

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車部品用炭素繊維複合材のプレス成形加工技術に関する研究」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

6

委託者 関東経済産業局

委託先 特定非営利活動法人北関東産官学研究会

## 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	2
1) 研究開発の背景	
2) 研究の目的及び目標	
1-2 研究体制	3
1) 研究組織	
2) 管理体制	
3) 日程	
1-3 成果概要	6
1) 炭素繊維複合材料のプレス成形加工における金型精度及び表面仕上げに関する研究	
2) 炭素繊維複合材料の積層肉厚と金型温度におけるプレス成形加工性に関する研究	
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7

### 第2章 本論

2-1 炭素繊維複合材料のプレス成形加工における金型精度及び表面仕上げに関する研究	8
1) 概要	
2) 金型設計・製作プロセスと金型精度及び表面仕上げ(荒さ)について	
3) CF-PCM 材料を使用した1/4分割アウター用プリホーム製作工程	
4) CFRP(CF-PCM, CF-SMC)材のプレス成形加工性について	
5) CF-PCM 成形加工材の材料特性について	
2-2 炭素繊維複合材料の積層肉厚と金型温度におけるプレス成形加工性に関する研究	17
1) 概要	
2) CF-PCM(CFRP)材の積層肉厚と金型温度のプレス成形加工性について	
3) 金型表面温度分布の解析結果について	

### 最終章 全体総括

1) 研究開発の概要(第1章)	20
2) 本論(第2章)	21

## 第1章 研究開発の概要

本研究開発においては、CFRP 材料部品は自動車のエンジンフード部品に特化し、この成型性に関する金型構造の解析と金型の熱解析データを基本に金型仕様を検討し、CFRP 材料部品用の金型設計を行い製作するが、ここで使用する成形型はプリフォーム用プレス型と本プレス加工用の金型が必要になる。プリフォーム用成形型の精度及び表面仕上げは製品形状が保たれるレベルの成形型で良いが本プレス成形加工用金型の場合は金型精度としてハイレベルの高精度が要求され、部品によっては鏡面仕上げと表面処理を必要とする。製品の金型設計は基本的に部品形状の成形性を構造解析で検討し、部品のしわ、割れ、寸法精度等の確認を行い、そのデータを基本に金型設計に関する研究を行う。総合的金型仕様は金型の温度条件や摩擦係数等を考慮して金型クリアランス(寸法精度)や表面粗さを決定し製作するが、さらに CFRP 金型の熱解析結果を金型製作に反映するとともに金型製作に関する技術的ノウハウを融合した CFRP 金型基盤技術を確立する研究である。

### 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

近年、地球温暖化対策のために CO<sub>2</sub>の削減や省エネルギーのための燃費の向上など自動車の軽量化による対策は社会的に急を要し軽量化に対する価値観が高まっている。特に自動車の CO<sub>2</sub>排出自主規制は 2009 年においては 140g/km(自動車工業会)を目標とする時代背景があり自動車の軽量化施行が急激に進んでいる。特に電気自動車の航続距離を拡大するためには車両の軽量化は必須の条件である。このような背景のなかで川下製造業者が抱える軽量化に対する研究開発のニーズは、炭素繊維複合(CFRP)材料の優れた特徴を生かした軽量化対象部品として図-1に示したエンジンフード、ルーフパネルなどの車両外板部品を研究開発する。更には車体フレームなどの車体構造部品に適用が考えられるが将来は日本経済を支える 21 世紀の自動車用材料として注目されている。これらの部品が炭素繊維複合(CFRP)材料に置換されると車両質量 10%の軽減で燃料消費量は約 7%向上し、CO<sub>2</sub>削減量も約 3.5%削減される試算があり、炭素繊維複合部品の生産性の向上とコスト低減に期待がかかる。また炭素繊維複合部品は高強度・高剛性を有すると共にエネルギー吸収特性に優れ、リサイクルが可能な材料であるため、他分野の産業の商品に適用され地域の新規産業と雇用の創出に貢献できる。このような社会的背景により自動車用炭素繊維複合部品をプレス成形加工法にて製作する研究開発である。



図-1 研究課題と解決部品

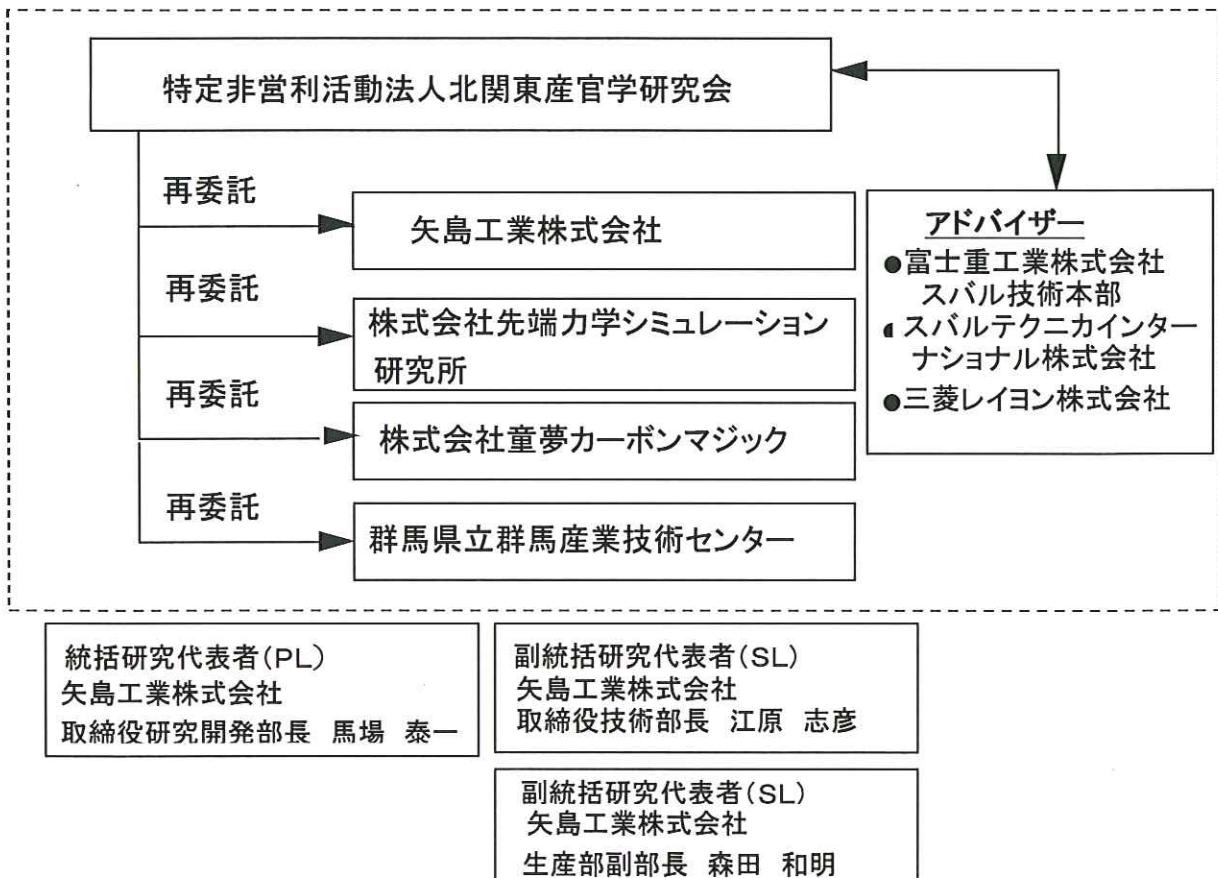
## 2) 研究の目的及び目標

本研究開発の目的は、車体軽量化のために高強度な CFRP 部品に置換する際、プレス成形加工において金型設計と製作に関する技術的な課題がある。そこで金型設計に構造解析と温度分布解析シミュレーションを導入すると共に、技術的ノウハウを融合させ高度化した CFRP 金型に関する研究開発を行い、CFRP 部品のプレス成形加工技術の基盤を確立することである。

本研究開発の目標は CFRP 用プレス部品の金型設計に関して構造解析シミュレーションを導入すると共に金型の温度分布解析データをベースに高度な基盤技術を確立することである。また金型製作に関しては、経験的な技術的ノウハウに属する実用的技術に依存するため、高度化した金型温度分布解析シミュレーションと実用的ノウハウを融合して CFRP 部品の金型仕様を明らかにする。このようなプロセスにより金型設計・製作を効率的に実施し CFRP プレス加工用金型に関する基盤技術の確立を図るものである。

