

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「超軽量化構造を実現する極薄肉加工技術の開発」

## 研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社クライムエヌシーデー

# 目 次

## 第1章 研究開発の概要

- 1－ 1 研究開発の背景
- 1－ 2 研究課題
- 1－ 3 研究の概要
- 1－ 4 研究の目的および目標
- 1－ 5 研究体制
  - 1) 研究組織
  - 2) 管理体制
  - 3) 研究者氏名
  - 4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
  - 5) 協力者
- 1－ 6 成果概要
- 1－ 7 当該研究開発の連絡窓口

## 第2章 本論

- 2－ 1 固化治具材の特性試験
- 2－ 2 セッティング装置（固化治具材用）の開発
- 2－ 3 “超”極薄肉加工技術の開発（円筒薄肉・曲面形状）
- 2－ 4 自動車車体部品における部品の一体化技術・厚さ違い構造の取り組み
- 2－ 5 小物車体部品の加飾と部品の一体化
- 2－ 6 薄肉軽量ギアの更なる軽量化（肉厚 0.1 mm）と端面切り
- 2－ 7 セッティング構造の標準データベース化の取り組み
- 2－ 8 狭隘部・微細形状からなるアクリル樹脂材の研究
- 2－ 9 低剛性部品に対応する実験研究
- 2－ 10 デザイン特化のサンプル製作
- 2－ 11 バックアップ補助材の新材種の研究

## 第3章 全体総括

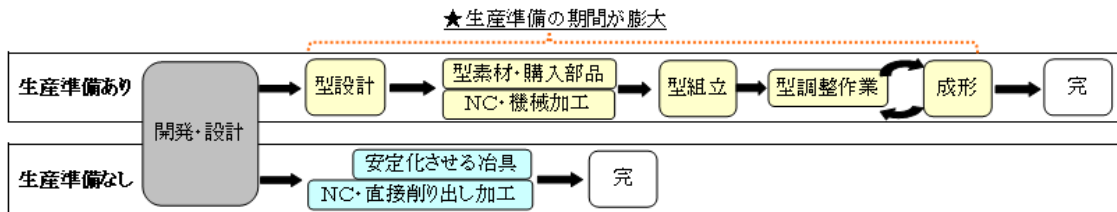
- 3－ 1 研究開発体制について
- 3－ 2 研究開発後の課題・事業化展開

# 第1章 研究開発の概要

## 1-1 研究開発の背景

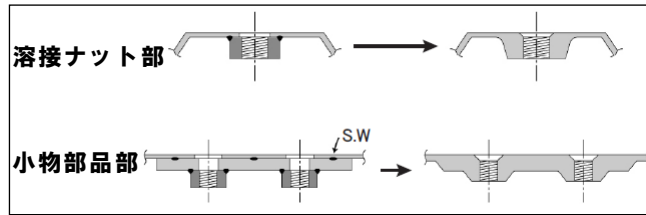
超軽量化構造の強度・剛性を現物確認する上で、迅速・低コストで試作部品を製作する革新技術の実用化が急務である。その方法として極薄肉加工が想定されるが、高品位で確実な加工技術は確立されていない。

従来の自動車車体部品の試作品においては、簡易金型を製作して成形する方式が一般的である。良い品質のパネルを成形するためには、金型調整作業を繰り返す必要が多くあり、車体部品の初品出しまでの期間は膨大となる。さらには型素材・機械加工・成形・レーザーカット等の全体コストを考慮すると、必ずしも高能率な製作方式とは言えない。パネル形状の設計変更が生じた場合においても、金型修正・補正にコスト・時間を要することになる。また、生産準備評価用パネルについては仕向地別に板厚の違うパネルを数種類必要となることがあり、金型一つでの対応は困難となる。これらの理由から、金型によるモノづくりに置き換わる製作方式の一つとして、ブロック材からの極薄肉直接削り出しの製作方式が想定される。この製作方式では、開発・設計完了時に即、切削による製作開始が可能となり、金型の生産準備が不要になる。



金属プレス部品は組立することを前提に設計されており、複数のプレス部品を準備（在庫）し、溶接等の組立作業が必要となる。この組立作業を効率化（量産化）させるためにはシーラー塗布装置・溶接ASSY治具・ヘミング型（マシン）・専用ロボット・搬送装置などを生産に向けて開発・準備・調整しなければならない。ブロック材からの極薄肉直接削り出しの製作方式であれば、“部品の一体化技術”により組立作業を削減できる。自動車車体部品を例に挙げると、溶接ナットや小物部品の一体形状も考えられる。また、極薄肉化による軽量化追求の目的を果たすために、“部分的な補強構造”による強度・剛性UPを図ることが可能である。さらには“厚さ違い構造”を必要とする部品を想定すると、金属プレス部品では成形できない場合もあることや、プラ型では樹脂流動が上手くいかない等の理由から、安易に“厚さ違い構造”を実現できないが、直接削り出しの製作方式であれば実現できる。

金型製作・組立設備等の生産準備の期間やコストは、多量生産によるモノづくり志向に固執したものであり、多品種少量生産においては大きな課題だと言える。薄肉部品の一体化技術は“軽量化構造”として期待されているだけでなく、“生産工程への革新技術”としても期待が膨らむ。



“部品の一体化技術”の例

本研究開発のブロック材からの薄肉直接削り出し方式は、“部分的補強構造や超軽量化構造など高付加価値部品への展開を想定しており、自動車産業だけでなく、環境エネルギー、航空宇宙、科学技術分野等への適用も考えられ、またデザイン多様化への対応可能な技術として期待されている。

## 1-2 研究課題

極薄肉加工は加工中の振動及び強度不足により高品位で確実な加工技術が確立されていない。極薄肉加工では、誤った方法で加工すると良い面品質が得られないばかりか最悪の場合は不良品となってしまふ。従来技術では、ある程度の試し加工が必要な技術が多くあり、試し加工を実施したとしても、極薄肉加工は品質において要求精度を満たすことが非常に難しい加工である。経験値など曖昧な判断で加工を進める場合もあり、試作品のような毎回形状の違う部品ではとても難易な加工となっている。また、加工NCパスに問題がなくても、実際に加工すると加工材料の振動による加工ビビリや材料歪み・段取り不安定によるズレ等の発生が予想され、安心して連続加工できないばかりか、加工オペレータの精神状態にも大きな苦痛を及ぼしている。

これらの課題を克服するために、加工補助材をバックアップに活用し、汎用性・信頼性の高いバックアップ方式を開発させ、安定・安全・確実に加工できる「安心技術」の構築を目指す。

### 従来技術の対応方法

- ◆ 切削条件をいろいろ調整して面品位の低下を抑える対応
- ◆ 加工部位の加工順序を工夫して薄肉部位を少なくしながら加工する対応
- ◆ 薄肉による加工材料の強度不足を補う治具（バックアップ）を設計して対応

試し加工が必要

経験値・カンコツに依存

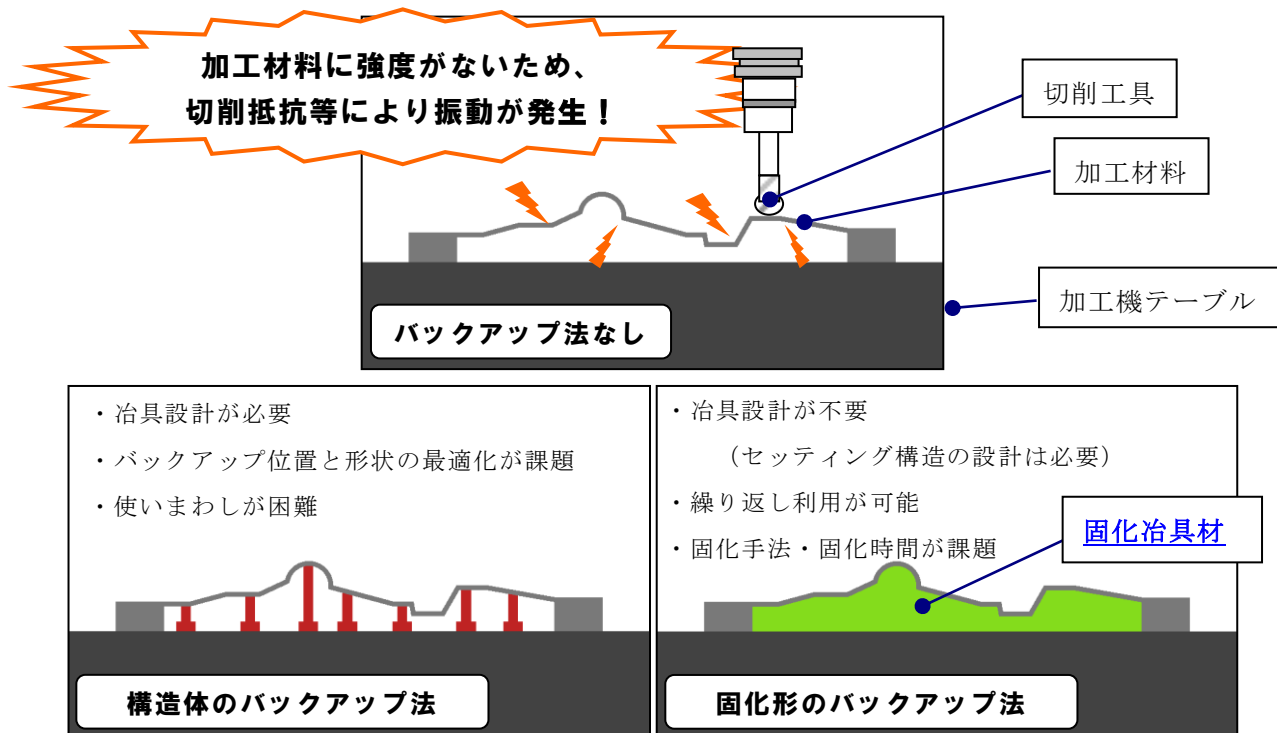
要求精度が不安

・連続加工できない  
・ストレス

### 1-3 研究の概要

研究課題を解決するために、固化治具材（低温で溶解できる金属タイプの加工補助材）をバックアップに活用し、汎用性・信頼性の高いバックアップ方式を開発し、極薄肉加工ノウハウを確立させる。バックアップとは加工時のビビリや振動を低減させるために、加工ワークの一部に強度不足を補うための治具をあてるものである。バックアップ方式には、構造体式と固化形式が想定され、構造体式は治具設計が必要であり、バックアップ位置と形状の最適化が課題となり、摺合せ作業が発生する場合が多い。基本的には使いまわしが困難である。一方、固化形式は段取り時に有利になるセッティング構造の設計は必要となるが、バックアップする部位の設計は不要となる利点が多い。煩雑な摺合せ作業の必要もなく、想定している金属タイプの加工補助材であれば繰り返し利用できることが魅力である。

本研究では固化形バックアップ法を活用して、毎回形状の違う部品においても試し加工せずに、極薄肉形状の加工面を高品位かつ高精度に切削できることを目指し、安定・安全・確実に加工ができる「安心技術」を確立させる。



薄肉加工のバックアップ法（強度不足を補う治具）の比較

研究内容として、まず極薄肉加工の板厚均一化を目指す。目標を達成させるために、バックアップ機能を見極めて基礎実験・特性試験として、固化治具材の圧縮強度やスラスト方向の密着力・流入性検証・膨張率計測を実施させる。その実験結果をもとに薄肉加工に関する応用技術を構築させる。

固化治具材を活用した安定的な手法は確立されていないが、固化治具材を溶融・

注入するセッティング装置やセッティングする構造について独自のノウハウを織り込みたいと考える。セッティング装置の運用条件を最適化させ、固化治具材を取り扱う際の時間効率を向上させる。固化治具材を充填するために必要なセッティング構造は、標準データベース化により設計時間の短縮を図る。

さらに極薄肉加工ではセッティング構造から切り離す工程で工夫が必要となる。加工切口部の変形等の対応として、切り離し加工の最適化を検証する。加工補助材は低温で溶解できる金属タイプを想定しているが、それ以外の新たな固化治具材の新材種についても各種実験を試みる。

#### 1-4 研究の目的および目標

##### 【研究課題①】極薄肉部品の板厚均一化の対応

本研究以前に汎用バックアップ法を活用して製作したサンプル部品は、板厚 0.3 mm 一定であるべき部分が $\pm 0.07$  mmのバラツキが発生している。この課題について原因を究明するために、同様のサイズの評価用サンプル品を加工する。加工材料の歪みやバックアップ法における温度変化・密着性による影響等を分析して、板厚均一化を実現させる。

##### 数値目標

- ◆ $\pm 0.01$  mmの板厚均一化

##### 【研究課題②】“超”極薄肉加工技術の開発

板厚 0.1 mm以下の“超”極薄肉加工は、非常に高難度な切削加工技術と巧みな加工段取りが必要となる。固化治具材を活用し、“超”極薄肉に対応する切削条件の最適化や適正工具の選択を含め、0.1 mmの曲面形状部品を安定加工させる。加工形状による材料強度にバラツキがあるので、様々な形状を加工して“超”極薄肉化を検証する。剛性確保が困難で形状維持ができないなど、自重たわみの可能性のある長尺モデルについて、宇宙産業分野のサンプルを製作して評価する。

