

平成 24 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「LED 電球の低コスト化に寄与するプレス加工技術の開発」

研 究 開 発 成 果 等 報 告 書

平成 25 年 2 月

委託者 関東経済産業局

委託先 特定非営利活動法人 北関東産官学研究会

目 次

第 1 章 研究開発概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 実施計画の細目

1) 研究の背景

これまで、LED 産業では、老舗メーカーがクロスライセンスを結んでいること、および一部の老舗メーカーが新興メーカーに LED 関連の特許技術をライセンス供与していることが原因で、中国・台湾・韓国勢の技術水準が向上した。「出願から 20 年」という LED の基本特許の有効期間が切れる 2010 年の前半、新興勢力の勢いを止めるのが難しい状況になっている。また、顧客ニーズへ迅速に対応するためグローバル化に伴うコスト競争は極めて厳しく、さらなるコスト低減が要求されている。

2) 研究目的及び目標

本研究開発の目的は、LED の製品及び生産システムのイノベーションによる低コスト化・長寿命化の実現である。

①LED 電球ヒートシンクのプレス加工技術を確立し、生産性の向上を目的とする。

目標 端面平坦度を現状の 10 分の 1 に抑制し、製品重量を現状の 10 分の 1 に軽減する。

②LED 素子の反射板一体リードフレームのプレス加工技術を確立し、生産性の向上を目的とする。

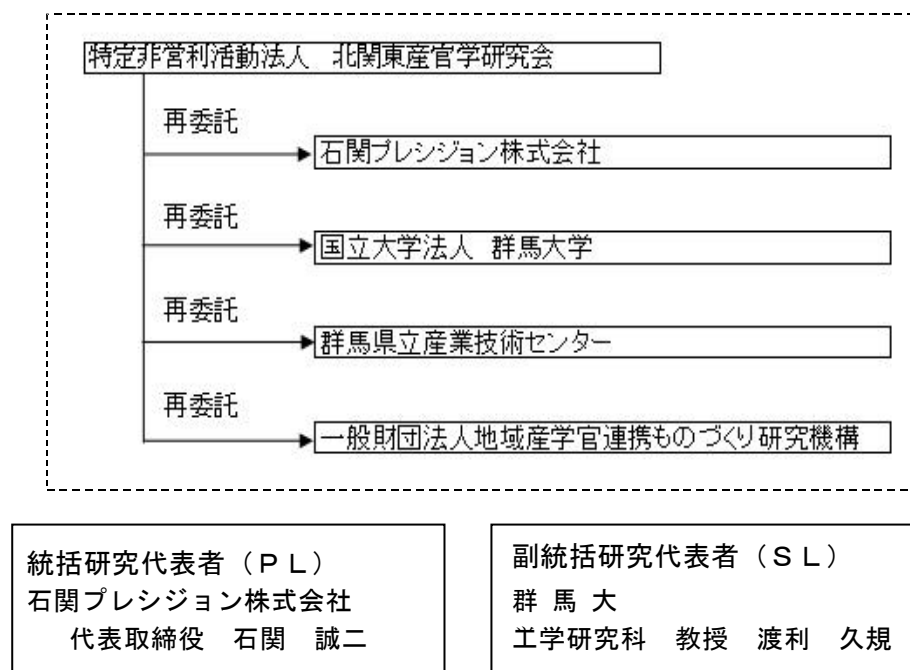
目標 リフレクタ部の上方向からの曲がりを現状の 3° から 0.1° に抑制する。

目標 生産速度を現状の毎分 50 個から毎分 600 個以上へ向上する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

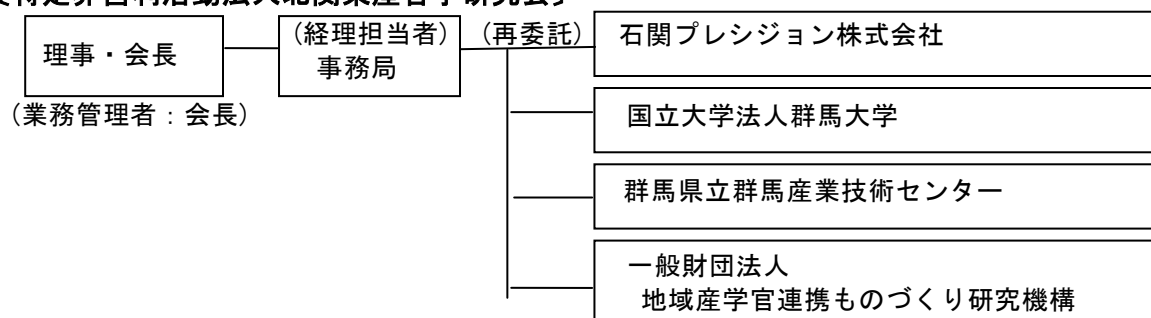
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

