

平成 27 年度採択
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

「CFRTP 専用ファスナーを用いた自動車用 CFRTP
と異種材料の革新的接合技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 5 月

担当局 四国経済産業局
補助事業者 公益財団法人とくしま産業振興機構

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 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	2
1-3	成果概要	4
1-4	当該研究開発の連絡窓口	5

第2章 研究内容及び成果

2-1	CFRTP 専用ファスナー（スタッド・ナット）の開発	
2-1-1	クリンチング形状および製造方法の検討	6
2-1-2	CFRTP 専用ファスナーの性能評価	7
2-2	CFRTP へのファスナー取付方法の検討	
2-2-1	圧入荷重およびファスナー加熱温度の最適化調査	7
2-2-2	下穴形状および加工方法の検討	8
2-2-3	簡易ファスナー取付け装置の開発	9
2-3	CFRTP との電気化学的性能評価および対策	
2-3-1	素材（鋼、真鍮、アルミ）毎の CFRTP に対する電食評価	11
2-3-2	ファスナーの電食対策	11
2-4	CFRTP 専用ファスナーの取外し方法の検討	
2-4-1	CFRTP 専用ファスナーの取外し装置の開発	12

第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	13
3-2	研究開発後の課題	14
3-3	事業化展開	14

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

自動車部材は薄肉で複雑形状を有する部品が多く、これら部品の接合には溶接ナットや溶接スタッドが大量に用いられる。溶接ナット（スタッド）は、文字通り雌ねじ（雄ねじ）加工が施されたナット（スタッド）を素材に溶接にて取付けるものであり、溶接作業が可能な鉄やアルミに対応したものである。

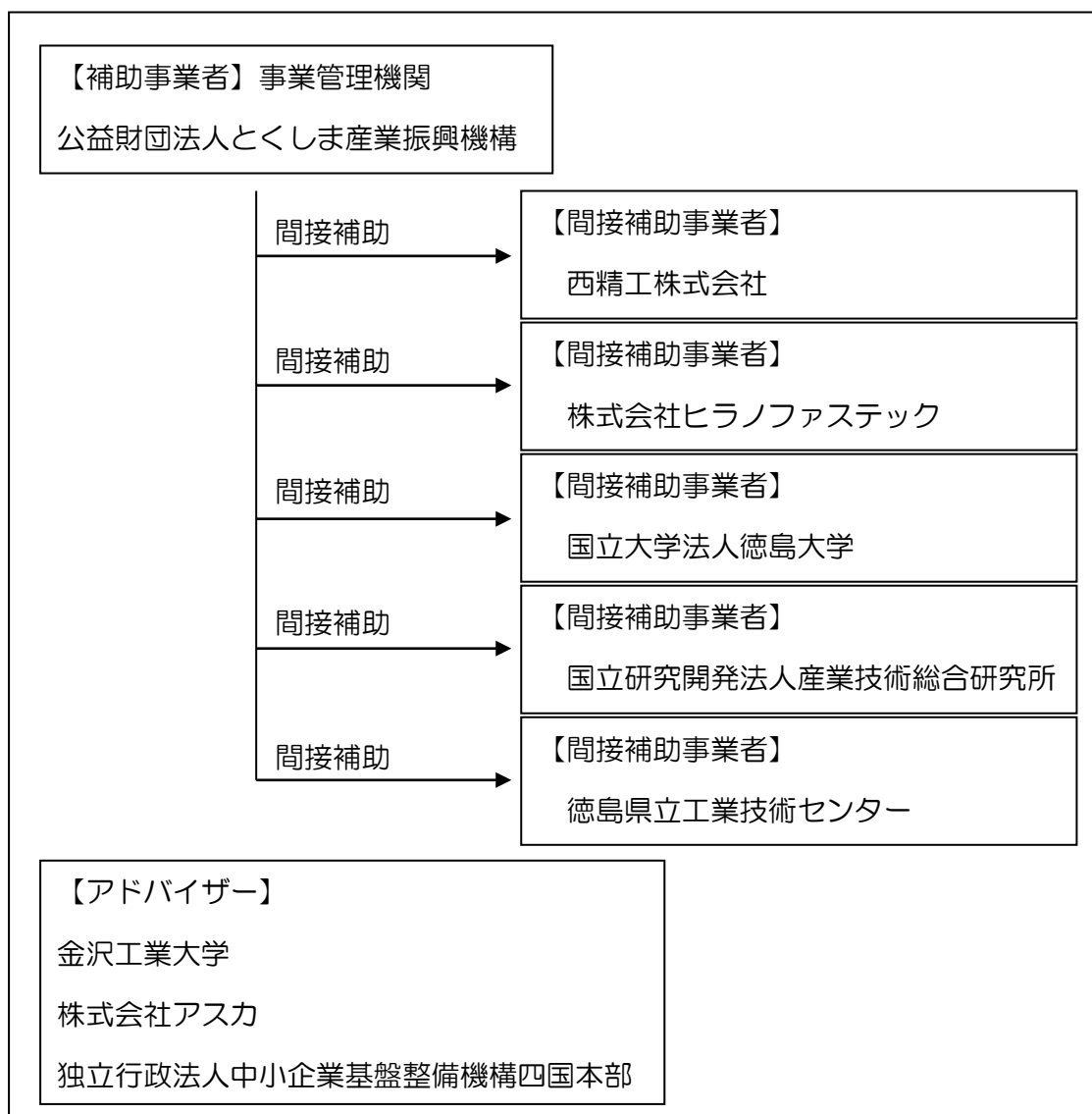
一方、環境に配慮した次世代自動車の重要性が増しており、次世代自動車戦略 2010 の政府目標では、2020 年の新車販売台数に占める次世代自動車の割合を 20～50%と設定している。次世代自動車に求められる技術課題のうち、燃費向上に直接寄与する極めて重要な課題が車体の軽量化であり、現在、炭素繊維複合材料（CFRP、CFRTP）が注目され、従来の鋼材からの積極的な転換が進んでいる。特に、成形に係るサイクルタイムの低減とリサイクルの観点から熱可塑性樹脂をマトリクスとする CFRTP の大量適用が考慮されている。

