

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「シミュレーション支援室によるプレス加工
デジタルエンジニアリング基盤構築」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 社団法人日本金属プレス工業協会

目次

第1章	研究開発実施概要	1
1.1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1.1.1	背景	1
1.1.2	目標	2
1.1.3	研究開発概要	3
1.1.4	研究開発概念図を下記に示す。	6
1.2	研究体制	7
1.2.1	研究開発委員会について	7
1.2.2	委員会検討内容	8
1.2.3	研究開発および管理体制	21
1.2.4	研究者および協力者一覧	23
1.2.5	【事業管理者】 社団法人日本金属プレス工業協会	23
1.2.6	【再委託先】	23
1.2.7	【アドバイザー】	24
1.2.8	研究実施場所	24
1.3	成果概要	25
1.4	当該プロジェクト連絡窓口	26
第2章	研究開発内容	27
2.1	シミュレーション入力データ生成プログラムの開発	27
2.1.1	概要	27
2.1.2	成果の概要	27
2.1.3	プログラムの機能	27
2.1.4	まとめ	33
2.2	シミュレーション結果表示プログラムの開発	34
2.2.1	概要	34
2.2.2	成果の概要	34
2.2.3	プログラムの機能	34
2.2.4	まとめ	38
2.3	ネットワークシステムの開発	40
2.3.1	概要	40
2.3.2	成果の概要	40
2.3.3	ネットワークシステムの機能	40
2.3.4	まとめ	42
2.4	高度なプレス成形シミュレーションの実施	43
2.4.1	概要	43
2.4.2	成果の概要	43
2.4.3	コイニング解析用リメッシュ機能	43
2.4.4	リメッシュ時の物理データマッピング機能	44

2.4.5	リメッシュによる形状精度の検証について	44
2.4.6	GPGPUによる大規模疎行列計算の高速化検討	46
2.4.7	まとめ	48
2.5	部品強度解析プログラムの開発	49
2.5.1	概要	49
2.5.2	成果の概要	49
2.5.3	強度解析プログラムの機能	49
2.5.4	強度解析プログラムの精度検証	49
2.5.5	プレス成形時の残留応力の影響の検証	51
2.5.6	まとめ	52
2.6	成形実験とデータの取得およびシミュレーションプログラム検証	54
2.6.1	成形実験金型の製作および成形実験	54
2.6.2	まとめ	72
2.6.3	材料試験	74
2.6.4	成形実験結果測定	87
2.6.5	シミュレーションとの比較および検証	103
2.7	公設試と連携したサービス実験、ユーザによる検証	115
2.7.1	実験および評価方法の検討	115
2.7.2	評価結果	116
2.7.3	まとめ	119
2.8	シミュレーション支援室のサービス内容についてのフィジビリティスタディ	121
2.8.1	アンケート調査	121
2.8.2	ヒアリング調査	129
2.8.3	まとめ	132
第3章	全体総括（本研究事業の成果と今後の課題）	135
3.1	本研究開発事業の成果	135
3.2	今後の課題	136
3.3	事業化について	136

第1章 研究開発実施概要

1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1.1.1 背景

金属プレス工業において国際競争力を維持・強化していくためには、ものづくり現場へのITやシミュレーションシステムの導入が不可欠になっている。しかしながら、中小企業においては、人材・資金力の点でシミュレーションシステムの導入が困難な状況にあるため、ITを活用し、日本全国どこからでもインターネットに繋がっているパソコンがあれば、「シミュレーション支援室」に接続してネットワーク上でプレス成形に関するシミュレーションが可能な環境を構築することにより、金属プレス加工業が抱える「低コスト化」、「複雑形状化」、「短納期化」、「軽量化」などの要請に応え、中小企業の生産技術における競争力の向上に資することを目的とする。

(1) 低コスト化

完成車メーカーの原価低減、新興国メーカーによるこれまでの半額以下の自動車の販売開始など、これまでの常識にとらわれない、ワールドワイドでの低コスト化の要請は非常に強くなってきている。

金型による自動車車体における金属プレス部品の成形は、金型技術、材料技術、成形技術などにおいて多くの要素技術が絡み合い、川上・川下担当者含めた技術要素によって生産が成立している。

付加価値の低い製品は、アジアなどの海外に流れ、国内では付加価値の高い製品をコスト競争力を強化して生産することが重要である。

- ① 最終製品の機能の向上、コスト低減
(強度や精度、コストなどの相異なる要素の最適なバランスの設定)
- ② 金型構造の効率化、高度化
(最終製品を生み出すための金型に求められる機能や性能、コスト、金型製造の納期など)
- ③ これまでの技能の蓄積の有効活用
- ④ 新技術の適用

①~④の問題点を解決し、競争力を高めるためには、これまでの経験や勘の世界から脱し、「プレス成形シミュレーションソフト」などのツール導入により「実試作」を「仮想試作」に置き換える「試作レス」化を進めるとともに、これまでの高度なノウハウを有効活用するシステムが必要である。

また、「高度な経験」をもち、「理論（構造力学、弾性論、塑性論等）」「解析技術」などに精通する技術者が必要となるが、中小企業において、このような人材を確保することは非常に難しい。

上記を解決し、技術力を向上させる枠組みを、業界団体や工業試験センターなどで準備すれば、日本の中小プレス金型・成形事業者の、コスト競争力の向上に

大きく寄与することが可能である。

(2) 複雑形状化・一体化成形

自動車の構造が複雑化し、リコールの件数も激増し、コンピュータシミュレーションなどを含めた、品質確保に向けた取り組みの負荷は高まる一方である。

(3) 短納期化

自動車の製品開発期間は、従来にくらべて1/2以下となっており、短納期化への要請は非常に厳しくなっており、短納期化と品質の向上の両立を求められている。これに対応するには、実試作から、仮想試作（シミュレーション）への変革が必要となっている。

(4) 軽量化

車両の安全性、快適性に求められる機能が高まり、車両の重量は増加の一途である。一方、省エネ、低炭素化の要請により、車両重量の軽減は必須の課題である。

これらの相異なる課題解決には、既存の技術の延長やノウハウの利用だけによる手法では限界に達しており、コンピュータシミュレーションの利用が避けられなくなっている。

1.1.2 目標

中小企業におけるプレス成形シミュレーションソフトウェアの導入については、関心はあるが、コストの問題やシミュレーションの内容についての情報・知識の問題、また、使いこなす技術者の育成の問題などから、なかなか導入に踏み切れないのが実状である。CAEを全く使用したことがない技術者が半数以上に上っている。

本研究開発事業では、日本のものづくり底上げのためシミュレーション支援室の設置により、中小企業へプレス成形シミュレーションの普及する技術開発を行うことを目標とする。具体的には、シミュレーションソフトの未経験者がネットワークを介して入力データを生成して正常に解析できることを確認し、シミュレーション支援室とユーザーおよび公設試との間で各種解析データのサービスが、妥当に稼働することを確認する。

また、シミュレーション支援室は、中小企業では難しい高度なシミュレーションへの支援することも視野にいれている。具体的な1つの事例として、コイニングを含むプレスシミュレーションを取り上げ、目標として、板厚減少率 2/3 程度まで解析が可能なことをおよび、理論解のある問題に対して、シミュレーション結果が精度 5%以内となるよう実現を目指し、成形実験と解析との比較においては、変位量で 15%以内で合致する精度を目標とした。

1.1.3 研究開発概要

(1) 研究の概要

本研究開発では、プレス成形に関連するシミュレーションソフトウェアを開発し、今回のメンバーで共有するとともに、社団法人日本金属プレス工業協会および今後設立する予定のシミュレーション支援室から、廉価なサービス費用で会員企業が使えるプロダクトとして整備する。

そのためのシステムとして、基盤プログラムの開発を行う。これは、1)シミュレーション入力データ生成プログラム、2)シミュレーション解析表示プログラム、3)ネットワークシステム の3つから構成されるものである。

また、シミュレーション支援室の役割として、高度な解析に対するコンサルティング機能も期待されるため、プレス成形解析の難度の高い課題として、自動車の電池パックの安全装置をプレス成形にて加工する課題（コイニング）を取り上げ、高度な成形シミュレーション課題に対して、シミュレーション支援室とユーザーが協力して問題に取り組み、問題を解決する事例とする。

さらに、実験金型を作成し、成形実験を行うことによりデータを取得するとともに、その結果を利用し、シミュレーションプログラムの検証や解析精度の向上を行う。

また、プレス成形に関わる中小企業への支援として、シミュレーションのみならず、計測や材料試験等も必須の項目であり、公設試（群馬県立群馬産業技術センター）とシミュレーション支援室との連携に関する実験を実施する。さらに、この実験から浮かび上がるシミュレーション支援室の課題や今後の方向性について検討し、今後のシミュレーション支援室が持つべき役割や機能、およびそれらの実現のためのスケジュールについて検討を行う。

(2) 実施内容

①シミュレーション入力データ生成プログラムの開発

（実施：株式会社先端力学シミュレーション研究所）

ユーザーのパソコン上で稼動する、ネットワークを通しての成形解析データの入力や解析結果をパソコン画面上で表示するプログラム（基盤プログラム）のうち、入力データ生成に関する部分を開発する。

すなわち、プレス成型シミュレーションに用いるデータをパソコン画面上で対話的に生成し、インターネットを介してシミュレーション支援室へ送る機能を持つプログラムを開発する。開発プログラムの機能としては、CADデータ読みこみ、メッシュ生成、材料データ名入力、型モーションデータ入力、メッシュデータの画面表示機能を開発する。

②シミュレーション結果表示プログラムの開発

（実施：株式会社先端力学シミュレーション研究所）

基盤プログラムのうち、シミュレーション支援室で計算された解析結果を中小企業ユーザーのパソコン画面上で表示する機能を持つプログラムを開発する。表

示するデータとしては、成形シミュレーション後の検討に必要な変形図や応力コ
ンター図などである。

③ネットワークシステムの開発

(実施：株式会社先端力学シミュレーション研究所)

①および②で開発したユーザーのパソコン上で動作するプログラムとシミュレ
ーション支援室とのインターネットを通じたやり取りを実現するシステムを開発
する。

開発プログラムの機能としては、高いセキュリティを持つシステムを実現する
ために、ユーザー認証、パスワード入力、ファイル転送機能などである。

④高度なプレス成形シミュレーションの実施

(実施：株式会社先端力学シミュレーション研究所)

シミュレーション支援室の役割の1つとして、高度な解析に対するコンサルテ
ィングが挙げられる。この役割について、自動車の電池パックの安全装置をプレ
スで作成する課題（コイニング）を取り上げて、高度な解析に対する支援室の機
能について検討し、高度な成形シミュレーションをユーザーと協力して解決可能
なことを実証する。

⑤部品強度解析プログラムの開発

(実施：株式会社先端力学シミュレーション研究所)

電池パックの安全性については、厳しい品質が要求される。現状ではプレス成
形による残留応力を無視した解析は行われている。そこでより精度の高い安全性
確認の為、内圧を戴荷した時の安全弁としての機能検証を、部品の残留応力を考
慮した強度解析を実施することにより実証する。本プログラムでは、プレス成型
による残留応力を考慮した上で、荷重（内圧）を戴荷し、Von Mises 降伏条件式を
用いて弾塑性解析を行う。

⑥成形実験とデータの取得およびシミュレーションプログラム検証

(実施：株式会社アイエムアイ、群馬県立群馬産業技術センター、株式会社先
端力学シミュレーション研究所、社団法人日本金属プレス工業協会)

本研究開発では、想定されるシミュレーション支援室の役割に応じて 2 種類
の金型を製作し実験・計測を行う。

成形実験として、まず円筒深絞りの金型を製作し、ステンレス材等での成形実
験を行う。次に高度モデルとしてコイニング加工の金型を製作し、アルミ材 **リチ
ウムイオン電池** CAP の安全装置の成形実験を行う。その成形実験とシミュレ
ーションとの比較検討を行い、解析精度の向上を図ると共に、シミュレーションを
活用して成形条件の最適化を実施する。

また、成形実験で得られた各部品を測定して成形実験結果を評価する。測定結
果は点群データ又はポリゴンデータで表示するものとし、ネットワークを通じて
ユーザーやシミュレーション支援室へデータを送付する。

⑦公設試と連携したサービス実験、ユーザによる検証

(実施：群馬県立群馬産業技術センター、社団法人日本金属プレス工業協会
株式会社アイエムアイ、株式会社先端力学シミュレーション研究所)

中小企業のものづくりを全体的に支援するためには、シミュレーション支援室として、加工物の計測や材料試験等も必須であり、シミュレーション支援室はこれらの試験機器を有する公設試と連携を取ることが極めて重要であるため、ユーザー、公設試、シミュレーション支援室の間での連携に関するサービス実験およびユーザーによる実証実験を実施する。

⑧シミュレーション支援室のサービス内容についてのフィジビリティスタディ

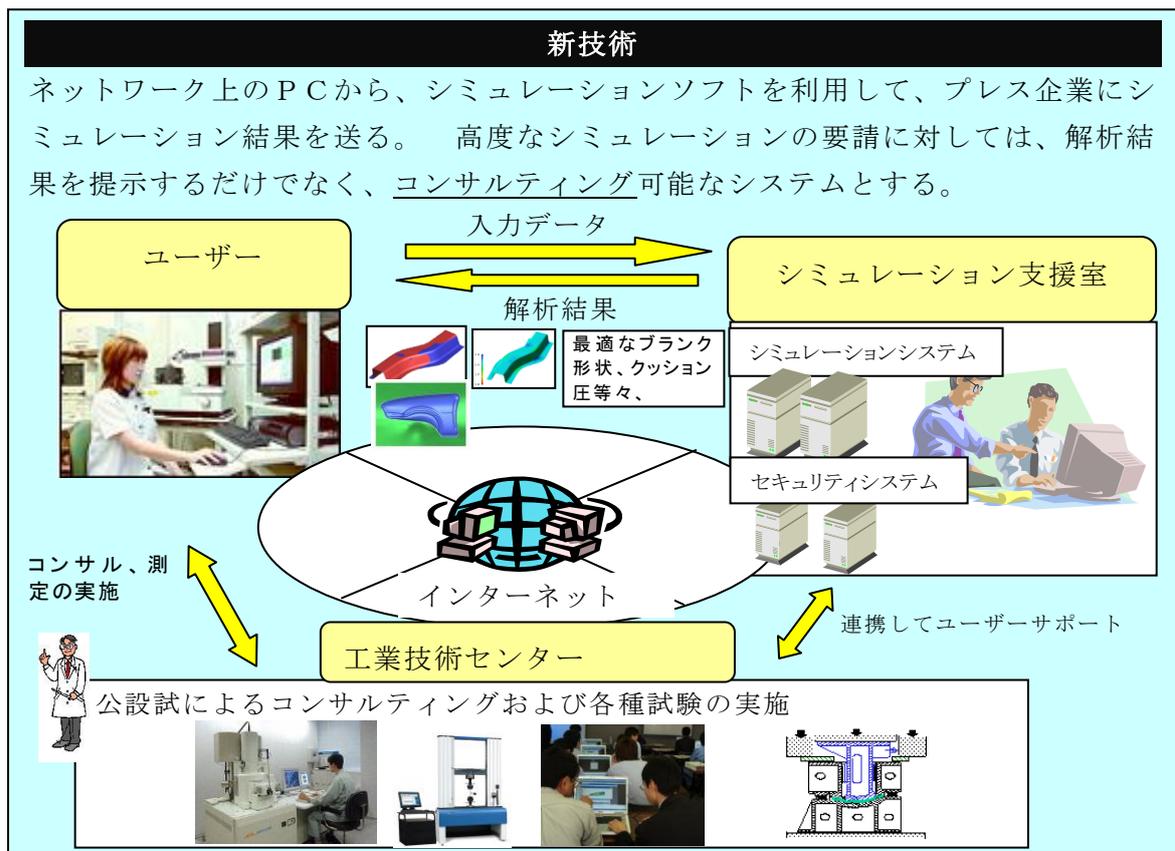
(実施：社団法人日本金属プレス工業協会、群馬県立群馬産業技術センター、
株式会社アイエムアイ、株式会社先端力学シミュレーション研究所)

シミュレーション支援室の課題や今後の方向性について検討し、さらに広い範囲のユーザー（日本金属プレス工業協会会員）へのヒアリング、アンケートなどを実施することにより、今後のシミュレーション支援室が持つべき機能、スケジュールについて検討を行う。

⑨プロジェクトの管理・運営

- ・ 事業管理者・(株)日本金属プレス工業協会において、本プロジェクトの管理を行う。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書を作成する。
- ・ 本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行う。
- ・ 再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行う。
- ・ 開発委員会を委託契約期間内に3回程度開催する。

1.1.4 研究開発概念図を下記に示す。



1.2 研究体制

1.2.1 研究開発委員会について

研究開発の円滑な推進のため、委員会を設置し、有効に活用する。
委員名簿は次の通りである。

開発委員会委員

氏名	所属・役職	備考
安藤 知明	株式会社先端力学シミュレーション研究所 代表取締役	PL
青木 隆行	群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター センター長	SL
堤 真人	株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 主任	委
今井 久司	株式会社アイエムアイ 代表取締役	
小井土 静夫	株式会社アイエムアイ 副工場長	委
小谷 雄二	群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター 技術支援係 独立研究員	
濱中 豊	社団法人日本金属プレス工業協会 専務理事	委
中川 朝彦	社団法人日本金属プレス工業協会 業務部業務課長	委
桑原 利彦	国立大学法人東京農工大学 共生科学技術研究院 先端機械システム部門 教授	アドバイザー
丸山 次郎	富士重工業株式会社 生産技術部 部長	アドバイザー

1.2.2 委員会検討内容

研究開発を進めるにあたり委員会を3回開催した。開催経過及び検討内容は次の通りである。

開催日	審議事項
平成21年10月13日(火) 14:30-16:40	平成21年度 実施計画の説明 シミュレーション支援室開発委員会規定 平成21年度業務処理要領について
平成21年12月16日(水) 10:10-12:00	再委託先の進捗状況報告 試験用金型及び機器設備の発注・導入状況について 検証及びフィジビリティスタディについて
平成22年 2月23日(火) 13:30-16:30	再委託先の進捗状況報告 報告書の役割分担と提出期限 アイエムアイ工場見学

<p>平成21「シミュレーション支援室によるプレス加工デジタルエンジニアリング基盤構築」</p> <p>————— 第1回 シミュレーション支援室開発委員会 議事録 —————</p>	
日 時	平成21年10月13日(火) 14:30-16:40
場 所	日本金属プレス工業協会会議室 (東京都港区芝公園3-5-8)
出席者 (敬称略)	<p>総括研究代表者(PL): 株式会社先端力学シミュレーション研究所 代表取締役社長 安藤 知明</p> <p>副総括研究代表者(SL): 群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター センター長 青木 隆行</p> <p>委 員: 国立大学法人東京農工大学 共生科学技術研究院・先端機械システム部門 教授 桑原 利彦 (アドバイザー)</p> <p>富士重工業株式会社 生産技術部 部長 丸山 次郎 (アドバイザー)</p> <p>株式会社アイエムアイ 代表取締役社長 今井 久司</p> <p>株式会社アイエムアイ 生産技術部 副工場長 小井土静夫</p> <p>群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター 技術支援係 独立研究員 小谷 雄二</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 主任 堤 真人</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 取締役部長 船田 浩良 (オブザーバー)</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 商品事業部 取締役部長 池田 貴 (オブザーバー)</p> <p>来賓: 関東経済産業局 産業部 製造産業課 藤本 剛</p> <p>管理法人:</p>

	<p>社団法人日本金属プレス工業協会 専務理事 濱中 豊</p> <p>社団法人日本金属プレス工業協会 業務部 業務課長 中川 朝彦</p> <p>社団法人日本金属プレス工業協会 永嶋 成紘 (オブザーバー)</p>	
配布資料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 議事次第 ・ 資料 1 : 出席者一覧 ・ 資料 2 : 委員会名簿 ・ 資料 3 : 委員会規定 (案) ・ 資料 4 : H 2 1 年度実施計画書 (本) ・ 資料 5 : 業務処理について ・ 再委託先の実施計画の概要 	議事録作成： 管理法人 中川・永嶋
議事要旨		
<p>1. 開会・挨拶</p> <p>2. 平成 2 1 年度 実施計画の説明</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管理法人より開会が告げられた。 ・ 各委員紹介及び P L , S L 、アドバイザーの挨拶 ・ 安藤委員長 (P L) の挨拶 ・ 青木副委員長 (S L) の挨拶 ・ 桑原教授 (アドバイザー) の挨拶 ・ 丸山部長 (アドバイザー) の挨拶 ・ 藤本様 (来賓) の挨拶 <ul style="list-style-type: none"> ・ 安藤総括より平成 2 1 年度実施計画書概要説明。 実施計画書にもとづき、安藤総括より研究の目的、概要および個々の 8 つの開発について、内容およびスケジュールを含めた説明があった。 ・ 再委託先：先端力学シミュレーション (ASTOM) 実施計画概要の説明 配布資料にもとづき、シミュレーションプログラムの開発、効率的な計算の実施および実験との比較、検証等についての内容説明があった。 ・ 効率的な計算のための GPU については、資料のスペックは確定されたものかとの質問があり、「GPU の最終的な選定 	<p>開会 挨拶</p> <p>説明</p> <p>説明</p> <p>質疑 回答</p>

	<p>は検討中である。」旨が回答された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アルミの3000番系の材料について、シミュレーションの降伏曲面関数定義は、通常モデルで良いか、との質問があり、農工大桑原先生より「とりあえずミーゼスの(等方性)モデルで良いのではないか。」「r値は0°、45°、90°で測定する方が良い。」とのコメントがあった。 ・ 再委託先：東毛産業技術センター実施計画概要の説明配布資料にもとづき、測定および材料試験についての実施内容説明があった。 ・ 測定精度についての質問があり、「接触式については、数ミクロン、非接触式については1/100～1/10ミリである。」旨回答された。 ・ 測定データを取り扱うソフトウェアについて質問があり、「ImagewareとRapidformである。」旨が回答された。 ・ 再委託先：アイエムアイ実施計画概要の説明配布資料にもとづき、成形実験用の2つの試験金型（円筒深絞りの金型とコイニング加工の金型）および実験内容についての説明があった。 ・ 2つの金型で成形する製品の寸法について質問があり、「円筒深絞り成形の方は、φ6×35mm、コイニングの方は、20×100mm程度である。」旨回答された。 ・ コイニング後の板厚はどのくらいか、との質問があり、「0.1±0.01～0.02mmで考えている。」旨が回答された。また、その要求精度や、安全弁としての強度の許容範囲については、まだ決められた定義がないのが実状との回答があった。 <p>全体を通したコメント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 今回成形する製品、利用する金型は、高度で多工程の成形であり、すべての工程のシミュレーション結果と実験結果の検証を十分に行うには期間的な制約もあり、優先順位が必要で、たとえば円筒深絞りでは1工程目の耳率の検証に力を入れる、など前工程に重点を入れることが望ましい。とのコメントがあった。 ・ 成形現場でも、1工程目が良好に進むことがキーポイントである、とのコメントがあり、1工程目の検証に力点を置くこととなった。 	<p>質疑 コメント</p> <p>説明</p> <p>質疑 回答</p> <p>質疑 回答</p> <p>説明</p> <p>質疑 回答</p> <p>質疑 回答</p> <p>コメント</p> <p>コメント 決定</p>
--	---	---

<p>3. シミュレーション 支援室開発委員会 規定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 規定原案を説明 ・ 提案どおり承認された。 	<p>説明 承認</p>
<p>4. 平成21年度業務処理要領について</p>	<p>(1) 管理法人から業務処理要領について、説明があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 労務費の処理 労務費積算書・業務報告・従事日誌の書き方等説明 購入品の処理 旅費・交通費 <p>提出日：翌月15日までに管理法人に提出</p>	<p>説明</p>
<p>5. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 関東経済産業局：藤本様から補足説明 	<p>説明</p>
<p>6. 閉会</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管理法人より、閉会が告げられた。 	<p>閉会</p>

<p>平成21年度「シミュレーション支援室によるプレス加工デジタルエンジニアリング基盤構築」</p> <p>————— 第2回 シミュレーション支援室開発委員会 議事録 —————</p>	
日 時	平成21年12月16日(水) 10:10-12:00
場 所	日本金属プレス工業協会会議室 (東京都港区芝公園3-5-8)
出席者 (敬称略)	<p>総括研究代表者(PL): 株式会社先端力学シミュレーション研究所 代表取締役社長 安藤 知明</p> <p>副総括研究代表者(SL): 群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター センター長 青木 隆行</p> <p>委 員: 国立大学法人東京農工大学 共生科学技術研究院・先端機械システム部門 教授 桑原 利彦 (アドバイザー)</p> <p>富士重工業株式会社 生産技術部 部長 丸山 次郎 (アドバイザー)</p> <p>株式会社アイエムアイ 代表取締役社長 今井 久司</p> <p>株式会社アイエムアイ 生産技術部 副工場長 小井土静夫</p> <p>群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター 技術支援係 主任 薄波 圭司 (オブザーバー)</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 主任 堤 真人</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 取締役部長 船田 浩良 (オブザーバー)</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 商品事業部 取締役部長 池田 貴 (オブザーバー)</p> <p>管理法人: 社団法人日本金属プレス工業協会 専務理事 濱中 豊</p> <p>社団法人日本金属プレス工業協会 業務部</p>

	業務課長 中川 朝彦 社団法人日本金属プレス工業協会 永嶋 成紘 (オブザーバー)	
配布資料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 議事次第 ・ 資料 1 : 出席者一覧 ・ 資料 2 : 第 1 回委員会議事録 	議事録作成： 管理法人 中川・永嶋
議事要旨		
1. 開会・挨拶	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管理法人より開会が告げられた。 ・ 安藤委員長 (PL) により、議事進行 ・ 前回議事録の確認が行われ、異議無く承認され、もし追記等がある場合は、数日以内に連絡いただくこととした。 	開会 決定
2. 再委託先の進捗状況報告	<p>① 再委託先：先端力学シミュレーション (ASTOM) からの報告 (パワーポイントによる説明) 配布資料に基づき、実施中の内容および今後の計画について説明があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アドバイザーより、本研究開発の全体スケジュールが非常に短い中でターゲットをどこに置くかについての質問があり、「ネットワークを利用してシミュレーションが可能なプロトタイプシステムが出来ることと、難しい成形や解析を相談出来る仕組みの基盤が出来ることである。」と回答があった。 ・ アドバイザーより、工具モーションは、フォーム成形(バカ押し)の 2 工具の場合と、3 工具の絞り・曲げの 6 種類で良いか。4 工具への対応は今回どうするか。とのコメントがあり、「今回開発では、この 6 種とし、4 工具の場合の対応は今回の短期間のプロジェクトでは対象としない。」こととなった。 <p>② 再委託先：アイエムアイからの報告 (パワーポイントによる説明) 配布資料にもとづき、現在、金型のトライ中の「円筒絞</p>	説明 質疑 回答 コメント 決定 説明

<p>3. 試験用金型及び機器設備の発注・導入状況について</p>	<p>り用金型」による成形の進捗報告があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> 成形後の部品強度を確保するため、マルテンサイト系のSUS420（ステンレスでも焼き入れが可能な材料）を使用してトライをしている。材料が特殊なため、2ドロワー、3ドロワー以降で淵が割れてしまい、前工程である1ドロワー、2ドロワーの成形を工夫しているところである旨、報告があった。 今回の「割れ」の現象は、端面での凹凸（ギザギザ）のある形状による応力集中であり、板厚減少による割れではないので、シミュレーションでどのように再現するか難しく、課題である旨のコメントがあった。 <p>③ 再委託先：東毛産業技術センターからの報告 （パワーポイントによる説明）</p> <p>パワーポイントデータにより、現在準備中の引張試験及び測定についての状況が説明され、また、配布資料により、引張試験内容、試験の実施数(板厚、材質、方向)についての確認が行われた。</p> <ul style="list-style-type: none"> 東毛産業技術センターでは、破断試験とr値試験を別々実施する形式のため、試験片が不足する。このため、ASTOMで実施予定だった試験片も含めて東毛産業技術センターに送付し、東毛産業技術センターで試験を実施することとした。 測定については、測定箇所を事前に取り決め、実施することとした。 シミュレーション支援室模擬試験・開発用装置 既に発注され、12月末を目処に納品される見込みであると報告された。 3次元計測用治具 現在発注準備中である旨報告された。 精密板厚測定器 既に納品され、実際の測定器でのテスト・デモを委員会場で実施した。 微小ひずみ精密測定システム 発注され、12月末に納品予定であると報告された。 試験用金型（円筒絞り） 	<p>コメント</p> <p>説明</p> <p>決定</p> <p>決定</p> <p>確認</p>
-----------------------------------	--	---

<p>4. 検証及び フィジビ リティス タディに ついて</p>	<p>金型としては納品されているが、良品を成形するための 熟成作業はアイエムアイで行っているところである旨報 告された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 試験用金型（コイニング） 金型が12月末に納品予定である旨報告された。 ・ シミュレーション支援システムに関する評価・分析 12月中に発注予定である旨、説明された。 ・ 内部ユーザによる検証・評価は2月初旬、外部評価によ る評価は2月中旬に行う方向であり、外部ユーザ評価は、 日本金属プレス工業協会会員から選定、依頼し実施する こととなった。 ・ また、ユーザビリティ評価や、今後のシミュレーション 支援室構築のフィジビリティスタディのためのヒアリン グ、アンケート取得についての計画が説明された。 	<p>説明</p> <p>決定</p> <p>説明</p>
<p>5. 業務報告 について</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本日の従事日誌への記載 第2回開発委員会（会一C2）,従事時間は1時間50分 ・ 第3回開発委員会は2/23（火）アイアムアイ殿会議 室 時間は13:30～16:40とする 	<p>説明</p>
<p>6. 閉会</p>	<p>管理法人より、閉会が告げられた。</p>	<p>閉会</p>

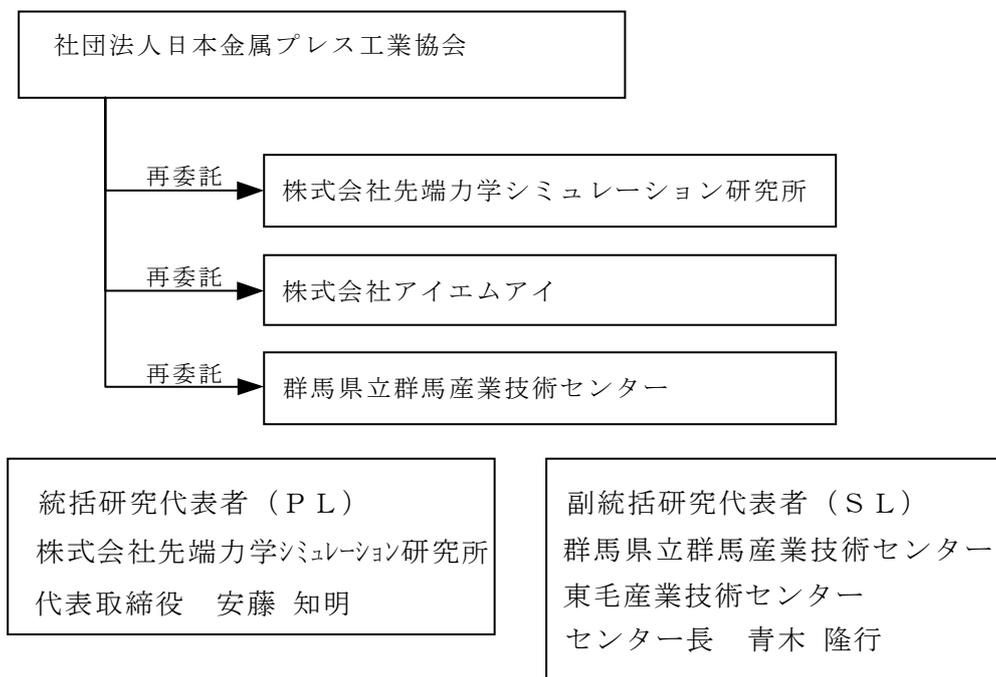
平成 21 「シミュレーション支援室によるプレス加工デジタルエンジニアリング基盤構築」 ————— 第 3 回 シミュレーション支援室開発委員会 議事録 —————	
日 時	平成 22 年 2 月 23 日 (火) 13:30 - 16:30
場 所	株式会社アイエムアイ会議室 (群馬県富岡市一ノ宮 880-1)
出席者 (敬称略)	<p>総括研究代表者 (PL): 株式会社先端力学シミュレーション研究所 代表取締役社長 安藤 知明</p> <p>副総括研究代表者 (SL): 群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター センター長 青木 隆行</p> <p>委 員: 国立大学法人東京農工大学 共生科学技術研究院・先端機械システム部門 教授 桑原 利彦 (アドバイザー)</p> <p>富士重工業株式会社 生産技術部 部長 丸山 次郎 (アドバイザー)</p> <p>株式会社アイエムアイ 代表取締役社長 今井 久司</p> <p>株式会社アイエムアイ 生産技術部 副工場長 小井土 静夫</p> <p>群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター 技術支援係 独立研究員 小谷 雄二</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 主任 堤 真人</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 営業・事業企画部 取締役部長 船田 浩良 (オブザーバー)</p> <p>株式会社先端力学シミュレーション研究所 商品事業部 取締役部長 池田 貴 (オブザーバー)</p> <p>管理法人: 社団法人日本金属プレス工業協会 業務部 業務課長 中川 朝彦</p>

<p>配布資料</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 議事次第 ・ 委員会出席者一覧 ・ 第2回シミュレーション支援室開発委員会議事録 ・ 関東経済産業局中間検査結果報告 ・ 資料1：アイエムアイ「円筒絞り」「コイニング」報告 ・ 資料2：先端力学シミュレーション研究所 報告 ・ 資料3：群馬産業技術センター 状況報告 ・ 資料4：群馬産業技術センター 測定結果 	<p>議事録作成： 管理人 中川</p>
<p>議事要旨</p>		
<p>1. 開会・挨拶</p> <p>2. 再委託先の進捗状況報告</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管理人より開会が告げられた。 ・ 安藤委員長（PL）により、議事進行 <p>② アイエムアイ <円筒絞り></p> <p>配布資料にもとづき、進捗状況の報告があった。焼き入れの可能な特殊なステンレスであり、非常に大規模な変形を伴う絞りのため、工程を追加することとした旨が報告された。</p> <p>ドロー工程、ラフトリム工程を追加したとのこと。</p> <p><コイニング></p> <p>アルミのプレートのコイニングの難成形について進捗の報告があった。1mmの板を部分的に約0.02mmにコイニング加工する際、表・裏両側から加工することで良好な結果が得られたとのこと。</p> <p>③ 先端力学シミュレーション（ASTOM）</p> <p>開発内容として、「1.入力データ生成プログラム」、「2.結果表示プログラム」、「3.ネットワークシステム」、「4.高度なシミュレーション」、「5.部品強度解析プログラム」の5項目についての現状の進捗について報告があった。また、「6.実験との比較のシミュレーション結果」についてシミュレーション結果が報告され、「7.連携サービス実験」についての検討状況と、「8.支援室サービス内容」の検討における、アンケート結果(59件の回答)およびヒアリング結果についての報告があった。</p>	<p>開会</p> <p>説明</p> <p>説明</p>

<p>3. 報告書の 役割分担と 提出期限</p>	<p>管理法人より、成果報告書の役割分担と提出期限について説明があった。</p> <p>成果報告書は、アイエムアイおよび東毛産業技術センターをまずASTOMに集めて、そのあと管理法人に送って、全体をとりまとめる。</p> <p>また、管理法人より確定検査についての説明があった。</p>	<p>説明</p>
<p>4. アイエム アイ工場 見学</p>	<p>アイエムアイ殿の金型工場およびプレス成形工場を見学、説明を受けた。円筒絞りの各工程の金型や、コイニング後の圧力試験などについて説明を受けると同時に、順送型プレスやトランスファープレス成形現場を見学し、高度な精密加工について説明を受けた。</p> <p>最後に、副総括である東毛産業技術センター青木センター長から、挨拶があった。</p>	<p>見学</p>
<p>6. 閉会</p>	<p>管理法人より、閉会が告げられた。</p>	<p>閉会</p>

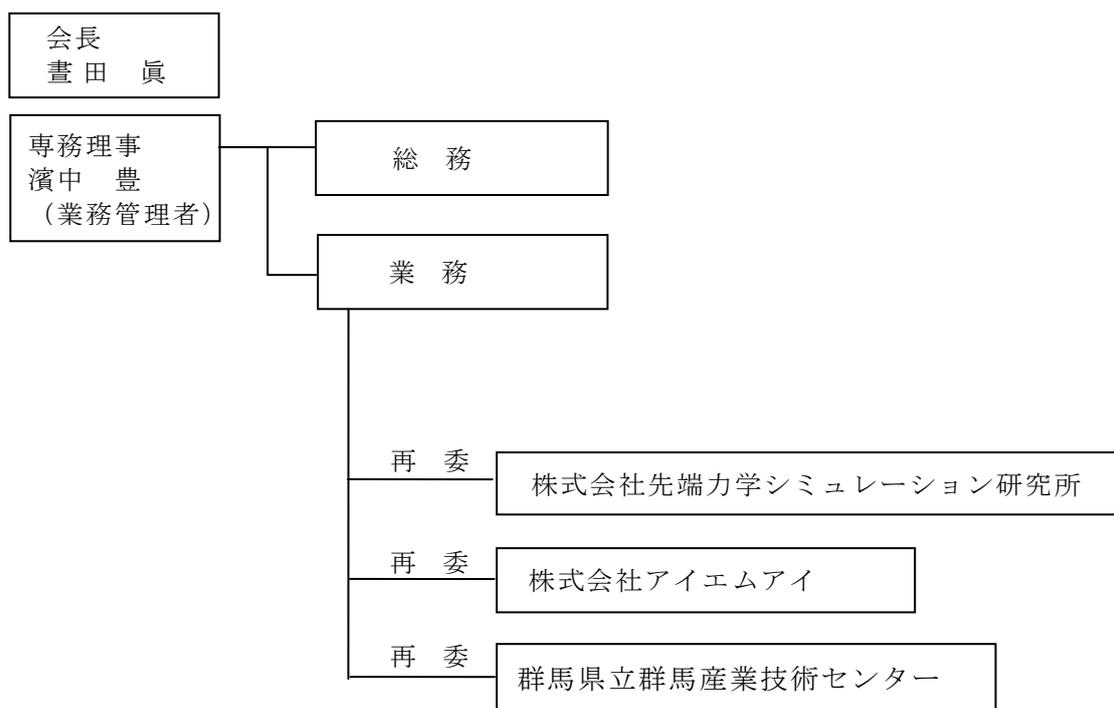
1.2.3 研究開発および管理体制

(1) 研究開発体制



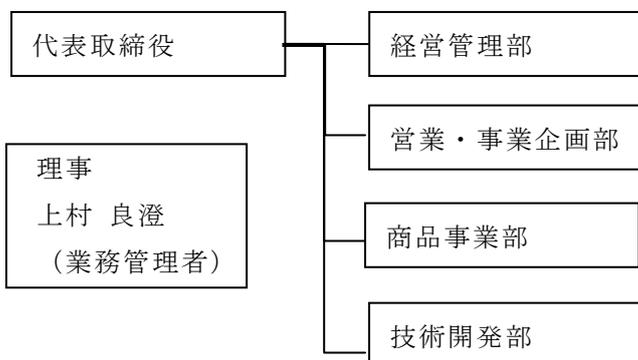
(2) 管理体制

① プロジェクト管理法人 [社団法人日本金属プレス工業協会]

