

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「立体構造体形状で織り上げる、炭素繊維織物の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人ふくい産業支援センター

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
1-2 研究体制	1
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第 2 章 本論	7
2-1 立体構造体製織システムの開発	7
2-1-1 積層製織機構の開発	7
2-1-2 異形製織機構の開発	8
2-2 立体構造体搬送システムの開発	9
2-2-1 引き出し機構の開発	9
2-2-2 カット、仮固定機構の開発	9
2-3 立体構造体形状の炭素繊維織物の分析、評価	10
2-3-1 寸法測定分析	11
2-3-2 重量測定分析	12
2-3-3 強度測定分析	12
最終章 全体総括	17
3-1 研究成果総括	17
3-2 立体構造体形状の炭素繊維織物の評価と課題	17
3-2-1 品質からのアプローチ	17
3-2-2 生産性からのアプローチ	19

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

自動車産業では軽量化の観点から、ボディー等の外板部材には炭素繊維織物が採用され始めているが、炭素繊維織物は平面構造であり、連結強度を要求される肉厚な高強度の立体構造部材に適用できない。

そこで、織機の技術をベースとした立体構造体製造織機を開発し、炭素繊維を素材とする立体構造体形状の織物により、自動車のエンジン部品であるコンロッドを試作開発する。図 1 にイメージを示す。

この技術は、現在鍛造や鋳造で作られている部品を炭素繊維で立体的に自動形成することを可能にするものであり、今まで複合材料化の検討が進められなかった分野への突破口となる可能性を秘めている。

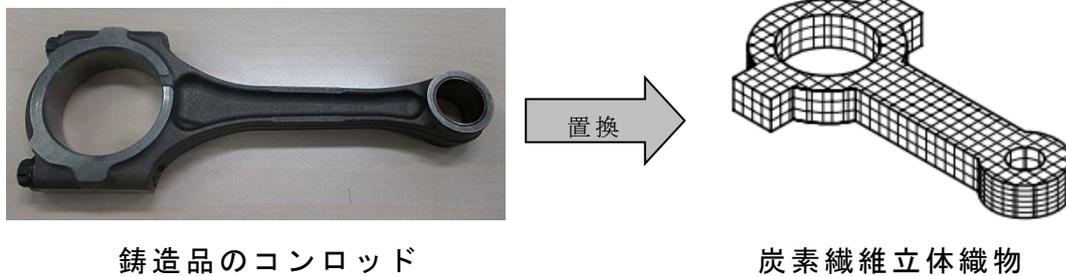
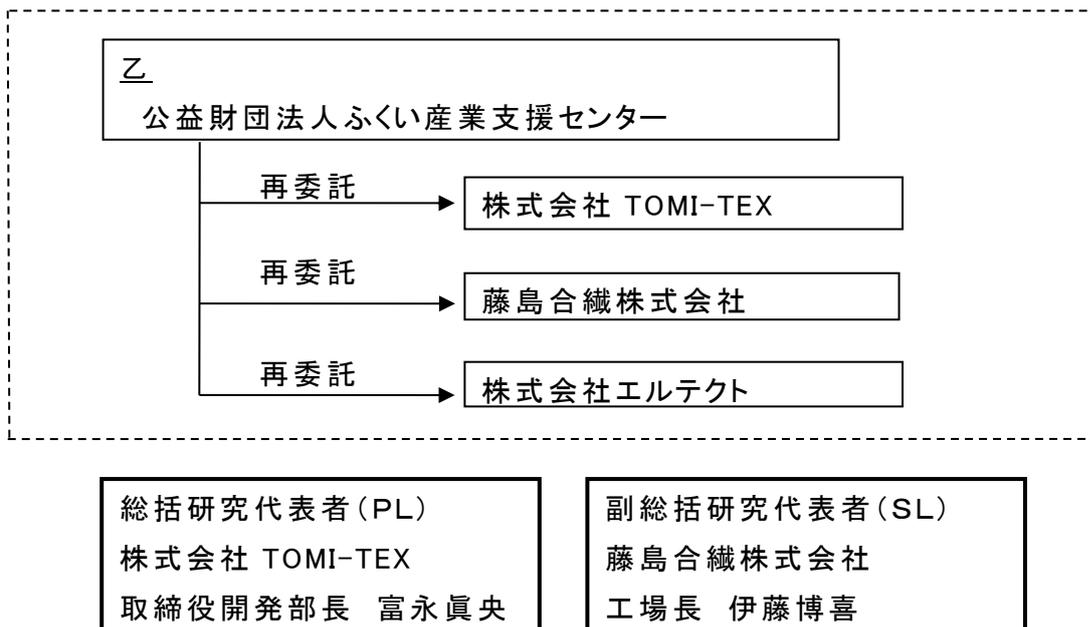


図 1 コンロッドの置換イメージ

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

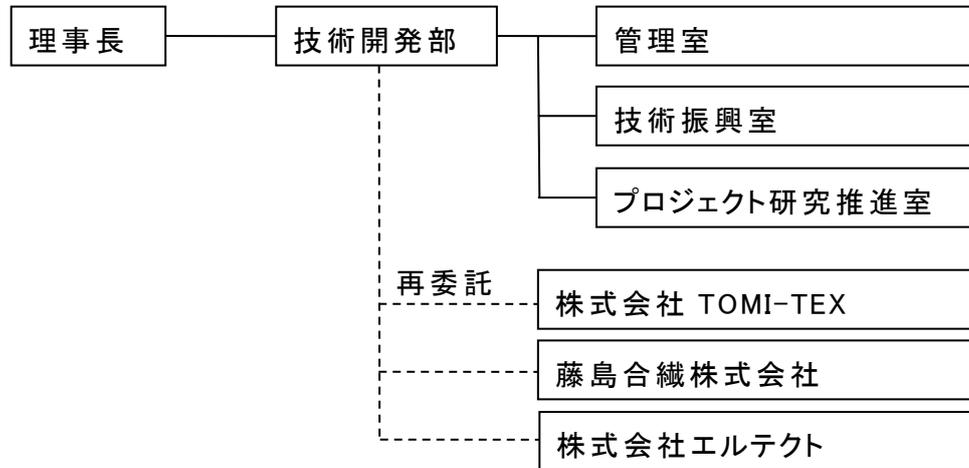
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

