

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「省エネ超軽量自動車向けウルトラハイテン材のスプリングバック
制御可能なプレス金型設計システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月31日

委託者 関東経済産業局

委託先 JFEテクノリサーチ株式会社

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
1.1.1	研究開発の背景	1
1.1.2	研究目的及び目標	1
1.2	研究体制	3
1.2.1	研究体制及び管理体制	3
1.2.2	管理員及び研究員（役職は平成22年3月1日現在）	5
1.2.3	経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	6
1.2.4	他からの指導・協力者	6
1.3	成果概要	7
1.4	プロジェクト連絡窓口	7
第2章	本論	8
2.1	試作金型によるウルトラハイテンのスプリングバック評価試験	8
2.1.1	ハイテンの材質特性 [1-1]	8
2.1.2	プレス品形状とシミュレーション結果との比較 [1-2], [2-1]	9
2.1.3	シミュレーション結果 [1-2], [2-1]	10
2.1.4	形状測定の迅速化 [1-3]	12
2.2	高張力鋼板の反転負荷特性 [1-2], [2-1]	13
2.2.1	概要	13
2.2.2	試験方法	13
2.2.3	試験結果	14
2.2.3.1	単軸引張試験結果	14
2.2.3.2	面内反転負荷試験結果	15
2.2.4	引張曲げ曲げ戻し変形のシミュレーション	17
2.3	金型の温度計測技術による金型・鋼板間の摩擦予測技術の開発 [2-2]	20
2.3.1	研究目的	20
2.3.2	温度測定方法	20
2.3.3	温度測定結果	21
2.4	シミュレーションを利用した金型迅速製作に関する特許出願動向の調査 [1-2]	25
2.4.1	調査方法概要	25
2.4.2	当該特許出願の特徴	25
2.4.3	特許動向総括	26
第3章	まとめ	27

第1章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1.1.1 研究開発の背景

昨今の環境保護および経済状況の観点から、自動車メーカーには軽量化と衝突安全性、低コスト化の同時成立が極限まで求められている。しかしこれを解決する980MPa以上のウルトラハイテンのプレス加工では、スプリングバック量が飛躍的に大きくなって形状予測が難しく、適用拡大の妨げになっている。本研究の目的は、省エネ超軽量自動車向けウルトラハイテン対応の金型設計システムの開発により高度化目標を達成する。

1.1.2 研究目的及び目標

本研究開発では、ウルトラハイテンの3次元的なスプリングバックについて、試験金型を用いて測定し、シミュレーションの予測精度を高める。スプリングバックを適正值に収めるために、バウシंगा効果を含む構成則を用いて同定し、実験とシミュレーションの整合性を行う。スプリングバック量の測定には、3次元形状測定器を用いて迅速測定し、シミュレーションとの差異を算出する。金型・鋼板間の摩擦や発熱温度、金型剛性などの外乱要因もスプリングバックの予測の外乱要因なので解明する。これらに関して、以下の細目の研究開発を実施する。

[1-1] 試作金型によるウルトラハイテンのスプリングバック評価試験

現状：金型手直し回数5～7回

目標：トライレス化

研究内容：ウルトラハイテンの複雑形状化・一体成形化されたプレス部品で問題となるねじれや稜線反りなどの3次元的なスプリングバックについて、試験金型を用いて測定し、シミュレーションの予測精度を高める

実施体制：マルスン株式会社、静岡県工業技術研究所

[1-2] スプリングバック評価用シミュレーションの予測値と成形品との差異修正パラメータの適正化

現状：ウルトラハイテン非対応、

目標：ウルトラハイテン対応シミュレータ

研究内容：スプリングバックを適正值に収めるためには、各工程の分担をシミュレーション上で共有しながら解決する。材料モデルは、バウシंगा効果を含む構成則を用いて同定し、実験とシミュレーションの整合性を行う。また、当該技術についての先行特許調査を行う。

実施体制：国立大学法人東京農工大学、マルスン株式会社、JFEテクノロジー株式会社

[1-3] スプリングバックの迅速測定技術の開発

現状：測定時間-4～6時間

目標：測定時間-10分程度、誤差-自動車メーカー許容値内

研究内容：ねじれや稜線反りなどの3次元的なスプリングバック量の測定には、プロジェクトによる複合パターン投影法を用いて迅速測定し、シミュレーションとの差異を算出する。

実施体制：マルスン株式会社、JFEテクノロジー株式会社

[2-1]ウルトラハイテン専用のスプリングバック予測シミュレーション技術の確立

現状：自動車メーカー誤差許容値オーバー

目標：自動車メーカー誤差許容値内、破断予測可能、かつトライレス化可能シミュレータ

研究内容：製品・成形・金型の各設計段階で応力分布や剛性をシミュレーションすることでスプリングバック量の低減が可能となる。製品設計～金型設計～成形までの統一したシミュレーション装置をベースとし、ウルトラハイテンで大きな影響を有する摩擦温度及び材質変化データの投入、さらに計算値と実測値の修正整合など、装置運用の技術を確立する。

実施体制：国立大学法人東京農工大学、マルスン株式会社

[2-2]金型の温度計測技術による金型・鋼板間の摩擦予測技術の開発

現状：測定技術無し

目標：摩擦予測組込シミュレータ

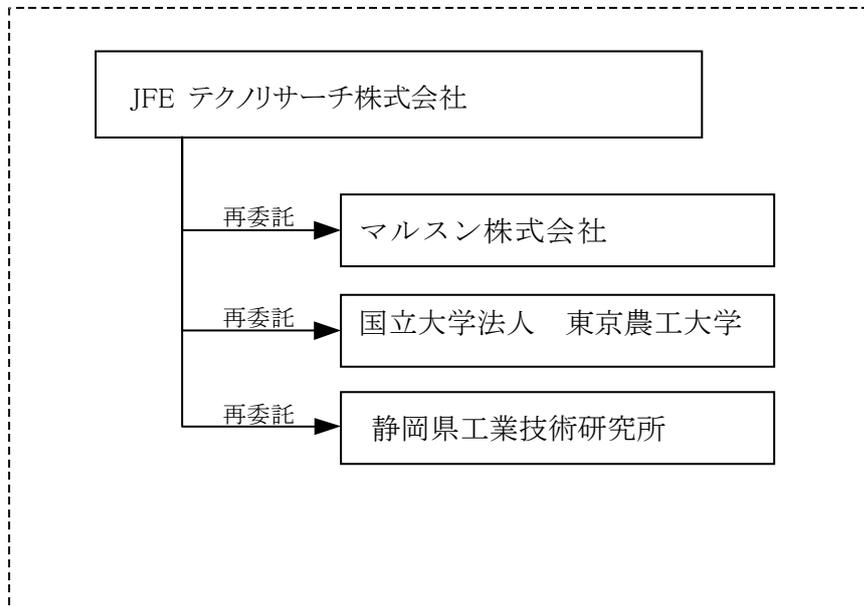
研究内容：金型・鋼板間の摩擦や発熱温度、金型剛性などの外乱要因もスプリングバックの予測を困難としているため、高精度な2次元赤外線カメラを用いて温度を測定してシミュレーションの精度を高める。

実施体制：JFEテクノロジー株式会社、国立大学法人東京農工大学、マルスン株式会社

1.2 研究体制

1.2.1 研究体制及び管理体制

(1) 研究組織



統括研究代表者（P L）

マルスン株式会社

生産技術部次長 鈴木 俊男

副統括研究代表者（S L）

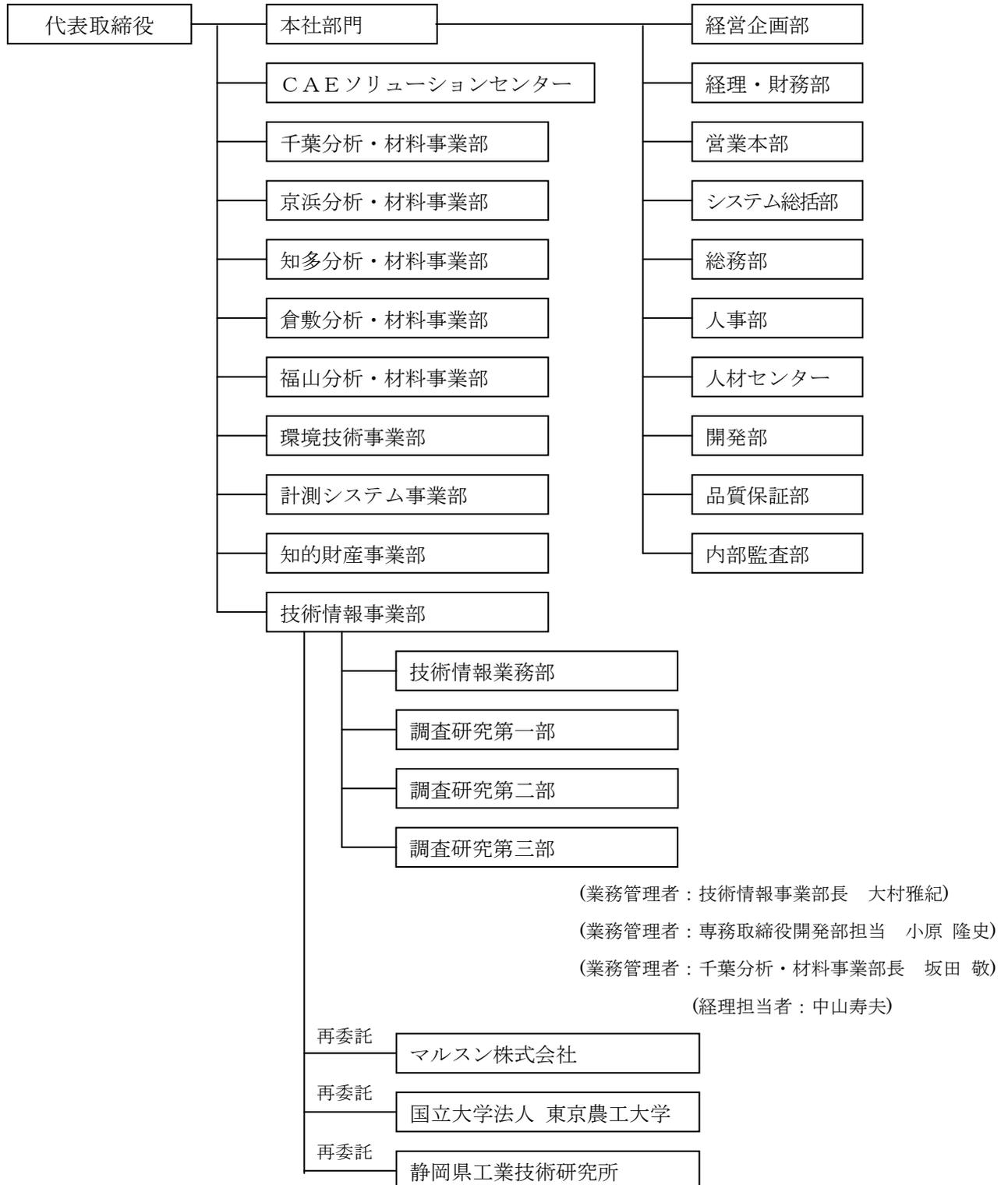
マルスン株式会社

生産技術部 係 渡邊 大悟

(2) 管理体制

① 事業管理者

【JFE テクノリサーチ株式会社】



江畑 友志 製造部 製造課 課長代理
山本 浩朗 生産技術部 係

【国立大学法人 東京農工大学】
桑原 利彦 先端機械システム部門・教授

【静岡県工業技術研究所】
長津 義之 機械電子科・副主任
加藤 俊文 機械電子科・研究主幹

1.2.3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

【JFE テクノリサーチ株式会社】

(経理担当者) 技術情報事業部 技術情報業務部 主査 中山 寿夫
(業務管理者) 専務取締役開発部担当 小原 隆史
技術情報事業部 常務取締役事業部長 大村 雅紀
千葉分析・材料事業部長 取締役事業部長 坂田 敬

