

平成27年度革新的なものづくり産業創出連携促進事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「低コストと超軽量化を同時に実現するCFRP

(炭素繊維強化プラスチック) 製バス部品の開発」

研究開発成果報告書

平成28年 3月

委託者 四国経済産業局

委託先 公益財団法人えひめ産業振興財団



[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	2
1-3 成果概要	7
①耐熱性に対応した最適CFRP材及びその成形方法の選定	7
①-1 試験片作成	
①-2 高温強度試験	
①-3 耐熱性検証	
②一体成形のための製品設計	7
②-1 最適板厚の研究	
②-2 剛性を確保する非意匠面形状の設計	
②-3 設計部品の強度解析	
②-4 インサート成形部の接合強度解析	
②-5 部品の熱変形（ひずみ）解析	
②-6 ②-1～②-5を繰り返し、解析最適製品形状の確定	
②-7 ③・④にて取得する現物部品の評価検証	
③最適CFRP材での量産を実現する金型製造技術の開発	8
③-1 安定した温度分布を実現する最適金型材質	
③-2 金型の急速昇温・急速冷却機構の開発	
③-3 金型熱膨張解析	
③-4 金型強度解析	
③-5 金型構造設計	
③-6 金型製作	
③-7 試し打ち	
③-8 ③-7後の金型補正	
④量産化のための自動化装置の開発	9
④-1 CFRP加熱装置の設計	
④-2 CFRP加熱装置の製作	
④-3 CFRP加熱装置の調整と安定稼働	
⑤スチール材からCFRP材への代替時における コストシミュレーション手法の確立	9
⑤-1 ①～④の実績コスト集計の分析	
⑤-2 計算手法の確立（ABC手法とタグチメソッドを基盤に検討）	
⑤-3 システム開発	
⑤-4 運用とブラッシュアップ	
⑥プロジェクトの管理・運営	10
⑥-1 研究全体の総括	
⑥-2 進捗管理	
⑥-3 研究推進会議の開催	
⑥-4 報告書とりまとめ	

1-4 該当研究開発の連絡窓口	10
-----------------	----

## 第2章 本論

①耐熱性に対応した最適CFRP材及びその成形方法の選定	11
①-1 試験片作成	11
①-2 高温強度試験	14
①-3 耐熱性検証	16
②一体成形のための製品設計	19
②-1 最適板厚の研究	19
②-2 剛性を確保する非意匠面形状の設計	20
②-3 設計部品の強度解析	20
②-4 インサート成形部の接合強度解析	21
②-5 部品の熱変形（ひずみ）解析	23
②-6 ②-1～②-5を繰り返し、解析最適製品形状の確定	23
②-7 ③・④にて取得する現物部品の評価検証	24
③最適CFRP材での量産を実現する金型製造技術の開発	27
③-1 安定した温度分布を実現する最適金型材質	27
③-2 金型の急速昇温・急速冷却機構の開発	28
③-3 金型熱膨張解析	31
③-4 金型強度解析	31
③-5 金型構造設計	32
③-6 金型製作	32
③-7 試し打ち	38
③-8 ③-7後の金型補正	40
④量産化のための自動化装置の開発	42
④-1 CFRP加熱装置の設計	42
④-2 CFRP加熱装置の製作	43
④-3 CFRP加熱装置の調整と安定稼働	44
⑤スチール材からCFRP材への代替時における コストシミュレーション手法の確立	46
⑤-1 ①～④の実績コスト集計の分析	46
⑤-2 計算手法の確立（ABC手法とタグチメソッドを基盤に検討）	46
⑤-3 システム開発	47
⑤-4 運用とブラッシュアップ	47
用語説明	48

第3章 全体総括	49
----------	----

# 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

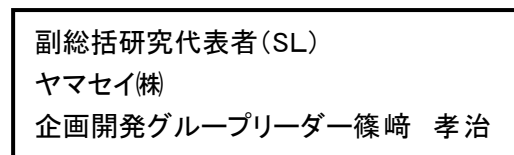
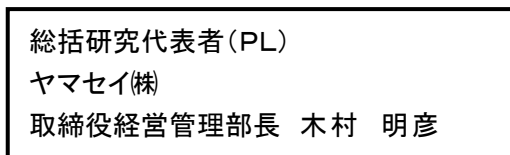
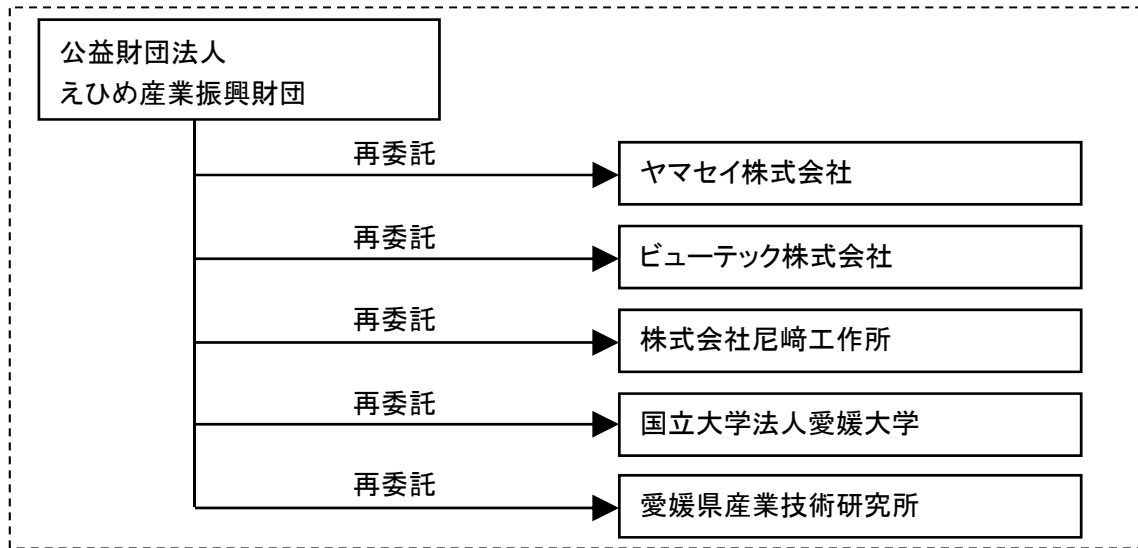
自動車産業界、特にバス業界からは日々『軽量化』を求められている。その有効な解決策としてCFRP（炭素繊維強化プラスチック）材が注目されているが、量産車の外板部品としての採用には至っていない。その最大の理由として「材料のコスト高」が挙げられる。競合材料は金属材（鉄・アルミ・チタン）になるが、単位重量あたりの価格は鉄の約40倍も必要である。（但し、比重は1/4なので実質価格比は約10倍）。しかしながら、航空機や高級スポーツカーに採用されるなど、材料特性面（高強度・軽量化）で優れた効果があることは明白である。

### 2) 研究の概要

材料価格のコストダウンは材料メーカー（川上産業）の範疇である。川上産業の様々な研究開発に期待はするものの、川中製造業の立ち位置からこの課題に全力で取り組む。川中製造業の専門分野は自動車部品の構造設計とその生産プロセスの設計（製造）である。本開発は、ヤマセイ㈱のプレス成形技術、ビューテック㈱のプラスチック射出成形技術と自動車部品量産技術、さらに量産には欠かすことのできない尼崎工作所の自動化装置製造技術を掛けあわせ、CFRPを採用した自動車部品構造とその製造プロセスの革新を実現する。これらの革新技术を実現することで「材料コスト高」という課題を解決し、自動車産業・バス産業をはじめとした輸送機器産業の「軽量化」に貢献する。

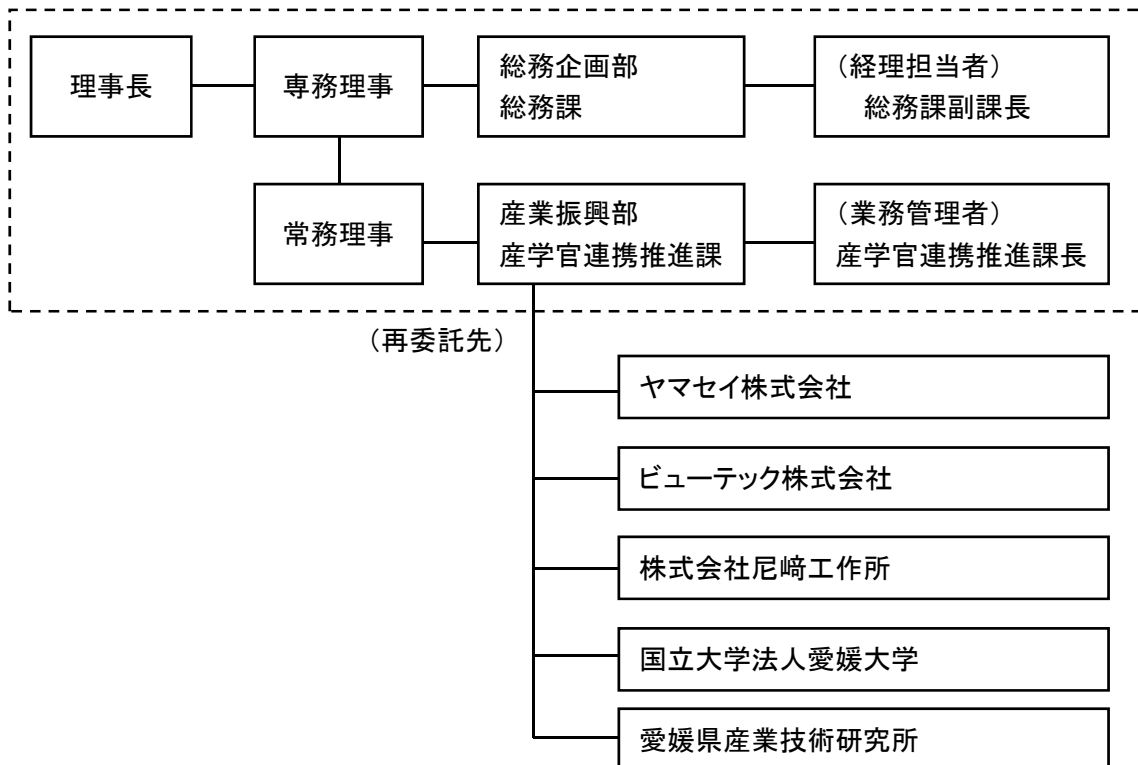
## 1-2 研究体制

### 1) 研究組織 (全体)



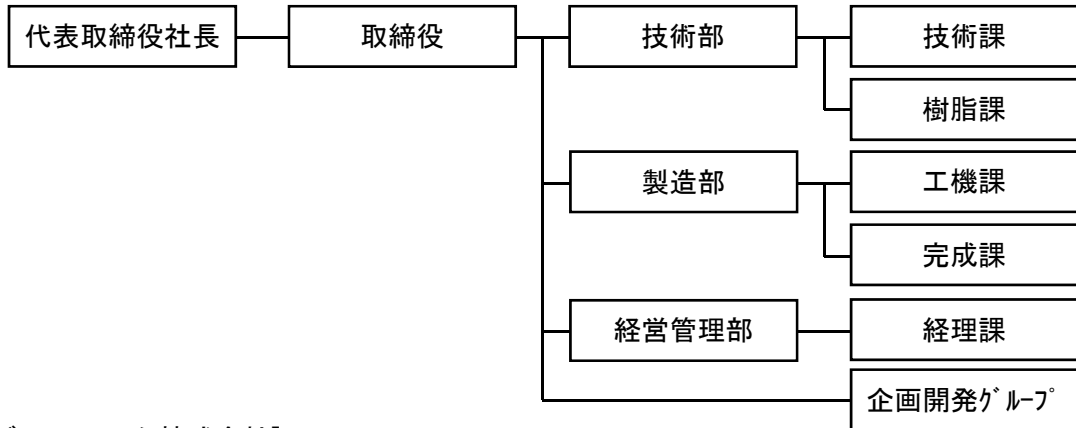
### 2) 管理体制

【事業管理者】公益財団法人えひめ産業振興財団

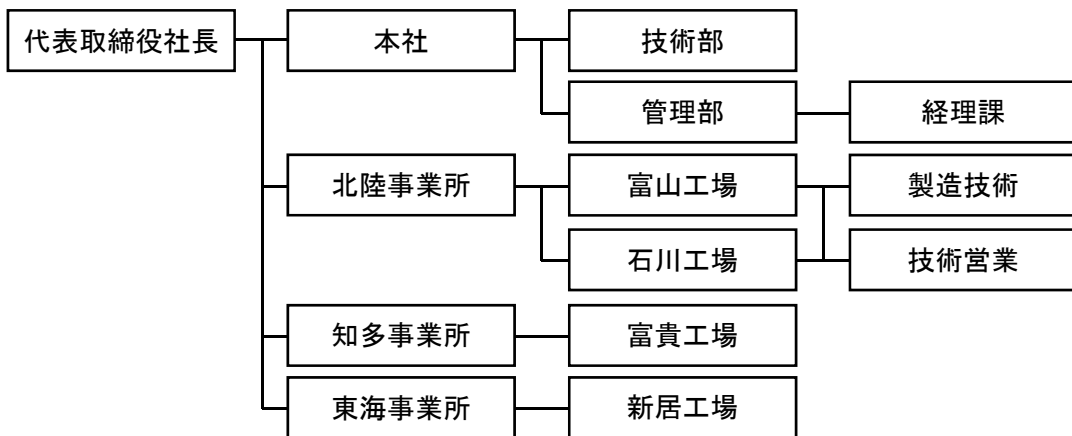


【再委託先】

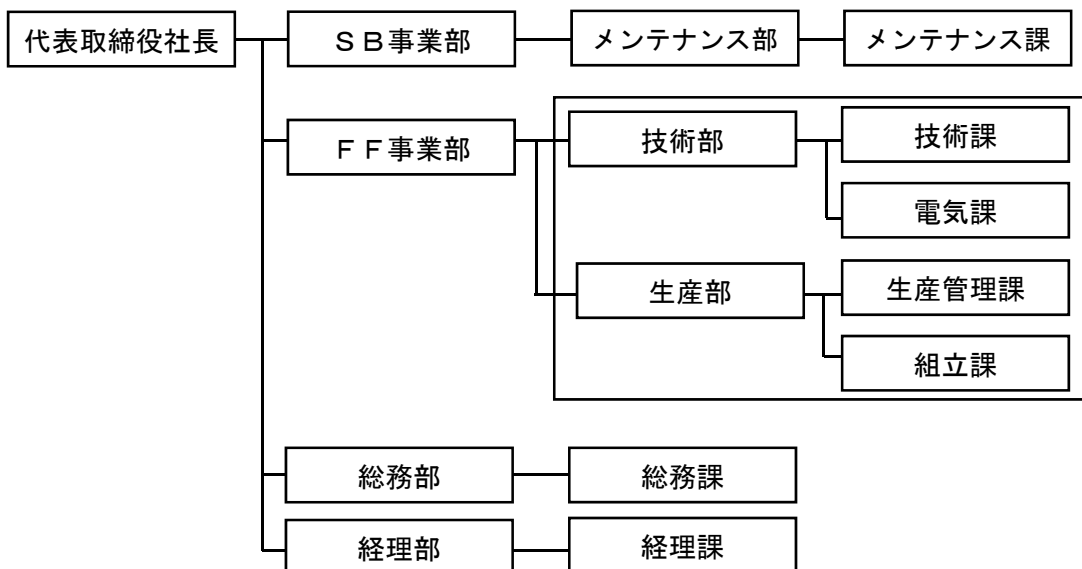
[ヤマセイ株式会社]



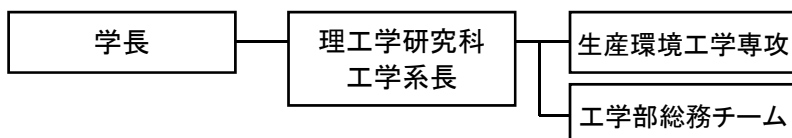
[ビューテック株式会社]



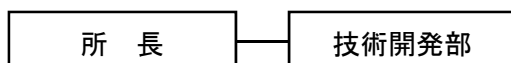
[株式会社尼崎工作所]



[国立大学法人愛媛大学]



[愛媛県産業技術研究所]



