

令和3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

「研究開発テーマ：新素材を切削加工した鋳造型による
低コスト小中ロット用アルミダイカスト鋳造法の開発」

研究開発成果等報告書

令和4年5月

担 当 局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

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) 研究開発の背景

(2) 研究目的及び目標

1-2 研究体制

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本 論

2-1 研究内容・成果

(1) 研究成果の具体的内容

2-2 研究開発の高度化目標値（技術的目標）

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果まとめ

3-2 研究開発後の課題

3-3 事業化展開について

(1) 事業化の方針

(2) 課題とその対応

3-4 アドバイザーによる講評

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) 研究開発の背景（従来技術での課題）

搬送コンベヤ、電力遮断器や小型ポンプ、電動工具などの駆動に使用される産業用モータは、常に小型・軽量が要求され、その構造部品は重量当たりの強度が高く軽量化が図れるアルミ素材を用いることが有利である（図1）。

アルミ素材の成形には、通常、アルミ鋳物を用いる方法と、アルミダイカスト鋳造との2種類が用いられる（図2、3）。

比較的、標準化が可能なモータフレームはロット数が大きく、アルミダイカスト鋳造で生産することが可能である。アルミダイカスト鋳造法は、金型に溶融アルミを連続して注入、加圧鋳造する手法である（図2）。金型を用いることから、高精度かつ量産が可能という利点がある。

アルミダイカスト鋳造は高い精度を出すことが可能な反面、金型製作（外注）に放電加工機等の高額な機械にて製作後、溶融アルミに耐えうる性能を付与するため熱処理を施すなど、非常に特殊な加工にて製作されることから、一つの金型製作に3~6ヵ月、150万~1千万円かかるなど時間と多大な費用が掛かる。



図1 産業用モータ及び部品

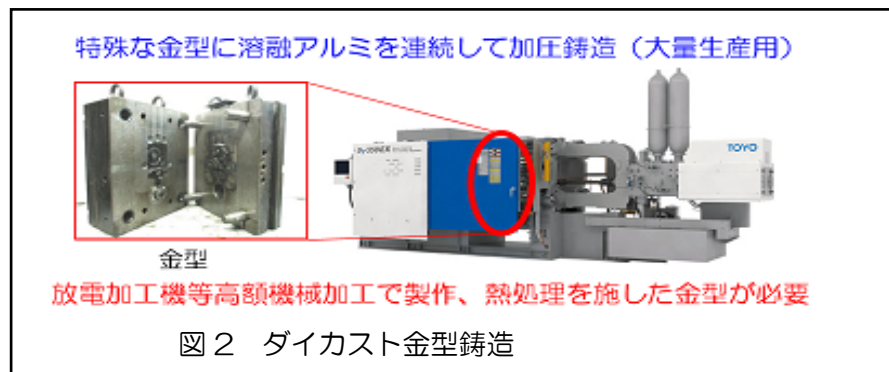


図2 ダイカスト金型鋳造

対照的に形状は単純であるが、顧客仕様・寸法上の制限によって専用品で小ロットとなる軸受支えやギヤケースは、アルミダイカスト鋳造では採算が合わず、やむなく低精度で型費が償却できるアルミ鋳物を調達、供給している。

そのため、小ロット生産は砂型アルミ鋳物を用い、大ロット生産はアルミダイカスト鋳造を用いることで棲み分けが行われている。

アルミ鋳物は、木型を製作し、空洞形成した砂型に溶融アルミを鋳込む方法である（図3）。木を用いるため精度が低いですが、型製作に必要な費用は安価で製作時間も短いという特徴を持つ。

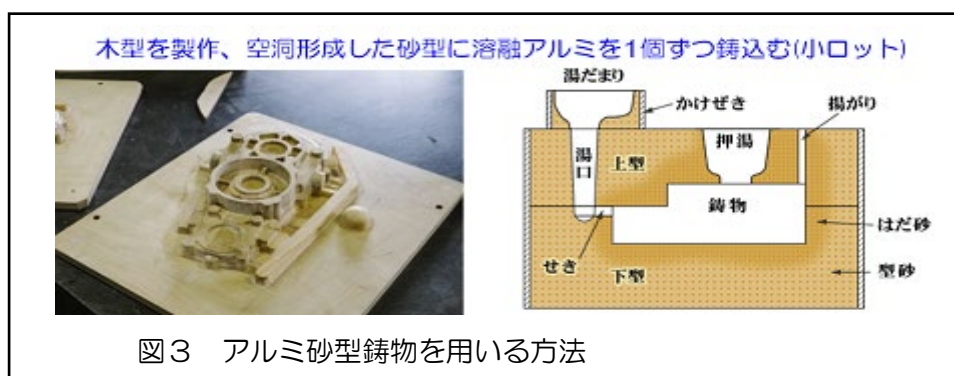
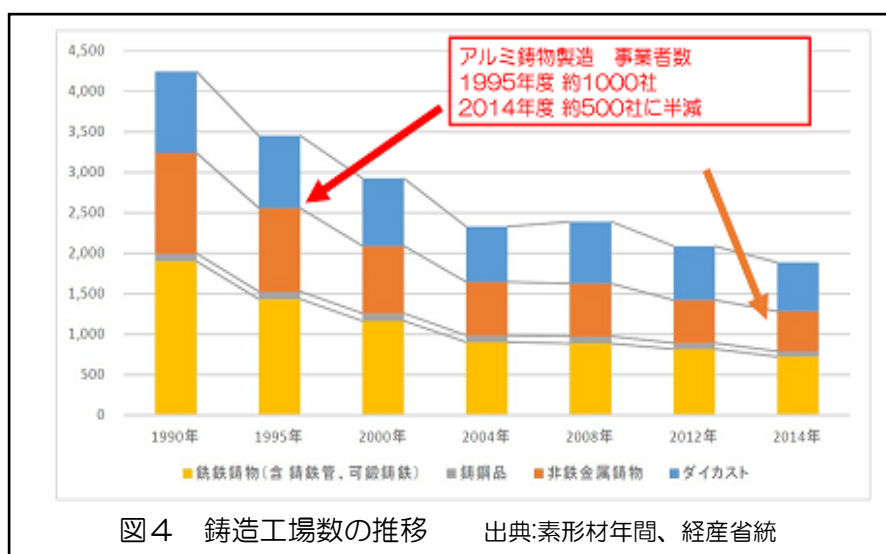


図3 アルミ砂型鋳物を用いる方法

しかしながら、国内のアルミ鋳物メーカーは、その8割が従業員数30人以下の小規模事業者であり、熟練者の高齢化等から事業所数は半減している状況である（図4）。

そのため、アルミ鋳物を継続して調達することが難しくなりつつあり、小中ロット専用設計品のモータ生産においては、事業存続が非常に危惧される。

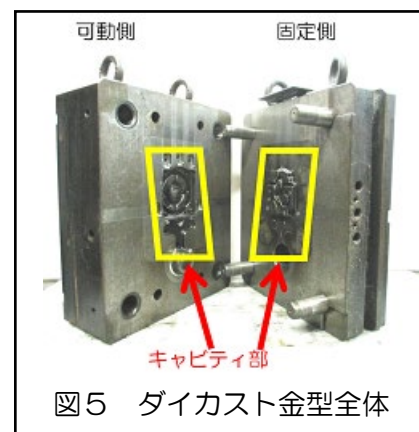


アルミ鋳造製品を必要とする川下企業は、電動工具、建機、電力機器及びFA産業機器製造企業等である。それら企業からの部材の発注は、最終製品ユーザーニーズの多様化に伴う多品種少量生産を前提としたものが増加してきている一方、低コスト化のニーズは変わらず存在している。すなわち、小中ロットで低コストなアルミ鋳造部品の製造技術や製造プロセスが求められている。

明和製作所ではこの条件を満たすため、金型を内製できる手法としてベースに使用するS50C等の機械構造用炭素鋼やねずみ鋳鉄をダイカスト金型のキャビティ部に使用する案を模索中であつた（図5）。