ここで、自動車部材に炭素繊維複合材料の利用が進んだ場合、従来法である溶接ナット（スタッド）による接合は困難であるため、車体メーカーから、難接合素材の部材接合を効率良く実施する新たな接合方法の開発を求められている。次世代自動車大量生産され汎用車になるためには、CFRP、CFRTP など軽量素材の製造コストと成形サイクルタイムの低減はもちろんのこと、部材接合にかかるサイクルタイムの低減、さらに、修理体制（自動車整備）や解体体制（リサイクル）を考慮した接合部の設計が不可欠であり、これらを満足する接合技術の開発が求められている。

本研究開発では、炭素繊維複合材料と鉄やアルミなどの異種材との接合に適した専用ファスナーの開発に取組み、特に、今後自動車素材として需要が伸びると予想されている CFRTP との接合に優れた製品開発を行う。専用ファスナーの開発には、CFRTP への高い密着力を有するクリンチング形状と安価に製造できる量産化技術、さらにファスナーを CFRTP に素早く取付ける方法（装置）を確立する必要がある。また、リサイクル性も考慮に入れ取付けおよび取外し作業が簡便に行えることが必要である。さらに、炭素繊維複合材料と金属材料の接合では電食による腐食の問題があり、ファスナーの防錆対策を実施するとともに電食を生じない絶縁コーティング膜の成膜についても取り組む。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制



(2) 管理員、研究者および協力者氏名

【事業管理機関】公益財団法人とくしま産業振興機構

氏名	所属・役職
露口 悦之	産学連携推進部・部長
小林 優太	産学連携推進部・主事

【研究実施機関】西精工株式会社

氏名	所属・役職	実施項目	備考
平田 武彦	常務取締役	【1-1】【1-2】 【2-3】【3-2】 【4-1】	PL

濱田 善仁	営業技術課・課長	【1-1】【1-2】 【2-3】【3-2】 【4-1】	
-------	----------	-----------------------------------	--

【研究実施機関】株式会社ヒラノファステック

氏名	所属・役職	実施項目	備考
平野 靖雄	代表取締役社長	【1-1】【1-2】	SL
平野 良典	専務取締役	【1-1】【1-2】	

【研究実施機関】国立大学法人徳島大学

氏名	所属・役職	実施項目	備考
高木 均	理工学部・教授	【1-2】	

【研究実施機関】国立研究開発法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施項目	備考
竹森 信	つくば西事業所環境管理研究部門資源選別プロセス研究グループ・主任研究員	【3-2】	
古屋仲 茂樹	つくば西事業所環境管理研究部門資源選別プロセス研究グループ・グループ長	【3-2】	
土屋 哲男	先進コーティング技術研究センター・副研究センター長	【3-2】	
山口 巖	先進コーティング技術研究センターグリーンデバイス材料研究チーム・主任研究員	【3-2】	

【研究実施機関】徳島県立工業技術センター

氏名	所属・役職	実施項目	備考
小川 仁	機械技術担当・研究係長	【2-1】【2-2】 【2-3】【4-1】	
松原 敏夫	機械技術担当・主任	【3-1】	

【アドバイザー】

氏名	所属・役職	協力内容
影山 裕史	金沢工業大学・教授	自動車部材における炭素繊維複合材料の市場および異種材接合における技術課題について助言
田中 義浩	株式会社アスカ・取締役社長	一般産業部品における炭素繊維複合材料の市場および異種材接合における技術課題について助言
野々村 俊夫	独立行政法人中小企業基盤整備機構四国本部・ものづくり支援チーフアドバイザー	各種プラスチック材料の特性および技術課題について助言

