、硬化は完了する。発泡樹脂成形は、樹脂に200度付近で窒素ガスが発生する発泡剤(セルマイク A、三協化成株)を添加し、200度付近で熱処理すれば、樹脂の発泡と硬化反応の両方が同時に行われると考えられる。

発泡樹脂成形

まず、樹脂のみを様々な条件下で発泡させ、断面観察により発泡状態についての確認、検討をおこなった。その結果、均質かつ気泡形状が小さく円形で発泡材として軽量である発泡成形品を求める場合、急激な硬化反応が起こらないように、硬化剤は無しで常温から200度へ徐々に上げていく成形条件がもっともよいことがあきらかとなった。そこで、この成形条件のもと3次元中空編物の発泡成形品を作製した。

評価に用いた強化基材には、パイルヤーンの構造がIXI型でパイル長さは4mm、8mm、12mmの3次元中空編物と、パイルヤーンの構造がI型、X型でパイル長さが8mmの3次元中空編物を用いた。

成形は、まずフラン樹脂に、5%の発泡剤をスターラーを用いて溶けるまで十分に攪拌し、強化基材に含浸させた後、常温のオーブンに入れ、2時間で200度に昇温させる事により発泡、硬化させた。200度以上で発泡剤からN₂ガスの発生および樹脂のゲル化・硬化が始まるため含浸された樹脂が発泡し、それと同時に硬化が進行する。これらの試験片を以下F-IXI-4mm、F-IXI-8mm、F-IXI-12mm、F-I-8mm、F-X-8mm、(F; Formed、IXI、I、Xはパイル構造を示す)とした。発泡成形後の試験片断面の一例を図3-1に示す。中空試験片とは異なり、基材の中空部分に発泡した樹脂が充填されていることがわかる。試験片の密度を表3-1(a)に示す。F-IXI-4mm、F-IXI-8mm、F-IXI-12mm、F-I-8mm、F-X-8mm、のそれぞれで、0.53g/cm³、0.45g/cm³、0.39g/cm³、0.39g/cm³、0.44g/cm³、であった。

比較検討としてフラン樹脂を用いて中空成形品を成形した。母材樹脂には上述のフラン樹脂を用いた。硬化剤(エチレングリコールモノエチルエーテル、日立化成株)を0.7%添加し、コーター方式により樹脂を平板の上に薄く引き、3次元中空編物の両面をその樹脂につける作業を繰り返すことにより、所定の樹脂量をムラなく含浸させ3次元中空編物複合材料を中空成形した。この時に使用する樹脂量は基材の1.3倍の重量とした。40、60、80度で2時間保持し、硬化させた。それぞれの中空成形試験片を以下H-IXI-4mm、H-IXI-8mm、H-IXI-12mm、H-I-8mm、H-X-8mm、(H; Hollow)とした。試験片の密度を表3-1(b)に示す。H-IXI-4mm、H-IXI-8mm、H-IXI-12mm、H-I-8mm、H-X-8mmのそれぞれで、0.53g/cm³、0.36g/cm³、0.33g/cm³、0.40g/cm³、0.36g/cm³、であった。

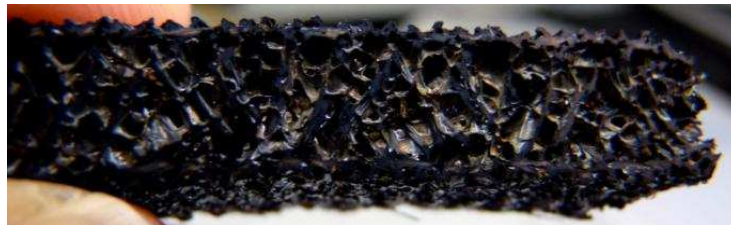


図 3-1 3次元中空編物複合材料発泡成形品

表 3-1 試験片密度

(a) Foamed		(b) Hollow	
Specimen type	Density (g/cm ³)	Specimen type	Density (g/cm ³)
F-IXI-4mm	0.53	H-IXI-4mm	0.53
F-IXI-8mm	0.45	H-IXI-8mm	0.36
F-IXI-12mm	0.39	H-IXI-12mm	0.33
F-I-8mm	0.39	H-I-8mm	0.40
F-X-8mm	0.44	H-X-8mm	0.36

結言

以上の成形および断面観察結果より、樹脂が基材に十分に含浸されており、3次元中空編物の中空部分に発泡した樹脂が隙間なく充填されていることが確認された。また、密度の増加率も平均 13%程度であった。一番良いとされる発泡条件を用いて 3次元中空編物の中空部分を充填することによる発泡樹脂成形を試みた結果、平成 23 年度目標値である密度 0.5g/cm^3 を大幅に達成する値が得られた。これにより、3次元中空編物複合材料を用いた超低密度断熱材の成形技術を確立できたといえる。

