

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車用精密部品の製造に適したダイレクトドライブ方式
CNC多軸サーボプレスの開発」

研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 東北経済産業局
委託先 財団法人あきた企業活性化センター

目 次

第1章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	2
1-3	成果概要	7
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	10
第2章	研究開発内容及び成果	
2-1	複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを達成 する多軸 DD 制御同期合わせの研究	11
2-1-1	位置決め精度及び同期精度の向上によるプレス精度の向上	11
2-1-2	位置決め精度及び同期精度の向上による加圧プロセスに おける成形体の密度分布制御の研究	17
2-2	不良率低減と高速成形を達成する減圧プロセス、ロックアウト プロセスの研究	22
2-3	高精度化と不良率低減を達成するプレス構造の研究	25
2-3-1	構造解析シミュレーションを活用した構造設計の最適化	25
2-3-2	機構シミュレーションを活用した構造設計の最適化	27
2-4	生産技術を組み込んだマン・マシン インターフェース (MMI) の研究	31
第3章	全体総括	35

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

自動車やロボットに用いられている焼結部品や電子機器用焼結部品の多くは、複雑形状、高精度、高品質が要求されるものの、形状が複雑になると均一な成形品密度を得るのが困難で、このことが原因で焼結時に割れや変形が発生する。このため、現在は粉末成形品の形状をニアネットシェイプ^{※1}とし、焼結後に追加加工や要求精度を満たす仕上げ加工を行っている。複雑形状焼結部品は製作に要する日数も長く、高コストなものとなっていることから、複雑形状部品の一体成形や高精度化が可能な粉末冶金技術への期待は高い。

複雑形状部品の場合、形状を考慮して金型を分割し、その分割数に合わせてプレス上下軸も多軸化することで複雑形状の一体成形化が図れると考えられるもの、さらには各軸のプレスタイミングを調整することで仕上げ加工が不要になると考えられるものが多く存在する。

そこで、金型の分割数に応じてプレス軸数が増やせ、かつ、各軸のプレスタイミングを独立して制御・調整可能なモーター出力軸とプレス軸が一体となったダイレクトドライブ方式（以下、DD方式と呼ぶ。）多軸サーボプレスの開発が必要とされている。

本事業は、従来の粉末冶金プレスでは困難であった複雑形状の成形、高精度成形、成形クランクや焼結時の歪みのない成形、加圧・減圧プロセスの最適化による高速成形等が可能なDD方式上下5軸全軸可動CNCサーボプレスの開発を目的とする。

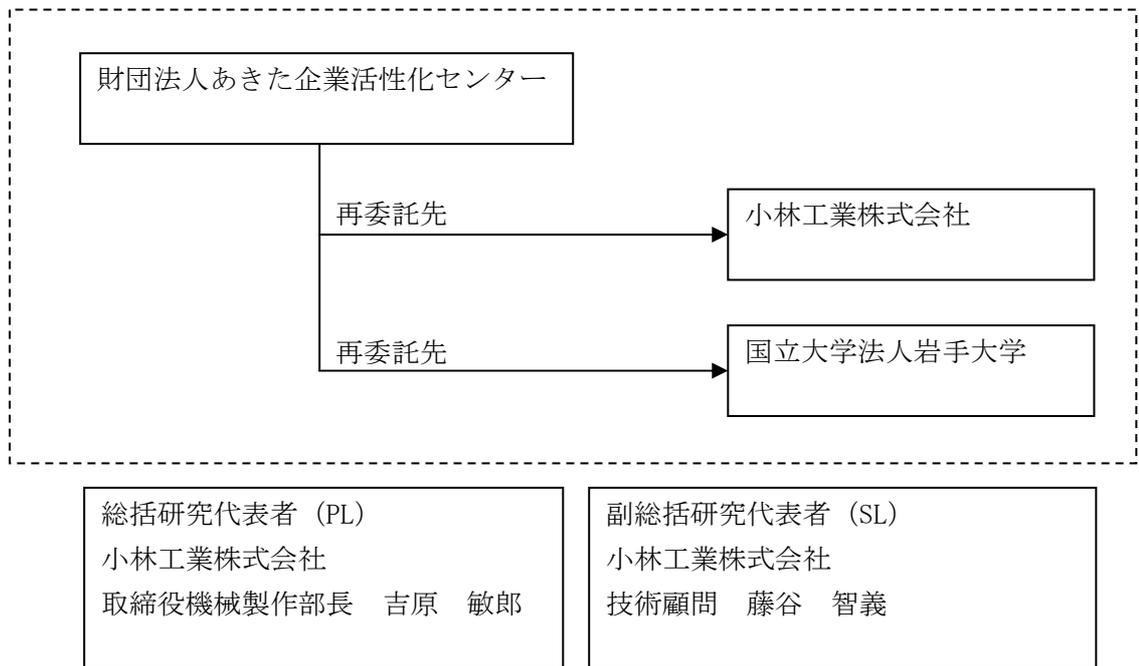
自動車業界やロボット業界の要求仕様を満たすため、プレス軸を直接的にモーターと結合することで機械の剛性を高め、タイミングベルトやプーリー等の構成部品がない単純構造かつコストダウンが可能な新たなDD方式上下5軸全軸可動CNCサーボプレスの開発を行う。そのため、次の研究を実施する。

- ①複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを達成する多軸DD制御同期合わせの研究を行う。
- ②不良率低減と高速成形を達成する減圧プロセス^{※2}、ロックアウトプロセス^{※3}の研究を行う。
- ③高精度化と不良率低減を達成するプレス構造の研究を行う。
- ④生産技術を組み込んだマン・マシンインターフェース(MMI)の研究を行う。

1-2 研究体制

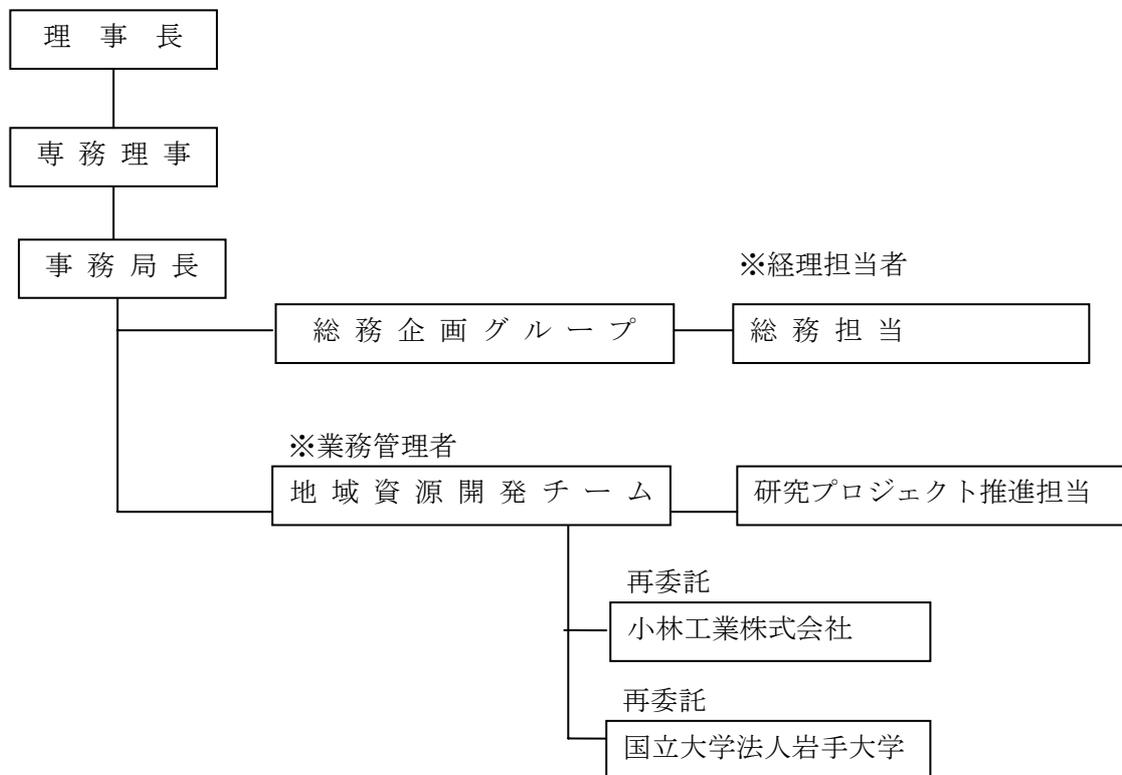
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)

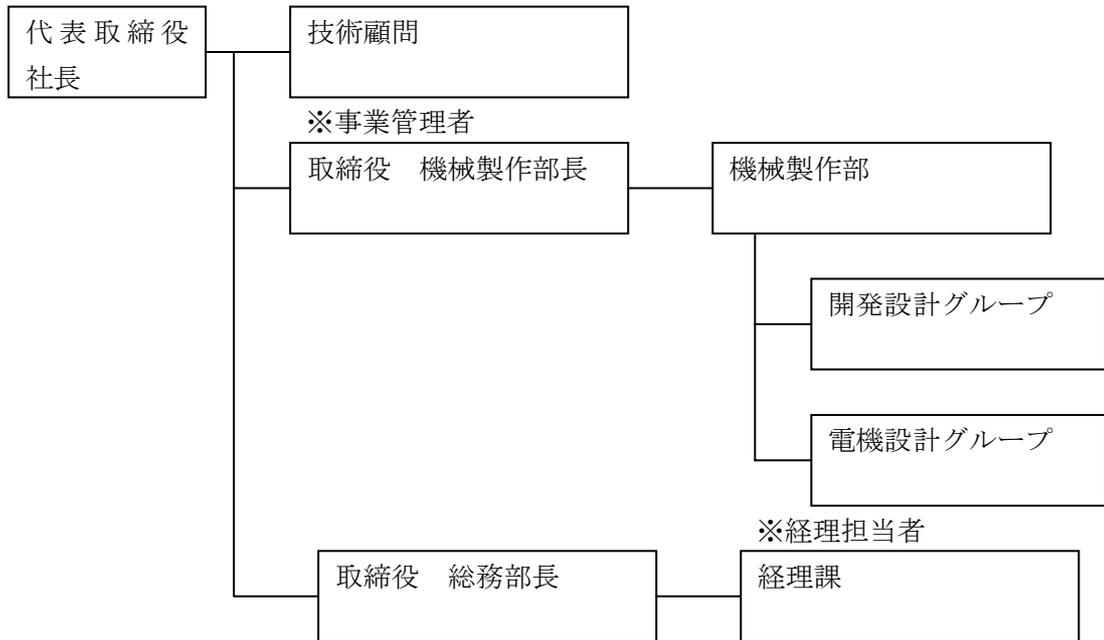


2) 管理体制

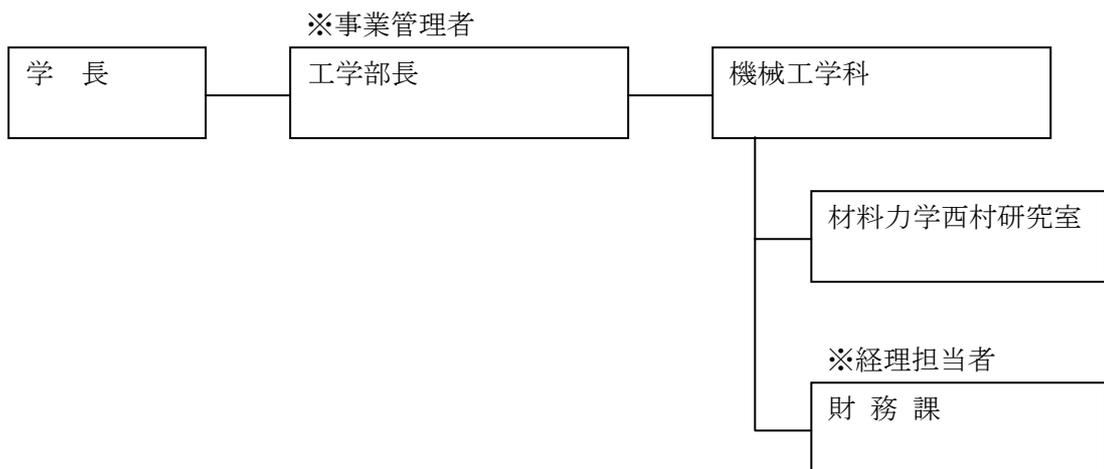
① 事業管理者 [財団法人あきた企業活性化センター]



