

平成 26 度戦略的基盤技術高度化支援事業
「航空機用炭素繊維連続バイアス織物製織装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成 27 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 特定非営利活動法人北関東産官学研究会

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
(1) 研究開発の背景	1
1) 川下製造業者が抱える課題とニーズ	1
2) 現行のCFRP	3
(2) 研究目的及び目標	4
1) 新技術のCFRP	4
2) 新技術によるCFRPのコスト削減効果	4
3) 新たな事業展開の可能性	5
4) 新技術を実現するために解決すべき研究課題	5
1-2 研究体制	6
(1) 研究組織及び管理体制	6
1) 研究組織（全体）	6
2) 管理体制	6
(2) 管理員及び研究員	7
1) 事業管理機関	7
2) 再委託先	7
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	7
1) 事業管理機関	7
2) 再委託先	7
(4) 他からの指導・協力者	8
1) 研究開発推進委員会 委員	8
(5) 知的財産権の帰属	8
1-3 成果概要	9
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発	9
(2) 高密度化に対応した箆打ちタイミングを確立する研究開発	9
(3) バイアス方向に製織された炭素繊維の目曲がりを抑え、 進直性を確立する研究開発	9
(4) 開発した炭素繊維連続バイアス織物製織装置による、試織評価	10
(5) 試織結果及び試織評価結果を踏まえた装置改良	10
(6) CFRPの強度特性の評価確認	10
(7) プロジェクトの管理・運営	10
(8) 専門用語等の解説	10
(9) 委託期間	11
1-4 当該研究開発の連絡窓口	13

第2章 本論

繋ぎ目のない炭素繊維連続バイアス織物製織装置の構築	14
結果（1）広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発	15
結果（2）高密度化に対応した箆打ちタイミングを確立する研究開発	16
結果（3）バイアス方向に製織された炭素繊維の目曲がりを抑え、 進直性を確立する研究開発	16
結果（4）開発した炭素繊維連続バイアス織物製織装置による、 試織評価	16
結果（5）試織結果及び試織評価結果を踏まえた装置改良	17
結果（6）CFRPの強度特性の評価確認	17
第3章 全体統括	18

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) 研究開発の背景

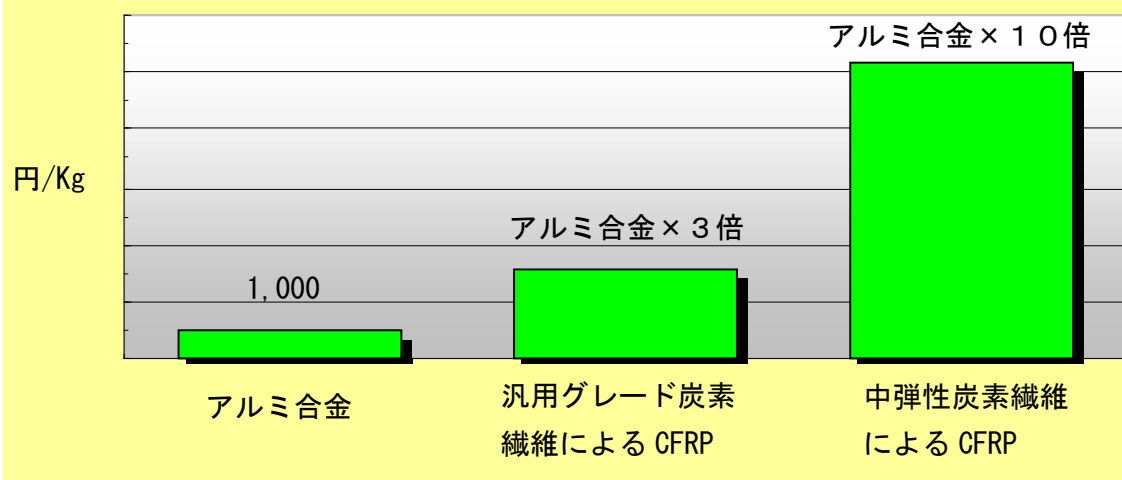
航空機の構造部材は近年、CFRPへの移行を強化している。CFRPへの移行により軽量化に伴う燃費向上効果に加え、組立作業工数の削減等の副効果も実証されている。

しかし、CFRPは、従来材料のアルミ合金と比較した場合、素材コストとして3倍以上も高く【グラフ1参照】、コスト面で大きな課題を抱える。

これは炭素繊維のコスト高が主な原因であるが、CFRP製造工程で生ずる材料ロス、工程ロスがコスト高を助長する大きな原因となっている。

こうした状況下、川下製造業者等は、炭素繊維の製織技術を高度化させることにより、これまでの素材・工程等の生産ロスを解消し、CFRPコストの大幅な低減を早期に実現させたいという強いニーズがある。

【グラフ1】 素材コストの比較（加工費を含まず）



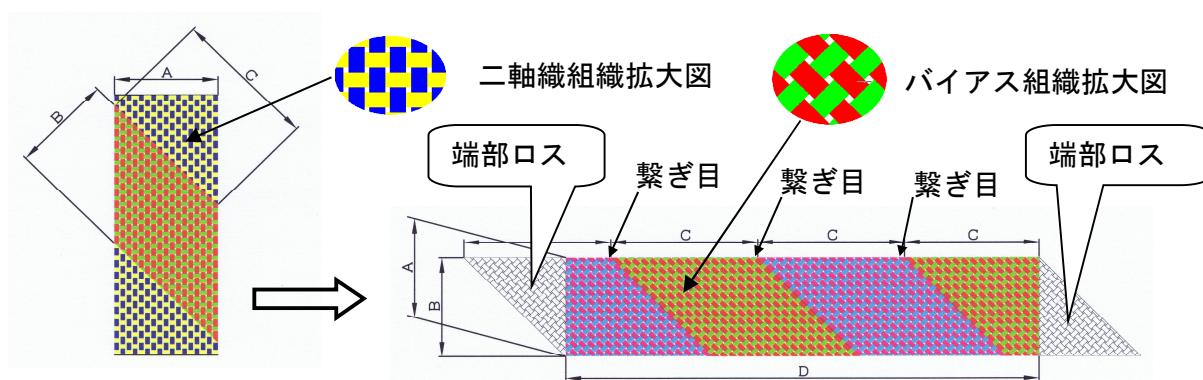
1) 川下製造業者が抱える課題とニーズ

CFRPは、炭素繊維の経糸と緯糸が90度で交わる二軸織物に樹脂を含浸させたシート（以下、二軸織プリプレグ）と±45度のバイアス織物に樹脂を含浸させたシート（以下、バイアス織プリプレグ）を交互に複数枚積層したものをオートクレーブ成形して製造される。