##### 数値目標

- ◆最薄肉部 0.1 mm ※曲面形状においての最薄肉部
- ◆自重たわみが起こる長尺モデルの安定加工・高精度化  
低剛性部品の計測値  $\pm 0.1$  mm

### 【研究課題③】安定・安全・確実に加工できる「安心技術」の構築

機械加工以外の作業として、固化治具材を溶かす準備作業があり、注入作業のセッティング時間と離型作業のリセット時間が必要となる。本研究開発において、専用セッティング装置を開発して設備することで、セッティング時間等に安全性を確認する作業を排除させる。専用セッティング装置の試運転を繰り返し、運用時の条件設定抽出を推進させる。

極薄肉加工の段取りに必要なセッティング構造については、安定加工に効果が出る構造・工具干渉のない安全な構造・単品試作でも試し加工が不要となる構造を研究開発して、部品試作開始時に類似部品等によりセッティング構造を選択活用できるように標準データベースを構築する。

加工切口部の変形等の対応として、部品形状や部品機能を加味し、また品質安定を前提として加工切口部の加工方法を実験する。実験結果の積み上げにより、切り離し加工の最適化を図り、新たな切口方法も考案する。

固化治具材については、廉価かつ作業効率が高く、精度の安定化が図れる新材種の適用を目指し、基礎研究と実験を試みる。

#### 数値目標

- ◆専用セッティング装置の活用により 50%効率化
  
- ◆バックアップの前準備・後処理の運用改善 30%向上
  
- ◆標準データベース化によりセッティング構造の設計時間 50%短縮
  
- ◆切り離し加工の最適化 30%効率UP
  
- ◆バックアップ補助材の開発  
バックアップ材の作業時間短縮 50%減

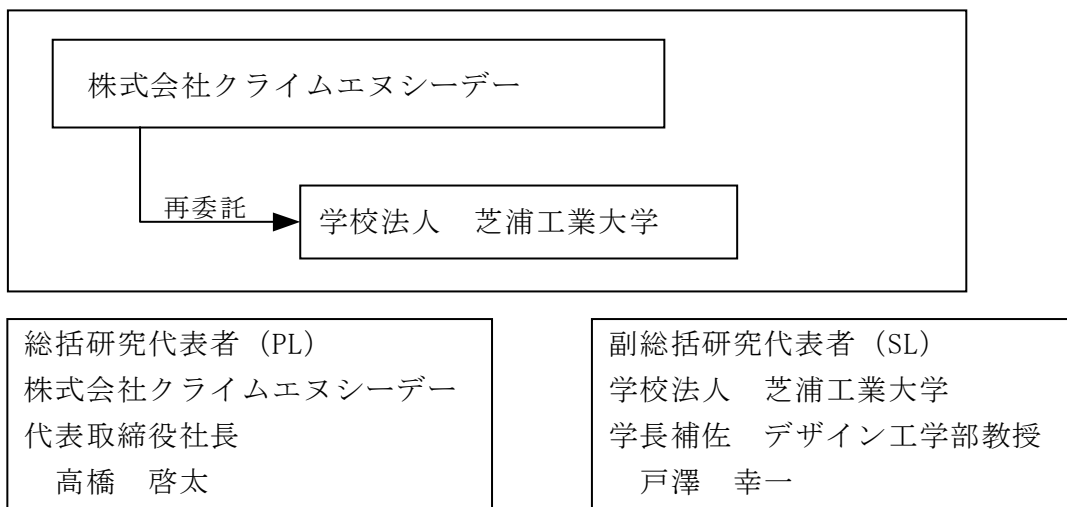
### 【研究課題④】狭隘部・微細形状からなる複雑構造・複雑曲面形状への薄肉加工対応

デザイン自由度の高い形状による価値向上と“部品の一体化技術”や“厚さ違い構造”による高機能化による高付加価値をねらい、かつ強度剛性を有する超軽量化構造を実現する。

具体的には、狭隘部・微細形状の薄肉部品の加工に対応するため、切削加工時に小径工具による薄肉加工法と工具選択の適正化について検証を行う。さらに、デザイン自由度と高機能化の融合により訴求可能な新たな市場について検討を進め、独自性のある分野を想定しながら、サンプル試作を行う。

## 1-5 研究体制

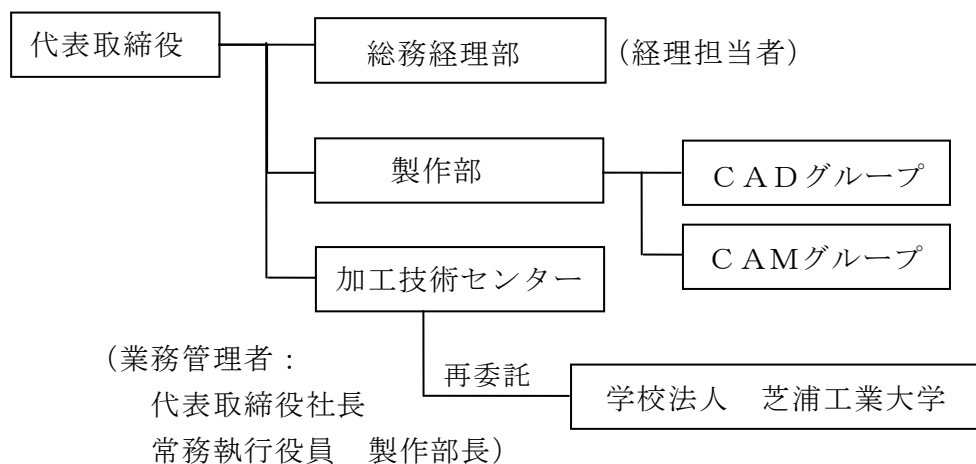
### 1) 研究組織



### 2) 管理体制

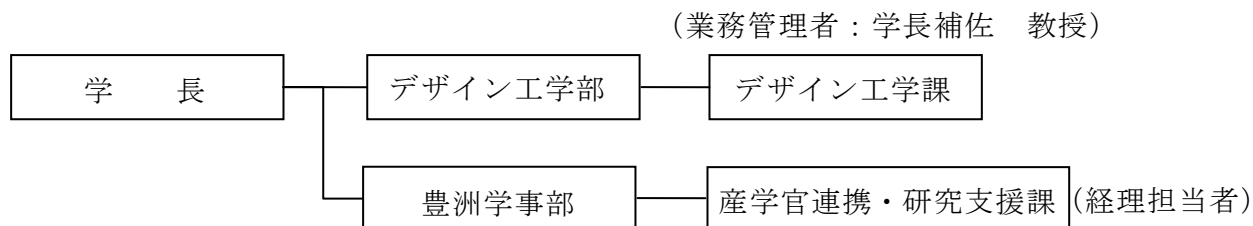
#### ① 事業管理機関

[株式会社クライムエヌシーデー]



#### ② 再委託先

[学校法人 芝浦工業大学]





3) 研究者氏名

株式会社クライムエヌシーデー  
 管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
兵藤 義郎	総務経理部 部長	
中島 文子	総務経理部	
高橋 啓太	代表取締役社長	

株式会社クライムエヌシーデー  
 研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
高橋 啓太 (PL)	代表取締役社長	①②③④
瀬戸 隆	常務執行役員 製作部長	①②③④
立山 俊則	製作部CAMグループ 技師	① ※平成23年度のみ
森尻 健夫	製作部CADグループ 課長	①②③④
天久 敬太	加工技術センター 係長	①②③④
土門 正明	加工技術センター	①②③④
小嶋 祐紀	加工技術センター	①②③④

【再委託先】

学校法人 芝浦工業大学  
 研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
戸澤 幸一 (SL)	学長補佐 デザイン工学部教授	①②③④
橋田 規子	デザイン工学部教授	④ ※平成25年度のみ
澤 武一	デザイン工学部准教授	②③※平成25年度のみ
保泉 仁紀	デザイン工学部学生	②③※平成25年度のみ

4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社クライムエヌシーデー

(経理担当者)	総務経理部 部長	兵藤 義郎
(業務管理者)	代表取締役社長	高橋 啓太
	常務執行役員 製作部長	瀬戸 隆

(再委託先)

学校法人 芝浦工業大学

(経理担当者)	豊洲学事部 産学官連携・研究支援課長補佐	鈴木 健一
(業務管理者)	学長補佐 デザイン工学部教授	戸澤 幸一

5) 協力者

氏名	所属・役職	備考
田岡 秀樹	本田技研工業株式会社 四輪生産統括部 生産企画統括部 主任技師	アドバイザー
後藤 隆司	日進工具株式会社 代表取締役副社長	アドバイザー
野口 秀雄	株式会社マシンソル 横浜営業所 所長	アドバイザー
石村 康生	独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA) 宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系 准教授	アドバイザー ※平成 25 年度のみ

※上記の協力者 4 名と

PL 高橋 啓太・SL 戸澤 幸一

株式会社クライムエヌシーデー 代表取締役会長 高橋 百利

による計 7 名で、研究開発推進委員会を構成する。

## 1-6 成果概要

本研究開発は極薄肉加工技術の確立に向けて、4つの研究課題を設定して活動を行った。取組みの流れとしては、まず設備面や加工段取り時の構造などの準備・整備を実施し、その準備をもとに効率化させる運用方法・各種条件の抽出、そして訴求可能な新たな市場へ提案するためのサンプル製作・評価の順に進めた。

研究内容については概ね順調に研究開発を進めることができ、期待通りの成果をあげることができた。途中、大物車体部品の対応については、研究課題の計画見直しがあり、新たな計画としては400 mm角以下の高付加価値部品への適用に移行した。3年間の研究開発の成果としては、提案書と比較して概ね80%は達成できた。

以下に各研究課題に対する達成率・達成度を成果概要と合わせて記載する。

### 【研究課題①】極薄肉部品の板厚均一化の対応

目標 ±0.01 mmの板厚均一化

結果 目標精度の達成はできなかった

±0.02 mmの均一化 (0.3 mm厚のテストモデルにおいて)

達成率 83%

0.3 mmの板厚では材料歪（加工によるものや、固化治具材の熱によるもの）の要因があることは予想していたが、さらには加工段取り（原点設定誤差）基準面誤差・工具精度・機械精度など、バックアップ方式と関連のない要因が多くあった。この外的要因の誤差を極力低減させ、また固化治具材の特性試験の結果により不適切なバックアップ状態（充填不足・密着力等）の要因を改善させて、テストモデルで±0.02 mmまで均一化させることができた。固化治具材の特性試験の結果は、後述の「安心技術」の構築のため作業標準化にも活かすことができた。

### 【研究課題②】“超”極薄肉加工技術の開発

目標 最薄肉部 0.1 mm ※曲面形状における最薄肉部

結果 円筒モデルφ13 mmは肉厚0.05 mm (50 μm) を達成

曲面形状は肉厚0.2 mmを実用化領域に設定

達成率 83%

部品単体で剛性のある円筒モデル（φ13 mm）では、0.05 mmの“超”極薄肉を実現できた。

しかし、曲面の波面形状等の剛性のない構造体では、0.1 mmはどうか「カタチ」になったが、品質を満足できるものではなかった。切削条件に変化を与えて実験したが、いずれも加工時間が増加する方向であるため、実用化レベルではないと判断した。よって本研究のバックアップ方式としての実用化領域を0.2 mm厚さに設定した。

**目標** 自重たわみが起こる長尺モデルの安定加工・高精度化

低剛性部品の計測値 ±0.1 mm

**結果** 低剛性部品の計測値 最大 +0.093 mm -0.073 mm ※±0.1 mmを実現

**達成率** 85%

JAXA 宇宙科学研究所と連携して、極めて剛性のない極薄肉形状の加工実験を実施した。この低剛性部品の材質はアルミであり、バックアップの固化治具材は低温で溶解できる金属タイプを活用した。試験片の肉厚は0.5 mmを基準としたが、スリット形状があるため、とても難易な実験となった。1次試験では要求精度を満たすことができずに、技術改善を織り込み、また加工手順を変更し2次試験に挑んだ。結果として、要求精度である±0.1 mmを達成することができた。1次試験での不具合要因は羽根のねじれ変形が大きい。この対策として、加工工程の中で熱処理させて、内部応力除去を試みた。また外周切り離しを切削加工ではなくワイヤーカット加工で行うことで、変形を大幅に軽減できた。改善した加工手順が要求精度を満たすかどうかの、再現性実験を同手順で実施しており、良好な試験片を再現できた。

### 【研究課題③】安定・安全・確実に加工できる「安心技術」の構築

**目標** 専用セッティング装置の活用により50%効率化

**結果** セッティング装置が完成し、テスト運転・細かな部分の製作・調整が完了  
セッティング時間等に安全性を確認する作業を排除 45%効率化

**達成率** 90%

専用セッティング装置は開発が完了し、条件設定の抽出テストを実施できた。開発にあたり専用セッティング装置は200℃の高温仕様が必要となり、離型（リセット作業）は水か油で溶け出させる方式を取り止め、工業用オーブンを主体に開発した。利点としては、溶け出した固化治具材を水や油から分離させる危険作業を廃除できた。装置の寸法については、固化治具材は比重が重いため、注入時の作業負担の軽減を図り搬送高さを低めに設計し、工場内の既存クレーンも利用できるシステムとした。工業用オーブン等は既製品メーカーから選定しており、安全対策・安全装置も充実している。開発コストも大幅に低減でき