### 1-2 研究体制

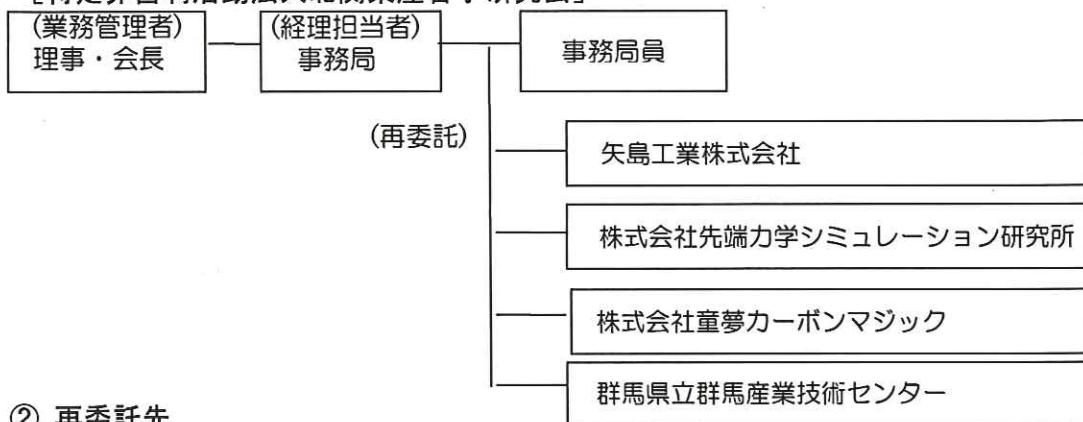
#### 1) 研究組織



## 2) 管理体制

### ① 事業管理者

[特定非営利活動法人北関東産官学研究会]



### ② 再委託先

[矢島工業株式会社]



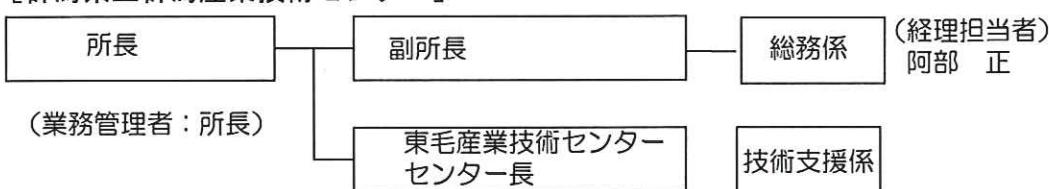
[株式会社先端力学シミュレーション研究所]



[株式会社童夢カーボンマジック]



[群馬県立群馬産業技術センター]



再委託先  
研究者氏名

矢島工業株式会社

氏名	所属・役職	備考
馬場 泰一	取締役 開発研究部・部長	
江原 志彦	取締役 技術部・部長	
森田 和明	生産部・副部長	
根岸 和生	生産部・生産管理課長	
長田 弘明	開発研究部・開発課長	
篠原 悅男	技術部・主任研究員	
川島 浩生	技術部・研究員	
下山 良明	生産部・主任研究員	

株式会社先端力学シミュレーション研究所

氏名	所属・役職	備考
池田 貴	取締役 商品事業部・部長	
金井 茂	商品事業部・マイスター	
佐藤 允俊	技術開発部・研究員	
大川 由夫	経営管理部・部長	
松永 和江	技術開発部・研究員	

株式会社童夢カーボンマジック

氏名	所属・役職	備考
白波瀬 徹	技術部門・マネージャー	
足立 岳志	製造部門・マネージャー	

群馬県立群馬産業技術センター（東毛産業技術センター）

氏名	所属・役職	備考
小谷 雄二	技術支援係・独立研究員	
薄波 圭司	技術支援係・主任	

協力者

氏名	所属・役職	備考
八木 正博	特定非営利活動法人 北関東産官学研究会	アドバイザー
神林 茂美	富士重工業株式会社 スバル技術本部 副本部長	アドバイザー
大和 正明	スバルテクニカ株式会社 技術営業部長	アドバイザー
小川 繁樹	三菱レイヨン株式会社 CF グループ部長	アドバイザー
酒井 正	株式会社カナエ化成品部 開発グループ長	アドバイザー

### 3) 実施計画日程

実施内容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①炭素繊維複合材料のプレス成型加工における金型精度及び表面仕上げに関する研究							←			→		
②炭素繊維複合材料の積層肉厚と金型温度におけるプレス成型加工性に関する研究							←			→		
③プロジェクトの管理・運営 研究開発推進委員会 報告書作成							←	プロジェクトの管理・運営	→			◇

### 1-3 成果概要

CFRP 軽量化材料のプレス成形加工の金型は自動車のエンジンフード部品に特化しその部品の構成を1/4分割したアウター・インナーを成形加工する金型に関する研究を実施した。また CFRP 材料の成形加工をする際、極めて重要とされる均一な金型温度分布検証用としてフルサイズ金型を製作し温度ヒーター方式の金型の熱解析を実施した。研究課題と成果の概要は下記に示す。

#### 1) 炭素繊維複合材料のプレス成型加工における金型精度及び表面仕上げに関する研究

- (1) CFRP プレス金型はエンジンフードの3次元CADデータより金型設計ツールとして金型形状シミュレーションソフトの使用と経験的ノウハウに基づき金型設計を行いそのデータをNC化しマシニング加工を行った。金型精度は1/4分割アウターパーツ用金型及びインナーパーツ用金型においてクリアランスを変えて成形加工性の影響を研究した。その結果 CFRP 金型としては的確な精度を確保する必要のある結果を得た。
- (2) 表面仕上げによる成形加工性に関する研究はアウターパーツ用<sup>\*1</sup>CF-PCM 材料において3種類 (#600、#800、#1000) の表面粗さを評価したところ表面粗さの良いほうが表面品質が安定して良い事が判った。<sup>\*2</sup>CF-SMC 材料を使用したインナーパーツの表面粗さの影響は時間の関係で確認できなかった。
- (3) 金型精度は CFRP を成形加工する場合、金型温度の影響が重要で、適正に温度を保持する必要がある。すなわち上金型、下金型の温度を変えてプレス成形する場合は、それぞれ熱膨張の影響を考慮した金型仕様とした。金型表面温度分布は温度センサーにより適性な制御を行い、金型表面温度はほぼ目標通りの均一化が図れた。この結果は金型熱解析の結果とほぼ一致し、金型表面温度解析プロセスは熱源の位置、温度制御法、断熱特性等を考慮する手法はほぼ確立できた。

#### 2) 炭素繊維複合材料の積層肉厚と金型温度におけるプレス成型加工性に関する研究

- (1) CFRP(CF-PCM、CF-SMC)材料の積層肉厚とプレス成型加工性に関する研究
- CFRP 材料(CF-PCM)のプレス成形加工に影響する要素としてプリホーム(CF-PCM)の完成度が重要である。プリホームの品質を上げるためにには作業工程手順を明確にして製作する必要がある。それには高精度なプリホーム型を製作し<sup>\*3</sup>プリプレグをプリホーム型形状に沿わせ

て積層し、プリホーム積層後のデバルク(真空引き)を行なうが、この工程は成形加工品質を向上するために重要であることが判った。また、これらの工程における技術は経験的ノウハウが支配する分野であることを確認した。

1/4 分割アウター(CF-PCM)の積層枚数と肉厚については5プライと 10 プライの成形加工性につき研究した。その結果、積層枚数による成形加工性ほぼ問題なく目標通りの成果が得られた。

CF-SMC 材の成形加工は1/4 分割インナーに適用したがこの場合はプリホームを作製する必要はなく直接 CF-SMC シート材を金型上にセットしプレス成形加工することが出るもので CFRP 材肉厚は金型仕様により決められることが判った。

#### (2) CFRP(CF-PCM, CF-SMC)材料と金型温度のプレス成形加工性についての研究

CF-PCM 材料を使用した1/4 分割アウターパーツの場合、外装表面品質を上げるために上金型温度、下金型温度に差をつけた場合と上、下金型同温度にした場合を比較したが有意差はなかった。

1/4 分割インナーパーツは金型表面温度を同一状態でプレス成形加工を実施した結果、目標通りの成果が得られた。金型温度は一般的にエポキシ樹脂を硬化させる最適温度に設定し、プレス成形加工を実施した。

重要なことは金型表面温度が均一な温度に保持されていることで、金型の熱源ヒーター仕様と位置関係は温度分布解析結果を踏まえて検討し、金型表面温度分布を検証した。その結果、1/4 分割アウター・1/4 分割インナーパーツともにほぼ目標通りの温度分布が得られ、プレス成形加工を計画通り実施することが出来た。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

矢島工業株式会社 開発研究部 馬場 泰一

電話番号: 0276-32-3633, Fax: 0276-31-1315

E-mail:baba@syms.co.jp

#### 専門用語の解説

- 1) \*<sup>1</sup>CF-PCM; Carbon Fiber-Prepreg Compression Molding の略で、炭素繊維の長いプリプレグのプレス成形加工法を言う。
- 2) \*<sup>2</sup>CF-SMC; Carbon Fiber-Sheet Molding Compound の略で炭素繊維が不連続のプリプレグをプレス成形加工するもので、複雑形状のプレス成形が可能となる特徴がある。
- 3) \*<sup>3</sup>プリプレグ; 数  $\mu$ m の炭素繊維に熱硬化性樹脂が含浸された複合材料で、薄いシート状になっている材料である。