(再委託先)

【マルスン株式会社】

(経理担当者) 総務部 総務課長 堀内 昭
(業務管理者) 常務取締役 宇田 八州弘

【国立大学法人 東京農工大学】

(経理担当者) 研究支援・産学連携チーム 田村 理恵
(業務管理者) 先端機械システム部門・教授 桑原 利彦

【静岡県工業技術研究所】

(経理担当者) 総務課 課長 宮本 昭一
(業務管理者) 所長 大槻 民夫

1.2.4 他からの指導・協力者

(アドバイザー)

加藤 忠郎 社団法人 日本金型工業会 プレス部会長
鈴木 幹彦

1.3 成果概要

本研究開発により、金型製造における次の3工程において、大幅に時間短縮を図る技術が獲得された。

「成形品製品形状に応じた金型の設計」

ウルトラハイテンの特異性が理解され、バウシंगा効果を考慮することで高精度なシミュレーションの可能なこと分かった。これにより、後工程での修正作業を減らすことができる。また、温度測定により、シミュレーションに温度情報を与える手段が獲得された。これにより、必要に応じ、さらに高精度なシミュレーションが可能であり、今後の一層の開発に役立つ。

「トライプレス品の形状測定と製品形状との比較」

自動車部品のプレス品は大型であり、形状測定には多大の時間を要する。測定子の交換、分断データの統合化処理を自動的行なう装置の導入により、作業時間の大幅な短縮が可能になった。

また、ねじれや稜線反りなどの3次元的なスプリングバック量の測定に関して、精度を必要としない初期の段階では、3Dカメラのデータ解析により大幅な時間短縮のできること確認された。

「金型の修正設計」

トライプレス結果と製品形状の誤差分の修正は、作業者の経験に基づく見込み量に頼っていた。今回、これを計算により行なう装置を導入した。自動修正装置と経験ノウハウの合体により、金型修正設計が大幅に迅速化できることになる。今後、さらに熟練技術者のノウハウを数値化して移転することにより、使いやすい装置とできる見通しが得られた。

以上の3種類の技術により、金型製造全体を通じた大幅な合理化技術開発の見通しを得た。

1.4 プロジェクト連絡窓口

JFE テクノリサーチ株式会社

技術情報事業部 調査研究第三部 主査 樺沢 真事

TEL 03-3510-3432

FAX 03-3510-3476

E-mail kabasawa@jfe-tec.co.jp

第2章 本論

2.1 試作金型によるウルトラハイテンのspringバック評価試験

2.1.1 ハイテンの材質特性 [1-1]

本研究では、成形予測精度を高め、ウルトラハイテンのspringバック制御可能なプレス金型設計システムの開発を目指している。成形予測には材料の機械特性の把握が不可欠であるが、コイル材には、圧延方向に対する異方性及びコイル幅方向の位置による各特性の差異が存在する。そのため、特性値のそれらの依存性及び曲げ成形性への影響について調査した。対象材料は、本研究の自動車用部品成形試験で用いる厚さ1.2mmの980、780及び590MPa級ハイテンである。

今回、それらの材質特性の把握のために、単軸引張試験を実施した。それぞれの材料を板幅方向に右、左、中央と3分したそれぞれに、圧延方向に対して0、45及び90°の3種類の計9種類のJIS5号試験片を作成した。試験片を(株)島津製作所のオートグラフ(AG-25TA)にて引張り、耐力、r値、及びn値を計測した結果例を以下図2.1-1~2.1-3に示す。

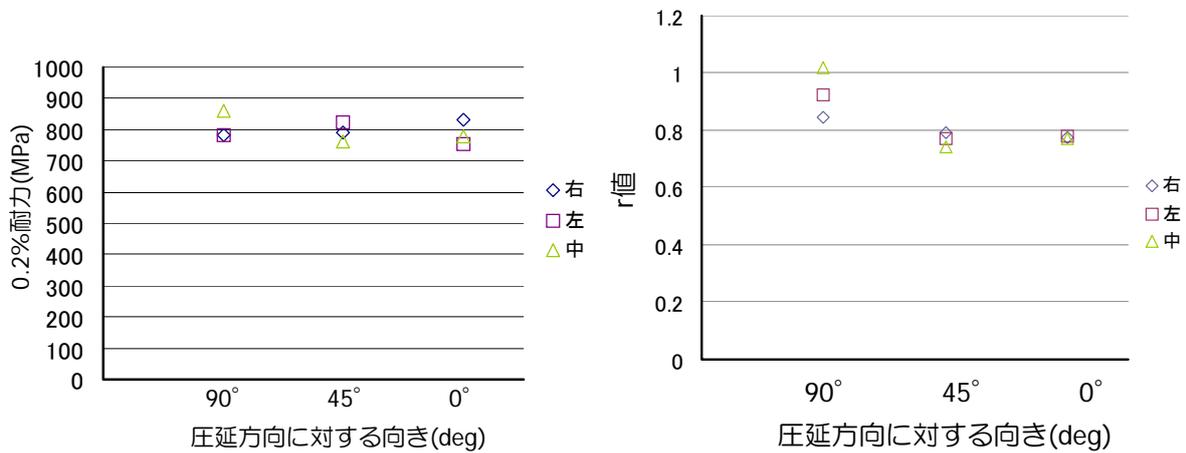


図 2.1-1 980MPa 級 0.2%耐力

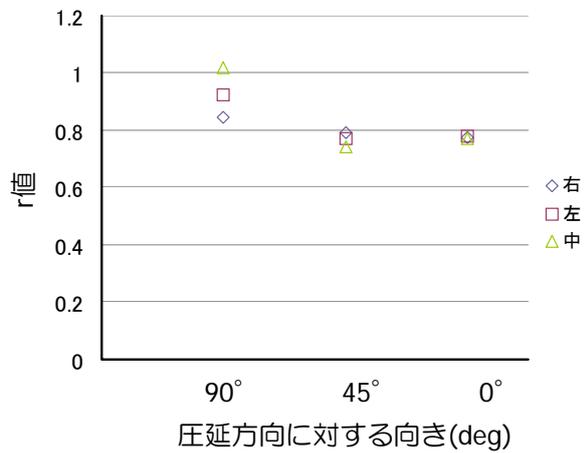


図 2.1-2 980MPa 級 r 値

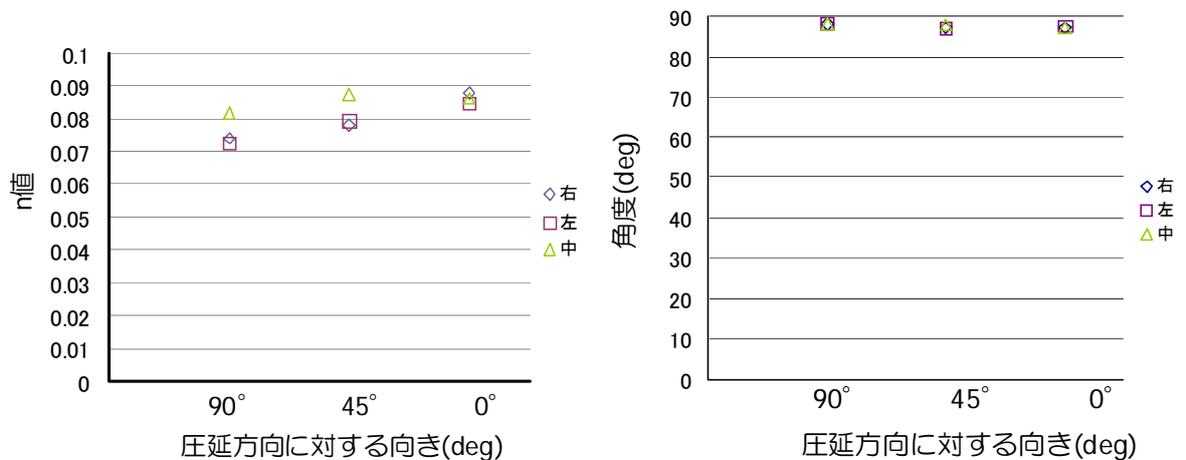


図 2.1-3 980MPa 級 n 値

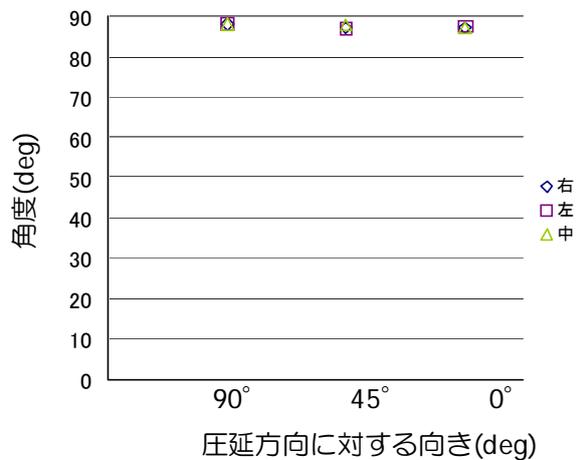


図 2.1-4 980MPa 級曲げ試験結果

SPCCと比較すると今回使用するハイテン材は、異方性が小さい材料といえる。また、強度が上がるほど、異方性や板幅方向の差異が小さくなる傾向が見られた。また、曲げ成形性の評価のため、同様な種類の30×100(mm)の試験片にてV曲げ試験を実施した。結果を図2.1.4に示す。物性値と同様に異方性ではSPCC比較して少ない材料と判断される。