た。

専用セッティング装置の温度設定・加熱時間等の各種実験結果を最適化させ、拘束時間など有人作業を45%効率化させることができた。

**目標** バックアップの前準備・後処理の運用改善 30%向上

**結果** バックアップの前準備・後処理の運用改善と

「安心技術」の構築のため作業標準化を実施して 25%向上

**達成率 83%**

専用セッティング装置の運用試験を重ねて、固化治具材のバックアップ効率改善を図った。微細部分へ充填させる流入性検証と密着力の向上を研究実験し、概ね目標を達成できた。特に流入性検証試験の固化治具材の状態を観察すると、再加熱方式の効果があると判断できた。再加熱方式をセッティング作業の標準工程としたことで、予熱管理が不要となり充填時の安全性も改善された。

これらの改善によって、バックアップの前準備・後処理の効率は20%の向上となった。目標の残り10%の達成に向けて、離型時における固化治具材のカスを沸騰加熱なしで除去できる方法の開発と、高精度化を目指す上で“作業標準化”を実施して遵守を心掛けた。結果として、5%の積み上げができた。

作業標準化については7項目あり、最終年度の研究実験の全てに適用させた。ほぼ遵守できたが、遵守できなかった研究実験部品もあった。引き続き、部品形状と部品機能・要求精度など多種多様な部品の実績を積み上げて、部品ごとの最適な解を見つけて、作業標準化の遵守と新たな改善を実施していく。以下に作業標準をまとめる。

- ◆切削液によるクーラント（加工時の固化治具材の溶解防止）
- ◆10°以下の傾斜角度を積極的に織り込む（密着力向上）
- ◆部品機能を加味してメリハリのある面状態（密着力向上）
- ◆再加熱方式によるセッティング作業（固化治具材の流入性向上・密着力向上）
- ◆セッティング時の外的振動の実施（流入性向上）
- ◆工具小径化による切削抵抗の低減（極薄肉化対応）
- ◆加工基準面の高精度化（板厚均一化の向上）

**目標** 標準データベース化によりセッティング構造の設計時間 50%短縮

**結果** 標準データベースの構築が完了し、設計時間 50%短縮を達成

**達成率 90%**

極薄肉加工の段取りに必要なセッティング構造について、当社設備（機械仕様、加工テー

ブル寸法等)を考慮した独自の標準データベースを構築した。薄肉部品の寸法(XYZ)により、セッティング構造を瞬時に選択可能とさせ、切り離し加工位置や工具逃げ角度などの個別設計だけに注力できるようにした。基本仕様と段取り構造の標準化により50%の設計時間短縮が可能となった。

**目標** 切り離し加工の最適化 30%効率UP

**結果** 工具の種類・加工NCパスの改善により 25%効率UP

**達成率 80%**

セッティング構造からの切り離し加工の実験に取り組み、切口方法として「側面切り」「端面切り」「部分切り」を研究実験した。この切口方法の選択は、部品機能を加味して判断する必要があり、切り離し位置は個別設定しなければならない。この点の最適化については、概ね目標を達成した。

切り離し加工の問題点としては、切口のビビリ、ムシレ、形状への影響(変形・歪み)が考えられるが、この問題は工具の小径化或いはボールエンドミル対応により低減可能であることがわかった。また3次元形状の高低差のある切り離し部位についても、小径ボールエンドを活用して面沿いオフセット加工による効率的な加工を実現できた。これらの改善によって、切り離し加工の効率は25%効率UPとなった。切削加工を主体に研究開発を進めていたが、低剛性部品の切り離し加工で、ワイヤーカット加工を余儀なくされた点で少し減点している。

**目標** バックアップ補助材の開発

バックアップ材の作業時間短縮 50%減

**結果** 新材種の特性試験を実施

バックアップ材の作業時間短縮 30%減

**達成率 60%**

バックアップ補助材として、低温で溶解できる金属タイプの代替の材種を検討した。新材種4種の研究実験に取り組み、比較検証した結果、その中の1つの材種が実用化に向けて良好な結果を得ることができた。特に加熱させずに離型できる点と素材そのもののコストが手軽である点が高評価である。加熱が不要であるため作業時間は準備を含めると30%短縮された。

## 【研究課題④】狭隘部・微細形状からなる複雑構造・複雑曲面形状への薄肉加工対応

**目標** デザイン特化の優位性のあるサンプル製作

新機能化構造のサンプル製作

**結果** **機能化構造サンプル**

樹脂材によるデザイン価値向上サンプル

デザイン特化の蝶々モデルなど 多数製作

達成率 95%

新機能化構造として、極薄肉で剛性を確保する新構造を開発しており、部品の一体化や厚さ違い構造を検証し、軽量化に最適な構造を研究した。その過程で各種サンプルを製作している。狭隘部・微細部への対応を前提に、その一つとして、自動車の小物車体部品に加飾させ機能価値を高めるサンプルや、樹脂材によるデザイン価値向上と板厚違い構造の研究に取り組んだ。

最終年度では、プレス金型では成形困難な“薄肉ギア”サンプルや、デザイン自由度の高いサンプル品として、蝶々モデルを製作した。極薄肉部とヒンジの構造部が一体化された部品機能を持ち、薄肉部品4枚から構成され、超微細部品との組立品とした。東京国際航空宇宙産業展2013の展示会にも出品し、高い評価をいただいた。各種サンプルについては、第2章本論で写真を掲載する。

### 1-7 当該研究開発の連絡窓口

株式会社クライムエヌシーデー

総務経理部 部長 兵藤 義郎

TEL 042-777-7333

FAX 042-777-4888



## 第2章 本論

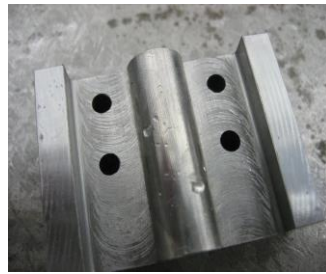
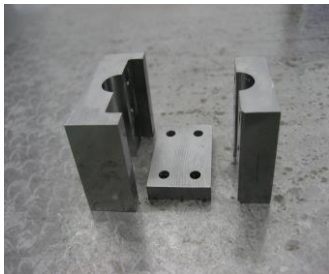
### 2-1 固化治具材の特性試験

固化形バックアップの最適利用技術を構築するため、固化治具材（低温で溶解できる金属タイプ）の特性試験を4種実施し、データ収集・分析をした。

まず、1つ目は圧縮強度試験である。固化治具材が加工時にかかる力に堪えることができるのか、構造体バックアップ法に使用される材質と比較する。φ10 mm長さ30 mmの試験片を製作し、神奈川県産業技術センターの万能試験機を利用して実施した。2つ目の密着力試験は試験片の接触角度を変えたものを製作し、固化治具材がズレる又は落下する際の荷重を比較した。この試験はバックアップする側の形状がどのような形（厚さ方向の角度）がバックアップに有効なのか基礎データ収集が目的である。3つ目の流入性検証試験は固化治具材の温度違いによる現象を把握するために実施した。穴径・深さ違い・材料の温度違いの条件により、固化治具材が流れ込むかどうかを検証した。安定加工させるためには、狭隘部に固化治具材がしっかり流れ込む条件が求められるためである。4つ目は膨張率計測試験である。軸ピンを製作して上下移動を計測する試験と、薄膜試験片を製作して薄膜に対しどの程度の影響がでるのかを検証した。固化治具材をセッティングする際に高精度化を図るための目的である。以下に具体的な試験方法と結果をまとめる。

#### 【試験① 圧縮強度試験】

◆試験片作成方法 試験片：φ10 mm 高さ30 mm 材質：固化治具材



- 1) 外枠を製作し、固化治具材を流し込む。（外枠は予熱した）
- 2) 注入側が平らになるように平面加工する。
- 3) 外枠を分割して取り出す。

#### ◆圧縮強度試験の方法

計測試験機：INSTRON 5582（万能試験機）



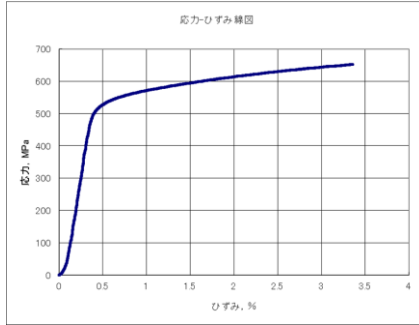


【比較試験片】 材質：SS400 S45C A5052  
 固化治具材 MC ナイロン 計 5 種類

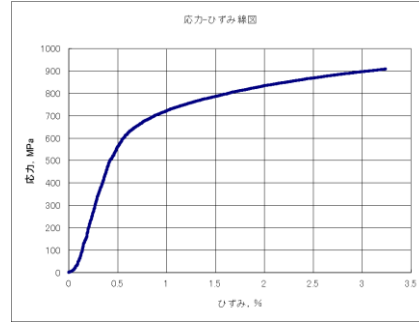
長さ 30 mm の試験片を約 1 mm 圧縮させた時の応力・ひずみ線図を求める。基本的には弾性変形から塑性変形に変化する降伏点（領域）を調査した。

◆ 圧縮強度試験のひずみ線図の結果（φ 10 mm 試験片）

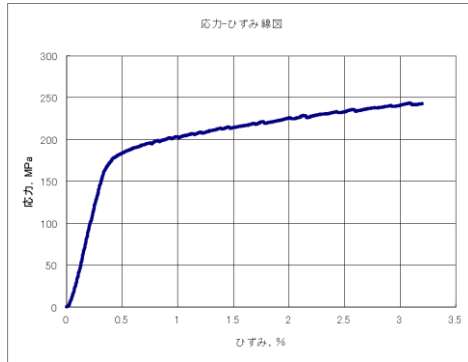
材質：SS400



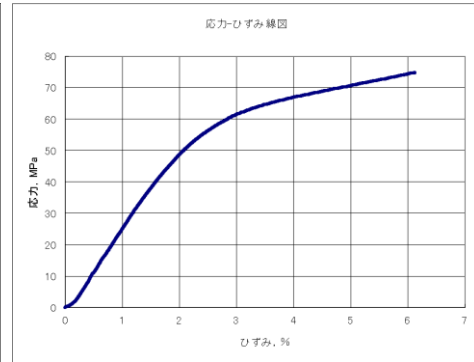
材質：S45C



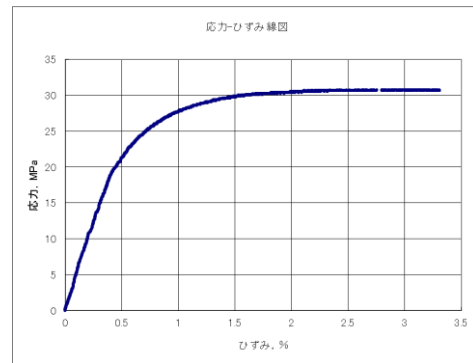
材質：A5052



材質：MC ナイロン



材質：固化治具材



ひずみ線図から判断できることは、固化治具材はアルミ A5052 と比較すると約 10 分の 1 の強度と言えらるが、MC ナイロンの強度の約 2 倍はある。MC ナイロンは低い応力で変形をはじめめるが、0.2%耐力では 50MPa あり固化治具材を超えている。固化治具材は荒加工において、弾性域での変位がでる可能性があり、低切削力工具が好ましく、さらに固化治具材の厚さ（量）がある場合は変位量が増える点に注意が必要だと考える。

