

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「大型角筒形状の高精度温間プレス成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人にいがた産業創造機構

## 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
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
2-1 温間絞りの要素技術開発	9
2-2 角筒容器の最適工程設計法の開発	12
2-3 温間絞り・しごき加工用金型の開発	15
2-4 連続工程化対応技術の開発	16
2-5 温間絞り・しごき加工用潤滑剤の開発	18
2-6 成形試験及び評価	19
第3章 全体総括	21
3-1 研究開発成果	21
3-2 研究開発後の課題・事業化の展開	22

## 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

現在、リチウムイオン二次電池は、パソコンや携帯電話等の情報通信機器の電源として広く使用されているほか、将来の石油資源の枯渇や地球温暖化防止対策として電気自動車やハイブリッドカーの普及が急速に進展することが予想されており、それらの車両に搭載される二次電池として、大型のリチウムイオン二次電池の需要の拡大が見込まれている。これ等の電池ケースとして、ステンレス製大型角筒容器が必要となっている。しかし、難加工材のステンレス製角筒容器を成形するには、多段の絞り・しごき加工に加え数回の焼鈍工程を要するため、連続生産ができず、製造コストが高くなる課題がある。

#### 1-1-2 研究目的

本研究開発は、ステンレス製大型角筒容器を成形するため、「温間絞り加工法」を連続加工に適用して工程削減と焼鈍工程の省略を図るとともに、「すべり線場法」を利用した最適工程設計を行い、設計時間の短縮及び生産工程の最適化を図ることで、従来に比べ大幅なコストダウンを実現する生産技術の開発を行なう。

#### 1-1-3 研究目標

##### (1) 角筒容器の最適工程設計法の開発

- ① 多工程の金型設計シミュレーションを開発
- ② パソコンで対応できる簡易ソフトウェアを開発

##### (2) 連続工程化対応技術の開発

- ① 焼鈍工程を省いた連続工程の温間絞り・しごき加工
- ② トランスファー一貫製造ラインを構築
- ③ 目標とするコスト 従来法の加工法に較べて 1/5 以下

##### (3) 温間絞り・しごき用金型の開発

- ① 1 万個以上の耐久性を確保
- ② 寸法精度； $\pm 0.2\text{mm}$ 、板厚の均一化； $\pm 0.1\text{mm}$ 、平面度； $\pm 0.1\text{mm}$  以下
- ③ マルテンサイト変態量を 3% 以下

##### (4) 温間絞り・しごき加工用潤滑剤の開発

- ① 焼き付きを起こさない潤滑剤を開発
- ② 強制潤滑供給法の開発

## 1-2 研究体制

### 1-2-1 研究組織・管理体制

本研究開発の管理体制を図 1-1 に示す。事業管理者である(財)にいがた産業創造機構が事業の進捗状況及び経費に関して全体を管理し、再委託機関においては、アドバンエンジニアの渡部 PL が中心となって研究内容の調整を行った。研究項目については表 1-1 に示す。

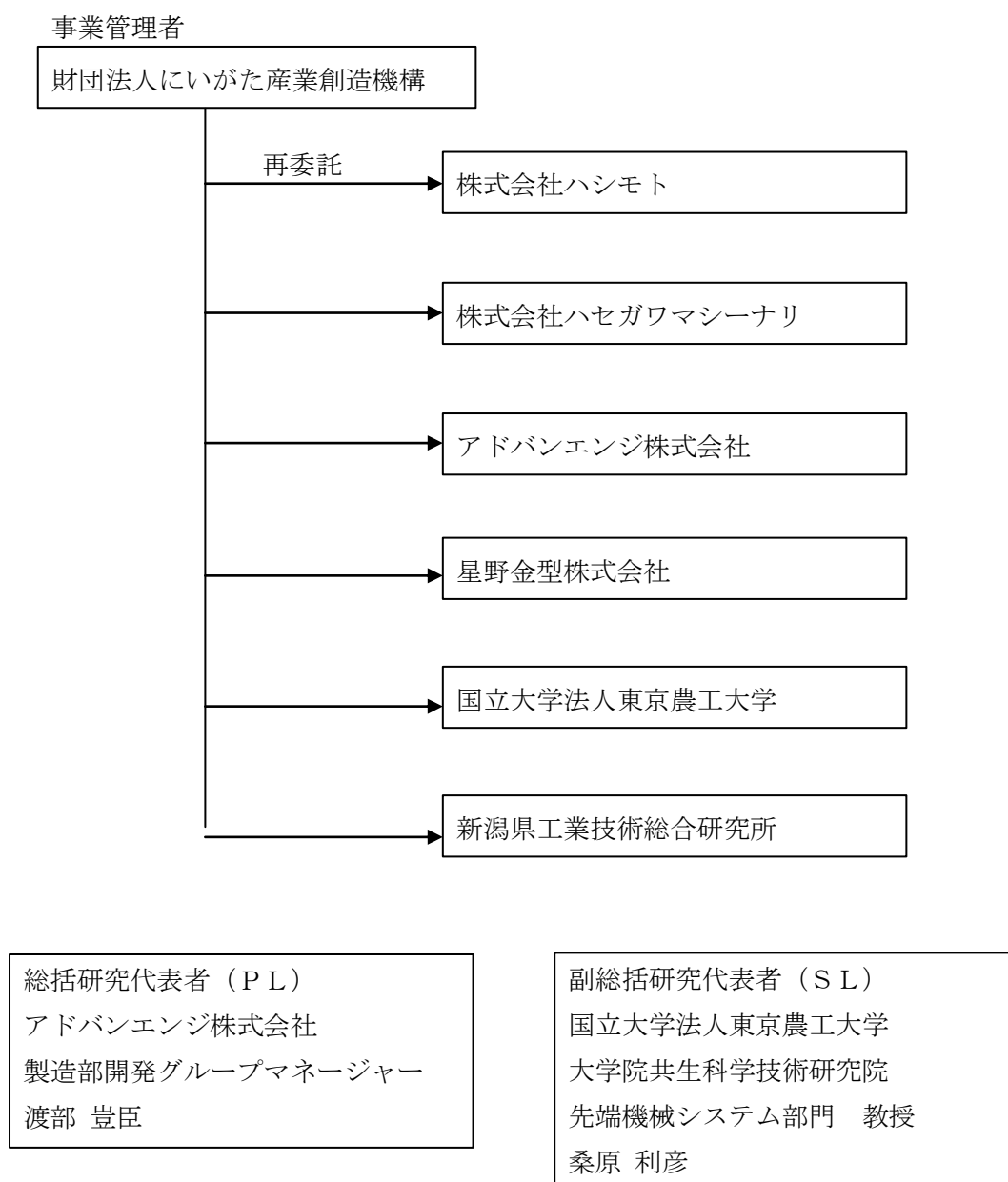


図 1-1 研究組織図

表 1-1 研究項目

番号	項 目
①	温間絞りの要素技術開発
②	角筒容器の最適工程設計法の開発
③	最終製品のリストライク用金型の開発
④	連続工程化対応技術の開発
⑤	温間絞り・しごき加工用潤滑剤の開発
⑥	成形試験及び評価
⑦	プロジェクトの運営管理

1-2-2 管理員・研究員

【事業管理者】財団法人にいがた産業創造機構

表 1-2 財団法人にいがた産業創造機構

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
横田 優治	産業創造グループマネージャー	⑦
小林 和仁	産業創造グループシニアエキスパート	⑦

【再委託先】※研究員のみ

表 1-3

参加機関	氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
(株)ハシモト	諸橋 宏光	プレス製造課課長	③, ④, ⑥
	池田 隆一	プレス塗装製造部部長	③, ④, ⑥
	須田 由清	金型板金製造部部長	③, ④, ⑥
	小林 稔	板金製造課	③, ④, ⑥
	松田 力蔵	プレス製造課	③, ④, ⑥
	山崎 博昌	板金製造課課長	③, ④, ⑥
	佐藤 隆道	プレス製造課	③, ④, ⑥
	大関 由佳理	板金製造課	③, ④, ⑥
(株)ハセガワマシーナリ	長谷川 聡	技術部員	④, ⑤
	高山 公介	技術部員	④, ⑤
	笠原 静夫	技術部員	④, ⑤
	小林 勇	技術部員	④, ⑤
	佐々木 哲也	技術部員	④, ⑤
	高島 伸之	技術部員	④, ⑤
アドバンエンジ 株	渡部 豊臣	製造部開発グループ マネージャー	③, ④, ⑥ P L
	菅原 好伸	製造部第2グループ 部員	③, ④, ⑥
(株)星野金型	本田 悟	工場長	①, ③