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】公益財団法人えひめ産業振興財団  
管理員

氏名	所属・役職
玉井 浩二	産業振興部 産学官連携推進課 課長
清家 さつみ	総務企画部 総務課 副課長
秋元 英二	産業振興部 産学官連携推進課 専門員
明賀 久弥	産業振興部 産学官連携推進課 主任
明上 奈緒美	産業振興部 産学官連携推進課 プロジェクト管理員
越智 直美	産業振興部 産学官連携推進課 プロジェクト管理員

【再委託先】※研究員のみ  
ヤマセイ株式会社

氏名	所属・役職
前川 敏行	専務取締役
木村 明彦	取締役 経営管理部 部長
藤田 和男	技術部 部長
鵜籠 努	技術部 技術課 課長
森川 清司	技術部 樹脂課 課長
武田 秀徳	技術部 樹脂課 技術係 係長
山中 英明	製造部 部長
宇野 正志	製造部 次長
山下 明	製造部 工機課 課長
吉田 壮志	製造部 工機課 一般機械係 係長
白石 仁	製造部 工機課 高速機械係 係長
亀岡 誠	製造部 完成課 課長
曾我部 哲和	製造部 完成課 樹脂係 係長
篠崎 孝治	企画開発グループリーダー



武田 正也	企画開発グループ サブリーダー
-------	-----------------

ビューテック株式会社

氏 名	所属・役職
鈴木 和重	北陸事業所 所長代理 兼 富山工場 工場長
小森 六甲	北陸事業所 石川工場 工場長
渡辺 倫三	東海事業所 新居工場 工場長
篠崎 慎哉	東海事業所 富貴工場 工場長
澤田 知人	本社技術部 主幹技師
山田 伸明	本社技術部 主任補佐
塚本 順司	北陸事業所 チーフエンジニア
村松 豊	北陸事業所 石川工場 製造技術
西川 剛司	北陸事業所 製造課 技術営業

株式会社尼崎工作所

氏 名	所属・役職
山本 晶夫	S B事業部 部長
平野 和也	生産部 部長代理 兼 生産部 生産管理課
井上 龍彦	F F事業部 技術部 技術課
高山 達也	S B事業部 メンテナンス部 メンテナンス課
赤堀 純一	S B事業部 メンテナンス部 メンテナンス課
柴田 勲	F F事業部 生産部 組立課 課長
泉谷 仁也	S B事業部 商品課
仲田 昌幸	F F事業部 生産部 組立課
池田 正道	F F事業部 技術部 電気課 課長
林 耕志朗	F F事業部 技術部 電気課 主任
野々上 栄一	F F事業部 技術部 電気課

国立大学法人 愛媛大学

氏名	所属・役職
黄木 景二	愛媛大学大学院理工学研究科 教授
高橋 学	愛媛大学大学院理工学研究科 教授

愛媛県産業技術研究所

氏名	所属・役職
藤本 俊二	技術開発部 主任研究員
仙波 浩雅	技術開発部 主任研究員

アドバイザー

氏名	所属・役職
本間 雅登	東レ(株) 複合材料研究所 研究主幹
青野 洋一	愛媛県産業技術研究所 紙産業技術センター技術支援室長

4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人えひめ産業振興財団

(経理担当者) 総務企画部 総務課 副課長 清家 さつみ  
 (業務管理者) 産業振興部 産学官連携推進課 課長 玉井 浩二

(再委託先)

ヤマセイ株式会社

(経理担当者) 経営管理部 経理課 経理係 岡田 哲也  
 (業務管理者) 経営管理部 経理課 課長 影浦 孝志

ビューテック株式会社

(経理担当者) 管理部 経理課 課長補佐 松坂 謙一郎  
 (業務管理者) 管理部 部長代理 原 章彦

株式会社尼崎工作所

(経理担当者) 経理部 経理課 課長 板倉 克揮  
 (業務管理者) 総務部 総務課 課長 日比野 義郎

国立大学法人 愛媛大学

(経理担当者) 工学部事務課総務チーム課員 八木 容子  
 (業務管理者) 理工学研究科生産環境工学専攻教授 黄木 景二

愛媛県産業技術研究所

(経理担当者) 企画管理部 管理係長 城下 厚  
 (業務管理者) 技術開発部 部長 友近 宏

### 1-3 成果概要

#### ① 耐熱性に対応した最適CFRP材及びその成形方法の選定

力学的試験にて現行材・代替材・競合材の物性値を求め、要件を満たす代替材及びその成形工法を選定した。

##### ①-1 試験片作成

現行材・代替材・競合材をそれぞれISO<sup>(注1)</sup>又はJIS<sup>(注2)</sup>に準拠した試料を作成した。

##### ①-2 高温強度試験

①-1にて作成した試料を用いて加熱状態での引張試験を行った。

##### ①-3 耐熱性検証

CFRP材が高温時において試算結果と同等の強度を有しているか検証する為、加熱状態での3点曲げ試験並びに4点曲げ試験を行った。

#### ② 一体成形のための製品設計

素材の強度が増すことにより板厚を薄くし軽量化を図る。また薄肉化により低下した剛性をリブ形状にて補う。また、付属部品の組付けを簡略化する構造を設け、トータルでの生産コスト低減を実現させる。

##### ②-1 最適板厚の研究

①-1及び①-2にて求めた物性値により、要求される強度を有したCFRPの構成を決め、②-3でのトライ&エラーを実施しながら最適な製品形状としての板厚を確定させた。

##### ②-2 剛性を確保する非意匠面形状の設計

検証した材質による剛性確保を図るため、一先ず製品形状を仮設計し、②-3による解析結果をフォローアップし非意匠面形状を決定した。

##### ②-3 設計部品の強度解析

②-1及び②-2にて仮設計された製品形状が要求される強度を有しているのか、有限要素法<sup>(注3)</sup>を用いて解析した。

##### ②-4 インサート成形部の接合強度解析

付属部品等を組付ける部位の接合強度を有限要素法によるFEM解析にて検証し、設計基準を決定した。

##### ②-5 部品の熱変形(ひずみ)解析

試作した成形品が160°Cの環境下にて変形等の不具合を生じるのか検証した。

#### ②-6 ②-1～②-5 を繰り返し、解析最適製品形状の確定

各項による解析及び対策実施を繰り返し、要求される全ての条件に適した製品形状を作成すると共に製品設計基準を決定した。

#### ②-7 ③④にて取得する現物部品の評価検証

取得部品と同素材にて作成した試験片を用いて、促進耐候性試験にて現行樹脂製部品材料との比較を行い、実用部品としての評価検証を行った。

### ③ 最適CFRP材での量産を実現する金型製造技術の開発

繊維強化プラスチックの成形には温度の変化が必要である。よって、金型は高温時・低温時の異なる状態を要求され、その変化は迅速に行われなければならない。

#### ③-1 安定した温度分布を実現する最適金型材質

金型から素材への熱伝導は均一に行わなければならない。また、成形には低い熱膨張量及び早い温度変化が求められる。テストピースの温度上昇率・熱分布・熱膨張量を計測し、最適な金型材質を選定した。

#### ③-2 金型の急速昇温・急速冷却機構の開発

金型の急速な加熱及び急速な冷却には、その加熱及び冷却装置と金型の機構が大きく関与する。その双方を効果的に運用する手法を構築した。

#### ③-3 金型熱膨張解析

②-7にて評価された試作品形状の、温度が要因とされる問題点を基に、金型へ織り込んだ熱膨張見込みの妥当性を検証した。

#### ③-4 金型強度解析

②-7にて評価された試作品形状の、金型の剛性が要因とされる問題点を基に、金型へ織り込んだ熱変形見込みの妥当性を検証した。

#### ③-5 金型構造設計

熱膨張及び剛性低下による成形時の寸法誤差を0.05mm以内に抑える型構造を構築し、それを標準化する。この標準により精度の高い製品が取得可能な金型設計基準を制定した。

### ③-6 金型製作

金型製作基準に基づき製作した金型にて試作成形を行い、その取得成形品より金型製作基準を評価した。

### ③-7 試し打ち

実際に製作された金型を用いて試作品を取得することにより最適な手法を模索し、生産基準として標準化した。

### ③-8 ③-7 後の金型補正

取得製品の評価を基に金型を補正した。またその情報を製品設計基準及び金型設計基準にフィードバックし、それぞれの基準をブラッシュアップした。

## ④ 量産化のための自動化装置の開発

量産化のための自動化装置の一部として、③にて設計製作した金型とヤマセイ㈱における既存設備に合致した、CFRP加熱装置を製作する。

### ④-1 CFRP加熱装置の設計

③にて設計製作した金型とヤマセイ㈱における既存設備に合致した、CFRP加熱装置を設計した。

### ④-2 CFRP加熱装置の製作

素材の加熱を迅速且つ高い精度で行う加熱装置を製作した。

### ④-3 CFRP加熱装置の調整と安定稼働

生産がスムーズに効率良く行える様、加熱時間の短縮を意図した改修を加えた。

## ⑤ スチール材からCFRP材への代替時における

### コストシミュレーション手法の確立

これまでの研究開発結果を分析することにより、最適な材質・構造である金型を製作した場合の見積もり計算式を確立し、ユーザーに向けて論理的な数字による提案を可能にする。

### ⑤-1 ①～④の実績コスト集計の分析

ビューテック㈱並びにヤマセイ㈱に蓄積された初期投資と量産、さらにその償却等の必要なコスト情報を分析した。

⑤-2 計算手法の確立(ABC手法<sup>(注4)</sup>とタグチメソッド<sup>(注5)</sup>を基盤に検討)

部品のコストは、材料費などの「直接費」と金型、付帯設備などの「間接費」の2つに大きく分けられる。「間接費」は取得台数によって総額及び償却が異なり、その計算を煩雑なものとしている。これらを高い精度にて算出する計算手法を確立した。

⑤-3 システム開発

ユーザーへのコスト提案はレスポンス良く行う必要がある。その計算を迅速に簡便に行うシステムを開発した。

⑤-4 運用とブラッシュアップ

⑤-3にて開発したシステムを試験運用し、その結果を検証し対策を実施する事により手法の精度向上を図った。

⑥ プロジェクトの管理・運営【公益財団法人えひめ産業振興財団】

⑥-1 研究全体の総括

プロジェクト全体のスケジュールを作成し管理を行った。

⑥-2 進捗管理

プロジェクトリーダーを中心に定期的に研究打合せをし、実験の確認、アドバイス等を行い順調にプロジェクトを遂行させた。各研究機関と連携を密にし、進捗状況を常に把握し研究開発の進捗を管理した。

⑥-3 研究推進会議の開催

事業化を含めた研究開発のため外部からのアドバイザーを加えた会議を開催した。

⑥-4 報告書とりまとめ

研究のまとめを行い、報告書の作成を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人えひめ産業振興財団 (最寄りの駅：伊予鉄道横河原線鷹ノ子駅)

連絡担当者名・所属役職：産学官連携推進課 課長 玉井 浩二

〒790-1101 愛媛県松山市久米窪田町 337-1

TEL：089-960-1100 FAX：089-960-1105

E-mail：s-info@ehime-iinet.or.jp

## 第2章 本論

### ① 耐熱性に対応した最適CFRP材及びその成形方法の選定

力学的試験にて現行材・代替材・競合材の物性値を求め、要件を満たす代替材及びその成形工法を選定する。

#### ①-1 試験片作成

##### (1) 材質の選定

価格・剛性及び成形工法等により現行材・代替材・競合材を以下の5種に絞り込んだ。

現行材：冷間圧延鋼(SPGC)

代替材：熱硬化性炭素繊維強化プラスチック(CFRP)  
熱可塑性炭素繊維強化プラスチック(CFRTP)

競合材：熱可塑性硝子繊維強化プラスチック(GFRP)  
アルミニウム合金(A5052-H34)

##### (2) 試験方法の選定

求める要件を前述の3種に定め、それぞれに適した試験を行った。

◇剛性 曲げ試験

◇耐熱性 加熱状態での引張試験

##### (3) CFRP試料構成

繊維強化プラスチック(FRP:Fiber Reinforced Plastics)は、その剛性を補強材である繊維の配向に大きく依存する。その非等方向性はFRPのストロングポイント且つウィークポイントであり、製品設計にはそれを十分に理解する必要がある。よって、繊維の向きや積層構成による影響を把握する為、5種のCFRPを選定した。炭素繊維を一方向に配列させたもの(Ⅱ)、縦横に強度を有するように $0^{\circ}$ ・ $90^{\circ}$ に配列させたもの(Ⅲ)、実用化を意識し織物による $45^{\circ}$ 及び $135^{\circ}$ の補強を加えたもの(Ⅳ)、織物の特徴を理解するためのもの(Ⅴ・Ⅵ)の5種である。その詳細を表1に示す。

尚、CFRPは $140^{\circ}$ にて750mmHg( $\approx 0.1$ MPa)に加圧した状態で4時間保持し成形した。

No.	区分	材質	呼称	母材	厚さ [mm]	備考
I	現行材	SPCC	SPCC	—	2.00	
II	代替材	CFRP	CFRP-1	EP (エポキシ)	1.92	UD <sup>(注6)</sup> 8層[0° <sub>8</sub> ] (TRAYCA 3252S-25)
III			CFRP-2		1.92	UD8層[0°/90°]2S
IV			CFRP-3		2.16	UD8層[0°/90°]2S +クロス <sup>(注7)</sup> [45°]
V			CFRP-4		1.92	クロス8層[0° <sub>8</sub> ] (TRAYCA F6343B-05P)
VI			CFRP-5		1.92	クロス8層[45° <sub>8</sub> ]
VII			CFRTP		CFRTP	PA66 (ナイロン66)
VIII	競合材	GFRP	GFRP	PA6 (ナイロン6)	2.00	マットタイプ圧縮板 (TEPEX floecore102)
IX		A5052-H34	AL	—	2.00	

表 1 試料材質とその構成

#### (4) 試料形状

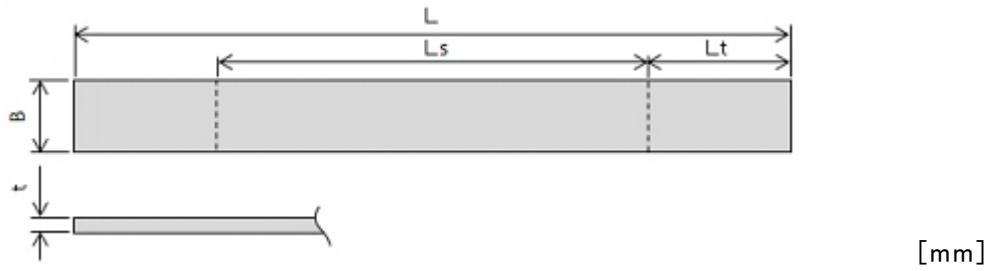
引張試験用試料は概ね ISO 527-4 1997 Type-3 及び ISO 6892-2 Annex B3、JIS K 7164-2005 Type-3 及び JIS Z 2241 2011 type-5 に準ずる形状・寸法とするが、試験機的能力を考慮し、複合材料は幅を変動させた。

曲げ試験用試料は、概ね JIS K 7074 に準ずる形状とするが、引張試験と同様に幅を 20mm に拡大させた。



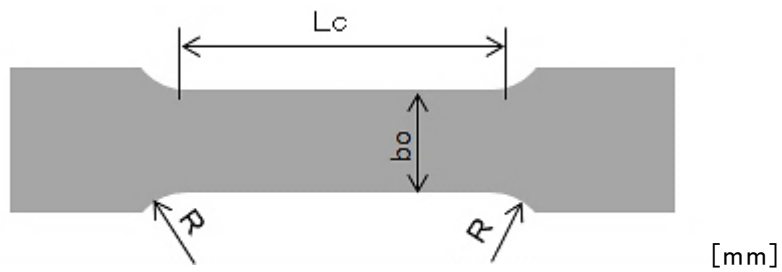
写真 1 作成試料





試験規格	L	Ls	Lt	B	t
ASTM <sup>(注8)</sup> D 3039 2007	250	NA	NA	25	2.5
ISO 527-4 1997 Type-3	> 250	150	> 50	25	2~10
JIS K 7164-2005 Type-3	> 250	150	> 50	25	2~10
使用試料	CFRP-1	250	150	50	5
	CFRP-2				8
	CFRP-3				8
	CFRP-4				8
	CFRP-5				8
	CFRTP				8
	GFRP				8

図 1 複合材引張試験用試料形状



	Lc	Bo	R
ISO 6892-2 Annex B3	60	25	20~30
JIS Z 2241 2011 type-5	60	25	20~30
使用試料	60	25	30

