

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

「材料,プロセス,表面処理の三位一体イノベーションによる
次世代ヒートシンクの創製」

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

補助事業者 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
1－1 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	4
1－4 当該研究開発の連絡窓口.....	6
第2章 本論－（１）	6
【1. Al-25%Si の特性の明確化と薄肉化最適条件の探索】	6
【1－1】P（リン）添加の流動性への影響の明確化と添加P量の最適化	6
【1－2】リサイクル材の使用を考慮した不純物元素の湯流れ性への影響の明確化と限界量の決定	7
【1－3】耐食試験，塗装性の確認と改善.....	8
【1－4】流動長とフィン高さに対する操作条件の影響の明確化	9
【1－5】フィン間隔とフィン高さの関係の明確化.....	10
【1－6】離型剤の低濃度化限界の明確化.....	11
【2】超軽量薄肉ヒートシンクの作製	11
【3】ヒートシンクとブラケットの一体化.....	12
【4】Al-25%Si 用アルマイト処理法の開発	13
最終章 全体総括.....	16
研究開発の成果.....	16
事業展開	18

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

○当該特定ものづくり基盤技術において達成しようとする高度化の目標

(六) 立体造形に係る技術に関する事項

1 立体造形に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア. 高機能化

材料の熱伝導率や放射率が冷却能に直接影響する。熱伝導率は、ADC12 より熱伝導率が勝る Al-25%Si のダイカスト薄肉鋳造法を確立することで、同形状で 30%の冷却能を向上させる。放射率は表面処理による改善で、0.9 以上を達成する。また、薄肉にすることで同じ重さでもフィン面積を増やすことができるので冷却能を増すことができる。この点においても Al-25%Si の比重は ADC12 より軽いので有利である。

オ. 生産性、効率化の向上、低コスト化

高度・高額なダイカストマシンに依らず一般的なマシンを活用した薄肉鋳造を実現し、従来に比較し同性能で 30%軽量化による材料費低減と設備費低減を図る。金型への負荷を抑制したダイカスト鋳造法により、金型寿命を 40%程長くする。複雑な部品の複数部品一体成型化を図り、金型コスト、鋳造コスト、必要な生産ショット時間を 40%程低減する。

②上記を踏まえた高度化目標

ア. 当該技術が持つ物理的な諸特性の向上

熱伝導率が一般的なダイカスト用アルミ合金 ADC12 より優れる Al-25%Si を用い、従来よりも薄肉鋳造（1.5mm→1.0mm）により、同じ重さでもフィン面積を増やし、冷却能を増すことができる。Al-25%Si の比重は ADC12 より軽く、凝固潜熱ダイカストにより複雑且つ精密な鋳造した部材をユーザーへ供給する。

カ. グローバル競争に対応する技術の向上によるコスト低減

薄肉ダイカストに必要なサーボマシンや超高速射出マシンのような高額なダイカストマシンを用いず、金型も従来に比較し、長寿命化出来るダイカスト鋳造法を開発する。本テーマの鋳造法により、アルミ合金の湯流れ性を向上させることで、これまで不可能であった形状の一体ダイカスト鋳造を可能にし、構成部材を製造するのに必要な鋳造ショット数を低減し、製造コストを削減する。

目標値及び達成結果

技術的目標値及び達成結果を下表に示す。

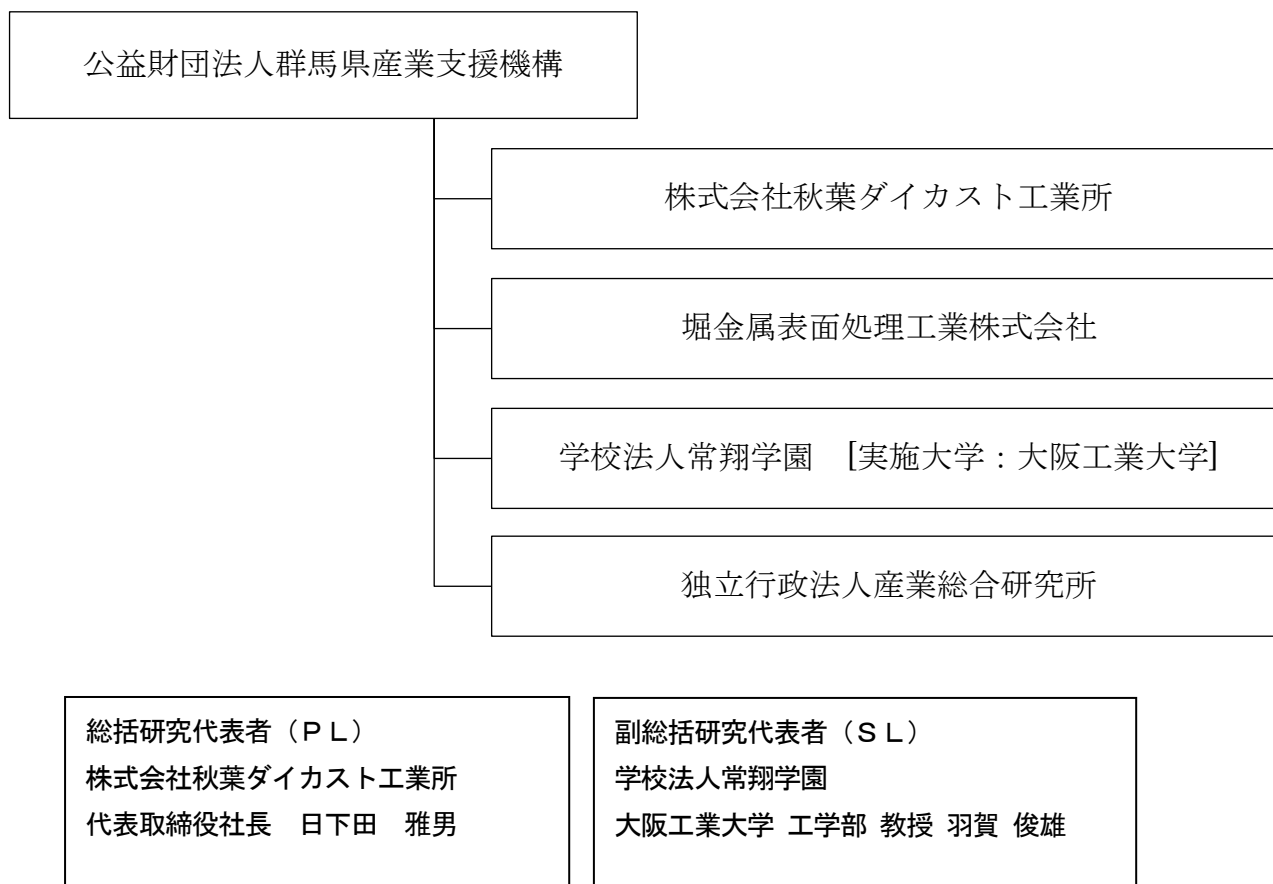
改善項目	目標値	達成結果
軽量化	重量の 40%削減	重量 40%削減を達成（高天井照明用ヒートシンク）
低コスト化	コストの 40%削減	コスト削減 46.5%を達成（自動車ヘッドランプ用ヒートシンク）
高機能化	放射率：0.9 以上，熱伝導率：25%増	放射率 0.92～0.95 を実現