	富田 尚武	製造部技術開発担当	①, ③
	富田 浩幸	製造部技術開発担当	①, ③
	吉川 昌志	製造部設計部長	①, ③
	岡部 順一	製造部設計担当	①, ③
	佐藤 馨	製造部技術開発担当	①, ③
	大澤 浩司	製造部技術開発担当	①, ③
	桑原 浩一	設計部設計担当	①, ③
東京農工大学	桑原 利彦	大学院共生科学技術研究院 先端機械システム部門 教授	② S L
新潟県工業技術総合研究所	坂井 修	研究開発センター 研究主幹	①, ②, ④, ⑤, ⑥
	相田 収平	下越技術支援センター 専門研究員	①, ②, ④, ⑤, ⑥
	杉井 伸吾	研究開発センター 専門研究員	①, ②, ④, ⑤, ⑥
	田村 信	研究開発センター 主任研究員	①, ②, ④, ⑤, ⑥
	片山 聡	中越技術支援センター 主任研究員	①, ②, ④, ⑤, ⑥

### 1-2-3 開発推進委員会

プロジェクトの全体管理及び連絡調整のために、表 1-4 に示す「開発推進委員会」を設置し、年に 3 回の開発推進委員会を開催した。

表 1-4 開発推進委員会委員

氏名	所属・役職	備考
渡部 豊臣	アドバンエンジニア株式会社 製造部開発グループマネージャー	P L/委員
桑原 利彦	国立大学法人東京農工大学 教授	S L/委員
橋本 富一	株式会社ハシモト 代表取締役	委員
長谷川 博	株式会社ハセガワマシーナリ 代表取締役	委員
星野 正明	星野金型株式会社 代表取締役	委員
五十嵐 茂義	財団法人にいがた産業創造機構 産業創造グループ ティルクター	委員
小林 和仁	財団法人にいがた産業創造機構 産業創造グループ シニアエキスパート	委員
坂井 修	新潟県工業技術総合研究所 研究開発センター研究主幹	委員
杉井 伸吾	新潟県工業技術総合研究所 研究開発センター専門研究員	委員
柏村 和生	株式会社精和工業所 常務取締役	アドバイザー/委員
木村 茂樹	日本工作油株式会社 取締役技術部長	アドバイザー/委員
石山 成志	日本ステンレス工材株式会社 常務取締役	アドバイザー/委員
宮部 勝弘	新潟県産業労働観光部産業振興課 課長	アドバイザー/委員
嶽岡 悦雄	新潟県工業技術総合研究所 所長	アドバイザー/委員

### 1-3 成果概要

#### 1-3-1 実施項目

本研究開発事業に於ける実施項目を表 1-5 に示す。

表 1-5 実施項目

実施項目	主担当機関
①温間絞りの要素技術開発 ①-1 温間再絞り試験(H19) ①-2 しごき加工による高精度化技術の開発(H20) ①-3 角筒温間絞り技術の開発(H20) ①-4 ハット曲げによるスプリングバック低減(H21) ①-5 角筒の部分しごき加工によるスプリングバック低減(H21)	新潟県工業技術総合研究所 星野金型(株)
②角筒容器の最適工程設計法の開発 ②-1 すべり線場法による多工程角筒容器の金型設計シミュレーションソフトの開発(H19) ②-2 すべり線場法による角筒容器最適設計ソフトの開発(H21) ②-3 角筒容器の側壁反り抑制技術の検証(H21)	東京農工大学 新潟県工業技術総合研究所
③温間絞り・しごき加工用金型の開発 ③-1 多工程連続温間絞り・しごき加工用金型の開発(H19～H20) ③-2 リストライク用金型の開発(H21)	星野金型(株) (株)ハシモト アドバンエンジ(株)
④連続工程化対応技術の開発 ④-1 搬送自動化装置の開発(H19～H20) ④-2 自動搬送・潤滑油塗布装置の開発(H21)	(株)ハシモト (株)ハセガワマシーナリ アドバンエンジ(株)
⑤温間絞り・しごき加工用潤滑剤の開発(H19～H21) ⑤-1 温間絞り用潤滑剤の開発 ⑤-2 潤滑剤塗布装置の開発	(株)ハセガワマシーナリ
⑥成形試験及び評価(H19～H21) ⑥-1 ステンレス製大型角筒容器の成形試験 ⑥-2 成形品の形状評価 ⑥-3 事業化への対応	(株)ハシモト アドバンエンジ(株)
⑦プロジェクトの運営管理(H19～H21)	(財)にいがた産業創造機構

### 1-3-2 成果概要

成果概要を表 1-6 に示す。

表 1-6 成果概要

<p>①温間絞りの要素技術開発</p> <p>①-1 温間再絞り試験 (H19)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・従来の常温での限界再絞り率 0.80 に対して、温間再絞りでは 0.55 となり、再絞り目標値 0.6 を超えることが出来た。</li><li>・再絞り加工後の加工誘起マルテンサイト変態量を 10%以下に制御することが出来、第 3 工程以降も焼鈍工程なしで連続加工が可能であることを検証した。</li></ul> <p>①-2 しごき加工による高精度化技術の開発 (H20)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・再絞り後にしごき加工を加えることにより、板厚のばらつきはしごき加工前の <math>120\mu\text{m}</math> に対して <math>30\mu\text{m}</math> と 1/4 に改善できた。</li><li>・成形時のダイス温度を従来の <math>120^{\circ}\text{C}</math> から <math>250^{\circ}\text{C}</math> に上げることで、パンチ頭部の板厚減少を約 7%改善し、マルテンサイト変態量を 3%程度に抑えることができた。</li></ul> <p>①-3 角筒温間絞り技術の開発 (H20)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・角筒形状についての温間絞り・再絞りの成形試験および FEM 解析を行い、すべり線場理論に FEM による成形可否検証を加えることで、より実用的な工程設計手法となり得ることを示した。</li></ul> <p>①-4 ハット曲げによるスプリングバック低減 (H21)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ダイス肩 R を変更した試験を行った結果、材料にかかる引張応力が同等であればスプリングバック量は同等となった。</li><li>・ビードの付加により材料にかかる引張応力を上昇させることができるが、スプリングバック量は材料の引張応力の大きさに整理できる。</li></ul> <p>①-5 角筒の部分しごき加工によるスプリングバック低減 (H21)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・一定量のしごき加工で面内のうねりを減少させる効果が期待できるものの、面内を一律な平面にすることは困難である。</li><li>・しごき加工を行う面内の板厚分布が前工程の絞り工程によって決定され、しごき加工量が同じ場合はしごき加工の工程数を多くしても一律な平面にすることが出来ない。</li></ul>
<p>②角筒容器の最適工程設計法の開発</p> <p>②-1 すべり線場法による多工程角筒容器の金型設計シミュレーションソフトの開発</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・開発したシミュレーションソフトを用いて実製品リチウムイオン電池ケースの金型設計・製作を行い、実用的に十分利用可能であることを検証した。</li></ul> <p>②-2 すべり線場法による角筒容器最適設計ソフトの開発 (H21)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・Windows 環境に対応することにより、企業の設計者等が容易に操作できるユーザーインターフェースを実現した。</li><li>・図形データを DXF ファイルに出力することにより、CAD ソフトウェアでの図形データの</li></ul>



利用が容易になった。

- ・現在のソフトウェアは計算可能な最大工程数が 10 工程までという制限や絞り比等のパラメータ設定にノウハウが必要な点など課題もまだ多く残っている。今後も機能向上のための改良を続けていく予定である。