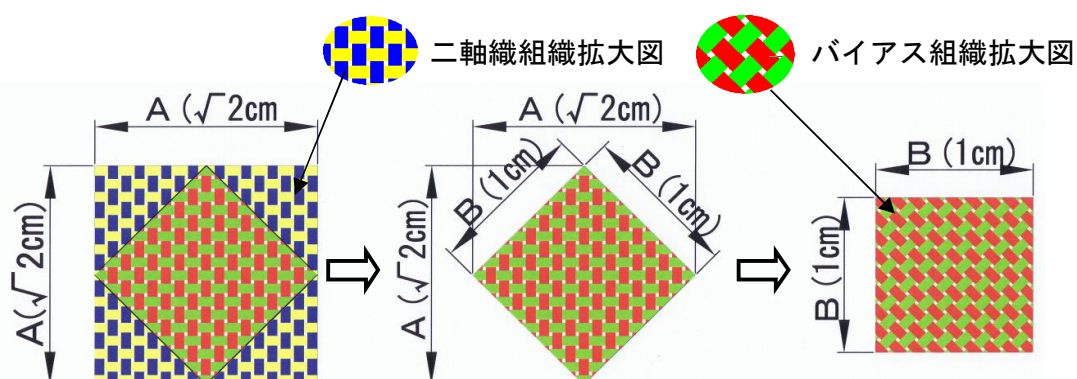
二軸織物は、経糸と緯糸が90度に交わる一般的な織物であり、炭素繊維を二軸製織する技術は既に確立されている。それに対し、±45度のバイアス織物は現行の技術では製織できず、二軸織物を斜め45度にカットして繋ぎ合わせるという非効率な工程を経て製造している。そればかりか、

二軸織物を斜め 45 度にカットしようとする場合、生地の変縮によるカッティング誤差が生じてしまうという問題がある。伸縮を抑えるため、樹脂を含浸させたシート状の二軸織プリプレグにさせてから斜め 45 度にカットし、更に繋ぎ合わせてバイアス織プリプレグを製造している。このようにバイアス織プリプレグを製造するには、二軸織プリプレグを斜め 45 度にカットし繋ぎ合わせるという非効率な作業工程【図 1 参照】、二軸織プリプレグを半分以上ムダにする材料ロス【図 2 参照】、繋ぎ目部分の強度低下を生じるためプリプレグ積層枚数を増やし厚くせざるを得ない【図 3 参照】、という 3 つの大きな課題がある。これらの課題を克服し、CFRP のコスト削減を実現するためのバイアス織物製織技術の開発が強く求められている。

【図 1】二軸織プリプレグを斜め 45 度にカットし繋ぎ合わせる非効率な作業工程について



【図 2】二軸織プリプレグを半分以上ムダにする材料ロスについて

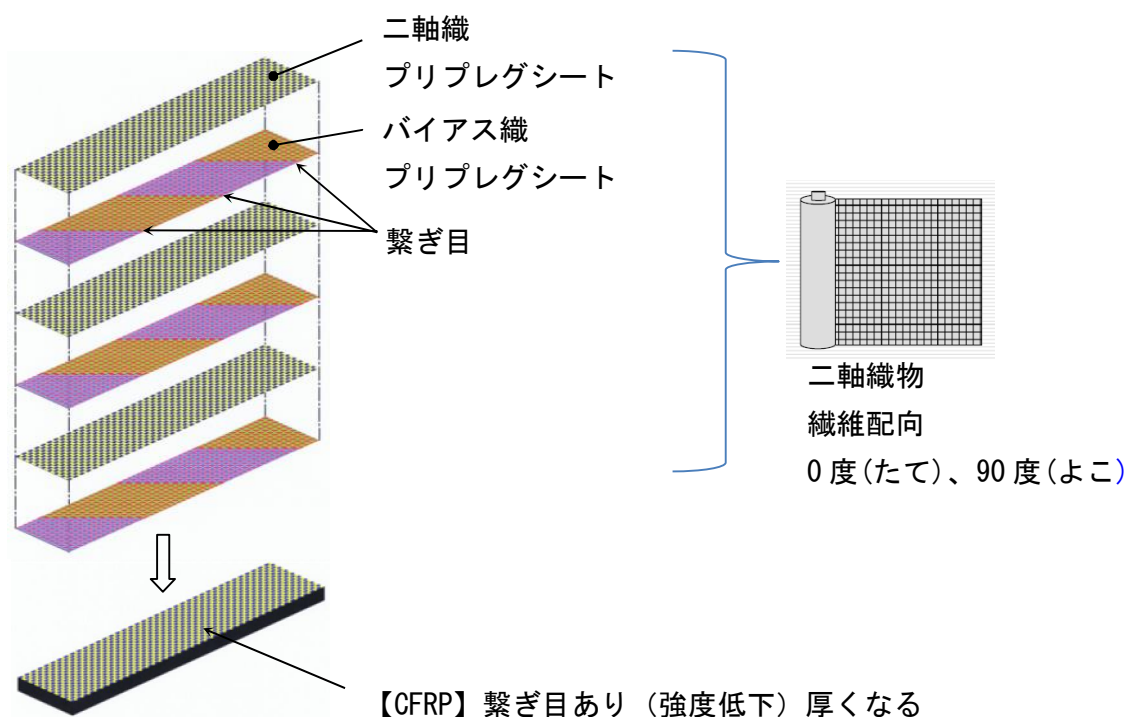


上記のように仮に正方形のバイアス織物を製作する場合、二軸織物の幅 A を $\sqrt{2}$ cm とすると 45 度にカットして出来たバイアス織物の幅 B は 1 cm

