

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高強度・高耐圧アルミ部品の新工法開発」

研究開発成果報告書

平成 2 2 年 3 月 3 1 日

委託者 関東経済産業局

委託先 M & D テクノ研究協同組合

目次

第1章 研究開発の概要	2
1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1 - 2 研究体制（研究組織・管理体制、協力者）	4
1 - 3 成果概要	9
1 - 4 当該研究開発の連絡窓口	9
第2章 本論	10
2 - 1 【サブテーマ1】高耐圧薄肉部品の製造を可能にするダイカスト工法の開発	10
Sub1- : 傾斜冷却法のスラリー生成条件の特定	10
Sub1- -1 傾斜冷却法の基礎実験の実施	10
Sub1- -2 スラリー品質への影響因子の特定	10
Sub1- -2-1 溶湯流速の影響度調査	11
Sub1- -2-2 コーティング膜厚の影響度調査	11
Sub1- -3 スラリー生成条件の最適化	12
Sub1- -4 ダイカストマシン対応スラリー生成装置開発	12
Sub1- : 実機想定モデル鑄造実験・評価	13
Sub1- -1 単純形状モデル金型での基礎鑄造実験	13
Sub1- -1-1 工程別のガス量調査	13
Sub1- -1-2 鑄造解析による品質予測（単純形状モデル）	14
Sub1- -1-2-1 流動解析検証	14
Sub1- -1-2-2 ガス量低減条件の検証	15
Sub1- -1-3 機械的特性値収集	16
Sub1- -1-4 実機想定厚肉モデルでの鑄造実験とサンプル評価	18
2 - 2 【サブテーマ2】高強度耐摩耗部品の製造を可能にするプレス成形工法開発	22
Sub2- : 複合材最適条件の特定実験・評価	22
Sub2- -1 可視化実験による均一攪拌性調査	22
Sub2- -2 実験方法装置・方法	22
Sub2- -3 複合材最適条件の特定・評価	23
Sub2- : 塑性変形の基礎試験	24
Sub2- -1 セミソリッドピレットの安定生成手法の確立	24
Sub2- -2 セミソリッドピレットの常温加圧実験	25
Sub2- -3 セミソリッドピレットの加温加圧実験	27
2 - 3 【サブテーマ3】新アルミ部品製造工法に関するナレッジシステム開発	28
Sub3- : 新工法設計対応ナレッジシステムの開発	28
Sub3- -1 実験情報管理システムの開発	28
Sub3- -2 方案の解析とシステム化	31
最終章 全体総括	33

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

自動車産業ではCO₂排出量抑制策として燃費向上を重要課題と捉え、継続的な車体の軽量化に取り組んでいる。車内空間の快適性を高める重要なシステムである自動車エアコンについても軽量化のみならず、冷媒のノンフロン化が求められており、その中で自然系冷媒の二酸化炭素(CO₂)が注目を集めている。しかし、CO₂を冷媒とするエアコンシステムの圧力は、従来のハイドロフルオロカーボン(HFC)を冷媒とするシステムの約10倍となるため、コンプレッサのケース類がアルミ製から鉄製となり、製品重量は約2倍と増加してしまう。以上のことから、車体の軽量化を進める上で、コンプレッサの重量増加を回避でき、並びに、国内でも中国に勝てるようなコスト競争力を確保するアルミダイカストの新工法の研究開発が急務である。更に、付加価値のある製品を短期間で開発し市場投入するためには、IT技術をベースに製品設計から製造までのノウハウや品質等の情報を共有し、最速リードタイムで開発を行なう取組みも必要とされている。

1-1-2 研究目的及び目標

従来のアルミダイカストは、液状の溶融アルミを高速で金型に鋳込み凝固させることから、得られる結晶が樹枝状に成長し部分的に脆い性質を有している。また、鋳巣による欠陥の発生から高耐圧薄肉部品の製造は困難であった。本研究では、固相と液相が共存しているセミソリッド状態を利用することで得られる結晶を球状結晶化し、組織強化による高耐圧薄肉部品の製造を可能にする新ダイカスト工法の研究開発を行なう。更に、セミソリッド状態の特性を利用した複合化で高強度・耐摩耗部品の製造を可能にする新プレス成形工法の研究開発を行ない、高耐圧と高強度・耐摩耗が要求される自動車空調用アルミ製コンプレッサの薄肉化と低コスト化を実現する。セミソリッド状態の素材(以下スラリー)を生成する手法に関しては、共同で研究を進めている千葉工業大学 茂木教授が開発した等軸遊離結晶理論に基づく傾斜冷却法を応用する。達成に向けた研究のサブテーマ、並びに目標を以下に計画し研究開発を実施した。

【サブテーマ1】高耐圧薄肉部品の製造を可能にするダイカスト工法の研究開発

これまでのカップ式スラリー生成方法に替わり、傾斜冷却法によるスラリー生成技術を開発。固液共存状態であるセミソリッドスラリーの球状結晶組織を制御するダイカスト工法により、従来のダイカストと同等の生産性を保ちながら10倍の耐圧性能を有するCO₂冷媒用の薄肉ケース部品生産を実現する。