## 第2章 本論

### 2-1 炭素繊維複合材料のプレス成型加工における金型精度及び表面仕上げに関する研究

#### 1)概要

炭素繊維複合材料のプレス成型加工用の金型設計は、設計ツールとして CATIA ソフトを使用して部品形状を3Dデータ化し、部品形状に最適な金型の設計を行うものである。部品の成型加工性の検討は PAM-AUTOSTAMP ソフトで部品のしわ、割れ、寸法精度等のシミュレーション解析を行い、そのデータを THINK DESIGN ソフトで部品形状の確認を行い、再度 PAM-AUTOSTAMP ソフトで部品の構造特性を確認し、適切な金型形状を CATIA や CADSEUS 等を使用して金型仕様を決定する設計手法を実施した。金型はエンジンフード部品の1/4 分割アウター部分と1/4 分割インナー部分およびフルサイズ金型を作成することにした。

1/4 分割アウター金型は CFRP の材料特性と構造部品との関係を考慮して金型クリアランスや表面粗さ等の加工条件を調整した。最終的には1/4 分割アウター金型は外装品質を確保するため、金型全面の鏡面仕上げを行なった。1/4 分割インナー金型は金型クリアランスの成形加工の影響を確認するため、一般的な精度で製作した。フルサイズ金型は金型温度分布検証としたため一般的な精度とした。CFRP 材料のプレス成形加工ではプレス成形加工機の特性と金型仕様および温度制御が極めて重要な技術的課題となる。これらの問題は経験的ノウハウに属する技術が多いが、高度な金型熱解析やプレス加工技術を駆使して製品のハイサイクルプレス成形加工技術の確立を狙い検証した結果ほぼ目標通りの結果を得た。

また CFRP(CF-PCM)の成形加工性に影響する要素としてプリフォームの製作が重要となるが、プリフォーム型の精度及び表面仕上げは製品形状が保たれるレベルの仕様精度で成形加工の確認を行い所期の成果を得た。

#### 2)金型設計・製作プロセスと金型精度及び表面仕上げ(表面粗さ)について

スバル 2.0ターボ車エンジンフードの1/4 分割 CFRP 部品の金型構想は高品質・高精度でコンパクトな構造で安価な金型で成形加工性の研究をする事にした。その部品構想は CF-PCM 材のカーボンクロス目意匠を表面に出すもので、その外観図は図-2 に示した。

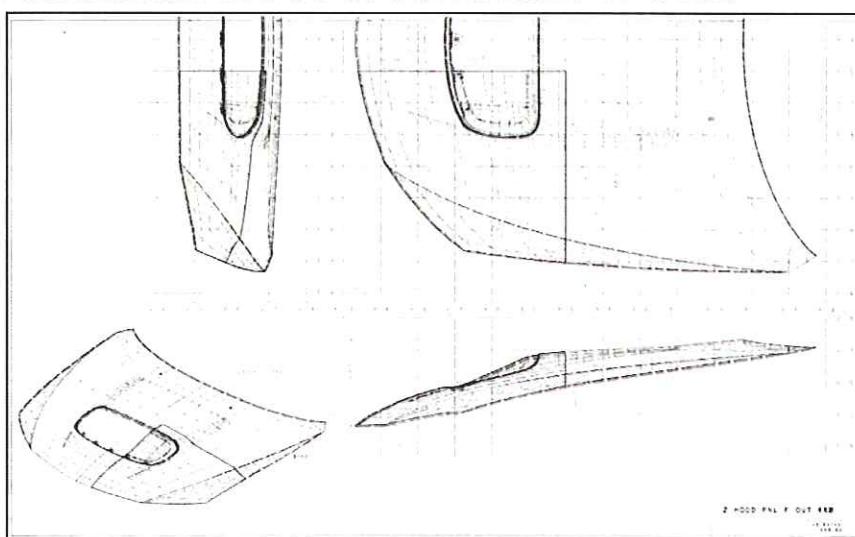


図-2 1/4 分割アウター構想図

## 2-1) 1/4 分割アウター金型関係

このような部品を製作する構想に基づき1/4分割アウター金型はCF-PCM材料のプレス成形加工に適応した手法で金型形状を高度な設計手法で検討し、基本形状を決定した。その基本部品形状は図-3に示した。

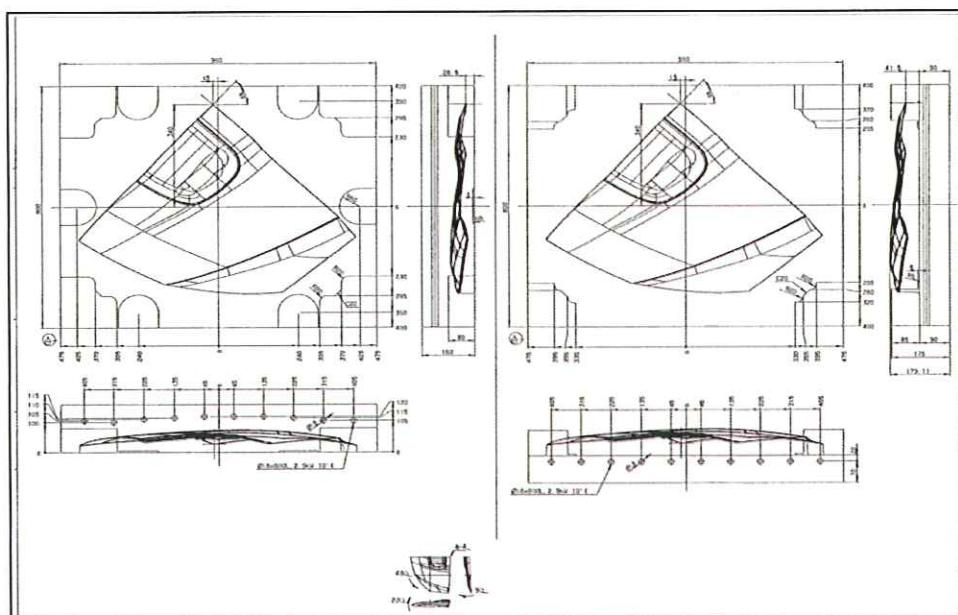


図-3 1/4 分割アウター基本部品形状



図-4 下金型(コア)の表面仕上げ(#1000)



図-5 上金型(キャビティ)の表面仕上げ

### ① 1/4 分割アウター金型精度

CFRP 金型精度は成形加工時の温度条件を考慮した高精度のもので、金型クリアランスは最適仕様とした。その金型クリアランスは金型温度を上型、下型で差をつけた場合及び同一温度の場合のクリアランスを考慮して最適な仕様とした。

### ② 金型表面仕上げ

金型表面仕上げは1/4 分割アウター金型に#600、#800、#1000 ごとの荒さ区分領域を設定し、金型表面粗さと成形加工品の表面品質を評価した。その結果表面粗さは仕上げ精度の高いレベルでないと表面品質上、問題である結果であった。

### ③ 1/4 分割アウター金型(キャビ)の表面粗さの計測結果

金型の表面荒さは計測ポイント#1000 領域 12 ポイント、#800 領域9ポイント、#600 領域 10 ポイントを表面粗さ計で計測した。

その結果、表面粗さの特性は図-6 に示した。粗さ区分の中では#1000 が最も優れた結果で荒さの標準偏差は約 0.4、荒さの平均値は約  $0.2 \mu m$  であった。

