

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「無縫製横編機による繊維強化複合材料用ニット基材の開発」

成果報告書(概要版)

平成 22 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人科学技術交流財団

## 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	1
1-2	研究体制	4
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8
第2章	三次元ニットシミュレーションを応用した無縫製ニット製高強度 ・高弾性ニット基材形状設計手法の開発	9
第3章	燃糸およびコーティングによる高強度・高弾性繊維保護方法の開発	22
第4章	全体総括	
4-1	成果の総括	35
4-2	今後の取組み	35

## 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・目的

地球温暖化は人間社会における温室効果ガスの放出、特に、CO<sub>2</sub>の影響が大きいとされており、抜本的な対策としてCO<sub>2</sub>の排出抑制や省エネ技術の開発・導入などを国家規模で必要とされている。世界的な温室効果ガス削減対策が協議され、1997年に京都議定書で定められ、日本においても2008年から2012年の間に6%の排出量削減が求められている。自動車産業においても、自動車は化石燃料を燃焼させて駆動するため、自動車から排出されるCO<sub>2</sub>の排出削減への取り組みは緊急課題とされており、自動車の軽量化により燃費を向上させ、CO<sub>2</sub>排出量の削減を目指す研究開発が取り組まれている。

また、昨今のデフレ傾向の中で、消費者ニーズとして、上記のエコロジ意識の向上とともに、さらなる低価格化、高機能化が求められるようになってきている。川下企業の自動車メーカー等では、一層の軽量化のための繊維強化プラスチック部品への転換、燃費の向上が消費者ニーズの面からも緊急の課題になっている。

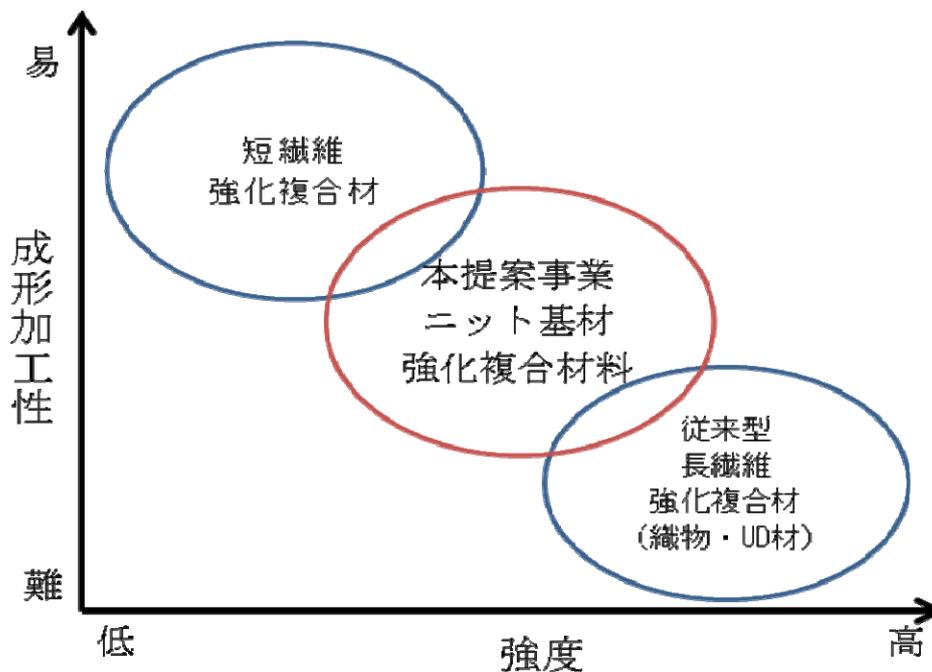
一方、炭素繊維やアラミド繊維などの、高強度、高弾性率繊維は、高比強度、耐腐食性、耐薬品性、寸法安定性など数々の優れた機能をもつ先端機能素材である。これらの高強度、高弾性率繊維で樹脂を補強した繊維強化複合材料(FRP)は航空宇宙、スポーツ用品など様々な分野で応用されている。特に、比強度に注目すると、高強度、高弾性率繊維は鋼材と比較して大きく、軽くて強いという特性を示している(破壊長:鋼25.93 km, 炭素繊維250 km)。このため、高強度、高弾性率繊維で強化した複合材料、特に、炭素繊維強化複合材料を自動車用材料として使用し、自動車の軽量化を行うことで自動車の軽量化により燃費を向上させ、CO<sub>2</sub>排出量の削減を目指す取り組みがなされている。また、高強度、高弾性率繊維強化複合材料は、樹脂の変形・破壊時におけるエネルギー消費量の大きさから、耐衝撃性能も有することから、衝突安全性向上のための部材としても検討が進んでいる。

高強度、高弾性率繊維複合材料の成型方法は様々な方法が存在している。強化材となる高強度、高弾性率繊維を並べてシート状や織物状、組紐状にした繊維基材をあらかじめ作成し、型に繊維基材を積層し、樹脂を含浸する方法(ハンドレイアップ法)、繊維基材と樹脂を混合したシートを金型で圧縮成形する方法(ホットプレス法)、繊維基材を敷き詰めた型に樹脂を射出成形により注入する方法(RTM法)、プリプレグをオートクレーブで焼き固める方法(オートクレーブ法)などがある。これらの成型方法では、曲面を有する立体形状を作製する場合、立体形状を有する型に適合するように繊維基材をあらかじめ切断しておき、切断した基材を型に積層ないし整列配置した後、樹脂を含浸させて作成する。このため、成形時には繊維基材の裁断くずが大量に発生する上、積層により立体形状を構築するため、曲面など目的に合った形状が得られにくいなどの問題点がある。また、手作業で繊維基材積層・成形作業を行うハンドレイアップ法では比較的高品質な立体形状を得られるが、手作業であるがゆえに成形作業に膨大な時間を要し

てしまうなどという問題点がある。

また、CFRP では樹脂に熱硬化性樹脂を用いている。このため、廃棄後の素材の分離が困難であることから、繊維強化複合材料は再利用が難しい材料であると位置づけられており、環境への負荷が問題視されている。自動車においては 2005 年 1 月に自動車リサイクル法が施行されており、熱硬化性樹脂を用いた高強度、高弾性率繊維複合材料の部材として使用した場合、廃車後の処理における取り扱いが問題となるため、リサイクルの方法の確立が望まれている。

上記目標を実現するために、本提案事業においては、無縫製編み機によるニット製品製造技術を利用して高強度・高弾性率繊維強化複合材料用ニット基材を製造する手法の開発を提案・実施する。一般的に高強度・高弾性率繊維強化複合材料用の強化基材には一方向材（UD）または織物が用いられ、ニット構造を有する強化基材は検討されなかった。



これは、ニットは特有の編み目構造のため、長繊維が大きく屈曲して存在することになり、直線状に繊維強化が配置するUD材や織物による複合材料に比べ強度が低下すると考えられるためである。しかし、編み目構造自体が伸縮性を発現するため、成形作業時における成形性が向上するほか廃棄物を出さないFRP 基材が提供可能となるため、強度低下によるデメリットを補ってなお余だけのメリットを生み出すものと考えられる。

本提案事業におけるニット基材は、従来型の一方向材（UD）または織物による従来型の長繊維強化複合材料と、射出成形などによる短繊維強化複合材料の中間の特性を持つ複合材料として実用化されるものと想定される。

## (2) 研究開発の目標

### ①三次元ニットシミュレーションを応用した無縫製ニット製高強度・高弾性率繊維ニット基材形状設計手法の開発

アラミド繊維や炭素繊維など高強度・高弾性率繊維強化複合材料は成形性が低い。これを踏まえ、無縫製横編機の特徴である立体形状編成技術を応用し、強化用高強度・高弾性率繊維を無縫製横編機で編成し、成形性時における伸展性を向上させる。さらに、三次元ニットシミュレーションを応用し製品の立体形状に適合した無縫製横編機編成制御データの設計技術を構築する。

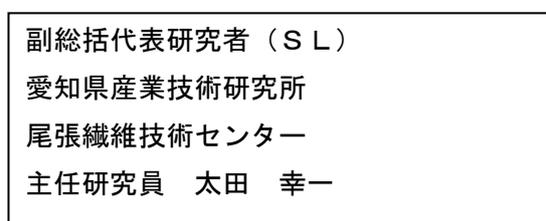
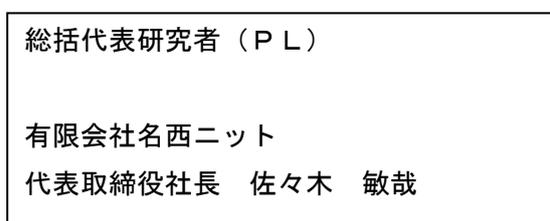
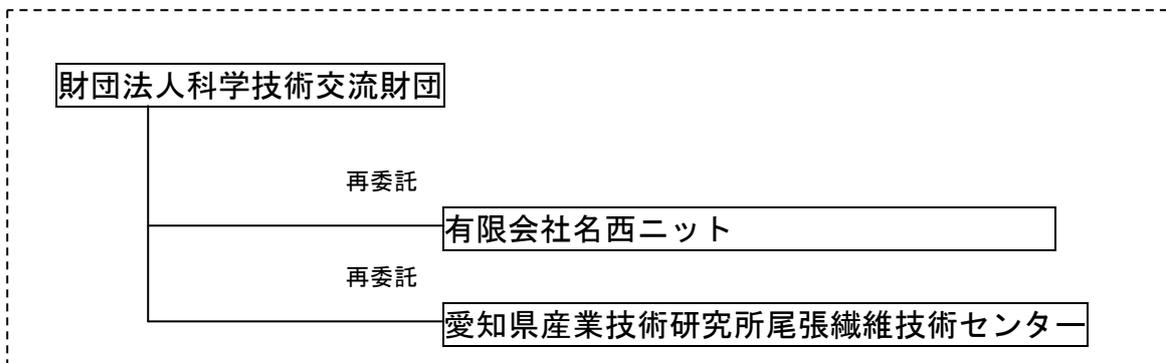
### ②撚糸およびコーティングによる高強度・高弾性率繊維保護方法の開発

高強度・高弾性率繊維の糸は破断伸びが小さく曲げや摩擦などに弱いため、横編機による編成時に繊維が折損し、毛羽、フライ、粉塵などが頻発する。これを防ぐために、撚糸により他素材繊維で高強度・高弾性率繊維をカバーリングし保護する方法ならびに樹脂を高強度・高弾性率繊維糸の表面にコーティングし保護する方法を検討するとともに、開発した保護糸の編成技術についても検討する。

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

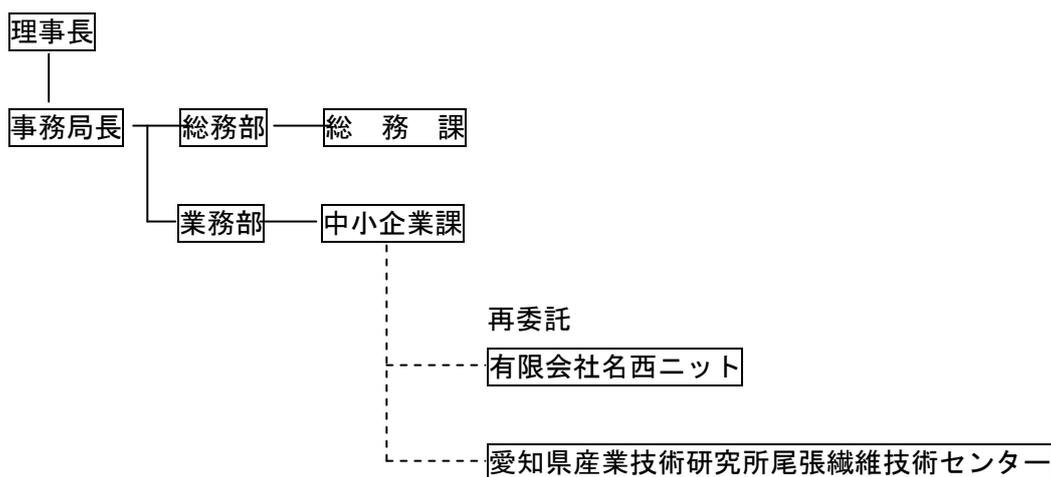
#### 1) 研究組織(全体)



#### 2) 管理体制

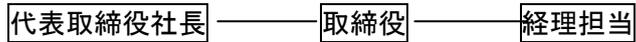
##### ①事業管理者

[財団法人科学技術交流財団]

