

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「C-SMC 成形技術による耐薬品性・軽量・高強度を実現した炭素繊維複合材  
によるボルト・ナット・ワッシャの量産技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 中部経済産業局

補助事業者 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目次

<b>第1章 研究開発の概要</b> .....	<b>1</b>
1-1 研究開発の背景・研究目的、目標及び実施計画 .....	1
(1) 研究開発の背景と動向 .....	1
(2) 研究開発の目的 .....	6
(3) 研究開発の目標 .....	9
(4) 研究開発実施計画 .....	10
1-2 研究体制 .....	11
(1) 研究組織 .....	11
(2) 管理体制 .....	11
(3) 管理員及び研究員 .....	12
(4) 経理担当者及び業務管理者 .....	12
1-3 成果概要 .....	14
1-4 当該研究開発の連絡窓口 .....	16
<b>第2章 本論</b> .....	<b>17</b>
① 量産可能で実用可能なねじの強度を実現 .....	17
② 量産化を実現 .....	18
③ 機能性の評価 .....	18
④ さらなる低コスト化の実現 .....	23
<b>最終章 全体総括</b> .....	<b>25</b>

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的、目標及び実施計画

#### (1) 研究開発の背景と動向

川下製造事業者等が抱える共通の課題及びニーズ

(五) 接合・実装に係る技術に関する技術

1 接合・実装に係る技術において達成すべき高度化目標

(1) 川下分野横断的な共通の事項

① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア. 高強度化、イ. 軽量化

アドバイザーであるねじの商社は、樹脂ねじを販売しており、次のようにこれまでの顧客との対応で十分にマッチした製品はなく苦慮した経験がある。

【川下製造業者のニーズ:ア. 高強度】

#### 1.HDD 製造装置

・用途: 装置内の洗浄スプレーユニットノズルの固定用 M4 のねじ。

・状況: 高強度・耐薬品性に優れたねじを求められ、PEEK のねじを採用いただいた。ノズルはさらに小型化の要望がある。今回のカーボンボルトであれば、ノズル固定用のボルト本数を半分に削減でき、小型化のニーズに対応できる。

#### 2.半導体の検査装置・洗浄装置

・用途: 装置の全体

・状況: 高強度・耐薬品性に優れた M3～M8 のねじを求められ、PEEK のねじを採用いただいた。しかし、締結力不足により、ねじの緩みが懸念され、定期点検を多く行っている。今回のカーボンボルトであれば、締結力が強く、ねじの緩みが少なくなるため、定期点検の回数を半分以下に削減できる。

#### 3.化学プラント会社

・用途: 配管と配管をつなぐ、フランジの固定

・状況: PEEK ねじを採用。耐薬品性・高強度のねじで PEEK を採用いただいた。しかし、ねじの締結力が弱いため、ねじを大きくする必要がある。そのためねじを挿入する部位を大きくしなければならなかった。装置の小型化のニーズがあり、カーボンボルトはそのニーズに応えられる。

## 【川下製造業者のニーズ:イ. 軽量化】

### 4.ボンダー:ICチップをリードフレームに接着する装置

・用途:ヘッド部

・状況: ヘッド部は、超高速で動作しており、金属性のねじでは重量が原因でねじの緩みが発生した。

そこで、重量が軽いチタンねじを見積もり、採用にいたった。しかし、ヘッド部はさらなる高速化が望まれ、チタンねじよりも軽いねじの要求がある。カーボンボルトは、チタンねじの 1/3 の重量のため、そのニーズに応えられる。

このように今回の開発する耐薬品性・高強度・軽量化に優れたカーボンボルトは、様々な装置のニーズに応えられる。現在、市場で販売されているボルト・ナット・ワッシャにおいて、軽量・高強度・耐薬品性の項目で、バランスのとれたものはなく、川下企業はやむを得ずに、市販の製品を使用しているケースがある。

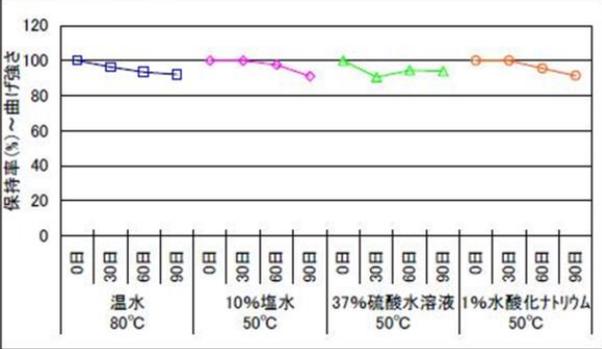
今回、当研究開発では、軽量・高強度・耐薬品性の項目にバランスが取れた炭素繊維複合材のボルト・ナット・ワッシャ(カーボンボルト・カーボンナット・カーボンワッシャ)を開発し、様々な業界のニーズに応える。

○従来技術での課題

市販の樹脂ねじは、強度不足により、使用中にねじが緩み、締結力不足が問題となっていた。このプロジェクトのボルトを開発することにより、高強度のねじが実現し、従来問題となっていたことが解決できる。

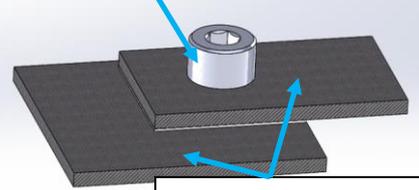
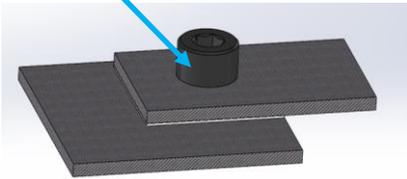
【耐薬品性を重要視する用途】