1－2 研究体制

（研究組織・管理体制,研究者氏名,協力者）

（1）研究組織・管理体制

①研究組織（全体）



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人群馬県産業支援機構

(管理員)

氏名	所属・役職
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

【間接補助事業者（研究実施機関）】

(研究員)

株式会社秋葉ダイカスト工業所

氏名	所属・役職
日下田 雅男	代表取締役社長
森川 隆志	事業管理グループ リーダー
小池 一弘	事業管理グループ 開発設計チーム リーダー
古屋 毅	事業管理グループ 開発設計チーム 主任
田中 一郎	工場次長
清水 芳幸	製造課 課長
須田 直人	事業管理グループ 開発設計チーム
近藤 智之	製造課 主任
堀込 仁司	製造課 主任
秋山 裕貴	製造課 主任
神宮 信明	製造課 4級専門職
相川 武人	製造課 主任

堀金属表面処理工業株式会社

氏名	所属・役職
渡辺 浩介	取締役営業開発部 部長
大石 哲也	製造課

学校法人常翔学園大阪工業大学

氏名	所属・役職
羽賀 俊雄	大阪工業大学 工学部 教授
布施 宏	大阪工業大学 工学部 講師

国立研究開発法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職
松崎 邦男	製造技術研究部門構造・加工信頼性研究グループ ・上級主任研究員
永井 秀明	先進コーティング技術研究センター エネルギー応用材料研究チーム 主任研究員

アドバイザー

氏名	所属・役職	備考
成田 広明	(株)テクノアソシエ 自動車事業本部 第一営業部長	ニーズアドバイス
宇井 和久	スタンレー電気(株) 研究開発センター プロダクトマネージャー	ニーズアドバイス
松本 裕之	岩崎電気(株) 技術本部 新技術開発部 応用技術開発課 課長	ニーズアドバイス
菅野 俊也	岩崎電気(株) 技術本部 新技術開発部 光源技術開発 課長	ニーズアドバイス
神戸 洋史	日産自動車(株) パワートレイン生産技術本部 成形 技術部 鋳造技術グループ シニアエキスパート	ニーズアドバイス
西 直美	学校法人ものづくり大学 高温プロセッシングシステム 研究室	ダイカスト技術指導
鈴木 孝和	有識者(工学博士)	表面処理技術指導

1-3 成果概要

【1. Al-25%Si の特性の明確化と薄肉化最適条件の探索】

【1-1】P(リン)添加の流動性への影響の明確化と添加P量の最適化

(大阪工業大学・産総研)

Pの添加量を0~500PPMの範囲で変化させ、鋳造試験をした結果、P添加量による流動長の顕著な差はなかった。

【1-2】リサイクル材の使用を考慮した不純物元素の湯流れ性への影響の明確化と限界量の決定

(大阪工業大学・産総研・秋葉ダイカスト工業所)

リサイクル材を想定した不純物元素Fe, Mg, Cuを添加して湯流れ性試験を行った。

特に添加元素の添加有無による流動長の大きな差異は見られなかった。不純物元素の流動長に及ぼす影響は少なく、安定した流動長を得られることが解った。

【1-3】耐食試験、塗装性の確認と改善

(大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所)

Al-25%Si の耐食性を把握するために照明に使用する場合を想定し、粉体塗装を施し、塗装性と塗装後の塩水噴霧試験を実施した。

塗装性及び塗装後の耐食性では錆や剥離が無い良好な結果を得た。

【1－4】流動長とフィン高さに対する操作条件の影響の明確化

(大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所)

先端厚さ0.5mm, 抜き勾配0.5°の形状でフィン高さを35mm, 40mm, 45mm, 50mmと可変させてフィンが完全充填するブランジャー速度を調査した。Al-25%Siは、ゲート速度が低くても薄肉フィンを充填させることができる結果となった。ゲート間隔は薄肉フィンの充填性に影響を及ぼさない事がわかった。溶湯の過熱度に対する影響について、Al-25%Siは過熱度0°Cの状態においても良好な湯流れを示す事がわかった。