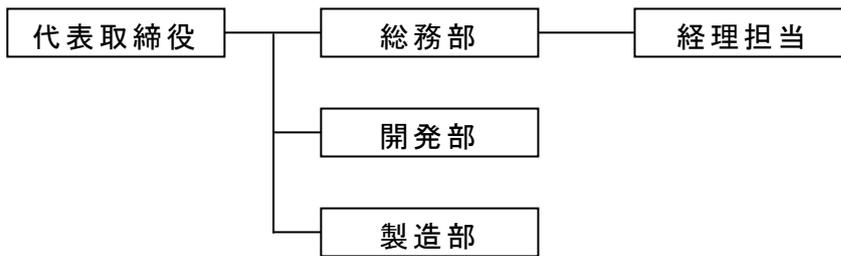
①事業管理機関

[公益財団法人ふくい産業支援センター]

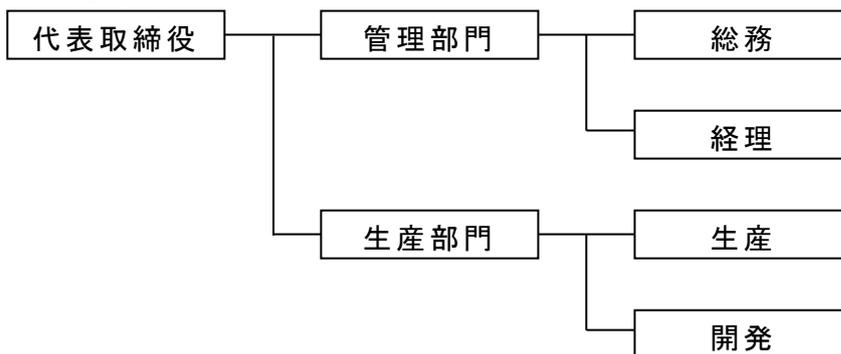


②再委託先

株式会社 TOMI-TEX



藤島合織株式会社



株式会社エルテクト



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】

公益財団法人ふくい産業支援センター

①管理員

氏名	所属・役職
松村 正三	技術開発部 プロジェクト研究推進室 室長
木下 佳紀	技術開発部 プロジェクト研究推進室 主任研究員
野尻 誠	技術開発部 プロジェクト研究推進室 主任研究員
山田 卓司	技術開発部 管理室 主査

【再委託先】

株式会社 TOMI-TEX

氏名	所属・役職
富永 眞央	取締役開発部長
加藤 英介	製造部主任研究員
山崎 卓也	開発部研究員

藤島合織株式会社

氏名	所属・役職
伊藤 博喜	工場長

株式会社エルテクト

氏名	所属・役職
藤木 茂明	開発部電装主任

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人ふくい産業支援センター

(経理担当者) 技術開発部管理室

主査 山田 卓司

(業務管理者) 技術開発部プロジェクト研究推進室

室長 松村 正三

(再委託先)

株式会社 TOMI-TEX

(経理担当者) 経理担当

高村 磨智子

(業務管理者) 取締役開発部長 富永 真央
藤島合織株式会社

(経理担当者) 代表取締役 北 晴夫
(業務管理者) 工場長 伊藤 博喜
株式会社エルテクト

(経理担当者) 経理担当 安川 歩
(業務管理者) 常務取締役 高橋 稔
福井県工業技術センター

(経理担当者) 管理室 主事 酒井 諒平
(業務管理者) 所長 勝木 一雄

(4) 推進委員会

推進委員会委員

氏名	所属・役職	備考
富永 真央	株式会社 TOMI-TEX 取締役開発部長	P L
伊藤 博喜	藤島合織株式会社 工場長	S L
高橋 稔	株式会社エルテクト 常務取締役	
河村 信也	トヨタ自動車株式会社 製品原価企画部 BR 軽量化推進室 主査	アドバイザー
中西 康治	株式会社豊通マシナリー 産業機械部 名古屋機械グループ 課長	アドバイザー

1-3 成果概要

当初計画にて設定した【1】～【3】のテーマごとに課題を挙げて取り組みを行った。研究開発自体は予定通り完了したが、実用化への課題は残している。

【1】立体構造体製織システムの開発

【1-1】積層製織機構の開発

目標	成果概要
ヨコ糸挿入機構を従来の固定型から上下移動できる可動型にすることで、従来の炭素繊維織物厚み限度約 1mm を立体構造体に相応しい 100mm までに拡張する。	開発した織機にて、厚み 20mm の炭素繊維のコンロッドを製織できた。 また、織機の能力的には、厚み 50mm まで可能であることを確認できた。 織機に付属のサーボ制御タテ糸開口装置の開口ストロークを増大することにより、目標の 100mm も可能なことが分かった。