表 1-1

従来技術	新技術																																
<p>耐薬品性に優れたねじとして、樹脂製のねじが市販されている。しかし、主要パラメータのねじり強度の指標であるねじり破壊トルクが弱く、締結力が不十分であるため、使用中に緩む問題や、設計の際にねじ径を大きくしなければならないという問題がある。</p> <p>表 1-1-1 樹脂ねじの強度 ねじ径 M8</p> <table border="1" data-bbox="312 1037 667 1328"> <thead> <tr> <th>略称</th> <th>ねじり破壊トルク Nm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RENY</td> <td>7.85</td> </tr> <tr> <td>PPS</td> <td>5.29</td> </tr> <tr> <td>PEEK</td> <td>5.98</td> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>2.94</td> </tr> </tbody> </table> <p>また、市販されている樹脂ねじは、熱可塑性のため、高温環境下では強度が著しく低下する。</p> <p>表 1-1-2 RENY の温度特性 ねじ径 M8</p> <table border="1" data-bbox="331 1529 636 1713"> <thead> <tr> <th>温度</th> <th>引張破壊強度 (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23°C</td> <td>5,137</td> </tr> <tr> <td>40°C</td> <td>4,338</td> </tr> <tr> <td>80°C</td> <td>2,510</td> </tr> <tr> <td>120°C</td> <td>1,912</td> </tr> </tbody> </table>	略称	ねじり破壊トルク Nm	RENY	7.85	PPS	5.29	PEEK	5.98	PC	2.94	温度	引張破壊強度 (N)	23°C	5,137	40°C	4,338	80°C	2,510	120°C	1,912	<p>このプロジェクトで開発するボルトは、炭素繊維複合材を利用するため、これらの問題点を解決できる。</p> <p>高強度:表 1-1-3 のように高強度であり、表 1-1-1 の市販されている樹脂ねじと比較し 2 倍以上の高強度である。</p> <p>表 1-1-3 (株)タカイコーポレーション 開発品のボルトの強度 ねじ径 M8</p> <table border="1" data-bbox="943 1081 1230 1321"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>ねじり破壊トルク Nm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>14.9</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>14.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15.7</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>15.4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>12.3</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">平均 14.5Nm</p> <p>樹脂：ビニルエステル+炭素繊維（47%）</p> <p>・耐薬品性・高温特性 図 2-1 のように耐薬品性に優れており、さらに、高温環境下(温水 80°C)でも、強度の変化が微小である。</p> 	No.	ねじり破壊トルク Nm	1	14.9	2	14.0	3	15.7	4	15.4	5	12.3
略称	ねじり破壊トルク Nm																																
RENY	7.85																																
PPS	5.29																																
PEEK	5.98																																
PC	2.94																																
温度	引張破壊強度 (N)																																
23°C	5,137																																
40°C	4,338																																
80°C	2,510																																
120°C	1,912																																
No.	ねじり破壊トルク Nm																																
1	14.9																																
2	14.0																																
3	15.7																																
4	15.4																																
5	12.3																																

【軽量化を重要視する用途】

表 1-2

従来技術	新技術								
<div data-bbox="217 421 799 465" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">鉄・チタン・アルミなどのボルトやリベット</div>  <div data-bbox="456 656 799 701" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">炭素繊維複合材の成形品</div> <p data-bbox="204 757 807 1021">図 2-2 従来の方法 炭素繊維の成形同士への接合は、接着材での接合か、鉄・チタンなどのボルトやリベットによる接合および接着材との複合であった。(図 2-2) しかし、従来の場合、重量が重くなり、さらに異種材のため摩耗、電解腐食、熱膨張係数の違いにより、ねじが緩むという問題がある。</p>	<div data-bbox="847 421 1334 465" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">炭素繊維複合材のボルト</div>  <p data-bbox="834 685 1433 943">図 2-3 新技術の方法 炭素繊維のボルトを開発することで、表 1-2-1 のように軽量の締結部材となる。(図 2-3) また、同種類の材質による結合となるため、電界腐食や摩耗の問題が無くなる。さらに、同一材のため、熱膨張係数の違いの問題も発生しない。そのため、緩みの問題も解決できる。</p> <p data-bbox="834 949 1394 981">表 1-2-1 各材料との重量の比較 ねじ径 M8</p> <table border="1" data-bbox="879 992 1406 1070"> <thead> <tr> <th></th> <th>鉄</th> <th>チタン</th> <th>当社のボルト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>重量(g)</td> <td>15.7</td> <td>9.6</td> <td>3.3</td> </tr> </tbody> </table>		鉄	チタン	当社のボルト	重量(g)	15.7	9.6	3.3
	鉄	チタン	当社のボルト						
重量(g)	15.7	9.6	3.3						

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

成形後のねじ精度・ねじ強度を目標値に到達できる工法を考えるとともに、量産化ができる手法を考え、実現する。

○研究開発の背景

現在、市場で販売されているボルト・ナット・ワッシャにおいて、軽量・高強度・耐薬品性の項目で、バランスのとれたものはなく、川下企業はやむを得ずに、市販の製品を使用しているケースがある。

今回、当研究開発では、軽量・高強度・耐薬品性の項目にバランスが取れた炭素繊維複合材のボルト・ナット・ワッシャ(カーボンボルト・カーボンナット・カーボンワッシャ)を開発し、様々な業界のニーズに応える。

●国内のねじの市場を図 1-1 に示す。

平成 23 年(2011)で生産数量 273 万トン、生産金額 8 千億円の市場規模がある。

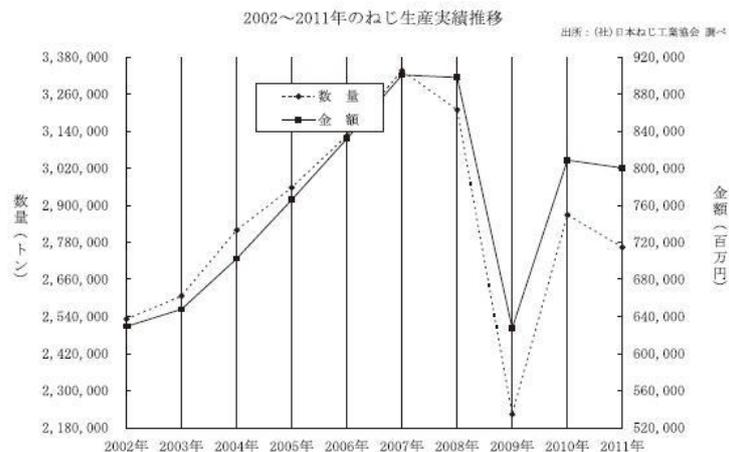


図 1 直近10年の生産推移

図 1-1 2002 年～2011 年までのねじの生産数量と金額(社)日本ねじ工業協会 調査)

