

平成28年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

『次世代自動車用、超薄肉ステンレス製

「箱型 電池ケース」の開発と事業化』

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構

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、協力者）	1
1-3	成果概要	2
1-4	当該研究開発の連絡窓口	2

第2章 本論

2-1	リチウムイオン電池ケースの信頼性確保課題への対応	3
2-1-1	残留応力の測定	3
2-1-2	表面状態の観察	4
2-2	ステンレス鋼成形用の生産設備の開発	8
2-2-1	高度化圧延金型設備の開発	8
2-3	事業化への対応	
2-3-1	川下自動車産業への提案及び新たな要望に対する対応	14

第3章	全体総括	16
-----	------	----

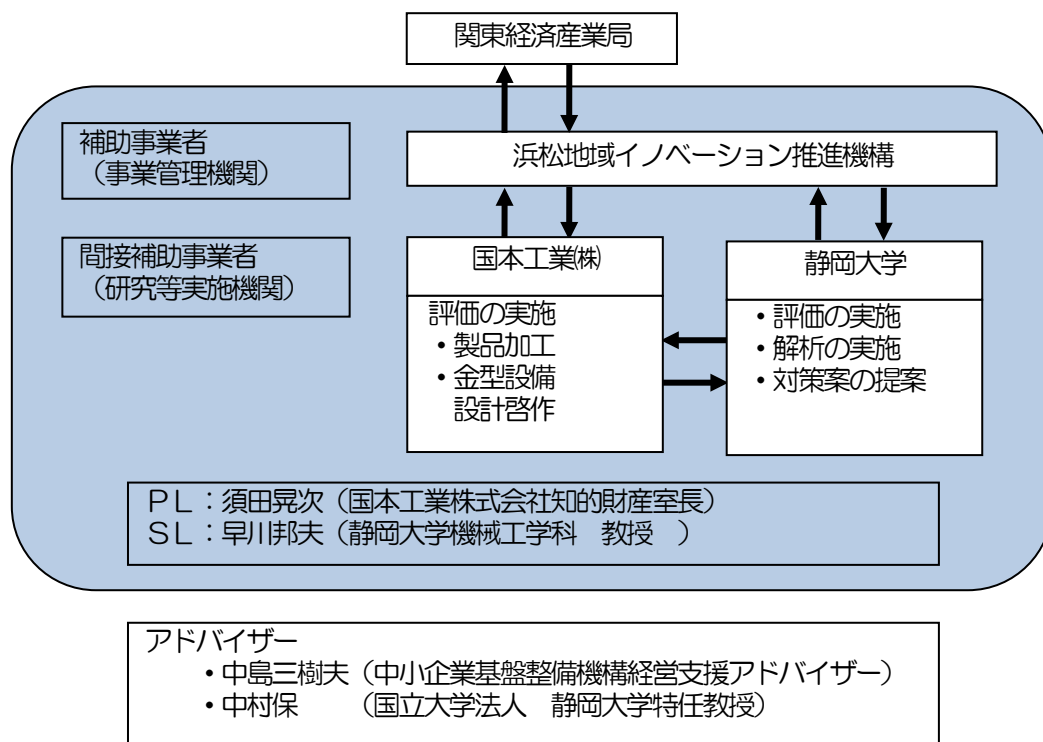
第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

次世代自動車では、リチウムイオン電池の普及に向け、航空機並みの高安全性電池ケースへの期待が強い。航空機用電池ケースでは、強度・耐熱性に優れたステンレス鋼材が用いられているが、ステンレス鋼材は難加工材であり、自動車が要求する寸法・形状の加工は難しい。本研究開発では、流通中のアルミニウム材の深絞り加工の繰り返して製造される製品を、特許技術（深絞り+圧延加工）を発展させ、12mm×120mm×90mm、板厚0.1～0.3mm（但し底面の板厚は1mm）のステンレス鋼材製超薄肉電池ケースを実現し事業化する。

1-2 研究体制

本事業の研究開発は、1つの民間企業と1大学の2機関からなる。関東経済産業局から、戦略的基盤技術高度化支援事業に対する補助金の交付決定を受けた補助事業者（事業管理機関）である公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構が、実際の研究開発に携わる間接補助事業者の国本工業株式会社、国立大学法人静岡大学を管理し全体の事業を推進した。下図は本プロジェクトの管理体制を示す。研究全体を総括的に管理するプロジェクトリーダー（PL）とそのフォローをするサブプロジェクトリーダー（SL）を設け、アドバイザーを含めた全体で行う研究開発推進委員会と、効率的に事業を進めるための研究実務者会議を開催した。



1-3 成果概要

1-3-1 リチウムイオン電池ケースの信頼性確保課題への対応

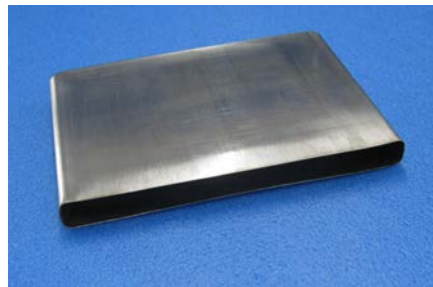
材料の変更（SUS304→SUS304L）とプレス金型の改良および加工条件の変更により、遅れ破壊は発生していない。しかし、遅れ破壊が発生した成形品と発生しなかった成形品との間に、残留応力と表面状態の決定的な差異は認められなかった。今後も引き続きデータを蓄積し、電池ケースの信頼性確保に努める。絞り加工の成形シミュレーション結果を金型の設計に反映させ、金型及び中間素材を短期間で完成度を高めることができた。

