

平成23年度第3次補正予算事業 戦略基盤技術高度化支援事業

「半凝固鋳鍛成型法による自動車用高機能製品の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人青葉工学振興会

目 次

第1編 概要

| | |
|---------------------------------|----|
| 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) 研究開発の背 | 1 |
| 2) 研究目的及びの目標 | 1 |
| 3) 鋳造品としての具体的目標値 | 2 |
| 1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者) | 2 |
| 1) 研究組織 (全体) | 2 |
| 2) 管理体制 | 2 |
| 3) 管理員及び研究員 | 3 |
| 4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名 | 4 |
| 5) 他からの指導・協力者 | 4 |
| 1-3 成果概要 | 5 |
| 1-4 当該プロジェクト連絡窓口 | 5 |
| 第2章 本 論 | 6 |
| ① アルミ合金に適した電磁攪拌装置 (スラリーカップ) の開発 | 6 |
| ② 半凝固スラリー生成条件の確立 | 8 |
| ③ 金型設計技術・鋳造技術の確立 | 12 |
| ④ 鋳造機設備に関する研究 | 14 |
| ⑤ 製品評価 | 14 |
| 第3章 全体総括 | 17 |

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 (高度化目標、技術的目標)

1) 【研究開発の背景】

環境にもやさしい車づくりが、現在の自動車業界の目指す方向である。自動車産業、自動車業界から「地球温暖化問題」の元凶の1つである「自動車から排出されるCO2」を低減させることが急務となっている。これらの対応として、現在ハイブリッド自動車、電気自動車の開発が加速化され、その自動車部品は究極の軽量化を求められている。

現在までに、鉄からアルミ等の非鉄合金に変わり、今アルミからマグネシウム、FRPから炭素繊維部品にと開発が急速に進化しているのが現状である。今回、日本国内自動車産業界は、ハイブリッド、電気自動車に移行するため、従来部品生産会社の新規生産部品の要求は、省エネ、軽量化、高強度部品と、差別化部品の開発が、企業の今後を左右する状態である。

今回の開発は、新成型法による半凝固鑄鍛成型法という新しい成型法での部品製作である。半凝固スラリーをカットして、プレス成型する成型法や、異材質との部品融合、スラリーで、異材質を挟み込み鍛造成型など、溶解した合金での状態では考え付かない半凝固状態合金の材料開発とプレス成型品である。

新たな市場を開拓し、自動車産業、自動車業界などの、新材料・新部品に貢献できると考えるまた、開発背景一番のポイントは現在の最先端鑄造法と称される半凝固スラリー生成技術が身近になった点である。半凝固生成スラリーを、部品仕様に合わせて、鑄造法、鍛造法、プレス成型法と多種に変化して利用できることにある。本開発で目指す半凝固鑄鍛法は、要求される部品仕様に、コスト、生産性、品質安定性で貢献できる成型法である。また生産設備としても、省エネ効果があり、製品1個当たりの生産エネルギーも少なく、環境に配慮した生産要求に応える事が出来る。

2) 【研究目的及び目標】

半凝固に関する開発はダイカスト鑄造における開発が多い。それは内部欠陥や熱処理対応が可能なこと、にあり、また強度がアップするなどの報告が多く、次世代の鑄造法として注目を集めている。

本研究はダイカスト鑄造で着目されている半凝固状態のスラリーに着目した。半凝固鑄鍛法と言う新しい研究を行い。強度、材料費、コストなど通常の一般ダイカスト部品と比較を行ない、その優位性を実証し、新しい成型技術による製品の開発を目指す。

また、一般ダイカスト法では不可能である、ランナービスケットが不要となる成型方案や金型構造、成型圧力など半凝固鑄鍛法の特徴がある。

カットされた半凝固スラリーを金型に挿入する成型であるため、通常の鍛造では材料を加熱し、大きな型締力のプレスで成型するが、本成型法では、材料が半凝固状態(やわらかい状態の材料)のため、小さな型締力のプレスで成型出来る特徴がある。この省エネ効果は製品のコスト、設備コストに大きく影響され、市場の要求に対して応える成型法である。

市場の要求は、高品質部品でコストダウンである。ダイカスト鑄造品並の低コスト、品質は半凝固鑄造品並みの高耐圧部品、寸法精度に軽量化部品である。

本開発部品の開発の課題として①溶湯鍛造・プレス品とダイカスト鑄造品、主なスクイズ鑄造等の機械的性質、②成型サイクル、③生産維持費、④製品コストなど、従来法との比較が必要になる。

以上の内容を解決するために、半凝固スラリー生成が可能な合金を調査して、半凝固スラリーをスライス、簡易プレスにて成型確認を行う。金型温度、スラリー温度、スラリー表面硬度などのデータから最適条件を確認することで、溶湯鍛造・プレス性の優位点を確認する。また、前倒し事業では、実用化製品試作の形状・成型に必要な試作用金型の製作を行い、鍛造プレス成形品の安定成形のため、自動投入装置とともに自動給湯スラリー生成装置を新たに製作して実用化開発を加速する。

3) 【**鑄造製品としての具体的目標値**】

(1) コンロッド部品

- ① 靱性向上・・・・・・引張強さ向上：従来砂型鑄造品の**50%以上**
- ② 軽量化・・・・・・従来鑄造品の**30%以上**
- ③ コスト・・・・・・成型機小型化、金型製作費、生産サイクルアップにて**30%ダウン**

(2) 鑄造設備

- ① 生産率・・・・・・従来鑄造法の生産効率現状より**30%アップ**
- ② 材料使用量・・・・・・**50%以上削減**（ランナー、ビスケットレス化）（取出製品重量換算比較）
- ③ 溶解エネルギー・・・・エネルギー効率**30%アップ**（電気・ガス使用量比より）