【1－5】フィン間隔とフィン高さの関係の明確化

(大阪工業大学)

フィンの間隔がフィン高さに与える影響を明確にする。フィンの間隔がどの程度狭くできるか明らかにした。

フィン高さ50mmにおいてはフィンピッチ9mm, フィンピッチ11.25mmとも完全充填する事が解った。フィン高さ60mmでも完全充填する結果となった。

【1－6】離型剤の低濃度化限界の明確化

(大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所・産総研)

溶湯を低温・低速で充填しているため、固着が発生し難い結果となった。

使用する離型剤の量が1/3以下で鋳造可能である事がわかった。

【2. 超軽量薄肉ヒートシンクの作製】

(秋葉ダイカスト工業所)

照明用LEDライトのヒートシンクの薄肉化による40%の軽量化を目指し、目標通り現行量産品よりも40%の軽量化が実現出来た。また、異形状の現行量産と比べ放熱性能は向上していることがわかった。

【3. ヒートシンクとブラケットの一体化】

(秋葉ダイカスト工業所)

実際のヒートシンクの薄肉化とそれを取り付けるブラケットや付属する取付け金具の一体化とコストダウン、軽量化を行った。

スタンレー社の二眼モデル現行品の20%軽量モデルで実機試作し、仕様を満足する良好な試作品を得た。結果39%のコスト低減が可能であることがわかった。さらに、市光工業社のブラケット一体型ヒートシンクの1眼2個取り型の実証試験で、46.5%のコスト低減が可能であることがわかった。

【4. Al-25%Si用アルマイト処理法の開発】

(堀金属表面処理工業)

Al-25%Siに適した条件を探索し、放射率をアルマイトなしの0.5から黒色化を成功させて0.9以上を目指す。

アルマイト処理結果は概ね外観色は良な仕上がり色となっており予備実験としては極めて良好なアルマイト仕上がり品を得た。放射率は0.92を達成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

法認定機関：株式会社秋葉ダイカスト工業所

住所：〒370-0072 群馬県高崎市大八木町580

TEL：027-361-4499

FAX：027-361-0272

連絡担当者：代表取締役社長 日下田雅男

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

【1. Al-25%Si の特性の明確化と薄肉化最適条件の探索】

【1-1】P（リン）添加の流動性への影響の明確化と添加P量の最適化

（平成27年度 大阪工業大学・産総研）

Pの添加量は、0、100、200、300、400、500PPMとした。図1に示す渦巻き型の流動長試験用金型を使用し、射出速度0.8m/s、溶解温度800℃・830℃で鑄造した結果、P添加量により流動長の顕著な差はなかった。

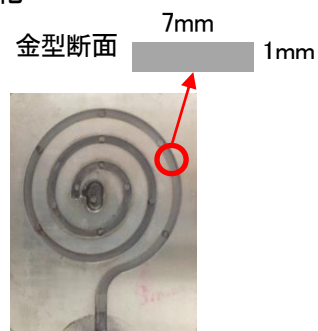


図1 渦巻き型流動試験金型

【1－2】リサイクル材の使用を考慮した不純物元素の湯流れ性への影響の明確化と限界量の決定
(平成 28 年度 大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所・産総研)

図 2 に示す渦巻形流動試験金型を用いてリサイクル材の使用を考慮した不純物元素を添した場合の湯流れ性への影響調査と限界量を決定した。

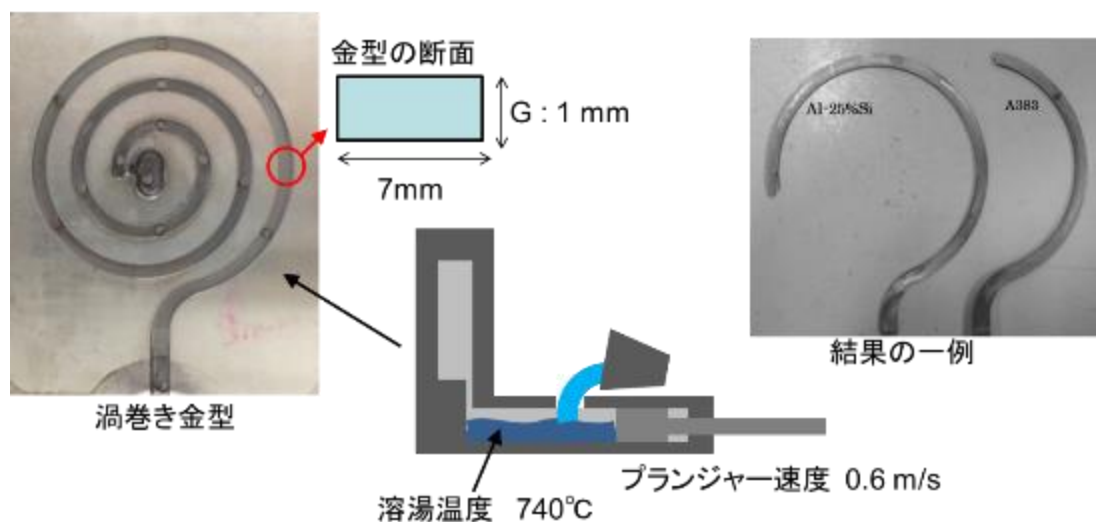
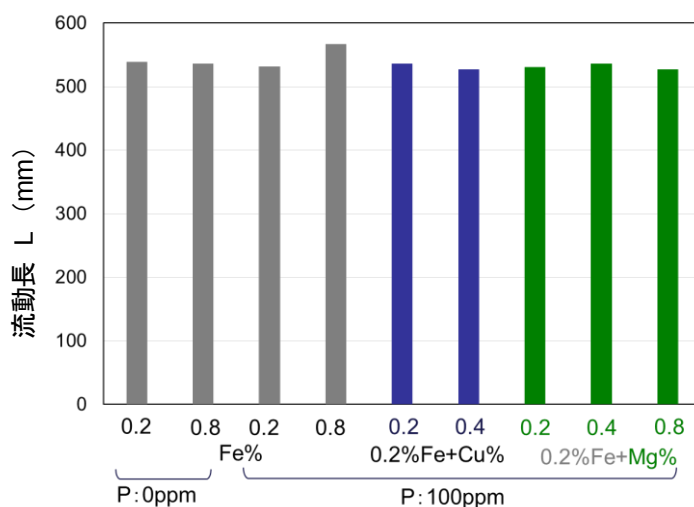