2-4 編物設計 (ヒロベ産業有限会社、株式会社リベックス、北陸ファイバーグラス株式会社、京都工芸繊維大学)

2-4-1 力学的特性の観点からの設計

目的

サンドイッチ構造部材の力学的特性を設計するためには、表面層の面内引張・圧縮特性、コア層のせん断特性や厚さ方向に対する圧縮特性、表面層とコア層の界面せん断特性が重要な要素となる。3次元中空編物に対して発泡成形を行うことにより、中空部分に発泡樹脂を充填すると、コア部分の圧縮特性、せん断特性が向上する事による、複合材料全体の力学的特性向上が期待できる。そこで、発泡成形により作製された複合材料の、静的・動的力学的特性について中空のものと比較検討を行った。

試験結果および考察

パイル高さの影響について検討するため、IXI の 4mm、8mm、12mm の Wale 方向と Course 方向の弾性率および強度とパイル長さの関係を図 4-1-1 および図 4-1-2 に示す。中空試験片の弾性率は Course 方向、Wale 方向ともに、パイル長さが長くなるにつれて低下していることがわかる。また、強度に関してもパイル長さが長いほど、線形的に低下している事がわかる。一方、発泡試験片に関しては、弾性率、強度ともパイル長さの増加に伴って線形的に増加していることがわかる。中空試験片と発泡試験片の個々の値を比較してみると、パイル長さ 4mm においては、発泡することにより、弾性率と強度ともに低下していることがわかる。一方 8mm、12mm の試験片では、発泡することにより、弾性率、強度ともに増加しており、特に 12mm では発泡する前と比較して弾性率で 3 倍以上、強度においては 2 倍

以上となっている。試験中のその場観察により、中空試験片は圧子点近傍のパイルヤーンが荷重の増加に伴って屈曲し、最大応力時に曲げ破壊することがわかっている。8mm、12mmの試験片においては、パイル間の発泡樹脂によりこのパイルの曲げ変形が抑制されるために弾性率、強度ともに向上したものと考えられる。4mmの試験片において、中空試験片よりも発泡試験片が低くなった理由としては、発泡含浸によりテキスタイル中の樹脂量が低下したこと、8mm、12mmの試験片とは異なりパイルが短いため、変形のモードが曲げではなく圧縮が支配的になっていること、が原因ではないかと考えられる。