その中で、アルミダイカストの型離れを良くするために使用する離型剤の主成分が黒鉛（グラファイト）であることに着目、金型のキャビティ部の新材料として、加工性にも優れ、通気性、耐高熱性を有するグラファイト材が適用できれば、川下企業ニーズを全てに対応可能であることが分かってきた（表1）。

すなわち、グラファイト材の高耐熱性、自己潤滑性の利点を活かすことで、現行アルミダイカストより以下の項目でさらに特性の良い製品化が期待できる。



耐熱性が高い⇒溶融温度を上げられる⇒湯流れの悪いダイカスト材(純アルミ、ADC5等)で製造が可能
自己潤滑性⇒型離れが良い⇒離型剤塗布不要(鋳造コスト削減が可能)

一方、グラファイトは粘りがないため、型製作時や鋳造時に欠けやすいという欠点がある。そこで、通気性プラスチック用金型で培った高度な金型加工技術を有する九州工業大学と共にCAD/CAM連動型の切削加工による型製造技術を新素材グラファイトに適用することで、この課題を解決する。

すなわち、新素材グラファイトに適応した型の設計・切削及び製品鋳造技術を高度化することにより、型製作の期間を短縮し、高精度かつ低コストで小中ロットに最適化したアルミダイカスト鋳造法「グラファイトキャスト」の実現をめざす（図6）。

従来技術

【アルミダイカスト金型 casting】

特殊な金型に熔融アルミを注入、連続加圧铸造する方法（大ロット用）



アルミダイカスト装置 金型

課題① 金型が高精度であるが高価

- ・放電加工機等の高額設備加工必要
- ・熱処理を施す必要がある

課題② 小中ロット生産に対応不可

- ・金型製作費が高価なため、中小ロットの部品生産には対応できない

【アルミ铸件砂型 casting】

木型を製作、空洞形成した砂型に熔融アルミを1個ずつ铸込んで製作（小ロット用）



木型 アルミ铸込み

課題③ 安価だが精度が低い

- ・木型から砂に転写するため、公差等級9～12級

課題④ 木型寿命が短い

- ・砂で摩耗し湿度で劣化（通常保証1000回以下）

新技術

【グラファイト型アルミダイカスト casting法】

『グラファイトキャスト』

従来技術の「利点」を取った革新的な技術

特徴① 短期加工で金型と同等以上の精度



- ・切削加工のみで熱処理不要
- ・グラファイト素材特性は最優位
- 寸法精度±0.1mm
- 表面粗さ 10μm

铸放し製品公差等級5～7級を保証

特徴② 型費・铸造費共に低コスト




アルミダイカスト金型 キャビティ部（グラファイト）

- ・アルミダイカスト金型のキャビティ部を用途に応じ入れ替え、型製作コストを低減できる。
- ・铸造時 離型剤不要
- ・通常のダイカストマシンで2,000ショット以上铸造可能

特徴③ 小中ロット部品生産に対応

従来比総コスト30%以上削減可能なアルミダイカスト铸造法を実現

- ・1,000～10,000個の企画台数で大幅なコスト優位性

図 6 従来技術と新技術の比較

表 1 グラファイト素材の特徴

代表的特性	グラファイト素材	熱間工具鋼(SKD)
型素材としての利点	<ul style="list-style-type: none"> ○熱伝導率が良く湯流れが良い ○自己潤滑性を有し、型離れが有利 ○ポーラス状のためガス抜けに有利 	<ul style="list-style-type: none"> ○型製作中や铸造時に割れ・欠けが生じにくい ○採用実績が多い
型素材としての欠点	<ul style="list-style-type: none"> ○粘りがないため、型製作中や铸造時に欠け易い 	<ul style="list-style-type: none"> ○ヒートサイクル繰り返し耐性の為金型表面に窒化処理（コスト高）
耐熱温度	1500℃	680℃
熱膨張率	4.4×10 ⁻⁶	1.1×10 ⁻⁵
熱伝導率	130W/m·k	70W/m·k
圧縮強さ (at500℃)	180MPa	600MPa
引張強さ (at500℃)	67MPa	600MPa
素材価格（同一体積）	16,200円 (300mm×200mm×100mm)	58,900円 (300mm×200mm×100mm)

(2) 研究目的及び目標

本研究は、これらニーズに応えるべく加工性に優れ耐圧縮性・耐高熱性があるグラファイト材をアルミダイカスト金型のキャビティ部に適用する技術を新たに開発する。これにより型製作の期間を短縮し、高精度かつ低コストで小中ロットに最適化したアルミ铸造法を開発し、川下企業ニーズを満たす。

5

アルミ鋳造部品に対する具体的な目標は、以下のとおりである。

- ① 鋳造品の精度（鋳放し部公差等級）はアルミダイカストと同程度とする。
 - ② 小中ロット品の累計生産台数から、保証ショット数 2,000 個以上の有限寿命であること。
 - ③ ①と②の前提条件において、総コストが砂型鋳物や金型ダイカストよりも安価なこと。
 - ④ アルミ鋳物木型と同等の短期間の型製作（1ヶ月程度）で供給可能であること。
- より具体的に以下のサブテーマに分けてそれぞれ高度化を図る。

表 2 アルミ鋳物、アルミダイカスト及び開発する新技術の特性

代表的特性	アルミ鋳物 (砂型)	新技術 (グラファイト型)	アルミダイカスト (金型)
寸法精度	±0.3~0.5mm	±0.1mm	±0.2mm
表面粗さRz	50μm	10~20μm	20μm
外観地肌	200~550RMS	32~63RMS	32~63RMS
鋳放し部公差等級 ※1	9~12級	5~7級	5~7級
切削加工部削り代 ※2	4~5mm	0.5mm	0.5mm
保証ショット数	1,000	2,000	50,000
型製作期間	1ヵ月	1ヵ月	3~6ヵ月
型製作費	10~80万円	50~100万円	150~1000万円
総コスト単価 (2,000個製作時)※3	1,200円	775円	2,740円

※1 JIS B 0403 ※2 φ50mm例 ※3 金型費込み 総コスト試算

サブテーマ【1】 「グラファイト素材の切削加工によるダイカスト型の設計製作」

グラファイトは、原料として入手しやすいコークスとコールタールピッチから人工的に生成される。材料学的にはセラミックスの部類に入り、金属に比べ切削は容易な反面、割れやすく欠けやすいため、細部の加工が困難な素材である。加えて、グラファイトは黒鉛粒子を焼成して成型したものであるため、切削時に粉じんが舞い散る。この粉塵が加工機械の摺動部や軸受部に入り、摩耗助長による装置の損傷が生じる。また、切削工具とグラファイト間に入ると、加工精度低下を引き起こす。このことから、グラファイト素材の割れ・欠けや粉じんを生じさせないダイカスト型設計製作方法を開発する。