図 2 渦巻形流動試験金型を用いた流動試験概略

リサイクル材を想定した不純物元素 Fe, Mg, Cu を添加して湯流れ性試験を行った。特に添加元素の添加有無による流動長の大きな差異は見られなかった。流動長試験における添加元素と流動長の関係を図 3 に示す。Fe 量は最もポピュラーなダイカスト用合金 ADC12 に含有されている 0.8%程度を max とし Cu は 0.4%max, Mg は 0.8%max の組合わせで casting を行った。プランジャーの速度を 0.6m/s, スリーブに注湯後 740°Cの温度になった時点で射出を開始する。全て casting 条件が同じ条件下で流動長の比較をした一覧である。



プランジャー速度 0.6m/s, 鑄造温度 740°C

図 3 不純物元素を添加した場合の流動長試験結果

不純物元素を添加した時の成型性を確認するためにFe=0.8%及びFe=0.2%を添加した時にフィン高さ50mmのヒートシンクを実際に使用して鑄造を行った。図4に鑄造した結果を示す。

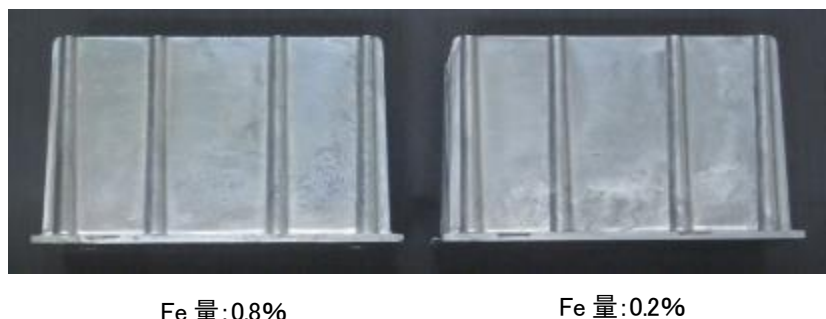


図4 不純物元素であるFeを添加した場合のヒートシンク鑄造結果

射出速度などの鑄造条件は同一条件でフィンまで完全充填した。外観不良である湯ジワ、湯境、フクレや割れなどは一切なくFe添加は成型性へ全く影響は見られなかった。

Feを添加したAl-25%Si合金を用いて重力鑄造で板を作製し、ホットデスク法により熱伝導度を測定したところFeの添加にともない熱伝導度の低下がみられるが、0.8wt%添加でも112W/mKであり、わずかな低下しかみられなかった。従って、Feの微量な添加であれば、熱伝導度への影響はわずかであることが分かった。

【1－3】耐食試験、塗装性の確認と改善

(平成28年度 大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所)

図5に実際に作製した本提案形状のヒートシンクにアクリル塗装を施し、なおかつ塩水噴霧による耐食性試験をおこなった。塗装の密着性においては何ら剥離するなどの現象は発生せず、480Hの塩水噴霧試験を行っても錆や塗装が剥離するなどの現象は一切見受けられなかった。



図5 アクリル系粉体塗装



図6 塩水噴霧による耐食性試験

塗装の良否について行った試験名称および試験場所

試験名称：塩水噴霧試験 480H

試験場所：埼玉県産業技術総合センター（SAITEC）北部研究所（熊谷）

【1－4】流動長とフィン高さに対する操作条件の影響の明確化

(平成 27・28・29 年度 大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所)

図 7 に示すフィン先端厚さ 0.5mm, 抜き勾配 0.5° の形状でフィン高さを 35mm, 40mm, 45mm, 50mm と可変させてフィンが完全充填するプランジャー速度を調査した。

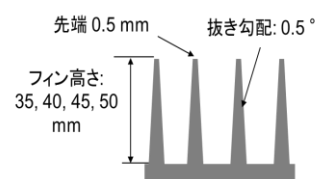


図 7 フィン高さ関係図

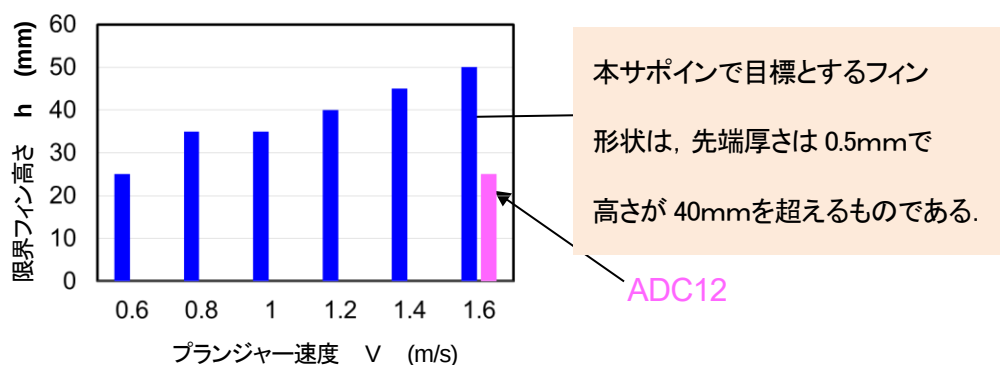


図 8 射出速度と限界フィン高さの関係図

図 8 に示す様に射出速度を段階的に上げて行く事により流動長とフィン高さは比例し完全充填する事がわかった。本サポインの目標とするフィン高さ 40mm 以上は実現する事が明確となった。フィン高さに対する操作条件については図 9 に示す影響因子について調査した。