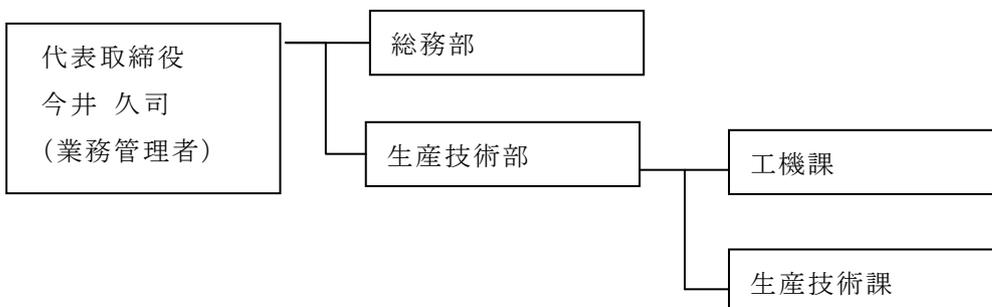


① (再委託)

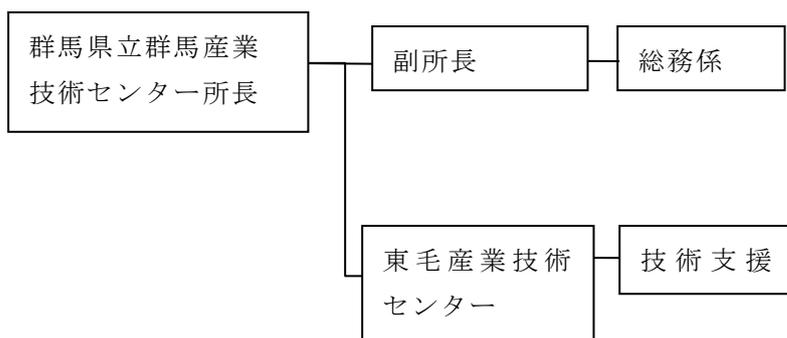
(3) [株式会社先端力学シミュレーション研究所]



(4) [株式会社アイエムアイ]



(5) [群馬県立群馬産業技術センター]



1.2.4 研究者および協力者一覧

1.2.5 【事業管理者】 社団法人日本金属プレス工業協会

(1)①管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
濱中 豊	専務理事	⑨
中川 朝彦	業務部 業務課長	⑨
小林 範子	業務部	⑨

(2)②研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中川 朝彦（再）	業務部 業務課長	⑥⑦⑧
小林 範子（再）	業務部	⑧

1.2.6 【再委託先】

(1)（研究員）

(2)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	実施内容（番号）
池田 貴	取締役 商品事業部長	①②③④⑤⑥⑦⑧
鶴飼 修	理事	①②③④⑤⑥⑦⑧
堤 真人	営業・事業企画部 主任	①②③④⑤⑥⑦⑧
青野 昌弘	商品事業部 エキスパート	①②③④⑤⑥⑦⑧
孫 智剛	技術開発部 エキスパート	①②③④⑤⑥⑦⑧
殷 峻	技術開発部 エキスパート	①②③④⑤⑥⑦⑧
吉田 仁	技術開発部 主任	①②③④⑤⑥⑦⑧
西村 香純	技術開発部 主任	①②③④⑤⑥⑦⑧
西嘉山 悠介	技術開発部	①②③④⑤⑥⑦⑧
江口 裕	技術開発部	①②③④⑤⑥⑦⑧
後藤 慎一郎	商品事業部 主任	①②③④⑤⑥⑦⑧
法川 剛二郎	商品事業部	①②③④⑤⑥⑦⑧

(3)株式会社アイエムアイ

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
今井 久司	代表取締役	⑥⑦⑧
小井土 静夫	生産技術部 副工場長	⑥⑦⑧
肥留川 明広	生産技術部 工機課課長	⑥⑦⑧
高橋 幸直	生産技術部 工機課係長	⑥⑦⑧
高橋 裕太	生産技術部 工機課班長	⑥⑦⑧
黛 勝之	生産技術部 工機課班長	⑥⑦⑧
佐藤 浩樹	生産技術部 工機課班長	⑥⑦⑧
佐藤 順一	生産技術部 工機課係員	⑥⑦⑧

(4)群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
青木 隆行	東毛産業技術センター センター長	⑥⑦⑧
小谷 雄二	東毛産業技術センター 技術支援係独立研究員	⑥⑦⑧
薄波 圭司	東毛産業技術センター 技術支援係主任	⑥⑦⑧
鎚木 哲志	東毛産業技術センター 技術支援係主任	⑥⑦⑧

1.2.7 【アドバイザー】

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
桑原 利彦	国立大学法人東京農工大学 共生科学技術研究院 先端機械システム部門 教授	
丸山 次郎	富士重工業株式会社 生産技術部 部長	

1.2.8 研究実施場所

(1)研究実施場所

① 事業管理者

社団法人日本金属プレス工業協会（最寄り駅：東京メトロ日比谷線神谷町駅）
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8機械振興会館 212号室

② 研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記。）

株式会社先端力学シミュレーション研究所

（最寄り駅：東武東上線、東京メトロ有楽町線和光市駅）

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1 理化学研究所 研究交流棟

株式会社アイエムアイ（最寄り駅：上信電鉄上州一ノ宮駅）

〒370-2452 群馬県富岡市一ノ宮 880番地 1

群馬県立群馬産業技術センター（東毛産業技術センター）

（最寄り駅：東武伊勢崎線・桐生線太田駅）

〒373-0019 太田市吉沢町 1058番地 5

社団法人日本金属プレス工業協会（最寄り駅：東京メトロ日比谷線神谷町駅）〈再掲〉

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8機械振興会館 212号室

1.3 成果概要

金属プレス加工関連企業が、ネットワークに繋がった PC より、特別なソフトウェアを導入すること無しに、プレス成形に関するシミュレーションを実施すると同時に、公設試によるコンサルテーションとも連携できるシステムを開発した。

さらに実験金型を作成し成形実験を行うとともに、成形結果の 3 次元測定や、金属材料の材料試験、シミュレーション結果との比較検討を実施し、今後シミュレーション支援室の持つべき役割や機能について総合的な検討、検証を行った。

具体的な実施項目と成果を下記に示す。

① シミュレーション入力データ生成プログラムの開発

ユーザーのパソコン上で稼動する、ネットワークを通しての成形解析データの入力や解析結果をパソコン画面上で表示するプログラム（基盤プログラム）のうち、入力データ生成に関する部分を開発した。

② シミュレーション結果表示プログラムの開発

基盤プログラムのうち、シミュレーション支援室で計算された解析結果を中小企業ユーザーのパソコン画面上で表示する機能を持つプログラムを開発した。

③ ネットワークシステムの開発（実施：株式会社先端力学シミュレーション研究所）

①および②で開発したユーザーのパソコン上で動作するプログラムとシミュレーション支援室とのインターネットを通じたやり取りを実現するシステムを開発した。

④ 高度なプレス成形シミュレーションの実施

シミュレーション支援室の役割の 1 つとして、高度な解析に対するコンサルティングが挙げられる。この役割について、自動車の電池パックの安全装置をプレスで作成する課題（コイニング）を取り上げて、高度な解析に対する支援室の機能について検討し、高度な成形シミュレーションをユーザーと協力して解決可能なことを示した。

⑤ 部品強度解析プログラムの開発

電池パックの安全性については、厳しい品質が要求される。そこでプレス成形の残留応力も考慮したより精度の高い安全性確認の為、内圧を戴荷した時の安全弁としての機能検証を、部品の強度解析を実施することにより実証した。

⑥ 成形実験とデータの取得およびシミュレーションプログラム検証

想定されるシミュレーション支援室の役割に応じて 2 種類の金型を製作し実験・計測を行った。

成形実験として、まず円筒深絞りの金型を製作し、ステンレス材での成形実験を行った。次に高度モデルとしてコイニング加工の金型を製作し、アルミ材電池 CAP の安全装置の成形実験を行った。その成形実験とシミュレーションとの比較検討を行い、解析精度の向上を図ると共に、シミュレーションを活用して成形条件の検討を実施した。また、成形実験で得られた各部品を測定して成形実験結果を評価した。

- ⑦ 公設試と連携したサービス実験、ユーザによる検証
ユーザー、公設試、シミュレーション支援室の間での連携に関するサービス実験およびユーザーによる実証実験を実施した。
- ⑧ シミュレーション支援室のサービス内容についてのフィジビリティスタディ
シミュレーション支援室の課題や今後の方向性について検討し、さらに広い範囲のユーザー（日本金属プレス工業協会会員）へのヒアリング、アンケートなどを実施することにより、今後のシミュレーション支援室が持つべき機能、スケジュールについて検討した。

1.4 当該プロジェクト連絡窓口

住所： 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館 212号
所属役職・連絡担当者名：専務理事 濱中 豊

第2章 研究開発内容

2.1 シミュレーション入力データ生成プログラムの開発

2.1.1 概要

プレス成形シミュレーション解析用のデータを、パソコン画面上で生成するプログラムの開発を実施する。プログラムの機能としては、CADデータの読み込み、メッシュ生成、材料データ名入力、型モーションデータ入力、メッシュデータの画面表示機能となる。

2.1.2 成果の概要

実際の研究成果の概要は、下記となる。

CADデータのインターフェイスを提供する OpenCascade というライブラリを利用することにより、CADデータを読み込み、そのCADデータを三角形パッチに変換することでCAD形状を表示する機能を開発した。対応するCADデータ形式は、IGES、STEP、Parasolid、ACIS SATである。また、三角形パッチから金型メッシュを生成する機能、材料データ入力機能を開発した。また、三角形パッチもしくはメッシュに変換されたデータを、Visualization Toolkit を用いて画面表示する機能を開発し、ユーザビリティに関する内部・外部評価時に使用することができた。

以下に、成果として得られた内容について述べる。

2.1.3 プログラムの機能

ここでは、本研究開発で作成し、内部および外部ユーザー評価に用いたシミュレーション入力データ生成プログラムの機能について説明を行う。

(1)画面構成

シミュレーション入力データ生成プログラムは、以下の画面で構成される。

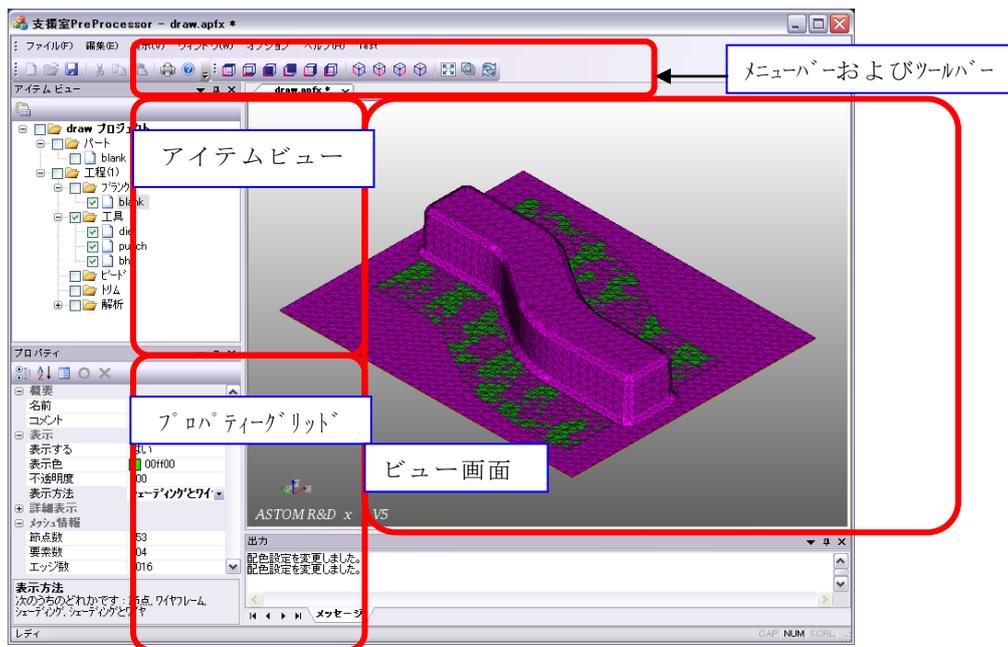


図 2.1.3.1 シミュレーション入力データ生成プログラム画面構成

アイテムビュー画面では、「+」「-」をクリックして、ツリー表示の展開/折り畳みを行うことができる。

ビュー画面での、マウス操作は、デフォルトでは

拡大・縮小：Ctrl キー+マウス左ボタンを押しながらマウス移動

もしくは、マウス中ホイール回転

移動：Ctrl キー+マウス中ボタンを押しながらマウス移動

回転：Ctrl キー+マウス右ボタンを押しながらマウス移動

となっている。

ビュー画面上での表示/非表示の切り替えは、表示状態を変更したいアイテムビューの項目の左に表示されている□をクリックすることで行う。チェックが入っている項目が表示される。また、一つ上の階層の表示/非表示を変更することで、その下にある項目全ての表示状態を変更することができる。

(2)CAD データ読みこみ

CAD データを登録するためには、アイテムビュー上の「ブランク」もしくは「工具」を右クリックして、追加を選択する。ブランク/工具追加ダイアログの「…」ボタンをクリックして、登録する CAD データを選択し、OK ボタンをクリックすることで CAD データを読み込み、表示することが可能である。

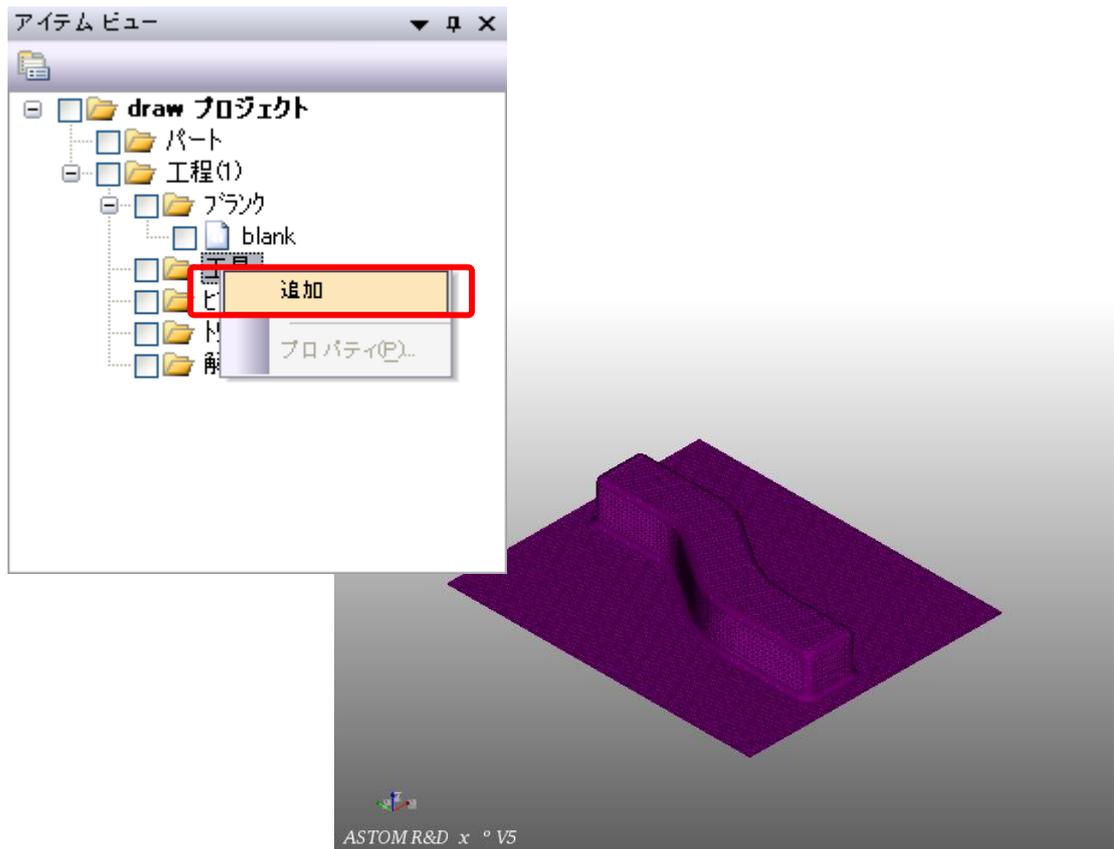


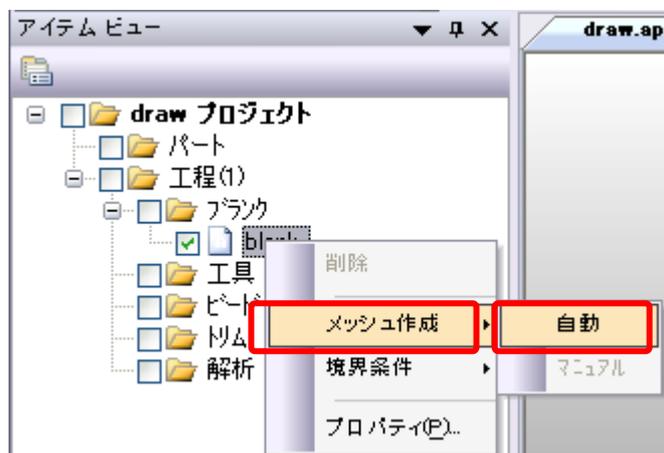
図 2.1.3.2 CAD データの読み込みおよび表示

(3)メッシュ生成およびメッシュデータの画面表示

ブランクメッシュは、登録したブランク CAD データのアイテムビュー上での項目を右クリックして、

メッシュ作成 → 自動

を選択して作成する。



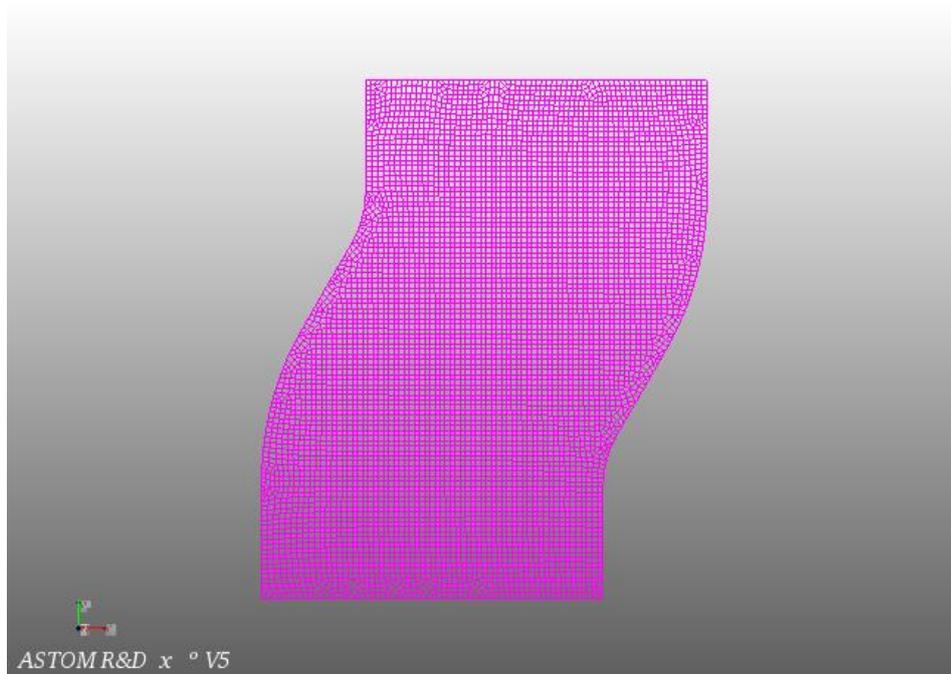


図 2.1.3.3 ブランクメッシュの作成および表示

金型メッシュを作成するには、アイテムビュー上で登録した金型項目を右クリックして、メッシュ再生成を選択する。

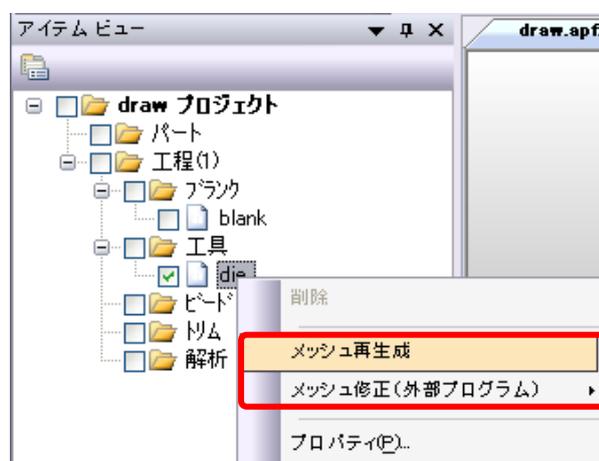


図 2.1.3.4 金型メッシュの作成

また、金型メッシュは形状の再現性優先で作成するか、要素数の上限を優先で

作成するかを選択できる。

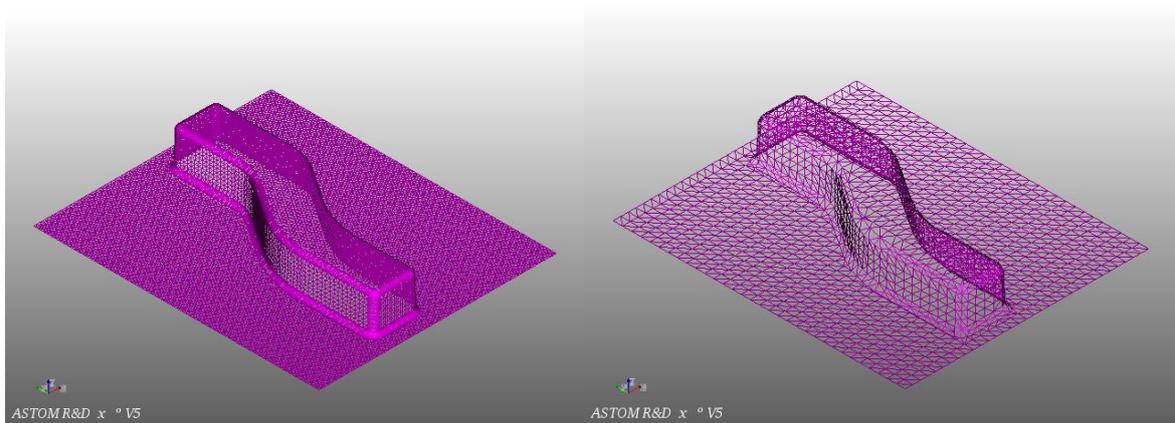


図 2.1.3.5 形状再現性優先（左）と要素数の上限優先（右）の金型メッシュ

(4)材料データ入力

材料データは、以下の項目を入力することで、設定を行う。

- 材料名
- 板厚[mm]
- ヤング率[MPa]
- ポアソン比
- 初期降伏点[MPa]
- 密度[g/cm³]
- A[MPa] (Swift 式の係数)
- ϵ_0 (Swift 式のひずみ原点パラメータ)
- n 値 (Swift 式の冪乗係数)
- ランクフォード値 (圧延方向に対して 0°、45°、90° の値)

The screenshot shows a software interface for entering material properties. It is divided into several sections:

- 概要 (Summary):** Includes fields for '名前' (Name) and '板厚[mm]' (Thickness [mm]) with the value 1.000. A '参照' (Reference) icon is also present.
- 弾性係数等 (Elasticity etc.):** Includes fields for 'ヤング率' (Young's Modulus) 205900.00, 'ポアソン比' (Poisson's Ratio) 0.30, '初期降伏点[MPa]' (Initial Yield Point [MPa]) 300.00, and '密度[g/cm3]' (Density [g/cm³]) 7.86.
- 応力ひずみ曲線近似式 (Stress-strain curve approximation):** A dropdown menu is set to 'Swift'. Below it is the equation $\sigma = A(\epsilon + \epsilon_0)^n$. Fields include 'A[MPa]' 500.00, ' ϵ_0 ' 0.0020, and 'n' 1.000.
- 材料異方性 (Material anisotropy):** Fields for 'r_00', 'r_45', and 'r_90' are all set to 1.00. There is also a '平均' (Average) field set to 1.00 and a checkbox for '平均値を使用する' (Use average value) which is currently unchecked.

図 2.1.3.6 材料特性値入力画面

(5)型モーションデータ入力

登録した工具の、上型・下型などのレイアウト情報を設定するには、アイテムビュー上で登録した金型項目を選択した状態で、プロパティグリッドにある工具配置欄・工具タイプなどを設定する。

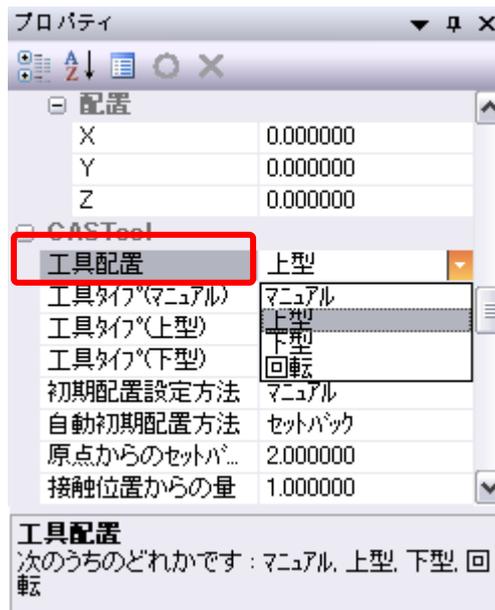


図 2.1.3.7 金型レイアウト設定画面

2.1.4 まとめ

本研究開発により、下記の成果を得ることができた。

- ブランク形状および金型形状の CAD データ (IGES, STEP, Parasolid, ACIS SAT) を読み込んで、画面上に表示する機能の設計、実装を行った。
- ブランクの CAD データを基に、ブランクメッシュを作成する機能の実装を行った。
- 金型の CAD データを基に、三角形金型メッシュを作成する機能の実装を行った。
- ブランクの材料特性の設定、および金型レイアウトの設定を行う機能の設計および実装を行った。

なお、本プログラムの開発には、無償で利用でき、再配布も可能なライセンスを採用している OpenCascade(OCC) ライブラリ、および Visualization Toolkit(VTK)ライブラリを用いており、シミュレーション支援室で想定している不特定多数のユーザーへの本プログラムの配布が可能である。このことから、シミュレーション支援室で想定されるシミュレーション入力データ生成プログラムの基盤技術を構築することができたと考えられる。

2.2 シミュレーション結果表示プログラムの開発

2.2.1 概要

シミュレーション支援室で計算されたプレス成形シミュレーション解析結果データを、パソコン画面上で表示する機能を持つプログラムの開発を実施する。プログラムの機能としては、成形シミュレーション後の検討に必要なブランクの変形図の表示機能、および応力カラーコンター図の表示機能となる。

2.2.2 成果の概要

実際の研究成果の概要は、下記となる。

プレス成形シミュレーション解析結果データを読み込み、Visualization Toolkit を用いて、パソコン画面上にブランクの変形図および応力カラーコンター図を表示するプログラムを開発した。解析結果データのファイル選択や表示画面上でのビュー方向を変更するための GUI 機能も開発し、ユーザビリティに関する内部・外部評価時に使用することができた。

以下に、成果として得られた内容について述べる。

2.2.3 プログラムの機能

(1)画面構成

シミュレーション結果表示プログラムは、以下の画面で構成される。

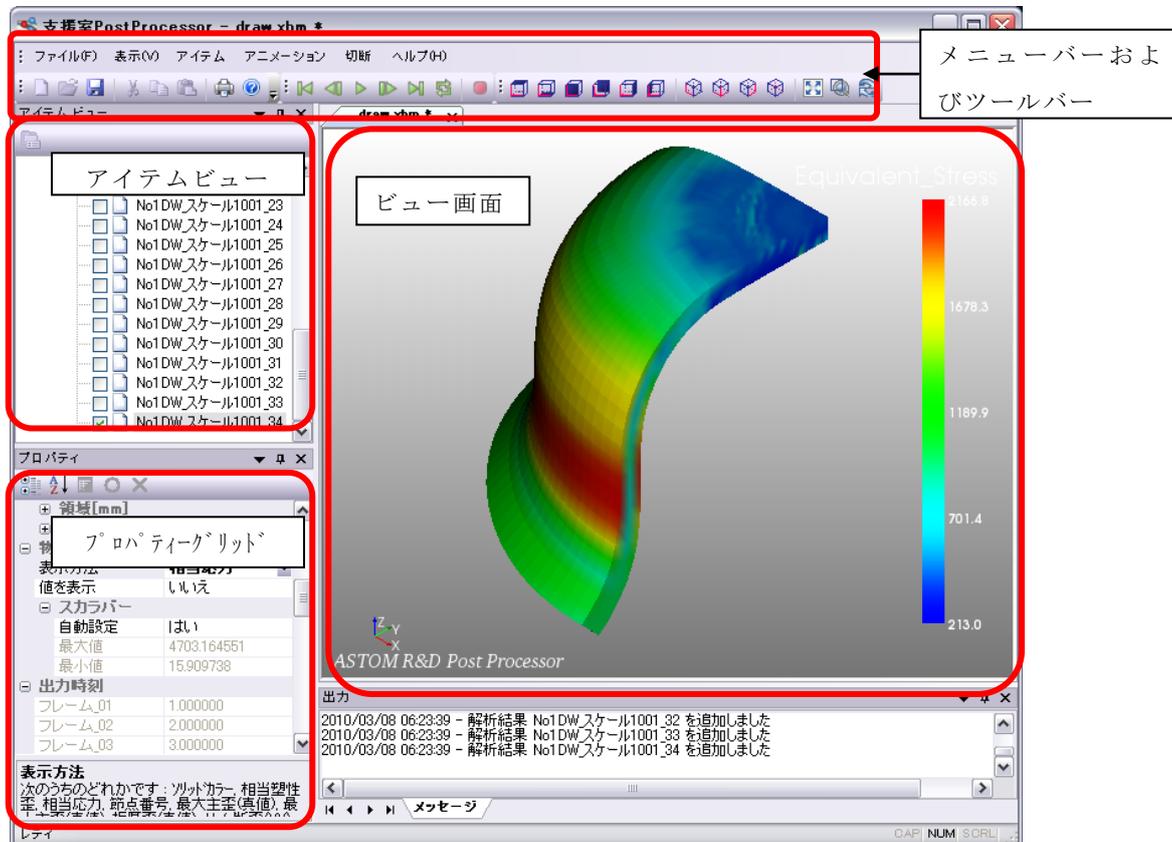


図 2.2.3.1 シミュレーション結果表示プログラム画面構成図

ビュー画面上でのマウス操作は、

拡大・縮小：マウス中ボタンを押しながらマウス左ボタンクリック後に、
マウス移動、もしくは、マウス中ホイール回転

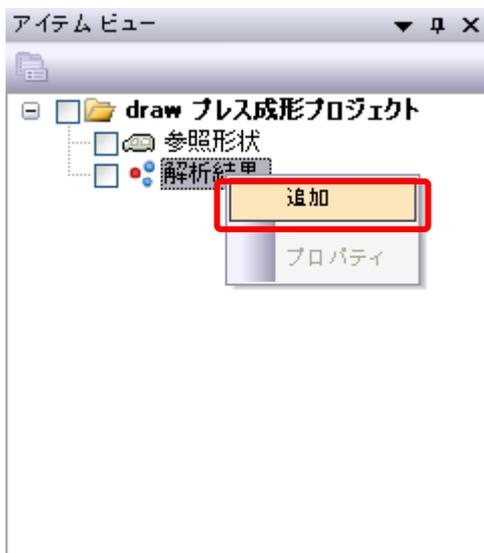
移動：マウス中ボタンを押しながらマウス移動

回転：マウス中ボタンを押しながら左ボタンを押したままにして、マウス移動

である。

(2)プレス成形シミュレーション解析結果の読み込み、およびブランク変形図

プレス成形解析結果を読み込むには、アイテムビュー上の「解析結果」を右クリックして、追加を選択し、ファイル選択ダイアログにてプレス解析結果制御ファイル(*.pst)を選択する。



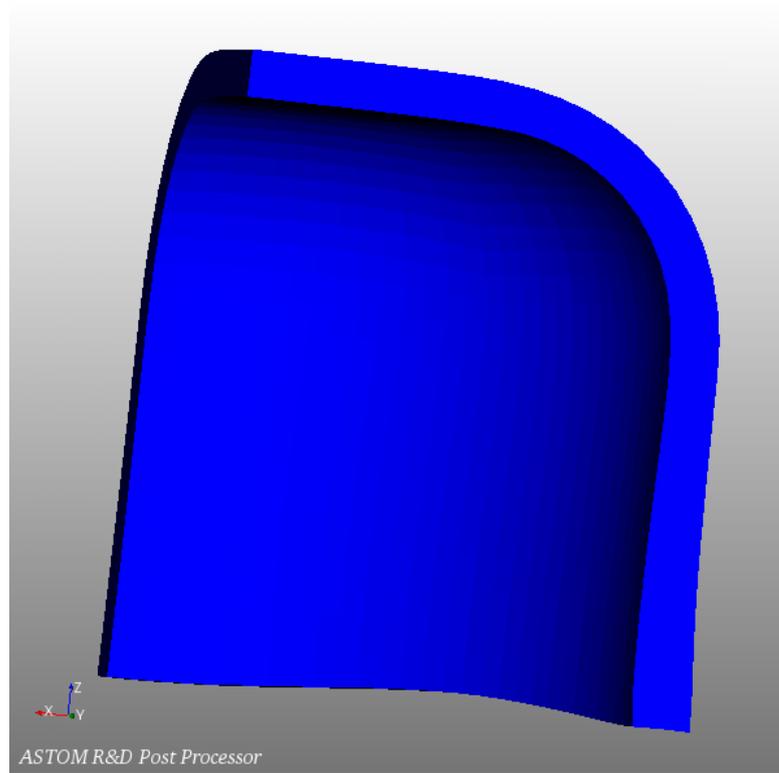


図 2.2.3.2 解析結果の読み込み、および変形図表示

(3)カラーコンター図

応力などの物理データを表示するには、プロパティグリッドの「表示方法」項目を、ソリッドカラーから表示したい種類に変更後、Enter キーを押すことで、物理データのカラーコンター図が表示される。

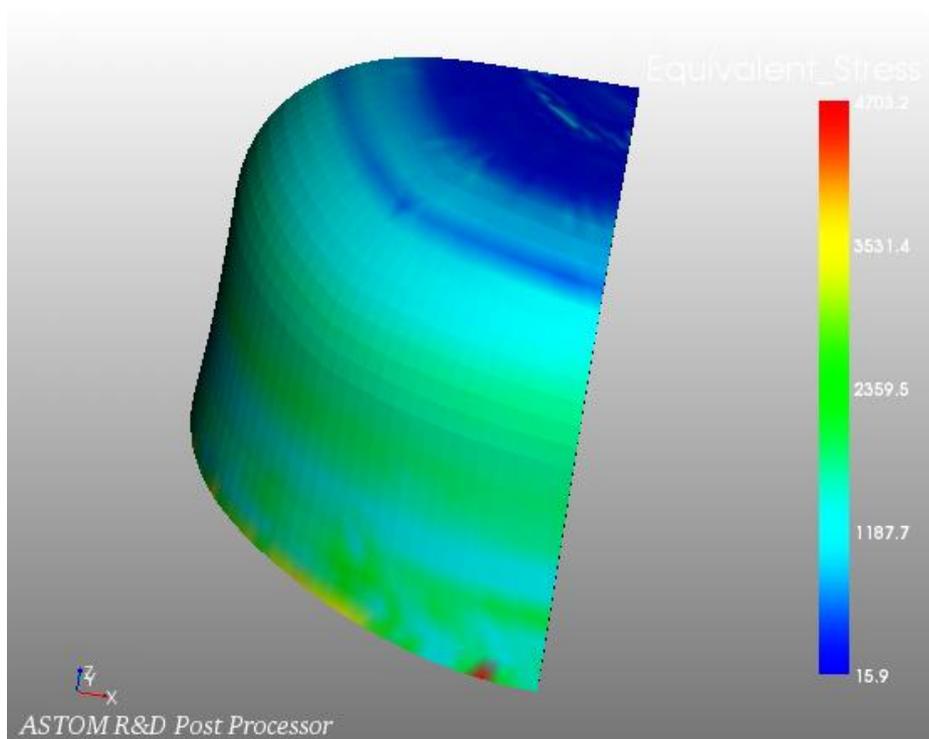


図 2.2.3.3 相当応力カラーコンター表示図

(4) ブランク変形過程のアニメーション

ツールバーの▶ボタンをクリックすると、ビュー画面上でプレス成形シミュレーション解析結果のブランク変形のアニメーションを見ることができる。

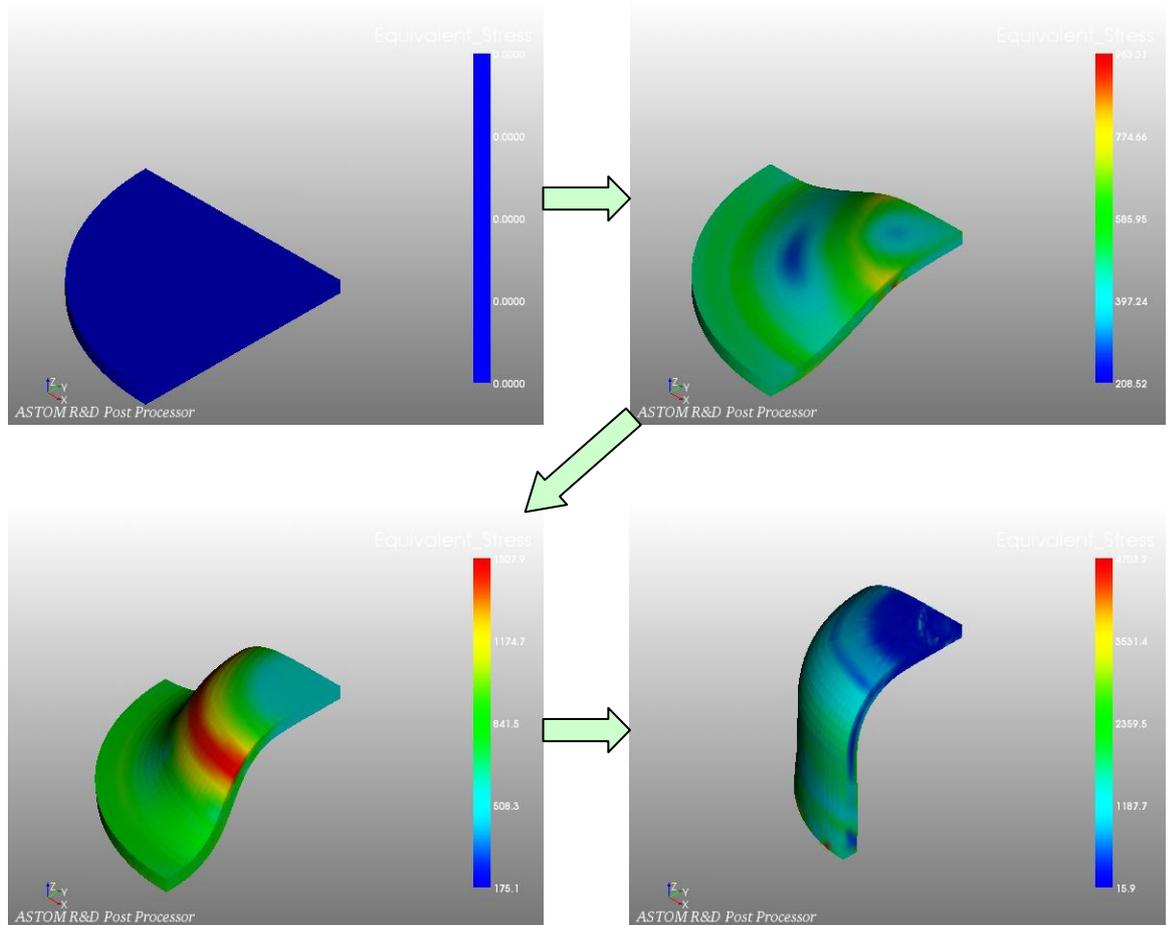


図 2.2.3.4 アニメーション表示図

2.2.4 まとめ

本研究開発により、下記の成果を得ることができた。

- プレス成形シミュレーションの解析結果を表示するプログラムの設計および実装を行った。
- プレス成形シミュレーション後の検討に必要な、プレス成形シミュレーション解析結果のブランクの変形図および応力などのカラーコンター図を表示する機能の開発を行った。
- ブランクの変形過程を分かりやすくするために、ブランク変形のアニメーション機能の設計、実装を行った。