サブテーマ【2】 「グラファイト型によるアルミダイカスト品鋳造化」

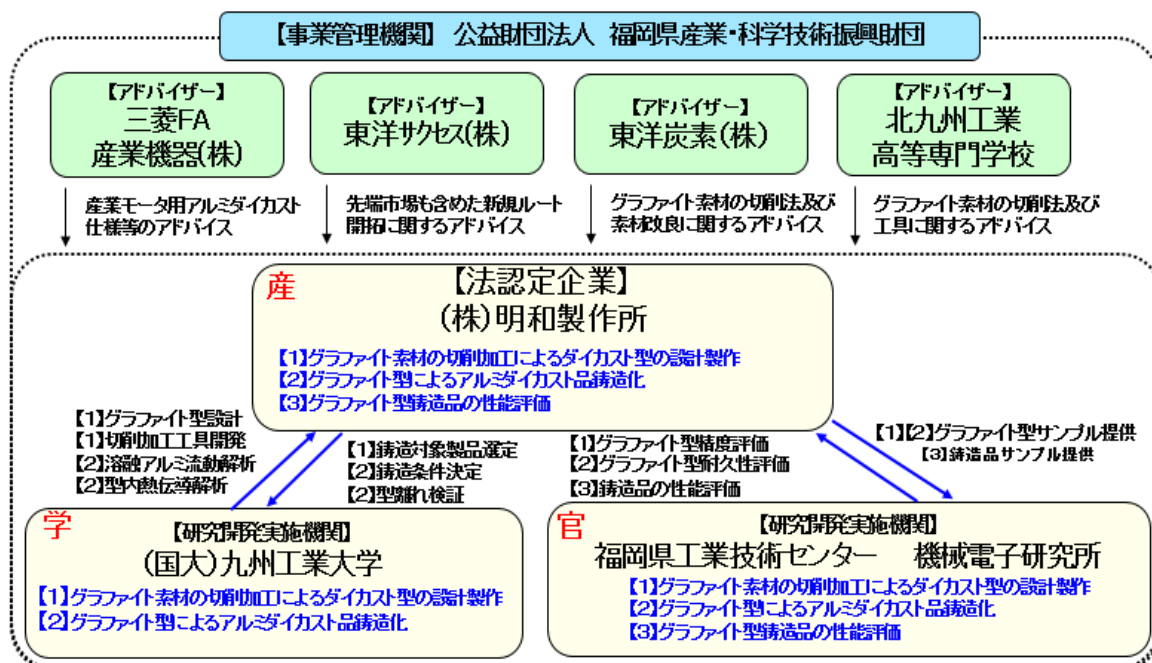
金型鋼(SKD)に対し、グラファイトは約30%熱伝導率が良く熱容量が小さい(熱し易く冷え易い)が、過去において導入例がないため、湯流れのための冷却・加温条件が明らかにされていない。さらに、アルミダイカスト時にかかる加圧に対するグラファイト型の耐久性が明らかでなく、金型が細くなる湯口、ガス抜き部等において欠けや破損の可能性がある。このことから、湯流れ条件の確立及び湯口・ガス抜き部等の欠け、破損がないグラファイト型アルミダイカスト品鋳造方法を開発する。

サブテーマ【3】 「グラファイト型鋳造品の性能評価」

川下企業ニーズを満たすためには、加圧力や射出速度等の鋳造条件が異なるグラファイトカストにおいても、アルミダイカスト（JIS H 5302 及び JIS B 0403）同等以上の機械的性質(引張強さ、伸び)と精度（製品の切削加工部削り代、鋳放し部公差等級、外観地肌等）を有している必要があり、確認する。

1-2 研究体制

研究開発体制図を下図に示す。



(1) 管理員、研究員

【補助事業者】公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団
(管理員)

氏名	所属・役職
神谷 昌秀	ロボット・システム開発センター長
緒方 道子	ロボット・システム開発部 部長
南 守	ロボット・システム開発部 主幹
上田 京子	ロボット・システム開発部 専門研究員
浦田 薫	ロボット・システム開発部 主事
コーベイ 信子	ロボット・システム開発部 主事
大石 秀徳	企画管理部 管理課長
黒木 健二	企画管理部 主査
西谷 志織	企画管理部 主任
野村 眞一	産学コーディネータ

【間接補助事業者】株式会社 明和製作所
(研究員)

氏名	所属・役職
生野 岳志	代表取締役
櫻本 浩樹	製造部長
寺田 成昭	製造部 生産技術 課長代理
川原 滋	製造部 生産技術課 リーダー

井手 隆昭	製造部 機械2班長
中村 正文	製造部 機械2班リーダー
榎田 利也	製造部 機械2班 社員
山下 被生	技術部 技術2課 社員
福井 健太	品質保証課長代理
山崎 豊	取締役
小野 一清	技術顧問

国立大学法人 九州工業大学
(研究員)

氏名	所属・役職
梶原 弘之	大学院情報工学研究院 知的システム工学研究系・教授
是澤 宏之	大学院情報工学研究院 知的システム工学研究系・准教授

福岡県工業技術センター機械電子研究所
(研究員)

氏名	所属・役職
竹下 朋春	生産技術課 専門研究員
山田 泰希	生産技術課 技師
小川 俊文	材料技術課 専門研究員
古賀 弘毅	材料技術課 専門研究員
中野 賢三	材料技術課 研究員
内野 正和	機械技術課 専門研究員

(アドバイザー)

委員名	会社名・所属名	役職名	アドバイザー殿の具体的協力内容
伊丹 弘明	東洋炭素株式会社 経営企画本部	主幹 技師	グラファイト素材の材質選定や切削技術についてだけでなく研究用材料の支給・調達購入と将来的な材料改良についてアドバイスをいただく。
中島 幸一	三菱電機 FA 産業機器 株式会社 生産システム推進部	課長	同社の要求コスト・ロット・品質・納期等の具体的な川下企業ニーズ(仕様) に関するアドバイスをいただく。
澤田 裕基	東洋サクセス株式会社 営業本部	主務	産業用小中ロット製品の顧客間口を拡大すると共に、先端市場も含めた新規ルート開拓に関するアドバイスをいただく。
浅尾 晃通	独立行政法人国立高等 専門学校機構 北九州工業高等専門学校	教授	グラファイト材の切削工具に独自の蓄積技術を保有されており、切削技術及び切削工具についてアドバイスをいただく。

1-3 成果概要

サブテーマ【1】 「グラファイト素材の切削加工によるダイカスト型の設計製作」

【初年度】

- ①圧縮強さを基準として、グラファイト素材を選定した。
- ②金型構造によるグラファイト型設計及び仮作型の熱応力解析を実施した。
- ③決定した切削工具/切削条件でグラファイト切削型精度評価結果、寸法精度($\pm 0.2\text{mm}$ 以下)、表面粗さ($20\mu\text{m}$ 以下)共、目標を達成した。
- ④アルミ鋳物・アルミダイカストとの性能比較を図る目的で、そのどちらも製作履歴を有す部品の「軸受支え」を鋳造試作対象製品と選定した。

【2年度】

- ①CAD/CAMソフトにより製品製作図からダイカスト型図の展開プログラムを完成した。
- ②グラファイト切削時の粉塵に適應したマシニング設備の導入により、グラファイト型内製化体制を構築した。
- ③切削条件シート(工程順毎の使用工具/切削パラメータ/加工時間記載)策定により、型製作期間短縮と型製作費用低減を試作型実加工により目処をつけた。

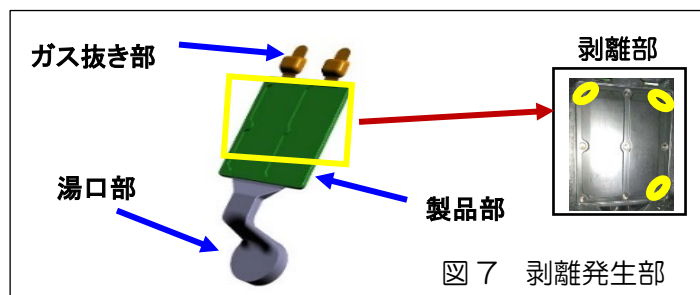
【3年度】

- ①切削条件シート作成による管理とした。
- ②グラファイト切削型の精度は、量産試作型での検証結果、寸法精度($\pm 0.1\text{mm}$ 以下)、表面粗さ($10\mu\text{m}$ 以下)共、最終目標値を達成した。

サブテーマ【2】 「グラファイト型によるアルミダイカスト品鋳造化」

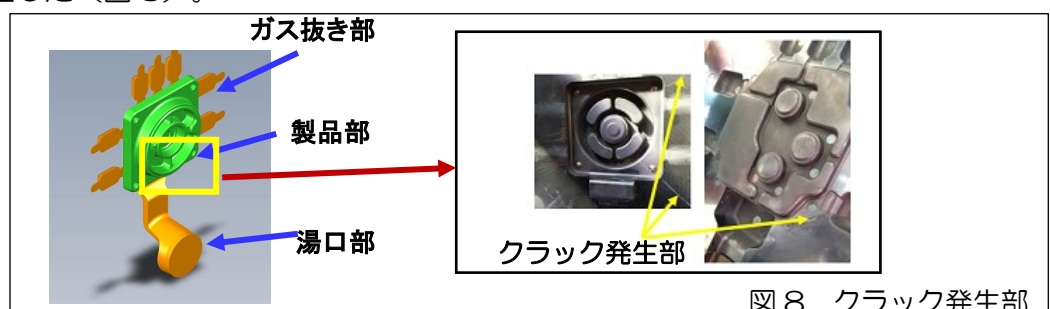
【初年度】

- ①仮作型の型内容融アルミの流動解析を実施した。
- ②仮作型の熱伝導解析/熱応力解析を実施し、金型温度及び冷却条件を決定した。
- ③平板形状仮作品の連続鋳造(80ショット)を実現した。問題点として、型内肉厚変化部に剥離が発生した(図7)。