1-3-2 ステンレス鋼成形用の適正生産設備への対応

中間素材及び圧延設備の開発により、深絞り時の割れや板厚の減少、圧延時のソリやコーナーRのクズレ等の問題が解決され、当初、目標とした板厚 0.3 mm、12 mm×120 mm×90 mmの「リチウムイオン電池ケース」の製品化の見通しをつけることができた。

1-3-3 事業化への対応

平成 28 年度マッチング展示会で要望があった板厚 0.2 mmの成形品を実現するため、高度化圧延金型をさらに改良した「一体固定ダイス金型」を開発した。完成した成形品を下記に示す。



1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属・氏名：公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構 中山典子
住 所：〒432-8036 静岡県浜松市中区東伊場 2-7-1
TEL：053-489-8111 FAX：053-450-2100
E-mail：nakayama@hai.or.jp

第2章 本論

2-1 リチウムイオン電池ケースの信頼性確保課題への対応

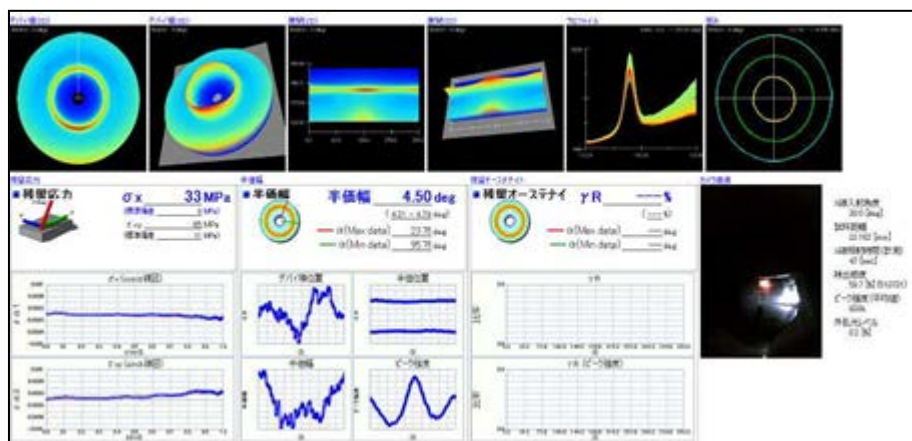
2-1-1 残留応力の測定

高強度鋼やステンレス鋼は、静的な負荷応力を受けた状態で、ある時間を経過したとき、外見上はほとんど塑性変形を伴うことなく、突然脆性的に破壊する「遅れ破壊」が大きな問題となる。いくつかの考えられる原因の中で、加工後の残留応力が遅れ破壊と密接に関係することが知られている。本事業では、ステンレス鋼材の深絞り加工後の遅れ破壊を防止するために、残留応力を問題の生じない範囲に管理することが重要と考えた。ポータブル型X線残留応力測定装置を用いて、深絞り成形品の残留応力を測定した。

測定結果

ワレあり品とワレなし品を測定した結果、下記の結果が見られた。

- ・ワレあり品には引っ張り応力
- ・ワレなし品には圧縮応力



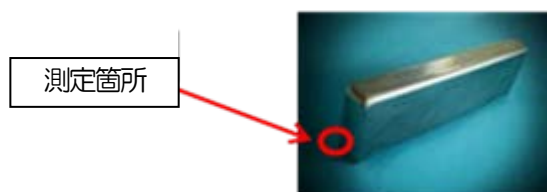
上記のとおりの結果が得られたが、場所による数値のばらつきが多く、また、シミュレーション結果との差もあるため今後引き続き調査する。

2-1-2 表面状態の観察

遅れ破壊を防止する目的で、遅れ破壊が発生した成形品と発生していない成形品の表面状態を詳細に観察した。絞り加工後の表面画像を観察し表面粗さを測定した。

観察・測定結果

絞り加工品の、遅れ破壊発生品とワレなし品の比較調査を行った結果、下記の通り、ワレ発生品の表面粗さは、ワレなし品に比べ高い値を示した。



試料	メイン画像1 表面状態	メイン画像2 高さ	3D画像	表面粗さ RA (μm)	
割れ なし				最大 最少 平均 垂直面	0.712 0.503 0.612 0.721
割れ 発生				最大 最少 平均 垂直面	1.031 0.886 0.949 1.031

2-1-3 中間素材における限界板厚とブランク形状

中間素材であるブランク材の最適な形状を推定し、かつ遅れ破壊を防止する目的で、シミュレーションソフトを用いて、絞り加工により生じた板厚変化、エッジ部のシワ、増肉などの影響を検討した。