なお、本プログラムの開発には、無償で利用でき、再配布も可能なライセンスを採用している Visualization Toolkit (VTK) ライブラリを使用しているため、不特定多数のユーザーに問題なく配布できるため、シミュレーション支援室で用い

るシミュレーション結果表示プログラムの基盤を構築できた。

2.3 ネットワークシステムの開発

2.3.1 概要

シミュレーション入力データ生成プログラムで作成されたプレス成形シミュレーション解析用データや、支援室で計算されたプレス成形シミュレーション解析結果データを、インターネットを通じてユーザーとやり取りするためのネットワークシステムの開発を実施する。金型形状メッシュなどの情報をやり取りするため、高いセキュリティーを持つシステムである必要があるため、ユーザー認証、パスワード入力などの機能を有するものとなる。また、プレス成形シミュレーション解析用データをアップロードする必要があるために、ファイル転送機能を持つ必要もある。

2.3.2 成果の概要

実際の研究成果の概要は、下記となる。

Foam 認証を用いたユーザーID・パスワードによるログイン機能、およびftp(file transfer protocol)を利用したプレス成形シミュレーション解析用データをアップロードする機能を開発した。これらの開発した機能を用いて、シミュレーション支援室用の試作WEB画面を作成し、ユーザビリティに関する内部・外部評価時に使用することができた。

以下に、成果として得られた内容について述べる。

2.3.3 ネットワークシステムの機能

(1)ユーザー認証およびパスワード入力

シミュレーション支援室用のWEBサイトのポータル画面構成は、下図のようになる。

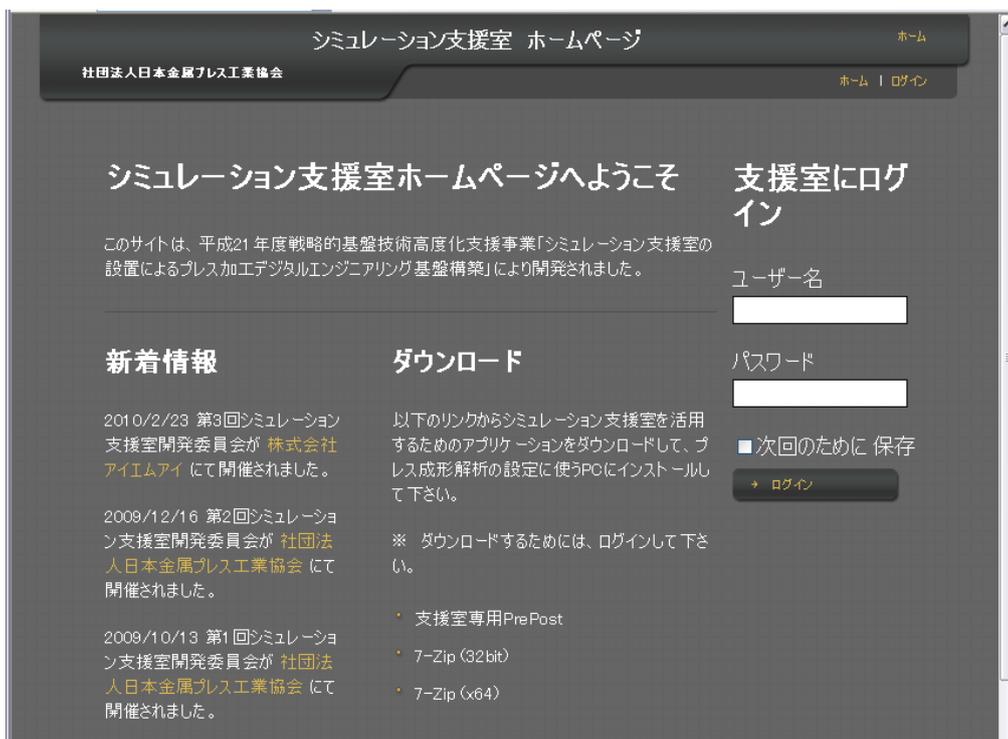


図 2.3.3.1 シミュレーション支援室用 WEB サイトポータル画面

画面右側にある、ユーザー名およびパスワードを入力すると、FOAM 認証を行い、ユーザーデータベースに登録されていないユーザーはログインできない仕組みになっている。ユーザーデータベースへのユーザーおよびパスワードの登録は、セキュリティを考慮して、WEB 画面での自動登録ではなく、申請制を想定している。

(2) ファイル転送機能

プレス成形シミュレーション解析用データなどを、ユーザー毎にデータ管理用フォルダを作成し、そこにデータファイルをアップロードできる。



図 2.3.3.2 ユーザー別管理フォルダ作成画面

作成したフォルダには、ユーザーのパソコン内のデータをアップローダーを用いてファイル転送を行える。

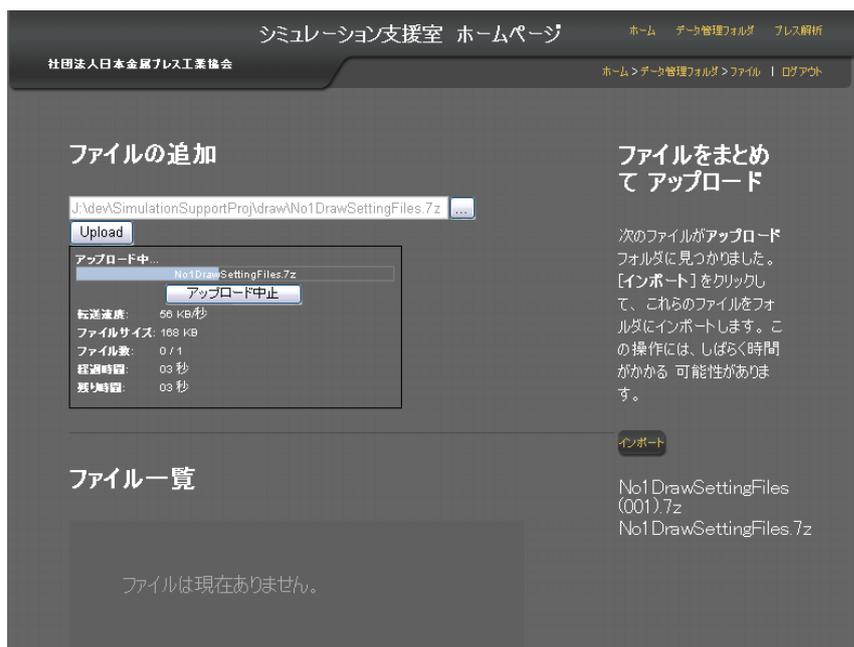


図 2.3.3.3 ファイルアップロード画面

2.3.4 まとめ

本研究開発により、下記の成果を得ることができた。

- インターネット上でシミュレーション支援室を利用するユーザーのデータのセキュリティを確保するために、ユーザー認証・パスワード入力機能の設計を行い、ログインしたユーザー以外は、自分のデータを閲覧できないよう、実装を行った。
- ユーザーのパソコンで作成されたプレス成形シミュレーション解析用データを、シミュレーション支援室の WEB サイトにアップロードするためのファイル転送機能の設計および実装を行った。

なお、本ネットワークシステム構築にあたり、外注業者による委託開発は行わず、内製で開発したことにより、このようなシステム構築や運用に関する多くの知見を得ることができた。今後、このようなシステムを低コストで継続的に運用していく上で、維持可能な基盤技術を確立できたとと言える。

2.4 高度なプレス成形シミュレーションの実施

2.4.1 概要

シミュレーション支援室には、高度な解析に対するコンサルティング業務が、一つの役割として考えられる。例題として、電池パックの安全装置のプレス成形（コイニング）を取り上げて、高度な解析に対するシミュレーション支援室の機能について検討し、高度なシミュレーションをユーザーと協力することで解決可能なことを実証する。コイニング工程をシミュレーションする場合には、大変形が発生するため、六面体ソリッド要素のリメッシュ機能の開発を実施する。また、コイニング解析で課題になると考えられる大規模解析に関して、GPGPU (General Purpose computing on Graphic Processing Unit) を用いて、大規模解析の可能性や高速化の可能性を検討する。

2.4.2 成果の概要

実際の研究成果の概要は、下記となる。

要素分割テンプレートを用いた六面体要素リメッシュ機能を開発し、要素数を大幅に増加させることなくコイニング解析が実行できた。要素数の増加を抑えられることで、計算時間も大幅に増加させることなく、コイニング工程における形状の再現性を飛躍的に向上させることができる。また、通常の CPU と GPGPU を利用した場合の疎行列計算を比較し、GPGPU を用いることで大規模解析に対応できる可能性があることを示唆する計算結果を得ることができた。

以下に、成果として得られた内容について述べる。

2.4.3 コイニング解析用リメッシュ機能

コイニング解析などのブランクを潰す成形の場合には、要素の変形量が大きくなりメッシュを細かくしないと形状の精度が落ちる。コイニング解析用リメッシュ機能は、このような状況でも形状の精度を保つために、変形量の大きい箇所の要素を指定してリメッシュする機能である。

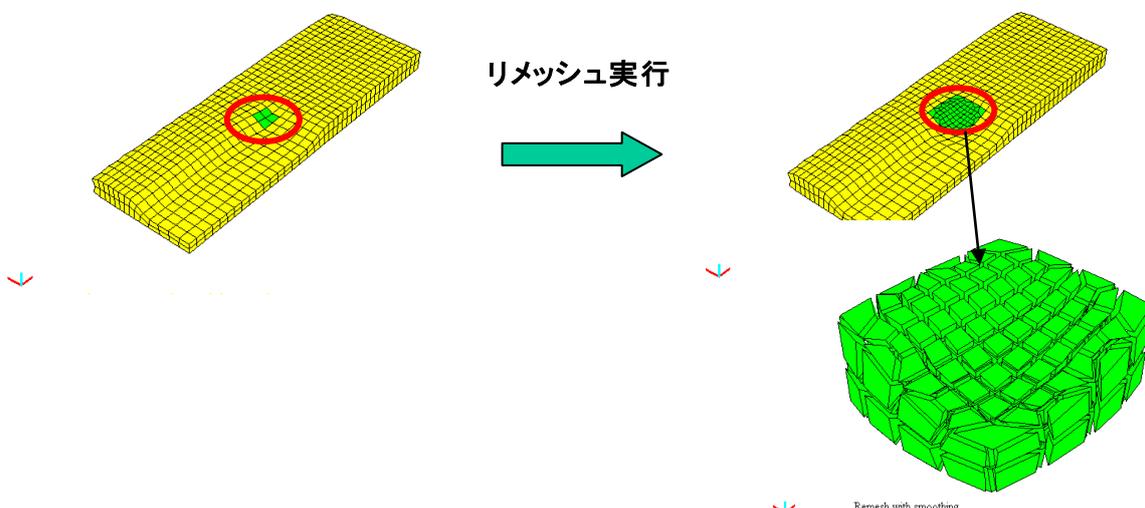


図 2.4.3.1 リメッシュ前後の六面体ソリッドメッシュ形状図

2.4.4 リメッシュ時の物理データマッピング機能

プレス成形シミュレーションの成形途中でリメッシュを行う場合には、リメッシュ前後で応力・歪という物理量の整合性が重要になる。この整合性が保てないと、プレス成形シミュレーションによるひずみ、もしくは応力計算の信頼性が低下してしまう。そこで、リメッシュ前後でリメッシュされて要素形状が変化した要素に対して、リメッシュ前の物理データを補間してリメッシュ後の要素にマッピングする機能を開発した。この機能により、解析途中で変形が大きくなってきた要素を検知して、その周辺部にリメッシュを実施することも可能となる。

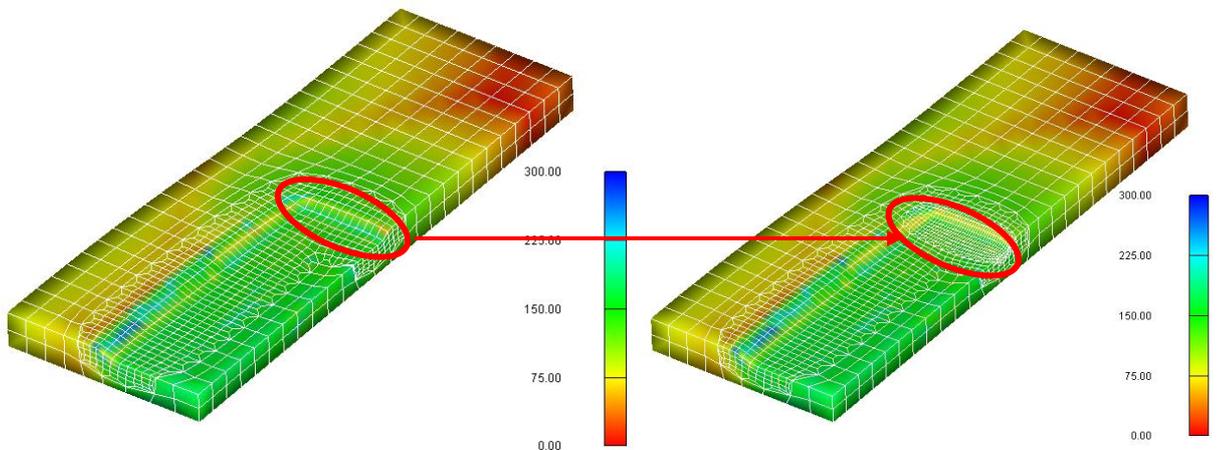


図 2.4.4.1 成形途中でのリメッシュ後の細分化メッシュへの応力マッピング図

2.4.5 リメッシュによる形状精度の検証について

電池パックの安全弁に見られるような形状において、リメッシュ機能を用いたプレス成形シミュレーションを実施して、形状精度についての検証を行った。

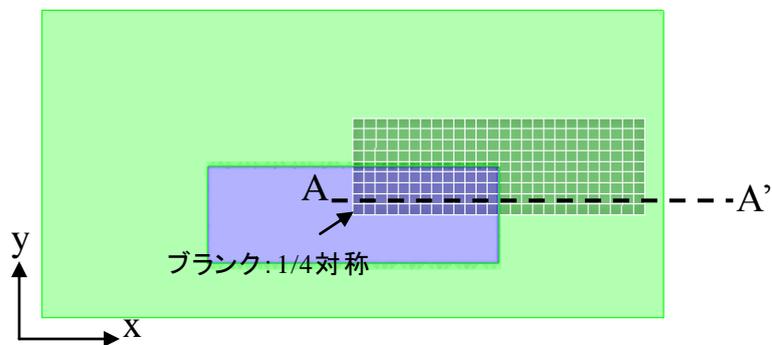


図 2.4.5.1 電池パック安全弁を模擬したプレス成形シミュレーション図

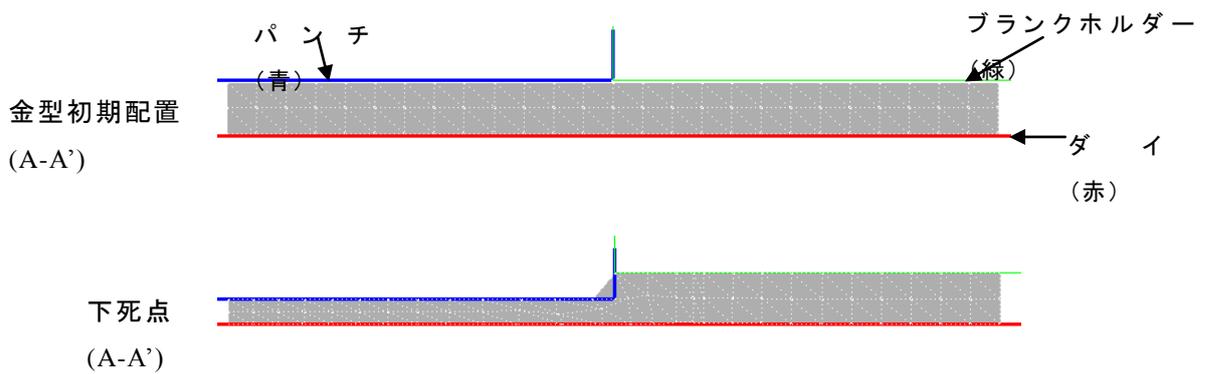


図 2.4.5.2 電池パック安全弁を模擬したプレス成形シミュレーション断面図

図 2.4.5.2 の下図のように、ブランクメッシュの大きさがパンチ R 部よりも大きいと、ブランクメッシュがパンチ形状に食い込むことになり、パンチ形状に沿ってブランクが変形しない問題が発生する。次に、パンチ R 部のブランクメッシュにリメッシュを実施したブランクメッシュと、そのリメッシュを実施したブランクメッシュにさらにリメッシュ実施したもので、プレス成形シミュレーションを実施して、形状精度について検証した。

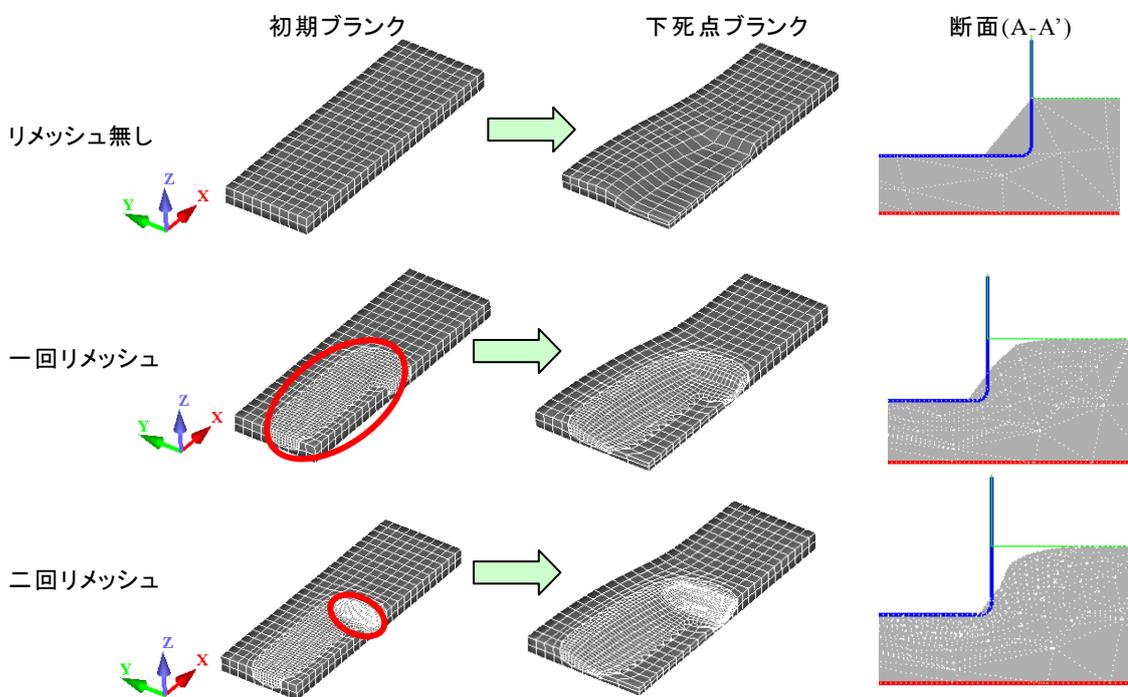


図 2.4.5.3 リメッシュによる形状精度変化

図 2.4.5.3 から分かるように、リメッシュを行うことで形状の再現性は大幅に向上することが分かる。また、リメッシュによる要素の増加は、表 2.4.5.1 になるが、リメッシュ後の要素サイズでブランク全体のメッシュを作成した場合と比較すると、一回のリメッシュでは、 $2756/12636 = 21.8\%$ の要素数で、12636 要素の場合と同様の形状精度を得られることになる。二回リメッシュした場合は、 $4564/341172 = 1.3\%$ の要素数で、341172 要素の場合と、おおよそ同等の形状精度を得ることができる。要素数の増加は、プレス成形シミュレーションの計算時間や使用メモリ量の大幅な増加に直接つながることを考えると、リメッシュ機能によりコイニング解析は、リメッシュ機能がない場合に比べて、形状精度の向上と大幅な計算時間短縮が実現できる可能性が高い。

	要素数	リメッシュ後の要素サイズでブランク全体のメッシュを作成した場合の要素数
リメッシュ無し	468	---
一回リメッシュ	2756	12636
二回リメッシュ	4564	341172

表 2.4.5.1 リメッシュによる要素数の増加

ただし、リメッシュを繰り返し実行することによって、大きい要素と小さい要素のサイズが極端に変わってしまい、形状精度はよくなっても、応力計算や節点力計算で破綻をきたす可能性もあり、リメッシュされる領域とその領域外の要素をうまく繋げることが課題として残る。

2.4.6 GPGPU による大規模疎行列計算の高速化検討

有限要素によるシミュレーションでは、一般的に全体剛性行列は疎行列になるが、その全体剛性行列の逆行列を求めるところが計算時間の大半を占めることが多い。剛性行列を解くところの高速化が図れれば、シミュレーション全体の計算時間の短縮につながる。GPGPU は、このような演算の高速化が期待できる最新の技術であり、この技術を用いる疎行列ソルバーの高速化の可能性を、いくつかの疎行列ソルバーを比較対象として、検証した。

GPGPU を利用する疎行列ソルバーとしては、NVIDIA 社が提供する反復法疎行列ソルバーである CUSP を使用した。この疎行列ソルバーは以下のサイトからダウンロード可能である。

<http://code.google.com/p/cusp-library/>

CUSP の比較対象として、CPU で計算するソルバーとしては、反復法疎行列ソルバーとして Lis、直接法疎行列ソルバーとして Spooles を使用した。これらは、以下のサイトからダウンロード出来る。

<http://www.ssisc.org/lis>

<http://www.netlib.org/linalg/spooles/spooles.2.2.html>

また、計算に用いた CPU、GPU はそれぞれ

CPU: AMD Athlon Dual Core Processor 5050e 2.6GHz

GPU: Tesla C1060

を利用した。計算対象とした行列は、応力解析で出てくるものを用いた。

図 2.4.6.1 は、行列を解くのに要した時間と解析規模の関係を表したグラフである。この図からは反復法ソルバーの比較では、CUSP の方が Lis よりも 5 倍以上早いことが分かる。また、直接法ソルバーである Spooles と比べても、解析の規模が大きくなると CUSP の方が、計算が早くなることが分かった。

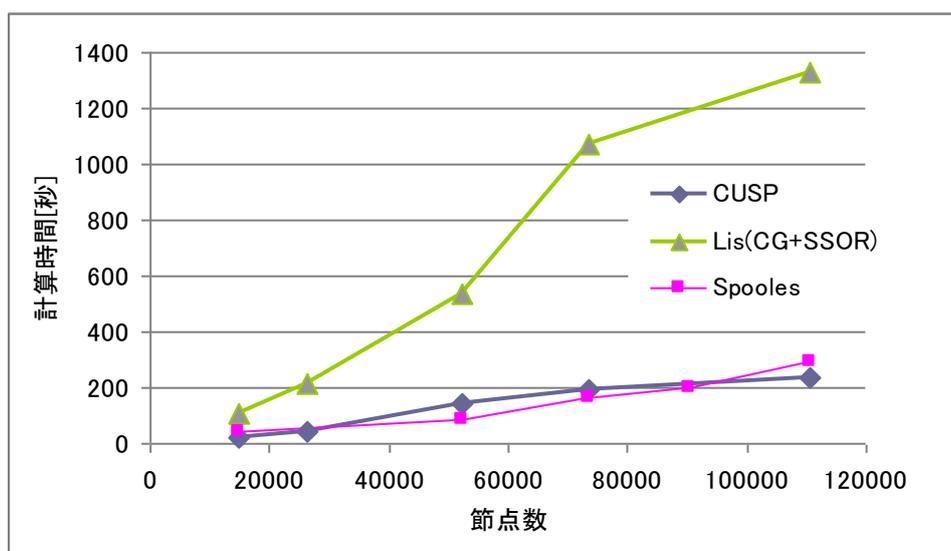


図 2.4.6.1 疎行列線形ソルバーの計算時間と解析規模の関係

図 2.4.6.2 は、行列を解くのに要したメモリ量と解析規模の関係を示すグラフであるが、GPGPU 計算の場合には、どのくらいメモリを消費しているかが分からないため、CUSP のメモリ使用量は記載されていない。反復法ソルバーである Lis と直接法ソルバーの Spooles を比較すると、直接法ソルバーの方がメモリ使用量が多く、解析規模が大きくなった時の使用メモリ量の増加の仕方も大きいため、反復法ソルバーの方が大規模解析には適していると思われる。

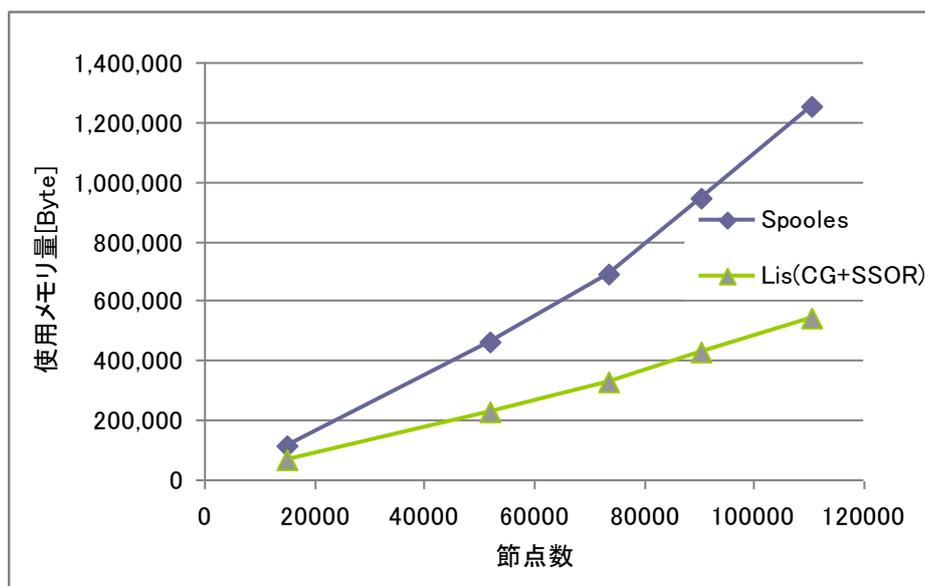


図 2.4.6.2 疎行列線形ソルバーの使用メモリ量と解析規模の関係

以上のことから、コイニング解析などで行われると想定される大規模有限要素法シミュレーションは、GPGPU を用いる疎行列ソルバーCUSP で高速化が図れる可能性があることが分かった。

2.4.7 まとめ

本研究開発により、下記の成果を得ることができた。

- コイニング工程などの大変形解析に対応するために、応力・歪を考慮した六面体要素リメッシュ機能の設計、実装を行った。
- リメッシュ機能を用いることで、要素数を大幅に増やすことなく、コイニング解析での形状再現性を向上させることができた。
- コイニング解析などの大規模解析で問題になる計算速度と使用メモリ量に関しては、GPGPU を使用した反復法行列ソルバーにより、高速化できる可能性があることが分かった。

なお、コイニングや板鍛造のような潰しの場合では、リメッシュにより 50%程度の潰しの大変形に対応できることが分かったが、リメッシュを複数回行った場合には、要素形状が崩れ、異常に高い応力が発生する可能性があるなどの課題も残った。

また、剛性マトリックスを数値的に解く際に用いられる疎行列線形ソルバーは、現在では、GPGPU に対応したものもある。その中で、NVIDIA の提供する CUSP という疎行列反復法ソルバーを用いて、応力解析時に解く必要のある行列に対して計算時間を比較したところ、CUSP は規模が大きくなると直接法ソルバーよりも計算速度が早くなる可能性があることが確認できた。コイニング解析のようにソリッド要素を用いる場合には、反復法ソルバーでも解が収束しやすいため、将来的には大規模なコイニング解析を、GPGPU を用いて高速化できる基盤技術を構築することができた。

2.5 部品強度解析プログラムの開発

2.5.1 概要

電池パックの安全性に関しては、厳しい品質が要求されるため、内圧を戴荷した時の安全弁の機能検証を、部品の強度解析を実施することで実証する。そのために、コイニングにより生じると考えられる残留応力を考慮した上で、荷重を戴荷して強度解析を行うプログラムの開発を実施する。なお、降伏条件は Von Mises 条件式を用いる。

2.5.2 成果の概要

実際の研究成果の概要は、下記となる。

静的陽解法と Von Mises 降伏条件式よりも一般性の高い Hill の 2 次降伏条件式を用いた強度解析プログラムを開発した。強度解析プログラムの精度検証としては、理論解のある片持ち梁計算を行い、メッシュをある程度細かくすると理論解との差が 2%以内に入ることを確認した。また、プレス成形シミュレーションによる解析結果を用いて、残留応力を考慮した強度解析が実行できる機能を開発し、残留応力が部品強度に大きく影響することが確認できた。

以下に、成果として得られた内容について述べる。

2.5.3 強度解析プログラムの機能

強度解析プログラムは、解が発散して求まらない可能性のない静的陽解法を採用して、プレス成形シミュレーションと整合性を取るために Hill の 2 次降伏条件式を弾塑性判定に使う強度解析プログラムである。

境界条件は、境界条件設定ファイルに節点に対する完全拘束、荷重を設定し、材料データファイルの各要素の積分点における情報に残留応力を記載することにより、残留応力を考慮した強度解析が可能となる。

2.5.4 強度解析プログラムの精度検証

強度解析プログラムの解析精度を検証するために、理論解のある片持ち梁を計算モデルとして、解析を実施した。

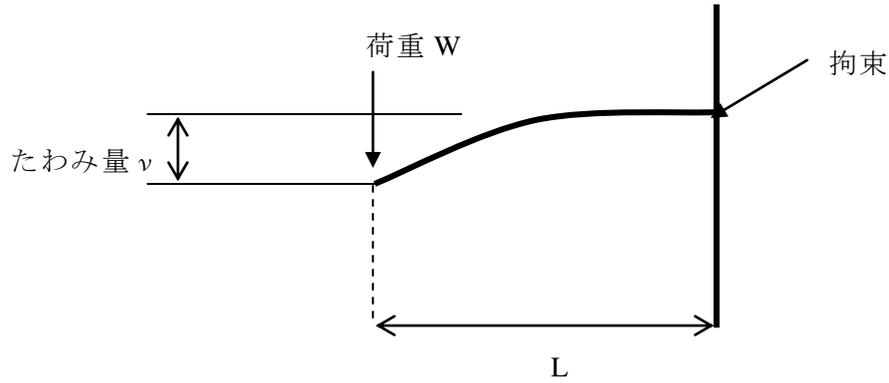


図 2.5.4.1 片持ち梁モデル図

図 2.5.4.1 に片持ち梁モデルの概略図を示しているが、この場合荷重 W とたわみ量 v の関係は、梁の長さを L とすると

$$v = \frac{WL^3}{3EI}$$

となる。 E はヤング率、 I は断面 2 次モーメントである。梁の形状としては、長さ 10mm、幅 4mm、板厚 1mm の形状を使用するとすると、断面 2 次モーメントは

$$I = \frac{\text{幅} \times \text{板厚}^3}{12} = \frac{1}{3}$$

となる。また、材料は軟鋼反としてヤング率は 210000[Mpa]、荷重を 10.5[N] と設定すると、たわみ量 v は、

$$v = \frac{WL^3}{3EI} = \frac{10.5 \times 10^3}{210000} = 0.05[\text{mm}]$$

となる。

表 2.5.4.1 に、強度解析プログラムで片持ち梁モデルの解析を行った結果を示す。この表からは、メッシュサイズを小さくしていくとたわみ量は理論解に近づいていき、要素数 32000 の場合は、理論解との誤差は 3%程度にまで近づく。このことから、強度解析プログラムの精度には、問題はないと考えられる。

平面方向の メッシュサイズ	板厚方向の層数	要素数	たわみ量[mm]
0.5	1	160	0.0399
0.5	2	320	0.043
0.5	4	640	0.0441
0.5	8	1280	0.0444

0.25	1	640	0.0427
0.25	2	1280	0.0463
0.25	4	2560	0.0475
0.25	8	5120	0.0478
0.1	1	4000	0.0436
0.1	2	8000	0.0473
0.1	4	16000	0.0485
0.1	8	32000	0.0489

表 2.5.4.1 メッシュサイズとたわみ量の関係

2.5.5 プレス成形時の残留応力の影響の検証

図 2.5.5.1 に示される、電池パックの安全弁を模擬した簡易モデルを用いて残留応力の強度解析に及ぼす影響を検証した。材料は A1050-0 とし、境界条件としては、周辺部を完全拘束し、Z 軸下面に 2[N] の荷重を加えるよう設定した。

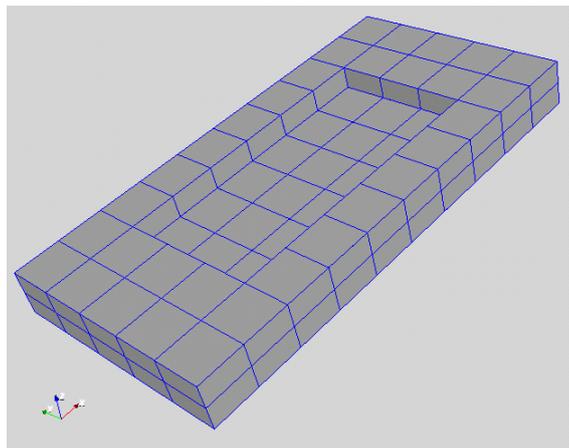


図 2.5.5.1 電池パック安全弁を模擬した簡易モデル

残留応力を考慮しない強度解析結果を図 2.5.5.2 に、中央のくぼみ箇所に 30-50MPa の残留応力を付与した場合の強度解析結果を図 2.5.5.3 に示す。残留応力が発生している場合には、相当応力、変位量ともに残留応力がない場合に比べて大きくなっており、強度的には弱くなっていることが分かった。

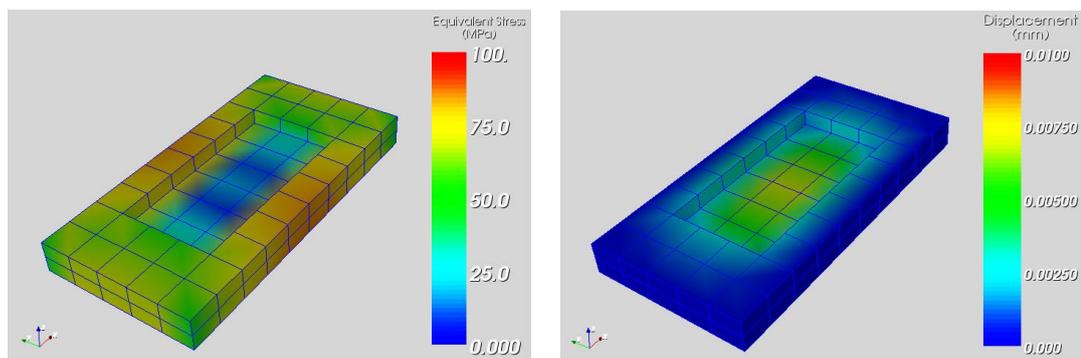


図 2.5.5.2 残留応力なしの強度解析結果（左：相当応力、右：変位量）

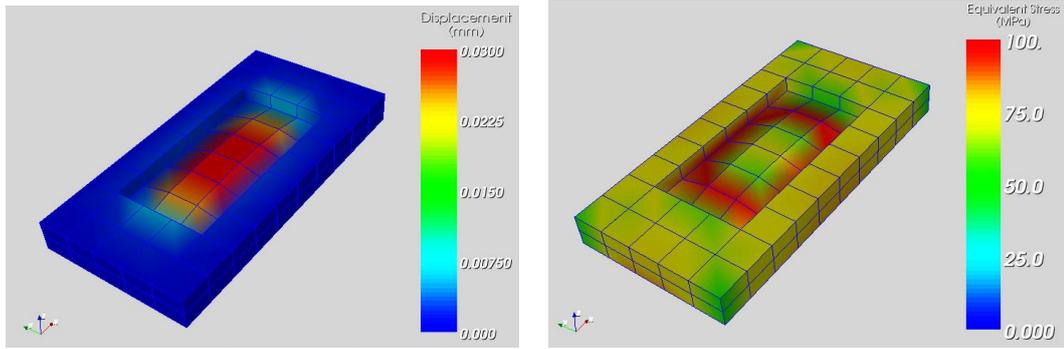


図 2.5.5.3 残留応力を付与した強度解析結果

(左：相当応力、右：変位量)

プレス成形では、残留応力とともに材質の加工硬化も発生するため、中央のくぼみ箇所に残留応力に加えて加工硬化の影響も取り込んだ場合の強度解析結果を図 2.5.5.4 に示す。加工硬化が発生すると想定した場合は、相当応力、変位量ともに残留応力がない場合に比べて小さくなっており、加工硬化の影響で強度的に強くなっていることが分かった。

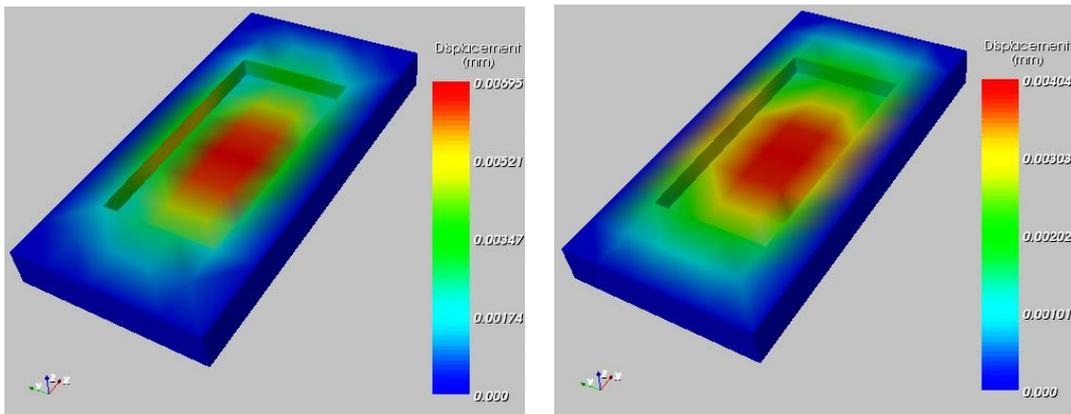


図 2.5.5.4 残留応力と加工硬化を付与した強度解析結果

(左：相当応力、右：変位量)