【2年度】

- ①グラファイト型昇温化により型内剥離を解消した。(熱流動解析により型昇温温度を決定)
- ②試作品の連続鋳造(25ショット)を実現した。問題点として、熱膨張起因でのグラファイト型にクラックが発生した(図8)。



【3年度】

- ①グラファイト型のクラック防止のため溶湯時の圧力分布解析を行い、グラファイト型への作用圧力を抑える鑄造条件（射出速度・金型初期温度 等）を設定した。
- ②量産試作にて 2,000 ショットを実現。目標を達成した（図 9）。



図9 2,000 ショット鑄造製品

サブテーマ【3】「グラファイト型鑄造品の性能評価」

【2年度】

- ①製品による誘導結合プラズマ発光分析法による成分分析を行い、成分品質保証を目指すとともに、製品による機械的性質（引張強さ）と精度（鑄放し部公差等級、外観地肌表面粗さ、巣の数と大きさ）の評価を行い、JIS H 5302 及び JIS B 0403 に規格化されたアルミダイカスト品と同等の品質であることを達成した。
- ②試作品と同一寸法・同一形状品のアルミダイカスト品及びアルミ鑄物品との機械的性質と精度の相対比較も実施し、アルミダイカストと同等の性能を確認した。

【3年度】

- ①量産試作品にて JIS H 5302 及び JIS B 0403 に規格化されたアルミダイカスト品と同等の機械的性質と精度の評価を行い、目標のアルミダイカスト品と同等の品質であることを確認した。

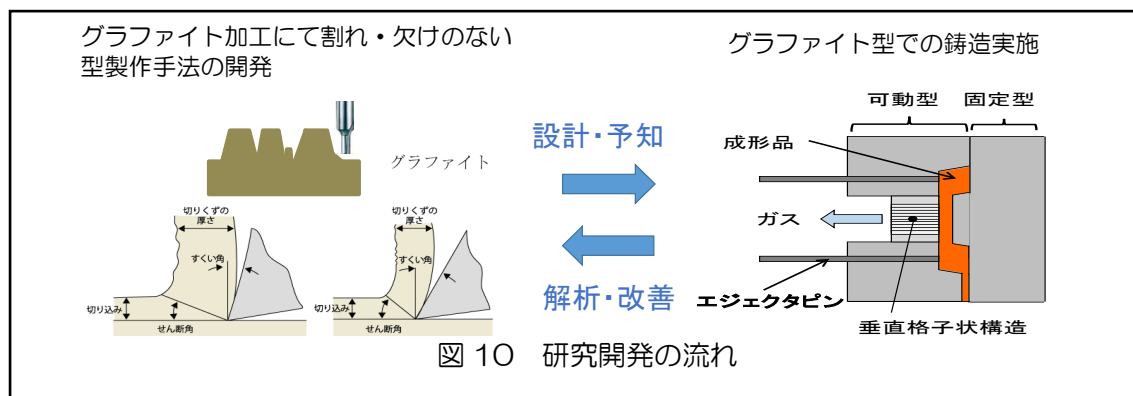
1-4 当該研究開発の連絡窓口

- ・生野 岳志（株式会社明和製作所 代表取締役社長）
- ・電話番号 092-322-3111
- ・Fax 番号 092-322-6888
- ・Eメール t.shouno@meiwa-ss.co.jp

第2章 本論

2-1 研究内容・成果

(1) 研究開発の具体的内容



サブテーマ【1】において、九州工業大学が蓄積した加工技術データベースを応用してグラファイト型製作手法を開発し、その手法によって試作したグラファイト型をサブテーマ【2】において鋳造実証を行う（図 10）。その後、サブテーマ【3】において生産物の物性評価を行い最終目標値を達成する。

サブテーマ【1】「グラファイト素材の切削加工によるダイカスト型の設計製作」

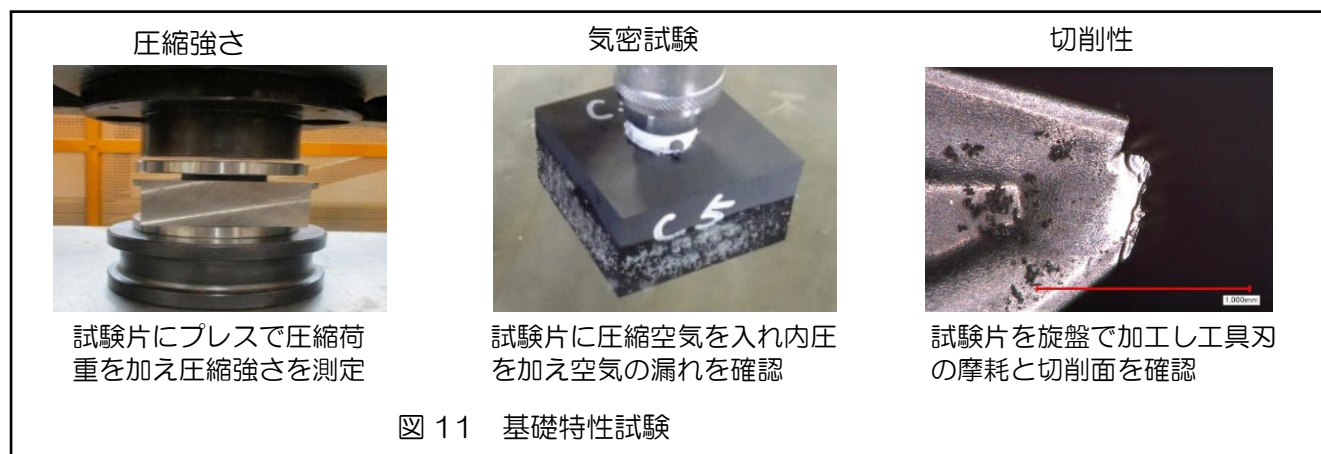
（実施機関：九州工業大学、（株）明和製作所、福岡県工業技術センター機械電子研究所