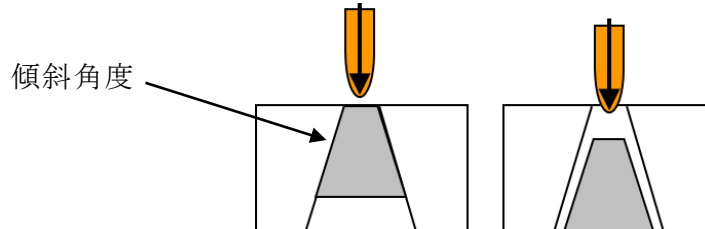
**【試験② 密着力試験】**

◆密着力試験の方法

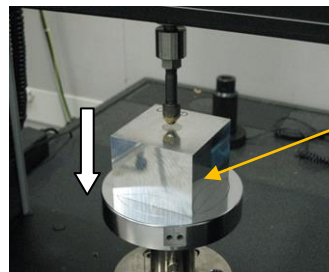
試験片の寸法：90×90×60 押す部分の穴径φ20

試験片の材質：A5052

傾斜角度違い：0° 2° 5° 15° 30°



INSTRON 5582 万能試験機により、試験片から固化治具材が“ズレる”又は“落ちる”際の荷重を計測する。



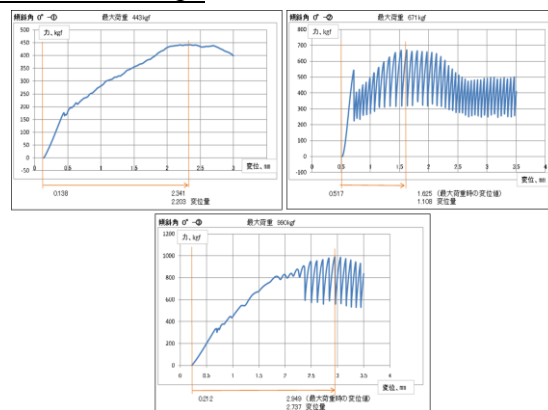
試験片



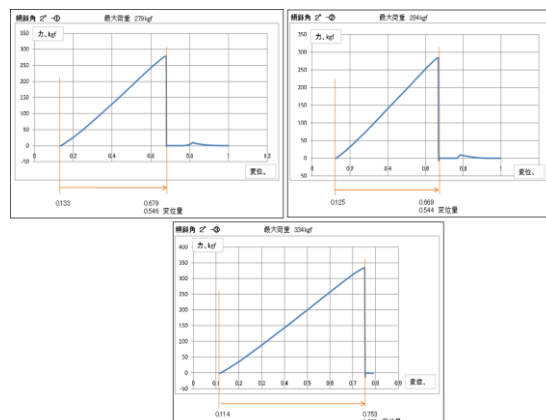
◆密着力試験の最大荷重の結果（試験片 3 個の平均値）

傾斜角度 最大荷重 〈平均値〉

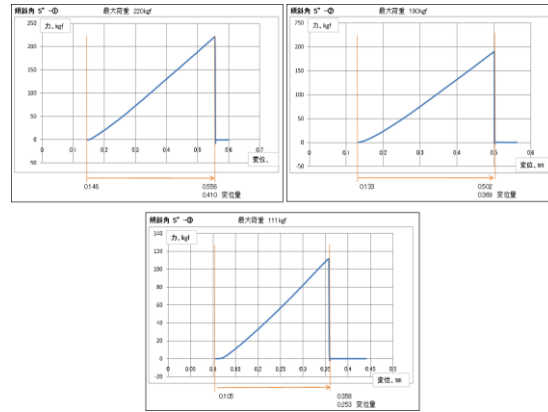
0° 701.3kgf



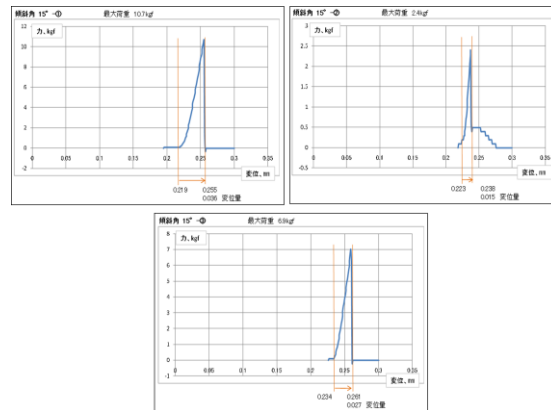
2° 299.0kgf



5° 173.7kgf



15° 6.7kgf



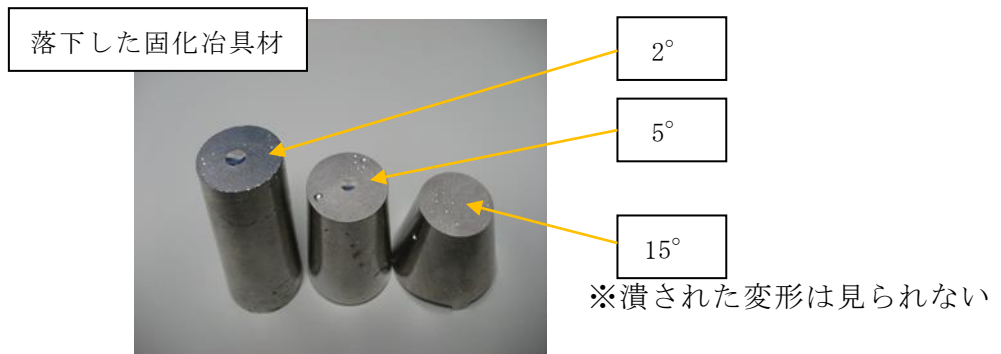
30° 試験不能

計測装置に乗せようと試験片を反転した時に固化治具材が落下し、計測不能となった。固化治具材を注入した時は、反転させても落下することはなかった。

◆密着力試験のまとめと考察

今回の試験では密着度合の分岐点を傾斜角 5° と判断する。傾斜角 15° であると極端に耐荷重が減る状態となる。固化治具材と試験片の横ズレ抑制の方法としては、壁の接触面積の影響が大きく、この結果から補強リブは 5° 以内とし、深さのある形状ほど安定加工に向いている。

また、測定結果グラフは記載しないが、固化治具材と密着する面のカスプ設定（面粗さ）の違いでの比較検証も補完実験している。結果は、面が粗い方が密着力があった。バックアップを機能させるためには、加工NCパスのカスプ設定は粗くする方が高精度に有効と判断した。



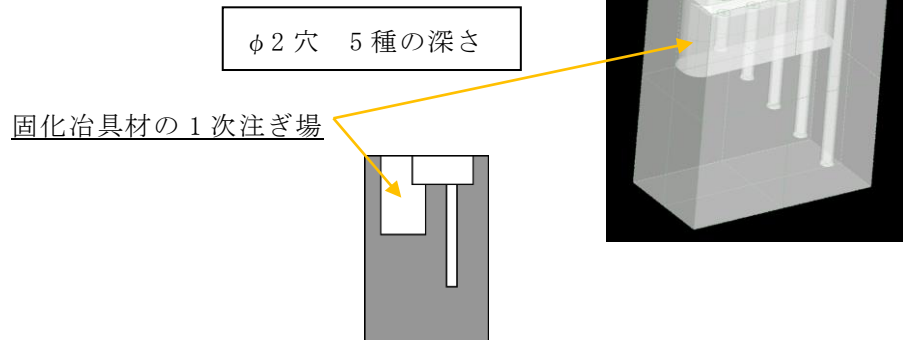
### 【試験③ 流入性検証試験】

#### ◆流入性検証試験の方法

深さ違いと材料の温度違いにより流入性を検証した。

試験片の材質：A5052 S50C

穴径：φ2 深さは5 10 15 20 25 mm



試験片の構造設計は、固化治具材の注入時に1次注ぎ場に流して、オーバーフローしたものがφ2穴に流れる構造とした。この構造は各穴に均等に流し込むことを狙ったものである。材質はA5052とS50Cの2種とし、注入時の予熱温度は20℃（常温）と40℃・80℃で実施した。試験手順を以下に説明する。

- 1) 温度条件に合うように試験片を予熱させる。
- 2) 予熱した試験片に固化治具材を1次注ぎ場から慎重に注入する。
- 3) 定盤に乗せて冷却させる。
- 4) 温度条件・材質違いを繰り返し行なう。

※計画になかった再加熱方式の条件も実施した。

（再加熱方式とは、注いだ固化治具材が固まったままの状態、試験片ごと再度加熱させて溶解させ流入性を高める方法）

- 5) 固化後に加工機にて穴断面を観察できるようにフライス除去させる。



予熱温度の確認



定盤に乗せて冷却

#### ◆流入性検証試験（φ2穴）の考察

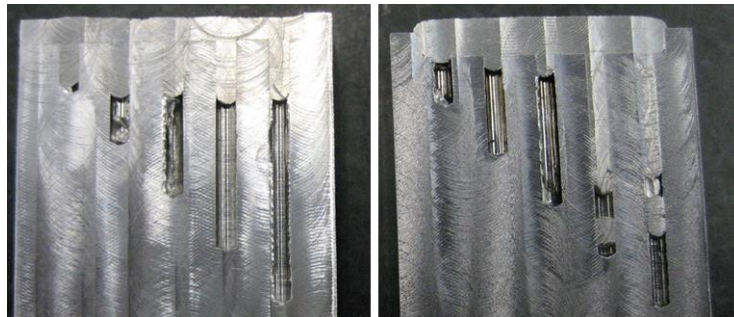
A5052とS50Cによる材質違いでの比較としては、A5052の熱伝導の良さにより流入性に違いが見られると思っていたが、大きな違いはなかった。隅々まで固化治具材を行き届かず場合は、注いだ後に再加熱が必要であると判断した。試験片を予熱

しても、注ぐ際に固化治具材は空気に触れ、厳密には固まりながら注がれる状況にある。そのために試験片と触れる部分に表面張力のような現象が起きながら、行き渡ろうとする。そのために注ぎ方・流れ方により、流入状況は多種多様になってしまう。再加熱方式は概ね固化治具材が行き渡った状態で、再度溶融させ狭隘部等の細かな部分に流入させる手段であり有効と言える。エアー・水分による流入性低下と巣の発生が課題であるが、再加熱方式で減少効果があった。

また、補完実験として、再加熱中に振動（バイブレーション）を加えることで、微細部に流入する結果を得ることができた。今回の試験の結果から、セッティング時の再加熱方式と外的振動について作業標準化の項目とした。

再加熱条件

固化治具材を試験片内で溶解するまで加熱



A5052

S50C

※再加熱方式でも止まり穴であると、エアー抜きできず完全注入できない。

#### 【試験④ 膨張率計測試験】

膨張率計測試験は、軸ピン上下計測試験と薄膜影響試験の2種を実験した。軸ピン上下計測試験では数値的な膨張を確認できなかった。実験方法に少し難があったことは否めない。薄膜影響試験では興味深い結果を得ることができた。

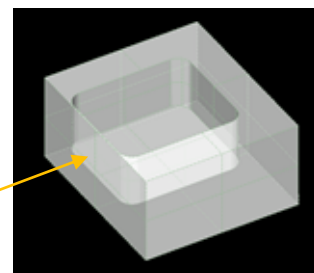
##### ◆ 薄膜影響試験の方法

膜厚：0.3 mm 0.2 mm 0.1 mm

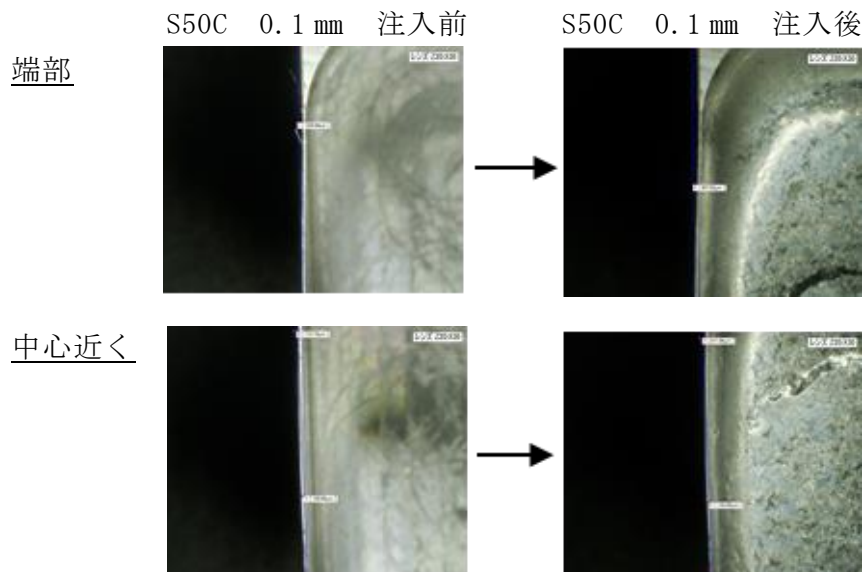
試験片材質：S50C A5052

計測：デジタルマイクロスコープ

薄膜部



◆ 薄膜影響試験の計測画像



◆ 薄膜影響試験（注入前と注入後の比較）の結果

S50C	膜厚 0.3 mm	中心近く・端部ともに変位はない。
S50C	膜厚 0.2 mm	中心近く・端部ともに変位はない。
S50C	膜厚 0.1 mm	今回の試験片寸法で変位量 0.02 mm～0.04 mmとなった。
A5052	膜厚 0.3 mm	中心近く・端部ともに変位はない。
A5052	膜厚 0.2 mm	中心近くは変位量 0.04 近くあるが端部は変位が少ない。
A5052	膜厚 0.1 mm	薄膜加工時の歪の影響と、固化治具材の隙間により、計測誤差が生じるレベルであり変位数値は参考にならないが、変位は間違いなく発生している。

S50C 材と A5052 材での実験結果からは、いずれも 0.1 mm では固化治具材の注入による影響があったが、この変位量は膨張だけによるものでなく、固化治具材そのものの重みで変位していると考えられる。結果としては、今回の試験片の大きさ（固化治具材の重量）では 0.3 mm 厚であれば影響がみられなかった。薄膜の状態では固化治具材を多く注入する場合は、重みで歪むことがあるため切削除去順序（加工工法）を考慮して、高精度化を図る必要がある。

特性試験 4 種の結果をまとめ、加工段取り（原点設定誤差）基準面誤差・工具精度・機械精度など、バックアップ方式と関連のない外的要因を高精度化させることで、板厚均一化の目標達成には至らなかったが、テストモデルで ±0.02 mm まで均一化することができた。さらに、この特性試験により「安心技術」の構築のため作業標準化にも活かすことができた。