#### ②-3 角筒容器の側壁反り抑制技術の検証 (H21)

- ・ダイ肩半径を小さくすることにより、比較的小さな後方張力を加えるだけで、スプリングバックが低減することが出来る。
- ・2 工程絞りの有限要素解析において、容器側壁反りを最小とするためにはダイ-パンチ間のクリアランスを小さくとった上でダイ穴肩半径の調節を行うべきであることが示された。

### ③ 温間絞り・しごき加工用金型の開発

#### ③-1 多工程連続温間絞り・しごき加工用金型の開発 (H19~H20)

- ・ステンレス製大型角筒容器(製品形状:170×43×100~115H 程度)を 3~4 工程で成形出来る金型を開発した。
- ・金型設計は、すべり線場法による多工程角筒容器の金型設計シミュレーションソフトを基にして行った。
- ・冷間ダイス鋼を用いた金型は、カジリが発生し量産には不向きである。
- ・金型の耐久性を確保するためには、少なくともダイスは超硬が必要である。
- ・金型の表面処理は、TiN または TiCN 等の PVD ハードコーティングが必要である。

#### ③-2 リストライク用金型を開発 (H21)

- ・少なくともダイス金型は、耐久性を確保するため、超硬を用い TiN または TiCN 等の PVD ハードコーティングが必要である。
- ・角筒容器側壁部のソリの発生量はダイス肩半径及びしごき量を変えても抑制できない。
- ・角筒容器側壁部のソリの発生量は、前工程の絞り加工製品の形状性や残留内部応力に影響される。

### ④ 連続工程化対応技術の開発

#### ④-1 搬送自動化装置の開発 (H19~H20)

- ・大型角筒容器を連続成形するために、自動搬送装置を開発した。
- ・自動搬送装置は、被加工材の供給および 3 工程の自動搬送を行い、6 個/分の連続生産が可能である。

#### ④-2 金型温度制御装置の開発 (H19)

- ・多工程の温間絞り・しごき加工を行うため、金型温度制御装置を開発した。
- ・加熱温度は常温~500℃、冷却温度は常温~-20℃となっている。自動温度調節器により常時最適温度設定が可能である。

#### ④-3 自動搬送・潤滑油塗布装置の開発 (H21)

- ・毎分 6 個の被加工材に潤滑剤を塗布し、プレス加工装置に供給することが出来る

<p>自動搬送・潤滑油塗布装置を開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・潤滑油をヒーターにより任意の温度に加熱し、被加工材の縦・横 2 方向から、ロールコーターにより潤滑塗布を行うことが出来る。</li> </ul>
<p>⑤温間絞り・しごき加工用潤滑剤の開発(H19～H21)</p> <p>⑤-1 乾燥皮膜潤滑剤の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ステンレス鋼板の温間絞り加工を目的として乾燥皮膜タイプの潤滑剤 G2576W および X-2990 を開発した。</li> <li>・この潤滑剤は、60～80℃で 2～3 分程度加熱乾燥させ、水分を蒸発させることによって乾燥皮膜を形成する。</li> </ul> <p>⑤-2 油性潤滑剤の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来温間絞り加工に用いられていた高粘度型の油性潤滑剤を改良した G-751MS および X-2834 を開発した。</li> <li>・この潤滑剤は、1 回の塗布で多工程の絞り加工を行えるよう塩素系極圧添加剤の量を多くしている。現在、G-751 として商品化している。</li> </ul>
<p>⑥成形試験及び評価(H19～H21)</p> <p>⑥-1 ステンレス製大型角筒容器の成形試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トランスファー油圧プレス加工装置を用いて、3 工程の絞り・しごき加工と 1 工程のしごき加工により、3 個/分の連続加工を行うことができ、量産化想定した生産体制を構築できた。</li> </ul> <p>⑥-2 成形品の形状評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・角筒容器長辺開口部の口開き量を 3mm 以下、側壁部板厚のバラツキを 0.1mm 以下の製品を成形することが出来た。</li> <li>・今後の課題として、口開き量を 1.0mm 以下に改善する必要がある。</li> </ul> <p>⑥-3 事業化への対応</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・オーステナイト系ステンレス製角筒容器の事業化が出来た。</li> <li>・フェライト形ステンレス製角筒容器は、ユーザーへサンプルを提供し評価を頂きながら事業化を検討中である。</li> <li>・自動車等の量産品の事業化は、大型設備投資とコスト低減が課題である。2～3 年後の事業化を目指している。</li> </ul>
<p>⑦プロジェクトの運営管理(H19～H21)</p>

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

新潟県新潟市中央区万代島 5 番 1 号

財団法人 にいがた産業創造機構

産業創造グループ シニアエキスパート 小林 和仁

TEL:025-246-0068 FAX:025-246-0033

## 第2章 本論

### 2-1 温間絞りの要素技術開発

#### 2-1-1 目的

ステンレス製大型角筒容器は、多段の絞り加工及びしごき加工により成形されるため、成形工程の削減や製品精度の向上を図るための基盤技術の開発を行う。

#### 2-1-2 研究内容

##### 2-1-2-1 温間再絞り試験

被加工材を SUS304、板厚 1.0 を用いて、第 1 絞りを温間絞り法により、絞り比 2.6 に成形した。さらに、この成形品を用いて、図 2-1 に示す再絞り金型により温間再絞り試験を行った。成形品の外観を図 2-2 に、成形試験結果を表 2-1 に示す。

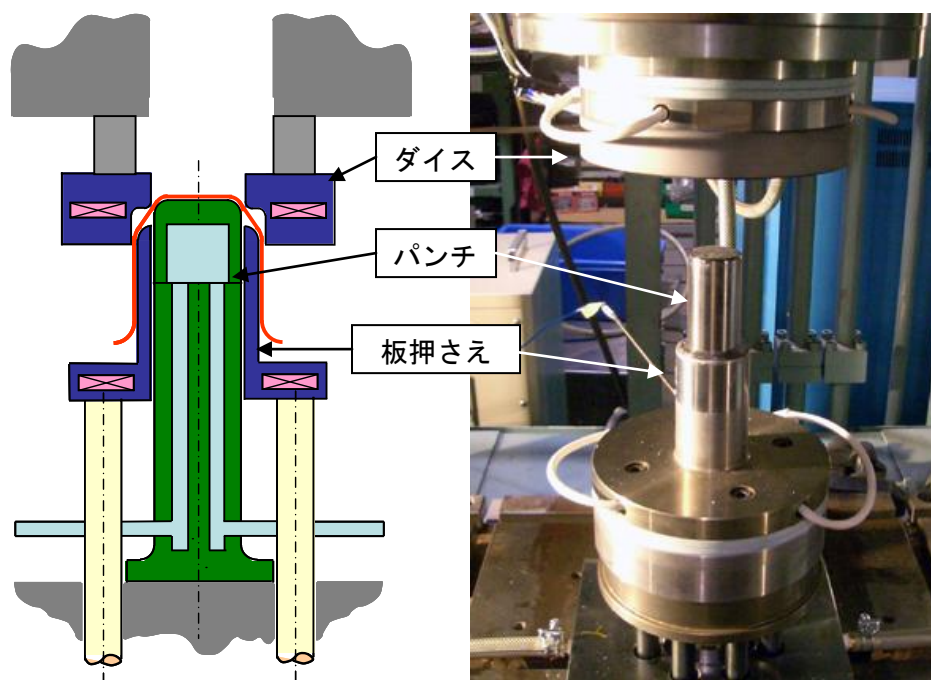


図 2-1 再絞り金型の外観

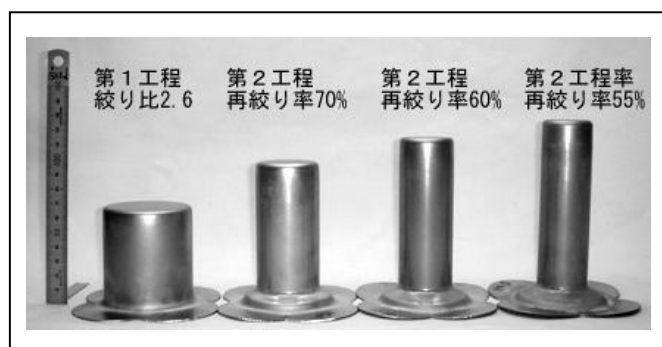


図 2-2 温間再絞り成形品の外観

限界再絞り率が 0.55 となり、目標値 0.6 を超えた。通常の常温での絞り加工では 5~6 の絞り工程と 1~2 回の焼鈍工程が必要となるので、温間絞り法を採用することにより、大幅な工程削減ができることを確認した。

