

平成29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

「車載LEDヘッドランプ用ヒートシンクの工法転換を実現する

精密プレス鍛造複合加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 関東経済産業局

委託先 公益財団法人群馬県産業支援機構

目次

第1章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的及び目的	P 1
1.1.1 研究開発の背景	
1.1.2 研究目的	
1.1.3 研究目標	
1.2 研究体制	P 3
1.2.1 研究組織及び管理体制	
1.3 成果概要	P 4
1.3.1 プレス鍛造複合成形性限界値への対応	
1.3.2 自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品プレス成形技術の開発	
1.3.3 連続生産自動化技術の構築	
1.3.4 自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品としての機能検証	
1.4 当該プロジェクト連絡窓口	P 8

第2章 本論

2.1 プレス鍛造複合成形性限界値への対応	P 9
2.1.1 材料の機械的特性に関する把握	
2.1.2 成形シミュレーションプログラム開発	
2.1.3 実験結果対解析結果比較による解析手法の最適化	
2.2 自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品プレス成形技術の開発	P 16
2.2.1 「ヒートシンク」に関するプレス成型方法の検討	
2.2.2 ヒートシンク基本形状に対する成形限界の把握	
2.2.3 プレス成形実験による成形条件の検討	
2.3 連続生産自動化技術の構築	P 24
2.3.1 連続生産自動化に向けた搬送方法の検討	
2.3.2 プレス成形実験による生産性検証	
2.3.3 生産性に対する成形条件最適化	
2.4 自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品としての機能検証	P 34

第3章 全体総括

3.1 研究開発の成果	P 41
3.2 研究開発後の課題と事業展開	

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 研究開発の背景（これまでの取組等）

弊社（豊田技研㈱）は、創業当初より自動車用照明機器を構成するソケット部品を段階的に絞り成形を施す順送プレス加工（深絞り技術）にて量産化を実現する等、自動車用ランプ特有の難成形形状をプレス加工にて実現するノウハウを蓄積してきた。また、自動車用フォグラмпの反射板では、従来はダイキャスト鋳造で製造されていた製品を深絞り成形技術を活用してサーボプレス機械を活用したプレス加工にて製造する技術を確立している。

また、弊社（豊田技研㈱）では、自動車ヘッドランプ LED ヒートシンク製造の工法転換実現に向けたフィージビリティスタディ（事前検討）として、二輪ヘッドランプ向け LED 等への適用が想定される単純形状化されたヒートシンク部品をプレス鍛造複合加工にて成形する為の金型設計検討を塑性流動解析結果をもとに行い、すでに金型製作途中の段階にある。今後、新たに製作された金型を使用した成形加工実験結果等をもとに本事業を推進する。

1.1.2 研究目的

自動車ヘッドランプに使用される LED 用ヒートシンクは比較的寸法精度を出しやすく、複雑な形状でも大量生産が可能なダイカストにより製造されてきた。ダイカストは、アルミ合金→溶解→鋳造→切削加工という複数の製造工程を経るために生産性向上が難しく、熱エネルギーの消費が大きいことから、生産性が高く連続加工も可能なプレスへの工法転換が求められている。

最近では、プレス加工と冷間鍛造を複合した加工法（プレス鍛造複合加工）が、高精度で各部位の板厚が異なる部品への適用を中心に拡大し、加工コストの大幅な削減、高精度化が実現でき、地球環境にやさしい製造法としても注目されている。

しかし、この加工法は、通常のプレス加工と異なり、材料変形度の大きいプレス加工法であり、単純な絞り成形加工だけではなく、抜きとつぶし、曲げ、絞り等の複合加工を連続工程で多用することが要求されるため、金型や素材の弾性変形が生じたりすることにより、設計値通りの形状を得ることが難しいのが現状である。

成形シミュレーションは、実際の成形実験にて直接観察できない成形過程中的材料流動等を仮想的に可視化して、成形要因の解明が難しい成形現象メカニズムを明らかにして、従来の KKD（経験・勘・度胸）では金型修正による成形不具合対応が難しく金型造り直しが発生する等、金型設計より部品生産までの全工程で頻発する失敗の繰り返しのミニマム化が必要不可欠である。

さらに、振動モーションによる潤滑効果等の影響が成形限界を上昇させるとともに、成形中のスライドスピードを最適制御することにより成形可能領域の増大が期待され、従来のプレス加工では難しかった薄肉フィン形状が創成できると考えられる。成形品の寸法精度を制御する。

従来技術



(アルミダイキャストヒートシンク)

- ・ダイキャストは、比較的寸法精度を出しやすく、複雑な形状でも大量生産が可能である。
- ・しかしながら、アルミ合金→溶解→鑄造→切削加工という複数の製造工程を経るために生産性向上が難しく、熱エネルギー消費が伴う。
- ・ダイキャスト用アルミ材料ADC12は熱伝導率が悪い。

新技術



(精密鍛造ヒートシンク)

- ・プレス加工は、生産性が高く連続加工も可能。連続的な加工を自動化させやすい。
- ・プレス加工と冷間鍛造を複合した加工(プレス鍛造複合加工)が、高精度で各部位の板厚が異なる部品へ適用拡大している。
- ・A1100は熱伝導率が良く、ヒートシンク小型化が可能。

1. 1. 3 研究目標 (技術的目標値)

1) プレス鍛造複合成形性限界値への対応

プレス鍛造複合加工適用により発生が見込まれる寸法精度不良及び形状不良を設計段階に事前検討・対策することにより、製作段階で金型修正トライアルを繰り返しても部品 (OK 品) 取得ができない状況 (現状) はゼロにする。

2) 自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品プレス成型技術の開発

プレス鍛造複合加工による成形品 (自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク試作品) が形状不良等不具合発生無く従来の製造法 (鑄造及び切削加工) による成形品以上の寸法精度及び品質 ($\pm 0.1\text{mm}$ 以下) を確保する。

3) 連続生産自動化技術の構築

プレス機械1台にて10万個/月の自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品生産量を実現させる基盤として、バリ発生等による成形品搬出後の不良対策工数をゼロとし、搬送の自動化による連続生産性を確保する。

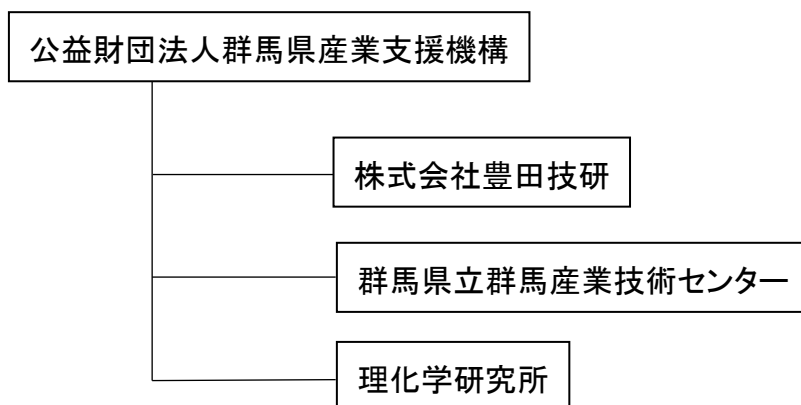
4) 自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品としての機能検証

自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品として要求される放熱性等機能要件、及びLEDユニットとしての機能要件を確保する。

1.2 研究体制

1.2.1 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



総括研究代表者(PL)
株式会社豊田技研
取締役事業開発部長 豊田信也

副総括研究代表者(SL)
群馬県立産業技術センター
独立研究員 世取山 重剛

2) 管理員及び研究員

a) 管理員

【事業管理機関】 公益財団法人群馬県産業支援機構

氏名	所属・役職	備考
奈良 敬一	工業支援課 課長	
富山 勝敏	工業支援課 主幹	
高橋 雅史	工業支援課 主任	
田村 昌基	総務課 主任	

b) 研究員

株式会社豊田技研

氏名	所属・役職	備考
豊田 信也	取締役事業開発部長	P L
箱田 文夫	取締役工場長	
石井 敏幸	取締役製造部長	
栗原 昭博	総務課長	

群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属・役職	備考
世取山 重剛	独立研究員	S L
有馬 東良	研究調整官	
坂田 知昭	独立研究員	
高橋 勇一	独立研究員	
岩沢 知幸	技師	

国立研究開発法人理化学研究所

氏名	所属・役職	備考
須長 秀行	光量子工学研究領域 光量子技術基盤開発グループ 中性子ビーム技術開発チーム 上級研究員	
高村 正人	光量子工学研究領域 光量子技術基盤開発グループ 中性子ビーム技術開発チーム 上級研究員	

4) 協力者（アドバイザー）

氏名	所属・役職	備考
山下 哲夫	株式会社アマダ 群馬支店 プレス商品セールス	H 2 8 ～ H 2 9
山本 一	株式会社アマダマシンツール 中日本ブロック プレス商品 コンサルタントエンジニア	H 2 8 ～ H 2 9
芳樹 宏志	株式会社アマダマシンツール 東日本ブロック プレス商品 販売技術	H 2 8 ～ H 2 9

1.3 成果概要

1.3.1 プレス鍛造複合成形性限界値への対応

1) 材料の機械的特性に関する把握

a) 計画内容

通常のプレス加工と異なり、精密せん断、部分的増厚・減厚及び急激な立ち上げ等大きな塑性流動が伴う材料変形の成形性評価を行うには、通常の引張試験から取得される応力対ひずみの関係だけではなく局部延性の特性を詳細に取得する必要がある

る。通常の引張試験に加えて、リング圧縮試験を実施することにより、局部延性及び成型後のスプリングバック量（成形品形状）に関する材料特性を把握し、自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品の成形に適した材料を選定する。

b) 成果概要

本開発では、A1100 と A1070 について圧延方向に対して 0/45/90° に引張試験を行い、引張強度、降伏力、伸びなどの材料特性を把握した。また、プレス鍛造で使用する潤滑油について、リング圧縮試験を行い、圧縮率及び内径比（初期内径に対する比率）から摩擦係数を算出し、後述するプレス鍛造複合成形加工シミュレーションのパラメーターとして設定した（成形データベースの構築）。

2) 成形シミュレーションプログラム開発

a) 計画内容

材料の高延性を維持するために必要となる静水圧の影響を取り扱うことができ、成型後のスプリングバック量（成形品形状）を算出できる弾塑性 FEM を採用して、新たなアルゴリズムを導入することにより、プレス鍛造複合成形過程で発生する大変形を伴う材料流動及びスプリングバック現象等に対応できる成形シミュレーションプログラムを開発する。

b) 成果概要

本開発では、弾塑性 FEM 解法として静的陽解法を採用することにより、従来からの大変形問題に対して発生する解が収束せずに計算が止まる問題を解消させ、成形過程中に発生する静水圧の影響を取り扱うことで成形予測の高精度化が実現できるソフトウェア基盤を構築させた。さらに、プレス鍛造複合成形加工シミュレーションとして必要不可欠となる局部的かつ継続的に発生する材料変形度の大きい現象に対応するために自動リメッシュ・リマップ機能を導入した。また、ヒートシンク成形加工に必要とされる工具押さえ圧調整機能（背圧機能）等を導入することで、仮想試作検討ができるシミュレーション適用環境基盤を構築した。

3) 実験結果対解析結果比較による解析手法の最適化

a) 計画内容

実際の材料試験及び成形品等の成形実験により取得された成形過程各段階での成形データ（外形形状、伸び歪み、成形荷重）をもとに、成形シミュレーション解析結果との比較を行うことにより解析精度を把握し、最適な解析手法を構築する。

b) 成果概要

本事業にて開発されたプレス鍛造複合成形加工シミュレーションプログラムに対して、実際の成形実験結果より得られた変形形状推移及び工具にかかる成形荷重値との比較を行ない、本開発ソフトウェア適用により成形過程中的材料変形（形状変化）

及び成形荷重が予測できることを確認し、設計段階にて解析結果をもとに成形性検討ができることを把握した。

1.3.2 自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品プレス成型技術の開発

1) 「ヒートシンク」に関するプレス成型方法の検討

a) 計画内容

フィージビリティスタディ（事前検討）として進めている単純形状化されたヒートシンク（二輪用ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品）の成形実験結果、及びサーボプレス機のモーションを変化させた条件での成形実験等をもとに、自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品の成形性を検討し成形工程及び金型形状を検討する。

b) 成果概要

ヒートシンクを成形するプレス機を導入後、放熱フィンの高さを揃える背圧は、シミュレーションで背圧約 500kg であることが分かり、ガススプリングを利用した背圧制御を備えた前方押出型の金型を製作した。また、金型の成形部に高い圧力が作用するため、金型の構成部品それぞれの負荷状態（成形荷重）に見合う材質を選定した。

2) ヒートシンク基本形状に対する成形限界の把握

a) 計画内容

自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品を形成する主要部位等に対して成形シミュレーションを活用して成形中に発生する割れ・引け等形状不良予測を行うことにより、実際のプレス鍛造複合加工に必要な金型形状及び成形方法（成形条件）等の最適化を行う。

b) 成果概要

成形過程中的材料変形（形状変化）や成形荷重の予測によって、成形中に発生する割れ・引け等の発生を予見し、素材の「材質」「調質」「潤滑処理」を決め、製品形状の「角 R の大きさ」「ベース部厚み」「フィン根元周辺部面積」に関して成形限界を把握することができた。

3) プレス成形実験による成形条件の検討

a) 計画内容

自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品のプレス鍛造複合加工に必要な金型を製作する。さらに、実際に取得された成形品の形状測定結果をもとに品質確認を行うとともに、成形シミュレーション結果との比較により成形実験では観察できず解明が難しい成形現象メカニズムを明らかにして、金型形状変更も含めた成形条件最適化を行う。

b) 成果概要

上ダイスに生じた亀裂に対して、金型材質を SKD11 から靱性に優れる YXR3 に変更し、上ダイスの摩耗を原因とする成形荷重が増大した現象に対しては、金型の磨き、表面処理を行い、成形条件を最適化した。なお、工具間の隙間に発生するバリを無くすることが困難であり、プレス成形後の当該箇所をトリミングすることとした。

1.3.3 連続生産自動化技術の構築

1) 連続生産自動化に向けた搬送方法の検討

a) 計画内容

自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品を成形する主要部位の成形データ及び成形シミュレーションによる各工程成形性検討結果をもとに、搬送の自動化によるプレス加工実現のための各成形工程内容及び搬送方法を検討する。

b) 成果概要

単発プレス機にて材料供給装置を使用したブランク工程と、300t プレス機内に鍛造、ピアス、トリム工程の3工程を配置し、低コスト、汎用性、安全性を考慮した搬送のため、横移送ロボット、6軸ロボットを併用する連続生産自動化を構築した。

2) プレス成形実験による生産性検証

a) 計画内容

搬送の自動化によるプレス加工に必要となる搬送装置を製作する。さらに、実際に搬送装置で取り出された形状等測定結果をもとに品質確認を行う。

b) 成果概要

プレス機の上型パンチに残ったワークを次のピアス工程に移す6軸ロボットの動作を見直し、時間を短縮させることで月産4万8千個の生産が可能となった。さらに、下型ダイスにワークが残る機構に変更することで搬送に要する時間がさらに短縮できる見込みがついた。

3) 生産性に対する成形条件最適化

a) 計画内容

連続生産における成形実験結果及び成形不良箇所等に対する成形シミュレーションを活用した成形性検討により、金型形状及び成形条件等の最適化を行う。

b) 成果概要

プレス成形時の素材と工具の間の潤滑不足によって、下型ダイスにワークが残る現象について、プレス機のモーション変更（パルスモーションの採用）により連続して1000個の生産テストを実施した。成形したヒートシンクは形状測定機で±0.1mmの精度であることを確認した。