であるので、二軸織物の面積 ($\sqrt{2} \text{ cm} \times \sqrt{2} \text{ cm}$) = 2 cm^2 に対してバイアス織物の面積は ($1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$) = 1 cm^2 となり、生地として 50% の材料ロスが生じる。バイアス織物は縦方向に伸縮してしまうため二軸織物のままカットしようとする、縦方向に伸縮してしまい、寸法に誤差が生じてしまう。よって、斜め 45 度にカットする作業は二軸織物に樹脂を含浸し、シート状のプリプレグにしてから行う必要があり、二軸織物のほか樹脂も 50% の材料ロスを生じているということになる。また、繋ぎ合わせバイアス織プリプレグを製造するためには、【図 1】に示す端部ロスもある。

2) 現行の CFRP

現行の CFRP は、二軸織りプリプレグシートのみで製造されている。バイアス織りプリプレグシートは二軸織りプリプレグシートを斜め 45 度にカットし繋ぎ合わせて製造されており、なお、繋ぎ目部分の強度低下を補うためにプリプレグ積層枚数を増やし厚くせざるを得ない。



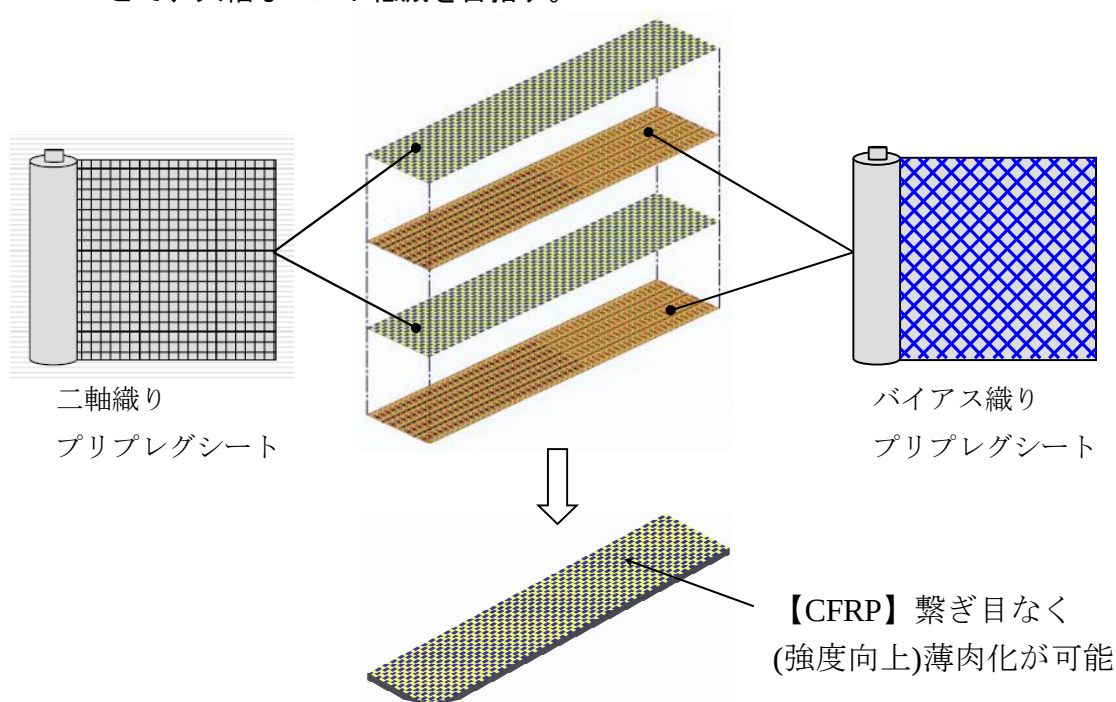
【図 3】

(2) 研究目的及び目標

本研究では、斜め45度の製織を可能とするトーションレース機の製織原理を応用し、広幅で高密度化に対応した製織技術の開発を行う。「炭素繊維連続バイアス織物」を一工程で製織可能とする装置と量産に適した長期安定的な製織技術を確立し、従来の材料・工程ロスをなくすことで、CFRPコスト45%以上の削減を目指す。

1) 新技術のCFRP

航空機用炭素繊維連続バイアス織物製織装置の開発により、製造工程の削減、高価な炭素繊維・樹脂の大幅削減による省資源化、低コスト化が可能となることで、大幅なコスト低減を目指す。



