

平成 2 6 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「高機能化複雑形状加工に対応可能な汎用プレス機を用いた
精密 3 次元形状プレス複合化技術の開発」

研究開発成果報告書

平成 2 7 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

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	2
1-2 研究体制（研究組織、管理体制、研究者名、協力者）	2
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本 論	6
2-1 汎用プレス機による精密3次元形状（非軸対称）を創成するためのプレス複合化工法の開発	6
2-1-1 精密3次元形状（非軸対称）を創成するプレス複合化に向けた要素技術の開発（日伸工業株式会社）	7
2-1-2 プレス複合化による精密3次元形状（非軸対称）プレス技術の開発（日伸工業株式会社）	8
2-1-3 プレス複合化工法を用いた連続プレス加工の確立（日伸工業株式会社）	12
2-1-4 連続プレス加工に最適な潤滑油の配合及び金型表面処理技術の開発（日伸工業株式会社、株式会社オンワード技研、滋賀県工業技術総合センター）	14
2-2 C A E解析による金型及び加工プロセスの最適化	16
2-2-1 C A E塑性流動解析による金型の最適化（日伸工業株式会社）	16
2-2-2 C A E解析による成形加工限界及び加工プロセスの最適化（日伸工業株式会社）	18
2-2-3 連続プレス加工用金型を用いた加工プロセスの検証と最適化（日伸工業株式会社）	19
2-3 トランスファー装置による高効率搬送技術の開発	22
2-3-1 各種形状の部材を搬送可能とするトランスファー技術の開発（日伸工業株式会社）	22
2-3-2 精密3次元形状（非軸対称）加工に対応可能な高速・高精度搬送技術の確立（日伸工業株式会社）	22
2-4 インライン検査技術の開発	23
2-4-1 一貫プロセス内（もしくはプレス機上）での寸法評価技術の開発（日伸工業株式会社、滋賀県工業技術総合センター）	23
第3章 全体総括	28

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 背景と研究目的

自動車産業界では特にアジア地域における生産工場の台頭に伴う技術革新の中、さらなる高機能化、軽量化による低燃費化等、原油の枯渇化や価格の高騰からますますの省エネ化の必要性が求められている。今後、急速に普及が進むと予測される次世代自動車においてはバッテリー関連を初め、各部品に対して高機能化及び低コスト化の必要性が激化していく。

このようなグローバル背景の下、本研究開発では高機能化、低コスト化、さらに生産性の向上に対応した汎用プレス機による“精密鍛造技術”と“金属プレス加工技術”の融合による精密3次元形状プレス複合化のための基盤技術を開発することにより、高精度・高品質・高耐久性が要求される画期的なリチウムイオンバッテリー用端子部品を初め、これらの特徴を活かした広範囲な領域における事業化を目指す。



図 1.1 リチウムイオンバッテリー用端子部品
(一体化形状＜非軸対称＞)

1-1-2 研究の概要と目標

次世代自動車の環境対応技術は電動化を中心に各部品の高機能化、低コスト化のニーズが激化している。本研究開発では汎用プレス機を用いて精密冷間鍛造技術と金属プレス加工技術の融合による、非軸対称多段ボスなどの複雑形状に対応可能な精密3次元形状を創成するプレス複合化技術を開発する。本成果を活用し、次世代自動車のキー部品として高精度・高品質・高耐久性が要求される、画期的なリチウムイオン電池用端子部品から順次、事業化する。

【本研究の目標】

- ① 従来の2点からなる複雑な組立部品の一体成型化を可能とする精密3次元形状（非軸対称）を創成する技術を開発する。
- ② 自動車産業からフレキシブル生産の要求に対応するために、汎用プレス機を用いることで、加工形状に応じた金型に交換するだけで従来の金属プレス加工形状を含めた、プレス複合加工一貫プロセスによる多品種生産が可能な技術を開発する。

【本研究成果の活用による事業化の目標】

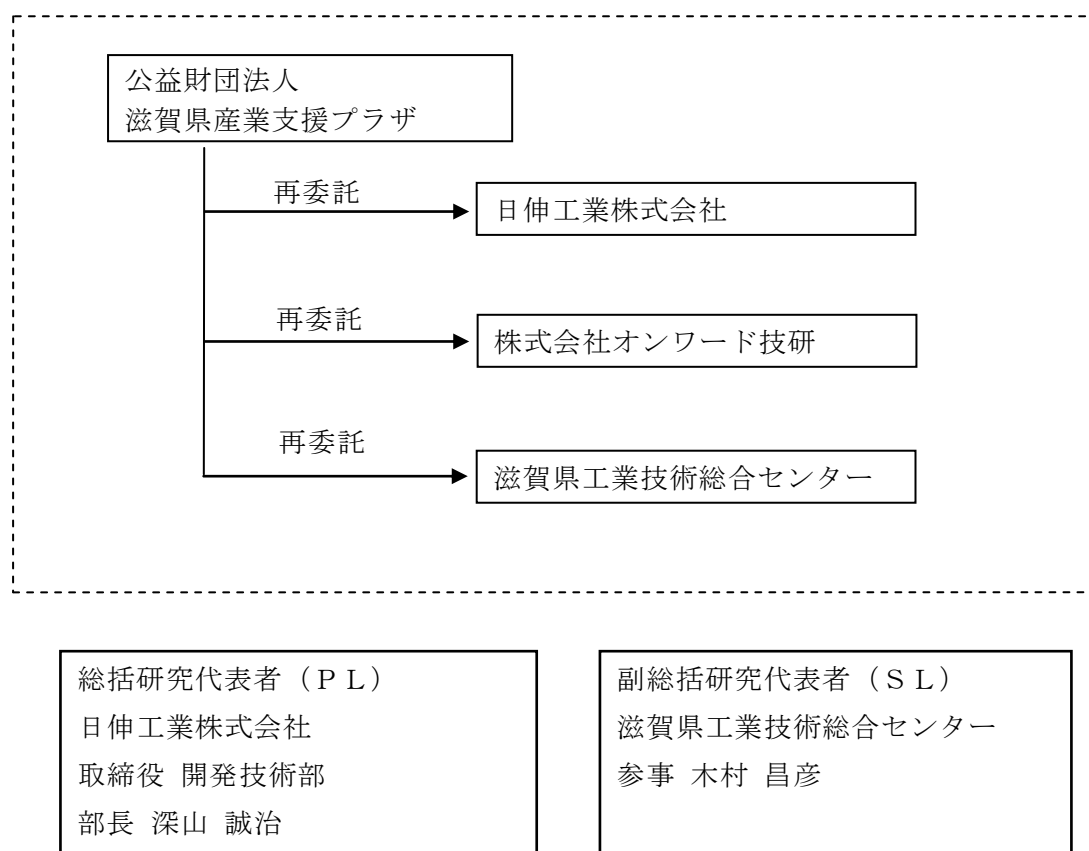
- ① 次世代自動車に使用される従来のリチウムイオンバッテリー端子部品に対して約3.5倍もの破壊強度、約7%の軽量化、さらに従来部品のほぼ半額が可能な端子部品を事

業化することにより、自動車産業業界におけるニーズである高機能化、低コスト化に応えていく。

- ② 本研究成果は色々な形状の端子部品に展開が可能であり、次世代自動車だけでなく、環境・エネルギー分野におけるスマートグリッド、スマートハウス等に代表される分野への展開として、定置蓄電池における端子部品など異分野への事業展開を目指す。
- ③ 各種多段ボス複雑一体形状（非軸対称）の自動車用構造部品や機能部品にも本開発成果の特徴である、高精度・高品質・高耐久性を活かした事業展開を図っていく。

1－2 研究体制（研究組織、管理体制、研究者名、協力者）

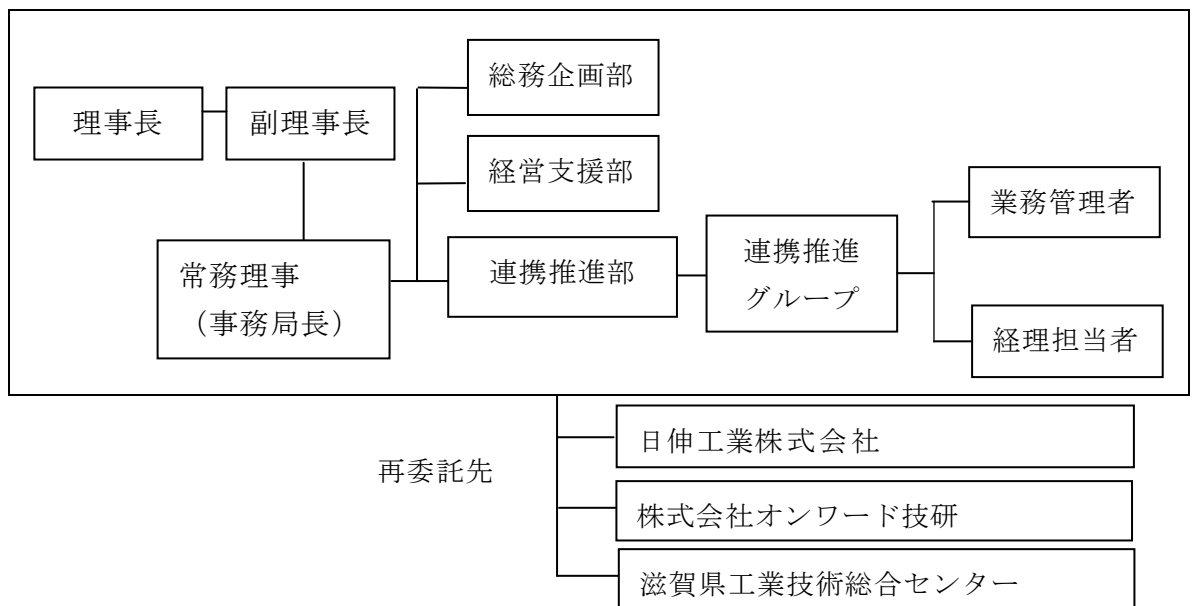
1－2－1 研究組織



1－2－2 管理体制

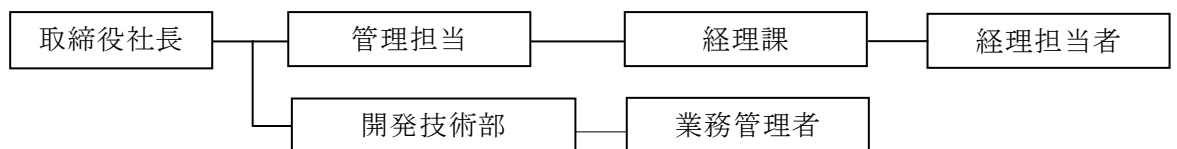
① 事業管理機関

【公益財団法人滋賀県産業支援プラザ】

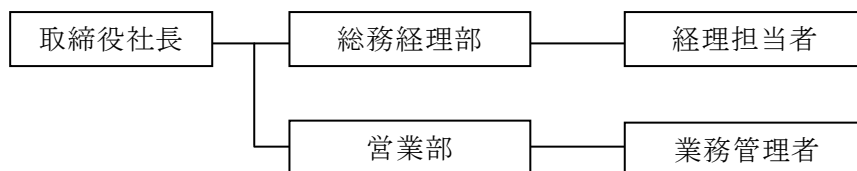


② (再委託先)