1.3.4 自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品としての機能検証

a) 計画内容

プレス成形品（自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品）に対して、川下企業（アドバイザー企業）と連携して自動車ヘッドランプユニットを構成する他の部品との整合性を検証すると共に、群馬県立産業技術センターが所有する大型配光測定システム等光計測機器を使用して、LEDユニットとして明るさ及び耐久性等機能要件を満足することを検証する。

b) 成果概要

熱流ロガーなどを使い、LEDモジュールを取り付けたヒートシンクの温度および熱流束を測定し、LEDモジュールから発生する熱をヒートシンクが効率的に伝播させ、LEDモジュールの温度を低下させる効果があることを確認した。また、大型配光測定システムで配光測定し、LEDユニットとして明るさが自動車ヘッドランプに実用できる程度であることを確認した。

1.4 当該プロジェクト連絡窓口

法認定機関：株式会社豊田技研

住所：〒375-0055 群馬県藤岡市白石2155番地

TEL：0274-40-7234 FAX：0274-40-7118

連絡担当者：取締役事業開発部長 豊田信也

事業管理機関：公益財団法人群馬県産業支援機構

住所：〒379-2147 群馬県前橋市亀里町884-1

群馬県産業技術センター内

TEL：027-265-5015 FAX：027-265-5075

連絡担当者：工業支援課 主任 高橋雅史

第2章 本論

2.1 プレス鍛造複合成形性限界値への対応

2.1.1 材料の機械的特性に関する把握

通常のプレス加工内容と異なり、精密せん断、部分的増厚・減厚及び急激な立ち上げなど大きな塑性流動が伴う材料変形の成形性評価を行なうには、通常の引張試験から取得される応力ひずみの関係だけではなく、局部延性の特性を詳細に取得する必要がある。本開発では、圧延方向に対する0度、45度、90度の引張試験を実施することにより、局部延性に関する材料の基本特性を把握し、ヒートシンク部品成形に適した材料を選定した。

1) 引張試験

引張試験は、卓上小型引張圧縮試験（A&D社型式：RTF-1325）を使用し、20kNのロードセルを取り付けて、圧延方向に対する0度、45度、90度のダンベル試験片を各n=3を引張速度10mm/分で行った。ダンベル片の形状はJIS_Z2241の13B号、板厚8mmとした。

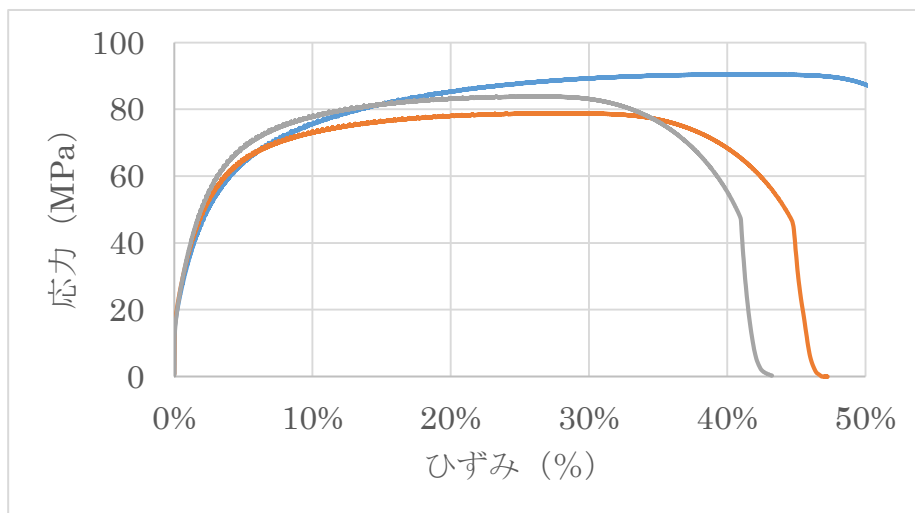


図 211-1 応力ひずみ線図 アルミ材 1100 番 H112 焼き鈍し

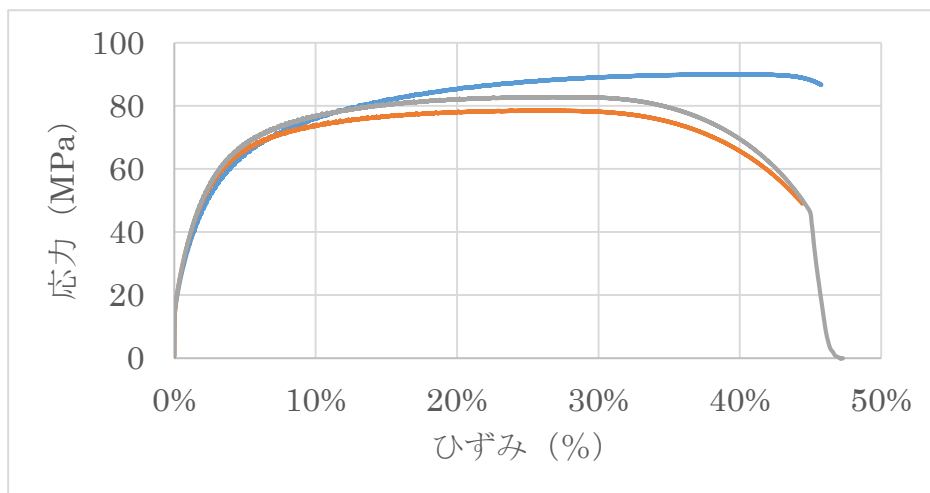


図 211-2 応力ひずみ線図 アルミ材 1100 番 H24 焼き鈍し

A1100 番の H112 は、積極的な加工硬化を加えずに製造した展伸材である。A1100 番の H24 は積極的な加工硬化を加えずに製造した展伸材で、適度の熱処理によって所定の強さまで低下させたものであるが、引張試験では H112 と H24 に顕著な差は認められなかった。

表 211-3 A1100 の H112、H24 の単軸引張試験

試験片	角度	引張強さ	0.2%耐力	伸び
A1100 の H112	0 度	79MPa	34MPa	27%
	45 度	90MPa	34MPa	41%
	90 度	84MPa	38MPa	26%
A1100 の H24	0 度	78MPa	36MPa	26%
	45 度	90MPa	33MPa	39%
	90 度	82MPa	37MPa	27%

2) アルミニウム合金 (A1070)

アルミニウム合金 (A1070) は純アルミのため強度は低いですが、成形性・表面処理性に優れ、耐食性はアルミニウム合金中で最良である。A1070 の用途例として、日用品・銘板・反射板・照明器具・装飾品・導電材等に使用される。

表 211-4 アルミニウム合金 (A1070) の室温での標準的な機械的性質

	引張強さ	0.2%耐力	伸び	硬度
調質 (H18)	130MPa	125MPa	6%	HB35
調質 (H24)	110MPa	90MPa	12%	HB26
O 材	70MPa	30MPa	43%	HB19

※出典：(社) 日本アルミニウム協会提供のアルミニウム材料特性データベース

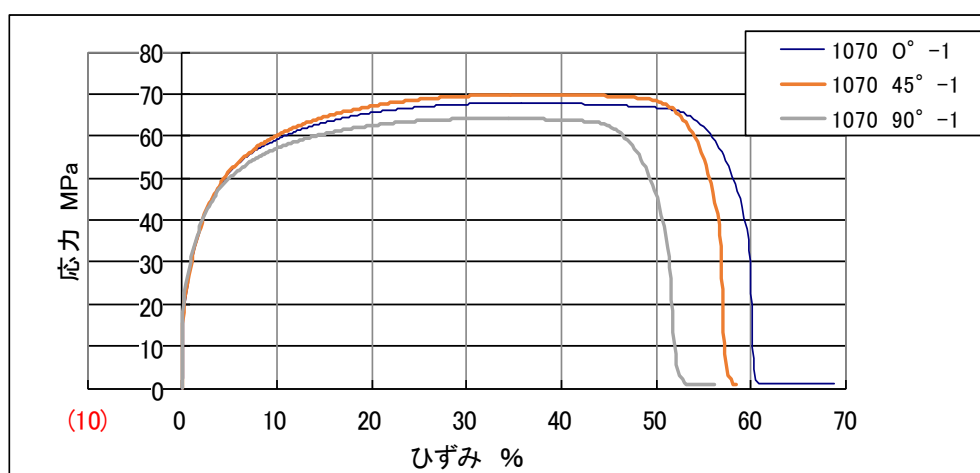


図 211-5 応力ひずみ線図 アルミ材 1070 番 O 材

表 211-6 A1070 の 0 材の単軸引張試験

試験片	角度	引張強さ	0.2%耐力	伸び
A1070 の 0 材	0 度	68MPa	23MPa	64%
	45 度	70MPa	23MPa	63%
	90 度	64MPa	23MPa	55%

A1070 の 0 材は圧延方向に対して 0 度、45 度、90 度で、引張強さと伸びに面内異方性が認められた。さらには、塑性ひずみ域の応力-ひずみ線図から、加工硬化係数 n 値が 0 度、45 度、90 度で様でないことが分かった。プレス成形時に、加工硬化が進むにつれて、塑性流動に影響することが予見される。

3) リング圧縮試験による加工油潤滑による摩擦係数の把握

リング圧縮試験を用いて、プレス鍛造に使用する潤滑油について、素材と工具の間に働く摩擦係数を求め、精密鍛造プレス加工シミュレーションのパラメーター設定を行う。

リング圧縮率と内径比（圧縮後の内径／初期内径）の関係は摩擦係数により異なる曲線となる。あらかじめ計算で摩擦係数ごとの曲線を算出しておき、実験結果を重ね合わせて摩擦係数を求める。

試験片は A1070 の 0 材を外径 30mm、内径 15mm、高さ 10 mm の大きさにワイヤーカットした。圧縮試験機は島津製作所 型式:UH-500kNI を使い、圧縮速度:2mm/min で押し潰した。上下圧縮治具は、冷間鍛造用金型相当に研磨した。

加工油は、G-3244（従来品）、X-3939、X-3939-1、G-3354、上下圧縮治具グラファイトの圧縮率に対する内径変化率を表 211-7、図 211-8 に示す。

表 211-7

G-3244（従来品）	0.07
X-3939	0.05
X-3939-1	0.04
G-3354	0.04
グラファイト	0.01
潤滑なし	0.12

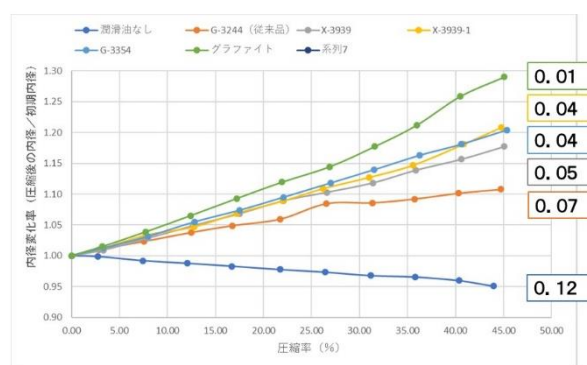
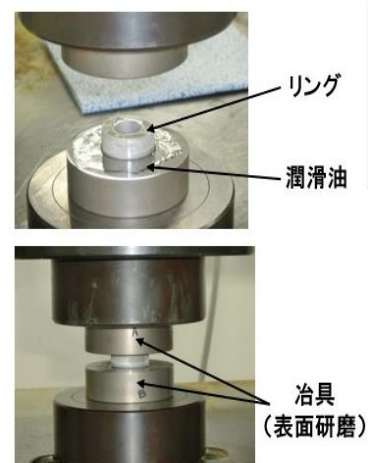


図 211-8

リング圧縮試験に関する文献:A5052 に機械油を塗布して圧縮した試験結果で $\mu = 0.05$ と推定。小坂田宏造他、日本機械学会論文集 C 編、55-516（1989）p2213-2220

2.1.2 成形シミュレーションプログラム開発

プレス鍛造複合成形加工（ヒートシンク成形加工）では、部分的減厚及び急激な立ち上げによる大きな塑性流動が伴う材料変形が必要とされる。そのため、実際の成形過程では、材料不足による静水圧の減少を防止して高静水圧下で成形加工することにより、材料の高延性を維持することが要求される。

しかし、従来からの鍛造シミュレーションでは、解法として剛塑性 FEM（有限要素法）が採用されているためにプレス鍛造複合成形加工において重要となる静水圧の影響を取り扱うことは理論的に難しい。また、薄板プレス加工（板厚 2mm 程度まで）を解析対象とするプレス成形シミュレーションでは、解析に適用される要素の特性から板厚方向の局部的負荷等による部分的増減厚を伴う変形を取り扱うことは理論的に困難である。

本事業では、従来からの大変形問題を解析する際に発生する解が得られない（解が収束せずに計算が止まる）問題を解消できる静的陽解法が採用された静水圧の影響を取り扱うことができる弾塑性 FEM ソフトウェアを基盤として、ヒートシンク成形加工解析を実現する上で必要となる機能開発を行なった。

ヒートシンク成形加工では、材料変形度の大きい成形現象が局部的かつ継続して発生する。そのため、開発基盤ソフトウェアでは、成形解析実行途中で材料を構成している要素もその一部が著しく変形して、各要素単位で各節点変位をもとに計算される応力及び歪等物理量が精度よく計算できない状況となり、結果的に解を得るまでに計算時間がかかりすぎる等の問題が発生していた。

本開発では、各要素の縦横比（アスペクト比）をもとに要素の変形度合を把握し、指定された閾値に到達した時点で材料外形形状（外形線）をもとに離散化処理を行い、新しい要素を創成するリメッシュ機能を導入した（図 212-1）参照）。さらに、成形開始時から各要素が受けた変形履歴にもとづき各要素（旧要素）にて更新されて保持されている物理量を新たに創成された要素（新要素）に引き継ぐために、新旧要素を構成する節点位置情報をもとに物理量を割り振るリマップ機能を導入した（図 212-2 参照）。

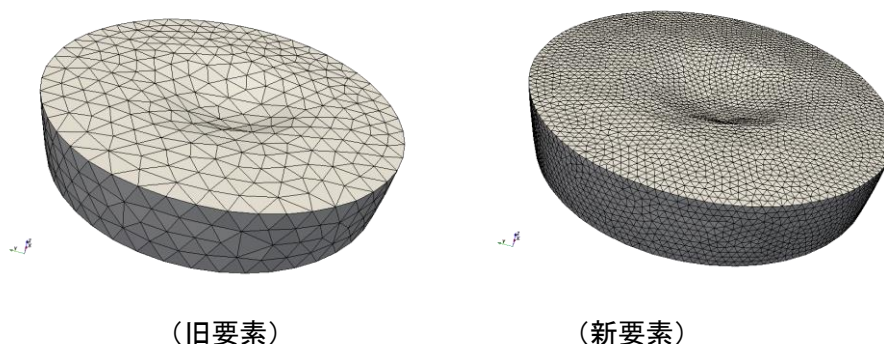


図 212-1 要素のリメッシュ機能

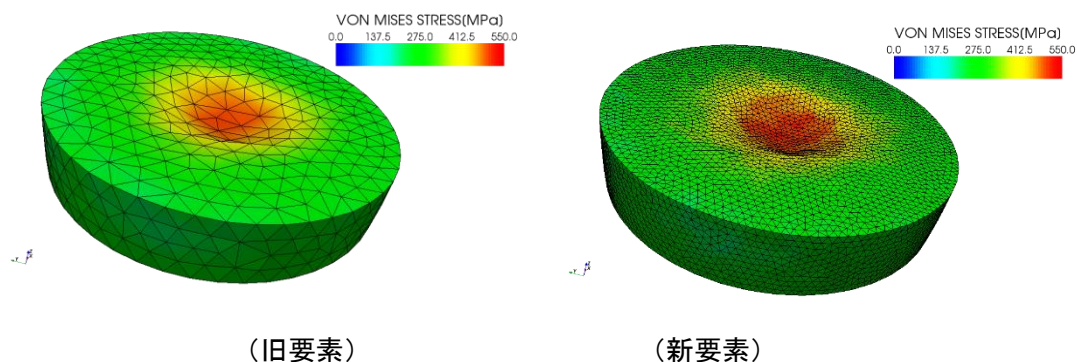


図 212-2 要素が保持する物理量のリマップ機能

ヒートシンク成形加工では、工具移動により材料が圧縮されることで局部的に創成される複数の突形状部位（凸部）の高さを均等にすることが求められる。そのため、各凸部先端に工具を配置して材料との接触面に発生する工具反力を常時監視し、工具反力が閾値を超えた際には工具反力を閾値同等まで低下させる方向に工具を移動させる工具押さえ圧調整機能（背圧機能）が必要不可欠である。