〔具体的目標〕：ケース等の高耐圧薄肉アルミ部品への適用により

- 1- ：現状のダイカスト耐圧3.5Mpaを耐圧35Mpaに向上させる。
- 1- ：現状のレオキャスト工法での限界である最小肉厚5ミリを2ミリに薄肉化する。

【サブテーマ2】高強度耐摩耗部品の製造を可能にするプレス成形工法研究開発

スラリーのもつ「複合材を均等に添加しやすい(濡れ性が良い)」という特性、そして、傾斜冷却法により生成されたスラリーは「結晶粒が微細で密なため結晶粒の成長や酸化がしにくい」という特性を利用し耐摩耗特性を向上させる炭化ケイ素(SiC)粒子を複合材としてSi含有量7%のスラリーに添加し、Si含有量12%のアルミ材と同等の機械特性(高強度・耐摩耗性)をもつスラリー生成技術を開発。複合材(SiC)を均一に添加したスラリーをプレス成形する工法により鍛造部品と同等の高強度・耐摩耗を保ちながら加工費を低減するコンプレッサ圧縮機構部品の生産を実現する。

〔具体的目標値〕：ピストン等の高強度・耐摩耗が必要な圧縮機構部品への適用により

- 2- ：セミソリッドプレス成形により要求仕様の300Mpa以上を確保する。
- 2- ：プレス1工程での成形と切削量の15%低減で素材成形・加工費を1/2に削減。

【サブテーマ3】新アルミ部品製造工法に関するナレッジシステム研究開発

本研究で開発した新製造工法の製品設計から製造までのプロセスで得られる、新たなノウハウや品質等の情報を、開発の初期段階から蓄積・活用する仕組みを構築することにより、本新工法

の完成と、徹底して無駄を省くプロセスを開発し、製品開発から製造までの最速生産リードタイムを実現する。

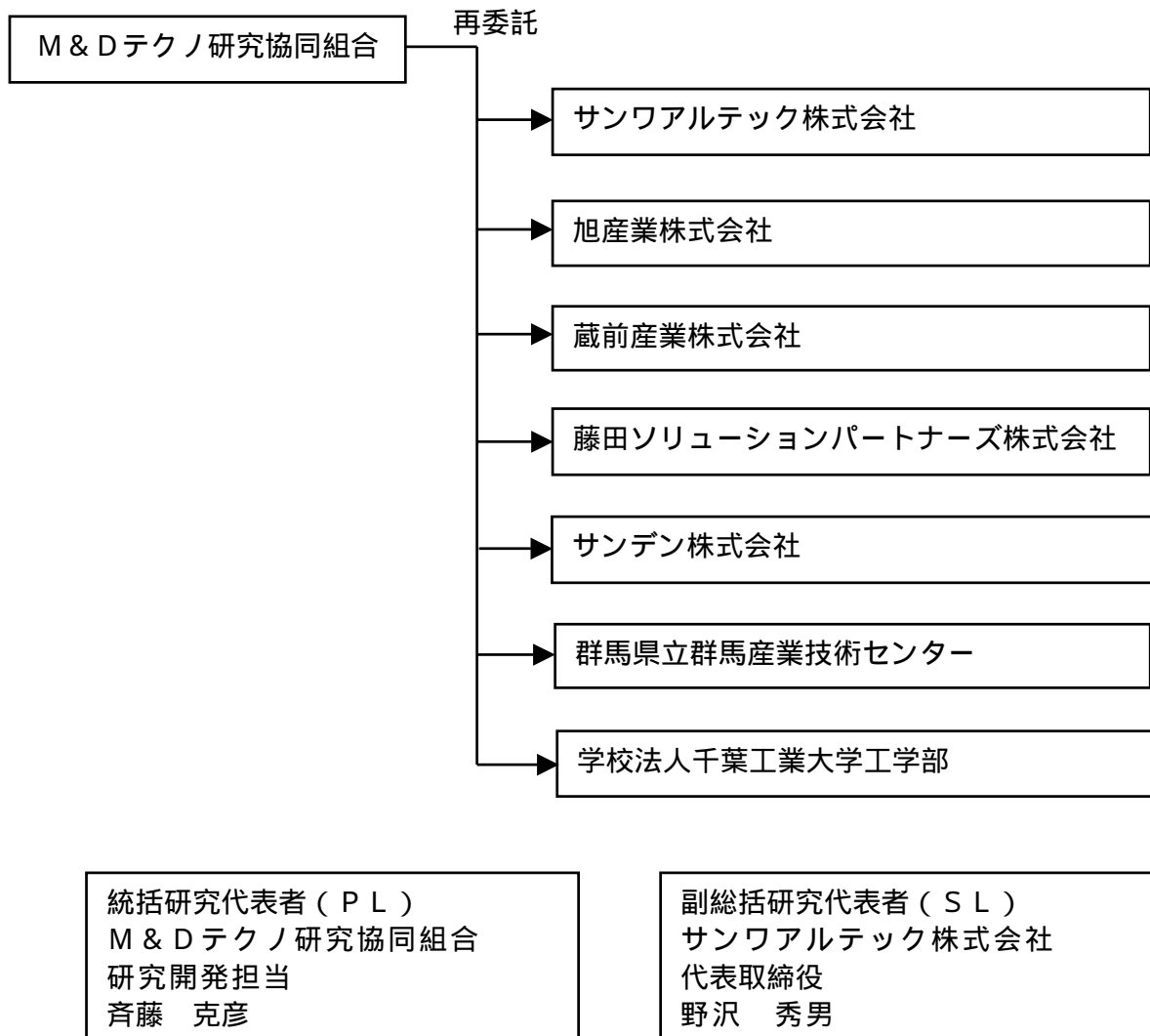
〔具体的目標値〕：自動車空調用コンプレッサの製品設計から製造までのシステムにより