1-3 成果概要

研究開発の内容および技術的目標値	達成状況
【1】CFRTP 専用ファスナー（スタッド・ナット）の開発	
【1-1】クリンチング形状および製造方法の検討 CFRTP と高い密着力を発揮するファスナーのクリンチング形状を考案するとともに、量産化に対応すべく鍛造もしくは転造技術を用いた製造方法を確立する。	達成率 100% クリンチング形状の最適化とともに、鍛造および転造技術を用いた製造を実施した。
【1-2】CFRTP 専用ファスナーの性能評価 既存鋼材用の圧入ナットの強度規格（引抜強度、トルク強度）を満足する CFRTP 専用ファスナーを開発する。	達成率 80% 引抜強度は鋼材用ナットの強度規格を上回ったが、トルク強度は目標値に若干到達しておらず、金型の修正が必要である。
【2】CFRTP へのファスナー取付け方法の検討	
【2-1】圧入荷重およびファスナー加熱温度の最適値調査 CFRTP の組成（炭素繊維積層構造、マトリクス樹脂）の違いによるファスナーの最適圧入条件を決定する。	達成率 100% 数種類の CFRTP について取り組み、特にマトリクス樹脂の融点に応じて最適な加熱温度を決定した。
【2-2】下穴形状および加工方法の検討 CFRTP への下穴形状の違いによる取付け時の密着力を評価し、最適な下穴加工法および下穴形状を決定する。	達成率 100% 切削と打抜き加工について評価し、その形状による密着力の最適値を確認した。
【2-3】簡易ファスナー取付け装置の開発 ファスナー1 個の取付け時間を 3 秒以内で実施する取付け方法および取付け装置を開発する。	達成率 100% 高周波誘導加熱および超音波振動を用いた圧入方法について取り組み、いずれも 3 秒以内で圧入できた。
【3】CFRTP との電気化学的性能評価および対策	
【3-1】素材（鋼、真鍮、アルミ）毎の CFRTP に対する電食評価 CFRTP の組成（炭素繊維積層構造、マトリクス樹脂）と各種金属材料の組合せによる金属材料の電食量を測定する。	達成率 100% 電食量評価装置を試作し、各種金属材料と CFRTP との電食量を評価した。
【3-2】ファスナーの電食対策 専用ファスナーを CFRTP に取付けた際の接合面の電食量をゼロとする。	達成率 100% ファスナーの防錆対策を実施すると共に、電食量をゼロとする絶縁性コーティングの成膜を実現した。
【4】CFRTP 専用ファスナーの取外し方法の検討	
【4-1】CFRTP 専用ファスナーの取外し装置の開発 ファスナー1 個の取外し時間を 1 秒以内で実施する専用装置（工具）の開発を行う。	達成率 100% 手持ち型専用工具を開発し、1 秒以内でのファスナー取外しを確認した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人とくしま産業振興機構 産学連携推進部 主事 小林 優太

TEL：088-669-4757 FAX：088-669-4759

e-mail：y-kobayashi@our-think.or.jp

【法認定機関】

西精工株式会社 営業技術課 課長 濱田 善仁

TEL：088-631-7177 FAX：088-632-7626

e-mail：y-hamada@nishi-seiko.co.jp

第2章 研究内容および成果

2-1 CFRTP 専用ファスナー（スタッド・ナット）の開発

2-1-1 クリンチング形状および製造方法の検討

本研究グループでは、既に溶接ナットの代替えとして金属材料に圧入するファスナーを製造しており、開発する CFRTP 専用ファスナーは、既存圧入ファスナーのシャンクレングス（図 1 における s ）およびナール形状を最適化し、CFRTP と高い密着力を有するファスナーを開発するものである。初めに切削品による試作を繰り返し（図 2a）、図 3a）、形状の最適化を行った後、金型を用いた量産化および低コスト化を図った（図 2b)c）、図 3b)）。