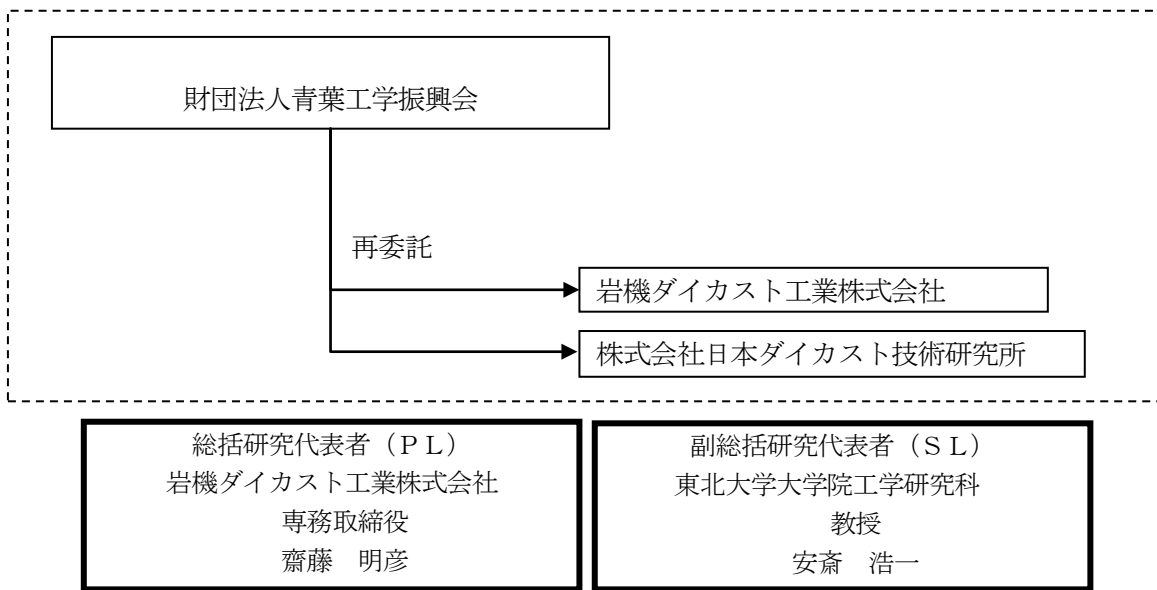
(3) 環境

- ① エア使用量・・・・・・現在使用量**30%カット**

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

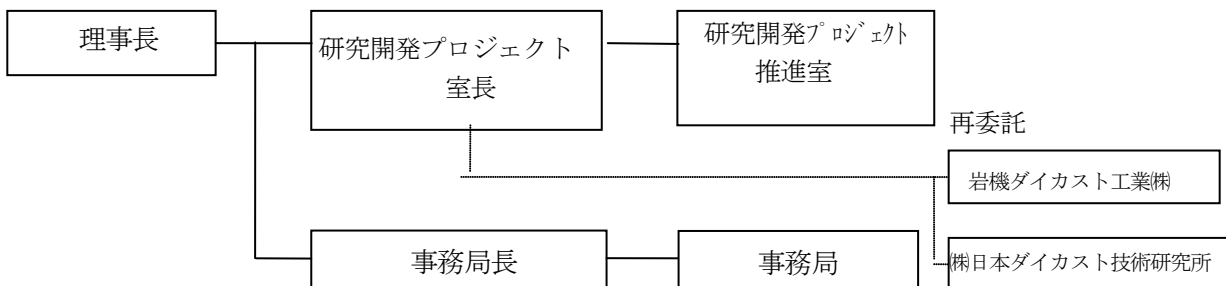
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

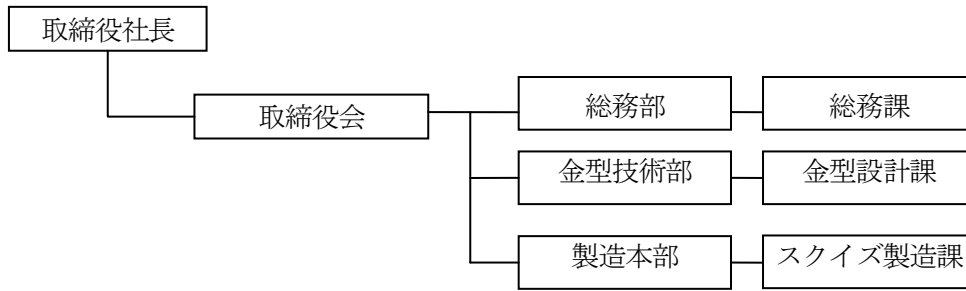
① 事業管理者

[財団法人 青葉工学振興会]

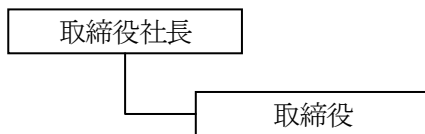


② (再委託先)

岩機ダイカスト工業株式会社



株式会社日本ダイカスト技術研究所



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人 青葉工学振興会

①管理員

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|--------|--------------------------|-----------|
| 霜山 忠男 | 研究開発プロジェクト推進室 室長 | 【5】 |
| 米谷 いし子 | 事務局 経理主任 | 【5】 |
| 櫻井 正彦 | 研究開発プロジェクト推進室 契約主任 | 【5】 |
| 四十川 千秋 | 研究開発プロジェクト推進室 産学連携アドバイザー | 【5】 |
| 大福 純恵 | 研究開発プロジェクト推進室 室員 | 【5】 |
| 渡辺 順子 | 研究開発プロジェクト推進室 室員 | 【5】 |

②研究員 :

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|-----------------------------------|-------------|
| 安斎 浩一 | (財) 青葉工学振興会研究員 (東北大学大学院工学研究科 教授) | 【1】 【2】 【3】 |
| 板村 正行 | (財) 青葉工学振興会研究員 (東北大学大学院工学研究科 准教授) | 【1】 【2】 【3】 |
| 平田 直哉 | (財) 青葉工学振興会研究員 (東北大学大学院工学研究科 助教) | 【1】 【2】 【3】 |