本開発では、ヒートシンク成形加工における非線形性の発生要因を監視して区分線形近似が成り立つようにステップ幅を順応的に調整する *rmin* 法を活用することにより、工具反力が閾値となるように工具変位量を制御する手法を構築した。

図 212-3 に、ヒートシンク成形過程に対して各凸部先端に押さえ圧調整機能を有する工具有無の違いによる解析結果を示す。実際の成形実験結果と同様に、押さえ圧調整（背圧）機能を有する工具を適用することにより、解析でも複数の凸部高さを均等化できることが確認できた。



図 212-3 背圧機能付き工具有無による凸部成形形状の違い

2.1.3 実験結果対解析結果比較による解析手法の最適化

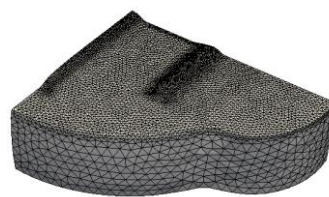
ヒートシンク成形過程に対して、実際の成形実験にて使用した金型の CAD データ及び成形条件をもとに、本事業にて開発されたプレス鍛造複合成形加工シミュレーションプログラムを使用した成形解析を行ない、入力データの最適化、ソルバー内

部のアルゴリズム修正を図ることにより、専用の可視化ソフトウェアにて図 212-4 に示す解析結果（材料変形過程）が得られた。また、図 212-5 にヒートシンク成形過程における材料厚変化に対する成形されるフィン高さの推移に関する実験対解析比較結果を示し、図 212-6 にヒートシンク成形解析より得られた工具移動量に対する成形荷重の変化を示す。

実際の成形実験結果より得られた変形形状推移及び工具にかかる成形荷重値との比較を行ない、本開発ソフトウェア適用により成形過程中的材料変形形状変化及び成形荷重が予測できることを確認し、設計段階にて解析結果をもとに成形性検討ができることを把握した。



(a) 工具移動量：1.0 mm



(b) 工具移動量：1.5 mm



(c) 工具移動量：2.0 mm



(d) 工具移動量：2.5 mm



(e) 工具移動量：3.0 mm



(f) 工具移動量：3.5 mm



(g) 工具移動量：4.0 mm



(h) 工具移動量：4.3 mm

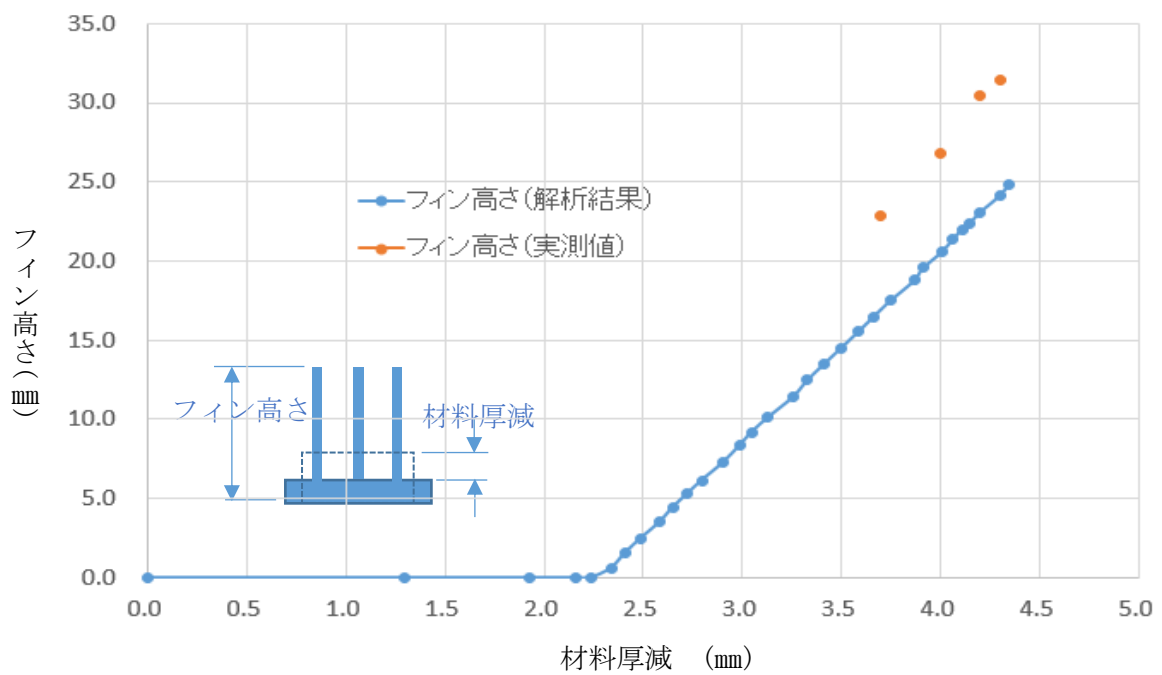


図 212-5 材料厚変化に対する成形されるフィン高さの推移

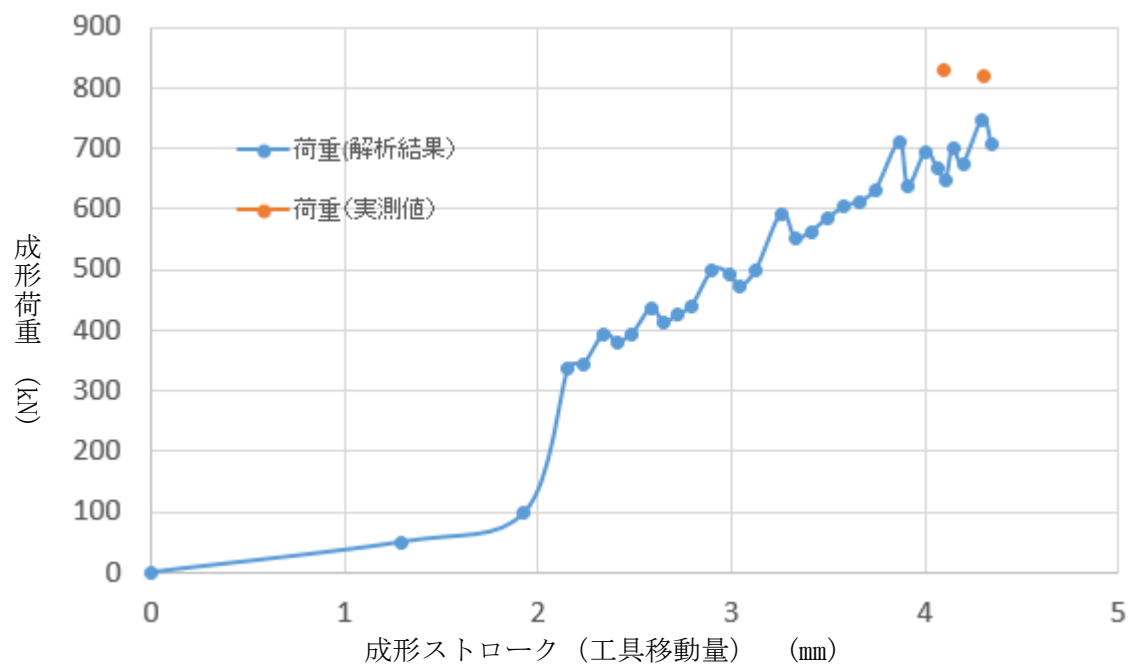


図 212-6 ヒートシンク成形解析結果（成形荷重線図）

2.2 自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品プレス成形技術の開発

2.2.1 「ヒートシンク」に関するプレス成形方法の検討

フィージビリティスタディ（事前検討）として進めている単純形状化されたヒートシンク（二輪用ヘッドランプ向けLED用）部品の成形実験結果、及びサーボプレス機械を使用したモーションを変化させた条件での成形実験等をもとに、自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品の成形性を検討し成形工程及び金型形状を検討する。

複数の放熱フィンを備えた単純形状化されたヒートシンクについてプレス成形方法を検討し、フィン部を前方に押し出す構造とした。また、事前検討にてフィン部を下方向に押し出すようにした方が、プレス機ボルスター内に備わった油圧ダイクッションによってノックアウト等を行う構造を構築しやすいと考えた。

これにより金型の心臓部となる、ワークに触れる部分の構造は下図 222-1 のように、上型は素材を押すためのパンチ、下型は製品ベース面を成型するための上ダイス、フィン部を成型するための下ダイス、製品を取り出すためのノックアウトブロック（KOブロック）とノックアウトピン（KOピン）という金型構造に決定した。

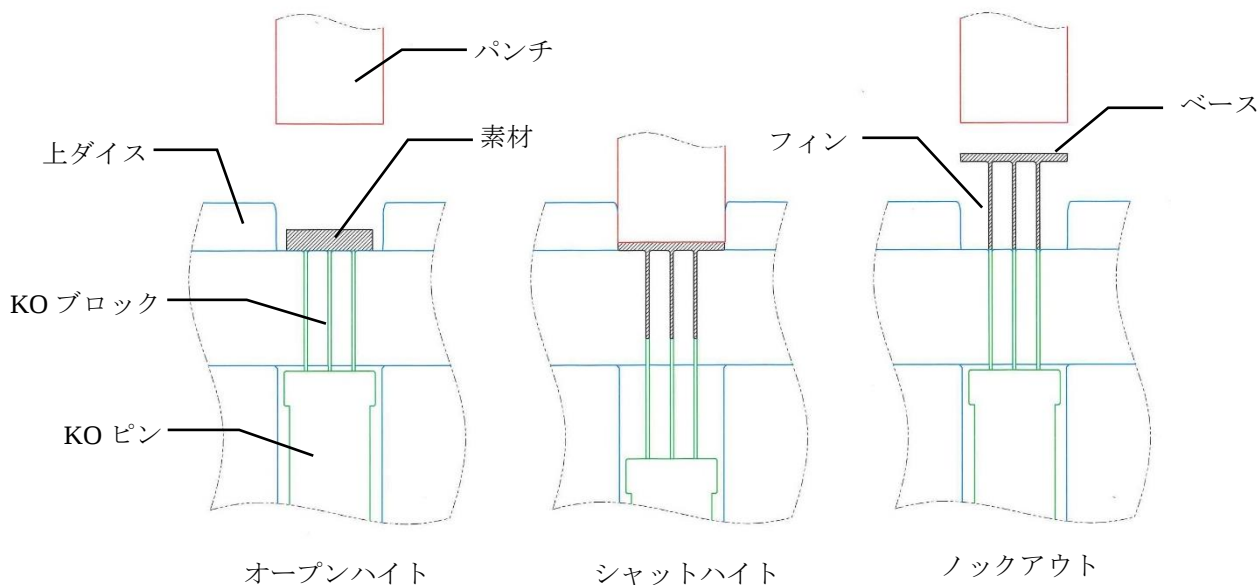


図 222-1 主要金型構造図

プレス鍛造複合成形加工シミュレーションプログラムを使用した成形解析を行い、成形する上で背圧（約560kg）と、成形荷重は約70tを要することを導き出すことができた。背圧の約560kgは、2t以上の背圧から対応可能な油圧ダイクッションでは大きすぎる為、ガススプリングにて背圧及びノックアウト機構を併用した。

鍛造金型は、成形部に高い圧力が作用するため、金型を構成する部品のそれぞれについて負荷状態と弾性変形量を見積り、材質を選択する金型設計の指針が必要と考え、成形荷重70tに耐え、300tプレスに搭載可能な金型の材質、厚みを検討した。

金型の材質、厚みの検討は、各金型材料に伝わる応力作用域は厚さ方向に半角で約 $15 \sim 20^\circ$ の円錐体と考え、その面積から面圧を割り出し、弾性範囲内（0.2%耐力）の強度を持つ材料を選択した。その計算結果及びそれに基づき設計した金型構造を図 222-2 及び表 222-3 に示す。

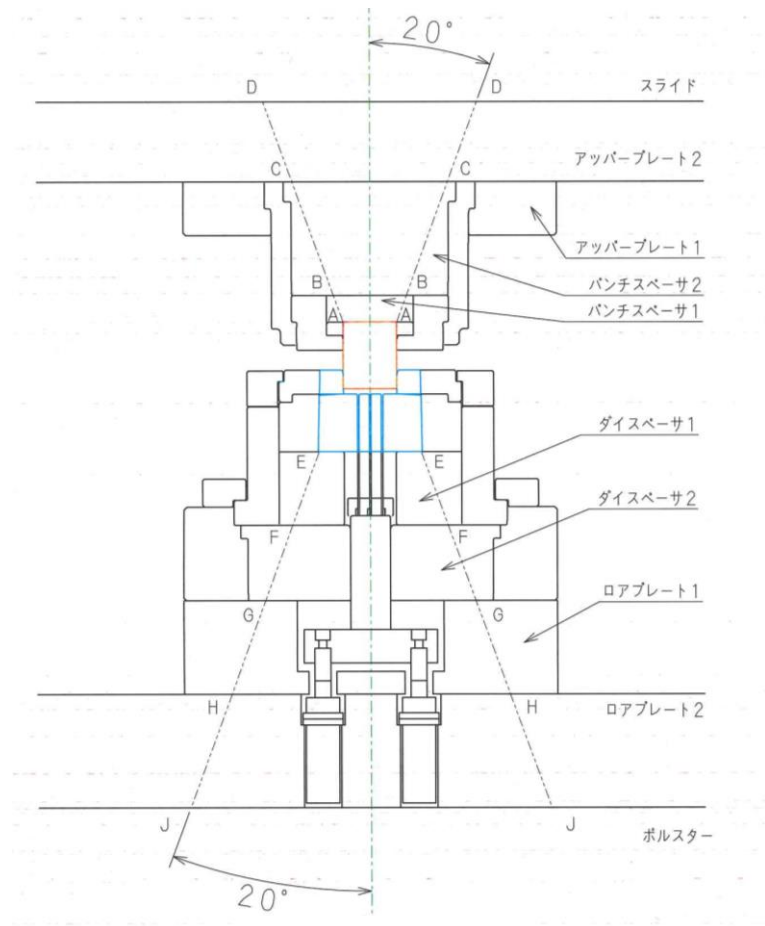


図 222-2 金型構造図

成形荷重 1500KN（700KNの成形荷重に対して約2倍の安全率）

受圧部面積	受圧部面圧	金型材質	0.2%耐力
A-A 部：1340	1119MPa	SKD11	1570MPa
B-B 部：2100	714MPa	SKD11	1570MPa
C-C 部：11739	128MPa	S55C	366MPa
D-D 部：16136	93MPa	FC300	210MPa
E-E 部：3438	436MPa	SKD11	1570MPa
F-F 部：9984	150MPa	SKD11	1570MPa
G-G 部：12888	116MPa	S55C	366MPa
H-H 部：28050	53MPa	S55C	366MPa
J-J 部：48587	31MPa	SS400	275MPa