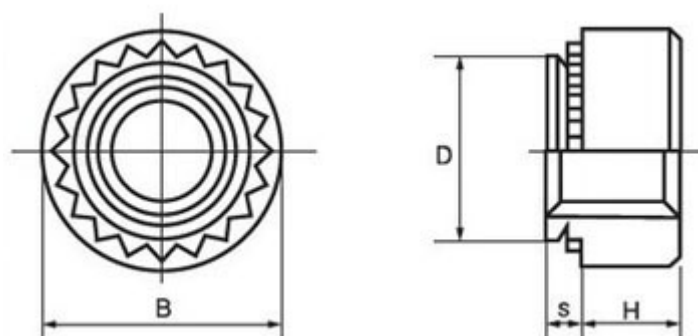


図 1 CFRTP 専用ファスナー（ナット）の概要



a) 切削品 b) 鍛造品 c) 鍛造品（防錆処理）

図 2 開発した CFRTP 専用ファスナー（ナット）



a) 切削品 b) 鍛造品

図 3 開発した CFRTP 専用ファスナー（スタッド）

2-1-2 CFRTP 専用ファスナーの性能評価

図 4 に開発した CFRTP 専用ファスナーの CFRTP 取付け状態を示す。クリンチング形状や取付け条件により密着力は異なり、図 5 に示すプッシュアウト試験（引抜強さ）およびトルクアウト試験（回し強さ）によりその密着力を評価した。また、開発するファスナーは自動車用途を考えており、高温高湿環境下での腐食試験、さらに、冷熱衝撃試験（ -40°C $\leftrightarrow$ 120°C 、1000 サイクル）と振動試験を実施した結果、既存鋼材用の圧入ナットの強度規格を満足する密着力が得られた。

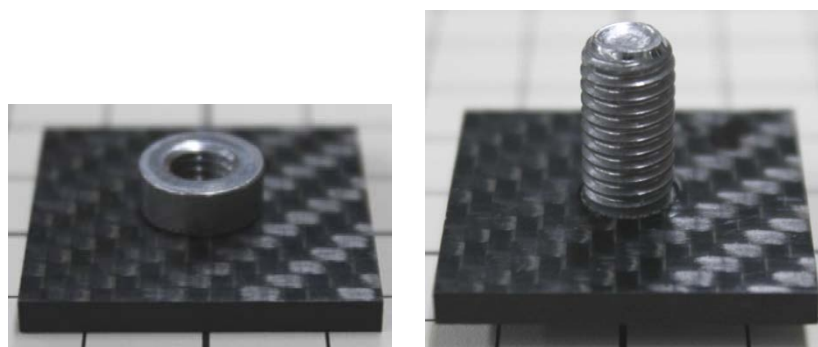


図 4 CFRTP に取付けた専用ファスナー

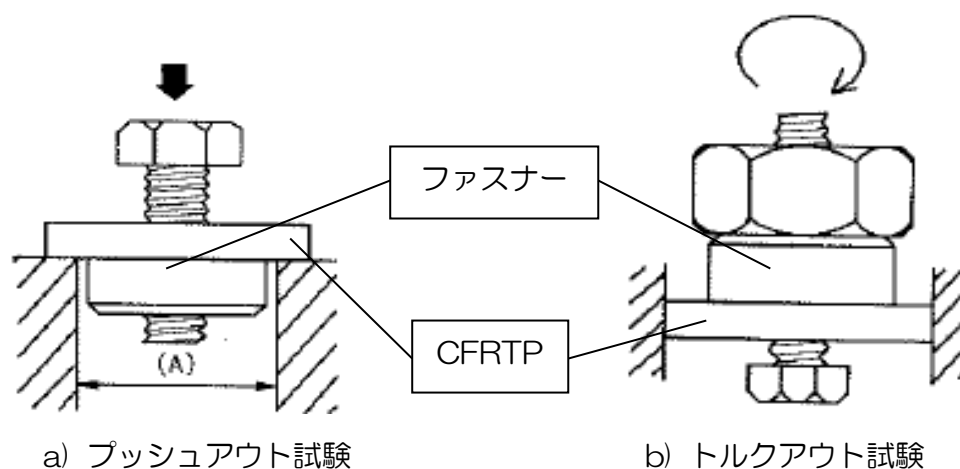


図 5 CFRTP との密着力評価

2-2 CFRTP へのファスナー取付方法の検討

2-2-1 圧入荷重およびファスナー加熱温度の最適化調査

CFRTP との高い密着力を有するためにはファスナー形状の最適化と共に圧入条件の最適化が必要である。CFRTP はマトリクス樹脂に熱可塑性樹脂を用いており、マトリクス樹脂のファスナーへの溶着、さらに、溶融したマトリクス樹脂に追従して炭素繊維がクリンチング部隙間に流入することにより密着力が向上する。よって、マトリクス樹脂の種類により最

適な圧入温度が存在する。図 6 は PA66 をマトリクス樹脂とする綾織の CFRTP について、ファスナーの加熱温度を変化させた場合の引抜強さ（プッシュアウト強度）を示したものであり、ファスナー加熱温度により密着力は変化することが確認できた。

研究開発期間内で様々な CFRTP について調査した結果、最も高い密着力を有した素材は熱可塑エポキシ樹脂をマトリクス樹脂にもつ長繊維ランダム材であり、そのプッシュアウト力は M6 サイズのナットの場合 1947N（目標値 1760N）であった。