2.1.2 プレス品形状とシミュレーション結果との比較 [1-2], [2-1]

今回、研究対象としてセンターピラー（以下、CTR-PLR）とメンバーリンフォース（以下、M BR）の2部品の試作金型（※ 機器設備：「試作金型セット」）を製作し、トライアウトを行った。試験材料として、980MPa,780MPa,590MPa級でそれぞれ板厚1.2mmの材料を用意、また、シミュレーション解析用に、2.1.1及び第3章の材料試験による物性値を使用した。

実際にトライプレスで成形されたパネルの三次元測定結果と、シミュレーションにおけるスプリングバック結果とを比較し以下の1)~3)の手順にてその正解率を算出した。

以下では、980MPa級高張力鋼板のCTR-PLRを例示しながら結果を報告する。

- 1) まず、シミュレーションにおけるスプリングバック結果と基準モデルとの差異を表す図（以後、カラーマップと呼ぶ。図2.1-5）を作成するに当たり、解析結果と基準モデルとを位置合わせ(ベストフィット)する必要がある。

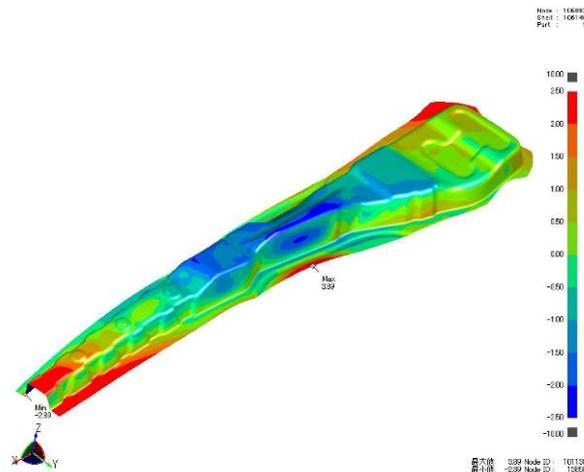


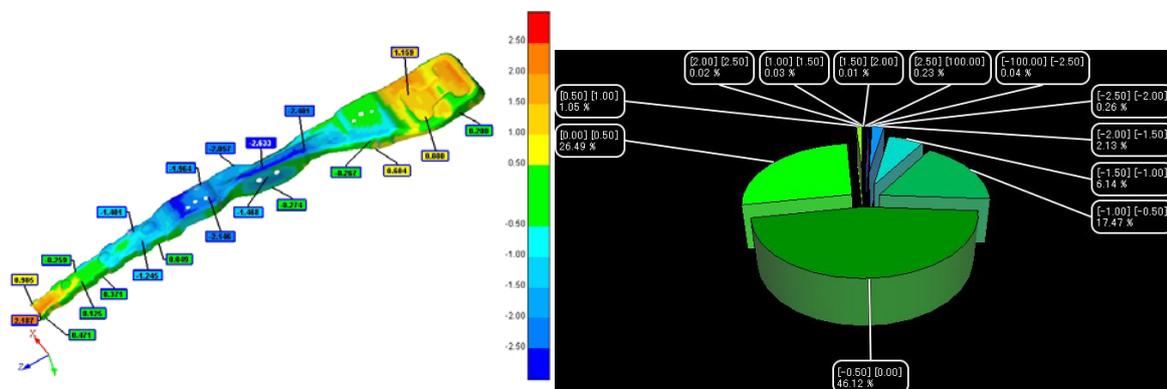
図 2.1-5 シミュレーションにおけるスプリングバック結果のカラーマップ

カラーマップはこのベストフィットの方法に大きく依存するため、ルールを予め決定し、その元でベストフィットする必要がある。マルスン㈱では、過去の実績を調査した結果から、信用性が高いとされた手法を採った。

以上の手法で、解析結果を基準モデルとベストフィットした上で、カラーマップを作成する。

この際、ベストフィットされた状態の解析結果を、点群データ(STL)で出力しておく。

- 2) 次に、実際のパネルの三次元測定結果からカラーマップを作成するに当たり、測定結果(STL)と基準モデルとのベストフィットを、解析結果のときと同様の条件にしなければならない。そこでまず、三次元測定結果の STL をあらかじめ用意されたシミュレーション結果の STL と張り出し成形面でベストフィットする。これにより、測定結果の STL が、解析結果の STL とほぼ同様の条件で基準モデルとベストフィットされていると考えられることから、この状態で三次元測定結果のカラーマップを作成する。
- 3) 最後に、シミュレーション結果の STL と三次元測定結果の STL とをベストフィットした状態で両者の差異を測定し、正解率を算出する。製品公差(面精度)がおおむね $-0.5\text{mm} \sim +0.5\text{mm}$ m であることから、両者の差異が $-0.5\text{mm} \sim +0.5\text{mm}$ に入っている割合を、その部品におけるシミュレーションのスプリングバック予測の正解率としている(図 2.1-6)。



正解率： $-0.5\text{mm} \sim +0.5\text{mm}$ ・・・72.61%

図 2.1-6 三次元測定結果と正解率(例)

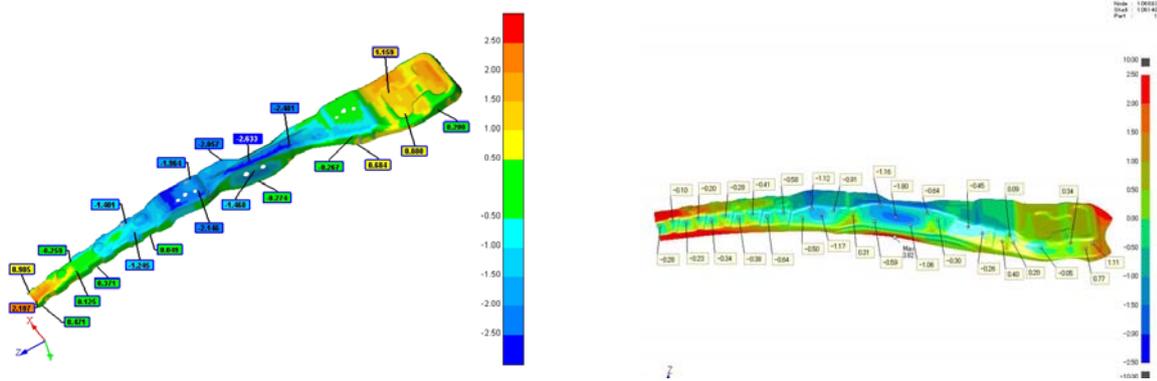
2.1.3 シミュレーション結果 [1-2], [2-1]

前節の手法にてスプリングバック予測を行い、正解率を算出した。ここでは、代表例として、各部品の 980MPa(ウルトラハイテン)におけるシミュレーション結果とその正解率を紹介する。

CTR-PLR を例として、三次元測定結果と従来の材料モデル(引張り試験結果、バウシング効果を考慮しない)でのシミュレーション結果および正解率を以下に示す(図 2.1-7)。

(1)バウシング効果を考慮しない従来の材料モデル

CTR-PLR(クッションストローク 70mm、クッション圧 80ton)

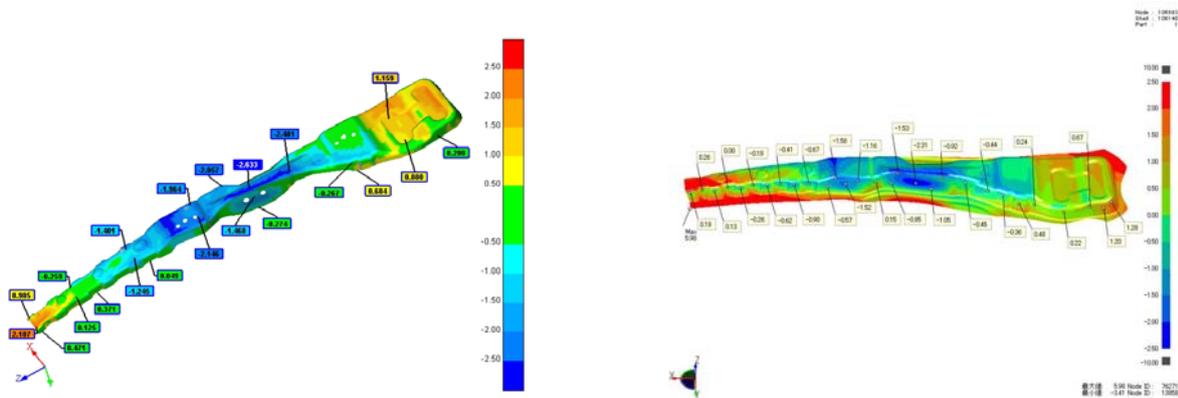


正解率 : -0.5mm~+0.5mm・・・72.61%

図 2.1-7 三次元測定結果とシミュレーション結果および正解率

次に、第 3 章で得られた応力-ひずみ線図による値を基にバウシंगा効果を考慮した材料モデルでのシミュレーション結果および正解率を以下に示す。プレス条件は(1)と同様である(図 2.1-8)。

(2)バウシंगा効果を考慮した材料モデル
CTR-PLR(C ストローク 70mm、C 圧 80ton)



正解率 : -0.5mm~+0.5mm・・・83.06%

図 2.1-8 三次元測定結果とシミュレーション結果および正解率

なお、MBR に関しては、CTR-PLR に比べスプリングバック量が非常に大きいことから-0.5mm~+0.5mm に入るような予測はやはり難しく、-2.5mm~+2.5mm での割合を比較してみた。その結果、バウシंगा効果を考慮しない材料モデルの場合が 49.69%に対し、バウシंगा効果を考慮した材料モデルの場合は 72.12%にまで上昇した。

以上の結果より、バウシंगा効果を考慮に入れた材料モデルでのシミュレーション解析を実施することで、シミュレーション結果の正解率が向上していることがわかる。これにより、これまで経験と勘に頼っていた張り出し成形面以外の部分においてもより正確な見込みが可能となり、実際の金型での玉成回数を減らすことや、金型製作のリードタイムの短縮・コストの削減などが期待できる。

2.1.4 形状測定の迅速化 [1-3]