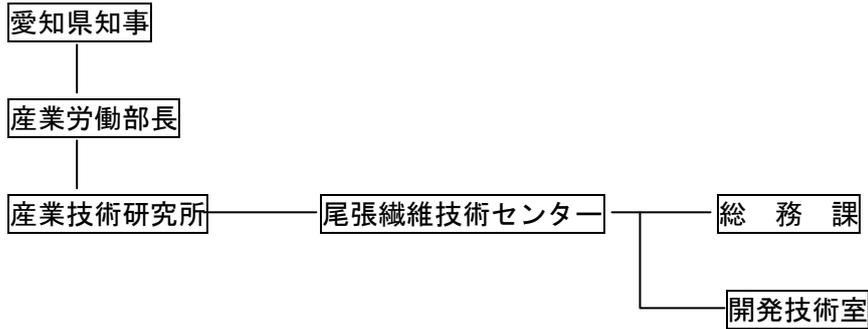


②再委託先

有限会社名西ニット



愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人科学技術交流財団

①管理員

氏名	役職
本間 重満	専務理事兼事務局長
橋村 靖彦	業務部長
朝比奈 正	科学技術コーディネータ
相澤 久志	業務部中小企業課長
本多 康信	業務部中小企業課係長

【再委託先】

②研究員

有限会社名西ニット

氏名	役職
佐々木 敏哉	代表取締役社長
佐々木 哲哉	取締役
佐々木 昭子	経理担当

愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センター

氏 名	役 職
太田 幸一	開発技術室主任研究員
安田 篤司	開発技術室主任研究員
福田 ゆか	開発技術室主任

(2) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

財団法人科学技術交流財団

(経理担当者) 総務部総務課 係長 平野大輔

(業務管理者) 業務部中小企業課 課長 相澤久志

【再委託先】

有限会社名西ニット

(経理担当者) 佐々木昭子

(業務管理者) 代表取締役社長 佐々木敏哉

愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センター

(経理担当者) 総務課 主査 石井裕子、主任 山田恵美

(業務管理者) 開発技術室 室長 山本昌治

### 1-3 成果概要

本研究開発では、無縫製編み機によるニット製品製造技術を利用し、部材の立体形状にフィットした高強度・高弾性率繊維編物を生産する技術を開発することで、成形性に優れた繊維強化複合材料を生産する手法の確立を目指し、下記のサブテーマで研究開発を実施した。

#### (1) 三次元ニットシミュレーションを応用した無縫製ニット製高強度・高弾性 ニット基材形状設計手法の開発

3次元シミュレーションを応用した無縫製ニット製高強度高弾性率繊維ニット基布形状設計手法を開発し、導入した2針床式無縫製編み機を用いて、部材のCADデータから、立体形状にフィットした成形性の高い基材を作成した。さらに、導入した4針床式無縫製編み機を用いて、T型パイプ継ぎ手型形状の高強度・高弾性率繊維編物を特殊な編み組織を用いて立体編成した。

設置機器：無縫製編み機（MACH2S12、MACH2S16、MACH2X15L）、ニットCAD（SDS-ONE）

設置場所：（有）名西ニット、尾張繊維技術センター

研究機関：（有）名西ニット、尾張繊維技術センター

#### (2) 撚糸およびコーティングによる高強度・高弾性繊維保護方法の開発

高強度・高弾性率繊維編物を製編時に高強度高弾性率繊維系の折損や粉塵発生を防止するために熱可塑性樹脂材料で保護した保護糸を作成した。撚糸により炭素繊維を保護し加熱処理を施した結果、折損や粉塵の発生なく良好に編成することが可能となった。樹脂コーティングによる炭素繊維保護方法について、導入したコーティング機を用いて材料や条件を調整して実験した結果、コーティング保護糸の作成も可能となった。

設置機器：無縫製編み機（MACH2S12、MACH2S16、MACH2X15L）、コーティング機

設置場所：（有）名西ニット、尾張繊維技術センター

研究機関：（有）名西ニット、尾張繊維技術センター

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人科学技術交流財団 担当：本多康信

〒460-0002

名古屋市中区丸の内二丁目4-7 愛知県産業貿易館西館内

電話 052-231-1477

FAX 052-231-5658

## 第2章 三次元ニットシミュレーションを応用した無縫製ニット製高強度・高弾性 ニット基材形状設計手法の開発

### (1) 研究目的及び目標

織物、経編みで作成されたアラミド繊維や炭素繊維などの基材を用いた高強度・高弾性率繊維強化複合材料は、基材の伸縮性が無いため3次元曲面に合わせた成形性が低い。無縫製横編機の特徴である立体形状編成技術を用いて強化用高強度・高弾性率繊維を編成することにより、成形時における伸縮性を向上させることが可能になると考えられる。そこで、本研究では立体形状に沿う複合材料の基材の開発を行う技術を検証することを目的とする。

立体形状に適合するニット基材を編みたてするためには、まず編方図の設計が必要である。愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センターではこれまでに3次元ニットシミュレーションに関する研究を行ってきた。名西ニットでは無縫製横編機を用いて、オリジナリティーのある3次元形状のニットウェアの製品開発を行っている。3次元ニットシミュレーション技術と立体編成製品開発のノウハウの組み合わせにより、今までの製品に無い3次元形状の編成技術を確立し、CADデータの形状に沿う編方図の設計を行うソフトウェアを開発する。

次に3次元形状に設計された編方図に基づいた無縫製横編み機編成制御データの設計技術の構築を行い、「実際に編み機で編成できるか」「編み上がりの形状」「データのゲージ変換」「CADデータのサイズとサンプルサイズの比較」について検証を行う。

最後に立体曲面形状に適合した複合材料の基材のサンプルの編成を行う。

### (2) 実施内容及び結果

#### 試験機器

編みたて試験については以下の編み機を使用して行った。

#### 無縫製試験編み機

##### 2針床無縫製試験編み機 (写真)

(島精機製作所 MACH2S 12)

##### 2針床無縫製試験編み機

(島精機製作所 MACH2S 16)

##### 4針床無縫製試験編み機

(島精機製作所 MACH2X 15L)



3次元形状に合わせたサンプルの編成には総針数の多いハイゲージ4針床無縫製試験編み機(島精機製作所 MACH2X 15L)が理想であると考えられるが、伸びない資材系

を編むためには針間の隙間の大きなローゲージ2針床無縫製試験編み機（島精機製作所 MACH2S 12）が適していると考えられる。

本研究ではまずローゲージで簡易な3次元形状サンプルの編みたてを行い、編方図の改良、糸の取り扱いの工夫を行うことにより中間ゲージの2針床無縫製試験編み機（島精機製作所 MACH2S 16）、さらにはハイゲージの4針床無縫製試験編み機（島精機製作所 MACH2X 15L）でサンプルを作製し、問題点と改良点の検証を行った。

編み機制御データの作成には以下のシステムを使用して行った。

### ニットCADシステム （島精機製作所 SDS-ONEAPEX）



設計した編方図データを実際に編み機で編むためには、編み機の制御データ（自動制御データ）に変換する必要がある。編方図データから、編み機の制御データは島精機製作所製 SDS-ONEAPEX のニットCADシステムで行った。

編む形状の開発はニットCADシステムの機能によるところが大きい。島精機製作所製のシステムにはパッケージという機能があり、オリジナルな形状の編みたてを可能にする。今回これまでの製品に無い形状の編みたてを目的としているため、オリジナルな形状の編方図を編み機の制御データに変換することを可能にする機能（パッケージ）のある島精機製作所製のシステムで検証を行うこととした。

ソフトウェアの開発は以下の環境にて行った。

#### 3次元モデリングソフトウェアの開発環境

- OS : Windows XP
- プログラム言語 : Visual Basic2005
- API : DirectX9

ここで3次元表示にDirectXを用いた利点と注意点については

#### 【DirectX9を用いた利点】

- Visual Basic2005での3次元画像表示が可能のため開発言語を1本化できる
- CPUの負担が減るため表示処理の高速化が期待できる

#### 【DirectX9を用いた注意点】

- グラフィックボードの機能などを使用するため、PC の環境により結果の異なる可能性
- 誤ったパラメータによるバグの出現等

以上があげられるが、データが大きくなることが考えられる為、高速化を期待して DirectX を利用することとした。

CAD データはエアアンドエー社製 Vector Works ver. 12.5 で作成した。CAD データとニットシミュレーションモデルの寸法の測定および形状の比較はマテリアライズ社製 Magics 13.0 および Mini Magics で行った。

### 『CAD データの形状に添う編方図の設計を行うソフトウェアの開発』

#### ● ニット製品の3次元形状シミュレーションからの編方図設計

3次元形状のニット製品の設計は、2次元の型紙を作成したのち、ゲージに合わせてニット編方図の設計を行うという工程で作成されている。3次元形状を2次元の型紙に展開するパターンナーとニット製品の編方図の設計は、どちらも経験とノウハウが必要である。近年それぞれの作業を行うソフトウェアも開発されているが（SDS-ONE にも同種のアプリケーションソフトウェアが入っている）、ニットウェアなど既存の製品をターゲットとしており、新しい用途の形状にそのまま使用できない。3D-CAD 図は3次的に座標を持っており、寸法を直接的に計算することができるデータである。それを利用して直接ニット製品の3次元形状のシミュレーションを行い、割り当てられた編み組織データを2次元の編方図に展開する手順で、ダイレクトに設計するソフトウェアの開発を目的とする。また作成した3次元モデルを市販の CAD ソフトと共有できる stl ファイルとして保存することにより、ニット製品の編みたてをする前に、CAD ソフトで対象形状とのマッチングを確認できる。

#### ● ニット製品の3次元モデリングソフトウェアの開発

CAD 図の座標を基に、編地の編み始めのループから編み終わりのループまで順番に糸道の座標を算出し、編み始めから編み終わりまでの糸道のスプライン曲線として編地を3次元モデル化した。

3次元モデルではニット製品の出来上がりの組織配列も決められてくるため、そのデータをもとに編方図へと展開できる。

CAD 図の断面座標を取り込み、ニット製品の3次元モデリングを経て組織図、編方図へ展開するソフトウェアを作成した。

設計したニット製品について、開発したソフトウェア上で編方図を修正することにより、修正した編方図からの再シミュレーションの機能を付加して修正したニット製品の編み目の確認ができるようにした。

組織図および編方図の2次元画像を png ファイルとして保存、印刷できるようにした。また3次元モデルを stl ファイルとして保存し、市販の CAD ソフトなどで元になった CAD 図との比較をできるようにした。

## 『ソフトウェアによる編方図の設計と形状の検証』

### ● 無縫製編み機で編成するための編方図作成時の留意点

- 立体無縫製の形状は、増やし目・減らし目により作られる。
- ゲージが細かく、総針数が多いとより複雑な形状の編成が可能となる。
- 一度に一か所で減らせる目数は2目、増やせる目数は1目である。
- よりカーブのきつい形状を編む場合、減らし目でないと編めない。

### ● 半球形状のニット製品とソフトウェアでの設計の比較

従来から生産しているニット帽の型紙を応用して、アクリル糸を用い半球形状の編みたてを行った。この半球形状のサンプル(図 2-1)の球の直径サイズを測定し、CAD データ (図 2-2)を作成した。開発したソフトウェアを使用して、CAD データを基とした編方図の設計とサンプルを比較し、ソフトウェアにおける設計について検証した。

半球状のサンプルの円周が 56cm であったので、直径は 17.8cm となる。約 17.8cm となるような CAD データを作成した。



図 2-1 帽子の型紙から編成した半球体サンプル  
円周 56 cm、直径 17.83 cm

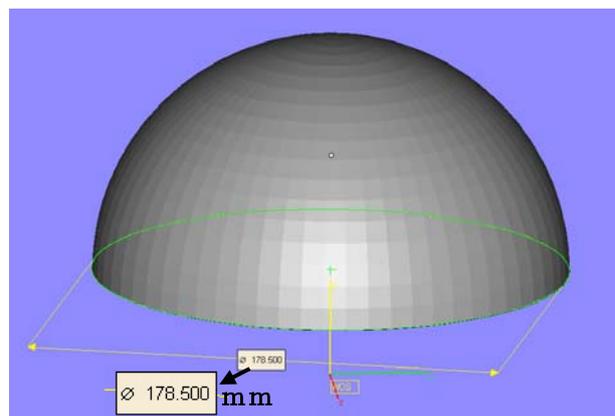


図 2-2 編成した半球のサイズの CAD 図  
直径 17.85 cm

全体のウェール数はサンプルの編方図 (図 2-3)と CAD データに基づき設計した編方図 (図 2-4)で、共に 168 目で同じであった。全体のコース数は、サンプルの編方図では 4 の倍数であることと上下に減らし目のないコース分多くなること、設計した編方図では半球体の高さをコース密度で割った整数となり実際のサイズより小数点以下のサイズで小さくなることから、CAD 図より設計したほうが 8 コース少なくなった。減らし目の数も設計した編方図のほうが少なく、上端部がより広く開いた形状になる。コース数を増やしてそこに減らし目を入れ、より上端部が閉じた形状になるように設計方法を検討し、ソフトウェアを修正する必要があることがわかった。