【1-2】異形製織機構の開発

目標	成果概要
<p>織機上でヨコ糸をタテ糸に織り込む機能を有する箆（おさ）を、1本の織物につき2枚が左右方向に移動する構造にし、さらにヨコ糸を左右双方向から挿入される構造にすることで、製織中に織物が二股に分割されるようにする。</p>	<p>異形製織機構を製作する代わりに、織機に付属のサーボ制御タテ糸開口装置を使って、タテ糸の開口パターンとヨコ糸の挿入タイミングを組み合わせ、織物を二股に分割することができた（＝異形製織法）。その結果、コンロッドの二股部も製織できた。</p>

【2】立体構造体搬送システムの開発

【2-1】引き出し機構の開発

目標	成果概要
<p>織物の巻き取り方式を従来のローラー巻き取りから、スパイクリングを使った引き出し方式に置換することで、これまで不可能であった立体構造体の形状を維持したままの巻き取り（引き出し）を実現する。</p>	<p>引き出し機構を製作し、コンロッドの形状を維持したままで引き出すことができた。</p>

【2-2】カット、仮固定機構の開発

目標	成果概要
<p>引き出し機構によって引き出された立体構造体を剣山コンベアにて再度固定し、コンベアにて搬送中にカット及び仮接着されるような一連の機構を製作する。その結果、形状が維持された立体構造体が織機のアウプットになることを目標とする。</p>	<p>開発した織機でコンロッドを製織したところ、織密度の高い構造体を得ることができた。その結果、樹脂成形工程に別途搬送する際にも形状が容易に崩れないことが分かったため、仮固定機構は不要とした。</p> <p>そこで、剣山コンベアを伴わないシンプルな構造のカット機構のみを製作し、製品長で自動的にカットできるようにした。</p>

【3】立体構造体形状の炭素繊維織物の分析、評価

目標	成果概要
<p>テーマ【1】【2】の技術をベースとして出来上がった立体構造体製造織機を利用して、炭素繊維のコンロッドを試織する。糸本数、織組織といった条件を変えながら試織を複数回実施し、樹脂成形して完成品とする。完成品の数値目標として、圧縮強度 100kn(キロニュートン)、重量 330g(現行の鍛造品重量 470g に対して 30%減の軽量化)を目指す。</p>	<p>炭素繊維のコンロッドをエポキシ樹脂で RTM 成形した。 成形品の重量は 146g で、現行の鋳造品比で 70%減の軽量化を実現した。 圧縮と引張の両試験を行い、圧縮強度、引張強度とも約 50kN の数値を得た。 目標強度 100kn を目指すには、炭素繊維のコンロッドの部分的な形状変更による強化アップが必要であることが分かった。</p>

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人ふくい産業支援センター 技術開発部
 〒910-0102 福井県福井市川合鷺塚町 61 字北稲田 10

TEL: 0776-55-1555 FAX: 0776-55-1878

連絡担当者

プロジェクト研究推進室 室長 松村 正三

E-mail: m.matsumura@fisc.jp

第 2 章 本論

2-1 立体構造体制織システムの開発

2-1-1 積層製織機構の開発

タテ糸とヨコ糸が交差して組織されたものを織物という。タテ糸が上下に開口しヨコ糸が挿入、その後タテ糸が閉口、という一連の運動によって織物が製織される。その運動を自動化したものが織機であり、ヨコ糸挿入とタテ糸開口の両機構が織機の心臓部となる。

しかし、従来の織機で利用されている両機構は平面状の織物の製織を前提としているため、立体構造体の製織には適さない。

立体構造体の組織イメージを図 2 に示す。

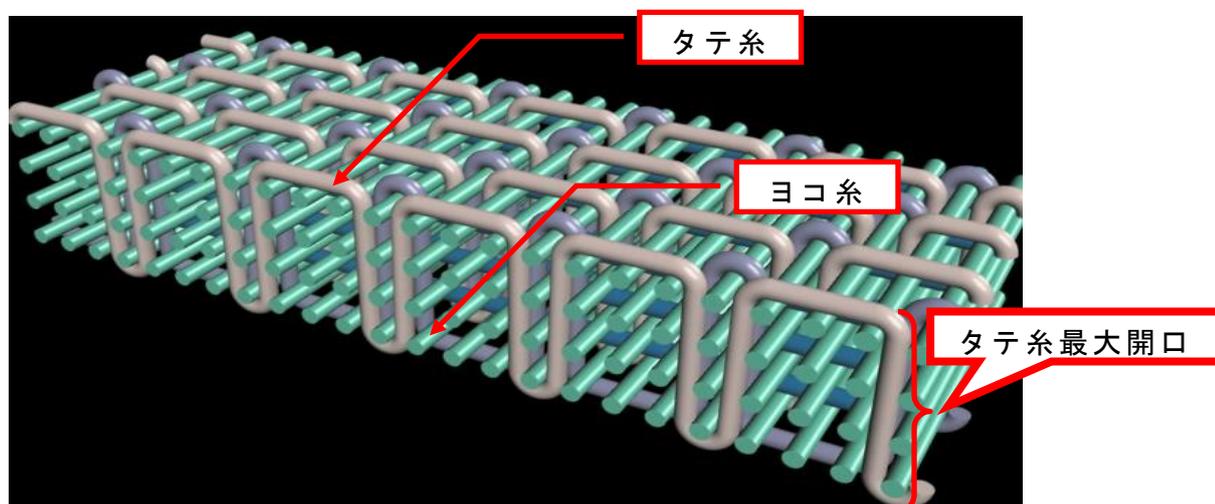


図 2 立体構造体 組織イメージ

まず、従来のヨコ糸挿入機構は、ヨコ糸挿入位置が決められた高さで固定されている。しかし、平面状の織物と違って立体構造体は相当の厚みを持たなければならないので、ヨコ糸挿入位置は上下に移動する必要がある。そこで、上下移動可能なヨコ糸挿入機構を開発し、左右一対を織機に装備した。左右それぞれの上下移動距離を 50mm に設定した結果、併せて 100mm のヨコ糸上下移動が可能になり、厚み 100mm の織物にも対応できるようになった。