## 2-2 セッティング装置（固化治具材用）の開発

### 【装置概要】

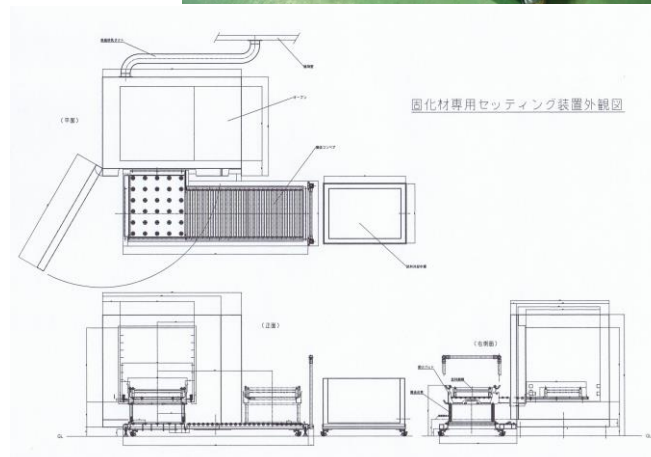
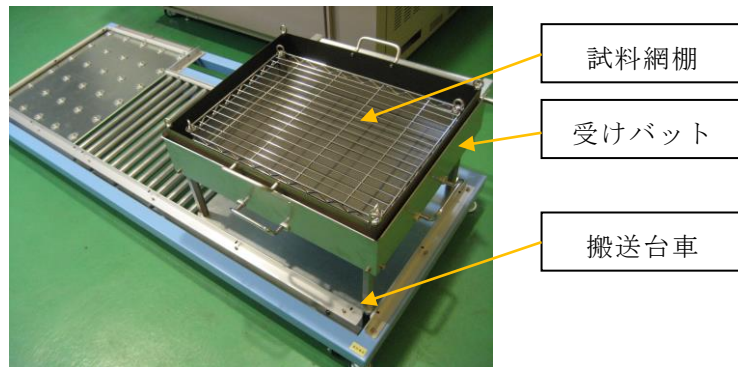
本装置は低温で溶解できる金属タイプの固化治具材を、加工工程内で加工物に注入させる装置である。固化治具材を溶解させる装置や加工品を予熱させる装置・離型させる装置などシステム化したもので、想定よりも高温対応の仕様として開発を進めた。研究開発以前は大きな鍋に水を入れて、プロパンガスの直火により加熱させる手法であったため、安全面に不安を抱えていた。本装置はガスや火を使用せず、高温対応でありながら非常に安全性に考慮した仕様とさせた。特に固化治具材は比重が重いため、注入時の作業負担の軽減と工場内の既存クレーンを利用できるレイアウトとさせた。

### 【装置の構成】

工業用オープンやオイルバス



コンベア・搬送台車・受けバット・試料網棚



#### ◆各装置の役割と注意点

工業用オーブンは加工品を予熱したり、再加熱させたり、固化治具材を取り出す際のリセット作業に使用する。コンベアは加工品を受け渡すための架台であり、搬送台車はオーブンの扉開閉による干渉を回避するためにコンベア上を左右に移動する装置である。オーブン庫内への前後移動にも対応している。受けバットは搬送台車とオーブン庫内の滑りレールを移動するもので、固化治具材の落下を受け止める。テフロンコーティング処理されており固化治具材が剥がれやすくなっている。試料網棚は加工品を乗せる部分で、小さい加工品は細かい網棚タイプを使用することになる。

#### ◆セッティング装置による溶解・離型性の結果

従来式の直火で沸騰させ加工品から固化治具材を取り出す手法に代わり、工業用オーブンを活用してリセット作業の時間を効率化させるトライを実施して、温度設定・加熱時間などの結果とあわせて、拘束時間など有人作業を45%効率化できた。

### 2-3 “超”極薄肉加工技術の開発（円筒薄肉・曲面形状）

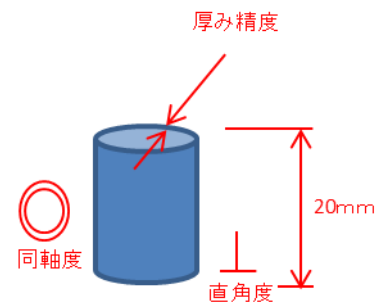
固化形バックアップによる円筒薄肉モデルと、直面・平面など単純な形状ではない曲面形状モデル（波面）による“超”極薄肉化の実験をした。高精度・薄肉化をねらう上では、加工精度の安定化だけではなく、固化治具材の充填や離型による寸法精度への影響を調査する必要がある。

#### 【円筒薄肉モデルによる充填と離型の影響】

- ・試験材質 A5052
- ・円筒サイズ条件 厚さ（バックアップ有り）

<u>φ 13 mm</u>	1.0 mm	0.5 mm	0.3 mm	0.1 mm	0.05 mm
<u>φ 20 mm</u>	1.0 mm	0.5 mm	0.3 mm	0.1 mm	0.05 mm
- ・円筒サイズ条件 厚さ（バックアップ無し）

<u>φ 13 mm</u>	0.1 mm
<u>φ 20 mm</u>	0.1 mm

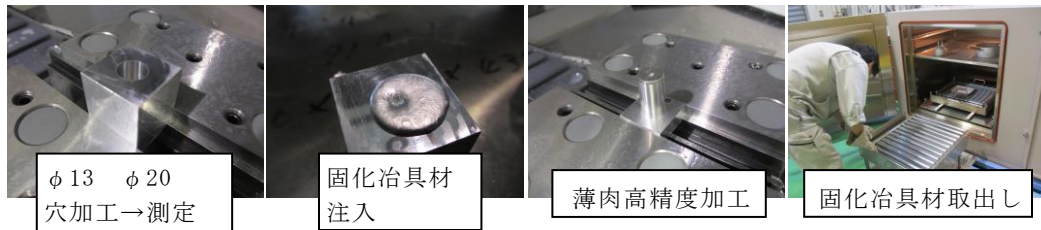


#### ◆試験概要と結果

材料はA5052、穴径をφ13とφ20の2通り、薄肉厚さ5条件をバックアップ有りで実験して、どこまでの厚さまで高精度を維持できるか検証した。参考として固化治具材を注入させない条件（バックアップ無し）もφ13とφ20の薄肉厚さ0.1mmで比較してみた。寸法精度の目標公差は±0.02mmとし、固化治具材のセッティングは再加熱方式で実施した。



結果としては、固化治具材有りの条件で加工したものについては、円筒サイズφ13 mmは0.05mm厚さまで、φ20 mmは0.1 mm厚さまでが目標公差±0.02 mmを維持できる結果となった。よって研究目標の最薄肉部0.1 mmを達成することができている。固化治具材なし（バックアップ無し）は外径加工時に追い込み加工しているが、0.1mm厚さで加工困難となった。外径の上2mm部は工具が切り込めずに、外径が大きい測定結果となっており、内径の上10mmと18mm部は加工後に小さくなっている。外径加工時の抵抗で形状が内側に塑性変形したと考えられる。バックアップ材は工具を確実に切り込みさせるための補助材の役割だけでなく、薄肉加工においては切削抵抗による変形防止にも効果がある。



◆円筒薄肉モデルの測定結果

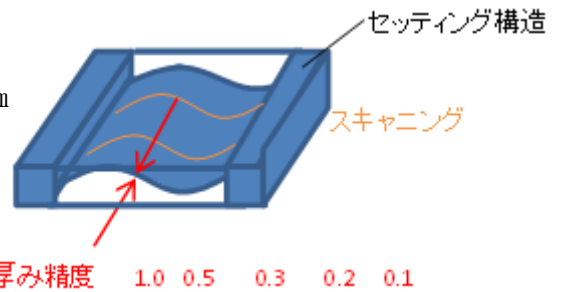
円筒サイズ φ13 mm [固化治具材有り（バックアップ有り）]

φ13 肉厚（外径）	幾何・精度 測定高さ	固化治具材注入前			加工後の外径			固化治具材取り出し後					
		内上	内中	内下	外上	外中	外下	内上	内中	内下	外上	外中	外下
1.0 (φ15)	φ	12.9972	12.9991	12.9973	14.9955	14.9967	14.9985	12.9988	12.9997	12.9959	14.9969	14.9965	14.9999
	真円度	0.0016	0.0001	0.0053	0.0033	0.0004	0.0071	0.0066	0.0051	0.0071	0.0067	0.0060	0.0087
	円筒度	0.0010			0.0015			0.0019			0.0017		
0.5 (φ14)	φ	12.9971	12.9984	12.9953	13.9996	13.9977	13.9991	13.0000	13.0010	12.9951	13.9978	13.9963	14.0018
	真円度	0.0015	0.0007	0.0045	0.0001	0.0012	0.0048	0.0015	0.0038	0.0081	0.0026	0.0052	0.0074
	円筒度	0.0016			0.0010			0.0030			0.0028		
0.3 (φ13.6)	φ	12.9971	12.9982	12.9962	13.6095	13.6063	13.6051	13.0025	13.0014	12.9975	13.5948	13.5940	13.5989
	真円度	0.0031	0.0023	0.0035	0.0012	0.0007	0.0040	0.0073	0.0007	0.0069	0.0042	0.0023	0.0068
	円筒度	0.0010			0.0020			0.0025			0.0025		
0.1 (φ13.2)	φ	12.9976	12.9978	12.9962	13.2116	13.2049	13.2117	13.0002	13.0048	13.0020	13.1850	13.1950	13.2023
	真円度	0.0026	0.0011	0.0025	0.0027	0.0037	0.0061	0.0004	0.0023	0.0024	0.0014	0.0009	0.0017
	円筒度	0.0008			0.0034			0.0023			0.0087		
0.05 (φ13.1)	φ	12.9982	12.9989	12.9959	13.1002	13.1016	13.1035	13.0199	13.0157	13.0055	13.1055	13.1035	13.1034
	真円度	0.0014	0.0007	0.0035	0.0011	0.0001	0.0012	0.0088	0.0027	0.0056	0.0030	0.0001	0.0045
	円筒度	0.0012			0.0011			0.0168			0.0011		



【曲面形状モデル（波面）による充填と離型の影響】

- ・試験材質 S50C
- ・試験片 120 mm×120 mm×20 mm
- ・薄肉厚さ（バックアップ有り）  
1.0 mm 0.5 mm 0.3 mm 0.2 mm 0.1 mm
- ・薄肉厚さ（バックアップ無し）  
0.3 mm



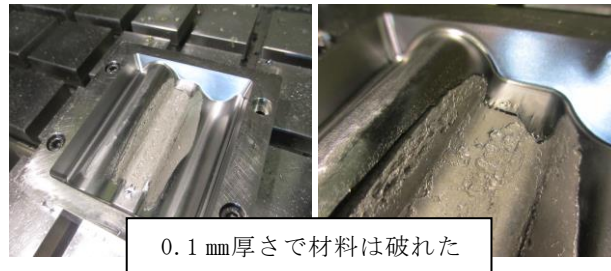
◆試験概要と結果

材料は測定時にマグネットで固定できるS50C材とし、薄肉部の厚みを5種製作して検証した。固化治具材によるバックアップ方式が、曲面形状のどのような部分で歪が発生し、厚み精度がどの程度維持されるかを確認し、固化治具材の充填・離

型による影響を評価していく。参考として固化治具材を注入せずに、薄肉部の厚み 0.3 mmを加工し寸法精度を比較した。形状精度の目標公差は±0.03 mmとし、固化治具材のセッティングは円筒薄肉モデル同様に再加熱方式で実施した。



加工に関しては 1.0mm、0.5mm、0.3mm（バックアップ有り）までは順調に加工することができたが、0.2mm、0.1mm（バックアップ有り）0.3mm（バックアップ無し）は要求精度を満たすことができず、特に加工熱による影響で 0.1mm 厚さでは完全に材料が破れてしまう結果となった。



“超”極薄肉を目指すためには、加工熱による影響を可能な限り抑えるため、切削液クーラントにより追加試験を実施した。加工残し代や加工パスの方向などの条件を織り込み、研究目標の厚さ 0.1 mmを目指した。結果として条件を改善させたことで、厚さ 0.1mm の全ての条件において破れることはなかった。固化治具材をバックアップに使用するためには、加工中において終始切削液によるクーラントが必要であることがわかり、この結果は作業標準化にも活かすことができた。