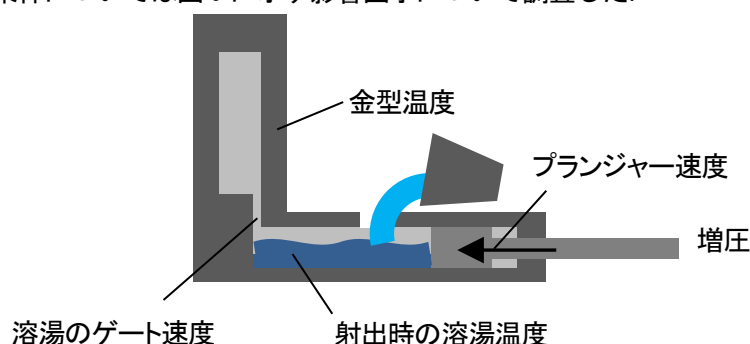


図 9 フィン高さに対する捜査条件の影響因子

フィン高さに対するゲート流速に関しては、Al-25%Si は、ゲート速度が低くても薄肉フィンを充填させることができ、高速充填及び増圧の必要はない。表 1 にフィン高さとプランジャー速度および最低ゲート速度調査結果を示す。フィン高さに対するゲート形状の影響はゲートの間隔が 1mm 以上の場合、ゲート後の溶湯流速の速度が高くなる条件、つまりゲートの間隔が狭い方が溶湯は金型に充填し易いとされている。しかし、Al-25%Si ではゲート間隔を変えても充填には関係しなかった。これは、Al-25%Si が凝固し難く良好な流動性を有することが原因であると考えられる。型寿命の観点から流速が遅くなるゲート間隔 2mm の条件が良い。チルベントの関係については Al-25%Si は従来のダイカスト用合金の ADC12 や HT-1 と比べて流動性が良好であるためチルベント間隔を狭める必要がある。表 2 に合金種類とチルベントの間隔を示す。チルベントが広い場合は、チルベントに溶湯が流れてしまい、フィンが充填しない場合もある。

表1 フィン高さとプランジャーおよび最低ゲート速度の関係

フィンの高さ	プランジャー最低速度	ゲート最低速度
40 mm	1.0 m/s	19.8 m/s
60 mm	1.3 m/s	25.8 m/s

表2 合金種類とチルベントの間隔

ADC12	1.5~2.0mm
HT-1	1.5~2.0mm
Al-25%Si	0.8~1.2mm

溶湯温度の影響に関して従来は、過熱度（液相線より高い温度）を高くすることにより流動長を増している。これに対し、Al-25%Siは、過熱度が0℃の状態でも良好な流動性と薄肉充填性を示す。過熱度を大きくする方法は、溶解エネルギーや型寿命を短くするので、Al-25%Siでは、あえて採用する必要はないと考えられる。これらの操作条件に対する研究結果と従来合金の比較まとめを表3に示す。

作製物	材料	金型温度	射出時溶湯温度	射出速度	型寿命
ヒートシンク (薄肉品)以外	ADC12	100℃以上	680℃ (溶湯)	3m/s 以上	10万ショット
ヒートシンク	HT1 ADC12	250℃以上	730℃ (溶湯)	8m/s 以上	6万ショット
ヒートシンク	Al-25%Si	100℃ ~室温	700℃ (半凝固)	2m/s 以下	10万ショット (予測)

表3 流動長とフィン高さに対する操作条件まとめ

【1-5】フィン間隔とフィン高さの関係の明確化

(平成27・28・29年度 大阪工業大学)

図10に示す形状でフィン先端厚さ0.5mm、フィン抜き勾配0.5°、ベース厚さ2mmで統一しフィン高50mm, 60mmにおけるフィン間隔（ピッチ）とフィン高さの関係を明確化する。