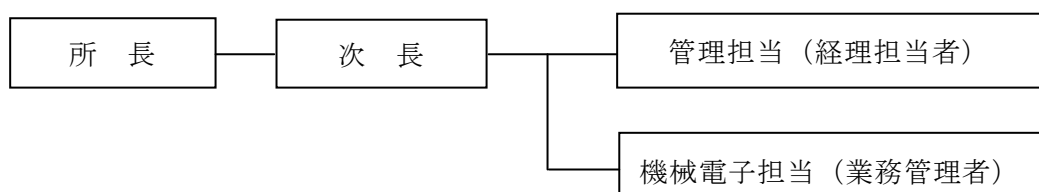
【日伸工業株式会社】



【株式会社 オンワード技研】



【滋賀県工業技術総合センター】



1-2-3 研究者及び協力者名

1) 研究者

氏 名	所属・役職	備考
深山 誠治	日伸工業株式会社 取締役 開発技術部 部長	P L
馬場 保	日伸工業株式会社 開発技術部 金型技術課 主事	

宮本 陽	日伸工業株式会社 開発技術部 金型技術課 技師補	
朝倉 治	日伸工業株式会社 開発技術部 金型技術課	
助田 武紀	株式会社 オンワード技研 営業部 部長	
中西 勝徳	株式会社 オンワード技研 営業部 営業員	
木村 昌彦	滋賀県工業技術総合センター 機械電子担当 参事	S L
櫻井 淳	滋賀県工業技術総合センター 機械電子担当 主任専門員	
井上 栄一	滋賀県工業技術総合センター 機械電子担当 専門員	
岡田 太郎	滋賀県工業技術総合センター 機械電子担当 主任技師	
水谷 直弘	滋賀県工業技術総合センター 機械電子担当 主任技師	

2) 協力者

氏名	指導・協力事項	備考
王 志剛	本研究開発における金型形状および構造設計に関する助言・指導	アドバイザー
中野 隆志	本研究開発における加工工程および構造設計に関する助言・指導	アドバイザー

1-3 成果概要

自動車産業界では特にアジア地域における生産工場の台頭に伴う技術革新の中、更なる高機能化、軽量化による低燃費化等、原油の枯渇化や価格の高騰から益々の省エネ化の必要性が求められており、今後、急速に普及が進むと予測される次世代自動車においてはバッテリー関連を初め、各部品に対して高機能化、低コスト化の必要性が激化していく。

このようなグローバル背景の下、本研究開発では高機能化、低コスト化、さらに生産性の向上に対応した汎用プレス機による精密鍛造技術と金属プレス加工技術の融合による精密3次元形状プレス複合化の為の基盤技術の開発に取り組んできた。

本研究開発では従来の2点からなる複雑な組立部品の一体成形化を可能とする精密3次元形状（非軸対称）を創成する技術を開発する為、最適な加工工程の検討、金型構造及び加工条件の検討、バーフィーダーによる材料供給を行い連続生産確立、インライン検査技術の開発を進め、以下の事項を明らかにした。

1-3-1 汎用プレス機による精密3次元形状（非軸対称）を創成するためのプレス複合化工法の開発

テスト金型による丸棒材の切断工程においてせん断面 80%以上を実現する為の金型構造を開発し、その結果を連続生産用金型にフィードバックを行い切断金型の連続生産を確認した。また、2 段ボス形状の直径及び高さを確保しながら板形状の厚みを確保する精密 3 次元形状の成立条件の確立を行う為のトライを継続して実施し、そこから得られた結果を連続生産用金型にフィードバックを行い、精度向上を図った。また、金型へのコーティング処理については連続生産金型のコーティングと共に摩擦評価試験機を用いた、コーティング評価テストについても実施した。

1－3－2 CAE 解析による金型、及び加工プロセスの最適化

平成 24・25 年度に CAE 解析結果を元に加工プロセスの構築を行い、テスト金型による試作を実施。その後、試作の結果を CAE 解析にもフィードバックし連続生産金型の設計・製作・トライを実施した。平成 26 年度には安定した連続生産プロセスを確立することにより、連続プレス加工用金型を用いた実機トライによる検証・評価を実施した。

1－3－3 トランスファー装置による高効率搬送技術の開発

事業化に向けては連続生産性の確認をする必要があることから、製品の自動搬送を実現する為のトランスファー装置の製作を平成 25 年度に行い、搬送タイミングの検討を実施し、トランスファー装置とプレス機との同期運転の確認を実施し、連続生産金型による自動運転を確立した。

1－3－4 一貫プロセス内（もしくはプレス機上）での寸法評価技術の開発

プレス機上でインライン検査をする為、有効なセンサーの検討・テストを行い、選定を実施した。プレス機上での開発部品のインライン検査を行う為、形状計測に使用するレーザーセンサの専用金型への組み込みと、評価用専用プログラムの開発を行い、性能評価・動作確認を実施した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

当該研究開発の連絡窓口は、事業者である下記の者が勤める。

[事業管理機関]

公益財団法人 滋賀県産業支援プラザ 連携推進部連携推進グループ 福井浩成
〒520-0806 滋賀県大津市打出浜2番1号 コラボしが21 2階
E-mail : fukui@shigaplaza.or.jp TEL : 077-511-1414

[研究開発機関]

日伸工業株式会社 取締役 開発技術部 部長 深山 誠治
〒520-2152 滋賀県大津市月輪一丁目一番一号
E-mail : s-fukayama@nissinjpn.co.jp TEL : 077-543-2467

第2章 本 論

2-1 汎用プレス機による精密3次元形状（非軸対称）を創成するためのプレス複合化工法の開発

2-1-1 精密3次元形状（非軸対称）を創成するプレス複合化に向けた要素技術の開発 （日伸工業株式会社）

従来の板材の切断は素材を押さえパンチを押し込むことで切断するが、この時、素材の切断面はパンチとダイのクリアランス（隙間）によってせん断面や破断面のバランスが変化する（図 2.1）。さらに精密打抜き加工では上下より素材を積極的に加圧・拘束し、切断加工を行うことでせん断面を多く得ることが理論上可能である。

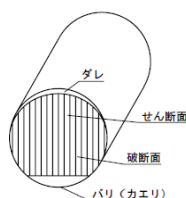


図 2.1 棒材の切断面

本研究開発では丸棒材を潰すことでボス形状を成形するため、従来の丸棒切断での切断面においてせん断面が 30%程度である場合、破断面の表面が潰した板の上面又は下面に表れることがある。さらに破断面は表面が脆くなっており潰していくことで端面が割れる起点となり得る。これらを解消するためには丸棒材を切断する上でせん断面をより多くする必要がある。

線材の切断金型において、切刃形状、パンチ・ダイのクリアランス、ストリッパー圧、背圧において、各パラメーターを変更しトライ・評価・フィードバックにより定量的に実施することにより、切断工程においてせん断面 80%以上を実現する（図 2.2）。

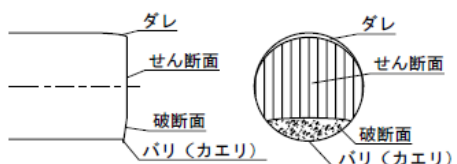


図 2.2 せん断面 80%での断面

テスト材料の材質：C1100-0

丸棒材直径：φ 9.0mm

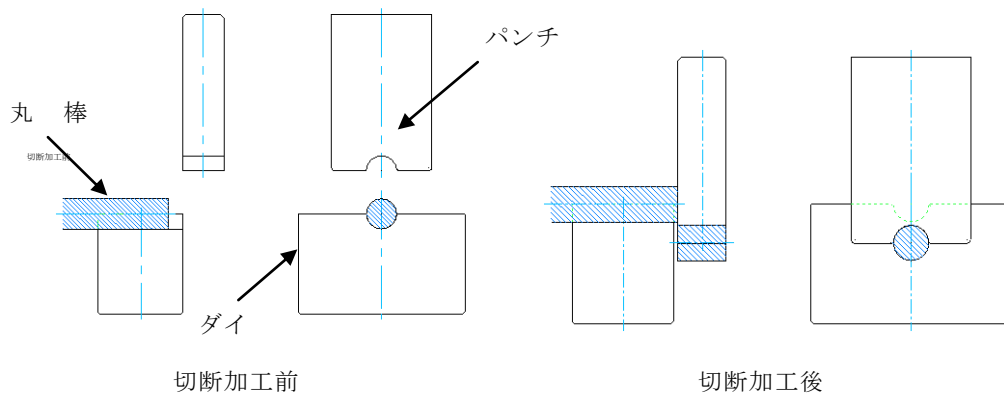


図 2.3 切断工程 概略図

図 2.3 は切断工程のパンチ、ダイ、丸棒材の位置関係を示す。図の左側より丸棒材が切断する位置まで挿入され、パンチが下降することにより丸棒材が切断される。その際のパンチ、ダイの形状は、 $\phi 9.0\text{mm}$ の丸棒材に対して金型の R を大きく設定することで、丸棒材が金型へ付着するのを防止する。