以上のことから、コイニング後の部品の強度にはプレス成形時に発生する残留応力や加工硬化が大きく影響することが分かった。このことを踏まえると、部品の強度を調べるには、その部品がどのような成形工程で作られ、どの程度の残留応力・加工硬化が発生しているかという情報を引き継ぐことが重要となる。

2.5.6 まとめ

本研究開発により、下記の成果を得ることができた。

- 残留応力を考慮した強度解析プログラムの設計、実装を行った。
- 残留応力の有無が、部品強度に大きく影響することが確認できた。

なお、本強度解析プログラム構築にあたり、解析手法としてロバストな静的陽解法を用いて、多少悪条件の解析でも解析が実行できるように留意した開発を行った。また、強度解析に影響する因子として、残留応力の他に加工硬化などの影

響も分かり、様々な工程を経て出来あがった部品に対する強度解析において注意すべき知見を得ることができた。

2.6 成形実験とデータの取得およびシミュレーションプログラム検証

2.6.1 成形実験金型の製作および成形実験

(1)目的

・テーマ 1

成形実験とシミュレーションとの比較検討を行い、解析精度の向上を図ると共に製品の計測や材料試験も必須であり、テーマ 1 として円筒絞り金型を製作し、マルテンサイト系ステンレス材料（SUS420J）板厚 1.0 mmを絞り加工実験し、評価することが目的である。

・テーマ 2

成形実験とシミュレーションとの比較検討を行い、解析精度の向上を図ると共に製品の計測や材料試験も必須であり、テーマ 2 としてコイニング金型を製作し、電池パックの安全性確認のためのコイニング（安全装置）を アルミ材料（A3003-O 板厚 1.0mm）を使用して成形実験を行い、成形条件の最適化を評価することが目的である。

(2)目標

・テーマ 1

マルテンサイト系ステンレス材料（SUS420J）板厚 1.0 mmを絞り加工し、最終形状である、外径 $\phi 5.7$ 、内径 $\phi 3.7$ L=20 を実現するための加工技術の確立が目標である。

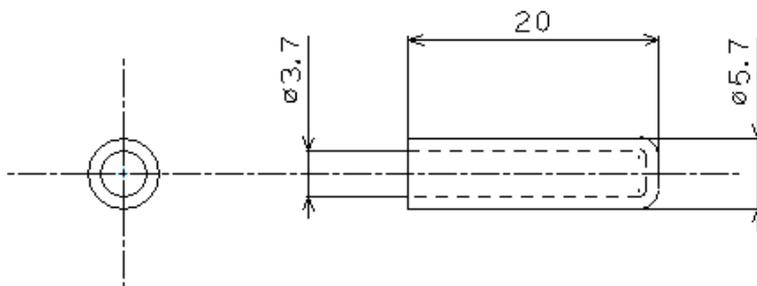


図 2.6.1.1 円筒絞り製品図

・テーマ 2

アルミ材料（A3003-O）板厚 1.0mm にコイニング（安全装置）加工し、コイニング形状、コイニング加工前後の板厚、開裂作動圧（1.0MP \pm 0.15）を実現する為の加工技術の確立が目標である。

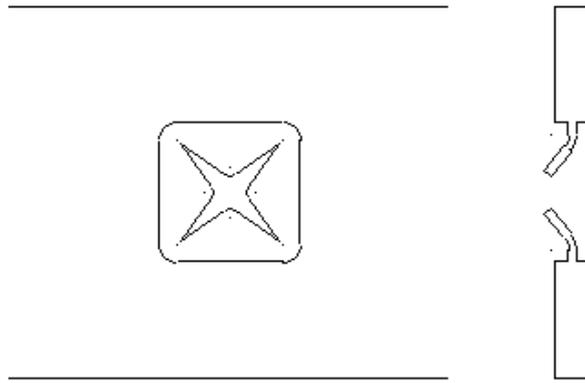


図 2.6.1.2 コイニング製品図

(3)実験方法

下記の項目について実験を行なった。

(3-1)円筒絞り

- ① 各工程毎の最小板厚の評価
- ② 最終製品に至るまでの工程の確立

(3-2)コイニング

- ① コイニング加工前の板厚の設定、評価
- ② コイニング形状及びコイニング後の板厚の設定、評価
- ③ コイニング部の開裂作動圧の評価

(4)実験結果

(4-1)円筒絞り

各工程毎の絞り製品の写真とデータを添付し、追加した工程については、その目的、理由、効果を解説する。

- ① 第1工程 (No1 絞り)
次の工程 (2DR) でフランジがわれてしまうため、1DR で設計値より 3 mm 浅く絞った。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

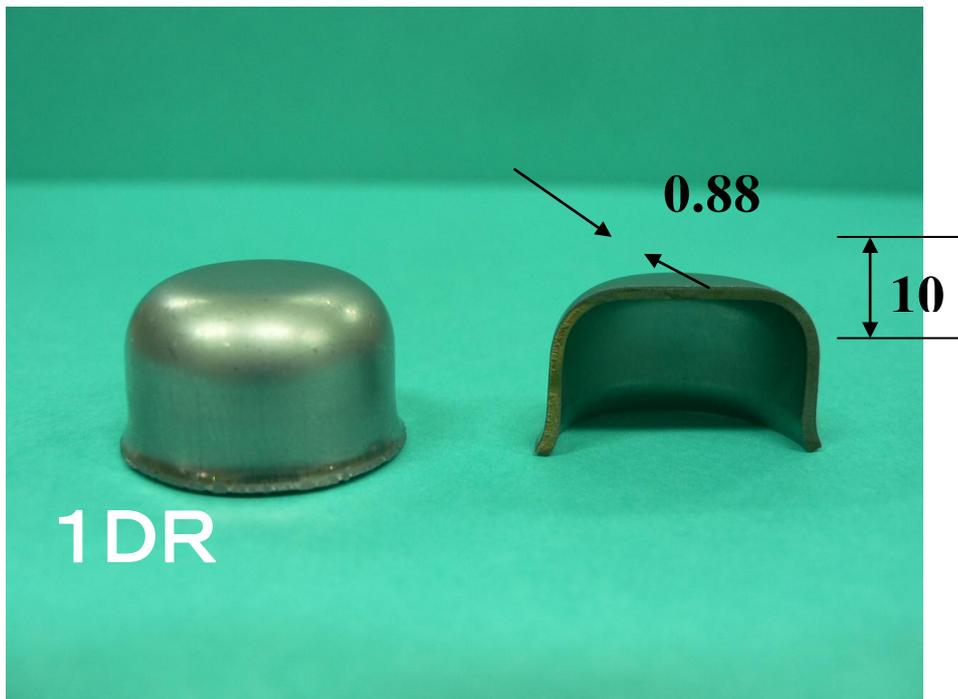
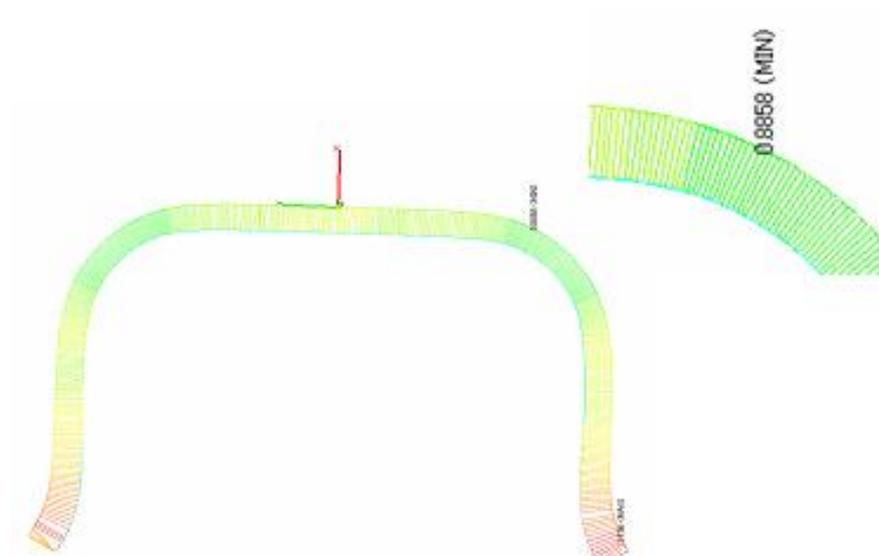


図 2.6.1.3 第 1 絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、φ2プローブでの接触測定による

図 2.6.1.4 第 1 絞り測定データ

② 第2工程 (No2 絞り)

1DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整し、プレス加工を行なった。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

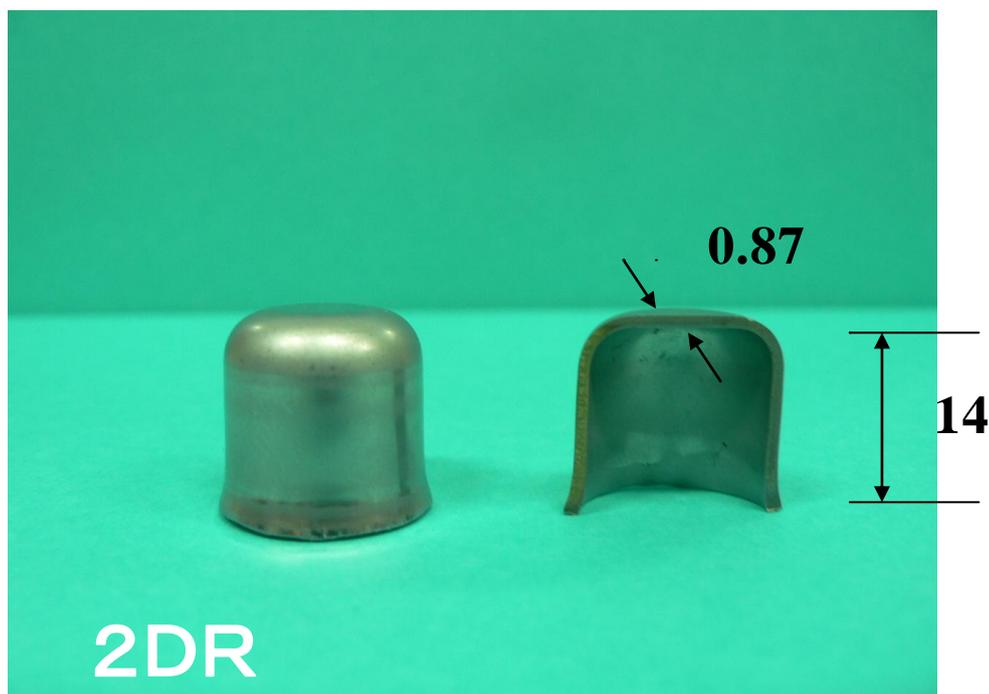
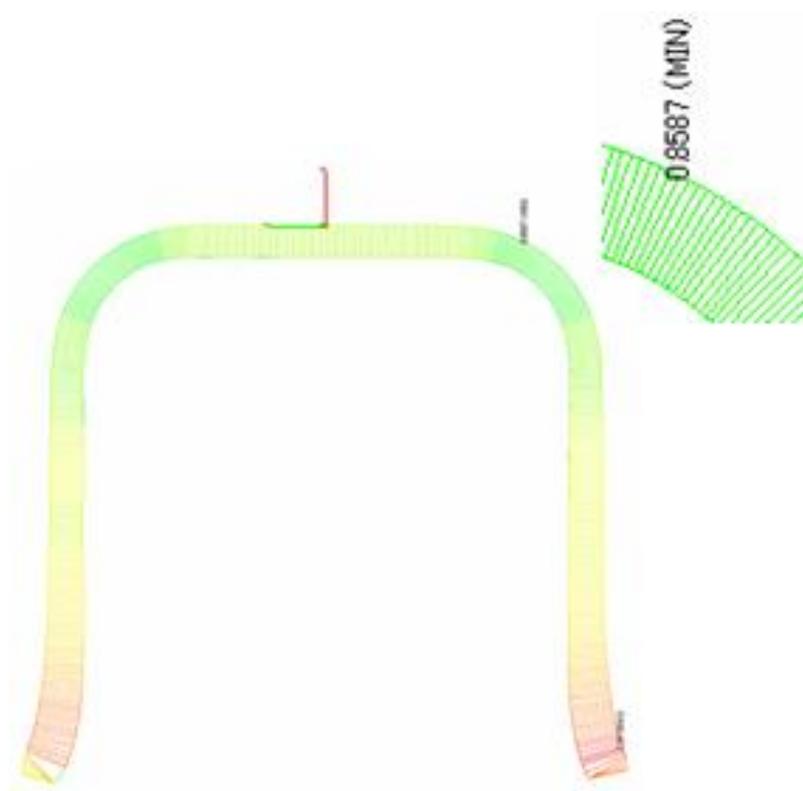


図 2.6.1.5 第2絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.6 第2絞り測定データ

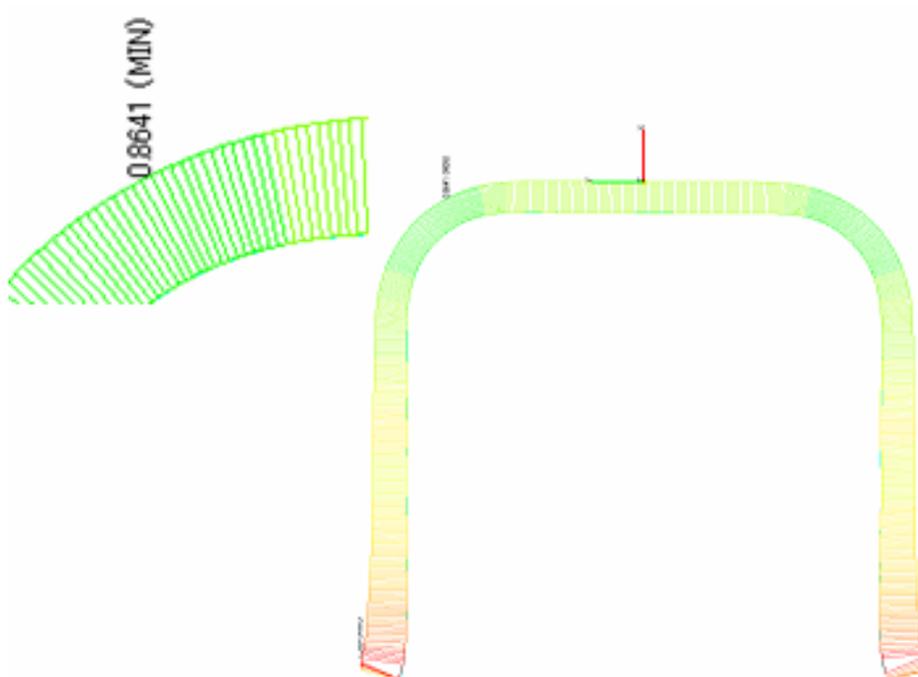
③ 第3工程 (No1 ラフトリム 旋盤)

3DR でフランジ部がワレてしまうため、2DR の製品のフランジ部を旋盤加工により除去した。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定



図 2.6.1.7 第1ラフトリム加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.8 第1ラフトリム測定データ

④ 第4工程 (No3 絞り)

2DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整し、プレス加工を行なった。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

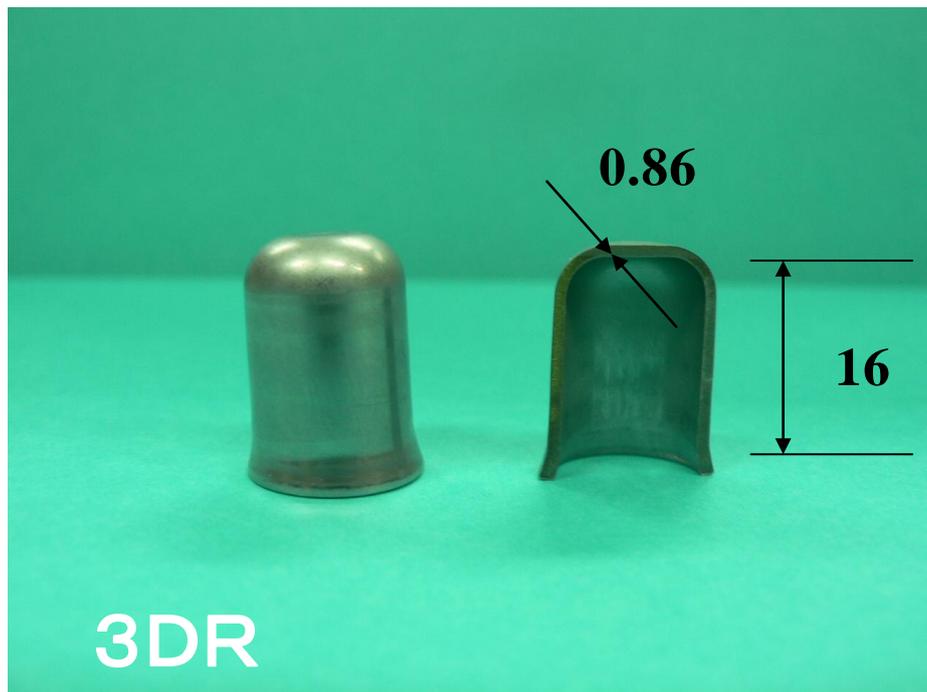
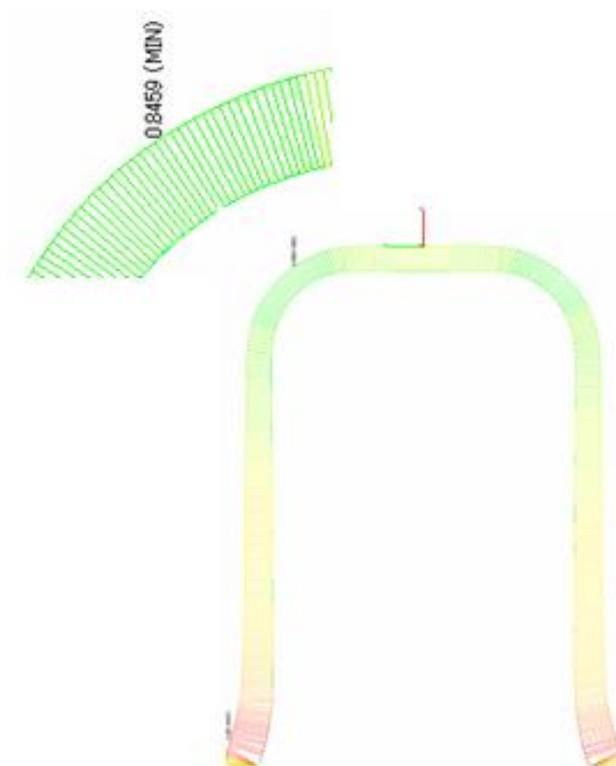


図 2.6.1.9 第3絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.10 第3絞り測定データ

⑤ 第5工程 (No4 絞り)

3DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整し、プレス加工を行なった。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

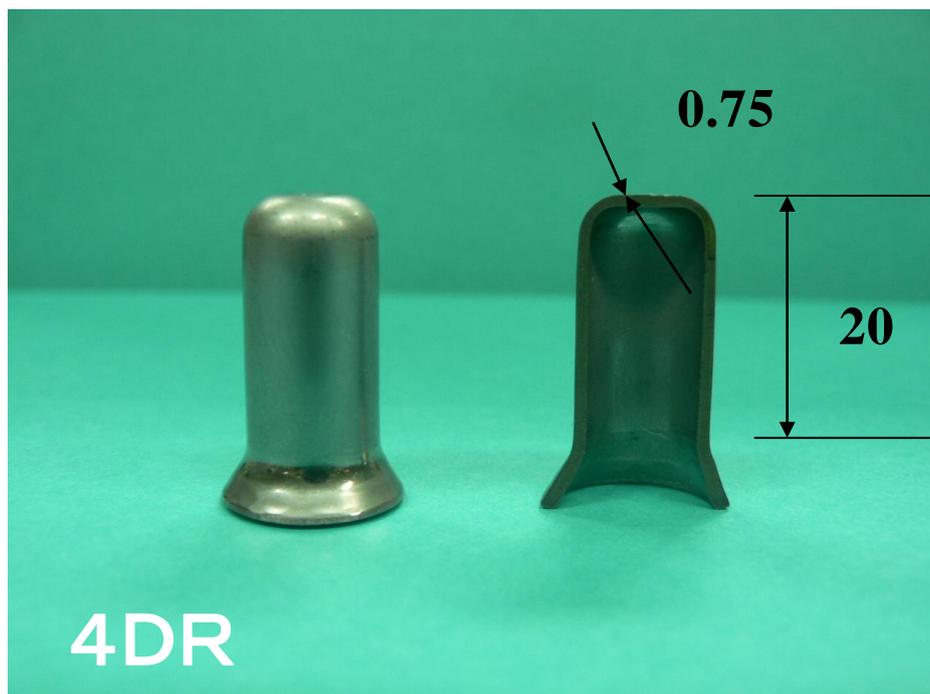
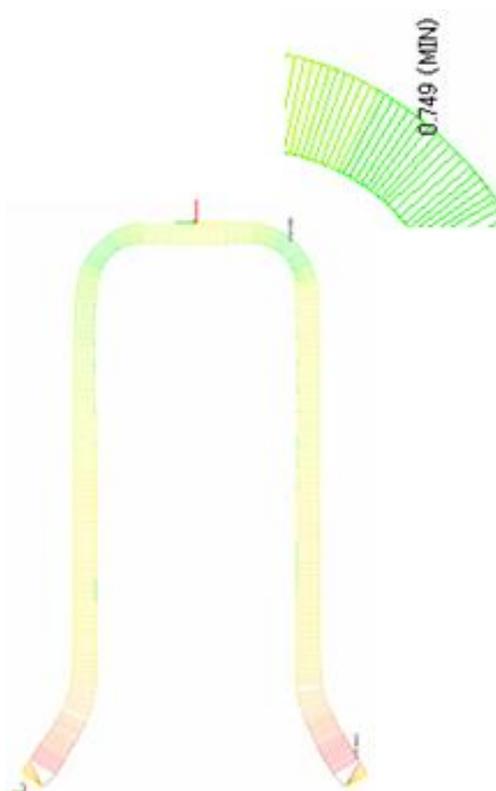


図 2.6.1.11 第4絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.12 第4絞り測定データ

⑦ 第7工程 (No5 絞り)

4DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整し、プレス加工を行なった。
コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

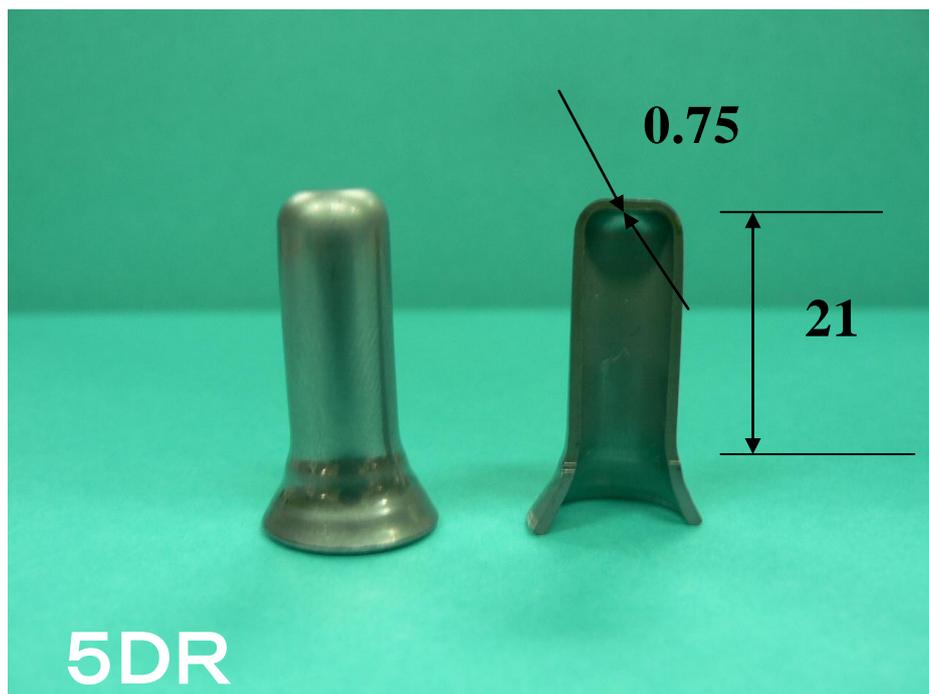


図 2.6.1.13 第 5 絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.14 第 5 絞り測定データ

- ⑧ 第8工程 (No2 ラフトリム 金型)
一般的なラフトリム



図 2.6.1.15 第2 ラフトリム加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、φ2プローブでの接触測定による

図 2.6.1.16 第2 ラフトリム測定データ

⑨ 第9工程 (No6 絞り)

5DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整し、プレス加工を行なった。
コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

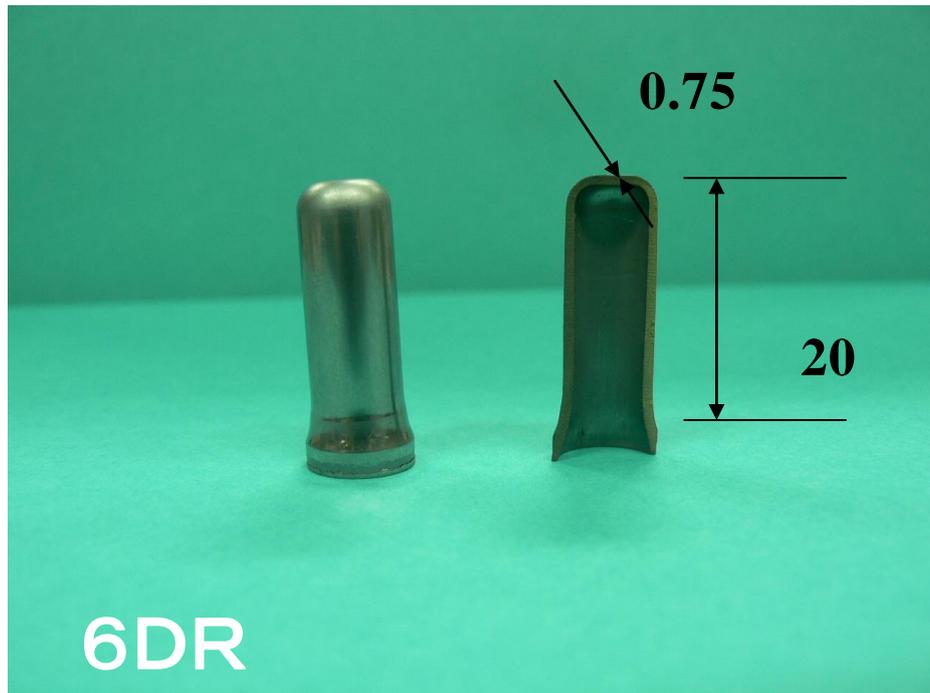
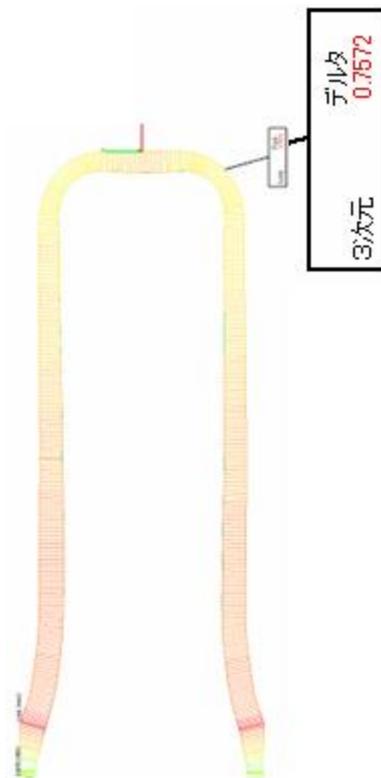


図 2.6.1.17 第6絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.18 第6絞り測定データ

⑩ 第 10 工程 (追加 1 No6-No7 間 絞り)

6DR 製品を 7DR 金型で加工したが、絞れなかったため、絞り工程を追加した。

(基準の絞り率では絞れないため、絞り率を 90%に変更した。)

6DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整して、プレス加工を行なった。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

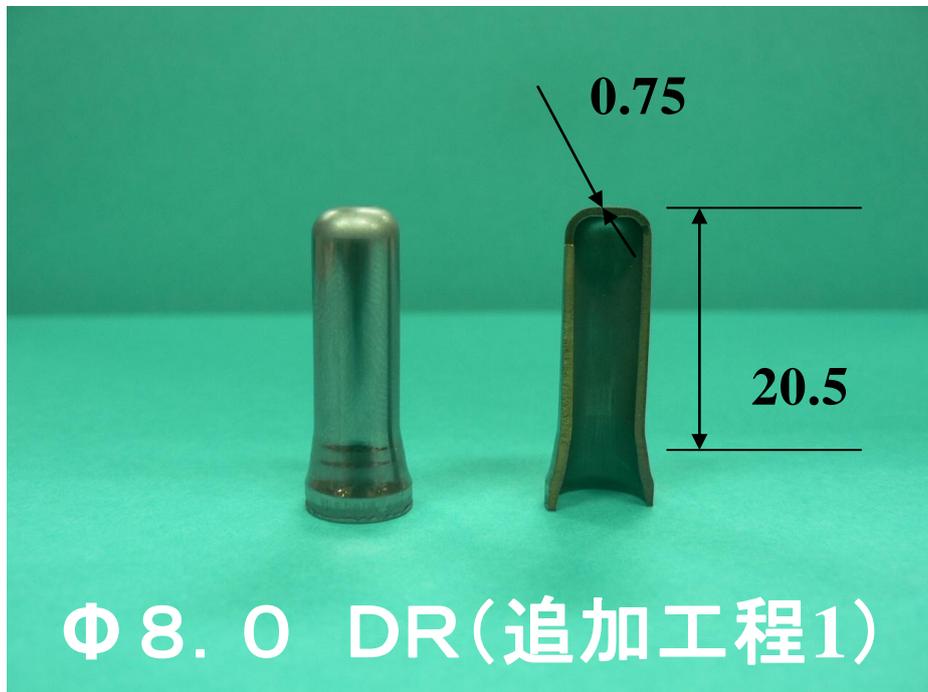
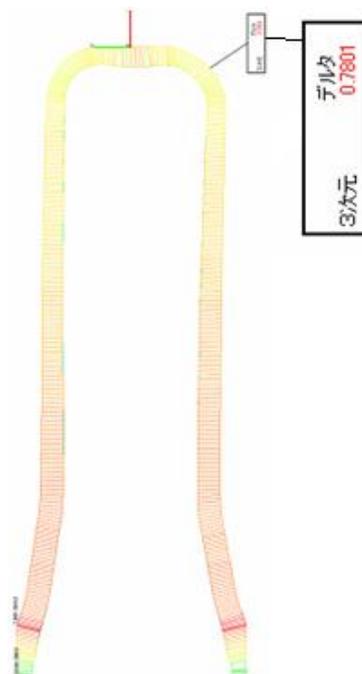


図 2.6.1.19 追加型 1 絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、φ 2プローブでの接触測定による

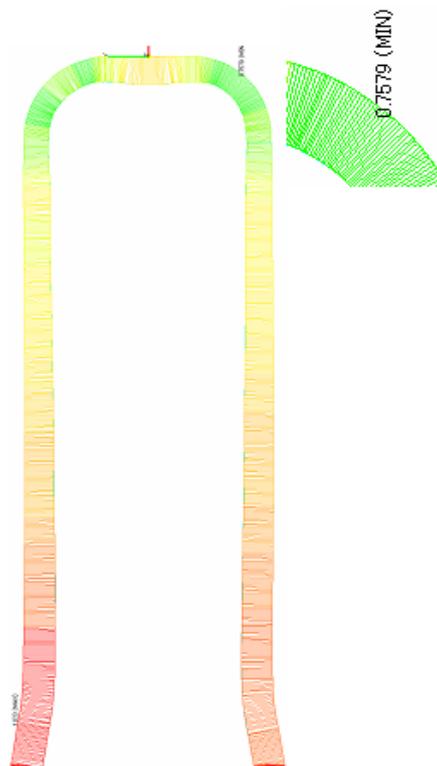
図 2.6.1.20 追加型 1 絞り測定データ

⑪ 第 11 工程 (No3 ラフトリム 追加工程)

次工程 (7DR) でフランジ部に抵抗がかかり、頭が抜けてしまうため、フランジ部を旋盤加工により除去した。



図 2.6.1.21 第 3 ラフトリム加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.22 第 3 ラフトリム測定データ

⑫ 第12工程 (No7 絞り)

Φ8.0 DR 追加型での製品を絞り深さに合わせて深さを調整し、プレス加工を行なった。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

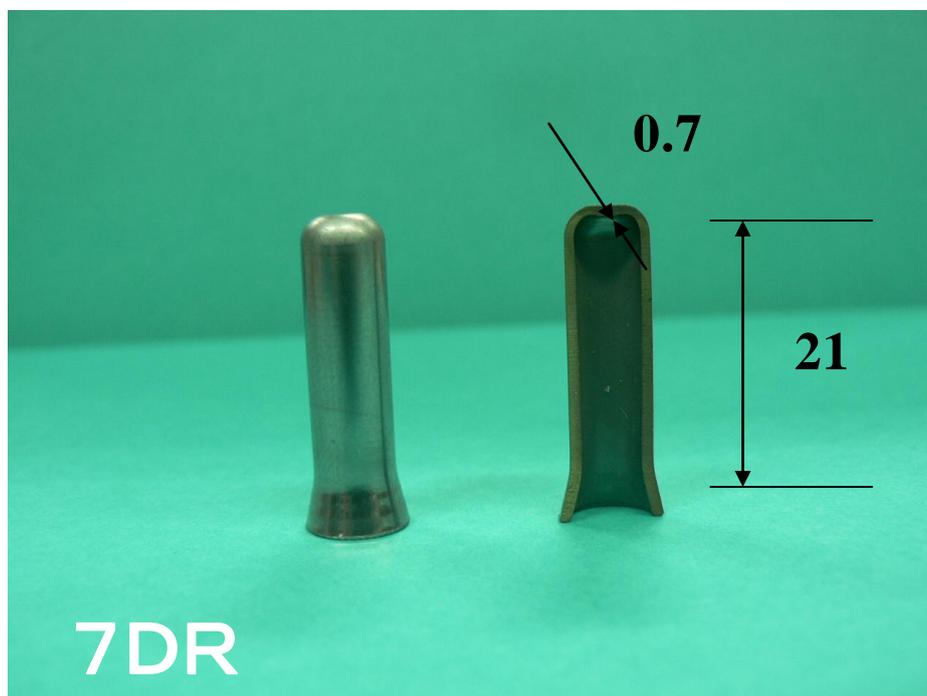
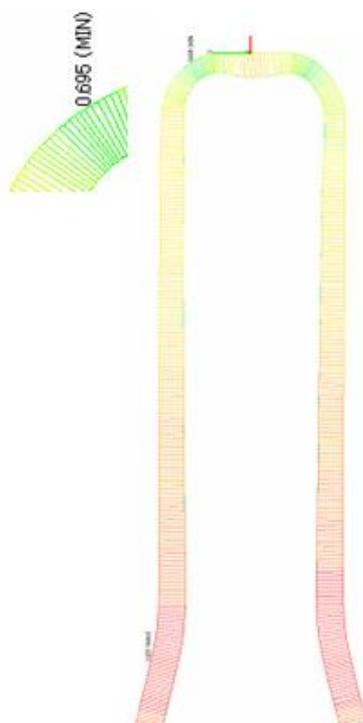


図 2.6.1.23 第7絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、φ2プローブでの接触測定による

図 2.6.1.24 第7絞り測定データ

⑬ 第 13 工程（追加 2 No7-No8 間 絞り）

7DR 製品を 8DR 金型で加工したが、絞れなかったため、絞り工程を追加した。

（基準の絞り率では絞れないため、絞り率を 90%に変更した。）

7DR の絞り深さに合わせて絞り深さを調整して、プレス加工を行なった。

コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

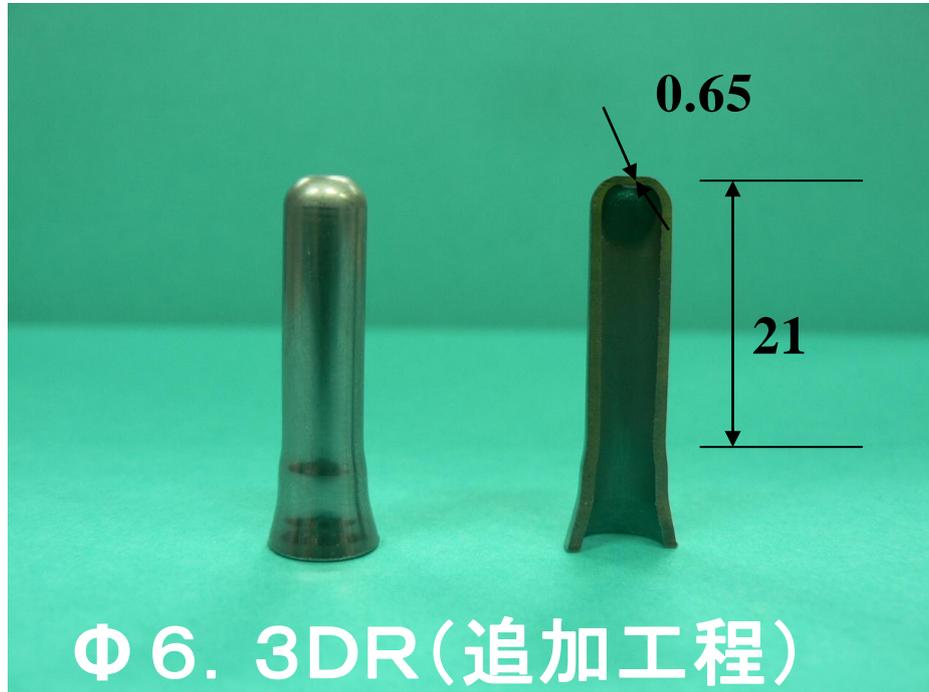
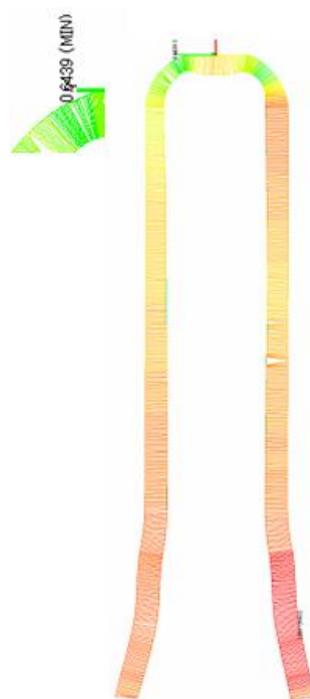


図 2.6.1.25 追加型 2 絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

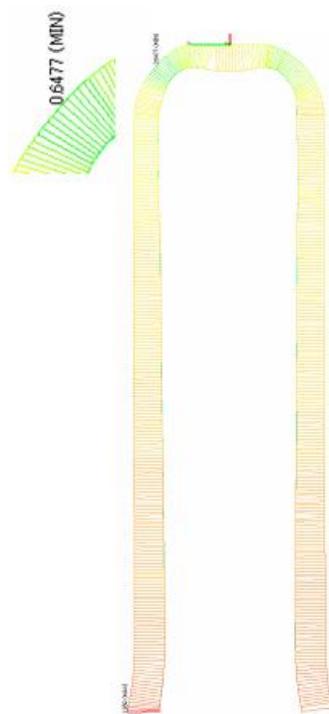
図 2.6.1.26 追加型 2 絞り測定データ

⑭ 第 14 工程 (No4 ラフトリム 追加工程)