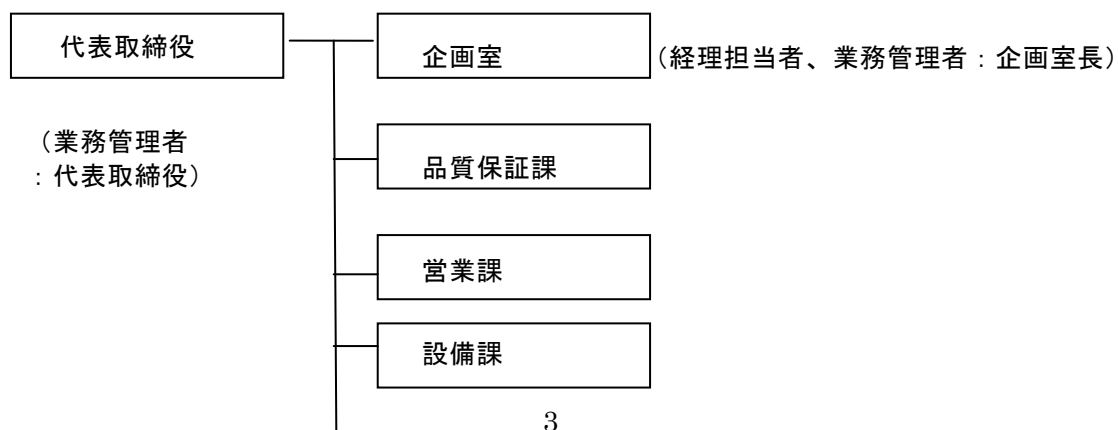
①事業管理機関

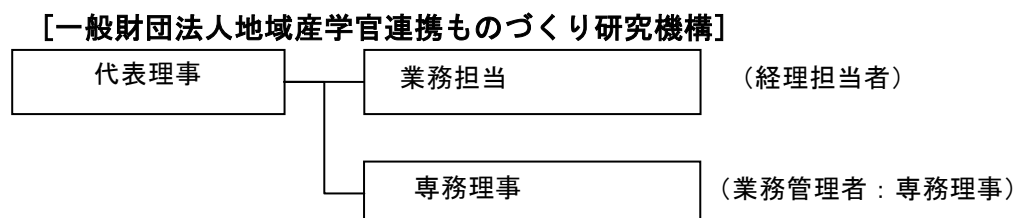
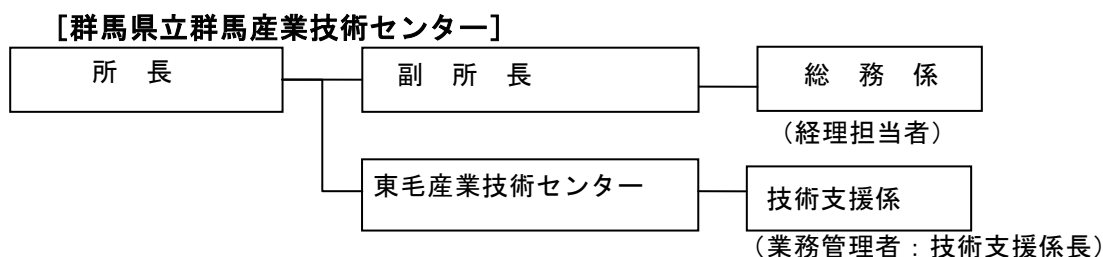
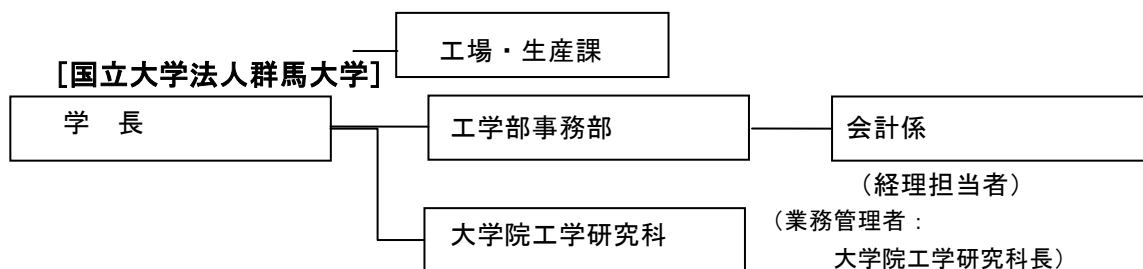
〔特定非営利活動法人北関東産官学研究会〕



② 再委託先

〔石関プレシジョン株式会社〕





所在地

① 事業管理機関

特定非営利活動法人北関東産官学研究会 （最寄り駅：JR 両毛線・桐生駅）
〒376-0025 群馬県桐生市織姫町 2 番 5 号（財）桐生地域地場産業振興センター 4 階

② 研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記。）

石関プレシジョン株式会社（最寄り駅：JR 上越線 群馬総社駅）
〒370-3107 群馬県高崎市箕郷町矢原 2177-1

国立大学法人群馬大学工学部（最寄り駅：東武伊勢崎線 太田駅）
〒373-055 群馬県太田市本町 29-1

群馬県立産業技術センター（東毛産業技術センター）（最寄り駅：東武伊勢崎線 太田駅）
〒373-0019 群馬県太田市吉沢町 1058-5

一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構（最寄り駅：東武伊勢崎線 太田駅）
〒373-055 群馬県太田市本町 29-1

（2）管理員及び研究員

【事業管理機関】※管理員のみ

特定非営利活動法人 北関東産官学研究会

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
萩原 三男	事務局	②

【再委託先】※研究員のみ

石関プレシジョン株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
石関 誠二	代表取締役	①1-1、1-4、1-5、1-6
石関 成彦	取締役・企画室室長	①1-1、1-4、1-5、1-6
石田 富美男	生産課・工場長	①1-1、1-4、1-5、1-6
黒木 貴志	設備課・課長	①1-1、1-4、1-5、1-6

国立大学法人群馬大学工学部

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
渡利 久規	大学院工学研究科 教授	①1-1、1-2、1-3、1-6

群馬県立産業技術センター（東毛産業技術センター）

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
小谷 雄二	技術支援係 独立研究員	①1-1、1-2、1-3、1-6
薄波 圭司	技術支援係 主任	①1-1、1-2、1-3、1-6

一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
久米原 宏之	常務理事	① 1-5

（３）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理機関）

特定非営利活動法人 北関東産官学研究会

（経理担当者）	事務局	萩原 三男
（業務管理者）	会長	根津 紀久雄

（再委託先）

石関プレシジョン株式会社

（経理担当者）	企画室 室長	石関 成彦
（業務管理者）	代表取締役	石関 誠二
	企画室 室長	石関 成彦

国立大学法人群馬大学工学部

（経理担当者）	事務部会計係長	宮路 昌浩
（業務管理者）	大学院工学研究科長	板橋 英之

群馬県立産業技術センター（東毛産業技術センター）

（経理担当者）	総務係	森本 寛枝
（業務管理者）	技術支援係長	竹内 哲郎

一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構

（経理担当者）	事務局次長	佐藤 豊
（業務管理者）	専務理事	甲本 忠史

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
石関 誠二	石関プレシジョン株式会社 代表取締役	PL
石関 成彦	石関プレシジョン株式会社 企画室室長	
渡利 久規	国立大学法人群馬大学工学部 大学院工学研究科 教授	SL
小谷 雄二	群馬県立群馬産業技術センター (東毛産業技術センター)独立研究員	
久米原 宏之	一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構 常務理事	
五味 伸之	独立行政法人国立高等専門学校機構 福井工業高等専門学校 助教	アドバイザー