次に、従来のタテ糸開口機構は、タテ糸が上下に動く量（開口量）が一定で、その開口量にも大きさに限界がある。しかし、立体構造体の各層を形成するヨコ糸を相互に接結させるためには、タテ糸 1 本ずつの開口量を可変とし、立体構造体の厚みまで最大開口させる必要がある。そこで、近年に実用化された市販のサーボ制御タテ糸開口装置を利用することにした。この装置はタテ糸 1 本に対して 1 個の小型アクチュエータを装備し、各アクチュエータの運動を電氣的に個別に制御することによって、タテ糸 1 本ずつの可変開口を実現するものである。

このようにして、ヨコ糸挿入機構は上下移動式として自社開発し、タテ糸開口機構

は市販品を採用することによって、立体構造体の製織に対応できるようにした。

平成 24 年度～26 年度までの開発内容を以下の表にまとめる。

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
<ul style="list-style-type: none"> ・積層製織機構の構想検討と設計製作 ・ポリエステル系で試織を行い、厚み 10mm を製織 	<ul style="list-style-type: none"> ・積層製織機構の改造 ・ガラス繊維で試織を行い、厚み 20mm を製織 	<ul style="list-style-type: none"> ・積層製織機構の改造 ・炭素繊維で試織を行い、厚み 20mm を製織 ・織機の能力的には、厚み 50mm まで可能であることを確認 ・織機に付属のサーボ制御タテ系開口装置の開口ストロークを増大することにより、目標の 100mm も可能であることを確認

2-1-2 異形製織機構の開発

コンロッドは前出の図 1 に示すように、両端に 2 つの穴を有している。穴を形成するためには、製織後に機械加工にて穴あけすることが考えられる。しかし、その場合穴部で繊維が切断され、強度が著しく低下することになる。一般的に繊維強化複合材では、繊維ができる限り連続していることが強度上望ましい。繊維を切断せずに、穴を有した立体織物を一体的に製織する必要がある。

当初の計画では、織機上でヨコ糸をタテ糸に織り込む機能を有する箴（おさ）を、1 本の織物につき 2 枚が左右方向に移動する構造にし、さらにヨコ糸を左右双方向から挿入される構造にすることで、製織中に織物が二股に分割されるようにする機構を設計製作することを予定していた。

しかし、研究を進めていくうちに、新たな機構を設計製作しなくとも、織機に付属のサーボ制御タテ系開口装置を使って、タテ糸の開口パターンとヨコ糸の挿入タイミングを組み合わせて、織物を二股に分割することが可能であることが分かった。

これを異形製織法とし、図 3 に示すように、両端に 2 つの穴を有する織物を製織することができた。



図 3 両端穴の製織

平成 24 年度～26 年度までの開発内容を以下の表にまとめる。

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
・異形製織機構の構想検討	・異形製織法を考案し、ガラス繊維で試織を行い、織物中央部にスリット部を現出	・炭素繊維で試織を行い、両端に穴部を現出

2-2 立体構造体搬送システムの開発

2-2-1 引き出し機構の開発

従来の織機は、平面状の織物の製織を前提にしているため、製織された織物を一定のスピードでローラーで巻き取る構造となっている。ローラーで巻き取らないとすると、タテ糸は手前に引っ張られないので、織物に成り得ない。

しかし、立体構造体の製織を考えた場合、ローラーで巻き取る際に織物が圧迫され、立体形状が崩れてしまため、立体形状を維持したままで引き出すことが必要になる。

そこで、スパイクリングを使って織物を織機から取り出す、引き出し機構を開発し、2-1-1で装備した積層製織機構と連結させた。

平成 24 年度～26 年度までの開発内容を以下の表にまとめる。

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
・引き出し機構の構想検討と設計製作	・引き出し機構の改造 ・厚み 20mm のガラス繊維織物の引き出し	・引き出し機構の改造 ・厚み 20mm の炭素繊維のコンロッドを引き出し

2-2-2 カット、仮固定機構の開発

引き出し機構によって引き出されたコンロッドは、1個1個が繋がった状態であるため、1個ずつをカットする必要がある。また、最終製品にするために、織機にて製織後、樹脂を含浸させて成形するが、成形工程に別途搬送するまでに立体形状が崩れないようにカット後に形状を仮固定しておく必要もある。

まず、カットに関しては、丸刃を高速回転して製品長で自動カットできるカット機構を開発し、20mm角の炭素繊維織物を滑らかにカットできることを確認した。

次に、仮固定機構に関しては、実際に製織した炭素繊維のコンロッドの織密度が高く、樹脂成形工程に別途搬送する際にも形状が容易に崩れないことが分かったため、仮固定機構は不要とした。

平成 24 年度～26 年度までの開発内容を以下の表にまとめる。

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
・カット、仮固定機構の構想検討	・カット機構の構想検討 ・仮固定機構の不要判断	・カット機構の設計製作 ・20mm角の炭素繊維織物のカット

2-3 立体構造体形状の炭素繊維織物の分析、評価

2-1 及び 2-2 で開発した技術をベースとして出来上がった立体構造体製造織機を利用して、炭素繊維のコンロッドを製織し、樹脂成形した。その後、寸法、重量、強度を測定分析した。

使用した炭素繊維は、タテ糸が三菱レイヨン TR50S 12L、ヨコ糸が三菱レイヨン TR50S 6L である。樹脂はエポキシ樹脂を使用し、RTM (Resin Transfer Molding) にて成形を実施した。図 4～6 に各段階での現物を示す。