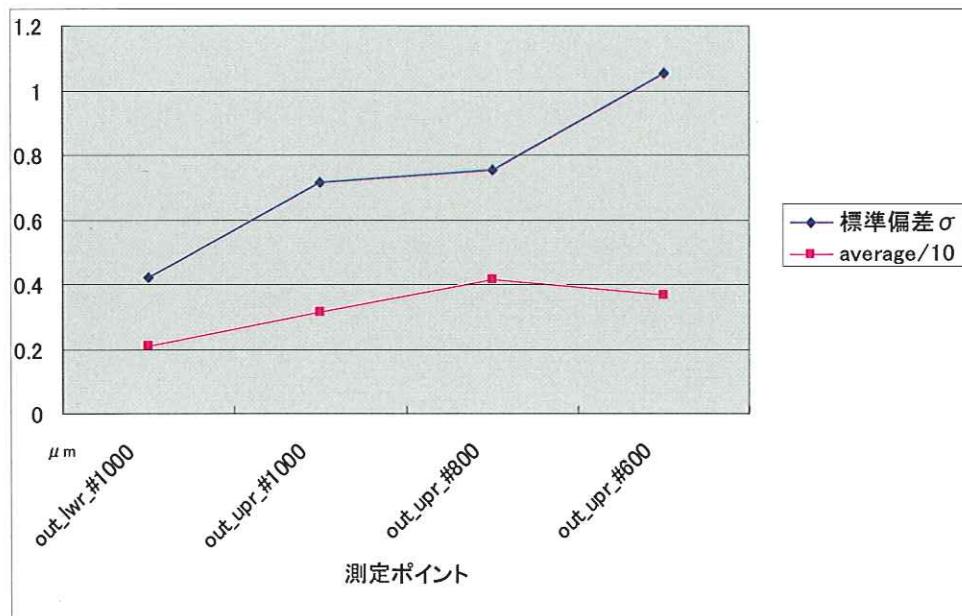


図-6 金型表面粗さ特性

## 2-2) 1/4 分割インナー金型関係

### ① 1/4 分割インナー金型構想

1/4 分割インナー金型構想はエンジンフードの剛性強度と装着金具のインサート(プレートねじ)が必要となるため、CFRP 材料として CF-SMC を使用する金型を設計し製作した。1/4 分割インナー部品は図-7 に示した複雑形状を有したものである。

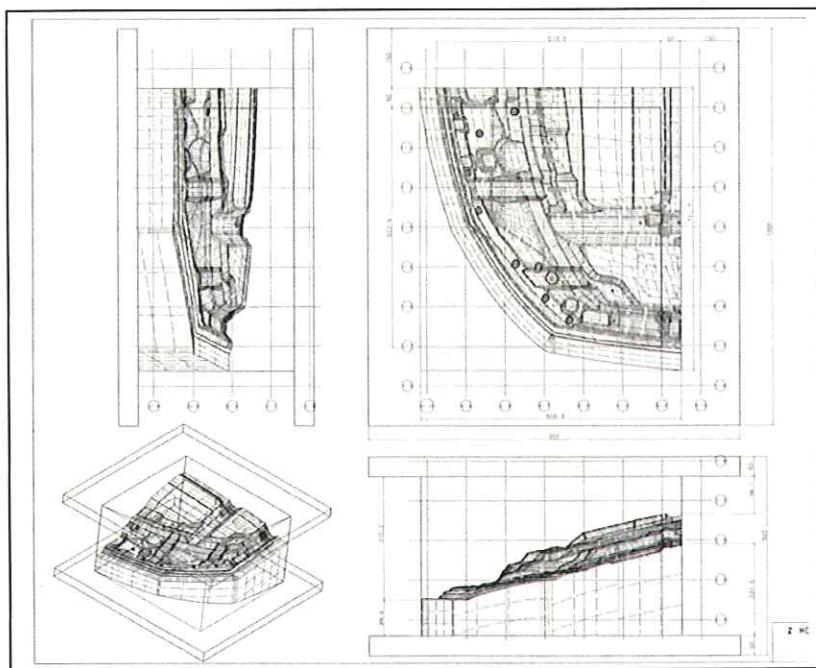


図-7 1/4 分割インナー金型構想図



図-8 1/4 分割インナーアンダーモールド(コア)

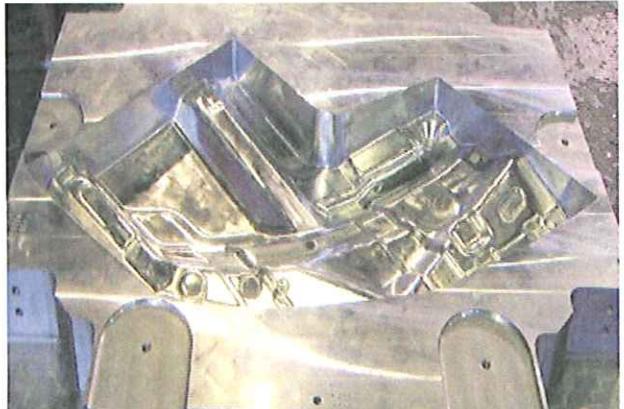


図-9 1/4 分割インナーアップモールド(キャビティ)

## ②1/4 分割インナー金型精度と表面仕上げ

本金型の精度は一般的な金型クリアランスとして設計・製作した。その主旨は金型精度と成形性の関係をアウター金型と比較することができること、金型製作費用と製作期間を短縮できるメリットを考慮して製作したものである(図-8、9)。

1/4 分割インナーは複雑形状した断面をもつ部品のため材料は成型上 CF-SMC 材を使用しプレス加工をする。この材料は比較的厚いシート状のもので、プリホームを必要することなく金型の上部に製品形状のシートを乗せ肉厚を要する部分は更に部分的にシートを貼り付けると言うパターンでプレス成形加工した。1/4 分割インナーパーツはアウターの裏面に装着するもので、金型の表面粗さは一般的な表面品質で良いこと等により表面仕上げは普遍的な粗さの金型とした。

## 2-3) エンジンフードフルサイズ金型関係

エンジンフードフルサイズ金型は CFRP プレス成形加工上、重要な要因である金型温度分布検証用として製作することにした。プレス金型精度や表面仕上げの成形加工性に関する影響は1/4分割金型で研究できること、金型の表面温度分布は金型の大きさに影響されること等により熱源ヒーターの本数を増加して均一な表面温度にする制御を調査することとした。従って金型精度・表面仕上げ等は1/4分割インナー金型と同一仕様とした。

熱源は一般的にはこの大きさの金型においては蒸気を熱源として使用する方法が用いられているが研究開発においては電源制御で金型表面温度の均一化を図った。

3D 図と金型の設計図は図-10-1、-2 に示した。

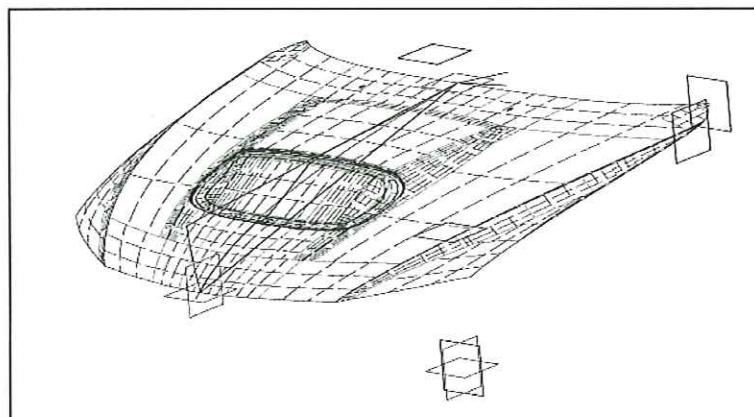


図-10-1 エンジンフードフルサイズ部品図

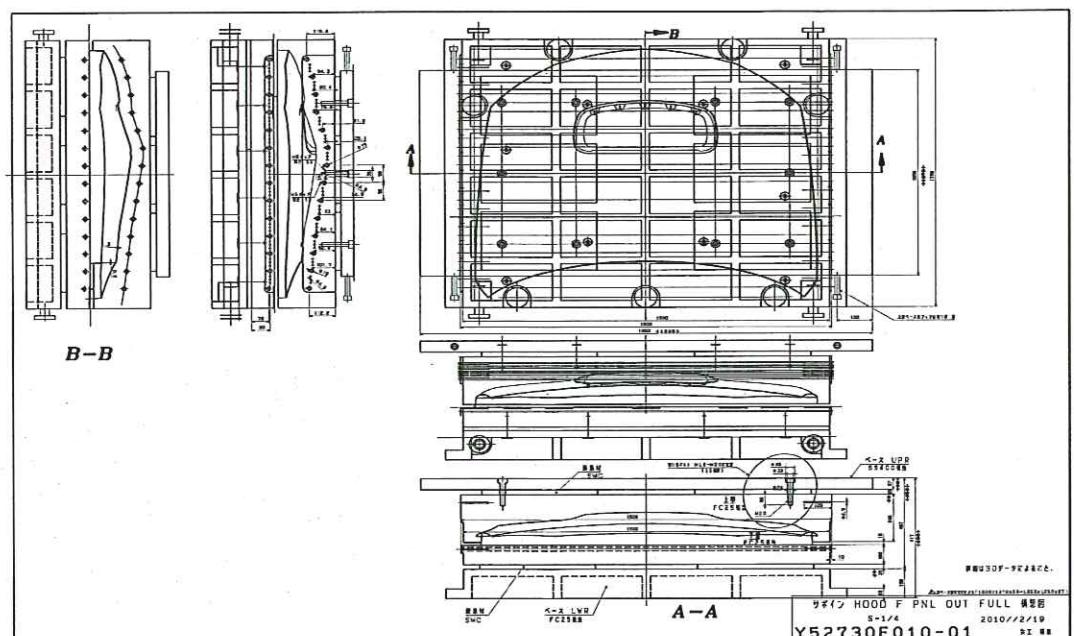


図-10-2 エンジンフードフルサイズ金型設計図

### 3) CF-PCM 材料を使用した1/4 分割アウター用プリホーム製作工程

プリホームの製作にはプリホーム型が必要であるが、この型の製作工程は製品3Dデータよりソリッドデータを作成しそのデータよりNC切削機械で作製する。プリホーム型材料はケースバイケースで異なるが本研究の場合はワーカブル樹脂で作製した。1/4 分割アウタープリホーム(CF-PCM、5 プライ)及びプリホーム型の設計と製作は図-11 に示した。