次工程 (8DR) でフランジ部に抵抗がかかり、頭が抜けてしまうため、フランジ部を旋盤加工により除去した。



図 2.6.1.27 第 4 ラフトリム加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、 $\phi 2$ プローブでの接触測定による

図 2.6.1.28 第 4 ラフトリム測定データ

⑮ 第 15 工程 (No8 絞り)

Φ6.3 DR の絞り深さに合わせて深さを調整し、プレス加工を行なった。
コーナー部板厚測定はポイントマイクロにて測定

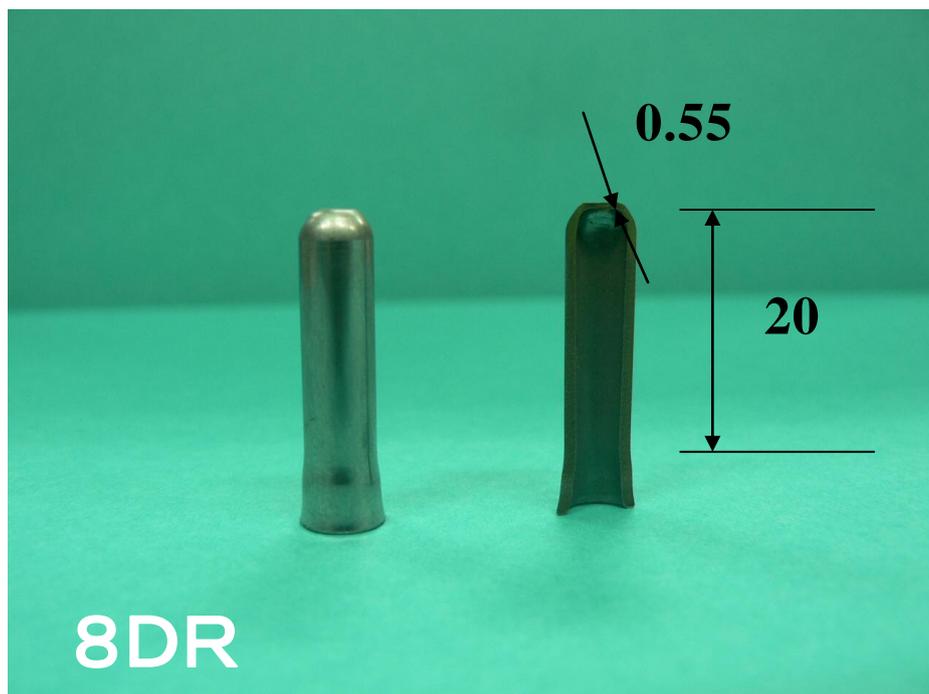
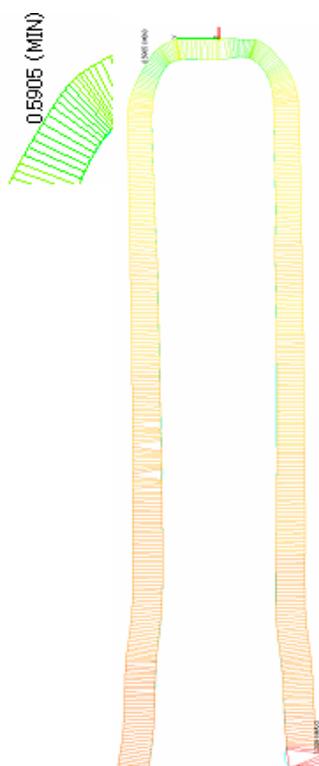


図 2.6.1.29 第 8 絞り加工製品



データは、3次元測定機に専用測定治具を使用、φ2プローブでの接触測定による

図 2.6.1.30 第 8 絞り測定データ

(4-2)コイニング

板厚 1.0 mm の材料を両側(裏表)からツブシ加工する。開裂作動圧(1.0MP±0.15)を材料に加えることでコイニング部が変形して開裂する。



図 2.6.1.31 コイニング製品



図 2.6.1.32 コイニング製品断面



図 2.6.1.33 コイニング開裂前後の製品

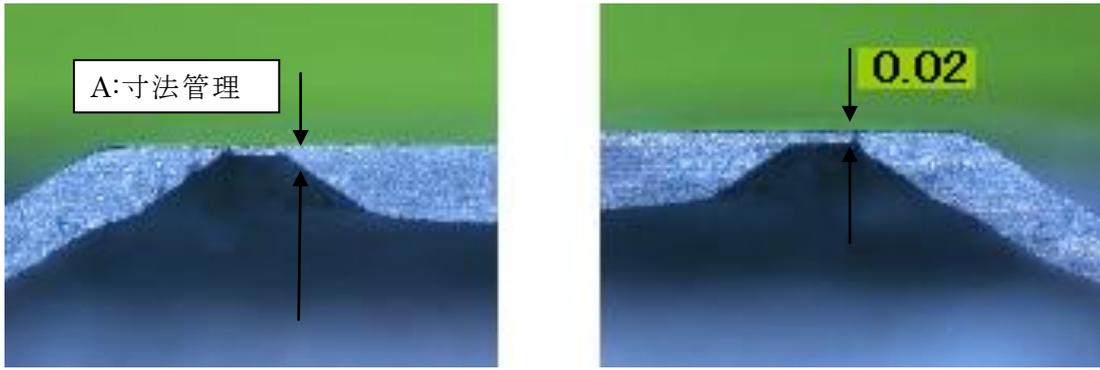


図 2.6.34 コイニング製品断面

図 2.6.34 の A 寸の板厚寸法を管理することにより、開裂圧が安定して作動する。

2.6.2 まとめ

(5-1)円筒絞り

円筒絞り加工の金型を製作し、マルテンサイト系ステンレス材料を絞り加工する実験を実施した。加工条件の設定では、絞り工程を10工程で設定し、絞りダイス角度、絞りダイスRの大きさ、パンチRの大きさを各工程で調整することにより絞り加工が可能であることを検証した。また、加工条件により、絞り工程での、キズ、ワレ、最小板厚を調査し、材料の特性との関係を検証した。

円筒絞りの主な成果を以下に示す。

- ① 材料の特性に合わせた金型工程設定を確立した。
- ② ワレ対策及び板厚減少率は、各工程毎にフレンジ部を除去することにより、調整が可能であり、絞り加工の実現性を検証した。
- ③ キズ対策として、非塩素系潤滑油から塩素系潤滑油に変更することにより、絞り加工字のキズの発生を防ぐことが可能になった。

加工工程（寸法はパンチ側寸法を記載）

第1工程	:	ブランク	Φ34mm	
第2工程	:	No1絞り	Φ18.6mm	
第3工程	:	No2絞り	Φ14.6mm	
第4工程	:	ラフトリム1(旋盤加工)		追加
第5工程	:	No3絞り	Φ11.8mm	
第6工程	:	No4絞り	Φ8.8mm	
第7工程	:	No5絞り	Φ7.2mm	
第8工程	:	ラフトリム2(金型)		
第9工程	:	No6絞り	Φ6.7mm	
第10工程	:	追加絞り	Φ6.0mm	追加
第11工程	:	ラフトリム3(旋盤)		追加
第12工程	:	No7絞り	Φ5.0mm	
第13工程	:	追加絞り	Φ4.3mm	追加
第14工程	:	ラフトリム4(旋盤)		追加
第15工程	:	No8絞り	Φ3.7mm	
第16工程	:	トリム		

(5-2)コイニング

コイニング加工の金型を製作し、アルミ材料をコイニング加工し、開裂する実験を実施した。加工条件の設定では、コイニング加工する部位をあらかじめ板厚を薄く加工し(0.2mm±0.01)、コイニングパンチの形状及び開裂する部位以外は材料とパンチのつなぎ部に R をつけ、材料の強度を増すことにより開裂した時の形状が安定することを検証した。

また開裂作動圧は、コイニング加工する部位の板厚を安定させること、コイニング加工後の板厚(0.02)を安定させることにより開裂圧が安定して作動することを検証した。

コイニングの主な成果を以下に示す

- ① 開裂は加圧による材料の変形により開裂するため、コイニング加工前の板厚をただ単に薄くするだけでなく、加圧により、開裂のトリガーとなりえるコイニング形状にしなければ開裂しないことを検証した。
- ② 開裂作動圧の精度を向上させるには、プレス機の精度、剛性及び金型の精度、剛性が重要であり、それらの環境を整えることによりはじめて可能になることが実証された。

2.6.3 材料試験

(1)目的

シミュレーションに用いる基礎的な材料物性値を取得するため、下記材料の強度試験を行った。

ステンレス鋼：SUS420J2 t1.0、SUS430M2 t0.5、SUS430M2 t1.0、
NSS WR-1 t0.9

アルミニウム：A3003-O t1.0、A3003-H14 t1.0、A3003-H16 t0.8、
A1050-O t1.0、A1050-O t1.2

(2)方法

万能材料試験機（イントロン製 5582 型+ビデオ伸び計 SVE）を用いて、ステンレス鋼の試験は 100kN ロードセルを、アルミニウムの試験は 5kN ロードセルを使用した。試験片は JIS Z2201 5号試験片とし、下記の試験片を作製した。

- ・ 0° 試験片：板面の圧延方向に対し平行に採取した試験片
- ・ 45° 試験片：板面の圧延方向に対し 45° 方向に採取した試験片
- ・ 90° 試験片：板面の圧延方向に対し 90° 方向に採取した試験片

破断試験、n 値試験、r 値試験、弾性域の測定を行ったが、破断試験と n 値試験は同時に実施した。また、ステンレス鋼は r 値試験と弾性域の測定を同時に実施した。

試験条件は下記のとおりである。

- ・ 破断試験：JIS Z2241 に準拠、引張速度 15 mm/分
- ・ n 値試験：JIS Z2253 に準拠、引張速度 15 mm/分
- ・ r 値試験：JIS Z2254 に準拠、標点距離 25 mm、引張速度 5 mm/分、付加ひずみ量は材料毎に適切な値を選択した。
- ・ 弾性域の測定：引張速度 5 mm/分、縦横直交タイプのひずみゲージを試験片の片面に貼付して縦方向（引張方向）と横方向（引張方向に直角な方向）のひずみを測定した。ヤング率は、「応力ー縦ひずみ」グラフを描いて、弾性域の傾きから算出した。ポアソン比は、「横ひずみー縦ひずみ」グラフを描いて、弾性域の傾きから算出した。

(3)結果

(3-1) SUS420J2 板厚 1.0 mm

表 2.6.2.1 破断試験と n 値試験 (SUS420J2 板厚 1.0 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	374	383	366	375
引張強さ [MPa]	633	634	629	632
破断伸び [%]	27	26	27	26
n 値(2点法 2%-12%)	0.23	0.23	0.23	0.23

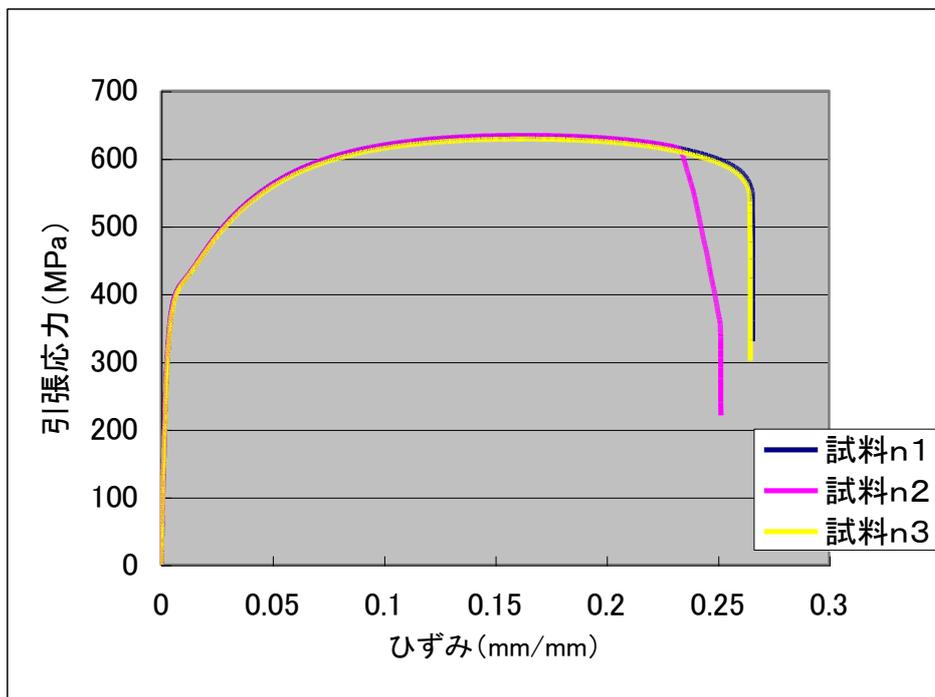


図 2.6.2.1 破断試験結果 (SUS420J2 板厚 1.0 mm)

表 2.6.2.2 r 値試験 (SUS420J2 板厚 1.0 mm) 付加ひずみ量 10%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r ₀	0.85	0.87	0.84	0.85
r ₄₅	0.93	0.95	0.94	0.94
r ₉₀	1.05	1.07	1.07	1.06

平均塑性ひずみ比 : 0.9

表 2.6.2.3 弾性域の測定 (SUS420J2 板厚 1.0 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	201	198	212	213	0.29	0.28	0.29	0.29
45° 試験片	217	221	214		0.28	0.28	0.28	
90° 試験片	220	214	217		0.31	0.30	0.30	

(3-2) SUS430M2 板厚 0.5 mm

表 2.6.2.4 破断試験と n 値試験 (SUS430M2 板厚 0.5 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	測定できず	測定できず	測定できず	測定できず
引張強さ [MPa]	436	436	437	437
破断伸び [%]	37	38	38	38
n 値(2 点法 5%-15%)	0.26	0.26	0.26	0.26

板厚が薄くて試験機に取り付けると曲がってしまうため、引張り始めのひずみが正確に測定できなかつたので、0.2%耐力は測定できなかつた。

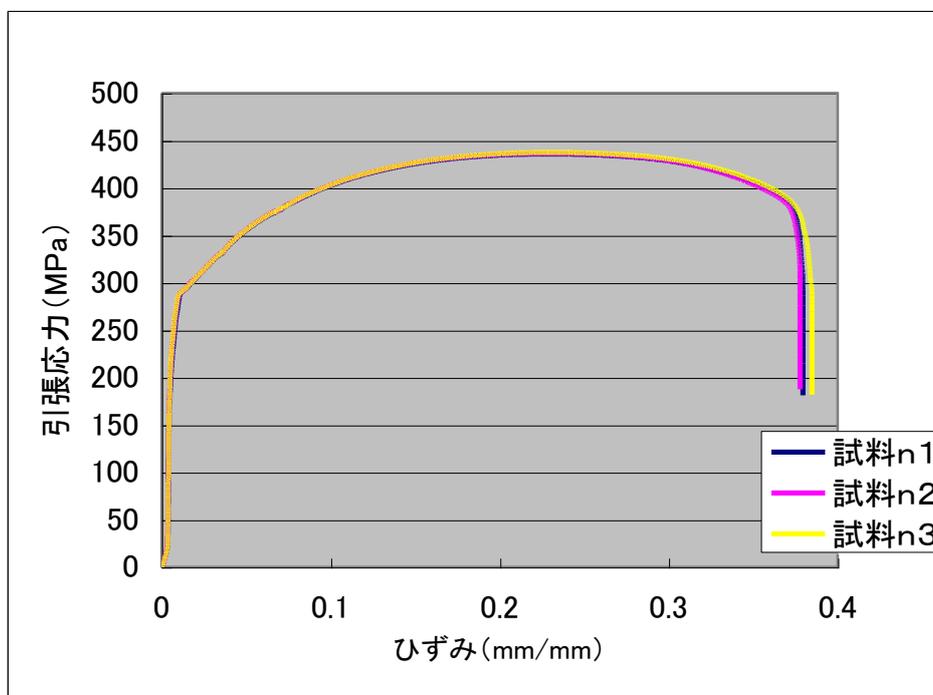


図 2.6.2.2 破断試験結果 (SUS430M2 板厚 0.5 mm)

表 2.6.2.5 r 値試験 (SUS430M2 板厚 0.5 mm) 付加ひずみ量 15%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r ₀	1.92	1.96	2.05	1.98
r ₄₅	1.64	1.69	1.65	1.66
r ₉₀	2.24	2.29	2.28	2.27

平均塑性ひずみ比 : 1.9

表 2.6.2.6 弾性域の測定 (SUS430M2 板厚 0.5 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	213	226	226	234	0.32	0.32	0.31	0.32
45° 試験片	246	240	242		0.30	0.31	0.31	
90° 試験片	238	231	246		0.33	0.32	0.33	

(3-3) SUS430M2 板厚 1.0 mm

表 2.6.2.7 破断試験と n 値試験 (SUS430M2 板厚 1.0 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	274	294	275	281
引張強さ [MPa]	435	436	435	435
破断伸び [%]	37	37	37	37
n 値(2点法 5%-15%)	0.21	0.21	0.21	0.21

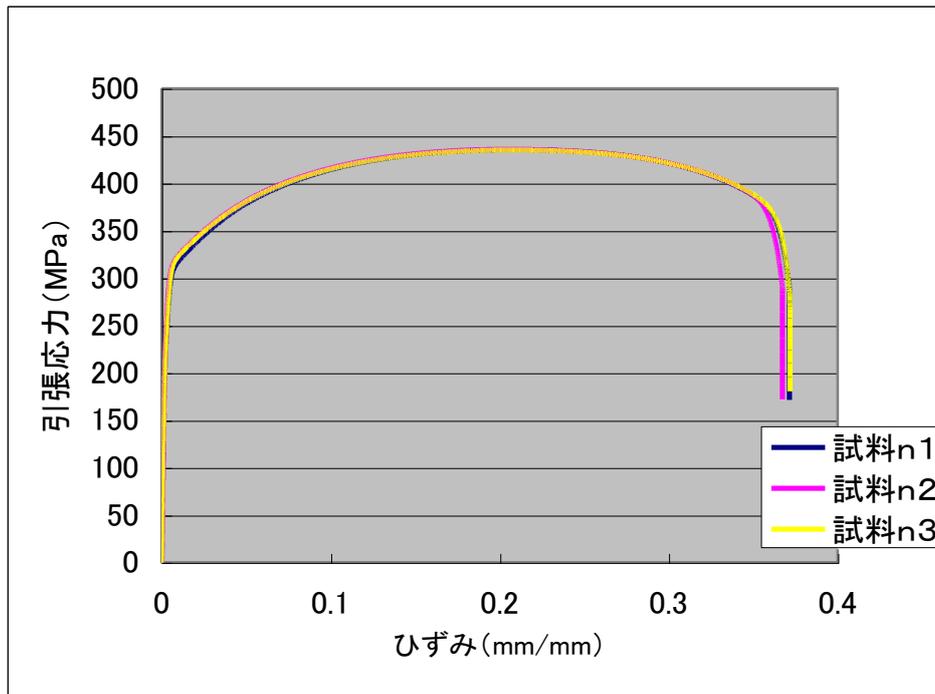


図 2.6.2.3 破断試験結果 (SUS430M2 板厚 1.0 mm)

表 2.6.2.8 r 値試験 (SUS430M2 板厚 1.0 mm) 付加ひずみ量 15%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r 0	1.61	1.57	1.60	1.59
r 45	0.99	1.00	1.01	1.00
r 90	1.77	1.83	1.79	1.80

平均塑性ひずみ比 : 1.3

表 2.6.2.9 弾性域の測定 (SUS430M2 板厚 1.0 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	209	202	201	214	0.32	0.32	0.32	0.31
45° 試験片	226	228	217		0.28	0.27	0.28	
90° 試験片	212	219	214		0.34	0.33	0.33	

(3-4) NSS WR-1 板厚 0.9 mm

表 2.6.2.10 破断試験と n 値試験 (NSS WR-1 板厚 0.9 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	362	357	351	357
引張強さ [MPa]	615	614	615	615
破断伸び [%]	28	28	28	28
n 値(2点法 2%-12%)	0.25	0.25	0.25	0.25

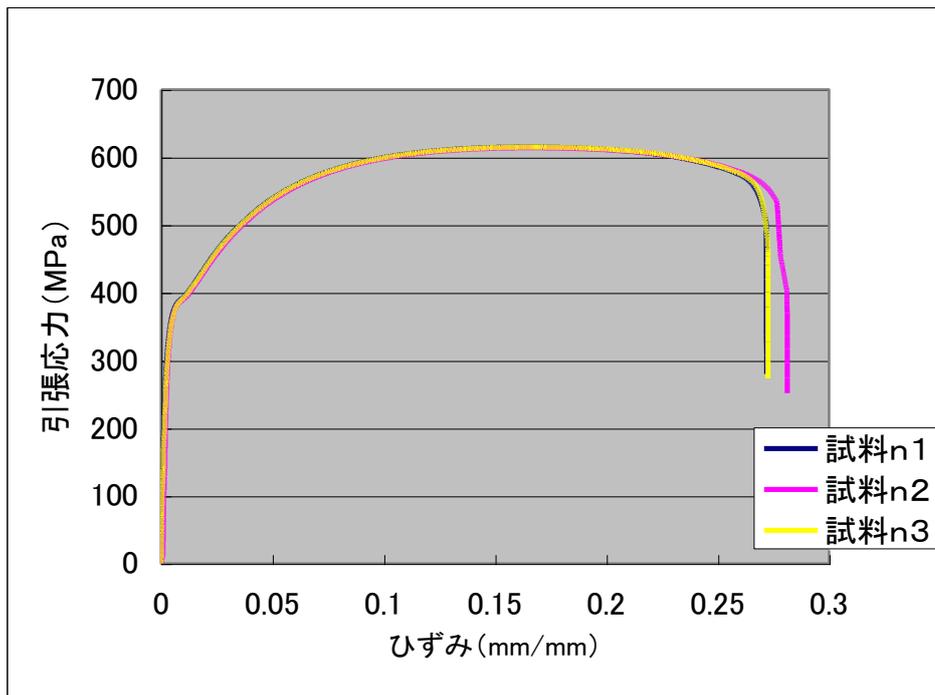


図 2.6.2.4 破断試験結果 (NSS WR-1 板厚 0.9 mm)

表 2.6.2.11 r 値試験 (NSS WR-1 板厚 0.9 mm) 付加ひずみ量 10%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r 0	1.13	1.15	1.13	1.14
r 45	0.99	1.01	0.99	1.00
r 90	1.20	1.27	1.21	1.23

平均塑性ひずみ比 : 1.1

表 2.6.2.12 弾性域の測定 (NSS WR-1 板厚 0.9 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	205	191	209	217	0.30	0.31	0.30	0.30
45° 試験片	223	210	218		0.29	0.29	0.28	
90° 試験片	222	222	224		0.30	0.31	0.30	

0° 試験片 No. 2 はグラフのカーブがおかしいため、平均から除外した。

(3-5) A3003-O 板厚 1.0 mm

表 2.6.2.13 破断試験と n 値試験 (A3003-O 板厚 1.0 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	55	56	55	55
引張強さ [MPa]	115	115	115	115
破断伸び [%]	38	39	39	39
n 値(2 点法 2%-20%)	0.19	0.19	0.19	0.19

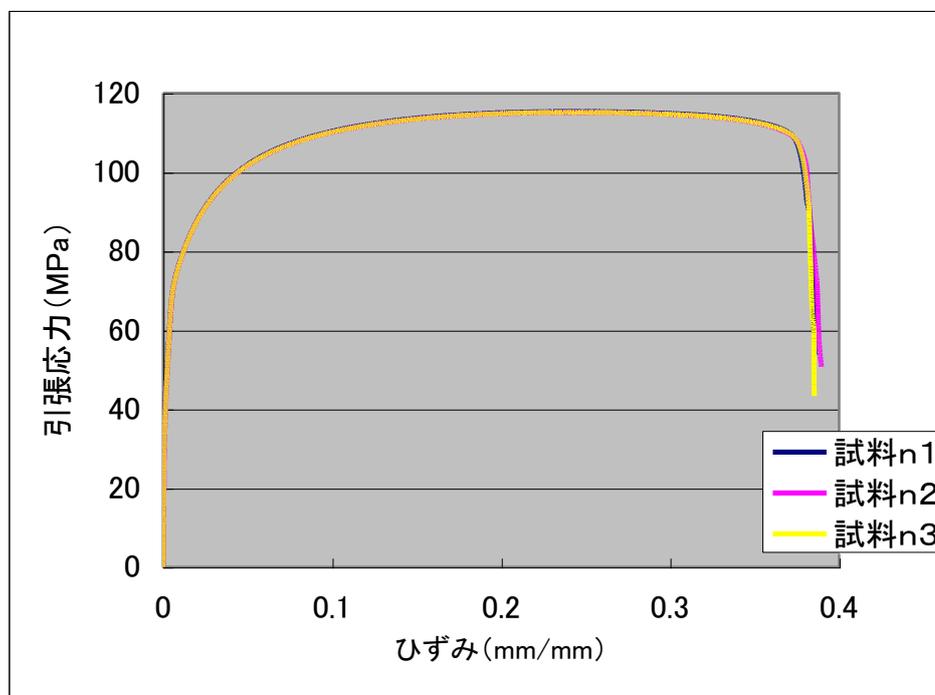


図 2.6.2.5 破断試験結果 (A3003-O 板厚 1.0 mm)

表 2.6.2.14 r 値試験 (A3003-O 板厚 1.0 mm) 付加ひずみ量 15%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r ₀	0.56	0.56	0.51	0.55
r ₄₅	0.81	0.80	0.80	0.80
r ₉₀	0.58	0.58	0.59	0.58

平均塑性ひずみ比 : 0.7

表 2.6.2.15 弾性域の測定 (A3003-O 板厚 1.0 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	76	75	77	73	0.33	0.33	0.33	0.33
45° 試験片	71	71	70		0.34	0.34	0.34	
90° 試験片	75	74	74		0.34	0.34	0.33	

(3-6) A3003-H14 板厚 1.0 mm

表 2.6.2.16 破断試験と n 値試験 (A3003-H14 板厚 1.0 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	150	150	150	150
引張強さ [MPa]	161	160	161	161
破断伸び [%]	9	9	8	9
n 値(2点法 0.5%-3%)	0.04	0.04	0.04	0.04

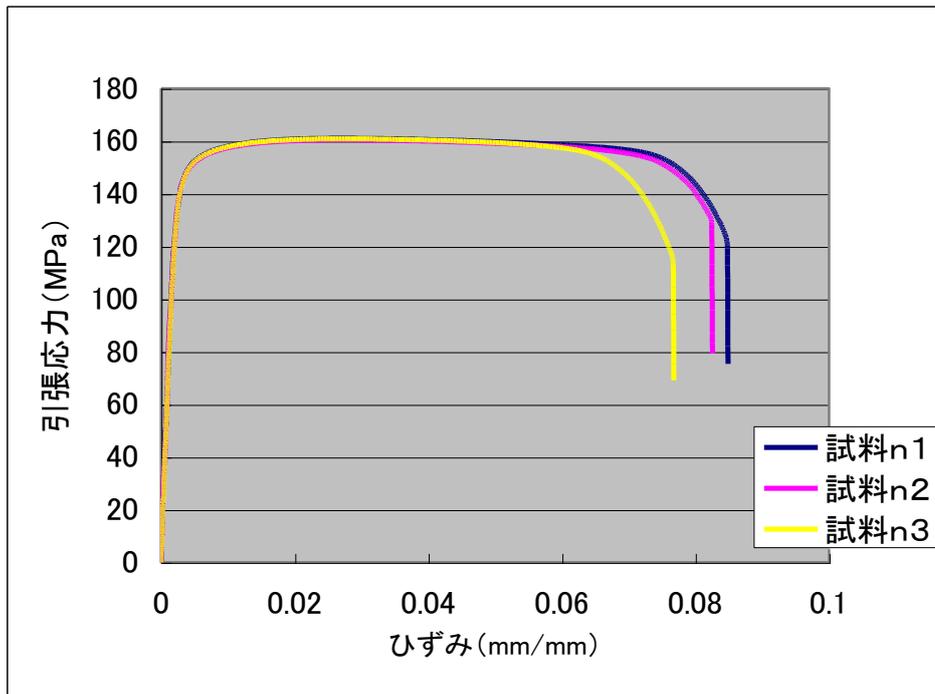


図 2.6.2.6 破断試験結果 (A3003-H14 板厚 1.0 mm)

伸びが少ないので、r 値は測定できなかった。

表 2.6.2.17 弾性域の測定 (A3003-H14 板厚 1.0 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	73	73	73	73	0.33	0.33	0.33	0.33
45° 試験片	72	72	72		0.34	0.34	0.34	
90° 試験片	73	73	74		0.33	0.33	0.33	

(3-7) A3003-H16 板厚 0.8 mm

表 2.6.2.18 破断試験と n 値試験 (A3003-H16 板厚 0.8 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	168	164	167	166
引張強さ [MPa]	180	178	178	179
破断伸び [%]	6	7	7	7
n 値(2点法 0.5%-2.5%)	0.04	0.04	0.04	0.04

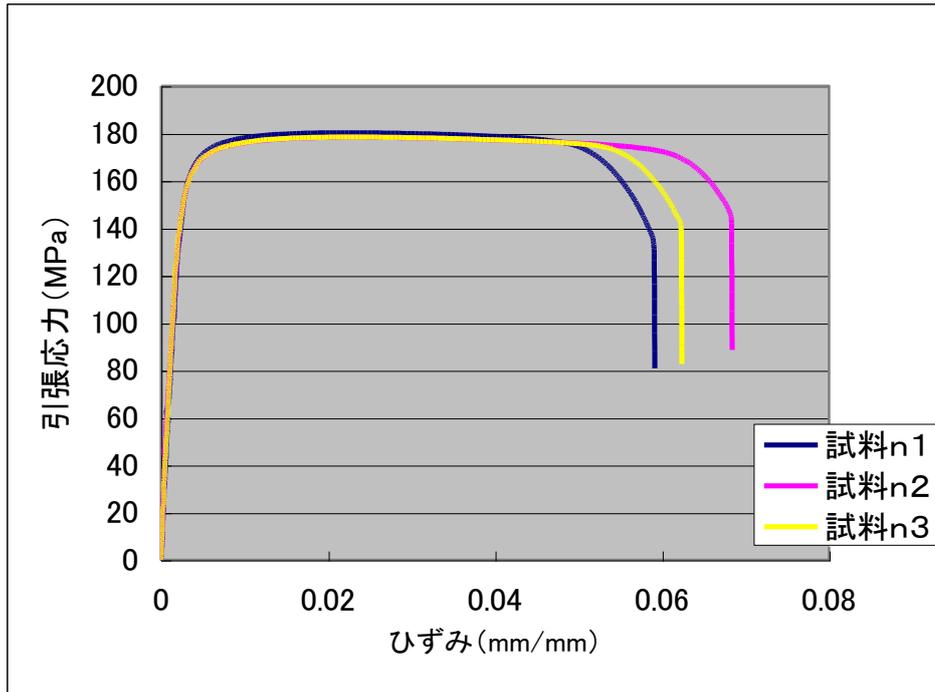


図 2.6.2.7 破断試験結果 (A3003-H16 板厚 0.8 mm)

伸びが少ないので、r 値は測定できなかった。

表 2.6.2.19 弾性域の測定 (A3003-H16 板厚 0.8 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	73	73	73	73	0.33	0.33	0.32	0.33
45° 試験片	72	72	72		0.34	0.34	0.34	
90° 試験片	73	73	74		0.32	0.33	0.33	

(3-8) A1050-O 板厚 1.0 mm

表 2.6.2.20 破断試験と n 値試験 (A1050-O 板厚 1.0 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	27	28	27	27
引張強さ [MPa]	77	79	77	78
破断伸び [%]	45	46	46	46
n 値(2 点法 2%-25%)	0.27	0.28	0.27	0.27

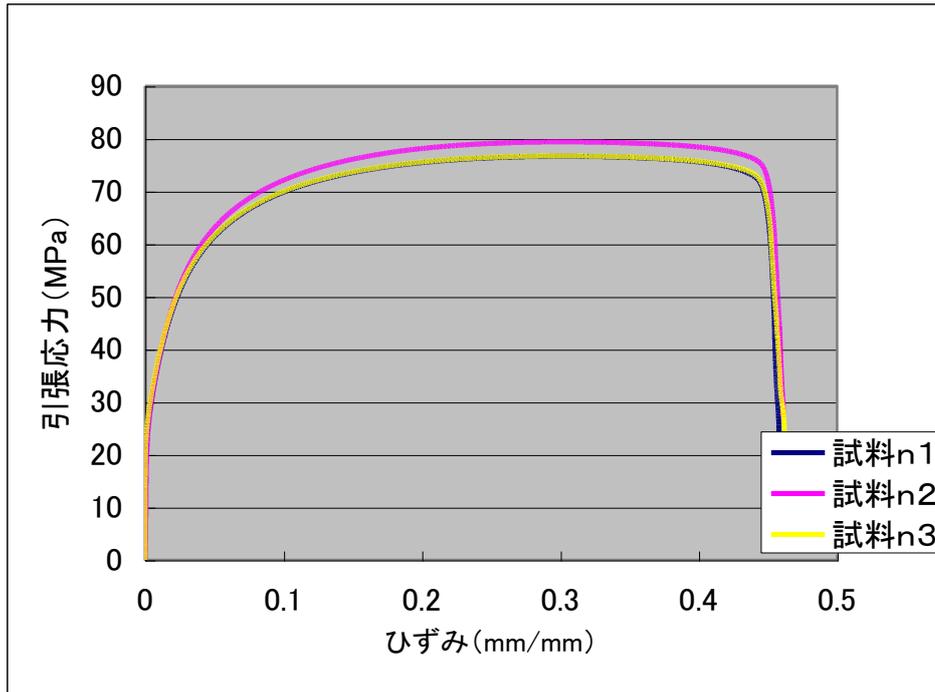


図 2.6.2.8 破断試験結果 (A1050-O 板厚 1.0 mm)

表 2.6.2.21 r 値試験 (A1050-O 板厚 1.0 mm) 付加ひずみ量 15%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r 0	0.78	0.78	0.76	0.77
r 45	0.68	0.70	0.68	0.68
r 90	1.00	1.04	1.00	1.01

平均塑性ひずみ比 : 0.8

表 2.6.2.22 弾性域の測定 (A1050-O 板厚 1.0 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	67	68	62	62	0.29	0.32	0.31	0.32
45° 試験片	64	66	52		0.31	0.33	0.31	
90° 試験片	×	55	62		0.33	0.32	0.33	

90° 試験片 No. 1 はグラフの曲線が不自然でヤング率の算出ができなかった。

(3-9) A1050-O 板厚 1.2 mm

表 2.6.2.23 破断試験と n 値試験 (A1050-O 板厚 1.2 mm)

	試料 n 1	試料 n 2	試料 n 3	平均
0.2%耐力 [MPa]	28	28	28	28
引張強さ [MPa]	80	78	80	80
破断伸び [%]	45	45	45	45
n 値(2点法 2%-25%)	0.27	0.27	0.27	0.27

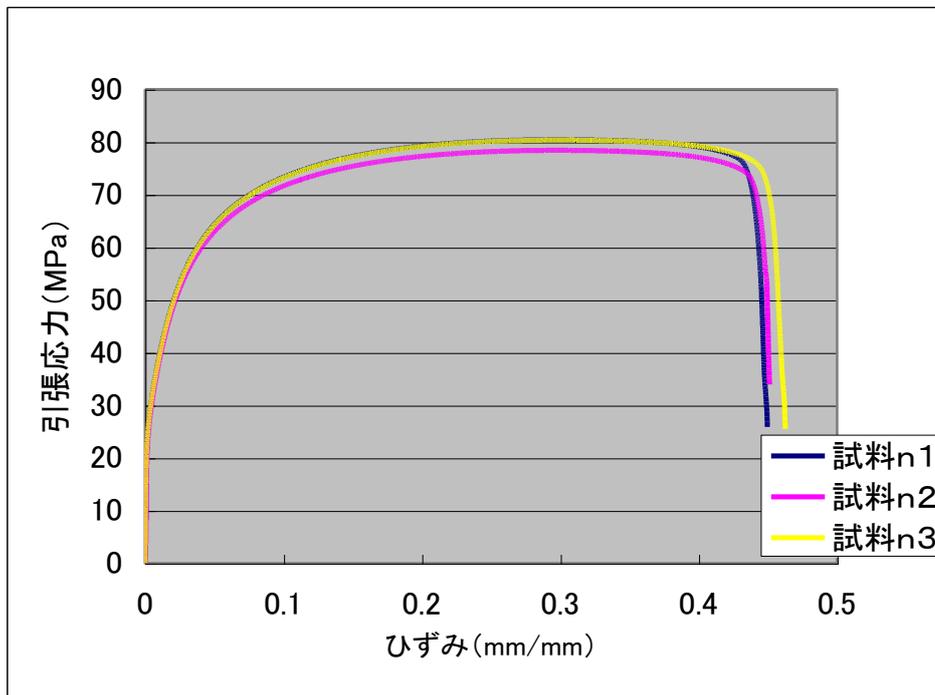


図 2.6.2.9 破断試験結果 (A1050-O 板厚 1.2 mm)

表 2.6.2.24 r 値試験 (A1050-O 板厚 1.2 mm) 付加ひずみ量 15%

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
r 0	0.79	0.89	0.78	0.82
r 45	0.65	0.65	0.65	0.65
r 90	1.04	1.05	1.06	1.05

平均塑性ひずみ比 : 0.8

表 2.6.2.25 弾性域の測定 (A1050-O 板厚 1.2 mm)

	ヤング率 [GPa]				ポアソン比			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
0° 試験片	62	62	44	63	0.33	0.33	0.32	0.33
45° 試験片	66	60	67		0.32	0.33	0.33	
90° 試験片	63	61	67		0.33	0.34	0.33	

0° 試験片 No. 3 はヤング率の値が適当でないので、平均から除外した。

2.6.4 成形実験結果測定

(1)目的

シミュレーション結果との比較を行うため、成形実験にて成形した絞り加工品およびコイニング成形品について、非接触による三次元形状測定を行う。

(2)方法

図 1 に示す三次元測定機（ミットヨ製 191210+非接触測定プローブ Metris）を用いて、成形実験にて成形した絞り加工品およびコイニング成形品の、非接触三次元形状測定を行った。非接触測定は、測定対象物が鏡面の場合ノイズが発生しやすいため、前処理として白色のパウダーをかけた後、測定を行った。



図 3.6.3.1 非接触測定機外観

(3)結果

(3-1)から(3-15)に各条件での前処理後の被測定物と測定結果を示す。

非接触形状測定は、レーザによる三角測量の原理を利用した測定となるため、その特徴として、円筒内部の計測出来ない部分の発生や円筒側面の前処理の色の不均一から起こるうねり形状の発生が確認できた。本研究での非接触形状測定の主目的は、各絞り工程での端面形状の確認であり、端面においては、うねり等の測定不良は起こらなかった。ただし、同様に非接触測定の特徴として、エッジ部にはノイズが入りやすいこともあり、結果のシミュレーションとの比較には慎重を期す必要があることが判明した。