図 4 コンロッド製織品



図 5 RTM 成形



図 6 コンロッド成形品

2-3-1 寸法測定分析

コンロッド成形品2本をもとに、図7に示す箇所の寸法を測定した。表1に測定結果を示す。

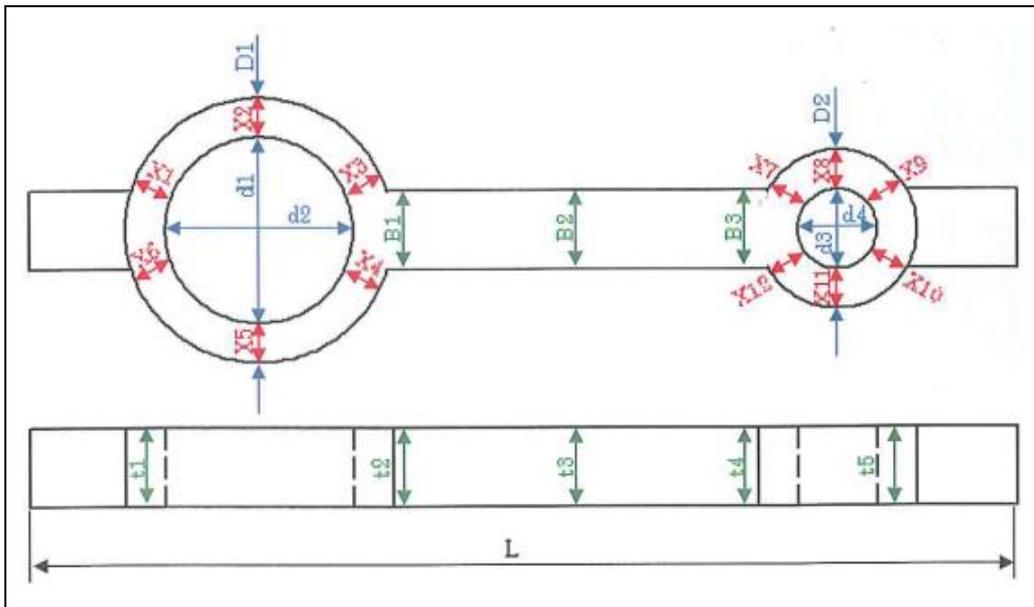


図7 寸法測定箇所

試験体符号	D1	D2	d1	d2	d3	d4
#2862	66.56	39.42	46.99	46.89	19.95	19.91
#2877	66.54	39.42	47.02	46.88	19.96	19.90

試験体符号	X1	X2	X3	X4	X5	X6
#2862	9.97 (9.88)	9.98 (9.95)	9.74 (9.77)	9.56 (9.55)	9.62 (9.62)	9.96 (9.86)
#2877	9.73 (9.75)	9.53 (9.61)	9.57 (9.64)	9.92 (9.93)	10.13 (10.04)	9.95 (9.87)

※1

試験体符号	X7	X8	X9	X10	X11	X12
#2862	9.87 (9.86)	10.31 (10.13)	10.55 (10.17)	9.71 (9.72)	9.78 (9.59)	9.28 (9.76)
#2877	9.36 (9.56)	9.31 (9.53)	9.75 (9.78)	10.31 (10.07)	10.26 (10.03)	9.80 (9.80)

試験体符号	B1	B2	B3
#2862	20.28	20.20	20.15
#2877	20.29	20.20	20.17

試験体符号	t1	t2	t3	t4	t5	L
#2862	20.25	20.29	20.30	20.32	20.30	218.04
#2877	20.34	20.36	20.37	20.38	20.37	219.04

※1; () 内の数字は裏側の寸法

表1 寸法測定結果

設計上の幅 20mm (B1~B3) に対し +0.15~+0.29 であり、厚 20mm (t1~t5) に対し +0.25~+0.38 であり、金属切削製品の一般公差±0.2 を若干上回る。

設計上の大円部内径 φ47mm (d1, d2) に対し -0.12~+0.02 であり、金属切削製品の一般公差±0.3 以内である。また、設計上の小円部内径 φ20mm (d3, d4) に対し -0.1~-0.04 であり、一般公差±0.2 以内である。

よって、軽度の機械仕上げ加工で最終形状にできるニアネットシェイプを実現できているといえる。

2-3-2 重量測定分析

コンロッド成形品 2 本をもとに、重量を測定した。表 2 に測定結果を示す。鋳造品コンロッドの重量 470g に対し ▲70% で大幅な軽量化となっている。

試験体符号	成形品重量	鋳造品重量
#2862	146g	470g
#2877	146g	

表 2 重量測定結果

2-3-3 強度測定分析

成形したコンロッドの引張・圧縮試験を実施した。試験条件を表 3 に示す。

試験本数	引張、圧縮 各 1 体
試験環境	室温・大気中
試験機	電気油圧サーボ疲労試験機 (容量±800kN)
試験速度	1 mm/min

表 3 試験条件

引張・圧縮試験の結果を表 4 に示す。また、破損状況を図 8 及び図 9 に示す。いずれも約 50kN が破断点で、目標値 100kN に対して 50% の強度であった。