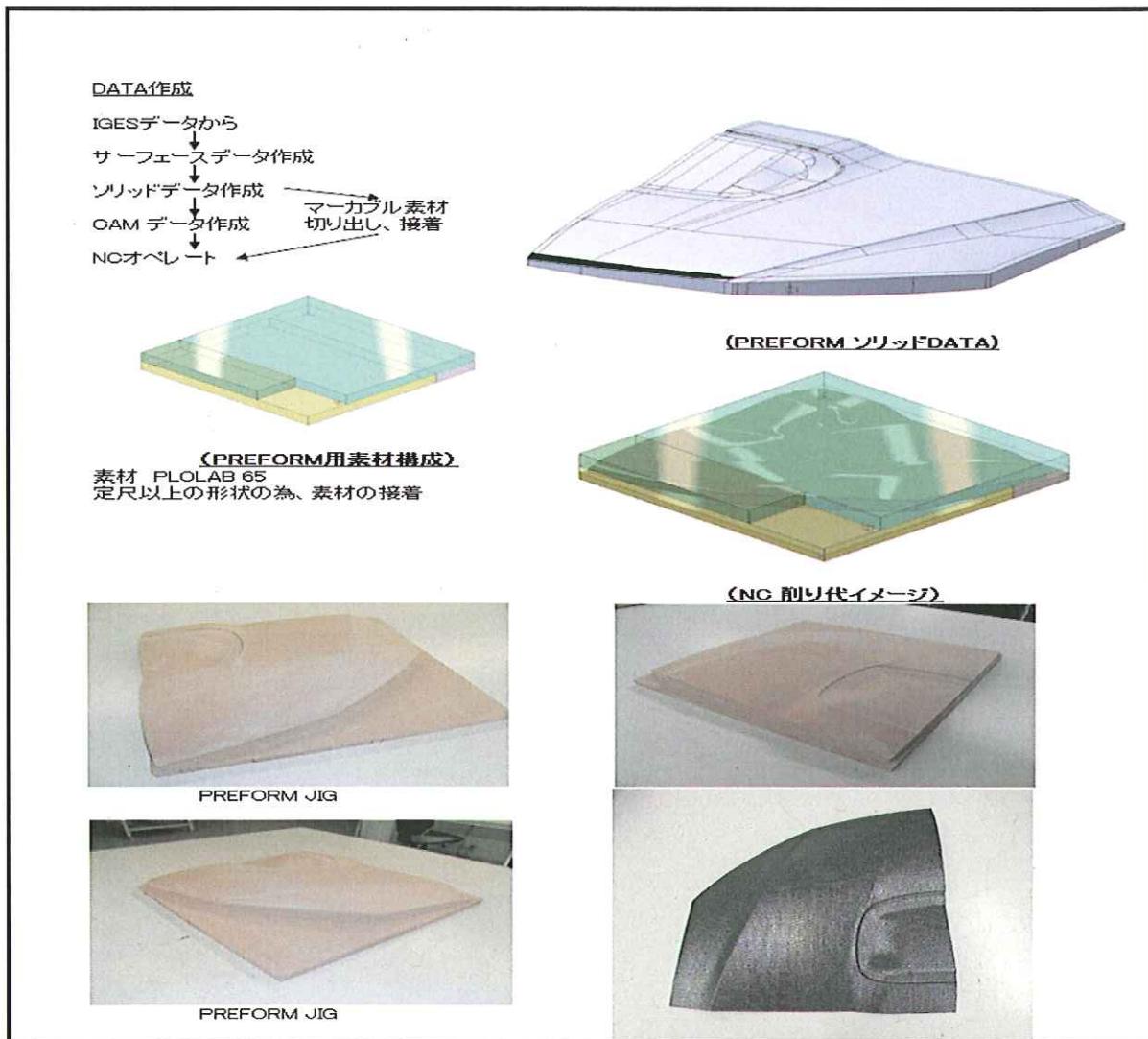


図-11 プリホーム型の設計と製作

### 4) CFRP(CF-PCM, CF-SMC)材のプレス成形加工性について

CFRP 材のプレス成形加工については、三菱レイヨンkkの特許(40222222 )を使用して1/4 分割アウター及び 1/4 分割インナーのプレス成形加工を行なうものであるが、近年 CFRP 材料の成形加工技術に関する動向が注目されている。この技術動向と CF-PCM、CF-SMC 材料を使用したプレス成形加工の手法の概要について記述する。

#### 4-1) CFRP 成形技術について

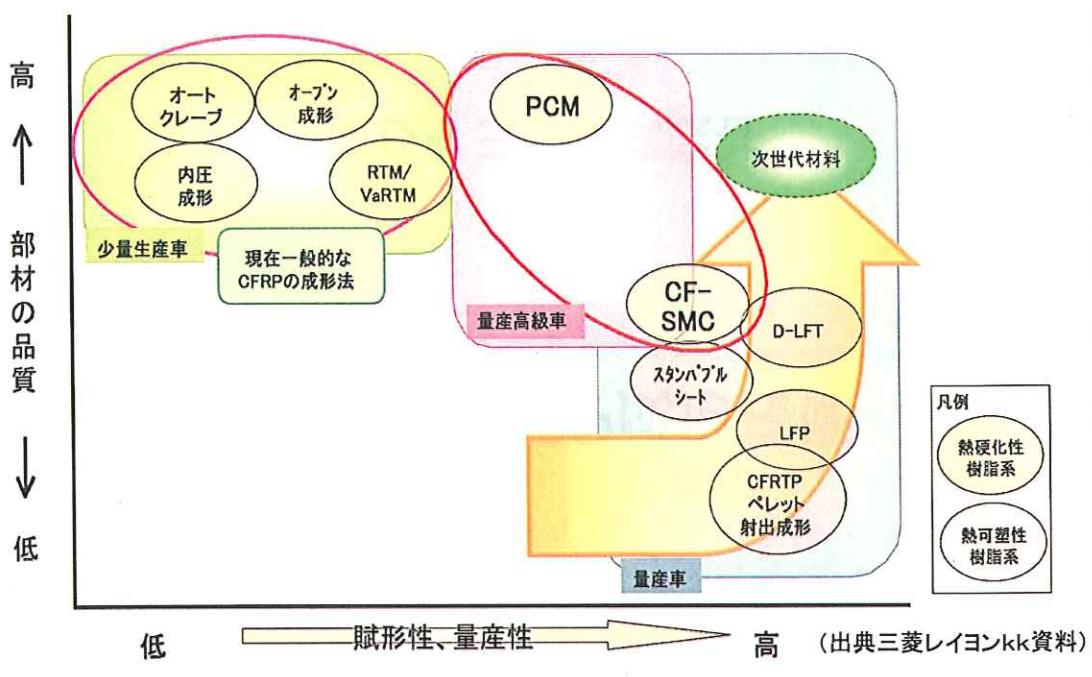


図-12 CFRP 成形技術動向

CFRP 材の成形法は図-12 に示されているようにオートクレーブ法に代表される製法技術が主流であるが量産的でないため他の成形加工技術の研究が近年急速に進んでいる。そこで量産的な生産手法として最近注目されているプレス成形加工法について図-13 にその概要を示すとともに CF-SMC, CF-PCM のプレス成形加工工程事例について示した。

