

平成 2 1 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の設置による
プレス金型製造の短納期化技術の開発」

成 果 報 告 書

(概 要 版)

平成 2 2 年 5 月

委託者 中部経済産業局

委託先 (財) 名古屋産業科学研究所

目 次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	
1-3	成果概要	
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	
第2章	トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化－1	7
	（われ・しわ不具合対応技術のデジタル化）	
2-1	研究目的及び目標	
2-2	実施内容および結果	
2-3	研究成果	
第3章	トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化－2	12
	（外形寸法の厳しさに対応する技術のデジタル化）	
3-1	研究目的及び目標	
3-2	実施内容および結果	
3-3	研究成果	
第4章	トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化－3	16
	（寸法精度不具合に対応する技術のデジタル化）	
4-1	研究目的及び目標	
4-2	実施内容および結果	
4-3	研究成果	
第5章	データ入稿の標準化	20
5-1	研究目的および目標	
5-2	実施内容および結果	
5-3	研究成果	
第6章	プレス用材料データベースの補完	23
6-1	研究目的及び目標	
6-2	実験方法	
6-3	研究成果	
第7章	全体総括	26
7-1	成果の総括	
7-2	工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	
7-3	今後の事業化に向けた取組み	

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景・研究目的

プレス金型製造の短納期化を実現する手段として、プレス加工のシミュレーションソフトを活用してトライの工数を削減する手法が大手企業に普及している。中小企業もプレス金型製造の短納期化や熟練技能者の減少により技能が伝承されない問題を抱えており、シミュレーションソフトを活用してコストの削減と技能の補完を望んでいる。しかし、多くの中小企業にとっては

1. ソフトウェアの価格が高価であり、普及率は20%以下。大部分を占める100人以下の中小金型企業ではほとんど導入されていない。
2. 効率を上げるためには、専任で解析業務に当たらせることが良いが人手も足りない上、人材もない。
3. 導入した企業も精度の高い計算をすることができず、実物とシミュレーションの結果が乖離して、金型製造の短納期化に繋がっていない。
4. 解析条件の設定はもちろん、結果の評価にも幅広い専門知識が必要であるが、技術者の育成は困難。

の課題があって利用がすすんでいない。また、プレス金型製造業者がプレス成形シミュレーションを行う場合、他の製品設計のシミュレーションと異なり、以下のような特殊な事情がある。

1. 金型の納期が短いため、解析の納期も1週間程度と非常に短い。
2. 解析費用がそのまま金型費用に上積されるため、低コストでないと採算が合わない。
3. 成形の限界に近い設計が多いので、求める計算精度が高い。
4. シミュレーションや材料の専門知識をもつ人材が少ない。

そのため、零細プレス金型製造業者のシミュレーション導入の敷居は非常に高い。これまでは、中小企業が個別に成形シミュレーションの導入検討を行ってきたが、導入を断念して親会社または公的試験研究機関の支援を図るところが多かった。自力で導入し、運用に成功しているのは比較的規模の大きい中小企業のみである。そこで本研究開発では、企業間のネットワークを構築し、シミュレーション設備と人材を複数の企業で共有するシミュレーション支援室の設置を目指している。それによって100人以下の規模の小さい中小企業でもシミュレーションを活用してトライ工数を削減し金型製造の短納期化を実現する。

(2) 目標

1. 熟練技能のデジタル化への対応

(トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化)

われ・しわを抑制する不具合修正対策技術、外形寸法の厳しさに対応する技術、寸法精度の不具合対策技術のデジタルデータを各1例以上作成。

2. シミュレーション支援室の運用ノウハウの蓄積への対応

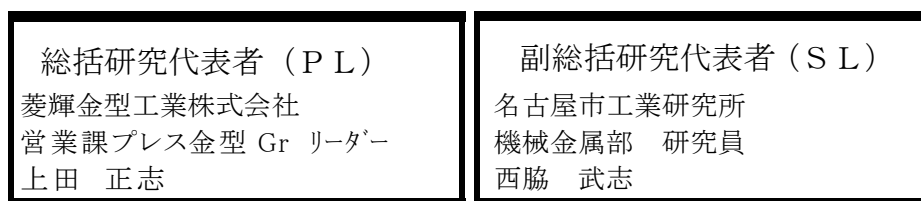
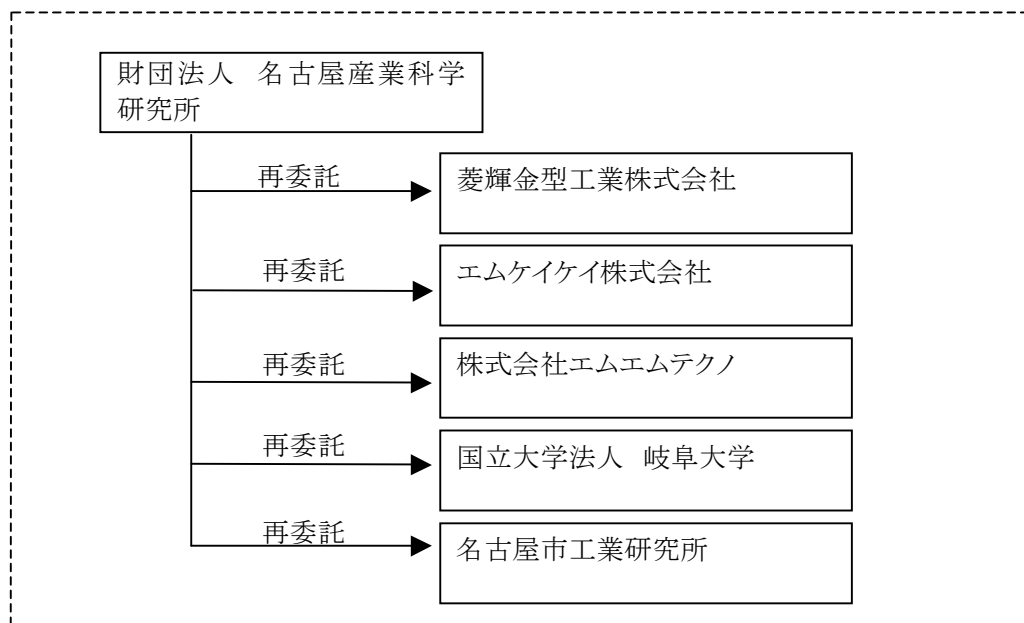
CADデータ入稿の標準化、解析条件指示書を作成し、データ入稿の標準化を行う。打ち合わせが1回で済む比率を50%以上に高める。

3. プレスシミュレーション用データベースの構築

6種類以上のプレス用材料データベースを補完

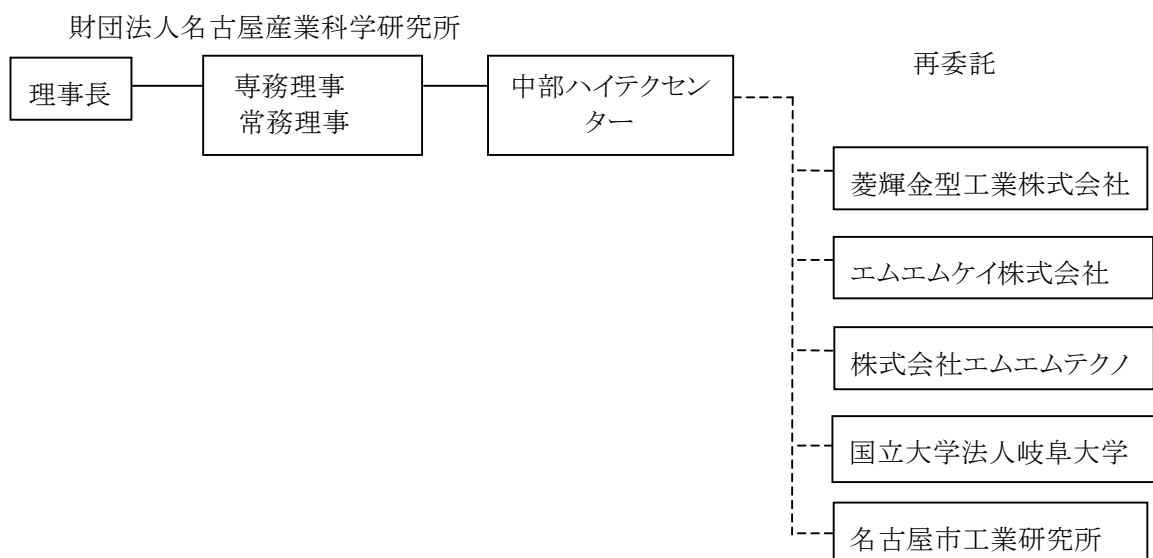
1-2 研究体制

1) 研究組織(全体)