図 2 金属材料引張試験用試料形状

## ①-2 高温強度試験

現行材・代替材・競合材の加熱状態での引張強度を検証した。

樹脂材料は、温度の上昇に伴い柔軟性が増すことは良く知られている。それは、樹脂材料を母材とするCFRPも同様である。よって、最高 160°Cでの使用環境にて必要な剛性を有する事が可能であるか、試料を加熱した状態にて引張試験を行い、温度による物性値の変化を確認した。

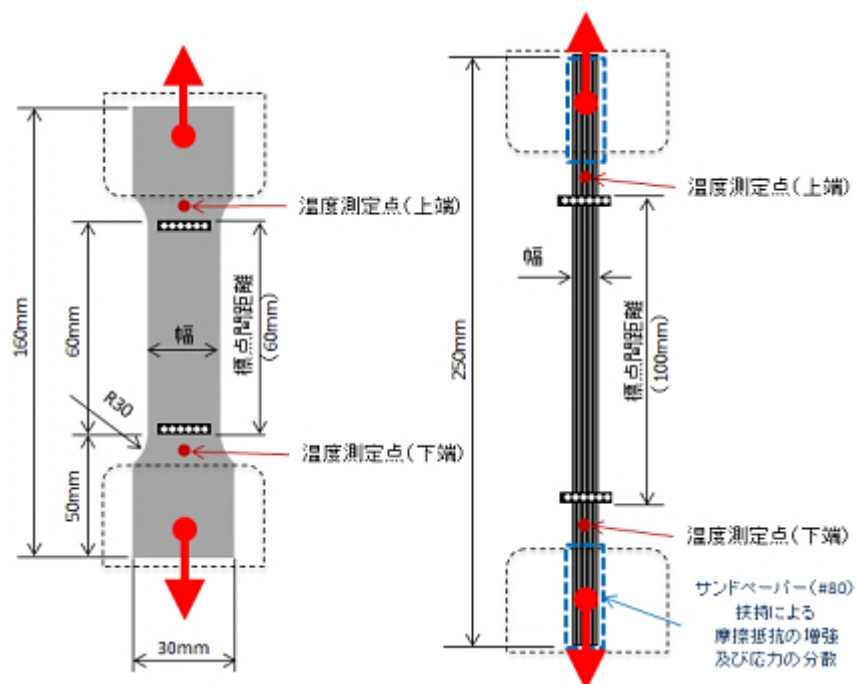


図 3 引張試験概要及び試料詳細

No.	20℃		120℃		160℃		
	最大荷重 [N]	応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	最大荷重 [N]	応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	最大荷重 [N]	応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	
I	-1	15155.06	321.58	13188.76	275.63	13470.27	269.29
	-2	15145.41	315.10	13159.43	274.15	13581.40	271.10
	-3	15042.10	312.76	13230.18	274.14	13500.55	269.27
II	-1	16651.38	1946.73	17589.54	1973.62	データなし	データなし
	-2	15796.57	1879.30	14900.08	1752.91	14292.57	1611.72
	-3	21944.38	2559.16	データなし	データなし	14244.65	1700.19
III	-1	18746.47	1351.07	11666.92	843.30	7803.52	571.76
	-2	20907.56	1455.63	11923.85	827.16	9079.47	655.63
	-3	21915.50	1449.02	11006.69	795.66	9404.93	690.88
IV	-1	20701.62	1381.31	15642.26	966.66	9887.47	639.79
	-2	21473.95	1351.13	15976.99	996.41	10135.71	632.33
	-3	22512.02	1368.67	15642.60	1012.74	10845.20	657.52
V	-1	6590.57	499.23	5952.33	455.28	3870.65	287.49
	-2	6839.61	527.41	6281.98	456.98	3840.22	271.35
	-3	6189.17	459.77	6603.75	474.88	3801.60	285.11
VI	-1	2643.11	196.44	1066.57	77.48	325.43	24.29
	-2	2530.48	189.70	1103.69	78.70	325.27	23.96
	-3	2585.52	188.62	1107.65	80.17	341.42	25.04
VII	-1	9638.76	663.43	8110.32	575.24	7845.48	559.60
	-2	9641.62	654.95	8057.80	579.78	8354.95	560.32
	-3	9994.92	652.94	8128.23	577.85	8149.45	578.02
VIII	-1	2321.50	157.24	1806.08	122.39	1475.11	93.94
	-2	2742.34	175.81	1883.62	125.05	1779.83	110.24
	-3	2387.60	152.89	1967.29	124.24	1724.69	113.91
IX	-1	11225.57	233.37	10308.04	223.40	8698.96	178.00
	-2	11142.11	232.01	10241.76	222.00	8679.68	177.61
	-3	11152.03	233.97	10256.67	221.90	8622.66	176.70

表 2 最大荷重と応力

試料 II のうち、120℃の3本目および 160℃の1本目は、掴みが不十分であった様で試験中に試料が抜けていると思われる為、“データなし”とした。

SPCC を除き、全ての材質において温度上昇に伴い最大応力が低下している。それを表 3 に示す。尚、表中の「代表値」は、3種の結果の最小値を用いた。

No.	20℃	120℃		160℃	
	代表値 [N/mm <sup>2</sup> ]	代表値 [N/mm <sup>2</sup> ]	対 20℃比 [%]	代表値 [N/mm <sup>2</sup> ]	対 20℃比 [%]
I	312.76	274.14	87.65%	269.27	86.10%
II	1879.30	1752.91	93.27%	1611.72	85.76%
III	1351.07	795.66	58.89%	571.76	42.32%
IV	1351.13	966.66	71.54%	632.33	46.80%
V	459.77	455.28	99.02%	271.35	59.02%
VI	188.62	77.48	41.08%	23.96	12.70%
VII	652.94	575.24	88.10%	559.60	85.71%
VIII	152.89	122.39	80.05%	93.94	61.44%
IX	232.01	221.90	95.64%	176.70	76.16%

表 3 温度による応力の低下率

引張方向に対して効果的に繊維にて補強された試料ほど温度による応力の低下が少なく、そうでは無い試料ほど温度による応力の低下が多い結果となった。

これらを考慮すると、“温度による引張応力の低下は、母材の強度及び母材と炭素繊維の界面強度の低下”と考えるのが最も自然であり、CFRPの構成を検討するには、その影響を十分配慮する必要がある。

### ①-3 耐熱性検証

②-1 により算出されたCFRPの構成が要求される強度を有しているか、その構成の試験片を作成し検証した。

CFRPの積層構成は実用化を考慮し、熱硬化性の場合には試料IVに、熱可塑性の場合には試料VIIに準じ、板厚を試算した。

試算は、①-2の曲げ試験結果により算出したヤング率(縦弾性係数)の平均と、同じく①-2による引張試験結果による常温(20℃)からの物性値低下率にて行った。

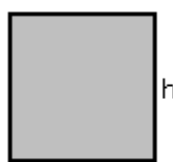
	I	III	VII	VIII	IX
材質	SPCC	CFRP	CFRTP	GFRP	AL合金
-1	110.92957	79.59591	56.91002	13.88518	70.42715
-2	113.96637	78.79988	56.38285	14.16825	71.80755
-3	104.79488	79.13791	54.24256	15.46805	71.14383
平均	109.89694	79.17790	55.84514	14.50716	71.12618

表 4 曲げ試験結果によるヤング率

	単位	SPCC	CFRP	CFRTP	GFRP	AL 合金
20℃時のヤング率	[GPa]	109.897	79.178	55.845	14.507	71.126
引張強さの160℃時低下率	[%]	86.10	42.32	85.71	61.44	76.16
160℃時の推定ヤング率	[GPa]	94.621	33.508	47.865	8.913	54.170

表 5 160℃時の推定ヤング率

許容応力を、以下の式にて算出し、SPCCによる製品の厚み(外板:0.8mm+内板:0.8mm=1.6mm)に相当する各素材の厚み及び重量を求めた。尚、製品の大きさは、幅:2.4m×高さ:1.2mと仮定した。



$$\text{許容応力} : P = h^3 / 6$$

	単位	SPCC	CFRP	CFRTP	GFRP	AL 合金
板厚	[mm]	1.6000	2.2616	2.0081	3.5165	1.9270
許容応力	[GPa]	64.5948	64.6020	64.5984	64.5973	64.6026
比重	[kg/m <sup>3</sup> ]	7850	1800	1400	1600	2680
製品重量	[kg]	30.144	9.770	6.747	13.503	12.394
軽減量	[kg]	—	20.374	23.397	16.641	17.750

表 6 160℃時における 1.6mm の SPCC と同等の許容応力を有する厚み

この結果より、160℃の温度条件下で、厚み 1.6mm の SPCC と同等の応力を得るために必要な板厚は、CFRPで約 2.26mm、CFRTP で約 2.01mm、GFRP で約 3.52mm となった。製品の大きさを 2.4m×1.2m と仮定した場合、CFRPで 20kg 程度、CFRTP では 23kg 程度の軽減が見込めると考えられる。

算出された CFRP の構成が要求される強度を有しているか、加熱状態での曲げ試験にて検証した。

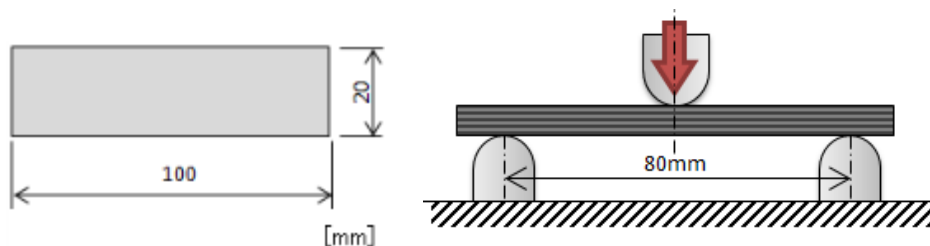


図 4 試料寸法並びに圧子・支点間距離

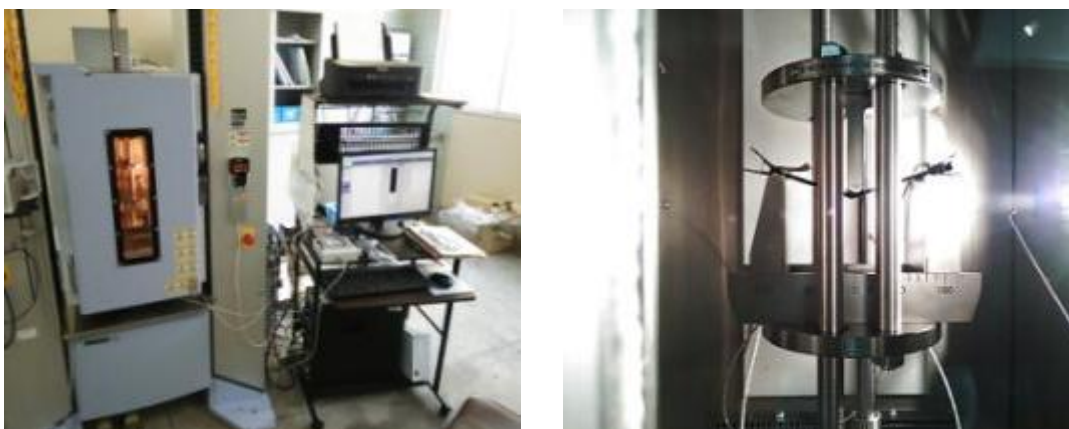


写真 2 3点曲げ試験状況

計測された最大荷重(破壊荷重)より曲げ強さを算出し、比較した。算出には以下の計算方法を用いた。

$$\sigma_b = 3 P_b L / 2bh^2$$

このとき、

$\sigma_b$	:	曲げ強さ	[GPa]
$P_b$	:	最大荷重	[N]
L	:	支点間距離	[mm]
B	:	試験片の幅	[mm]
H	:	試験片の厚さ	[mm]

温度 [°C]	曲げ強さ [GPa]			
	-1	-2	-3	平均
20.0	0.79	0.82	0.78	<b>0.79</b>
60.0	0.82	0.47	0.50	<b>0.50</b>
80.0	0.42	0.44	0.43	<b>0.43</b>
100.0	0.37	0.38	0.40	<b>0.38</b>
120.0	0.34	0.36	0.35	<b>0.35</b>
140.0	0.33	0.34	0.30	<b>0.32</b>
160.0	0.30	0.33	0.30	<b>0.31</b>
180.0	0.28	0.27	0.27	<b>0.27</b>

表 7 加熱 3点曲げ試験結果より算出した曲げ強さ

前述の加熱引張試験結果並びに常温3点曲げ試験結果より、『160°Cの縦弾性率は20°Cの約86%であり、その値は47.87GPaである。』と仮定したが、この加熱曲げ試験にて平均 49.84GPa という値を得る事ができ、試算結果の裏付けが得られたと考える。

## ② 一体成形のための製品設計

素材の強度が増すことにより板厚を薄くすることが可能であるが、剛性が著しく低下する。しかし、ユーザーから提供される意匠面側形状と本体への組付構造を変更することはできない。よって、剛性確保の対策として、変更が可能である非意匠面側へ補強リブを追加する。また、付属部品等の組付け簡略化を図り、トータルでの生産コスト低減を実現させる。

本年度は、前年度とは異なる車種の該当部位近似形状 3Dモデルを作成し、各種検討並びに解析を実施した。

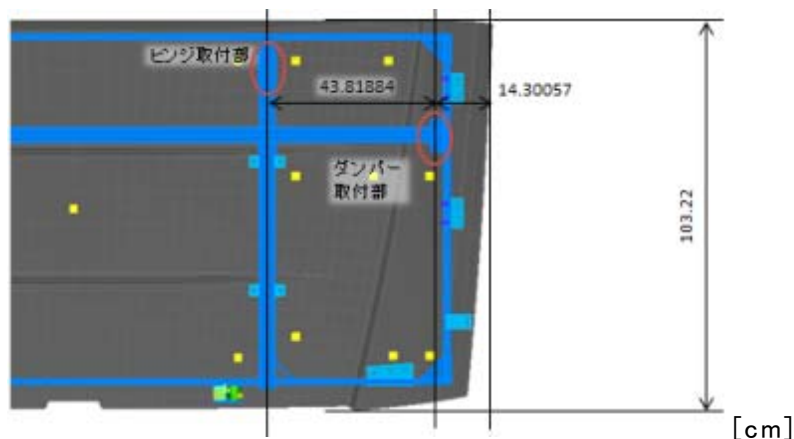


図 5 他車種既存部品の構成並びに寸法

### ②-1 最適板厚の研究

前項にて求めた物性値並びに成形品重量等の諸条件により、対象製品一般部位の厚みを 3.0mm と試算し、不足する剛性をリブにて補うこととした。

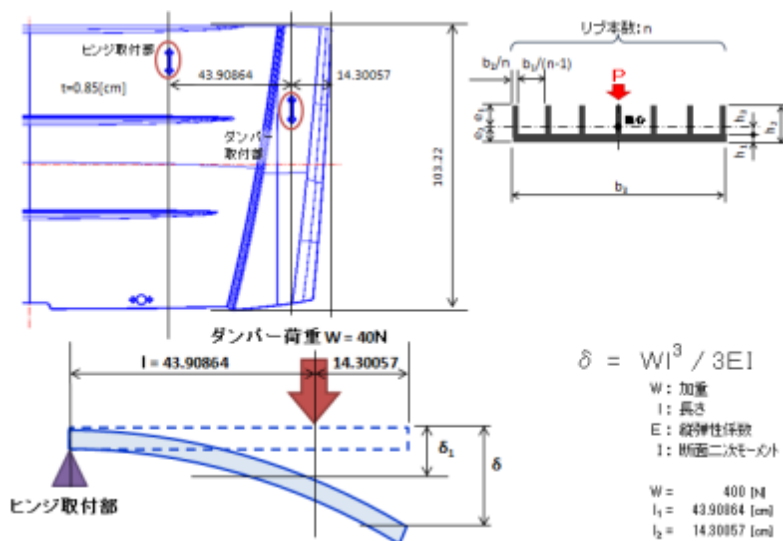


図 6 CFRP製部品の剛性検討

## ②-2 剛性を確保する非意匠面形状の設計

剛性には厚みが大きく寄与する事は力学上の常識であり、補強リブ構造は剛性の向上に非常に効果的であるが、不必要に設置しては重量の増加を招き軽量化を損なうため、その設置は最小限であることが望ましい。