②再委託先
小林工業株式会社



国立大学法人岩手大学



(2) 研究員及びプロジェクト管理員（役職・実施内容別担当）

【管理法人】財団法人あきた企業活性化センター
管理員（プロジェクト管理員）

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
笠井 潤	技術支援グループ/地域資源開発チーム サブリーダー	⑤-2
内藤 麻衣子	技術支援グループ/地域資源開発チーム 主任	⑤-2
土井 一哉	技術支援グループ/地域資源開発チーム 主任	⑤-3、4

【再委託先】

小林工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
吉原 敏郎	取締役 機械製作部長	⑤
藤谷 智義	技術顧問	⑤-1
亀山 純	機械製作部 部長補佐	①, ②, ③-1
鷹島 隆	機械製作部 部長補佐	③
葛西 史乃	機械製作部 開発・設計グループ	③
佐々木 寿好	機械製作部 開発・設計グループ	③
真坂 卓也	機械製作部 開発・設計グループ リーダー	①-2, ②, ③, ④
菅谷公志	機械製作部 製造グループ 主任	①-1, ③
小松 悟	機械製作部 開発・設計グループ	④
佐々木 正	機械製作部 製造グループ サブリーダー	①, ②, ③
古谷 将人	機械製作部 製造グループ	①-1, ③-1

国立大学法人岩手大学

氏名	役職・所属	実施内容
西村 文仁	工学部 機械工学科 准教授	③-1

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【管理法人】

財団法人あきた企業活性化センター

（経理担当者）総務企画グループ 総務担当 サブリーダー 大西 勝
（業務管理者）技術支援グループ サブリーダー 笠井 潤

【再委託先】

小林工業株式会社

(経理担当者) 取締役総務部長

伊藤 徳昭

(業務管理者) 取締役機械製作部長

吉原 敏郎

国立大学法人岩手大学

(経理担当者) 財務部 財務課 課長

阿部 幸治

(業務管理者) 工学部長 (大学院工学研究科長)

馬場 守

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議委員

氏名	所属・役職	備考
吉原 敏郎	小林工業 (株) 取締役機械製作部長	P L
藤谷 智義	小林工業 (株) 技術顧問	S P L
亀山 純	小林工業 (株) 機械製作部 部長補佐	
鷹島 隆	小林工業 (株) 機械製作部 部長補佐	
葛西 史乃	小林工業 (株) 開発・設計グループ	委
佐々木 寿好	小林工業 (株) 開発・設計グループ	委
真坂 卓也	小林工業 (株) 開発・設計グループ リーダー	委
菅谷公志	小林工業 (株) 製造グループ 主任	委
小松 悟	小林工業 (株) 開発・設計グループ	委
佐々木 正	小林工業 (株) 製造グループ サブリーダー	委
古谷 将人	小林工業 (株) 製造グループ	委
西村 文仁	国立大学法人岩手大学 工学部 准教授	
岩渕 明	国立大学法人岩手大学 工学部 教授	アドバイザー
岡野 秀晴	公立大学法人秋田県立大学 システム科学技術学部 教授	アドバイザー
江口 正美	豊田通商 (株) 豊田機械部 R&D 主査	アドバイザー
間瀬 隆	寿技研工業株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
横井 道治	アイシン精機 (株) ユニット生技部チームリーダー	アドバイザー
長田 道春	(株) デンソーウェーブ 制御システム事業部 第1部 部長	アドバイザー

※ アドバイザー 岩渕 明 氏は金型設計について指導・助言する。

アドバイザー 岡野 秀晴 氏はロボットに要求される構成部品の仕様等について指導・助言する。

アドバイザー 江口 正美 氏は自動車業界、ロボット及び自動化機器業界における粉末焼結体のニーズ調査について指導・助言する。

アドバイザー 間瀬 隆 氏は自動車業界における粉末焼結体のニーズについて指導・助言する。

アドバイザー 横井 道治 氏は自動車部品に要求される品質等について指導・助言する。

アドバイザー 長田 道春 氏はロボット及び自動化機器業界における粉末焼結体のニーズ、要求される品質等について指導・助言する。

専門用語の解説

※1. ニアネットシェイプとは、機械加工や電気加工などの除去加工の手間やコストを減らすことを狙い、最終製品に近い形状を得る成形法をいう。鑄造やダイカストといった成形法をニアネットシェイプ成形に含めることもあるが、これらの方法では得られる製品の信頼性や材料組成がやや劣る。このため、これまでは機械加工していた難加工部品などを、粉末冶金法で一気に成形するような場合にニアネットシェイプ成形という言葉を用いることが多い。

※2. 減圧プロセスとは、①成形体の内部応力を緩和する（自然な膨張）、②機械の力伝達経路の撓みをなくする、③上下パンチの撓みをなくする等のために上パンチを上方に、下パンチを下方に移動させる。下第1パンチ固定でダイを可動とするダイフロート方式の場合、下第1パンチの減圧のためにはダイスを上昇させる。

※3. ロックアウトプロセスとは成形体の内部応力が緩和され、上下パンチで適度に挟まれ、支えられている成形体をダイス上面に抜き出す工程をいう。ロックアウトプロセスにおいては上下パンチを固定しておいてダイスを引き下げる方式が良い。ダイ固定の場合全パンチの完全同期が必要となるが、これは技術的に非常に難しい。特に多軸（分割パンチ）の場合隣り合っているパンチの同期がずれると分割部分でせん断されてクラックとなる。減圧～ロックアウトプロセスの推移は重要性である。

1-3 成果概要

① 複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを達成する DD 方式多軸制御同期合わせの研究（小林工業㈱）

複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを達成するためには、位置決め精度を現状の $\pm 0.002\text{mm}$ から $\pm 0.001\text{mm}$ 以下、同期精度を現状の 0.04mm から 0.02mm 以下を達成する必要がある。

①-1 位置決め精度及び同期精度の向上によるプレス精度の向上（小林工業(株)）

機械構造の高剛性化の研究を行い、位置決め精度及び同期精度の向上となる設計を行なった。機械構造の高剛性化を実現する為に DD ユニットの製作した。

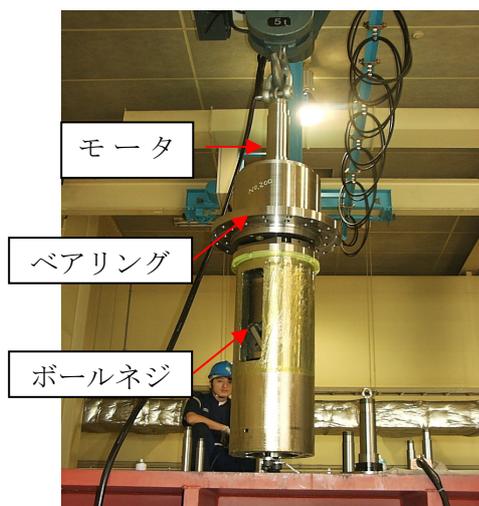


図 1. 製作した DD ユニット

試作多軸プレスの設計指針は以下である。

- 加圧プロセスにおいてはダイス軸を固定し、上下軸で加圧・圧縮することによりニュートラルライン^{※4}の位置を高精度に制御が可能であること。このことにより変形も抑えることができ、また金型構造と関連させてニュートラルライン位置を複数設定できる。
- ロックアウトプロセスにおいては上下軸（パンチ）で成形体を軽く挟み固定し、ダイス軸のみを下降（ロックアウト）させること。
このことによりよりクラック発生の一因を解消することが期待できる。
- 目的とする自動車部品の成形においては上下位置の異なる 8 個の横穴軸が制御可能であること。
- 金型は上パンチ最大 5 分割、下パンチ最大 5 分割必要であること。すなわち加圧軸として上下各 5 軸+ダイス軸が全軸可動であること。
- パンチが支配する粉体の充填量、成形体形状（厚みや段差）を独立に設定、制御できること。
- 金型の温度を自動的に測定し、補正する機能をもつこと。

プレスを製作し、位置決め精度を現状の $\pm 0.002\text{mm}$ から $\pm 0.001\text{mm}$ 以下、同期精度を現状の 0.04mm から 0.02mm 以下を達成することができた。

①-2 位置決め精度及び同期精度の向上による加圧プロセスにおける成形体の密度分布制御の研究（小林工業(株)）

図3に示す成形体形状で密度分布と変形との相関関係を検証した。

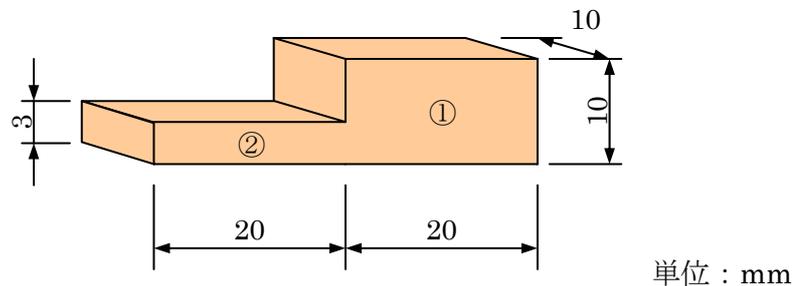


図3. 密度分布と変形との相関関係を検証するための成形体形状

図3に示す多段成形において ① および ② のニュートラルラインを個別に制御することにより、そり の量を制御できることが実証できた。

② 不良率低減と高速成形を達成する減圧プロセス及びロックアウトプロセスの研究（小林工業(株)）

1) 多段成形時にパンチ分割部に発生するクラックを検証した。

図4に示す成形体でクラック発生と減圧工程における成形条件との因果関係を検証した。

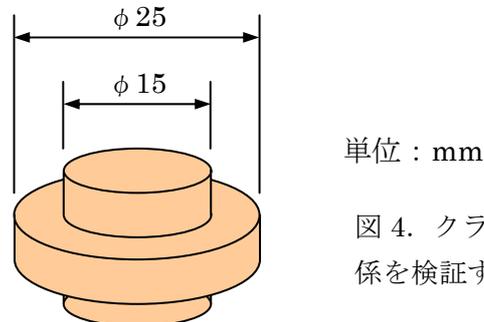


図4. クラック発生と成形条件との因果関係を検証するための成形体形状

クラック発生の原因となる重要なプロセスは減圧である。減圧プロセスにおいてダイス内における成形体の位置を変化させることなしに、外側上下パンチに対する内側上下パンチの位置関係を同じに保ったまま減圧することが必要であることを実証した。すなわち減圧プロセスにおける上下パンチ動作の同期を可能とするのは上下パンチ全てが可動であること、又ロックアウトプロセスにおいてはダイス内の成形体を固定したままロックアウトする、すなわちダイスのみを引き下げることが有利である。

2) 段違いの横穴（8箇所）を有する自動車部品を想定した成形体を得るために金型を製作し成形実験を行った。

段違い横穴を成形することはできなかったが1列の横穴は成功した。平成20年度において単純形状の段違い横穴の成形は成功した。今後も継続して実験する。

③ 高精度化と不良率低減を達成するプレス構造の研究 (小林工業(株)、国立大学法人岩手大学)

③-1 構造解析シミュレーションを活用した構造設計の最適化 (小林工業(株))

構造解析シミュレーションを活用し、加圧時の荷重と成形体周りの機械変形量の極小化を行う。荷重により、どこの点がどの位変化するかの比較を構造解析結果と試作機による実測値とで行い、検証しながら設計技術を向上させる。

①-1 位置決め精度及び同期精度の向上によるプレス精度の向上 に示したa～fの構想に基づいてプレスを製作した。

プレス構造体は次の3つの部位に分類される。

1. 上下1～5軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位 (クラウン、コラム、ベッド)
2. 各プレート：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位
3. 各軸ユニット：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

3次元モデルでの解析より得た機械変形量に基づいて機械の代表個所に歪みゲージを貼り付け、変形量を測定した。一例として図5に上1プレートに推力300kNを与えたときのロードセル荷重とひずみ量を同時に採取したデータを示す。青色線がプレートのひずみ、赤色線がロードセル荷重である。

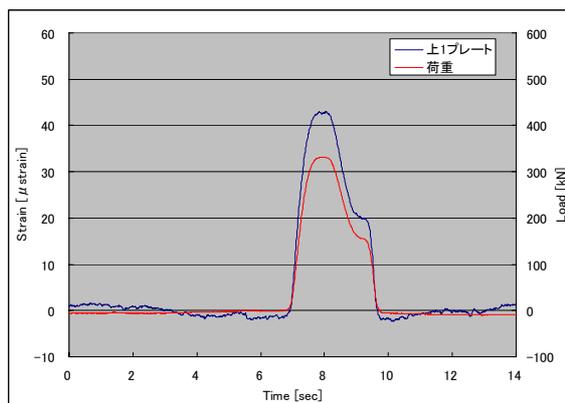


図5. 上1プレート ロードセル荷重とひずみ量

プレートのひずみ量(変形)は設計値と同等である。

1. 上下1～5軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位(クラウン、コラム、ベッド)については実験した荷重が小さかったため歪みゲージの出力がノイズに影響され信頼できるデータがとれなかった。今後実際の自動車部品を成形するときと同時に測定する。