表 222-3

2.2.2 ヒートシンク基本形状に対する成形限界の把握

自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品を形成する主要部位等に対して成形シミュレーションを活用して成形過程中に発生するわれ・ひけ等形状不良予測を行なうことにより、実際のプレス鍛造複合加工に必要な金型形状及び成形方法（成形条件）等の最適化を行なう。

ヒートシンクの成形過程中的材料変形（形状変化）は、ベース部が上ダイス内に充填された後、放熱フィンが形成されていく。プレス鍛造複合成形加工シミュレーションによって、放熱フィンが形成される時に素材には高い成形荷重が加わった状態が維持され、上ダイスの隅やベース部から放熱フィンの付け根にかけて、未充填や引けが生じ易いことが予見することができる。

アマダ製サーボプレス機（型式：SDE3030）のリンクモーションで A1100 の焼き鈍し材を使い成形実験した際には、「引け」「未充填」「変形」の3つが現れていた（写真 222-4、222-5、222-6）。また、製品断面写真から、左右のフィンにはベース上面の引き込みがフィンの側面にまで抜け、クラックとなっていることが分かった。（写真 222-7）

そこで、ヒートシンクを成形する成形実験で、「引け」「未充填」「変形」を3つの要素として成形前の「素材」、成形後の「製品形状」に関する成形限界を把握することにした。

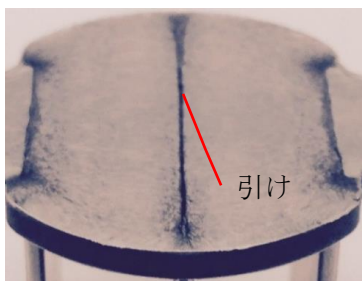


写真 222-4 ベース上面引け

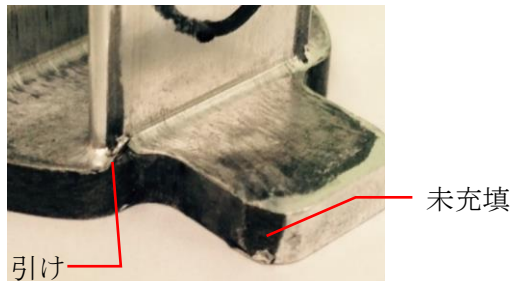


写真 222-5 フィン根元引け、ベース部未充填



写真 222-6 ベース上面変形

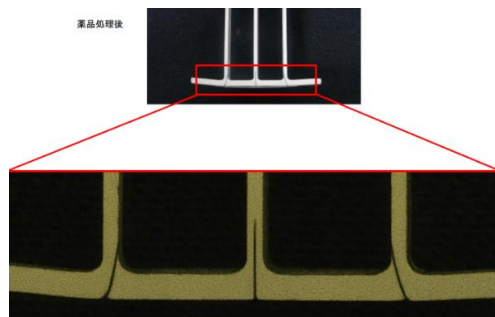


写真 222-7 断面写真

1) 素材

素材の状態の違いが成形品にどれだけ影響を及ぼすか確認する為、以下の3種類のテストピース（T P 1～3）を準備しトライを行った。材質は事前検討で検討を進めていた A1100 H112 とした。



材質：A1100 H112 板厚：8 mm

T P 1	ワイヤーカット→焼鈍し→ボンデ処理
T P 2	ワイヤーカット→焼鈍し
T P 3	ワイヤーカット

テストピース形状

結果、どのテストピースも「引け」「未充填」「変形」の3点とも解消することは無かったが、T P 3のワイヤーカットのみは成形荷重も最も大きく、ベース部厚みの限界、フィン部の伸びの限界も低かった。T P 1とT P 2は製品形状に違いはなかったが、成形荷重がボンデ処理を施したT P 1のほうが低かった。（表 222-8 参照）

以上のことより素材の調質、潤滑処理が成形限界に影響を及ぼすことが把握できた。尚、量産時の使用材料は材料の入手性、焼鈍し及びボンデ処理のコストを考慮し、A1070 の 0 材のボンデ処理無しを使用することに決定した。

	T P 1	T P 2	T P 3
成形荷重	6 8 t	7 5 t	9 6 t
コスト	2	1. 5	1
製品形状			
	T P 1、2 同一寸法		成形限界T P 1、2 より低い

表 222-8

次に素材形状が成形品の引け、未充填、変形にどれだけ影響を及ぼすかを確認する為、図 222-9 の 5 種類の素材形状を準備しトライしたが、どの形状も引け、未充填の状態に変化は見られなかった。以上のことより素材の形状は成形限界に影響を及ぼさないことが把握できた。



図 222-9 素材形状サンプル

2) 製品形状

素材形状による引け、未充填、変形の改善が見られないことにより、引けに関してはフィン部が伸びていく為に必要な素材ボリュームがフィン根元周辺部平面上で不足し、側面から引き込みが発生。未充填に関しては角R部のような狭小スペースには素材が流動しづらい為、変形に関してはベース部側面の成形時面圧によるロックアウト時の抵抗が原因と判断し、製品形状の変更により問題解決をすることにし、以下の3点の変更を行った結果、脚部根元部引き込み無し。未充填箇所フィルアップ完了。ベース部上面引け無し。ベース部上面変形無し。という結果が得られた。

- ・変更① ベース部輪郭形状全周を片側 1mm 大きくし、フィン根元周辺部の平面積を拡大 (図 222-10)
- ・変更② ベース部角 R を大きく (図 222-10)
- ・変更③ ベース部厚み 2 mm → 4 mm へ変更

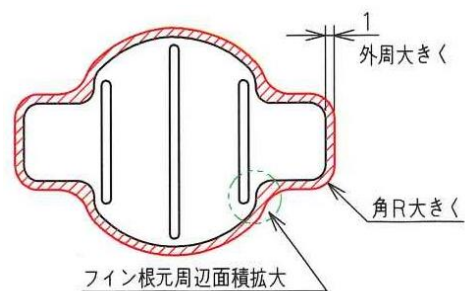


図 222-10



図 222-11

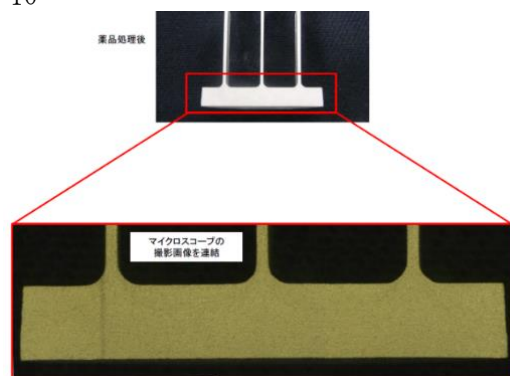


図 222-12

これにより塑性流動を妨げない製品形状への変更が欠陥改善に最も影響を及ぼし、側方への素材の流動に関しては角 R の大きさ、前方押出方向への素材の流れに関しては押出部周辺の面積量、ロックアウト時の工具と製品の摩擦抵抗及びフィンを前方押出するのに必要なフィン上部の素材ボリュームはベース上面部の面積及び厚みの成形限界に影響を及ぼすことが把握できた。

2.2.3 プレス成形実験による成形条件の検討

自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品のプレス鍛造複合加工に必要な治具（金型）を製作する。さらに、実際に取得された成形品の形状等測定結果をもとに品質確認を行なうと共に、成形シミュレーション結果との比較により成形実験では観察できず解明が難しい成形現象メカニズムを明らかにして、金型形状変更も含めた成形条件最適化を行なう。

1) 工具の靱性

200個の成形実験した段階で（成形トライを重ねていくと）、上ダイス部裏側の角部に亀裂が発生した（写真 222-1、222-2）。この角部に発生した亀裂は、プレス鍛造複合成形加工シミュレーションの応力集中する箇所と一致していることから、上ダイス角部へ応力集中したことが原因であると判断した。

金型主要部品（パンチ、上ダイス、下ダイス）の材質は、SKD11 HRC58～60にて製作したが、図 222-3 に示す冷間鍛造用金型鋼の特性位置付けから分かるように、SKD11は熱間ダイス鋼の中では強度・耐摩耗性に優れている反面、靱性（脆性破壊に対する抵抗の程度）は必ずしも十分でないことが分かり、強度はSKD11相当で靱性に優れるYXR3 HRC60に材質変更した。200個の成形実験したところ、亀裂の発生は無くなった。これにより成形圧力の掛かる金型主要部の工具の材質選定には工具にかかる面圧から慎重に選定する必要があると把握できた。

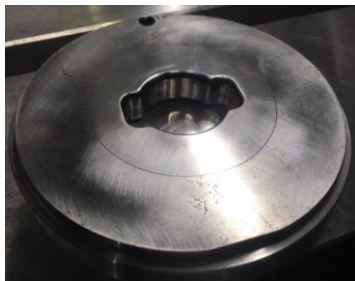


写真 223-1 上ダイス



写真 223-2 上ダイス裏側

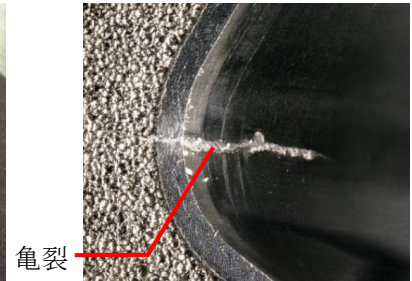


写真 223-3 拡大写真

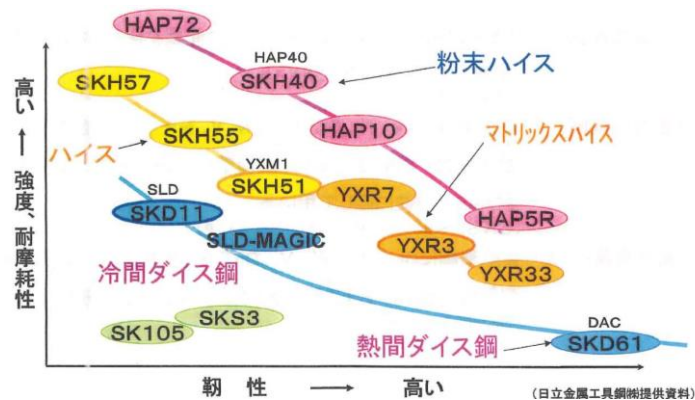


図 223-4 冷間鍛造用金型鋼の特性位置付け

2) 工具磨耗及び研磨

さらに300個の成形実験した段階で（約500個の成形トライ後）、3本のフィン長さにバラつきが発生した。金型の下ダイス上面及びフィン押出し部周辺の寸法確認したところ、摩耗による傷（写真 223-5）及び図 223-6 赤斜線部のフィン押出し部周辺に上面から約0.3mmの凹み及びフィン押出し内部の変形が確認することができた。これらの摩耗による傷やフィン押出し部周辺にできた凹みは、高い静水圧下でアルミが塑性流動した際に金型を浸食したものと判断した。そこで、ダイス上面の凹みを研削により除去し、金型磨き装置でフィン押出し内部を磨き（Ra0.2）、ダイス上面及びフィン押出しR部を手仕上げ磨き（Ra0.05）して、再度成形実験したところ、フィン部の長さが揃った良品が取れた。



写真 223-5 下ダイスキズ

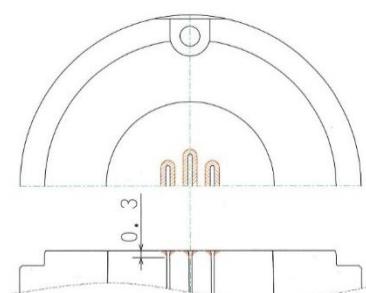


写真 223-6 下ダイス凹み

プレス成形では、素材と工具間の磨耗による凝着、金属疲労による割れ、クラック等の発生が懸念される。そこで、良品が取れる状態を維持するため、表面改質法を検討することにした。

金型の表面改質法はCVD法とPVD法に大別することができる。CVD法は高温雰囲気下で処理を行う為、精密金型や低温戻しの金型材料を処理してしまうと寸法が狂い、処理後に再度熱処理を行わなければならない。また、処理後の廃液や排ガスの問題もある。一方のPVD法はプラズマを利用した低温で処理を行うという特徴から環境に優しい表面処理ではある。しかし形成されるセラミックは高硬度ではあるが、薄膜でCVD法のような強固な拡散層を持たない為、十分な耐久性を得ることができない。

表 223-7 金型の表面処理方法

表面処理 ※1	コーティング	湿式法	電気めっき
			化学めっき
		乾式法	PVD（物理気相成長）
			CVD（化学気相成長）
	表面熱処理 ※2	窒化および関連処理	
		金属拡散浸透処理	

※1 表面処理には、コーティング処理と表面熱処理があり、コーティング処理は、湿式法として電気めっき、化学めっき、乾式法としてCVD（化学気相成長）、PVD（物理気相成長）、溶射、肉盛の種類がある。

※2 表面熱処理（表面改質法）は、窒化（表面から拡散侵入した窒素が様々な金属元素と化合し、硬い窒化物を形成して表面を硬くする処理）と、金属拡散浸透処理（クロム、バナジウム、チタンなどの熱拡散）がある。

そこで、CVD 法と PVD 法には表 223-8 に示す長所／短所があり、処理温度が低く、寸法精度や耐久性が期待できる表面改質法として窒化+PVD 法を選定した。この手法は PVD 法でコーティングする基材に窒化といった拡散硬化法を利用して硬化領域を形成し、PVD 法の皮膜の持つ特性と機械的強度を向上させる（相乗効果を生み出す）。

表 223-8 CVD 法と PVD 法の比較

	処理温度	寸法精度	膜厚	つき回り
CVD 法	約 1000℃	×	厚い	○
PVD 法	約 500℃	○	薄い	△（陰部不可）
窒化+PVD 法	約 500℃	○	硬い基盤に薄膜	△（陰部不可）

硬さ	3 4 0 0～3 6 0 0 HV
膜厚	片側 2～3 μm
処理温度	4 5 0℃～5 0 0℃
摺動性	0. 1 6
耐熱性	1 2 0 0℃



500 個生産の写真

1,000 個生産の写真

処理前は約 5 0 0 個で磨耗、変形が発生したが、処理後は 1, 0 0 0 個生産後も磨耗、変形は見られなかった。以上のことより、成形圧力の掛かる金型主要部の工具材質の靱性、耐磨耗性による影響、磨きによる面粗度の影響、表面処理の有効性を把握できた。

成形実験を行う中で、「工具の靱性」「工具の磨耗」2つの課題があることが分かり、それぞれの課題について有効な対策を講じ結果、プレス鍛造複合成形加工シミュレーションだけでは明らかにすることができなかった成形現象メカニズムを明らかにすることができた。また、成形実験結果をもとに金型形状修正（金型材質、表面処理）などの成形条件の最適化を行う。