表 2-1 再絞り成形性

再絞り率	45%							×	×	×
	50%							○	○	○
	55%				×	×	×	○	○	○
	60%				○	○	○			
	65%				○	○	○			
	70%	×	×	×	○	○	○			
	80%	○	○	○						
成形条件	絞り比	DR2.0	DR2.4	DR2.6	DR2.0	DR2.4	DR2.6	DR2.0	DR2.4	DR2.6
	ダイス温度	30℃			120℃			200℃		
	板押さえ温度	30℃			80±5℃			200±5℃		
	パンチ温度	30℃			20±5℃			-7±1℃		

### 2-1-2-2 しごき加工による高精度化技術の開発

再絞り後の成形品板厚は側壁において変動の幅が大きい。これを改善するため、再絞り成形品に対してしごき加工を行った。しごき率（＝成形後板厚／供試材板厚×100）は 30% および 45% の 2 種類とし、しごき加工後の板厚を測定した。

図 2-3 にしごき加工を 2 工程とし、しごき率 30% の後にしごき率 45% で加工を行った場合の板厚分布を示す。実質のしごき率は、しごき率 30% は 7～20%、しごき率 45% では 21% 程度である。1 工程後は測定位置 0～80mm で安定した板厚が得られているが、それ以降のフランジに近い領域では板厚変動の幅が大きい。2 工程後は、測定範囲全域にわたり安定した板厚が得られており、板厚分布の幅はしごき加工前の 120 μm に対して 30 μm に改善した。

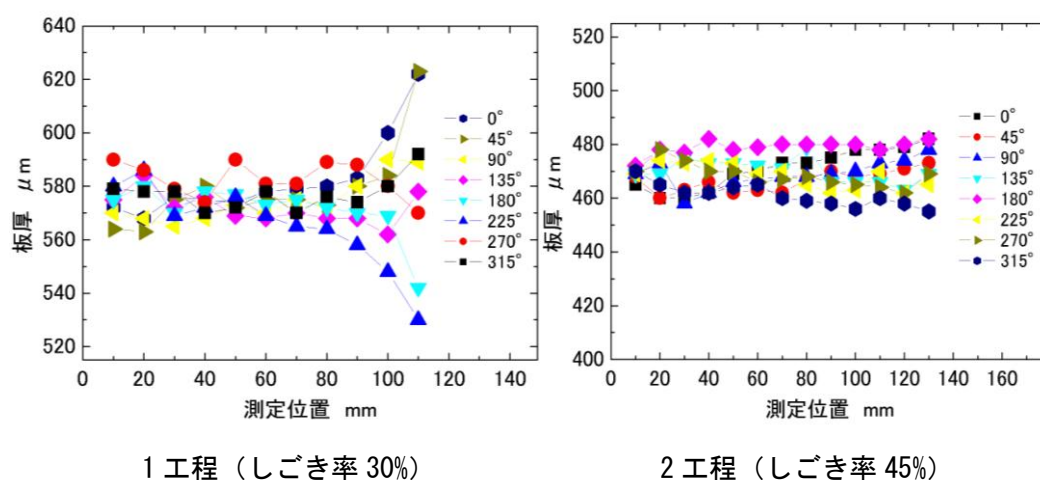


図 2-3 しごき加工後の板厚

### 2-1-2-3 角筒温間絞り技術の開発

図 2-4 に第 1 および第 2 絞り工程の成形形状を示す。第 1 絞りの形状を経て、第 2 絞りにおいて、角筒容器の側壁の高さが全周において概ね平坦となった形状が得られた。このことから、角筒の成形についてすべり線場理論による工程設計の有効性を確認できた。また、図 2-5 には成形試験によって得られた形状の長辺部中央と短辺部中央の板厚分布、および曲げ・曲げ戻しによって長辺側壁中央部に生じる変形について示す。

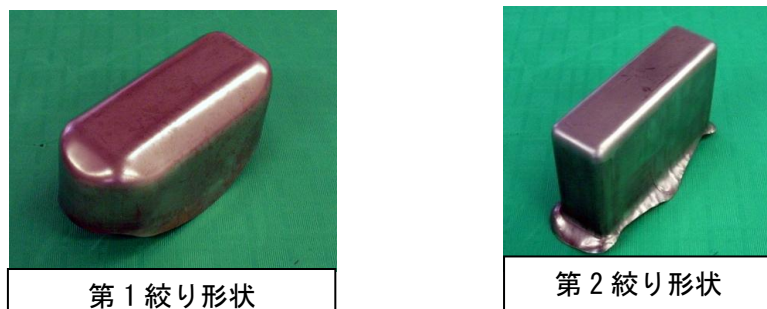


図 2-4 第 1 および第 2 絞り形状

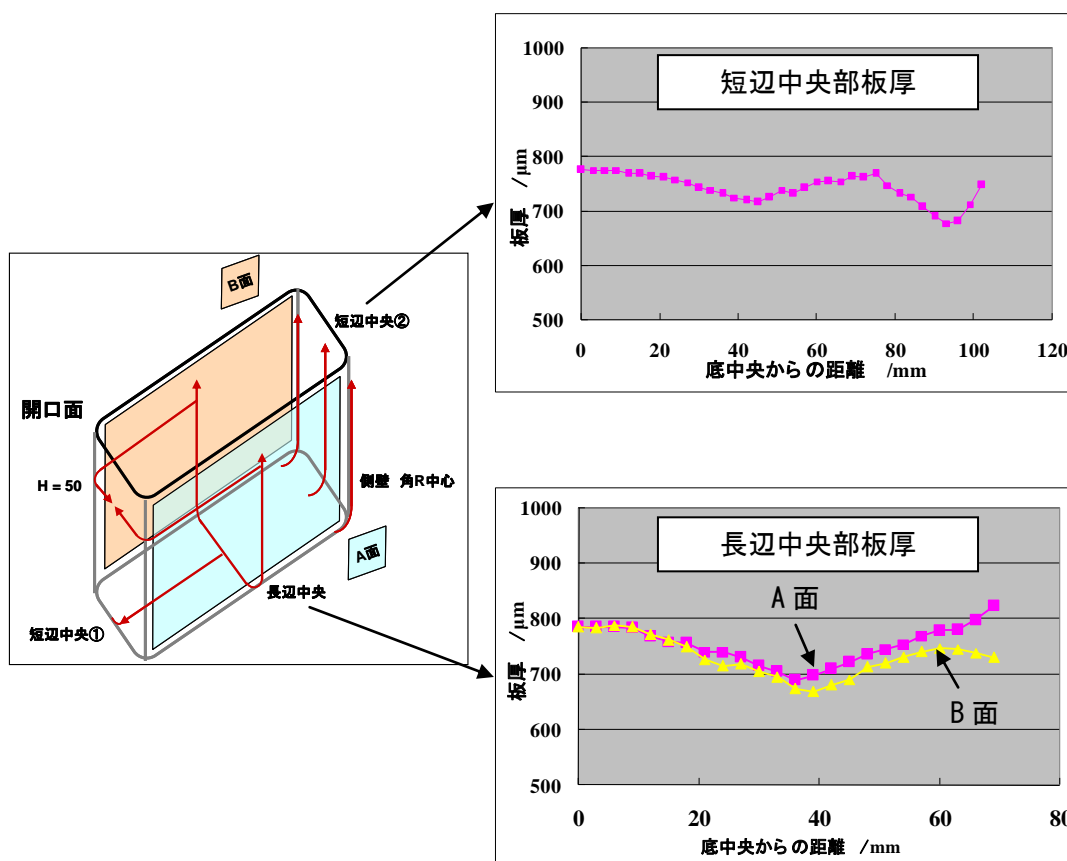


図 2-5 角筒成形品の板厚分布

#### 2-1-2-4 ハット曲げによるスプリングバック低減

ハット曲げ試験においてスプリングバックを抑制する方策の1つとして、板厚を減少させるしごき加工の可能性を試験した。試験後の成形品形状測定結果を図2-6に示す。しごき加工後の形状は各材質の引張強さに近い応力を加えたものと同様かそれよりもスプリングバックが少なくなっている。