③-2 機構解析シミュレーションを活用した機構設計の最適化 (小林工業(株)、国立大学法人岩手大学)

適切なモデル化と結果の評価方法を確立する。パンチ変位の制御に影響を及ぼす支配因子を研究することにより、実験結果と定性・定量的な一致が得られるような解析モデルを確立する。

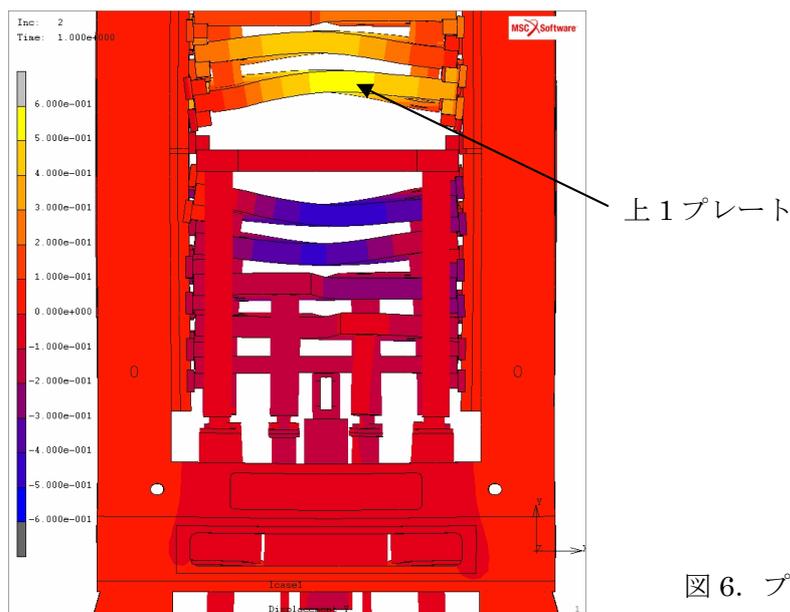


図 6. プレス解析結果

図6にプレス全体の解析結果を示す。図6において上1プレートのみを抜き出して荷重と歪の関係と比較したものが図5である。

図6の解析結果を基に剛性マトリックスを作成した。

④ 生産技術を組み込んだMMI の開発への対応（小林工業(株)）

④-1 成形品形状に最適な金型構造に対応するためのフレキシブルなMMI の開発（小林工業(株)）

制御軸を意識せずに成形体形状、パンチ分割のみを意識して成形条件を変更可能MMI を開発した。

④-2 成形体の密度分布をコントロールする加圧プロセス、成形クラックを生じさせない減圧プロセスを決定する成形パラメーターを簡単に入力、変更できるMMI の開発（小林工業(株)）

加圧プロセスにおいて 機械・パンチの撓みをパラメーターとして成形条件画面に設定可能とするMMIを開発した。

④-3 入力ミス、事故を未然に防ぐ安全なMMI の開発と、対向パンチを任意に設定できるMMI の開発（小林工業(株)）

入力ミス、事故を未然に防ぐ安全なMMI、危険判断機能を持ったMMIを開発した。

④-4 温度補正軸追加に伴い MMI にその機能を追加した。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

住所：〒010-8572 秋田市山王三丁目1番1号 秋田県庁第2庁舎2階

名称：財団法人あきた企業活性化センター

連絡担当者所属役職・氏名：技術支援グループ サブリーダー 笠井 潤

Tel: 018-860-5624 Fax: 018-860-5704

E-mail: kasai@bic-akita.or.jp

第2章

研究開発内容及び成果

2-1 複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを達成する多軸 DD 制御同期合わせの研究（小林工業㈱）

2-1-1 位置決め精度及び同期精度の向上によるプレス精度の向上

研究者所属氏名

葛西 史乃 小林工業㈱

古谷 将人 小林工業㈱

佐々木 正 小林工業㈱

菅谷 公志 小林工業㈱

真坂 卓也 小林工業㈱

(1) プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを達成するために機械構造の高剛性化の研究を行い位置決め精度及び同期精度の向上となる設計を行う。

(2) 目的と目標

位置決め精度：現状の $\pm 0.002\text{mm}$ を $\pm 0.001\text{mm}$ 以下

同期精度：現状の 0.04mm を 0.02mm 以下

を達成することを目標とする。

連続成形をおこなうと材料とダイスとの摩擦で発熱し、金型の温度が上昇する。

金型温度の変化に応じて金型長を補正する機構をもつこと。

(3) 研究内容

1) DDユニット設計仕様と全軸可動プレス構想

表1にDDユニットの設計仕様を示す。

表1. 上下5軸+ダイス軸 DDユニット設計仕様

	DD 1 ユニットの駆動モーター容量 (Kw)	DD 1 ユニットの加圧能力 (tonf)	使用 DD ユニットの数 (個)	軸の加圧能力 (tonf)	最大ストローク (mm)
上第 1 軸	127	30	2	60	250
上第 2 軸	127	30	2	60	250
上第 3 軸	64	15	2	30	250
上第 4 軸	64	15	2	30	250
上第 5 軸	255	60	1	60	250
ダイス軸	127	30	4	120	150
下第 1 軸	127	30	2	60	150
下第 2 軸	127	30	2	60	150
下第 3 軸	64	15	2	30	150
下第 4 軸	64	15	2	30	150
下第 5 軸	255	60	1	60	150

図1にプレス構想図を示す。

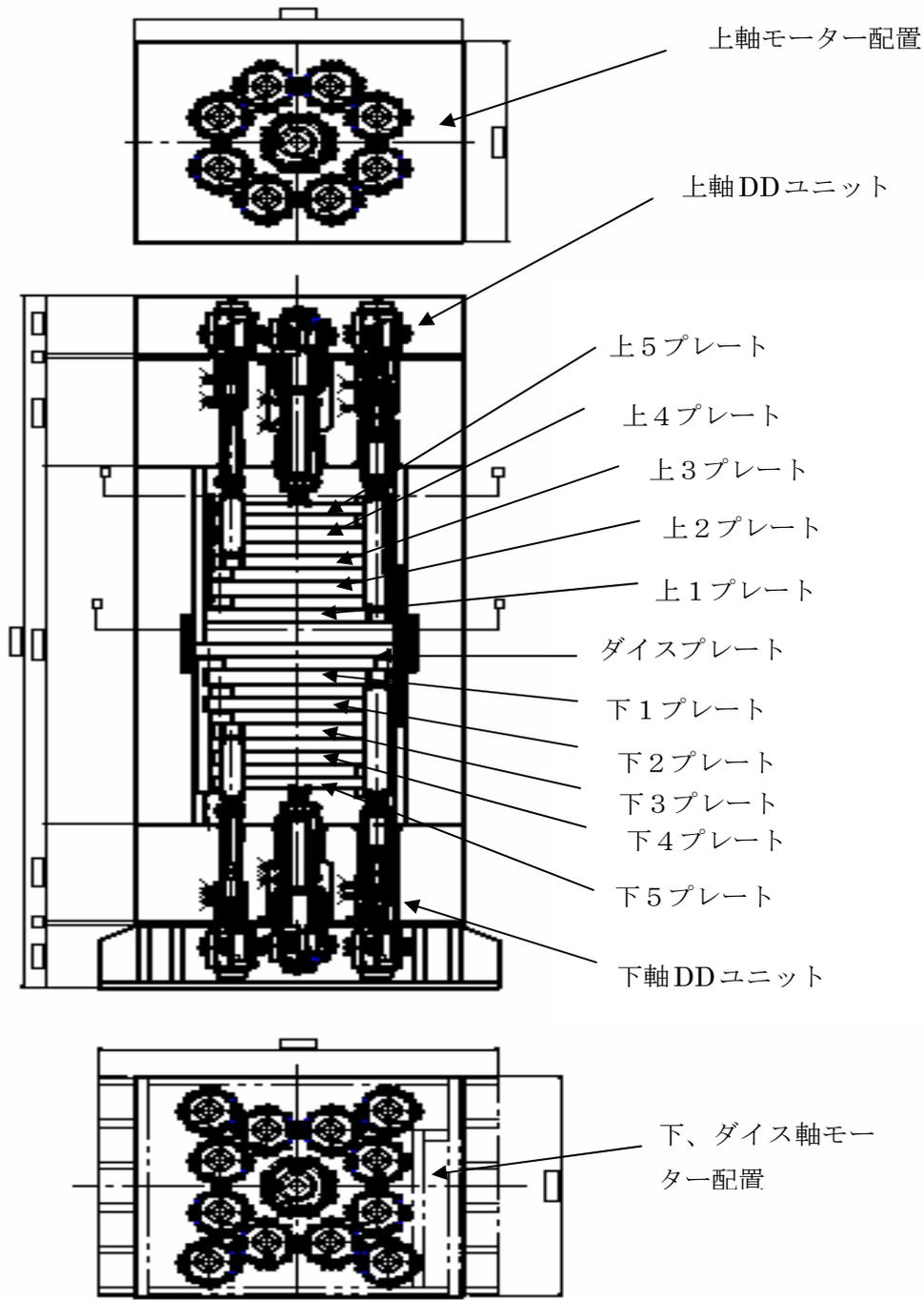


図1. 全軸可動プレス構想図

以下に設計指針を記す。

- a. 加圧プロセスにおいてはダイス軸を固定し、上下軸で加圧・圧縮することによりニュートラルラインの位置を高精度に制御が可能であること。
- b. ノックアウトプロセスにおいては上下軸（パンチ）で成形体を軽く挟み固定し、ダイス軸のみを下降（ノックアウト）させること。
- c. 目的とする自動車部品の成形においては上下位置の異なる8個の横穴軸が制御可能であること。

- d. 金型は上パンチ最大 5 分割、下パンチ最大 5 分割必要であること。すなわち加圧軸として上下各 5 軸+ダイス軸が全軸可動であること。
- e. パンチが支配する粉体の充填量、成形体形状（厚みや段差）を独立に設定、制御できること。
- f. 金型の温度を自動的に測定し、補正する機能をもつこと。