2.3 連続生産自動化技術の構築

2.3.1 連続生産自動化に向けた搬送方法の検討

ヒートシンクの成形方法、成形限界の把握、成形実験結果によって得られた成形条件などをもとに、プレス機1台にて10万個/月の生産を実現させる生産装置の基盤として、搬送の自動化によるプレス加工実現のための各成形工程内容及び搬送方法を検討した。

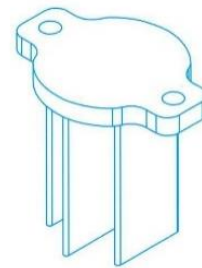
ヒートシンクを成形するには、製品形状や成形限界に4つの課題があり、この課題を解決するために鍛造、ピアス、トリムの3工程を組み合わせたプレス工程とした。

ヒートシンクの製品形状や成形限界に関する課題

課題1	上面部外周のバリはゼロにできない。
課題2	上面部外周形状角R大きく。 (金型耐久性、素材の流れを良くする)
課題3	脚部周辺の上面部面積大きく。 (欠肉、引け対策)
課題4	リフレクターへの取り付け穴が必要。

完成品

アイソメ図



連続生産を自動化する上で、金型要因、成形品形状から決定した各成形工程内容

工程1	工程2	工程3
鍛造	ピアス	トリム
上面部形状を一回り大きく、角Rも大きくし成形する。	リフレクターに取付け穴を加工する。	鍛造で発生したバリを除去する為に上面部外周をトリムする。
課題2	課題4	課題1、3

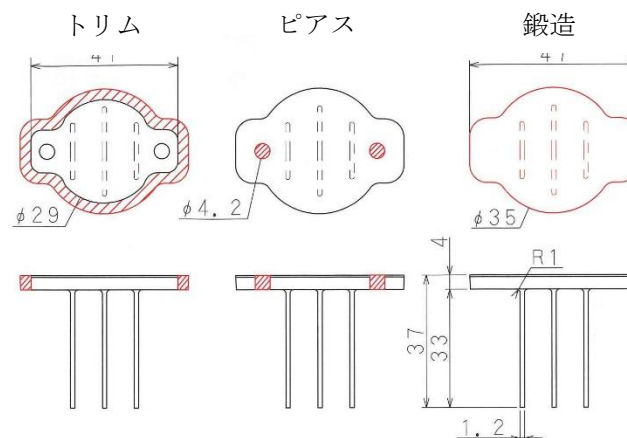


図 231-1 は、300 t プレス機内に鍛造、ピアス、トリム工程を配置し、プレス機の側面方向から見た金型構造図である。プレス機の中心に鍛造を行うことで、プレス機のスライダが上下に動く際に鉛直下に成形荷重がかかるように配慮してある。

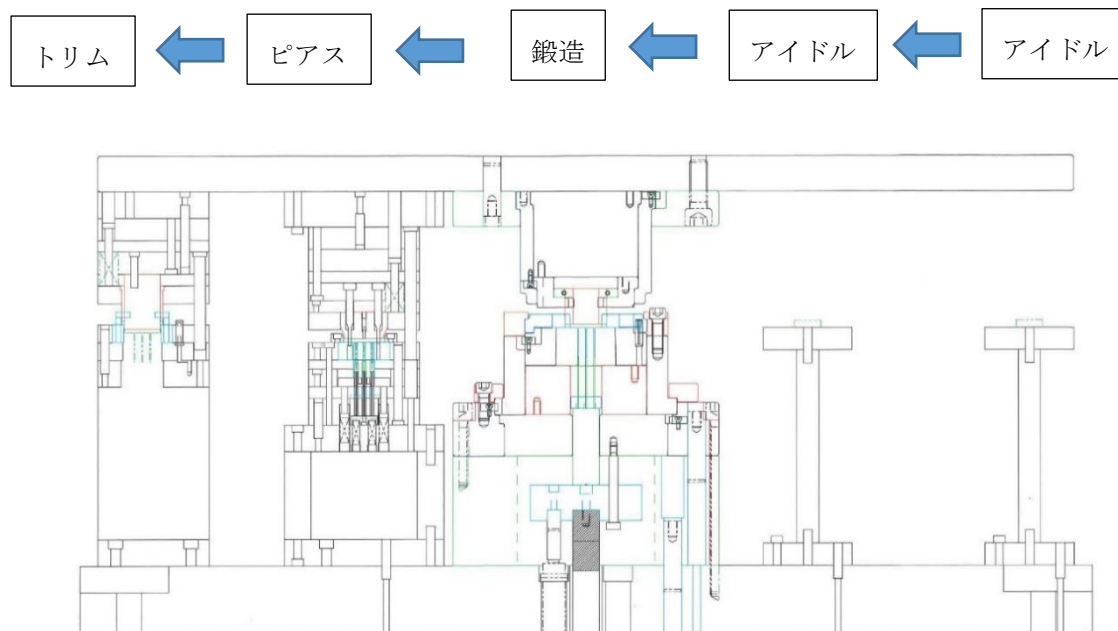


図 231-1 金型構造図

図 231-2 と表 231-3 は、連続自動生産の設備レイアウト図と工程詳細である。単発プレス機にて材料供給装置を使用したブランク工程、300 t プレス機内にて鍛造、ピアス、トリム工程を配置し、横移送ロボット、6 軸ロボットの併用にて連続生産自動化を構築した。

写真 231-4 は、各工程詳細を示す写真である。パーツフィーダにアルミ板材を投入し、150 t プレス内へ移送する準備を自動で行い、円形に型取りする。

パーツフィーダにセットされた円形のアルミ材は、横移送ロボットにて吸着し、鍛造工程に運ぶための素材の一時置き場として用意された2つのアイドルング工程に移されていく。その次の鍛造工程で、プレス成形された後に、上型パンチに張付いている成形品を多軸ロボットクランプハンドにて取外し、位置決め位置に置き、定位置に定まった製品を多軸ロボット吸引ハンドにて次工程に搬送する。その次のピアス工程は、位置決め位置から多軸ロボットにて搬送された成形品に穴あけ、ピアス工程から横移送ロボットにて搬送された成形品の外周部をトリムし、製品取り出しまでが一連の連続生産を行う工程である。

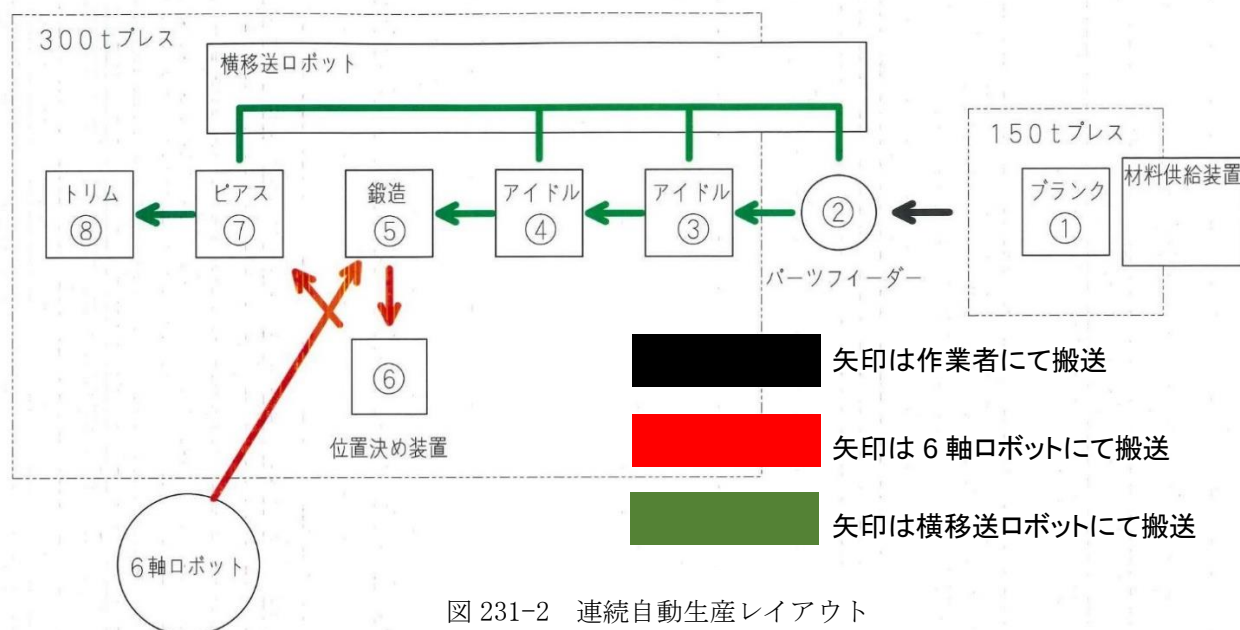
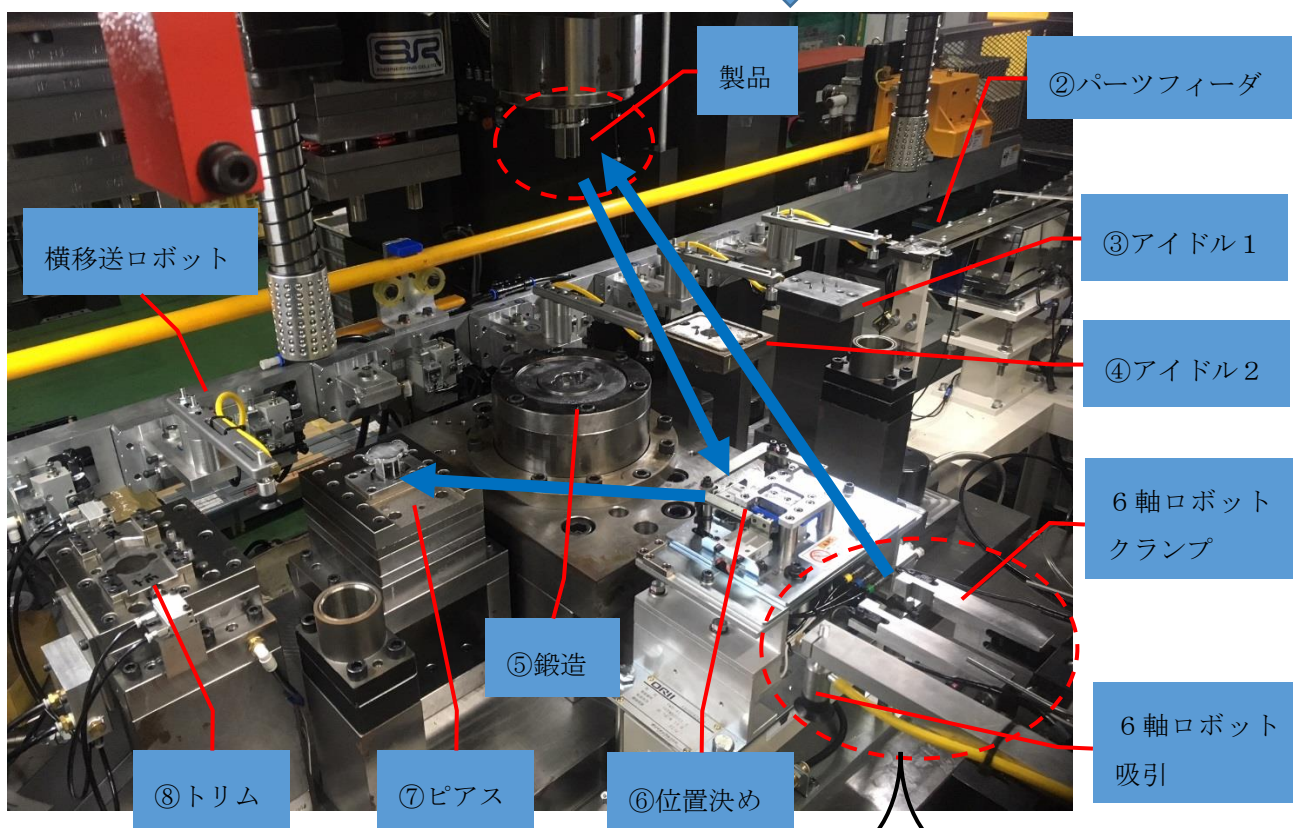
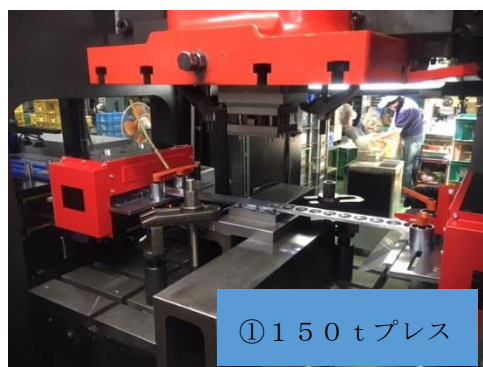
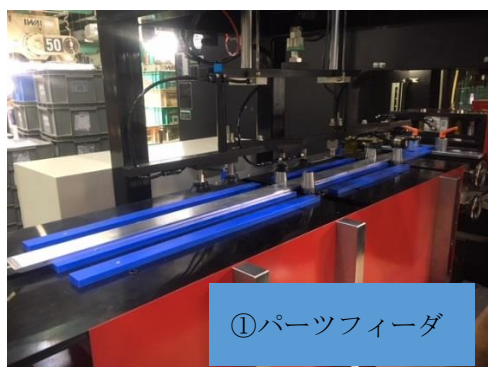


図 231-2 連続自動生産レイアウト

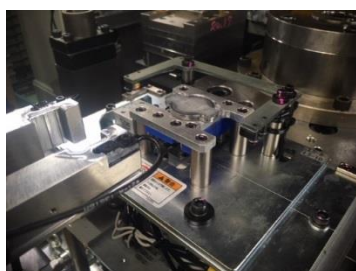
表 231-3 工程詳細

工程	工程名	内容
①	ブランク	板厚 8 mm、幅 55 mm、長さ 1 0 0 0 mm の短尺材を材料供給装置にセットし、1 5 0 t プレスにて丸形状の素材を自動生産。サイクルタイム 2 秒／個（月産能力 28 万個） 本工程を 3 0 0 t プレス内に組込まなかった理由は、今後数種類の形状の異なるヒートシンクを受注した際、フレキシブルに素材の量産ができるようにするためである。
②	パーツフィーダー	工程 1 にて生産した素材を投入し、3 0 0 t プレス内へ移送する準備を自動で行う。
③ ④	アイドル 1 アイドル 2	パーツフィーダーにてセットされた素材を横移送ロボットにて吸着し、鍛造工程に運ぶための素材の一時置き場。成形荷重の大きい鍛造工程をプレス機のセンターで行い、偏荷重を防止するため。
⑤	鍛造	アイドル 2 から横移送ロボットにて搬送された素材を鍛造
⑥	位置決め	鍛造工程上型パンチに張付いている製品を多軸ロボットクランプハンドにて取外し、位置決め装置に置き、定位置に定まった製品を多軸ロボット吸引ハンドにて次工程に搬送。
⑦	ピアス	位置決め装置から多軸ロボットにて搬送された製品を穴あけ
⑧	トリム	ピアス工程から横移送ロボットにて搬送された製品の外周部をトリムし、製品取り出し。

写真 231-4 各工程詳細写真



位置決め装置にセット



位置決め



吸引

2.3.2 プレス成形実験による生産性検証

300 t プレス機内に鍛造、ピアス、トリムの3工程を配置し、横移送用のロボットと、6軸ロボットを併用して搬送を自動化する場合、上型パンチに張付いている成形品を位置決めステージに移して、次のピアス工程に移す時間が長く、サイクルタイムは17秒/個で、プレス機1台にて10万個/月の生産を実現は難しい状況であった。