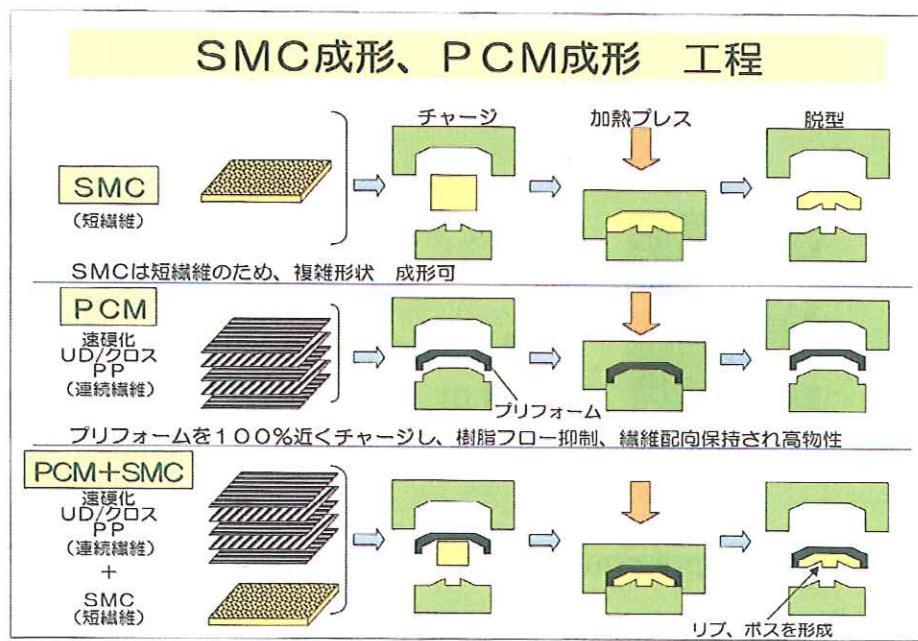


図-13 CFRP 材とプレス成形法

#### 4-2) CFRP 材成形法と物性

図-14 に各種成形法に基づく CFRP の物性比較について示した。この物性比較を見ると量産的な CF-PCM の優れた特性がわかる。

図-14 各種成形法物性例の比較

成形法	PCM	AC	VCP	RTM	SMC
材料	エポキシ 一方向 CF	エポキシ 一方向 CF	エポキシ クロス CF	エポキシ CF 織布	ビニルエスチル ラミダ・ACF
繊維体積 含有率[%]	60	60	50~55	45	41
曲げ強度 [MPa]	1470	1440	1000	900	500
曲げ弾性率 [GPa]	68	68	55	50	30
層間せん断 強度[MPa]	79	86	65	65	34

#### 4-3) 1/4 分割アウターの CF-PCM プレス成形加工について

1/4 分割アウター金型による CF-PCM 材の成形加工はアドバイザー(三菱レイヨンkk)の助言と指導により油圧プレスで実施した。プレス成形加工に際しては金型表面温度分布を確認し CF-PCM 材で作製された 1/4 分割アウタープリホームを高精度な金型にセットしプレス成形加工を行なった。CFRP1/4 アウタープレス成形加工は高精度なプリホーム(CF-PCM、5 プライ)と熱解析結果を反映したプレス金型表面温度コントロールにより、ほぼ期待通りのプレス成形加工部品が得られた。

成形金型温度は上型、下型共に同一温度、成形加圧力は製品の要求品質に基づき、適切にコントロールする必要のあることが判明した。これらの成形加工条件は的確にコントロールしないと成形部品の品質に差の出ることが明らかになった。適切な成形加工条件で成形した 1/4 分割アウター成形部品を図-15 に示したが、アウター部品の端面仕上げは簡単なバリ取りのみで、トリング工程は必要ない効率的な生産プロセスでよい事が判った。また図-16 にプレス成形加工品の CFRP クロス目意匠品質を示したが、川下メーカーの表面仕上げ評価は要求品質をクリアするものであった。



図-15 1/4 分割アウター成形製品

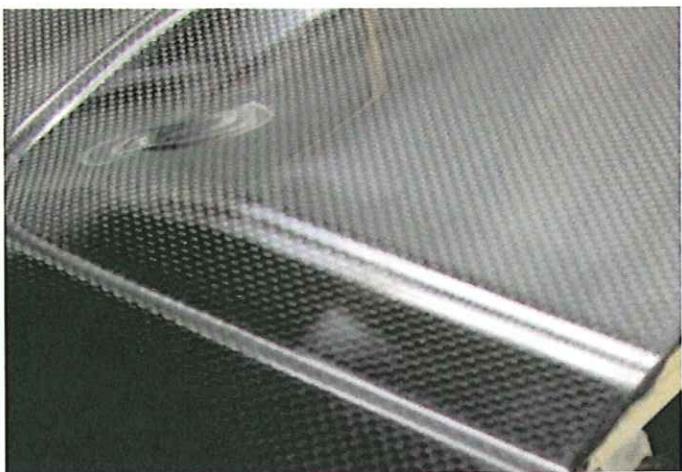


図-16 CF-PCM 成形クロス目意匠品質

#### 4-4) 1/4 分割インナー金型による CF-SMC プレス成形加工について

1/4 分割インナー金型による CF-SMC 材の成形加工は、CF-PCM 成形加工と同様な手法で実施した。プレス成形加工に際しては金型精度(クリアランス)の影響を主体に確認することにした。成形加工条件は上下金型同一温度、加圧圧力はサイクルタイムを最小にする最適条件を調べて決定した。インサート成形加工においてはインサート金具を完全に固定することが重要である。金型に設置したインサート金具は、不十分な固定方法であったが補強リブ成形加工を含めてほぼ図面通りの成形が出来た。図-17 に 1/4 分割インナー成形部品を示した。また図-18 にエンジンフード取り付け用のプレートネジのインサート状態を示した。



図-17 1/4 分割インナー成形部品



図-18 CF-SMC インサート成形加工

#### 5) CF-PCM 材料の機械的特性について

CF-PCM 材料のプレス成形加工部品の材料試験を実施した。本材料は 1/4 分割アウタープレス製品と同等の板材よりテストピース(JIS7061)を作製した。テストピース形状は図-19 に示した。CFRP 材料の機械的特性は超ハイテン材並の特性を有する事が判った。(図-20)

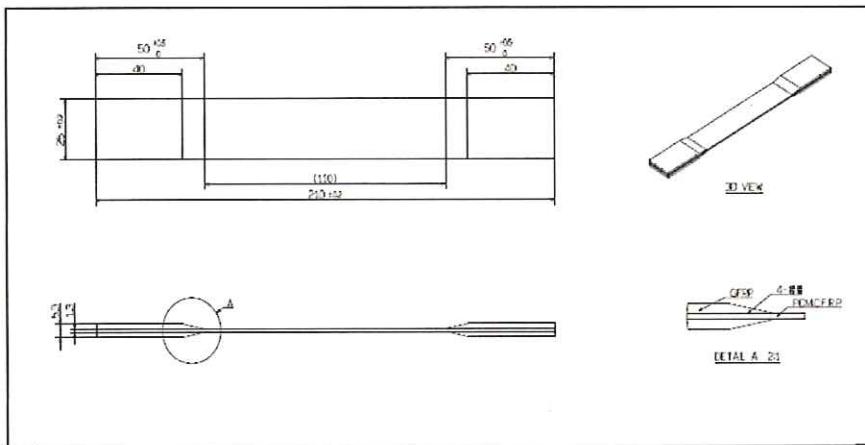


図-19 CF-PCM 材テストピース形状

	No.	厚さ (mm)	幅 (mm)	最大 荷重 (N)	強度 (MPa)	弾性率 (GPa)	変位 (mm)	観察記録
1	0-1	1.39	25.14	40510	1159.4	77.4	6.76	クロス・UD間剥離及び破断
2	0-2	1.38	25.17	41650	1199.2	82.7	6.7	クロス・UD間剥離及び破断
3	0-3	1.34	25.16	39890	1183.3	82.8	6.59	クロス・UD間剥離及び破断
平均値		1.37	25.16	40690	1180.6	81	6.68	
標準偏差		0.03	0.02	893.07	20.05	3.08	0.08	
変動係数		1.93	0.06	2.19	1.7	3.81	1.26	
最小		1.34	25.14	39890	1159.4	77.4	6.59	
最大		1.39	25.17	41650	1199.2	82.8	6.76	

図-20 CF-PCM 5プライ材料特性

## 2-2 炭素繊維複合材料の積層肉厚と金型温度におけるプレス成形加工性に関する研究

### 1) 概要

1/4 分割アウターCF-PCM 材の積層肉厚は成形加工工数の関係により約 1.0mmと約 1.3mmに統一して加工性を研究する事にした。

その結果は肉厚によるエポキシ樹脂の硬化に及ぼす成形加工性の影響はなかった。また金型の表面温度分布は金型において目標の均一温度分布にコントロールすることが出来た。

### 2) 1/4 分割アウターCF-PCM 材の積層肉厚と金型温度のプレス成形加工性について

- ① CF-PCM 材の積層肉厚は約 1.0mmと約 1.3mmに統一して適確な成形条件で成形加工性を調査したが、ほぼ同品質の成果が得られた。CF-PCM におけるプリプレグの配向性に関する成形加工に及ぼす影響はなかった。
- ② 金型温度に関する特性を調査した結果は、図-21、22、23 に示した様に、ほぼ均一した温度分布が得られた。これは金型温度シミュレーション解析の結果と経験的ノウハウを融合させた結果である。