○当該分野における研究開発動向

本計画・立案にあたり他の事例を調査した結果、炭素繊維複合材を用いた C-SMC 工法を採用し、軽量・高強度・耐薬品性に優れたねじを開発したものはなく、この新規性が高く、極めて実用化ができると判断した。

●フクビ化学（特許出願公開番号 特開平 6-185514）

繊維強化樹脂締結ボルトとしての引張り強度保持しつつ、剪断強度を向上した。

これも、成形前に、繊維の方向性をそろえ、丸棒にする工程があり、非常に手間がかかっていることから、市販は難しいと推測。現在まで、実用化に至っていない。

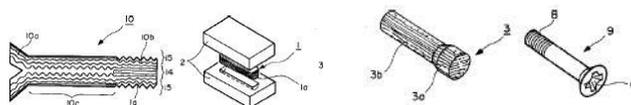


図 2-4

## (2) 研究開発の目的

### 接合・実装に係る技術に関する技術

#### 1 接合・実装に係る技術において達成すべき高度化目標

##### 川下分野横断的な共通の事項

##### 高度化目標

##### ア. 高強度化・軽量化

軽量・高強度・耐薬品性の項目にバランスが取れた炭素繊維複合材のボルトを成形するために、どのような成形方法で製造するのかを確定する必要がある。

既存の成形技術を表 2-1 に示し、本研究開発では、**C-SMC 成形方法を選択した**。

表 2-1 炭素繊維複合材の成形方法

オートクレーブ成形	射出成形	C-SMC 成形
【成形方法】真空・高温可能な窯に成形素材を入れ成形する。 【利点】高強度の成形ができる。 【問題点】窯が高価であること。成形の時間が一回につき、4 時間～8 時間必要とされ、量産に向かない。素材が、0.2mm のシート状のため、中実の立体成形は難しい。素材の繊維方向が定められ、その繊維方向の強度には強いが、その方向以外では強度が弱い	【成形方法】成形材料をシリンダ内部で加熱し熔融させてから、スクリュー等を使ってあらかじめ冷却した金型の中に射出して成形する。 【利点】成形時間：数秒～数分であり、量産に向いている。 【問題点】繊維を成形時に切断してしまうため、高強度が実現できない	【成形方法】プレスに取り付けられた金型により加熱・加圧して成形する方法。大量生産向け。 【利点】成形時間は、数分～数十分であり、量産に向いている。繊維を切断することなく、成形できるため、強度が確保できる。2mm 程のシート状で且つ粘土に似た素材のため、中実の立体成形が容易である。擬似等方材であるため、様々な方向で強度が出せる。 【問題点】射出成形ほど、成形時間は短くない。

##### 【これまでの取り組み】

このプロジェクトは、2013 年 8 月よりスタートしており、下のようにねじの精度については、目標を達成している。

### JIS 規格に基づいたねじ精度を実現

- 目標：ねじ山の精度を一般用メートルねじ JIS B 0205 および JIS B 0209 おねじ—並目ねじ公差域クラス 6g に準拠することを目標とする。
- 合否判定基準：JIS B 0251 メートルねじ用限界ゲージにて合格すること。
- 課題：成形品のねじ山を形成する金型のねじ山の寸法を、決定する課題がある。

●解決方法:まず簡易的に市販のタップにて、金型を製作し、成形した。その結果、メートルねじ用限界ゲージにて不合格であった。そこで、寸法を測定し、その結果より特殊なタップを製作し、金型 ver.2 を製造した。

●結果

メートルねじ用限界ゲージに合格したため、この目標は達成できた。

**実用可能なねじ強度の実現**

ねじ強度を実現するために、次の解決案をあげ、実施した。

(ア)ばね背圧方式:ばねで下から圧力を負荷させ、気泡を抜きやすくすると考えた。

(イ)真空方式:金型内部を真空状態にして、気泡を抜きやすくすると考えた

(ウ)60℃ 低温方式:C-SMC 素材は、樹脂の硬化が早い。そのため、素材を金型に押し込む際に素材の硬化が始まりながら、素材を押し込んでいると考えた。そこで、硬化が促進されていない60℃の低温で加圧してから、硬化する温度に上昇させる。

それぞれの成形品の引張試験の結果を表 3-2 に示す。

表 2-2 対策案の引張強度の結果

方法	引張破壊荷重(kN)				
(ア)ばね背圧方式	4.276	3.756	1.840	1.707	1.714
(イ)真空方式	3.888	3.808	4.034	3.489	3.488
(ウ)60℃ 低温方式	5.181	3.905	4.606	3.488	4.619

その結果、低温方式が最も高い値であった。

しかし、まだ引張強度の数値が目標に到達していないことや、数値のばらつきが大きいため、これを改善する必要がある。

ばらつきの原因として、簡易的な成形装置のため、成形条件が安定できないのではないかと考える。

プレス装置を販売している会社に訪問し、この会社が保有しているプレス装置にて、低温方式で成形してみた。その結果を表 3-3 に示す。

ねじり破壊トルクは、目標値:6.6Nm を大きく上回った。また、ガス抜きをするとより強度が増すことが分かった。

また、表 2-3 より、ガス抜きした No.6～No.10 のねじり破壊トルクは、目標値であるねじり破壊トルク:6.6Nm を満足している。

表 2-3 成形した M8 ボルトの強度

No.	ねじり破壊トルク Nm	ガス抜き	No.	ねじり破壊トルク Nm	ガス抜き
1	11.54	なし	6	14.88	あり
2	9.80		7	14.00	
3	11.00		8	15.74	
4	9.80		9	15.36	
5	8.48		10	12.32	

### (3) 研究開発の目標

#### 【課題と解決方法】

この事業の課題と解決方法および目標値は表 2-4 に示す。

表 2-4 課題(サブテーマ)と解決方法、および現在の状況

課題		解決方法	申請時の状況
番号	サブテーマ		
①	量産可能で実用可能なねじの強度を実現	量産可能なねじ山の製造方法を検討。目標とするねじの強度を達成する基本の構想を固める。	目標値に対し、70%強度を達成できた。
②	量産化を実現	基本の構想を膨らませ、量産化を実現する。	未着手
③	機能性の評価	実用可能かどうかの評価をする ・引張破壊 ・ねじり破壊 ・ねじの緩み ・耐熱性・耐薬品性	引張破壊試験 及び、・ねじり破壊試験は行っているが、他は未着手
④	さらなる低コスト化の実現	周辺機器を含め、さらに低コスト化を進める。	未着手