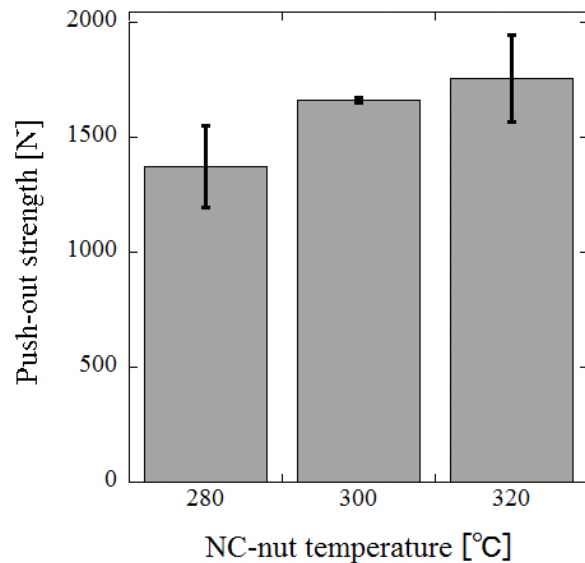


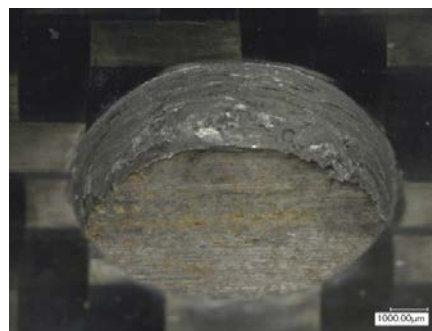
図 6 ファスナー加熱温度の違いによる引抜強さ（M6 サイズのナット）

2-2-2 下穴形状および加工方法の検討

開発する専用ファスナーは下穴を設けた CFRTP に加熱圧入するものであり、下穴加工法および下穴形状の違いによる密着力を評価した。下穴加工法については切削加工とプレス（打抜き）加工について比較した。図 7 は加工方法の違いによる下穴の状態である。切削加工では加工入口部と出口部の表面性状に大きな差は見られないものの、プレス加工では出口側（抜け側）において破断面の表面粗さが悪く、バリやかえりが見られる。また、出口側の穴径は入り口側に比べ大きくなっており、出口側からファスナーを圧入した場合、ファスナーとの密着力が低下することが確認できた。



a) 切削加工



b) プレス加工

図 7 加工方法の違いによる下穴の概要

また、図 7 に PA66 をマトリクス樹脂とする綾織の CFRTP に対して M6 サイズのナットを圧入した場合の下穴径と引抜強さの関係をを示す。下穴径の縮小と共に引抜強さが増す。下穴径の縮小により、ナットに設けたナール部およびテーパシャンク部への溶融したマトリクス樹脂が流入量が増加しているものと考えられる。なお、穴径の縮小と共に圧入荷重も増加し、下穴径が 8.6mm を下回ると圧入荷重は急激に上昇する。

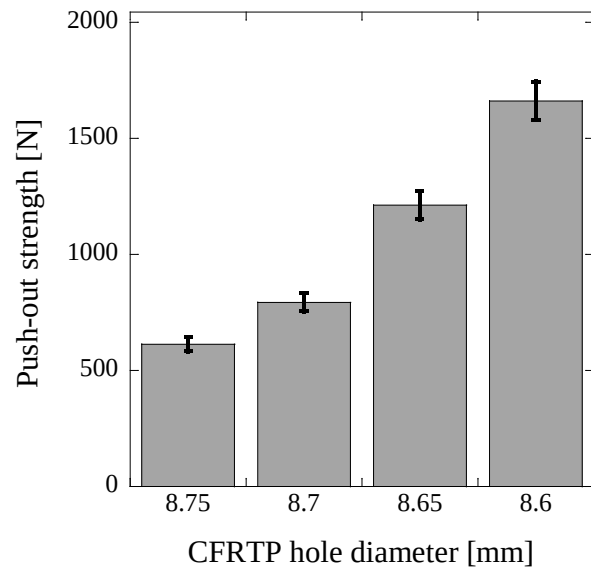


図 7 下穴径の違いによる引抜強さ

2-2-3 簡易ファスナー取付け装置の開発

本研究開発ではファスナーの CFRTP への圧入に対して、高周波誘導加熱方式と超音波振動方式について取り組んだ。高周波誘導加熱方式は図 8 に示すようにファスナーを急速加熱する高周波誘導加熱装置（最高出力 20kW）と加圧機構を有するプレス装置（ハンドプレス、電動サーボプレス）から構成されており、図 9 に示すように加熱コイルとファスナーを加圧する圧子（セラミックス棒）は同軸上に設置されている。コイル内で CFRTP の融点以上にファスナーを加熱した直後、セラミックス棒を下降させ CFRTP に圧入する。