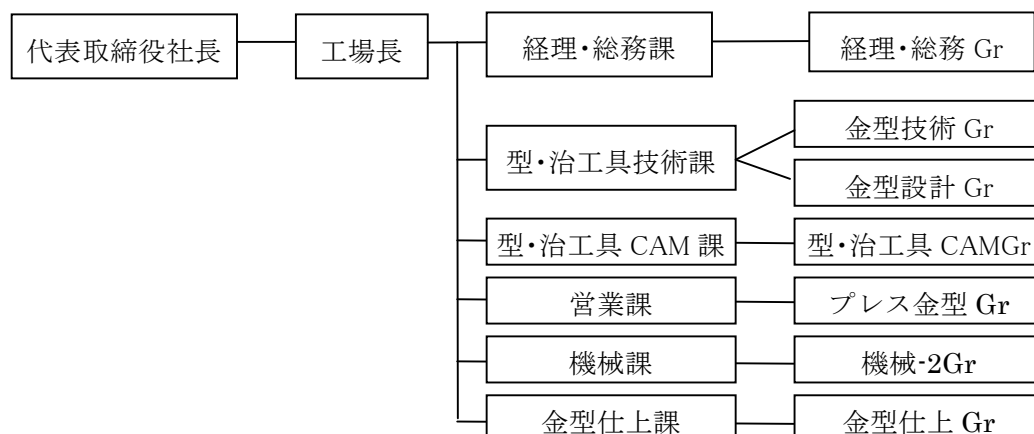
2) 管理体制

① 事業管理者

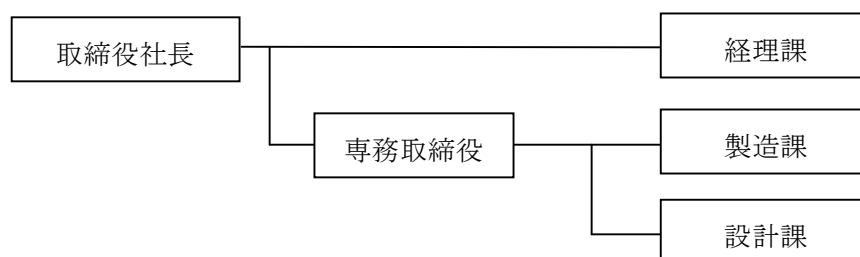


②再委託先

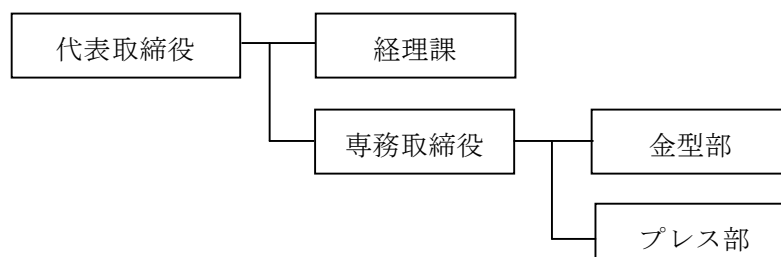
菱輝金型工業株式会社



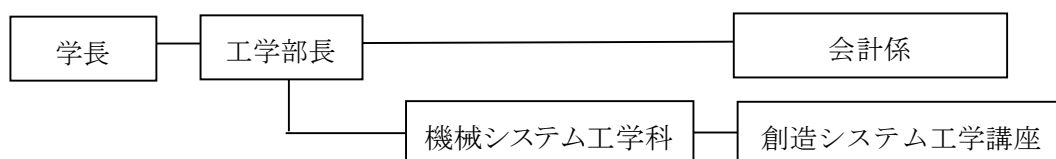
エムケイケイ株式会社



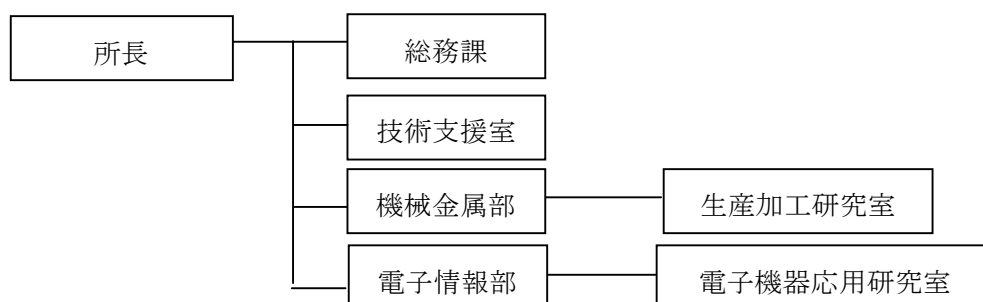
株式会社エムエムテクノ



国立大学法人 岐阜大学



名古屋市工業研究所



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人名古屋産業科学研究所

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
藤根 道彦	中部ハイテクセンター 産学連携支援部長	④
安部 浩二(～H22/3)	中部ハイテクセンター 事務局長	④
坪内 秀樹(H22/4～)	中部ハイテクセンター 事務局長	④
木村 馨	中部ハイテクセンター(非常勤)	④
浅田 節子	中部ハイテクセンター	④
兼松 節子	中部ハイテクセンター(非常勤)	④
蟹江 祥子	中部ハイテクセンター(非常勤)	④

【再委託先】

研究員

菱輝金型工業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
長屋 守正	型・治工具CAM課 型・治工具CAM課グループリーダー	①-1、②
上田 正志	営業課 プレス金型Gr リーダー	①-1、②
玉井 哲也	型・治工具技術課 金型設計Gr リーダー	①-1、②
堀田 一郎	型・治工具技術課 金型技術Gr	①-1、②
森本 孝明	型・治工具技術課 金型設計Gr	①-1、②
中村 賢一	機械課 機械-2Gr リーダー	①-1、②
安達 宣明	金型仕上課 金型仕上Gr リーダー	①-1、②
服部 幹由	営業課 プレス金型Gr	①-1、②

エムケイケイ株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
原 啓	専務取締役	①-2、②
山田 博志	製造課 係長	①-2、②
塩見 勉	製造課	①-2、②
加藤 高久	製造課	①-2、②
名倉 聡	設計課	①-2、②
村上 容規	製造課	①-2、②

株式会社エムエムテクノ

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
森 秀和	代表取締役	①-3、②
伊藤 敏夫	金型部	①-3、②
浅野 保夫	金型部	①-3、②
横山 昭彦	プレス部	①-3、②
多和田 義明	プレス部	①-3、②
田中 靖雄	プレス部	①-3、②

国立大学法人 岐阜大学

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
吉田 佳典	工学部 機械システム工学科 准教授	③

名古屋市工業技術研究所

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
西脇 武志	機械金属部 生産加工研究室・研究員	①-1～3、②
村田 真伸	機械金属部 生産加工研究室・研究員	①-1～3、③
八木橋 信	電子情報部 電子機器応用研究室・研究員	①-1～3、②

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人名古屋産業科学研究所

(経理担当者) 中部ハイテクセンター 事務局長 安部 浩二(～平成22年3月)
中部ハイテクセンター 事務局長 坪内 秀樹(平成22年4月～)
(業務管理者) 中部ハイテクセンター 産学連携支援部長 藤根 道彦

(再委託先)

菱輝金型工業株式会社

(経理担当者) 経理・総務課 伊藤 智恵子
(業務管理者) 工場長 滝藤 和敏

エムケイケイ株式会社

(経理担当者) 経理課 原 美佐子
(業務管理者) 専務取締役 原 啓

株式会社エムエムテクノ

(経理担当者) 経理課 森 奈穂子
(業務管理者) 代表取締役 森 秀和

国立大学法人 岐阜大学

(経理担当者) 工学部 会計係 市橋 昂
(業務管理者) 工学部 機械システム工学科 准教授 吉田佳典

名古屋市工業研究所

(経理担当者) 総務課 事務係長 鈴木 孝司
(業務管理者) 技術支援室 主幹 林 幸裕

1－3 成果概要

プレス金型製造の短納期化を実現するためには熟練技能を設計技術として取り込み、シミュレーションを活用して、金型設計の高度化を測る必要がある。

本事業では、プレス金型製造の際のトライ工程全ての金型形状と成形トライ品形状のデジタル記録を行った。熟練技能者の金型修正技術を含む、われ・しわを抑制する不具合対策技術、外形寸法の厳しさに対応する技術、寸法精度の不具合対策技術のデータを各1例ずつデータベースとして蓄積することができた。また、その熟練技能の効果の検証もシミュレーションによって確認できた。これらの取り組みによって熟練技能を設計データとしてフィードバックすることが可能となった。

また、本事業ではシミュレーション実施を共同運用する仕組みの構築を目的として、シミュレーション担当者に解析を依頼する際の工数低減のためのCADデータ入稿の標準化を行い、CAD品質の事前チェック方法を確立した。これによりメッシュ作成時に不具合を起こす可能性のCADデータを金型企業において発見できる。また解析条件の情報を的確に伝えるために、解析条件指示書を作成した。これらの取り組みで、解析の依頼を試みたところ、1回の打ち合わせで解析が可能であり、打ち合わせ工数の低減を図ることができた。今後も、解析指示書のブラッシュアップを進めていけば、様々なケースで確認作業を短縮できると考えられる。

さらに、プレス成形シミュレーションの材料データベースの補完として、ステンレスや銅合金板など6種類のプレス用材料の変形抵抗データと破壊限界データを測定し追加した。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人名古屋産業科学研究所

〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目10番19号（名古屋商工会議所ビル）

中部ハイテクセンター 産学連携支援部長 藤根 道彦

Tel: 052-223-6640

Fax: 052-211-6224

E-mail: fujine@nisri.jp

第2章 トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化－1

(われ・しわ不具合対応技術のデジタル化)

2－1 研究目的及び目標

金型修正における熟練技能の継承を図るため、トライ工程をデジタル化し、データベースとして蓄積する。われ・しわを抑制する不具合修正対策技術のデジタルデータを1例作成する。

2－2 実施内容および結果

(1) 深絞り金型の作製

設計モデル、および金型を作製した。しわ押さえはダイクッション構造となっており、しわ押さえ力を可変することができる。

(2) 成形トライの実施

作製した深絞り金型をプレス機に設置して成形のトライを実施し、成形パネルを得た。しわ押さえ力を変えるなど成形条件を変えて成形トライを行ったが、パネルはいずれも不具合が生じた。

(3) 3次元測定機による金型、パネルの形状測定

作製した金型形状をデジタル化するため、3次元測定機を用いて形状の測定を行い(図2－1)、デジタルデータを作成した(図2－2)。成形トライを行った成形品についても、金型と同様に3次元測定とデジタル化を行った(図2－3)。成形パネルの不具合はデジタル化したパネル形状に再現できている。

(4) 不具合対策とそのデジタル化

成形したパネルにわれ・しわの不具合が発生したため、2回の不具合対策を行った。ブランクサイズの変更および金型形状の修正である。金型形状修正は熟練職人が手作業にて形状を修正した(図2－4)。対策後、成形トライを実施し、その効果を確認した(図2－5)。ブランクサイズの変更によりしわが抑制され、また金型形状の修正によってわれの発生が抑制されて、良好な成形品を得ることができた。

(5) 熟練職人による手修正の検証

不具合対策前と不具合対策後の金型形状をデジタルで比較し、熟練技能の定量化を行った。両方のデジタルデータの位置あわせを行い、両者の空間位置のずれを解析した(図2－6)。手修正の箇所のみが約1.5mm空間的に離れており、手作業による研削量が分かる。

(6) 事例研究による金型設計の高度化

実物のトライ工程と同様の形状で成形シミュレーションを行い、事例研究を実施した。われは、成形シミュレーションでは板厚減少率として評価したが、不具合対策によって凸部の板厚減少率が改善されており、定性的にはトライ工程を再現できている(図2－5)。有効性が検証できた。

2－3 研究成果

熟練技能者の金型修正技術を含む、トライ工程全ての金型形状と成形トライ品の形状をデジタル化することによって、われ・しわを抑制する不具合修正対策技術のデジタルデータを1例作成した。また、その技能の検証もシミュレーションによって確認できた。これによって熟練技能を設計データとしてフィードバックすることが可能となった。

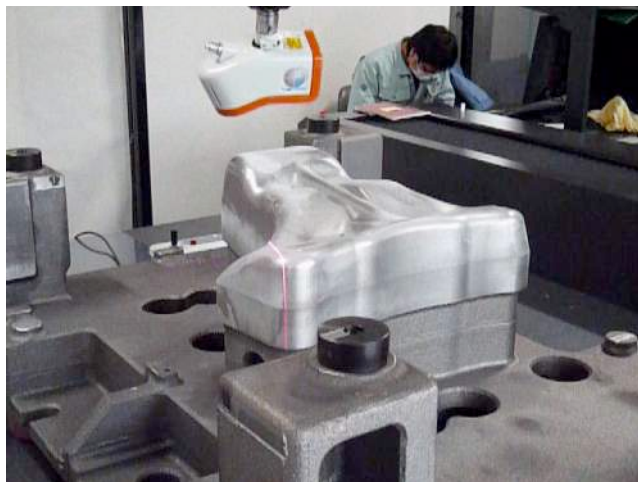
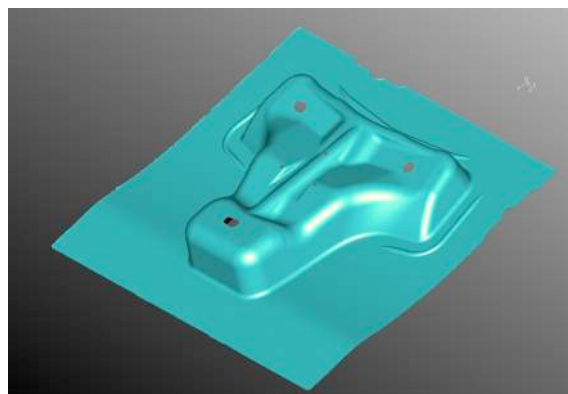
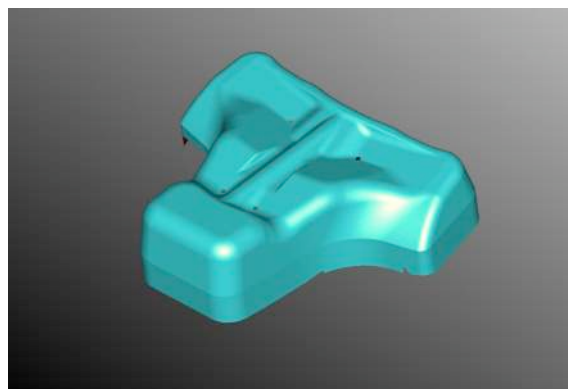