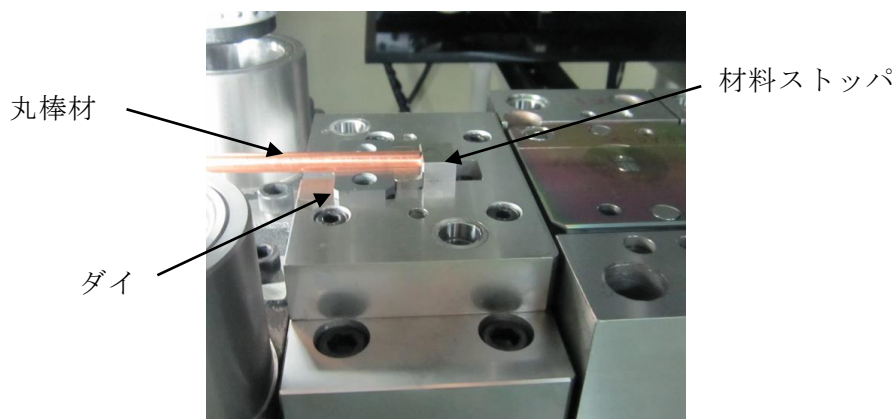


写真 2.1 # 1 : 切断金型

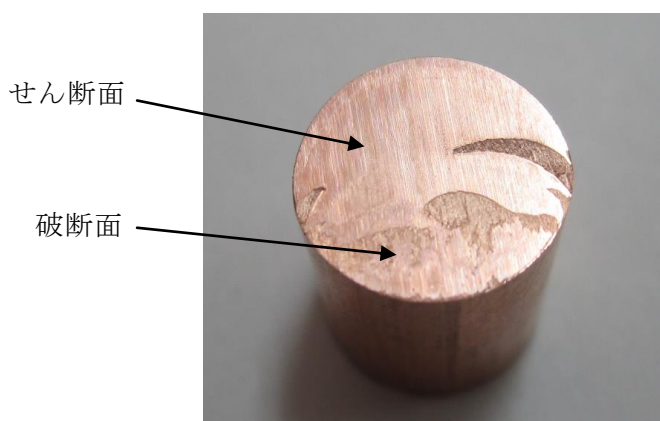


写真 2.2 切断金型による切断面

写真 2.1 は、#1:切断金型に写真左側より丸棒材をセットした状態である。

写真 2.2 は、その切断金型により丸棒材 ($\phi 9.0\text{mm}$) を切断した切断面である。目標値として設定していた約 80%のせん断面は確保できている。

まとめ

丸棒材を切断する為の切断金型のテストにより、背圧、クリアランス、先端ツール形状の最適化を図り、切断面におけるせん断面 80%を確保する金型構造を確立した。この結果を連続生産用金型の設計にフィードバックした。連続生産を確立する為に丸棒材を切断金型に自動で供給するバーフィーダーの導入を行い、連続生産時における切断金型の加工状態を確認し、目標値としている 80%以上のせん断面を確保できていることを確認した。

2-1-2 プレス複合化による精密3次元形状（非軸対称）プレス技術の開発

（日伸工業株式会社）

製品中心から偏芯した2段ボス形状を成形するために、丸棒材を潰してボス形状を加工する工程に対して、切断工程を除く各工程のテスト金型を設計、製作し実機トライ…評価を行い精密三次元形状の成形条件を確立した。

実機トライで得られた成形品を計測・評価し、金型設計およびCAE解析にフィードバックすることにより加工工程を確立し、直径 $\phi 8.5 \pm 0.1$ 、高さ 4.2 ± 0.15 、ボス高さ 9.1 ± 0.1 、ボス内径深さ 6.1 ± 0.08 、ボス内外径の同軸度 $\phi 0.08$ 、板厚 1.5 ± 0.05 、孔位置 12.3 ± 0.05 を目標値とした。

本研究開発におけるターゲットとなる製品形状を図2.4に示す。1.5mm板部の非軸対称位置に $\phi 8.5\text{mm} \times 4.2\text{mm}$ のボスと更に $\phi 4.0\text{mm} \times 9.1\text{mm}$ の中央部に $\phi 2.8\text{mm} \times 6.1\text{mm}$ の穴を有する2段ボス形状からなる部品である。

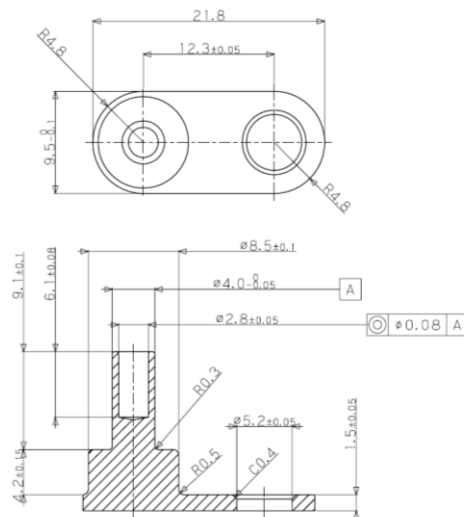


図 2.4 開発部品形状図

図 2.5 にプレス複合加工一貫加工プロセスの検討結果を示す。

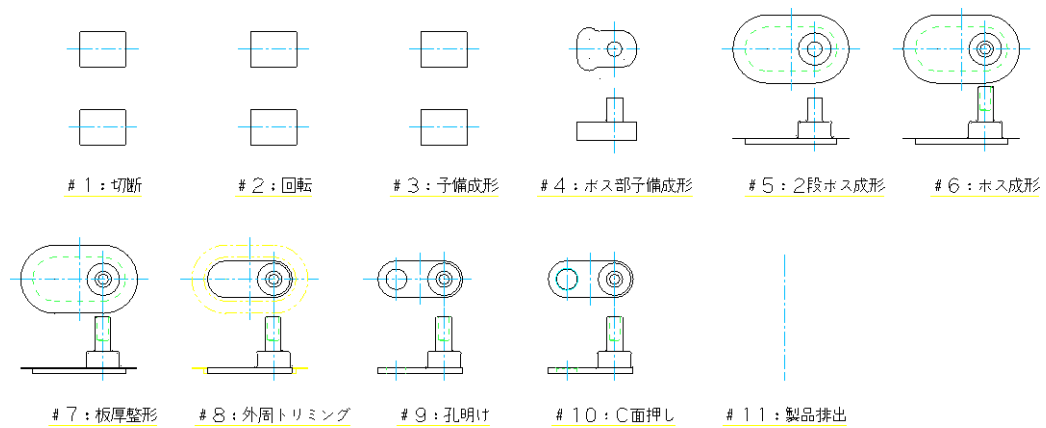


図 2.5 精密 3 次元形状（非軸対称）におけるプレス複合加工一貫加工プロセス

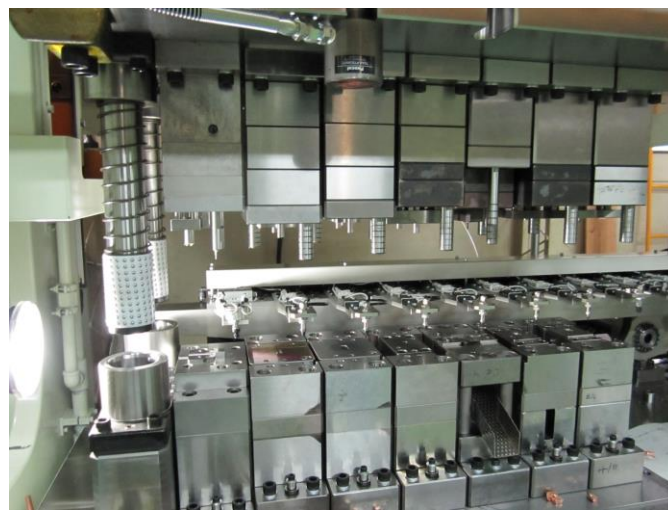


写真 2.3 連続生産金型

テスト加工時に 2 段ボス成形加工後、裏面に肉引けの発生が確認された（写真 2.4）。
 $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部への素材流動量が多く、この付近の素材が $\phi 4.0\text{mm}$ ボス部方向に流動しようとする結果、肉引けが発生していると考えられる。

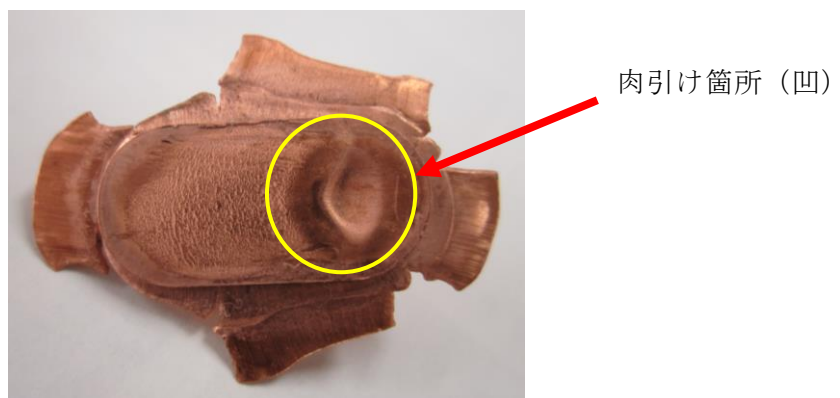


写真 2.4 2 段ボス成形加工後の肉引け

この肉引けに対する対策方法として、成形前に予め肉引け分に相当するボリュームを確保しておくことが考えられる。図 2.6 が肉引け対策形状である。加工は# 4：ボス部予備成形工程で図 2.7 に示すロックアウトを使用し成形を行う。

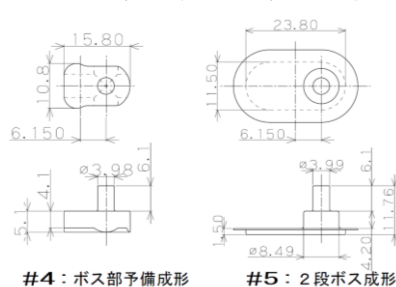


図 2.6 肉引け対策形状図

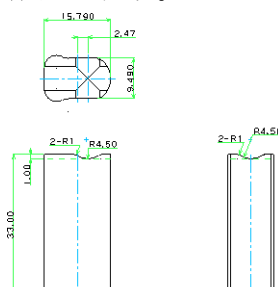


図 2.7 ロックアウト形状



写真 2.4 肉引け対策金型によるボス部予備成形加工結果



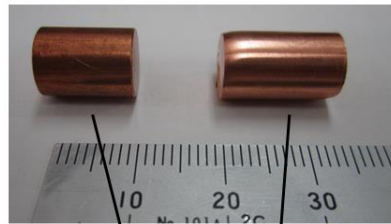
肉引け箇所（凹）

写真 2.5 肉引け対策形状による 2 段ボス成形加工結果

写真 2.4 は肉引け対策金型による加工結果である。製品裏面の凸形状については肉引け対策以外に、金型内における製品の位置決めとしての機能も備えている。

写真 2.5 は肉引け対策形状の製品を # 5 : 2 段ボス成形金型での加工後の写真である。先のテストと同様に赤矢印部に肉引けが発生している。このことから $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部の後方押し出し加工では素材の流動量が多く、また、板部が 1.5mm に対して、 $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部の高さがテスト時 3.3mm と体積としては大きいことから、写真 2.7 の形状では肉引け対策としては効果が得られなかった。