サンプルの編方図のシミュレーション結果の stl データと CAD データから設計した編方図のシミュレーション結果の stl データのサイズを測長した。stl データはファイル容量の関係で底面部の直径がわかる一部のみを保存した。サンプルの直径と CAD データの直径は 17.8cm であり、サンプルの編方図のシミュレーション結果のサイズ 18.0cm と CAD データから設計した編方図のシミュレーション結果のサイズ

17.5cm はどちらも 1～2%程度の誤差であった。シミュレーション結果のほうがサイズが大きくなるのは糸の太さ分厚みがあり、直径が大きくなるためと考えられる。この形状におけるウェール数は、開発したソフトウェアの設計方法で妥当であると考えられる。

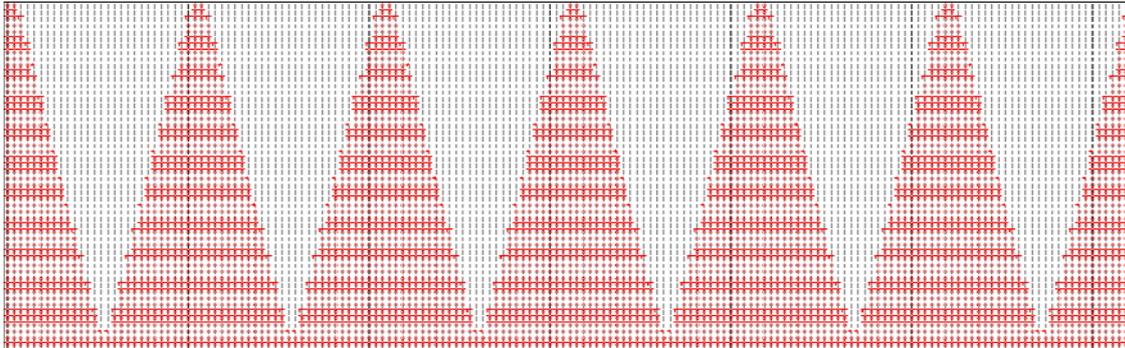


図 2-3 サンプルの編方図

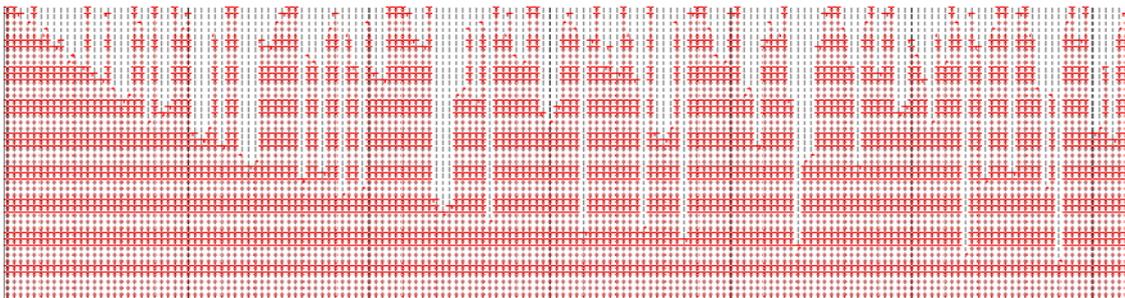


図 2-4 半球の CAD データから設計した編方図

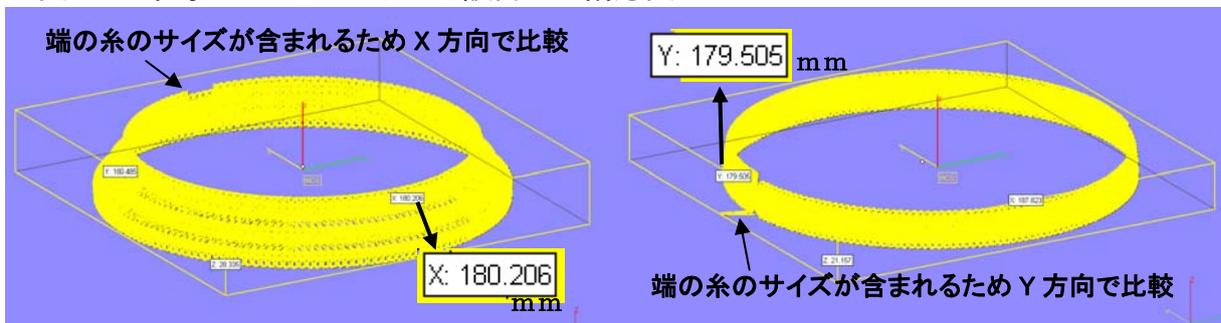


図 2-5 サンプルのシミュレーション結果の stl データ

図 2-6 設計したシミュレーション結果の stl データ

- 開いた曲面形状（バンパー）の CAD データからの編方図設計とサンプル形状の比較  
 上下の曲面とナンバープレートが付く位置の凹みのある、実際のサイズの10分の1程度に縮小した簡易のバンパーの形状を想定した CAD 図(図 2-7)を作成した。図 2-8 に簡易のバンパーの形状に沿うシミュレーション結果を示す。

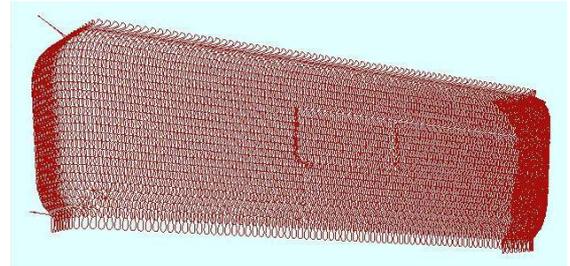
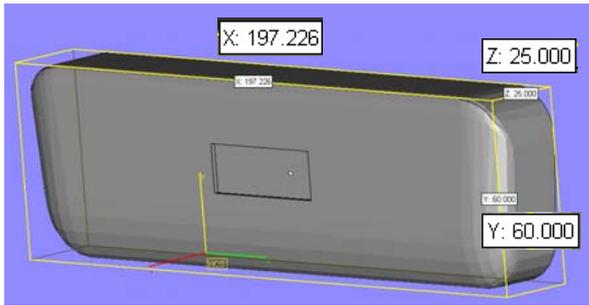


図 2-7 簡易バンパー形状の CAD データ 図 2-8 バンパーの形状に沿うシミュレーション結果

開いた形状のソフトウェアによる編方図の設計は、半球形状と比較して、曲率が均等でないため展開した編方図の減らし目の位置は曲面部分の周辺に入るように設計された。

増やし目・減らし目を曲面のエッジにあたる部分のラインに沿って入れるため、設計された編方図の修正を行った。全体のウェール数は CAD データに基づき設計した編方図の 100 目とし、増やし目は左右 2 目ずつ、減らし目は左右 6 目ずつとして、設計した編方図の左右で多いほうの数値とした。コース数は設計した編方図は 25 コースであったが、編みやすくするために増やし目・減らし目を編む上下に移し目がないコースを入れ、減らし目が続く間に 1 コースを入れて、全体で 30 コースとした。ナンバープレートに相当する部分が凹むようにその部分に増やし目と減らし目を入れた。

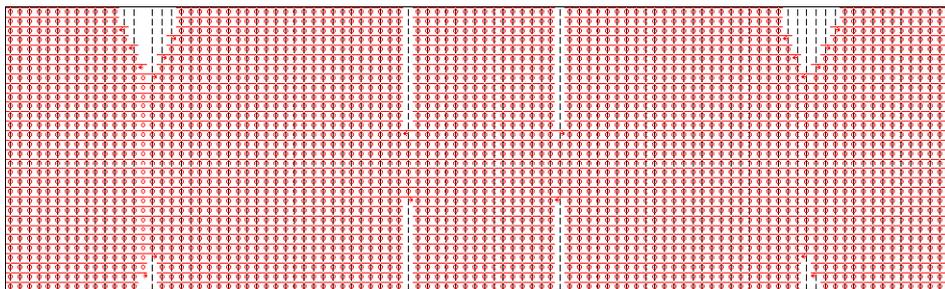


図 2-9 修正してサンプル作製に使用する編方図

編方図はニット製品の編み組織の分布とループの移しを示すデータであるが、無縫製編み機によりそれぞれの編み組織とループの移しを編成するためには、種々の編み機の機構（キャリッジ、カム等）をコントロールする編み機の制御データ（自動制御データ）が必要である。

自動制御データは SDS-ONE システムによって、まず圧縮柄を作成し、圧縮柄にパッケージデータをあてはめて自動制御の元絵に展開する。自動制御の元絵をシステムによって自動制御データに変換する。（図 2-10）

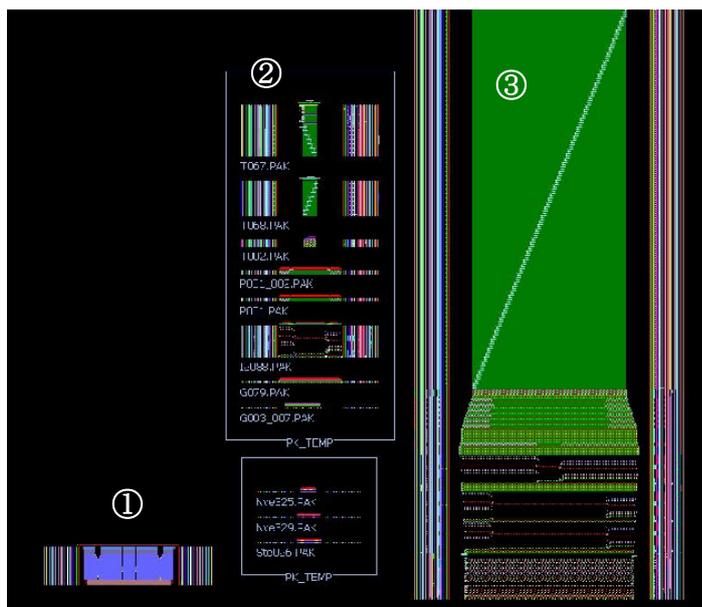


図 2-10 SDS-ONE における  
自動制御データの作成手順

左から

- 圧縮柄
- パッケージデータ
- 自動制御の元絵

修正した編方図を基に圧縮柄（図 2-11）は SDS-ONE システムで描画した。圧縮柄は SDS-ONE システムにおける編方図に相当する。パッケージデータとは、編み組織を編成するために、カムの動き（ループを作るか否か、タック等の組織を決める）、キャリアの動き（編成する糸を持っている部分）、ベッドの振り（減らし目・増やし目）等の編むための情報を圧縮柄に割り付け、自動制御の元絵にするためのサブルーチンのようなデータである。

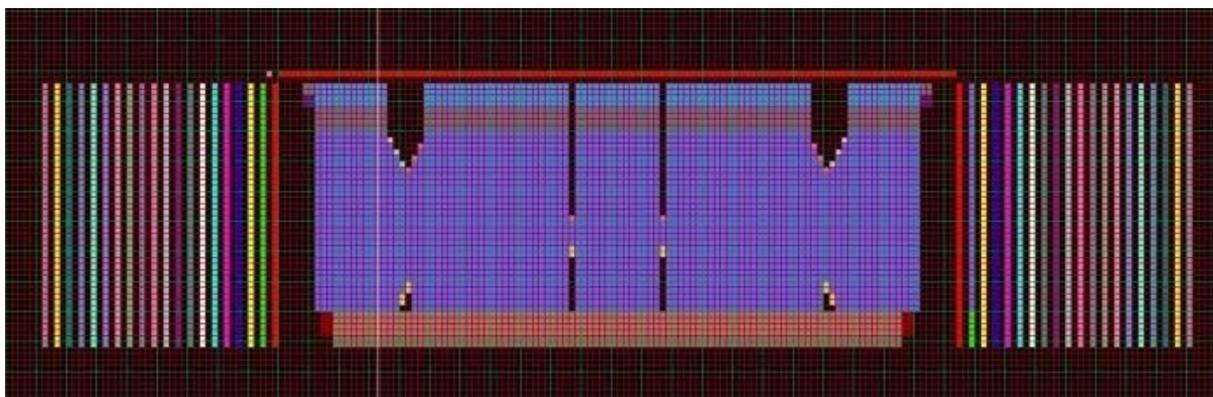


図 2-11 修正した編方図を基に作成した圧縮柄



図 2-12 簡易バンパーのサンプル

図 2-12 は上記の手順により簡易バンパーの形状をアクリル糸で編みたてを行ったサンプルである。

## 『立体曲面形状に適合した複合材料の基材のサンプルの編成』

### ● 編みたて試作品の端の始末

天竺編みの端（左右上下）はカーリングが起りやすい。カーリングがあると、複合材料として成形するとき取り扱いが困難になるためカーリング防止が必要である。カーリング防止のため、開いた形状（バンパー）では、ホールガーメントで同じ形状の2枚を袋状として編みたてした。編み始め、編み終りの始末は、捨て編み（必要とする形状の外側にいらぬ編地をつけ抜き糸で捨て部分を取り除けるようにする）リブ、袋とじ等特殊な組織を検討した。（図 2-13）