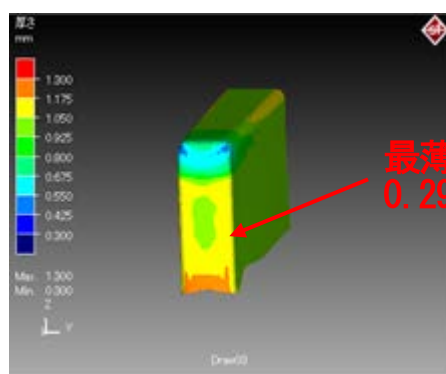
2-1-3-1 板厚のシミュレーション結果

1. 初期シミュレーション解析した結果絞り加工時に生じた課題

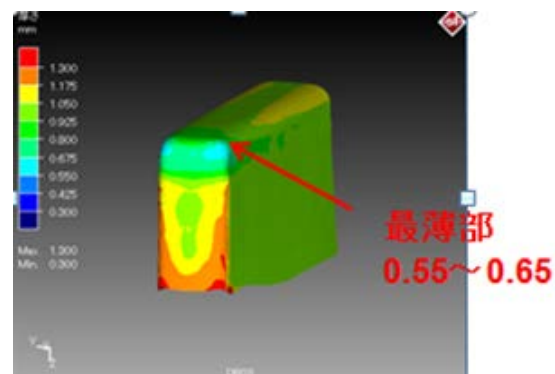
- ①板厚減少 (1.0 mm $\Rightarrow$ 0.2 mm)
- ②絞りエッジ部に、シワ、増肉 (1.0 mm $\Rightarrow$ 1.2 mm)、端部シャープエッジ発生
- ③天井部膨らみの現象が発生、これが遅れ破壊の要因になると思われる。

2. 解析結果に基づく改善の実施

絞り金型の改造、絞り用プランク素材の形状変更、等を行った結果、目標とした最低板厚 0.5 mm 以上の中間素材を完成させる事ができた。



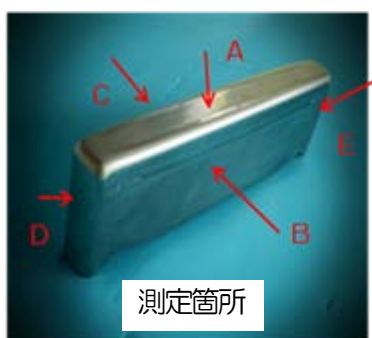
初期シミュレーション解析



改善後シミュレーション解析

3. 現品測定結果

シミュレーション解析結果とそれに基づく金型改良により、良好な中間素材を実現した。

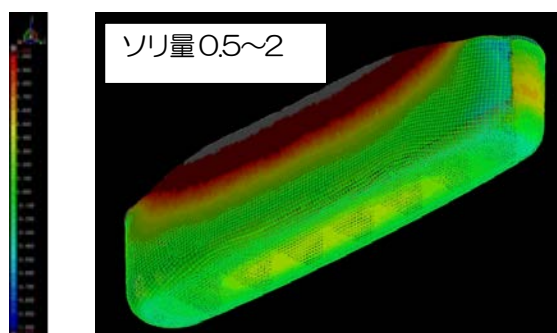


測定箇所	肉厚最小値	肉厚平均値
A	0.76	0.83
B	0.95	0.95
C	0.95	0.96
D	0.96	0.96
E	0.62	0.96

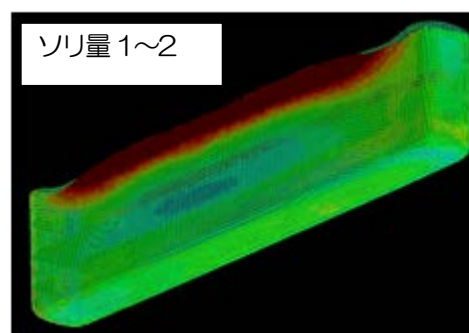
(単位mm)

2-1-3-2 中間素材の3D スキャナーによる形状測定結果

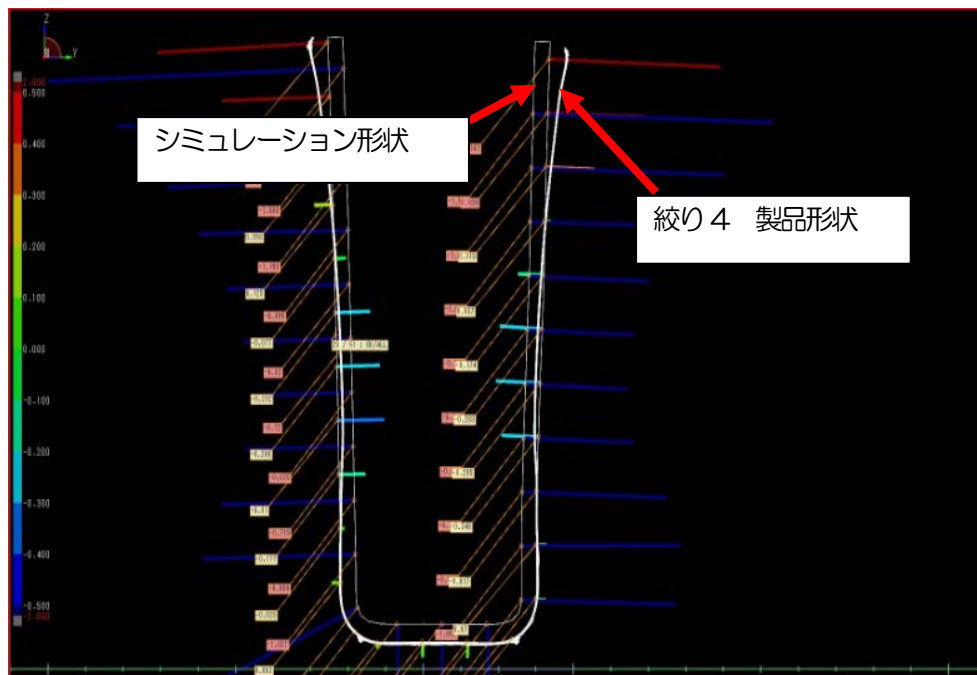
シミュレーション解析結果と製品の比較を3Dスキャナにより評価した。



DW1 (第1絞り)