図 2 - 1 3次元測定機による金型形状の測定

(a)



(b)



(c)

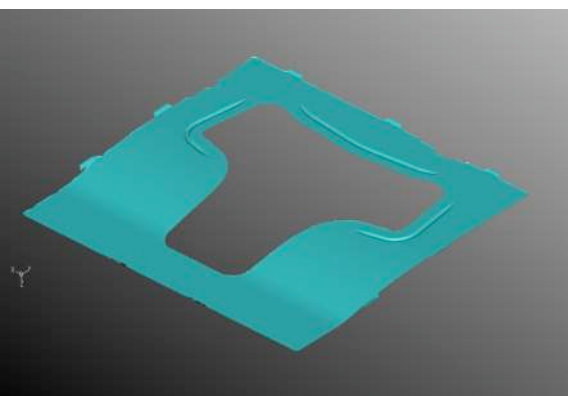
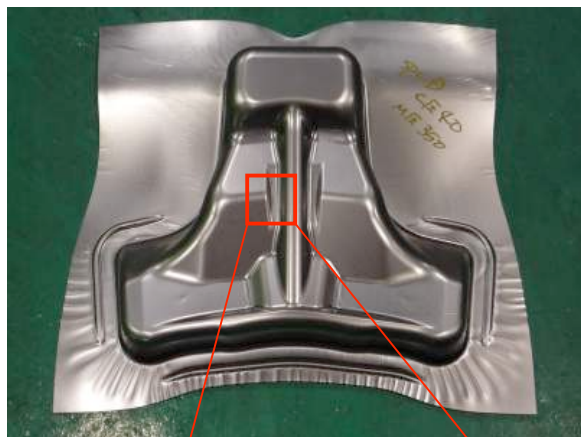
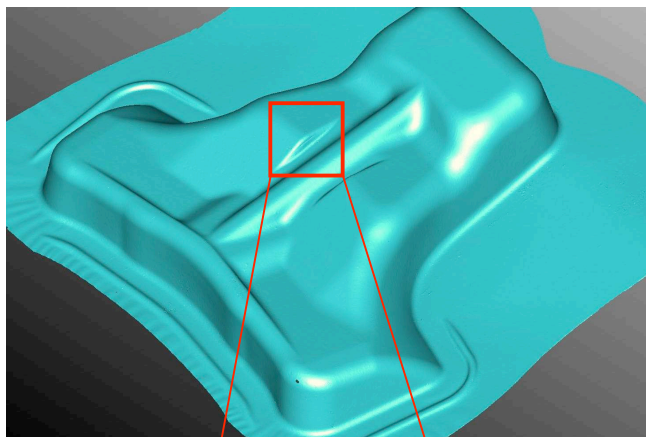


図 2 - 2 われ・しわ不具合対策前のデジタル化された金型形状 (a)上型(b)下型(c)しわ押さえ

(a)成形パネル実物



(b)成形パネルのデジタルデータ



われ部の
拡大図



図 2 - 3 われ・しわの不具合がある成形パネル (a)実物 (b)デジタルデータ

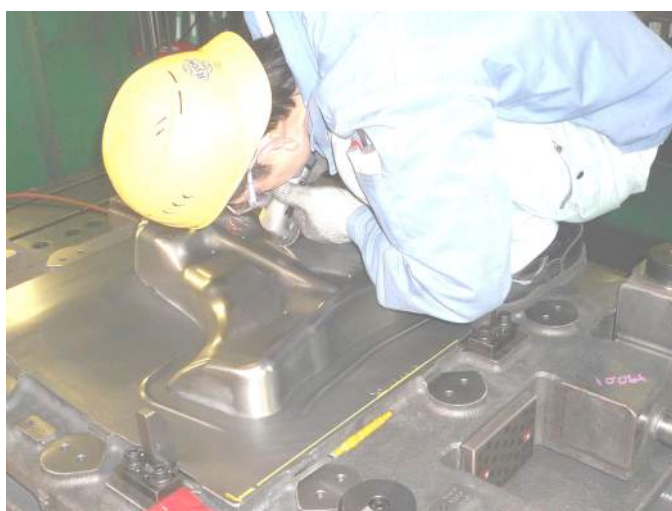


図 2 - 4 熟練技能者の手作業による金型形状の修正

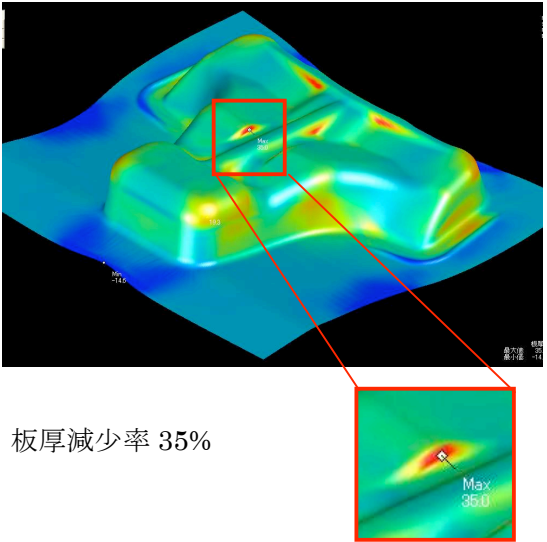
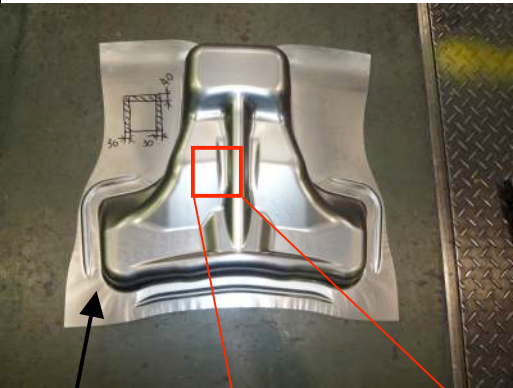
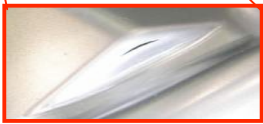
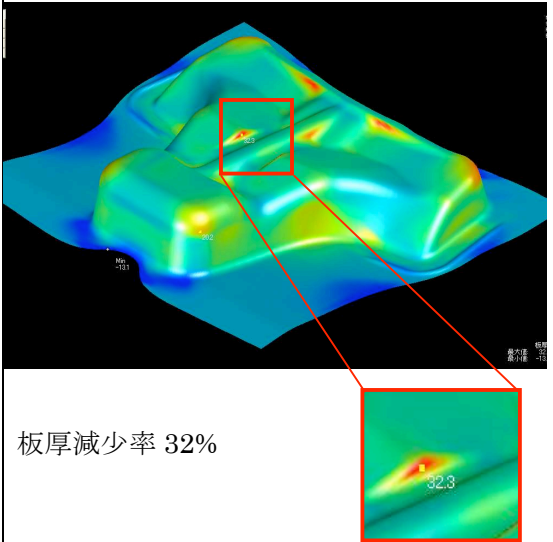
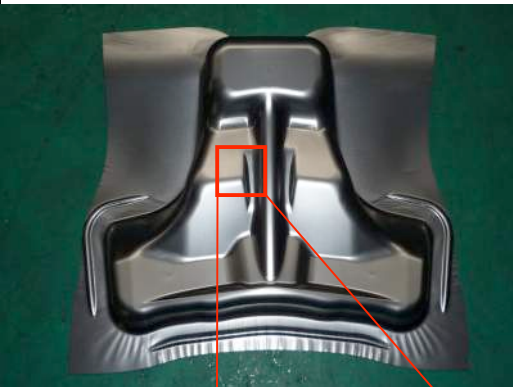
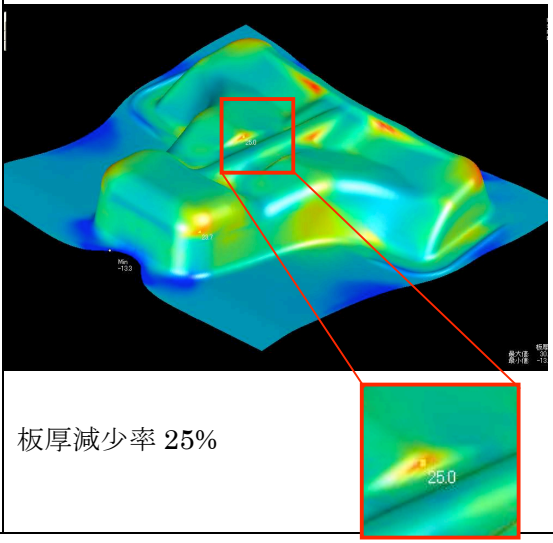
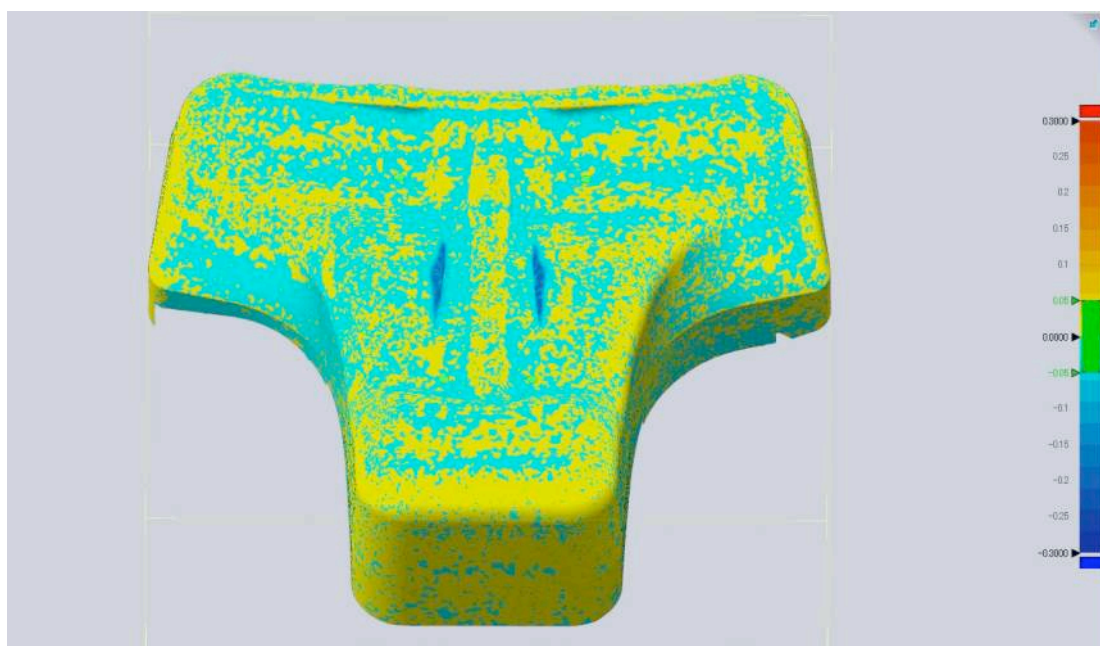
	トライ結果	成形シミュレーション
1 回目 材料寸法 680x610 凸部寸法 R5.0	 図 2 - 8 と同じ	 板厚減少率 35%
2 回目 材料寸法 620x570 凸部寸法 R5.0	 しわ減少 凸部にわれ 	 板厚減少率 32%
3 回目 材料寸法 620x570 凸部寸法 R7.5 に拡大	 われ無し 	 板厚減少率 25%