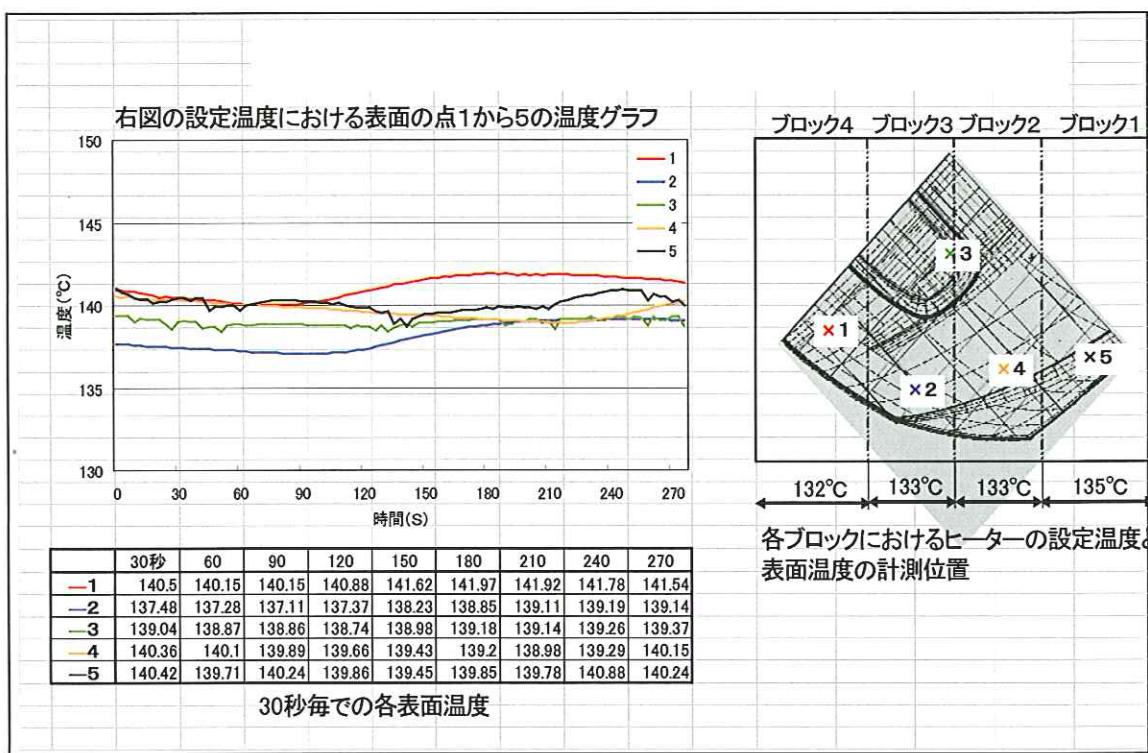


図-21 1/4分割アウター金型表面温度分布

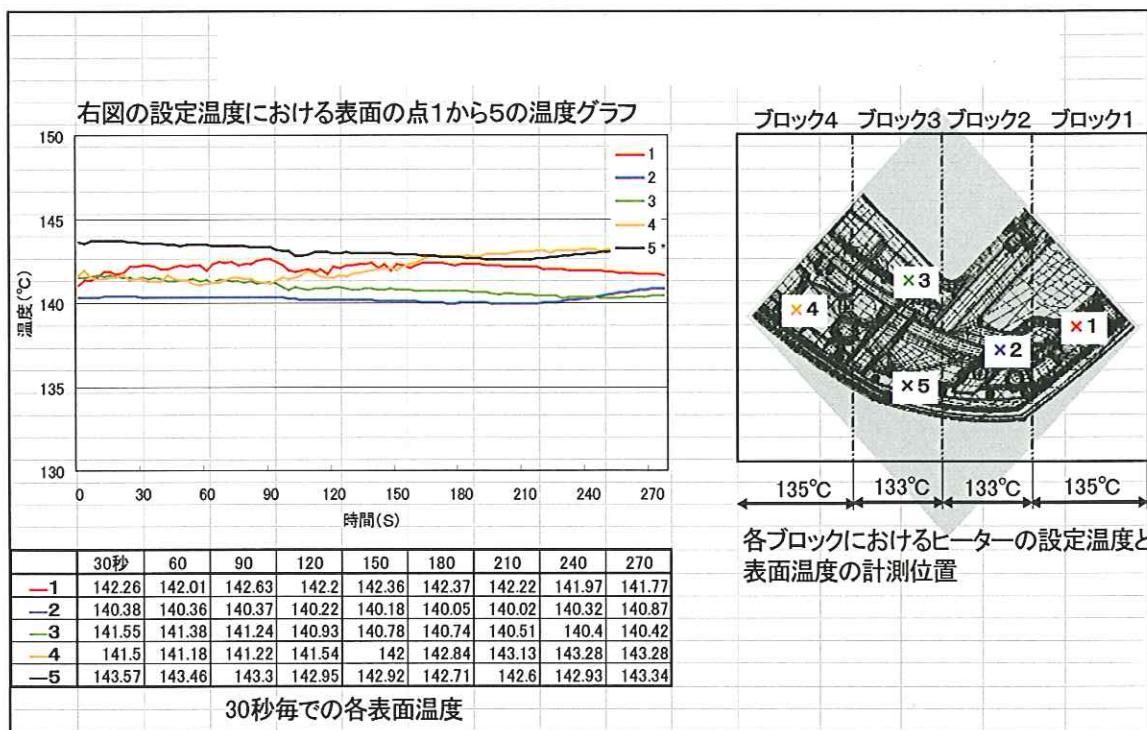


図-22 1/4分割インナーモールド表面温度分布

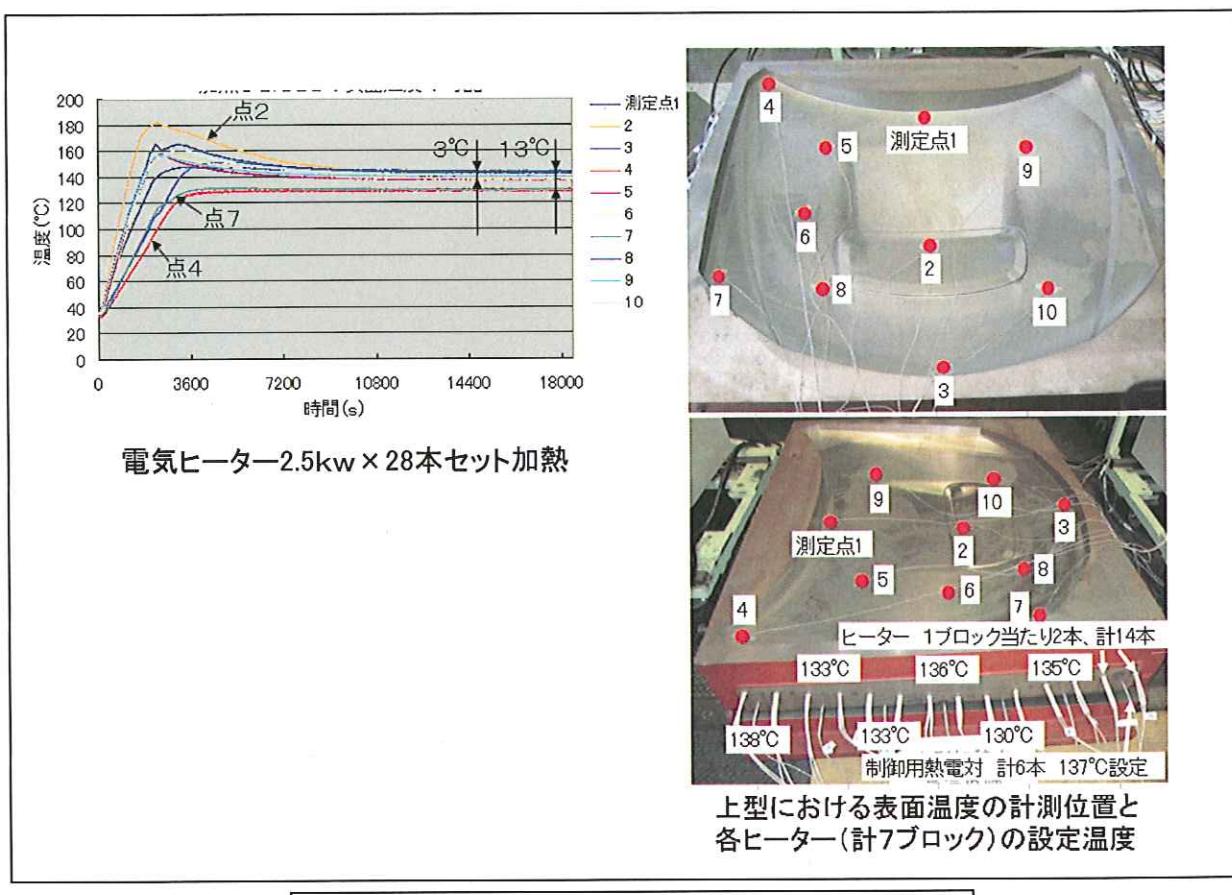


図-23 エンジンフードフルサイズ金型表面温度分布

### ③CFRP1/4分割アウター・インナーのプレス成形加工結果

上記のような金型温度分布において1/4分割アウター・インナーのプレス成形加工を行なった結果、図-15、図-17に示したように、目標とするCFRP部品を製作することが出来た。またプレス成形サイクル時間は、1/4分割アウターは約7分、1/4分割インナーは約5分で成形加工ができる効率的な手法であり、量産的な成形加工法であることが判明した。