DW4 (第4絞り)

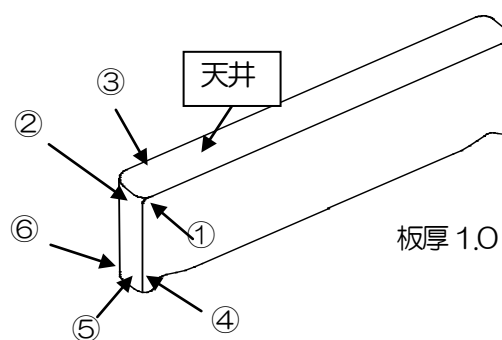


シミュレーション結果と綾り 4 の実測値の合成図

2-1-3-3 中間素材（綾り製品）の測定

板厚寸法測定結果

天井部分は薄く、開口部は厚い傾向にある。この状態で圧延加工を行なった。



板厚 1.0 に対する、測定値を下記に示す。

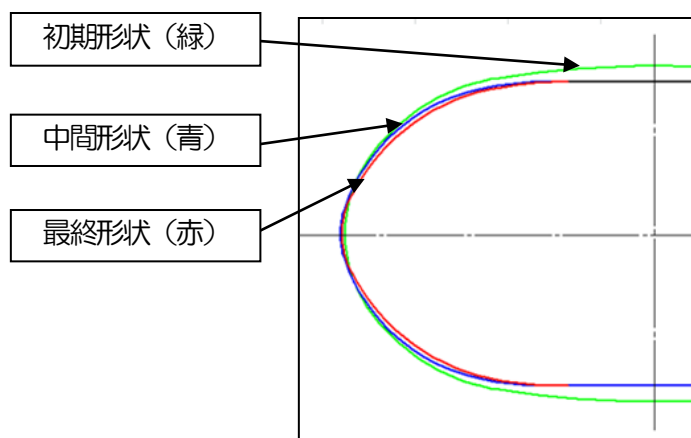
(単位mm)

測定箇所 工程	天井	①	②	③	④	⑤	⑥
DW1	-0.08	-0.04	-0.04	-0.03	+0.06	+0.18	+0.16
DW2	-0.04	-0.40	-0.40	-0.04	+0.14	+0.15	+0.12
DW3	-0.09	-0.16	-0.36	+0.10	+0.15	+0.12	+0.09
DW4	-0.11	-0.22	-0.22	-0.16	+0.12	+0.27	+0.17

2-1-3-4 ブランク形状の決定

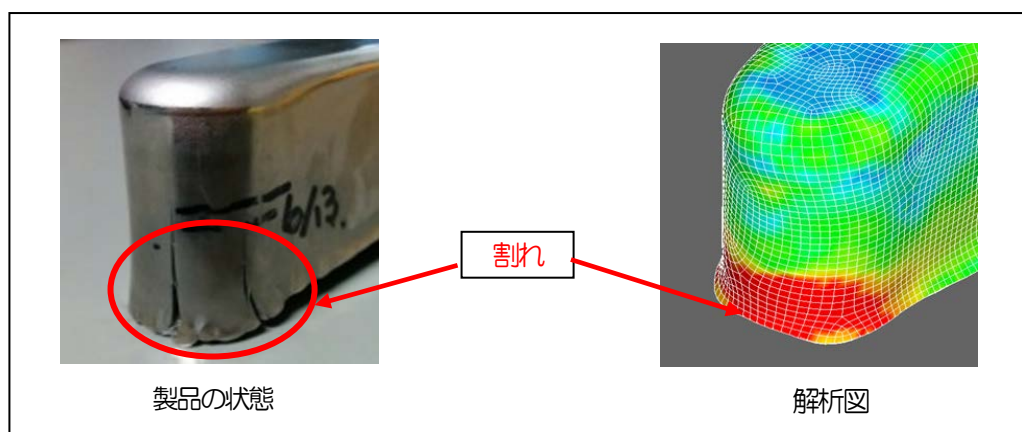
ステンレス製品の遅れ破壊の要因となる絞り品のブランク形状についての解析と対策を行った。

① ブランク形状の改善経過



② ブランク初期形状 シミュレーション

下図は初期ブランク形状(緑色表示)の絞り加工を中間位置まで行った状態を示す。
この状態で割れ発生が予測される限界板厚が赤色で表示された。又、製品には割れが確認された。



③ 最終ブランク形状 シミュレーション

下図は最終ブランク形状(赤色表示)の絞り加工を中間位置まで行った状態を示す。
この状態で割れの発生が予測される赤色表示は少なく、全行程終了後もシャープエッジは無く、
製品には割れは確認されなかった。