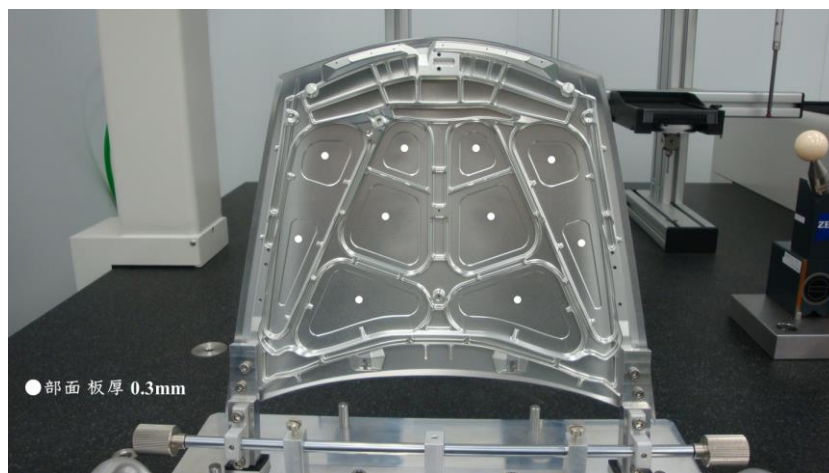
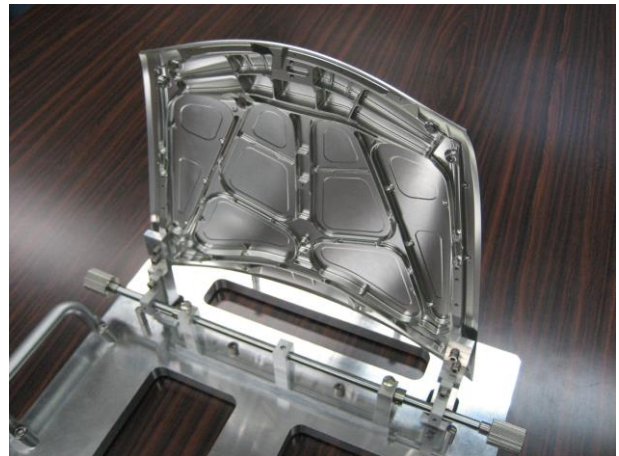
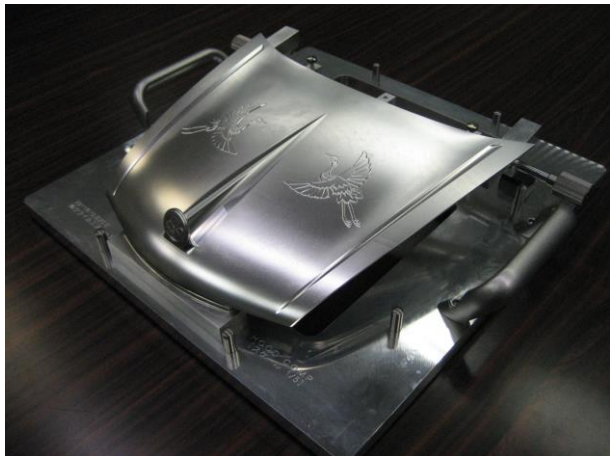
加工精度については、約 0.03~0.13 mm近く残っていて、部分的には 0.03 mm食込む部分もあり、良好な結果とは言えない。“超”極薄肉加工では可能な限りの加工ピッチを下げて、加工負荷を減らすことが重要と考えるが、加工時間が大幅に増大してしまう。工具径を小径化させる対策方法は今後の実験でも活用していく。

本実験の結果を総括すると、曲面形状モデル（波面）の厚さ 0.1 mmはどうか「カタチ」になったが、実用化レベルではないと考え、バックアップ方式による“超”極薄肉の実用化領域を 0.2 mm厚さに設定した。“超”極薄肉の精度追求するためには、リブなどによる補強や、部分的な板厚違い構造により、加工物の剛性アップが効果的と考える。

## 2-4 自動車車体部品における部品の一体化技術・厚さ違い構造の取り組み

本研究開発のアドバイザーの市場動向の情報をもとに、優先課題として研究推進委員会で挙げた取り組みが、部品の一体化技術である。

自動車車体部品では極少量付加価値向け部品にデザイン自由度の高い形状を織り込む動向も活発化していることと、組立を簡素化できる“部品の一体化”に対応する技術サンプルの製作に着手した。サンプルは自動車車体部品のフード ASSY 部品を題材としており、5分の1スケールで完成させた。最薄肉部 0.3 mmで厚さ違い構造である。



### 【外板部品の開発テーマ】

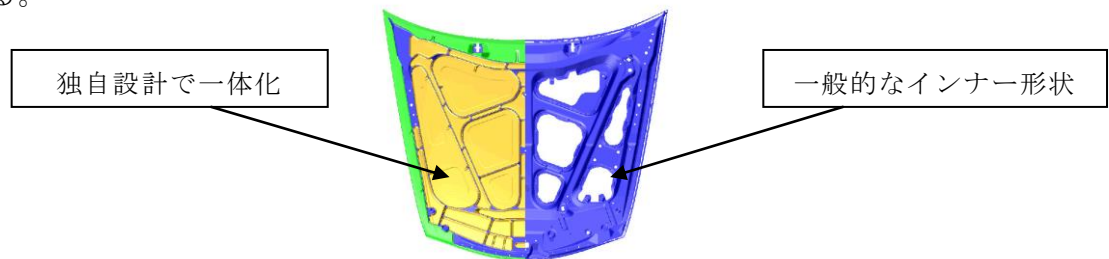
- ◆コスト中心の多量生産ものづくり技術から脱皮  
※顧客の感性やステータスを満たしたい。
- ◆ものづくりの道具立てである生産準備と生産空間を廃除  
※超短期に満足いただける部品を具現化したい。

### 【部品の一体化技術】

フード ASSY 部品はアウターパネルとインナーパネル・ヒンジ BKT 部品等で構成されている。この部品構成を独自設計により一体モデリング化させた。インナーパネ



ル部は厚さ違い構造のリブを施しており、パネル外周のへム曲げ部においても強度剛性を保つように、テーパ化させている。ヒンジ部には溶接ナットを廃除させる狙いでタップ穴を直接加工させた。サンプル品はスケールを5分の1用の設定としているため、リブ幅などの構造体はフルスケールを考慮した設計値ではない。加工工具の制限と加工時間のバランスを配慮した結果であるが、フルスケールを想定した場合は軽量化を最優先させて、リブ寸法の再設定や肉抜きを積極的に織り込む必要がある。



#### 【アウター面デザインによる付加価値技術】

自動車車体部品のアウター部品は、自動車のデザイナーが意図する形状にならない場合がある。これはプレス金型で生産する場合に、塑性加工による制約があり、デザイン自由度を阻害しているからである。デザインを崩さずに自動車ができること、またデザイナーが思いのままデザインできる環境が望ましい。プレス金型の成形性の限界を超えた“デザイン自由度の高い形状”を製作するためには、直接削り出しが有効である。本研究開発で自動車の極少量生産車種において、自由に華麗なデザインを織り込むことができた。

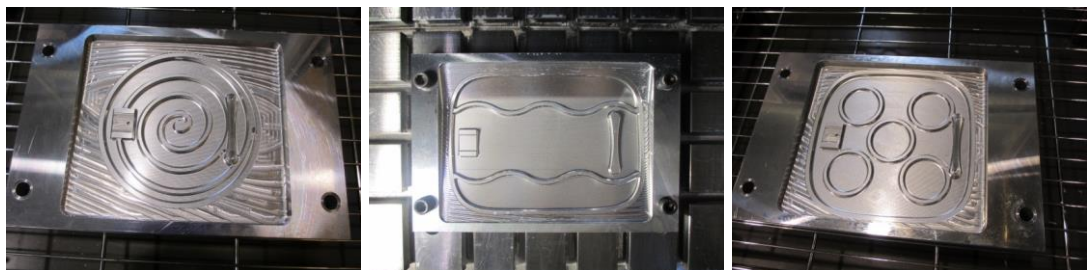
部品の一体化技術とアウター面デザインによる付加価値技術を融合させて、従来にない高機能な薄肉削り出し部品の開発を進めて、極少量品生産方式への適用を広く提案していく。

### 2-5 小物車体部品の加飾と部品の一体化

極薄肉加工技術の狭隘部・微細部への対応として、小物車体部品に加飾させる付加価値と“部品の一体化”による機能価値を高めるサンプルを製作した。

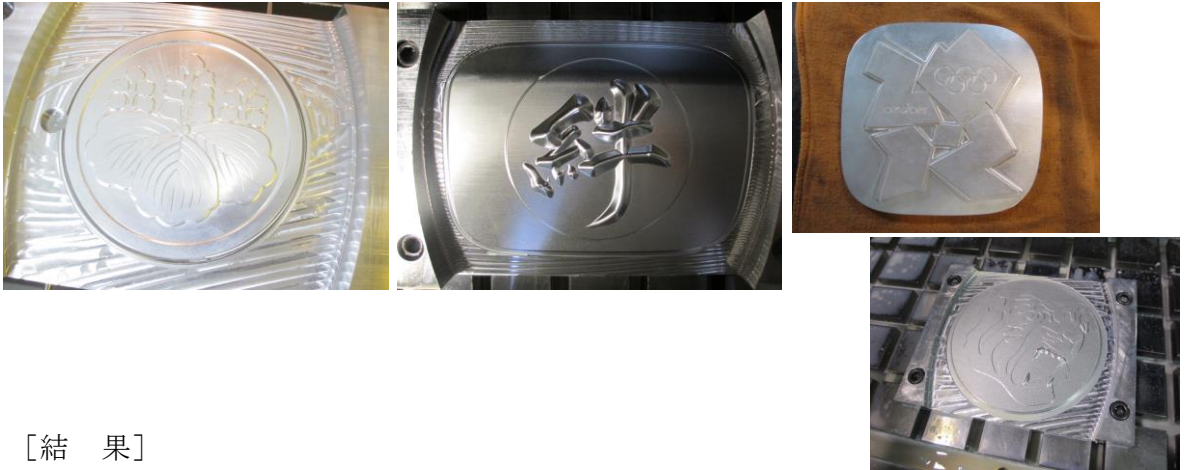
#### 【独自リブ構造の一例】

※ “部品の一体化” “板厚違い構造” の基礎実験



### 【加飾させた小物車体部品（給油口パネル）】

小物部品の一体削りにより魅力のある部品を誕生させ、切削による加飾技術について評価検証した。



#### [結果]

加飾部分については安定加工ができ、とても綺麗な加工を実現できた。しかしながら、最終切り離し工程ではモデルの側面部が切削力による材料振動（ビビリ）があり、良好な面品質を得られなかった。切り離し工程が課題の一つとなった。独自リブ構造については、切削し易さの観点だけでなく、今後は軽量化と剛性面の両方の視点でリブ構造（厚さ・高さ）を設計していく。

## 2-6 薄肉軽量ギアの更なる軽量化（肉厚 0.1 mm）と端面切り

プレス成形性の限界を超えた形状の“薄肉軽量ギア”について、肉厚 0.3 mm、0.2 mm、0.1 mmのサンプルを製作した。従来までの試作部品の多くは、加工物の側面を切り離し位置としているが、ギアの噛み合い部には切り離しの段差がないように、端面で切り離す方法とした。

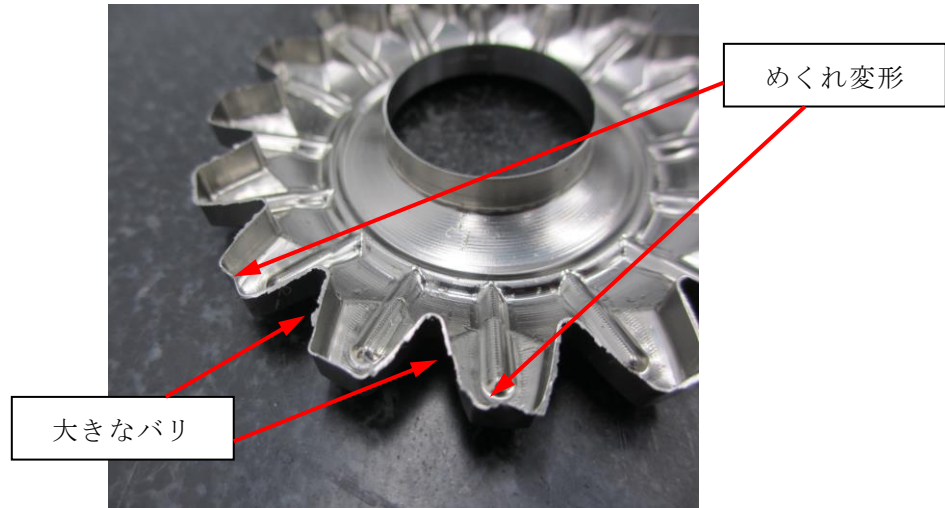
試験片の材質 : S50C

目標精度 : ±0.03 mm以内

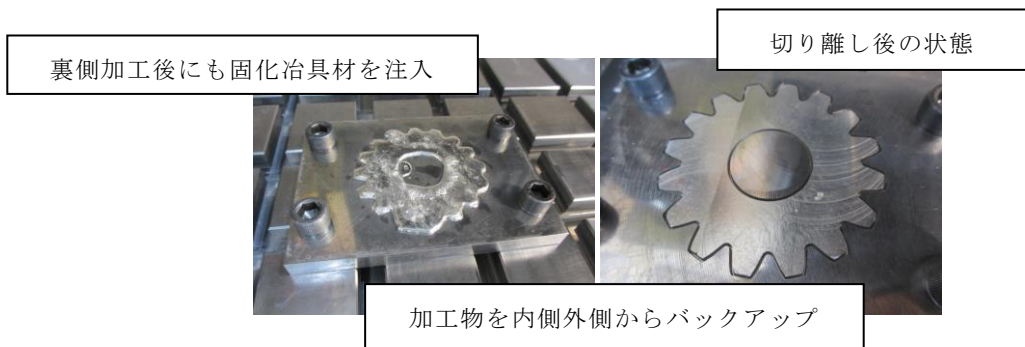


### ◆端面切り結果と考察

肉厚 0.1 mm の条件においては、端面の切り離し加工で、加工負荷により製品の淵がめくれて変形してしまった。大きなバリも大量に発生させてしまった。



考えられる原因としては、肉厚 0.1 mm に対して、切り離し工具が  $\phi 4$  スクエア工具を使用したため、比率が大き過ぎたため加工負荷により変形した。また超極薄肉の端面切りの場合は、両側から挟み込むようにバックアップする方法が有効ではないかとの見解を得た。結果として、切り離し工具について  $\phi 2$  ボールエンドミル工具に変更して、工具径と刃形状により切削負荷低減を図り、さらに加工物を内側外側からバックアップするなどの対応策により、端面切りを成功させた。