これまでのプレス品の形状測定については、形状に合わせた測定子を取付け、位置決め、ティーチング及び測定、その後、その測定子では測定不可能な箇所について、その都度適合した測定子を取り付け、同様に位置決め、ティーチング及び測定を行っていた。そのため複雑な形状になると、多くの測定子とその交換が必要となるため時間と労力を要し、担当者の操作ミスの確率も増大する。そこで測定子の交換と複数測定データの統合処理を行なう装置 ARC（※ 機器設備：「試作金型用成形品形状測定専用迅速データ処理装置」）を導入し、各測定子の位置出し及びティーチングの所要時間の減少を図った。測定対象として、MBR の形状測定をし、その結果従来 8.7 時間要したポイント測定時間が 3.5 時間に減少した。更に、今回の取り組みの中で迅速化を図る為、精度を必要としない初期の段階では 3D カメラ及び評価ソフトを利用し 2 時間以内でカラーマップ判定に持ち込むことが可能になった。

2.2 高張力鋼板の反転負荷特性 [1-2], [2-1]

2.2.1 概要

780MPa 級及び 980MPa 級高張力鋼板について、単軸引張試験、面内反転負荷試験を行い、両供試材の加工硬化特性、面内 r 値分布、ならびに反転負荷特性を測定した。

2.2.2 試験方法

(1) 単軸引張試験

単軸引張試験には島津製作所製万能試験機 AUTOGRAPH AG250kNG を用いた。本試験機は実験機、制御-測定機及び指令・記録用であるコンピュータから構成されている。

(2) 面内反転負荷試験機

本研究に使用した面内反転負荷試験機を図 2.2-1 に示す。本試験機は櫛歯を有した 2 組の金型によって試験片を挟み込むことで、試験片に座屈を生じさせることなく圧縮試験することが可能である(図 2.2-1 (b))。本試験機はチャック間変位速度制御である(図 2.2-1 (c))。自作の制御ソフトにより変位速度、ひずみゲージの構成式を考慮した真ひずみ反転制御が可能である。試験片に作用する荷重はロードセル(東京測器研究所製 TCLM-50KNB)、ひずみは伸び計又はひずみゲージ(東京測器研究所製 YFLA2)により測定される。本研究ではひずみゲージを使用した。

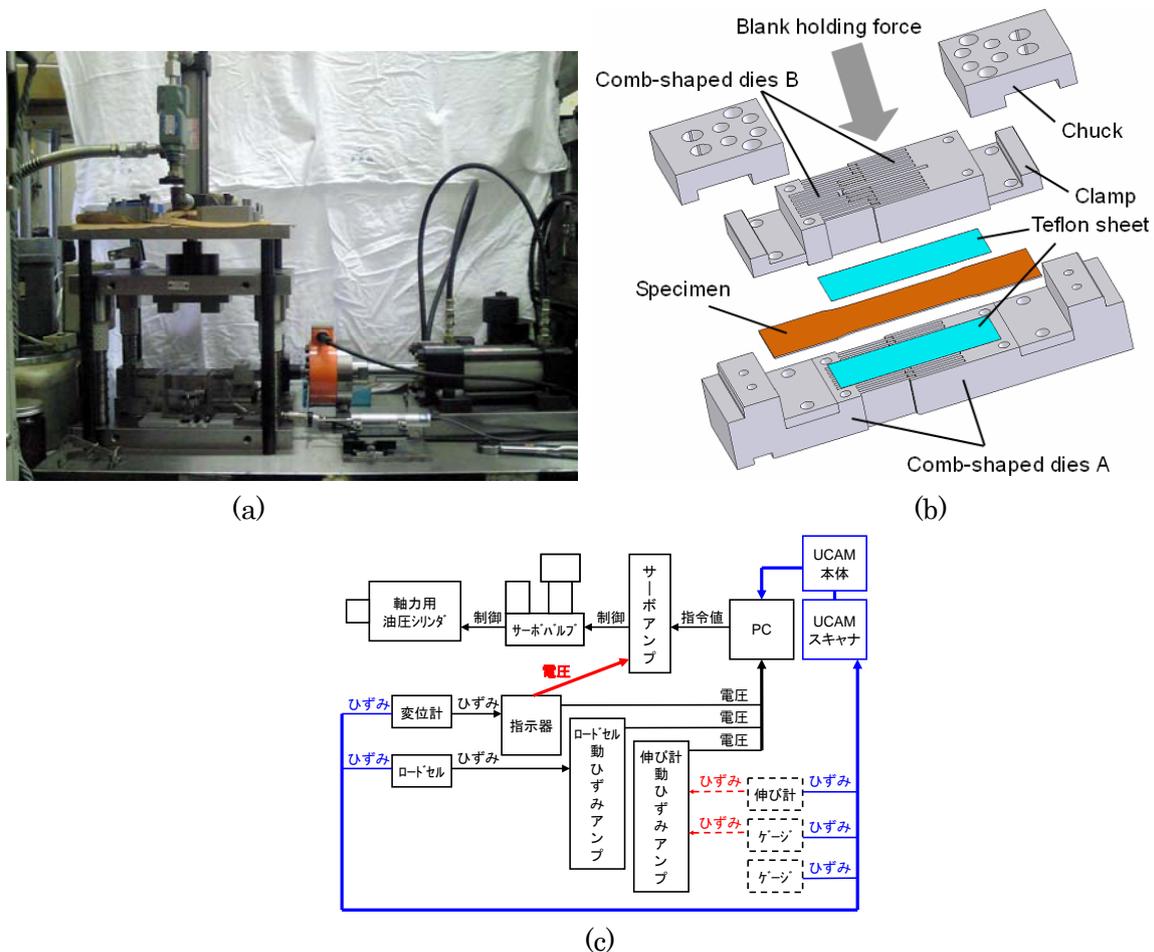


図 2.2-1 面内反転負荷試験機 : (a) 外観、(b) 金型設置概念図、(c) 制御システム

2.2.3 試験結果

2.2.3.1 単軸引張試験結果

単軸引張試験より得られた真応力 - 対数塑性ひずみ線図を図 2.2-2 に示す。図は 980MPa 級高張力鋼板の結果例である。また、これらからヤング率 E /GPa、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ /MPa、 r 値を算出した。また、780MPa 級高張力鋼板において低ひずみ域を式(1)で示す Voce の加工硬化則、高ひずみ域では式(2)で示す Swift の加工硬化則を用いてフィッティングを行った。980MPa 級高張力鋼板では全範囲で Swift の式を用いて近似した。これらの機械的性質を表 2.2-1 に示す。

なお、試験は全ての方向に 3 回ずつ行い、それらの平均をとった。

$$\sigma = A - B \exp(-C\varepsilon^p) \quad (1)$$

$$\sigma = c(\alpha + \varepsilon^p)^n \quad (2)$$

(a)

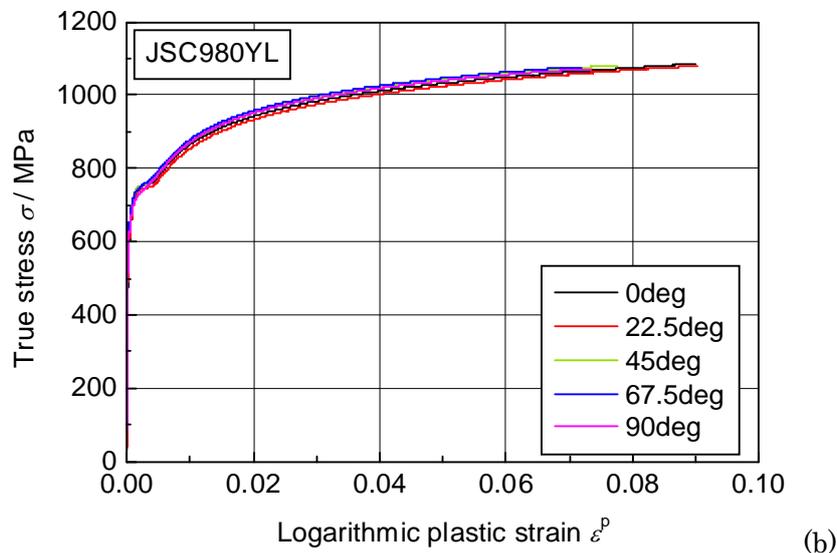


図 2.2-2 真応力 - 対数塑性ひずみ線図： 980MPa 級高張力鋼板

表 2.2-1 980MPa 級高張力鋼板の機械的性質

Tensile Direction	E /GPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	c^* /MPa	n^*	α^*	r^{**}
0	208	751	1415	0.106	0.00023	0.85
22.5	217	741	1420	0.110	0.00036	0.85
45	226	750	1444	0.109	0.00023	0.76
67.5	230	746	1444	0.108	0.00007	0.91
90	218	730	1424	0.106	-0.00024	1.07

*Approximated using Swift's power law $\sigma = c(\alpha + \varepsilon^p)^n$ for $\varepsilon^p = 0.001 \sim$ maximum

**Measured at maximum Nominal strain

2.2.3.2 面内反転負荷試験結果

(1) 真応力 - 真ひずみ線図

面内反転負荷試験より得られた真応力 - 真ひずみ線図を図 2.2-3 に示す。本研究では、両供試材に対して引張→圧縮→引張の経路をとる TCT 試験と、圧縮→引張→圧縮の経路をとる CTC 試験を実施した。また、各条件とも 2 本ずつ試験を行った。

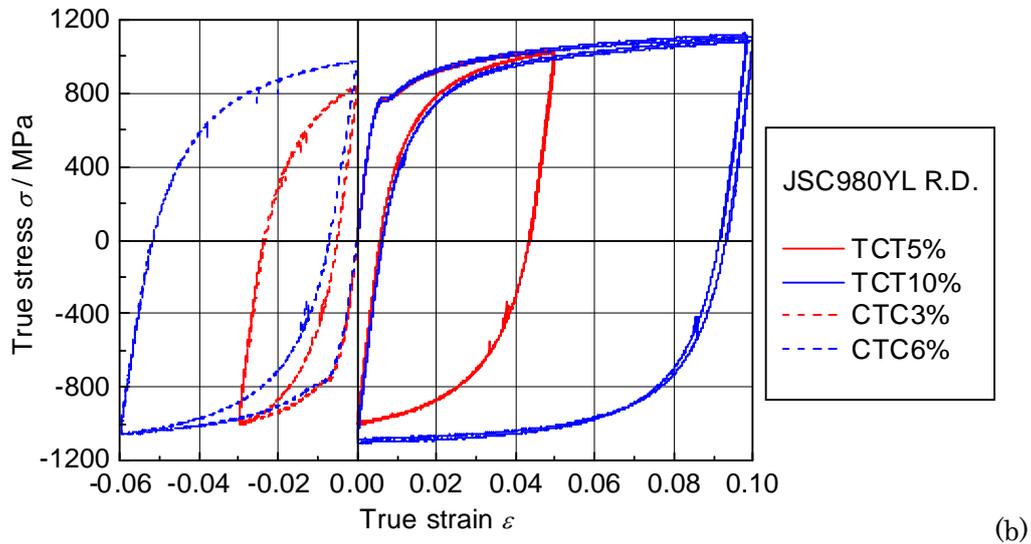


図 2.2-3 面内反転負荷試験結果：980MPa 級高張力鋼板

(2) SD 効果

両供試材の CTC 試験の結果から、第 1 負荷を抜き出し、原点に対して 180°回転させたグラフと、AUTOGRAPH を用いて得られた単軸引張試験の結果を重ねたものを図 2.2-4 に示す。両図とも平均化したグラフである。