2) 運動真直、直角度

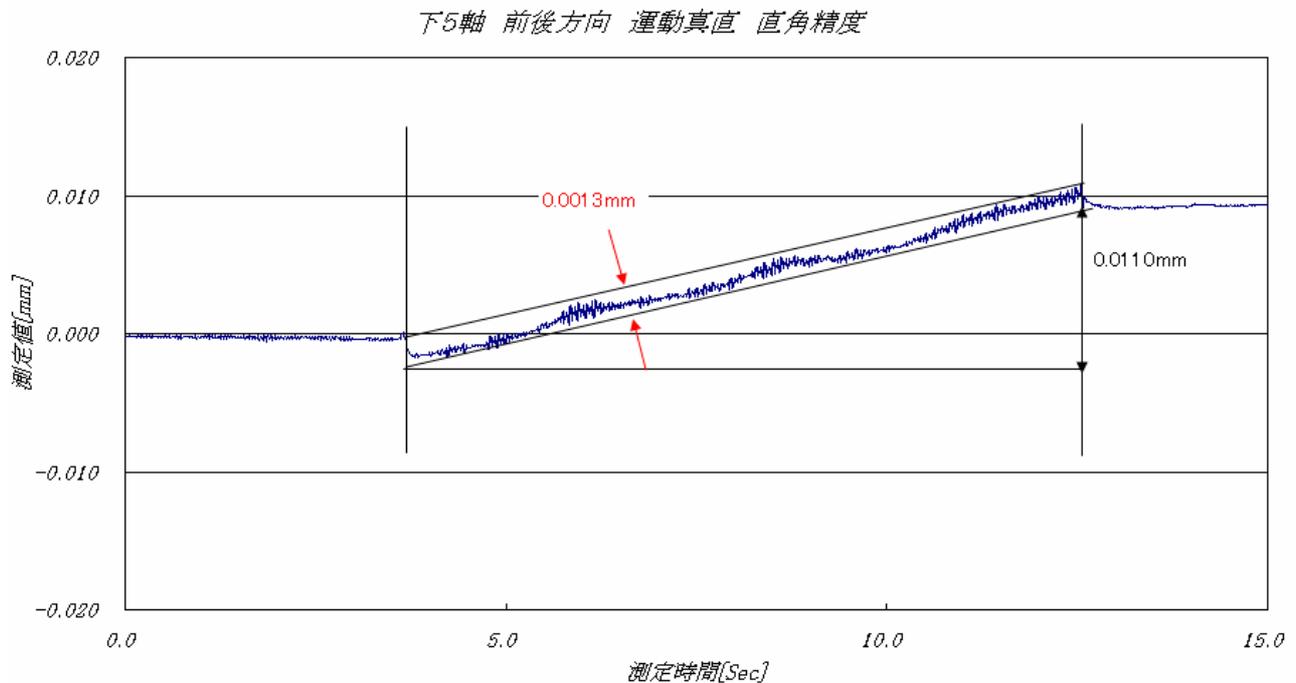


図 2. 下 5 軸前後方向 運動真直、直角度

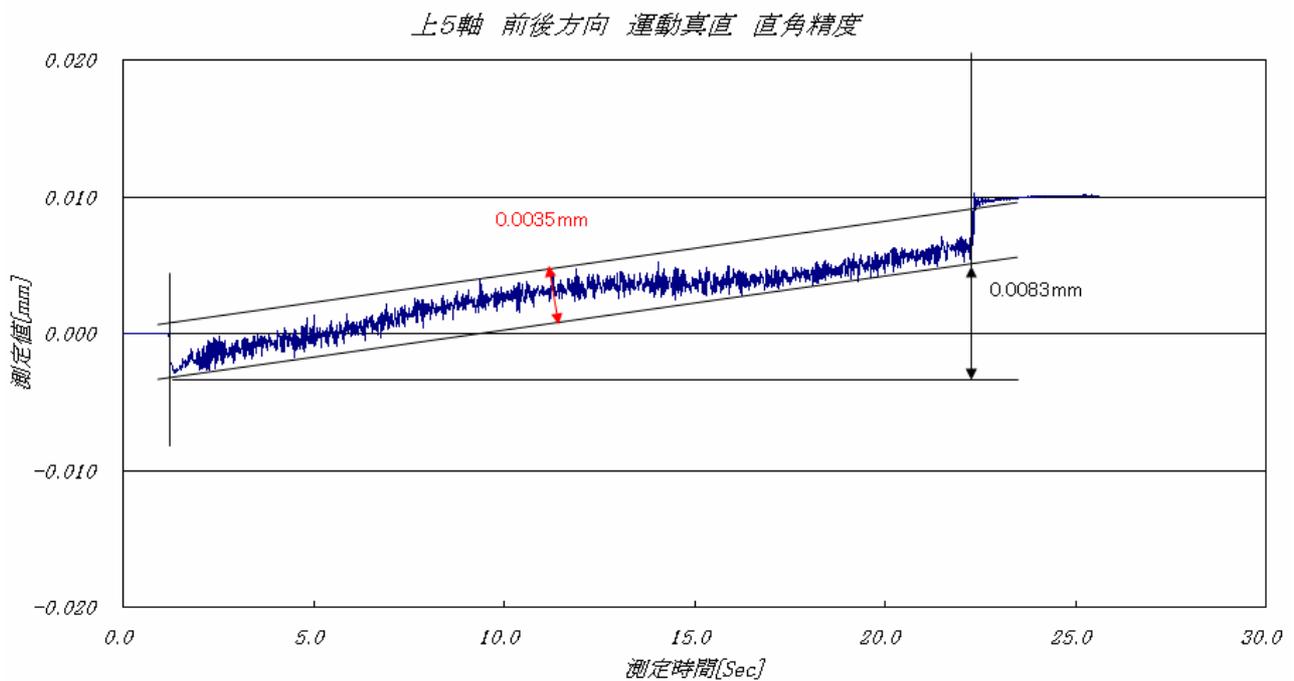


図 3. 上 5 軸前後方向 運動真直、直角度

一例として図 2,3 に上下 5 軸 DD ユニット 前後方向 運動真直、直角度 を示す。

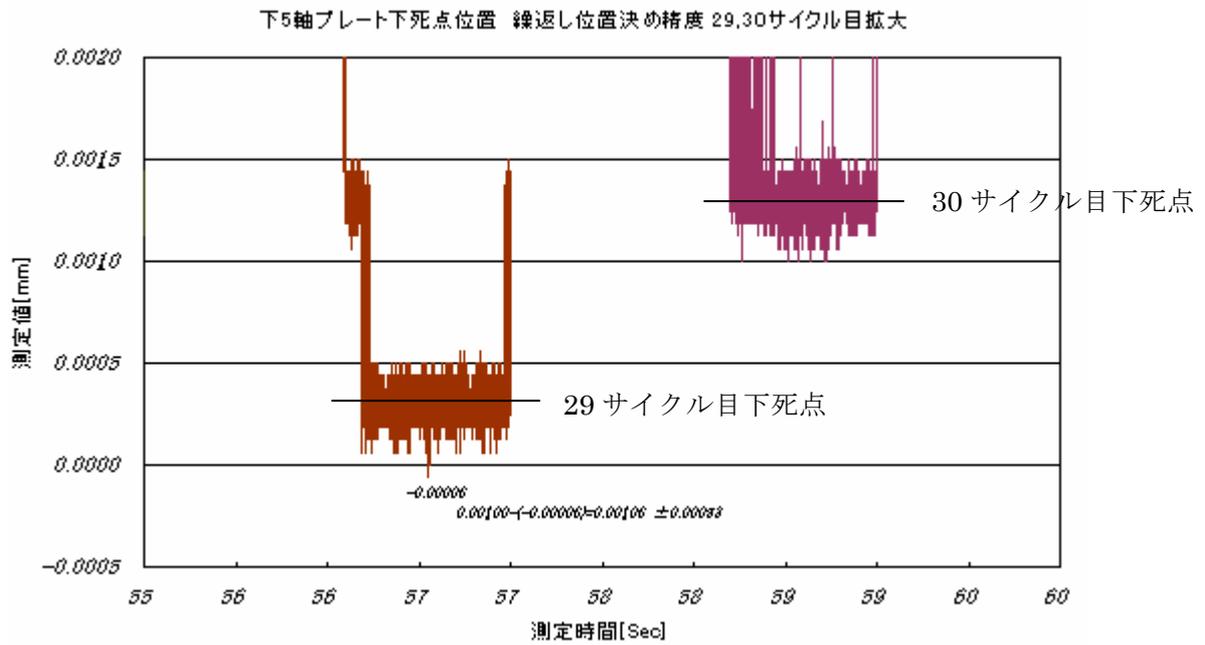


図 5. 下死点付近の拡大波形

4) 同期精度

上下第5軸プレートを上下に加速～減速 平行移動させ、ギャップセンサーでその間隔の変化を測定した。その結果を図 6 に示す。センサー取り付け延長棒が長く、棒の振動が観測される。振動成分を除けばほぼ横一直線とみなすことができる。ノイズを含んだとしても最大～最少レンジで目標 0.02mm 以内は明らかに達成している。

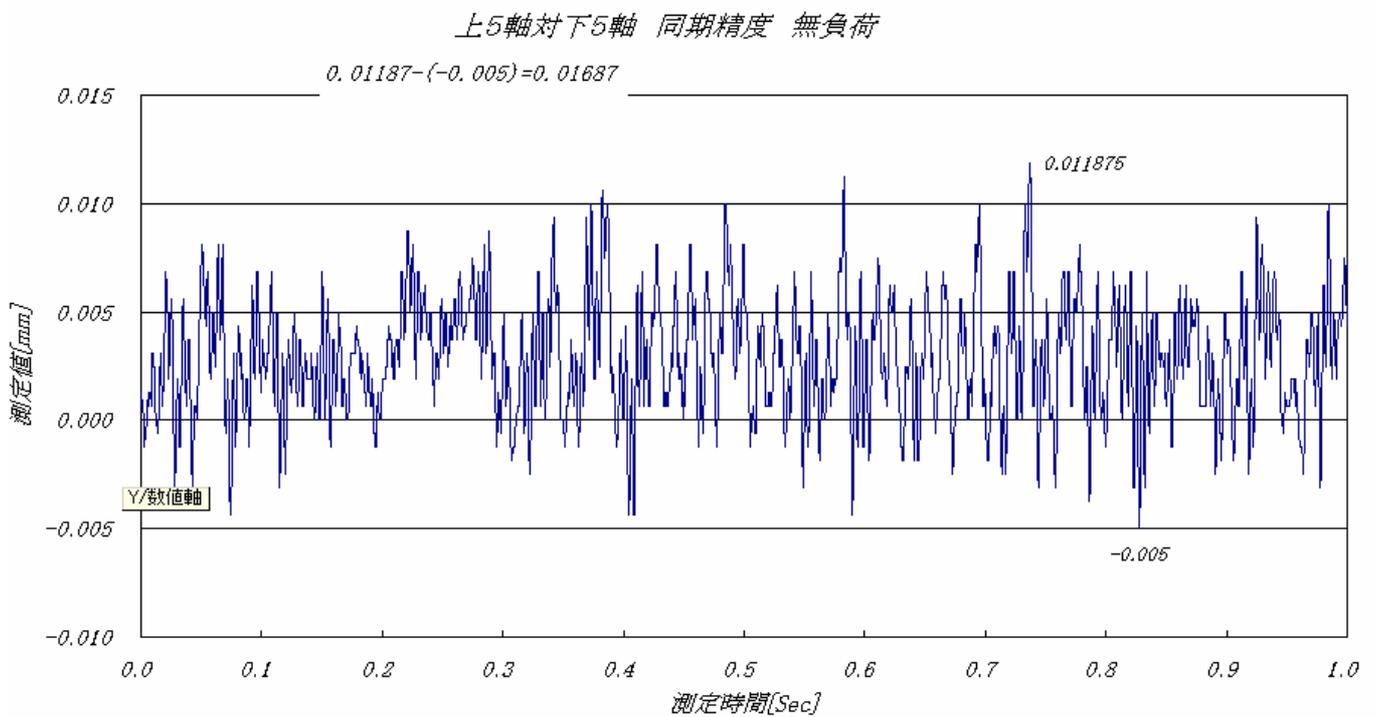


図 6. 上 5 対下 5 同期測定

5) 温度補正軸

図7に製作した温度補正軸 全景 写真を示す。温度補正軸は駆動部とセンサー部で構成される。駆動部はフィーダ軸と同じ構造をしており、機械正面から左右にセンサー部を移動させる。図8にセンサー部の写真を示す。センサー部には上パンチ測定用、下パンチ測定用の2個のレーザーセンサーが設置されている。

その他に金型温度測定用温度センサーがダイスに取り付けられている。

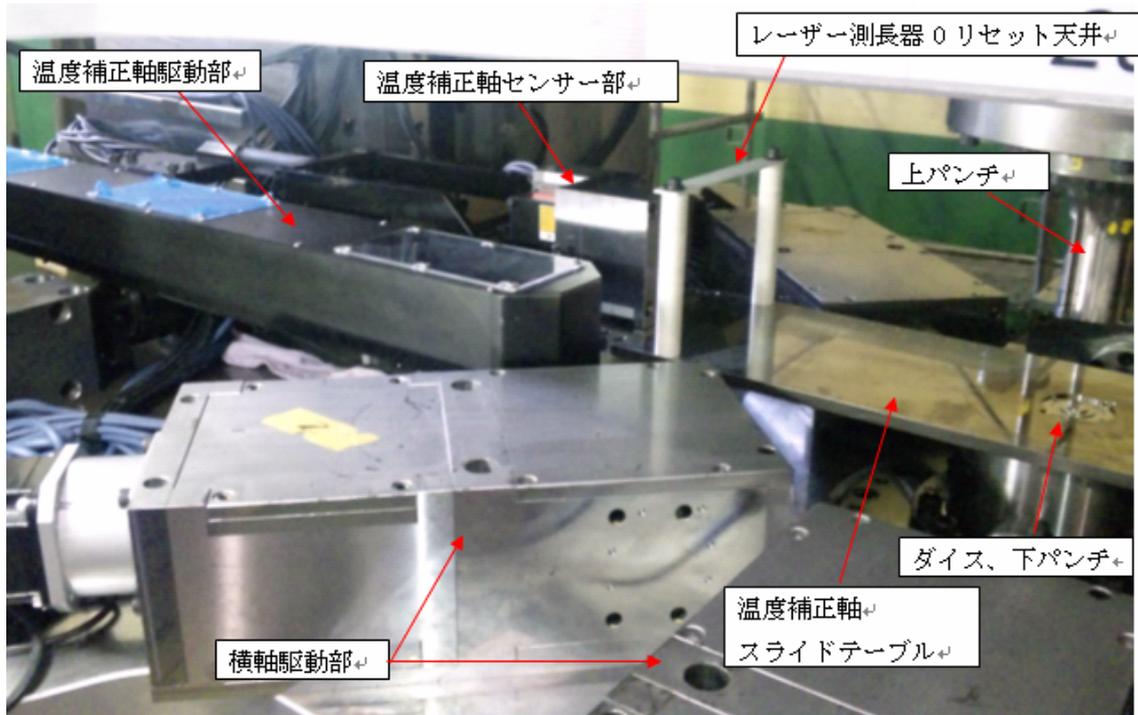


図7. 温度補正軸 全景



図8. 温度補正軸 センサー部

2-1-2 位置決め精度及び同期精度の向上による加圧プロセスにおける成形体の密度分布制御の研究（小林工業（株））

研究者所属氏名

葛西 史乃 小林工業(株)