【再委託先 (研究員)】

岩機ダイカスト工業株式会社

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--------|-------------|
| 齋藤 明彦 | 取締役部長 | 【3】 【4】 【5】 |
| 丹治 洋 | 金型設計課長 | 【3】 【4】 |
| 中島 竜也 | 鑄造課係長 | 【3】 【4】 |

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

株式会社日本ダイカスト技術研究所

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|-------|---------|-------------|
| 池田 孝史 | 代表取締役社長 | 【1】 【2】 【4】 |
| 杉原 一江 | 取締役 | 【1】 【2】 【4】 |

4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人青葉工学振興会

(経理担当者) 事務局 経理主任 米谷 いし子
 (業務管理者) 研究開発プロジェクト推進室長 霜山 忠男

(再委託先)

岩機ダイカスト工業株式会社

(経理担当者) 総務課 齋藤 天津子
 (業務管理者) 取締役部長 齋藤 明彦

株式会社日本ダイカスト技術研究所

(経理担当者) 取締役 杉原 一江
 (業務管理者) 取締役社長 池田 孝史

5) 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 | |
|--------|----------------------------|--------|----|
| 霜山 忠男 | 財団法人青葉工学振興会 研究開発プロジェクト推進室長 | PL | |
| 四十川 千秋 | 財団法人青葉工学振興会 産学連携アドバイザー | | |
| 齋藤 明彦 | 岩機ダイカスト工業(株) 取締役部長 | | |
| 丹治 洋 | 岩機ダイカスト工業(株) 金型課課長 | | |
| 中島 竜也 | 岩機ダイカスト工業(株) 鋳造課係長 | | |
| 安斎 浩一 | 東北大学大学院工学研究科 教授 | | SL |
| 平田 直哉 | 東北大学大学院工学研究科 助教 | | |
| 板村 正行 | 東北大学大学院工学研究科 研究員 | | |
| 池田 孝史 | (株)日本ダイカスト技術研究所 取締役社長 | | |
| 杉原 一江 | (株)日本ダイカスト技術研究所 取締役 | | |
| 三輪 謙治 | 独立行政法人産業技術総合研究所 工学博士 | アドバイザー | |
| 高橋 邦久 | THK(株) F A事業部営業技術部 部長 | アドバイザー | |

| アドバイザー・氏名 | 主な指導・協力事項 |
|-----------|----------------|
| 三輪 謙治 | 製品品質の分析・評価及び助言 |
| 高橋 邦久 | コンロッド製品の評価及び助言 |

1-3 成果概要

本研究計画の履行状況

本開発の半凝固用スラリーを使用した「半凝固鑄鍛法」での鍛造プレス技術、複合材成型技術は、期待通りスラリー合金組織の微細化により、高強度化に効果があった。鉄などの比重の大きな部品から軽合金（アルミ、マグネシウム等）の代替が期待される。

このように本開発は、衰退傾向にある我が国の鑄造業界の起死回生の技術として期待されている「半凝固鑄造」に関連し、今までにない新しい半凝固鑄鍛法成型技術である。

開発技術の柱となるのは、

- ・半凝固鑄鍛成型法の技術開発
- ・半凝固鑄鍛成型技術による、複合材成型品の開発

という点にあり、半凝固スラリー生成技術（電磁攪拌、落下式）などの要素技術の着実な実証を積み上げてきた。事業化への成型技術は確立できた。

【経過】

本研究は、H22年度から半凝固鑄鍛法の基本研究をおこなってきた。本年度は、成型技術の確立と模擬製品製作を中心に、事業化を目指した研究を行なった。昨年度の研究試作より、実製品に近い形状の鍛造プレス成型品を確認し、事業化を進めていく上で、繰り返し成型作業の確認が急務と判断し、H23年度前倒し事業を提案した。手動試作確認から、安定したスラリー生成と、金型投入の自動化が、製品品質を左右することがわかり、連続で半凝固鑄鍛が出来るため、自動給湯スラリー生成装置と金型内に自動投入できる、自動投入化装置を開発した。

この自動化装置で半凝固鑄鍛プレスを行ない、寸法の不安定など、スラリー形状の問題点を解決した。また、サブテーマである半凝固スラリーを使用しての複合材開発でも、自動化装置の複合カップ動作など、複合材成型用の動作も追加しており、複合材成型での自動化が可能になった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人青葉工学振興会 研究開発プロジェクト推進室（担当：霜山忠男）

連絡先 tel 022-795-3862 fax 022-795-3579

第2章 本論

目標達成度

2-1 アルミ合金に適した振動電磁攪拌装置（スラリーカップ）の開発

熱伝導を基礎としたシミュレーションを行い、凝固スラリーの中での平均液相率と金属カップの熱容量、アルミ合金溶湯の熱容量の関係などを数値解析し、金属カップの材質、形状（内径・肉厚・高さ）と半凝固スラリーの状態（平均液相率）の関係を類推できる設計技術を確立した。材質については、半凝固用として多用されるAC4C, ADC10, ADC12, 6000 番系、7000 番系、など、5種類の確認を行なった。半凝固スラリー作製用カップの設計手順を図1に示す。設計に必要な引数は、カップおよび溶湯の熱物性値（密度，比熱），スラリー量，目標固相率（温度）である。これらの値を用いて(a) $\gamma-T_{eq}$ 図，(b) \square 範囲，(c)カップ内寸，(d)肉厚- γ の関係を算出し，カップ形状を決定した。