【図4】

炭素繊維連続バイアス織物により二軸織りプリプレグの斜め45度カットと繋ぎ合わせ工程がなくなり、それにより発生する材料ロスの削減が可能となる。

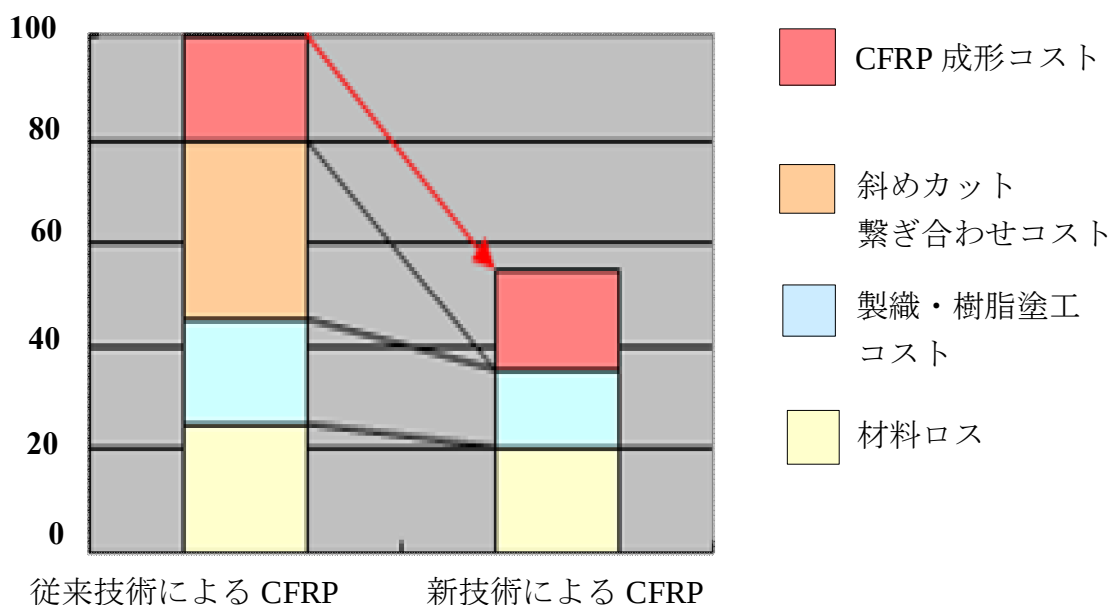
また、繋ぎ目がなくなることで炭素繊維が本来持つ強度を発現でき、薄肉化による材料と加工時間の削減が図れるため、新技術によるCFRPコストの削減効果45%以上を目標としている。

2) 新技術によるCFRPのコスト削減効果

炭素繊維連続バイアス織物により二軸織りプリプレグの斜め45度カットと繋ぎ合わせ工程がなくなり、それにより発生する材料ロスの削減が可能となる。また、繋ぎ目がなくなることで炭素繊維が本来持つ強度を発現でき、薄肉化による材料と加工時間の削減が図れる。新技術によるCFRPの

コスト削減効果を 45%と算出している。【グラフ 2 参照】。

また、炭素繊維連続バイアス織物製織装置を量産することで、地域中小企業への波及効果が期待できる。



【グラフ 2】

3) 新たな事業展開の可能性

本事業の対象となる航空機用構造部材のほか、宇宙分野（この分野は、航空機以上に軽量・高剛性が要求される）、自動車、環境・エネルギー分野（風力発電機の羽根、風車や革新的な大型風車の開発、高速回転体フライホイール【「こま」の原理で効率的にエネルギーを貯蔵する技術】向けの素材開発で軽量高強度でしなりの少ない素材）、IT 機器分野（ガラス繊維等で製織した複合材料として情報家電用半導体基板の基材など）、スポーツ関連用品基材、建築、土木資材など幅広い産業分野での新たな事業展開により経済効果が見込まれる。

4) 新技術を実現するために解決すべき研究課題

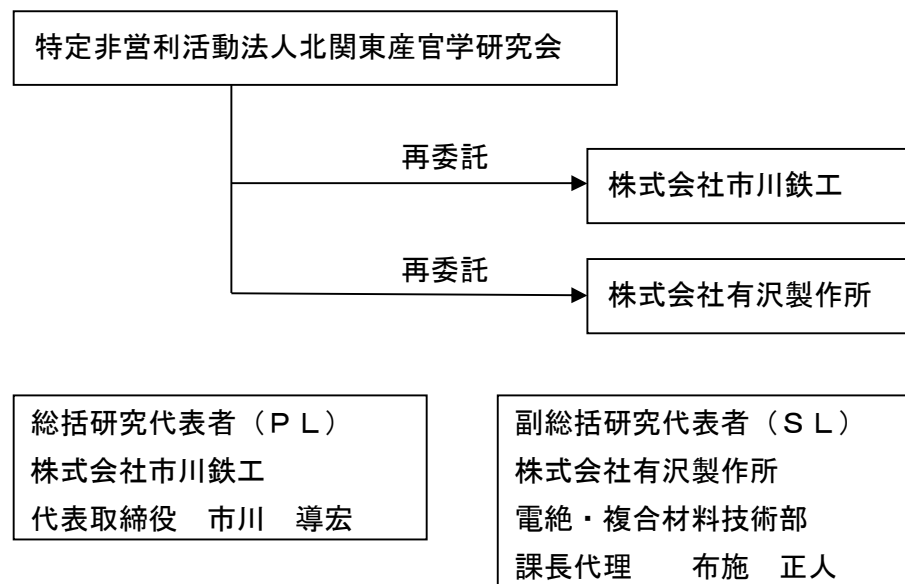
トーションレース機の製織原理を応用した繋ぎ目のない炭素繊維連続バイアス織物製織装置を開発することで、従来の材料・工程ロスを削減し、CFRP の低コスト化・高強度化を実現。更に樹脂塗工の加工時間を短縮させる、バイアス織物特有の縦方向の伸縮を防ぐ技術を付加し、更なる低コスト化を図る。

新技術による CFRP は、バイアス織プリプレグの繋ぎ目がなく連続したシートであるため、従来技術と比べ強度が高くプリプレグの積層枚数を少なくすることが出来る。より薄く省資源・軽量・高強度・低コストの CFRP の製造が可能となる。

1－2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

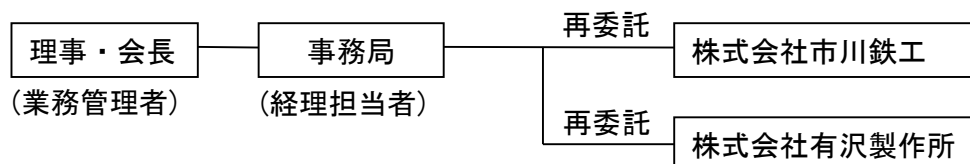
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