佐々木 正 小林工業(株)

真坂 卓也 小林工業(株)

亀山 純 小林工業(株)

(1) プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

高い位置決め精度及び同期精度向上を実現することにより成形体の密度制御が可能となり、成形体の変形を少なくし2次加工レスを達成することができる。また成形と同時に横穴をあけることも可能となる。

(2) 目的と目標

複雑形状化と高精度化、不良率低減と二次加工レスを実現するには多軸 DD 制御同期技術の確立を行う必要がある。焼成後の変形量 0.02mm以内（厚み 3mm ×長さ 20mmの成形モデルの場合）を達成目標とする。

(3) 研究内容

1) 実験方法

ニュートラルライン位置を制御することにより変形“そり”を制御できることを実証する。

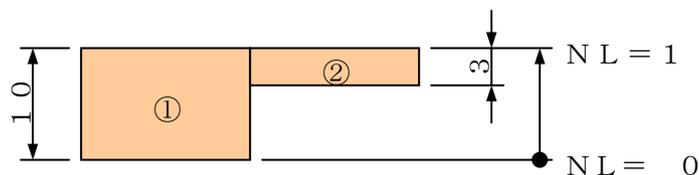


図1. 成形体図

NL = ニュートラルライン

図1 のような成形体を、表1のフォーマットに則って ① , ② のニュートラルライン位置をそれぞれ変化させ、“そり”の量を測定する。

表 1. ニュートラルラインの位置とそりの関係フォーマット

ニュートラルライン 位置 [mm]		①						
		0	5	7	8	8.5	9	10
②	0							
	5							
	7							
	8							
	8.5							
	9							
	10							

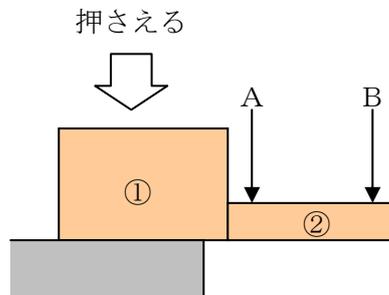


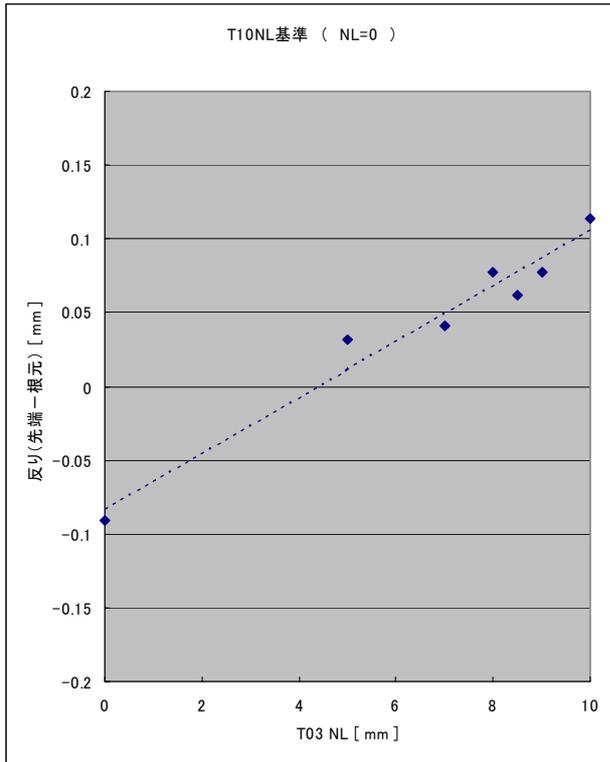
図 2. 測定方法

図 2 に示すように①を基準として②の A と B の差を測定値とする。

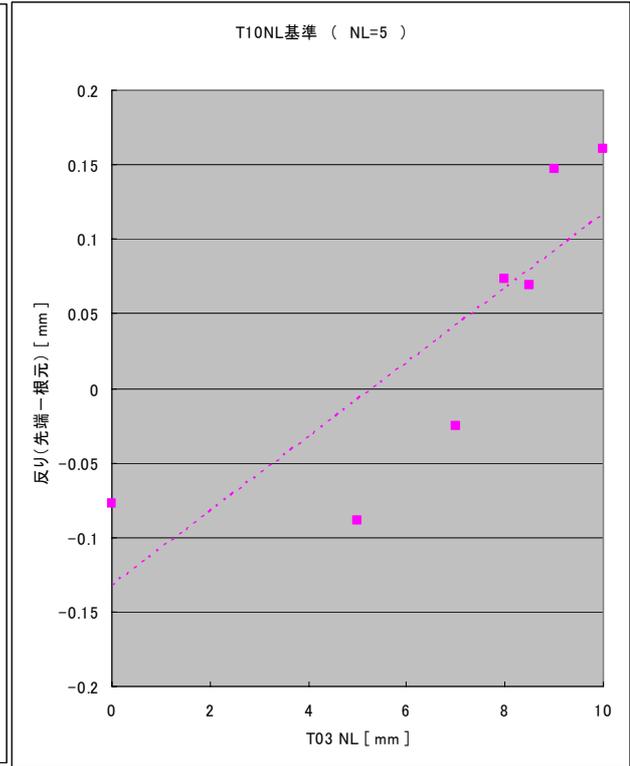
2) 結果

図 3-1、3-2 に①のニュートラルライン位置ごとに②のニュートラルラインを変化させた場合のグラフを示す。

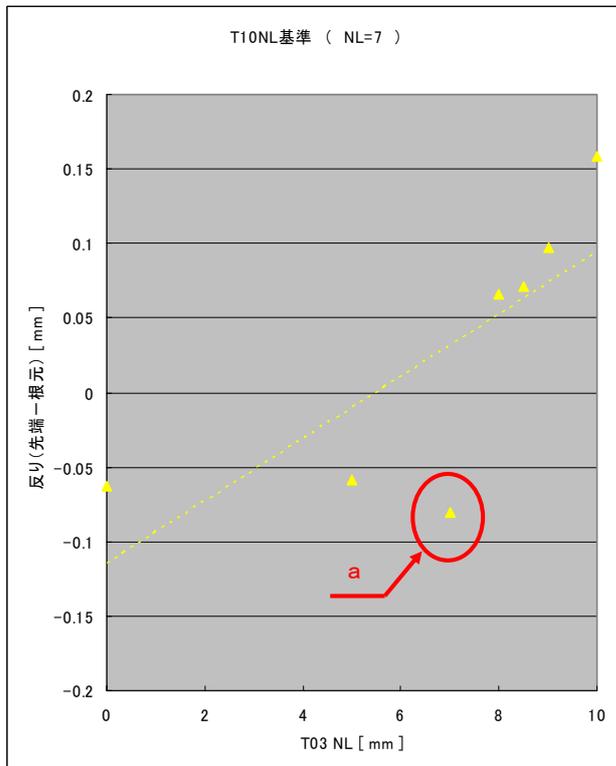
“そり” の方向は、上下の向きを成形時と同様として先端浮き上がりを“+”，先端沈み込みを“-” で表す。