### 3) 金型表面温度分布の解析結果について

#### 3-1) 金型温度解析の目的と解析結果の概要

金型の機械加工上加熱ヒーターと温度制御センサーがセットできる位置を考慮してヒーターとセンサーを固定し、金型表面温度分布が均一になるように、温度制御センサーでヒーターをコントロールし金型表面温度を解析した。解析に使用したソフトは株式会社先端力学シミュレーション研究所作成の樹脂解析ソフト ASU\_MOLD を使用した。本解析ソフトは、樹脂の金型温度解析・樹脂射出成形・そり変形解析を目的としたシミュレーションソフトで、樹脂成形の金型温度の時間履歴・温度分布を複雑な製品形状においても短時間で解析できるため、本研究の金型温度解析には最適なソフトであることを確認し使用した。解析の結果は金型表面温度分布の均一化が図れ、ほぼ目標通りの成果を得ることが出来た。

### 3-2) 金型温度解析結果

1/4 分割アウター・インナー金型温度の均一化は設定温度を実現する条件として断熱材からの熱流束が大きい場合は、温度制御センサーのコントロールが不安定となり、金型表面温度分布の均一化は出来なかつたので、温度制御センサーの制御方法の最適化を行い、解析した結果、金型表面温度分布は、目標温度の約±3°C以内の均一化が図れた。

制御方法の最適化は熱材を通して外部に流れる熱流を求めて、この数値を使用して解析を行った。具体的には温度制御センサーのブロック系統制御を一定とした条件で解析した。

この解析結果の検証は 1/4 分割アウター・インナー金型で図-21、22 に示したように表面温度分布計測結果はほぼ同一温度分布であることを確認した。

フルサイズモデルも同様な手法で解析を行った。解析結果では金型端部の温度が若干低くなり、目標温度に対して±3°Cにおさまらない危険性のあることが判った。そこで金型端部のブロック系統ヒーターの温度制御センサーの温度を若干上げると、金型端部を含めてほぼ均一な温度が得られる結果が得られた。本解析結果の検証は温度分布計測試験で確認したが、その結果は図-23 に示したように、ほぼ均一な金型温度分布となった。

## 最終章 全体総括

### 1. 研究開発の概要(第 1 章)

研究開発の背景や研究目的及び目標と研究体制は委託業務実施計画に記述した研究内容に基づき実行した。即ち本研究開発は CFRP 材料の自動車のエンジンフード部品に特化したプレス成形金型と成形加工性について研究するもので、CFRP 材料は CF-PCM、CF-SMC を使用する。金型仕様は高度な解析手法と経験的ノウハウを融合した技術を駆使し、CFRP の成形加工性は材料特性に基づいたプレス成形条件の最適化と生産性に関する研究である。

具体的な研究課題は下記に示した。

- ① 炭素繊維複合材料のプレス成形加工における金型精度及び表面仕上げに関する研究
- ② 炭素繊維複合材料の積層肉厚と金型温度におけるプレス成形加工性に関する研究

本研究課題に対する成果概要の詳細は第 1 章 1-3 項に記したが以下にその要約を記述する。

①CFRP 用の金型精度は一般的な金型よりかなり高い精度を必要とすることが判明した。

金型の表面仕上げは部品の要求仕様により仕上げ精度を選択することが可能であるが、自動車の外装部品の場合は要求品質的が厳しいため、金型の仕上げ精度は#1000 以上の仕様が必要不可欠となった。

②CF-PCM の積層肉厚と成形加工の課題は約 30%の肉厚変化の場合は問題なくプレス成形できる結果を得た。

CF-SMC の成形加工の場合は複雑形状の成形が可能で、インサート成形も的確に出来るプレス成形法であることを確認した。この場合材料チャージパターンの設定が重要であるが、これは技術的ノウハウの分野であることが判明した。

金型温度の課題は金型温度分布の解析を行い検証した結果、目標温度の約±3°C以内の温度精度を確保できることが実証できた。

## 2 本論(第2章)

- 1) CFRP 成形加工用の金型精度や表面仕上げが CF-PCM、CF-SMC 材をプレス成形加工する際に及ぼす影響を1/4 分割アウターやインナー製品で研究した結果、次のことが判明した。
  - 1-1) 金型精度は食い切りクリアランスが極めて重要であること。また CF-SMC 用材料の場合も CF-PCM 用材料と同様の金型精度が必要であるとの成果が得られた。
  - 1-2) 金型の表面仕上げと加工性の問題は CFRP 部品の要求仕様に応じた表面仕上げが必要となり CF-PCM 用材料部品の成形サイクル約 7 分は CF-SMC 用材料部品より30%~70% 成形時間をする結果であった。これは材料特性上の影響によるものと考えられる。CFRP のプレス成形加工に関する生産性は目標計画通りの成果が得られた。
  - 1-3) CF-PCM 用材料の場合はプリホームの品質がプレス成形加工上重要であり、特にプレス金型寸法とよく合致した形状を確保することは成形加工時の必要条件であることが判明した。CF-SMC 用材料の場合は複雑形状(肉厚変化含む)とインサート成形加工の試験研究を行なったが、目標とする複雑形状の成形加工は出来たがインサート成形は金型固定方法が必ずしも十分でなかった。
  - 1-4) CF-PCM 成形加工材の材料特性は目標通りの物性を得ることが出来た。
  - 1-5) CFRP のプレス成形加工に及ぼす影響として金型関係以外にプレス機の特性やプレス成形加工設定条件が重要な要素であることが判った。  
また金型より CFRP プレス成形加工部品を取り出す際の離型剤の選択が重要であることが判った。
- 2) 炭素繊維複合材料と金型温度がプレス成形加工に及ぼす影響について1/4 分割アウターやインナー成形加工に関する研究で得られた結果を下記に記述する。
  - 2-1) 金型温度は CFRP 材料のプレス成形加工上重要な要素であるが、特に金型温度分布の均一化は成形加工上決定的条件となる。1/4 分割金型温度の均一化はヒーターをブロック制御することで、ほぼ目標温度の約±3°C以内の温度分布を得る事が出来た。
  - 2-2) CF-SMC 材のパターン形状とプレス成形加工性は極めて重要な関係にある。即ち CF-SMC 材のプレス成形加工の場合、製品の肉厚が変化した複雑形状の成形加工やインサート部品の成形加工を実施する事が出来るが、その際、成形チャージパターンが成形加工性に大きな影響を及ぼす事が判り、この技術的ノウハウは成形加工のキーポイントであった。研究の結果、数多くの経験的事例を踏まえて成形加工性手法の知見を得た。
  - 2-3) 金型温度解析は1/4 分割アウター・インナー金型そしてフルサイズ金型について実施した。金型温度解析条件として金型の機械加工上、加熱ヒーターと温度制御センサーがセットできる位置を考慮してヒーターとセンサーを固定した。また金型表面温度分布を均一にするため

に、温度制御センサーでヒーターをコントロールする最適条件を検討し、金型表面温度を均一化する解析を行った。その結果、金型表面温度分布は目標温度に対し±3°Cの範囲にコントロールすることが出来る結果を得た。この温度分布は検証試験で確認したが解析結果と比較的良く一致した。

以上を総合して本研究により、炭素繊維複合材料(CF-PCM、CF=SMC)のプレス成形加工に及ぼす金型の精度や表面仕上げ及び金型温度の影響について、極めて貴重な成果を得ることが出来た。特に CF-PCM 材のプレス成形加工法、CF-SMC 材のプレス成形加工法に必要とされる諸条件の設定が重要であることは論を待たないが、材料特性に合わせた金型仕様を研究し、更に効率的なプレス成形加工技術を構築する必要性のあることが判った。また CFRP の成形加工法は従来にない生産性に優れた加工法で、この加工法の普及により部品原価の低減と部品品質向上が期待されることが判った。

さらに CFRP 材料は、熱硬化性材料とともに熱可塑性材料の研究が進むことを期待するが、そのような CFRP 材料に関するプレス成形加工技術も同時に研究開発されるものと考える。

本研究を通して今後の自動車部品の軽量化材料として多くの有用な知見を得たが、これらの CFRP 成形加工技術を更に発展させ、自動車の CO<sub>2</sub> 削減や燃費の向上に役立てると共に全ての産業分野に対応した部品の開発を行い産業の振興に役立てたい所存である。

以上