この様な経緯から、裏面の肉引け対策として切断加工時のビレットサイズの見直しを実施した（写真 2.6）。従来は $\phi 9\text{mm} \times 12.3\text{mm}$ のサイズであったビレットサイズを $\phi 9 \times 14.8\text{mm}$ に設定し、体積で約 1.2 倍増となる。



Φ9×12.3 Φ9×14.8
249.1mm³→299.7mm³(約1.2倍)

写真 2.6 ビレットサイズ変更

このビレットを用いて#4:ボス部予備成形でテスト加工を行ったのが写真 2.7 である。体積が従来より約 1.2 倍増となったことにより、金型内での充填度が上昇し細かなバリが発生が見受けられた。

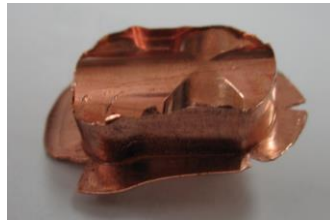


写真 2.7 #4:ボス部予備成形



写真 2.8 #5:2 段ボス成形

更に次工程#5:2 段ボス成形工程の加工テストを実施した結果が写真 2.8 である。φ 8.5mm 台座部分の高さは狙いとする 4.2mm を確保できているが、裏面においてはビレットサイズ変更前と肉引けの状態を比較すると改善の傾向は確認できるが、痕跡として残留が確認できる結果となった。ビレットサイズをφ 9mm×14.8mm より大きくすることで改善の効果は得られると想定できるが、金型への負荷が上昇し破損に繋がることが懸念される。そこで、#4:ボス部予備成形のノックアウト形状を肉引け対策前のフラット形状に戻し、ビレットサイズをφ 9×14.8mm にてテスト加工を実施した。(写真 2.9) ビレットの体積を増したことにより、#5:2 段ボス成形加工後の裏面に生じていた肉引けについては、改善が確認できた。但し、金型内での充填度が増したことにより、φ 4mm、φ 8.5mm 部の寸法はプラス目傾向の結果となっている。



Φ4ボス高さ:6.4mm
(狙い:6.1mm)
ベース部厚み:5.5mm
(狙い:4.8mm)



Φ4ボス高さ:6.6mm
(狙い:6.1mm)
Φ8.5高さ:4.5mm
(狙い:4.2mm)



#4:ボス部予備成形



#5:2 段ボス成形

写真 2.9 ノックアウト形状変更によるテスト加工結果

部分的には箔状のバリの発生による打痕等が確認できるが、狙いとする形状には加工可能となった。また、本研究開発における各工程の最終的な目標と結果を表 2.2 に示す。 $\phi 4\text{mm}$ のボス高さに関する部分の寸法にばらつきがあり、寸法の安定化が課題となる。また、表 2.1 に図面規格に対して連続生産金型で生産したサンプル $n=5$ 個を測定した結果を示す。 $\phi 4\text{mm}$ ボス高さに関係する部分での規格公差より外れており、今後の課題となる。板厚については、ダイハイトの調整により可能である。

表 2.1 各工程の課題と目標と結果

工程	課題	目標	結果(実績値)
#1:切断	切断寸法の安定	せん断面80%以上	○
#4:ボス部予備成形	ボス高さの確保	後方押出しで最適なボス高さを得る6.5mm	○(6.5mm)
	ボス径	$\phi 3.94\text{mm}$	○($\phi 3.94\text{mm}$)
	金型の破損(ダイ)	成形形状の最適化により対策済み	○
#5:2段ボス成形	2段ボスの成形	直径 $\phi 8.2\text{mm}$ 、高さ4.7mm	○($\phi 8.2\text{mm}$) ○($\phi 4.8\text{mm}$)
#5.5:ラフトリミング	成形後の余肉切除	フランジ2mmを残してのトリミング	○
#6:ボス成形	ボス高さの確保	ボス高さ9.1mm	△
	ボス内径深さの確保	$\phi 2.8\text{mm}$ 深さ6.1mm	△
	ボス内外径同軸度	$\phi 0.08$ 以下	○
#8:外周トリミング	パンチダイの焼き付き	連続生産による確認	○
#9:孔明け	孔位置精度	12.3 ± 0.05	○
#10:C面押し	パンチの焼き付き		○
#11:NG検出	不具合品の検出		○
#12:製品排出	—	—	—

まとめ

平成 24 年度に導入を行ったプレス機（AIDAダイレクトサーボフォーマ DSF-N2-1600）と連続生産用金型を用いてトライと検証を実施した。

精密 3 次元形状（非軸対称）において、 $\phi 8.5\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ の台座部を後方押出しにより加工する際、素材の流動量が多く、裏面に肉引けが生じる問題が生じた。対策として肉引けを生じない状態まで体積を増すことで対策を行い、肉引けについては改善効果が得られた。しかし、最終製品形状の体積は不変なのに対して、ビレットの体積を増すことは材料利用率低下となり、製品のコスト高に直結することから、最小限の体積で肉引けを防止することがポイントとなる。

当初研究開発目標として設定した項目に対して、数項目で目標に達していない部分もあるが、今後の課題として取り組む。

2-1-3 プレス複合化工法を用いた連続プレス加工の確立

（日伸工業株式会社）

サブテーマ 1. 1 及び 1. 2 で得られたノウハウを用いて連続プレス加工用金型を設

計・製作し、実機トライを実施した。

連続生産を確立する為には、トランスファー装置による自動搬送が必要となってくるが、その為には各工程の金型に製品を搬送した際の位置決めが重要となる。連続生産用金型には位置決め機能を設けているが、金型への負荷軽減で設けているフランジが位置決めを阻害することが確認できた。写真 2.9 は #5:2 段ボス成形加工後の形状、写真 2.10 は製品を側面方向から見た写真である。金型内での製品の位置決めは下面凸形状部で行うが、0.3mm フランジ部が下方方向に反った場合に位置決め不可となる。



写真 2.9 #5:2 段ボス成形加工後

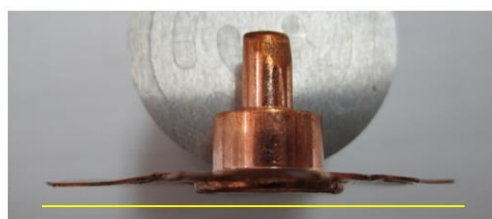


写真 2.10 2 段ボス成形側面

位置決めを確実にを行う為には、横方向に張り出した 0.3mm のフランジを取り除く必要がある。そこで、#5:2 段ボス成形工程加工後に 0.3mm 厚のフランジを巾 2mm 残した状態にする #5.5:ラフトリミング工程の追加を行った。

また、金型内でのインライン検査技術を確立する為には、最終工程となる #11 に NG 検出工程の金型を検討・設計・製作を実施した。金型構造の検討にあたっては、滋賀県工業技術総合センターと共同で実施した。

以上の加工工程の再検討を行い、連続生産用加工レイアウトを図 2.7 に示す。連続生産金型を用いたトライの結果、#5.5:ラフトリミング工程を新たに追加した。また、インライン検査技術確立の為、#11:NG 検出工程を追加した。

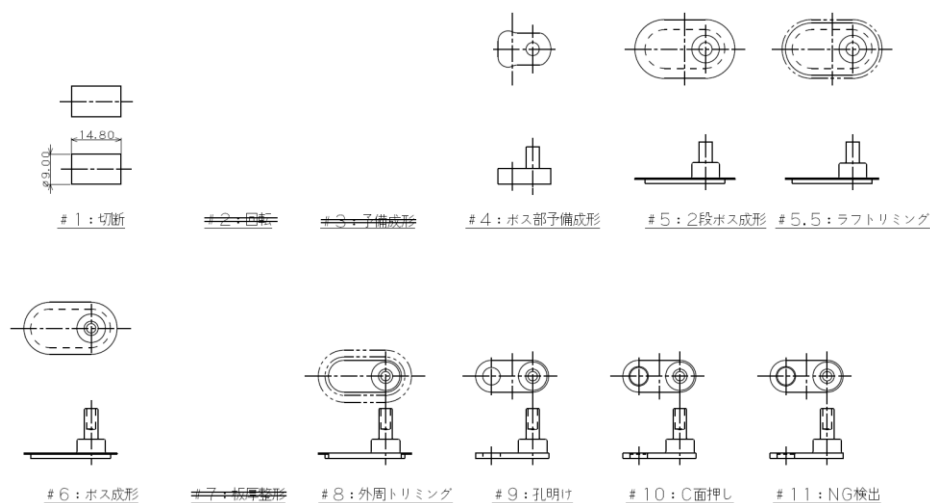


図 2.7 連続生産用加工工程レイアウト図

まとめ

連続生産を確立する為には、トランスファー装置による製品搬送が必要となるが、金型上での製品の位置決め精度確保が重要となり、2 段ボス成形加工後に生じるフランジが位置決め精度を悪化させる為、#5.5 工程としてラフトリミング工程の追加を実施し、余分なフランジ部をカットすることで位置決め精度が得られていることを確認した。

また、プレス機内でのインライン検査を連続生産時に実施する為に、最終工程#11 に NG 検出工程を新規工程追加を実施した。滋賀県工業技術総合センターとの共同開発によりレーザーセンサの組み込みについても実施した。

2-1-4 連続プレス加工に最適な潤滑油の配合及び金型表面処理技術の開発

(日伸工業株式会社、株式会社オンワード技研、滋賀県工業技術総合センター)