そこで、連続自動搬送の生産性を向上するために、最も搬送時間の掛かる6軸ロボットの動作短縮に焦点を合わせ搬送方法の見直しを行った。項2.3.1で構築した搬送方法の6軸ロボットの製品クランプ部品形状は製品が収まる箇所の寸法にガタを設けていた(写真232-1)。

これは製品の上型パンチへの張付き力が大きかった為、6軸ロボットにてこじって製品をパンチから外す必要があった為である(写真232-2)。ところが加工モーションの変更(詳細は項2.3.3)により成形荷重が下がり、製品をこじらずに上型パンチから外せるようになった為、クランプ部品のガタが不要になり(写真232-3)、精度良くクランプできるようになった。

これにより位置決めステージを介さず、直接ピアス工程に搬送できるようになり、サイクルタイム17秒/個 → 12秒/個に向上し、月産52,800個の生産が可能となった。最終レイアウト図を図232-4に示す。



写真 232-1 クランプ部品改良前



写真 232-2 クランプ部品改良後

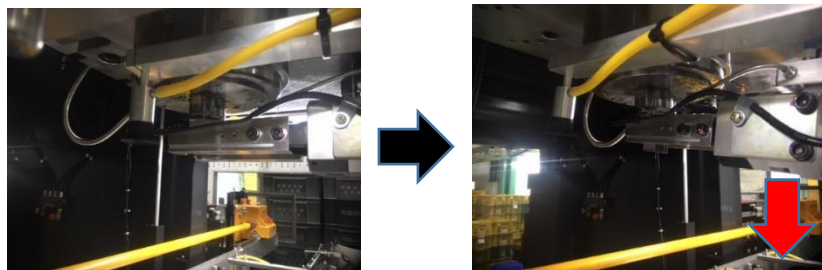


写真 232-3 製品クランプ→こじり

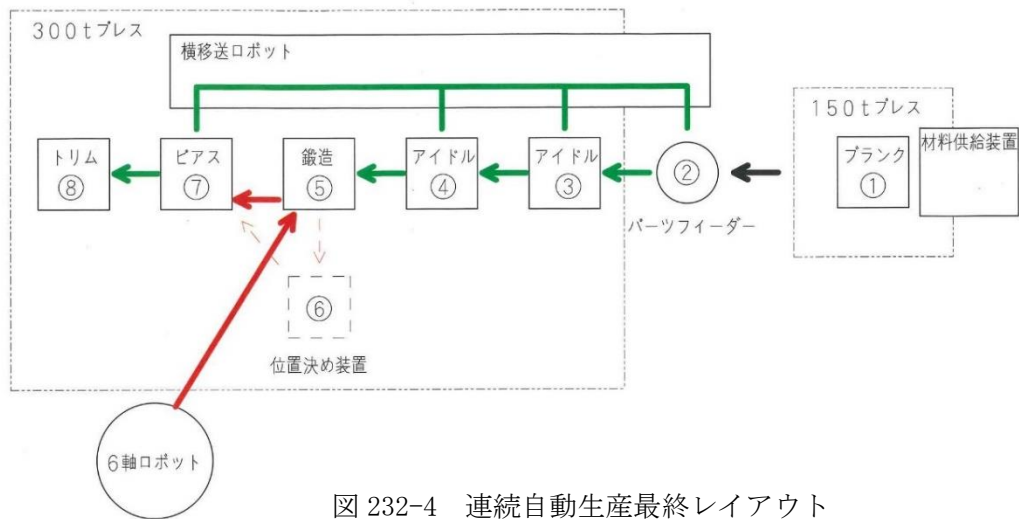


図 232-4 連続自動生産最終レイアウト

金型構造上、背圧及びノックアウトはガススプリングで行っている為、ノックアウトされ成形品はパンチに付いてしまう。それにより横移送ロボットと多軸ロボットの併用となっている（搬送方法は項目 2. 3. 1）が、ノックアウトされた成形品を下型に残せばサイクルタイムの短縮可能となる。成形品を下型に残すためにはロック機構付きのガススプリングを使用することで解決できる。その場合、横移送ロボットのみで搬送することで、サイクルタイム 17 秒/個 → 5.7 秒/個に向上し、月産 111,100 個の生産が可能になる。現状のガススプリングをロック機構付きに変更するには金型構造の改修が必要な為、今後の課題となるが、金型構造の改善点を見出すことができた。図 232-5 にサイクルタイム帯図を示す。

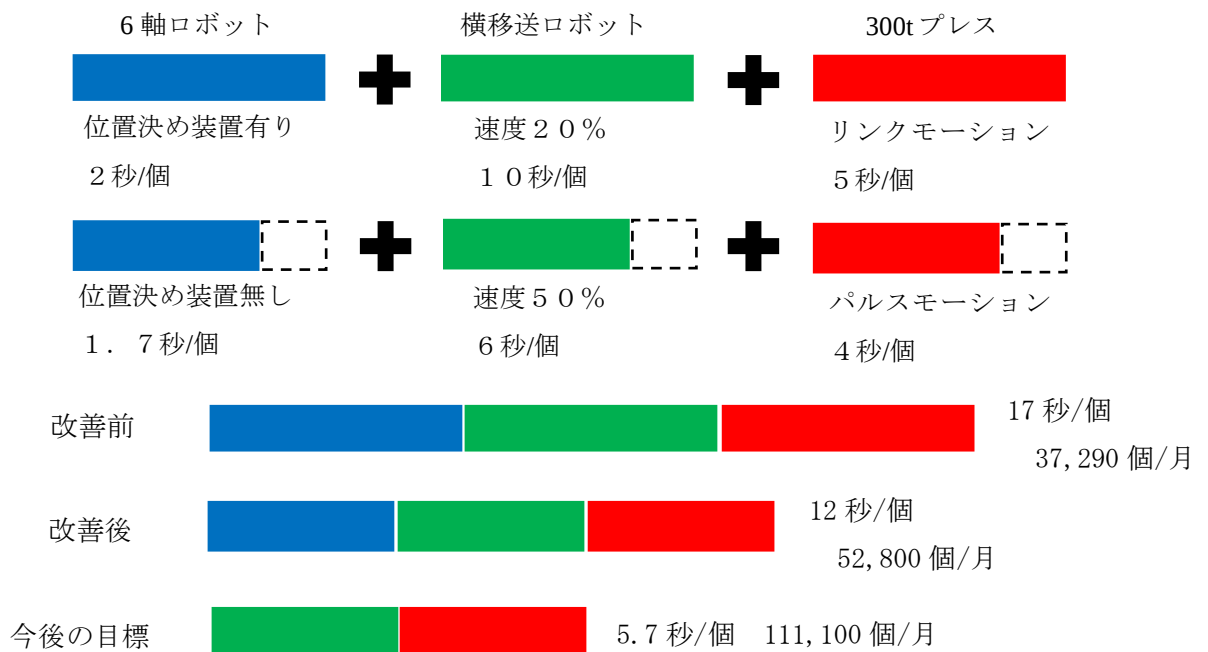


図 232-5 サイクルタイム帯図

2.3.3 生産性に対する成形条件最適化

プレス成形を連続して行う実験でヒートシンクが金型内に残るノックアウトNGが発生した。ノックアウトNGは、約20個を連続してプレス成形した際に起こる現象で、写真233-1のようにフィン側面が鏡面状態となっていた。

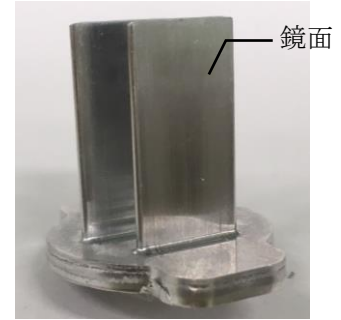


写真 233-1 フィン側面

1) ボンデ処理

そこで、ノックアウトNGが「潤滑切れ」との仮説をたて、素材（アルミ A1070）をボンデ処理した素材を使い、同様の連続して行い、ノックアウトNGが発生しないことを確認した。



写真 233-2 ボンデ処理有り



写真 233-3 ボンデ処理無し

しかしながら、ボンデ処理は潤滑の有効性は認められるが、リン酸塩被膜処理、金属石けん被膜処理などの工程追加になり、コスト増のため、サーボプレス機のスライド制御を工夫して、ボンデレスでの対策を講じることができないかを取組むことにした。

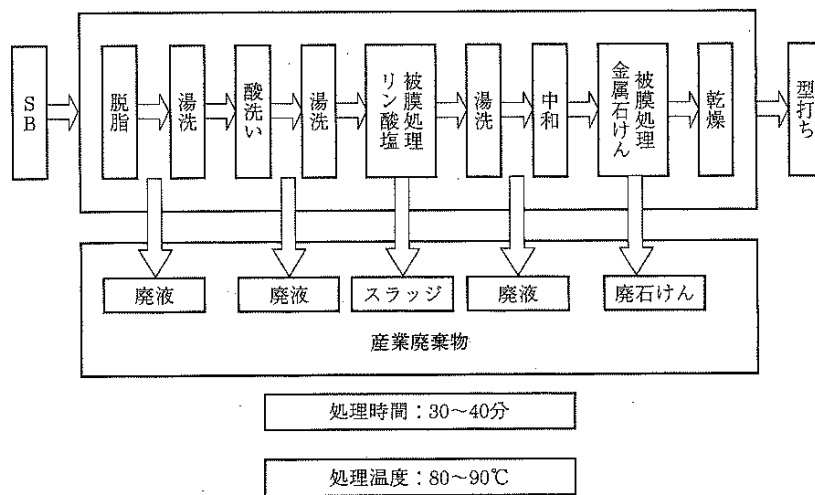


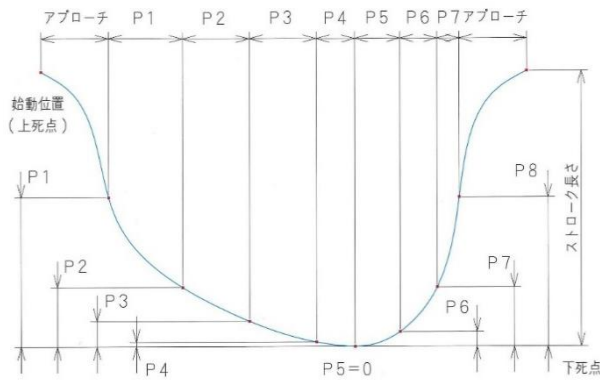
図 233-4 ボンデ処理工程図

2) サーボプレス機のモーション変更（ボンデレス化）

サーボプレス機は、サーボモータの駆動により加工中の速度、圧力、位置、多段押し等の制御を可能としたプレス機械である。加工に最適なモーション（加速、減速、停止）を自由に設定できる特徴を持ち、これらのメリットを活用した技術開発が進んでいる。

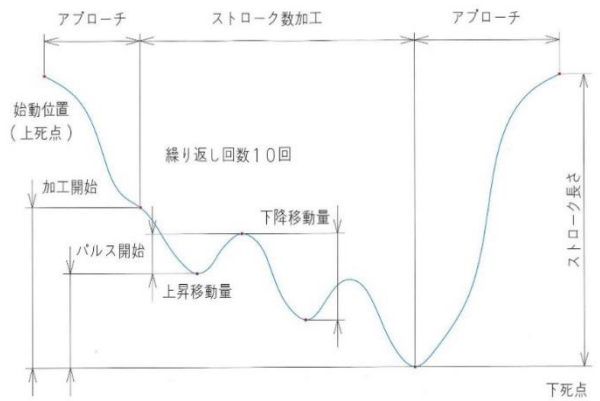
ボンデ処理と同様の効果「工具と製品の隙間に潤滑油が入り込む（再潤滑）」の得るために、リンクモーションをパルスモーションに変更して、スライド（パンチ）から素材に加わる成形荷重を一時的に抜いて、除荷させた。このことで、工具と製品の隙間に潤滑油が入り込む（再潤滑）が起こり、フィン側面の潤滑切れが解消し、且つ成形荷重も減少させることができた。

アプローチストローク数：5 min-1



リンクモーション

No	目標位置 (mm)	ストローク数 (min-1)	停止時間 (秒)
P 1	250	40	0
P 2	150	30	0
P 3	30	10	0
P 4	5	3	0
P 5	0	3	0.5
P 6	10	20	0
P 7	150	40	0
P 8	250	0	0

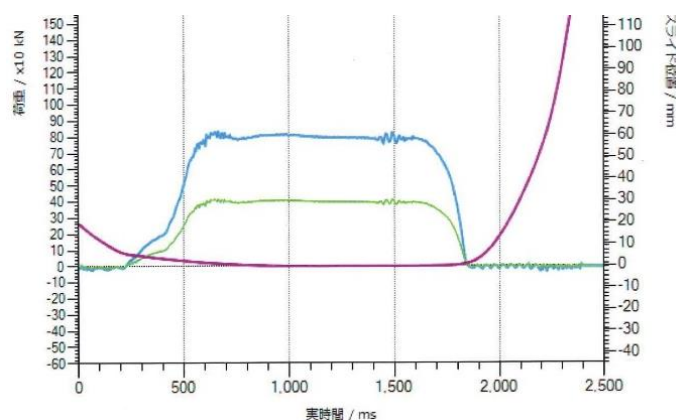


パルスモーション

図 233-9 荷重線図

アプローチストローク数	30 min-1
加工開始位置	30 mm
加工停止時間	0 秒
加工ストローク数	30 min-1
パルス開始位置	5 mm
上昇移動量	0.5 mm
上昇停止時間	0 秒
追込み移動量	1 mm
繰返し回数	10 回
加工終了位置	20 mm

荷重波形は右荷重と左荷重、トータル荷重が示されている。スライド位置は紫色の線で示されている。リンクモーションでは、スライドが下死点に至ると同時に荷重波形が立ち上がり、スライドが下死点にある間、成形荷重が加わり続けていることが分かる。

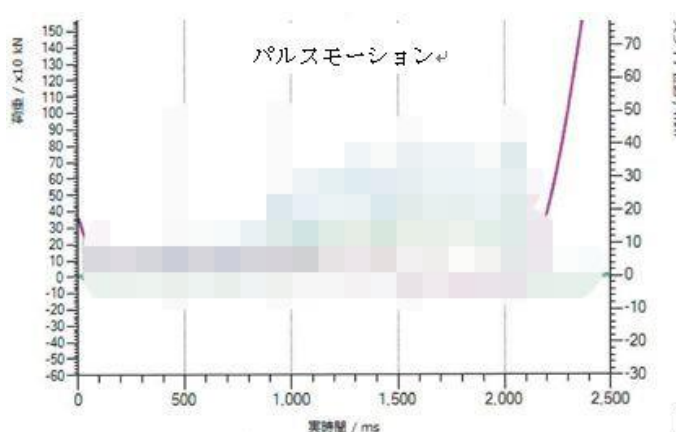


トータル荷重	83 t
左荷重	42 t
右荷重	42 t
スライド位置	1.26mm

— トータル荷重
— 左荷重
— 右荷重
— スライド位置

リンクモーション

パルスモーションの荷重波形は、成形途中でスライドが数回わずかに上昇させて荷重を除荷させている。横軸の実時間に対してスライド位置が下死点に漸近していく間に、成形荷重は前半で完全に除荷され、後半で荷重の一部が除荷されていることが分かる。