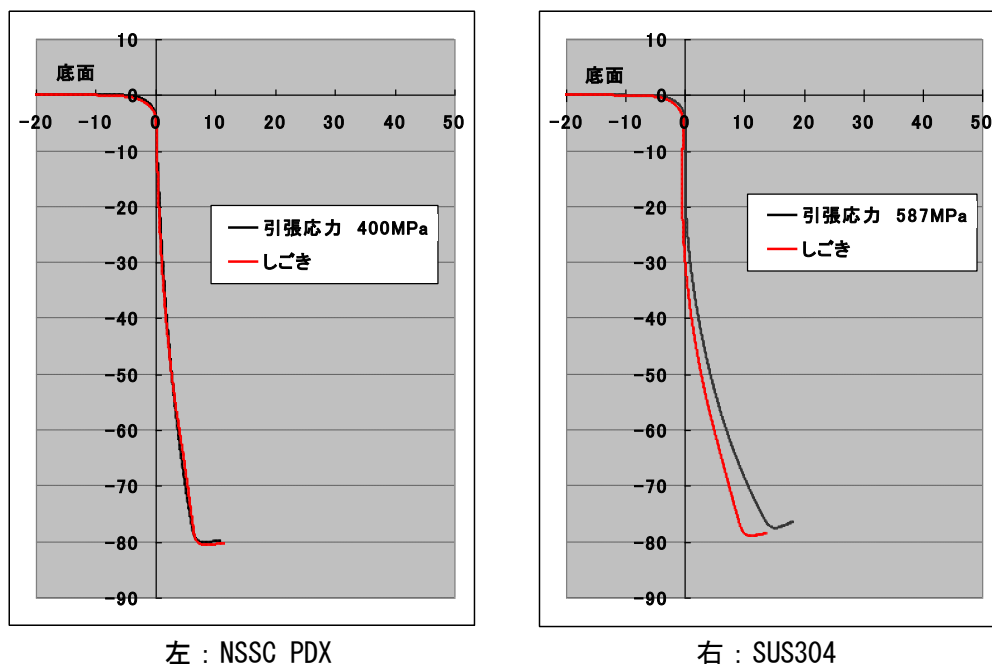


図2-6 しごき加工のハット曲げ試験後の形状測定結果

### 2-2 角筒容器の最適工程設計法の開発

#### 2-2-1 目的

多工程を要する深い角筒容器の工程設計は、現場作業者の勘と経験からブランク形状を推定し、各工程の金型形状を決定する。しかし、最適な金型設計は試行錯誤により修正するのが通常の方法である。そこで、シミュレーションにより多工程の角筒容器の金型設計を行うことが出来るソフトウェアの開発を行う。このソフトウェアを本事業で開発する大型角筒容器の設計を行い、開発ソフトウェアを検証する。

また、多工程絞り加工によって成形された容器において容器側壁の反りが発生し、所定の寸法精度が満たすことが出来ず問題となっている。そこで、容器壁反りの抑制、もしくは除去技術を提案する。

#### 2-2-2 研究内容

##### 2-2-2-1 すべり線場法による多工程角筒容器の金型設計シミュレーションソフトの開発

すべり線場法による角筒容器の工程設計シミュレーションソフトウェアは、有限要素法等の複雑な計算を行うことなく、汎用のパソコンで容易に計算することが出来る簡易ソフ

トウェアである。この解析ソフトウェアの基本仮定は、

- ①素材は加工硬化しない
- ②素材の板厚は変化しない
- ③ダイス穴内に進入した材料は変形せず、パンチ速さ  $V$  で鉛直下方に剛体的に運動する。
- ④ダイス穴縁線は最小主応力線と一致する。

以上の 4 項目の仮定をすることにより、複雑な計算をすることなく、容易に多工程の角筒容器の金型設計が可能となる。

この方法に基づき、図 2-7 に示すソフトウェアを開発した。

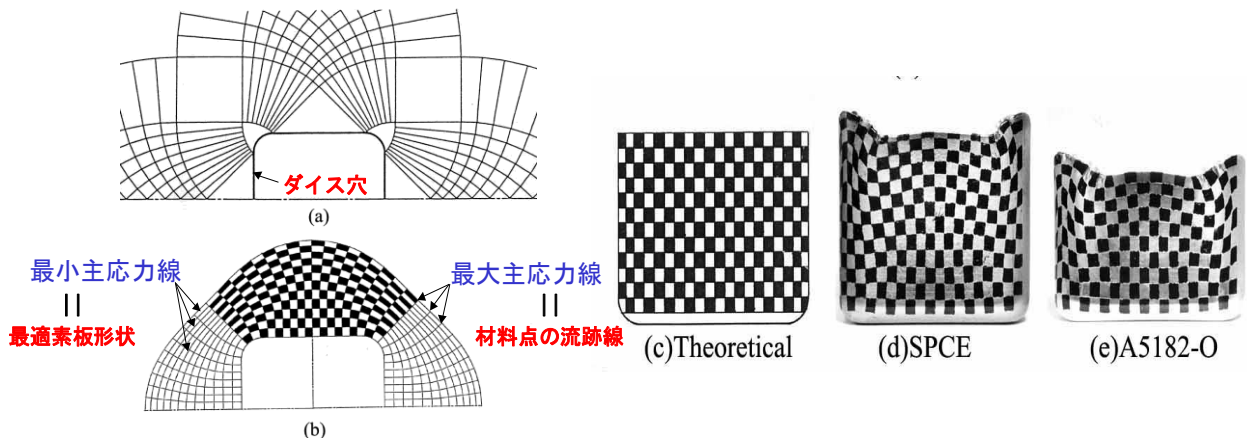


図 2-7 角筒絞りのすべり線場解析例

2-2-2-1 に示したシミュレーションソフトウェアを用いて、本事業の開発製品の工程設計を行った。製品の形状は、 $W45 \times D170 \times H110$  板厚 0.8mm、材質はフェライト系ステンレス鋼である。シミュレーションの結果を図 2-8 に示す。

シミュレーションによると、この加工は 4 工程となる。工程ごとの設定絞り比は、第 1 工程 2.0、第 2 工程 1.5、第 3 工程 1.3、第 4 工程が 1.3 とした。シミュレーションソフトは、絞り比を設定すると自動的に長辺部、コーナー部、短辺部の絞り比を計算し、工程数を求め、右の工程線図を描く。計算時間はパソコンで 1~2 秒程度である。

図は 1/4 モデルを表している。最外側の線は当初のブランク形状、内側の線は第 1 工程~第 4 工程である。

本金型は、この工程設計を参考として設計・製作したものである。

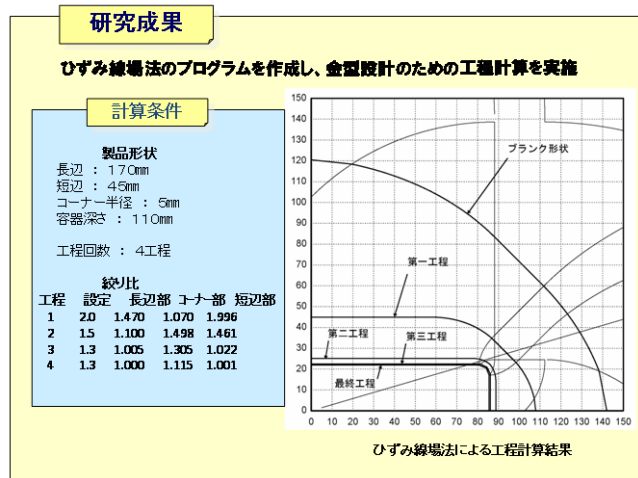


図 2-8 実用製品の実施例



## 2-2-2-2 すべり線場法による角筒容器最適設計ソフトの開発

東京農工大学の桑原教授らが開発した、すべり線場法を利用した角筒工程計算ソフトウェアを改良し、Windows 環境に対応することにより、企業の設計者等が容易に操作できるユーザーインターフェースを実現した。