#### 研究開発の目標値

項目	サブテーマ番号	目標	申請時の状況
引張強度	①および②	160N/mm <sup>2</sup>	141N/mm <sup>2</sup>
引張破断荷重		6492.7 N	4500 N
ねじり破壊トルク		6.6 Nm 以上	12.32Nm
ねじの緩み	③	PEEK の2倍緩みにくい	未着手
耐薬品性		PEEK と同等以上	未着手
量産性	成形時間	30 個/30 分	1 個/30 分
	バリ取り時間	④ 1 個/1 分	1 個/15 分

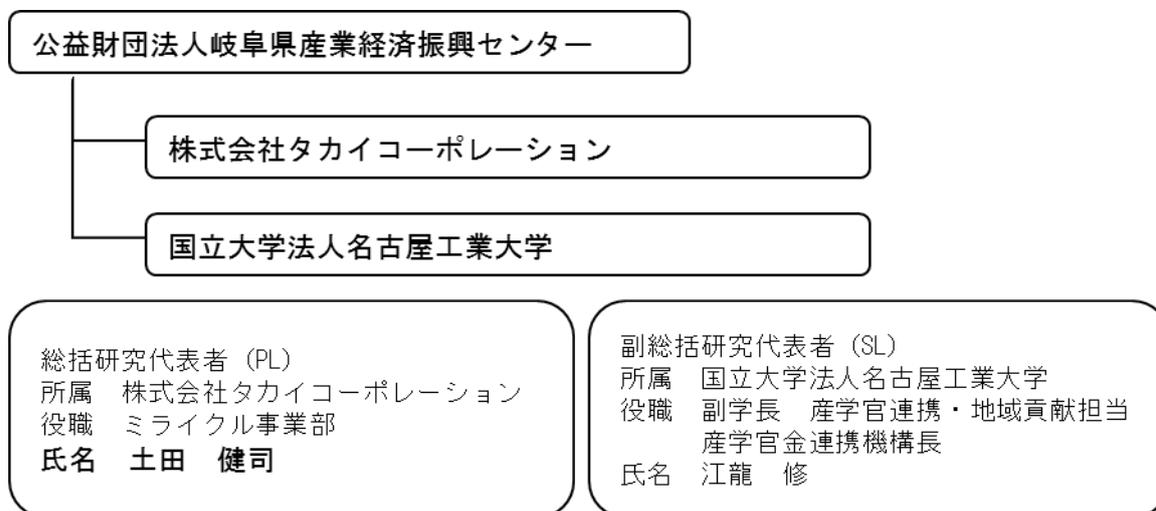
(4) 研究開発実施計画

【番号】実施内容 ※①～③の項目毎に記載すること ※必要に応じて欄を追加すること	実施時期											
	初年度(実績)				第二年度(実績)				第三年度(実績)			
	4月 ～ 6月	7月 ～ 9月	10月 ～ 12月	1月 ～ 3月	4月 ～ 6月	7月 ～ 9月	10月 ～ 12月	1月 ～ 3月	4月 ～ 6月	7月 ～ 9月	10月 ～ 12月	1月 ～ 3月
研究開発等の年度目標	引張強度の目標値を達成				M4 15分に5個の量産化を実現				バリ取り時間 1分/1個))			
①量産可能で実用可能な ねじの強度を実現 (実施機関:株式会社タカイコーポレーション、名古屋工業大学)	<p>現状 4500 → 5500 → 6500 → 強度 7000N バラツキ±10 未満</p> <p>昇降温度・高速化      素材の気泡除去</p>											
②量産化を実現 (実施機関:株式会社タカイコーポレーション、名古屋工業大学)	<p>現状 1個/30分 → 4個/30分 → 5個/15分 → 全サイズの量産化を実現</p> <p>昇降温度・高速化・4個取り      M4 5個取り M8 4個取り ナット・ワッシャの1個取り      M3 M4 M5 M6 M8 ナット・ワッシャの量産化</p>											
③機能性の評価 (実施機関:株式会社タカイコーポレーション)	<p>ねじの緩み・耐久性(クリープ)・耐薬品性・耐熱性      引張破断荷重      ねじり破壊トルク</p>											
④さらなる低コスト化の実現 (実施機関:株式会社タカイコーポレーション、名古屋工業大学)	<p>現状 15分/1個 → 1分/1個</p> <p>専用バリ取り装置      オートメーション化</p>											
⑤プロジェクトの管理・運営 (実施機関:公益財団法人岐阜県産業経済振興センター)												

## 1-2 研究体制

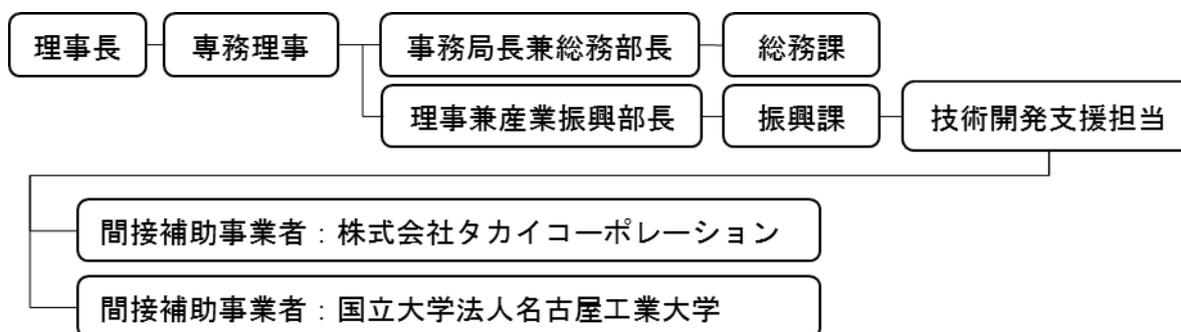
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