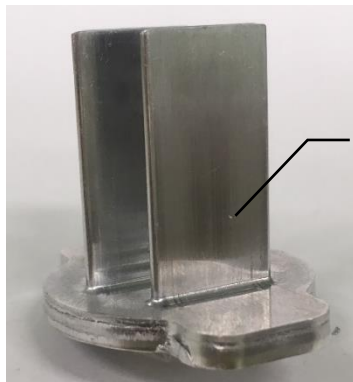
トータル荷重	○ t
左荷重	○ t
右荷重	○ t
スライド位置	○mm

— トータル荷重
— 左荷重
— 右荷重
— スライド位置

パルスモーション

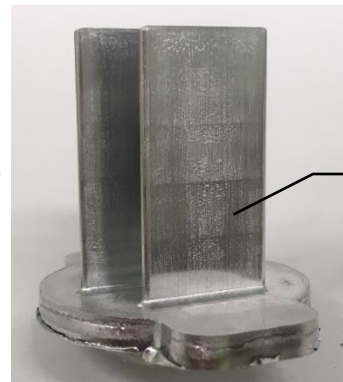
図 233-10 荷重線図比較

パルスモーション採用により 1, 0 0 0 個連続生産も可能となり、潤滑切れに対する加工モーションの有効性を把握できた。従来のリンクモーションとパルスモーションでは成形したフィン側面に再潤滑した油の波面が見える。(写真 233-11 フィン部側面比較)



潤滑切れにより鏡面化

リンクモーション



潤滑良好

パルスモーション

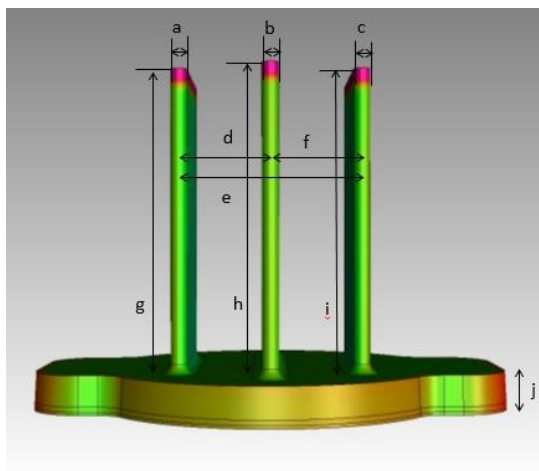
写真 233-11 フィン部側面比較

3) X線 CT 装置を使った形状寸法測定

パルスモーションを採用し、成形荷重の低下と、素材と工具間の再潤滑でノックアウト NG の対策が済んだ後、X 線 CT 装置（エクスロン・インターナショナル社、型式：MUJ-22F）にて連続生産したワーク（計 20 個）を測定し、データ解析ソフトウェア（型式：VGstudio MAXバージョン 3.0）を使い、ボリウムデータ、点群データから各部の寸法を求めた。

ボリウムデータと設計値を比較したところ、放熱フィンの長さ g 、 h 、 i が一致していること。なお、平均 28.2mm で設計値 33mm に対して擬似カラーで示した差分が（赤色で）目立つ結果となっている。また、ベース部の厚み、フィンの間隔、フィンの厚みは ± 0.1 mm に成形することができたことを確認できた。

ベース部の厚み i	フィンの間隔 d f	フィンの厚み a b c
± 0.1 mm	± 0.1 mm	± 0.1 mm
3.55 ± 0.1	8.50 ± 0.1	1.54 ± 0.01



	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	f (mm)	g (mm)	h (mm)	i (mm)	j (mm)	k (mm)
1	1.53	1.54	1.53	8.58	8.57	27.96	27.94	27.96	3.66	16.78
2	1.56	1.57	1.57	8.58	8.58	28.40	28.58	28.54	3.71	16.80
3	1.55	1.55	1.56	8.54	8.54	28.10	28.14	28.10	3.71	16.79
4	1.53	1.54	1.53	8.53	8.52	28.34	28.34	28.35	3.64	16.79
5	1.56	1.56	1.56	8.53	8.53	28.19	28.19	28.14	3.71	16.79
6	1.55	1.55	1.54	8.53	8.53	28.14	28.15	28.11	3.70	16.79
7	1.54	1.54	1.54	8.53	8.52	28.15	28.15	28.15	3.68	16.79
8	1.54	1.53	1.53	8.54	8.53	28.49	28.49	28.44	3.67	16.78
9	1.55	1.55	1.55	8.54	8.53	28.62	28.64	28.60	3.70	16.78
10	1.56	1.56	1.56	8.58	8.59	27.99	28.00	27.95	3.71	16.78
41	1.53	1.54	1.53	8.58	8.59	28.36	28.34	28.34	3.65	16.78
42	1.56	1.56	1.56	8.58	8.59	28.53	28.53	28.52	3.71	16.79
43	1.54	1.55	1.55	8.52	8.52	28.07	28.08	28.06	3.68	16.79
44	1.55	1.55	1.55	8.53	8.53	28.46	28.46	28.43	3.68	16.79
45	1.54	1.55	1.55	8.53	8.51	28.12	28.13	28.12	3.68	16.79
46	1.56	1.56	1.57	8.60	8.58	27.96	28.01	27.71	3.43	16.64
47	1.50	1.49	1.51	8.52	8.50	27.88	27.89	27.86	3.66	16.77
48	1.55	1.56	1.56	8.59	8.57	28.52	28.53	28.50	3.70	16.79
49	1.54	1.54	1.54	8.53	8.53	27.97	28.02	27.97	3.67	16.79
50	1.54	1.54	1.54	8.53	8.53	27.43	27.43	27.41	3.69	16.80

図 233-12 ヒートシンクの形状寸法

2.4 自動車ヘッドランプ LED 用ヒートシンク部品としての機能検証

LED は電球に比べ消費電力が $1/5 \sim 1/10$ と低く、電球に比べ長寿命で電球交換作業の機会が少なくなる等の利点が多く、自動車ヘッドランプに使用される光源は、電球から LED に置き換わりつつある。また、車両全体の性能向上に注目すると、LED を使用した場合に自動車ヘッドランプは薄型化、軽量化となり、商品性向上にも役立っている。

他方で LED は可視光で消費されたエネルギー以外がすべて熱に変わる性質を持ち、LED パッケージは表面積が小さいために対流や輻射による放熱が小さく、熱的に厳しい環境となる。さらに、LED は熱の影響で輝度が落ちたり、寿命が短くなったり、最終的には点灯しなくなることもあるため、熱対策が重要となる。

LED に熱がこもらないように LED の外部へ効率的に放熱させるヒートシンクは、LED モジュールに取り付けて放熱面積と熱の逃げ道を増やす役割があり、放熱特性を向上させるもしくは小型化することで、ヒートシンクとしての放熱性能の向上が適えば自動車ヘッドランプ LED の量販車（低価格車）への搭載が促進される。

そこで、プレス成形したヒートシンクで LED モジュールから発生する熱を放熱する作用について各部温度および熱流束を計測した。また、非球面レンズを組み合わせ、自動車ヘッドランプの配光要件を満足する見込みがあるかを検証した。

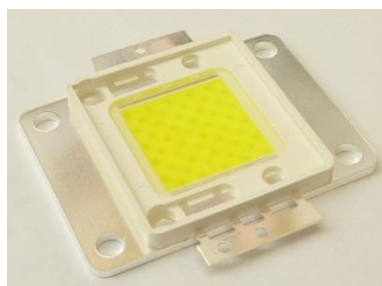
2.4.1 LED モジュールを付けたヒートシンクの放熱性評価

現在、自動車ヘッドランプに LED は、高光束 LED が 2 個から 3 個使用され、消費電力 25W 相当が主流で、LED モジュールの高光束化や、一つの LED 素子でハイ／ロービームを兼用などによって自動車ヘッドランプに使用される LED 数は更に減少する傾向である。

しかしながら、LED から発生する熱をヒートシンクで適切に放熱させ、LED の温度上昇を抑えることで、ジャンクション温度に対するマージンを確保しなければ、高光束化や LED 数を減少させることはできない。

各部温度と熱流束の測定は、LED モジュールにヒートシンクを取り付け、K 熱電対と熱流束センサを LED モジュール近傍に貼り付け、直流電源で LED モジュールに定電流を印可し、15 分後（温度が飽和する時間）に、温度および熱流束を測定した。

LED モジュール（白色 25W）は、放熱性に優れたアルミベース一体型構造で、ヒートシンクとネジ止めすることができる。



標準電流	750mA
V F	2.9～3.8V@750mA
光束	1700lm以上
色温度	6500K@750mA
半減角	140度

図 241-1 LED モジュール（白色 25W）

比較実験は、幅 54 x 高さ 50 x 奥行 15 mm のアルマイト処理（陽極酸化皮膜処理）したアルミ製ヒートシンク（市販品）を使用し、同様の熱流束および温度測定を行った。アルマイト処理は表面硬度が増して傷がつき難くなる他、輻射による放熱効果を有する。



材質	アルミ
表面	輻射率の高いアルマイト処理
断面	くし刃状

図 241-2 アルミ製ヒートシンク（市販品）

LED モジュールは、熱流センサを介してヒートシンクとの間に伝熱グリスを付け、ヒートシンクとネジ止めした。熱流センサおよび LED モジュールの付けた K 熱電対は、（HIOKI 型式：LR8416）に接続して、熱流束と LED モジュールの温度を測定した。

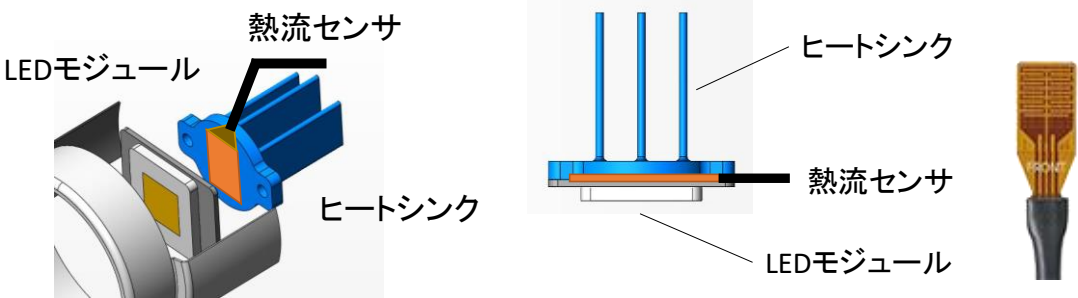


図 241-3 熱流センサの取り付け

熱流センサは、熱流が通過する際にセンサの表と裏に発生する温度差を起電圧に変換するセンサで、出力電圧を感度定数で割ることで熱流束（ W/m^2 ）を算出しますものです。

熱流束； $Q = E / k$

Q；熱流束（ W/m^2 ）
E；出力電圧（mV）
k；感度定数（mV/（ W/m^2 ））

投入した電力に対する温度上昇は、グラフの傾きが熱抵抗（厳密に言うと、ヒートシンクとしての熱抵抗）である。自然空冷のグラフは、横軸が LED モジュールの消費電力、縦軸が LED モジュールに取り付けた面の温度上昇として示される。なお、自然空冷のグラフは消費電力と温度上昇によって熱抵抗は変わり、一般的にグラフは曲線となる。その理由としては温度上昇が大きい程、対流が促進され放熱量が増えるためである。

表 241-4 市販品 熱抵抗=温度上昇／消費電力=60／9=6.7 (℃/W)

電流 (A)	消費電力 (W)	測温 (℃)	温度上昇 (℃)
0.10	3.0	39.7	19.7
0.15	4.5	46.5	26.5
0.20	6.0	55.0	35.0
0.25	7.5	64.9	44.9
0.30	9.0	80.0	60.0
0.35	10.5	95.6	75.6
0.40	12.0	113.2	93.2

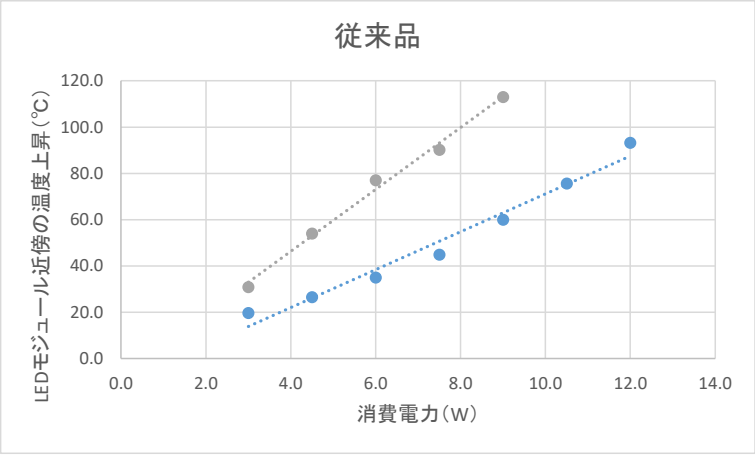


表 241-5 A1070 熱抵抗=温度上昇／消費電力=86.3／9=9.6 (℃/W)

電流 (A)	消費電力 (W)	測温 (℃)	温度上昇 (℃)
0.10	3.0	42.1	22.1
0.15	4.5	56.9	36.9
0.20	6.0	73.2	53.2
0.25	7.5	89.9	69.9
0.30	9.0	106.3	86.3

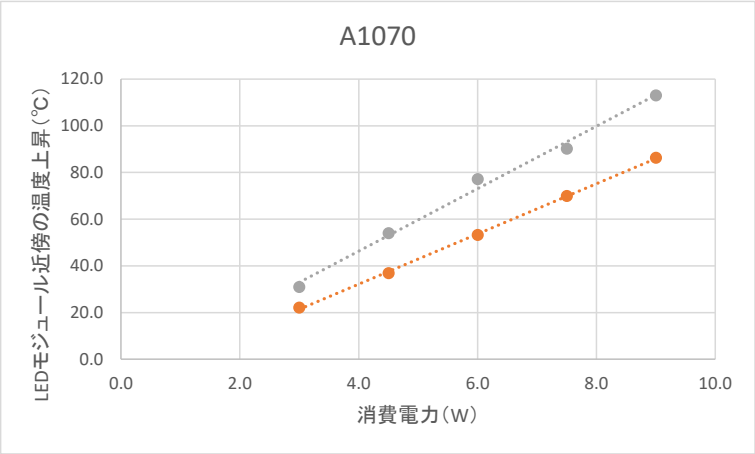
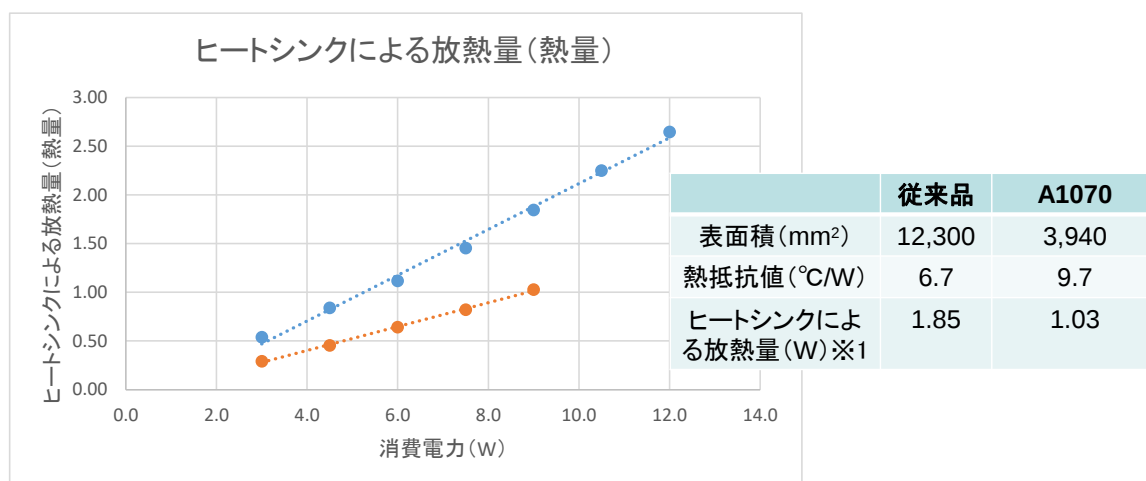