図 2 - 5 トライ結果の履歴と成形シミュレーションによる仮想トライの実施

(a) 金型修正前後の形状の比較



(b) 手修正箇所の断面形状比較

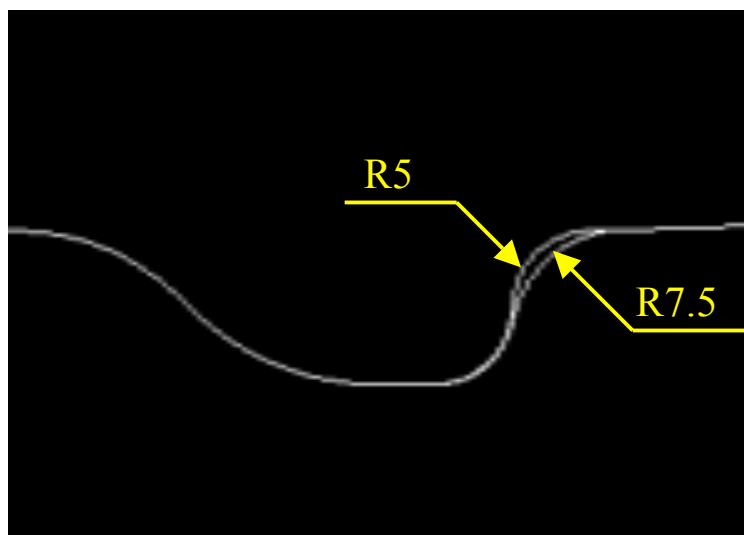
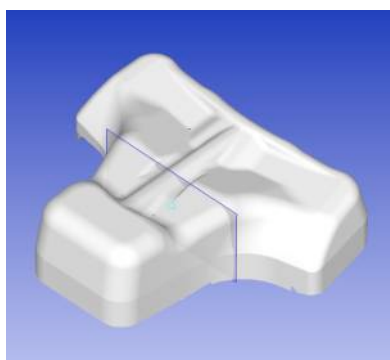


図 2 - 6 3次元測定データの解析による熟練技能の定量化

(a) 金型修正前後の形状の比較 (b) 手修正箇所の断面形状比較

第3章 トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化－2

(外形寸法の厳しさに対応する技術のデジタル化)

3－1 研究目的及び目標

金型修正における熟練技能の継承を図るため、トライ工程をデジタル化し、データベースとして蓄積する。外形寸法の厳しさに対応する技術のデジタルデータを1例作成する。

3－2 実施内容および結果

(1) 外形抜き金型、曲げ成形金型の作製

外形寸法の厳しさに対応する技術用モデルとして、ブランクの外形抜き金型およびその曲げ成形金型設計・製作した。

(2) 成形トライの実施

作製した外形抜き金型および曲げ成形金型をプレス機に設置して、SPC440の成形のトライを実施し、成形パネルを得た(図3－1)。

(3) 3次元測定機による外形抜き金型、曲げ成形金型、パネルの形状測定

作製した金型形状をデジタル化するため、3次元測定機を用いて形状の測定を行った。外形抜き型断面の形状測定には接触式プローブを用いた(図3－2)。曲げ型はレーザプローブで測定した(図3－3)。また、不具合パネルについてもデジタル化を行った(図3－4)。

(4) 外形寸法不具合の検証

検証用製品モデルのCADデータとデジタルデータの外形線の比較を行った。両翼の折り曲げ端部の外形線がCADデータとデジタルデータで異なっており、外形寸法に不具合があった。

(5) 外形寸法不具合の修正

外形寸法不具合の測定結果を反映し、外形抜き金型の形状に修正を施した。

(6) 不具合対策の効果の確認

金型形状修正後、再度外形抜き、曲げ成形の成形トライを行い、成形品のパネルを得て、3次元測定およびデータ処理を行った。検証用製品モデルのCADデータとデジタルデータを比較した(図3－5)。外形抜き金型形状を修正し、ブランクの形状を変更したことによって、1mm以上あった外形寸法の不具合を0.5mm以内に収めることができ、良好な成形品が得られた。

(7) 外形寸法不具合対策量の定量化

初期金型形状と修正後の金型形状を比較した(図3－6)。修正後の金型は、熟練職人による手作業と放電加工機による修正の両者を反映した形状である。外形の輪郭線を重ね合わせることで、金型の修正箇所および修正量が分かる。

(8) 事例研究による金型設計の高度化

実物のトライ工程と同様のブランク形状、曲げ金型形状で、成形シミュレーションを行い、事例研究を実施した。シミュレーションによって成形品の外形形状を求めた後(図3－7)、検証用製品モデルのCADデータとシミュレーション結果を比較した。不具合対策によって両翼折り曲げ端部の外形線不具合が改善されており、定性的にはトライ工程を再現できている。有効性が検証できた。

3-3 研究成果

熟練技能者の金型修正技術を含む、トライ工程全ての金型形状と成形トライ品の形状をデジタル化することによって、外形寸法の厳しさに対応する不具合修正対策技術のデジタルデータを 1 例作成した。また、その技能の検証もシミュレーションによって確認できた。これによって熟練技能を設計データとしてフィードバックすることが可能となった。



図 3-1 外形抜き、曲げ加工を行った成形パネル

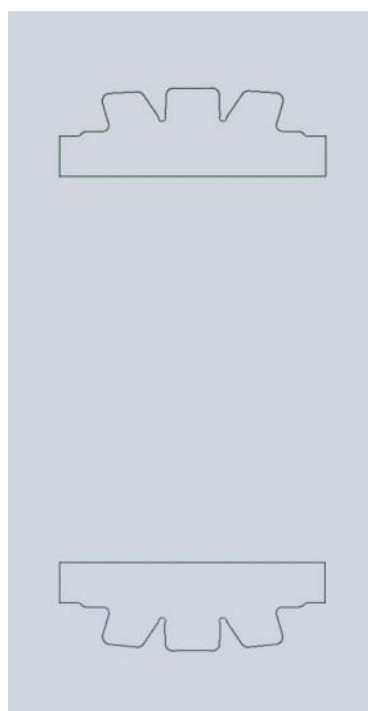
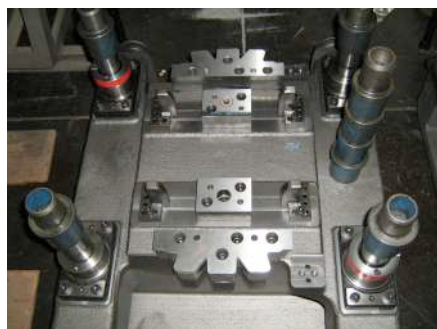
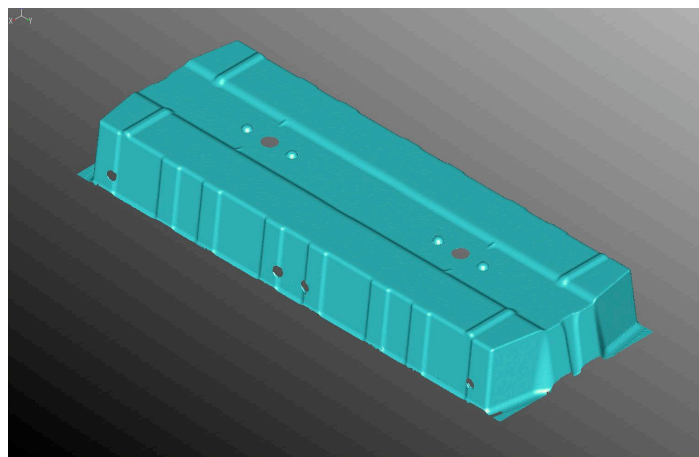


図 3-2 接触式プローブで測定した外形抜き金型輪郭形状のデジタルデータ

(a)



(b)

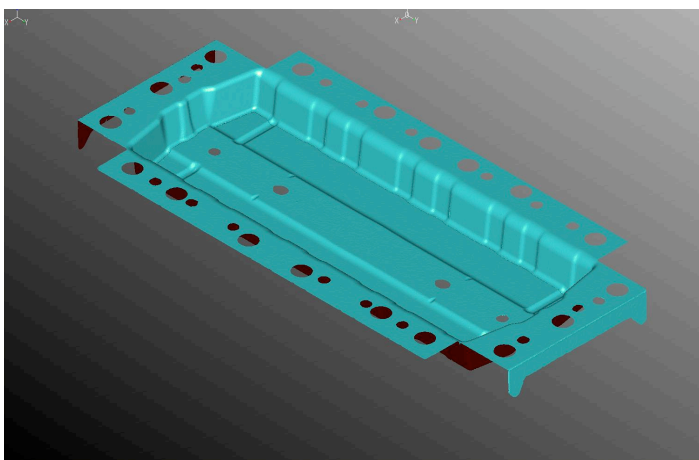
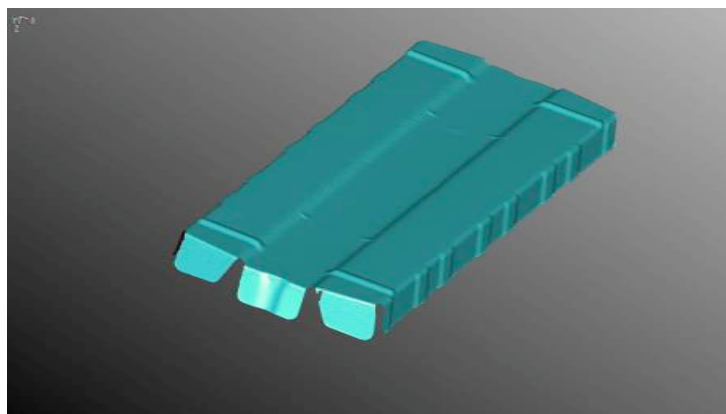


図 3 - 3 レーザープローブで測定した曲げ金型形状のデジタルデータ



(a)上型(b)下型+クッション

図 3 - 4 外形寸法不具合対策前のデジタル化された不具合成形パネル

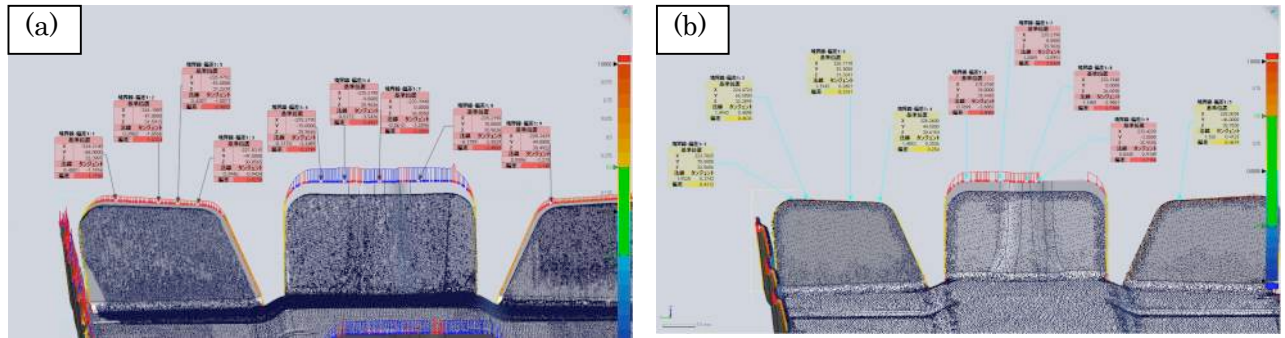
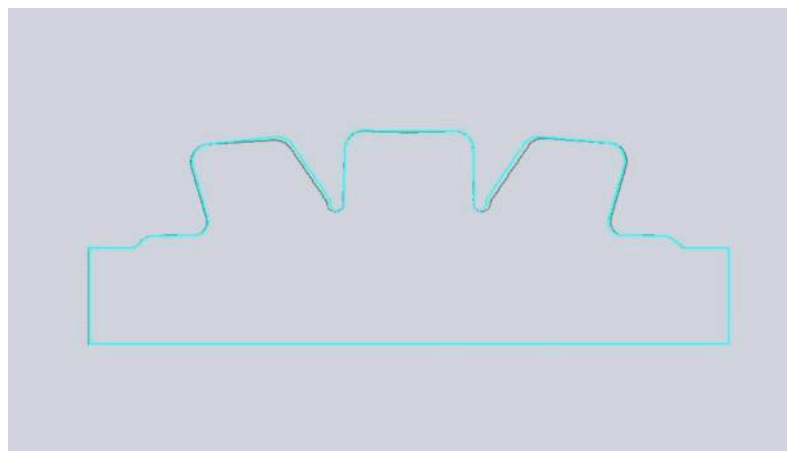