本ソフトウェアの開発にあたり下記の点に改良および変更を加えている。

- (1) 開発言語をオリジナルのC++から Visual Basic に変更。
- (2) Windows の GUI を活用することによりデータの入出力を容易に行えるようにユーザーインターフェースを改良した。また、入力したワーク形状や計算後の工程図をグラフィック表示することにより、容易に結果が確認できるように配慮した。
- (3) 計算した各工程図を DXF データのフォーマットでファイルに出力できるようにした。DXF ファイルは現在では CAD ソフトウェアのスタンダードフォーマットになっているため、現在市場にあるほとんどの CAD ソフトウェアで図形データの読み込みが可能である。

本開発ソフトウェアは Windows アプリケーションとして動作するため、基本的な操作は Windows と同じであり、Windows の操作が出来る人であれば容易に操作が可能である。

図 2-9 に計算結果表示画面を示す。

### 工程計算

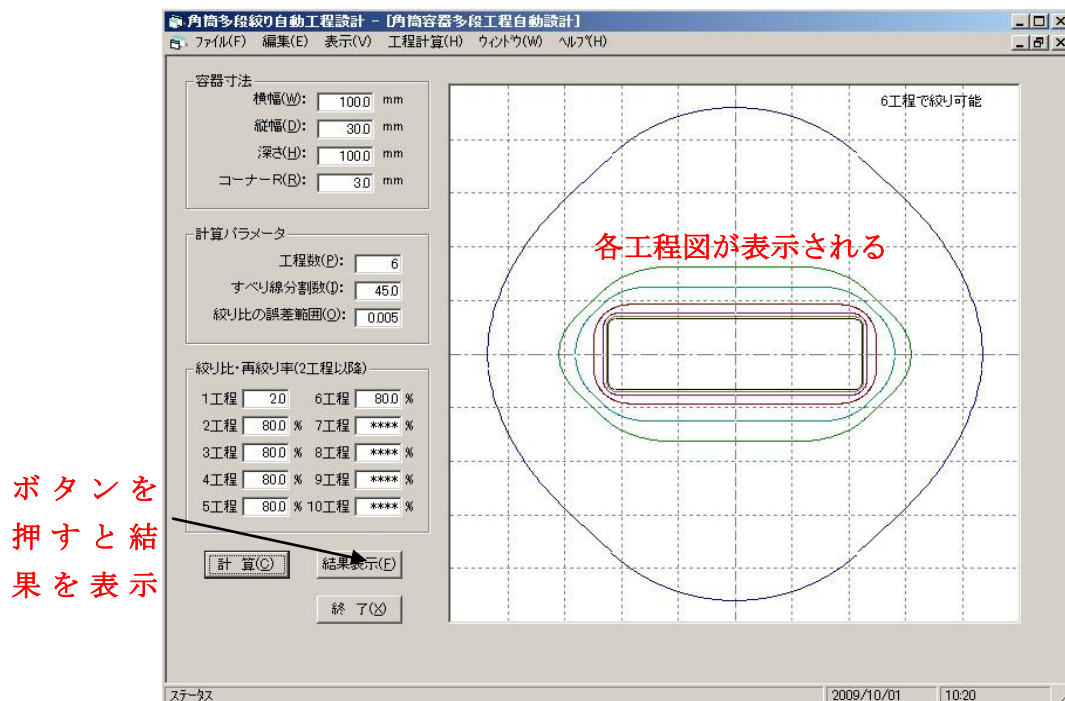


図 2-9 計算結果表示画面



## 2-3 温間絞り・しごき加工用金型の開発

### 2-3-1 目的

本事業で開発を目指している大型角筒容器は、電気自動車等に用いられるステンレス製電池ケースである。自動車用電池ケースは、品質の均一化と量産性及び、コストの低減化が強く求められている。これらの課題を解決するためには、新技術の開発による工程の削減と量産化技術の開発が不可欠である。そこで、これらの課題に対応できる多工程連続温間絞り・しごき加工用金型の開発を行った。

### 2-3-2 研究内容

図 2-10 にプレス加工装置に取り付けた 3 工程の絞り金型を示す。金型は、ひずみ線場法により工程設計を行った。

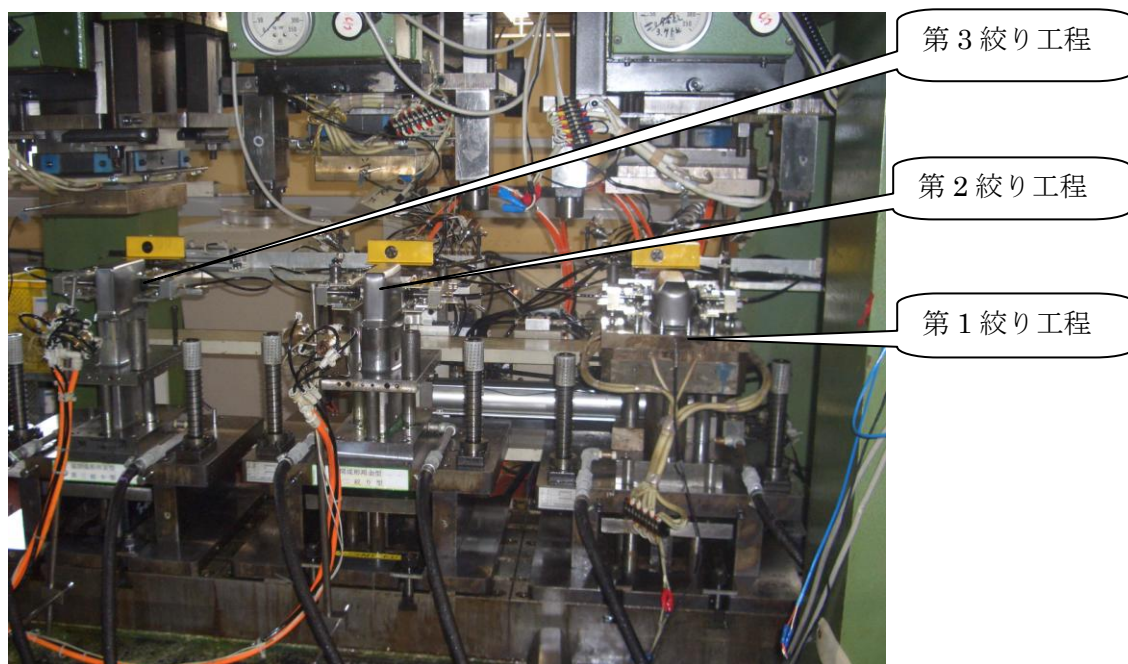


図 2-10 3 工程トランスファー油圧プレス加工用金型

この金型は、パンチを冷却し、ダイスを加熱できる温間絞り用の金型構造となっている。3 工程の絞り加工後に別工程で仕上げのしごき加工により製品化を行った。

金型材質はダイス鋼を用いているが、しごき加工には一部超硬合金を使用した。金型の表面は PVD コーティング処理を行っている。毎分 3 個の量産試験を行い、金型の耐久性を確保できている。

## 2-4 連続工程化対応技術の開発

### 2-4-1 目的

被加工材へロールコーターにより潤滑剤を塗布し、第一工程へ自動供給する自動搬送・潤滑油塗布装置及び、3工程の自動搬送装置と連動させることにより、素材の供給から3工程の絞り加工終了までの連続したトランスファー加工を行える自動化ラインを構築する。