a) 高周波誘導加熱装置



b) ハンドプレス

図 8 高周波誘導加熱圧入装置

また、マトリクス樹脂により融点は異なるため、それぞれの素材に応じて出力や加熱時間を調整することでファスナーを目的とする温度に加熱することが可能である。

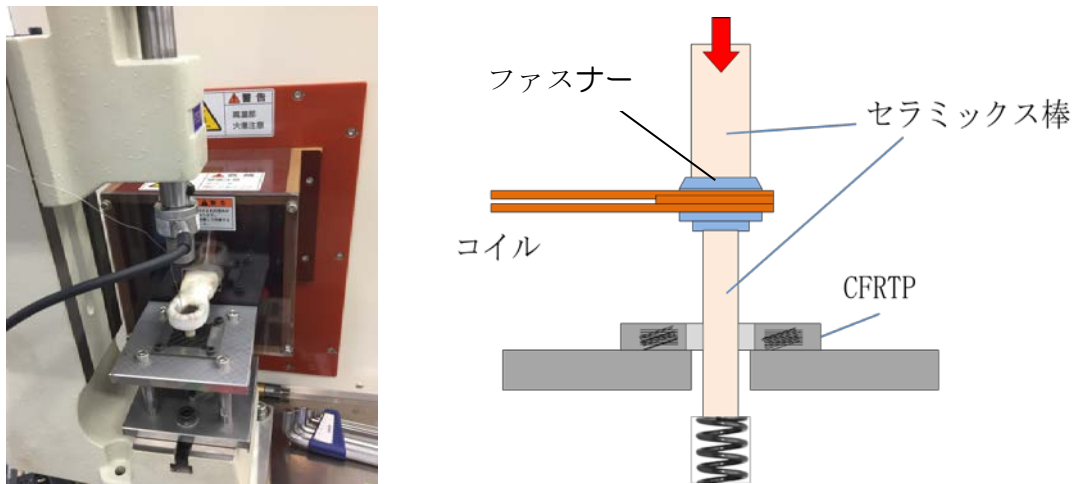
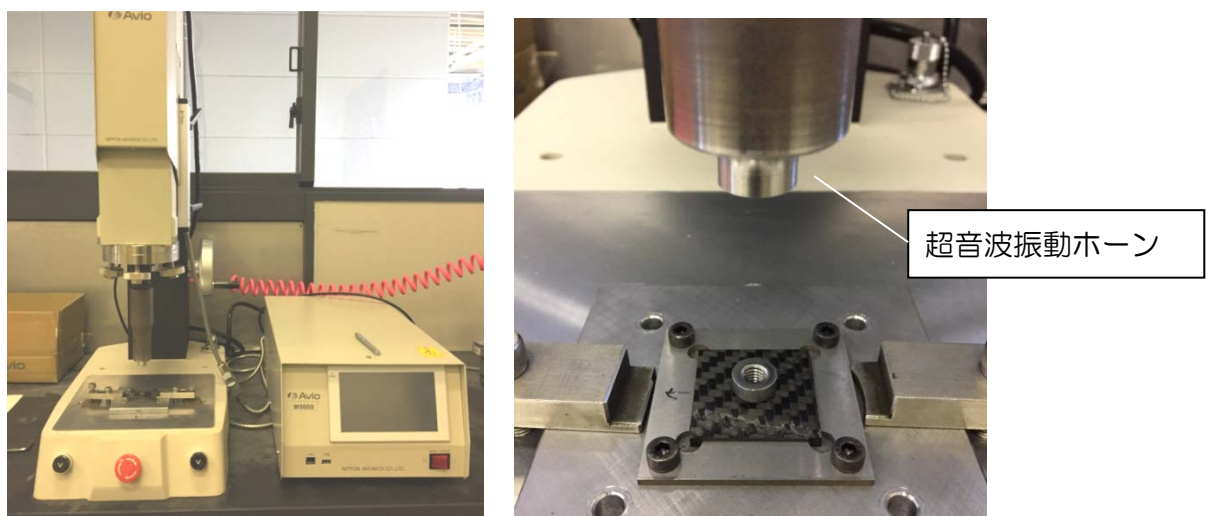


図 9 高周波誘導加熱方式の原理

一方、超音波振動方式は図 10 に示すように、超音波圧入装置を用いてファスナーの圧入を行うものである。20 kHz の周波数で振動するホーンの下部に下穴を設けた CFRTP を設置し、その上にファスナーを乗せる。超音波振動を重畳させながら、ホーンがファスナーと接触することでファスナーが振動し、ファスナー側面と CFRTP に設けた下穴の側面とで摩擦熱が発生し、マトリクス樹脂が溶融しながらファスナーが圧入される。