実施期間：2019年度～2021年度）

【最終目標値】 割れ・欠け等のないグラファイト型製作手法の確立

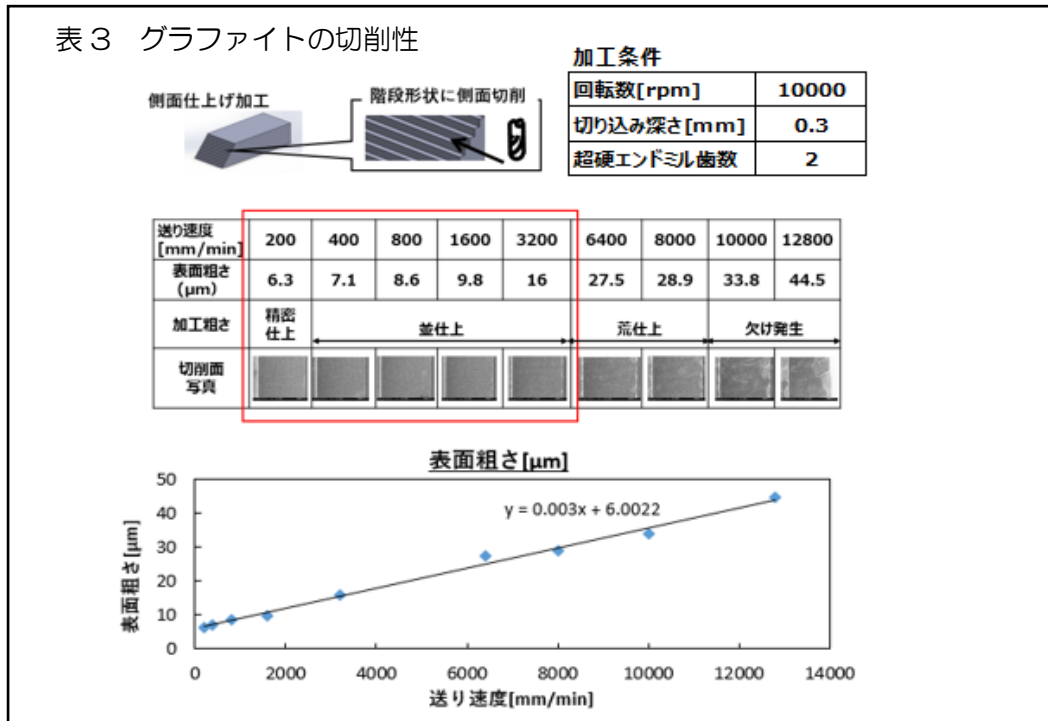
割れ・欠け等を生じないグラファイト切削加工方法を開発するためには、切削性の良い最適材質と切削工具の選択が重要である。この選択と、グラファイト材質特性（圧縮・引張強度・脆弱性）とを考慮した型設計と構造解析を実施し、型製作期間の短縮と型製作費の低減を可能とするダイカスト型製作手法を確立する。具体的には、九州工業大学にて CAD/CAM ソフトによる製品製作図からダイカスト型図への展開の検討を主に行い、明和製作所においてグラファイト切削時の粉塵に適應したマシニングの防護構造と切削条件（工具回転数、送り速度、切込み深さ等）の最適化の検討を行うことで最終目標値を達成する。

事業初年度は、「強度・汎用性・加工性」をキーとして選択した 3 品種のグラファイト素材試験片を圧縮強さ、気密試験、切削性等の基礎特性試験を行い最適グラファイト素材を特定すると共にアルミ鋳物、アルミダイカスト素材を有す「軸受支え」を鋳造対象製品として選定し、グラファイトキャスト品との性能対比が行えるようにした（図 11）。



併行して、マシニングによる切削加工工具の選定、切削条件(工具回転数・切込み量)と精度・加工時間両面を満足する最適送り速度決定及び割れ・欠け発生領域の関係式を導き出した(表3)。

更に、金型構造によるグラフィット型設計及び強度解析を行い、製作した平板形状仮作品のグラフィット型を測定した結果、初年度の目標であるアルミダイカスト金型と同等の寸法精度：±0.2mm以下、表面粗さ：20μm以下を達成した。

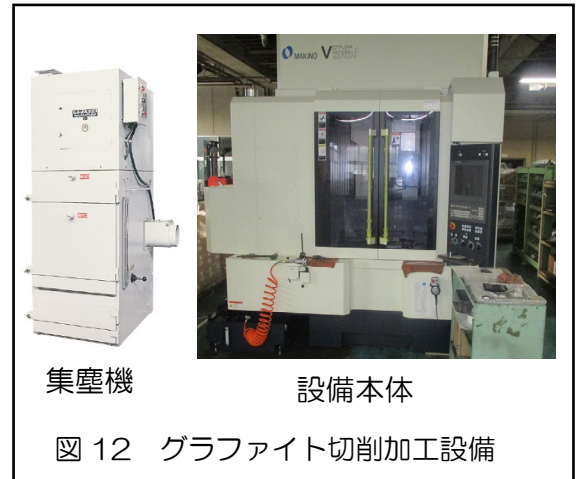


第2年度には、前年度に開発した加工方法の改良(加工条件に見合った切削工具の使い分け)を行いながら、グラフィット型欠損を最大限抑制した製品製作図からダイカスト型図への展開を図り、工程フローを完成した。並行して、明和製作所で当年度に導入したグラフィット切削時の粉塵防護構造装備のマシニング設備及び切削工具選定と切削条件シートの策定で、型製作期間短縮と型製作費用低減が可能となることを試作品をモデルとしたグラフィット型の実加工により目処を付けることが出来た(表4)。

表4 切削条件シート

	加工名	工具種類	直径 (mm)	刃具名	主軸回転数 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)	仕上げ代 (mm)
1	荒加工(φ20)	スクエアエンドミル	20	PXNH200C20-04C006	1,000	250	1
2	荒加工(φ20) (O)	スクエアエンドミル	20	PXNH200C20-04C006	1,000	250	0.2
3	荒加工(φ6B)	ボールエンドミル	6	DG-EBM-R3X12	9,600	2,300	0.2
4	荒加工(φ3B)	ボールエンドミル	3	DG-LN-EBM-R1.5X20	18,000	2,400	0.2
5	荒加工(φ3B) (O)	ボールエンドミル	3	DG-LN-EBM-R1.5X20	18,000	2,400	0.2
6	荒加工(φ2B)	ボールエンドミル	2	DG-LN-EBM-R1X20	16,000	800	0.2
7	荒加工(φ2B) (O)	ボールエンドミル	2	DG-LN-EBM-R1X20	16,000	800	0.2
8	イヌキ穴	センタドリル	4	Cu_CD040	3,000	200	0
9	イヌキ穴	ドリル	4.8	Cu_DR048	6,700	400	0
10	イヌキ穴	ドリル	5.8	ADO-8D-5.8	6,600	400	0
11	イヌキ穴	ドリル	7.8	ADO-5D-7.8	4,500	200	0
12	イヌキ穴	リーマ	5	Cu_RM5	900	50	0
13	イヌキ穴	リーマ	6	CRM-6	900	70	0
14	イヌキ穴	リーマ	8	CRM-8	800	80	0
15	仕上げ 3B	ボールエンドミル	3	DG-LN-EBM-R1.5X20	18,000	2,700	0
16	仕上げ 3B (O)	ボールエンドミル	3	DG-LN-EBM-R1.5X20	18,000	2,700	0
17	コーナR (等+面) 2B	ボールエンドミル	2	DG-LN-EBM-R1X20	16,000	800	0
18	コーナR (等+面) 2B (O)	ボールエンドミル	2	DG-LN-EBM-R1X20	16,000	800	0
19	コーナR (等+面) 1.5B	ボールエンドミル	1.5	DG-LN-EBM-R0.75X16	20,000	1,200	0
20	平面加工 φ12F	スクエアエンドミル	12	DG-EMS-12	6,600	1,450	0

第3年度は、サブテーマ【2】及び【3】と連携して更なる改良を加えるとともに、グラファイト面加工において想定を超えて発生する粉塵量に適応した集塵機（図12）を導入したことで、割れ・欠け等のないグラファイト型製作手法を確立し、グラファイト型の寸法精度：±0.1mm以下、表面粗さ：10μm以下を達成し、最終的にマシニングによる切削工具の選定と切削条件・切削速度の最適化を図り、ダイカスト型製作期間1ヵ月以内、型製作費100万円以下の高精度かつ低コストで小中ロットに最適化したグラファイト型の製作を実現、目標達成した。



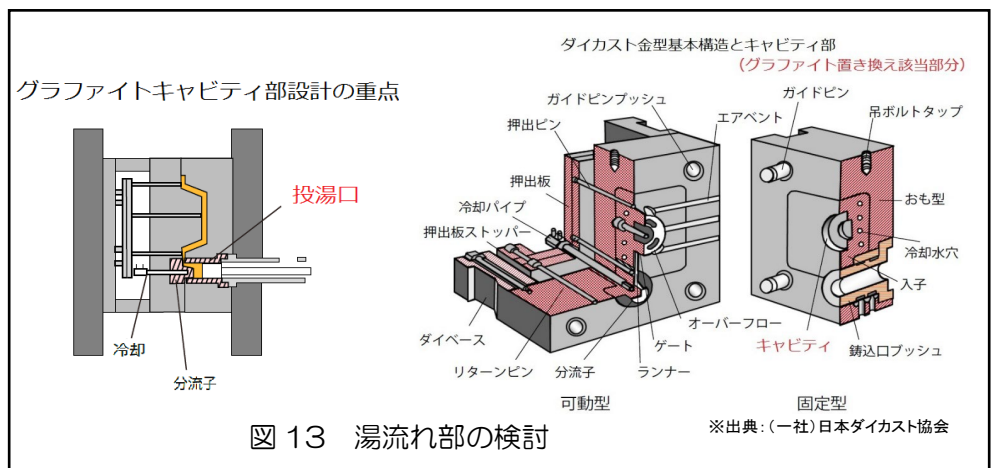
サブテーマ【2】「グラファイト型によるアルミダイカスト品鑄造化」

（実施機関：明和製作所、九州工業大学、福岡県工業技術センター機械電子研究所）

実施期間：2019年度～2021年度）

【最終目標値】 ショット数2,000以上の耐久性を有するグラファイト型鑄造法の確立

製造したグラファイト型を実際の鑄造で熱伝導解析と熱応力解析を行い検証すると共に、成形不良を極小化することで、金型で製作するアルミダイカスト品と同等以上の精度を有し、かつショット数2,000回の耐久性を有する小中ロットアルミダイカスト鑄造条件を確立する（図13）。