これまで培ってきた知見による製品設計を行い、②-3 の有限要素法による解析結果にて検証した。

## ②-3 設計部品の強度解析

②-1 にて決定した板厚のCFRPが、必要とされる剛性を有するのか、ヤマセイが作成した部品形状 3Dモデルを、愛媛大学が有限要素法によって解析した。

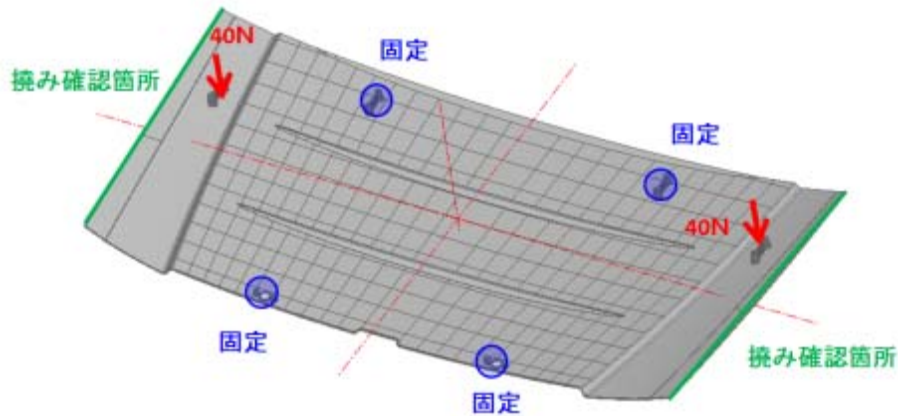


図 7 剛性解析条件

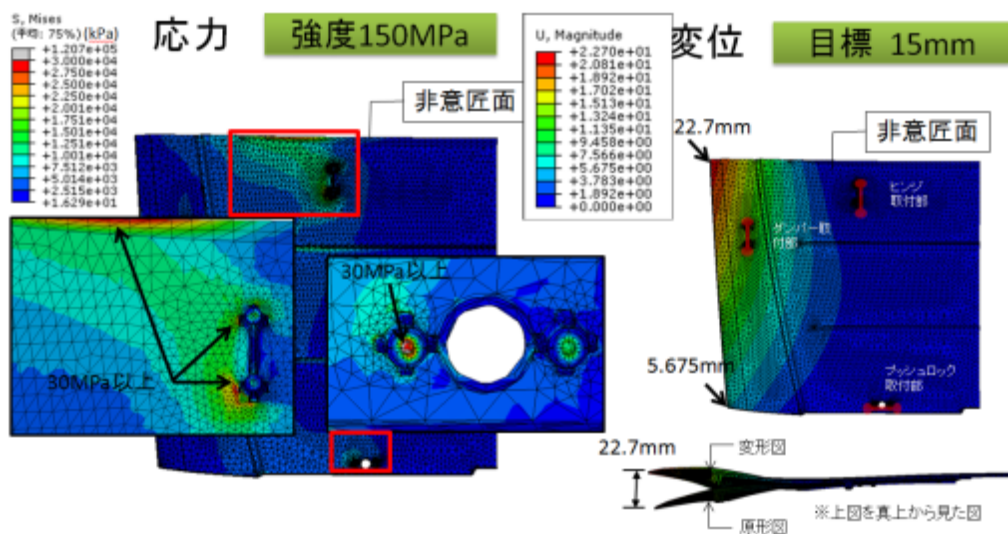


図 8 剛性解析結果(補強リブ無し)



この剛性解析は、加重の分布並びにそれらが及ぼす影響について確認するために行った。この結果は想定の範囲内であり、補強リブを有しない構造では目標たわみ量を下回る結果となった。

解析結果を基に補強リブが追加された部品形状を再度解析し、さらにその解析結果にて部品形状をブラッシュアップさせるサイクルを数回繰り返した。

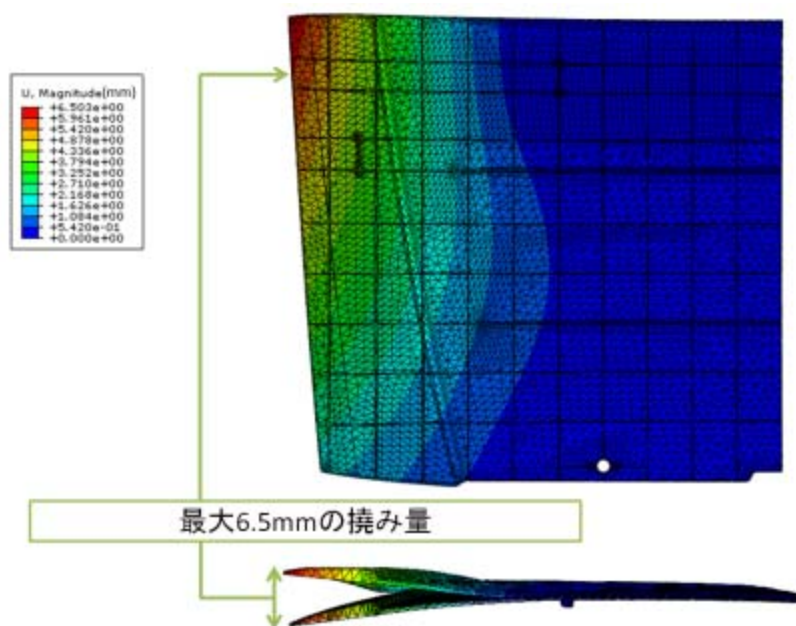


図9 最終形状剛性解析結果

解析結果によるリブの高さ・厚み並びにその配列を見直し、最終形状を確定させた。またその過程を整理することにより、前年度構築した解析手法を改善すると共に、数種の剛性付与構造とその効果に対する知見を得た。

#### ②-4 インサート成形部の接合強度解析

当初は、既存のブラケット部品もしくはそれに準ずる部品を樹脂により埋め込む構造を検討していたが、研究を進めるにつれコスト並びに重量の低減効果が低い事が判明した。

協議の結果、最も軽量化及び低コスト化の効果が高いと考えられる『ボス成形』を採用する事とし、その剛性解析を実施した。

方式	概要	利点	欠点
インサート成形-1	ブラケット等の埋込	既存部品の流用可能	コスト低減効果小 重量軽減効果小 型内への部品配置要
インサート成形-2	ボルト・ナットの埋込	構造部は樹脂だがネジ部は金属であるため、耐久性に優れ繰り返し使用可能	インサート部品の選定 インサート部品の洗浄要 型内への部品配置要
ボス成形	取付構造の完全樹脂化	軽量化効果が高く一体成型にて構造部を作成可能	タッピングビスによる組付(分解・メンテナンス困難)

表 8 車体取付部品の一体成型手法

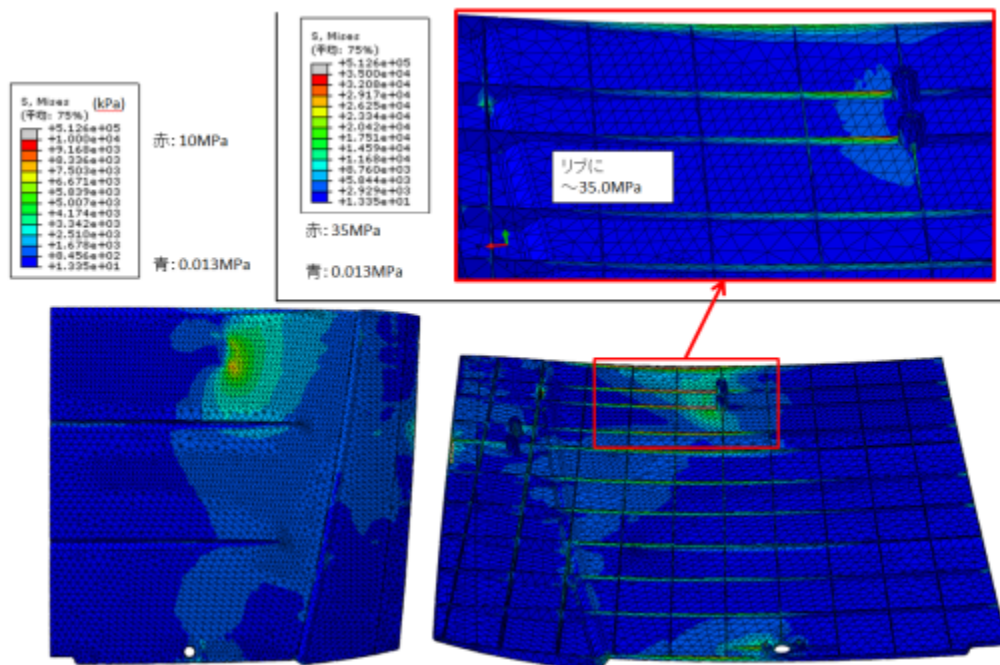


図 10 応力分布

解析の結果、ボス形状自体には左程荷重は掛からず、その取り付け部位周辺に応力が集中する事が確認され、ボス形状部の剛性を十分に確保しなければならないことが判明した。

尚、その集中する加重も補強リブ形状のブラッシュアップにより 35.0MPa 程度に抑えることができた。この値は①-3 にて求めた素材の曲げ強さを大きく下回るものであり、この部品形状は十分な剛性を有すると判断できる。

## ②-5 部品の熱変形(ひずみ)解析

試作した成形品が 160℃の環境下にて変形等の不具合を生じるのか有限要素法を用いて検証し、その対策を実施した成形品により確認した。

160℃の恒温槽内に③-7にて取得した成形品を12時間保持し、その前後を比較した。結果、寸法・重量並びに質感とも変化は無く、成形品が温度に対する耐性を有する事が確認された。



写真 3 恒温槽

## ②-6 ②-1～②-5 を繰り返し、解析最適製品形状の確定

実施した解析結果に対策を施し、要求される全ての条件に適した製品形状を作成した。下図は、その作成した製品形状の概要である。補強リブを縦横に配し剛性を確保すると共に付属部品の取り付け部を円柱のボス構造とした。

既存部品の重量 21.5kg に対しCFRP製部品の設計重量は 10.9kg であり、50%程度の軽量化を達成した。

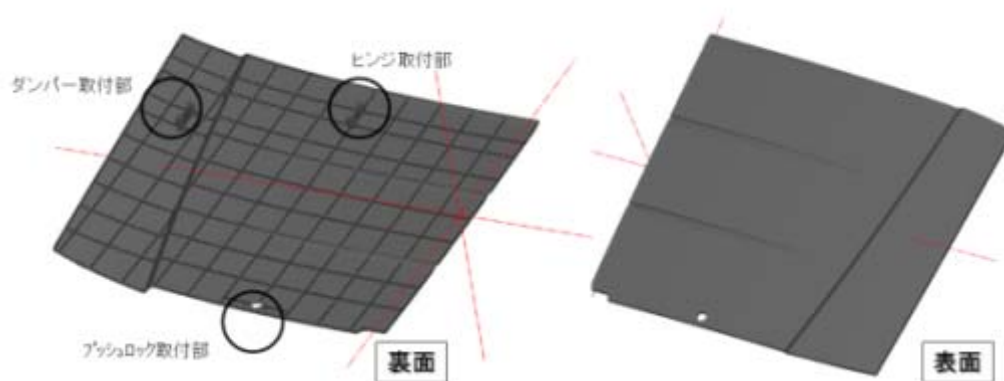


図 11 非意匠面側に補強リブを有する部品形状

## ②-7 ③・④にて取得する現物部品の評価検証

評価の一環として、ISO4892-2(JIS K 7350-2)に準拠する「促進耐候性試験」を行った。

屋外で使用される製品は、環境の影響を受け時間の経過と共にその物性が変化する。その変化に耐える性質が「耐候性」と呼ばれ、これを把握する事は品質評価や製品の寿命予測などの観点より非常に重要である。

「耐候性」を推し量る試験法として最も信頼性が高いものに「大気暴露試験法」があるが、この試験は沖縄や米国のフロリダ半島等、年間の紫外線照射量が 250 MJ/m<sup>2</sup>を超える地域に12か月もしくは24か月もの間放置するものであり、本研究期間にて実施する事は非現実的である。よって、比較的短時間にて実施可能である「促進耐候性試験法」を採用した。

この試験は、太陽光・温度・湿度・降雨などの屋外の条件を人工的に再現し、劣化を促進させるものであり、大気暴露試験にて観察される材料の劣化に極めて似た状態を短時間にて作り上げるものであるが、大気暴露試験の結果と完全に一致するものではなく、その評価が困難な場合もある。よって今回の試験では、現在使用されている素材を同時に試験し、その変化と比較した。

試料材質	: CFRP、CFRTP、GFRP(2種)の計4種(下表参照)
試料寸法	: 100mm x 65mm x (2.0)mm
試験機	: 『Xenon Weather Meter X25』(スガ試験機(株)製)
実験方法	: 光線照射(102分)と光線照射+噴霧(18分)を1サイクルとし、1000回繰り返す(2000時間)
光量	: 光線波長:300~400nm、放射照度:40~80W/m <sup>2</sup>
水量	: 噴霧水量:400ml/min
温度	: ブラックパネル温度 63±3℃
検証方法	: 外観観察及び、重量・曲げ剛性(3点曲げ)の測定

表 12 試験条件

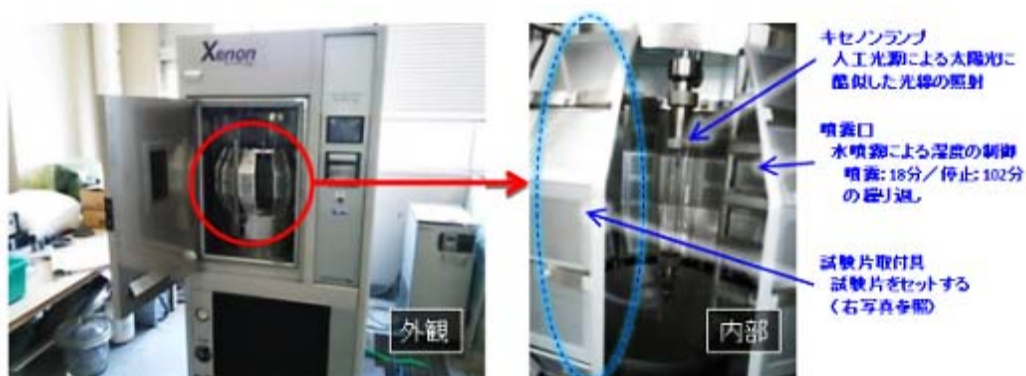


写真 4 促進耐候性試験装置

No.	呼称	区分	母材	備考
IV	CFRP-3	代替材	EP	UD8ply[0/90]2S+クロス(平織)1ply [45] (TRAYCA 3252S-25, F6343B-05P)
VII	CFRTP		PA66	クロス (綾織)8ply (TEPEX Dynalite201) VII' は表面に簡易塗装処理
X	GFRP-2	現行材	UP	ポリエステル樹脂+チョップドストランドマット 3ply ハンドレイアップ品
XI	GFRP-3		PP	短繊維 GFRP 射出成型品 PP-GF30 L-3071P

表 9 試料概要

時間 [H]		100	500	1000	2000
日 時	開始 (再開)	H26.11.13 09:08	H26.11.17 10:10	H26.12.04 9:36	H27.01.05 11:00
	中断 (終了)	H26.11.17 09:08	H26.12.04 08:10	H26.12.25 08:55	H27.02.19 09:00
実経過時間 [H]		96	490	984	2000