### (1) 研究組織



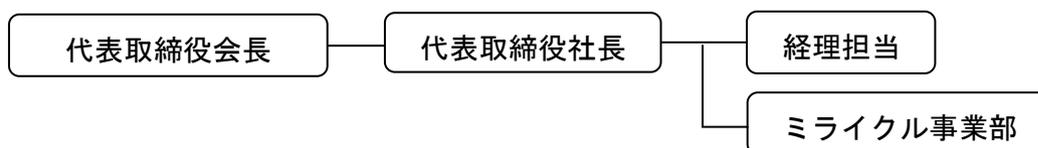
### (2) 管理体制

#### ① 事業管理者: 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

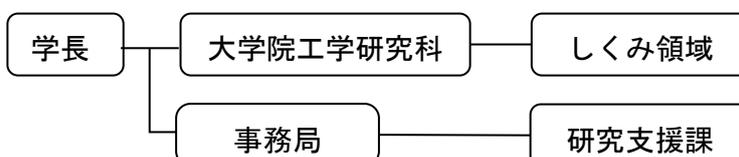


#### ② 研究実施者

##### 株式会社タカイコーポレーション



##### 国立大学法人名古屋工業大学



(3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
柴田 英明	理事兼産業振興部長	⑤
野口 昌良	産業振興部振興課長	⑤
小川 誠	産業振興部振興課統括主査	⑤
戸松 薫	産業振興部振興課主事	⑤
戸崎 康成	産業振興部振興課管理員	⑤
芳岡 康郎	産業振興部振興課管理員	⑤
國枝 信男	産業振興部振興課管理員	⑤
内田 昌宏	産業振興部振興課管理員	⑤
水野 善介	産業振興部振興課管理員	⑤

【間接補助事業者】

タカイコーポレーション株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
土田 健司	ミライクル事業部	①②③④
古田 泰浩	製造①	①②③④

国立大学法人名古屋工業大学

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
江龍 修	副学長 産学官連携・地域貢献担当	①②④
川居 拓馬	大学院工学研究科しくみ領域	①②④

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 総務部 総務課長 熊崎 登

(業務管理者) 産業振興部 振興課 主事 戸松 薫

(間接補助事業者)

株式会社タカイコーポレーション

(経理担当者)

高井 和可子

(業務管理者)

取締役社長

岩田 誠

国立大学法人名古屋工業大学

(経理担当者)

研究支援課研究協力係

一谷 香里

(業務管理者)

副学長 産学官連携・地域貢献担当

江龍 修

### 1-3 成果概要

研究当初は、市販の C-SMC 材を使用する予定であった。しかし、本事業で進めているカーボンボルトのような小物を成形した場合、強度のばらつきが大きいという問題が発生した。この原因としては、樹脂と炭素繊維の含有のばらつきであった。研究を続けても、将来 強度の保証ができないと判断し、材料開発から研究を行うようにした。そこで、樹脂メーカーに協力を仰ぎながら、材料の研究を行うこととした。そして、カーボンボルトの成形方法にマッチした材料が開発できた。その材料を用い成形したボルト・ナット・ワッシャが、図 3-1 である。



図 3-1

ボルトについては、材料の研究当初市販の C-SMC の材料と同じ繊維長の 1inch に炭素繊維を切断して、樹脂と混練していた。しかし、研究を進めるにつれ、繊維を切断せずに成形しないと、やはり、強度がばらつくことがわかった。そのため、繊維を切断しない連続繊維を用いることにした。

断面を図 3-2 およびネジ山の詳細を図 3-3 に示す。白く発色した部位は繊維であり、ボルトの軸心部分は軸心に沿った繊維の流れであり、ねじ山はねじ山に沿って繊維が流れていることがわかる。



図 3-2

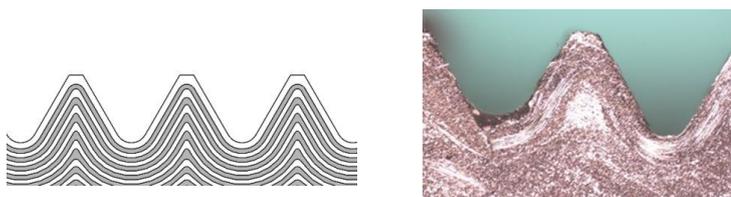


図 3-3(左図、繊維のフローのイメージ図)

その結果、表 3-1 のように、当初の目標より約 2 倍高い強度を実現できた。

また、ねじの緩み・耐薬品性等の性能も、表 3-1 のように当初の目標を達成できた。

表 3-1

サブテーマ番号	項目	目標	成果
①量産可能で実用可能なねじの強度を実現 ②量産化を実現	引張強度	160N/mm <sup>2</sup>	340N/mm <sup>2</sup>
	引張破断荷重	6492.7 N	12500 N
	ねじり破壊トルク	6.6 Nm 以上	15Nm
③機能性の評価	ねじの緩み	PEEK 製の 2 倍緩みにくい	ほとんど緩まない。 (PEEK 製もほとんど緩まない。)
	耐薬品性	PEEK 製と同等以上	PEEK 製と同等以上
	耐熱性	実用温度(120℃)以上	ガラス転移点 130℃

また、量産性については、成形時間を、研究当初は、1 個／30 分であったが、急冷急加熱装置の導入および多数個取りの導入により、4 個／10 分を達成できた。

さらに、重量は、炭素繊維複合材を利用することで、軽量にできた。カーボンボルト、PEEK 製ボルトおよび鉄製ボルトと比強度を表 3-2 に示す。

表 3-2

	引張破壊強度(N)	重量(g)	比強度(N/g)
カーボンボルト	12500	3.10	4032.2
PEEK 製ボルト	3090	2.45	1261.2
鉄製ボルト	44600	16.9	2639.1

表 3-2 より、カーボンボルトの比強度が最も優位であることが分かる。

このことから、軽量化を求められる業界：例えば自動車や航空機 などにも PR する予定である。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター  
氏名 産業振興部 振興課 主事 戸松 薫  
電話 058-277-1093  
FAX 058-273-5961  
E-mail tomatu\_at\_gpc-gifu.or.jp (\_at\_を@に変換)

## 第2章 本論

### ①量産可能で実用可能なねじの強度を実現

(実施機関:株式会社タカイコーポレーション、国立大学法人名古屋工業大学)