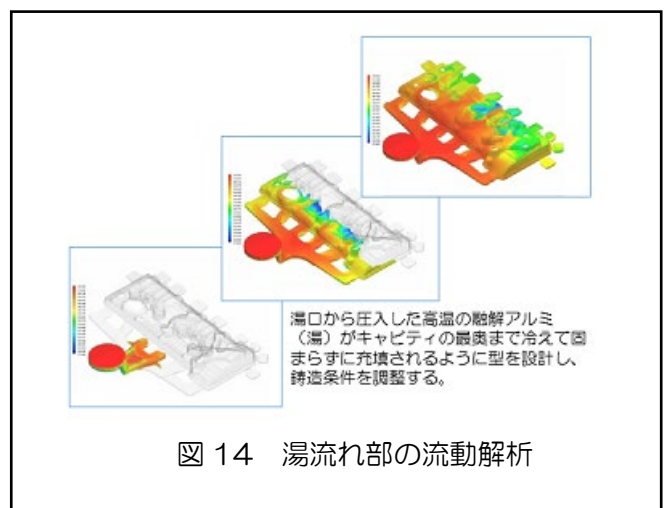


初年度は、平板形状の仮作品をモデルとして投湯口・ガス抜き部の設計及びグラファイト型温度の高温保持と冷却条件の設定を行うと共に、グラファイト型内の溶融アルミの流動解析及び熱伝導解析と熱応力解析を行い（図14）、サブテーマ【1】で選定したグラファイト素材を用いた型で鑄造を行い、肉厚が変化する型の一部に剥離が生じたものの、連続80ショットのダイカスト鑄造を実現する事が出来た。

尚、基礎試験（削れ性）にて鑄造時の熱応力作用によるグラファイト型表面の細り（摩耗）を考慮する必要があることを確認した。その後、従来のアルミダイカスト金型で鑄造実績を有す、同一寸法・同一形状製品「軸受支え」を試作品として、湯流れ条件を決定する。

第2年度は、明和製作所及び九州工業大学と共同で上記試作品を基にしたグラファイト型強度解析に基づき、ダイカストマシン装着と型動作検証を行い、制御プログラムを完成させた。

加えて、明和製作所において、これまでの鑄造で培った技術を最大限用いてグラファイト型の耐引張性強化と



なる鑄造条件抽出とグラファイト型の更なる高温保持により熔融アルミの湯流れ改善で熱応力低減を図り、試作品「軸受支え」での連続25ショットのダイカスト鑄造を実現した(図15)。

九州工業大学においては、当年度に導入した光学像、元素分析、粒子解析評価機能を追加改造した卓上走査電子顕微鏡を用い、型表面の構造を詳細に分析することで、投湯口(細肉脆弱箇所)を含む型全体の割れ・欠け防止手法を確立し、試作品連続鑄造後の型表面に摩耗の発生がないことも確認した。

並行して、グラファイト型試作品と、従来のアルミダイカスト金

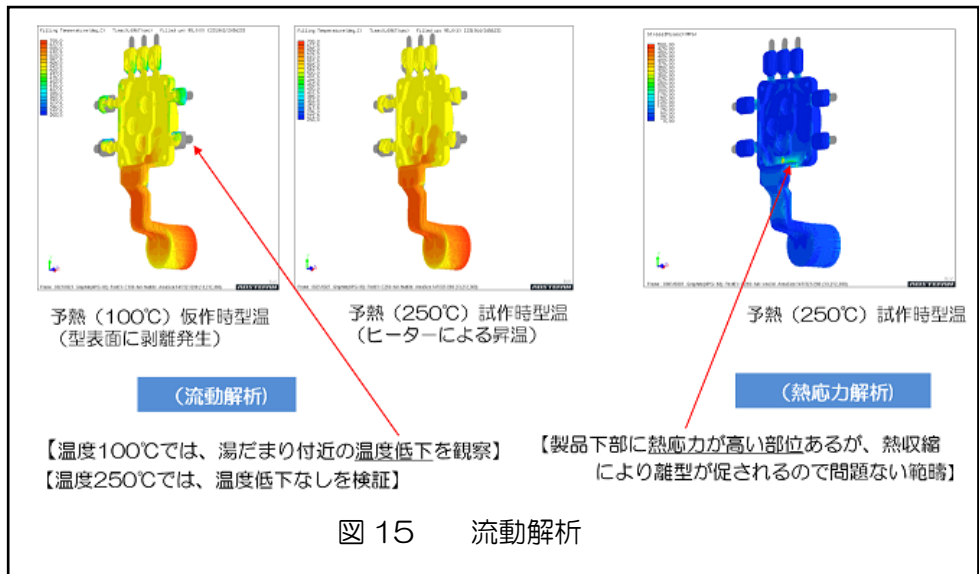


図15 流動解析

型双方を用いて製作した鑄造サンプルにより、機械電子研究所において鑄造製品の評価を行うことでグラファイト型の耐久性も併せて評価し、材質改良及びSiC(珪素)複合層化等の表面処理及びアドバイザ(東洋炭素)から提案の高純化処理化によるグラファイト型の鑄造耐久性向上に着手した。

第3年度は、流動解析及び圧力分布解析と実機鑄造による鑄造条件の最適化(射出温度・金型温度等)を狙い、ヒータ容量と昇温時間低減による鑄造作業(段取り)改善を図り、更なるグラファイト型の鑄造耐久性向上と型費を含む成形コスト低減を実施した(図16)。

最終的には、量産試作の観点にて、第1顧客向け製品を数種類選択し、連続2,000ショットのダイカスト鑄造を実現した。九州工業大学において、機能拡張するワンショット形状計測機を用い、鑄造前及び2,000ショット後のグラファイト型の表面粗さ・鑄造製品の寸法変化を測定、ショット数を横軸としキャビティ型・鑄造製品の測定結果、2,000ショット時点での摩耗進展は極小で、表面処理等の耐久性向上対策は不要となり、金型コスト増要因を回避することができた。

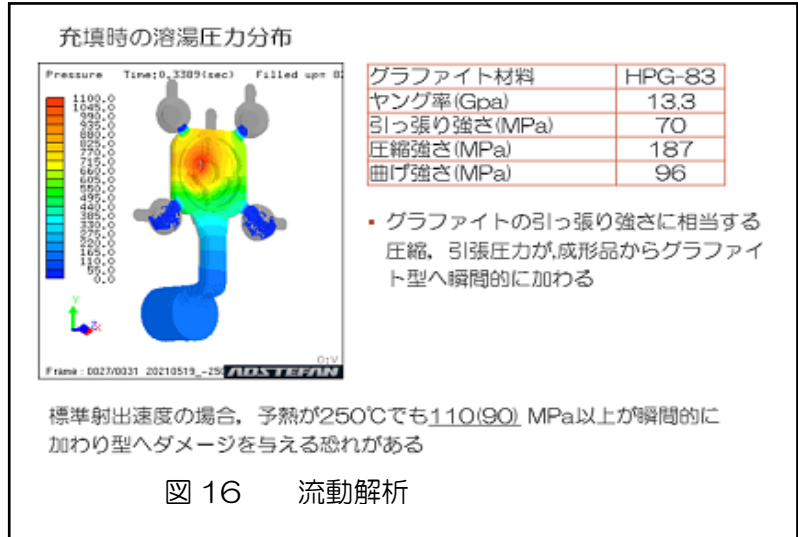


図16 流動解析

サブテーマ【3】「グラファイト型鋳造品の性能評価」

(実施機関：福岡県工業技術センター機械電子研究所、
(株)明和製作所

実施期間：2020年度～2021年度)