表 241-6 の A1070 と市販品の放熱作用を消費電力 9W で比べると、LED 単品 113℃に対して、A1070 は 1.03W 分を放熱して、86℃（△27℃）の放熱作用があることが分かる。一方の市販品は 1.85W 分を放熱して、60℃（△53℃）の放熱作用があることが分かる。

表 241-6 ヒートシンクの放熱作用

消費電力 (W)	A1070		市販品	
	温度上昇 (℃)	放熱量 (W)	温度上昇 (℃)	放熱量 (W)
3.0	22.1	0.29	19.7	0.54
4.5	36.9	0.45	26.5	0.84
6.0	53.2	0.64	35.0	1.12
7.5	69.9	0.82	44.9	1.45
9.0	86.3	1.03	60.0	1.85



表面積 12300mm² の市販品は、熱抵抗値 6.7 (℃/W)、表面積 3940mm² の A1070 は、熱抵抗値 9.7 (℃/W)。A1070 の熱抵抗 (温度の伝えにくさ、発熱量あたりの温度上昇量) は 9.7℃/W で、A1070 による放熱量は従来品の 56% に相当。一つの部品としては、放熱性が約半分だが、従来品で使用できない領域 (範囲) で利用することができる。

この A1070 と市販品の放熱量の差は、フィン面積に依存している。フィンピッチを狭め、フィン面積を大きくとれば放熱量が増加させることも方法となるが、この場合にはファンを使ってフィン間の温まった空気を強制的に排除することが必要となる。

2. 4. 2 非球面レンズを付けたヒートシンクの配光測定

非球面レンズを付けた LED モジュールをミラー式ゴニオフォトメーター（LMT 社型式：GO-DS1600）に取り付け、直流電源で LED モジュールに定電流を印可して配光測定した。

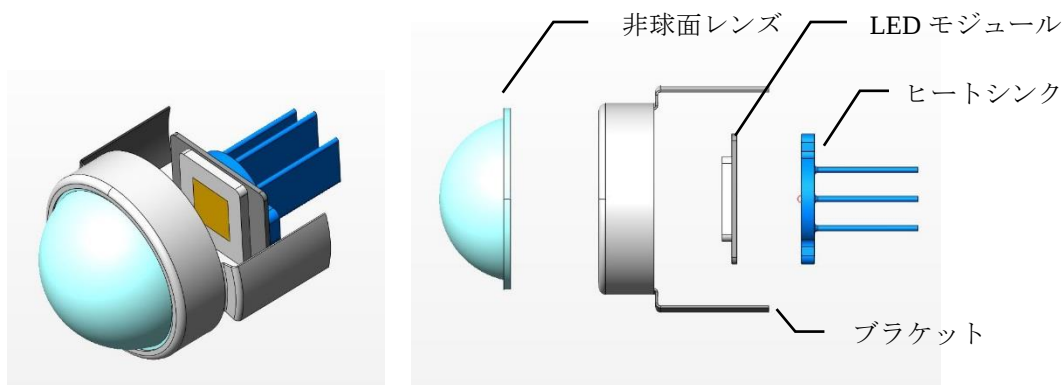


図242-1 非球面レンズを付けたLEDモジュール

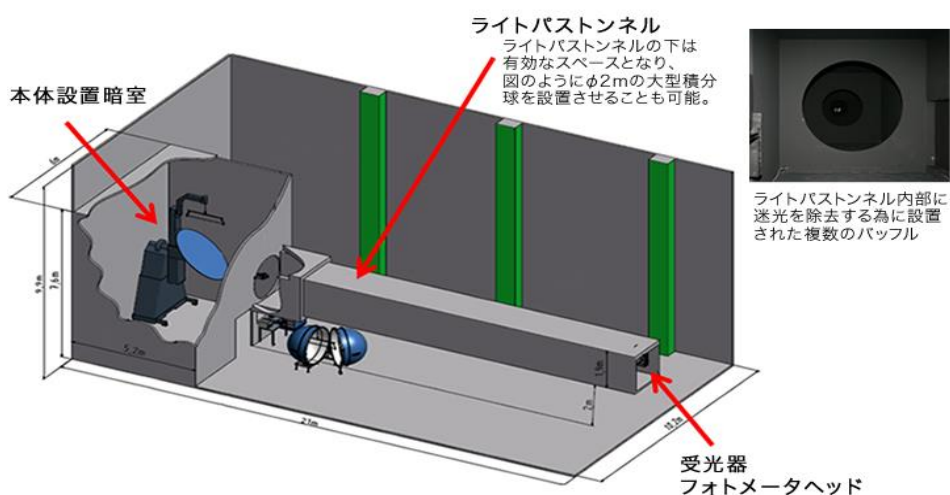


図242-2 大型配光測定装置

照明器具からの光はミラーに反射して受光器に導かれるが、照明器具に対してミラーが常に対向する様に、照明器具とミラーの双方が光軸を中心に回転し、角度ごとの光の強さを測定する。照明器具の光はミラーを介し、ライトバストンネルを通り19.25m先の受光器（照度計）へと導かれ、照度計の読み値を距離の逆二乗で除して、照度値から光度を算出している。

光度は照明器具の基準軸に交差する面における角度 ϕ （水平角）と、その平面の傾き θ （鉛直角）として、ミラー式ゴニオフォトメーターのA軸を鉛直角5度毎に回転させ、C軸を水平方向に連続回転しながら測定する「Cone measurement」で、角度を変えながら取得した光度により配光特性が得られ、更に光度に係数（球帯係数）を乗じて合算すると全光束値を求めることができる。

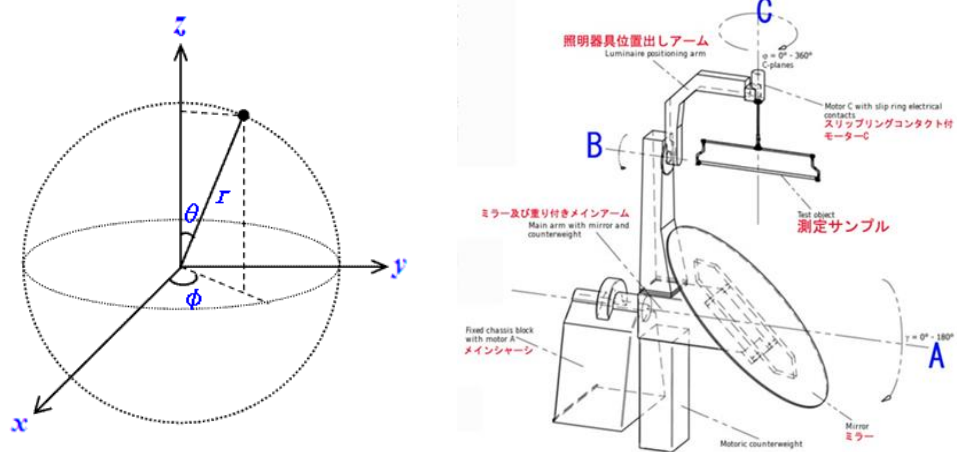


図242-3 配光測定方法

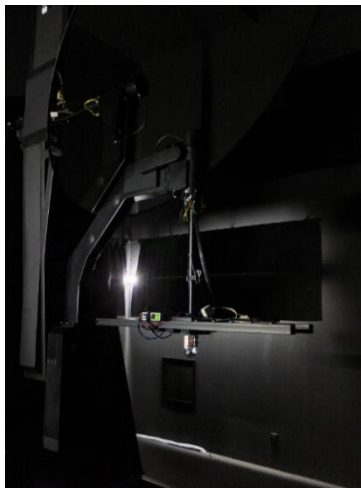


図 242-4 ミラー式ゴニオフォトメーター

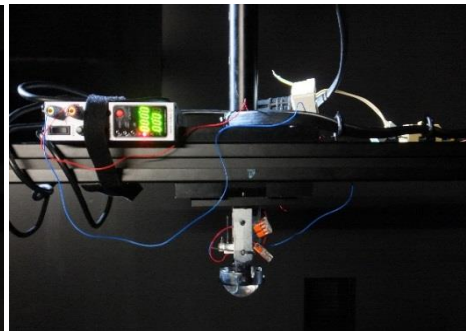


図 242-5 吊り下げ治具
(左方に直流電源)

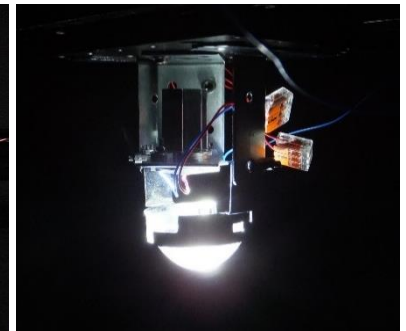


図 242-6 点灯の様子

非球面レンズを付けた LED モジュールは、吊り下げ治具で鉛直下向きに固定して、直流電源から給電した状態で配光測定した。測定した配光データは鉛直角毎に平均値を求め、その平均値に球帯係数をかけて、全光束を求めた。

表 242-7 全光束、光度および照度

電流 (A)	電力 (W)	全光束 (lm)	光度 (cd)	25m 先の照度 (lux)
0.200	6.0	343.7	1115	1.8
0.300	9.0	476.8	1509	2.4
0.400	12.0	586.4	1878	3.0
0.500	15.0	682.8	2189	3.5
0.600	18.0	761.7	2501	4.0

※1 全光束 (lm) は単位時間当たりに放射される光の量。

※2 光度 (cd) はある方向への光の強さ。

※3 照度 (lux) 単位面積当たりに入射する光束。

非球面レンズを付けた LED モジュール（ランプユニット）は、25m 先の 20m x20m のスクリーンに投影した場合、スクリーン中心部を約 4 lux で照明できることが分かった。

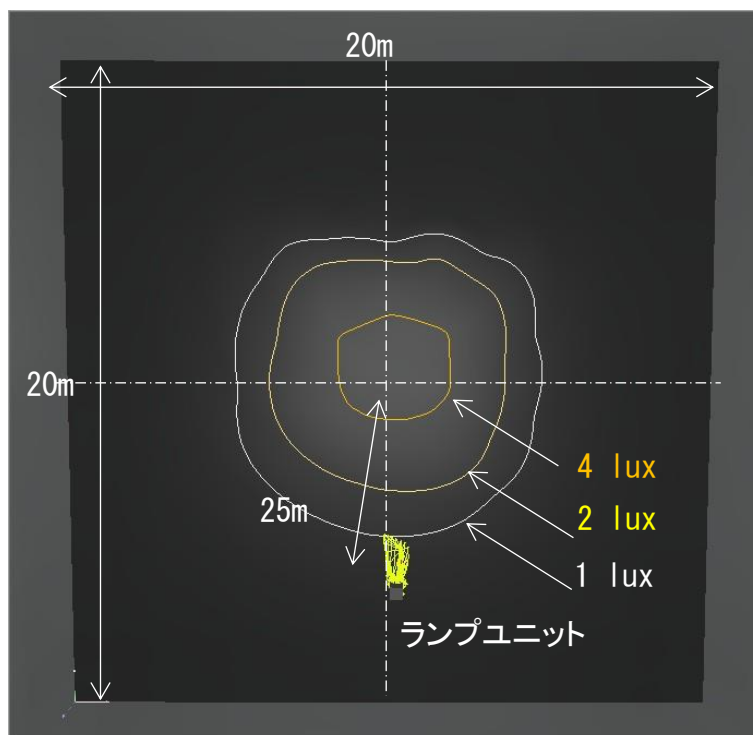


図 242-8 照度分布

複数個のユニットを合成させたランプユニットにすることで、自動車ヘッドランプのすれ違いビームやフォグランプとして実用できる程度であることを確認した。

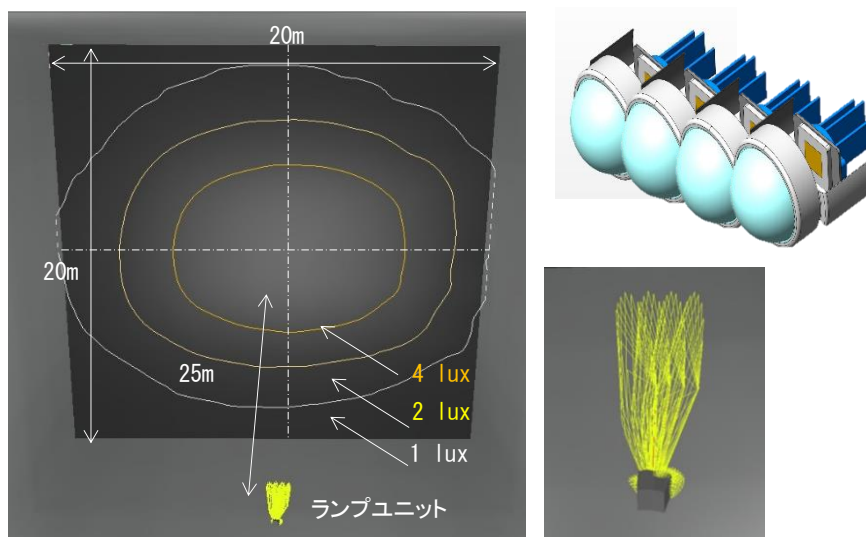


図 242-9 複数個のランプユニットを使った照度分布

第3章 全体総括

3.1 研究開発の成果

1) プレス鍛造複合成形性限界値への対応

プレス鍛造複合加工適用により発生が見込まれる寸法精度不良及び形状不良を設計段階に事前検討・対策することにより、製作段階で金型修正トライを繰り返しても部品（OK品）取得ができない状況（現状）はゼロにできた。

2) 自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品プレス成型技術の開発

プレス鍛造複合加工による成形品（自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク試作品）が形状不良等不具合発生無く従来の製造法（鋳造及び切削加工）による成形品以上の寸法精度及び品質（ $\pm 0.1\text{mm}$ 以下）を確保できた。

3) 連続生産自動化技術の構築

プレス機械1台にて10万個/月の自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品生産量を実現させる基盤として、バリ発生等による成形品搬出後の不良対策工数をゼロとし、搬送の自動化による連続生産性を確保できた。

4) 自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品としての機能検証

自動車ヘッドランプLED用ヒートシンク部品として要求される放熱性等機能要件、及びLEDユニットとしての機能要件を確保できた。

3.2 研究開発後の課題と事業展開

サポイン事業で取り組んだアルミヒートシンクは自動車部品業界での採用を目指し、当社の現有顧客や各種展示会で研究開発の成果を紹介する活動を通して、事業化につながる可能性を絶やさない努力をしていく。研究開発の成果を確実に事業化に結びつぐためには、自動車産業での車両開発タイミングに適切に乗ることが必須であるので、そうしたチャンスを逃さないよう、顧客の開発動向を織り込んだ事業計画を策定して取り組んでいく。サポイン事業の最終年度には、自動車部品メーカー一社より類似形状部品の試作に関する引き合いがあり、「プレス鍛造複合成形」の利用可能性が図れる内容で、技術的な打ち合わせに入っているところである。この事例のように、当研究開発で試作したヒートシンク形状に類似した製品や、当研究の中で開発した技術の部分的適用といった観点から、さらに事業化の道を探っていく計画である。