### 2-4-2 研究内容

#### 2-4-2-1 搬送自動化装置の開発

第1絞り～第3絞り工程を3ステーションのトランスファー油圧プレスを用いて成形する自動搬送装置(図2-11)を開発した。



図 2-11 プレス機械に設置した自動供給搬送装置

この自動供給搬送装置は6個/分の加工速度に対応することが出来る。

被加工材は、後述する自動搬送・潤滑剤塗布装置から第1工程へ供給される。供給されたワークを3工程の絞り加工を連続して行うことが出来る。第2工程及び第3工程では、潤滑剤を噴霧装置により被加工材へ塗布する構造となっている。被加工材は3工程で成形後に別のプレスを用いて仕上げのしごき加工により製品化する。

## 2-4-2-2 自動搬送・潤滑油塗布装置を開発

図 2-12 に自動搬送・潤滑油塗布装置の写真を示す。この装置は下記に示す構成となっている。

- (1) ワーク積供給部
- (2) ワーク取り出し移動・待機コンベア
- (3) 2枚検出不良排出コンベア
- (4) (6) 潤滑油塗布装置
- (5) 90度方向転換コンベア
- (7) 位置決め装置

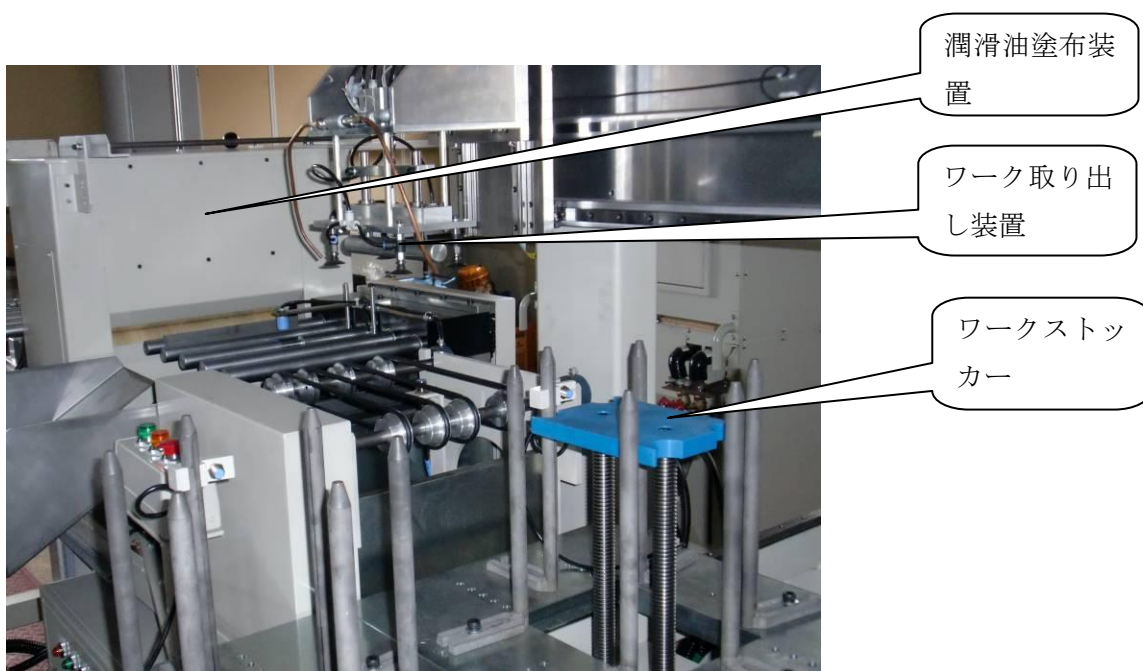


図 2-12 自動搬送・潤滑油塗布装置

この装置は、ワークストッカーに積み上げられた板状の被加工材を1枚ずつバキュームで取り出し、潤滑剤を塗布しプレス装置の第1工程へ供給する。供給速度は6個/分の能力を有している。潤滑剤は、油性潤滑剤を用いており、ロールコーターにより塗布している。

## 2-5 温間絞り・しごき加工用潤滑剤の開発

### 2-5-1 目的

温間連続加工に対応した潤滑剤の開発と、潤滑剤供給装置を開発する。

### 2-5-2 研究内容

#### (1) 水溶性乾燥皮膜タイプ潤滑剤 X-2990 の開発

ステンレス鋼板の温間絞り加工を目的として開発した。下記のような特徴がある。

- 水ベースで無色透明液体
- 不燃性
- 優れた耐熱性(約 800℃まで)
- 吸着性のよい薄膜を形成
- 作業環境の改善
- 水のみで容易に除去

この潤滑剤は、ローラー、スプレー、手塗り等により被加工材に塗布し、60～80℃で2～3分程度加熱乾燥させ、水分を蒸発させることによって乾燥皮膜を形成する。この皮膜は動摩擦係数 0.1～0.2 程度となり、テフロンシートに匹敵する優れた潤滑性を発揮する。

#### (2) 油性潤滑剤の開発

G-751MS は、従来温間絞り加工に用いられていた高粘度型の油性潤滑剤を改良したものである。1回の塗布で多工程の絞り加工を行えるよう塩素系極圧添加剤の量を多くしている。さらに、X-2834-1 及び X-2834-2 は高粘度潤滑成分と低沸点其油(揮発成分)の混合型である。粘度が低いので作業性の改善と後工程の洗浄性が良好である。

表 2-2 開発した油性潤滑油の特性

項目/油剤名	X-2834-1	X-2834-2	G-751MS
外観	淡黄色透明	淡黄色透明	無色透明
密度 15℃g/c	0.9375 1.3(不揮発成分)	0.9382 1.3(不揮発成分)	1.2543 -
引火点 ℃	22	23	204
動粘度 mm <sup>2</sup> /S・40℃	2.925 1500(不揮発成分)	2.357 600(不揮発成分)	553 -
色相 ASTM	L 0.5	L 0.5	L 0.5
四球耐荷重 Kg/cm <sup>2</sup>	15<	15<	15<
成分			
低沸点其油	50	50	50
油性剤	9(高分子系)	9(リン系)	25(油脂系)
塩素化合物	41	41	73

## 2-6 成形試験及び評価

### 2-6-1 目的

電気自動車等に搭載されるリチウムイオン二次電池ケースを対象として、ステンレス製大型角筒容器の成形試験を行い、成形品の品質や精度及びコスト等の評価を行う。





さらに、開発した技術を基盤として事業化を目指す。

### 2-6-2 研究内容

#### 2-6-2-1 試作品の成形事例

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 及びフェライト系ステンレス鋼を用いて、下記に示す大型角筒容器の成形試験を行った。これ等の大型角筒容器は、電気自動車の他、航空機、フォークリフト、燃料電池等の電池ケースとして幅広い用途で使用される。

表 2-3 試作品の成形事例

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
試作品				
製品高さ mm	115~120	180~200	115~120	100~110
板厚 mm	1.0	1.0	0.8	0.8
材質	オーステナイト系 ステンレス鋼	オーステナイト系 ステンレス鋼	フェライト系 ステンレス鋼	フェライト系 ステンレス鋼
成形工程	温間絞り 3 リストライク 1	温間絞り 4 リストライク 1	温間・常温絞り 3 しごき 1	温間・常温絞り 3 しごき 1
焼鈍工程	1	1	なし	なし
側壁板厚変化	0.1mm 以下	0.2mm 以下	0.1mm 以下	0.1mm 以下
側壁のソリ	0.5mm 以下	0.5mm 以下	2~3mm	2~3mm
開口部開き量	1.0mm 以下	1.0mm 以下	1~3mm	1~3mm
事業化の状況	○	○	サンプル提供 1年以内を目標	サンプル提供 3年以内を目標

これ等の試作製品は、従来 5~8 工程の常温での絞り加工と 2~3 回の焼鈍工程により成形を行っていたものである。本事業では温間絞り加工を採用することにより従来法に比べ大幅な工程削減が出来た。しかし、製品側壁部のソリや開口部の口開き量が大きくなる課題が発生した。このため、オーステナイト系ステンレス鋼では、絞り加工後に焼鈍を行い、リストライクにより形状性を改善し製品化を行った。フェライト系については、焼鈍無しで成形を行っているが、製品の形状性に課題があり今後の改善が必要である。