連続プレス加工において製品寸法の安定性や金型の耐久性には潤滑油や金型への表面処理が重要な要因となる。金型表面処理においては、耐焼付き性、摺動性、耐熱性、密着力などのパラメーター設定により金型への表面処理を行い、実機トライによる評価を実施し検証する。金型表面処理は、日伸工業株式会社と株式会社オンワード技研が共同研究によって実施する。

また、テスト金型へのコーティングと評価試験機を用いたコーティングの評価を滋賀県工業技術総合センターと実施した。

金型のコーティングとして、社内で実績のある PVD CrN (窒化クロム) コーティングを # 4 : ボス部予備成形、# 5 : 2 段ボス成形、# 6 : ボス成形の各工程、先端ツール部 (パンチ、ダイ、ノックアウト) に施した。CrN コーティングの特性は表 2.2 の通りであり、Cr のもつすべり性、耐凝着性が特徴である。

表 2.2 CrN コーティング特性

カラー	シルバー
硬度 H v	1700
膜厚	2～5 μ m
酸化温度	700℃
処理温度	300～500℃
摩擦係数	0.45

また、加工油は、耐摩耗性、極圧性に優れた日鉱日石エネルギー社製スーパーマルパス DX10 (表 2.3) を使用した。

表 2.3 加工油の代表性状

品名	スーパーマルパス DX10
色 (ASTM)	L0.5
密度 (15℃) g/cm ³	0.845
動粘度 (40℃) mm ² /s	9.65
粘度指数	99
引火点 (COC) °C	162
流動点 °C	-30

金型においては、CrN コーティングを用いて加工テストを実施したが、株式会社オンワード技研と検討の結果、CrN コーティング以外についても確認を行う為、表 2.4 に示す 4 種類のコーティングについて滋賀県工業技術総合センターにて摩擦試験機を用いてのコーティング評価試験を実施した。

表 2.4 コーティングと性能一覧

名称	CrN	ES-CrN	OS-C	AC-X
色調	シルバー	シルバー	シルバー	レインボー
膜構成	CrN 単層	ピーニング+ 特殊 CrN 単層	CrSiBN 系 複層	ta-C DLC 単層
膜硬度	1700Hv	1100Hv	2500Hv	7000Hv
膜厚	3 μm	3 μm	3 μm	0.7 μm
酸化温度	700℃	-	1000℃	550℃
処理温度	400～500℃	400～500℃	400～500℃	150℃
摩擦係数	0.45	0.45	0.4	0.09～0.13
SKD への密着力	◎	◎	○	△

コーティングの評価試験には滋賀県工業技術総合センター様と検討し、大越式摩耗試験機を使用した。

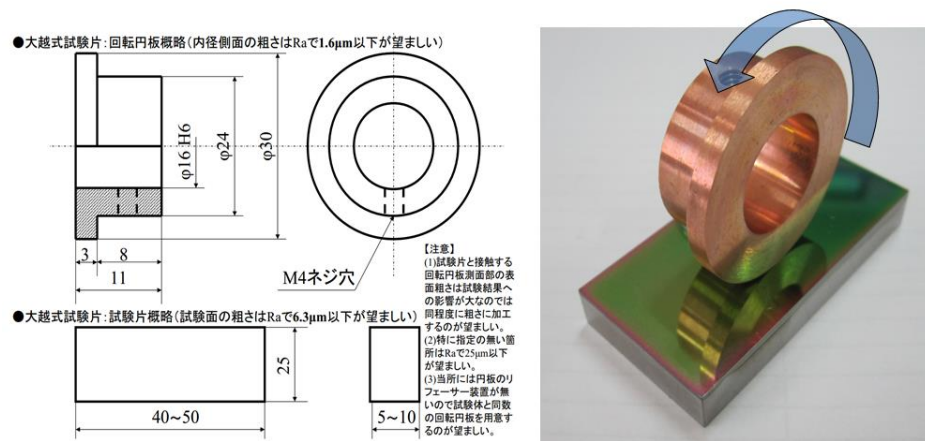


図 2.8 大越式摩耗試験機に用いる試験片

評価試験には、潤滑油の影響を与えない目的で乾式でのテストとした。試験時間は 10 分間に設定し、試験片の回転速度と負荷を変えてテストを実施した。

4 種類のコーティングに対する評価試験では AC-X に優位性が確認できたが、ダイス鋼への膜の密着性が劣ることと、膜硬度が高いことから母材の硬度による影響を受けることから、金型にかかる負荷が大きいと摩耗、もしくは剥離が進行するのではないかと考えたことが考えられる。

以上の結果より、本開発案件の様な精密鍛造加工において金型に大きな負荷がかかる部分では金型形状、金型面粗度に対しての密着力を最優先し CrN コーティングを選択した。但し、加工条件、使用条件等でコーティングの適性が変化することもある為、評価試験と実機評価の摺合せも必要である。

まとめ

トライにあたっては、平成 25 年度の実績もあり先端ツールのコーティングはオンワード技研の CrN 処理を使用し、加工油は日鉱日石エネルギー社製スーパーマルパス DX10 を使用した。コーティングについては CrN 以外に ES-CrN, OS-C, AC-X が候補とあり、大越式摩耗試験機を用いて評価試験を実施した。今回の試験結果からは、CrN は負荷を上げていくのに比例して摩耗が進んだが、AC-X はある限界までは変化が見られなかったが、限界を超えると摩耗が進んだとみられる。コーティングの用途にもよるが AC-X は膜厚が $0.7\mu\text{m}$ と薄く、また、ダイス鋼への密着性は弱いとされていることから、今回テストを行ったコーティングの中では CrN コーティングが本研究開発案件の金型には適していると考ええる。

2-2 CAE 解析による金型及び加工プロセスの最適化

2-2-1 CAE 塑性流動解析による金型の最適化 (日伸工業株式会社)

プレス複合加工一貫プロセスから得られる金型形状を用いて、金型内における CAE

塑性流動の解析を行う。得られた結果をテスト金型にフィードバックし、実機にてトライ…確認を実施した。

…2 段ボス成形で発生する肉だまりについての原因検討

2 段ボス成形工程において写真 2.11 の様に $\phi 4.0\text{mm}$ ボス付け根付近に肉だまりが発生した。対策するにあたり原因を確定する必要がある、CAE 解析を用いた。

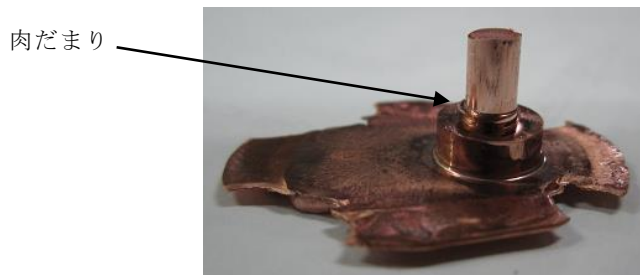


写真 2.11 2 段ボス成形加工結果

金型の概略図を図 2.9 に示す。 $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部が成形される過程（中央の図）では、 $\phi 4.0\text{mm}$ ボスの全体を保持せず、加工過程で先端部より保持が始まる。

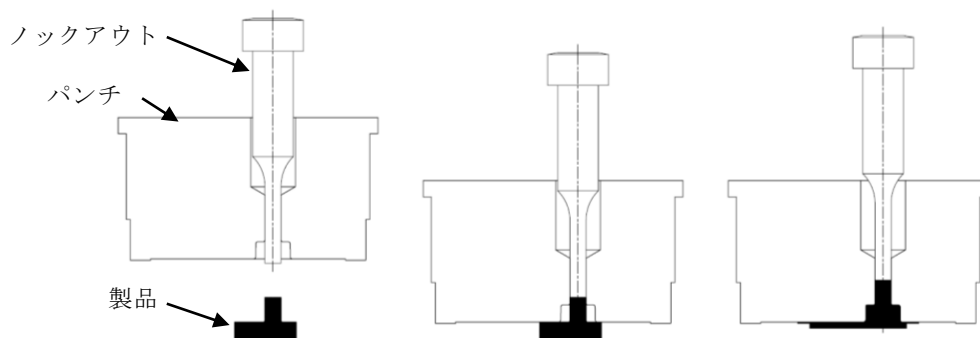


図 2.9 #5:2 段ボス成形金型概略図

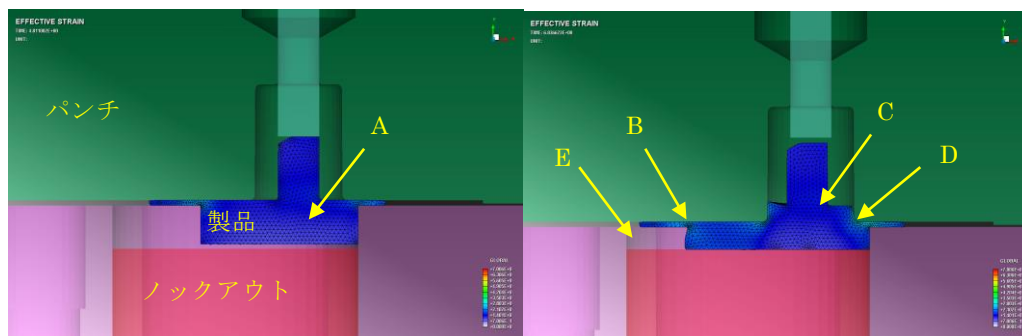


図 2.10 2 段ボス成形 CAE 解析結果

図 2.10 に CAE 解析結果を示す。A はボス部予備成形後の製品であり、2 段ボス成形の加工が始まる直前の状態である。B 部及び D 部が板厚 1.5mm に成形されるまで上型が下降し、 $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部が後方押出しにより加工される。その際、C 部付近の素材が左側に

流動する現象が見受けられる。これは、製品が非軸対称形状であり、B 部と D 部を比較した場合、B 部には余肉が流動する E 部の空洞があるが、D 部は素材が既に充填している為、加圧された際に左側に素材の流動が発生することが原因と考えられる。

以上の解析結果より、 $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部を後方押出し加工する際は、先に $\phi 4.0\text{mm}$ ボス外周部を保持した状態で加工を行える構造とする必要があり、2 段ボス成形金型構造比較図の下段の構造とした。対策結果については先述した通りである。

まとめ

本研究開発でターゲットとする製品形状は、非軸対称多段ボス形状を有することから、加工時の素材流動が複雑化しており、テスト金型を使つてのトライ時には原因が解明できなかった事象については、CAE 塑性流動解析を行って原因の追究ができた。