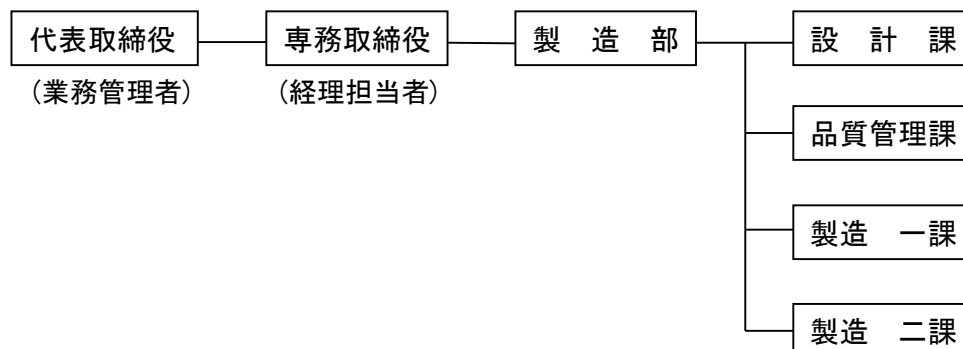
事業管理機関

[特定非営利活動法人北関東産官学研究会]

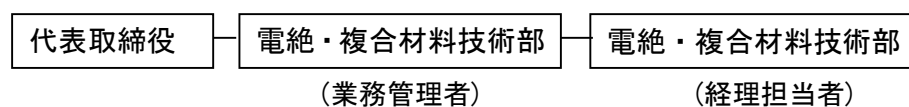


再委託先

[株式会社市川鉄工]



[株式会社有沢製作所]



(2) 管理員及び研究員

1) 事業管理機関

特定非営利活動法人北関東産官学研究会

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
萩原 三男	事務局	⑥

2) 再委託先

研究員

株式会社市川鉄工

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
市川 導宏	代表取締役	① ② ③ ④
市川 武男	常務取締役 兼 製造部長	① ② ③ ④
青木 良之	設計課 課長	① ③ ④
市川 隆志	品質管理課 課長	① ③ ④
市川 智成	製造二課 課長 (CAD/CAM 加工技術担当)	① ②
鈴木 達浩	製造二課	① ②
鈴木 けんじ	製造二課	① ②

株式会社有沢製作所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
布施 正人	電絶・複合材料技術部 課長代理	⑤
小林 哲也	電絶・複合材料技術部 係長	⑤

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

1) 事業管理機関

特定非営利活動法人北関東産官学研究会

(経理担当者) 事務局

萩原 三男

(業務管理者) 会長

根津 紀久雄

2) 再委託先

株式会社市川鉄工

(経理担当者) 専務取締役

市川 昌宏

(業務管理者) 代表取締役

市川 導宏

株式会社有沢製作所

(経理担当者) 電絶・複合材料技術部

係長

小林 哲也

(業務管理者) 電絶・複合材料技術部

課長代理

布施 正人

(4) 他からの指導・協力者

1) 研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
市川 導宏	株式会社市川鉄工 代表取締役	PL
市川 昌宏	株式会社市川鉄工 専務取締役	
市川 武男	株式会社市川鉄工 常務取締役 兼 製造部長	
布施 正人	株式会社有沢製作所 電絶・複合材料技術部 課長代理	SL
小林 哲也	株式会社有沢製作所 電絶・複合材料技術部 係長	
梅元 禎孝	東邦テナックス株式会社 技術開発グループ 新市場開発チーム チーム長	アドバイザー
中山 良博	川崎重工業株式会社 技術本部研究部 材料技術課 基幹職	アドバイザー
浅利 和美	株式会社ジャムコ 航空機器製造カンパニー 機器製造工場 技術部長	アドバイザー
岩堀 豊	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部複合材技術開発センター センター長	アドバイザー
古畑 雅弘	新潟県工業技術総合研究所 素材応用技術支援センター 専門研究員	アドバイザー
小海 茂美	新潟県工業技術総合研究所 素材応用技術支援センター 専門研究員	アドバイザー
瀧上 昭治	国立大学法人群馬大学 機器分析センター 准教授	アドバイザー

(5) 知的財産権の帰属

知的財産権は、株式会社市川鉄工に帰属することを希望する。

1－3 成果概要

(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発（実施：株式会社市川鉄工）

従来の二軸織製織機では、糸が箴（おさ）にあらかじめ挿入されているため箴打ちが容易なのに対し、トーションレース機での箴打ちは、糸と糸の隙間を打ち込む製織原理のため、織密度が高ければ高いほど箴打ちが困難になるという大きな技術課題が生じる（そのため、現行のトーションレース製織技術では、糸密度が粗く細幅なものしかできない）。本事業では、トーションレースの製織技術を使いつつ、これまで不可能であった広幅で高密度化に対応した箴打ち方法の研究開発を実施した。

(1)-1 ベース・本体の設計・製造

(1)-2 カム駆動装置・原動装置の設計・製造

(1)-3 糸キャリアー装置の設計・製造

(1)-4 巻取装置の設計・製造

(1)-5 制御盤の設計・製造

(1)-6 作業台（装置カバー含む）の設計・製造

(2) 高密度化に対応した箴打ちタイミングを確立する研究開発

（実施：株式会社市川鉄工）

糸キャリアー（※1：専門用語解説）から引き出された炭素繊維は中心部の織前（※3：専門用語解説）に向かって高密度に集束される。中心部から外周部に向かっては放射線状に糸と糸の隙間は広くなるので、挿入可能な位置にプレ開口装置を設け、リードナイフ（※2：専門用語解説）で打ち込む前に箴打ち可能な間隔に広げて打ち込むことで、広幅で高密度化を確立する研究開発を実施した。