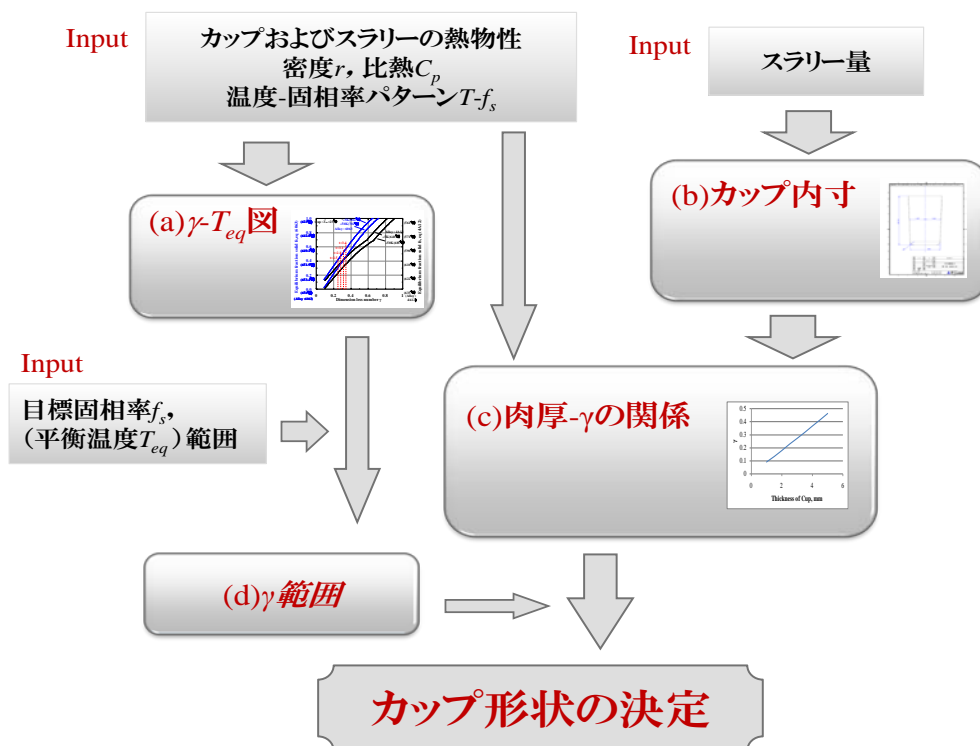


図2-1-1 カップ設計手順

まず，カップおよび溶湯の熱物性値を用いて $\gamma-T_{eq}$ 図を作成する。溶湯をカップに注湯すると，溶湯の熱はカップに移動する。やがて溶湯とカップの温度がほぼ同じになったとき，熱の移動はなくなりそれ以上温度はほとんど変化しない。外気への抜熱を無視すると，このときの温度（平衡温度 T_{eq} とする）は熱エネルギー保存則より次式で与えられる。

$$T_{eq} = \frac{T_c + \gamma T_m + H'_f f_s}{1 + \gamma} \quad (2-1)$$

ここで T_c は溶湯初期温度， T_m はカップ初期温度， H'_f は溶湯の凝固潜熱を比熱で除したもの， f_s は固相率である。 γ はカップと溶湯の熱容量の比で，次式で表される。

$$\gamma = \frac{\rho_m c_m \cdot V_m}{\rho_c c_c \cdot V_c} \quad (2-2)$$

ここで ρ は密度， c は比熱， V は体積であり，添え字 c は溶湯，添え字 m はカップのものであることを示す。式(2-1)、(2-2)を γ について整理すると次式が得られる。

$$\gamma = \frac{T_c + f_s H'_f - T_{eq}}{T_{eq} - T_m} \quad (2-3)$$

式(2-3)に、各熱物性値、比熱分析などを用いて求めた温度-固相率パターン(図 2)を代入することで、平衡温度(固相率)と γ 値の関係(図 3)が得られる。

一方、方案から決定されるスラリー量を元に、内径:高さが 1:2 となるように(b)カップ内寸を決定する。カップ内寸と、カップおよび溶湯の物性値、式(2-2)から(c)カップ肉厚と \square 値の関係が得られる。目標固相率を得るための γ 値を図 3 から求め、(c)カップ肉厚と γ 値の関係を用いることでカップの肉厚が決定する。アルミ溶湯の鑄込み重量とカップへの注湯温度及びカップ厚みを変化させることで各種材料におけるカップ形状を決定するための図 4 に示す γ 値と固相率の関係を類推できる設計技術を確認することができた。