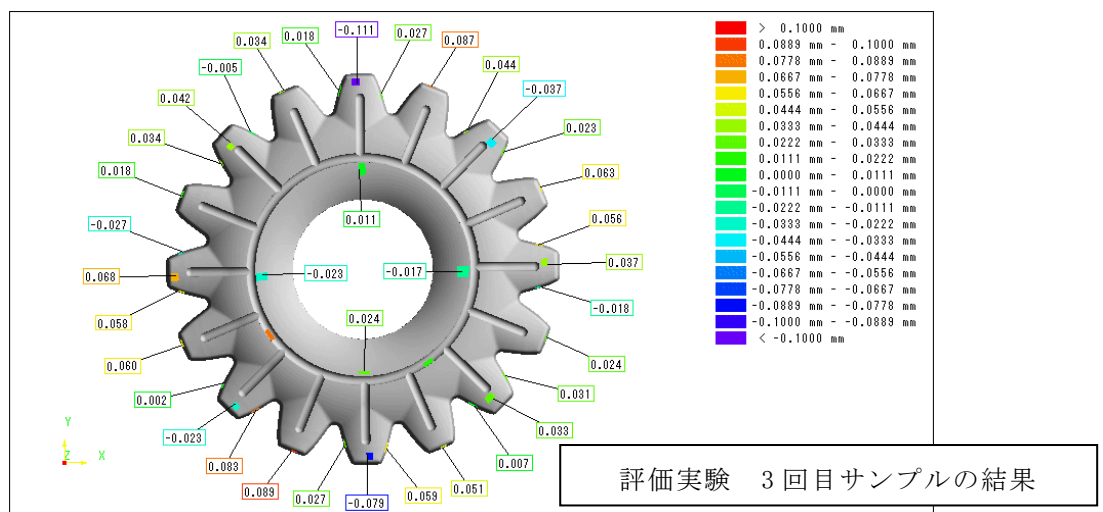
### ◆軽量（肉厚 0.1 mm）の結果と考察

薄肉安定加工の作業標準化と対応方策を織り込み、3回目の評価実験で形状自体は見た目で見える大きな変形や穴が空くこともなく完成できた。しかし三次元測定機の結果では、目標精度の±0.03 mmは達成できずに、想定外の歪みが発生していた。薄肉軽量ギアは比較的、剛性のある形状であるが、0.2 mm以下の厚さではバラツキが発生してしまう。要求精度の高い部品については0.2 mm厚さが実用化領域であることを再認識した。



破れた穴や大きな変形はないが  
肉厚 0.1 mmでは要求精度を満たせない

評価実験 3回目サンプル



評価実験 3回目サンプルの結果

CADモデルと比較して **最大 +0.089 mm** **最少 -0.111 mm** その差 0.2 mm

目標公差±0.03 mmの達成はできなかった。三次元測定機の結果は寸法精度の誤差が大きく、大きく歪みが発生している。切り離し加工での内部応力の開放と離型時の熱影響が考えられる。

3種のサンプルの重さと肉厚の結果を比較するとバラツキが大きく、肉厚 0.1 mmの安定加工は極めて難しいと判断できる。

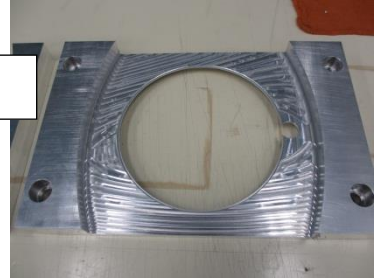
薄肉ギア(mm)	重さ(g)	実際の肉厚(mm)
0.3	18	0.31
0.1(1個目)	8	0.14
0.1(2個目)	7	0.10
0.1(3個目)	10	0.18



## 2-7 セッティング構造の標準データベース化の取組み

従来までは、加工対象となる部品に合わせて随時セッティング構造を設計する必要があった。加工NCデータを作成するまでの設計工程を分析すると、基本仕様を標準化することで作業時間が大きく改善されることがわかった。セッティング構造の標準データベース化により設計時間を50%短縮させることを目標とした。

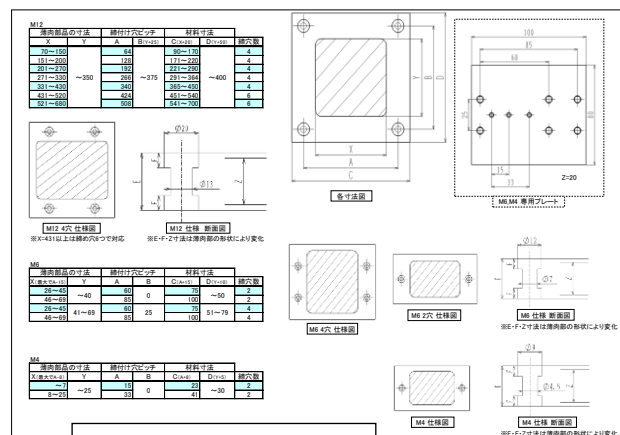
セッティング構造の一例(切り離し後の状態)



### [結果]

当社設備仕様を考慮した独自のデータベースを構築した。加工対象の薄肉部品の寸法決定により、セッティング構造を選択可能とさせ、材料手配が迅速に行うことができた。加工機への段取り方法も標準化でき、設計時間の50%短縮を実現させ、基本仕様以外の加工形状による個別設計に注力できるようになった。

標準データベースはM12 ボルト、M6 ボルト、M4 ボルトの3種を揃えた。

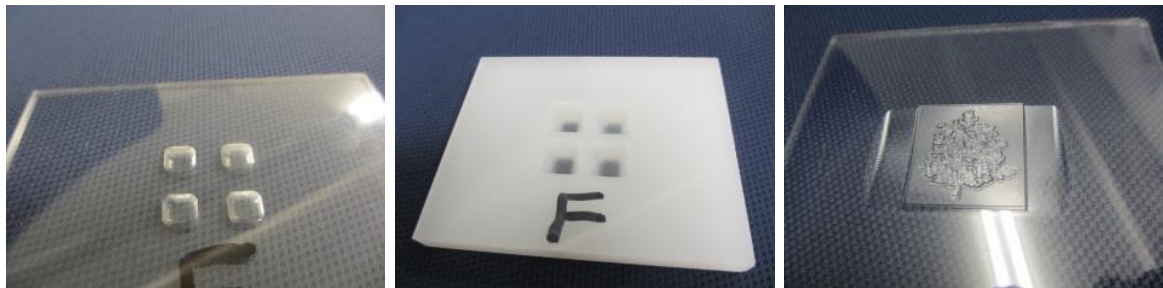




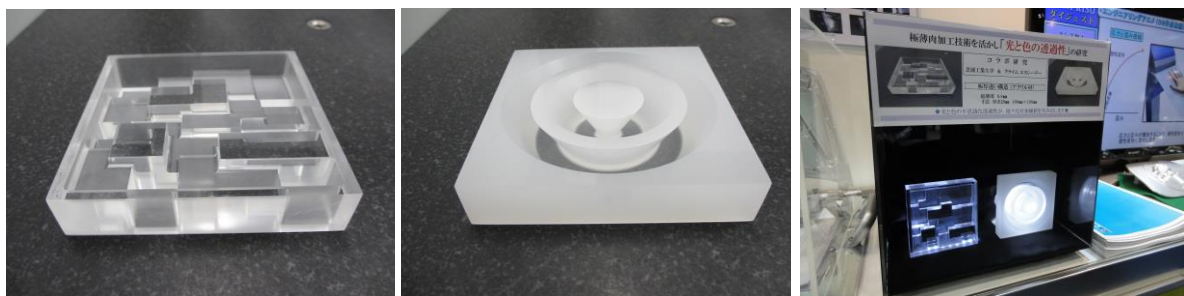
## 2-8 狭隘部・微細形状からなるアクリル樹脂材の研究

樹脂材によるデザイン価値向上と板厚違い構造の研究に取り組んだ。デザイナーの意図を組み入れて、各種金型では造形できない狭隘部・微細形状の薄肉部品を生み出す。本研究は芝浦工業大学にデザインをお願いし、透明・半透明のアクリル材を薄肉加工させ、「光と色の透過性の研究」をテーマに産業交流展 2012 にも出品した。アクリル材による照明具や店舗装飾など独自デザインが求められる分野を想定している。

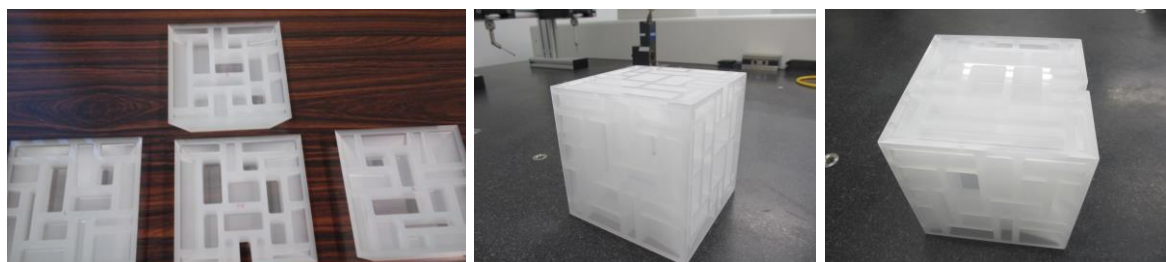
板厚違いブロックパターンサンプル



光と色の透過性のモデル



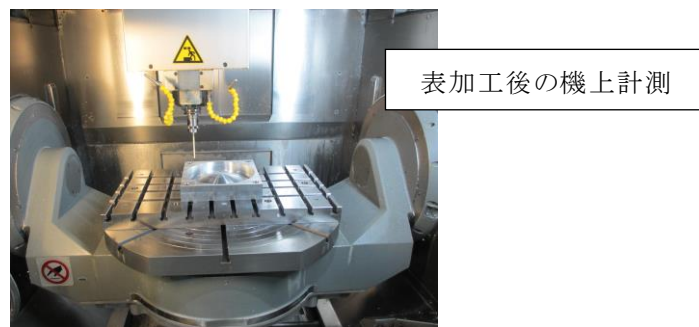
板厚違いによる光とデザインのアロマキャンドル試作



## 2-9 低剛性部品に対応する実験研究

極めて剛性のない極薄肉形状の試作品の実験に取り組む上で、JAXA 宇宙科学研究と連携して実験を進めた。研究の部品は、宇宙関連の要素実験モデルである。将来の高精度構造システムの実現のカギとなる部品である。今回は性能評価するためにもアルミ材による薄肉化が要求された。

部品のサイズはφ200 mmでスリット幅 1.2 mmを数か所設置させて、変形を生じやすい形状である。いままではリブ構造などにより、剛性を確保させてきたが、本形状はスリットがあり、極薄肉加工として難易度が非常に高い。バックアップ材により“しっかり保持できるか”や“離型による精度の影響”について検証・評価した。肉厚は 0.5 mmを狙い、以下に概要のみ報告する。



固化治具材：低温で溶解できる金属タイプを使用

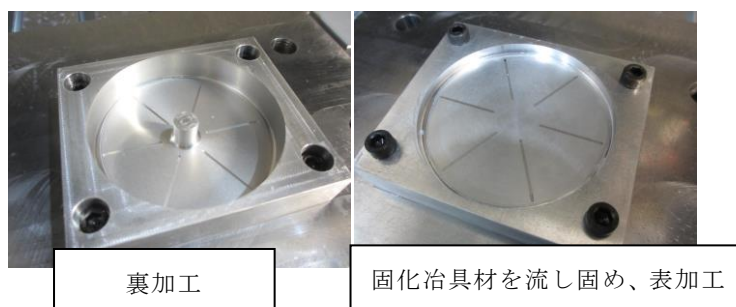
1次試験の結果は、想定できる範囲を超えたねじれ変形（歪み）が、外周切り離し後に発生していた。さらに離型時の熱影響でねじれ変形は増大した。処置としてアニーリングを試みるも要求精度は満足できない。

ねじれ変形（歪み）の想定要因は…

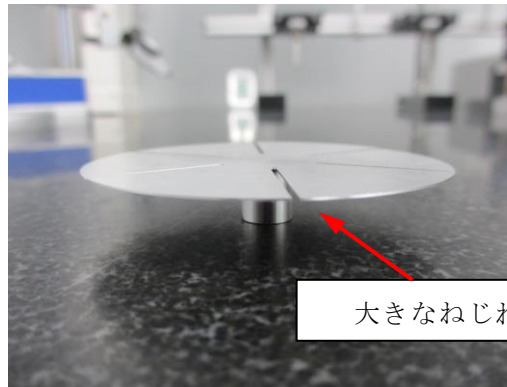
- A. 素材（A5052P-H112）の残留応力
- B. 加工による内部応力
- C. 固化治具材と鏡面（素材）の CTE の差による熱変形