2-2 ステンレス鋼成形用生産設備の開発

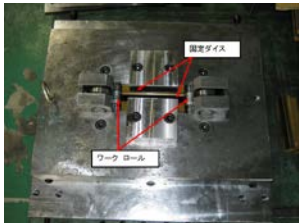
2-2-1 高度化圧延金型設備の開発

高度化圧延金型設備の仕様と結果一覧を下記に示す。

仕様	金型仕様	成形温度	圧化率×圧延回数	結果
A	長辺：固定ダイス (ダイス鋼) 短辺：円筒ロール	常温	10%×4回	板厚：0.65 mm 長辺：かじり大 天井付近で割れ
B	長辺：固定ダイス (超硬) 短辺：円筒ロール	常温	△0.1 mm×7回	板厚：0.3 mm 成形：OK
C	一体形加熱固定ダイス SR1.5	長辺：70℃ 短辺：100℃	43%×1回	板厚：0.7→0.4 mm 角部R止まりで割れ
D	一体形加熱固定ダイス SR2.0	長辺：70℃ 短辺：100℃	43%×1回	板厚：0.7→0.4 mm 角部R止まり：OK 長辺：割れ
E	一体形固定ダイス	常温	20%×7回	板厚：0.2 mm 成形：OK

① 仕様A

仕様Aにおける評価結果を下記に示す。

金 型 仕 様	課 題	対 策	備 考
・高度化圧延金型 長辺：固定ダイス 短辺：円筒ロール	・長辺全面部：カジリ大、 ・スカート隅部：欠損 (カジリの影響?)  カジリがひどい 全面 ・高度化金型下型の写真 	・カジリ対策 固定ダイスの材質変更 ダイス鋼→超硬材 ・短辺：ダイス境目バリなし ・ソリ：微小	試作加工 ・スカート部 耳カット実施 ・成形工程追加 ・コーナーR 変更 R3→R4

② 仕様B

高度化圧延金型を用いて試作をした。（金型仕様：超硬固定ダイス・表面処理 + 円筒ロール）



板厚調整1回目



板厚調整2回目



板厚調整3回目



板厚調整4回目



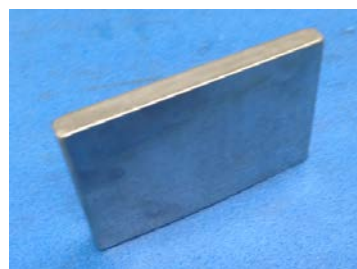
板厚調整5回目



板厚調整6回目



板厚調整7回目（完成）

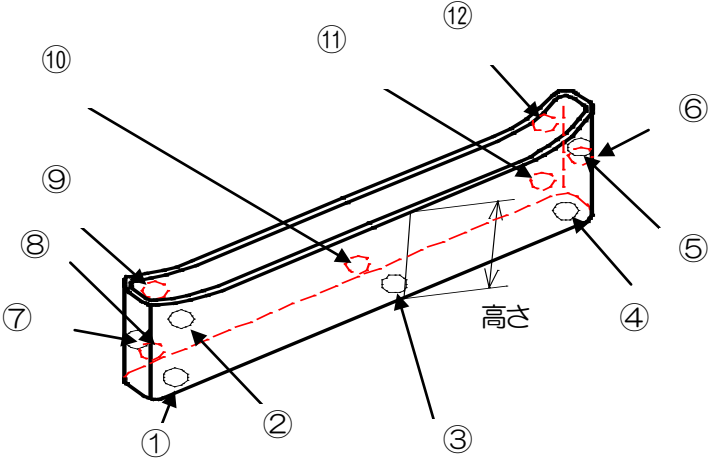


斜視

高度化圧延金型により完成した製品の測定結果

金型保護の為板厚を0.1 mmずつ減少させて、7回にわたり板厚調整を行った結果、目標とした板厚0.3 mmの製品を得ることができた。

測定箇所

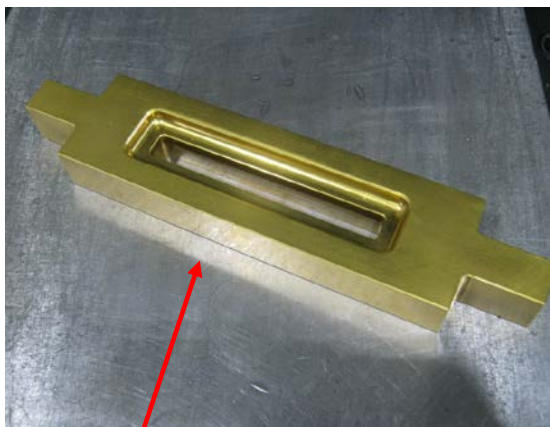


(単位mm)

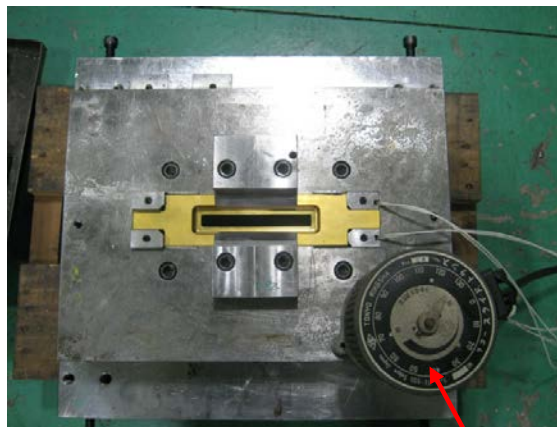
図面寸法	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
板厚 0.3	0.25	0.31	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.33	0.29	0.27	0.34
横幅 20	119.82～119.86											
縦幅 12	11.35～11.48											
高さ 80	80											