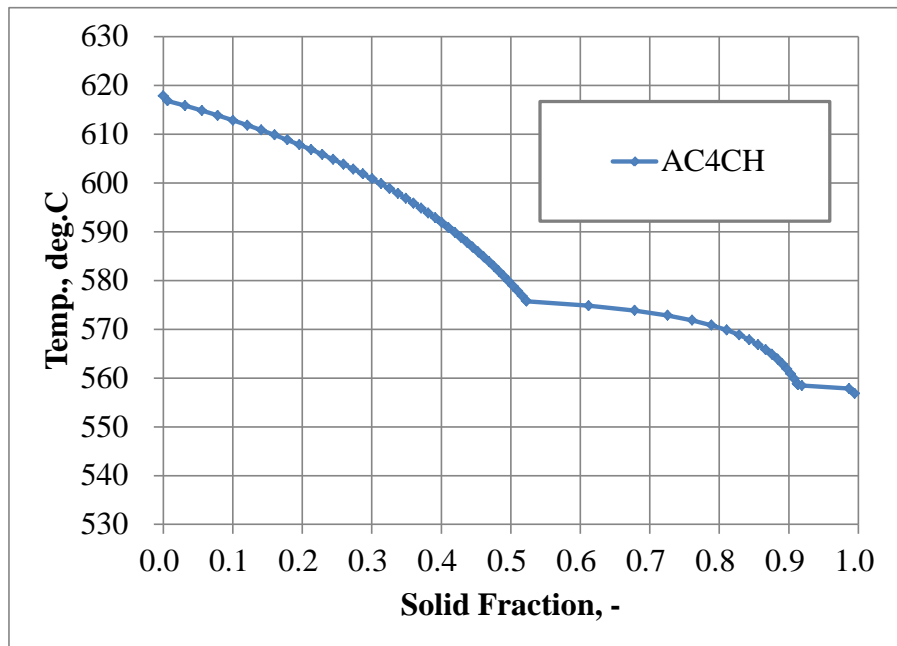


図 2-1-2 AC4CH の温度-固相率

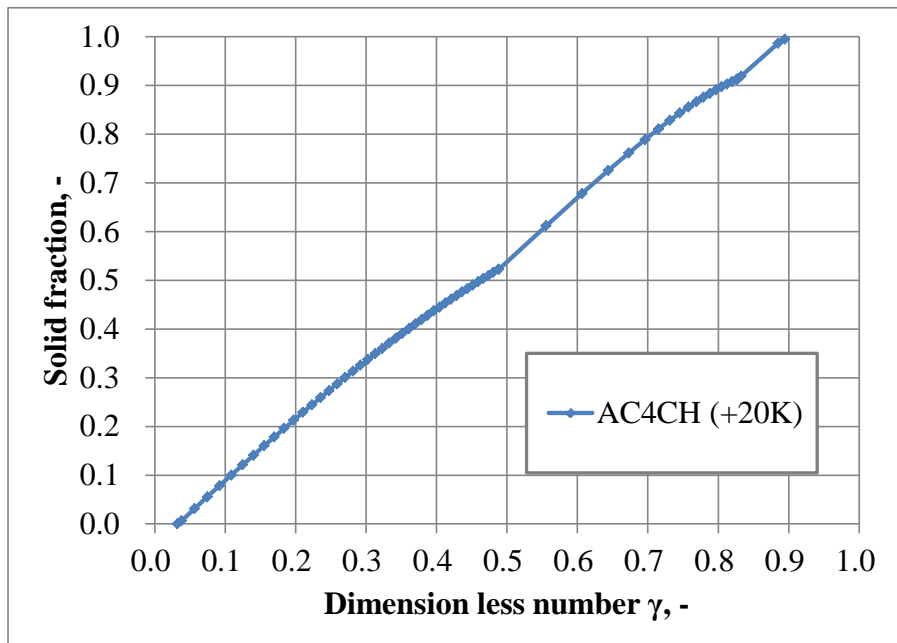


図 2-1-3 γ 値と固相率の関係

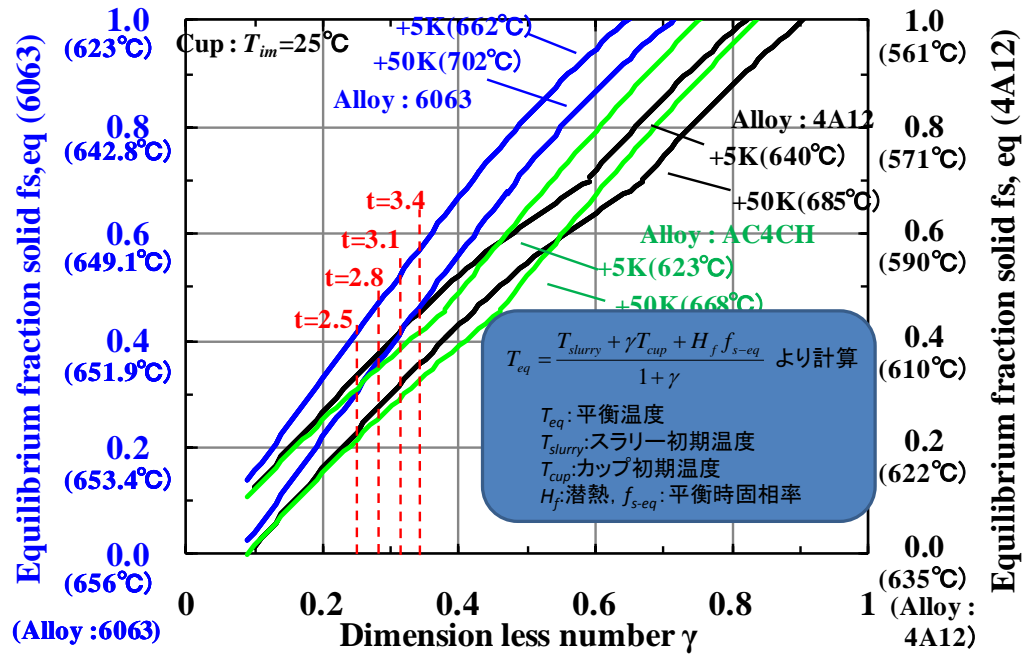


図 2-1-4 $\gamma-T_{eq}$ 曲線

2-2 半凝固スラリー生成条件の確立

上記のカップ形状の最適化検討を踏まえ、アルミ合金の組成の影響、カップ内容湯の電磁攪拌条件などの検討を行うため、実験条件パラメータの検討を行った。合金種類については、上記の5種類合金を検討し、実験評価の準備を進めた。

振動電磁攪拌の最適化・振動電磁攪拌方式における半凝固スラリー生成の再把握

電磁攪拌の回転攪拌と垂直攪拌の時間と順番をかえて、各種アルミ合金における電磁攪拌条件と半凝固スラリー性状の調査をおこなった。その結果をまとめて図5に示す。電磁攪拌の順番を垂直→回転とするよりも 回転→垂直とした方がスラリーをカップから搬出しやすく、搬出したスラリーも全体的に均一であった。

| 合金名 | 攪拌① | 攪拌② | 沈静 | 注湯温度 | 性状評価 | 半凝固スラリーの外観 |
|-------|------------|------------|------|-------|------|------------|
| AC4CH | 垂直 6sec | 回転 3sec | 3sec | 650°C | △ | |
| AC4CH | 垂直 3sec | 回転 4sec | 3sec | 650°C | △ | |

| | | | | | | |
|---------|------------|------------|------|-------|---|---|
| AC4CH | 回転 3sec | 垂直 4sec | 3sec | 650°C | ○ |  |
| 6063 合金 | 回転 4sec | 垂直 7sec | 3sec | 645°C | ○ |  |
| 6063 合金 | 回転 2sec | 垂直 4sec | 3sec | 645°C | △ |  |
| 6063 合金 | 回転 2sec | 垂直 3sec | 3sec | 645°C | △ |  |
| 7071 合金 | 回転 3sec | 垂直 6sec | 3sec | 640°C | ○ |  |
| 7071 合金 | 回転 2sec | 垂直 4sec | 3sec | 640°C | × |  |
| 7071 合金 | 回転 2sec | 垂直 3sec | 3sec | 635°C | ○ |  |