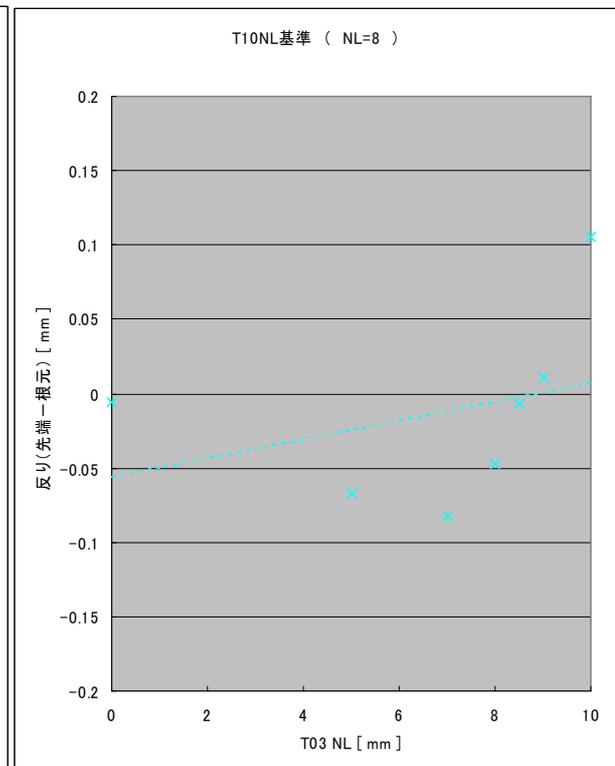
①の NL=0



①の NL=5

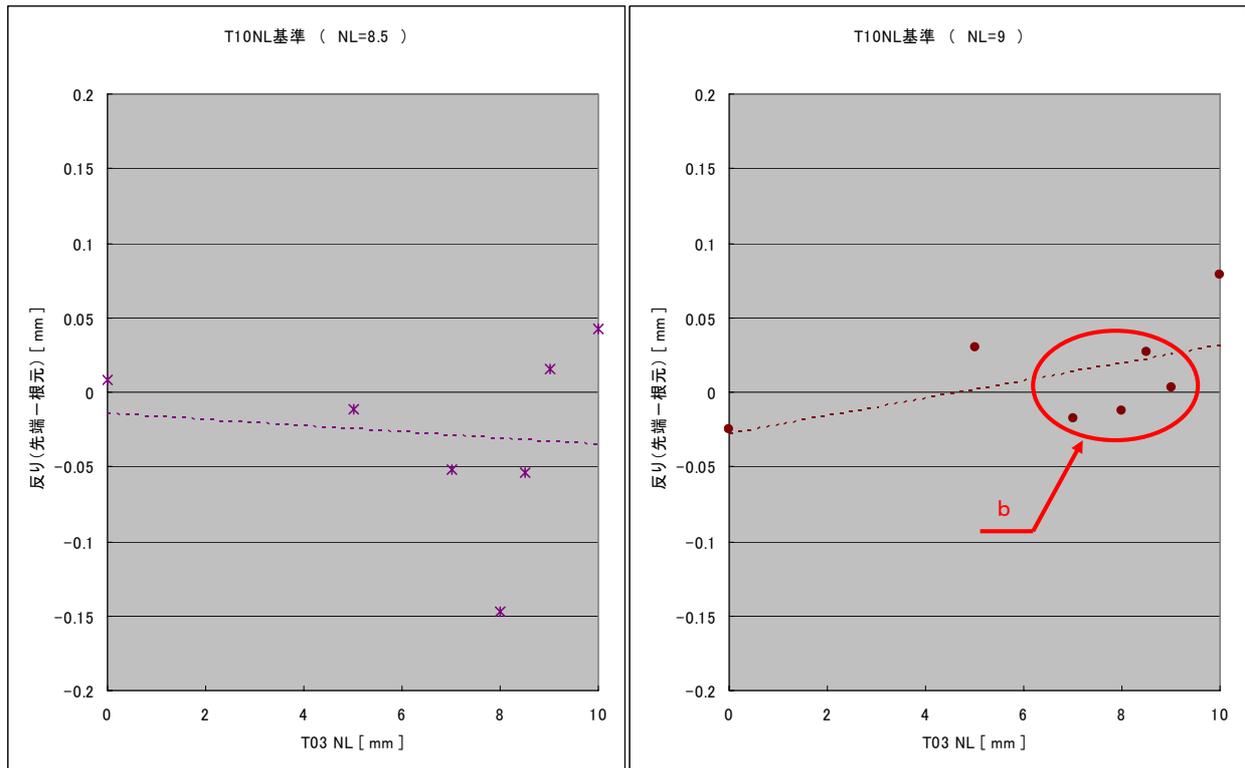


①の NL=7



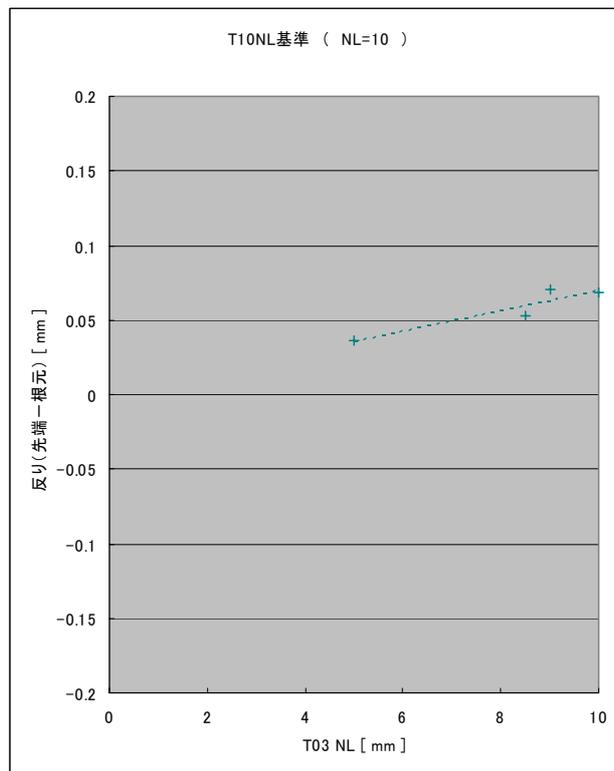
①の NL=8

図 3-1. ニュートラルライン (NL) を変化させたときの 反り量
NL = 0、5、7、8



①の NL=8.5

①の NL=9



①の NL=10

図3-2. ニュートラルライン (NL) を変化させたときの 反り量
NL = 8.5、9、10

3) 考察

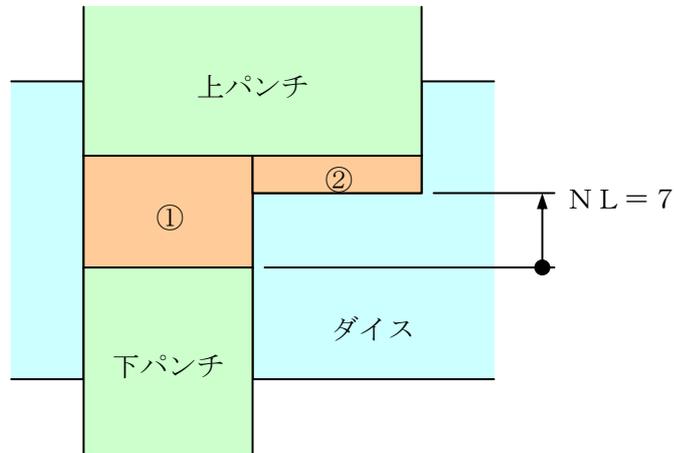


図4. 上下1段プレスでの段付成形

上下1段の一般的なプレス構造において図1のような成形体を得るためには、図4のようにダイスに段差を設けなければならない。

この場合、②は上パンチからのみ押圧されるので、ニュートラルライン位置（加圧動作中に粉末が動かない位置）は必ずダイスと接する面になる。

①側も②で上パンチの加圧移動量が決まるので、下パンチで残りの加圧移動量を担当すると、上パンチ対下パンチの加圧移動量の比は3：7すなわちニュートラルライン位置は7となる。

①及び②のニュートラルライン位置7の場合のそりを図3-1 NL=7上にaで示す。

今回の実験では②の先端が0.08mm沈み込むような“そり”が見受けられた。

さて、多段プレスにおいては、今回の実験のように、①および②で任意にニュートラルラインを設定することができる。

評価基準としては、

(1) “そり”が少ないこと

(2) 微妙な条件の違いによるそりの変動が少なく安定していること

が挙げられる。

図3-2のNL=9上、bで示しているのは、①のニュートラルライン位置が9mm，②のニュートラルライン位置が7～9mmの範囲である。

“そり”の量が0mm近辺で安定していることがわかる。

このように、多段成形において①および②のニュートラルラインを個別に制御することにより、“そり”量を制御できることが実証できた。

2-2 不良率低減と高速成形を達成する減圧プロセス及びロックアウトプロセスの研究（小林工業株）

研究者所属氏名

葛西 史乃 小林工業株

佐々木 正 小林工業株

真坂 卓也 小林工業株

亀山 純 小林工業株

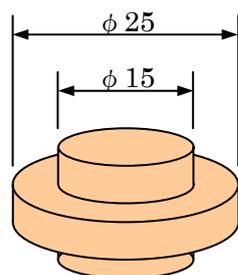
(1) プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

減圧とロックアウトはクラック発生の原因となる重要なプロセスである。またロックアウトプロセスの時間を短縮することが成形サイクルタイム短縮に繋がる。

(2) 目的と目標

多段成形時にパンチ分割部に発生するクラックを検証する。（図1参照）。

図1の成形体を得るためにクラック実験用金型を製作しクラック発生と成形条件の因果関係を検証する。



段違いの横穴（8箇所）を有する自動車部品を想定した成形体を得るために金型を製作する。又この金型を用いてサイクルタイム5secを目標として高速成形も実証する。

図1. クラック発生と成形条件との因果関係を検証するための成形体形

(3) 研究内容

- 1) 段差形状成形体（図3）の上下の減圧量を変化させることによりクラック発生の有無、クラックの大きさを制御できることを実証する。

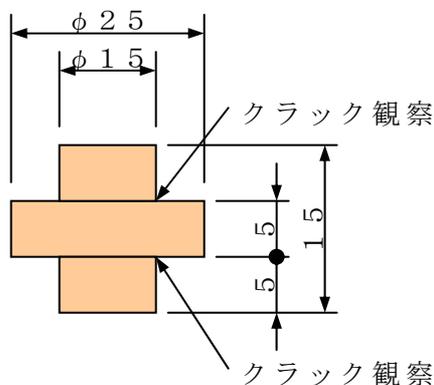


図3. 成形体図

図3に示す成形体にて、外側 および 内側 の上下パンチの減圧量を変化させた時のクラック発生の有無およびクラックの大きさを観察する。

上下1段プレスにおけるクラック発生の検証にてわかっていることは次の通りである。

① 減圧量が多いとき

ダイスのロックアウト動作によって表層が剥がれる。主に横クラック

② 減圧量が少ないとき

ロックアウト後に急激に径方向にスプリングバック（爆発）する。

主に縦クラック

予備実験として 外径φ25 厚み15の円柱成形体において、十分に多い減圧量（上下同量）にて成形すると①が発生した。

徐々に上下同量だけ減圧量を減らしていくと①が発生しなくなる。

さらに減圧量を減らしていくと②が発生する。

この、①が発生しなくなった減圧量と、②が発生する直前の減圧量の中間を適正減圧量と考える。

今回の実験では上下の減圧量が共に0.2mmであったので、外側の適正減圧量を0.4mmとした。

また、図3の成形において、外側の減圧量を上記のように上下0.2mmずつとし、内側の減圧量を十分に大きく（上下同量）すると、φ15外周部に①が発生した。

徐々に上下同量だけ減圧量を減らしていくと①が発生しなくなる。

さらに減圧量を減らしていくと②が発生する。

この①が発生しなくなった減圧量と②が発生する直前の減圧量の中間は上下共に0.5mmであったので、内側の適正減圧量は1.0mmとした。

これにより、上下1段プレスにおいて発生するクラックの発生を避け、多段段付成形で発生する隅部のクラックが評価できると考えられる。

結果を表1に示す。表1において、縦の列は 外側の減圧量を変化させずに内側の減圧量を変化させた場合の結果を示している。

また、横の列は 内側の減圧量を変化させずに外側の減圧量を変化させた場合の結果を示している。外側の上減圧量に対し、内側上の減圧量が0.2～0.4mm程度多いときにクラックの発生がないことがわかる。

すなわち、クラックの発生がないときの外側上下パンチに対する内側上下パンチの位置関係は同じである。

外側上下パンチに対し、内側上下パンチの位置が適正でないとき、言い換えると、外側の成形体に対して内側の成形体がズラされたとき、隅部にクラックが発生されると言

える。

なお、外側のパンチの減圧後の位置を変化させても、内側のパンチの位置によってクラックのない成形体を得られることより、減圧後のダイス内での位置はクラックに対して大きな影響がないことがわかった。

表 1. クラックの大きさの評価

減圧量		評価											
外	内		外	内		外	内		外	内			
上	上	×	上	上	×	上	上	×	上	上	×		
0.0	0.0		0.1	0.0		0.2	0.0		0.3	0.0		0.4	0.0
下	下		下	下		下	下		下	下		下	下
-0.4	-1.0	◎	-0.3	-1.0	△	-0.2	-1.0	×	-0.1	-1.0	×		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	0.2		0.1	0.2		0.2	0.2		0.3	0.2		0.4	0.2
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				
-0.4	-0.8	○	-0.3	-0.8	◎	-0.2	-0.8	△	0.0	-0.8	×		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	0.4		0.1	0.4		0.2	0.4		0.3	0.4		0.4	0.4
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				
-0.4	-0.6	△	-0.3	-0.6	○	-0.2	-0.6	◎	0.0	-0.6	△		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	0.5		0.1	0.5		0.2	0.5		0.3	0.5		0.4	0.5
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				
-0.4	-0.5	△	-0.3	-0.5	○	-0.2	-0.5	◎	0.0	-0.5	△		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	0.6		0.1	0.6		0.2	0.6		0.3	0.6		0.4	0.6
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				
-0.4	-0.4	△	-0.3	-0.4	△	-0.2	-0.4	◎	0.0	-0.4	○		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	0.8		0.1	0.8		0.2	0.8		0.3	0.8		0.4	0.8
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				
-0.4	-0.2	△	-0.3	-0.2	△	-0.2	-0.2	△	0.0	-0.2	◎		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	1.0		0.1	1.0		0.2	1.0		0.3	1.0		0.4	1.0
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				
-0.4	0.0	△	-0.3	0.0	△	-0.2	0.0	△	0.0	0.0	○		
上	上		上	上		上	上		上	上		上	上
0.0	0.0		0.1	0.0		0.2	0.0		0.3	0.0		0.4	0.0
下	下	下	下	下	下	下	下	下	下				

- ◎ : クラック発生なし。キレイな成形体。
- : クラック発生なしだが、隅部稜線が少し濃い。
- △ : 微小クラック発生。隅部稜線が濃い。
- × : クラック発生。

2) 自動車部品を想定した成形

段違いの横穴（8箇所）を有する自動車部品を想定した成形体を得るために金型を製作し成形実験を行った。

段違い横穴を成形することはできなかったが1列の横穴は成功した。

しかし平成20年度において単純形状の段違い横穴の成形は成功した。

金型の分割が複雑になったために粉の流れが違ったことが原因と思われる。

今後も継続して実験する。

2-3 高精度化と不良率低減を達成するプレス構造の研究（小林工業㈱、岩手大学）

2-3-1 構造解析シミュレーションを活用した構造設計の最適化

（小林工業㈱、岩手大学）

研究者所属氏名

西村 文仁	岩手大学
葛西 史乃	小林工業㈱
佐々木 寿好	小林工業㈱
古谷 将人	小林工業㈱
菅谷 公志	小林工業㈱
佐々木 正	小林工業㈱
真坂 卓也	小林工業㈱
鷹島 隆	小林工業㈱

(1) プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

構造解析シミュレーションを活用し、加圧時の荷重と成形体周りの機械変形量の極小化を行う。荷重により、どこかの点がどの位変化するかの比較を構造解析結果と試作機による実測値とで行い、検証しながら設計技術を向上させる。

(2) 目的と目標

3次元モデルでの解析結果を基に歪ゲージを貼り付ける代表ポイントを選定し実機のひずみ量及び変形量を測定する。

(3) 研究内容

1) 歪ゲージを貼り付ける代表ポイントの選定

プレス構造体は次の3つの部位に分類される。

1. 上下1～5軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位（クラウンコラム、ベッド）
2. 各プレート：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位
3. 各軸ユニット：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