図 2-13 天竺の編地のカーリング(左)と端リブ(中)、袋とじ(右)によるカーリング防止

### ● 半球形状の麻×PP 複合糸、PBT 糸サンプル

麻×PP 複合糸(共通式番手1/5)を2針床の MACH2S 12 で半球形状に編みたてを行った。裾リブを用いて端の始末を行った。PBT 糸(75D×2本)を4針床の MACH2X 15L で半球形状に編みたてを行った。端の始末をしていないため裾がカーリングしている。

半球形状の減らし目が並んだラインである『ハギ』の数を多くし、より精細な球面の形状を資材糸で編みたてした。ハギの数を多くすると、同じゲージで減らし目の数が同じである場合、減らし目の位置がウェール方向、コース方向のどちらの方向に対しても分散できる。変化する部分が分散することにより、形状が精細にできると考える。また同じサイズの編方図に挿入できる減らし目の数も多くなる。減らし目の位置が分散することで編みやすくなるメリットもある。

麻×PP 複合糸の形状はアクリル糸(共通式番手1/10×2本)で編みたてた6枚ハギよりも精細な形状にするために10枚ハギ(図 2-14)で、4針床 PBT 糸はさらに精細な形状の編みたてが可能であるため16枚ハギ(図 2-15)で設計を行った。図 2-16 で比較すると、6枚ハギでは減らし目のラインが直線的であるのに対し、16枚ハギの減らし目は全体に均等に分散されているため、出来上がりの曲面が滑らかになる。図 2-17 のそれぞれのサンプルの形状を比較しても、ハギの枚数が多くなるほどより球面に近づいていることがわかる。剛直な麻糸での編みたてでは、テンションがかかるため編みにくく、スピードを超低速にする必要があった。また、巻き糸からの解除で糸に回転がかかってしまうため、ガイドに引っかかり切れたり、停止したりした。糸の解除の回転をかからなくするため、糸の横からの転がし出しも検討したが、張力制御とたるみの問題が課題であった。

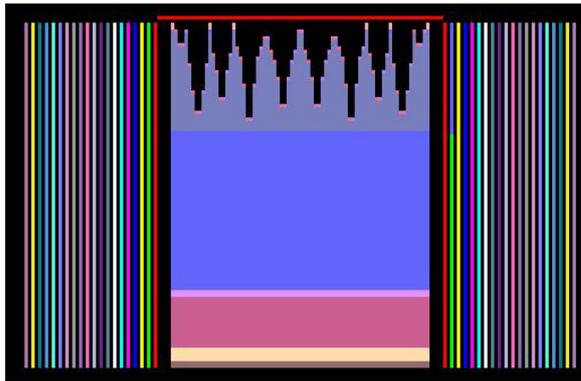


図 2-14 10枚ハギの半球形状

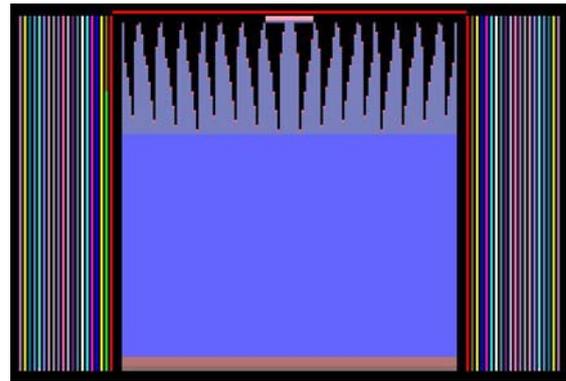


図 2-15 16枚ハギの半球形状



図 2-16 2針床の6枚ハギ(左)と4針床の16枚ハギ(右)の減らし目の様子



図 2-17 2針床の6枚ハギアクリル系サンプル(左)と2針床の10枚ハギ麻×PP系サンプル(中)と4針床の16枚ハギPBT系サンプル(右)

● **バンパー形状のアラミドサンプル**

CAD 図から設計したバンパー形状をアラミド繊維の紡績糸 (270D×2本, 270D×4本) を用い2針床の MACH2S 16 で編みたてを行った。2針床の MACH2S 16 で編むために、アクリル糸 (共通式番手 1 / 1 2 × 2本) を2針床の MACH2S 12 で編みたてした時の編方図のゲージ変換を行い、また増やし目、減らし目の部分をより精細な形状になるように修正を行った(図 2-18)。

ゲージが細くなるとウェール数、コース数ともに増えるため、同じサイズの編方図に挿入できる増やし目、減らし目の数も多くなる。ゲージが細かく小さい編目で増やし目、減らし目を多くして変化する個所を多くする方が曲面形状に追随しやすく、形状が精細にできると考えられる。

端の始末としては裾リブと袋とじのサンプル(図 2-19)と編み始め編み終わりとも捨て編みのサンプル(図 2-20)を編みたてした。曲面のエッジ部分はアクリル系のサンプルと比

較して減らし目が精細な形状になり、より曲率が大きく作製することができるとわかった。  
(図 2-21)

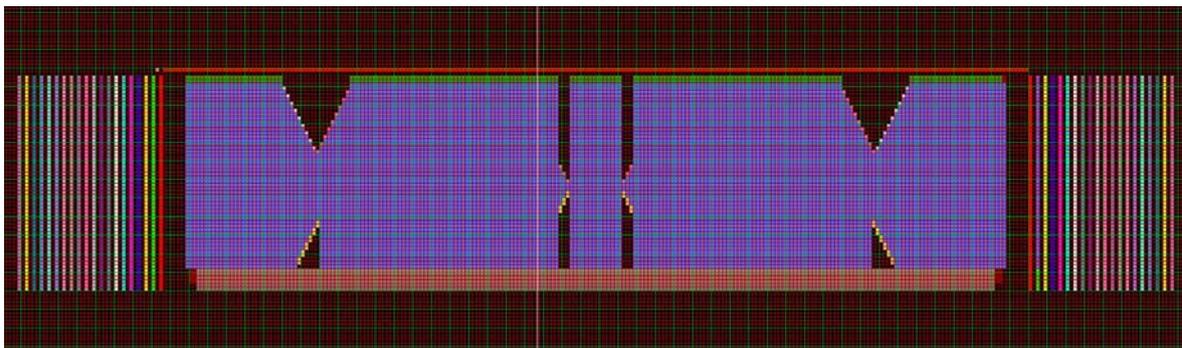


図 2-18 増やし目、減らし目の部分をより精細な形状になるように修正した圧縮柄



図 2-19 裾リブ・袋とじサンプル



図 2-20 上下捨て編み(白い部分)のサンプル

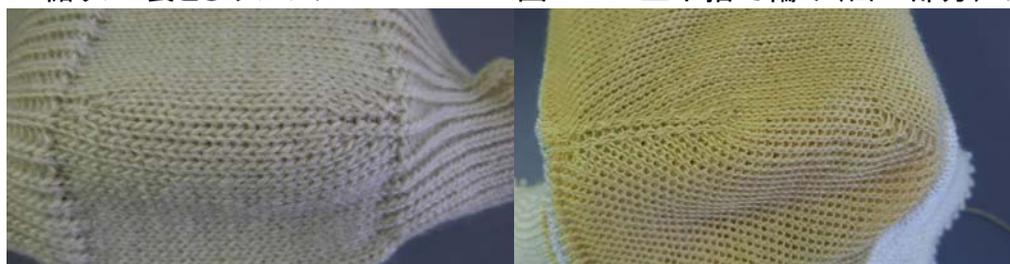


図 2-21 アクリル糸サンプル[MACH2S 12](左)とアラミド糸サンプル[MACH2S 16](右)

#### ● T 字形のアラミドサンプル

さらに、複雑な形状のできる 4 針床の MACH2X 15L を用いてアラミド繊維の紡績糸 (270D×2 本) で T 字型のニット基材の編みたてを行った。(図 2-22)円筒形状の 2 枚の編地を T 字型にするためには、2 枚の円筒形状を平行に編み、つなぎの部分でベースの円筒の 1 コース編む毎にもう一方の円筒の 1 目を垂直にとじるという特殊な組織が必要となり、つなぎの上部になるほど編地にテンションがかかる。4 針床の MACH2X には、2 針床で用いられるベラ針とは異なり独立してコントロールする新しい機構の針であるスライドニードルと、全体に巻き下げる 2 針床の編み機とは異なり引き下げ張力を細かい作用範囲でコントロールできる引き下げの機構が用いられているため、編地のテンション管理がしやすく編みたてが可能である。

図 2-23 は T 字型を編むための圧縮柄である。右の円筒を編む上部の桃色の三角部分が、左の円筒を 1 コース編む毎に編まずにウェール方向に 1 目ずつとじていく。その時、全体に円筒は 1 目ずつ左の円筒に寄せられている。4 針床の MACH2X の引き下げ装置は、全体に巻き下げる 2 針床の編み機とは異なり、引き下げ張力を細かい作用範囲でコントロールできるため、円筒が寄せられ引っ張られながら垂直方向にとじるという組織の編みたてが可能である。つなぎ部分に挿入されている横縞は編地の巻き下げ張力を緩和するものである。円筒が垂直方向に接続されたら、そのまま残ったループで続きの円筒形状を

編みたてていく。

図 2-24 はつなぎの部分の拡大図であるが、編み目の方向が垂直になっており、境界線は特殊な組織で編まれていることがわかる。

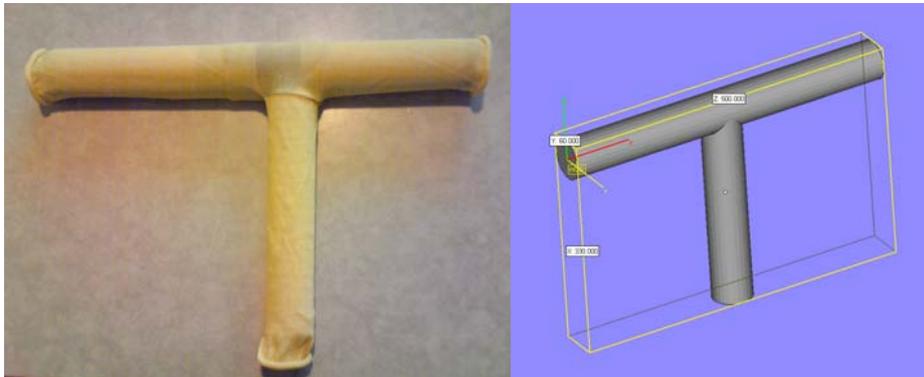


図 2-22 T字型の編みたてサンプル(左)と想定する CAD 図(右)



図 2-23 T字型の圧縮柄



図 2-24 T字型のつなぎ部分の拡大図

### (3) 研究成果

#### 『CAD データの形状に添う編方図の設計を行うソフトウェアの開発』

- CAD データの形状に添う編方図の設計を行うソフトウェアを開発した。  
CAD 図の座標を取り込み、ニット製品の3次元モデリングを経て組織図、編方図へ展開するソフトウェアを開発した。
- 開発したソフトウェアには以下の機能を付加した。  
設計したニット製品について、開発したソフトウェア上で編方図を修正することにより、修正した編方図からの再シミュレーションの機能を付加して修正したニット製品の編み目の確認ができるようにした。  
組織図および編方図の2次元画像を png ファイルとして保存、印刷できるようにした。また3次元モデルを stl ファイルとして保存し、市販の CAD ソフトなどで元になった CAD 図との比較ができるようにした。