(3-1) 円筒絞り 1DR



図 3.6.3.2 円筒絞り 1DR 前処理後



図 3.6.3.3 円筒絞り 1DR 測定結果

(3-2) 円筒絞り 2DR



図 3.6.3.4 円筒絞り 2DR 前処理後



図 3.6.3.5 円筒絞り 2DR 測定結果

(3-3) No.1 ラフトリム



図 3.6.3.6 No.1 ラフトリム 前処理後



図 3.6.3.7 No.1 ラフトリム 測定結果

(3-4) 円筒絞り 3DR



図 3.6.3.8 円筒絞り 3DR 前処理後

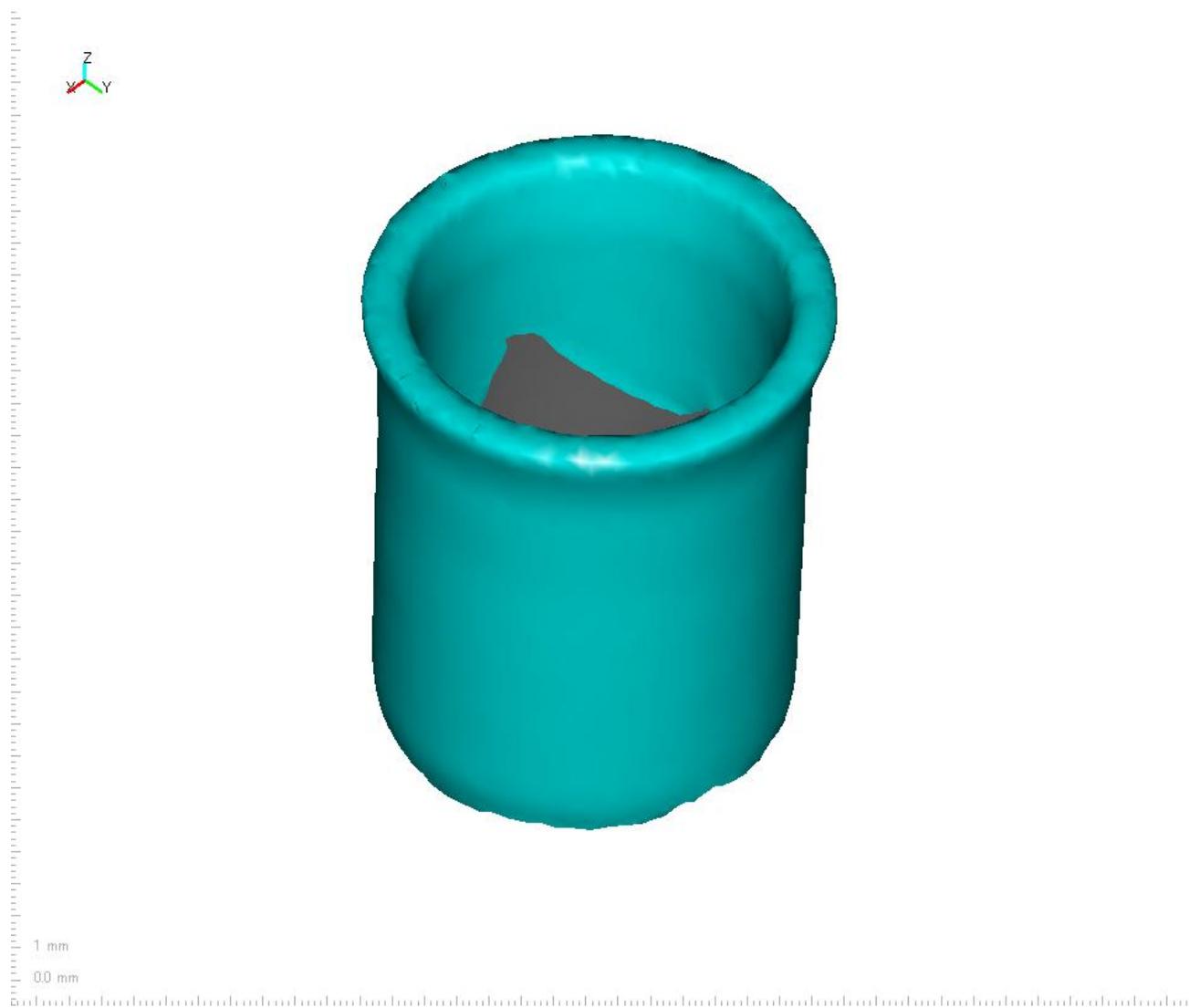


図 3.6.3.9 円筒絞り 3DR 測定結果

(3-5) 円筒絞り 4DR



図 3.6.3.10 円筒絞り 4DR 前処理後

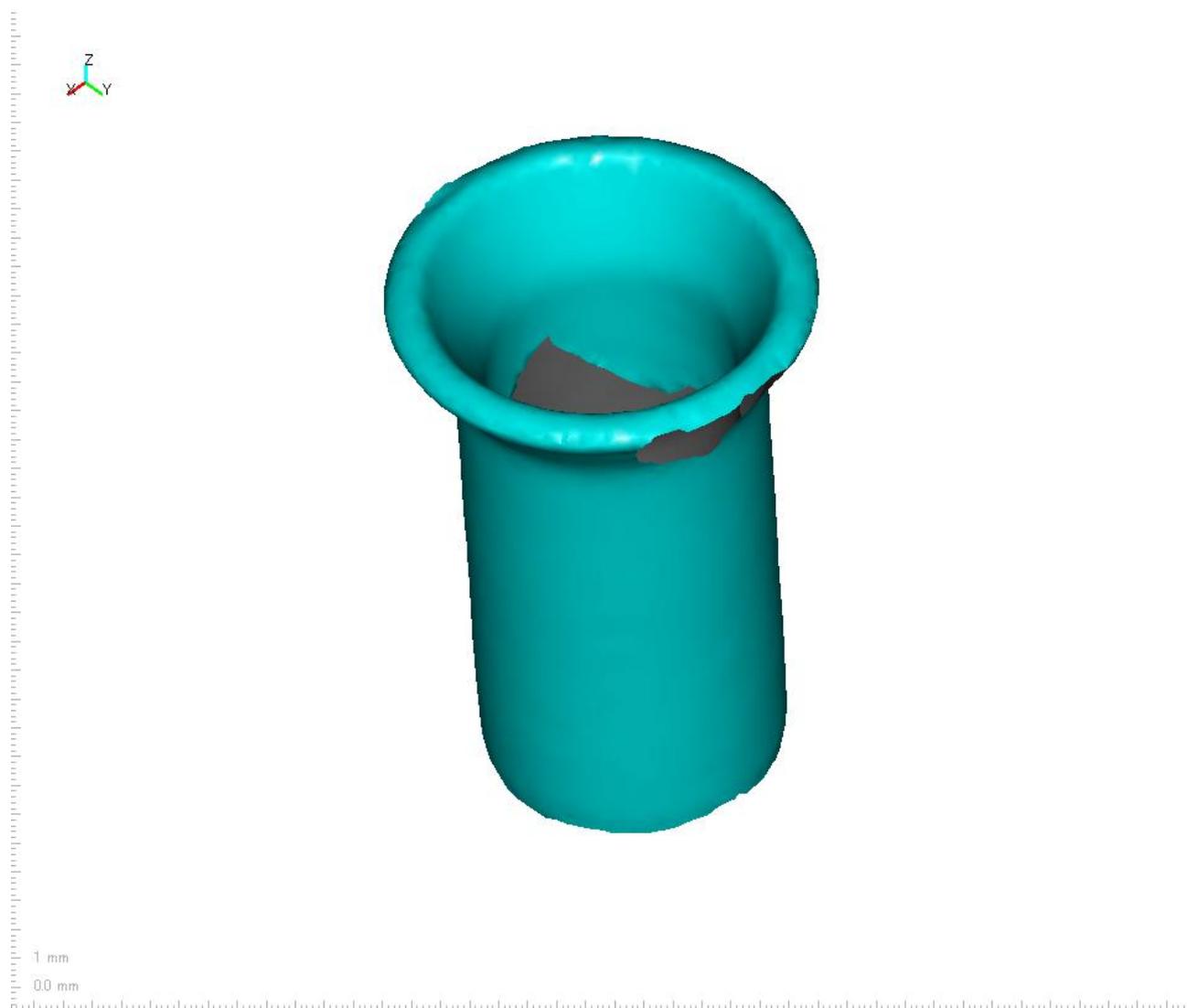


図 3.6.3.11 円筒絞り 4DR 測定結果

(3-6) 円筒絞り 5DR



図 3.6.3.12 円筒絞り 5DR 前処理後



図 3.6.3.13 円筒絞り 5DR 測定結果

(3-7) No.2 ラフトリム



図 3.6.3.14 No.2 ラフトリム 前処理後



図 3.6.3.15 No.2 ラフトリム 測定結果

(3-8) 円筒絞り 6DR



図 3.6.3.16 円筒絞り 6DR 前処理後



図 3.6.3.17 円筒絞り 6DR 測定結果

(3-9) 円筒絞り ϕ 8.0DR



図 3.6.3.18 円筒絞り ϕ 8.0DR 前処理後



図 3.6.3.19 円筒絞り ϕ 8.0DR 測定結果

(3-10) No.3 ラフトリム



図 3.6.3.20 No.3 ラフトリム 前処理後



図 3.6.3.21 No.3 ラフトリム 測定結果

(3-11) 円筒絞り 7DR



図 3.6.3.22 円筒絞り 7DR 前処理後

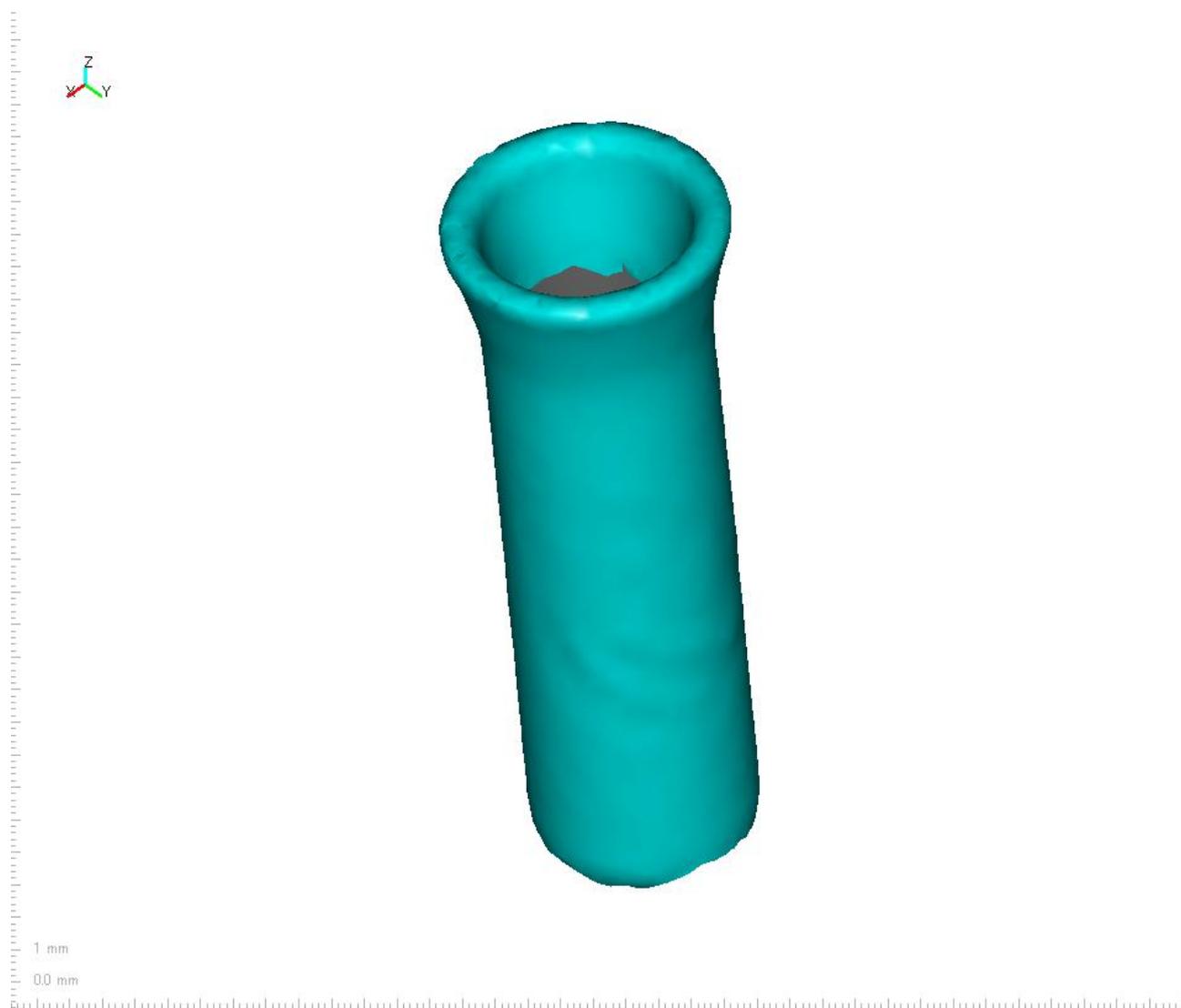


図 3.6.3.23 円筒絞り 7DR 測定結果

(3-12) 円筒絞り ϕ 6.3DR



図 3.6.3.24 円筒絞り ϕ 6.3DR 前処理後



図 3.6.3.25 円筒絞り ϕ 6.3DR 測定結果

(3-13) No.4 ラフトリム



図 3.6.3.26 No.4 ラフトリム 前処理後



図 3.6.3.27 No.4 ラフトリム 測定結果

(3-14) 円筒絞り 8DR



図 3.6.3.28 円筒絞り 8DR 前処理後



図 3.6.3.29 円筒絞り 8DR 測定結果

(3-15) コイニング

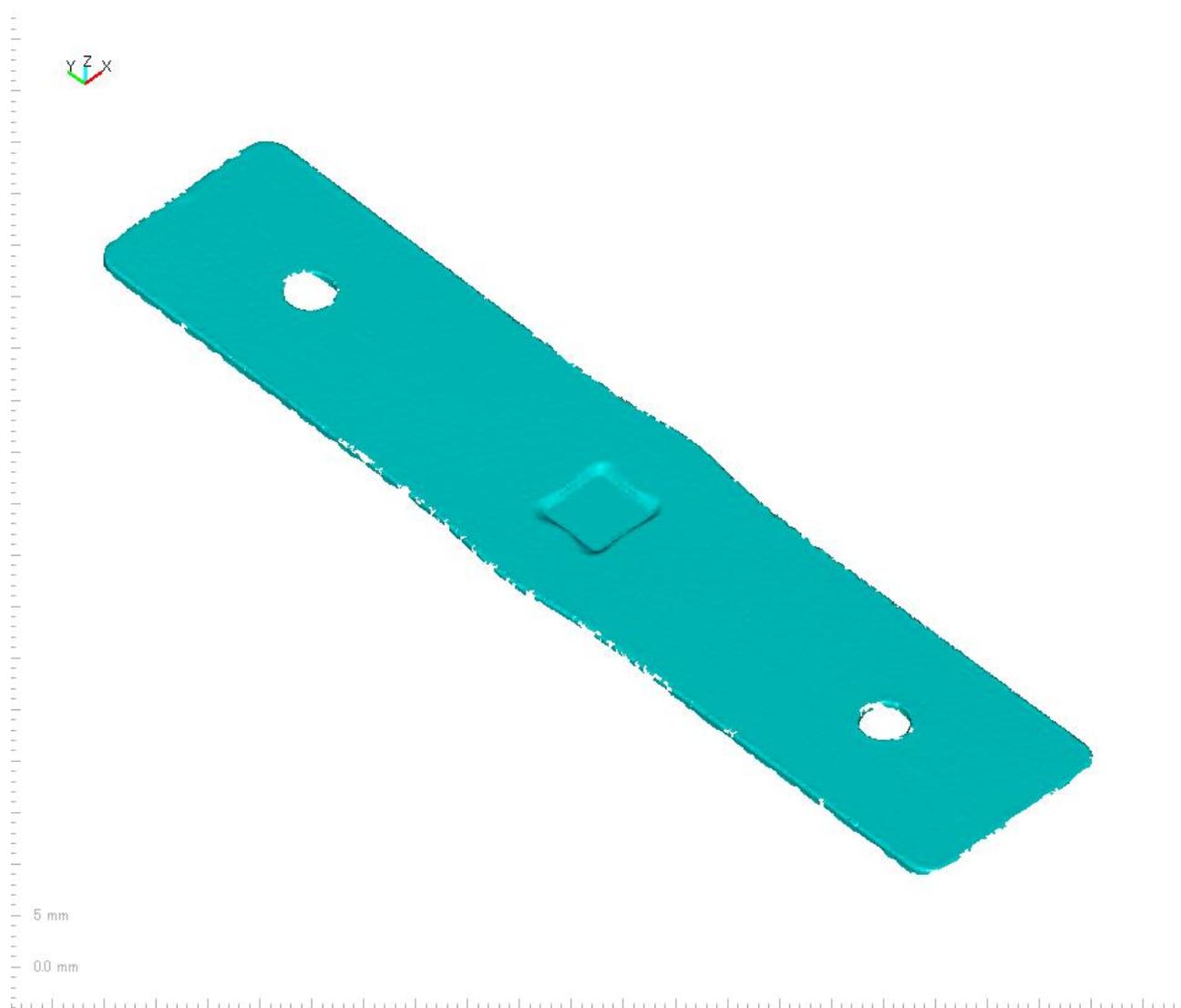


図 3.6.3.30 コイニング 測定結果

2.6.5 シミュレーションとの比較および検証

(1)目的

成形実験とシミュレーションとの比較検討を行い、解析精度の向上を図ると共に、シミュレーションを活用して成形条件の最適化を実施する。

(2)比較検証概要

測定結果とシミュレーション解析結果の断面を比較し、各断面の板厚を検証する。

(3-1) 円筒絞り解析比較

- ① 実験に使用される材料特性値
シミュレーション解析条件

材質：SUS420-J2 t=1.0mm

要素タイプ：ソリッド 2層

節点数：1031

要素数：975

平均節点間隔：4.58mm

材料特性値

ヤング率：213000.00

初期降伏点[MPa]：374.65

ポアソン比：0.29

密度[g/cm³]：7.86

応力ひずみ曲線近似式 Swift

A[MPa]：1262.00

ϵ_0 : 0.0109

n 値 : 0.265

材料異方性[r 値]

r_00 : 0.85

r_45 : 0.94

r_90 : 1.06

平均 : 0.95

② 加工条件設定

摩擦係数

下型パンチ : 0.05

下型ホルダー : 0.01

上型ダイス : 0.01

上型ロックアウト : 0.05

下型クッション圧

下型ホルダー : 12.5ton (1/4 解析・スケール 10 倍)

実加工 : 0.5ton

③ 第 1 絞りシミュレーション結果と加工製品の板厚測定結果の板厚を比較し解析精度について検証した。

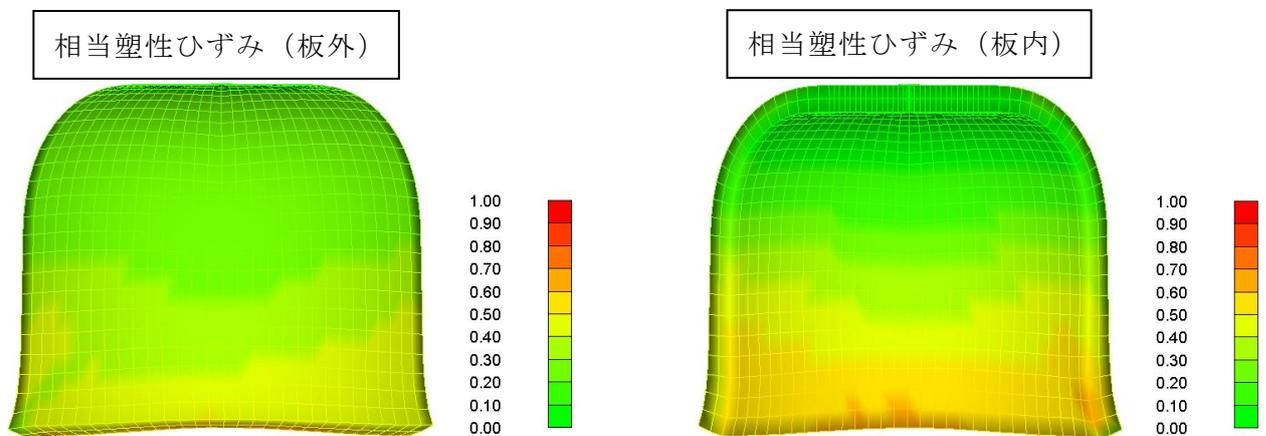


図 2.6.4.1 第 1 絞り解析結果

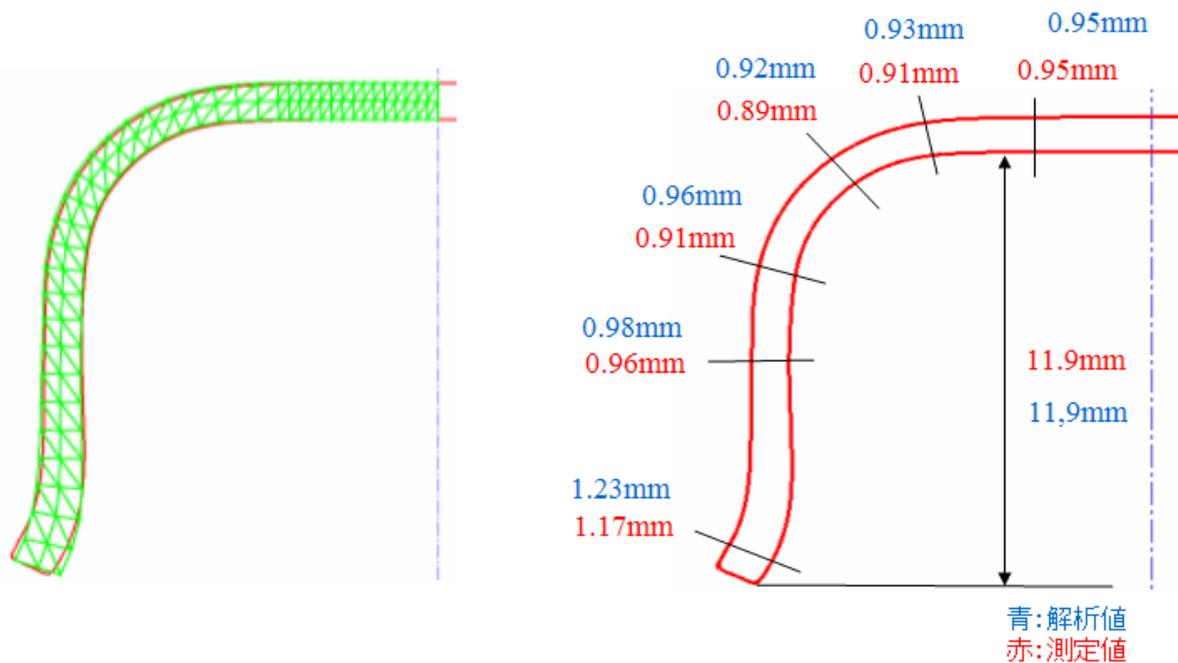


図 2.6.4.2 第 1 絞り板厚比較

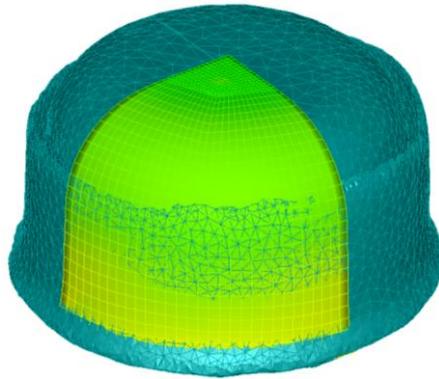


図 2.6.4.3 第 1 絞り非接触測定器測定結果

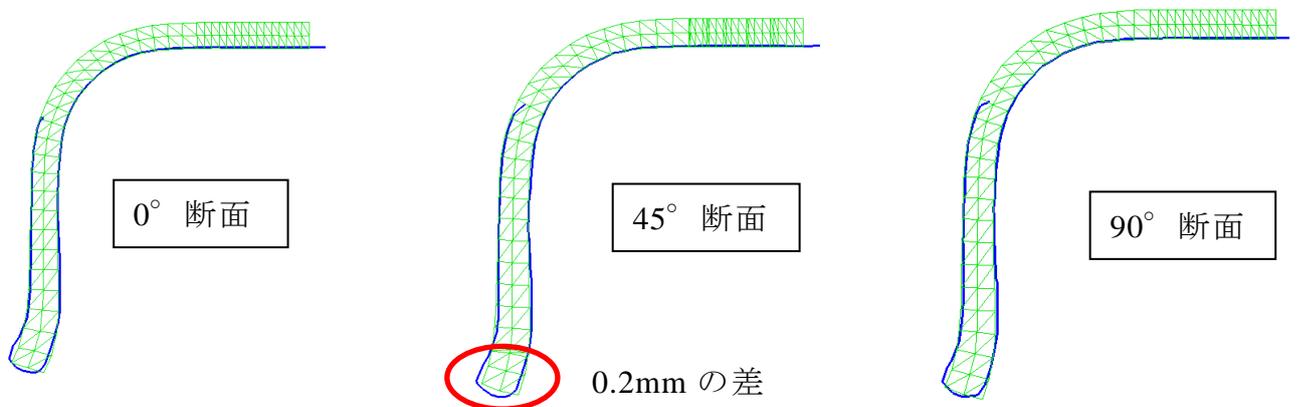


図 2.6.4.4 第 1 絞り非接触測定器断面比較

板厚については、最大で 0.06mm(5%)の差が出たが、解析の誤差の範囲内と考える。襟の部分については、0.3mm 程度測定結果の方が外側に出ており、スプリングバック量の誤差と思われる。正規材質 SUS420-J2 t=1.0 で行った結果、解析結果との誤差は 5%以内で収まっている事を確認した。

また非接触式測定器での測定データを CADに取り込み位置合せをした。その CADデータを Post にて読み込める STL 形式にて出力し、Post 上で比較を行った。

非接触式測定器での測定データは測定不可部分がある為、形状が部分的に欠落している。各断面にて比較を行った。

45° 断面部にて 0.2mm の差があるが、0° 及び 90° 断面では、非接触式の測定誤差を考えれば、ほぼ一致していると判断できる。

④ 第2絞りシミュレーション結果と加工製品の板厚測定結果の板厚を比較し解析精度について検証した。

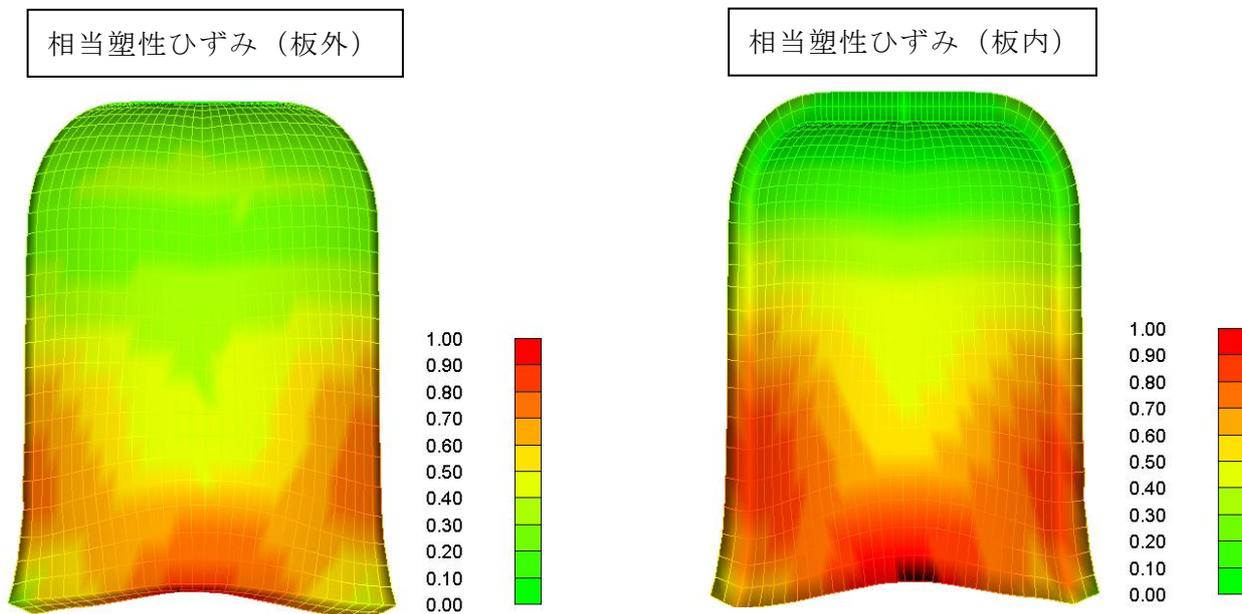


図 2.6.4.5 第2絞り解析結果

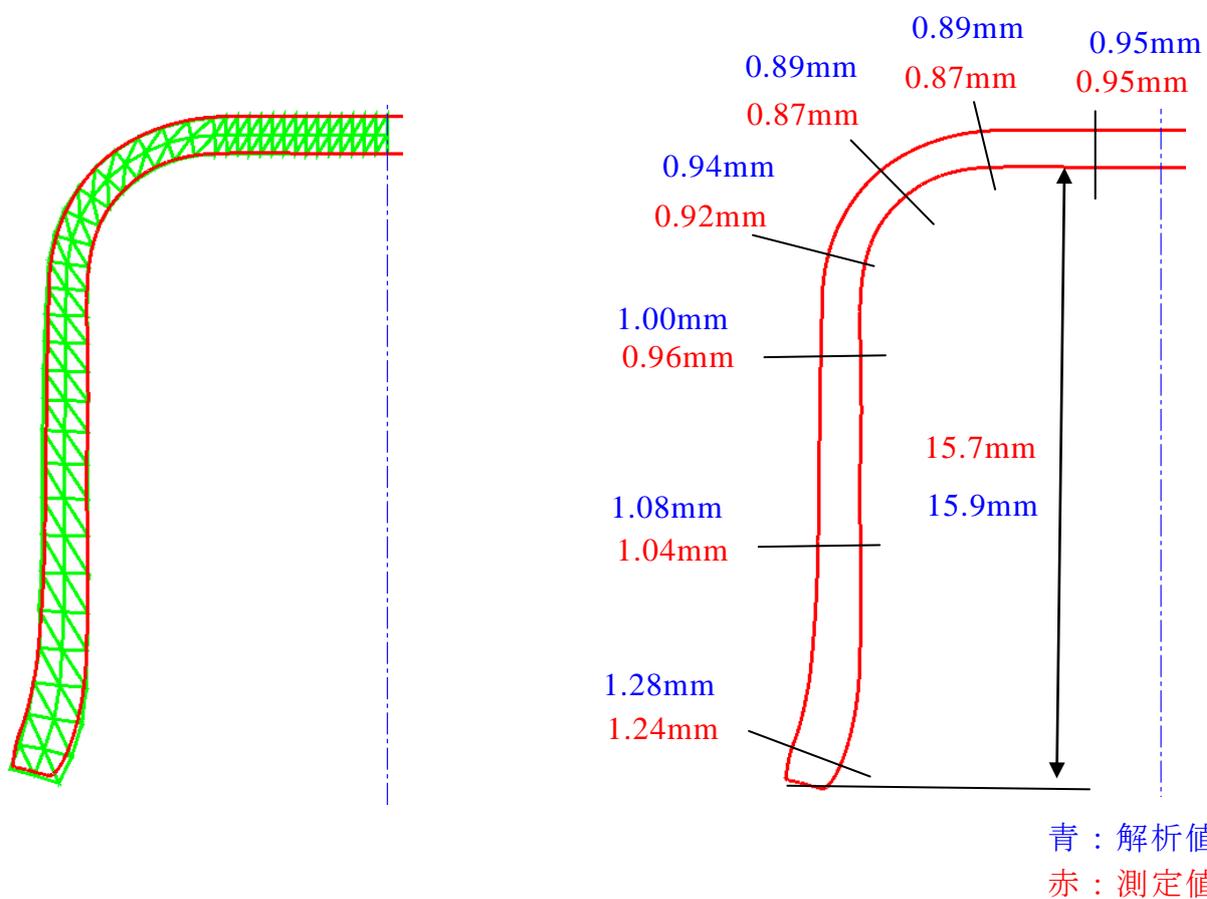


図 2.6.4.6 第2絞り板厚比較

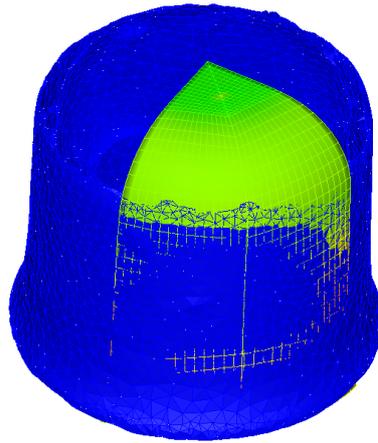


図 2.6.4.7 第 2 絞り非接触測定器測定結果

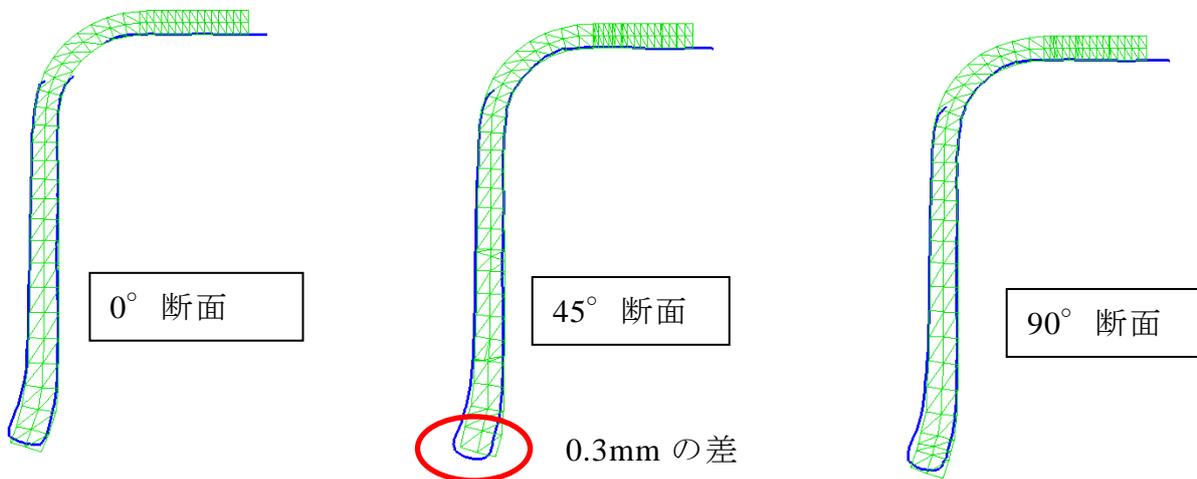


図 2.6.4.8 第 2 絞り非接触測定器断面比較

板厚については、最大で 0.04mm(約 5%)の差が出たが、解析の誤差の範囲内と考えることが出来る。また、襟の部分の形状についても、ほぼ一致し、製品深さについても解析結果と測定結果で 0.2mm の差に収まった。測定は接触式の測定器にて測定している為、ピン角部がしっかり表現できないために R がついてしまう。解析結果は、元の材料メッシュがピン角なのでそのままピン角で表現されている。

第 1 絞り同様、45° 断面部にて 0.3mm の差があるが、0° 及び 90° 断面では、非接触式の測定誤差を考えれば、ほぼ一致していると判断できる。

(3-2) コイニング解析比較

① 実験に使用される材料特性値

シミュレーション解析条件

材質：A3003-O材 t=1.0mm

要素タイプ：ソリッド 2層

節点数：1996

要素数：1909

平均節点間隔：4.08mm

材料特性値

ヤング率：73000.00

初期降伏点[MPa]：54.71

ポアソン比：0.33

密度[g/cm³]：2.62

応力ひずみ曲線近似式 Swift

A[MPa]：194.23

ϵ_0 : 0.0020

n 値 : 0.199

材料異方性[r 値]

r₀₀ : 0.55

r₄₅ : 0.80

r₉₀ : 0.58

平均 : 0.68

② 加工条件設定

摩擦係数

上型パンチ : 0.13

上型ホルダー : 0.13

下型ダイス : 0.13

下型クッション圧

上型ホルダー：0.15ton/0.25ton/0.35ton にて解析

- ③ コイニング(つぶし)のシミュレーション結果と加工製品の測定結果を比較し解析精度について検証した。

コイニング部のメッシュサイズ

XY 方向 2.0mm

Z 方向 1.4mm(7層)