高周波誘導加熱方式および超音波振動方式のいずれの方式も最適条件を選定することでファスナー圧入に係る時間を 3 秒以内に抑えることができた。特に、超音波振動方式では 1 秒以内に圧入することが可能であった。



装置全体

加圧部

図 10 超音波圧入装置の概要

2-3 CFRTP との電気化学的性能評価および対策

2-3-1 素材（鋼、真鍮、アルミ）毎の CFRTP に対する電食評価

各種金属材料と CFRTP 間での電食量（時間ごとの電流密度）の測定のため、図 11 に示す評価装置を作製した。カソード側に CFRTP、アノード側に各種金属材料を取付け両極間で生じるガルバニック電流を無抵抗電流計により測定する。一般的に、各種金属材料と CFRTP 間での電流密度は、時間と共に金属が溶解し電流密度が低下していく。

表 1 に各種金属材料と CFRTP 間での 24 時間後の電流密度の違いを示す。

CFRTP の主構成要素である炭素との電位差が大きい Fe（鉄）やアルミ（Al）の電食量は多く、銅と銅合金（Cu、Cu-Zn）やステンレス鋼は電食量が少ないことが確認できた。



図 11 電食評価装置の概要

表 1 各種金属材料と CFRTP 間の電流密度の違い

金属	24 時間後の電流密度 ($\mu\text{A}/\text{mm}^2$)
Fe(SPCC)	1.0~1.2
Al(A5052)	1.1~1.3
Cu-Zn(C2801)	0.2~0.25
Cu(C1220)	0.06~0.08
ステンレス鋼(SUS304)	0.01~0.02

2-3-2 ファスナーの電食対策

電食の抑制対策として、ファスナー素材に炭素繊維との電位差が小さい真鍮を用いることで腐食が抑制できるものの、真鍮はファスナーで一般的な鉄系（軟鋼）と比べ価格が高く、また、冷間鍛造時において金型に与える負荷が大きい。そこで、電食対策としてファスナー表面に絶縁効果の高い防錆処理（ジオメット処理）を施した。本処理は Zn および Al 箔を Si 系の無機バインダーで結合させたものであり、鉄系素材の表面に数ミクロンの防錆皮膜を成膜する。本処理の防錆効果は高く、高温高湿環境下でのファスナー表面に生じる錆を抑制できる。

一方、ジオメット処理は防錆効果を示すものの、絶縁皮膜ではないため炭素繊維とファスナーでは電位差が生じ長期的には腐食が発生する恐れがある。そこで、ファスナー表面に

MOD(Metal Organic Deposition)法を用いた絶縁性コーティングの成膜について検討した。シリカ、アルミナ等の絶縁酸化物の溶液、スラリーを種々の方法で、コーティングし、熱処理または光照射によって成膜し、絶縁性を評価した。

平板上へのスピンのコーティングによる皮膜では、テスターによって導電性がないことが確認できた。しかし、ナットのような複雑な形状への均一なコーティングは困難であった。そこで、電氣的な手法を用いたコーティングを検討した。アルミナスラリーを電氣的に吸着させることでナット上に堆積させ、熱処理により製膜した。図12のSEM像に示すように、ナットの複雑形状に合わせて、均一にコーティングできていることがわかった。エッジ部分、凹んだ部分ともに緻密な膜が製膜されている。テスターによる絶縁性も良好であった。

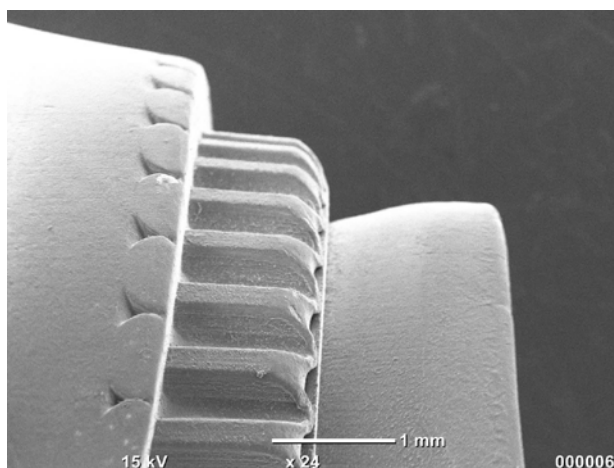


図 12 ファスナー表面への絶縁コーティング

2-4 CFRTP 専用ファスナーの取外し方法の検討

2-4-1 CFRTP 専用ファスナーの取外し装置の開発

CFRTP に取付けられたファスナーを取外す専用装置（図 13）を開発した。市販する電動ドライバーの先端に専用治具を取付け、ファスナーに設けられた雌ねじ（雄ねじ）に軸力を与え CFRTP から取外す。ファスナーの取外し時間は 1 秒以内である。