(5) 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望する。

(6) その他

なし

1-3 成果概要

(1) 成果概要

【1】 LED 電球ヒートシンクのプレス加工技術の構築

成形シミュレーション技術・品質工学の手法を取り入れ「LED ランプヒートシンク」を低コストでプレス成形する製造方法を確立する。

【1-1】 製品形状検討（ヒートシンクに要求される形状の検討-製品図面作成）

（実施：石関プレシジョン株式会社）

【1-2】 材料の引張強度試験（応力、歪等加工条件の算出やシミュレーションで使用するための基礎データ収集）

（実施：国立大学法人群馬大学、群馬県立群馬産業技術センター、一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構）

【1-3】 ヒートシンクのプレス成形シミュレーション

（【1-2】の結果から加工限界を予測し、折り曲げ部の割れ発生の可能性について検討）

（実施：国立大学法人群馬大学、群馬県立群馬産業技術センター、一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構）

【1-4】 金型部品加工、組立

（実施：石関プレシジョン株式会社）

【1-5】 工程検討 品質工学に基づく実験計画

（実施：国立大学法人群馬大学、群馬県立群馬産業技術センター、一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構）

【1-6】 ヒートシンク製作工法検討

（実施：石関プレシジョン株式会社）

【2】 LED 用反射板一体リードフレームの多列絞りプレス加工技術（フルカラー）を下記の通り完成した。

【2-1】 金型の検討及び開発設計・製作・トライ

（実施：石関プレシジョン株式会社）

・製品形状及び製作工法検討

（反射板一体リードフレームに要求される、形状及び製作工法の検討）

・金型設計

・金型製作

・成形トライ

【2-2】 強度試験及びシミュレーション

（実施：国立大学法人群馬大学、群馬県立群馬産業技術センター、一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構）

・材料の引張強度試験

（応力及び歪等、加工条件算出やシミュレーションで使用する基礎データ収集）

・リードフレームのプレス成形シミュレーション

（上記試験結果から加工限界を予測し、折り曲げ部の割れ発生の可能性について検討）

【3】LED 用反射板一体リードフレームの多列絞りプレス加工技術（単色）を下記の通り完成した。

【3-1】金型の検討及び開発設計・製作・トライ

（実施：石関プレシジョン株式会社）

- ・製品形状及び製作工法検討
（反射板一体リードフレームに要求される形状及び製作工法検討）
- ・金型設計
- ・金型製作
- ・成形トライ

【3-2】強度試験及びシミュレーション

（実施：国立大学法人群馬大学、群馬県立群馬産業技術センター、一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構）

- ・材料の引張強度試験
（応力及び歪等、加工条件算出やシミュレーションで使用する基礎データ収集）
- ・リードフレームのプレス成形シミュレーション
（上記試験結果から加工限界を予測し、折り曲げ部の割れ発生の可能性について検討）

実施体制：石関プレシジョン株式会社（【1-1】、【2-1】）

地域産学官連携ものづくり研究機構（【1-2】、【2-2】）

群馬大学及び群馬県立群馬産業技術センター（【1-2】、【2-2】）

（2）委託期間

契約締結日から平成 25 年 3 月 31 日まで

実 施 内 容	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
【1】LED 電球ヒートシンクのプレス加工技術の構築							←					→
【2】プロジェクトの管理・運営							←					→
研究開発推進委員会 報告書作成						○		○		○	○	↔

契約締結日から平成 24 年 3 月 31 日まで

実 施 内 容	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
【1】LED 電球ヒートシンクのプレス加工技術の構築	←											→
【2】プロジェクトの管理・運営	←											→
研究開発推進委員会 報告書作成						○		○		○	○	↔

契約締結日から平成 25 年 3 月 31 日まで

実 施 内 容	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
【3】LED 用反射板一体リードフレームの多列絞りプレス加工技術の構築（フルカラー） ① -1 金型検討～トライ ①-2 強度試験、シミュレーション												
【LED 用反射板一体リードフレームの多列絞りプレス加工技術の構築（単色） ②-1 金型検討～トライ ②-2 強度試験、シミュレーション												
③プロジェクトの管理・運営 研究開発推進委員会 報告書作成												

1-4 当該プロジェクトの連絡窓口

特定非営利活動法人北関東産官学研究会 （最寄り駅：JR 両毛線・桐生駅）

〒376-0025 群馬県桐生市織姫町 2 番 5 号（財）桐生地域地場産業振興センター 4 階

担当：萩原 三男 TEL 0277-46-1061 E-mail hagiwara@hikalo.jp

第2章 LED電球ヒートシンク及びLED用反射板一体リードフレームの多列 絞りプレス加工技術の構築

結果1 LED電球ヒートシンクのプレス加工技術の構築

結果1-1. 製品形状検討（ヒートシンクに要求される形状の検討-製品図面作成）

最初にヒートシンク（従来ダイカスト品）を参考に、提案するヒートシンク金型の検討、開発設計を行った。ヒートシンク（従来ダイカスト品）を図1-1に示す。



図1-1 ヒートシンク（従来ダイカスト品）

提案する製品（H1000-1）の形状検討を行った。提案する製品（H1000-1）の形状を図1-2に示す。

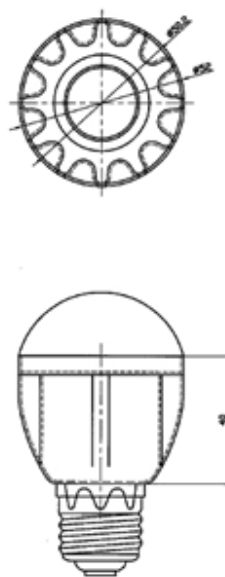


図1-2 提案する製品1-2（H1000-1）の形状

結果 1-2. 材料の引張強度試験

シミュレーションにてプレス成形を実現するための基礎的な材料物性値を取得することを目的として、強度試験を行った。

ヒートシンクの材料としての想定しているアルミ合金（AL-1050 および AL-5052、板厚 0.8mm）について、JIS Z2201 5号試験片を製作し、万能材料試験機（インストロン製 5582 型+ビデオ伸び計 SVE）を用いて、上記の試験片を用いて引張試験を行った。



図 1-3 万能材料試験機

AL-1050 および AL-5052 の試験片を各 3 本ずつ、15mm/分の速度で破断するまで引張試験を行った。

表 1-1 材料物性値（AL-1050）

	0.2%耐力 [MPa]	引張強さ [MPa]	破断伸 び [%]
試験片 1	119	128	11
試験片 2	121	128	13
試験片 3	122	128	11
平均	121	128	12