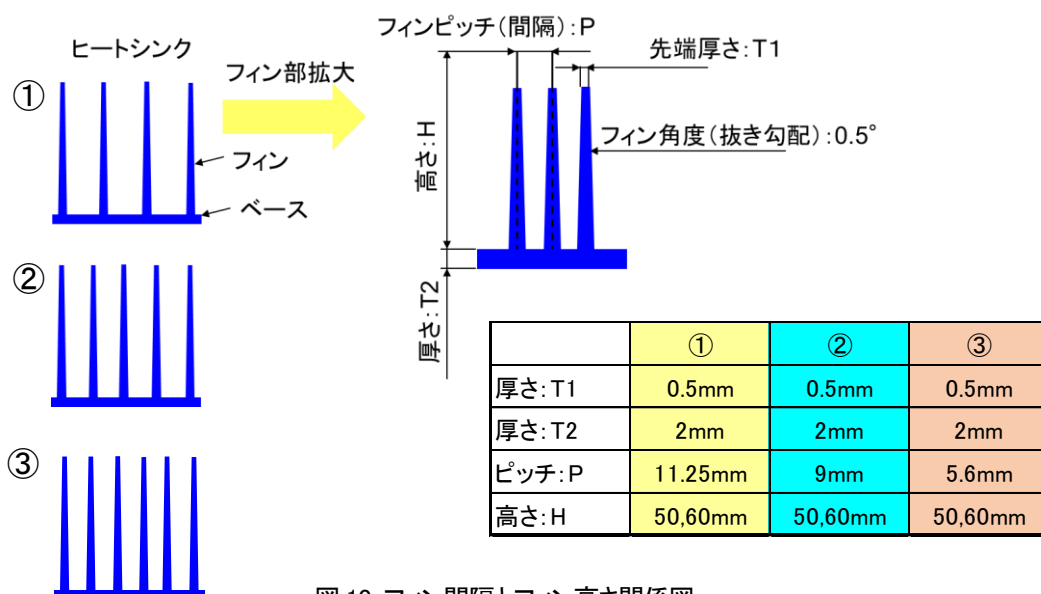


図10 フィン間隔とフィン高さ関係図

図 11, 図 12 に示す通りフィン高さ 50mm においてはフィンピッチ 9mm, フィンピッチ 11.25mm とともに完全充填する事がわかった。

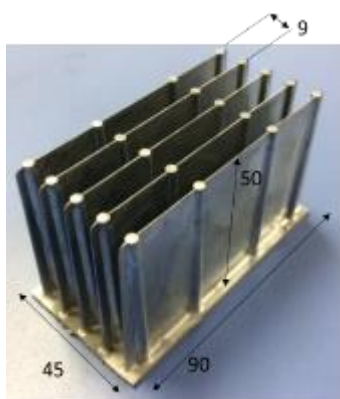


図 11 フィンピッチ 9mm (フィン 5 枚)

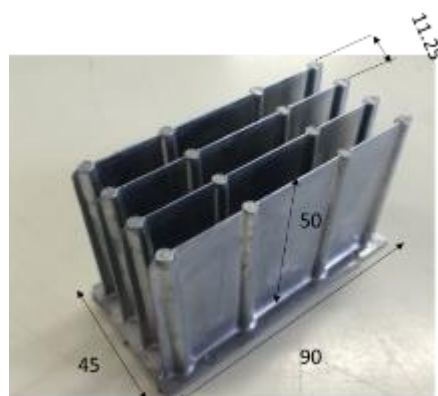


図 12 フィンピッチ 11.25mm (フィン 4 枚)

フィン間隔が狭くなっても、これまで示した作製条件内で、かつ同条件で同じ高さのフィンを充填することができた。Al-25%Si においては、フィン間隔は作製可能なフィン高さに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

【1－6】離型剤の低濃度化限界の明確化

(平成 29 年度 大阪工業大学・秋葉ダイカスト工業所・産総研)

Al-25%Si は既存合金に使用する希釈倍率の 3 倍以上の低濃度の離型剤を使用しても、金型への溶湯の固着が発生しない事がわかった。表 4 に現行離型剤希釈倍率と本プロジェクト用いた離型剤に関する調査結果を示す。

表 4 既存合金と Al-25%Si に使用する離型剤希釈倍率

既存合金	Al-25%Si 合金
ワックス系エマルジョンタイプ (水希釈率 50 倍)	ワックス系エマルジョンタイプ (水希釈率 200 倍)

Si が金型との離型を高めるので、離型剤を減らす(希釈倍率を上げる)事が出来るが、解析結果から金型温度の上昇により、Si の金型との反応が強くなり、焼き付きが起こる事も明らかになった。

【2. 超軽量薄肉ヒートシンクの作製】

(平成 27・28・29 年度 秋葉ダイカスト工業所)

本提案で超薄肉形状のフィンを有する超軽量ヒートシンクの製品設計、ダイカスト金型設計を行い製作し超軽量ダイカストヒートシンクを作成した。本提案の Al-25%Si 合金を用いたダイカスト工法は ADC12 や HT-1 材料などと比べて極めて流動性が良いことから射出速度は遅くとも完全充填する事がわかった。

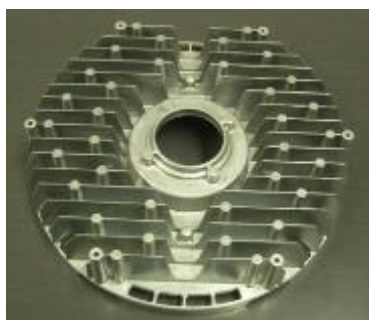


図 13 本提案

表 5 本提案

	重量		LED温度
現行品 (HT1)	1.22kg	100%	80.3℃
本提案 (ATG1)	0.78kg	64%	81.1℃

表 1 より現行量産品よりも 36%の軽量化が実現出来た。異形状の現行量産と比べ放熱性能は向上している。サーモグラフィーの解析では温度上昇の分布エリアが本提案は狭まっており更にコンパクト化が可能でがわかった。



現行品



提案

図 14 サーモグラフィーによる温度分布比較

【3. ヒートシンクとブラケットの一体化】

(平成27・28・29年度 秋葉ダイカスト工業所)

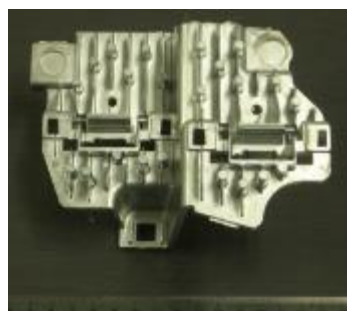
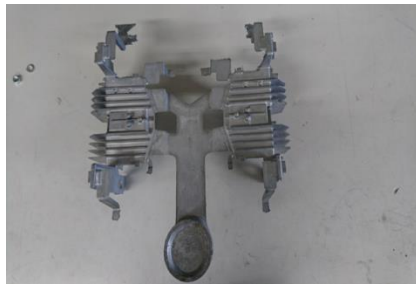