③ 仕様C

量産時における生産性の改善を図るため一体形加熱固定ダイス金型を用いた試作を行った。

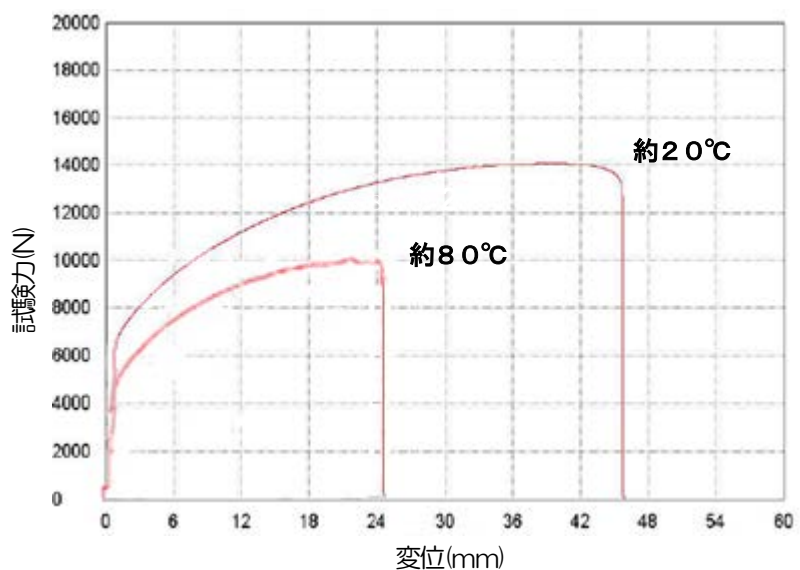


一体形加熱固定ダイス



金型に組み込んだ状態 (可変トランス)

■加熱時の成形性を把握するため下記のテストを行った。



【結果】加熱時は抗張力：-20% 伸び：-50% の値を示した。

この為、少ない荷重で加工が可能となるため金型のダメージが少なくなり、反り、変形、および表面の仕上がりの向上が期待できる。但し、伸びの減少にともなうワレの発生に注視する。

■「一体形加熱固定ダイス金型」で加工した試作品の評価

【テスト条件】・板厚 0.7 mm ⇒ 0.4 mm ・金型温度：長辺 100℃ 短辺 70℃



【結果】角部R止まりで割れが発生した。

【対策】角Rが小さかった為、SR 1.5⇒SR 2.0とする。

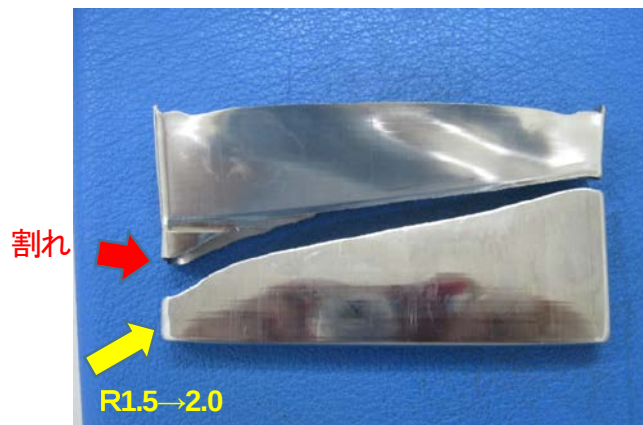
次回実施時は製品温度の安定化を図るため、保持時間を 10 秒⇒20 秒以上とする。

④ 仕様D

テスト条件を変更して試作品の評価を行った。

【テスト条件】・圧下率 43% (板厚 0.7 mm ⇒ 0.4 mm)