量産可能で実用可能を目標にするならば、製品の寸法および強度のばらつきが少なくしなければならぬ。

#### 【①-1】強度の成果

カーボンボルトを成型する材料には、炭素繊維と樹脂が複合されている。研究当初は、市販の成型用炭素繊維複合材:C-SMC 材を使用する予定であった。しかし、使用する予定であった材料は、浴槽などの大きな成型物用の素材であった。そのため、カーボンボルトのような小さな成型物に利用すると強度のばらつきが発生するという問題が発生した。そのため、樹脂メーカーに協力を仰ぎ、カーボンボルトに最適な樹脂を配合していただき、タカイコーポレーションで、炭素繊維とその樹脂を含浸させ炭素繊維複合材を製造した。

材料の研究当初は、炭素繊維長さを市販で販売されている C-SMC 材と同じ長さである 1inch に切断し、樹脂と含浸した。その結果、強度は、8000N となり、目標である 6492.7N を達成することができた。しかし、サンプル数を増やした結果、強度のばらつきが、±20%程度にばらつくことがわかり、強度が低いものは、目標値 6492.7N を下回るものが発生した。研究を繰り返すにつれ、この原因は、繊維の長さ起因することがわかった。そのため、成形時に投入する繊維は、連続繊維に変更し、繊維を切断することなく成形することにした。

その連続繊維に変更後の強度を図 3-1 および表 3-1 に示す

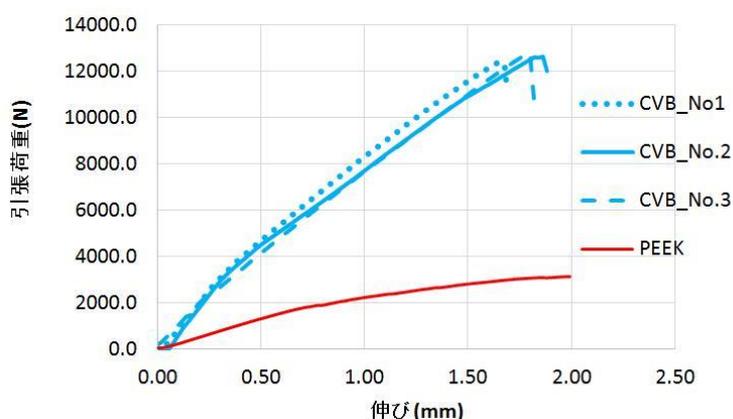


図 3-1

問題となっていた強度のばらつきが、±5%以内に収まるとともに、強度が 12500N となり、当初の目標である 6492.7N の 1.9 倍を達成できた。

強度のまとめを表 3-1 に示す。

表 3-1

項目	目標	カーボンボルト	PEEK 製
引張強度	160N/mm <sup>2</sup>	340N/mm <sup>2</sup>	81 N/mm <sup>2</sup>
引張破断荷重	6492.7 N	約 12500 N	約 3000N
ねじり破壊トルク	6.6 Nm 以上	約 15Nm	約 6Nm

ねじり破壊トルクについても、目標に対し、2.3 倍の強度を達成できた。

また、強化繊維樹脂テープを巻き金型に入れて加圧することにより、高強度のボルトを実現したという内容で、特許出願を行った。

## ②量産化を実現

(実施機関:株式会社タカイコーポレーション、国立大学法人名古屋工業大学)

研究当初は、ボルトの成形を 1 個取りの金型を用い、成形した。

これを、一度の成形で多数個成形可能な金型:多数個取り用金型を製造し、4 個取りができるようにした。

さらに、1 個取りの金型は、金型の締め付けに、ボルトを 4 本使用していた。この締め付け用のボルトは、多数個取りの金型になると十数個のボルトを締め付けることになる。

そのため、作業性の向上を図るために、締め付け用のボルトをなくし、油圧プレスにて、ボルトを抑えつけることとした

## ③機能性の評価

(実施機関:株式会社タカイコーポレーション)

### 【③-1 ねじの緩み】

ねじの緩み試験装置:ユンカー式緩み試験装置(図 3-2)にて、ねじの緩み試験を行った。

この試験は、試験片となるボルトを装置の治具に締めて、その軸力を測定するとともに、締め付けた治具をスライドさせることにより、締め付けたボルトの緩みを測定するものである。

試験片は、カーボンボルト、PEEK 製ボルト、鉄製ボルトの 3 種類で測定した。

その結果、鉄製のボルトは、急速に軸力が低下(ねじがゆるむ)に対し、カーボンボルトは、ほとんどねじの緩みが発生しない結果であった。

当初は、PEEK 製ボルトに対し、2 倍緩みにくいという目標であった。

しかし、PEEK 製およびカーボン製とも、このユンカー式緩み試験では、ねじの緩みがほとんど発生しておらず、目標値を達成できなかった。しかし、鉄製ボルトと比べる大きな優位点が発生している。また、PEEK 製ボルトに比べ、ねじの締め付けトルクは、鍋屋バイテック会社のカタログ値:5.98Nm に対し、カーボンボルトは、15Nm と、約 2.5 倍の強度を実現しており、それに伴い、ネジの軸力も大きく作用が可能となる。そのため、より強い力で締結が可能となる。そのため、このユンカー式緩み試験以上の過酷な環境下でも、PEEK 製に比べ、ねじの緩みに対し優位に作用することができる。