図 15 タイプ A 二眼連結ブラケット一体型

表 6 本提案 1 眼, 二眼コスト比較

項 目		一眼連結	二眼
材料費	15%	100%	100%
ダイカスト費	70%	100%	66%
仕上げ加工費	10%	100%	67%
アルマイト費	5 %	100%	70%
全体の費用		100%	71%



一眼ブラケット一体型 2 個取型

項 目		一眼連結(現状) ADC-12	一眼連結(現状) HT-1	一眼2個取 Al-25%Si
材料費	15%	100%	140	140%
ダイカスト費	70%	100%	130	25%
仕上げ加工費	10%	100%	100	100%
アルマイト	5 %	100%	100	100%
全体の費用		100%	113%	53.5%(ADC12比) 43.5%(HT-1比)

表 7 本提案 1 眼コスト比較

表 6 より二眼モデルの場合は約 30% 近くのコスト低減が可能であることがわかる。更に一眼でもブラケット一体型の 2 個取り化で 46. 5% のコスト低減が図れた。

【 4. Al-25%Si 用アルマイト処理法の開発】

(平成27・28・29年度 堀金属表面処理工業)

通常 Al-Si 合金においては, Si 量が 15% より多い場合はアルマイト処理が困難とされていた。予備実験において過冷却ダイカスト法で作製した Al-25%Si 板の表層の 5~10 μ m の部分は, 過冷却により特殊な組織を呈していた。0.2 μ m より大きな初晶 Si は存在せず, 微細な α -Al が存在していた。この部分だけを処理すれば, 亜共晶 Al-Si 合金と同等の放射率のアルマイト処理を施すことができる可能性があることが判明した。また Al-25%Si 合金に微細化剤を添加しない場合と微細化剤を添加した場合の表面処理状況を図 16 に示す。



図 16 微細化剤, 黒色染色処理結果

①, ④においては膜厚の厚さで仕上り色の変動はない(全体に茶褐色)。⑤, ⑦においては活性化処理+黒色染色を行った。⑥は活性化処理無しで黒色染色のみを施したものである。⑥は①, ④と比較すると茶色目は減少している。⑤と⑦を比較すると僅かながら⑦の方が黒味がある事がわかる。再溶解現象が少ないのではないかと判断できる。これらの結果を総合的に判断すると染色においては活性化処理工程が極めて重要であることがわかった。アルマイト処理における Al-25%Si 合金に添加する微細化剤の影響に関しては過冷却と鑄造段階での急凝固により初晶 Si が微細化している事から表面処理において大きな影響は無いと判断できる。

①～⑥の表面処理層の膜厚は $15\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ であった。名古屋市工業研究所で測定した放射率を図 17 に示す。放射率測定結果は 0.91 及び 0.93 であった。

測定結果	
放射率	0.91
放射率	0.93

図 17 名古屋市工業研究所 放射率測定結果

【3】のヒートシンクとブラケットの一体化において作製した図 18 に示すタイプ A 二眼連結ブラケット一体型ヒートシンクのアルマイト処理を予備実験的に行った。

図 19 に示すチタン製のアルマイト用の治具 4 個掛けを作製し電流、電圧等の処理条件の模索を行った。



図 18 二眼連結ブラケット一体型ヒートシンク

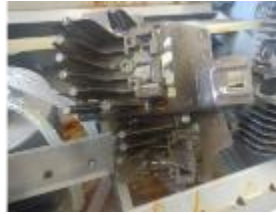


図 19 アルマイト処理用
チタン製治具4個掛け

アルマイト処理結果は概ね外観色は図 16 と同様の仕上がり色となっており予備実験としては極めて良好なアルマイト仕上がりとなった。図 19 にヒートシンクアルマイト処理結果及び放射率測定結果を示す。放射率は 0.92 であり図 16 同様に良好な結果が得られた。



図 22 24 時間



72 時間耐食性試験



図 23 96 時間耐食性試験

アルマイト処理後の耐食性性能に関してはアルマイト層の膜厚の成長と比例して耐食性向上が見込める。

最終章 全体総括

研究開発の成果

【1. Al-25%Si の特性の明確化と薄肉化最適条件の探索】

【1-1】P（リン）添加の流動性への影響の明確化と添加 P 量の最適化

P の添加量を変化させ、射出した際の流動長を調査した結果、P 添加量により流動長の顕著な差はなかった。

【1-2】リサイクル材の使用を考慮した不純物元素の湯流れ性への影響の明確化と限界量の決定

渦巻形流動試験金型を用いてリサイクル材の使用を考慮した不純物元素を添加した場合の湯流れ性への影響調査と限界量を決定した。

リサイクル材を想定した不純物元素 Fe, Mg, Cu を添加して湯流れ性試験を行った。特に添加元素の添加有無による流動長の大きな差異は見られなかった。Fe 量は最もポピュラーなダイカスト用合金 ADC12 に含有されている 0.8%程度を max とし Cu は 0.4%max, Mg は 0.8%max の組合わせて鋳造を行った。射出速度などの鋳造条件は同一条件でフィンまで完全充填した。外観不良である湯ジワ、湯境、フクレや割れなどは一切なく Fe 添加は成型性へ全く影響は見られなかった。Fe を添加した Al-25%Si 合金を用いて重力鋳造で板を作製し、ホットデスク法により熱伝導度を測定したところ Fe の添加にともない熱伝導度の低下がみられるが、0.8wt%添加でも 112W/mK であり、わずかな低下しかみられなかった。従って、Fe の微量な添加であれば、熱伝導度への影響はわずかであることが分かった。