(2)-1 プレ開口装置の設計・製造

(2)-2 第一、第二プレ開口及び箴打ち、各装置の駆動タイミングの確立

(3) バias方向に製織された炭素繊維の目曲りを抑え、進直性を確立する研究開発

（実施：株式会社市川鉄工）

CFRPの場合、糸配向の目曲がり強度に大きく影響するため極力目曲がりを出さないことが重要となる。糸キャリアーの軌道を半円として、フラットに展開して巻き取る際の展開率を小さくすることで、Bias方向に走る炭素繊維の目曲がりを1/3に抑えた。更にBias方向に製織された炭素繊維の進直性を確立するため、織前から巻取りまでの、経糸の長さ誤差を1mm以下（目標値）に抑えるための目曲がり補正ガイドの曲面形状の研究開発を行い、Bias方向に製織された炭素繊維の進直性を確立した。

(3)-1 目曲がり防止装置の設計・製造

(4) 開発した炭素繊維連続バイアス織物製織装置による、試織評価

(実施：株式会社有沢製作所)

(4)-1 試織・評価

(5) 試織結果及び試織評価結果を踏まえた装置改良 (実施：株式会社市川鉄工)

(5)-1 改良部品の設計・製造

(6) CFRPの強度特性の評価確認 (実施：株式会社有沢製作所)

(6)-1 クーポン試験

- ・ 引張強度・弾性率 (ASTMD3039)
- ・ 曲げ強度・弾性率 (JISK7074)
- ・ 圧縮強さ・弾性率 (NAL-NHC-II)
- ・ 層間せん断強度 (JISK7078)

(7) プロジェクトの管理・運営 (実施：特定非営利活動法人北関東産官学研究会)

- ・ 事業管理機関・特定非営利活動法人北関東産官学研究会において、本プロジェクトの管理を行った。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書2部及び電子媒体 (CD-ROM) 一式を作成した。
- ・ 本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行った。
- ・ 再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行った。
- ・ 研究開発推進委員会を委託契約期間内に3回開催した。

(8) 専門用語等の解説

- | | | |
|----|--------|---|
| ※1 | 糸キャリアー | ボビンに巻かれた炭素繊維に一定のテンションを掛けながら「8の字」に走行するもので、数点の部品がアッセンブリされた一体部品。 |
| ※2 | リードナイフ | 織機でいう箆打ちのこと。
糸キャリアーの移動による糸交点を箆打ちにより織前位置まで移動させる。 |
| ※3 | 織前 | バイアス糸が交わる交点で、製織組織を形成する位置。 |

(9) 委託期間

平成 24 年度実施計画日程

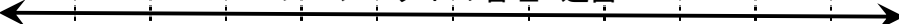
実 施 内 容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発 1) ベース・本体の設計・製造						←→						
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発 2) カム駆動装置・原動装置の設計・製造						←→						
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発 3) 箆打ち装置の設計・製造						←→						
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発 4) 糸キャリアー駆動装置の設計・製造						←→						
(2) プレ開口装置の研究開発						←→						
(3) 装置形状を半円（有端円）とする研究開発						←→						
(4) バイアス方向に製織された炭素繊維の目曲りを抑え、進直性を確立する研究開発						←→						
(5) 織物設計						←→						

(6) プロジェクトの管理・運営 ・ 研究開発推進委員会 ・ 報告書作成												

平成 25 年度実施計画日程

実 施 内 容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発												
(2) プレ開口装置の研究開発												
(3) 装置形状を半円(有端円)とする研究開発												
(4) バイアス方向に製織された炭素繊維の目曲りを抑え、進直性を確立する研究開発												
(5) 開発した炭素繊維連続バイアス織物製織装置による、炭素繊維以外の安価な一般糸での試織評価												
(6) プロジェクトの管理・運営 ・ 研究開発推進委員会 ・ 報告書作成												

平成 26 年度実施計画日程

実 施 内 容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1) 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発												
(2) 高密度化に対応した箄(おさ)打ちタイミングを確立する研究開発												
(3) バイアス方向に製織された炭素繊維の目曲りを抑え、進直性を確立する研究開発												
(4) 開発した炭素繊維連続バイアス織物製織装置による試織評価												
(5) 試織結果および試織評価結果を踏まえた装置改良												
(6) CFRPの強度特性の評価確認(クーポン試験)												
(7) プロジェクトの管理・運営 ・研究開発推進委員会 ・報告書作成	プロジェクトの管理・運営  ○ ○ ○ 											