3次元モデルでの解析結果を基にそれぞれの部位においてもっとも顕著に変位する測定ポイントを選定した。

2) ひずみ測定

① 実験方法

剛性試験用金型で各軸にそれぞれ推力を与えてひずみ値を測定した。（図1参照）

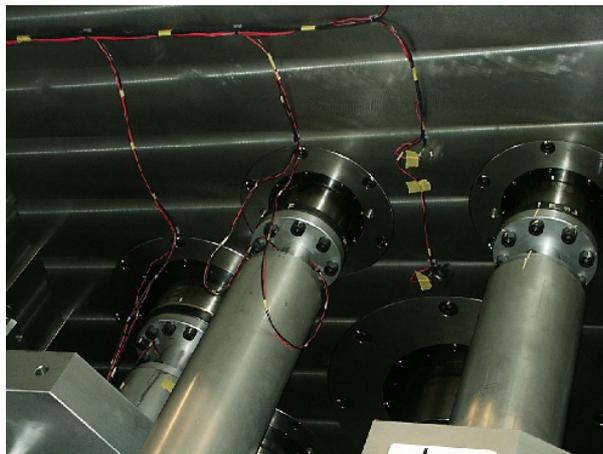


図1. ひずみゲージ貼り付け状態

3) 測定結果

- ① 上下1～5軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位（クラウン、コラム、ベッド）
与えた荷重が小さくひずみ量が小さいためデータがノイズに影響され測定できなかった。
実際に製品を成形すると全軸に荷重がかかりひずみ量も大きくなる。
今後も製品成形において本実験を継続する。
- ② 各プレート：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位 測定結果
一例として非干渉部位 上1プレートの実測値 ひずみー荷重線図を図2に示す。

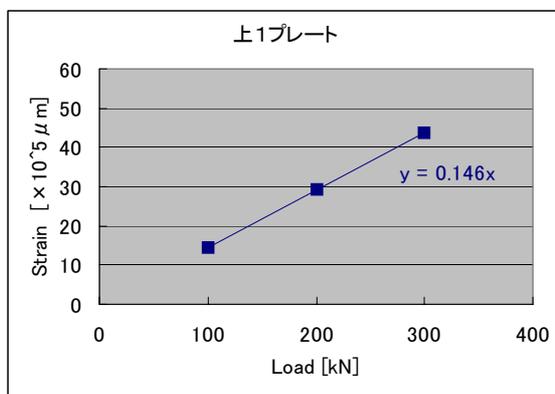


図2. 上1プレートひずみー荷重線図

- ③ 各軸ユニット：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位
軸ユニットはボールネジ、ベアリング 等多数の部品から構成されており解析で求めることは不可能である。よってこの部位は直接実験によって剛性を求める。
一例として図3に上1軸ユニットの変位量測定結果を示す。

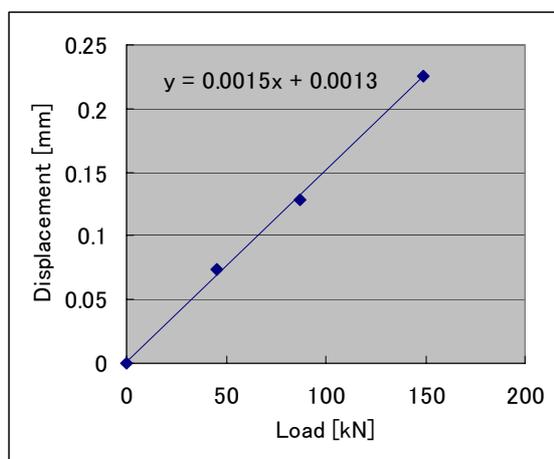


図3. 上1軸ユニット変位量

以上の実験結果を 2-3-2 機構シミュレーションを活用した構造設計の最適化 において解析結果と比較して考察する。

2-3-2 機構シミュレーションを活用した構造設計の最適化(小林工業、岩手大学)

研究者所属氏名

西村 文仁 岩手大学

葛西 史乃 小林工業(株)

佐々木 寿好 小林工業(株)

古谷 将人 小林工業(株)

鷹島 隆 小林工業(株)

(1) プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

加圧 - 減圧プロセスにおけるダイス及びパンチ先端の時系列機械変形シミュレーションを行ない、機構設計の最適化を行なう。

(2) 目的と目標

適切なモデル化と結果の評価方法を確立する。パンチ変位の制御に影響を及ぼす支配因子を研究することにより、実験結果と定性・定量的な一致が得られるような解析モデルを確立する。

(3) 研究内容

加圧 - 減圧プロセスにおけるダイス及びパンチ先端の時系列機械変形シミュレーションを行ない、機構設計の最適化を行なう。

1) 解析結果

解析を行った結果を以下に示す。なお、解析条件は初年度の実験を基に設定した。解析の様子を図1～4に示す。

- ① 上下1～5軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位（クラウン、コラム、ベッド部）

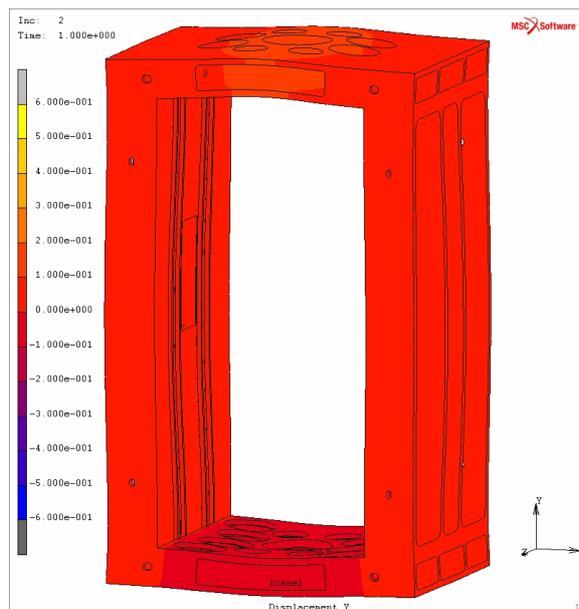


図1. 干渉部位 解析結果

② 各プレート：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

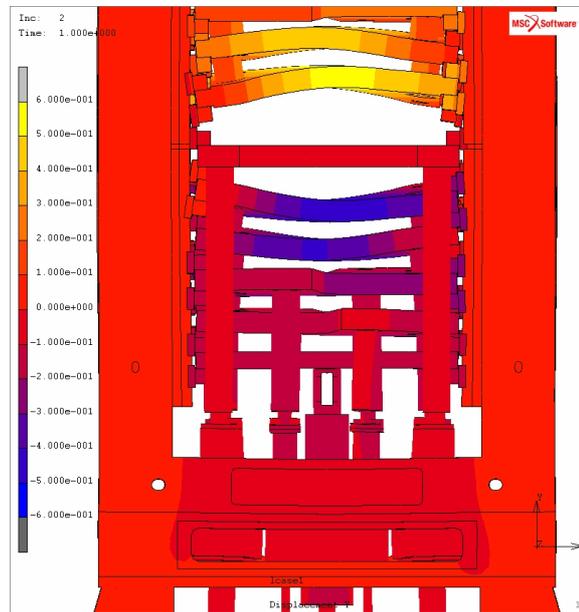


図 2. 各プレート 解析結果

③ 各軸ユニット：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

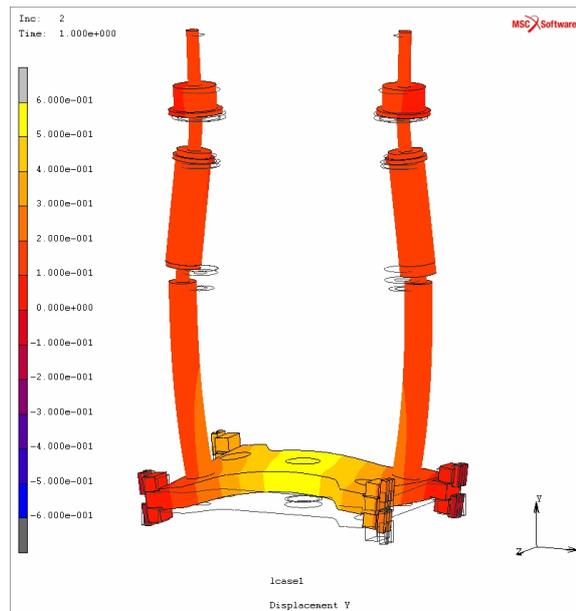


図 3. 軸ユニット結果

④ プレス全体の变形

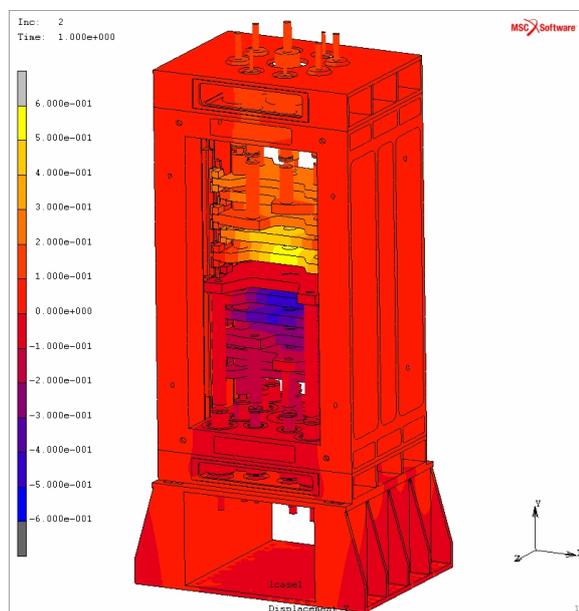


図 4. プレス解析結果

2) 荷重とひずみ の関係を実測値と解析結果で比較する。

① 上下 1～5 軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位（クラウン、コラム、ベッド部）

2-3-1. 構造解析シミュレーションを活用した構造設計の最適化 で述べたように 1 軸に荷重を与えただけでは変位量が少なく測定できなかった。

今後の方針として、解析による仮の剛性マトリックスを完成させた後、剛性マトリックスの干渉変位マトリックス(クラウン、コラム、ベッド部)が複数の軸にかかる荷重に対して適性に振り分けられているかを確認する。

これには、各軸複数の軸に荷重を与え、その中から抽出した数パターンの解析結果と実測値の比較によって検証する。

② 各プレート：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

例として上 1 プレートの解析結果と実測値との比較を図 5 に示す。

上 5, 下 5 プレートは荷重作用点がボールネジ軸と一致するためプレートには曲げの力が発生しない。よってプレートそのものは変形しないとした。

青線が解析値、ピンク線が実測値である。この直線の傾きが剛性マトリックスの要素となる。

上軸プレートの解析値と実測値の誤差を表 1 に示す。

表 1 より、各プレートとも誤差が 10% 程度となったため、解析条件は整合性があるものと判断する。

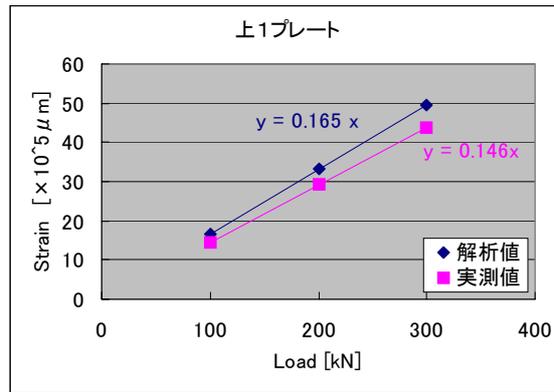


図5. 上1プレートひずみー荷重線図(比較)

表1. 各プレートの解析値と実測値との誤差

	上1プレート	上2プレート	上3プレート	上4プレート
誤差	11.8 %	2.3 %	9.2 %	7.9 %

3) 剛性マトリックス

剛性マトリックスは、平成19年度サポイン成果報告書P89参照より定義される。干渉部位（表2 Mu クラウン、コラム、ベッド部）は解析値である。また、軸ユニットの変形量を実験値から解析条件に反映させた。以上より剛性マトリックスを作成した。

2-4 生産技術を組み込んだマン マシン インターフェース (MMI) の開発 (小林工業株)

研究者所属氏名

真坂 卓也 小林工業株

小松 悟 小林工業株

葛西 史乃 小林工業株

菅谷 公志 小林工業株

古谷 将人 小林工業株

佐々木 寿好 小林工業株

鷹島 隆 小林工業株

(1) プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

試作機には加圧軸として上下5軸+ダイス軸 計10軸がある。多種多様な製品形状、パンチ構成に対応してこれらの可動軸の動作を定義しなければならない。簡単に操作できるユーザーフレンドリーなマン マシン インターフェースを提供する。