・コーナーR 1.5⇒2.0 ・金型温度：長辺側 100℃ 短辺側 70℃



【結果】圧下率 43%でコーナーRではOKであったがこれを越えた位置で割れが発生した。

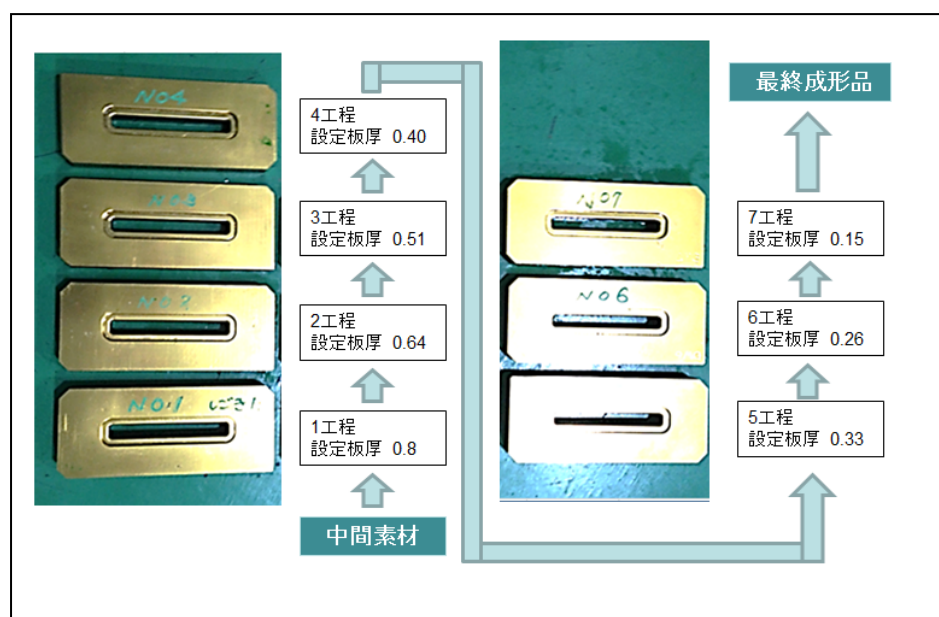
【対策】20%毎の評価を行い、成形限界を把握する。

⑤ 仕様E

「一体形加熱固定ダイス金型」を改良し、常温でのテストを行った。

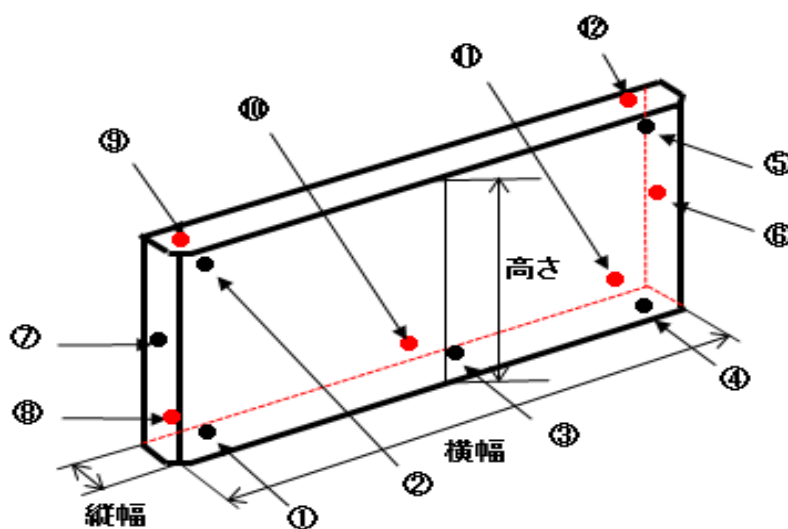
- ・常温で圧下率 20%での評価を行った結果は下記のとおりである。
- ・金型は、素材板厚 $t=1.0$ から製品板厚 0.2 mmまでを圧下率 20%として作成し、テスト結果により量産時の工程を多段で設定する。
(板厚 0.8、0.64、0.51、0.40、0.33、0.26、0.15 の7型を作成する。)
- ・金型は、固定ダイスを積層可能な仕様とする。