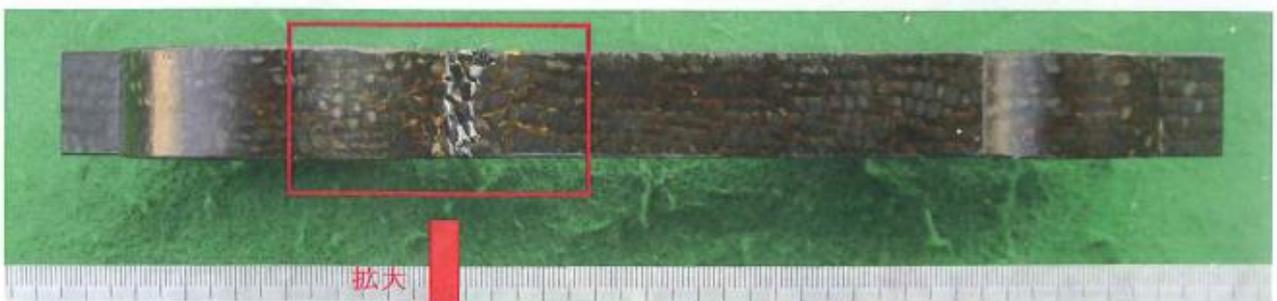
試験片符号	寸法 (mm)※1		試験方法	最大荷重 P _{max} (kN)	破断強さ※2 σ (MPa)	ストローク※3 δ (mm)	備考
	板幅 B	板厚 t					
#2862	20.20	20.30	引張	49.24	120	3.91	φ20ピン径を細く修正
#2877	20.20	20.37	圧縮	-51.60	125	1.78	
材質 : CFRP 試験環境 : 室温・大気中 制御方式 : ストローク制御 試験速度 : 1mm/min				※1: 試験体中央部(表1のB2, t3)の寸法 ※2: 試験体中央部の断面積から算出した値 ※3: 最大荷重時のストローク			

表 4 引張・圧縮試験結果



拡大

(裏面)



拡大



図 8 引張試験での破損状況



図9 圧縮試験での破損状況

図8及び図9に示すように、いずれも穴部根元で破断していることが分かる。このことから、当該地点で応力集中が起こり、破断につながっていると推測できる。

応力集中を回避するためには、根元を肉厚に製織して強化することによって、強度を上げる必要がある。部分的に肉厚に製織するための織技術の検討が新たな課題となる。強化イメージを図10に示す。

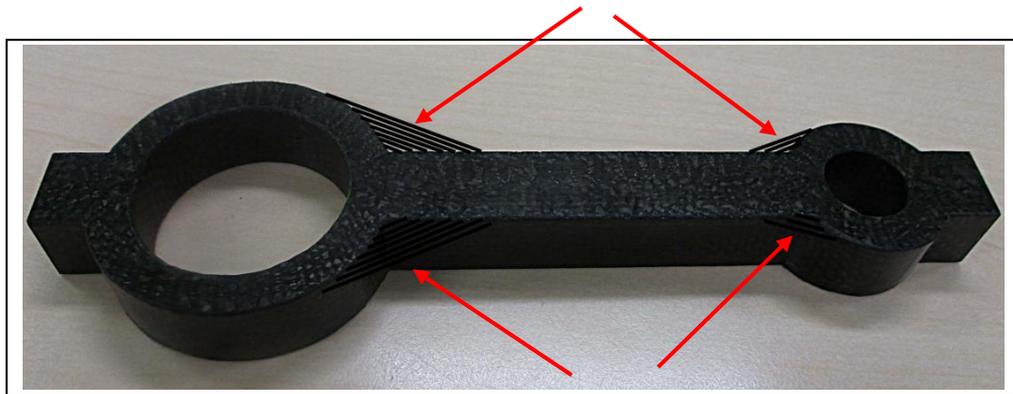


図10 根元強化イメージ

また、成形時に金型に炭素繊維のコンロッドを押し込んでセットする際に、織物表面と型との間に隙間がある場合、そこに樹脂溜まりができる。樹脂溜まりの部分には、成形後にクラックが発生し、コンロッドの強度に影響を及ぼす恐れがある。クラック発生状況を図11に示す。