図 3-5 外形寸法不具合の改善 (a) 不具合パネル（両翼折り曲げ端部は高さで約 1mm ずれ）
(b) 修正パネル（両翼折り曲げ端部は高さで最大 0.5mm 以内に収まっている。）



黒色線：初期の外形抜き金型下型断面形状
水色線：修正後の外形抜き金型下型断面形状

図 3-6 外形寸法不具合対策量の定量化

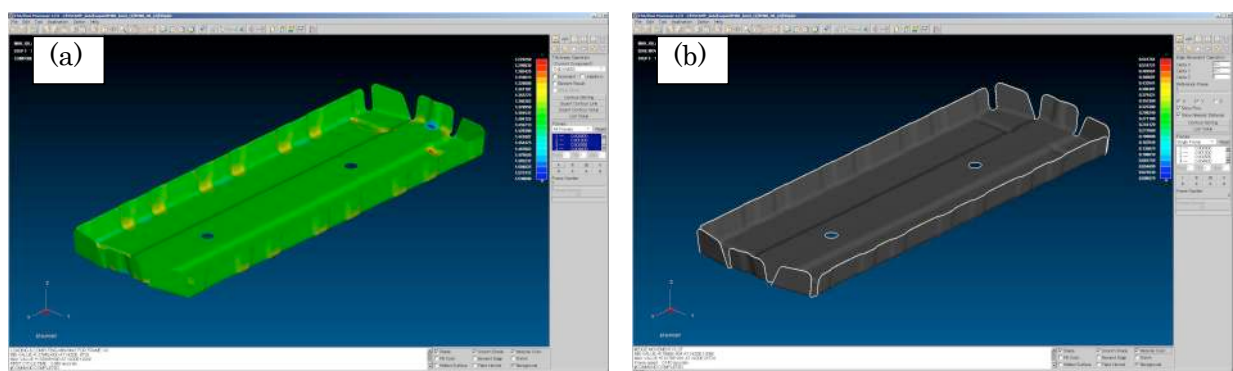


図 3-7 成形シミュレーション結果 (a)板厚分布 (b)外形線表示

第4章 トライ工程のデジタルデータ化および事例研究による金型設計の高度化－3

(寸法精度不具合に対応する技術のデジタル化)

4－1 研究目的及び目標

金型修正における熟練技能の継承を図るため、トライ工程をデジタル化し、データベースとして蓄積する。寸法精度の不具合修正対策技術のデジタルデータを各1例作成する。

4－2 実施内容および結果

(1) 外形抜き金型、曲げ成形金型の作製

寸法精度不具合対策用モデルとして、ブランクの外形抜き金型およびその曲げ成形金型を、設計・製作した。

(2) 成形トライの実施

作製した外形抜き金型および曲げ成形金型をプレス機に設置して、成形のトライを実施した。SPH440($t=3.2\text{mm}$)の鋼板の外形を打ち抜き、曲げ成形を行った。

(3) 3次元測定機による曲げ成形金型、パネルの形状測定

曲げ成形金型形状の測定を実施した(図4－1)。また、成形トライで作成した不具合パネルについても金型と同様に3次元測定とデジタル化を行った(図4－2)。

(4) 寸法精度不具合の検証

成形したパネルの不具合の判定は、検証用製品モデルのCADデータとデジタルデータを比較した。検証用製品モデルのCADデータとデジタルデータの距離をもって、寸法精度不具合量とした(図4－3)。スプリングバックによって、曲げ成形後の寸法が変化しており、最大0.8mmの開きがあって、寸法精度に不具合があることが分かる。

(5) 寸法精度不具合の修正

金型修正には、CADデータの修正による再度の機械加工と、肉盛り溶接・手加工など職人の熟練技能による加工を施した(4－4)。金型の修正は合計2回行った。

(6) 不具合対策の効果の確認

金型形状修正後、再度、曲げの成形トライを行い、成形品のパネルを得て、3次元測定およびデータ処理を行った。最終的に良品となった成形品のデジタルデータを検証用製品モデルのCADデータと比較した(図4－5)。2回の曲げ金型修正によって、0.80mm以上あった寸法精度の不具合を0.20mm以内に収めることができ、良好な成形品が得られた。

(7) 寸法精度不具合対策量の定量化

初期金型形状と修正後の金型形状を比較した(図4－6)。修正後の形状変化は緑色で表示されており、寸法精度不具合を未然に軽減する職人の勘と金型修正技術が織り込まれている。デジタル化することによって、これらを定量的に保存することができた。

(8) 事例研究による金型設計の高度化

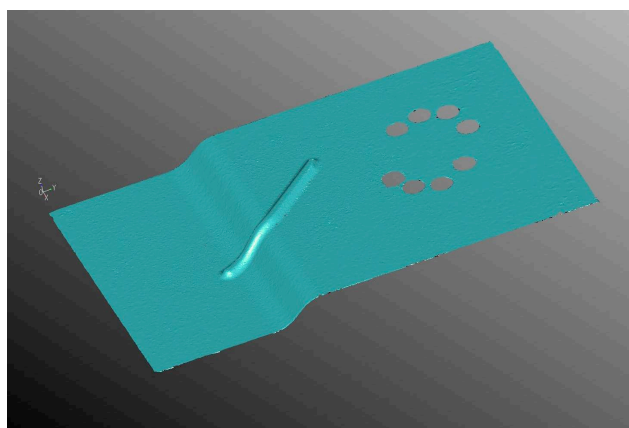
実物のトライ工程と同様の曲げ金型形状で、成形シミュレーションを行い、事例研究を実施した。初期金型形状で成形解析とスプリングバック解析を実施し、寸法精度の不具合を計算した(図4－7)。初期成形トライ品の寸法精度の不具合量は0.83mmであり、シミュレーションによる最大不具合量は0.79mmであったので、ほぼ一致していた。

4-3 研究成果

熟練技能者の金型修正技術を含む、トライ工程全ての金型形状と成形トライ品の形状をデジタル化することによって、寸法精度不具合を未然に軽減する職人の勘や対策技術のデジタルデータを1例作成することができた。また、その技能の検証もシミュレーションによって確認できた。

これを類似の加工条件に適用すれば、設計段階から熟練技能者のノウハウを最初から金型に織り込むことができ、トライ工程の削減と、金型のコストダウンと共に短納期化を実現することができる。

(a)



(b)

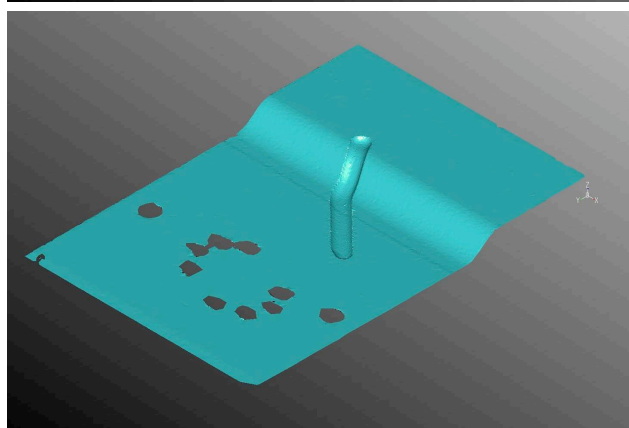
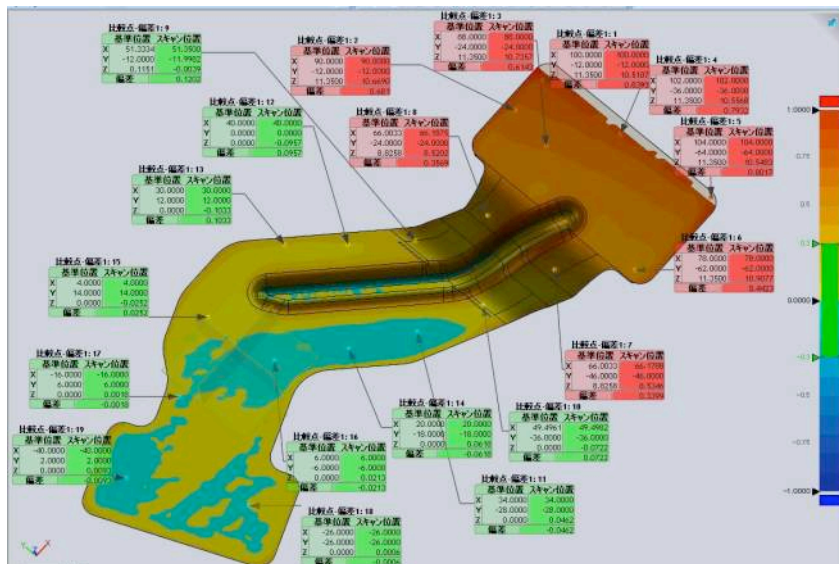


図4-1 寸法精度不具合対策前のデジタル化された金型形状 (a)上型(b)下型+クッション



図4-2 寸法精度不具合対策前のデジタル化された不具合成形パネル



赤いタブの箇所は不具合、緑の箇所は許容精度内(0.2mm 以内)

図 4-3 寸法精度の不具合検証結果 (初回)