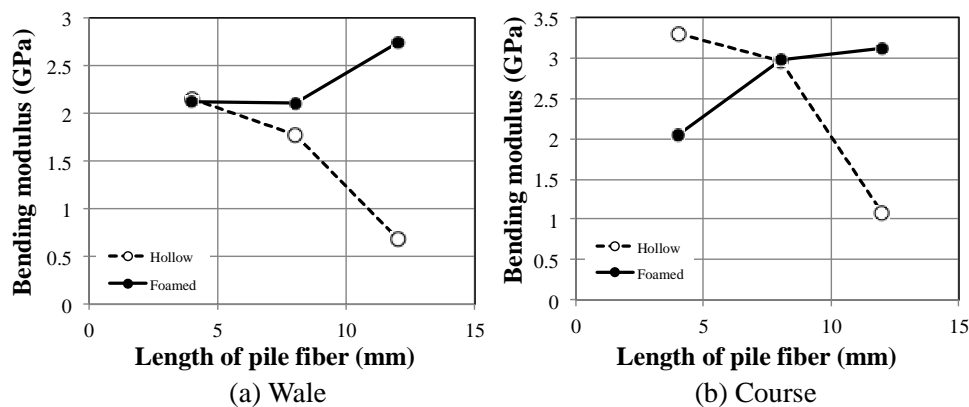


図 4-1-1 曲げ弾性率

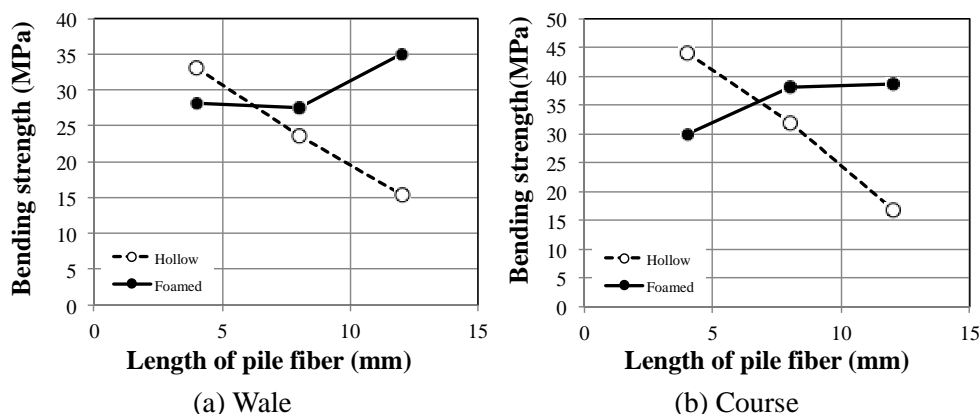


図 4-1-2 曲げ強度

これまでの研究開発では、三次元中空編物複合材料において、目付重量が増加すると、力学的特性は向上するが、熱伝導率は線形的に増加する(低い値を示す方が優れた断熱性能を示す。)ことがわかっている。したがって、優れた断熱材を開発するには、繊維量を減らす必要がある。低含有率の状態、三次元中空織物複合材料(弾性率:3.22GPa、強度:37.4MPa)以上の値を達成することを目標とした。図 4-1-1 および 4-1-2 より、3次元中空編物複合材料発泡成形品においても目標値を達成することができた。

2-4-2 耐久性の観点からの設計

ステンレス (SUS) 混紡糸の製編において作製した編物を使用して、耐久性を評価した。800°C環境下にさらした後の編物に対して、疲労試験機を用いて、300回の繰り返し圧縮負荷を与えた。試験条件は、面圧縮試験とし、変位制御でおこなった。波形をサイン波とし、ストロークを2.8mmとして300回の繰り返し試験をおこなった。図 4-2-1 に圧縮時の荷重と繰り返し回数の関係を示す。

300回の圧縮試験後のステンレス (SUS) 混紡糸の編物において、特に大きな外観の変化は見られず、厚さは試験前と比べて減少したが、繰り返し使用回数300回に耐えうる編物構

造が得られたといえる。

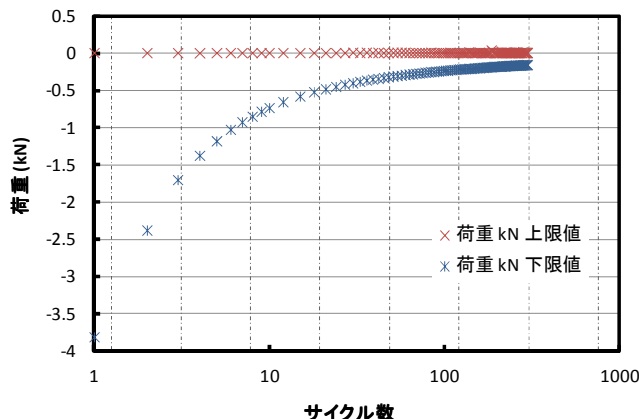


図 4-2-1 圧縮荷重とサイクル数の関係

2-4-3 断熱特性の観点からの設計

3次元中空編物複合材料は、コア部分に中空構造を有している。すなわち、断熱特性が高い空気を保持することができるため、高い断熱特性が期待できる。しかしその空間が広いと、空気の対流が起こり断熱特性を低下させてしまう恐れもある。市販されている断熱材には発泡スチロール、発泡ウレタン等、発泡樹脂成形品がほとんどであるが、この設計概念は、空気を含有させながら樹脂により空気の部屋を細かく分断することで対流をなくし、かつ樹脂と空気の界面を増やすことによって熱抵抗を増加させることである。そのように考えると、発泡成形により作製された複合材料の断熱特性は中空構造のものと比較して向上する可能性はあるが、発泡構造に使用する樹脂量によっては、熱流束のパスが増加してしまうため、断熱特性を損なう可能性もある。本項では、3次元中空編物の発泡成形品が断熱特性に及ぼす影響について、中空構造のものと比較し検討を行った。

測定した中空試験片と発泡試験片それぞれの熱伝導率とパイル長さとの関係を図4-3-1に示す。また、表面層とコア層とのそれぞれを積層複合材料の予測式から算出し、足し合わせた値も同様に示した。この結果、中空試験片と発泡試験片ともに厚さによる変化はほとんどなく、熱伝導率(実測値)は約0.05W/mKとほぼ同じ値であることがわかった。特にパイル長さ4mmの発泡試験片では0.049W/mKと、0.05W/mKを下回った。また、予測値も実測値とほぼ同等の値となっていることがわかった。これより、中空試験片、発泡試験片ともに目標値であった熱伝導率0.05W/mKを達成することが明らかとなった。また、3次元中空編物複合材料が、発泡スチロール並みの断熱特性(0.04W/mK)を有する事が明らかとなった。熱伝導率の予測に関しては、予測式を表面層とコア層に使い分けることにより、熱伝導率の予測が可能であることがわかった。