表 10 試験実施日時

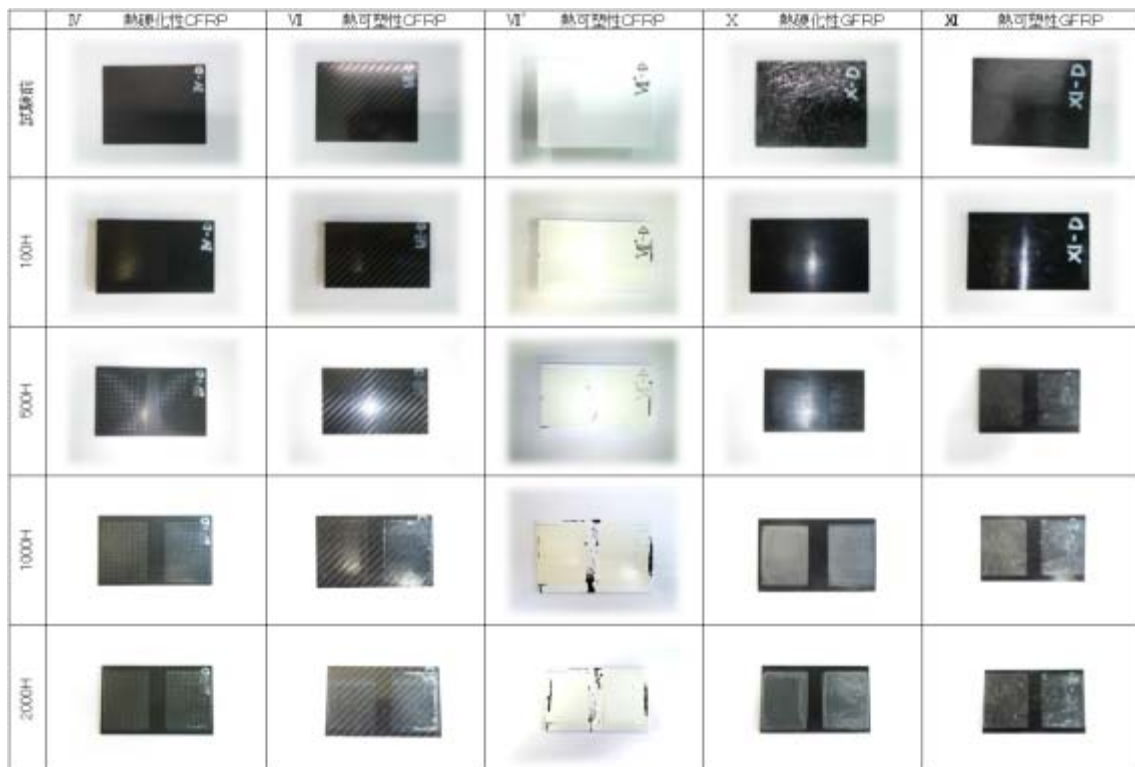
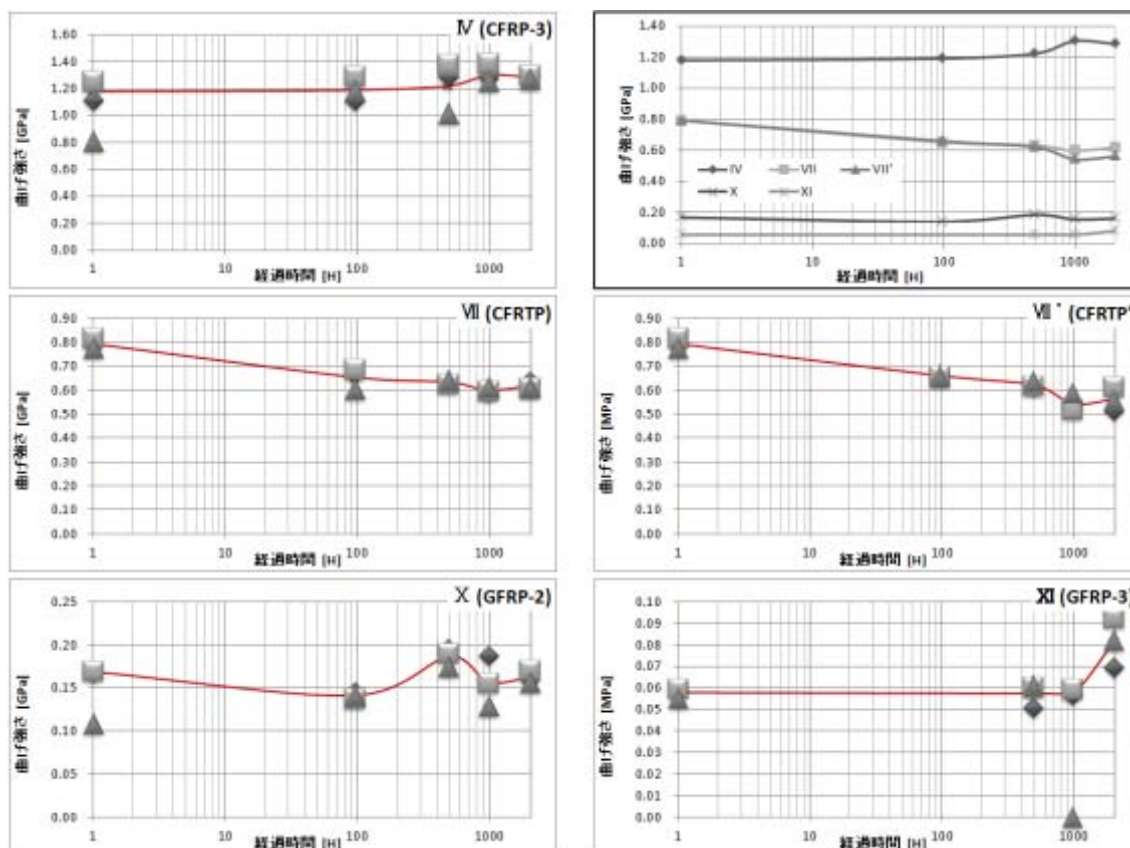


写真 5 試料外観

試料の状態変化を推し量るため、0/100/500/1000/2000 時間光線の照射並び噴霧を受けた試料を100mm×15mmに切断し、3点曲げ試験を行った。下記のグラフは、経過時間とその結果より算出した曲げ剛性の推移を示す。



グラフ1 経過時間による曲げ強さの推移

試料には、化学変化（おそらく光化学反応または加水分解）と吸水の双方が発生していると推測される。化学変化により劣化した表層が噴霧による水分にて洗い流され重量は減少するものの、吸水によって重量が増加すると予測した。しかしながら、試料の重量は時間の経過とともに減少の一途を辿った。このことから、光線は予測以上の速度で素材を蝕むことが確認された。

この結果を用いて、既存素材の各物性値低下状況と比較することにより、代替素材の経年劣化を推し量ることができ、耐用年数に応じた製品の剛性設計が可能となった。

### ③ 最適CFRP材での量産を実現する金型製造技術の開発

CFRPの成形には板金と比較し高い圧力を要するので、金型の剛性確保は必須である。また、成形の過程においては温度変化も必要であり、その速度は生産タクトに大きな影響を与える。

高い剛性と迅速な温度変化、これら双方を兼ね備えた金型の製作基準を確立させる。

#### ③-1 安定した温度分布を実現する最適金型材質

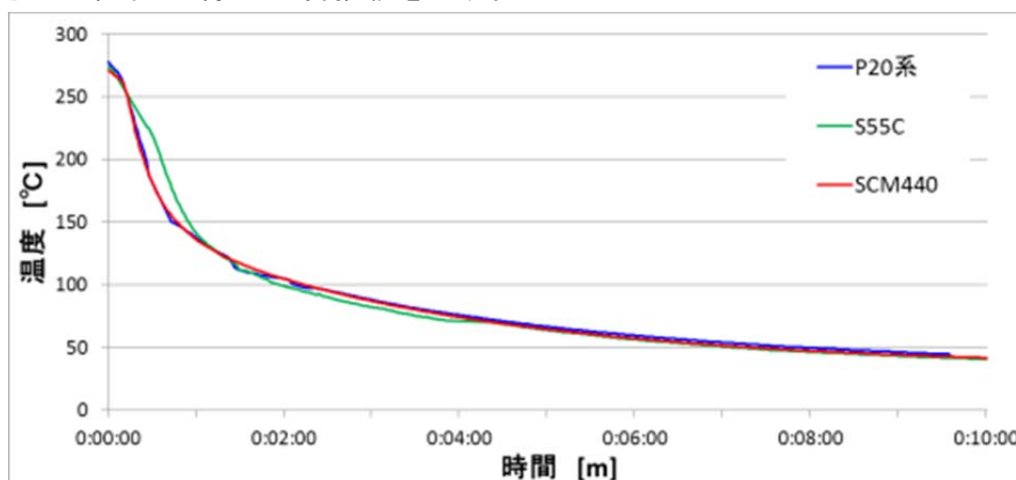
CFRP の成形に適した素材候補を選定し、その温度変化についてテストブロックを用いて検証した。

材質 名称		記号	硬度 [HRC]	比熱 [J/kg・K]	熱伝導率 [W/m・K]	熱膨張係数 [ $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]	コスト
球状黒鉛鋳鉄		FCD700	20～30	483	37.3	10.5	A
機械構造用炭素鋼		S55C	6～22	490	45.0	11.7	B
クロムモリブデン鋼		SCM440	30～37	502	52.0	11.5	C
ポリハートン鋼		P20系	29～33	469	34.3	12.2	D

表 11 金型用材料検討結果

加熱及び冷却は熱量の移動と捉え、どちらかの過程を確認する事により双方の温度変化効率を理解する事とした。

下記のグラフは、ヤマセイにて 300℃近傍まで加熱したブロックに 30℃の水を循環させて冷却した際の温度推移を示す。



グラフ 2 材質別による冷却過程の差異

もともと比熱及び熱伝導率に大差がない為、温度変化の過程も極めて近似した結果となった。この検証により、候補材の間では温度変化効率に大きな差はなく、生産数やコストにより材質を選定すべき、との基準が確立した。

### ③-2 金型の急速昇温・急速冷却機構の開発

金型の急速な昇温及び急速な冷却は、取得製品数に大きな影響を与え、その結果は製品の価格に直結する。その量産にとって非常に重要な因子である金型の温度制御を、機器構成並びに金型構造双方の創意工夫によって解決し、その運用方法を確立する。

まず、ヤマセイにて金型の昇温及び冷却実験を行った。前年度に購入したオイル媒体の温調機を用いて、2000mm×1300mm×1000mm の金型を昇温し、自然放冷にて冷却した。その結果、常温から250℃までの昇温に4時間を要し、また100℃低下させるのにも3時間を要し、目標である「30分以内での昇温～冷却」には程遠い結果であった。

この金型は高温であり続けることを目的として製造されたものであり、またその目標温度も120℃と低く、媒体経路も昇温及び冷却における温度変化に最適とはいえない。また、冷却の必要性が無かった為、その機構も備えていない。しかしながら、昇温及び冷却にこれほどの時間を要すとは予想しておらず、金型の急速昇温及び急速冷却が如何に困難であるか、まざまざと見せつけられる結果となった。



写真 6 金型昇温及び冷却実験状況



この結果により、構想していた素材の温度を変化させる手法を大きく変更する必要に迫られた。そもそも金型の温度制御は素材及び成形後の製品の温度制御が目的であり、それが他の手段にて可能であれば金型自体の温度にこだわる必要は無い。よって、材料の加熱は後述のCFRP加熱装置主体で行い、金型の昇温は媒体経路の効率化等による構造の最適化を図るものの左程とらわれず、金型の役割は冷却に主眼を置く事とした。

そこで、冷却機構を金型に備えた場合の効果について検証する為、低温媒体の循環が及ぼす冷却効果を確認した。

機械構造用炭素鋼(S55C)のブロックを150°C・200°C・250°Cまで加熱した後、冷却水を循環させた場合(強制冷却)とさせなかった場合(自然冷却)を比較した。

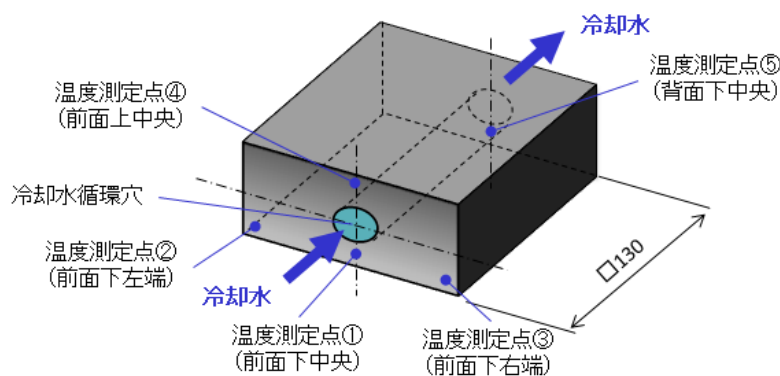
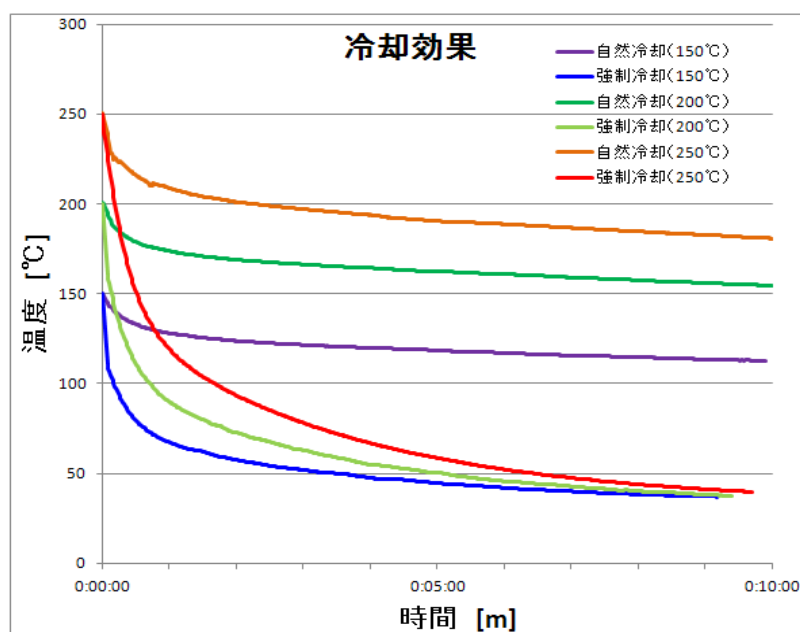
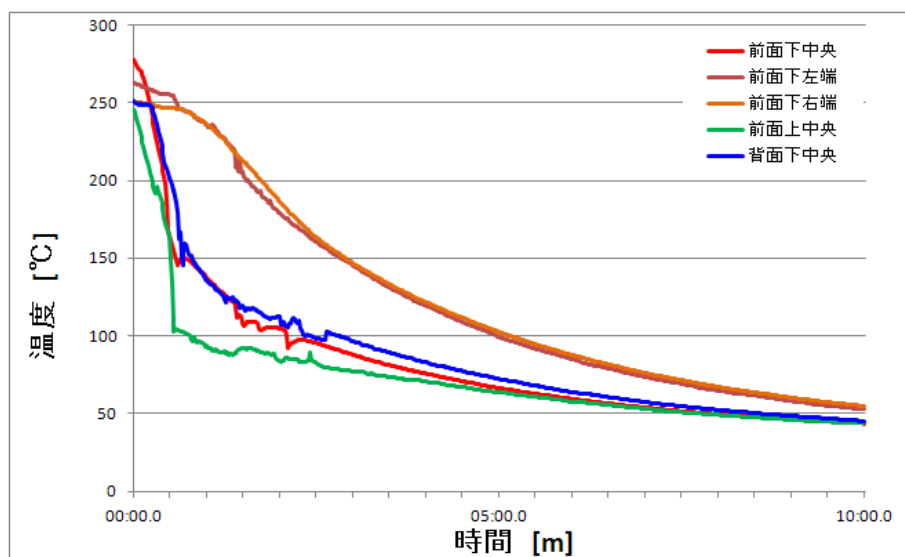


図 12 テストブロック概要



グラフ 3 ブロックの温度変化

低温媒体による強制冷却により、10分程度にて約200℃低下した。また、低温媒体経路との距離の差による温度差も、時間の経過と共にその差異は減少し、10分後には当初最も大きな差が生まれた低温媒体の入り口と出口でも、その差は些少となった。



グラフ 4 測定点による差異

これらの結果により、低温媒体循環による強制冷却が非常に効果的である事が確認された。

また、金型の温度制御機構構築の一環として、昇温用及び冷却用の温調機に改造を加えた。

一般的にオイルを媒体とする温調機は、その循環する媒体の温度を制御する事により間接的に金型の温度を制御している。しかしながらオイルの温度と金型の温度は一致しておらず、その制御の精度が高いとは言い難い。また、金型の状況確認と温調機制御の別々の行為を作業者が連動して行う必要があり、非効率的である。

そこで、昇温用並びに冷却用それぞれの温調機を、媒体の温度ではなく金型の温度情報にて直接的及び機器的に一元化して制御するユニットを製作し、生産サイクルの効率化を図ると共に高い精度での金型温度制御を行う事とした。



写真 7 温調機並びに制御ユニット

### ③-3 金型熱膨張解析

解析結果を金型設計へフィードバックし、製品形状面に付与した「見込み」と呼ぶ変形が適切であったか、検証した。試作成形品を検証した結果、大きな寸法の外れもなく付与した「見込み」が適切であったことが確認され、「見込み」に関わる設計標準の妥当性が確認された。