両供試材とも引張時に比べ圧縮時の方が早期に降伏している。また、塑性ひずみが $\epsilon^p = 0.02$ 以降では圧縮の応力が引張のそれよりも高くなっており、本供試材における SD 効果を確認した。

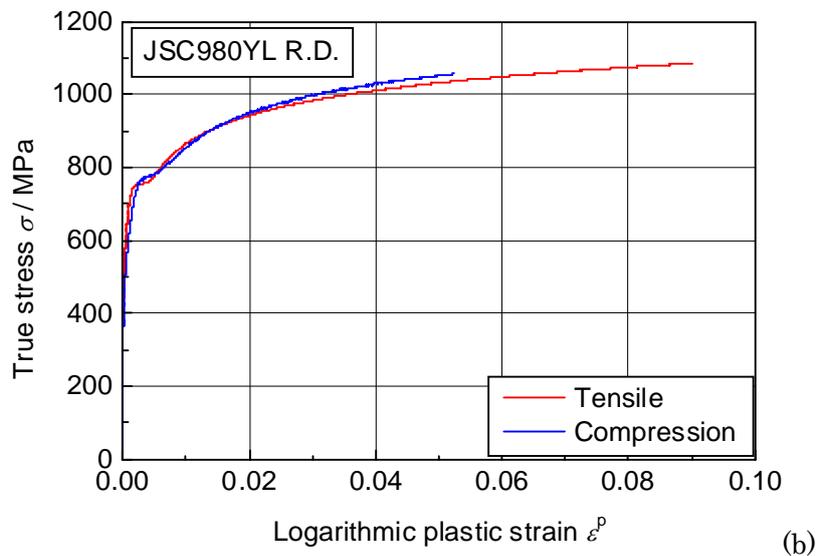


図 2.2-4 引張と圧縮の塑性流動応力の比較

(3) バウシंगा効果

バウシंगा効果による応力の低下具合を判りやすくするために、第1負荷と第2負荷について、横軸を反転負荷後に発生した塑性ひずみ増分をとり、縦軸に真応力の絶対値を取ったグラフを図2.2-5に示す。単軸引張・圧縮試験の結果は、大ひずみ域においてはSwiftの式を用いて補完している。また、各データは平均化したものを用いている。

各グラフを観察すると、どの実験結果も反転負荷直後から早期で再降伏していることがわかる。さらに、ひずみの進展後も単調負荷における応力より反転負荷後の応力値の方が低下しており、明確なバウシंगा効果が確認できる。

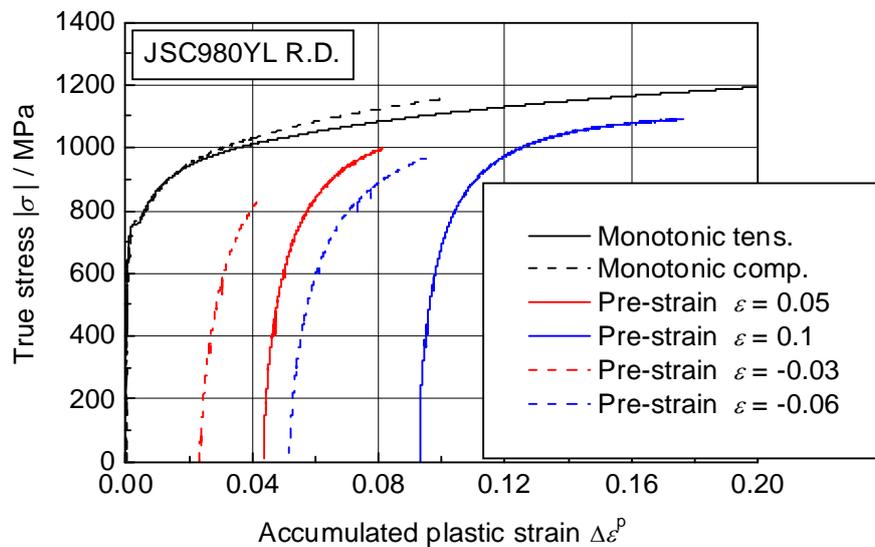


図 2.2-5 980MPa 級高張力鋼板におけるバウシंगा効果

(4) 反転負荷時の変形挙動の定式化

YUモデルの材料パラメータを同定する過程を図2.2-6に示す。980MPa級鋼板の結果である。第2章でも示したとおり、(a)から Y /MPa、 B /MPa、 $(R_{sat} + b)$ /MPa、 m を同定する。 R_{sat} と b は同図の近似曲線を用いた解析では分離できないため、別の方法で両パラメータを決定する。また、両図(b)より a /MPa、 C を同定する。 h はFEMを用いて同定する事が可能なので今回は省略する。

表2.2-2に両供試材のYUモデルのパラメータを示す。

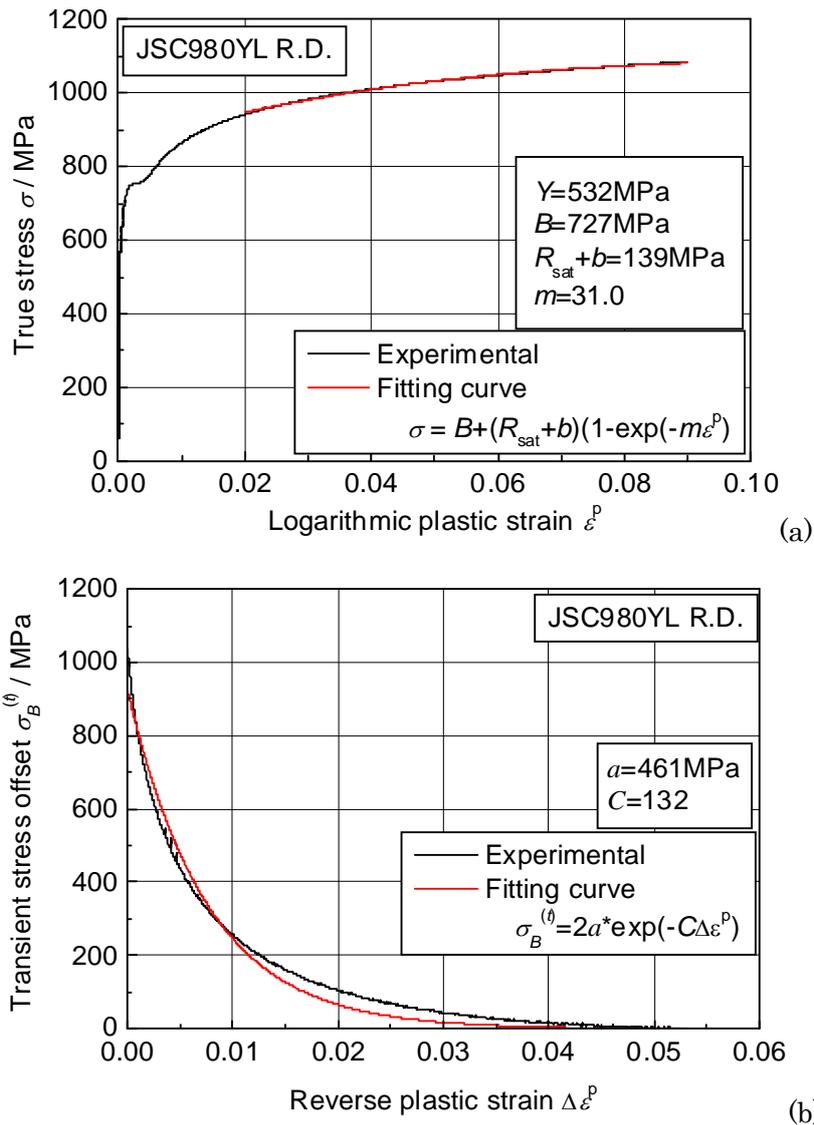


図 2.2-6 980MPa 級高張力鋼板の YU モデルパラメータ同定過程

表 2.2-2 980MPa 級高張力鋼板の YU モデルパラメータ

Y /MPa	C	B /MPa	R_{sat} /MPa	b /MPa	m	E_0 /GPa	E_a /GPa	ξ
532	132	727	71	68	31	190	168	100

2.2.4 引張曲げ曲げ戻し変形のシミュレーション

図 2.2-7 のような部品の壁部は、金型肩部を通過する際に曲げ曲げ戻し変形を受ける。曲げ曲げ戻し変形は、2.2.3 までに述べた反転負荷と類似の変形モードであり、バウシング効果を考慮した解析が必須である。本研究において、反転負荷後の応力 - ひずみ曲線を図 2.2-8~11 に示すような手順で無次元化すると、ほぼ 1 本の曲線状に乗ることが分かった。そこで、その曲線を以下の関数で近似し、同定した関数から曲げ曲げ戻し変形後の板厚方向の応力分布を計算した。

$$y = y_0 + A_1 \exp(-x/t_1) + A_2 \exp(-x/t_2) \quad (3)$$

また、解析では摩擦を考慮しないため、なるべく実験でも金型通過時の摩擦を低減させることが望ましい。そこで、回転金型を新たに設計・製作した。今回製作した金型を図 2.2-13 右側に示す。これは、図 2.2-13 左に示す曲げ曲げ戻し試験機の赤丸で囲まれた部分の写真である。本試験機は張力をかけながら上方に引抜き、素板に引張曲げ曲げ戻し変形を加えることができる（※ 機器設備：「材料評価試験装置部品」）。本試験装置を用いることで、本供試材のパウシング効果を再現できる構成式（材料モデリング）の構築が可能となり、有限要素法によるスプリングバック解析の高精度化が達成できる。

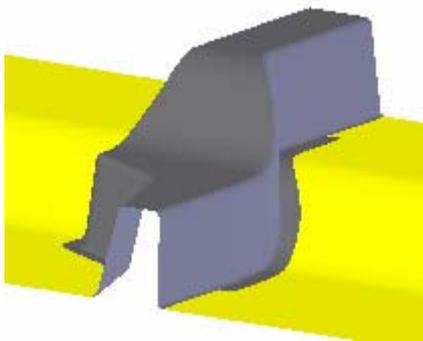


図 2.2-7 曲げ曲げ戻し変形を受ける部位
(マルスン株式会社様提供)