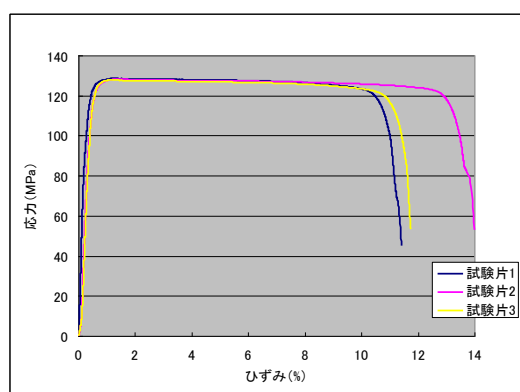


図 1-4 応力-ひずみ線図（AL-1050）

- ・0.2%耐力のひずみ～最大試験力のひずみ の間隔が非常に小さいので、n 値は測定困難だった。

- ・0.2%耐力のひずみ～最大試験力のひずみ の間隔が非常に小さいので、r 値は測定不可能だった。
- ・0.2%耐力のひずみ～最大試験力のひずみ の間隔がやや小さいので、r 値は測定困難だった。

結果 1-3. ヒートシンクのプレス成形シミュレーション（【1-2】の結果から加工限界を予測し、折り曲げ部の割れ発生の可能性について検討）

最初に成形実験および試作品開発を行う予定の AL-1050 について、プレス成形シミュレーションを行った。

解析条件）使用ソフトウェア JSTAMP

材料：AL-1050

被加工材メッシュサイズ：1mm

要素：四面体シェル要素。ただし、被加工材の端部においては一部三角形の要素。

解法：低減積分（積分点：3 層）

工具メッシュ：最大要素辺長 10 mm、最小要素辺長 0.1 mm。

金型クリアランス：板厚+5%

しわ抑え力：6000N

摩擦係数：0.15

工程数が及ぼす影響）

金型による影響を調べるため、1 工程目から順番に 5 工程目までおこなったものを条件 1、1 工程目の次に 2, 3, 4 工程目を省略し 5 工程の金型を用いた場合を条件 2 とした。

各工程のパンチの概略図を図 1-5 に示す。

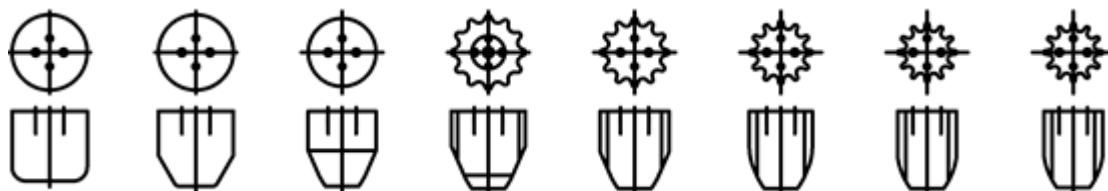


図 1-5 工程図

解析結果ならびに考察

測定項目として、減肉率、最大主応力、フォンミーゼス相当応力、相当塑性ひずみおよび Z 方向の位置について調べた。減肉率、最大主応力、フォンミーゼス相当応力、相当塑性ひずみは、板の中心における値を、Z 方向の値については要素の座標値により求めた。

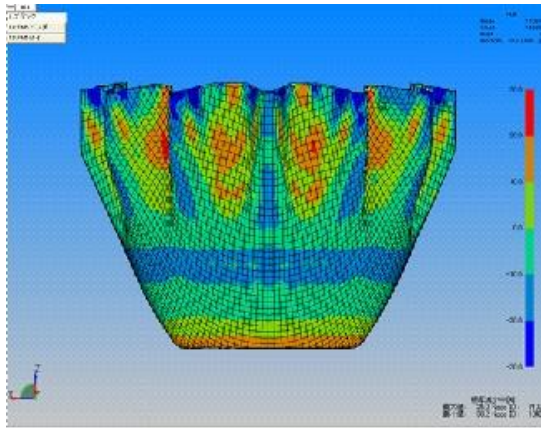


図 1-6

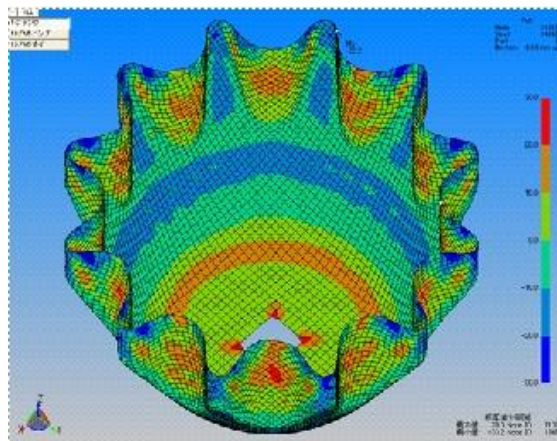


図 1-7

減肉率は、条件 2 に比べ条件 1 による工程数を多くすることにより、減肉が抑えていることがわかった。また、条件 2 では、底部に円周状に減肉が発生していることがわかる。これは、絞り破断の危険性が高いことが予想される。また、加工後の z 座標の値をもとめると、条件 2 に比べ、条件 1 のほうが低くなっている。これは、工程数を多くすることで、底部への増肉を促していることと考えられる。また、条件 2 では、縁の高さが不揃いであることがわかった。

結果 1-4. 金型部品加工、組立（研究用順送型 H1000-1 を製作）

提案する製品形状 1、提案する製品形状（H 1 0 0 0 - 1）の金型設計を行った。

提案する製品 1-1（H 1 0 0 0 - 1）の金型設計、金型部品加工、組立を行った。

結果 1-5. 工程検討 品質工学に基づく実験計画

提案する製品 2（H 1 0 0 0 - 1）の工程検討、実験計画を行った。

結果 1-6. プレス成形法の検討と成形トライ

- ・ 提案する製品について

提案する製品の成形結果（製品）を図 1-8 に、測定結果を図 1-9 に、成形精度を図 1-10 に示す。



図 1-8 提案する製品 1-2 (H1000-1) の成形結果 (製品)