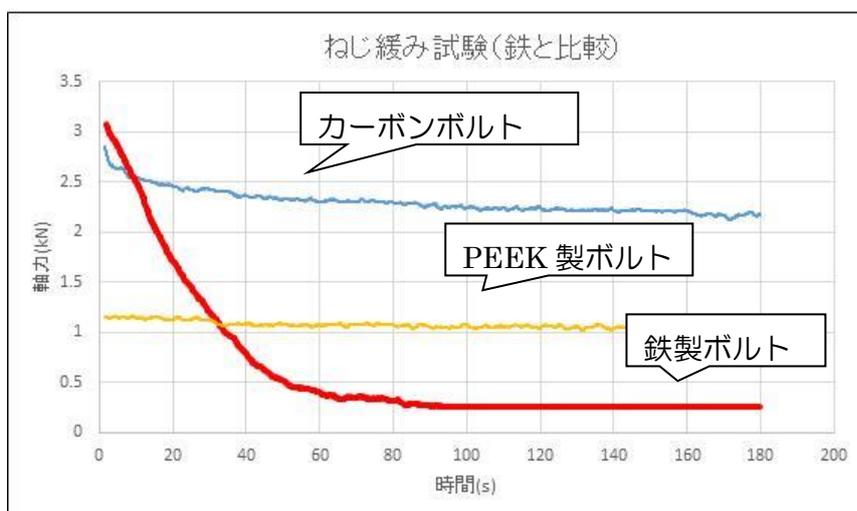


図 3-2

カーボンボルトと PEEK 製ボルトで、ねじの緩みがほとんど発生しないことは、次の理由からであると考える。

1. 摩擦抵抗が少ない
2. ボルトが軽く、振動による力が鉄製ボルトに対して低い

### 【③-2 耐薬品性】

岐阜県産業技術センターにて、耐薬品性の試験を行った

試験条件は次の通り。

1. 試験片の寸法:M8 x 30
2. 試験片の材料:カーボンボルト、PEEK 製ボルト、RENY 製ボルト、ステンレス製ボルト
3. 硫酸 50%
4. 1 週間浸漬

試験の内容は、試験片を薬液に浸漬させ、所定の時間までその浸漬の状態を維持させる。

そして、浸漬前と浸漬後の重量を比較するというものである。

その結果、PEEK 製のボルトは、若干 溶解していることを確認し、カーボンボルトは、変化なしという結果であった。そのため、耐薬品性の目標である PEEK と同等以上を満足している。



図 3-3

表 3-2

材質	カーボンボルト	PEEK 製 ポリアーテル エーテルケトン	RENY 製 ガラス繊維入り ポリイミド	ステンレス製
変化量	0.0001g	-0.0007g	測定不能	-0.0003g
評価	変化なし	溶解	著しく溶解	溶解

### 【③-3 耐熱性】

岐阜県工業技術研究所にて、カーボンボルトを様々な温度で加熱させ、その温度環境下において引張破断強度がどのように変化していくのかを測定した。

その結果、グラフのようになった。目標は、実用温度(120℃)以上に対し、120℃の温度環境下では、破断強度が30%に著しく低下するという結果であった。

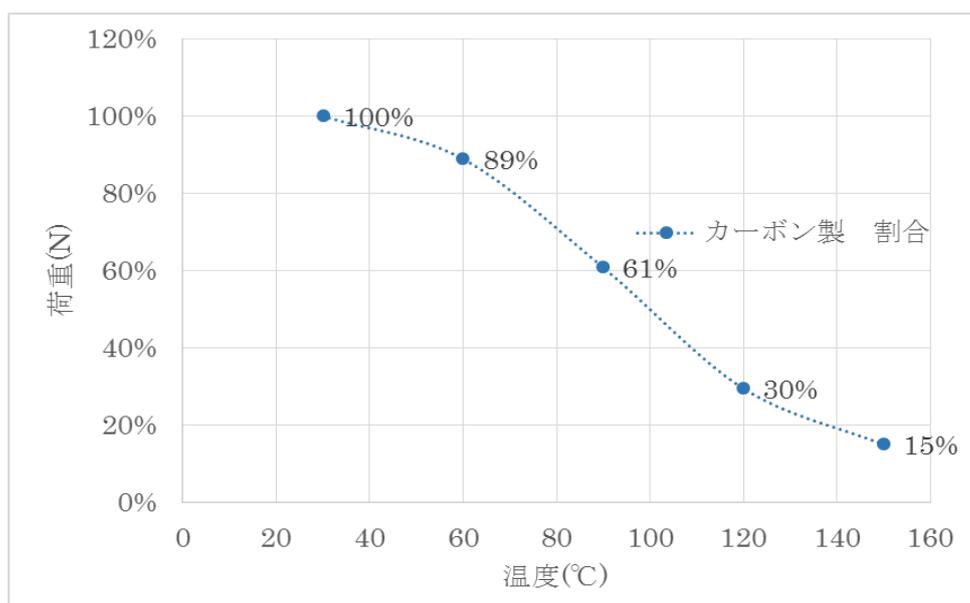


図 3-4

しかし、ガラス転移点と呼ばれる樹脂の組織が変化する温度は、130℃と、樹脂メーカーから連絡があった。

そのため、130℃までは、内部の組織に変化はなく、ガラス転移点以下であれば高温環境下から常温に戻せばまた強度は元に戻ることになる。

### 【③-4 カーボンボルトの良品判定方法評価のための電氣的計測手法開発】

GFRP カーボンボルトについて、強度のばらつきが極めて大きな問題であった。この突発的な強度不足のサンプルと強度が高いサンプルを比較すると、外観の観察や重量測定では違いがない。そのため、強度不足品の発見が困難であるという問題が発生し、商品化に支障をきたすことが想定される。