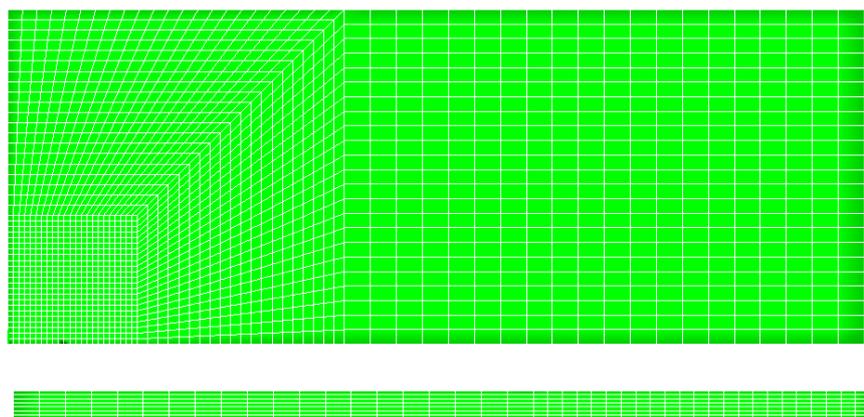


図 2.6.4.9 コイニング材料メッシュ

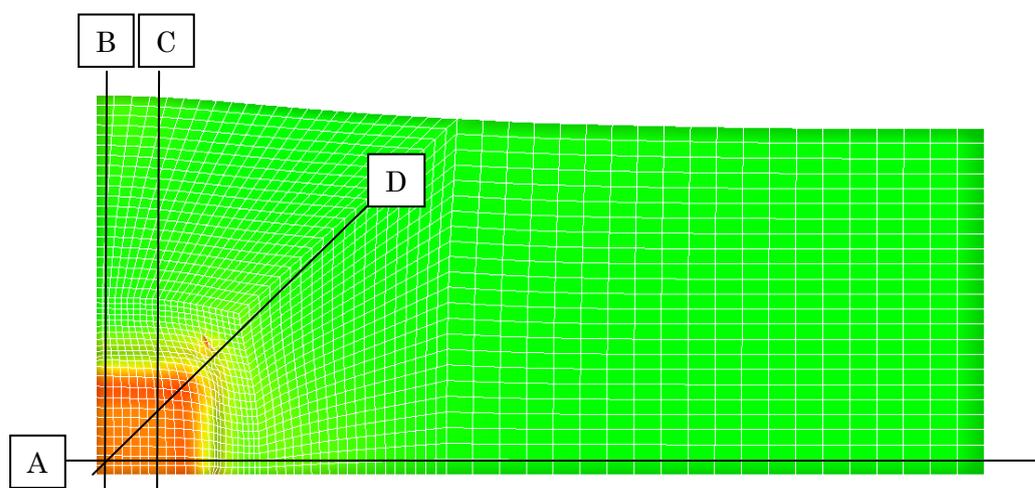


図 2.6.4.10 比較断面位置

A・D 各断面にて、シミュレーション解析結果と非接触式測定器での測定データと比較し、解析精度を検証する。

④-1 上型パット クッション圧：0.15ton での比較

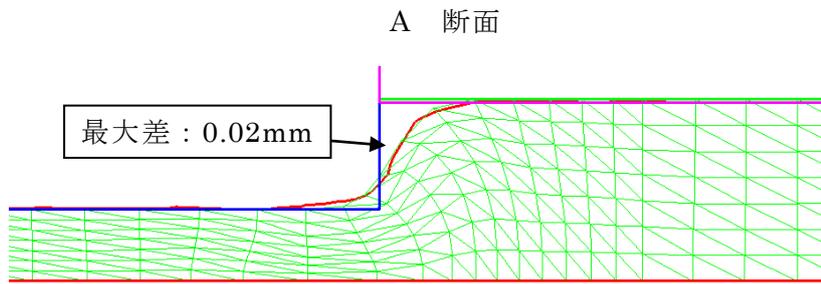


図 2.6.4.11 クッション圧 0.15ton A 断面

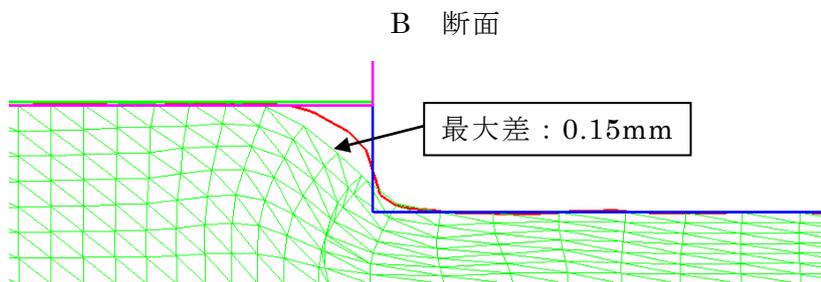


図 2.6.4.12 クッション圧 0.15ton B 断面

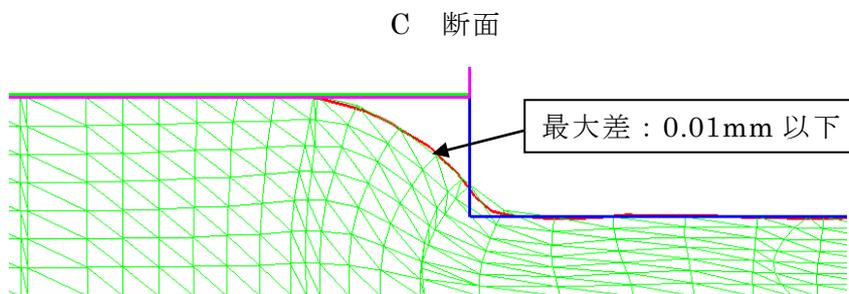


図 2.6.4.13 クッション圧 0.15ton C 断面

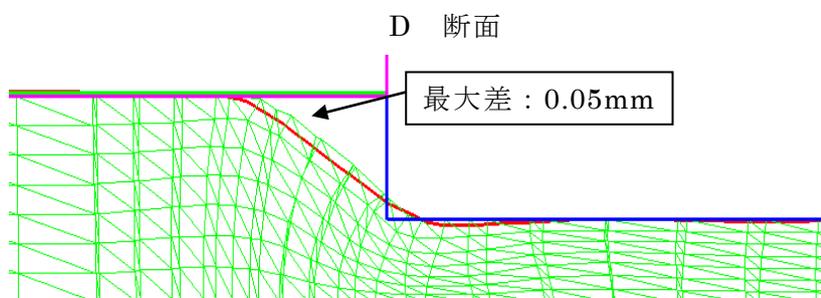


図 2.6.4.14 クッション圧 0.15ton D 断面

④-2 上型パット クッション圧：0.25ton での比較

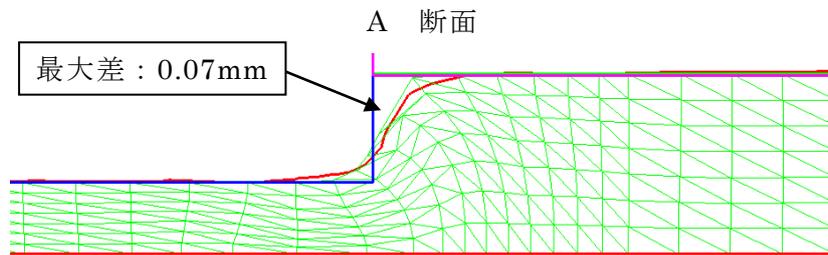


図 2.6.4.15 クッション圧 0.25ton A断面

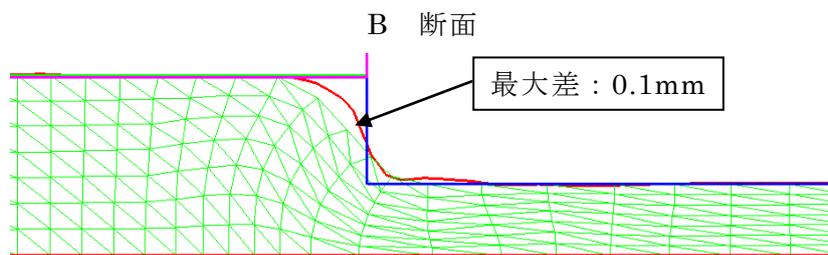


図 2.6.4.16 クッション圧 0.25ton B断面

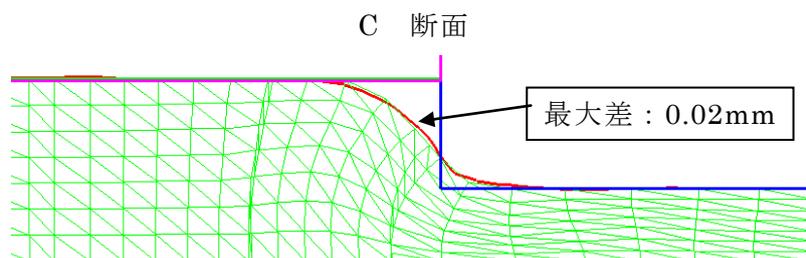


図 2.6.4.17 クッション圧 0.25ton C断面

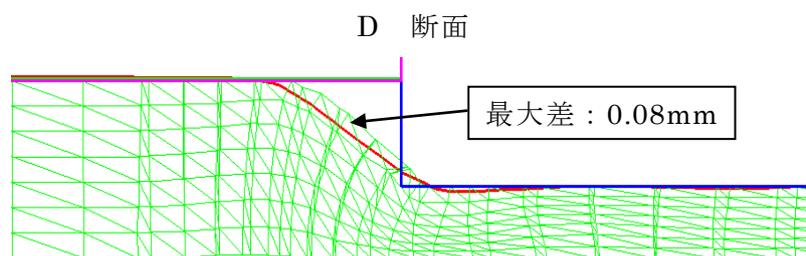


図 2.6.4.18 クッション圧 0.25ton D断面

④-3 上型パット クッション圧：0.35ton での比較

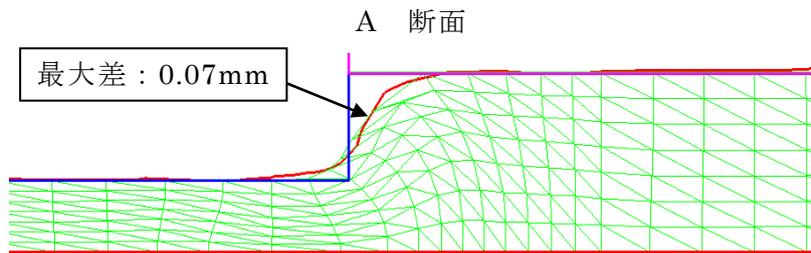


図 2.6.4.15 クッション圧 0.35ton A断面

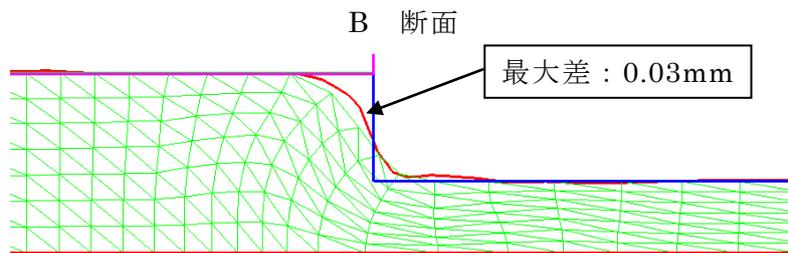


図 2.6.4.16 クッション圧 0.35ton B断面

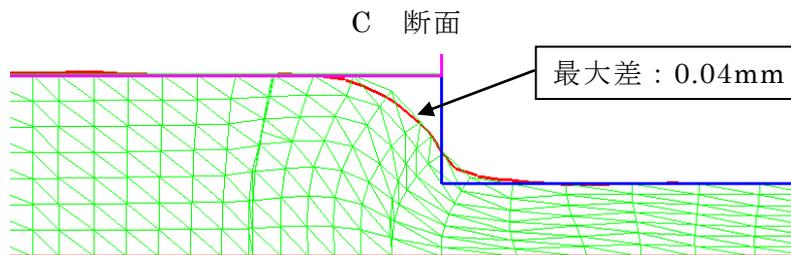


図 2.6.4.17 クッション圧 0.35ton C断面

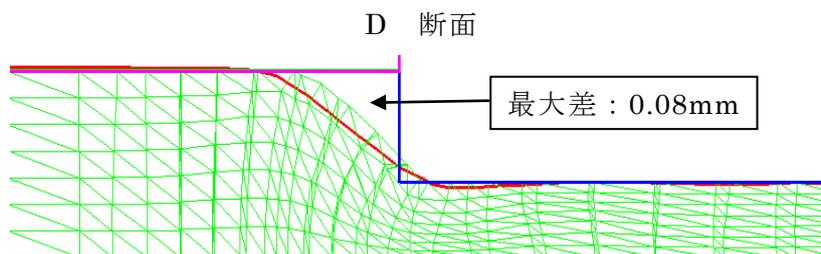


図 2.6.4.18 クッション圧 0.35ton D断面

④-4 材料流出 外形ライン比較

クッション圧 0.15ton

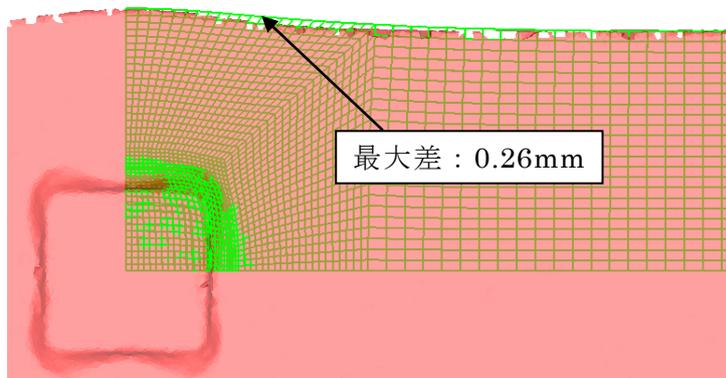


図 2.6.4.19 クッション圧 0.15ton 外形比較

クッション圧 0.25ton

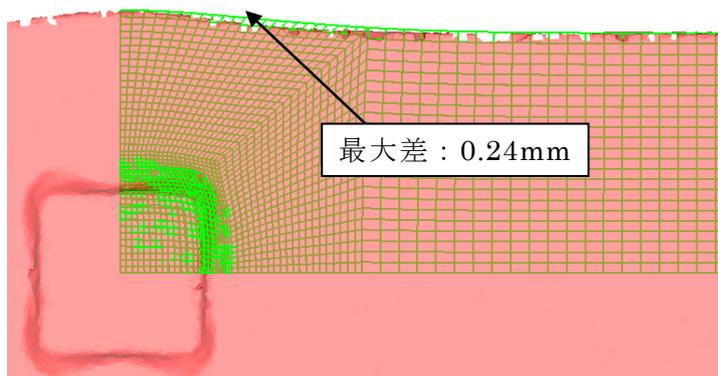


図 2.6.4.20 クッション圧 0.25ton 外形比較

クッション圧 0.35ton

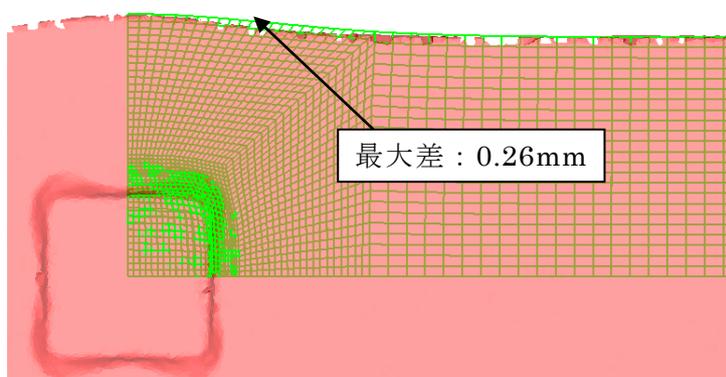


図 2.6.4.21 クッション圧 0.35ton 外形比較

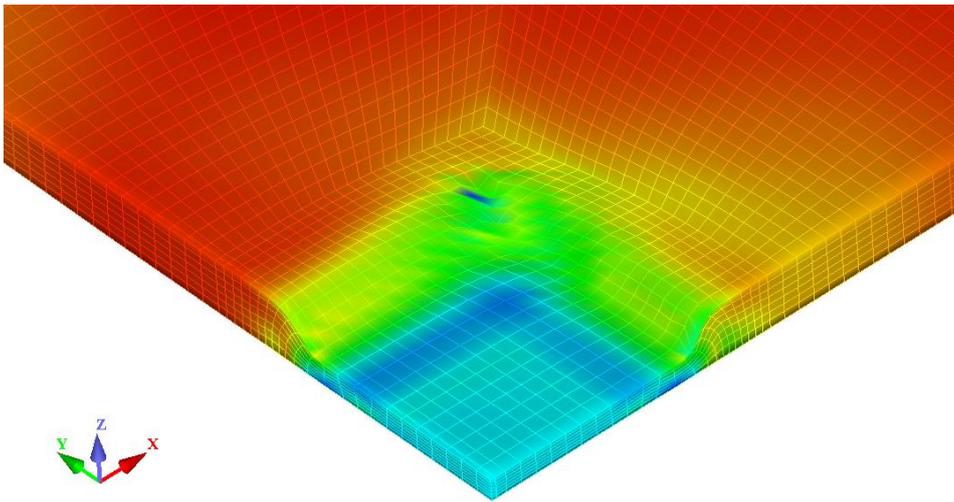


図 2.6.4.22 解析結果（相当塑性歪）

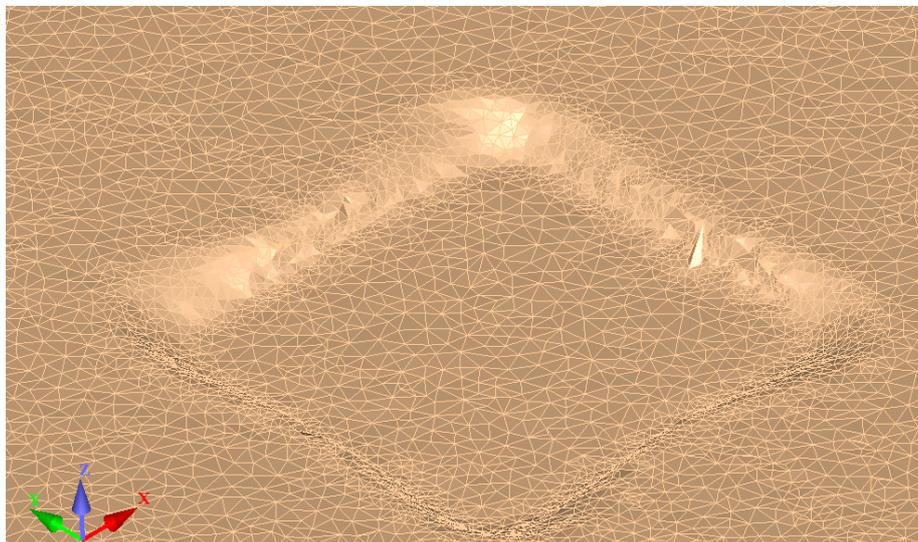


図 2.6.4.23 非接触式測定器 測定結果（STL データ）

最大平均差

クッション圧 0.15ton	:	0.58mm	(5.8%)
クッション圧 0.25ton	:	0.68mm	(6.8%)
クッション圧 0.35ton	:	0.55mm	(5.5%)

図 2.6.4.22 と図 2.6.4.23 を比較すると、センター付近に近いとコイニング部の立壁が 90 度に近くなるが、45 度断面方向では形状のダレが大きい。

材料の流入及び変形形状は、解析結果と非接触測定器で近似している。

断面比較による、材料流出及び変形形状の差から解析精度は 7%以内で収まっていることを確認した。また、3 パターンのクッション圧で解析比較を行ったが、実際の実加工のクッション圧 0.15ton で良い結果が得られた。

2.7 公設試と連携したサービス実験、ユーザによる検証

2.7.1 実験および評価方法の検討

実験および評価については、下記の項目を実施することとした。

- ・ユーザーによる評価の実施
- ・外部評価者による評価の実施

評価方法として、他の市販のプログラムとの比較により実施することとした。

評価対象のプログラムは下記とした。

- ・CAEFEM (FEMAP) (SIMENS 社製)
- ・ABAQUS (Dassault Systems 社製)

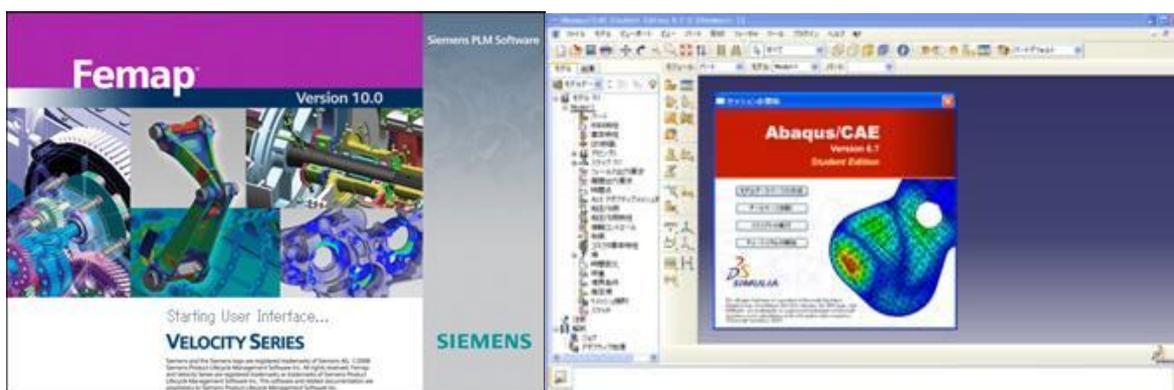


図 2.7.1.1 CAEFEM (FEMAP) 起動画面

図 2.7.1.2 ABAQUS 起動画面

CAEFEM (FEMAP) については、本プロジェクト実施のメンバーにより、主に使い勝手の評価・比較を行い、ABAQUS については、使い勝手および解析機能、条件設定機能、入力機能、結果表示機能等、全体的な評価・比較を行った。

また、ユーザーによる評価では、機能が豊富で非線形弾塑性解析が可能な ABAQUS のみを使用し、今回の開発成果との比較を実施することとした。

(1) 評価方法

今回開発した成果の評価については、汎用プログラムである ABAQUS と今回の開発プログラムの双方を、メーカーの金型設計者など計 6 名のモニターに体験させ、(3)の評価項目についてモニターから得られた 5 段階評価による採点結果の比較分析を行った。なお評価作業についてはインターネットに接続せず、スタンドアロンの環境にて実施した。

(2) 評価項目

評価項目は下記の評価シートに記載された通りである。

■シミュレーション支援室に関する評価シート

・日時: 平成22年3月 日

・評価担当

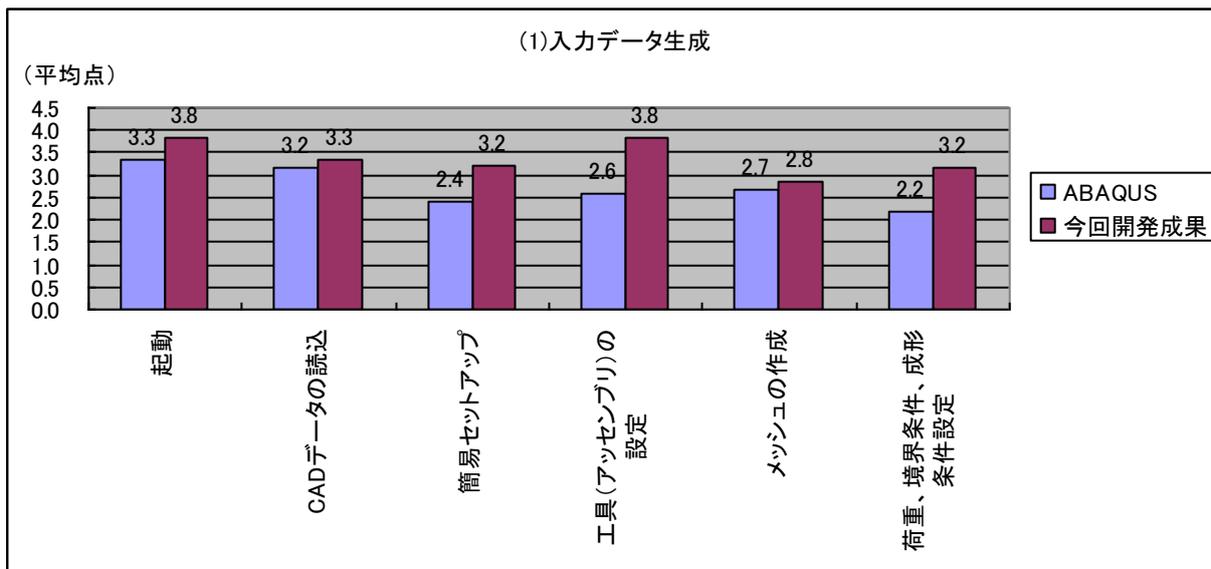
	汎用プログラム(ABAQUS)					今回開発成果					コメント
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	
1. 機能	良い		普通		悪い	良い		普通		悪い	
(1) 入力データ生成											
・起動											
・CADデータの読込											
・プランク予測											
・簡易セットアップ											
・工具(アッセンブリ)の設定											
・メッシュの作成											
・荷重、境界条件、成形条件設定											
(2) 実行設定											
・ジョブの設定、実行の設定											
・多工程の解析											
・材料特性の登録											
(3) 解析時間											
(4) 結果表示											
・起動											
・解析結果データ読込											
・板厚等のコンター表示											
・シワ予測											
・ワレ予測											
・アニメーション表示											
・断面標示											
(5) その他											
・材料ライブラリーの内容											
・ネットワーク関連の機能											
2. ユーザビリティ											
・メニュー標示											
・拡大、縮小、回転等のマウス利用											
・画面配置、デザイン等											
・設定の複雑さのレベルについて											
・コマンドの豊富さのレベルについて											
・動作の速さ											

2.7.2 評価結果

① 機能

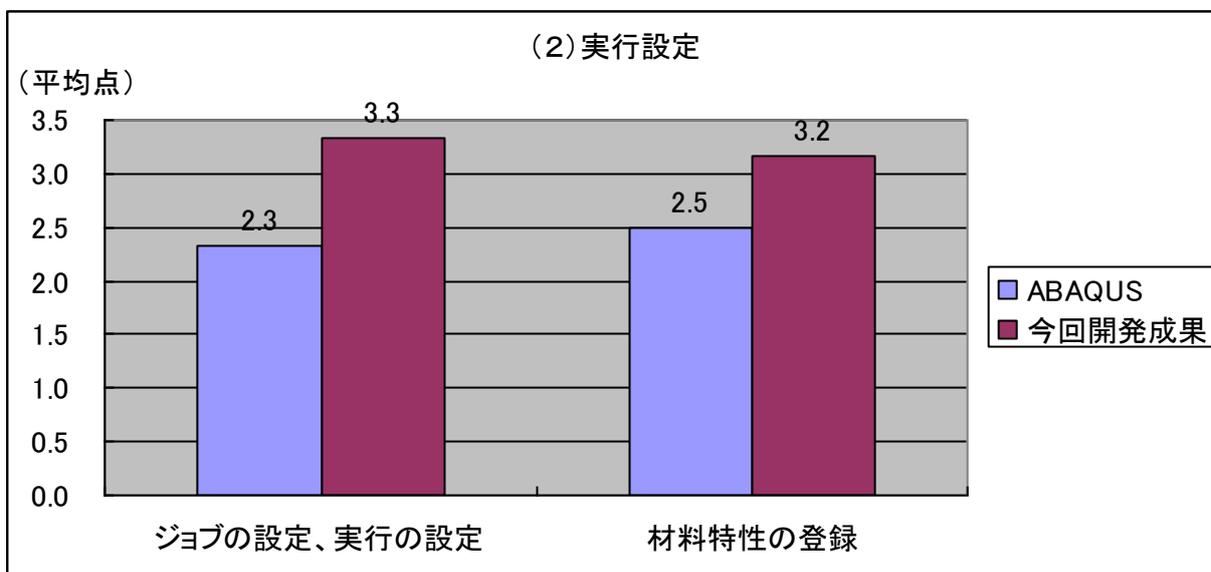
a) 入力データ生成

入力データ生成について、「起動」、「CADデータの読込」、「簡易セットアップ」、「工具（アッセンブリ）の設定」、「メッシュの作成」、「荷重、境界条件、成形条件設定」の6点についてモニターより評価を得た。ABAQUSと今回開発成果に対する評価の平均点を比較すると、いずれの項目も今回開発成果がABAQUSを上回っており、中でも「工具（アッセンブリ）の設定」については今回開発成果がABAQUSを平均点で1.2点と大きく上回っている。



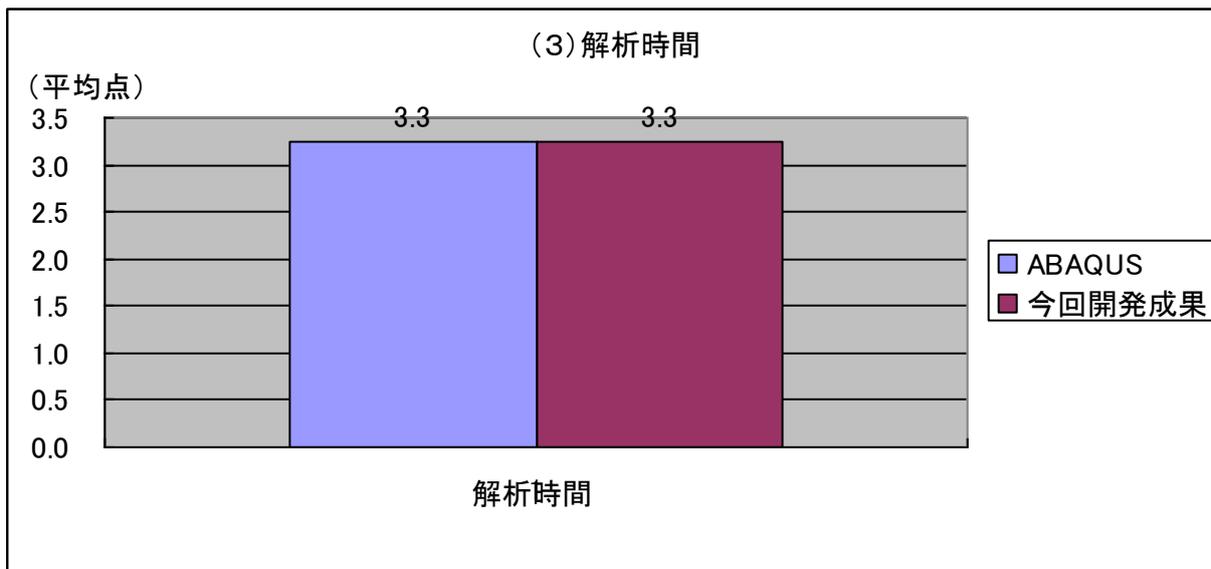
b)実行設定

実行設定については「ジョブの設定、実行の設定」、「材料特性の登録」の2点についてモニターより評価を得た。ABAQUS と今回開発成果に対する評価の平均点を比較すると、入力データ生成と同様にいずれの項目も今回開発成果は ABAQUS よりも高い評価を得た。



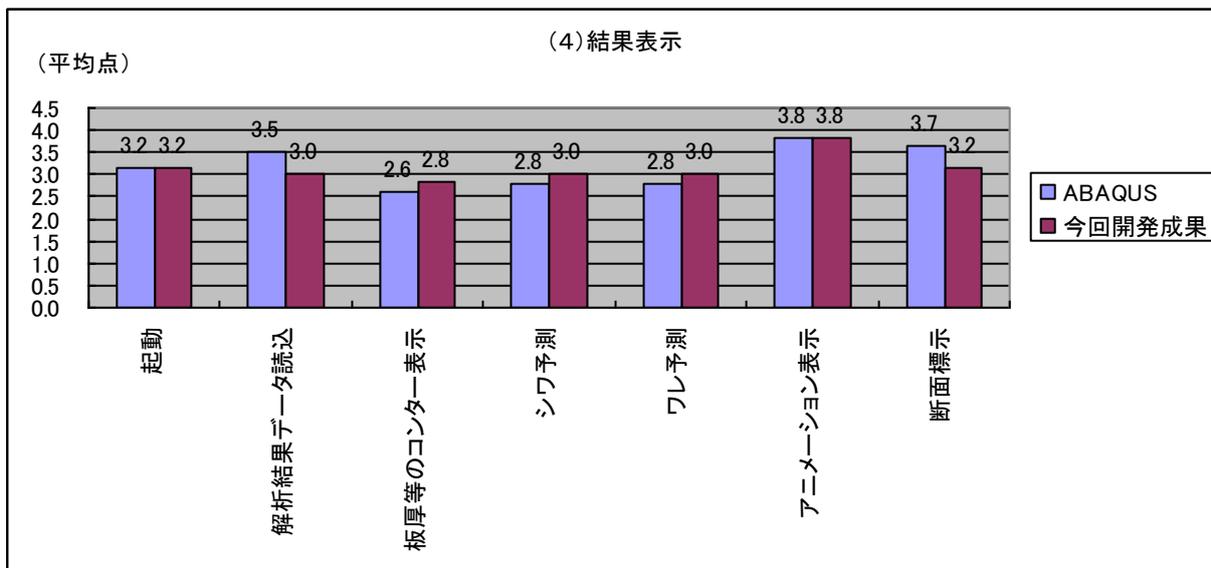
c)解析時間

解析時間に対する ABAQUS と今回開発成果に対するモニターの評価は双方共に平均点は 3.3 点であった。



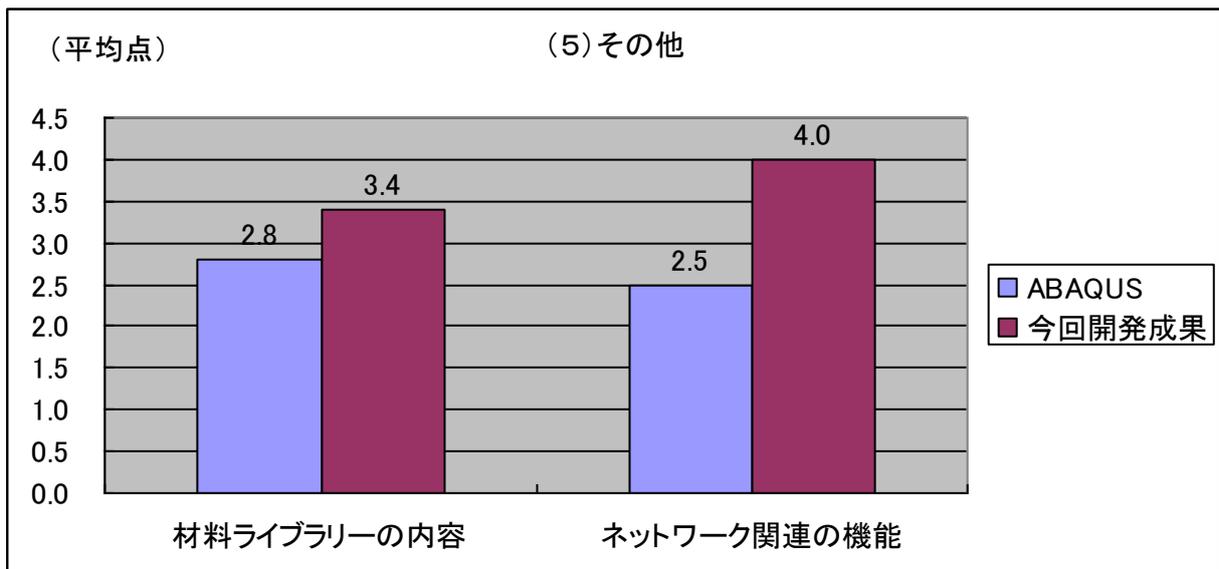
d) 結果表示

結果表示については、「起動」、「解析結果データ読込」、「板厚等のコンター表示」、「シワ予測」、「ワレ予測」、「アニメーション表示」、「断面標示」の7点についてモニターより評価を得た。ABAQUS と今回開発成果に対する評価の平均点を比較すると、「解析結果データ読込」、「断面標示」の2点については今回開発成果に対する評価が ABAQUS よりも低いものとなった。評価時にモニターから得たコメントでも、解析結果についてはコマンドが分かりづらい、機能が足りないとの意見が見られ、今後の改善が求められる。



e) その他

その他の機能として、「材料ライブラリーの内容」、「ネットワーク関連の機能」についてモニターより評価を得た。ABAQUS と今回開発成果に対する評価の平均点を比較すると、いずれも今回開発成果は ABAQUS よりも高い評価を得た。



②ユーザビリティ

ユーザビリティについては、「メニュー標示」、「拡大、縮小、回転等のマウス利用」、「画面配置、デザイン等」、「設定の煩雑さのレベルについて」、「コマンドの豊富さのレベルについて」、「動作の速さ」の6点についてモニターより評価を得た。ABAQUS と今回開発成果に対する評価の平均点を比較すると、「拡大、縮小、回転等のマウス利用」、「コマンドの豊富さのレベルについて」の2点については今回開発成果に対する評価が ABAQUS よりも低いものとなった。評価時にモニターから得たコメントでも、各設定等のコマンドメニューが見つげにくい、などの意見が見られ、今後の改善が求められる。

2.7.3 まとめ

今回開発成果は汎用プログラムである ABAQUS に比べて総じてモニターから高い評価を得た。モニターから寄せられたコメントを見ると、プレス成形に特化しているために操作がシンプルなことを評価する意見も見られる。ただし、結果表示、ユーザビリティの面でわかりにくいなど改善の余地があることも一方で指摘されている。

また、今回のモニター評価はスタンドアローンの環境での操作をもとに行っており、ネットワーク上でプレス成形に関するシミュレーションを実施するという「シミュレーション支援室」の環境を構築していく上では、インターネットに実際に接続し、ユーザが実用的な大容量のデータを扱う実験の実施も今後の課題である。

モニターから得たコメント

①使い勝手について

内部1：問題なし。 内部2：各設定等のコマンドメニューが見つげにくいのではないかと。特に評価のコマンドで非常に分かりづらいと思います。 内部3：簡易的に使うのにはそれなりのユーザビリティがあると思う。メッシュサイズの設定等、いくつか分かりにくいところがある。
外部1：マウス操作が難しい。 外部2：ABAQUSは色々な機能はあるが、使用方法が難しい。支援室は、プレス成形に特化しているため、使用方法・機能が分かりやすい。 外部3：なし。

②機能について

内部1：問題なし。 内部2：まだまだ評価の機能が足りないと思います。 内部3：結果のエクスポート機能や、レポートファイル作成機能などはあった方がよいのではないかと思う。
外部1：ウィザード形式で簡単に使用出来るとよい。 外部2：メッシュ、工具の自動化が支援室は出来ているのが良いと思った。 外部3：なし。

③全体について

内部1：解析結果の評価をもっと詳しく知りたかった。 内部2：評価の部分をもっと充実させればいいじゃないかと思います。 内部3：精度を求めるのか、とりあえず傾向だでも分かればよいのか等目的によって目指すところが変わってくると思う。 簡易的なもので中小企業に広めようというものであればかなり使えるのではないかと。ただしその場合、アフターフォロー棟が課題になると思う。
外部1：ネットワーク上に出して、どのくらいでデータが戻ってくるのか分からないと、利用者は使いづらいのではないかと。（おおよその時間表示ができませんか？） ユーザー毎に一度に提出するデータ量などを限定しないと、多くのユーザーが使えなくなる可能性を感じる。 外部2：支援室のソフトは、かなり良い出来だと感じた。必要な機能を必要名だけ。シンプルで良い。 外部3：なし。

2.8 シミュレーション支援室のサービス内容についてのフィジビリティスタディ

2.8.1 アンケート調査

① 概要

(社)日本金属プレス工業協会会員(50名以上の会員)約240社にアンケート実施。

有効回答数： 66件

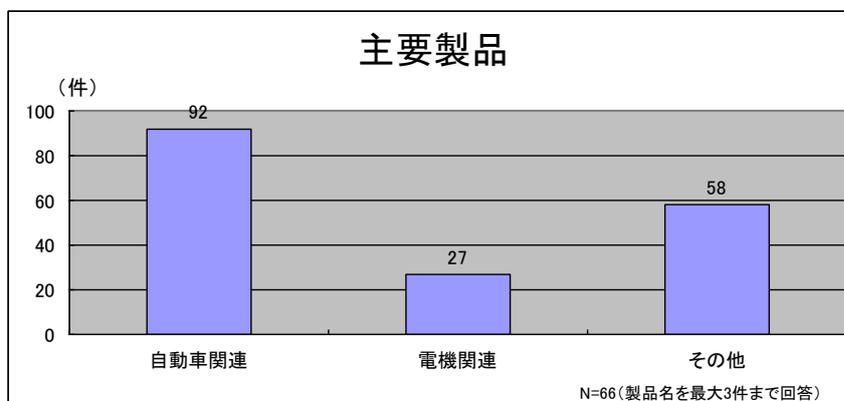
アンケート内容は下記に示すとおり

質問1	主要製品名
質問2	プレス加工している材質
質問3	型トライ回数
質問4	金型はどこで設計しているか
質問5	使用CAD
質問6	成形シミュレーションソフト
質問7	成形シミュレーションソフトに対する考え
質問8	県の工業技術センター(公設試)を利用
質問9	ネットワークを利用したシミュレーションの是非について
質問10	県の工業技術センターと連携、コンサルテーションについて
質問11	シミュレーション支援室の利用料金
質問12	シミュレーション支援室の利用料金 (コンサルテーションあり)