#### 『開発したソフトウェアによる編方図の設計と形状の検証』

開発したソフトウェアの検証と修正を行うため、ソフトウェアによる編方図の設計と2針床の無縫製試験編み機 MACH2S 12 による編みたてサンプルの作製、編み上がりの形状、データのゲージ変換、CAD データのサイズとサンプルサイズの比較、など検討を行った。

- 半球形状の設計と形状の検証を行った。  
サンプルの半球形状とサンプルと同じサイズの半球形状の CAD 図からのシミュレーション結果と設計した編方図について検討した。CAD 図からのシミュレーションした3次元モデルの直径がサンプルのサイズに近いものであった。編み機で編めるデータにするためには減らし目のラインがある程度そろっている必要があることがわかった。
- 開いた曲面形状（バンパー）設計と形状の検証を行った。  
開いた曲面形状（簡易のバンパー形状）の CAD 図からのシミュレーションと設計した編方図について検討を行った。総ウェール数、コース数、減らし目の数については設計した編方図に基づいて編みたてを行えることがわかった。プログラムの修正を行うことで、減らし目の位置が曲面のエッジのラインに沿うように入ると考えられる。  
CAD 図を基に設計した編方図を SDS-ONE により編み機の制御データへ変換し、編みたて試験を行った。編んだサンプルは CAD 図の曲面形状に沿うような形状になることがわかった。

#### 『立体曲面形状に適合した複合材料の基材のサンプルの編成』

- 半球形状の麻×PP 複合糸、PBT 糸サンプルの編みたてを行った。  
半球形状の減らし目が並んだラインであるハギの数を多くしより精細な球面の形

状を資材糸で編みたてした。

麻×PP 複合糸は剛直で編みたてる条件を設定するのが困難であったが、糸のテンション管理、スピード、編方図ハギの数を10枚として減らし目を分散させた)、糸の出し方など工夫することで2針床のMACH2S 12でサンプルの作製ができた。ただし1800デニール相当の太番手であるため、よりハイゲージの編み機での編みたては困難であることが考えられる。

4針床のMACH2X 15Lでは、細番手のPBT糸(75デニール×2本)を使い16枚とハギの数を多くして、より滑らかな球面のサンプルを作製できた。

- **バンパー形状のアラミドサンプルの編みたてを行った。**

CAD図から設計したバンパー形状を2針床のMACH2S 16でアラミド繊維の紡績糸の編みたてを行った。2針床のMACH2S 16で編むために、アクリル糸を2針床のMACH2S 12で編みたてした時の編方図のゲージ変換を行い、また増やし目、減らし目の部分をより精細な形状になるように修正を行った。曲面のエッジ部分はアクリル糸のサンプルと比較して減らし目が精細な形状になり、より曲率が大きく作製できることがわかった。

- **T字形状のアラミドサンプルの編みたてを行った。**

さらに、複雑な形状のできる4針床のMACH2X 15Lを用いてアラミド繊維の紡績糸でT字型のニット基材の編みたてを行った。円筒形状の2枚の編地をT字型にするためには、2枚の円筒形状を平行に編み、つなぎの部分でベースの円筒の1コース編む毎にもう一方の円筒の1目を垂直にとじるという特殊な組織が必要となり、つなぎの上部になるほど編地にテンションがかかるため、2針床で用いられるベラ針や巻き下げ機構とは異なる新しい機構の針であるスライドニードルと引き下げ機構を用いている4針床のMACH2Xで編みたてが可能である。垂直にとじるために、編地のテンション管理を工夫して2本の筒をT字形状につなぐことができた。

### 第3章 燃糸およびコーティングによる高強度・高弾性繊維保護方法の開発

#### (1) 研究目的及び目標

炭素繊維等の高強度・高弾性繊維の糸は、破断伸びが小さく、曲げや摩擦に弱いため、横編機での編成時に繊維が折損し、毛羽・フライ・粉塵等が頻発する。特に炭素繊維は繊維自体、導電性を有しており、この毛羽・フライ・粉塵等がモーターや、電気設備に侵入するとショートする可能性があり、編機の故障だけでなく火災が発生するおそれがある。また、炭素繊維は黒色のため、毛羽・フライ・粉塵等が他の生産品に付着すると、汚れとなり商品価値を下げ、ひいてはその工場の信頼性も下げることにつながる。そのため、炭素繊維製品を生産するのに、専用の区画を設け、専用の生産機を必要とていた。

ここでは、編成中に毛羽・フライ・粉塵等が発生しないよう、炭素繊維をあらかじめ保護する手法について検討をした。具体的には、炭素繊維を、燃糸技術を用いて被覆し、あるいはコーティングにより被覆することにより、編成中での炭素繊維の折損を防ぐことを目的とした。目標としては、被覆した炭素繊維を用いて、穴や組織崩れのないニットとして編成でき、作製したニット表面から折損した炭素繊維が露出していないこととした。また、炭素繊維以外の高強度・高弾性繊維の糸でも、この保護技術を適用して、編成できることも目標とした。

#### (2) 実施内容及び結果

##### ①編成中の毛羽・フライ・粉塵の発生メカニズム

炭素繊維を編成する際の毛羽・フライ・粉塵の発生する要因を調べるため、実際に編針に炭素繊維を引っ掛け、手動で針を動かして炭素繊維の様子を観察した。編成時は、まず、針が上がって炭素繊維を引っ掛け、下がりながらループを作る。次に針が上がる時にループはベラの下側に入り、新しい糸を引っかけて下がる時に前のループでベラを閉じて、前のループに新しい糸を通す手順で編成していく。

編針に炭素繊維を引っかけて編成時の状態を再現した結果、編針が動くことで、ベラとの摩擦により分繊することが確認できた(図3-1)。このことにより、毛羽・フライ・粉塵の発生の原因となる炭素繊維の折損は、炭素繊維は針のカギ部分に引っかかり、曲げられる際だけでなく、ベラとの摩擦により分繊状態になり、その状態で摩擦を受けることでも折損が起こることが確認できた。この結果、炭素繊維を保護するためには摩擦や曲げで分繊しないよう完全に被覆することが必要であると考えられる。



図 3-1 再現した編成時の炭素繊維の状態

## ②燃糸による保護方法

### ア 試料

炭素繊維を燃糸技術により完全に被覆するため、カバリング糸の燃糸技術を利用した。使用した糸の素材・形状及び番手を表 3-1 に示す。なお、炭素繊維は600Dでフィラメント数は1000本のものを用いた。

表 3-13-1 カバリング糸に用いた試料

素材	形状	番手（フィラメント本数）
ポリプロピレン	スパン糸	30/1
〃	フィラメント糸	190D（20）
ポリブチレンテレフタレート	〃	75D（24）
ポリエチレンテレフタレート	ウーリー加工糸	300D（48）

### イ 完全に被覆するために必要な燃数

様々な燃数でカバリング糸を作製し、糸の側面の様子を比較した。その結果に基づき、被覆に必要な燃数は、スパン糸では燃数 3490 回/m、フィラメントでは燃数 2200 回/m とした。実際には意匠燃糸機の制限により 2 本の糸を用いて、スパン糸で 1745 回/m、フィラメント糸で 1100 回/m でカバリングした。なお、燃方向は S 燃とした。

### ウ カバリング糸の評価

炭素繊維の保護状態を評価するのに、カバリング糸を、蛭田式抱合力試験機を用いて摩擦し、炭素繊維が破断するまでの摩擦回数により評価した。また、ニットを編成する際、糸の曲げ剛性が重要なファクターとなるので、KES-FB2 純曲げ試験機を用い、カバリング糸 3 本を 5mm 間隔で取り付けて曲げ変形を与え、この時の曲げモーメントを計測した。また、7G の試験用丸編機で、実際にニットを編成し、正常に編めるかどうか調べるとともに、編成したニットに炭素繊維の破断の有無を調べることで評価した。

### エ スパン糸の結果

ポリプロピレンスパン糸でカバリングしたについて、抱合力試験の結果を図 3-2 に示す。カバリングすることにより、摩擦による強度はあがっているが、実際に試験用丸編機で編んだ結果、炭素繊維による折損して表面に出ている部分が観察できた（図 3-2）。そのことに破断するまでの摩擦回数が 70 回程度の耐久性では編成に耐えられないことが分かった。

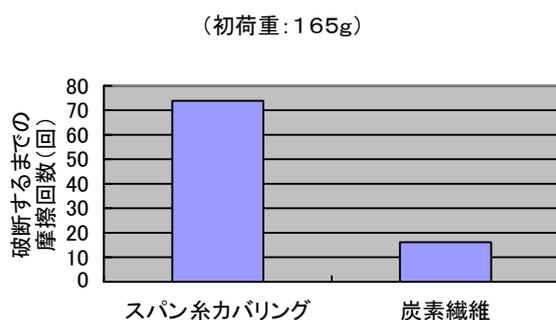


図 3-2 スパン糸の抱合力



図 3-3 スパン糸カバリングの編成試験結果

カバリングされた炭素繊維が折損する原因として、編成時の摩擦や曲げにより被覆したスパン糸が移動して炭素繊維が露出し、摩擦子にあたることで破断すると考えられる。そこで、カバリング糸を加熱処理し、カバリング糸表面をわずかに融着させて固定することで、被覆糸を固定する方法を検討した。

200℃の長さ3mのヒーターに糸速を一定にして通したカバリング糸を作製し、その抱合力を測定した。その結果を図3-4に示す。

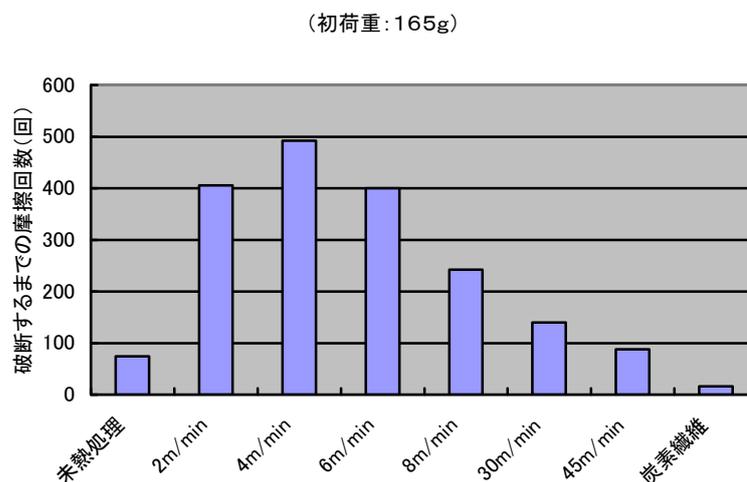


図3-4 熱処理時間と破断するまでの摩擦回数

図より、糸速が遅い程、抱合力が高くなるが、極端に遅いと抱合力が落ちることが分かった。そこで、この中の3点について、試験用丸編機で編成した。その結果を図3-5に示す。

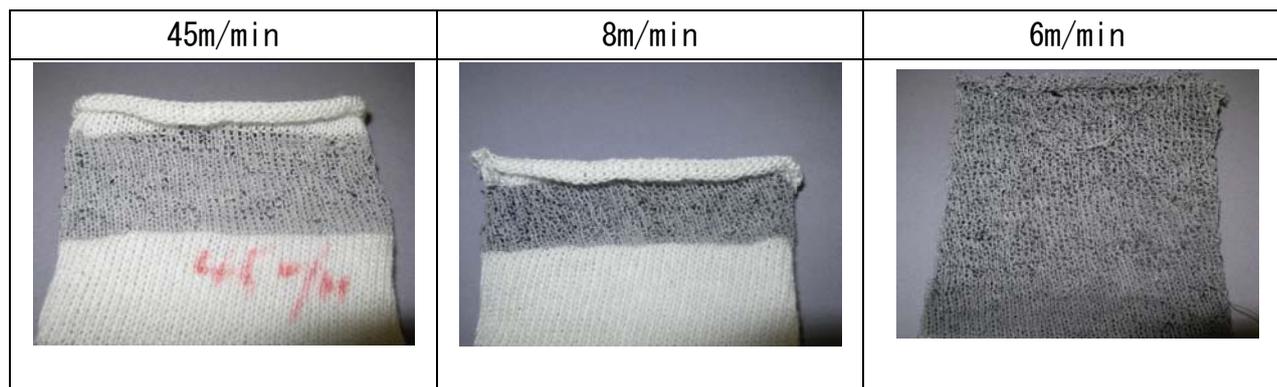


図3-5 加熱処理糸の編成結果

図より、試験用丸編機での編成試験で編むことはできるものの、炭素繊維の破断が多く見られることが分かる。これは、スパン糸の場合、加熱処理で表面が融着しても、編み針で曲げられる時に融着部分が剥離して炭素繊維が露出し、破断したためと考えられる。