図 13 ファスナー取外し装置の概要

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

本研究開発により、以下の成果が得られた。

【1】CFRTP 専用ファスナー（スタッド・ナット）の開発

【1-1】クリンチング形状および製造方法の検討

切削加工によるファスナーの試作を繰り返し、CFRTP との密着力の高いクリンチング形状の最適化を実施した。その後、金型を用いた鍛造および転造技術を用いた製作を実施し、開発ファスナーの量産化および低価格化を実現した。

【1-2】CFRTP 専用ファスナーの性能評価

引抜強度（プッシュアウト力）やトルク強度（トルクアウト力）等の密着力評価のみならず、実際に自動車に適用された場合を想定して、高温高湿環境下、冷熱サイクルが品質に及ぼす影響を評価し、既存鋼材用圧入ファスナーの強度規格をほぼクリアする性能が得られた。

【2】CFRTP へのファスナー取付方法の検討

【2-1】圧入荷重およびファスナー加熱温度の最適化調査

高周波誘導加熱方式および超音波振動方式について取り組み、CFRTP の違いにより最適圧入条件があることが確認できた。特にマトリクス樹脂に熱可塑エポキシ樹脂を用いた場合、極めて大きな密着力が得られ、引抜強度は目標値を大きく上回る結果となった。トルクアウト力は目標値に達しておらず、ナール部の改良が必要であると考えられる。

【2-2】簡易ファスナー取付け装置の開発

高周波誘導加熱方式および超音波振動方式について取り組み、いずれの圧入方法についても 3 秒以内でファスナーを圧入することが可能である。特に、超音波振動方式では 1 秒以内で圧入が可能であり、目標とする 3 秒以内を大きく上回った。

【3】CFRTP との電気化学的性能評価

【3-1】素材（鋼、真鍮、アルミ）毎の CFRTP に対する電食評価

CFRTP と各種金属材料に発生する微量電流の検出による電食評価装置を試作し、電食量を評価した。

【3-2】ファスナーの電食対策

電食の抑制対策として、ファスナー表面に絶縁効果の高い防錆処理（ジオメット処理）を施した。また、炭素繊維と腐食電位の近い真鍮材料を使用することでの電食対策を実施した。どちらの方法も有効であるが、よりコストメリットのあるジオメット処理をすることで

CFRTP 専用ファスナーの製品実現に至った。さらに、より電食に効果を示す絶縁膜の成膜について検討した結果アルミナスラリーをファスナー表面に電氣的に吸着させることにより、均一な絶縁皮膜のコーティングが出来た。

【4】 CFRTP 専用ファスナーの取外し方法の検討

【4-1】 CFRTP 専用ファスナーの取外し装置の開発

ファスナーを CFRTP から 1 秒以内に簡易に取り外すことが可能な手持ち型専用工具を開発した。

3-2 研究開発後の課題

研究開発当初に設定した目標値の大半はクリアしたものの、CFRTP との密着力のうちトルク強度（トルクアウト強度）がわずかに目標値に達していない。金型を見直し、目標値をクリアできるようファスナー形状の最適化を行う計画である。

一方、CFRTP の密着力はファスナーのクリンチング形状以外に CFRTP の種類により変化する。現状では CFRTP の研究開発が様々な機関で進められており、マトリクス樹脂や炭素繊維の繊維長および成形方法は多岐にわたる。このような状況の下、本研究成果のターゲットとする CFRTP の選定が完了していない。このため、今後、自動車市場、さらに CFRTP の研究開発動向の調査を継続して行い、本格的な採用時期に対応しておく必要があると考えられる。

3-3 事業化展開

開発するファスナーは、CFRTP の活用が見込まれる次世代自動車への適用を検討している。平成29年度に自動車用 CFRTP の市場動向調査の一環として、自動車関連企業の視察の多い展示会にて、開発した CFRTP 専用ファスナーの PR を実施した。図 14 に展示ブースの状況を示す。その結果、トヨタ自動車をはじめとする多くの自動車メーカーの訪問もあり、本研究で進めている部品同士をつなぐ機械的接合技術の開発が必要であると市場のニーズが把握でき、本研究内容の事業化展開に向けた将来性を確認できた。

CFRTP は自動車用途において 2020 年から 2025 年にかけて採用が進み、その後急速に市場に普及されると予想されている。このような背景から、いち早く機械締結用の専用ファスナーの開発を手掛けたことは極めて有益であった。



図 14 出展ブースの状況

(第 8 回クルマの軽量化技術展、2018,1,17～19、東京ビックサイト)