図 2-2-1 各種アルミ合金における電磁攪拌条件と半凝固スラリーの性状

振動電磁攪拌の最適化・振動電磁攪拌の攪拌特性の検討、半凝固スラリーの液相分布率マイクロ組織関係の把握

各種アルミ合金における電磁攪拌条件と半凝固スラリー性状の調査結果で全体的に均一であったものについて金属組織観察をおこなった。その結果をまとめて図 6 に示す。いずれの合金も結晶粒径が $50\mu\text{m}$ 以下という結果が得られ、半凝固スラリーとしての目標を達成することができた。



写真 2-2-1 AC4CH 半凝固スラリーの金属組織



写真 2-2-2 6063 合金半凝固スラリーの金属組織

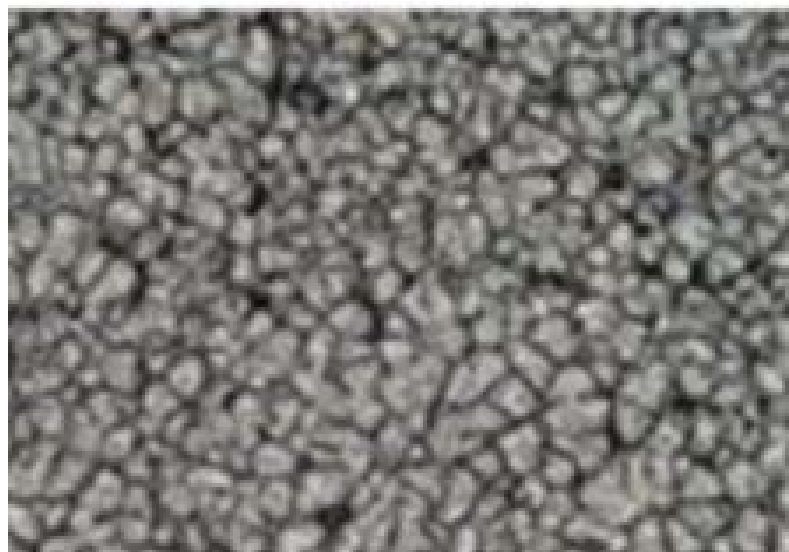


写真 2-2-3 7071 合金半凝固スラリーの金属組織

プレス成型に最適なアルミ合金材料選択

当初、プレス成型を行いながら最適なアルミ合金材料を選択する予定で、プレス成型の金型にカップ形状のスラリーを金型形状に近い形状にカットしてプレス成型していたが、希望する重量と形状にカットすることが困難であることがわかった。そこで、スラリー形状をカップ容器ではなく、ほぼプレス金型形状の重量でかつ同様の形状の容器での半凝固スラリー生成の検討をおこない、成形をおこなうことができた。その容器の形状を図7に示す。



写真 2-2-4 製品形状によるスラリー容器の外観

2-3 金型設計技術・鋳技術の確立

実施計画に記載の通り、製品に近い模擬製品用鍛造・プレス用金型を製作、金型温度、鍛造圧力、成型速度など、今までの解析データベースを元に進めた。

合金の物性値及び最適固相状態データの収集など、まだ十分な成型データが揃っていないため、湯流れシミュレーションプログラムを利用したの鋳鍛造プレス法のプログラムまではいかなかったが、局部加圧（ダイカスト法）でのプログラムを改良しての、一部プレス化解析が可能であることを確認、今後引き続き試作データを収集して、解析データに努めることとする。