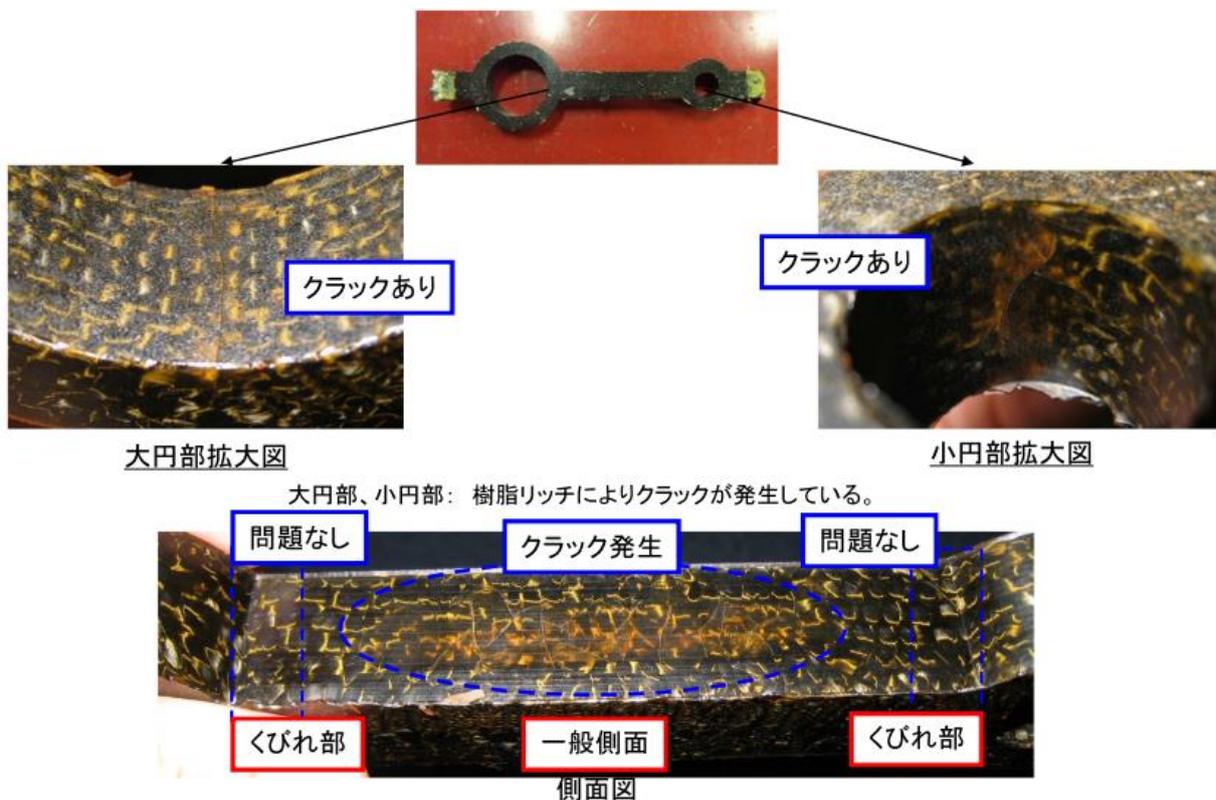


図11 成形品のクラック発生状況

織物表面の凹凸部と金型との間、くびれ部と金型との間、に隙間が生じることが原因である。そこで、隙間を最小限にするために、タテ糸を 20%増量して炭素繊維のコンロッドを成形し、増量前のコンロッド成形品と比較してみた。樹脂溜まりの比較を図 1 2 に示す。



図 1 2 樹脂溜まり比較（上：増量前 下：増量後）

その結果、増量することによって織物表面と金型との隙間が少なくなり、樹脂溜まりの発生をある程度抑えることができた。

樹脂溜まりの無い成形品を得るためには、織物に使用する炭素繊維の量、織組織、あるいは成形樹脂の選定（粘度）などから総合的に検討する必要がある。

また、今回試験した炭素繊維のコンロッドの強度は引張・圧縮とも約 50kN であったが、樹脂溜まりに起因するクラックが強度にどの程度影響を及ぼすのかも、併せて考慮しなければならない。

最終章 全体総括

3-1 研究成果総括

本研究の目的は、立体構造体形状の織物を製造する織機を開発し、自動車の構成部品の中で軽量化の効果が最も大きい部品の一つであるコンロッドを試作開発することである。

まず、織機の開発に関しては、積層製織機構、引き出し機構及びカット機構を開発し織機に組み込み、さらに市販のサーボ制御タテ糸送り出し装置を付属させた上で、一体的に制御した。その結果、製織中にヨコ糸のトラブルが発生しない限り、タテ糸またはヨコ糸がなくなるまで、無人での自動連続製織が可能となった。

また、織物の厚みに関しては、コンロッド厚みの 20mm は試織にて実現できた。織機の能力的には最大厚み 50mm までの肉厚の織物の製織が可能である。ただし、本研究にて購入したサーボ制御タテ糸開口装置の仕様上、開口ストロークに限界があり、当初目標厚み 100mm は現状では不可能である。今後、サーボ制御タテ糸開口装置で、開口ストロークの大きいタイプが販売されるようになれば、100mm の目標値も見えてくる。

次に、試作したコンロッドに関しては、成形後の寸法精度や軽量化は実現できたが、強度は目標値より劣る結果となった。2-3-3 で述べたように、応力集中箇所の強化が課題となった。また、成形時の樹脂溜まり箇所のクラックの発生を極力抑えるための条件設定も検討しなければならない。

3-2 立体構造体形状の炭素繊維織物の評価と課題

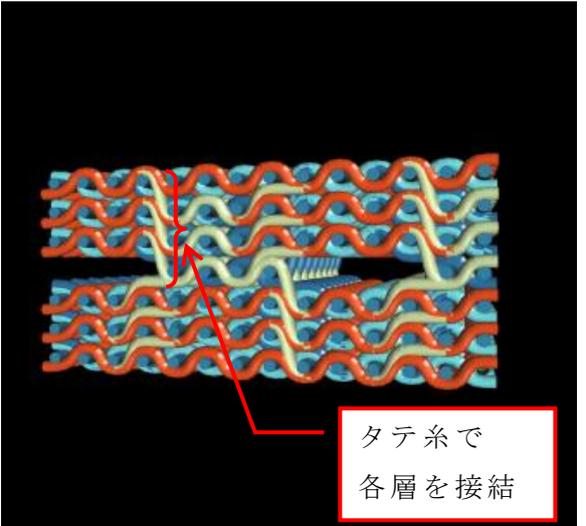
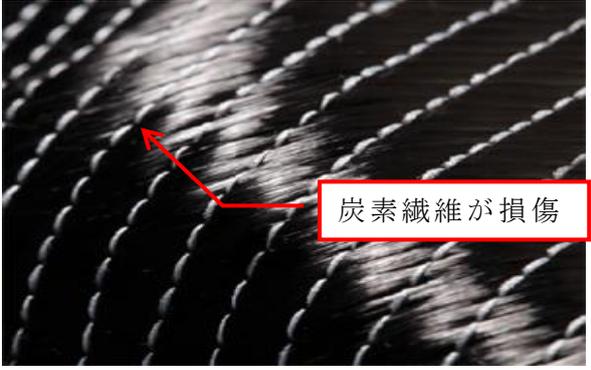
本研究で試作したコンロッドをもとに、立体構造体形状の炭素繊維織物を品質と生産性の観点から評価し、今後の課題をまとめる。