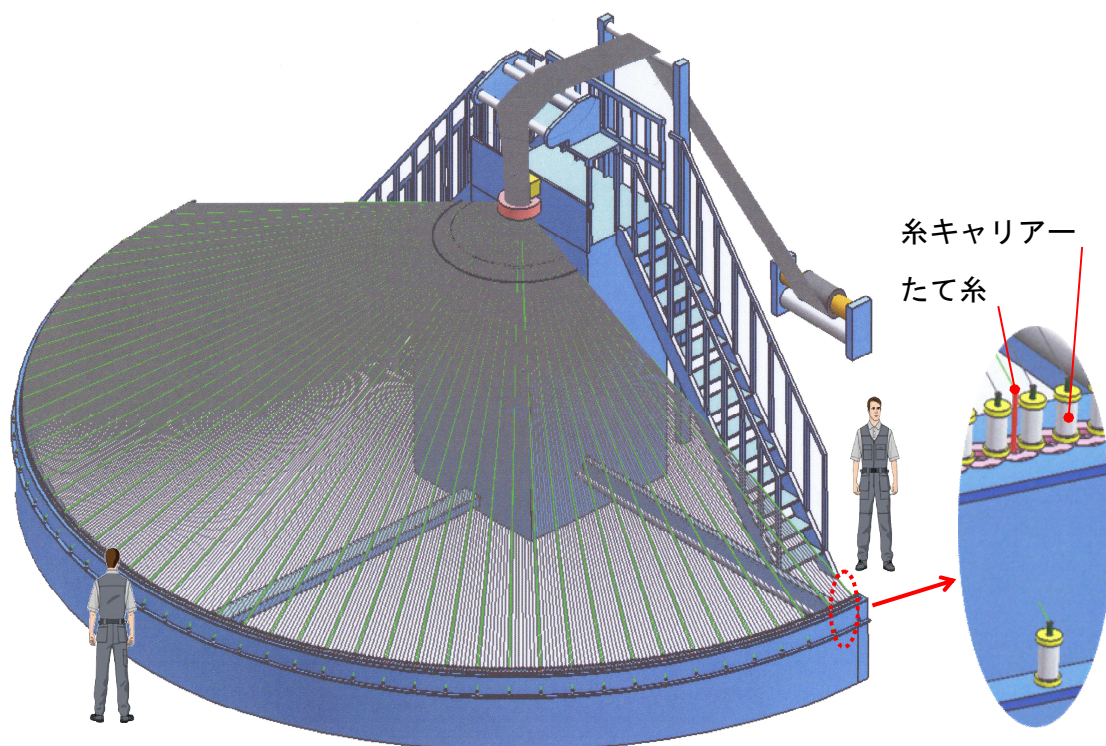
1-4 当該研究開発の連絡窓口

特定非営利活動法人北関東産官学研究会 (最寄り駅: JR両毛線・桐生駅)
 〒376-0025 群馬県桐生市織姫町2番5号 (財) 桐生地域地場産業振興センター4階
 事務統括 萩原 三男
 TEL 0277-46-1061
 E-mail : hagiwara@hikalo.jp

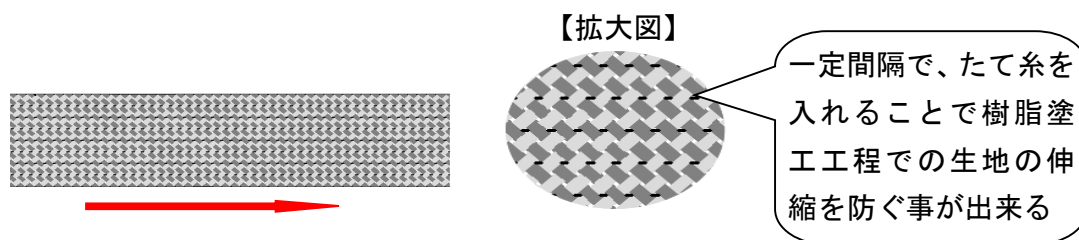
第2章 本論

繋ぎ目のない炭素繊維連続バイアス織物製織装置の構築

トーションレース編機の製織原理を応用し、広幅で高密度化に対応した製織技術の開発、目曲がり防止技術の開発及び織物設計を行い、「炭素繊維連続バイアス織物」1工程で製織可能とする装置の研究開発と量産に適した長期安定的な製織技術を確立した。