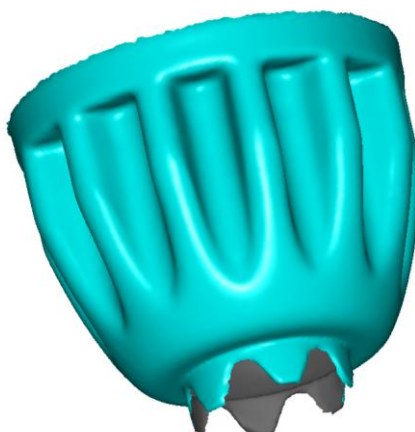


図 1-9 提案する製品 1-2 (H1000-1) の成形結果

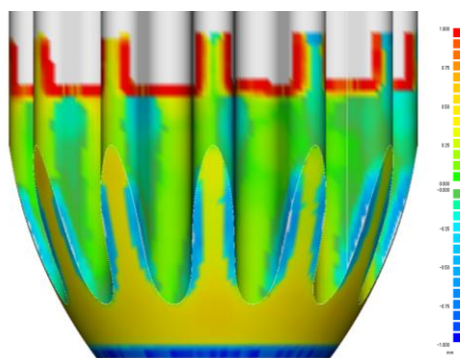


図 1-10 提案する製品 1-2 (H1000-1) の成形精度

図 1-10 の提案する製品 1-2 (H1000-1) の成形精度は 測定結果と同様に、右のカラーバーが $\pm 1\text{mm}$ であることから、ほぼ $\pm 0.5\text{mm}$ 以内で成形できていることがわかる。

また 1 ピース品の端面に平面を当てはめた図を図 1-11 に、その平面とのずれを図 1-12 に示す。

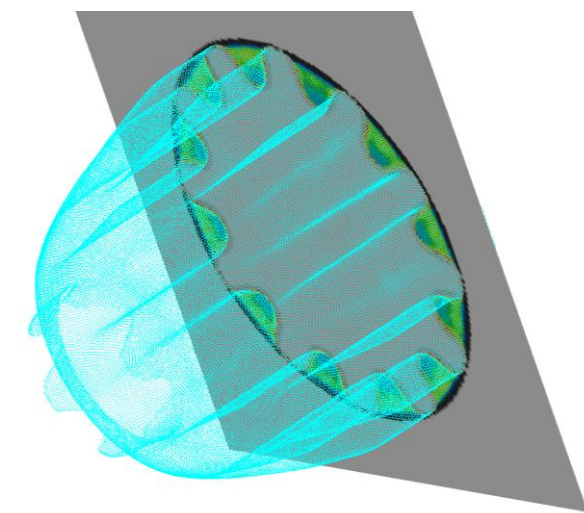


図 1-11 提案する製品 1-2 (H1000-1) の理想平面

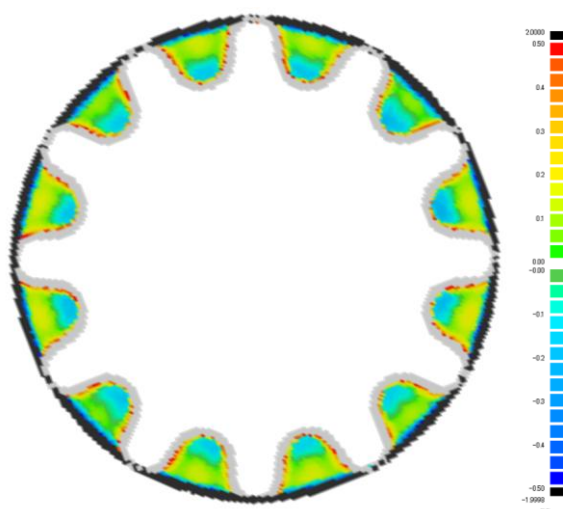


図 1-12 提案する製品 1-2 (H1000-1) の平面度測定結果

図 1-12 の提案する製品 1-2 (H1000-1) の平面度は、右のカラーバーが±0.5mm であり、±0.5mm 以内で成形できていることがわかる。

結果 2 LED 用反射板一体リードフレームの多列絞りプレス加工技術（フルカラー）の構築

結果 2-1. 金型の検討及び開発設計・製作・トライ

- ・ 製品形状及び製作用法検討

（反射板一体リードフレームに要求される、形状及び製作用法の検討）

提案する製品（フルカラー反射板一体リードフレーム）の形状及び製作用法の検討をおこなった。

- ・ 金型設計

提案する製品（フルカラー反射板一体リードフレーム）の金型設計をおこなった。

- ・ 金型製作

旋削条件実験装置、表面粗さ条件実験装置を使用し、提案する製品（フルカラー反射板一体リードフレーム）の金型製作をおこなった。旋削条件実験装置を図 2-1 に示す。表面粗さ条件実験装置を図 2-2 に示す。



図 2-1 旋削条件実験装置



図 2-2 表面粗さ条件実験装置

- ・ 成形トライ

高速プレスを使用し、提案する製品（フルカラー反射板一体リードフレーム）の毎分 300 個の成形トライをおこない、ねじれなしの成形を実現したことが確認できた。使用した画像測定器を図 2-3 に示す。

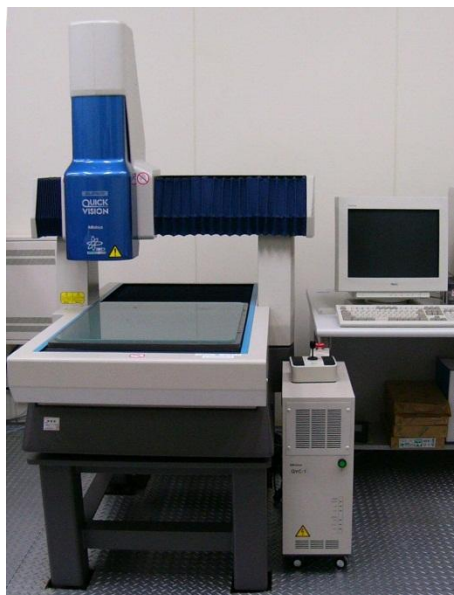


図 2-3 画像測定機

結果 1-2. 強度試験及びシミュレーション

・ 材料の引張強度試験

シミュレーションにてプレス成形を実現するための基礎的な材料物性値を取得することを目的として、強度試験を行った。

反射面形成リードフレームと同材料（C5191-1/2H、板厚 0.15mm）で、JIS Z2201 5号試験片を下記3種類の方向で作製した。

- ・ 0° 試験片（板の圧延方向に対し平行に採取）
- ・ 45° 試験片（板の圧延方向に対し 45° 方向に採取）
- ・ 90° 試験片（板の圧延方向に対し 90° 方向に採取）