図 2-3-1 製品外観図

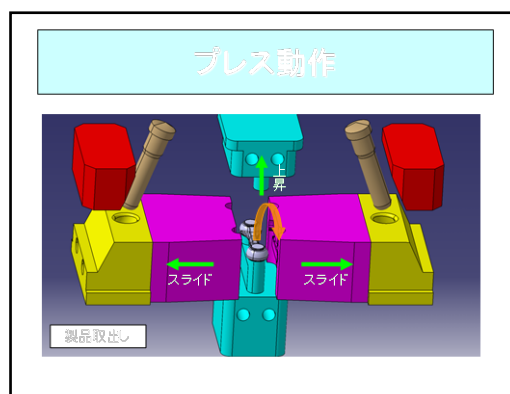


図 2-3-2 金型構造図

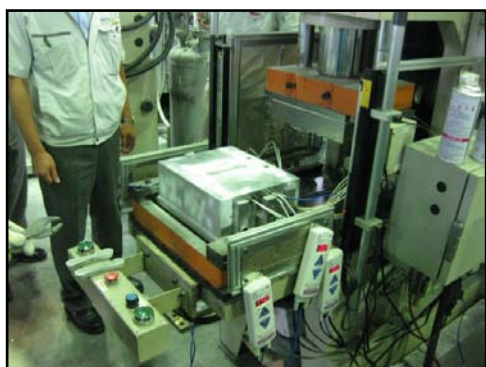


写真 2-3-1 プレス金型



写真 2-3-2 プレス金型温度データ



写真 2-3-3 金型製品部



写真 2-3-4 スラリー生成確認

最適金型、最適スラリー生成条件などを確認し、温度管理からの鍛造プレス成型を行なった。

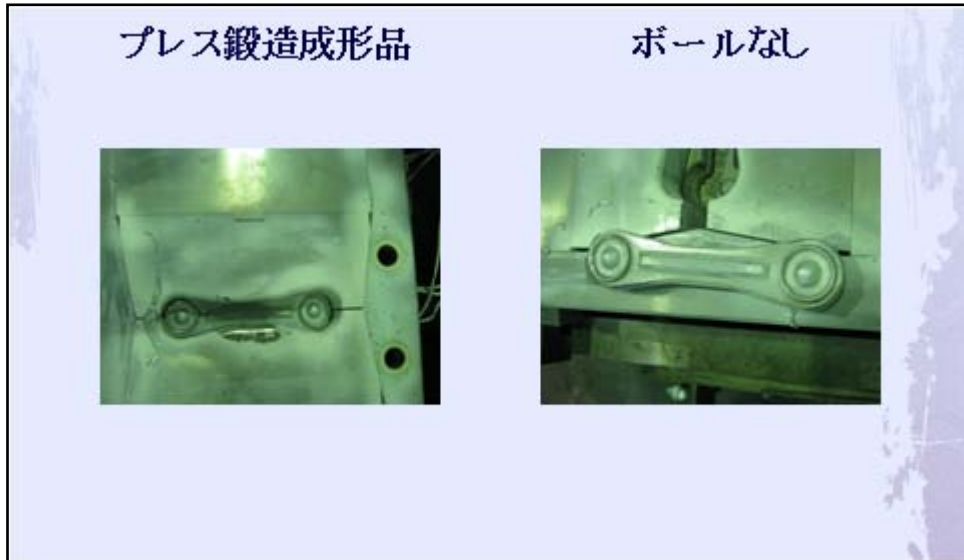


写真 2-3-4 模擬製品金型

その他確認事項

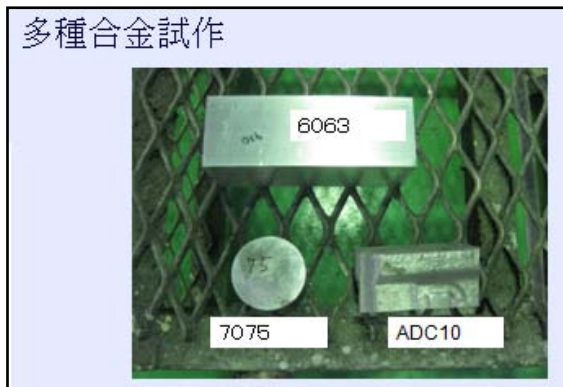


写真 2-3-5 多種合金



写真 2-3-6 多種合金別プレス品



写真 2-3-7 模擬製品

AC4C 以外の合金の成型確認は、ダイカスト casting との比較検討、湯流れ解析においても確認し 7000 系 6000 系を追加して行なった。

2-4 鋳造機設備に関する開発

本実施計画に従い、実製品に近い模擬製品製作用の自動化装置「自動投入装置」「自動給湯スラリー生成装置」を開発し成型確認した。東北大学技術の落下式半凝固生成プロセスから、自動化にて模擬製品鍛造プレス成型までの一連の工程が確認出来たことは、事業化計画に大きく前進した成果である。

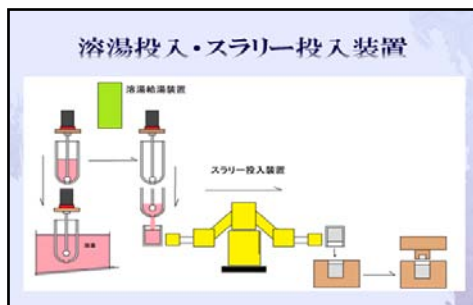


図 2-4-1 自動化装置の概要



写真 2-4-1 装置概要

自動化装置のポイントは、適量の合金を、設定された温度で、ピンポイントで給湯することが条件となります。本研究開発装置は、汎用多間接ロボットを使用した設計開発となった。



写真 2-4-2 自動投入装置



写真 2-4-3 自動給湯スラリー生成装置

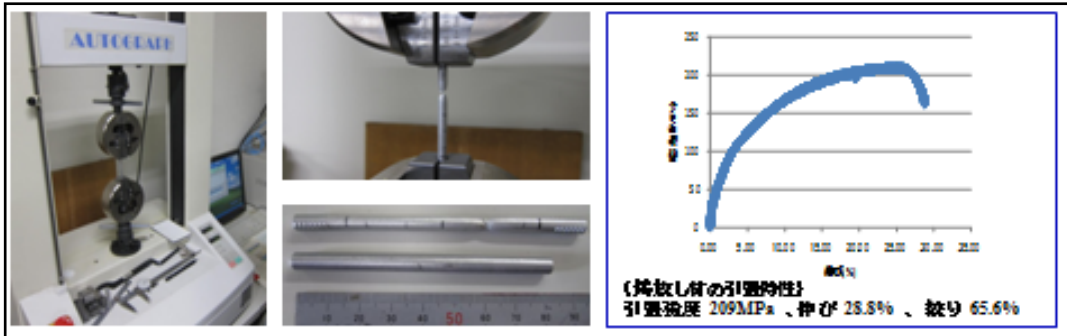
2-5 鋳造品評価

従来品との比較については、強度、伸びなど、鍛造プレス法でしかでない数値を確認した。また、製品化に関して模擬製品の成型を確認したが、補完研究にて実際の製品形状を試作し、機械的データ、品質データを添えて事業化への取り組みを行なうこととする。

まず 本研究開発の鋳造製品としての具体的目標値について報告する

(1) コンロッド部品

- ① 靱性向上・・・引張強さ向上：従来砂型鑄造品の50%以上



プレス製品（未熱処理品）でのデータである。砂型鑄物と強度比較は同等であるが伸びに関しては、50%以上の数値であり、目標は達成した。

- ② 軽量化・・・従来鑄造品の30%以上

目標値の30%以上軽量化に関しては確認出来なかった。T6 処理品のプレス品成型時手でスラリーを生成、成型したため、内部欠陥が多く、引張試験が出来ていない。現在自動成型品にて試験片製作を進めており、補完研究で確認する。

- ③ コスト・・・成型機小型化、金型製作費、生産サイクルアップにて30%ダウン

ダイカスト鑄造法

プレス鍛造成形法

| | |
|-----------------|---------|
| 装置コストの削減 | |
| -半凝固成形装置 | -1600万円 |
| -鑄造機コスト | -500万円 |
| -鑄造サイクル | -11 sec |