(2) 目的と目標

- 1) 制御軸を意識せずに成形体形状、パンチ分割のみを意識して成形条件を変更可能なMMIを開発する。
- 2) 本試作機は加圧軸数が多いため成形条件を決定することが難しい。新たな成形条件を決定するための判断データを提供し、成形パラメーターを簡単に入力、変更できるMMIを提供する。
- 3) MMIに設定する動作条件を間違えると金型の破損、事故につながる。MMIに入力ミス、事故を未然に防ぐための機能を持たせる。
- 4) MMIに温度補正軸の機能を追加する。

(3) 研究内容

1) 対向軸設定画面

上下対向軸を任意に選択可能とした。図1にその設定画面を示す。

また任意に選択した対向軸の動作をアニメーション画面に表示する機能を開発した。

図2にその一例を示す。



図 1. 対向軸の選択

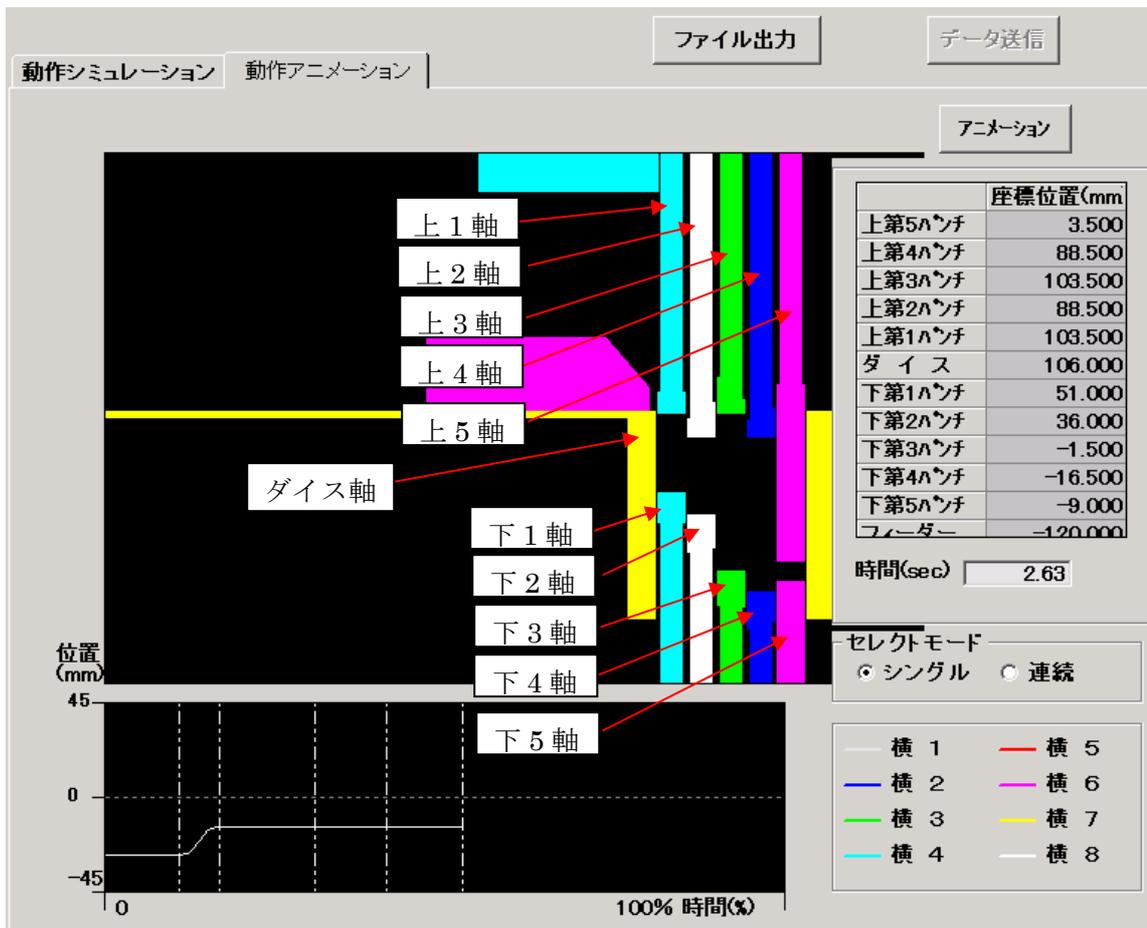


図 2. アニメーション画面

2) 機械定数 (変位マトリックス)

変位マトリックスは剛性試験及びシミュレーションにより解析モデルを変更し、試行錯誤することが考えられる。よって MMI プログラムにマトリックスを組み込むとプログラム自体を変更しなければならない。実験担当者が簡単に変位マトリックスを追加・変更し、その結果を MMI に取り込む方法として EXCEL を使う。概念図を図 3 に示す。

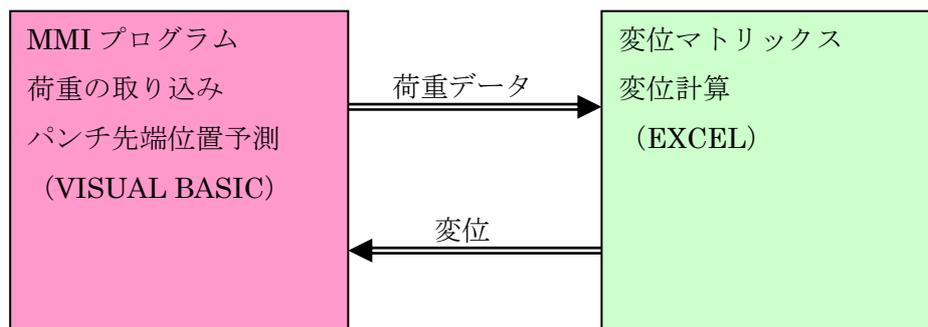


図 3. 変位計算を EXCEL で処理 概念図

3) 事故を未然に防ぐための機能

- ・ プレート干渉インターロック
- ・ 金型干渉インターロック
- ・ 金型有効部の抜けインターロック

を開発した。

4) 温度補正軸

① 温度変化基準

図 4 に温度変化基準を設定する項を示す。 図 4 の例では温度が 1℃変化するごとにパンチ長測定をおこなうことになる。

The screenshot shows a dialog box titled '温度変化基準' (Temperature Change Standard). It features a text input field containing the value '1.0'. Below this, there is a section for '温度補正モード' (Temperature Correction Mode) with two buttons: '無効' (Invalid) and 'パンチ原点演算' (Punch Origin Calculation). A '温度補正モード終了' (Temperature Correction Mode End) button is also present. At the bottom, there is a 'メッセージ' (Message) area with an empty text box.

図 4. 温度変化基準 設定項

- ② ダイス、上下軸 温度補正ポジション 設定項
 - ③ 温度補正軸 動作原点 設定項
 - ④ 上下パンチのオリジナル原点と温度補正後の原点
 - ⑤ 温度補正軸 動作の定義
 - ⑥ パンチ長データ採取命令
 - ⑦ 温度補正軸 動作ファイル管理
- 等 パンチ、機械の温度変化に伴う パンチ長補正 機能を追加した。

第3章

全体総括

本プロジェクトの推進を年度別に区切るとすれば、初年度は「構想・設計 準備段階」、次年度は「試作機の完成・調整」、最終年度は「実験・検証、成形品試作」となる。

構想当初は上下4軸の加圧軸を想定していたが、製品ターゲットである自動車部品の形状が具体的になることにより軸数が足りないことがわかった。このことに対応するため加圧軸を上下5軸に増やすこととした。また横穴軸も8軸に増えた。

市場も明確であり今後拡大していく製品が具体的ターゲットとなったことは構想・設計を速やかに変更、進める上で強力な推進エンジンとなった。またロボット業界を調査した結果、試作機が製品ターゲットである自動車部品の成形が可能な仕様を満足していればロボット部品も成形できることがわかった。

テーマ別に振り返る。

①-1 位置決め精度及び同期精度の向上によるプレス精度の向上

各プレートの運動真直、直角度は目標値を達成した。

繰り返し位置決め精度、同期精度はまだ移動速度が遅いため現状の参考値ではある。

しかし目標値を達成している。

温度補正軸を追加した。目的の機能を実現することができたが改良しなければならない問題もある。それはMMIから制御装置への動作関数送信に時間がかかりすぎることである。実用化のためには解決しなければならない。

①-2 位置決め精度及び同期精度の向上による加圧プロセスにおける成形体の密度分布制御の研究

焼結後のそり（変形）は密度分布に起因する。密度分布は成形体のニュートラルラインの位置を制御することで改善することを実証した。すなわち多軸化である。

今後、焼結部品を開発するための武器となる。

② 不良率低減と高速成形を達成する減圧プロセス及びロックアウトプロセスの研究

クラック発生の原因となる重要なプロセスは減圧である。減圧プロセスにおいてダイス内における成形体の位置を変化させることなしに、外側上下パンチに対する内側上下パンチの位置関係を同じに保ったまま減圧することが必要であることを実証した。すなわち上下パンチ動作の同期を可能とするのは上下パンチ全てが可動であることである。

自動車部品の成形実験を行った。前年度の予備実験の結果からは予想できなかった現象（粉の流れ）が生じている。そのため2段の横穴をあけることができなかった。ニュートラルラインを一直線とし、1段の横穴をあけることはできた。

今後の課題として

- (1) 2段の横穴をあけること
- (2) 更に密度をあげること

(3) 成形スピードをあげること

(4) 焼結

を行っていく。

③-1 構造解析シミュレーションを活用した構造設計の最適化

プレス構造を以下の3つの部位に分けて剛性試験をおこなった。

1. 上下1～5軸にかかる荷重が複合的に影響し変形する干渉部位(クラウン、コラム、ベッド)

2. 各プレート：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

3. 各軸ユニット：軸単独にかかる荷重にのみ影響し変形する非干渉部位

1. は1つの軸にだけの荷重では変形量が少なく、ノイズの影響で測定することができなかった。実際の製品成形において全軸に荷重をかけることにより変形量を測定することが可能である。今後の継続研究とする。

2、3の部位においては良好なデータが得られた。

③-2 機構シミュレーションを活用した構造設計の最適化

理論的解析モデルが完成した。

前述のように荷重が複合的に影響し変形する干渉部位においては剛性試験に問題があり比較できなかった。その他の部位においては解析モデルと試験結果の整合性がとれたと判断する。

干渉部位は理論値とし、剛性試験結果を盛り込んだ剛性マトリックスを作成した。ロードセルからの荷重値と剛性マトリックスを使用することによりパンチ先端の位置を推測することができ、またロードセルからの荷重データを離散化することにより時系列のパンチ先端位置を求めることができることを示した。

④ 生産技術を組み込んだマン マシーン インターフェース (MMI) の開発

④-1 製品形状に最適な金型構造に対応するためのフレキシブルなMMIの開発

④-2 成形体の密度分布をコントロールする加圧プロセス、成形クラックを生じさせない減圧プロセスを決定する成形パラメーターを簡単に入力、変更できるMMIの開発

④-3 入力ミス、事故を未然に防ぐ安全なMMIの開発

④-4 MMIに温度補正軸の機能を追加する。

上記4つの課題はほぼ完成した。

今後制御装置との通信スピードをあげる必要がある。

最終年度にあたり、全てのテーマを無事終了できたのは管理法人の財団法人あきた企業活性化センターとアドバイザーの方々の助言とご協力のおかげであることに感謝する。アドバイザーの皆様には盛りだくさんのテーマと技術ハードルの高さに親身になって心

配していただき、指導していただいた。機械の完成度、表面にはでない組み立て、制御技術の評価していただいたことは研究員の自信となり、今後の弊社の発展につながっていくことと思う。

岩手大学 西村准教授においては構造解析・モデリング分科会に所属していただき研究員と一緒に実務を担当していただいた。プレスは撓み、温度により伸び縮みするものであるということを前提とし、システムとして補正、補完していかなければならないと考える。本事業は終了したが今後も西村准教授のご指導を賜りたい。

金型設計・製作に大変苦勞していただいた弊社 金型製造グループCOPの皆様にも感謝する。粉末成形金型としては他に類をみないであろう形状である。

今後は焼結部品の製品化を目指す。そのためにはプレスの改造、更なる機能の完成が必要である。また弊社としては新たな技術である焼結にも取り組まなければならない。今後も引き続きアドバイザーの皆様のご協力をお願いしたい。

最後になりましたが本事業を支えていただいた東北経済産業局、経済産業省に感謝いたします。