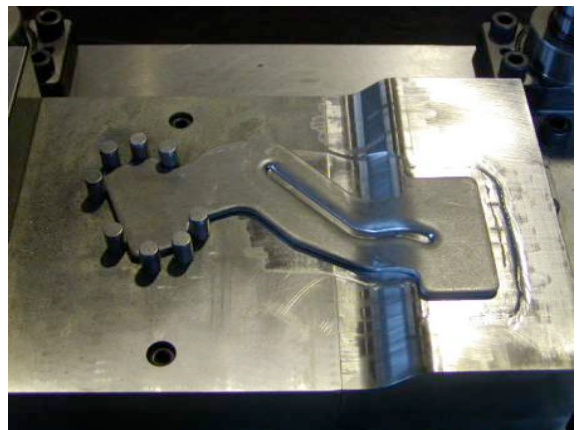
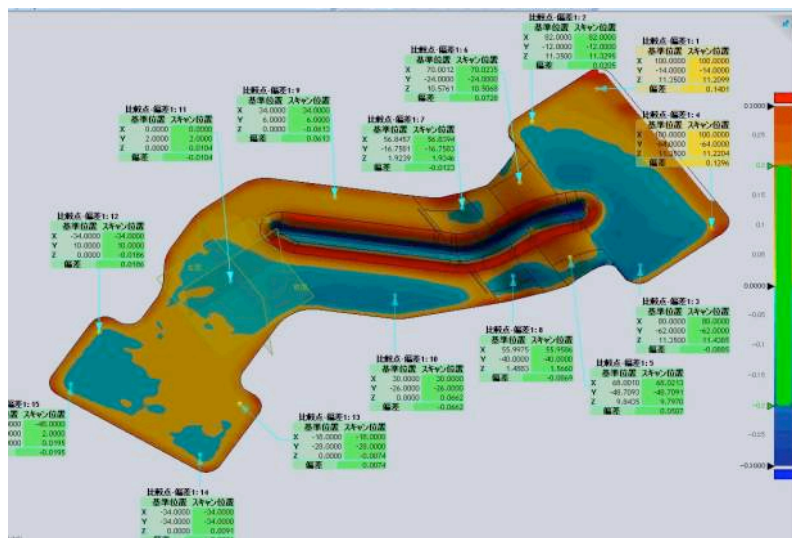


図 4-4 職人による手修正 (左 : 上型修正、右 : 下型修正)



緑、黄のタブの箇所は許容精度内(0.2mm 以内)

図 4-5 寸法精度の不具合検証結果 (3 回目)

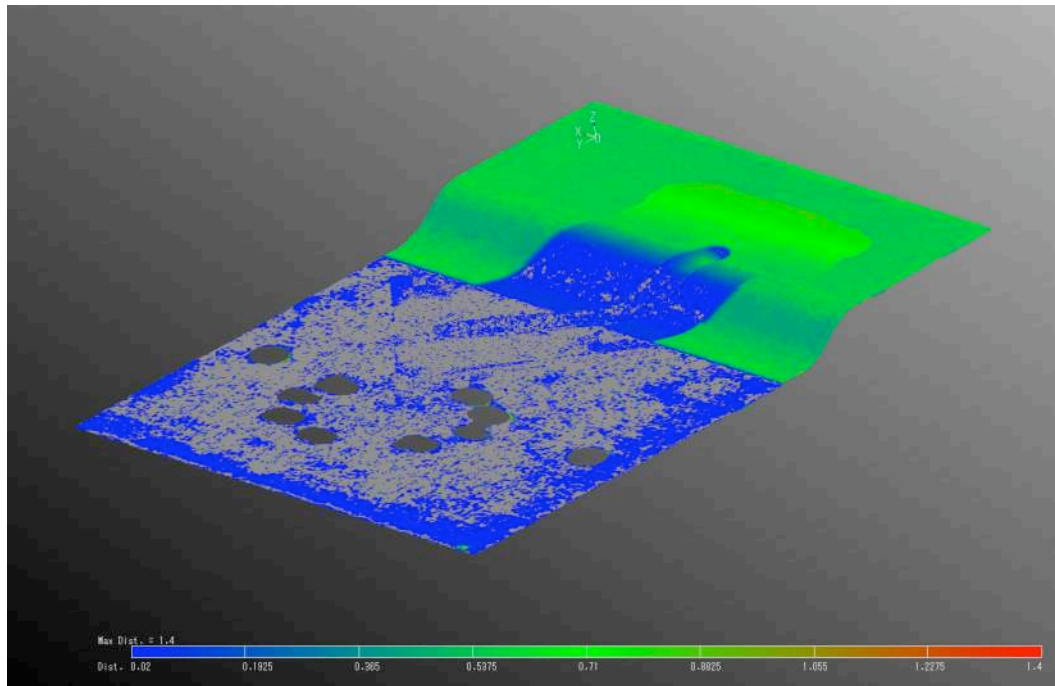


図 4-6 1 回目の金型形状の測定データと 3 回目の金型形状の測定データの比較

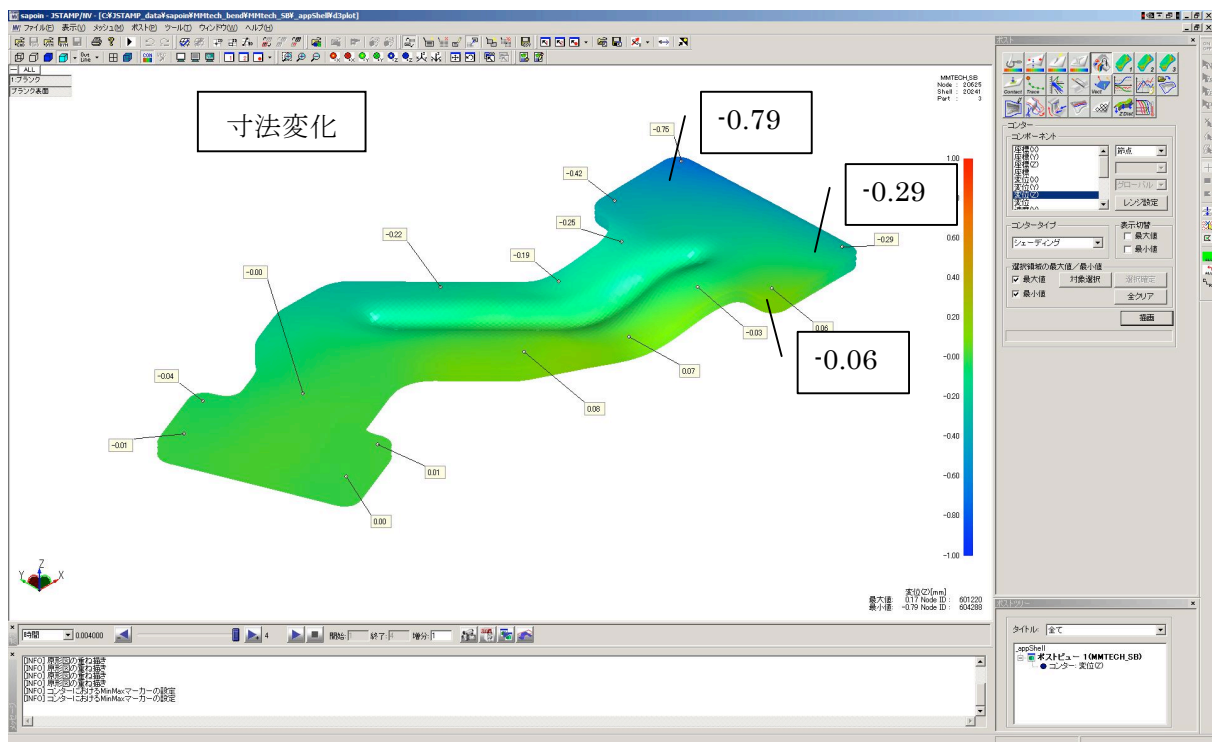


図 4-7 プレス解析システムを用いた成形シミュレーション結果

第5章 データ入稿の標準化

5-1 研究目的および目標

各社ごとに異なる CAD や金型面データの作成方法によって、シミュレーションソフトへのデータの授受に不具合が生じるのを避けるため、CAD データ入稿の標準化を行う。またプレス成形条件の情報を的確に伝えるために、解析条件指示書を作成する。これらの取り組みで、解析を依頼する場合の打ち合わせ工数の低減を図る。通常2-3日の日数を要していた打ち合わせ、確認作業を50%以上短縮し、1日以内に解析が開始できるようにする。

5-2 実施内容および結果

(1) CAD データ品質とデータ入稿不具合の関係調査

30個のCADデータについて、CADデータ品質の程度と、CADデータを元にプレス解析システムで作成した金型メッシュの品質との関連について調査した。CADデータ品質の程度はCADデータ品質チェックソフトウェアを使用してチェックを行い、金型メッシュの不具合は、プレス解析システム2種類と汎用メッシュ作成ソフトウェア2種類の計4種類のメッシュ作成ソフトウェアを使用してチェックした。

(2) CAD データ入稿の標準化調査結果

プレス解析システムで作成した金型用メッシュの品質の優劣を元に a)~d)の分類を行い、CADデータ品質と金型メッシュの品質との関連を調査した。

a) 品質良好

作成したメッシュの品質が良好でそのままの状態ですべてのプレス成形シミュレーションに使用しても問題がないと判断したものを「品質良好」と分類した(図5-1)。これらのCADデータについて、CADデータ品質チェックソフトウェアで品質をチェックすると、フリーエッジや曲線と曲面の離れ等のエラーが多数検出されるが、軽微なエラーがほとんどであった。そのため、メッシュ作成ソフトウェアで、大きな支障は生じなかったと考えられる。

b) 品質中度

場合によってはプレス成形シミュレーションに不具合を生じるかもしれないと判断したものを「品質中度」と分類した。確認されたメッシュの不具合は隣接するメッシュから独立してしまったメッシュ(図5-2、以後フリーエッジメッシュ)が発生したものがほとんどで、メッシュ作成ソフトのCADヒーリング機能でも修正ができなかった微小エッジ部や縫合しきれなかった面の境界部分に発生していた。これらのCADデータについてCADデータ品質チェックソフトウェアで品質をチェックしたところ、自動修正機能では修正しきれない微小エッジや曲面の自己交差などの重度のエラーが確認された。

c) 品質悪い

プレス成形シミュレーションに不具合を生じて計算ができない、もしくは不具合の修正に膨大な工数が必要であろうと判断したものを「品質悪い」と分類した。メッシュの抜け、フィレットが交差する部分でメッシュ交差やフリーエッジメッシュの発生、CADデータ読み込み時の面抜け、などの不具合が発生している(図5-3)。これらのCADデータについてCADデータ品質チェックソフトウェアで品質をチェックしたところ、自動修正機能では修正しきれない微小エッジや曲面の自己交差などの重度のエラーが確認された。

d) その他

a)～c)のいずれにも分類されなかったものを「その他」と分類した。不要な面やレイヤーが混在していたり、面が二重になっていたりと、CAD データが成形シミュレーションを意図しておらず、品質以前の問題があった。

以上の調査により、以下のことが分かった。

1. CAD データ品質とメッシュ品質との関係

CAD データ品質とメッシュの品質は総じて相関関係があることが確認できた。また、4 つのメッシュ作成ソフトのメッシュ品質に相関関係があることが確認できた。

2. CAD ソフトウェアや CAD フォーマットの影響

CAD データを作成した CAD ソフトウェアや出力する中間形式の CAD フォーマットとメッシュ品質との明確な相関関係は見られなかった。

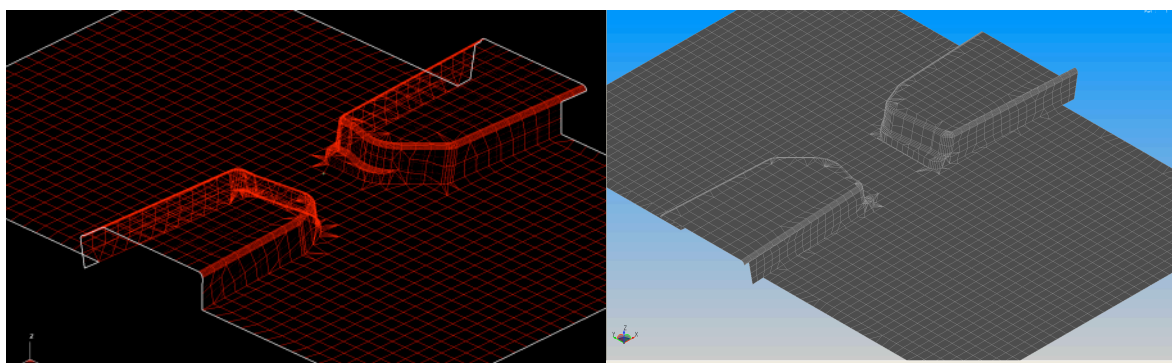
3. CAD データ品質とメッシュの品質には相関関係があるため、品質の良好な CAD データを入稿すれば、データ入稿時のトラブルがほぼ防げることが分かった。