万能材料試験機（インストロン製 5582 型+ビデオ伸び計 SVE、図 1-12）を用いて、上記の試験片を引っ張った。破断試験とヤング率の測定は別個に実施し、ヤング率の測定はひずみゲージを使用して弾性域の挙動を取得した。

2-2-1. 破断試験

0° 試験片、45° 試験片、90° 試験片を各 3 本ずつ、5mm/分の速度で破断するまで引張試験を行った。0°、45°、90° で材料物性値や応力-ひずみ線図の曲線が異なり、材料の異方性が確認できた。

表 2-1 材料物性値（0° 試験片）

	0.2%耐力 [MPa]	引張強さ [MPa]	破断伸び [%]	n 値
0° No. 1	513	546	31	0.09
0° No. 2	516	552	27	0.09
0° No. 3	518	551	25	0.09
0° 平均	516	550	27	0.09

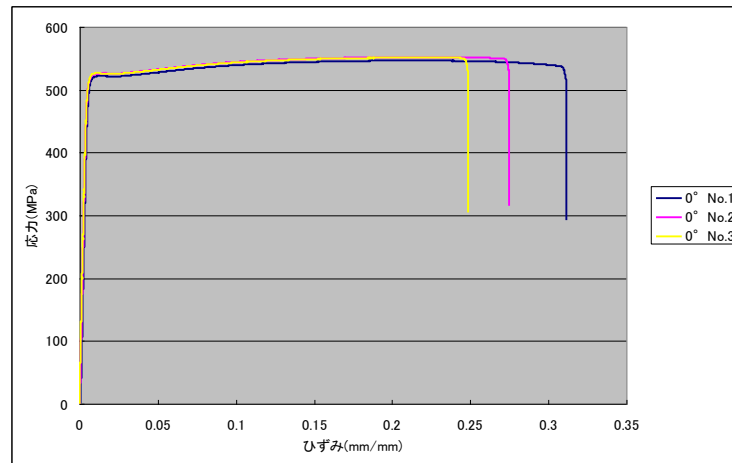


図 2-4 応力－ひずみ線図（0° 試験片）

表 2-2 材料物性値（45° 試験片）

	0.2%耐力 [MPa]	引張強さ [MPa]	破断伸び [%]	n 値
45° No. 1	490	535	26	0.06
45° No. 2	494	537	24	0.06
45° No. 3	495	538	25	0.06
45° 平均	493	537	25	0.06

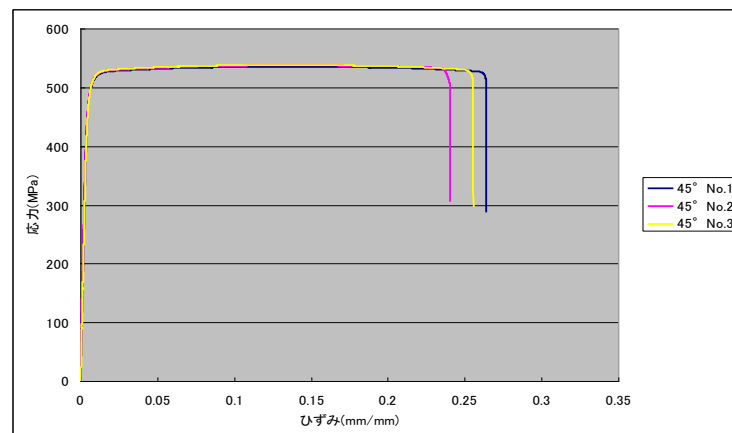


図 2-5 応力－ひずみ線図（45° 試験片）

表 2-3 材料物性値 (90° 試験片)

	0.2%耐力 [MPa]	引張強さ [MPa]	破断伸び [%]	n 値
90° No. 1	497	548	23	0.06
90° No. 2	497	554	26	0.06
90° No. 3	506	555	23	0.05
90° 平均	500	552	24	0.06

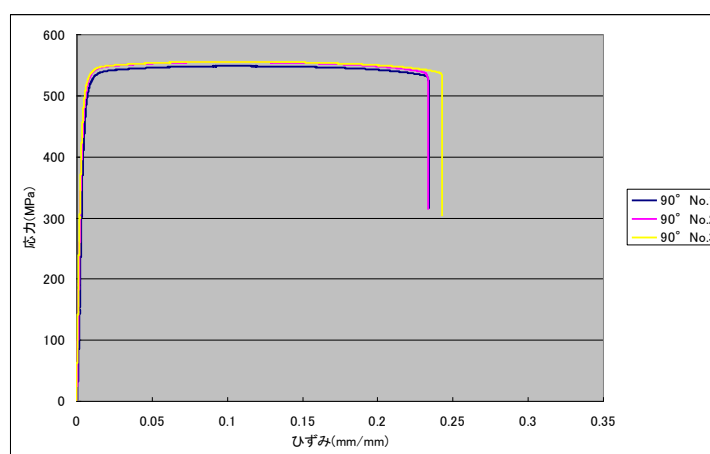


図 2-6 応力-ひずみ線図 (90° 試験片)

2-2-2. ヤング率の測定

0° 試験片を 5mm/分の速度で 5 本引っ張り、ひずみゲージを使用して試験片の引張方向のひずみを取得した。図 2-7 のグラフの傾きからヤング率を算出した。

表 1-4 ヤング率 [GPa]

試験 1	試験 2	試験 3	試験 4	試験 5	平均
122	123	120	120	119	121

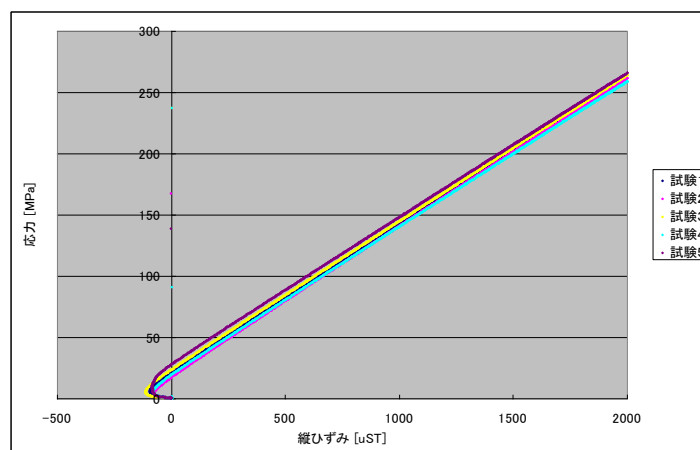


図 2-7 応力-ひずみ線図 (ひずみゲージ使用)