●一体形固定ダイス 常温 7工程でテスト

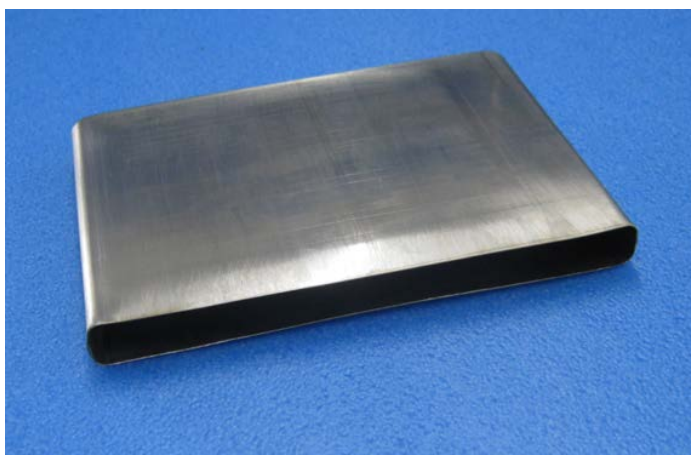


●測定結果：目標とした板厚 0.2 mmの製品を完成させることが出来た。

測定箇所

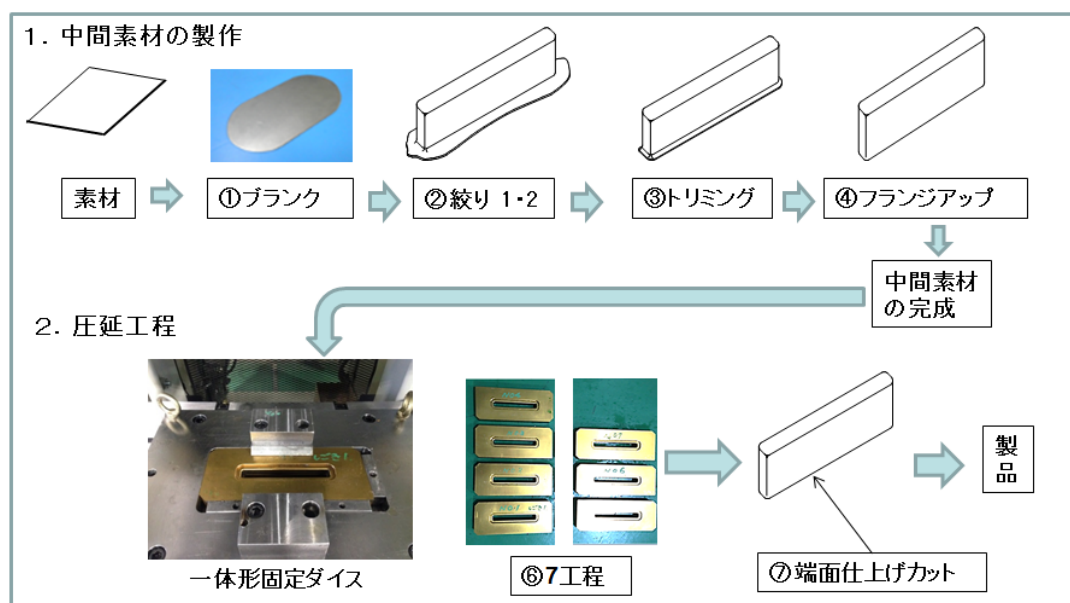


	狙い値	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
板厚 (mm)	0.2	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20	0.19	0.19	0.20	0.18	0.17
横幅 (mm)	120	119.7											
縦幅 (mm)	12	11.19											
高さ (mm)	90 以上	94.5											
硬さ (HV)	400 以下	281~395											



完成した最終製品の外観写真

■想定している量産工程



2-3 事業化への対応

2-3-1 川下自動車産業への提案及び新たな要望に対する対応

平成 28 年度マッチング展示会で入手した板厚 0.2 mm の製品を開発するため、高度化圧延金型をさらに改良した「一体固定ダイス金型方式」設備を開発し、試作を行った。その結果、市場の要求する板厚 0.2 mm の電池ケースが完成した。

(1) 補助事業の成果に係る事業化展開について

マーケット状況

- ・乗用車用リチウムイオン電池の需要は将来的に増加することが予測されている。
- ・川下製造業者である自動車産業から、高強度・高耐熱性を有する次世代自動車用リチウムイオン電池ケースの登場が強く求められている。
- ・この傾向はこれからも続くものと思われるため、今後も引き続き業界動向を注視する。

(2) 川下製造業者へ提案及び新たな要望に対応

1) 川下製造業者へ提案準備

開発するステンレス鋼製電池ケースが目標通りの性能及び強度を満足し、価格競争力のある製品であることを自動車メーカーに提案準備をする。

2) 川下製造業者へ提案及び新たな要望に対応

社内評価に加えて、自動車メーカーからの評価を受け、受注獲得を目指す。評価を受けるにあたっては、新たにサンプル品を製造することを想定している。川下製造業者の評価結果から、更なる高度化の要望が入ったときには、それに対応した製品作りを行う。

(3) 研究開発成果の効果

次世代自動車の普及に向けては、高エネルギー効率なリチウムイオン電池への期待が高い。しかし、現状のアルミニウム製電池ケースでは、素材特性を起因とする「強度・耐熱性」の点で安全性が懸念される。本事業は、高強度・高耐熱性素材であるステンレス鋼で代替可能とする取組みであり、これを超薄肉化することで、従来製品と同重量での製品化を可能にする。次世代自動車用電池ケースだけでなく、高強度・耐熱性を必要とする箱型製品を生産可能な技術であり、本加工技術の用途は広い。

(4) 新たな事業展開の可能性

本加工技術の特性は、次世代自動車の電池ケース以外の「建設機械産業」「介護福祉機器産業」等、電動化が進展する他産業分野の蓄電池への展開も期待される。



<ハイブリッドトラック>



<ハイブリッド建設機械>



<電動車椅子等、介護機器>

(5) 補助事業の成果に係る知的財産を下記に示す。

「矩形容器の端末カット設備」 特許出願済み		
特許出願内容	弊社子会社(株)クニテックが有する特許(円筒パイプ用切断装置)技術を角パイプ用に改良し電池ケースの端末切断を可能にする。	
	出願日平成28年2月3日 出願番号：特願2016-018541 発明の名称：中空部材の切断装置及び切断方法 特許出願人：国本工業株式会社	

第3章 全体総括

自動車産業が期待する次世代自動車用リチウムイオン電池の普及に向け、航空機並みの高安全性電池ケースへの期待が強い。航空機では強度・耐熱性に優れたステンレス鋼材が用いられているが、ステンレス鋼材は難加工材であり、自動車が要求する寸法・形状は難しい。本研究開発は、流通中のアルミニウム材の深絞り加工の繰り返しで製造される電池ケースを、弊社の子会社が持つ特許技術を用いて事業化するものである。当初目標としていたアルミ製品と同じ形状の板厚0.3mm 12×120×90mmの製品を完成させた。然しながら、その後の市場の要求に基づき、板厚を0.2mmとし、重量でアルミ製と同等のリチウムイオン電池ケースを開発した。このように高度な技術開発に成功したのは、大手自動車メーカーOBと塑性加工の専門技術・解析技術に長じた静岡大学の関係者及び事業管理機関の浜松地域イノベーション推進機構、および弊社のすべてが一つの目標に向かって精力的に活動した結果であり、関係した皆様に深く感謝しています。

本事業により開発された電池ケースは、車の商品価値を左右する重要機能部品に該当するため、あらゆる性能試験、環境試験、耐久試験、安全試験、最終的には大規模な市場テストが実施される。また、川下自動車メーカー、及び電池メーカーの評価結果に左右されるため、量産に採用が決まるまでには早くても、5～6年が必要と考える。