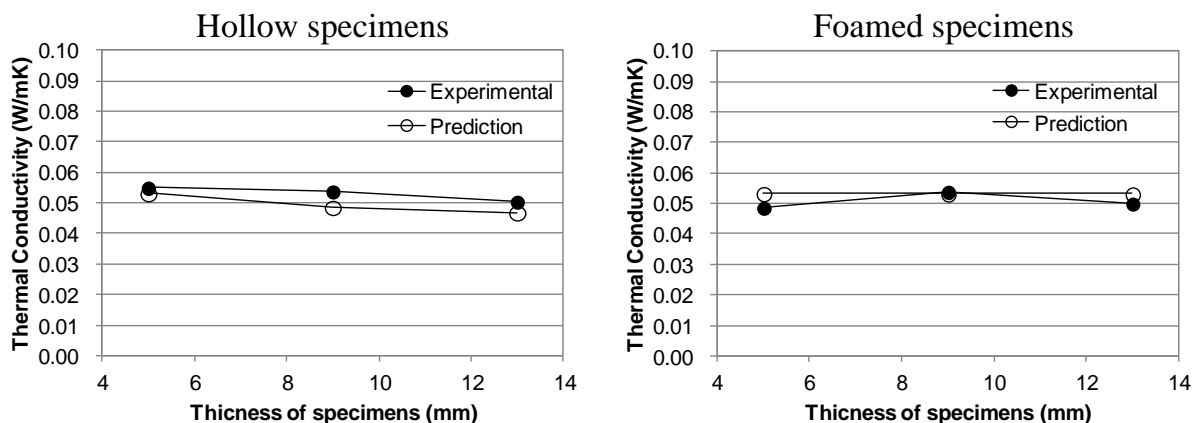


図 4-3-1 中空、発泡試験片の熱伝導率

最終章 全体総括

・研究開発成果

繊維表面処理技術において、炭素繊維・アルミナ繊維・シリカ繊維にシリコン樹脂・テフロン樹脂を用いて摩擦での損傷を減少させた試験片の力学的特性を評価した。その結果、強度低下率をアルミナ繊維 4.9%・炭素繊維 4.7%・シリカ繊維 3.3%と目標値である 5.0%以下を達成した。

高弾性・耐熱繊維の製編において、よこ編物機械の改良を行い、アルミナ繊維・炭素繊維・シリカ繊維の製編は可能となり、目標値である強度低下率 5.0%を達成した。更に、たて編物機械の改良を行い、炭素繊維の製編が可能となった。

三次元中空編物と発泡成形技術を組み合わせることにより、軽量かつ断熱特性に優れた超低密度断熱材を開発した。樹脂と発泡剤を混合し、発泡条件の最適化検討を行い、最適な発泡条件を用いて3次元中空編物の中空部分を充填することによる発泡樹脂成形を試みた結果、目標値である密度 0.5g/cm³を大幅に達成する値が得られた。

発泡泡成形により作製された複合材料の、静的・動的力学的特性について中空のものと比較検討を行った。曲げ試験、圧縮試験結果において、中空試験片ではパイル長さに伴って力学的特性が低下していたのに対して、発泡樹脂含浸を行うことで傾向が逆転し、12mm で最も優れた値となる事が明らかとなった。その結果、上述の超低密度断熱材においても、目標値である三次元中空織物複合材料(弾性率:3.22GPa、強度:37.4MPa)以上の値を達成することが可能となった。

耐久性においてはステンレス繊維とシリカ繊維の混紡糸の製編において作製した編物を使用して、目標値：800℃環境下にさらした後に繰り返し使用回数 300 回耐えうる編物構造が得られたといえる。

熱伝導率に関しては、定常法による測定の結果、中空、発泡試験片に関わらずパイル長さに伴って、熱伝導率がよくなることが明らかとなり、非定常法の試験結果、表面層の熱伝導率は中空よりも発泡試験片でより大きいことが明らかとなった。以上の結果より、中空試験片、発泡試験片ともに目標値であった熱伝導率 0.05W/mK を達成することが明らかとなった。

・研究開発後の課題・事業化展開

本研究での事業化目標は「編物技術を用いた環境対応型耐熱材・断熱材の開発」である。

本事業の成果において目標値は達成しているが、更に、編み組織の研究・編物機械の改良・繊維の選定などの研究が必要である。現在、本研究において得られたサンプルは評価中である。その結果から更に最適な条件を見つけ出し、要求性能を満たす編物構造が可能となれば、事業化が可能となる。

事業化については、自動車部品分野、航空宇宙分野を視野に入れ平成25年から、各販売先にサンプル出荷を開始する予定である。主な出荷先は、自動車用材料メーカー、船舶アッセンブリーメーカー等をターゲットとして評価を行い、事業性の検討を行う。