- ・ リードフレームのプレス成形シミュレーション
(解析による各因子の精度への影響)

プレス成形シミュレーションによりプレス成形精度に関わる各因子がプレス成形結果にどの程度影響を及ぼすかを品質工学の手法を用いて調査・検討した。プレス成形精度に関わる各因子を品質工学手法のL4直交表に割り当て各条件のシミュレーションを行った。

各シミュレーション結果より、理想形状に最も近い形状を評価するために、各点間の距離を求め、理想形状の各点間との距離と比較し、SN比を算出した。

下死点での停止あり、二度押しあり、パンチ角度 45 度が最もよい条件であり、なおかつ、精度に係わる効果としては、二度押しが最も高く、次いで下死点での停止、最後にパンチの角度という順であることがわかる。

最悪条件では中央の平面部が斜めになり、なおかつ深さ方向に曲がっている部分が丸くなってしまっていることがわかる。

また、SN比の要因効果図より、最悪条件である現在の加工条件を最適条件に改善した場合 30 dB 以上の効果が得られることが示された。このことから、実際にサーボプレスを使用し加工法の改善を行うことにより、金型に対する形状精度の誤差が 10 分の 1 以下になることが予想される。これにより、金型形状と共に、サーボプレスの特性を活かしたスライドモーションによる成形加工が形状精度に有効であることが示され、最適な加工条件を決定することが出来た。

これをもとに生産効率等も考慮に入れて反射面形成リードフレームの成形加工条件を決定した。

○考察と結論

- ・ フルカラー反射板一体リードフレームの毎分 300 個以上の成形トライをおこなった。
- ・ ねじれなしの成形を実現したことが確認した。

結果 3 LED 用反射板一体リードフレームの多列絞りプレス加工技術（単色）の構築

結果 3-1. 金型の検討及び開発設計・製作・トライ

- ・製品形状及び製法検討

（反射板一体リードフレームに要求される、形状及び製法の検討）

提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の形状及び製法の検討をおこなった。提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の形状及び製法を図 3-1 に示す。

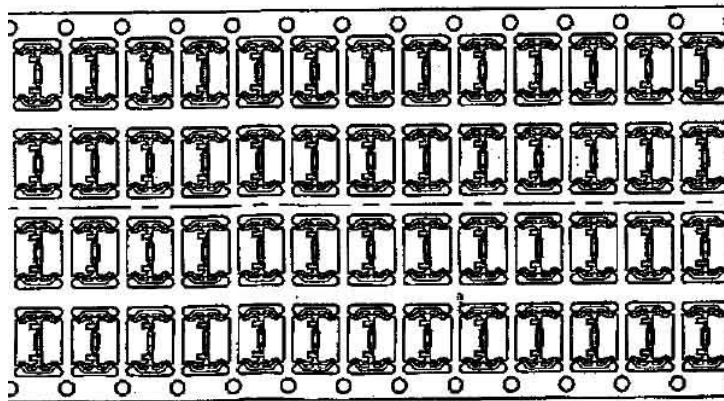


図 3-1 単色反射板一体リードフレームの形状及び製法

- ・金型設計

提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の金型設計をおこなった。

- ・金型製作

旋削条件実験装置（図 2-1）、表面粗さ条件実験装置（図 2-2）を使用し、提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の金型製作をおこなった。

- ・成形トライ

サーボプレスを使用し、提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の毎分 150 個成形する成形トライをおこない、画像測定機を使用し、ねじれなしの成形を実現したことが確認できた。使用したサーボプレスを図 3-6 に示す。提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の成形品を図 3-7 に示す。使用した画像測定機を図 3-8 に示す。測定結果を図 3-7 に示す。図 3-9 により、ねじれを起こすことなく成形が実現できたことがわかる。