【最終目標値】 JIS規格のアルミダイカスト品と同等の品質を達成

サブテーマ【1】において製作したグラファイト型及びサブテーマ【2】において確立した鋳造方法を用いて試作したアルミ部品について、鋳造法完成直後からメーカーへの採用を可能とするため、JIS規格を基準とした品質評価を行うと共に、鋳造サンプルの提供を開始し、川下企業の評価結果を開発に反映させる。

第2年度から、グラファイト型にて鋳造した試作品の評価を実施した。

具体的には、製品による誘導結合プラズマ発光分析法による成分分析を行い、成分品質保証を目指すとともに、製品による機械的性質(引張強さ)と精度(鋳放し部公差等級、外観地肌表面粗さ、巣の数と大きさ)の評価を行い、JIS H 5302 及び JIS B 0403 に規格化されたアルミダイカスト品と同等の品質であることを確認した(図17)。

加えて、試作品と同一寸法・同一形状品のアルミダイカスト品及びアルミ鋳物品との機械的性質と精度の相対比較も実施し、アルミダイカストと同等の性能を確認した。

第3年度は、量産試作品にて JIS H 5302 及び JIS B 0403 に規格化されたアルミダイカスト品と同等の機械的性質と精度の評価を行い、目標のアルミダイカスト品と同等の品質であることを確認した(図18)。

表5 目標とする製品機械特性 (JIS H 5302、JIS B 0403)

項目	目標値
引張強さ	220MPa
表面精度	32~63RMS
鋳放し公差	5~7級
表面割れ	ゼロ
鋳巣	Φ0.5以下

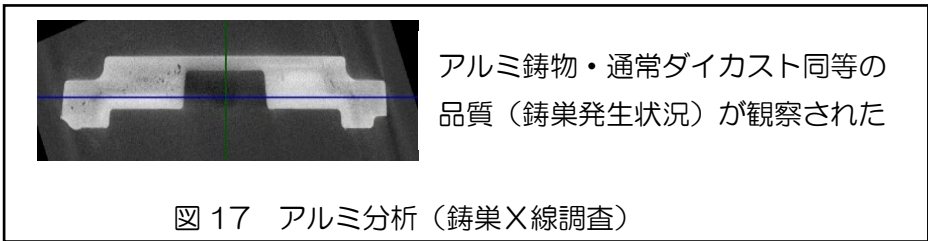


図17 アルミ分析(鋳巣X線調査)

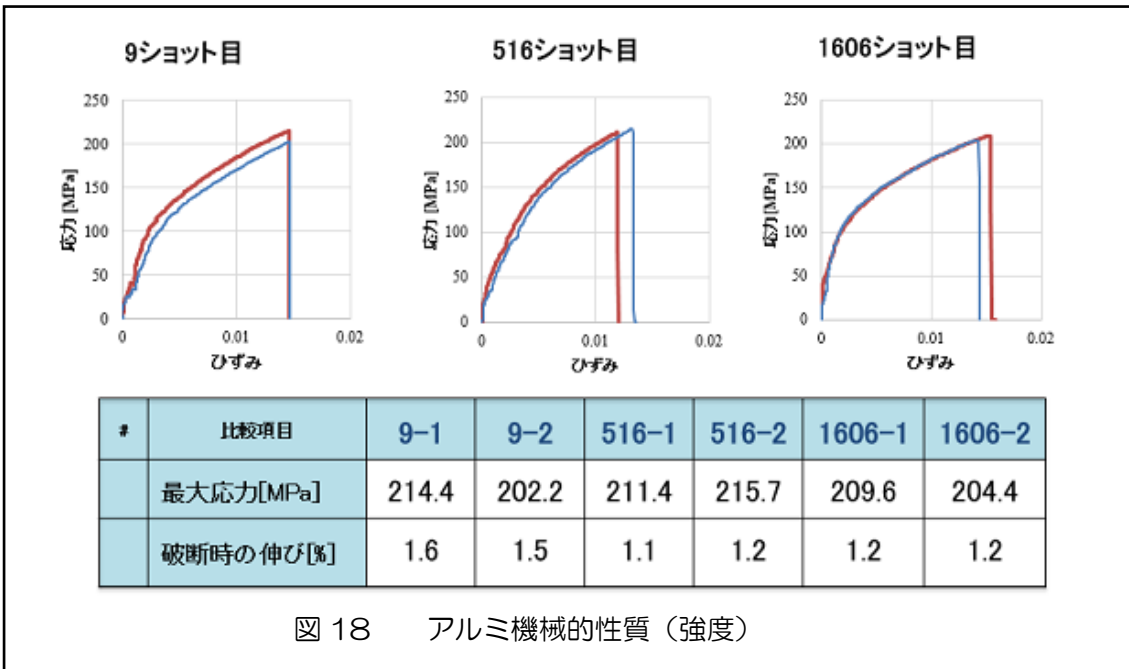


図18 アルミ機械的性質(強度)

2-2 研究開発の高度化目標値（技術的目標）

高度化目標値（技術的目標）（表6）

サブテーマ	高度化目標値		
	初年度	第2年度	第3年度
<p>【1】 グラファイト素材の 切削加工によるダイ カスト型の設計製作 実施機関 九州工業大学 明和製作所 福岡県工業技術 センター 機械電子研究所</p>	割れ・欠け等による失敗やり直しのない型製作手法の確立： 目標 成功率 100%		
	<ul style="list-style-type: none"> ・グラファイト素材選 定と casting 対象製品選定 ・金型構造によるグラ ファイト型設計及び強度 解析 ・グラファイト切削型 の精度の評価 寸法精度: ±0.2mm 以下 表面粗さ: 20 μm 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・CAD/CAM ソフトによる 製品製作図からダイカスト 型図への展開 ・グラファイト切削時の粉塵 に適應したマシニングの防 護構造と切削条件探索 ・グラファイト型製作期間短 縮と型費低減額の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・マシニングによる切削 加工工具の選定と切削 条件/切削速度の最適化 ・グラファイト切削型の 精度目標 寸法精度: ±0.1mm 以下 表面粗さ: 10 μm 以下
<p>【2】 グラファイト型によ るアルミダイカスト 品 casting 化 実施機関 明和製作所 九州工業大学 福岡県工業技術 センター 機械電子研究所</p>	中ロット品を包含する耐久性を有すグラファイト型 casting 法の確立 : 目標 2,000 ショット		
	<ul style="list-style-type: none"> ・型内熔融アルミの流動 解析と投湯口の設計 ・型内熱伝導解析/熱応 力解析に基づく金型温 度の高温保持と冷却条 件の決定 	<ul style="list-style-type: none"> ・グラファイト型強度解析に 基づくダイカストマシン装 着と型動作検証 ・グラファイト型全体の欠け 割れ防止手法の確立 ・材質改良及び SiC (珪素) 複合層化等の表面処理によ るグラファイト型の casting 耐 久性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・グラファイト型の更な る casting 耐久性向上 ・ casting 時の型初期温度 最適値の決定
<p>【3】 グラファイト型 casting 品の性能評価 実施機関 福岡県工業技術 センター 機械電子研究所 明和製作所</p>	JIS 規格のアルミダイカスト品と同等の品質保証：性質・精度の検証及び 型製作状況の検証		
		<ul style="list-style-type: none"> ・製品による評価 成分分析: ADC12 標準値 引張強さ: 220MPa 表面精度: 32~63RMS 	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS H 5302, JIS B O403 規格品 検証 鑄放し公差: 5~7 級 表面割れ: ゼロ 鑄巣: φ0.5 以下 ・グラファイト型製作 状況検証 製作期間: 1 ヶ月以内 型製作費: 100 万円 以下