【新技術による炭素繊維連続バイアス織物】



有効幅 500mm 以上、長さ 50m 以上の炭素繊維連続バイアス織物

結果（１） 広幅で高密度化に対応した製織技術の研究開発

（１）－１ ベース本体の設計製造

装置形状を半円（有端円）とする基礎及び駆動部を構築した。

（１）－２ カム駆動装置においてメンテナンスを容易にするため、ハンドルでの手回しを可能にした。カム駆動装置は重荷重に耐える共役カムを採用した。

（１）－３ 糸キャリアー駆動装置の設計・製造

モジュール毎に分割ジョイント方式を採用した。

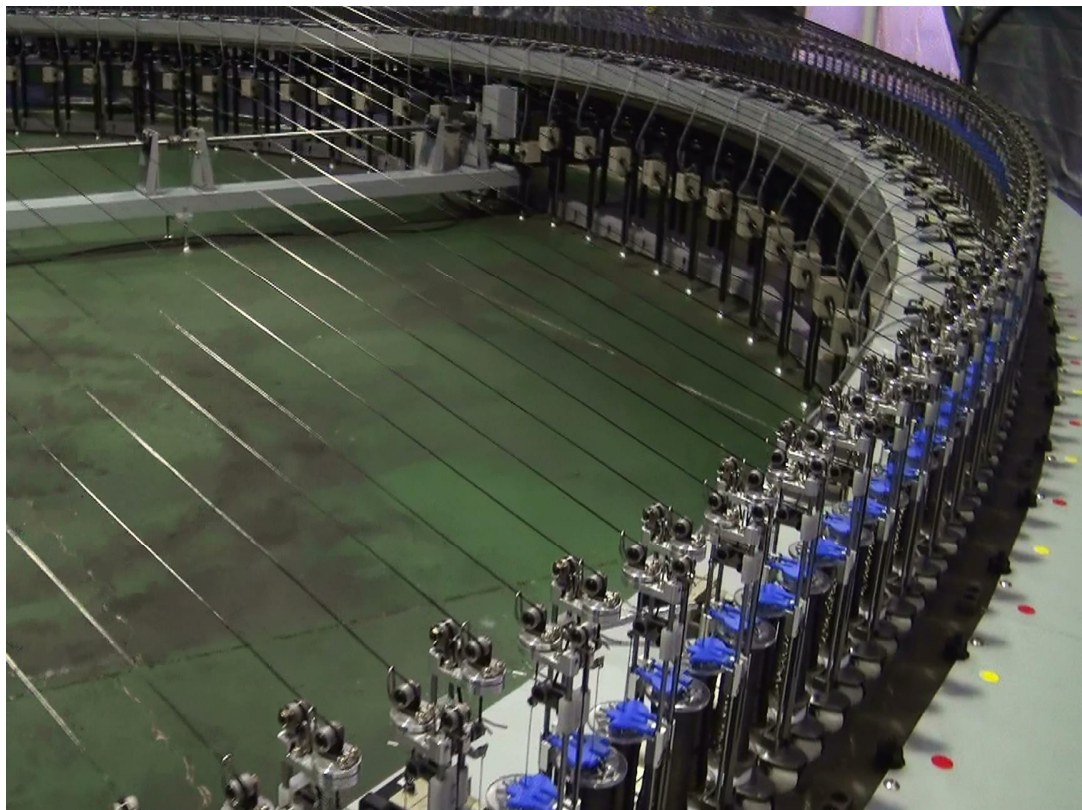
（１）－４ 巻取装置の設計・製造

（１）－５ 制御盤の設計・製造

（１）－６ 作業台（装置カバー含む）の設計・製造

・開発された製品技術のスペック

・糸キャリアー数（バイアス糸用）	４００本
・たて糸本数（伸縮防止用）	５０本
・スピンドルピッチ	４５mm
・回転数	１５０rpm



結果（２）高密度化に対応した箴打ちタイミングを確立する研究開発

（２）－１ プレ開口装置の設計・製造

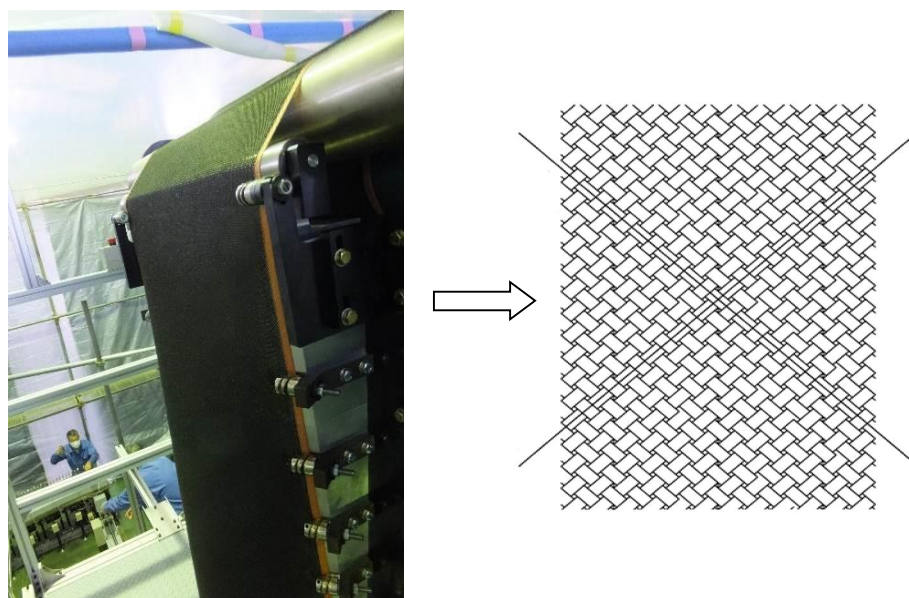
（２）－２ 第一、第二プレ開口及び箴打ち、各装置の駆動タイミングを確立する研究開発

高密度化に対応したプレ開口装置、箴打ち及び各装置の駆動タイミングを確立した。

結果（３）バイアス方向に製織された炭素繊維の目曲がりを抑え、進直性を確立する研究開発

（３）－１ 目曲がり防止装置の設計・製造

実際に航空機用炭素繊維を用いて試織を行いながら試織結果を設計に反映させ目曲がり補正ガイドの曲面形状の研究開発を行い、目曲がり防止装置として完成させた。



結果（４）開発した炭素繊維連続バイアス織物製織装置による試織評価

試織による織密度、質量、有効幅、長さ、糸配向角度、糸目曲がり量、カバーファクター、糸毛羽の発生度合いを検証した。

（４）－１ 試織・評価

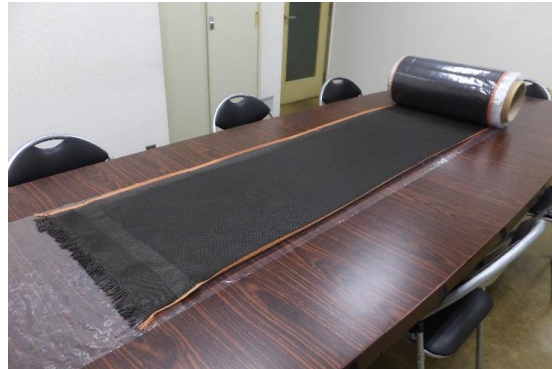
製織した製品例

有効幅 500mm

織り密度 ± 45 度方向に各12.5本/25.4mm

織物質質量 200g/m²

糸配向 ± 45 度



結果（５）試織結果及び試織評価結果を踏まえた装置改良

（５）－１ 改良部品の設計・製造

実際に航空機用炭素繊維を用いて試織を行いながら、試織結果および試織評価結果を踏まえた装置改良を実施し、航空機用炭素繊維連続バイアス織物製織装置として確立した。

結果（６）CFRPの強度特性の評価確認

量産技術の確立にあたり、CFRPのクーポン試験体を作製し強度試験を行い、従来二軸織物と比較を行う。クーポン試験体は、樹脂フィルムと炭素繊維連続バイアス織物にてプリプレグを作製し、そのプリプレグを積層しオートクレーブにて成形する。

（６）－１ クーポン試験

No	試験項目	擬似等方積層板		強度向上率	備考
		2軸織物	バイアス織物		
1	引張強度	523.4MPa	544.8MPa	3.93%	ASTM D 3039
	引張弾性率	40.1GPa	41.6GPa	3.61%	
2	曲げ強度	689.9MPa	713.2MPa	3.27%	JIS K 7074
	曲げ弾性率	45.9GPa	47.0GPa	2.34%	
3	圧縮強度	369.9MPa	419.7a	11.87%	NAL NHC-Ⅱ
	圧縮弾性率	37.1GPa	38.0GPa	2.37%	
4	層間せん断強度	62.7MPa	64.4MPa	2.64%	JIS K 7078

第3章 全体統括

装置形状を半円（有端円）の炭素繊維連続バイアス織物製織装置を開発し、一般系のアラミド繊維と炭素繊維を用いて試織を行い、目曲がりの確認を行うと共に、クーポン試験体を作製し、CFRPの強度特性の評価検証を行い、本事業の開発テーマである航空機用炭素繊維連続バイアス織物製織装置としてほぼ完成した。今後は事業化に向けて量産技術の確立と品質の向上に向けて取り組んでいく。