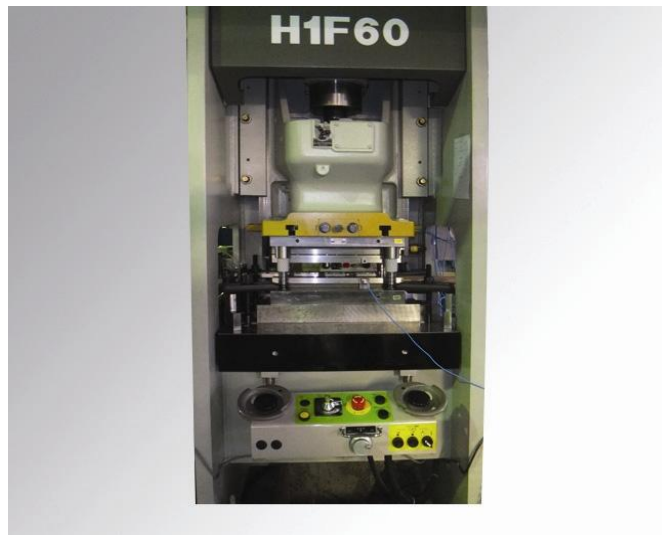


図 3-2 使用したサーボプレス



図 3-3 提案する製品（単色反射板一体リードフレーム）の成形品

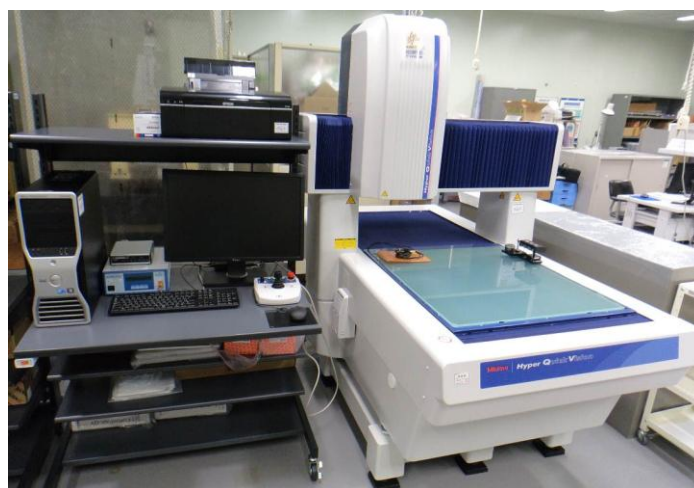


図 3-4 画像測定機

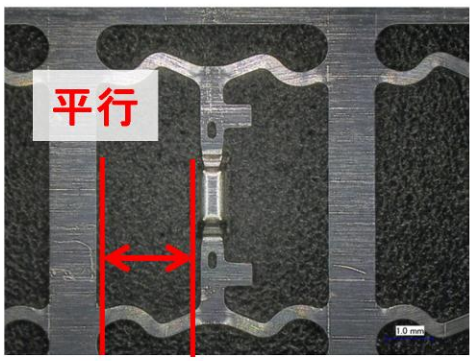
	最適条件
上からの図	

図 3-5 測定結果

結果 3-2. 強度試験及びシミュレーション

・ 材料の引張強度試験

単色反射板一体リードフレームに用いる材料は、結果 2-2 で記載したフルカラー反射板一体リードフレームの材料と同等品であるため、結果 2-2 で記載した応力-ひずみ線図および各種材料物性値をプレス成形シミュレーションにて利用することとした。

・ リードフレームのプレス成形シミュレーション

単色反射板一体リードフレームは、LED素子が入るカップ形状部分を曲げ加工で成形している。そのため、す四隅の部分が両側からの曲げによるひずみで板厚増加やゆがみが起こる現象が発生した。

本曲げ加工は、最小の曲げ半径 R と板厚さ $t=0.012\text{mm}$ の比をとると、 $R/t=0.026/0.0120=2.17$ であり、 R/t の値が、2 以下となるような厳しい曲げ加工であることがわかる。このため、このような厳しい曲げ部の干渉によって板厚増加やゆがみが発生していると考えられる。

そこで、 R/t の値が小さな厳しい曲げ加工に対して、適切な成形を行うための条件を求め、上記の板厚増加やゆがみを解消するための解析条件の検討を行った。

コーナー部は二方向の曲げ部が干渉するため、この増肉部分は形状不良を引起こす原因となり、先に記したように両方向からの曲げにより角の部分に増肉した材料の集中によって板厚増加やゆがみが発生する。コーナー部の材料の集中を防ぐためにコーナー部に切り欠きを設けた新しいブランク形状を提案し、これにより材料の寄りを防ぐことができるか検討した。

元の材料の板厚 0.120mm に対して成形後の板厚は 0.125mm と 4.2% 板厚が増加している。板厚の増肉率は、見かけ上それほど大きくないが、コーナー部は二方向の曲げ部が干渉するため、この増肉部分は形状不良を引起こす原因となり、先に記したように両方向からの曲げにより角の部分に増肉した材料の集中によって板厚増加やゆがみが発生する。コーナー部の材料の集中を防ぐためにコーナー部に切り欠きを設けた新しいブランク形状を提案し、これにより材料の寄りを防ぐことができるかについて検

討したところ、提案したブランク形状を用いた成形シミュレーションでは、元の板厚 0.120mm に対して成形後の板厚は 0.109mm となり、むしろ減肉側に大きく変化していることが確認できた。 R/t の値が、2 程度の厳しい曲げ加工では、二方向からの曲げが干渉し、曲げが集中する箇所での過大な増肉が問題になるが、シミュレーションを使用することによって、新田に提案したブランク形状での成形で、板厚増加やゆがみによる不良が発生しないことを予測することができる。

本成形における曲げ部は最小曲げ半径が $R=0.026\text{mm}$ であり、最小の曲げ半径 R と板厚 $t=0.012\text{mm}$ の比をとると、 $R/t=0.026/0.012=2.17$ であり、 R/t の値が、2 程度の厳しい曲げ加工である。このため、このような厳しい曲げ部の干渉によって板厚増加やゆがみが発生していると考えられる。通常、板の曲げ成形においては一般的には、 R/t の値が 5 以上であれば、板の曲げにおける中立軸の位置は板厚方向の中央部となる。しかしながら、本成形においては、通常のブランク剤のままで曲げ加工を行った場合は、二方向の曲げ部の干渉によって形状不良が発生する。そこで新たに提案したように、曲げコーナー部に切り欠きを設けることによって R/t の値が 2 以下になっても、板厚方向に圧縮力をかけて、曲げ部の底部にむかって押し付けをするような加工を行えば、精度の良い加工が可能であることが確認できる。

曲げ加工部の拡大図では、2 つの方向の曲げ部が干渉する位置においては、曲げの内側で 358MPa の引張、外側で 165MPa の引張となっていて、曲げの外側も内側も曲げの底部は全てほぼ圧縮状態である。すなわち、底部の曲げは行われおらず板厚方向にすべて圧縮状態である。また、外側の壁部は引張、内側の壁部は圧縮状態である。一方、図 3-21 に示す、曲げ加工部の拡大図では、2 つの方向の曲げ部が干渉する位置においては、曲げの内側で 623MPa の引張、外側で 678MPa の引張となっているが、曲げの外側も内側も曲げの底部は内側が圧縮、外側が引張状態であり、底部の曲げが達成されていることを示している、このとき、また、外側の壁部はどちらも圧縮状態であり、壁部は底部に向かって全て圧縮状態の応力が伝達され、結果として底部の曲げ部までこの応力が伝わった結果、干渉する曲げ部の形状欠陥が解消されたものと考察される。

以上のように、シミュレーションによる解析技術を用いて、新たに形状欠陥の発生しないブランク形状を提案し、その改良された提案したブランク形状を利用することにより、ゆがみ等のない成形を実現することができた。

○考察と結論

- ・単色反射板一体リードフレームの毎分 150 個以上の成形トライをおこなった。
- ・ねじれなしの成形を実現したことが確認した。

第 3 章 全体総括

以上の結論より、本研究は概ね達成でき、量産化の可能性を見せた。平成 22～23 年度の結論も踏まえ、開発に対し取引先の意見を取り上げているが、今後の研究に対しても、さらなる協議を行っていく予定である。現況の研究をおこなった本製品は、LED 電球の部品に今後多大な需要が見込まれる。また、残された課題を研究し、早期の実用化を目指す予定である。