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果まとめ (表7)

サブテーマ	目標値	成果	目標達成：○ 未達：×
【1】 グラファイト素材 の切削加工による ダイカスト型の 設計製作	割れ・欠け等による 失敗やり直しのない 型製作手法の確立 目標： 成功率100%	(1)切削条件シート(工程順毎の使用工具/切削パラメータ/加工時間記載)でのマシニングによる切削加工工具の選定と切削条件/切削速度等の最適化を管理	○
		(2)グラファイト切削型による精度検証実施 ・寸法精度：±0.1mm以下 ・表面粗さ：10μm以下 を達成	○
【2】 グラファイト型 によるアルミダイ カスト品 casting	中ロット品を包含する 耐久性を有すグラ ファイト型 casting の確立 目標： 2000ショット	(1)量産試作にて2,000ショット casting を実現 (2)2000ショット後の型摩耗は、型及び casting 製品の摩耗量測定し摩耗進展極小を確認 (3)流動解析及び耐圧性を活かした構造設計と耐熱性を活かした最適 casting 条件(射出速度、加圧力、金型温度)の決定	○
【3】 グラファイト型 casting 品の性能評価	JIS 規格のアルミダイ カスト品と同等の 品質保証(性質・精度 の検証及び型製作状 況の検証)	(1)JIS H 5302、JIS B0403 規格品 検証 量産試作品で下記項目の調査を行い、通常 ダイカストと同等であることを確認 (casting し品寸法公差、表面粗さ、成分分析、 機械的性質(引張強さ/硬度)、 casting) ・ casting し公差 5~7 級/・表面割れ ゼロ ・ casting φ0.5 以下	○
		(1)グラファイト型製作状況検証 設計 ~ CAD/CAM ソフトでの型図 ~ 導入設備(マシニング+集塵機)による加工 まで1ヶ月で達成 (2)グラファイトキャピティ内製化により金型 ベース部購入費含め、トータル100万円で 製作	○

3-2 研究開発後の課題

本研究開発の波及効果に向けて、グラファイトの耐熱特性を生かした湯流れの悪い純アルミ材のダイカスト casting を試みた。

溶融温度及び型の高温度化により湯流れは解決し、射出速度上昇設定により鑄巣も通常ダイカスト品とほぼ同等に低減し、アルマイト処理を行い発色を確認し、純アルミ・アルマイト製品による新たな事業化の可能性を確認できた（図 19）。

アルマイト処理が可能な純アルミ材が有する耐食性、絶縁性等のメリットを活かし、食品製造機器や半導体製造装置等の事業対象まで製品群が大きく拡がることから、「純アルミ成型品化」を研究テーマとして、ビジネス対象となる製品形状によってグラファイトカスト型の構造設計や鑄造条件を詰めていく。

（純アルミ材の特徴）

- ・通常ダイカストに使用される ADC 合金と比較して導電性などの特性に優れるが凝固温度が高く、湯流れが悪いため通常のダイカスト製法では扱えない

一般的には切削加工部品を組み合わせるため製品化するため製造コストは高い

（アルマイト処理とは）

- ・表面を強制的に酸化させ、厚く丈夫な酸化被膜でコーティングする技術
純度の高いアルミ合金との相性が良く、通常の ADC 合金には適用が困難

（アルマイト処理のメリット）

- ・表面非処理アルミ製品と比較して耐摩耗性、耐腐食性、絶縁性、遮熱性、美観が向上
先端産業の半導体製造装置や食品機器などで使用される



3-3 事業化展開について

(1) 事業化の基本方針

本開発品の事業化に向け、以下の補完研究を実施していく。

① 補完研究のテーマ 純アルミ成型品による新規事業化

補完研究の概要

本研究開発の波及効果に向けて、湯流れが悪くダイカスト化が困難な純アルミの素材での鑄造にトライし、高温化や射出速度等の鑄造条件設定により成功したことで純アルミ・アルマイト製品による新たな事業化の可能性を確認することができた。

アルマイト処理が可能な純アルミが有する耐食性、絶縁性等のメリットを活かし、食品製造機器や半導体製造装置等の事業対象まで製品群が大きく拡がることから「純アルミ成型品化」を補完研究テーマとした。

(2) 課題とその対応

① 生産面

補完研究対象の純アルミ材はもちろんのこと、ADC合金による鑄造においても、脆性素材のため剥離やクラックを伴うグラフィットキャビティでの鑄造においては、実際にビジネス対象となる製品形状によって構造設計や鑄造条件を個別に見直していくことが必要となる。

またコストメリットと共に付加価値向上を狙い、通常ダイカスト品以上の緻密性を得られる射出速度の更なる上昇設定に挑戦する。

それと共に、金型ベースは鑄造品寸法・形状に伴い押出ピンの位置が異なり、一品一葉で必要だが当該部を別ピース構造化して共用化を行い、金型全体の製作コストの更なる低減を図る。

② 販売面

グラフィットカストでのADC合金は当社製品や第1顧客が対象であり、現行販路で対応可能であり特に課題はない。

新規事業化対象の純アルミ成型品についても、アドバイザーとの連携が図れている。

3-4 アドバイザーによる講評

(1) 東洋炭素 株式会社 殿

弊社は過去にプラスチック用金型のグラファイト化にトライした事があるが、リップ形状部が全て割れ、問題解決できずグラファイト金型の実現を断念した経験がある。

今回、「アルミダイカスト金型のグラファイト化」の相談を受けた際は、成功する確率は極めて低いと思っていたが、明和製作所スタッフと討議するうちに、この人達となら何かやれる気がすると感じアドバイザーを引き受けた。

一つ壁を越える度にさらに高い壁に直面し「もう駄目かもしれない」と思った時にも、各種 casting 条件(アルミの溶湯温度、金型の予熱、射出速度設定等)を種々の抽出アイデアを基に検討され、課題の解決に繋がられたことに驚いたと共に、スタッフの皆様の熱意と執念に尊敬の念を覚えた。今後「グラファイト型でのアルミダイカスト品事業化」に向けた、更なる飛躍を期待する。

(2) 三菱電機 FA 産業機器 株式会社 殿

目標とする casting 2,000 ショット達成の過程には、色々と苦労があったと思う。今回の評価では、グラファイト型の耐久性を主にされたと思うが、 casting 作業も数多く実施されたことから、生産性では通常金型ダイカスト casting に劣る部分もある程度把握されたものと推察する。今後の事業化においてコストダウンが課題になることから、生産性を上げることが必要となる。当社としても引き続き支援をするので、是非実際の製品による作業性改善も織り込んだ casting 試験を行っていただき、事業化できる形に進めていただきたい。

(3) 東洋サクセス 株式会社 殿

グラファイトカスト品を同じ工法の通常金型ダイカスト品へ置き換えるのは、コスト面から難しいが、金型費が安価になること及び目標 2,000 ショット以上も可能であることと更に耐腐食性等にメリットを多く持つ純アルミでダイカストができる等、目標以上の成果を出されたと思う。従来は純アルミの切削加工による複合製品を、ダイカスト成型品に置き換えることで、部品単価低減の提案が可能となるので、是非 PR 資料を作成いただいて明和製作所と情報を共有し、本技術のメリットが出しやすい新規顧客への提案の幅が広がるような取組みを今後行っていきたい。

(4) 北九州工業高等専門学校 殿

グラファイト材の切削加工は、荒加工、仕上げ加工に分けた工具材質の選択がなされており、加工手順毎に使用工具、切削条件、加工時間等が記載された切削条件シートにまとめられており、大きな問題はなかったように伺っている。エンドミル加工では、工具摩耗・欠け抑制目的でダウンカットだけでなくアップカットにする。また、エンドミルは通常右ねじれであるが、切粉飛散抑制に左ねじれを使用することもあるので、一度試されることを推奨する。本研究開発では、グラファイトがキーワードでありグラファイトの耐熱性が飛躍的に高い特長を活かせる製品の開発が 1 つの方向性であり、その面で湯流れは悪いが耐腐食性等の利点を有す純アルミ材を用いた casting が実現すれば面白い。