### オ フィラメント系・ウーリー加工系の結果

ポリプロピレンのフィラメント、ポリブチレンテレフタレートフィラメント、ポリエチレンテレフタレートウーリー加工系の外観を図 3-6 に示す。



図 3-6 フィラメントの外観

ポリプロピレンフィラメントは直線状のフィラメントで構成しているのに対し、ポリブチレンテレフタレートフィラメントやポリエチレンテレフタレートウーリー加工系は、捲縮したフィラメントで構成されている。これらの糸をカバリングしたときに耐久性がどのようになるか調べた。カバリングの条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 カバリング糸の燃糸条件

	ポリプロピレンフィラメント	ポリブチレンテレフタレートフィラメント	ポリエチレンテレフタレートウーリー加工系
燃数 (回/m)	1 1 0 0	1 7 8 7. 5	1 7 3 0
カバリング方法	S 燃 2 段	S 燃 2 段	SZ たすき掛け

抱合力試験の結果を図 3-7 に、試験用丸編機での編成結果を図 3-7 に示す。

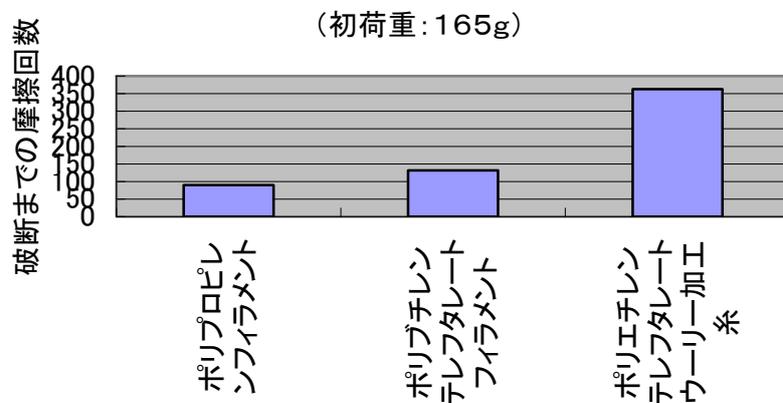


図 3-7 フィラメントカバリング糸の抱合力

ポリプロピレンフィラメント	ポリブチレンテレフタレートフィラメント	ポリエチレンテレフタレートウーリー加工糸
		

図 3-8 フィラメント系カバリング糸の編成結果

ポリプロピレンフィラメントについては、炭素繊維の折損が見られたが、ポリブチレンテレフタレートフィラメント、ポリエチレンテレフタレートウーリー加工糸については、炭素繊維の折損は見られなかった。このことにより、巻縮を有するフィラメントでカバリングすることにより、編成時の炭素繊維の折損を防ぐことが可能であることが分かった。

また、ポリプロピレンフィラメントのような直線状のフィラメントしか入手できない場合のことを考慮して、直線状のフィラメントでも炭素繊維の折損を防ぐことができるかどうか検討した。炭素繊維の折損の原因は、スパン糸の時と同様にカバリング糸が動くためと考えられるので、熱融着によるカバリング糸の固定について検討した。3mのヒータで糸速を30m/minとして、ヒーター温度を200℃～230℃で4段階に変えた試料を作製し、抱合力試験を行った。その結果を図3-9に示す。

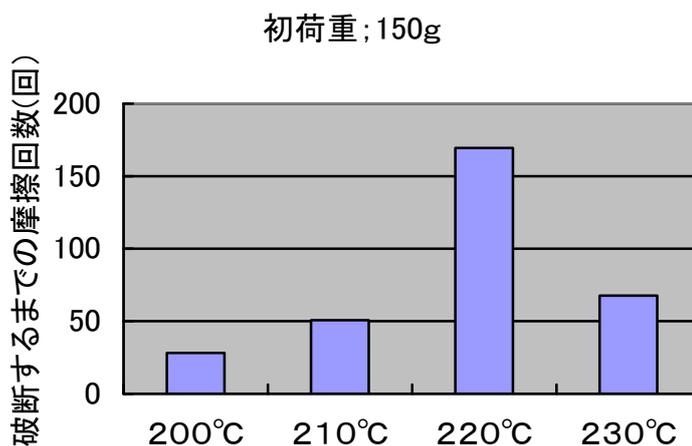


図 3-9 加熱処理温度と抱合力の関係

図より、220℃までは温度が上がるにつれて抱合力が上がり、220℃以降では抱合力が下がることが分かる。この糸が編成可能かどうか確認するため、試験用丸編機で編成試験を行った。その結果を図3-10に示す。

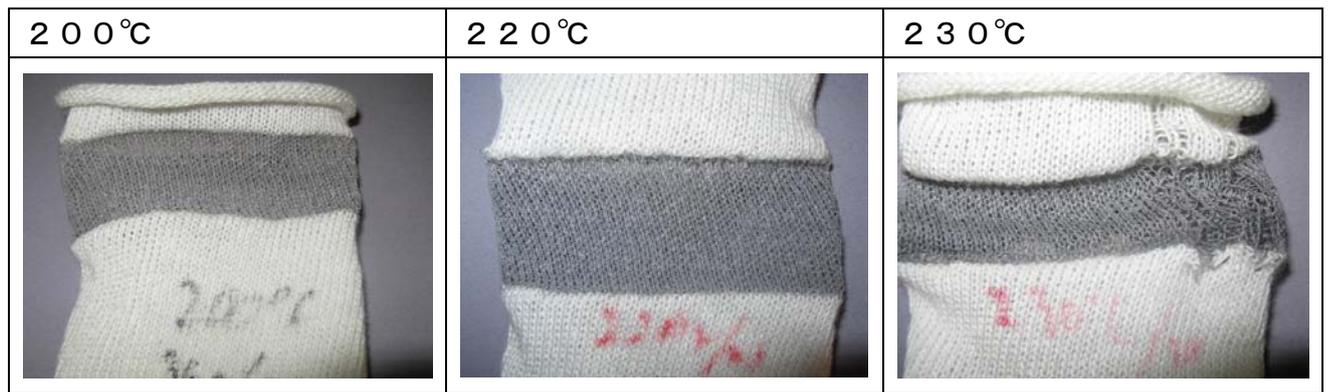


図 3-10 加熱処理糸の編成試験結果

図より、200℃の物でわずかに炭素繊維の折損が見られ、230℃の物で組織崩れが見られた。組織崩れの要因として糸の曲げ剛性が影響していると考え、糸の曲げ剛性を測定した。その結果を図 3-11 に示す。

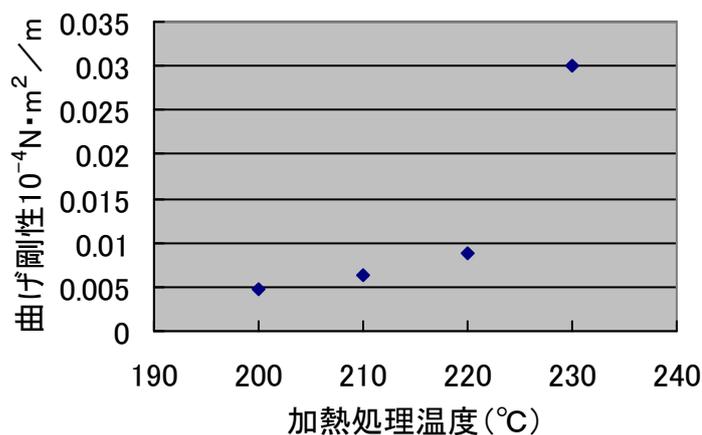


図 3-11 糸速度 30m/min での加熱温度と曲げ剛性

図より、加熱条件が上がるにつれて曲げ剛性が徐々に上がり、230℃で急激に上がることがわかる。これによって、230℃で組織崩れが起こった原因として、糸の曲げ剛性が一因となっていることを示唆している。

#### カ 燃糸による保護方法のまとめ

○スパン糸をカバリングしたついでには炭素繊維を保護できず、編成時に炭素繊維の折損が発生する。

○ウーリー加工糸のような捲縮を有するフィラメントでカバリングした場合、加熱処理を行わなくても編成可能である。

○OPP のような直線的なフィラメントをカバリングした場合、加熱処理で摩擦・曲げに対して燃りが動かないようにすることで編成可能であるが、曲げ剛性が高くなると、編組組織の崩れが発生する。

### ③コーティングによる保護方法

#### ア 試料

炭素繊維をコーティングする樹脂は作業環境を考慮した水系のエマルジョンを用いた。また、後にポリプロピレン樹脂との複合化を想定して変性ポリプロピレン系のエマルジョンを使用した。使用したエマルジョンを表 3-3 に示す。

表 3-3 湿式コーティングに用いた PP エマルジョン

品名	固形分 (wt%)	粘度 (mPa・s)	樹脂融点 (°C)
東邦化学工業製 HYTEC P-9018	35	70	156
東邦化学工業製 HYTEC P-5800	30	20	146
東邦化学工業製 HYTEC P-5060P	40	20	143

(全てカタログデータ)

#### イ 炭素繊維へのコーティング方法および条件

炭素繊維への樹脂のコーティングは、新規に導入した糸コーティング機（愛機リオテック製）を使用した。この装置の全景及び模式図を図 3-12 に示す。



図 3-12 糸コーティング機

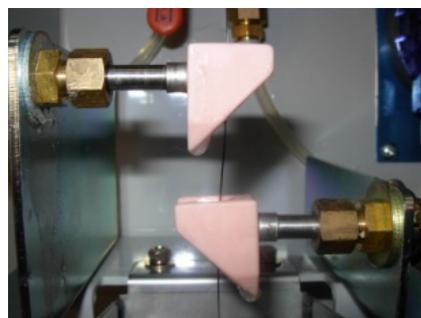


図 3-13 糸コーティング機の樹脂塗布部分

この装置は炭素繊維の貯留部分・樹脂塗布部分・ヒーター・巻き取り部分で構成され、貯留部分から引き出された炭素繊維が、樹脂塗布部分で樹脂を塗布され、ヒーターで加熱して樹脂を乾燥・固着させて巻き取るしくみとなっている。ヒーターの通過時間は糸の巻き取り速度を変えることで調整できる。また、樹脂の吐出量・ヒーター温度も調整可能となっている。樹脂は図 3-12 に示す炭素繊維を挟むように取り付けられたガイドの中にあけられた穴から供給され、炭素繊維がそのガイドを通ることで、樹脂を塗布されるようになっている。

樹脂の吐出量と炭素繊維の付着量の関係を調べるため、糸速 1m/min、ヒーター温度 220°C で樹脂の吐出量を 0.25cc/min~5cc/min の間の 8 段階で変えて炭素繊維 1 m に付

着した樹脂の重さを測定した。また 1cc/min 吐出量でこの装置を 2 度通した場合の樹脂の付着量の変化についても併せて測定した。その結果を図 3-13 に示す。図より、吐出量 1cc/min 未満では吐出量が増えるにつれて増加するが、1cc/min 以上では樹脂の付着量はあまり変化していない。このことにより 1cc/min で炭素繊維が付着できる最大の樹脂量を供給していることになり、樹脂吐出量の最適値と判断し、以降の実験は吐出量を 1cc/min で行った。また、図より、二度通すことに樹脂の付着量が 2 倍程度になることが確認でき、樹脂の付着量を増やすのに、複数回装置に通すことで可能であることも確認できた。なお、表 3-4 に吐出量 1cc/m での樹脂毎の付着量を示す。