### 2-6-2-2 試作品の成形試験

表 2-3 に示したケース 3 について、成形試験方法と成形工程サンプルを示す。

成形試験は図 2-10 に示した油圧式トランスファープレス装置を用いて、3 工程の絞り・しごき加工を行い、さらに、形状性を改善するため、仕上げのしごき加工を加えて製品化を行った。

試作品の成形工程サンプルを図 2-13、製品の形状性を図 2-14、図 2-15 に示す。



図 2-13 大型角筒電池ケースの成形工程サンプル

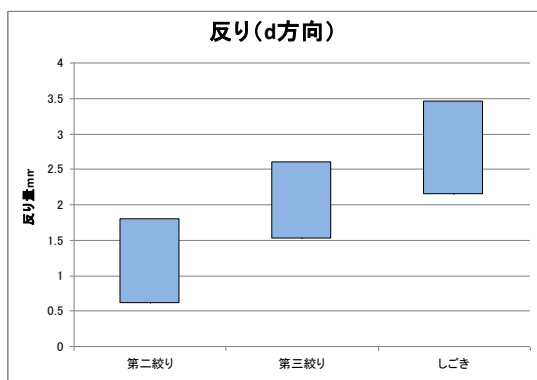


図 2-14 角筒容器側壁分の反り

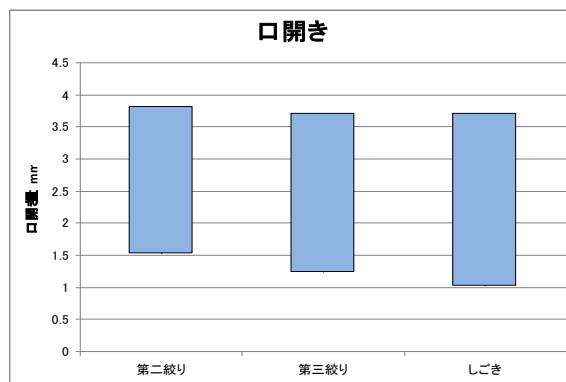


図 2-15 角筒容器側壁分の口開き

角筒容器の側壁長辺部の反りは、第 1 絞り加工では発生しない。第 2 絞り加工、第 3 絞り加工及びしごき加工と、加工が進む毎に大きくなっている。これは加工製品に内部応力が蓄積されるためである。口開きは、側壁分の反りの発生に伴い、内部応力が開放される側壁長辺部中央付近で最大となる。各工程後の口開き量は、反りが工程毎に大きくなるのに対して、殆ど同じである。これは、工程が進む毎にしごき加工により、被加工材の側壁部が縦方向に引っ張られるためと考えられる。

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発成果

電気自動車等の電池ケースとして用いられるステンレス製大型角筒容器の成形技術を開発することが出来た。ステンレス製大型角筒容器の成形は、従来常温による多工程の絞り加工と焼鈍工程を組み合わせで成形している。本事業では、温間絞り・しごき加工を開発することにより、従来法に較べて大幅な工程短縮が出来た。開発目標に設定した、5～8工程の絞り加工と3～4工程の焼鈍工程により成形される角筒容器を焼鈍工程無しで、4～5工程の温間及び常温の絞り・しごき加工を組み合わせることにより製品化することが出来た。

もう一方の開発目標である量産技術の開発については、油圧トランスファープレスにより、3個/分の速度加工できるシステムを開発した。この装置を用いて試験を行い、量産化の見通しを得た。

製品の品質については、側壁部のソリと口開きが複数回しごき加工を行っても改善できていない。現状の成形によるソリと口開き量はバラツキが大きく、1～3.6mm程度となっている。ユーザーが希望している1～2mmの許容範囲を超えている。

今後量産となった場合の製造コストの削減や軽量化のための板厚の薄肉化や軽金属材料への転換等の要求も厳しくなるものと予想されるので、これらの要求に対応できる加工技術の開発と量産化への対応が今後の課題となっている。

本事業の開発当初に於いては、この電池ケースの材質は、SUSに代表されるオーステナイト系ステンレス鋼が用いられていたが、開発途中にNiが急激に高騰した影響で、Niを含まないフェライト系ステンレス鋼に変更された。この材料は、SUS304に較べて材料の伸びが小さいことと異方性が大きいこと、絞り性や張り出し性等の加工性が悪い。温間絞り加工の効果も限定的である。このため、大手鉄鋼メーカーの支援を頂きながら開発を進めた。さらに、本製品のユーザーとなる川下企業の自動車や電池メーカーに試作サンプルを提供し、製品の品質やコストについての情報提供を受けながら開発を進めることが出来た。

本事業に於いて、実製品の成形試験を(株)ハシモトが行い、これに用いられる自動化装置を(株)ハセガワマシーナリ、金型を星野金型(株)、温間絞り用加熱冷却装置をアドバンエンジ(株)が開発した。地元の4社の得意技術を組み合わせることにより、開発を加速できた。アドバイザーの3社からも側面から支援を頂くことができた。

さらに、本事業の基盤技術となる温間絞り加工の開発やひずみ線場法による角筒容器の工程設計及び、スプリングバックの軽減対策等については、新潟県工業技術総合研究所と東京農工大学から提案していただき、この成果をベースとして実製品の開発を進めた。

本事業は、試作製品の形状精度や製造コストに於いて、今後解決すべき課題が残ったものの、一部の試作製品については事業化が達成されており、その他の量産品についても事業化の見通しを得る事が出来たことは大きな成果である。

## 3-2 研究開発後の課題・事業化の展開

研究開発後の課題としては、技術的課題と事業化への課題がある。

### 3-2-1 技術的課題

#### (1) 製品形状性の改善

本事業では製造コストを削減するため、温間絞り・しごき加工を開発し、従来のプレス加工工程を 1/2 程度に削減すると共に焼鈍工程を省き製品化を行った。しかし、この加工方法は、加工による内部応力が製品に残留されるため、スプリングバックによる側壁部のソリや開口部の口開きが発生し、製品形状を損ねる要因となっている。内部応力を除去し、製品の形状性を改善する一般的な方法は、絞り・しごき加工後にひずみ取り焼鈍を行い、リストライク加工を行うことにより解決できる。しかし、ひずみ取り焼鈍を行えばコストが上昇するため、安易に採用することは出来ない。そこで、内部応力を軽減できる新たな加工方法及び材料開発が必要である。

#### (2) 製品の軽量化への対応

自動車や航空機等へ搭載される電池ケースは、軽量化が求められる。現在市販されているハイブリットカーのニッケル水素電池ケースは、アルミニウムが用いられている。リチウムイオン電池でも、アルミニウムの採用が検討されている。本事業でもアルミニウムへの加工を試み、試作品の成形を行っているが、形状性にはステンレス鋼と同じような課題がある。今後、アルミニウムについても開発を進める予定である。

#### (3) 量産化への対応

本事業では、3 個/分の量産試験を実施し、最適加工条件の把握及び金型の耐久性の確認等を行った。この結果、量産化への見通しは得られたが、自動車等の量産品へ参入するためには、生産速度を 6~10 個/分に上げることが必要である。また、プレス加工ばかりではなく、後工程の洗浄や検査、梱包、出荷等の全工程の生産管理体制の構築や新規設備導入も必要となる。

### 3-2-2 事業化への展開

事業化展開については、本事業で開発した技術を応用して、独自に金型を製作し、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 製の角筒容器を航空機や風力発電、燃料電池等のバッテリーケースとして事業化を行っている。これらの製品は、月に 2,000~3,000 個と比較的数が少ないため、付加価値が高く納入価格面で折り合いが付いたためである。

今後大きな需要が期待できるのは環境関連分野である。現在、フェライト系ステンレス鋼の製品についても、サンプルを提供中である。品質面の評価は良好となっているので、価格面の折り合いが出来れば受注できる見通しである。

受注量の大きい電気自動車用のリチウムイオン二次電池ケースについては、技術的課題のほかにも製品価格の低減や量産化のための設備投資が大きな課題となっている。一昨年からの景気の落ち込みにより、大きな設備投資は困難な状況であるが、今後とも技術開発を行いながら 2~3 年後を目標として事業化を目指したい。