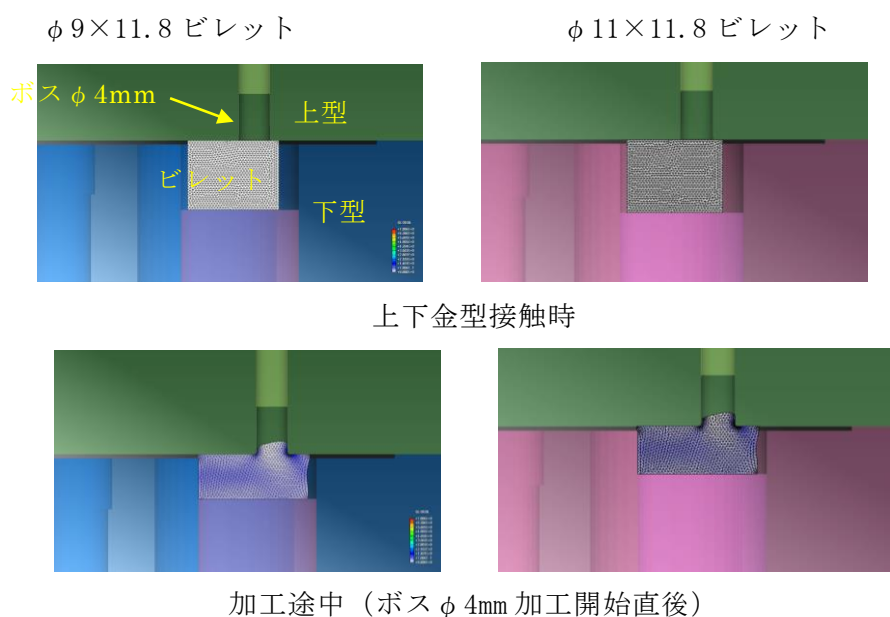
2-2-2 CAE 解析による成形加工限界及び加工プロセスの最適化

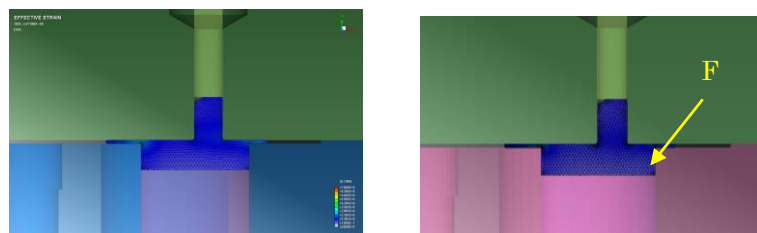
(日伸工業株式会社)

本研究開発技術である精密 3 次元形状を創成するプレス複合化技術において、得られた結果から加工工程にフィードバックし、加工工程の最適化を行う。

…ビレットサイズ検討

#5:2 段ボス成形工程において、 $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部の高さは 4.2mm を目標値として設定している。しかし、テスト金型によるテスト結果では 3.3mm と目標値に対して 0.9mm 程度低い値となっている。一方、 $\phi 4\text{mm}$ ボスは目標値 6.1mm に対して 6.6mm を確保している。テスト金型使用時はビレットサイズを $\phi 9\text{mm} \times 11.8\text{mm}$ の円筒形状のビレットを使用しているが、ボス高さを確保する目的で $\phi 10\text{mm} \times 11.8\text{mm}$ のビレットサイズを CAE 解析にて検討を実施した。ビレットの直径を増すことで、高さ方向の寸法改善に効果があると考えられるためである。





下死点時

図 2.11 CAE 解析によるビレットサイズ検証

図 2.11 に CAE 解析結果を示す。左の列が $\phi 9\text{mm} \times 11.8\text{mm}$ のビレット、右の列が $\phi 11\text{mm} \times 11.8\text{mm}$ のビレットを解析した結果である。加工途中の段階（中段）で $\phi 4\text{mm}$ ボスが成形され始めるタイミングは、 $\phi 9\text{mm}$ と $\phi 11\text{mm}$ の両サイズ共に金型内での空間に素材が充填されたのち、 $\phi 4\text{mm}$ ボスの穴に流動が始まることが確認できた。

ビレットサイズ	$\phi 9 \times 11.8$	$\phi 11 \times 11.8$
$\phi 4$ ボス高さ	6.1mm	6.1mm
板厚	4.2mm	5.13mm
荷重	約24ton	約40.6ton
面圧	182kg/mm ²	235kg/mm ²

表 2.5 ビレットサイズ解析結果

表 2.5 に解析結果を示すが、素材の体積を $\phi 9\text{mm} \times 11.8\text{mm}$ (750.3mm^3) から $\phi 11\text{mm} \times 11.8\text{mm}$ (1120.8mm^3) へ増すことで図中 F 部の板厚は 5.13mm を確保できているが、加工荷重が約 1.7 倍必要となり、金型に作用する面圧も 235kg/mm^2 作用することから金型への負荷が大きく破損に至ると考えられる。また、最終製品形状の体積は不変であり、ビレットの体積を増すことは、スクラップとして廃棄する体積が増えることに繋がり、製品コストを抑える目的から反することになる。以上のことからビレットサイズは $\phi 9\text{mm}$ を使用するが、全長 11.8mm から 0.5mm 長くし 12.3mm に変更する。

まとめ

テスト金型によるトライ結果より、部分的に目標値に達していない箇所があり（ボス高さ）、ビレットサイズの再検討を行う為に CAE 解析を行って検証を実施した。ビレットの体積を増すことで改善効果も得られるが、反面、加工荷重が増大し金型への負荷が大きくなり解析上では金型破損に至る。また、量産時の材料利用率向上も目的となっていることから、ビレットサイズを $\phi 9.0\text{mm} \times 12.3\text{mm}$ としトライを継続した。

2-2-3 連続プレス加工用金型を用いた加工プロセスの検証と最適化

（日伸工業株式会社）

上記のサブテーマ「2. 1 CAE 塑性流動解析による金型の最適化、2. 2 CA

E解析による成形加工限界及び加工プロセスの最適化」で実施した解析結果に対して連続プレス加工用金型を用いた実機トライを行い、検証されたデータを CAE 解析にフィードバックすると共に加工工程の最適化を行う。

この内、平成 26 年度は、上記のサブテーマ「2-2-1、2-2-2」で実施した解析結果をフィードバックした連続生産用金型を使用して、金型トライと金型の微調整を実施し、製品各部寸法の微調整を実施した。

2 段ボス成形工程における肉引け対策検討

写真 2.12 は 2 段ボス成形工程における裏面の肉引けである。φ 8.5mm 台座部を後方押し出しにより加工する際、素材の流動量が多い為、裏面の素材が引き込まれることにより発生すると考えられる。対策として、前工程のボス部予備成形であらかじめ肉引けを見込んだ形状に成形し、2 段ボス成形での肉引けを防止する方法である。図 2.12 にボス部予備成形における肉引け対策形状図を示す。製品裏面に設けた R9.0mm の 1mm 段差の突起形状が肉引けを補うことで対策として有効であると考えた。図 2.13 は CAE 解析にてボス部予備成形工程の肉引け対策形状を解析した結果であり、問題は発生していない。



写真 2.12 2 段ボス成形後の肉引け

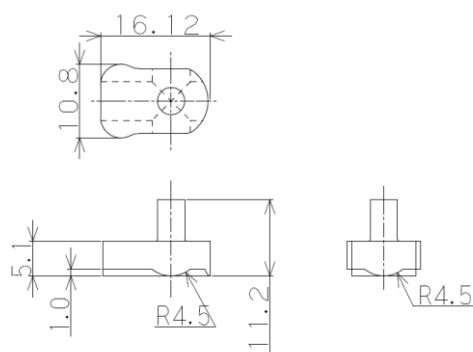


図 2.12 肉引け対策形状

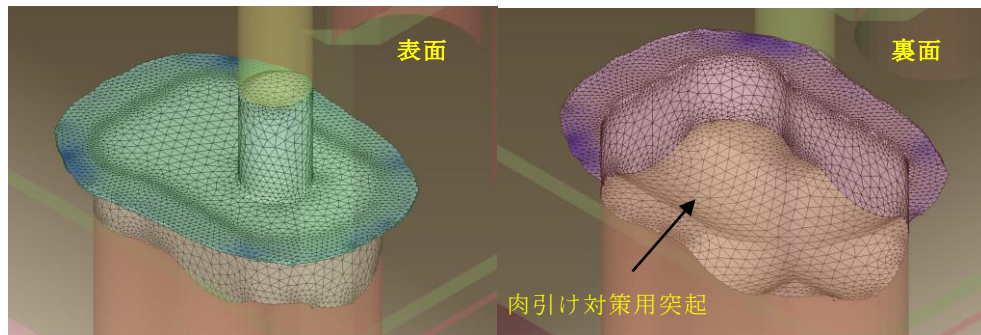


図 2.13 ボス予備成形 肉引け対策形状解析結果

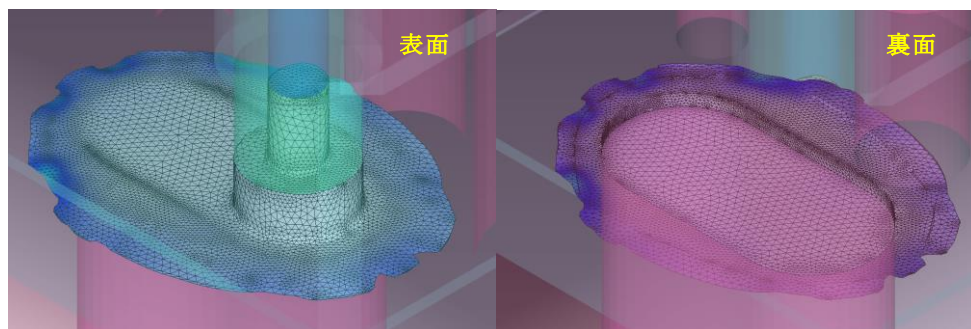


図 2.14 2 段ボス成形 肉引け対策形状解析結果



写真 2.13 肉引け対策金型によるボス部予備成形と 2 段ボス成形加工結果

図 2.14 は肉引け対策形状のボス予備成形品を 2 段ボス成形工程で加工した時の解析結果である。解析結果より $\phi 8.5\text{mm}$ 台座部裏面付近に肉引け現象が発生していないことが解る。この解析結果を踏まえてテスト金型を準備しトライを行った結果が写真 2.13 であり、金型を使用したテスト加工では肉引けが改善されない結果となった。CAE 解析とトライ結果に差が生じた原因として、CAE 解析時の肉引け現象を再現するにはメッシュサイズが大きく設定が適切ではなかった為に再現不可であったと考えられる。また、CAE 解析において、製品と金型との摩擦係数は一定、もしくは変数によって大まかには決定されているが、実際の現象において金型と製品間の摩擦は、金型の表面状態、コーティング膜の影響、加工油の分布状態等、様々な要因が相互に影響しあうことから CAE 解析では再現できなかった肉引け現象が、実際の金型においては生じたと考える。