② アンケート調査結果

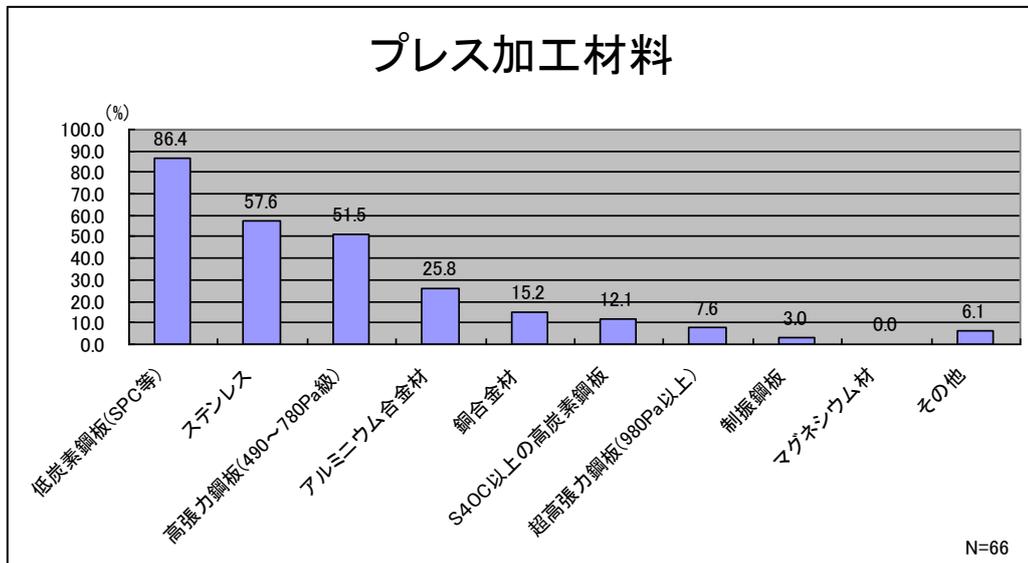
質問1 貴社の主要製品名を3つ以内でお書きください。

回答企業の主要製品については、自動車部品、ついで電機関連部品が多い。具体的には、フレーム部品、フード部品、インパネ部品、プレート部品、ブラケット、電池用部品、農業機械、オイルパン、等が挙げられた。



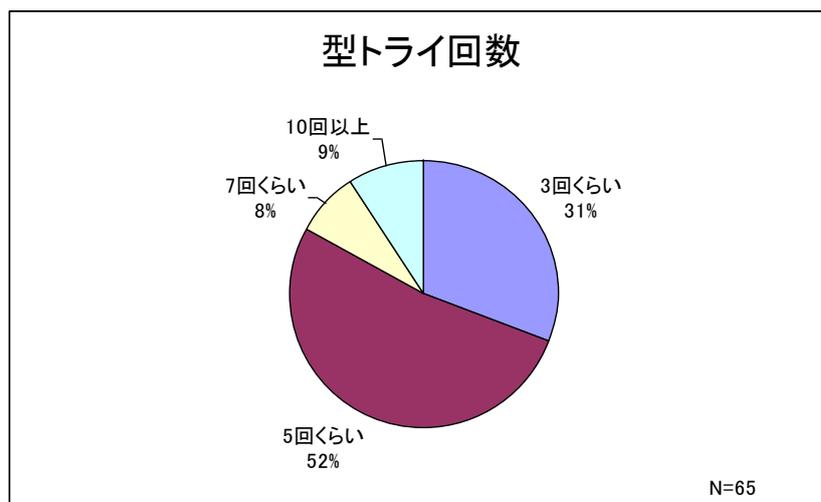
質問2 プレス加工している材質は主に次のどれですか。

回答企業がプレス加工している材質としては、最も多いのが SPC 等の低炭素鋼板であり全体の9割近くを占める。次いで、ステンレス（57%）、高張力鋼板（51%）のような難加工材が加工材料として多く挙げられた。



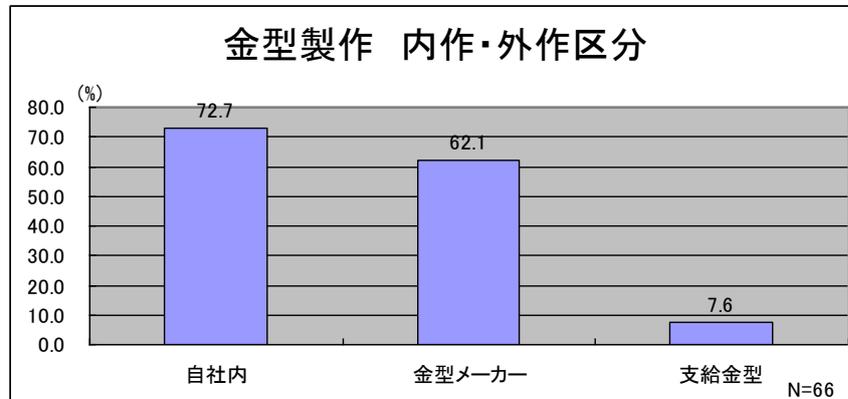
質問 3 型トライ回数は概ねどのくらいですか。

型のトライ回数については、「5回くらい」が52%と最も多く、「3回くらい」(31%)を上回っている。また、少数ではあるが「7回くらい」(8%)、「10回以上」(9%)と回答を寄せた企業も見られる。このように型トライ回数が多い背景には、加工材料としてステンレスや高張力鋼板のような難加工材料が増えていることがあるものと思われる。



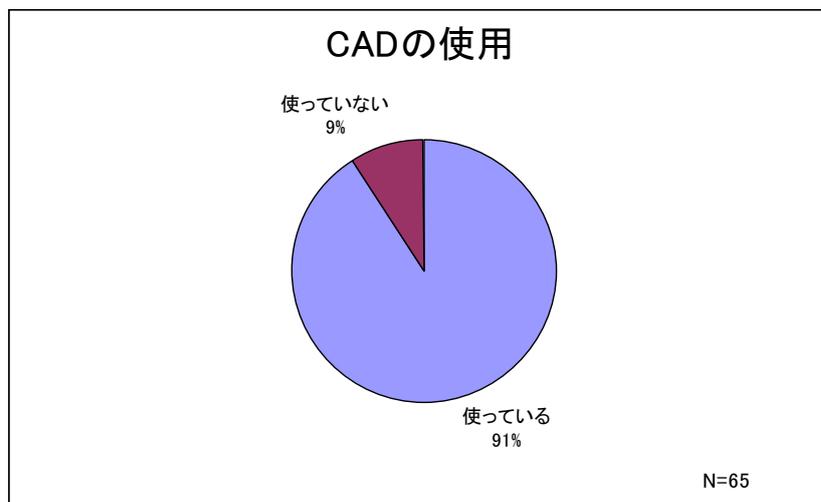
質問 4 貴社で使っている金型はどこで設計していますか。

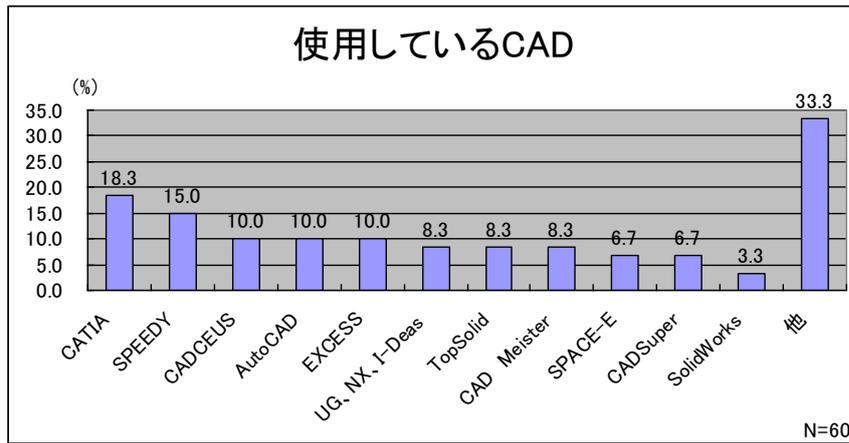
金型そのものを外部から支給されている企業は 1 割にも満たない。大半の企業は金型を自社内で設計、または金型メーカーに設計・製作を外注しており、内作、外作を併用する企業も多い。自社内で設計している企業は 72%、金型メーカーに外注している企業は 62%を占めた。



質問 5 貴社で業務に CAD を使っていますか。また製品名は？

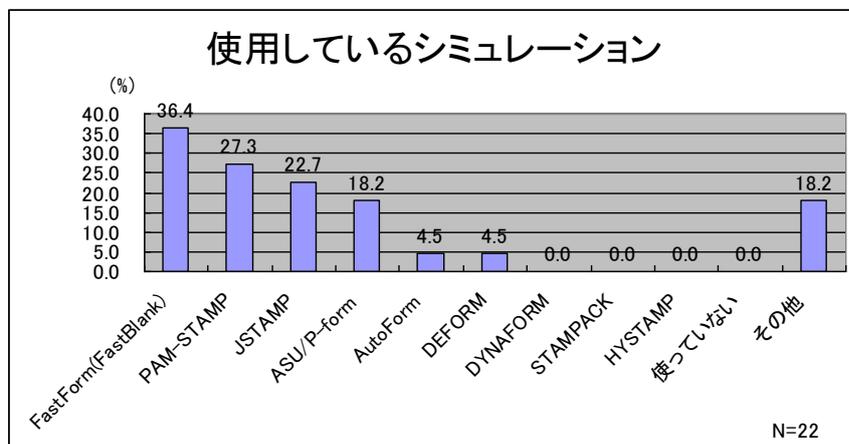
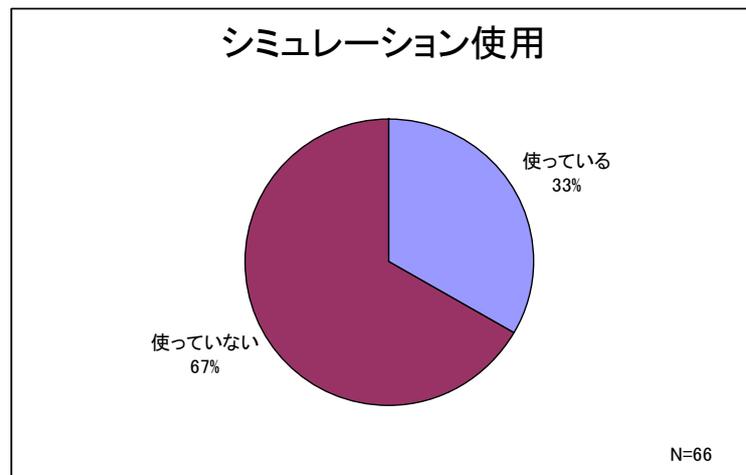
CAD は 9 割の企業で利用されている。具体的に使用しているソフトは多岐にわたるが、高機能なハイエンドの CATIA を使用している企業が最も多く (18%)、その他、ミッドレンジの CAD や、CAM 系の CAD の使用が多く見られる。





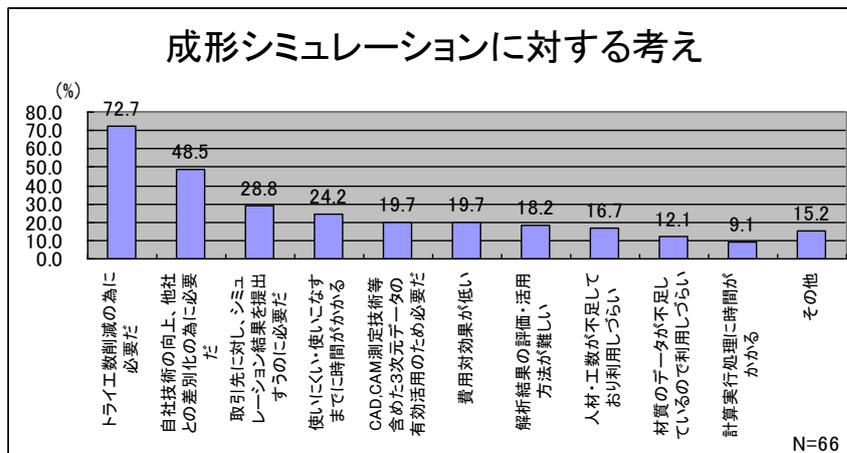
質問 6 貴社で業務に下記成形シミュレーションソフトを使っていますか。製品名は？

成形シミュレーションソフトの使用状況についてみると、使用している企業は回答企業の約 1/3 を占めた。シミュレーションソフトを使用している企業 22 社において導入しているソフトとしては、「FastForm(FastBlank)」が最も多く、次いで「PAM-STAMP」、「JSTAMP」、「ASU/P-form」が多く挙げられた。しかしこれら以外にも様々なソフトが使用されている。



質問 7 成形シミュレーションソフトに対するお考えをお聞かせください。（複数回答可）

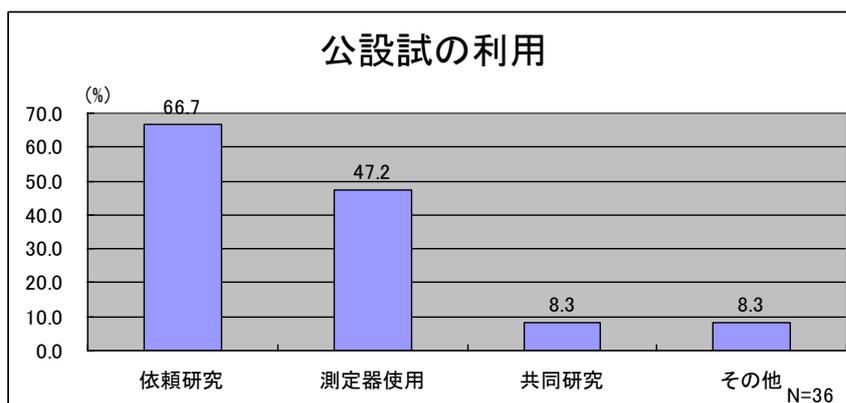
成形シミュレーションソフトを使用していない企業も含めた、すべての調査対象企業に対して成形シミュレーションソフトに対する考えを聞いたところ、「トライ工数削減の為に必要だ」が他の回答を大きく上回る 72%を占める結果となった。次いで多かったのが「自社技術の向上、他社との差別化の為に必要だ」であり 48%を占めた。一方、成形シミュレーションソフトに対するマイナスの意見としては、「使いにくい・使いこなすまでに時間がかかる」（24%）が最も多く指摘され、以下、「費用対効果が低い」（19%）、「解析結果の評価・活用方法が難しい」（18%）、「人材・工数が不足しており利用しづらい」（16%）、「材質のデータが不足しているため利用しづらい」（12%）、「計算実行処理に時間がかかる」（9%）の順であった。



質問 8 県の工業技術センター（公設試）を利用したことがありますか。また、その際利用したのは、どんな目的か、差し支えない範囲でお答えください。

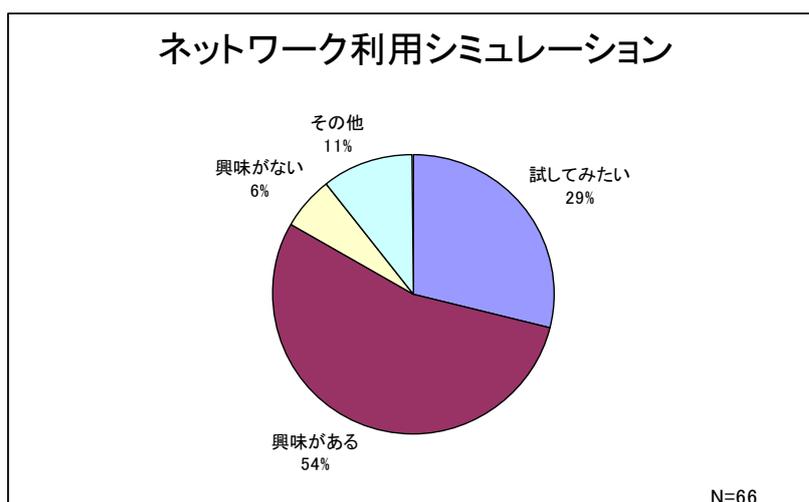
県の工業技術センター（公設試）の利用状況について、調査対象企業 66 社のうち 44 社から回答を得た。回答が得られなかった 22 社（調査対象企業の 1/3）については過去に公設試の利用実績がないものと思われる。また、「その他」と回答した 11 社についてその回答の内容を見ると、「加工機の利用」が 1 社、「セミナー、講習会への参加」が 2 社で、残り 8 社は「利用したことがない」であった。従って、調査対象企業 66 社のうち、公設試を利用していない企業は 30 社にのぼるものと見られ、データの集計はこれらの企業を除いた、公設試を利用した企業 36 社のみを対象に行った。

公設試を利用している企業 36 社の利用目的としては、「依頼研究」が最も多く 66%を占めた。「測定器の使用」は 47%であり、「共同研究」、「その他」は 8%に過ぎなかった。



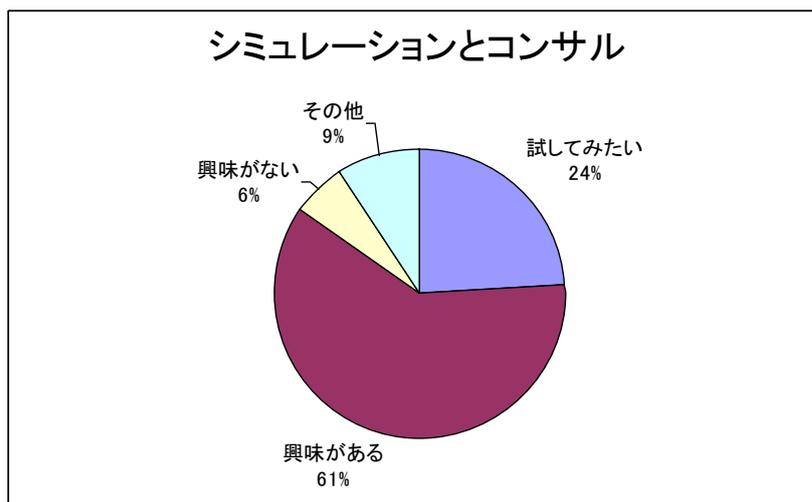
質問 9 ネットワークを利用したシミュレーションの是非について(シミュレーションプログラムを購入せず、安価な使用料 でシミュレーションが使える環境について)お答えください。

すべての調査対象企業に対して、ネットワークを利用したシミュレーションの是非についての考えを聞いたところ、「試してみたい」が 29%、「興味がある」が 54%を占めた。これより、8割以上の企業がネットワークを利用したシミュレーションについて感心を寄せていることがわかる。



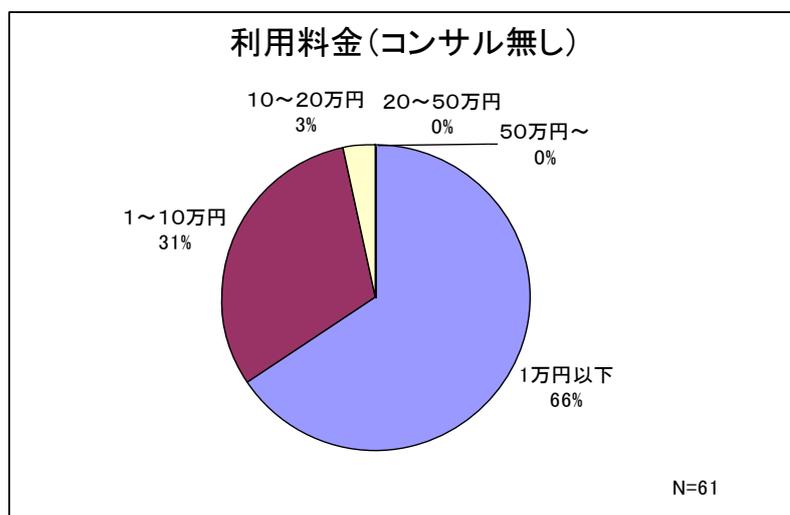
質問 10 県の工業技術センターと連携し、コンサルテーションを受けながら シミュレーションや材料試験が利用できる環境についてどう思いますか。(シミュレーションプログラムの使用法や結果の評価、実物との比較等についてのサポートが受けられる場合)

上記についても、質問 9 とほぼ同様の回答であった。



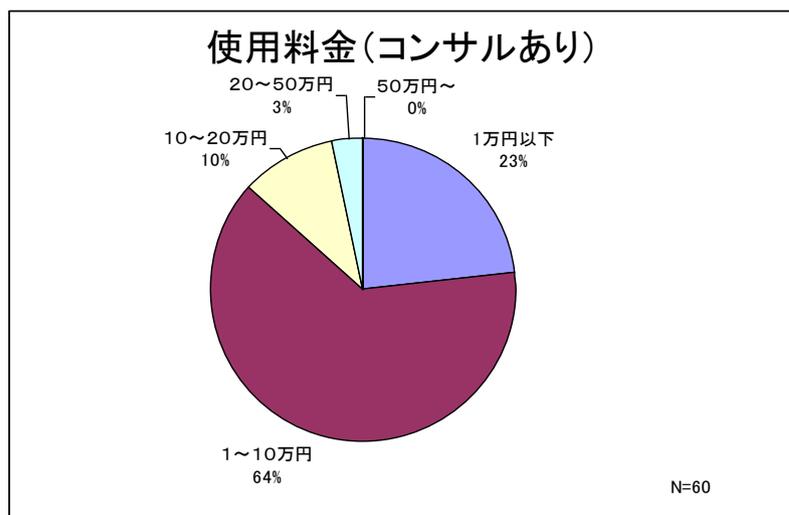
質問 11 シミュレーション支援室の利用料金について、1 解析あたり、どのくらいの費用が適当と考えますか。（コンサルテーションなしの場合）

ネットワークを利用したシミュレーション（「シミュレーション支援室」）の利用料金として1 解析あたりどの程度の額が適当なのかを聞いたところ、調査対象企業から寄せられた回答は「1 万円以下」が 66%、「1 ～10 万円」が 31%であった。



質問 12 シミュレーション支援室の利用料金について、1 解析あたり、どのくらいの費用が適当と考えますか。（コンサルテーションを含み、シミュレーションプログラムの使用法や結果の評価、実物との比較についてのサポートが受けられる場合）

一方、「シミュレーション支援室」のサービスについて公設試等からのサポートが受けられる場合、適当な利用料金としては1 解析あたり「1 ～10 万円」が 64%、「1 万円以下」が 23%であった。



その他自由回答

自由回答に寄せられた意見を見ると、セキュリティと費用対効果についての疑問点が目立つ。確かに、ノウハウの塊である金型の設計データをインターネットによって送信し、外部にシミュレーションを外注するという点について、不安感を抱くプレスメーカーは少なくないと思われる。また、経営体力に余裕があるとはいえない中小企業主体の業界であるだけに、費用対効果についてもシビアにならざるを得ないであろう。

情報の秘匿について：開発段階での使用が多いと思います。データの保護にどのようなセキュリティーシステムを構築されていますか？
解析項目について：板厚の変化、ワレ・シワに関連して、発熱解析等はサポートされていませんか？ 「アルミ薄板成形」や「超高張力鋼板」には必要と思いますが、いかがでしょうか？
利用はしてみたいが、ノウハウの提供は抵抗が有りそうです。 成形（プラスチック）シミュレーションのみでなくプレス加工、板金加工の絞り等のシミュレーションの有るのでしょうか？
機密保持についてどのように保障するか
顧客製品の成型シミュレーションとなると、ネットのセキュリティが万全じゃないと利用できない
プレス成型シミュレーションの導入を検討しており、いろいろ情報収集しているところですが。 高額な為、費用対効果が出しにくい。本当にそれなりの結果が出せるのか、利用しきれぬのかと考える。 この様な支援システムがあれば、是非利用してみたい（安価であれば）
当社が使用している CAE と他社製品との比較をしてみたい
格安で材料調査を行っていただけると助かる 格安で製品の 3D 測定を行っていただけると助かる。（精度：0.1 以下、大きさ：2m 程）

2.8.2 ヒアリング調査

① 概要

(社) 日本金属プレス工業協会に所属する、以下の5社を対象にヒアリング調査を行った。調査項目はアンケート調査と同じである。

調査対象企業	事業内容
A社	精密金型、精密試作
B社	自動車部品等のプレス成形
C社	自動車および電気関連のプレス部品、樹脂部品、半導体基盤製造
D社	プレスおよび樹脂金型製造
E社	二輪車プレス部品製造

② ヒアリング調査結果

以下にヒアリング調査結果のまとめを示す。

A社(精密金型、精密試作)

1. トライについて(不具合対応について)

トライアンドエラーは、小さい修正含めれば10回～20回(順送型で工程数7～15)。型の製作までの工数と、その後のトライ・修正工数の割合は、4:6だ。それでも、当社の型製作日数は非常に短く、平均5日である。しかし、技術者毎の差異も非常に大きいのが現状だ。

2. ネットワーク利用のシミュレーション

有効ではあるが、やはり勉強が必要だと思うので、本格的なシミュレーションは負担になる。また、シミュレーションの多くは、自動車業界向けになっていると思うので、自分たちに向いているとは思わない。展開だけできるソフトがあれば良い、二次元的にやりたい、という気持ちが今でもある。

3. シミュレーション支援室の是非と費用

工程1つ1つの細かいシミュレーションでなく、大雑把なシミュレーションが良い。現状のシミュレーションソフトは、電機部品向けの使いやすい形になっていない。プレスの成形性だけでなく、「熱負荷の解析」などが出来ると、差別化となり、価値を生み出せる。通常の使用なら、1案件1万～2万円程度が適当と思われる。対応策を提案してくれるなら、1件、5万円。展開だけなら1件5千円。(3Dモデルはユーザーが作る場合)でも、2D図面からデータを作ってくれるなら、展開1件1万円。コンサル料としては、年間で100万円程度が妥当ではないか。

B 社(自動車部品等のプレス成形)

1. トライについて(不具合対応について)

サーボの効率的な工法を生み出し、それを高度化するように取り組み中。

10 数台中 6 台がサーボ。サーボのおかげで、金型寿命が 4～8 倍になったものもある。

現状のシミュレーションは、もう少しターゲットを絞ったほうが良い。

現在は金型を作らなくなった。(5 年前にサーボを入れる前までは、金型が生命線だと思っていた)

今は「サーボプレス」による「高張力鋼板」の高度な成形・効率的な成形の方に舵を切っている。

2. ネットワーク利用のシミュレーション

現状当社では金型をやっていないこともあり、また、リピートによる同様な部品を受注することが多く、ニーズは限定的だが、必要なのは、「板鍛造」、「サーボ」等への対応などである。

3. シミュレーション支援室の是非と費用

通常、解析を依頼すると 20～30 万円だと聞く。9 割の精度を保障するなら、30 万でも良いが、現状のレベルでは高すぎる。

通常、解析の依頼をすると、当社の関連会社への発注で 1 件、10 万円程度だ。これでも、高いと思う。

C 社(自動車および電気関連のプレス部品、樹脂部品、半導体基盤製造)

1. トライについて(不具合対応について)

シャーシーもので、2 回程度、絞りもので、5～6 回程度だ。プラズマのバックパネルだと、10 回くらいかけている。しかし、本質的な機能的なトライが半分で、残りの半分は、過剰品質とも思える小さなショックマークを消すなどのためのトライだ。

難しい製品だと、金型製作が 1.5 ヶ月に対し、トライは 4 ヶ月掛かっており、負担が大きい。

2. ネットワーク利用のシミュレーション

役に立つと思う。特に、現状では、ハイテンの材料データで困っており、材料データなど総合的なサービスを期待する。ネットワーク支援室ができれば活用していきたい。解析の開始から結果が出るまでの時間とコストが問題だ。

3. シミュレーション支援室の是非と費用

通常の解析であれば、時間：1 つの部品で 3 日以内。 費用：5 万円程度であれば、

納得できる。

公設試などでのサポートが受けられる場合は、費用は 10 万円程度であれば、良いと思う。

D 社(プレスおよび樹脂金型製造)

1. トライについて(不具合対応について)

シミュレーションが無い場合、10 回程度行っていたが、現在では 2 回ぐらいまでになっている。現状ではシミュレーションが無いのは考えられない。試作を除いて、金型を切削するまでに、20 回程度解析を流し、最適な形状を探り、形状に不具合があれば、設計変更をメーカーに打ち上げる。試作を含めれば、1 機種 30 回以上解析を流している。

解析で板厚-20%で OK として解析をしても、トライ結果、ひけにより材料の面が粗くなる事がある。基準値を-15%に設定しても時々、ひけで面が粗くなってしまう時がある。

あくまでも、シミュレーションなので 100%は求めていない。十分効果はでている。

2. ネットワーク利用のシミュレーション

解析結果の制度はどの程度信用できるものなのかが、必要になるのでは。解析の知識がないユーザーは、100%合うものと思っていることが多い。そのような依頼者をどう納得させるかが難しい。

ハイテン等のスプリングバックは難しいので、100%を期待してくるユーザーは結果が違くとクレームをつけてくる可能性があるので、そのあたりの取り決めをしっかりとやらないといけないと思う。

常に解析を流している状態なので、1 解析幾らで依頼すると、年間相当な金額になってしまうので弊社の場合はソフトを購入した方が安く使い易い。

難しい加工部品を試しに依頼してくることが多いと思う。その結果がよければ、解析ソフトを導入するというベンチマーク的な部分もある。

3. シミュレーション支援室の是非と費用

解析数が多いため、追いつかないのではないか。シミュレーションを年に数回必要な会社には有効だと思う。

現状、ソルバーが止まる事が無いぐらい、解析を流している所以ソフトを購入した方が、安い。1 年で元が取れるぐらい流している。

公設誌と連携してできるのは良いと思うが、金額設定が難しいのでは。

1 解析・・1 万円以下 (8000 円や9000 円だとなお安く感じる。)

1 解析・・5 万円以下 (公設誌によるコンサルティングを受けて)

金額は解析精度にもよるのではないか。お金を払って解析をして、それを元に金型を製作するわけなので、結果が違くと代金を払ってもらえない可能性がある。

年に数回の解析依頼程度の企業であれば、依頼すると思う。

E 社(二輪車プレス部品製造)

1. トライについて(不具合対応について)

トライアンドエラーは、小さい修正含めれば回数はわからないぐらい行っている。1機種量産までにかかる時間は6ヶ月でいど。70%が修正に費やされている。スプリングバック・ねじれ・ひずみなど、寸法精度を出すのに時間がかかっている。悪いところを直すと、今まで良かったところが悪くなるという繰り返し。特にステンレスの薄板(0.8以下)

2. ネットワーク利用のシミュレーション

リードタイムが重要。現在は解析をするのにデータを作り始めてから3~5日掛かっている。解析だけ依頼するのであれば、1日で結果がほしい。

セキュリティの問題、データ管理の状況の気になる。以前そのような問題を経験したため。部品の設計も行っている。セキュリティは万全にしてもらわないと使えない。

コンサルティングを含めておこなうのであれば、「これなら大丈夫です」ではなく、「これでやればできます」だと嬉しい。

当社では、製品開発・設計時にシミュレーションを掛けなくてよい様な形状にしている(絞り)ので、シミュレーションには消極的。

技術者が少ない近年では、解析から工程設定、絞り形状の作成まで行ってほしい。理想ではあるが・・・

3. シミュレーション支援室の是非と費用

通常の使用なら、1案件、5000円程度が適当と思われる。物にもよるが・・・引張試験・コンサル・解析で5万円以下

アウトプットで何がでてくるか問題。値段なりの解析結果・精度がほしい。

2.8.3 まとめ

金属プレス加工業界では自動車部品を中心にステンレス、高張力鋼板など難加工材料を取り扱う例が増えており、アンケート調査結果に見るように型のトライ回数は5回以上と大幅に増えていることが伺える。このため、金属プレス加工業界においてはCADソフトと同様に、成形シミュレーションの利用ニーズも確実に高まっている。実際、アンケート調査でも「トライ工数削減のために成形シミュレーションソフトは必要」との意見が回答企業の7割以上から寄せられている。

しかしながら、中小企業を主体とするがゆえに多くの企業では高額なソフトの購入には容易には踏み切れず、またシミュレーションソフトを取り扱う技術者を抱える負担はさらに大きいなどの理由から、導入企業はアンケート調査によると3割程度にとどまっているのが現状である。

このため、ネットワーク上でプレス成形に関するシミュレーションが実施できる環

境を構築する「シミュレーション支援室」に対する潜在的なニーズは高く、アンケート調査では回答企業の8割以上が「試してみたい」または「興味がある」と回答している。

ただし、金属プレス加工業界において「シミュレーション支援室」のサービスを実施する上では、いくつかの課題をクリアすることが求められる。

第一が県の工業技術センター(公設試)との関係である。成形シミュレーションソフトは操作等が決して容易ではないことなどから、使用頻度が少ない場合はプロからのアドバイスを得ることが不可欠であると思われる。このため「シミュレーション支援室」では公設試が成形シミュレーションソフトの活用についてのコンサルテーションを行うことを想定している。依頼研究や測定器の使用で公設試を活用するプレス加工メーカーは少なくないが、それでもアンケート調査回答企業の1/3以上が「これまで公設試を活用したことが無い」と回答している。公設試との関係が緊密であれば、「シミュレーション支援室」での公設試によるコンサルテーションが円滑に行われることが期待されるだけに、シミュレーションだけにとどまらず、各種セミナーの開催や測定器の利用など公設試の活用のメリットを広く金属プレス加工業界に普及啓発していく計画も併せて検討する必要がある。

第二に利用料金の設定である。今回のアンケート調査では、「シミュレーション支援室」のサービスを利用するに際しての利用料金としては「1万円」、公設試によるコンサルテーションが伴った場合は「1～10万円」、と回答した企業が多かった。どの程度の依頼件数が見込まれるのか、またこの料金設定でサービスを維持していけるのかどうか、サービス運営側で発生するコストも勘案しながらのフィージビリティ・スタディが求められている。

第三に、「サービスの質」の問題である。アンケート自由回答、及びヒアリング調査では、セキュリティと費用対効果に対する懸念、そして短いデリバリタイムを求める意見が多く見られた。こうしたプレスメーカーの不安感を払拭できるだけのセキュリティ体制、及びサービスの質を保証できるだけの実施体制を構築し、質の高いサービスを提供していくことが「シミュレーション支援室」の持続的な運営につながるということが再確認された。

上記をまとめると、下記の項目に着目しながら、シミュレーション支援室の実証実験を継続することが必要であると考えられる。

② 公設試との連携強化： 継続的な3年程度のFSを実施し、シミュレーションとコンサルテーション、測定等についての事例を積み、業界団体中心に普及啓発に努め、利用者ニーズを蓄積することが必要。

① サービスの質： 「セキュリティ」と「短いデリバリタイム」についての要請が大きいが、これらは「コスト高」を招く要因ともなりうるため、コストとセキュリティ、納期に関する最適なバランスを検討する必要がある。

② 利用料金の設定： サービスの運営コストも勘案しながら、提供するアプリケーションが複数のテナントとなるようなシステムを前提とし、最新のクラウドコンピューティングを前提とした効率的なネットワークを用いたサービスを検討することが必要。

3.1 本研究開発事業の成果

本研究開発事業では、シミュレーション支援室を通じ成形シミュレーションを、中小企業に普及する技術開発をおこなうことを目標とした。シミュレーション支援室の役割としては、中小企業を対象に、①成形シミュレーションをネットワークを介して簡単に実施できること、②高度なシミュレーションへの対応を支援できることが要請される。そのため、シミュレーション支援室とユーザーおよび公設試で課題解決を図る仕組みを構築し、各機関の間で種々のデータのやり取りが出来るサービス技術を開発した。

具体的な開発としては

- ①シミュレーション入力データ生成プログラムの開発
- ②シミュレーション結果表示プログラムの開発
- ③ネットワークシステムの開発

により、システム的な技術開発を行った。これらの開発により、従来ユーザー普及の際のネックとなっていたコスト面での問題を解決した。

また、高度なプレス成形を実現するため、ユーザー、支援室および公設試がチームを組み、材料試験、成形シミュレーション、試作、成形品の計測などのデータをネットワークを通じてやり取りし、共同で課題解決を図る実験を行った。具体的には、難成形材の円筒絞り、電池パックの蓋のコイニング工程を取り上げて、実験、計測、シミュレーションを実施しデータ転送の試験を行った。

具体的な技術開発としては

- ① 高度なプレス成形シミュレーションの実施（コイニング工程：リメッシュ機能開発）
- ② 部品強度解析プログラムの開発（成形残留応力の引継ぎ）
- ③ 材料試験（成形実験に用いる材料特性試験）
- ④ 成形実験結果の測定
- ⑤ シミュレーションとの比較検討

を実施して、各々目標を達成した。

最後にこれらの成果を確認するため、

- ① ユーザーおよび外部評価者による評価
- ② サービス内容のアンケート調査・ヒアリング調査

を実施した。

概ね、このようなシミュレーション支援サービスへの期待する意見が得られた。

数値目標としては、部品強度解析の精度やコイニング解析の板厚減などを目標としたが、これらについて全てクリアーしている。

以上を通じ、本研究開発は十分な成果が上がったと判断される。

3.2 今後の課題

今回の技術開発では、シミュレーション支援室構想を実現する上での技術的なインフラ整備がなされた。

しかしながら、適用事例が少ないことや、解析規模、セキュリティー、ネットワークへの負荷等、実証すべき課題が幾つかある。

また、ユーザーおよび外部評価者による評価で浮かび上がった使い勝手の向上などシステムとして改善すべき点多々ある。

また、事業化にあたっては、支援方法や体制の検討、ビジネスモデル、セキュリティーとデリバリタイムなどについても十分に検討する必要がある。

3.3 事業化について

本プロジェクトにおいて、事業化に関連して、下記の事項について検討を行った。

- ① プレス関連企業二百数十社への「アンケート」
- ② プレス関連企業5社への「ヒアリング」
- ③ 計6名のモニターによる「サービス実験・ユーザーによる評価の実施」

これらにより、開発成果物の評価や、今後のシミュレーション支援室に求められるサービス、機能、利用料金等を今後の指針とすべく多角的に調べた。

その結果の概要を下記に示す。

アンケート	<ul style="list-style-type: none">・ 自動車関連部品をほとんどの企業が扱い、高張力鋼板(ハイテン)を半分以上の企業が成形している。・ トライ回数は5回以上が7割以上で、トライ削減のためにシミュレーションが有効と返答した企業も7割以上。・ 現在シミュレーションを利用している企業は約1/3。・ ネットワークを利用したシミュレーションに8割以上の企業が興味を示している。・ その際の料金は、簡単なもので1万円以下、コンサルを含めても10万円以下が希望。・ デリバリタイムが短いことが重要。
ヒアリング	<ul style="list-style-type: none">・ シミュレーション支援室のニーズは高い。・ トライ&エラーの繰り返しは大きな負担になっている。・ 1案件5千円~1万円だと良い。コンサルつきで5万~10万。年間100万円程度の料金が妥当。
サービス実験・ユーザーによる評価	<ul style="list-style-type: none">・ 今回の開発成果は、概ね汎用のABAQUSに比べて使いやすい。特に入力データ生成機能は容易で優れている。・ 解析結果をビジュアルに表示する部分は、ABAQUSも優れている機能が多い。

これら上記のユーザーからの意見を参考に、事業化への検討項目を下記にまとめた。
今後、下記について具体的な案を作成する必要がある。

■ 利用料金について

- ① 通常常の利用について、「1万円」、コンサルティングで「10万円以下」を実現するビジネスモデルが必要。現状の受託解析のビジネスモデルの1/10以下になっており、通常受託解析のビジネスモデルは成立しづらい。
- ② 基本的にはプレス関連企業が必要な「シミュレーション」以外のサービス提供事業者である、「CAD事業者」「データ測定事業者」「CADデータ交換事業者」「コンサルティング事業者」等との連携により、効率が高く、ユーザー層の広いサービス体系を検討する必要がある。

■ サービスについて

高い「セキュリティ」と「短いデリバリタイム」の要請が大きいですが、これらは、コスト高を招く要因でもあり、ニーズの異なる数社によってサービス実験を行い、実務データでネットワークを利用した実験を実施し、コスト、セキュリティ、デリバリタイム等のバランスを高い次元で成立させて見極め、事業計画策定につなげることが必要である。

以上