材料削減

-ランナー・ピケットが深い -50%

機械的性質の確認を行い

- ・本開発製品の目標の確認と
- ・製品化への優位数値を基本に 事業化、製品化へのメドが確認出来た

ダイカスト鑄造法に比べて、設備に関しては125TON 1600万円 プレス30TON 500万円と69%以上ダウン 金型に関してもダイカスト用金型400万円に対してプレス金型200万円と50%ダウンと目標は達成した。

(2) 鑄造設備

- ① 生産率・・・従来鑄造法の生産効率現状より30%アップ

| 成形時間の比較 | | |
|----------|--------|------------|
| プレス鍛造成形時 | 材料投入時間 | 1 sec |
| | プレス時間 | 5 sec |
| | 取出時間 | 1 sec |
| | 合計 | 7 sec |
| ダイカスト鑄造 | 125TON | 18 sec |
| | | 約 11 sec短縮 |

サイクルに関して 60%短縮 目標達成

- ② 材料使用量・・・50%以上削減（ランナー、ビスケットレス化）（取出製品重量換算比較）
- ③ 溶解エネルギー・・・エネルギー効率 30%アップ（電気・ガス使用量比より）

| 成形重量の比較 | | |
|--|-------------|------|
| プレス鍛造成形品 | 成形重量 1個約 | 110g |
| | 成形材料(鑄込み重量) | 110g |
| 素材と成形品同一素材重量 | | |
| ダイカスト鑄造品 | 成形重量 1個約 | 106g |
| | 4個取り | 424g |
| | 鑄込み重量 | 850g |
| 約鑄込み重量の1/2がランナー・ビスケット 400g以上が、リターン再溶解 | | |

製品 1 個当たりの材料使用料は 88%ダウン
溶解エネルギーは 再溶解がないため、数値的には未確認ですが、400 g 溶解するエネルギーは不要である。

(3) 環境

- ① エア使用量・・・現在使用量 30%カット

スプレーなど離型剤装置など不要と確認出来た。

最終章 全体総括

1. 研究開発全般

本研究の目的は、ダイカスト鋳造品のコストと生産性を維持しながら、ダイカスト鋳造品以上の品質、省エネ（材料の使用量、成型機の大きさ）を目標にした。現在先端技術である半凝固スラリーを使用した新しい技術、鋳鍛成型法の開発に挑んだ。開発初年度、半凝固スラリー生成技術の確認を行なうため、電磁攪拌装置を開発した。半凝固スラリーは簡単に加工できるため、スラリーカット装置で、任意の形状が出来ると考えていたが、スラリーはやわらかい半凝固状態のため、所定の形状が供給できない問題に直面した。

半凝固スラリーから、半凝固鋳鍛法のプレスに供給出来ないため、まず、電磁攪拌されたスラリーを、製品重量に合わせて加工し、加熱成型するというチクソ法での鋳鍛成型を行い、製品の形状、金型の条件、プレス条件などを確認した。また、チクソ成型から、炭素繊維等の異材質をサンドイッチした成型法の確認もした。

事業化を進めていく上で、材料の切り出し、加熱などの工程コスト、自動化が出来ないなどの問題から、東北大学の技術である、落下式スラリー生成法に切り替え、確認研究を行った。

落下式スラリーは、製品と同じ形状のカップで生成出来る事が判明し、製品化へ大きく進んだ。しかし、安定的にスラリー生成するためには、注湯温度、注湯位置、注湯量など安定した条件が必要であると判明した。従来の給湯装置では、希望の仕様が満足できないことが判明した。本研究のため、新規に自動給湯、出来たスラリーを金型に投入する投入装置の開発をした。本最終年度、「自動給湯スラリー生成装置」「自動投入装置」を導入し、安定的な落下式スラリー生成とプレス投入を確認出来た。

安定したスラリーの生成は、製品形状の確認、成型技術（金型温度、プレス条件）など、最終目標が達成された。

今後の課題として、事業化のための製品品質の確認、生産コスト確認を進めていくため、補完研究を通じて技術のレベルアップを目指す。

また、サブテーマであった、複合材成型品に関しても、自動化設備を使用するの成型技術を、補完研究で確立していく。

研究の成果

1. ダイカスト鋳造法以上に小さな成型機で成型できることがわかった。
2. ダイカスト鋳造品より、機械的性質の伸びが改善することがわかった。
3. 製品重量の材料だけ製品が成型できることがわかった。
4. ダイカスト鋳造法に比べ、製品1個を作るエネルギーが少ないことがわかった。
5. ダイカスト鋳造用金型に比べて、安く作れることがわかった。
6. 複合材成型に関しては、今後の課題として補完研究で確立していく。
7. 自動化装置での製品評価など、補完研究で確立していく。

3. 研究開発後の課題

今回確認した半凝固鋳鍛成型法プレス用金型方案、半凝固鋳鍛法でのスラリー流動コンピュータ解析など、成型アシスト技術開発が急務である。引き続き東北大学と補完研究で確認していく。

また、製品の品質、機械的性質のデータなど、ユーザーからの製品仕様に対する要求資料準備が出来ていない。顧客ニーズに対応出来るデータや、半凝固鋳鍛法での製品強度を図るための各種合金探索今後の課題である。

4. 事業化への展開

目標とした半凝固鑄鍛法での成型品形状、品質は確認出来た。今後川下企業から期待されている実装可能な半凝固鑄鍛製品を提供し、客先評価を期待したい。

補完研究開始年度より、企業との共同研究開発チームを提案し、実製品を提供出来る体制づくりを検討する。また、自動化設備を充実し、多くの製品試作に対応できるように改良する。

また、次世代部品の成型試作依頼がすでにあり、品質、コスト、などの面から引き続きダイキャスト鑄造法に変わる新工法として、試作確認、試作成型品のデータベース化を図る。

今回開発した半凝固鑄鍛法プレス成型品は、当初自動車の重要保安部品をターゲットに進めて着ましたが、医療、光学機器など、多種少量の高精密品、高強度品として、高分子材料の代替品、素材削り出し部品の代替品として引き合いがある。