3-2-1 品質からのアプローチ

炭素繊維のコンロッドの厚みは 20mm あるが、従来の手法では例えばプリプレグ（炭素繊維に樹脂を含浸した成形用中間材料）を厚み 20mm になるまで積層していくが、層間の結合力は塗布してある樹脂に依存するだけなので極めて弱い。結合力を増すためにミシン糸にて自動縫合することもできるが、ミシン針による炭素繊維の損傷は免れない。本研究で開発した立体構造体形状の炭素繊維織物の場合は、各層がタテ糸で接結していることより、層間剥離を防止することができる。特に、二股形状のような分岐部など強化が必要な箇所は、タテ糸の接結パターンを考慮することによって、織組織にてさらに強化が可能となる。

また、織物の両端が編み構造になっていることで糸のほつれが無く、織物内部が高密度になっていることもあり、プリフォーム（成形用基材で、強化繊維を立体的な形状にしたもの）として持ち運びしやすく、成形金型に入れる前に形状崩れがほとんどない利点もある。

これら品質上の利点を図 13 にまとめる。

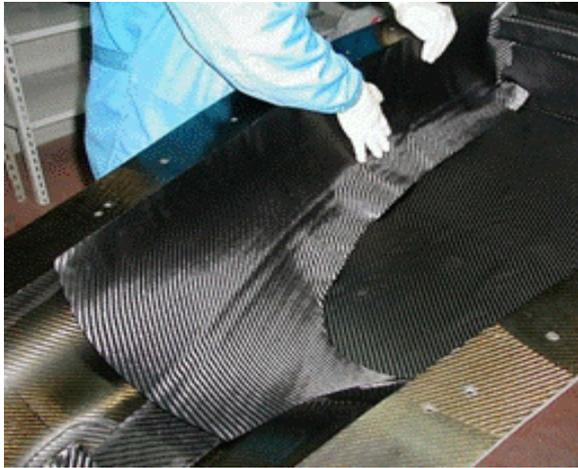
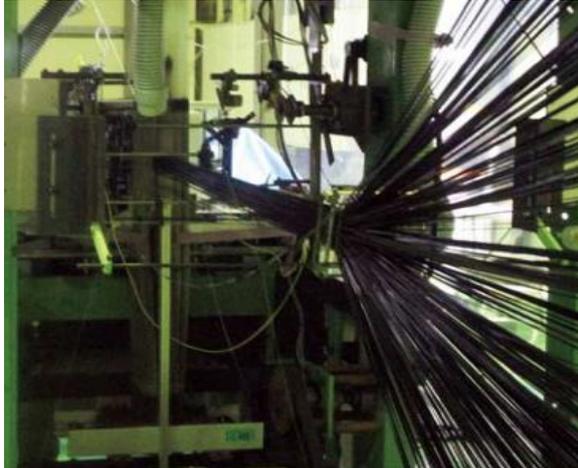
従来手法	立体構造体形状の炭素繊維織物
 <p data-bbox="475 560 705 712">層間の結合は塗布してある樹脂に依存</p> <p data-bbox="399 750 566 784">プリプレグ</p>	 <p data-bbox="1149 660 1364 761">タテ糸で各層を接結</p>
 <p data-bbox="502 985 766 1041">炭素繊維が損傷</p> <p data-bbox="335 1198 630 1232">ミシン糸による縫合</p>	

従来手法	立体構造体形状の炭素繊維織物
 <p data-bbox="359 1825 598 1859">糸がほつれ易い</p>	 <p data-bbox="1005 1825 1204 1859">形状崩れ無し</p>

図 1 3 品質上の利点

3-2-2 生産性からのアプローチ

世界的に炭素繊維製品が急速に実用化しつつある状況において、コストダウンが新たな課題となっているが、今回開発した立体構造体形状の炭素繊維織物は、タテ糸またはヨコ糸が無くなるまでノンストップで自動製織が可能であることから、炭素繊維を裁断、積層、接着といった手作業に負うところの大きい製法や、旧来の織機による製法に比べて生産性が向上する。図14にまとめる。

従来手法	立体構造体形状の炭素繊維織物
<p>手作業にて、製品型に合わせながら、裁断した炭素繊維シートを1枚ずつ積層、接着する必要がある、膨大な労力がかかる。</p>	<p>炭素繊維を機械にいったん仕掛ければ、無人で自動連続製織できる。</p>
	

従来手法	立体構造体形状の炭素繊維織物
<p>旧来のシャトル織機を用いる場合、ヨコ糸の炭素繊維は木管に巻いたものを使用するため、巻き量に限度があり、ヨコ糸の交換作業が頻繁に発生する。結果、織機の稼働率が低下する。</p>	<p>ヨコ糸挿入機構では、ヨコ糸は紙管巻き市販品をそのまま使用するため、糸が無くなるまでヨコ糸交換の作業は発生しない。</p>
	

図14 生産性での利点

しかしながら、コンロッドのような自動車部品の場合には、相当の生産性が求められるため、生産スピード自体を上げる必要が生じる。

本研究で試作したコンロッドの1時間当たりの生産本数は3本であった。さらに生産本数を増やすためには、以下の方法が考えられる。

- ① ヨコ系及びタテ系のテンション管理を改良する。
- ② タテ系現在 12K を 24K に、ヨコ系現在 6K を 12K に変更する。
- ③ サーボ制御タテ系開口装置 1 台に対して、製織機構が現在 1 ヘッドを 2 ヘッドに増設し、織機 1 台につき同時に 2 本生産できるようにする。

材料が炭素繊維のため、ナイロンやポリエステルなどの合成繊維に比べて毛羽が顕著に発生しやすく、生産スピードには自ずと限界はある。しかし、実用化に向けて生産性は最重要課題であり、強度アップと併せて研究を引き続き進めていく。