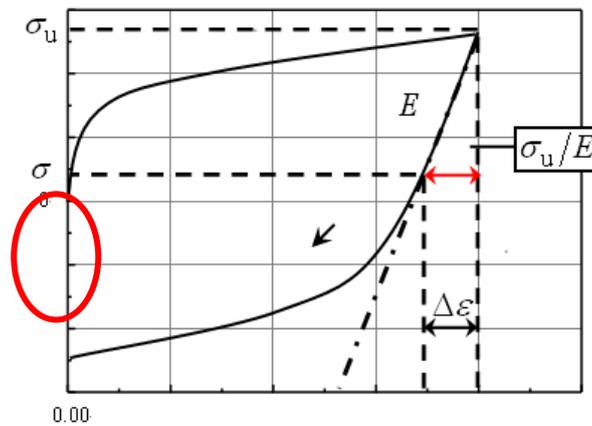


図 2.2-8 反転負荷中の
応力 - ひずみ曲線の無次元化

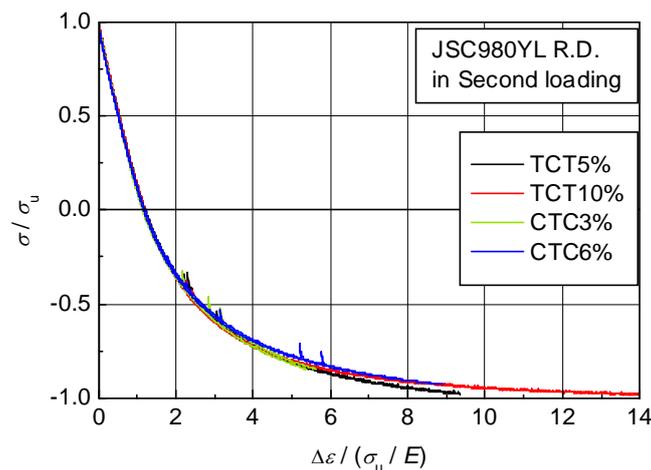


図 2.2-9 980MPa 級高張力鋼板の無次元化反転負荷曲線

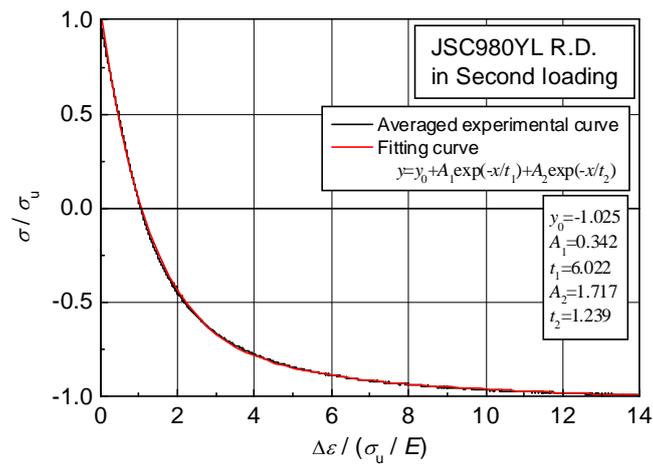


図 2.2-10 反転負荷曲線の関数近似

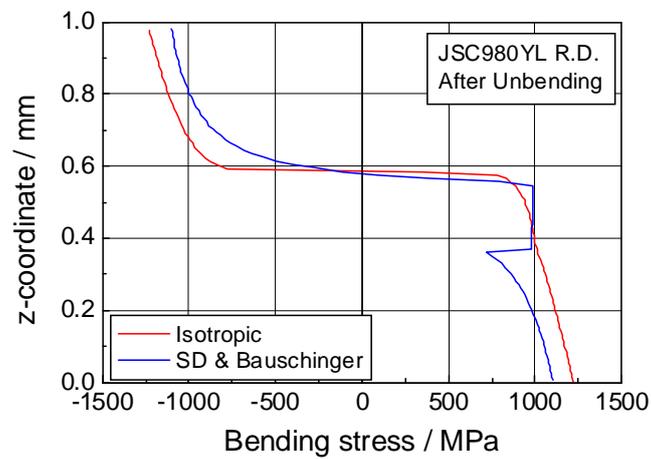


図 2.2-11 曲げ曲げ戻し後の応力分布

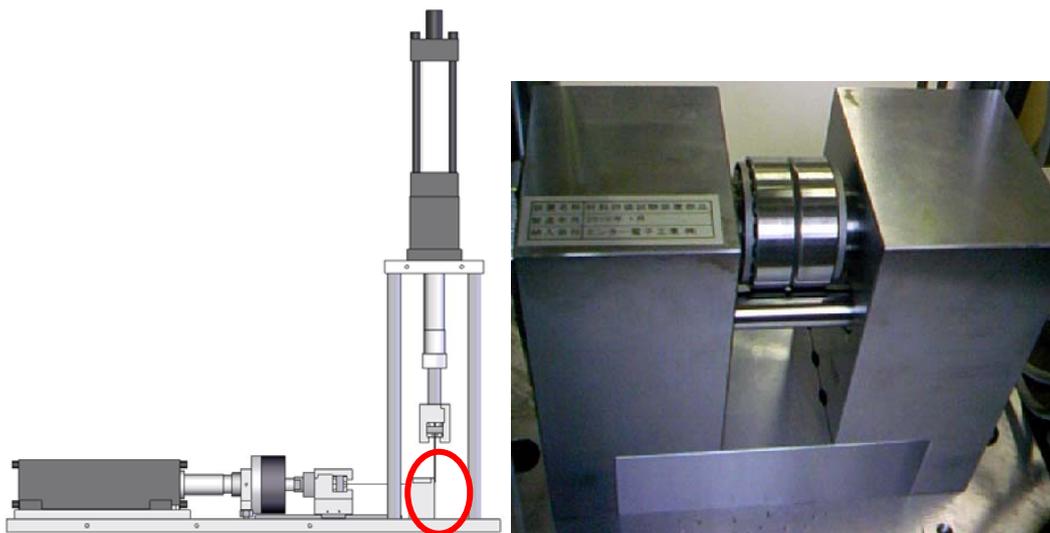


図 2.2-12 曲げ曲げ戻し試験機と回転金型

2.3 金型の温度計測技術による金型・鋼板間の摩擦予測技術の開発 [2-2]

2.3.1 研究目的

赤外線カメラを用いて、プレス加工時のプレス加工品、金型の表面温度を測定し、プレス成形された鋼板と金型との温度相関を取り、これにより両者間の摩擦を予測して組込みソフトのパラメータを調整することによりシミュレーションの精度を高める。

2.3.2 温度測定方法

研究開発で製作したウルトラハイテン向け試作金型のセンターピラーとメンバーリンフォースを用いてプレス加工した。そのときのプレス加工品の表面温度と使用した金型のプレス加工直後の金型表面温度を赤外線カメラ（※ 機器設備：「金型測温赤外線カメラおよび付帯装置」＝NEC Avio 社製赤外線サーモグラフィ装置サーモトレーサ TH9100MR）を用いて測定した。

プレス加工の金型名、使用鋼種等を表 2.3-1 に示す。赤外線カメラでの温度測定状況を図 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 プレス加工の順番

順番	金型名	鋼種	枚数
1	センターピラー	590 MPa 級	5 枚
2		780 MPa 級	5 枚
3		980 MPa 級	5 枚
4	メンバーリンフォース	590MPa 級	5 枚
5		780 MPa 級	5 枚
6		980 MPa 級	5 枚



図 2.3-1 温度測定状況

2.3.3 温度測定結果

得られた温度画像から板の引張強さとプレス材および金型の発熱温度について比較した結果を図 2.3-2、3 に示す。板のプレス前温度は室温（23℃）で一定であるが、金型は各プレス加工で熱が蓄積されていくので初期温度が異なる。材質が高張力化するに従い、プレス材および金型の温度上昇が大きいことが分かる。また全般にセンターピラーよりもメンバーリンフォースの方が温度上昇が大きい（図 2.3-4、5）。これは金型調整が十分に行われたセンターピラーと調整が不十分なメンバーリンフォースとの差と考えられる。つまり、金型調整が十分に行われた金型では板と金型間の摩擦発熱も板の加工発熱も小さくなることが分かり、金型調整の良否判定に利用できる。

金型はプレスの n 数の増加により板との摩擦熱や加工発熱の伝熱により蓄熱して温度を増加させる。この結果として金型の熱変形が発生して板との摩擦発熱が増加し、板割れや伸びが発生する。板と金型の最高温度の箇所は、加工発熱が主な板と摩擦熱の蓄積が主な金型では異なることは、得られた温度画像図 2.3-6～11 から分かる。

今回の実験は試作金型なので n=5 とプレス数が少ないために各プレス毎の温度差分を取っても明確な差は出ないが、実プレスライン（n=500）の例では、板割れや伸びの際には大きな温度変化が得られている。しかしこの場合も金型の熱変形との相関は得られず課題を残している。

この実験では板温度差分と金型温度差分との相関ができるほど n 数が大きくはなく、金型調整も十分ではなかったが、板温度と金型温度を同時測定して両者の相関を取った例はなく、今後のプレス加工の解析において参考となるデータと考える。