まとめ

本研究開発でターゲットとする製品形状は、非軸対称多段穴付ボス形状を有する複雑形状であることから、加工時の素材流動が複雑化しており、金型を使つてのトライ時には原因が解明できなかった事象については、CAE 塑性流動解析を行つて原因の追究ができた一方、肉引け現象については、様々な要因が影響することから CAE 解析では再現できなかったと考えられる。このことから CAE 解析における再現が不十分な場合には金型におけるトライ結果を確認し、CAE 解析にフィードバックを行つたうえで、不足する解析条件の洗い出しが必要となる。

2-3 トランスファー装置による高効率搬送技術の開発

2-3-1 各種形状の部材を搬送可能とするトランスファー技術の開発

(日伸工業株式会社)

チャック方法、チャック力、速度、タイミングをパラメーターとして種々の製品形状に対応できる最適なトランスファー装置を製作し、連続プレス加工によるトライ・寸法評価を実施する。

平成 25 年度に検討した仕様に基づきトランスファー装置の導入を実施した。平成 26 年度はこのトランスファー装置と連続生産用金型を用いて、継続して各種トライを実施し、連続生産加工プロセスに基づく加工を確立した。

まとめ

平成 26 年度は、平成 25 年度に導入したトランスファー装置と連続生産用金型を用いて各種テスト加工を実施し、トランスファー装置についてはプレス機との同期運転に問題は生じていないことを確認した。

2-3-2 精密 3 次元形状（非軸対称）加工に対応可能な高速・高精度搬送技術の開発

(日伸工業株式会社)

連続プレス加工におけるトランスファー装置では、チャック方法、チャック力、タイミング、速度をパラメーターとし、最適な条件の確立を行う。また、金型においては製品の安定した位置決め、確実なロックアウト構造を得る為の金型構造の最適化を行う。

この内、連続生産を行う為の高精度搬送技術の確立に向け、搬送装置とプレス機とのタイミングの最適化を行う。

連続生産用金型で製品の自動搬送を行う為には、トランスファー装置は表 2.6 の動作を繰り返し行う。その際、注意が必要となるのは、金型とフィンガーの干渉である。トランスファー装置は製品を安定して搬送する必要がある、三次元動作を行うことから、タイミングの検討・設定が重要なポイントとなる。

表 2.6 トランスファー装置の動作

順序	動作	内容
①	製品吸着	フィンガーで製品を吸着する
②	リフトアップ	製品を金型から持ち上げる
③	移動	次工程に製品を運ぶ
④	リフトダウン	製品を金型に下す
⑤	製品解放	フィンガーから製品をはなす
⑥	リフトアップ	フィンガーを持ち上げる
⑦	後方退避	フィンガーを金型外に移動する
⑧	移動	次の製品を吸着する為、前工程に戻る
⑨	前方前進	フィンガーを金型内に移動する
⑩	リフトダウン	フィンガーを下す

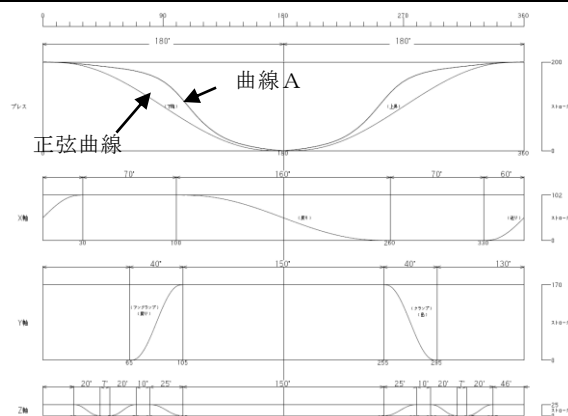


図 2.15 タイミング図

図 2.15 にプレス機 (AIDA ダイレクトサーボフォーマ DSF-N2-1600) とトランスファー装置のタイミング曲線を示す。通常、クランクプレスは正弦曲線の動作をするが、トランスファー装置とのタイミングの関係上、図 2.15 における曲線 A のように上死点付近でプレス機のスライド速度を低下させている。

まとめ

連続生産用金型を使った加工工程に基づき、トランスファー装置の微調整を行い自動搬送を確立した。また、当初#2 工程に回転工程を設定していたが、フィンガー部に回転機構を設けることで、1 工程の短縮を実施した。トランスファー装置に取り付けたフィンガー部と金型の干渉は無く、正常な動作確認を実施し、問題の無いことを確認した。

2-4 インライン検査技術の開発

2-4-1 一貫プロセス内 (もしくはプレス機上) での寸法評価技術の開発

(日伸工業株式会社、滋賀県工業技術総合センター)

金型内で開発部品のインライン検査を行うため、測定に有効なセンサを選定し、内蔵可能な金型構造の開発を行う。連続プレス加工においてトライ・評価を行い実測定との誤差を解消する。この評価技術の開発は、日伸工業株式会社と滋賀県工業技術総合センターが共同研究によって実施する。

(実施内容)

プレス機上での形状計測の安定化・高精度化を目的としてブラッシュアップするとともに、部品形状の評価・判定システムを開発する。

○部品形状の評価・判定システムのプロトタイプの開発

使用した各センサの仕様を表 2.7 に示す。プレス部品ボス部の高さ計測用の上面センサ（反射型）と、幅計測用の側面センサ（透過型）は、図 2.16 に示すように設置した。

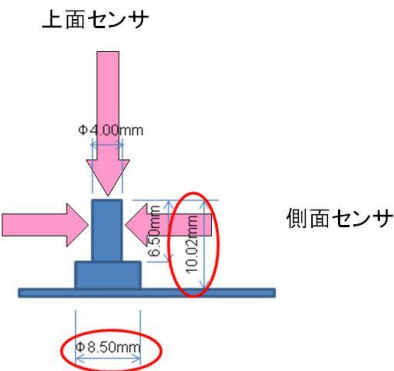


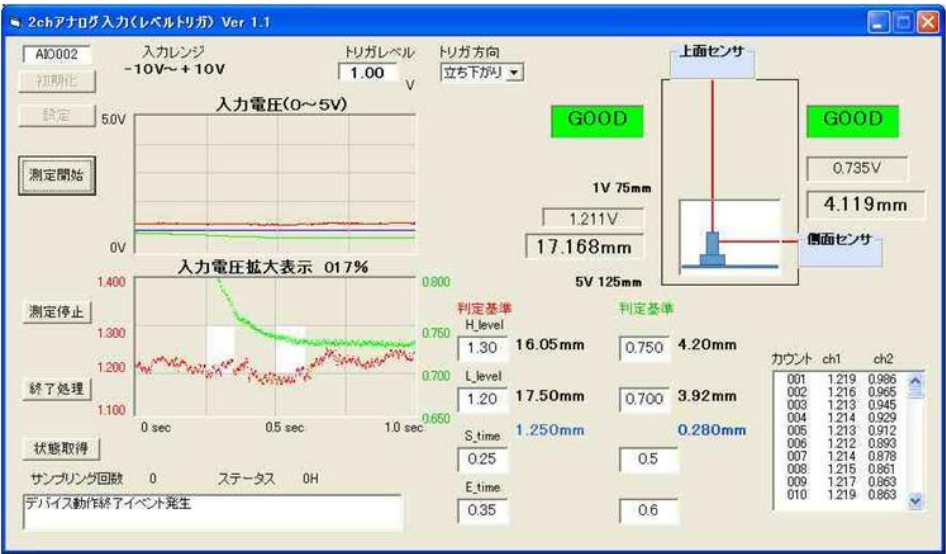
表 2.7 レーザセンサの仕様

用途	メーカー	名称（型式）
上面センサ （反射型）	オプテックス・ エフエー株式会 社	レーザライン形 状センサ （SHP-100CN）
側面センサ （透過型）	株式会社キーエ ンス	CCD 透過型デジ タルレーザセン サ（IG-028）

図 2.16 部品の寸法形状とセンサの配置

次に、部品形状の評価・判定システムの開発では、上面および側面センサのアナログデータを PC へ取り込むために、図 2.34 に示す A/D 変換ターミナルと電流/電圧変換インターフェースを製作した。

センサで計測したプレス部品の高さと幅のアナログデータを PC で読み込み、その寸法値をデジタル表示し、寸法公差の良否判定ができるソフトウェアのプロトタイプを、Visual Basic 6.0 を用いて開発した。部品形状の評価・判定システムの結果表示画面の



一例を図 2.17 に示す。

図 2.17 部品形状の評価・判定システムの結果表示画面の一例

○プレス機上へのセンサの取付けとシステム動作確認実験

先の実験で重要な因子であったセンサによる計測位置を考慮し、プレス金型上にセンサを取付けるための治具として図 2.18 の図面に示すものを製作した。なお、データ取込み開始のトリガ信号は、側面センサのデータレベルの変化を利用することにした。

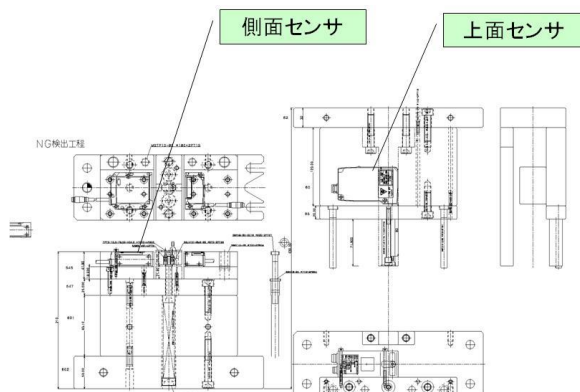


図 2.18 センサの取り付け治具の図面

寸法公差判定のタイミングはデータ取り込み開始（トリガー発生）後 0.1～0.3sec 当たりが妥当と考えられた。また、部品の高さの測定値については、アナログデータ値からの距離データへの正確な換算が必要であるため、電圧／距離の換算については図 2.19 に示す検討を行なった。