カーボン製品の内部欠陥測定として、超音波による測定が一般であるが、ボルトのような表面が凹凸の場合、超音波による測定は困難である。

そのため、比誘電率を利用した内部欠陥測定方法を提案し、研究することとした。

比誘電率による測定は、コンクリート構造物の耐久性や健全度を確認するため、非破壊試験により構造物の性能・品質を検査する方法であり、研究が進んでいる分野である。

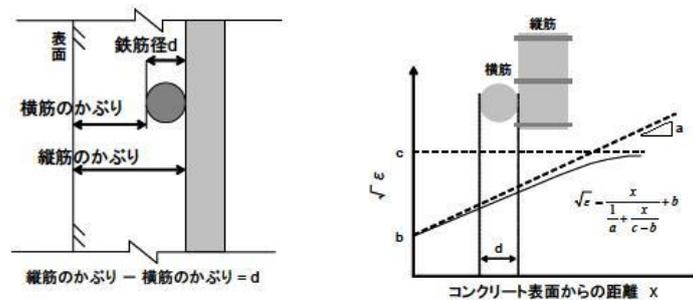


図 3-5 鉄筋の位置関係と、比誘電率分布の過程

測定方法を、図 3-6 に示す。

名古屋工業大学にて、カーボンボルトのボルト頭とネジ先端部をワニ口クリップにて誘電率測定装置とつなぎ、電流を流し、その抵抗を測定した。



図 3-6 比誘電率測定装置

その結果、図 3-7 のような測定結果であった。

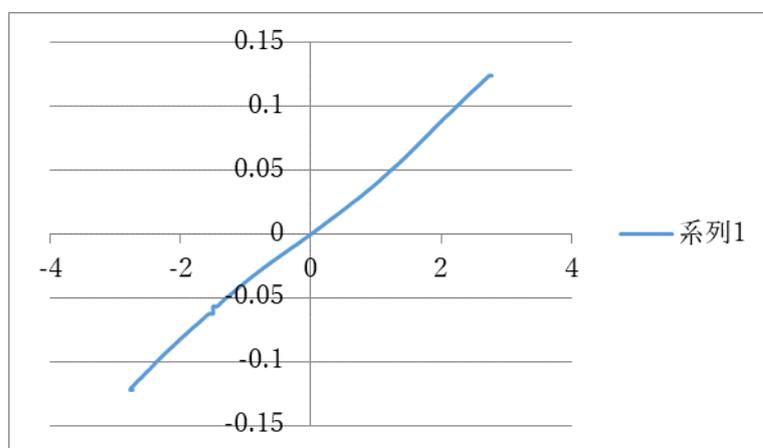


図 3-7

このグラフの傾斜のデータを蓄積し、強度不足品がどのような傾斜であるかを見出し、非破壊による合否基準推定することが可能であることを明らかにした。

#### ④さらなる低コスト化の実現

(実施機関:株式会社タカイコーポレーション、国立大学法人名古屋工業大学)

##### 【④-1】成型時間

研究当初は、1 個につき、30 分の成型時間が必要であった。これは、加熱をさせる金型を加熱用プレートに押しつけて、プレートから熱をもらうことにより成型温度に到達するような金型構造であった。これを金型に直接ヒータをいれることにより、成型温度の到達時間を短縮することに成功した。

さらに、研究当初は、ボルトを 1 個取りの金型構造であった。これを 4 個取りに変更し、より多く一度に成形できるようにした。

#### 【④-2】バリ取り

成形した際に、バリが発生している。このバリ取りを、研究当初は、切断機・旋盤などを使用、多数の工程で作業を行っていた。そのため、バリ取りの工程に、1個 15分の時間が必要であった。

そこで、図 3-4 バリ取りの専用機を製造し、成形品をワンチャックで加工ができるようにした。

これによって、1個 40秒に加工時間を達成し、目標である1個 1分を達成した。

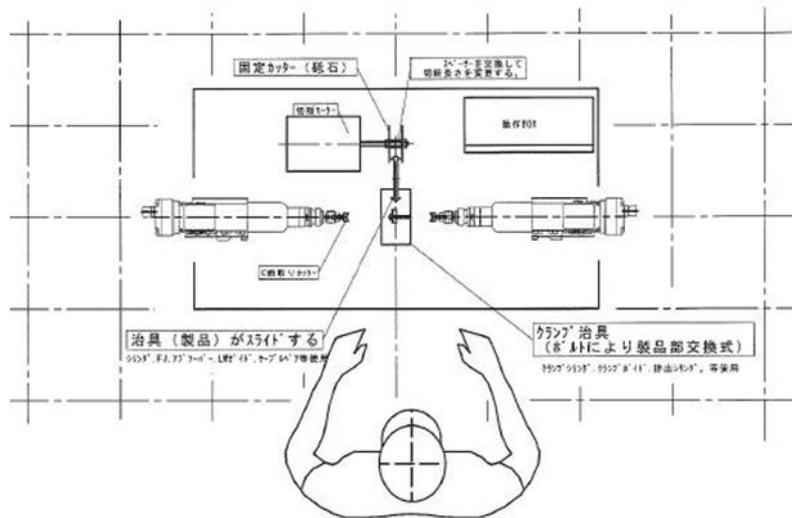


図 3-4

## 最終章 全体総括

### 「研究開発成果」

- 引張強度・引張破壊強度・ねじり破壊トルク:目標値の約2倍の強度を達成できた。
- ねじの緩み:PEEK 製と同等であったが、ほとんど緩まない結果であった。
- 耐薬品性:PEEK 製と同等以上であった
- 耐熱性:ガラス転移点は、130℃であり、実用温度(120℃)以上を満足している。
- 量産性:成形時間は、1個/10分を達成した。1個取りから、4個取りの研究を行い、課題を洗い出した。その後の研究は、本支援事業が終了後、タカイコーポレーションが自費にて行うこととする。
- 量産性:バリ取り時間は、研究当初は、1個/15分であったが、専用のバリ取り装置を製造することで、1個/40秒を達成した。

### 「研究開発後の課題」

- ねじ径がM8を主として研究していた。これを、他の大きさのねじも成形できるようにする。
- 繊維と樹脂を含浸する工程において、量産できる体制にする。

### 「事業化展開」

- カーボンボルトのブランディング化のために、「ボルタス」と名称をつけて、商標登録した。今後、展示会等で「ボルタス」の知名度をあげ、業界への浸透を促進する。
- 支援事業の期間内で、次の展示会に出展した。

- 2016年4月 ポートメッセ名古屋 第1回 名古屋機械要素技術展
- 2017年6月 東京ビックサイト 第21回 機械要素技術展
- 2018年1月 東京ビックサイト 第2回 ロボデックス展

これらの展示会で300件を超える名刺を入手したため、今後 量産化が可能となり次第、サンプル希望者を募り、評価を頂く予定。

また、具体的には次のような反響を得た。

- 食品製造ラインで、PEEK 製のねじを使用しており、その代替え
- 塗装工程で、シンナーが噴霧している雰囲気。PEEK 製ねじを使用しており、その代替え
- 薄幕デバイスラインで、フッ化水素水 50%の環境で、PEEK 製ねじを使用しており、その代

## 替え

- ゴンドラ製造会社で、海辺周辺ではステンレスでも腐食するため、その対策。
- X線非破壊装置メーカーで、X線の透過の対応で使いたい。
- スポーツ用品製造メーカーより、スポーツ用品の軽量化で使いたい
- 医療機器メーカーより、人骨の固定用に使いたい。

今後も、展示会に出展し、顧客のニーズをつかみ、販路を拡大する。

また、当社の取引先である大手ねじ商社が、本支援事業のアドバイザーとなっており、その商社も販売して頂くことになっている。この商社も、早期にホームページ等やカタログに掲載し、販路を拡大して頂けると確約いただいている。