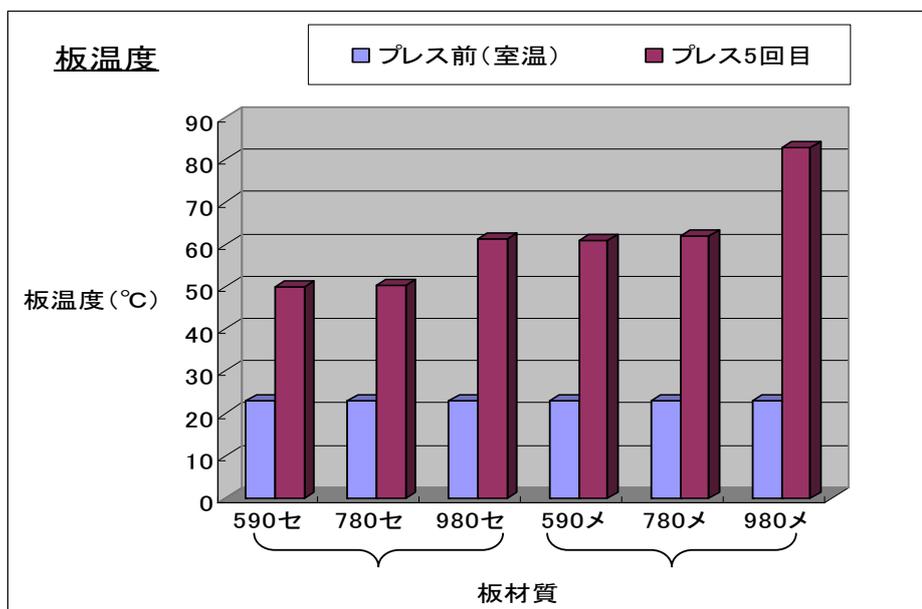


図 2.3-2 板材質とプレス材発熱の関係

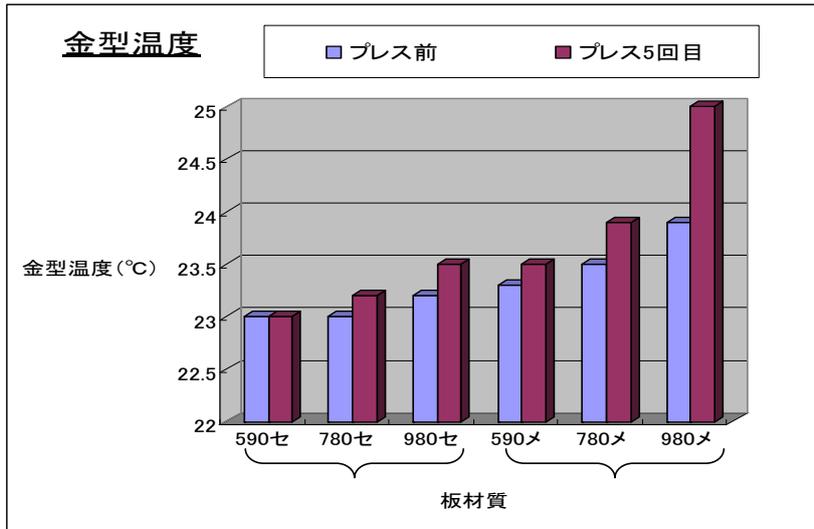


図 2.3-3 板材質と金型摩擦発熱の関係

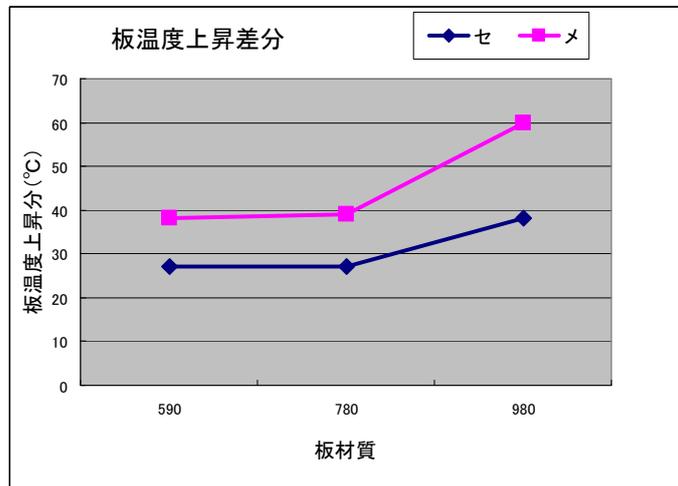


図 2.3-4 板材質と板温度上昇差分

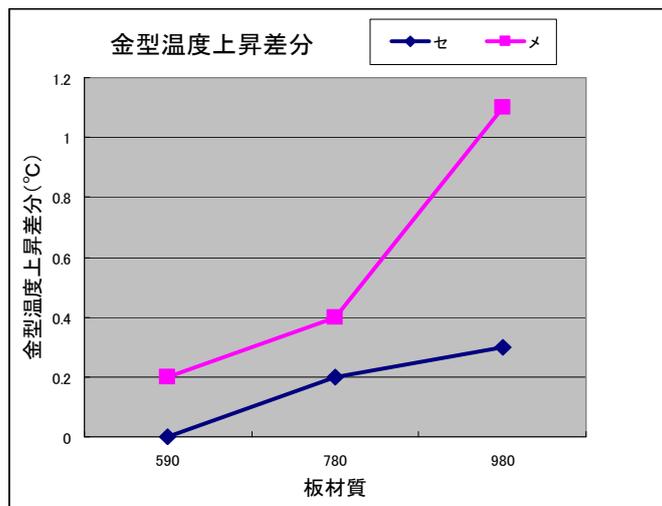


図 2.3-5 板材質と金型温度上昇差分

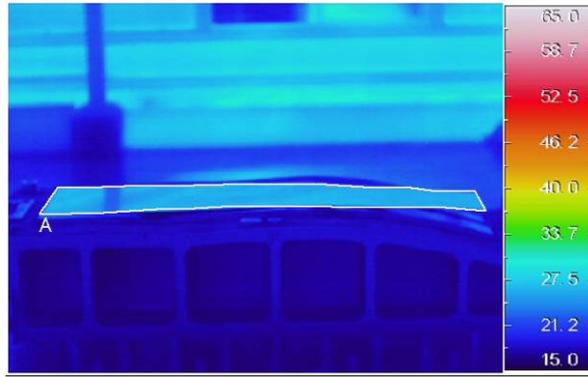


図 2.3-6 プレス加工前の板表面温度（センターピラー）

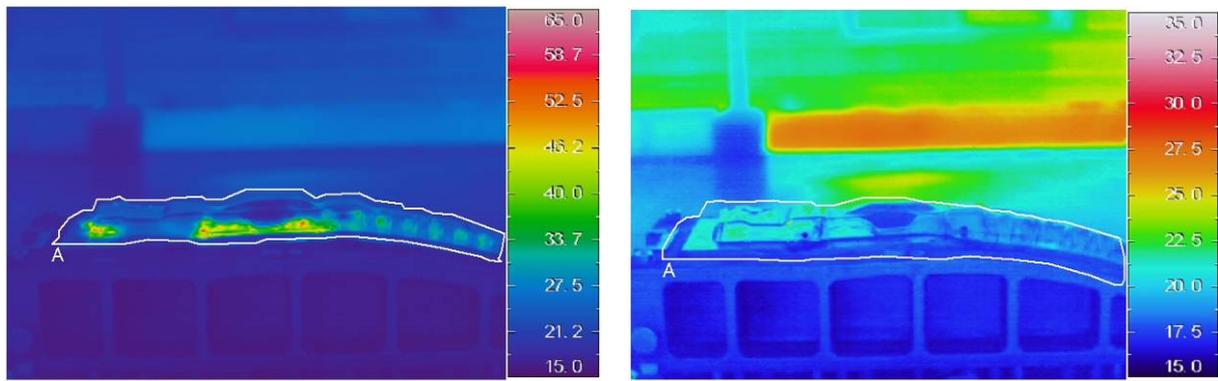


図 2.3-7 プレス加工後の表面温度：
センターピラー980-1 打（左→プレス加工品、右→金型）

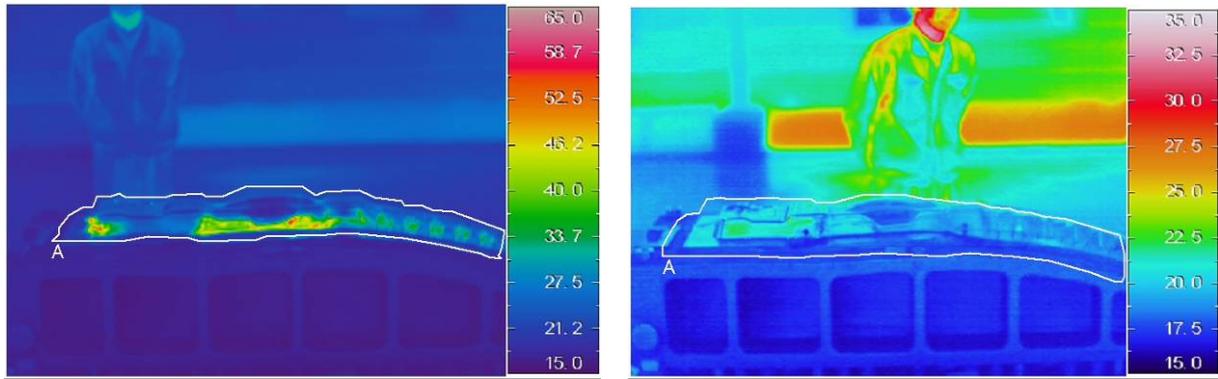


図 2.3-8 プレス加工後の表面温度：
センターピラー980-5 打（左→プレス加工品、右→金型）

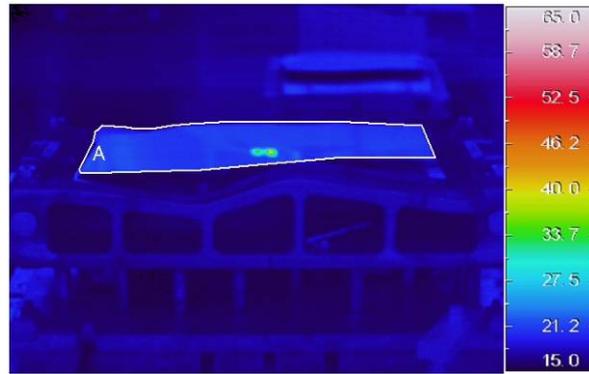


図 2.3-9 プレス加工前の板表面温度（メンバーリフォース）

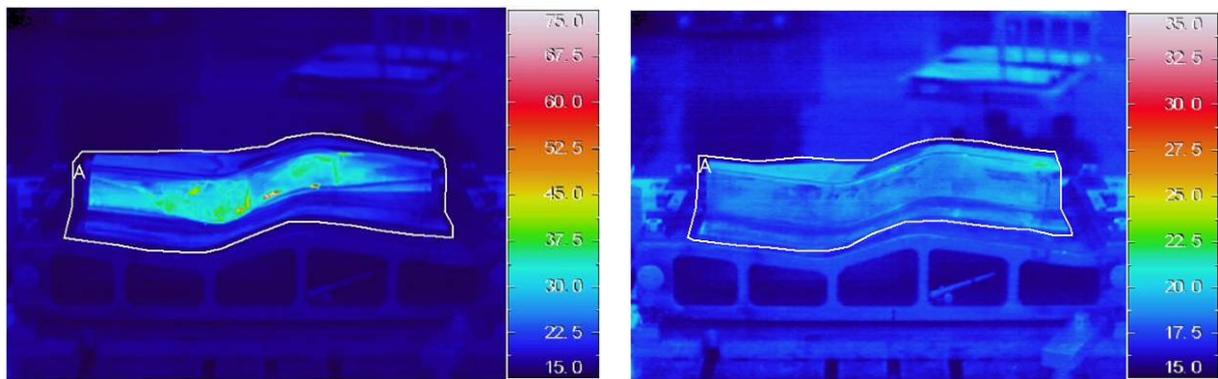


図 2.3-10 プレス加工後の表面温度：
メンバーリフォース 980-1 打（左→プレス加工品、右→金型）

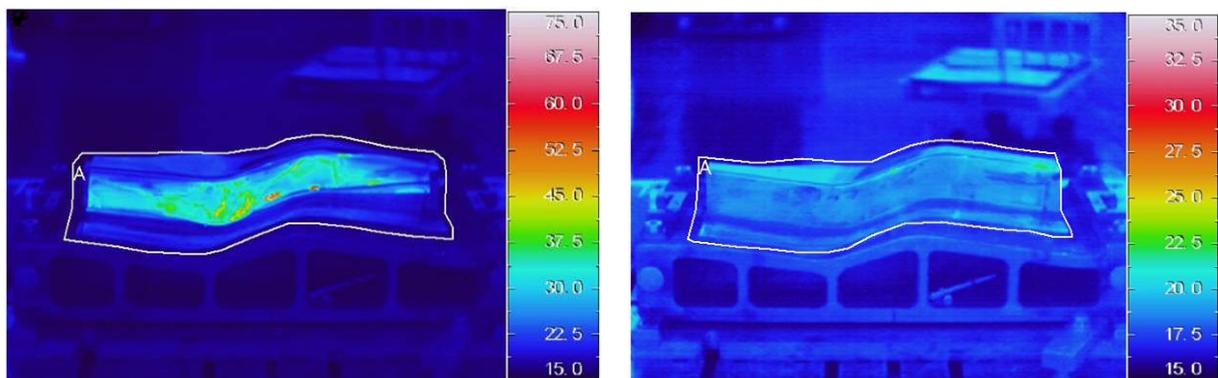


図 2.3-11 プレス加工後の表面温度：
メンバーリフォース 980-5 打（左→プレス加工品、右→金型）

2.4 シミュレーションを利用した金型迅速製作に関する特許出願動向の調査 [1-2]

2.4.1 調査方法概要

平成12年度に特許庁で実施された「技術分野別特許マップ」調査によって、「プレス加工」の特許出願状況が報告されている(http://www.jpo.go.jp/shiryous/s_sonota/)。この調査で対象とされた技術は、金属、非金属の板材から粉体等を含む、広範な形状付与技術である。1978～2000年に出願された約30,700件の特許と実用新案の内容を調査整理したものである。これらのうち、金属板の成形加工として5,223件が見出されている。これらは、深絞り加工と型打ちに大別され、それぞれについて詳細な技術分類、主要出願人などが装置技術面から分析されている。

しかしながら、本プロジェクトの主課題である金型製造の迅速化に関わるシミュレーション技術については分離検討されていない。すなわち、プレス加工のシミュレーション技術は「特許」の観点では注目されてこなかった分野といえる。そこで、改めて、特許の観点から当該分野の特徴の分析を試みた。

特許の検索には、(独)工業所有権情報・研修館が運営するIPDL(特許電子図書館)のデータベースのうち、「公報テキスト検索」を使用した。ここでは公開特許に関しては、1993年以降の発行分が収録されており、検索ではその全期間を対象とした。

上述のように注目度の低い分野であるため、当該技術を簡単に抽出できる技術分類コードが整備されていない。そこで、発明名称、請求範囲に含まれる用語から検索を行い、得られた検索結果から、公報内容を目視により判別することで、当該技術の特許出願を選別した。

2.4.2 当該特許出願の特徴

(1) 出願件数

今回の検索では、1993年1月～2010年2月(17年間)に公開された特許の件数が得られる。成形全体出願においてシミュレーション関連の技術は比較的大きなウエイトを占めている。しかし、「金型」の条件を加えると件数は705件に大きく減少する。これは、金型を必須とする特許出願は必ずしも多くないことを意味する。

目視確認により、本プロジェクトのテーマである板金プレスの技術に限定すると、当該技術はさらに減少し、バウシング関連も含めて49件となった。当該技術以外の技術として、樹脂の成型、成形機の制御等に関する特許出願が多く見られた。

約17年間に49件の件数は、技術分野から見ると必ずしも多くはない。すなわち、板金プレスのシミュレーション技術は特許になじまない、あるいは非特許化の技術戦略がとられる分野といえる。

(2) 審査請求、登録の状況

当該特許出願の49件の経過状況を調べた。49件のうち約26%(13)件が既に登録査定を受け、12件が登録のための審査請求中である。このように約半数が権利化を目指している。すなわち、特許の出願件数は少ないものの、出願された技術については何らかのビジネスでの利用を想定しているものと思われる。

(3) 金型自動修正、スプリングバックに関する特許出願

特許出願における背景説明では、従来の経験による金型修正が膨大な作業量を要することを問題視しており、本プロジェクトの問題認識と同一である。しかし、本プロジェクトではシミュレーション過程のみではなく、形状計測作業、計測値からの修正などの技術を含むが、検索された特許に提案されているものは、すべてシミュレーションのみで完結させる技術である。

また、多くの特許で共通しているのは、プレス品の形状不良の原因はスプリングバックのみにあるとの考え方であり、これらに対し、一部の特許では、金型変形、摩擦、温度、材料特性などの問題を加えている。また、検索された特許においては、少ない件数ではあるが、・バウシंगा効果、・曲げ曲げ戻し変形、・摩擦力などに関する特許出願も確認された。