(3) 解析指示書の作成

解析条件、金型構成部品、金型動作、CAD データ、材料やブランク形状、位置合わせなどの情報をシミュレーション担当者に的確に伝えるために、解析条件指示書を作成した。各社ごとに生産する金型の種類や設計の段取りが異なるため、汎用的な解析指示書とせずに、曲げ解析用および深絞り解析用の解析条件指示書を作成した。本解析指示書で、設計担当者とシミュレーション担当者間で解析の依頼・実施を試みたが、1 回の打ち合わせで解析が実施できた。

5-3 研究成果

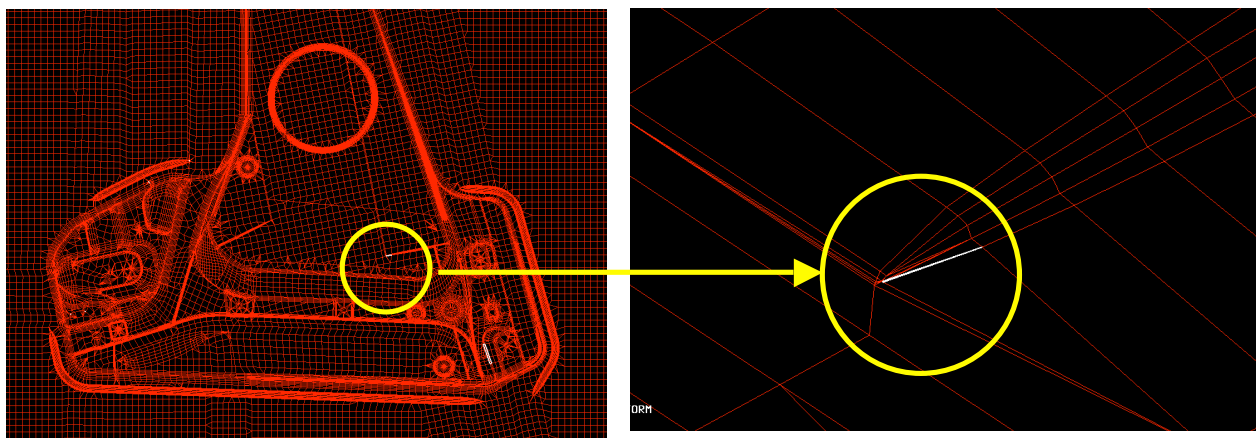
CAD データ入稿の標準化を行い、CAD 品質の事前チェック方法を確立した。これによりメッシュ作成時に不具合を起こす可能性の CAD データを金型企業において発見できる。また解析条件の情報を的確に伝えるために、解析条件指示書を作成した。これらの取り組みで、解析の依頼を試みたところ、1 回の打ち合わせで解析が可能であり、打ち合わせ工数の低減を図ることができた。今後も、解析指示書のブラッシュアップを進めていけば、様々なケースで確認作業を短縮でき、ほとんどの場合で1日以内に解析が開始できると考えられる。



(a) プレス解析システム（大学公設試向け）

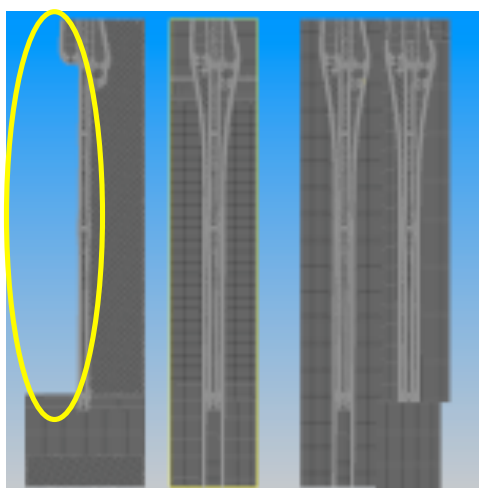
(b) プレス解析システム（企業向け）

図 5-1 「品質良好」の例

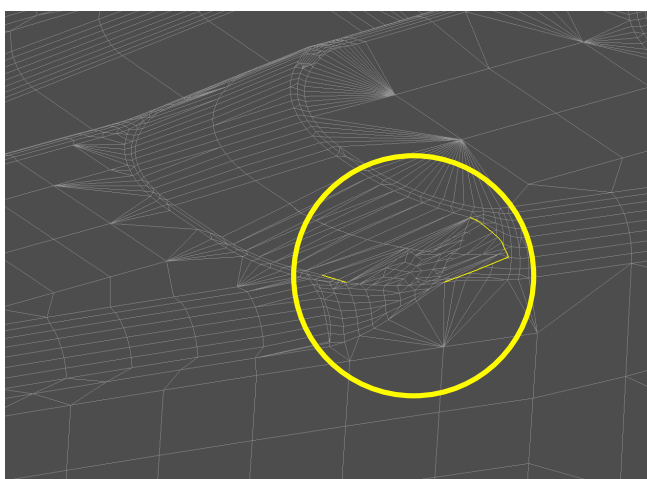


微小エッジ部にフリーエッジメッシュ発生

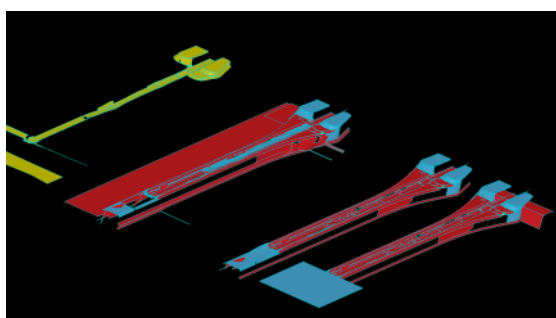
図 5 - 2 「品質中度」の例



(a) メッシュ抜け



(b) フリーメッシュやメッシュ交差



(c) CAD 面抜け



(d) メッシュ抜け

図 5 - 3 「品質悪い」の例

第6章 プレス用材料データベースの補完

6-1 研究目的及び目標

プレス成形シミュレーションソフトは材料データベースを備えているものが多いが汎用の鋼板やアルミニウム合金板に限られている。また、使用頻度の多い板厚の材料物性に限定されている。そのため、3社の使用頻度の高い材料（厚手の鋼板、ステンレス鋼板など）を中心に、6種類以上のプレス用材料のデータを補完する。

6-2 実験方法

補完する材料の種類を決定し、引張試験を行って材料データを拡充した。

また、一般的に行われている JIS に基づく引張試験ではプレス成形シミュレーションに必要な高ひずみ域のデータを得ることができない。そこで、画像解析を用いた引張試験によって得られた応力ひずみ曲線を、理論的な材料物性モデルに当てはめ、高ひずみ領域にまで対応できる材料データベースを構築する。

補完する材料の種類を①SUS304（オーステナイト系ステンレス鋼）、②A5056（アルミニウム合金）、③C1100（タフピッチ銅）、④S45C（炭素鋼、機械構造鋼）、⑤SCM420（クロムモリブデン鋼、機械構造用合金鋼鋼材）および⑥SPH440（熱間圧延鋼板）に決定し、データベース化した。

（1）JIS 引張試験

JIS(JIS Z 2241)に基づく引張試験によって弾性係数（ヤング率）、ポアソン比、降伏応力、変形抵抗曲線および破断ひずみなどの基本的な機械特性を計測した。試験片形状は平滑丸棒引張試験片および平滑板材引張試験片（図6-1）とした。変形初期の弾性係数およびポアソン比を高精度に測定するために、試験片1点につき2軸ひずみゲージ2枚ないし3枚を瞬間接着剤によって貼付し、データロガーによって測定値を収録した。

（2）画像解析を用いた引張試験

画像解析を用いた高精度引張試験によって FEM 解析に必要な変形抵抗および積分型延性破壊条件式における限界ダメージ値を実測した。本実験においては、引張荷重計測と同時に切欠付き丸棒および板材の引張試験片のくびれ形状をデジタルビデオカメラで連続的に撮影した（図6-3）。収録された映像に画像解析を施すことによってそのくびれ部直径およびくびれ部局率半径を測定し、内部の応力を算出した。これによって引張試験開始時から破断に至るまでの全ひずみ範囲において応力およびひずみ履歴が得られ、これによって破壊限界データベースを構築した。供した試験片形状は、切欠付き丸棒引張試験片および板材引張試験片（図6-2）とした。なお、上記2種類の実験結果は表計算ソフトを用いてグラフ描画および数式等を組み込んだ雛形を予め準備しておくことによって短時間での処理を実現した。

6-3 研究成果

（1）変形抵抗データベース

引張試験結果から6材料種について弾性変形および塑性変形特性を取得し、データベース化し

た。SUS301 のデータベース事例を図 6－4 に示す。変形抵抗データベースにおいて弾性変形特性としてヤング率およびポアソン比を、塑性変形特性として全ひずみ－真応力データを n 乗硬化則近似および塑性ひずみ－真応力データを線図ならびに Swift 則近似にて収録した。また、これに加えて引張試験で得られた引張荷重、伸び、ひずみ値の履歴は数値データとしても提供されており、種々の数値シミュレーションへ幅広く応用可能。

(2) 破壊限界データベース

画像解析引張試験結果から 6 材料種について応力三軸度－相当ひずみ線図および限界ダメージ値を取得し、データベース化した。前者の C1100 および S45C データベース事例を図 6－5 に示す。切欠引張試験結果から試験片中央部の初期切欠き半径を $R_0=1,3$ および 20 mm とした場合の応力三軸度－相当ひずみ線図ならびにそれぞれの破断相当ひずみがデータベース化されており、応力状態に応じた最終破断ひずみの結果が利用できる。また図 6－6 に主な積分型延性破壊条件式における限界ダメージ値データベースの例を示す。現状では商用シミュレーションソフトにおいて、延性破壊予測の際にこれらの物性値を入力する必要があるが、この図から必要な値を選択して利用することによって、割れ予測が可能になる。これらのデータベースならびに数値データをもって、高精度プレスシミュレーションに必要な 6 材種の材料データベースが補完された。