想定要因 B について…

加工による内部応力について、ねじれ変形が方向性を持っているため、対策・補完実験を実施した。試験片は曲面ではなく、小さい平板でねじれ傾向を観察した。また、試験片の材質、加工手順は1次試験と同様にした。



### 【平面板によるスリット羽根（肉厚 0.3 mm）】



補完実験の結果から判断すると、仕上工具の加工 NC パスの方向で、ねじれ変形の方角性に影響があるとは言えない。但し、補完実験のモデルは小さいため、平面であっても剛性が比較的に強い状態であることが、好条件であることは間違いない。

### 2次試験に向けた対応方策

以下の対策を織り込み、同じ材質、同じ工具で2次試験を試みる。

#### 【ねじれ変形の対策】

- ◆外周切り離し前にアニーリングさせる。
- ◆外周切り離しをワイヤーカットで行う。
- ◆表の大荒加工（5 mm残し）を廃止。
- ◆裏からのスリット加工を、表面部仕上げ後に工程を組み直す。
- ◆肉厚管理の徹底（0.5 mm以上を確保）

### 2次試験の結果と考察

ねじれ変形を大幅に軽減でき、数値目標の $\pm 0.1$  mmを達成することができた。結果として、アニーリング後に切り離す方向性は、剛性のない部品の高精度化には有効な方法だった。但し、アニーリングする際の自重などの変形については、配慮が必要だと感じる。また2次試験での課題となったのは、離型時の変形である。固化治具材の取り出し（離型）で何かしらの圧力が極薄肉部に働き、加工後の状態とは明らかに変化している部分があった。固化治具材の溶かし方を改善していく必要がある。

2次試験の加工手順とアニーリング効果を検証するために、再現性実験も実施しており、より一層の高精度化を実現させ良好な試験片を再現できた。

### 低剛性部品の切り離し加工について

本試験片の切り離し加工は「側面切り」に分類されるが、低剛性部品でバックアップ材がない状態での切り離しのため、ワイヤーカットで実施した。スリット部については、バックアップ材がある状態であるため、R0.4 ボールエンドミルを活用して切削加工を行った。こちらも「側面切り」に分類され、高低差のある曲面部にスリット部があるため、曲面沿いオフセットの加工 NC パスを試行して、無駄な加工 NC パスを大幅に減少することができ、加工時間として 25%の効率 UP となった。

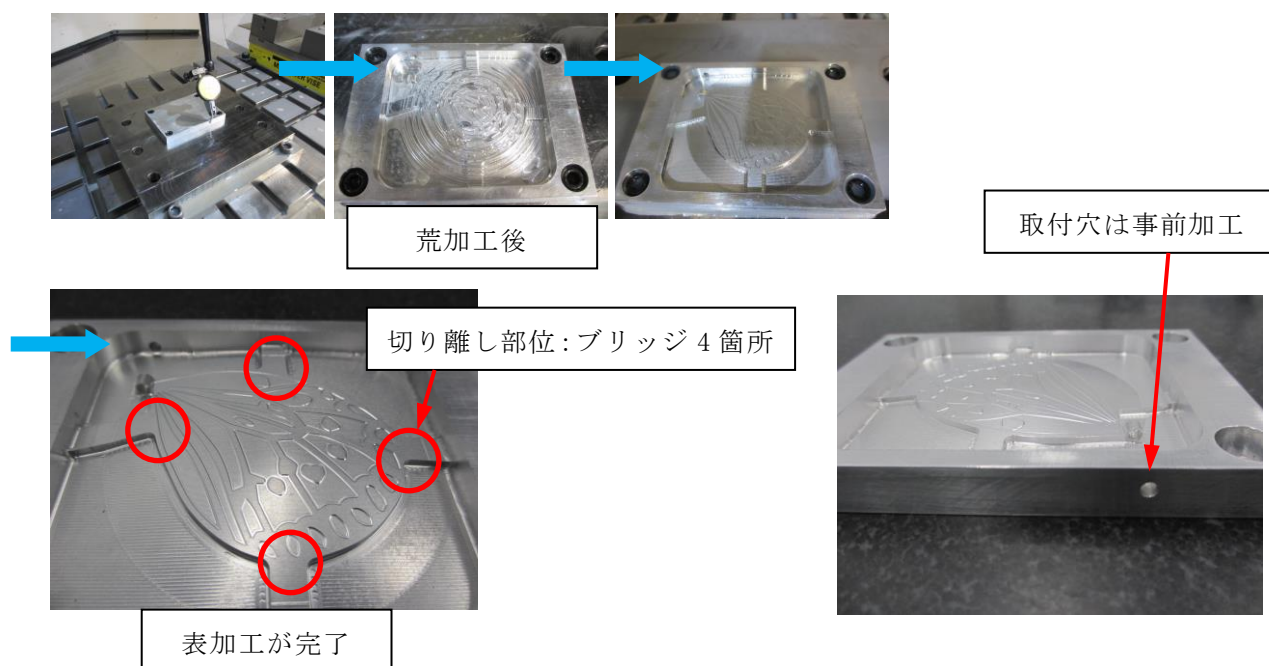
### 2-10 デザイン特化のサンプル製作

デザインに優位性のある部品として、蝶々モデルの製作に着手した。現状、自動車・宇宙関連の機械系のサンプルが多いため、独自性のある分野として、動植物などのデザインサンプルが再現可能なのか試験を実施した。

この蝶々モデルは、機能構造と薄肉の共存を目指し、薄肉部は 0.3 mm と 0.1 mm の厚さ違い構造で、取付部を一体化構造とした。蝶々の翅 4 枚と胴頭 2 部品の計 6 部品の組立品として独自設計した。以下に試験内容と結果をまとめる。

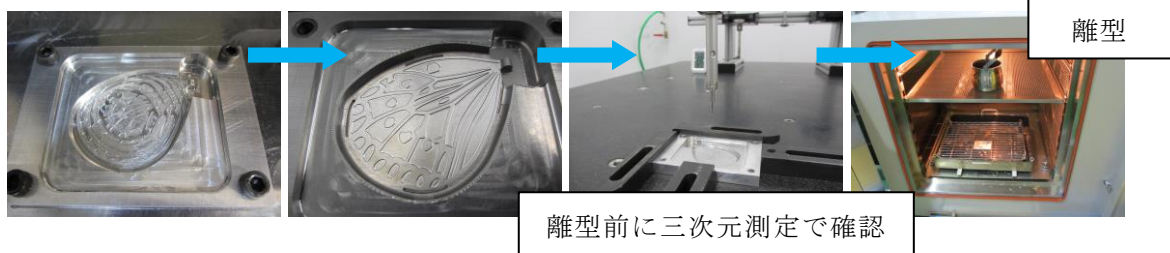
被削材 : A5052  
固化治具材 : 低温で溶解できる金属タイプ  
切り離し加工 : 部分切り (ブリッジ)

### 翅 加工手順【表】





## 翅 加工手順【裏】



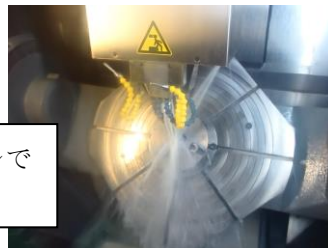
翅の完成品 ※取付ヒンジの一体構造

切り離し方法を部分切り（ブリッジ）にしたが、大きな段差になるようなことはなく、綺麗に加工できた。一体化の構造として、形状加工前に穴加工を試み、薄肉による位置ズレもなく成功できた。

## 胴頭 加工

翅の取付部に合致した胴と頭を製作するにあたり、結合方法の検討・段取り性などを検証し、最終的にはφ2mmピンを結合ガイドとして使用し、翅との嵌合部の径はφ3.2mmで設計した。

胴は特殊チューブモジュールで  
加工 NC パスを作成



訴求可能な市場に展開するためにデザインサンプルを完成させることができ、切削加工による“デザイン自由度”の造形に成功した。東京国際航空宇宙産業展 2013 に出品し、評価を得ている。



東京国際航空宇宙産業展2013

ASIT



組立完了した蝶々モデル

## 2-1-1 バックアップ補助材の新材種の研究

補助材である固化治具材は大量に使用する場合、廉価な補助材が要求される。また、セッティング装置で加工物を加熱させずに、溶剤で溶かす、或いはそのまま外すなどが可能な新材種を検討した。低温で溶解できる金属タイプの代替えとして期待している。



新固化材 A



新固化材 B



新固化材 C

### ◆バックアップ補助材の新材種の比較まとめ

材種	固化時間	固化収縮	密着力	流入性	離型性	コスト	加工精度	評価
新固化材A	×	○	◎	○	×	○	-	×
新固化材B	○	○	○	○	○	◎	○	○
新固化材C	△	×	×	○	○	○	-	×
固化材	△	○	○	○	△	△	◎	○

総合評価で新固化材 B に優位性があり、実用化に向け良好な結果が得られた。バックアップ材の作業時間については、加熱が不要であるため、準備を含めると 30% 短縮された。

### バックアップ材の高機能化・高精度化を目指すための 3 項目

- 1) 固化時の収縮が極めて少ないこと
- 2) 加工に耐えることができる強度を持つこと
- 3) 離型作業が容易なこと

### 今後の課題としては…

- ◆離型剤の塗布 量・ムラなく均一
- ◆新固化材を均等に流し込む方法
- ◆エアー抜き位置・数
- ◆吊りボルトの位置

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発体制について

研究開発体制は企業1社・大学1校で、目的どおりにPDCAサイクルを円滑に廻せることができた。また、意思決定は研究開発実施機関のみで迅速に行われ、アドバイザーからの情報は、課題解決の指針として大いに活用し成果に結び付けた。特に最終年度はJAXA宇宙科学研究所の准教授をアドバイザーとして迎えて、宇宙産業の要素モデルの研究開発を連携できたことが大きな成果である。

宇宙産業の試作品は、難易度が高く高付加価値な部品が多い。宇宙に投入する機体は、剛性を落とさずに軽量化への取組みなど、材質選びから連携して技術開発を進めることが要求され、教授ごとに開発動向は様々である。現在も首都圏南西地域産業活性化フォーラム主催の「宇宙科学研究会」に参画しており、情報収集を欠かさずにいる。

研究課題の計画見直しの検討については、市場の動向とアドバイザーの助言、販路の手応えなどから、利害関係のない第三者の視点で冷静に判断しており、大物車体部品の対応については計画を見直ししている。新たな計画としては400mm角以下の高付加価値部品への適用に移行した。

芝浦工業大学との共同研究は、引き続き固化治具材の新材種の実験を行ない、加熱させずに離型できて手軽なコストの材種について、良好な結果を得ることができた。また、薄肉部品の切り離し加工をワイヤーカット加工すること、アニーリング処理することについて、協力企業と連携しながら開発を進めることができた。

本事業の研究開発体制を総括すると、PLは研究課題とその目標を明確にして開発計画の舵取りを行なうことができ、SLは研究課題に対して広い知見をもとに、目標を達成するための様々な要素実験・補完実験の企画構想を担当した。このような体制により、研究員は研究開発・実験に専念できた。また研究開発推進委員会は計画通り年3回開催できた。

### 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

本事業のバックアップ補助材として主に使用している低温で溶解できる金属タイプの固化治具材については、コスト高が課題として挙げられる。新固化材の一つが実用化に向けて良好な結果は得ているが、金属タイプの優位性を忘れてはならない。金属タイプは再利用が可能なことと、強度が比較的高いこと等の利点が多い。本研究開発の技術は直接削り出し技術であるため、材料が大きくなり材料コストを問題視される場合が多い。しかしながら少ロット生産の場合は、金型を製作・調整する型費やスタンピング作業費、その後の組立作業費などのトータルコストと比較して提案しなければならない。何個までならば費用対効果が望めるのか。部品形状によっ

て効果の違いがでてくるため、今後はしっかり見極めることが重要となる。その中で、バックアップ補助材としても、金属タイプなのか新固化材なのか判断していかなければならない。

補完研究として想定している技術項目は、アニーリング（焼鈍）処理技術である。より緻密な実験を試み、薄肉製品の変形・歪みを低減させる手法の確立に取り組んでいきたいと考える。また、自重たわみ等の部品剛性のシミュレーション解析技術やプレス成形シミュレーションのスプリングバック解析のような、切削加工による材料の内部応力による塑性歪みの解析が可能になれば、さらなる高精度化が図れる。このような解析技術があれば、安定・安全・確実に加工できる「安心技術」の構築が、一段高い領域で達成できる。

事業化に向けて、今後は多種多様な形状での経験を積み上げるために、宇宙関連の要素試作部品の単品試作でノウハウを蓄積させる。サンプル出荷と薄肉製品の生産を並行で行ない、ノウハウを確立させる。追加で研究開発が必要であれば実施させて、その結果を織り込み宇宙科学研究所向けの事業化につなげる。この事業化の成果・実績をもとに、自動車部品市場や他業界に少ロット試作への適用を提案して、普及に努める。

以上のような、課題への取り組みや事業化展開を目指して、引き続き技術研鑽に励んでいく。研究員・アドバイザーを含め多くの企業に支えられて、素晴らしい研究開発ができたこと、心より感謝申し上げたい。