(4) 外国での特許出願状況

以上では、日本へ出願された特許を対象として状況を調べたが、外国の出願人、あるいは外国への出願状況を検索式による結果のみから調べた。これらの結果から、当該技術の特許出願は極めて少ないが、さらに出願された特許はほとんどが日本の企業によるものであることが判明した。

2.4.3 特許動向総括

金型に密接に関連する板金プレスのシミュレーション技術の特許は少ない。これは、当該技術がノウハウとして保有されるような、特許化になじまない技術であるためと推測される。1993年以降に公開された日本特許庁への関連特許の出願件数は49件であった。また、外国の企業は当該技術に関し、基本的に特許出願はしないことが確認された。

49件の特許のうち、半数は金型の修正作業の短縮のために、これをシミュレーションにより実施する技術であり、形状不良の原因は基本的にスプリングバックであるとされている。基本的な問題認識は本プロジェクトの場合と同様である。しかし、本プロジェクトで留意したバウシंगा効果、曲げ曲げ戻し変形、摩擦係数に関する特許は極めて少ない。さらに、材料の高強度化に伴う問題として取上げた特許は少なく、ウルトラハイテンを背景とした特許は皆無であった。

第3章 まとめ

本研究開発は、ウルトラハイテンを使用したプレス成形品に対して、迅速に金型設計を行なうことが目的である。関連する金型設計の工程は大まかに次の5段階となり、設計より以降の4工程の繰返しが、多大の時間を必要としている。

- ・[設計] 成形品製品形状に応じた金型の設計
- ・[工作] 金型の製作(または修正工作)
- ・[トライプレス] 製作された金型によるトライプレス
- ・[計測] トライプレス品の形状測定と製品形状との比較
- ・[修正設計] 金型の修正設計

一方、本研究開発では、次の要素技術からアプローチを図った。

- ・[1-1] 試作金型によるウルトラハイテンのスプリングバック評価試験
- ・[1-2] スプリングバック評価用シミュレーションの予測値と成形品との差異修正パラメータの適正化
- ・[1-3] スプリングバックの迅速測定技術の開発
- ・[2-1] ウルトラハイテン専用のスプリングバック予測シミュレーション技術の確立
- ・[2-2] 金型の温度計測技術による金型・鋼板間の摩擦予測技術の開発

今回の研究開発では、上記の設計、計測、修正設計の3工程においてこれを極めて迅速化する技術の見通しが得られた。以下、上記工程の合理化の面を基軸に、研究開発成果を総括する。

(1) 成形品製品形状に応じた金型の設計

今回の強度レベルの異なる鋼板を使用した試作金型による研究開発により、ウルトラハイテンのプレスが従来のハイテンのプレスに比べると格段に難しい対象技術であることが認識された。すなわち、従来技術の延長では対応が困難な分野といえる[1-1]。

このため、まずは最初の設計段階で精度を上げることがとりわけ重要になると判断された。材質特性を詳細に調べたところ、ウルトラハイテンのスプリングバックにはバウシング効果が大きく影響する可能性が確認された[2-1]。そこで、今回のバウシング測定値を適用したシミュレーション設計を実施したところ、最初の設計で成形品の形状予測精度が大幅に改善された。

すなわち、高精度な金型設計の技術が得られたことで、金型製造の迅速化が図られる。

さらに、シミュレーションにおいては、材質、摩擦問題から本来、温度情報が必要であるが、従来は温度一定と仮定して計算されてきた。今回の温度測定により、温度情報の入手が可能であることが確認されたので[2-2]、必要なら温度を反映した高精度なシミュレーションが可能になる。

(2) トライプレス品の形状測定と製品形状との比較

自動車部品のプレス品は大型であり、形状測定には多大の時間を要する。主な理由は、形状に応じた最適測定子を使用するための交換時間と、そのために分断化された形状データを統合するためデータ処理時間である。このため、本開発では、これらを自動的に処理する装置を導入した。

試作金型によるセンターピラー部品の測定作業において、測定時間が従来の 9 時間から 3.5 時間に大幅に短縮された[1-1], [1-3]。

また、ねじれや稜線反りなどの 3 次元的なスプリングバック量の測定に関して、精度を必要としない初期の段階では、3D カメラのデータ解析により大幅な時間短縮のできることが確認された[1-3]。

(3) 金型の修正設計

金型寸法を、誤差量に対応する分だけ修正するが、修正量は誤差量自体ではなく、いわゆる見込み量と言われる作業者の経験に基づく量であった。今回、これを計算により行なう装置を導入した[1-2]。自動修正装置と経験ノウハウの合体により、金型修正設計が大幅に迅速化され、目標精度の修正作業において、例えば従来 2 時間の作業が 15 分に大幅に短縮された。

(4) 今後の展望

今回の研究開発では、ウルトラハイテンを使用したプレスの金型設計に関し大きな技術的指針を得た。しかし、ウルトラハイテンは、自動車の低燃費化に対応してこれから応用がさらに拡大する材料であり、様々な使われ方が想定される。一方、当該技術分野はノウハウとして蓄積される性格の技術分野である。今回得た技術も数年で陳腐化する可能性もあり、今後とも継続的な研究を必要と考えられる。この点で、今回得た知見は、スタートポイントの技術として有用であった。

リサイクル適性 

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。