### ③-4 金型強度解析

温度変化のレスポンスを向上させるため可能な限りの薄肉化による体積減少と成形圧に耐えうる剛性を両立させた金型構造が、ヤマセイの机上検討並びに愛媛大学が実施した有限要素法による剛性解析結果並びに熱伝導解析結果通りの性能を有するのか試作金型による成形品を検証した。その結果、剛性不足によって生じる金型の撓みに起因する成形品板厚の増減やバラツキ等は発現せず、試作金型が十分な剛性を有すると判断でき、その設計基準が妥当であることが確認された。

### ③-5 金型構造設計

熱膨張及び剛性低下による成形時の寸法誤差を0.05mm以内に抑える型構造を構築する。そのため、解析を交えた金型設計手法並びにその基準を定めた。

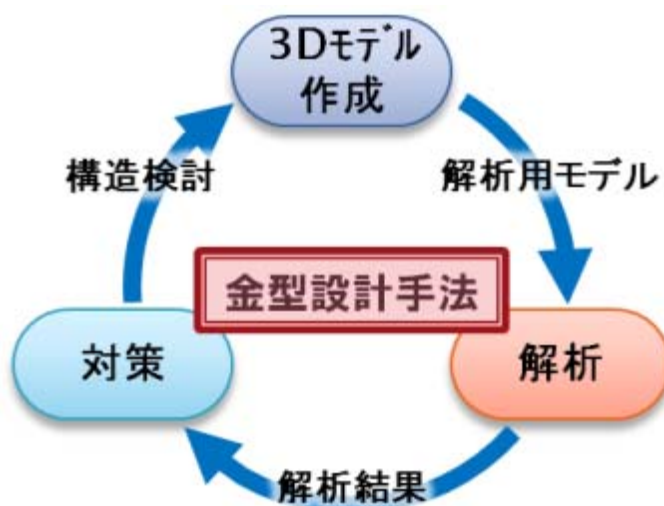


図 13 金型設計手法概要

この手法を用いて、解析結果のフィードバックによる対策を実施し、十分な剛性を備えた金型を設計した。

### ③-6 金型製作

お客様にはご提案内容について好意的な評価を頂いていたが本採用の確約もしくはそれに準ずる内示等を得るまでには至らなかった。よって、ヤマセイ並びにビューテックが協議し、1/1スケールの巨大な金型製作は保留とし、各解析結果並びに検討結果等、研究結果を織り込み、製品形状を約1/5にスケールダウンさせた金型を製作した。尚、その試作品形状もヤマセイ及びビューテックが協議し、バスメーカー様のみならず他の輸送機器メーカー様、その先の自動車メーカー様へのご提案を視野に入れ、乗用車のボンネット形状とした。

またこの形状は、1/1スケールの金型によるCFRP製成形品を有し、本研究以前に成形技術の構築並びに製品評価を行っていた物であるため、本研究による検証結果との比較が容易であると共に、本金型による成形品の原寸大イメージも捉えやすいという利点も併せ持った。

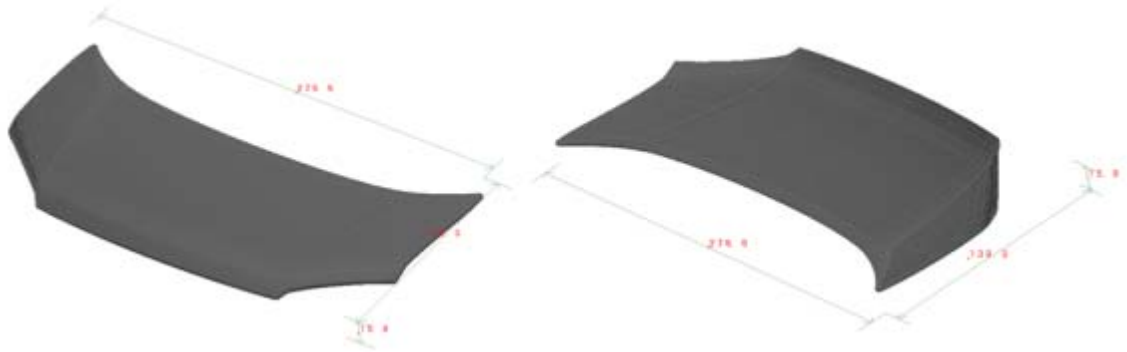


図 14 成形品形状



写真 8 金型成形部位(左:意匠側 右:非意匠側)

また、金型の加工には、温度変化に伴う金型精度の変化が重要な要素となる。様々な熱膨張等の解析ソフトが存在し、その精度も現物に即する様年々向上しているが、その解析時に入力される設定値等がそもそも理論値であり、現物とは異なる。解析により、ある程度近似した結果は求められるが、高い精度は期待できない。よって、高温時の金型の精度を保証する為には、その状態で加工する手法が、最も優れていると考えるが、それには、被加工物を成形時の金型温度まで昇温する機構が必要である。

そこで、工作機械上で被加工物(ワーク)を加熱する為のプレートを製作した。そのプレートは、被加工物を固定する為の穴を備え、加熱の為の電気ヒーターを内蔵させたものである。

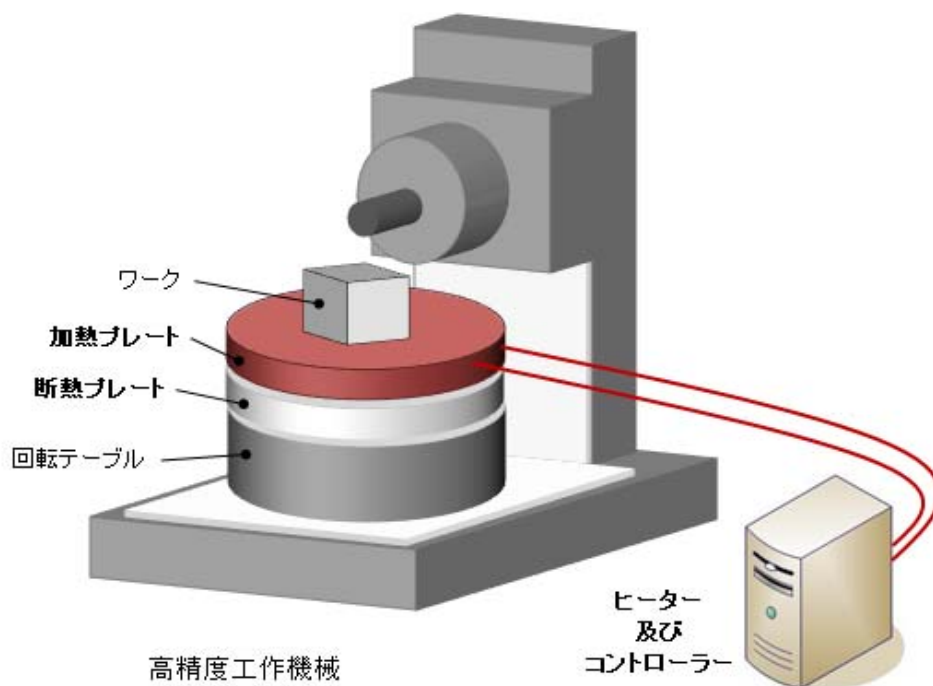


図 15 金型加工用 高精度工作機械概要

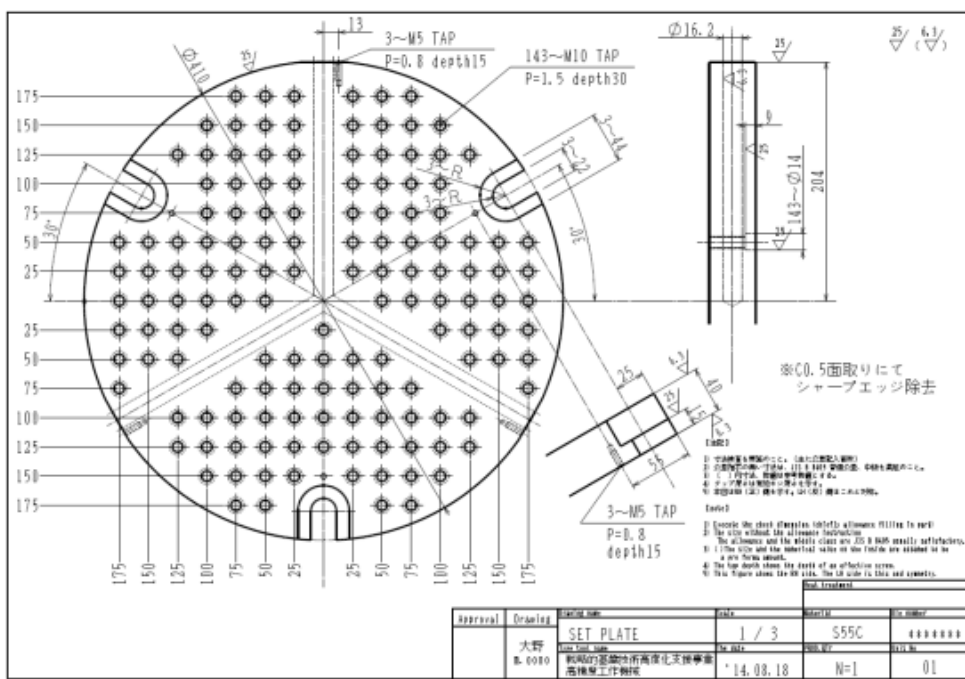


図 16 加熱プレート製作図

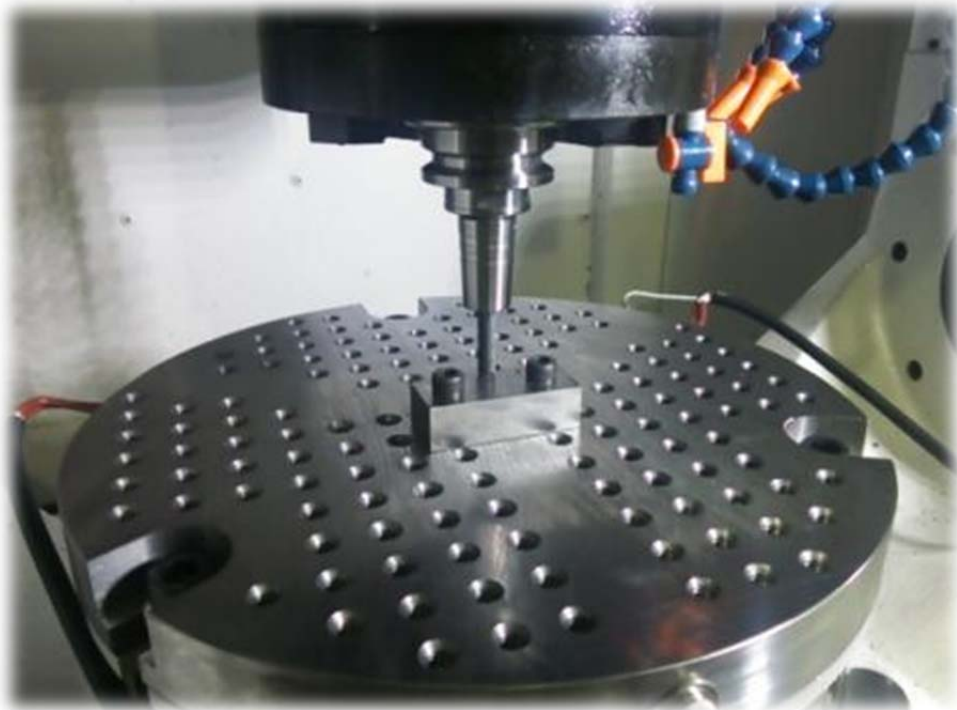


写真 9 加熱状態でのテスト加工

テスト加工の結果、被加工物の固定及び加熱に何の問題もなく行う事が可能であった。この工作機械及び加熱プレートによって、高温時の精度を保証した金型部品を製作する。

新たな金型製造技術の開発にも着手した。

本研究開発においても、金型の品質向上並びに製造コスト低減を目的とした研究に取り組んでいるが、本項では製造コストの低減を目的とした低労力化について研究した。



図 17 本研究開発事項と金型製造コストの相関図

金型の製造コストは、機械加工化が進んでいるものの、品質が職人の腕に依存する工程も数多く存在する。特に、機械加工にて発生する凹凸を除去する「ミガキ」と呼ばれる工程は完全に人の手で行われ、その個人の技術力による出来栄は成形品の寸法精度並びに外観品質に大きく影響を及ぼす。この工程に機械による処理を加えることにより、省力化並びに品質の平準化を図った。

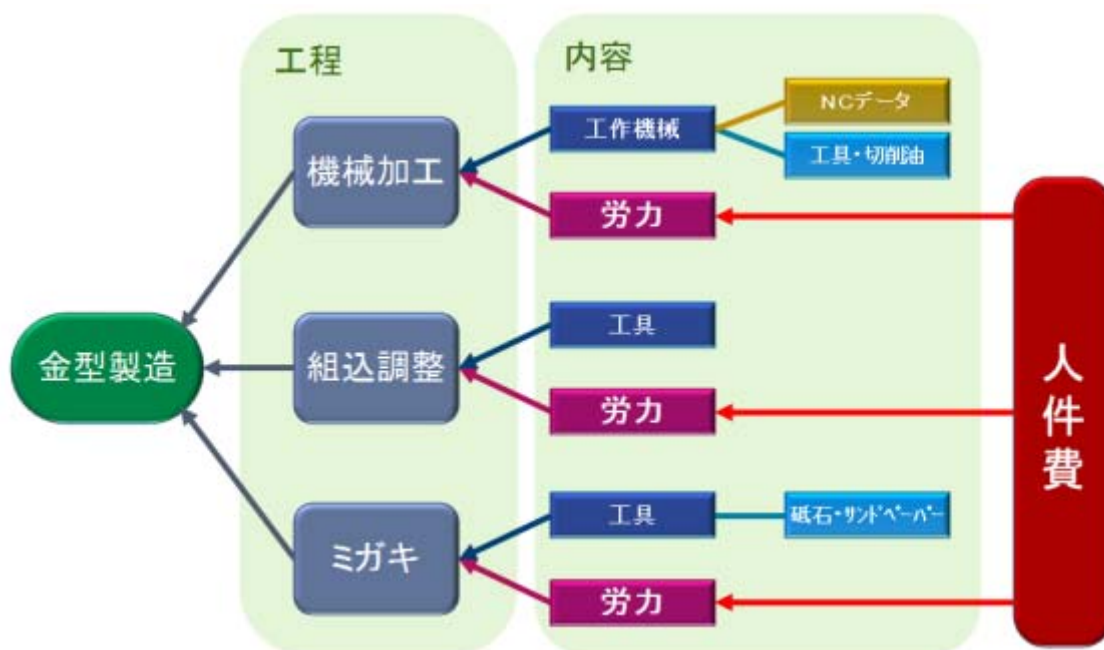
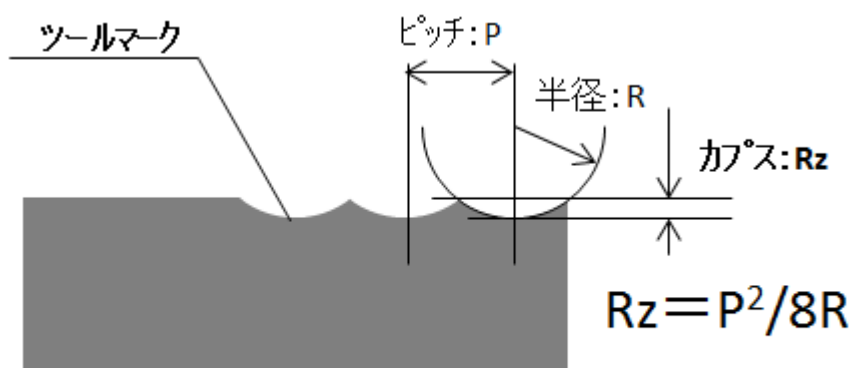


図 18 金型製造コストと人件費



例) 工具径:  $\Phi 6.0$  ピッチ:  $0.5\text{mm}$  の場合  
 カブス量:  $Rz = (0.5)^2 / (8 \times 6.0 / 2) \approx 0.01\text{mm}$