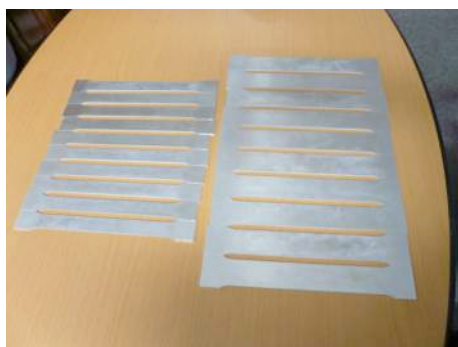


図 6－1 JIS 引張試験片



図 6－2 画像引張試験片

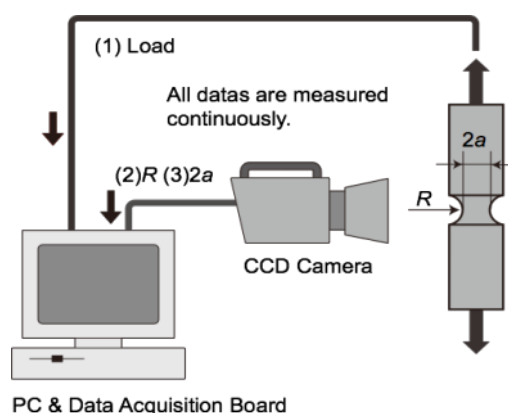


図 6－3 画像解析を用いた引張試験（丸棒試験概念図）

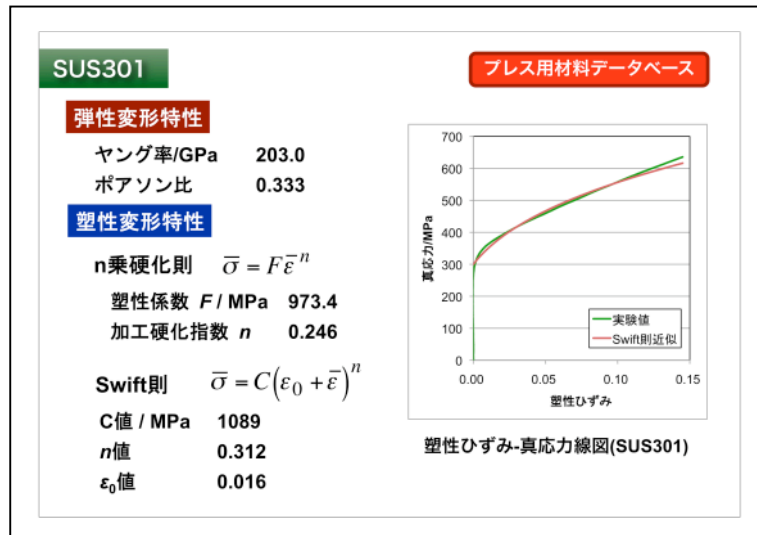


図 6 - 4 変形抵抗データベース (例 : SUS301)

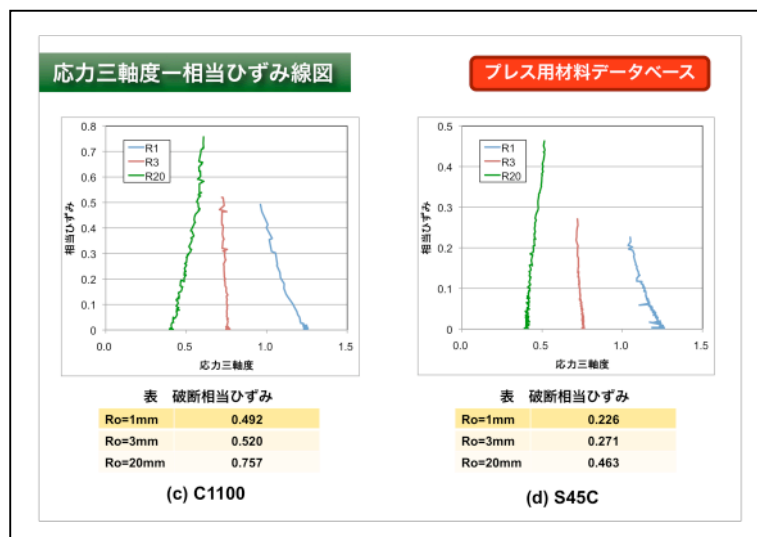


図 6 - 5 破壊限界データベース (例 : C1100 および S45C の応力三軸度—相当ひずみ線図)

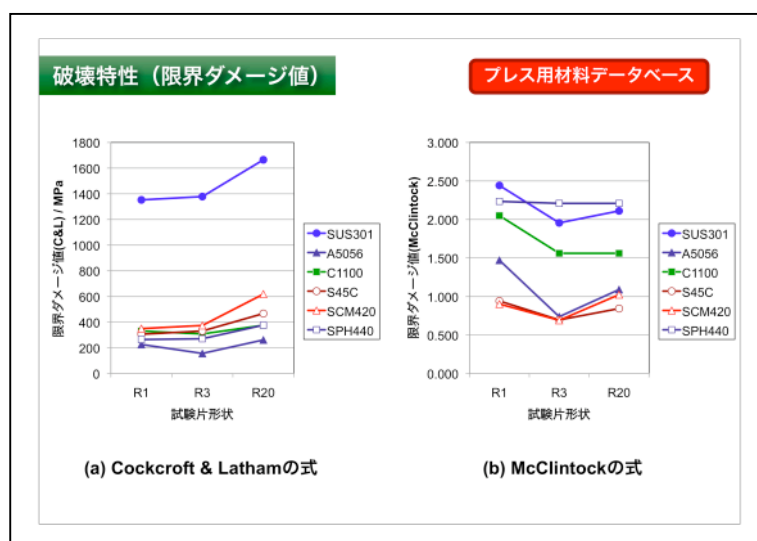


図 6 - 6 破壊限界値データベース (例 : C&L および McClintock 破壊限界ダメージ値)

第7章 全体総括

7-1 成果の総括

プレス金型製造の短納期化を実現するためには熟練技能を設計技術として取り込み、シミュレーションを活用して、金型設計の高度化を測る必要がある。

本事業では、プレス金型製造の際のトライ工程全ての金型形状と成形トライ品形状のデジタル記録を行った。熟練技能者の金型修正技術を含む、われ・しわを抑制する不具合対策技術、外形寸法の厳しさに対応する技術、寸法精度の不具合対策技術のデータを各1例ずつデータベースとして蓄積することができた。また、その熟練技能の効果の検証もシミュレーションによって確認できた。これらの取り組みによって熟練技能を設計データとしてフィードバックすることが可能となった。

また、本事業ではシミュレーション実施を共同運用する仕組みの構築を目的として、シミュレーション担当者に解析を依頼する際の工数低減のためのCADデータ入稿の標準化を行い、CAD品質の事前チェック方法を確立した。これによりメッシュ作成時に不具合を起こす可能性のCADデータを金型企業において発見できる。また解析条件の情報を的確に伝えるために、解析条件指示書を作成した。これらの取り組みで、解析の依頼を試みたところ、1回の打ち合わせで解析が可能であり、打ち合わせ工数の低減を図ることができた。今後も、解析指示書のブラッシュアップを進めていけば、様々なケースで確認作業を短縮できると考えられる。

さらに、プレス成形シミュレーションの材料データベースの補完として、ステンレスや銅合金板など6種類のプレス用材料の変形抵抗データと破壊限界データを測定し追加した。

7-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

なし

7-3 今後の事業化に向けた取り組み

今後は、「特定ものづくり基盤技術の高度化を図るための特定研究開発等の計画」の残り期間分（平成24年3月31日）については、補完研究または戦略的基盤技術高度化支援事業を実施することにより、当初の予定に従って、事業化を進めていく。

以下、H24年度以降の事業化計画および体制図を示す。

（1）シミュレーション支援室の設立・運用に向けた取り組み

・H24年度 シミュレーション支援室の運用開始

共同体でシミュレーション支援室の試験運用を開始し、金型設計へのシミュレーションの活用に取り組み、65%の金型にシミュレーション等を適用する。全金型の製造コストを5%、トライ工数40%の削減(平均14日)を実践し、コスト削減と短納期化の実績を作る。また、シミュレーション支援室の組織形態を検討する。解析補助員の雇用を行い、補助員の教育を行いながら、シミュレーションの業務を行う。研究開発の成果である運営ノウハウを生かし、補助員へのシミュレーション業務の移管を進める。

・H25年度 共同体の拡大

共同体への参加企業を新たに2社勧誘して合計5社の共同体を結成し共同する。企業数を5社に拡大する。

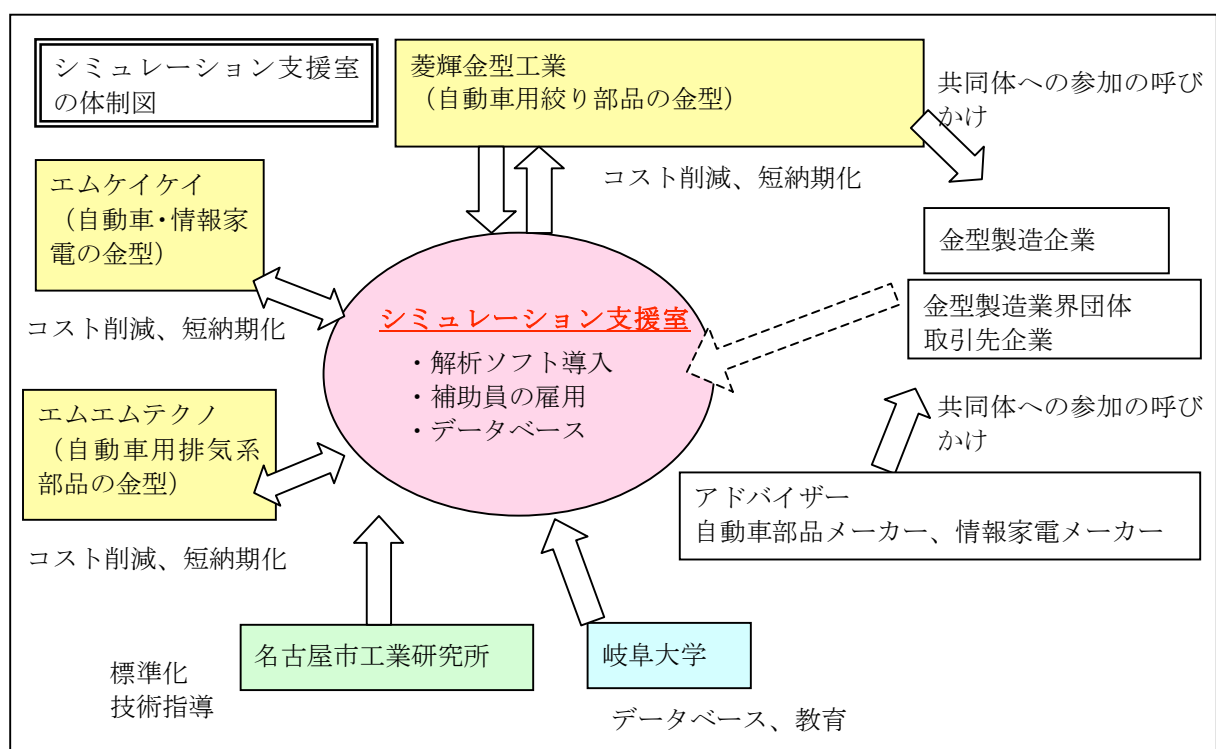
・H28年度 シミュレーション支援室の自立運営

共同体企業業数を 20 社程度に増やし、解析専門スタッフを雇用した自立運営体制に移行する。

共同体への参加企業を増やす宣伝・普及活動を行い、参加企業や解析補助員の増加を H25 年度より段階的に行い、上記の体制を確立する。また、解析専門スタッフは岐阜大学の金型創成技術研究センターで訓練を受け、必要な人材を確保する。

・H31 年度以降

共同体企業数を 90 社程度に増やし、愛知・岐阜・三重の金型製造企業の 2 割を支援。また、他地域にも支援組織を拡大する。川下企業にも協力を要請し、取引のあるプレス金型企業の参加を促す。また運営ノウハウを積極的に開示し、他地方でのシミュレーション支援室の立ち上げも支援する。



(2) 金型の短納期化に向けた取り組み

1 社あたり、年間約 40 回程度のシミュレーションの実施や技能のデジタル化を支援し、短納期化と金型製造コストの削減を実施する。これらの支援によって金型の納期短縮は 14 日/型、コスト削減は約 6.5%を見込んでおり、共同体企業の拡大に合わせて支援回数を増加して、金型の短納期化とコスト削減を実現していく。