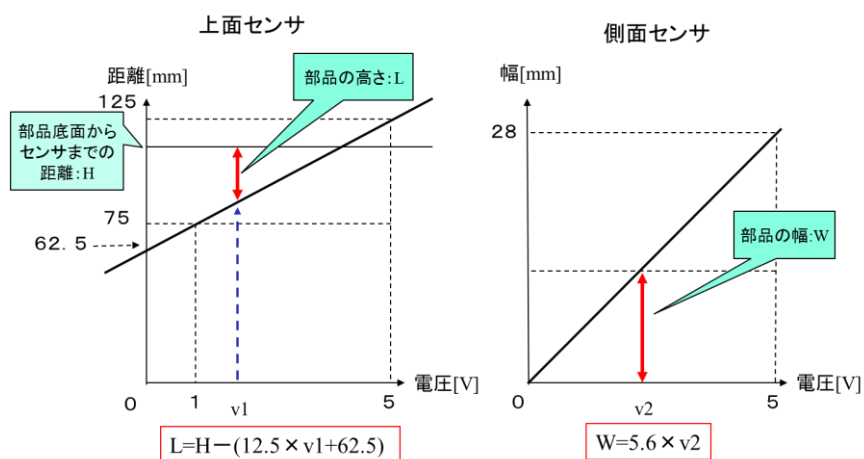


図 2.19 電圧／距離の換算式

その結果、図 2.20 に示すように、プログラムの改良により形状計測時の判定については、高さの最大範囲は 0.2mm (±0.1mm) 以内、幅の最大範囲は 0.1mm (±0.05mm) 以内の寸法評価が可能となったが、より一層の計測値の安定性、高精度化の検討が必要であった。また、連続プレス運転時の部品形状の時間変動を解析するため、検査品の測定時刻・寸法測定結果・良否判定結果を PC 内に記録する機能も追加した。

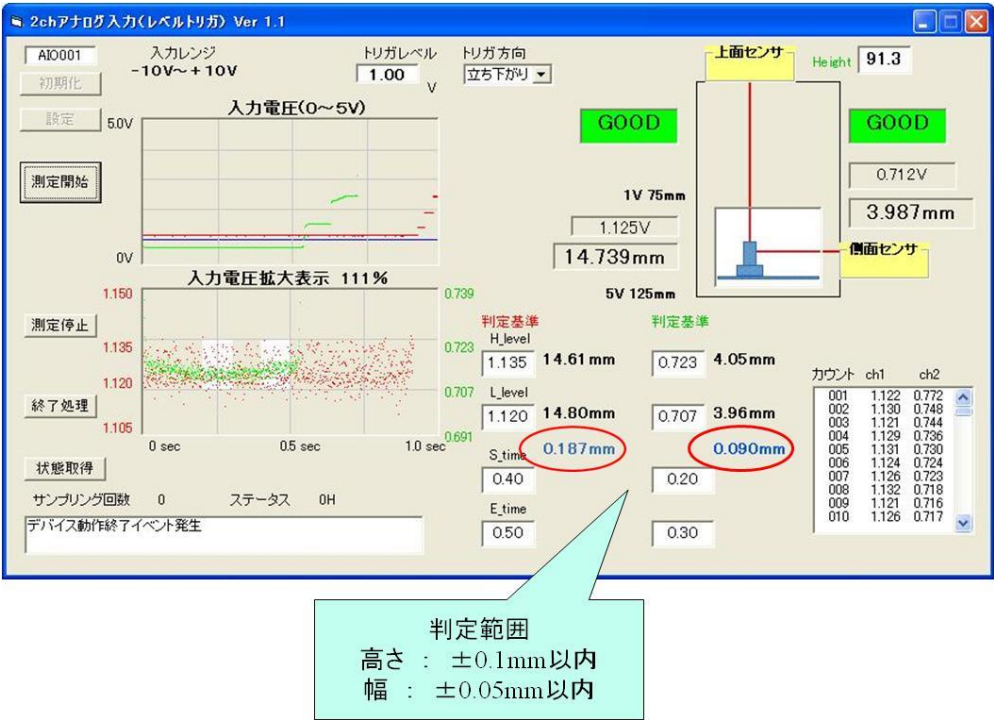


図 2.20 換算式を取り入れた計測結果事例

プレス機上での寸法・形状計測を行う際に問題になるのが、プレス加工時に発生する振動や発熱による周辺環境がセンサに及ぼす影響である。

そこで、プレス加工時に発生する振動や発熱による周辺環境を計測するため、表 2.8 の仕様に示すセンサを用いて、図 2.21 に示すような計測システムを構築した。振動の計測は、小型無線多機能センサを上下の金型に貼り付けて行った。また、前年度の振動測定では、プレス機の振動レベルは 8G 程度であったため、センサの加速度レンジは 16G(max) で測定することとした。

また、周辺温度環境の測定では、熱電対を金型およびセンサ近傍等に貼り付け計測することとした。

表 2.8 周辺環境計測用センサの仕様

用途	メーカー	名称 (型式)
温度測定記録	日置電機株式会社	温度ロガー (LR5021) K 熱電対 (LR9692)
振動測定記録	株式会社 ATR-Promotions	小型無線多機能センサ (TSND121)

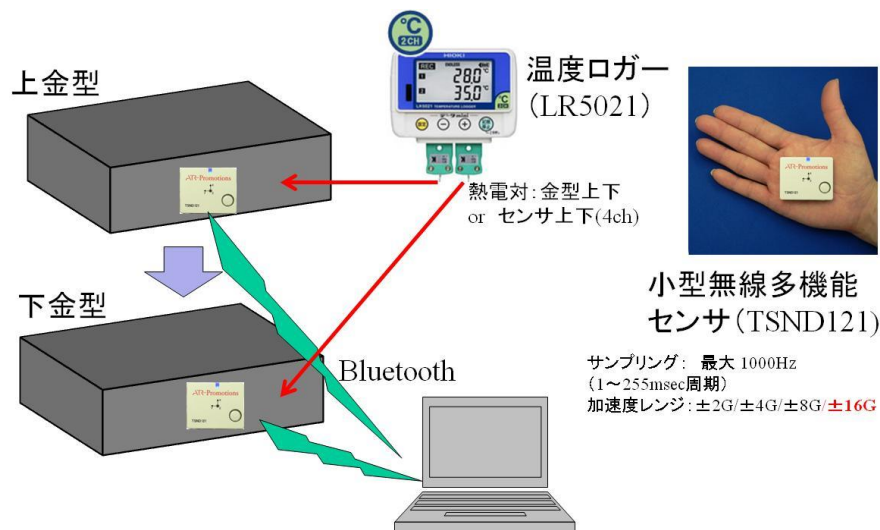


図 2.21 周辺環境計測システム

○まとめ

レーザセンサを利用した寸法計測システムをプレス機上に設置し、インライン検査により合否判定が可能な寸法評価システムを開発した。

その結果、プレス機の運転実験では、現在、寸法測定の公差は、高さ $\pm 0.1\text{mm}$ 、幅 $\pm 0.05\text{mm}$ 範囲内での寸法評価が可能となっている。

また、連続運転時の検査品の測定時刻・寸法測定結果・良否判定結果を PC 内に記録する機能を設けた。

現在、連続運転環境（振動、温度）による寸法測定への影響調査や新たなセンサの導入により、より高精度で安定して良否判定が可能な部品形状の評価・判定システムにブラッシュアップしているところである。

第3章 全体総括

本研究開発では、従来の2点からなる複雑な組立部品の一体成形化を可能とする3次元形状（非軸対称）を創成する技術を開発するものである。また、自動車産業からフレキシブル生産の要求に対応する為に、本研究開発では汎用プレス機を用いることで、加工形状に応じた金型に交換することで従来の金属プレス加工形状を含めた多品種生産が可能な技術を開発するものである。

平成26年度における研究開発については、計画に基づいて下記の内容を実施した。

- ① 本研究開発において開発を行った加工工程に基づき、連続生産性の確認を行う為のバーフィーダーの仕様検討から導入を行い、切断金型への線材自動供給を実施し、問題なく動作することを確認した。
- ② ボス形状部を後方押出しする際、素材の流動量が多いことから裏面に肉引けが生じたが、CAE解析結果とトライ結果より素材の体積見直しを実施し、肉引け改善を実施した。
- ③ CAE解析を活用した加工レイアウトの検討、及び金型構造の検討を行った。
- ④ CAE解析より得られた解析結果を反映させたテスト用金型の構造検討、及び金型設計を継続して実施した。
- ⑤ 連続生産用金型として切断、ボス部予備成形、2段ボス成形、ボス成形、外周トリミングにラフトリミングとNG検出工程の追加を実施し、工程に組み入れた。ラフトリミングについては、トランスファー装置による自動搬送時の位置決め精度向上目的である。金型調整の結果、ほぼ狙いとする寸法値を満たした。
- ⑥ 連続生産金型へのCrNコーティングの実施、及び、加工油FBH-7Sの加工テストを実施した。
- ⑦ コーティング処理の候補として、CrN、ES-CrN、OS-C、AC-Xを選定し摩擦評価試験機を用いて摩耗評価試験を実施し、CrNコーティングの有効性を確認した。
- ⑧ CAE解析結果とテスト金型のトライにより得られた結果より、連続生産用金型を製作・・・トライ・・・調整を行いフィンガーによる製品搬送を実施した。
- ⑨ レーザセンサを利用した寸法計測システムをプレス機上に設置し、インライン検査により可否判定が可能な寸法評価システムの開発をした。

本研究開発の成果を活用することによって、各種多段ボス複雑一体化形状（非軸対称）の自動車用構造部品や機能部品だけでなく、環境・エネルギー分野におけるスマートグリッドでは定置型蓄電池における端子部品にも展開可能であり、更にこの技術を高度化することでコンバータ内におけるバスバー部品など異形状または複雑形状にも展開でき、本開発成果の各分野への展開性は大きいと考えられる。

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成１１年法律第４２号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」