図 19 工作機械の加工にて発生する凹凸の量



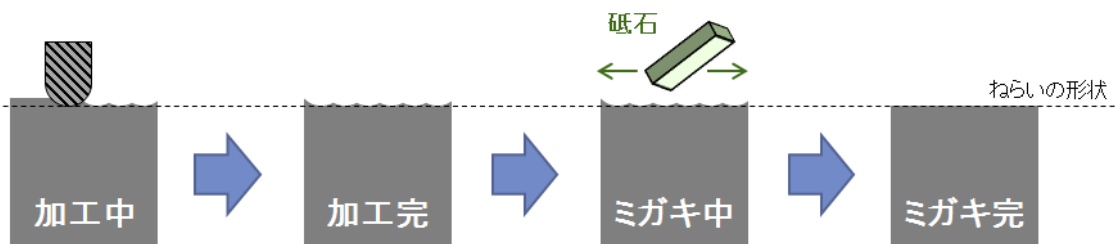


図 20 ミガキ工程

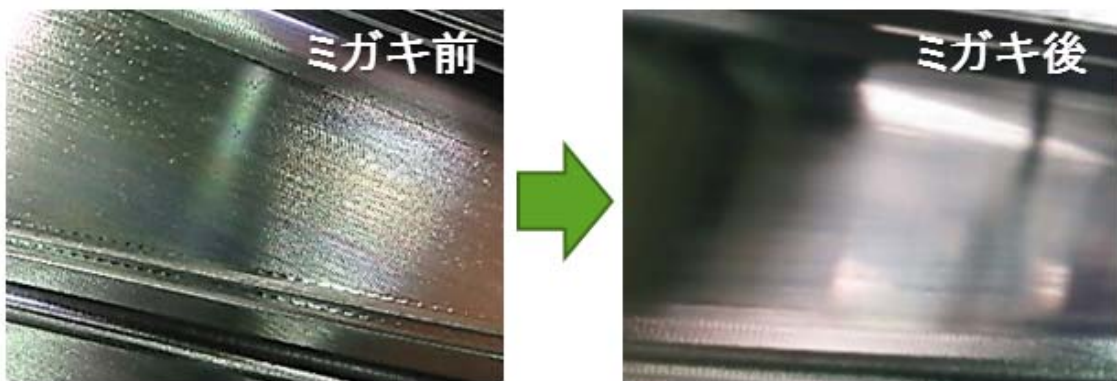


写真 10 人の手によるミガキ実施前後の比較

ミガキ工程の機械加工化検証には、有限会社トリオ商事製フィニッシュラバー砥石セットを用いた。これは、砥石をウレタンダンパーによる圧力で被加工物に押し付け、回転工具として金型表面を研削するツールである。



写真 11 ウレタンダンパー内蔵ホルダーとラバー砥石  
(下段 左：#120 中：#320 右：#1000)

このツールによる加工が、人の手によるミガキ工程の低減もしくは削減に繋がるか、回転数・速度・ピッチ・進行方向等を変動パラメーターとして検証した。

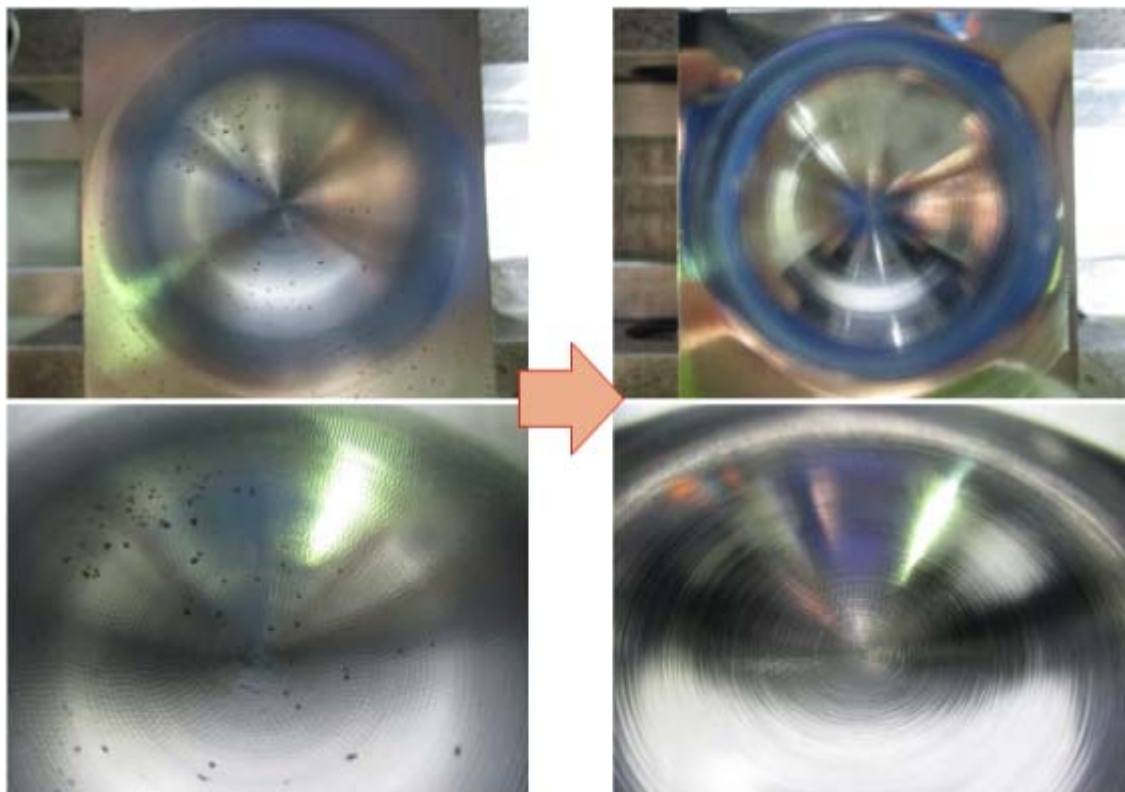


写真 12 ミガキツールによる加工（左：加工前 右：加工後）

検証の結果、ダンパーの撓みにより被加工物の形状に先端の砥石が追従するため、大きな凹凸を除去することは困難であるが、小さな凹凸を除去することは容易であり、さらにはその加工面の表面粗さのバラツキを非常に小さくすることが可能であることが判明した。

この検証結果により、大きな凹凸は人の手で除去せざるを得ないが、その後はツールを用いることにより、省力化を図りつつバラツキの少ない表面品質を得ることが可能な金型製造手法を確立した。

### ③-7 試し打ち

前項にて製作した金型を用いて、ヤマセイ及びビューテックの研究員にて成形トライを繰り返し行った。

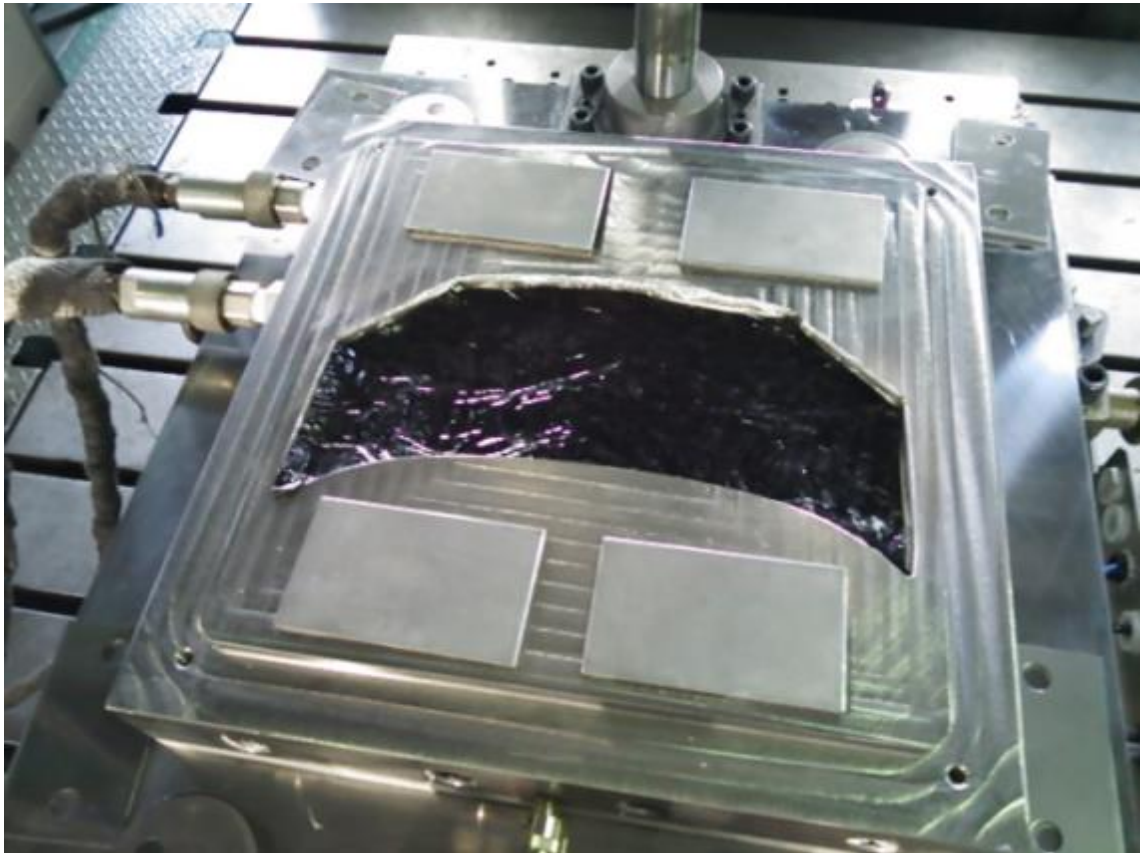


写真 13 素材を投入した直後の試作金型

当初は素材の特性や、金型等設備の運用手法等に起因する成形不良が発生したものの、トライ&エラーを繰り返すことにより素材の成形性特性を把握し効率的な設備運用法を構築することができ、その結果お客様にご覧頂くに十分な試作成形品の取得が可能となった。



写真 14 取得試作品

### ③-8 ③-7 後の金型補正

あらゆる素材の成形に金型は用いられるが、その製作過程における調整や、量産中におけるメンテナンスと呼ばれる補正作業は必須である。その補正作業における時間や頻度は、金型製作費用並びに量産維持費用となり、製品の生産コストに大きく影響する。

その補正の目的が取得製品の精度向上である事は共通しているが、その原因は見込み形状の微調整、摩耗や素材のバラツキによる変形等、様々である。これら  
の原因に対する対処方法の構築を行った。

以下に、今年度洗い出しを行なった、金型補正に関する問題点と対策の一部を記す。

#### <摩耗発生箇所>

##### [問題点]

素材流動時の抵抗が大きい

##### [対策]

##### ◇製品設計

・素材の流動が容易な形状に変更する

##### ◇金型

・耐摩耗性向上を図る(熱処理もしくは部材変更による硬度変更)

・交換が容易な構造とする(部分的に分割する)

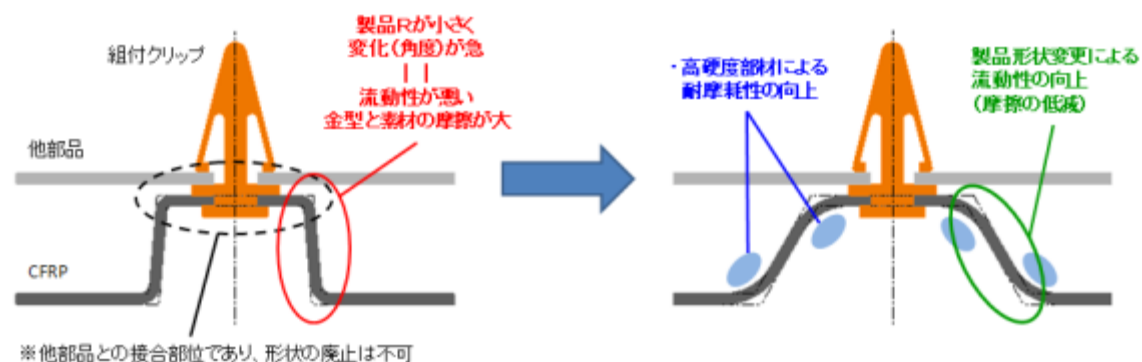


図 21 摩耗対策実施例

#### <微細な調整を要する箇所>

##### [問題点]

形状が非常に複雑であるが、製品用途上高い精度を要する(車体組付け部位等)

##### [対策]

##### ◇製品設計

・出来得る限り簡素な代替構造とする

・ひずみ等を発生させない強固な構造とする

#### ◇金型

- ・硬度が低く加工性の良い部材で作成し、調整後に熱処理等を実施し周囲と硬度を合わせる
- ・交換が容易な構造とする(部分的に分割する)

検討結果である、予測した問題点とその対策を事前に試作金型に織り込み、補正を必要としない、あるいは補正が容易な金型構造基準の確立に努めた。③-7により試作成形金型を実際に運用し、その内容の妥当性を検証した。

問題の発生予測が杞憂であったもの、実施した対策が非常に効果的であったもの等、結果も多様であったが、それらを精査し、金型構造基準にフォローアップした。

また、補正が容易であることを目的とした構造は、改修も容易な構造であるという副産物も得た。成形性手法に関わる改善提案並びに追加検証を目的とした金型改修を素早く行うことにより頻繁に成形トライを実施することを可能とし、成形手法の確立並びに製品設計手法の向上に一役買うこととなった。

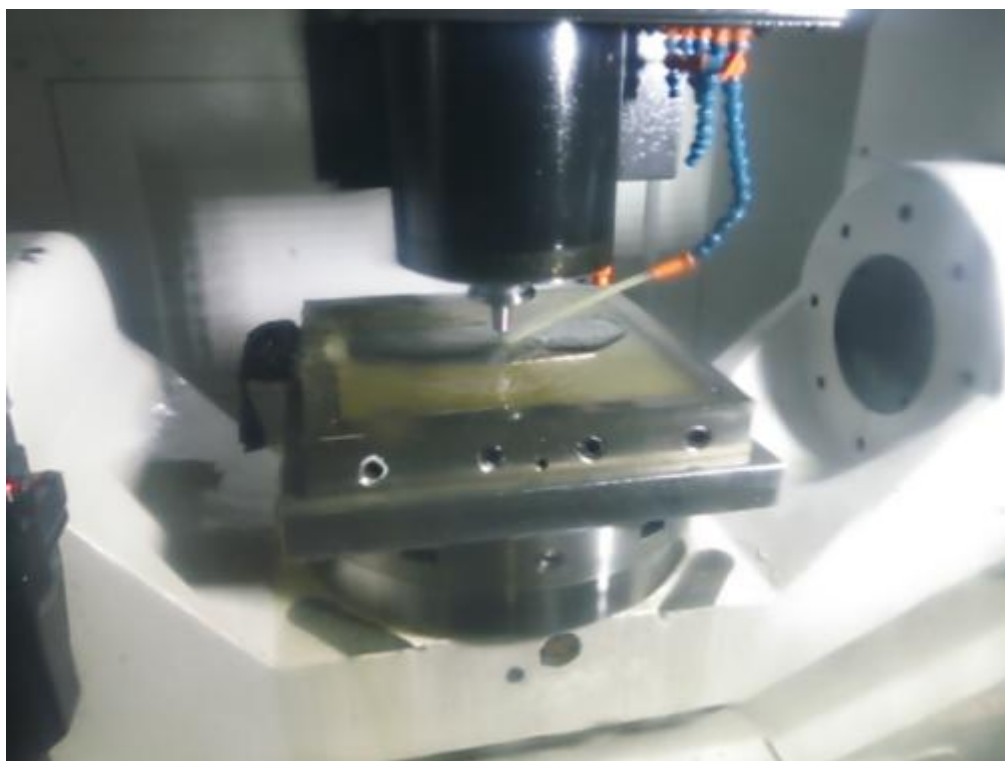


写真 15 補正加工中の試作金型成形部位

#### ④ 量産化のための自動化装置の開発

③-2にて金型の急速昇温並びに急速冷却機構を構築するため、現有の金型にて何度も昇温並びに冷却テストを繰り返した。結果、既存の設備では短時間での金型の温度変化が極めて困難である事が判明した。

しかしながら、金型を昇温並び冷却する事は目的ではなく、CFRPを加熱並び冷却するための手段であり、CFRPを直接加熱する事が可能であれば金型の温度は左程上昇させる必要は無く、むしろ冷却に重きを置くことが可能となる。

そこで、量産を目的とした自動化装置の一部として金型上にてCFRPを効率的に加熱する装置を開発し、サイクルタイムの短縮化を図ると同時に、素材温度に起因する製品の成形不良を排除し、生産性を高めた。これにより、前述の自動化装置の開発に資する技術ノウハウを獲得した。