【1-3】耐食試験、塗装性の確認と改善

作製した本提案形状のヒートシンクにアクリル塗装を施し、なおかつ塩水噴霧による耐食性試験をおこなった。塗装の密着性においては何ら剥離するなどの現象は発生せず、480H の塩水噴霧試験を行っても錆や塗装が剥離するなどの現象は一切見受けられなかった。

【1-4】流動長とフィン高さに対する操作条件の影響の明確化

フィン先端厚さ 0.5mm, 抜き勾配 0.5° の形状でフィン高さを 35mm, 40mm, 45mm, 50mm と可変させてフィンが完全充填するプランジャー速度を調査した。

射出速度を段階的に上げて行く事により流動長とフィン高さは比例し完全充填する事がわかった。本サポインの目標とするフィン高さ 40mm 以上は実現する事が明確となった。フィン高さに対

するゲート流速に関しては、Al-25%Si は、ゲート速度が低くても薄肉フィンを充填させることができ、高速充填及び増圧の必要はない。フィン高さに対するゲート形状の影響はゲートの間隔が1mm 以上の場合、ゲート後の溶湯流速の速度が高くなる条件、つまりゲートの間隔が狭い方が溶湯は金型に充填し易いとされている。しかし、Al-25%Si ではゲート間隔を変えても充填には関係しなかった。これは、Al-25%Si が凝固し難く良好な流動性を有することが原因であると考えられる。型寿命の観点から流速が遅くなるゲート間隔 2mm の条件が良い。チルベントの関係については Al-25%Si は従来のダイカスト用合金の ADC12 や HT-1 と比べて流動性が良好であるためチルベント間隔を狭める必要がある。チルベントが広い場合は、チルベントに溶湯が流れてしまい、フィンが充填しない場合もある。

【1-5】-フィン間隔とフィン高さの関係に明確化

フィンピッチをどの程度狭く出来るかを調査し、フィン高さ 50mm 及び 60mm において、フィンピッチ 9mm、11.25mm とも完全充填することがわかった。

【1-6】離型剤の低濃度化限界の明確化

Al-25%Si は既存合金に使用する希釈倍率の 3 倍以上の低濃度の離型剤を使用しても、金型への溶湯の固着が発生しない事がわかった。表4に現行離型剤希釈倍率と本プロジェクト用いた離型剤に関する調査結果から、既存合金に比べ、Al-25%Si 合金の場合は、Si が金型との離型を高めるので、離型剤を減らす(希釈倍率を上げる)事が出来る事が解ったが、解析 結果から金型温度の上昇により、Si の金型との反応が強くなり、焼き付きが起こる事も明らかになった。

【2. 超軽量薄肉ヒートシンクの作製】

本提案で超薄肉形状のフィンを持つ超軽量ヒートシンクの製品設計、ダイカスト金型設計を行い製作し超軽量ダイカストヒートシンクを作成した。本提案の Al-25%Si 合金を用いたダイカスト工法は ADC12 や HT-1 材料などと比べて極めて流動性が良いことから射出速度は遅くても完全充填する事がわかった。現行量産品よりも 36%の軽量化が実現出来た。

異形状の現行量産と比べ放熱性能は向上している。サーモグラフィーの解析では温度上昇の分布エリアが本提案は狭まっており更にコンパクト化が可能であることがわかった。

【3. ヒートシンクとブラケットの一体化】

ブラケット一体化 2 形状の試作を行い、製造コストの低減を図った。

二眼モデル 1 個取り化形状の製作が可能であることを実証し、約 30%近くのコスト低減が可能であることがわかった。

更に一眼でもブラケット一体型の 2 個取り化も完全充填したヒートシンクの試作が出来、46.5%のコスト低減が図れた。

【4. Al-25%Si 用アルマイト処理法の開発】

通常 Al-Si 合金においては、Si 量が 15%より多い場合はアルマイト処理が困難とされていた。予備実験において過冷却ダイカスト法で作製した Al-25%Si 板の表層の 5~10 μ m の部分は、過冷却により特殊な組織を呈していた。0.2 μ m より大きな初晶 Si は存在せず、微細な α -Al が存在していた。この部分だけを処理すれば、亜共晶 Al-Si 合金と同等の放射率のアルマイト処理を施すことができる可能性があることが判明した。

表面処理層の膜厚は 15 μ m~20 μ m であった。名古屋市工業研究所で測定した放射率は 0.91 及び 0.93 であった。

ヒートシンクの耐食性試験を試みた。耐食性 (SST) 試験において 24 時間、72 時間、96 時間後の耐食性について確認した。24 時間、72 時間における耐食性については錆の成長は認められず良好な耐食性を示した。96 時間後の耐食性を確認した所、僅かな錆の成長が確認出来た。

アルマイト処理後の耐食性性能に関してはアルマイト層の膜厚の成長と比例して耐食性向上が見込める。

事業展開

【照明用ヒートシンク】

岩崎電気(アドバイザー)の高評価を受けて、国内主力照明メーカー数社に提案展開中。

固定型大型板金構造ヒートシンク、事業成果が適用されるランプ交換型、軽量高意匠デザインヒートシンクと棲み分け化が起こっており、岩崎電気を含む 5 社にヒートシンクの軽量化と放熱性能向上を PR を進めている。具体例として高速道路照明用ヒートシンクをターゲットに耐候性(塩水噴霧)試験実施中。

【自動車 LEDヘッドランプ用ヒートシンク】

スタンレー電気(アドバイザー)にて、良好な評価試験結果により、2021 年量産モデルへの Al-25%Si 製ヒートシンク搭載の検討を開始した。

小型軽量化においても 0.5mm 超薄肉ヒートシンクの放熱優位性は高い評価を得ている。

【その他】

HUD(ヘッドアップディスプレイ)、インバーター・コンバーター用途等開拓予定。