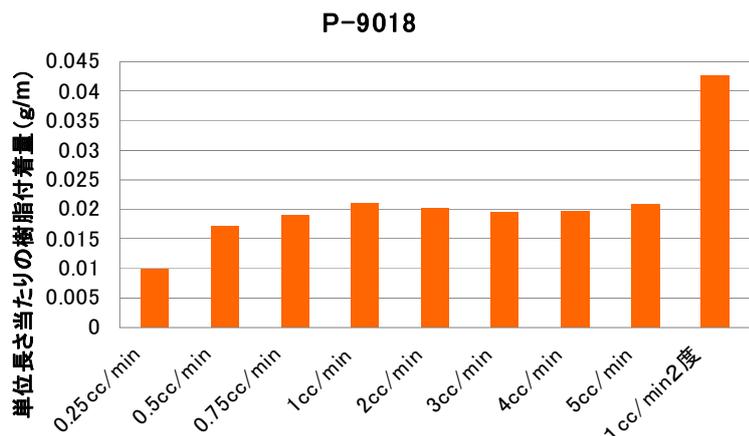


表 3-4 同条件での樹脂ごとの付着量

吐出量 1cc/min での樹脂の単位長さ当たりの付着量 (g)	
P-9018	0.0210
P-5800	0.0142
P-5060P	0.0305

図 3-14 樹脂の吐出量と炭素繊維の付着量の関係

### ウ コーティング状態の評価

コーティング状態の評価はカバリング系と同様に、蛭田式抱合力試験機で摩擦し、破断するまでの回数で評価した。その結果を図 3-15 に示す。

破断するまでの摩擦回数

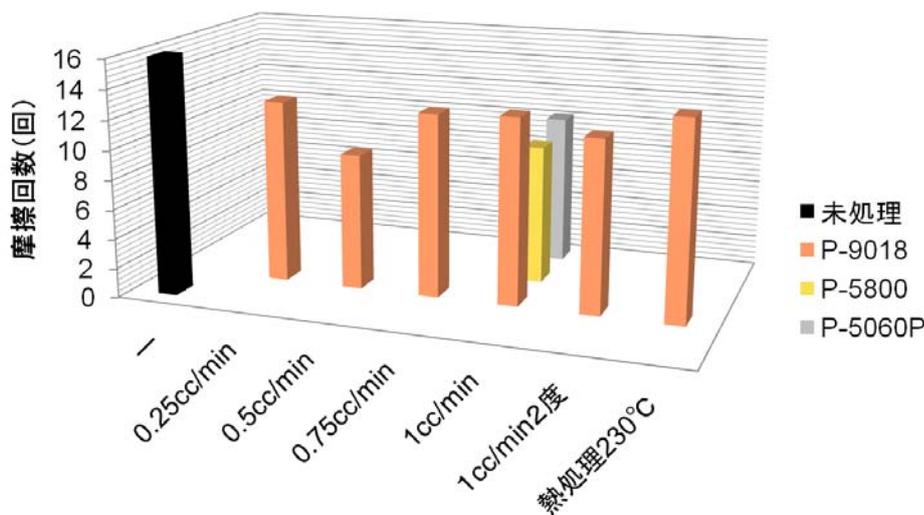


図 3-15 抱合力試験による破断回数

コーティングすることにより摩擦による耐久性が向上すると考えたが、実際は炭素繊維と同等かそれ以下の耐久性で、炭素繊維を保護していないことが分かった。樹脂の付着状況を電子顕微鏡で確認したところ樹脂が繊維方向に割れた状態で付着していることが確認できた（図 3-16）。

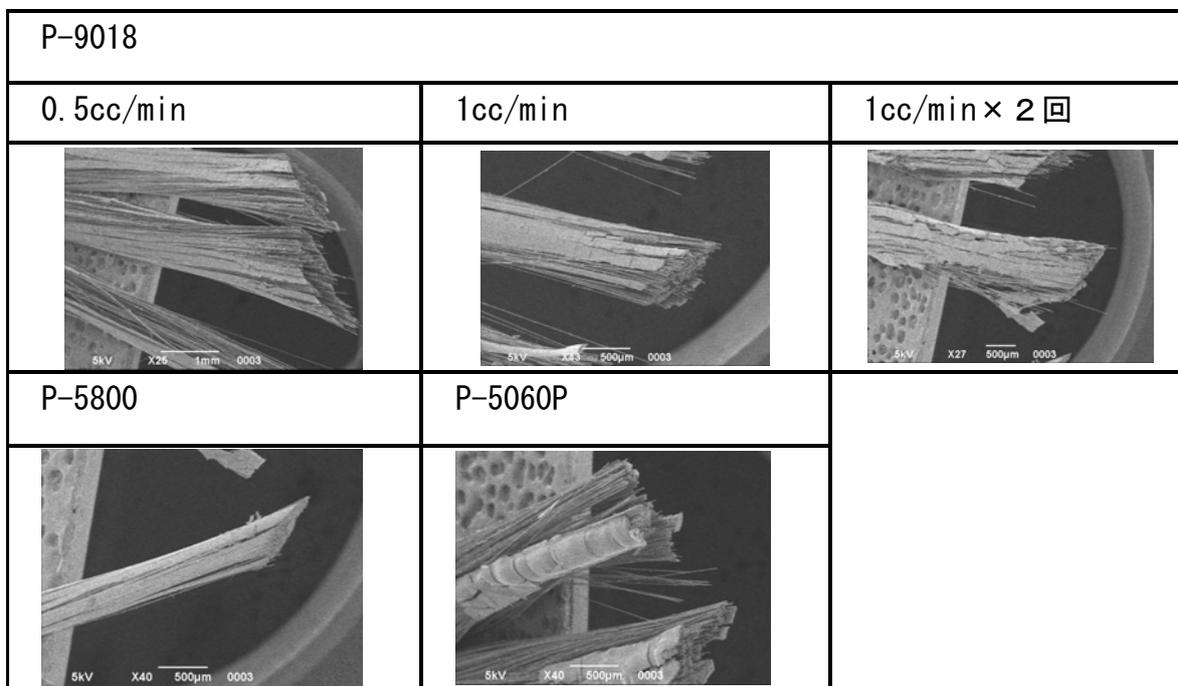


図 3-16 コーティング糸の電子顕微鏡写真

なお、P-9081 を 230℃で乾燥・固着させたコーティング糸、P-5800, P-5060P をコーティングした糸について7ゲージの試験用丸編機で編成試験をおこなったところ、図 3-17 に示すよう、全く編むことができなかった。

今回は、変性ポリプロピレンエマルジョンを用いたが、ナイロン系のものなど、他のエマルジョンでは、異なった結果が得られたと思われる。

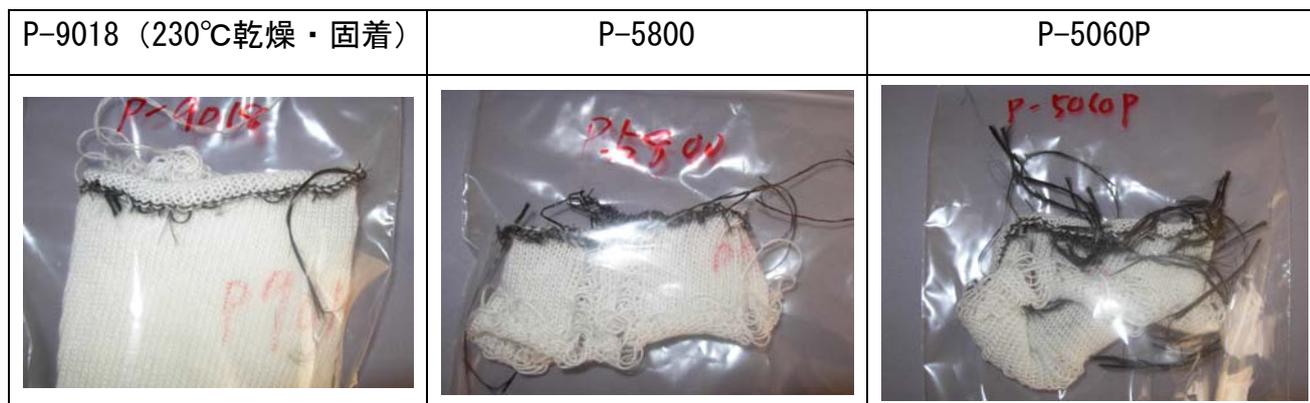


図 3-17 コーティング糸の編成状態

## エ コーティングの効果

コーティングの効果を検証するために、ポリプロピレンコーティングを行った炭素繊維

維の圧縮特性の測定を実施した。測定は、金沢大学大学院自然科学研究科機能機械科学専攻機械設計講座を訪問し、アドバイザーを依頼している喜成年泰教授および村上達也氏より同講座で開発された糸横圧縮変形自動計測装置により圧縮特性計測を行った。

対象となる炭素繊維糸およびコーティング糸が黒色であるため、計測装置に実装されている画像処理による直径変化測定は自動では実施できなかったため、画像データより画素数を手動で計数して測定した。その結果、コーティングなしの糸は幅と厚さの比が2:1程度と扁平になっているのに対し、コーティング有りの糸はほぼ1:1であり、圧縮挙動も通常のフィラメント糸と同等の特性を持つことが明らかとなり、糸の変形挙動からコーティングを施した効果は認められた（図3-18）。

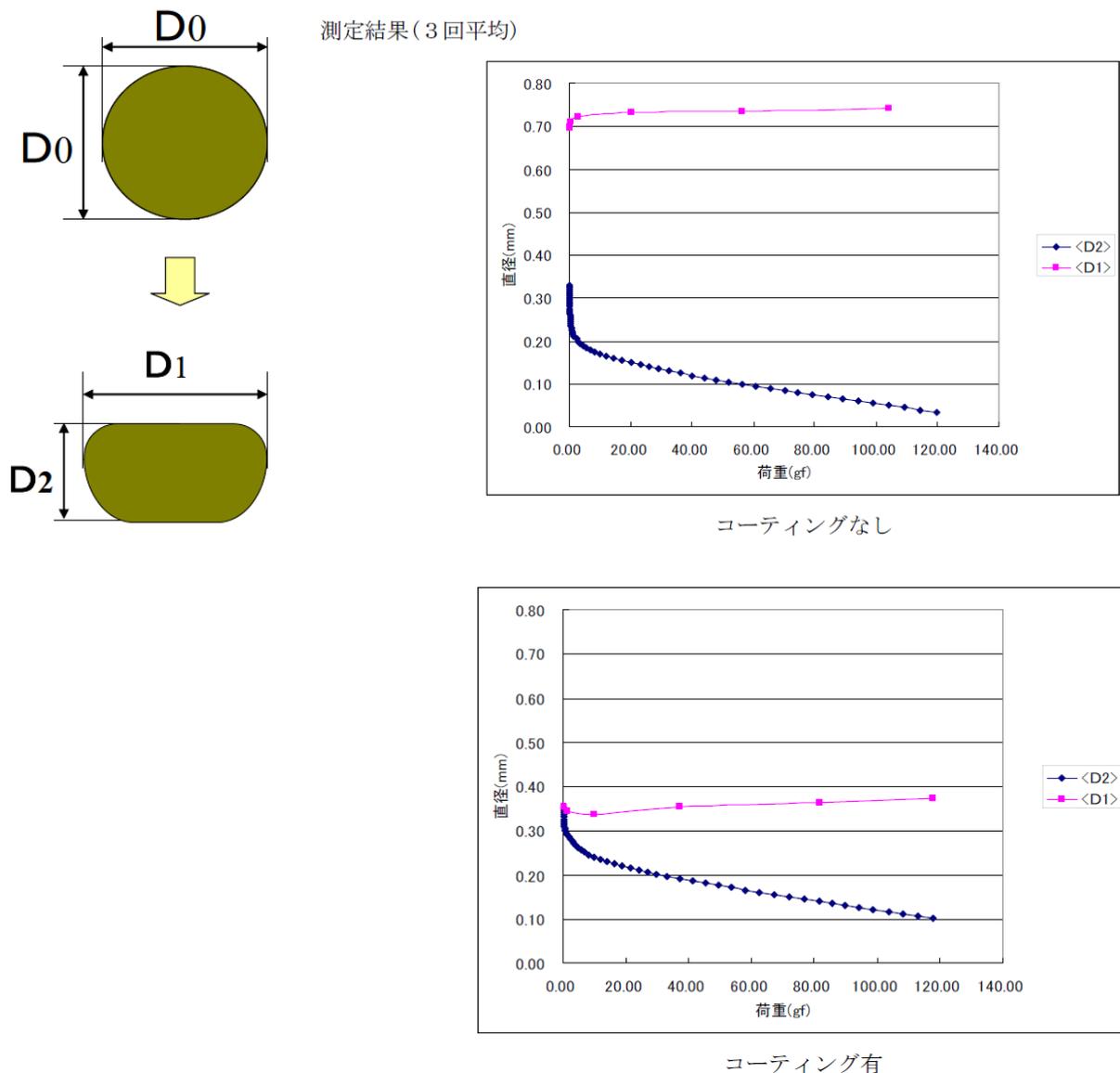


図3-18 測定結果

### オ 炭素繊維に付着しているサイジング剤の影響

炭素繊維はエポキシ系樹脂との親和性及びハンドリング性をよくするため、サイジン

グ剤が付着している。これが樹脂の固着性に影響を及ぼしていると考え、650℃のホットブローの先端が炭素繊維にあたるように設置し、高温の空気によりし、サイジング剤を飛ばした後、樹脂を付着させた。熱処理温度を 220℃、230℃、240℃とした試料を作製し、樹脂の固着状態を、抱合力試験で樹脂の耐久性を評価した。その結果を図 3-30 に示す。いずれの熱処理温度についても、樹脂の耐久性は、ホットブローを行ったものの方がやや低く、サイジング剤が樹脂を固着させるのに、サイジング剤が何らかの役割を果たしていることが示された。また、熱処理温度の影響では、わずかではあるが 230℃のものが、耐久性があることが分かった。