##### ④-1 CFRP加熱装置の設計

CFRPを素早く加熱するには、電気エネルギーを用いる事が最も容易と考え、遠赤外線ヒーターを用いた。また、加熱により柔軟性を増したCFRPを運搬する事は極めて困難である為、加熱ユニットが上型と下型の間に侵入し金型上のCFRPを加熱する機構とした。更に、均一な加熱を図るため、3分割された加熱ユニットがそれぞれ金型形状に沿う様角度調整機能を有し、個別制御可能な構造とした。

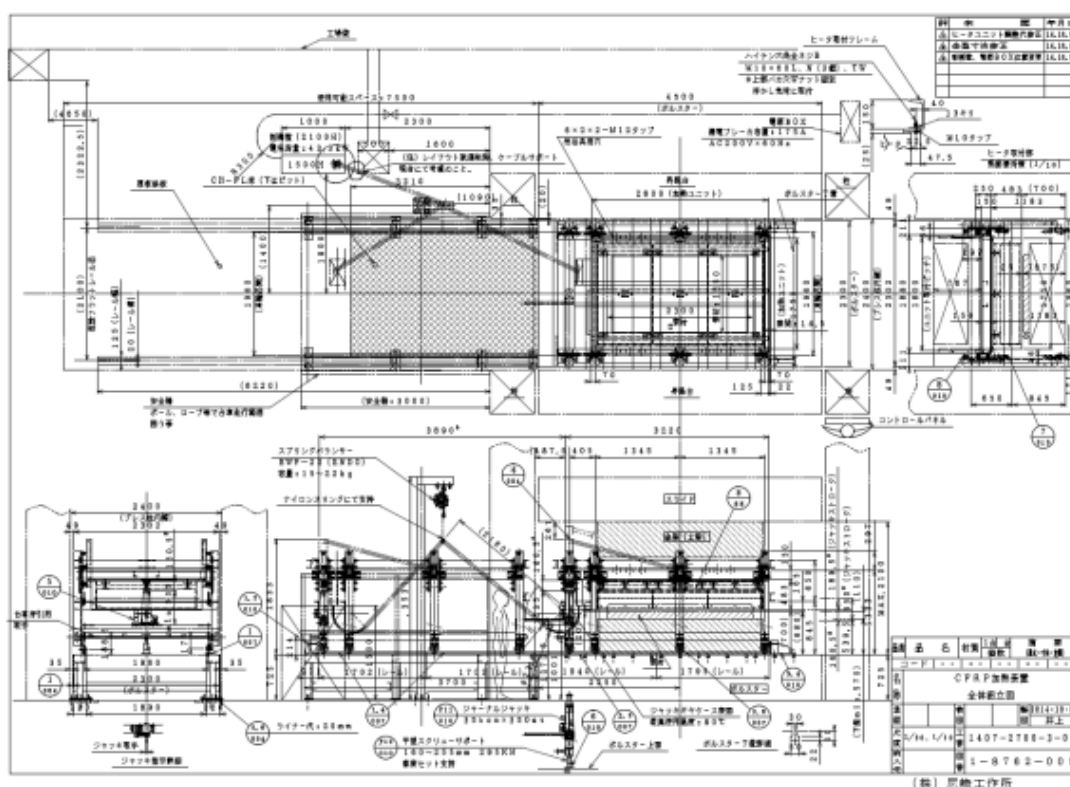


図 22 CFRP 加熱ユニット全体図

#### ④-2 CFRP加熱装置の製作

まず、加熱装置の要となる遠赤外線ユニットを製作し、その能力検証を行った。  
想定される素材サイズの四隅ならびにその中間に 15cm 四方のテストピースを配し、ユニット作動時のその温度を測定した。

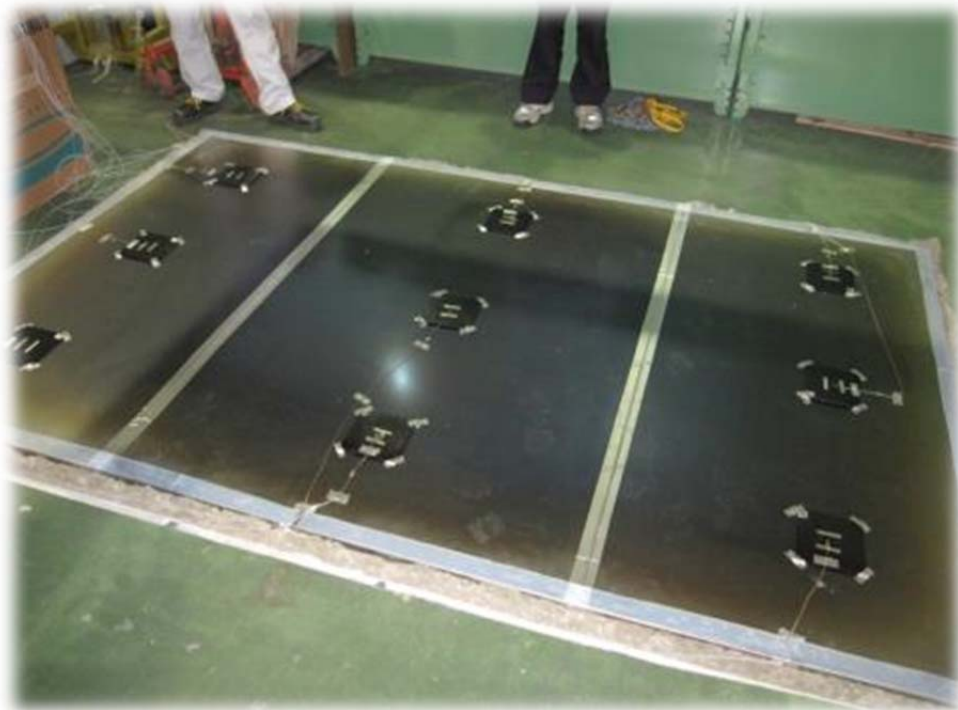
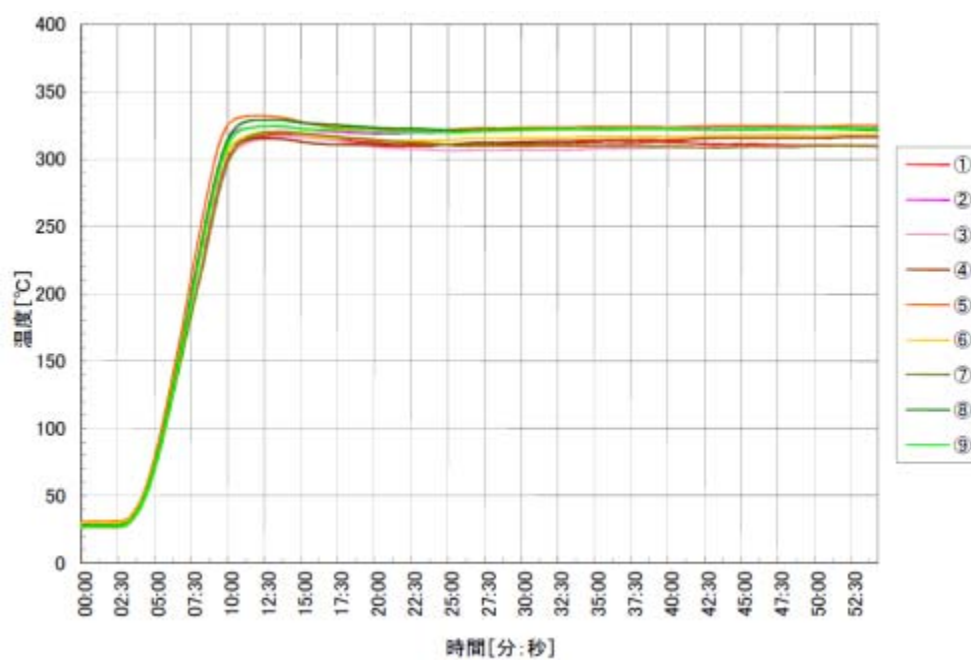


写真 16 加熱部検証時テストピース



グラフ 5 テストピース温度測定結果

全測定箇所が 300℃を超えるまでには 10 分程の時間しか必要としなかった。この結果により、遠赤外線ユニットが CFRP 加熱ユニットとしては十分な能力を有する事が実証された。

このユニットをスムーズに金型に侵入・退避する架台と組み合わせ、CFRP 加熱装置とした。

#### ④-3 CFRP加熱装置の調整と安定稼働

前項にて製作した CFRP 加熱装置を、ヤマセイ内試作時使用プレスである油圧 1500ton プレスに設置し、その可動を検証した。

数度の試行並びに調整を経て、ユニットの進退及び加熱は申し分なく行われる事が確認できた。



写真 17 CFRP加熱装置による検証

製作したCFRP加熱装置の効率化を図るべく、構造について改良の余地がないか協議した結果、「1. 熱源を被加熱部（CFRP）に近づける」「2. 発生した熱を内部に閉じ込める」の2案が実現可能かつ効果的と判断した。それらを実現すべく、装置の加熱部に自動昇降機能並びに金型との隙間を埋める機能を加えた。



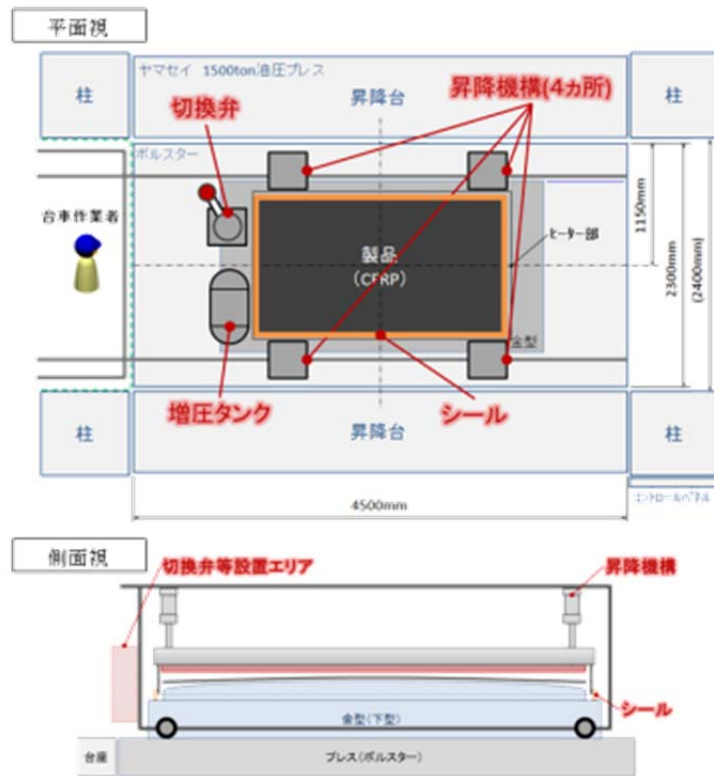


図 23 装置改良機構概要

項目	単位	改修前	改修後
ヒーター～素材距離	[mm]	500	200
最高素材加熱温度	[℃]	300	320
300℃到達時間(平均)	[分]	15	10
加熱時密封可否	—	不可	可能

写真 18 装置改良結果

改良の結果、加熱時間の短縮が可能となり、最高到達温度も上昇し、成形サイクルタイムの短縮化に大きく寄与する結果となった。

## ⑤ スチール材からCFRP材への代替時におけるコストシミュレーション手法の確立

部品のコストは、材料費などの「直接費」と金型、付帯設備などの「間接費」の2つに大きく分けられる。「間接費」は取得台数によって総額及び償却が異なり、その計算を煩雑なものとしている。これらを高い精度にて算出する計算手法を確立する。

前年度までに「金型製作費」と「樹脂製品量産費」それぞれの個別計算手法を検討した。本年度はそれら個別の計算手法を融合させ、総合的な複合材料による製品のコスト算出手法を確立し、それをシステム化する。

### ⑤-1 ①～④の実績コスト集計の分析

①による部品の素材、②による部品の構成、③による金型製造費並びに運用手法、④による生産付帯設備を含め、生産数と求める品質による前述の項を含めた各種条件の選定とそのコスト算出方法選定の為、集積した既存金型製作実績情報に、本研究にて製作した各検証用金型の情報も加え、それらを精査した。



図 24 部品生産コストの算出

### ⑤-2 計算手法の確立(ABC手法とタグチメソッドを基盤に検討)

板金用プレス金型及び一般樹脂成形用金型の製造費算出情報を融合させた複合材料成形金型の製造費用算出手法を暫定的に作成した。

これに樹脂製品量産におけるコスト計算情報を加え、総合的な複合材料による製品の量産コスト算出手法を確立させた。

### ⑤-3 システム開発

作成した計算式をシステム化した。この計算結果は客先に素早く提示可能であることが肝要と考え、そのシステムのベースは汎用性の高いマイクロソフト社のエクセルをベースとし、各項目をリストより選択もしくは数値を直接入力し単価を算出する機能を有す。

### ⑤-4 運用とブラッシュアップ

本システムの構築により、量産の単価算出が極めて簡便に短時間にて行うことが可能となった。

しかしながら、部品製造コストは成形手法の革新・素材の市場価格・進化する金型製造技術等々、多くの要因に左右される。これらの変化し続ける環境に対し柔軟に対応すべく、日々の更新が不可欠である。

本システムは、開発前においても数度の見直しを実施したが、開発後も愛媛大学による監修のもとヤマセイ並びにビューテックが得た実績値との比較による計算式のブラッシュアップを行った。このブラッシュアップは今後も継続して行い、本システムを製造技術とともに進化させ続けたい。

## 用語説明

### (注1) ISO

国際標準化機構 (International Organization for Standardization) の略称及びその規格。

### (注2) JIS

日本工業規格 (Japanese Industrial Standards) の略称及びその規格。

### (注3) 有限要素法 (FEM)

(Finite Element Method、FEM) 無限の自由度を持つ連続体を、ある指定された、有限個の未知量を含む部分領域、あるいは要素の集合体を用いて近似し、工学問題を解くひとつの手法

### (注4) ABC手法

原価計算の手法である活動基準原価計算 (Activity Based Costing) の略称。間接費を多面的に管理することにより、正確なコスト情報を提供する。直接費の把握に重点を置く伝統的な原価計算では莫大な間接費の管理に対応することが困難になってきた為、『製品が活動を消費し、活動が資源を消費する』という理念にて生まれた手法。

### (注5) タグチメソッド

日本では品質工学 (Quality Engineering) とも呼ばれ、技術開発・新製品開発を効率的に行う開発技法。田口玄一博士が「社会的な生産性、しかも頭脳労働の生産性を上げる事」を目的とし考案した手法であり、企業が「モノ造りは顧客側の理屈で考え、企業の利益と顧客側の損失とがバランスする」経営をすることを狙っている。TMと略されることが多い。

### (注6) UD [ユードィー]

単一方向に繊維が並んでいるもの。Uni Directionの略称。

### (注7) クロス [Cloth]

繊維が編まれているもの。布 (cloth) の呼称。ファブリック (Fabric) とも呼ばれる。

### (注8) ASTM

米国試験・材料協会 (American Society for Testing and Materials) の略称及びその規格。

## 第3章 全体総括

CFRP部品を事業化するための最大の障壁は、重量単価が鉄の10倍というコストである。輸送機器メーカーは軽量化を強く望んではいるが、コストアップには非常に消極的である。よって、部品製造工程の見直しをはじめ、鋼板にはない特性を活かした部品点数の削減とそれに伴う製造コストの低減等により、部品単体ではなくユニットとしてそのコストを吸収するしかない状況は、本事業開始当初から全く変化は無い。

今回の事業を通じて、高温状態における剛性または耐候性など、一般的には公開されていないCFRPの特性を知ることができた。また、成形品質並びに生産サイクルを決定付ける大きな要因と捉えている金型の温度制御についても、多くの知見を得ることができた。これらは、前述のコスト対策において極めて有益な知識である。それらを基にCFRP製部品をバスメーカー様へご提案できたこと、並びに好意的な評価を得たことは本研究の大きな成果であり、CFRP製部品の採用への確かな手応えを感じている。また、バスメーカー様よりご提案した部位以外への適用検討を依頼されたこと、トラックメーカー様からも鋼板からCFRPへの代替検討依頼を受けたことも、本研究の成果である。このようにCFRP製品については、車関連業者からは今後の素材として高いニーズがある。

本事業を通じて得た素材の特性、生産技術、人的ネットワーク等を駆使することで車関連業者の要望するCFRP部品について、柔軟に応談できるようになった。

今後は本事業で得た成果を基に、更に高度な生産技術を確立し、それを基に量産技術に昇華させる。合わせて、その技術にて生産する部品の品質向上とコストダウンを両立させることとする。