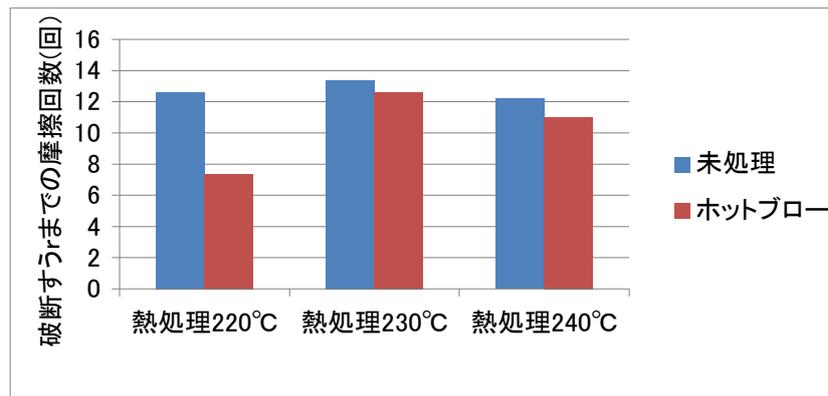


図 3-19 ホットブロー処理の影響

### オ 撚糸との複合化

ウで示したように樹脂コーティングだけではニットに編むことができなかった。そこで、樹脂をコーティングしてある炭素繊維を撚糸によるカバリングを行うことで、編成可能になると考えられる。そこで、コーティング炭素繊維にポリプロピレンスパン糸あるいはポリプロピレンフィラメントを撚糸により被覆した試料を作製し、試料を試験用丸編機で編成試験を行い、編成可能かどうか調べた。また、撚糸によるカバリングだけでは編成不可能なものも、樹脂コーティングで編成可能となるかどうか判断するため、スパン糸をカバリングした糸に、ヒーター温度 230℃で樹脂コーティングを行い、試験用丸編機で編成試験を行った。その結果を図 3-20 に示す。



図 3-20 撚糸と併用した糸の編成試験結果

図より、いずれの方法でも炭素繊維の折損を防ぐことはできないことが明らかとなった。コーティング糸が未処理の炭素繊維と同等かそれ以下の耐久性しか有していない

め、未処理の炭素繊維が折損するカバリング条件では、コーティング糸でも折損することが明らかとなった。ただし、未処理の炭素繊維が折損しない捲縮したフィラメントをカバリングした場合、コーティング糸でも編成可能と考えられる。

また、スパン糸をカバリングした糸をコーティングした場合には、ヒーター温度が230℃であるため、カバリング糸の熱融着も同時に行い、コーティング効果が上がると思われたが、樹脂の強度が低いためか、スパン糸をカバリングした糸を熱融着した場合と同様の結果となった。

#### カ コーティングによる保護方法のまとめ

○糸コーティング機により、炭素繊維のコーティング保護糸の作製は可能となった。しかし、今回使用した水系 PP エマルジョンでは、編成に耐えられる程の保護効果は得られなかった。

○コーティング保護糸の撚糸によるカバリングによる編成特性は、通常の炭素繊維と同じなので、カバリング糸に捲縮糸を使用するなど、編成可能と思われる。

#### ④無縫製試験編機による編成試験

試験用丸編機で編成可能であった糸のうち、ウーリー加工糸を SZ 方向にカバリングしたものについて無縫製試験編機で、通常の平編に加え、移し目等、立体構造編物を編成するのに必要な組織を含んだ編物の編成試験を行った。編成試験結果を図 3-21 に示す。結果、平編については、炭素繊維の折損もない状態で編むことができた。しかし、移し目等の組織は糸をかなり引っ張る等の影響のため、移し目を行う部分で、炭素繊維の折損、組織の崩れが見られた。



図 3-21 編成試験の結果

#### ⑤最適化した保護糸での立体形状編成試験

現在入手している炭素繊維は600Dで、入手できる炭素繊維の中でもっとも細いものである。この炭素繊維を用いた保護糸は、太過ぎるため、立体形状編成試験に用いる2針床無縫製試験編機・4針床無縫製試験編機で編むことができない。そこで、炭素繊維の代わりに、細い糸が入手可能であり、高強度・高弾性繊維であるアラミド繊維のスパン糸を用いて編成試験を行った。

試験に用いた保護糸は、アラミド繊維のスパン糸30/1に75Dのポリブチレンテレフタレートフィラメント2本を1787.5回/mで巻いた糸を用いた。また比較用としてアラミドスパン糸30/2を保護しないで編成した。保護糸および比較用に用いた糸の太さはそれぞれ約327D、354Dである。

糸2本を引き揃えて編成試験を行った結果を図 3-22 に示す。アラミド繊維は保護糸

だけでなく、比較用で用いたアラミド繊維スパン糸も十分編むことが可能であり、毛羽・フライ・粉塵が編成中に発生すると思われる繊維の折損は見られなかった。

このことにより、アラミド繊維は、炭素繊維と同様の摩擦を編成時に受けても、炭素繊維ほど脆い繊維ではないので、結果として毛羽・フライ・粉塵を発生することなく、編むことが可能であるので保護する必要はないと判断できる。しかし、編成後のアラミド繊維は図 3-2 2 の示すように、僅かではあるが摩擦による剥離が見られる。このような欠陥は、複合材料になった場合に何らかの影響を及ぼすと考えられる。また、非常に強靱な繊維でもあるため、長時間編むことにより、編針が摩耗する恐れがある。そのため、アラミド繊維のような繊維をポリブチレンテレフタレートフィラメントのような捲縮のある柔らかい繊維で保護することにより、編針の摩耗を防ぐのに有効であると思われる。さらに、アラミド繊維に成型時に用いる樹脂と同じ繊維で被覆することにより、樹脂との親和性が向上し、より強い繊維強化プラスチック製品が成型できることが期待できる。

	2 針床	4 針床
保護糸		
未保護糸		

図 3-22 保護糸での編成試験結果

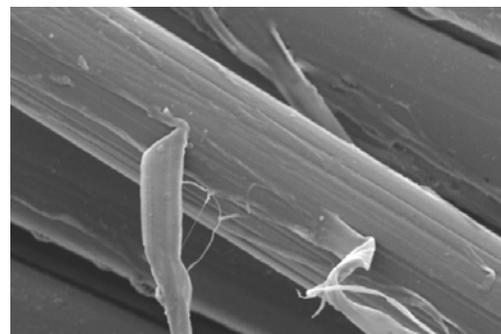


図 3-23 編成後のアラミド繊維の表面

### (3) 研究成果

- ・捲縮を有するフィラメントをカバリングすることで、十分に編成可能なレベルの炭素繊維の保護が可能である。
- ・捲縮のないフィラメントは、編成時の炭素繊維の折損を防ぐことは難しいが、加熱処理でカバリング糸の表面を融着させ、撚を摩擦・曲げで移動しないようにすることで編成できる。
- ・スパン糸をカバリングしても、編成時の炭素繊維の折損を防ぐことは難しい。
- ・糸コーティング機により、炭素繊維のコーティング保護糸の作製は可能となった。しかし、水系エマルジョンをコーティングしても編成可能なレベルでの炭素繊維の保護効果は期待できないことが分かった。また、撚糸によるカバリングによる編成性能は、通常の炭素繊維と同等ではあるが、樹脂との親和性の向上に寄与する可能性はある。
- ・アラミド繊維は保護なしでも編むことは可能であるが、保護することにより、針へのダメージの低減が期待でき、樹脂との親和性が向上することも期待できる。

## 第4章 全体総括

### 4-1 成果の総括

#### (1) 三次元ニットシミュレーションを応用した無縫製ニット製高強度・高弾性 ニット基材形状設計手法の開発

無縫製横編機の特徴である立体形状編成技術を用いて強化用高強度・高弾性率繊維を編成することができれば、成形性時における伸縮性を向上させることが可能になると考えられるため、3次元ニットシミュレーションに関する研究と導入した無縫製横編機のノウハウを組み合わせ、CAD図の断面座標から、ニット製品の3次元モデリングを経て組織図、編方図へ展開するソフトウェアを開発した。

設計したニット製品については、開発したソフトウェア上で編方図を修正することにより、修正した編方図からの再シミュレーションの機能を付加して修正したニット製品の編み目の確認ができるようにした。組織図および編方図の2次元画像はpngファイルとして、3次元モデルはstlファイルとして保存でき、市販のCADソフトなどで元になったCAD図との比較を行うことができるようになった。

また、開発したソフトウェアによる編方図の修正と検証を行い、立体曲面形状に適合した複合材料の基材のサンプル編成も行い確認した。

この結果、今までの製品に無い3次元形状の編成技術を確立し、CADデータの形状に沿う編方図の設計を行うソフトウェアにより、CAD図に基づく3次元曲面形状の高強度・高弾性率繊維編み物を特殊な編み組織を用いて立体編成することができた。

#### (2) 燃糸およびコーティングによる高強度・高弾性繊維保護方法の開発

炭素繊維等の高強度・高弾性繊維の糸は、破断伸びが小さく、曲げや摩擦に弱いため、横編機での編成時に繊維が折損し、毛羽・フライ・粉塵等が頻発する。

これを防ぐために、高強度・高弾性繊維の糸を燃糸技術を用いて被覆し、あるいはコーティングにより被覆して保護し、折損を防ぐことを検討した。

燃糸では、捲縮を有するフィラメントをカバリングすることで、十分に編成可能なレベルの炭素繊維の保護が可能となった。

樹脂コーティングによる炭素繊維保護方法については、導入したコーティング機を用いて材料や条件を調整して実験した結果、コーティング保護糸の作製も可能となった。アラミド繊維は保護なしでも編むことは可能であるが、保護することにより、針へのダメージの低減が期待でき、樹脂との親和性が向上することも期待できる。

### 4-2 今後の取組み

本研究開発により、無縫製編み機による繊維強化複合材用ニット基材を製造する手法が明らかになった。来年度以降においても、編成時張力の安定化技術の開発やより強力な保護糸の開発等続け、繊維強化複合材用ニット基材の実用化に向けて、技術的な完成度を高める。また、本事業の中で川下企業から貴重なアドバイスやニーズを頂いたもので、それらを達成することにより具体的な事業化に向けて進める。従来の平面状基材を裁断し曲面形状に積層する方式では、繊維基材の裁断くずが大量に発生するところ、本

事業の成果を活かせば、目的形状の CAD データから編み機を制御し立体編成することが可能になる。さらに、高強度高弾性率繊維を編むための保護技術を開発したことで、目的の 3 次元形状の繊維強化複合材料用ニット基材を編むことが可能となった。

なお、本研究開発の実現により、自動車等の軽量化のために使用される繊維強化複合材料用基材を曲面形状へ適合させれば、コスト削減が見込まれる。また、同技術は軽量化が要求されている様々な分野への転用が可能であり、具体的には安心・安全性能の高い健康福祉機器の製造への活用を研究していく予定である。

#### 【参考文献・引用文献】

- [1] F. T. Peirce , (1947) , Text Res J, **17**, 123–148
- [2] Leaf , Glaskin , (1955) , J. Text. Inst. , **46**, T587
- [3] Tabata M (1967) “kisosen-ikougaku[Ⅲ]dai 2 hen amimono” , pp151–184, nihonsen-ikikaigakkai
- [4] A Kurbak' , O Ekmen (2008) , Text Res J, **78**, 198–208
- [5] A Kurbak' , O Kayacan (2008) Text Res J, **78**, 279–288
- [6] AKurbak' , A S Soydan (2008) Text Res J, **78**, 377–381
- [7] O Kayacan, A Kurbak' (2008) Text Res J, **78**, 659–663
- [8] A Kurbak' , O Kayacan (2008) Text Res J, **78**, 577–582
- [9] Saijo K *et. al.* (2009) Proceedings of the 62nd Annual Conference of TMSJ, 36–37
- [10] Suzuki N , Japan Patent, JP 2005–120501
- [11] Morimoto S , Japan Patent JP2009–145959
- [12] Furukawa T , Japan Patent, JP 2007–293636
- [13] [http://www.tu-dresden.de/mw/iik/sfb639/sfb\\_en.html](http://www.tu-dresden.de/mw/iik/sfb639/sfb_en.html)