3- ：新工法の試作型における鋳造方案改造回数、現状4回を0回に。

3- ：ナビゲーション、トレーサビリティ機能の開発で品質トラブルの再発防止を実現。

1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制、協力者)

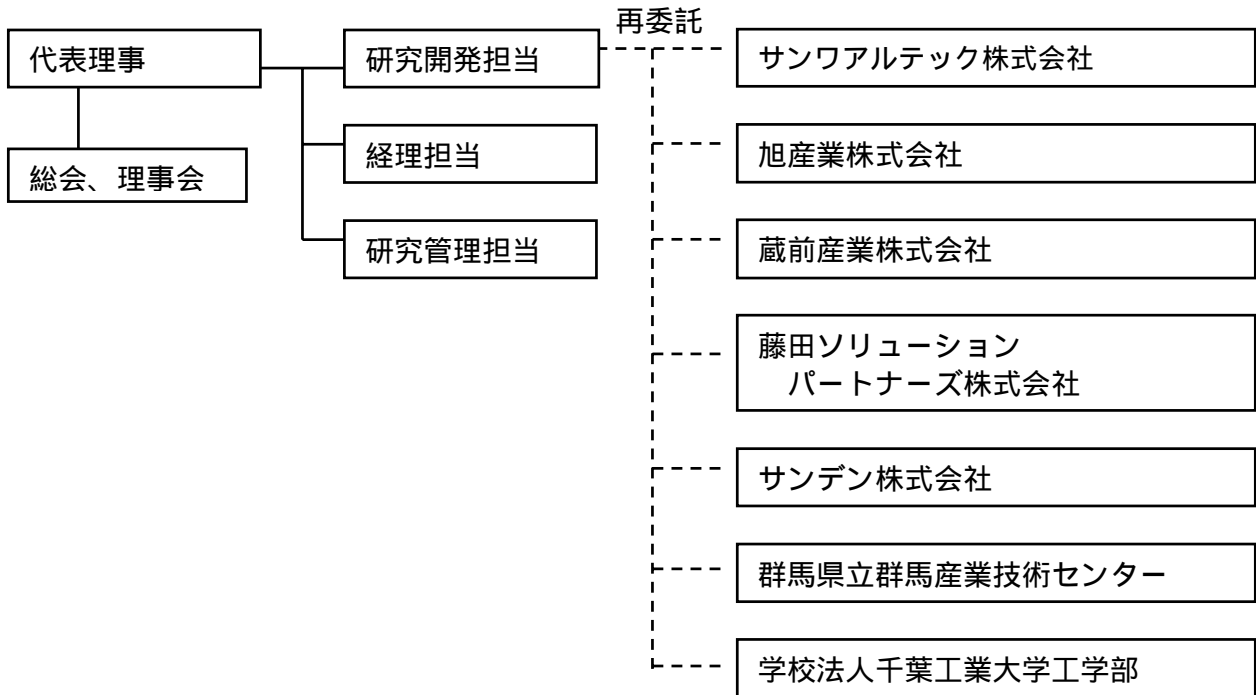
1 - 2 - 1 研究組織 (全体)



1 - 2 - 2 管理体制

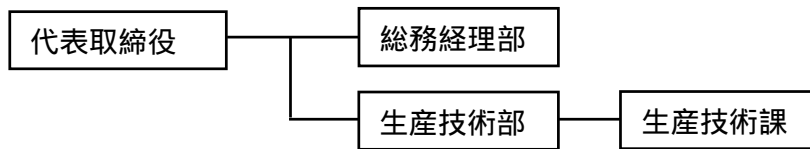
事業管理者

【M & Dテクノ研究協同組合】

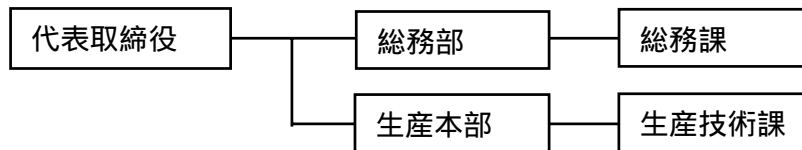


(再委託先)

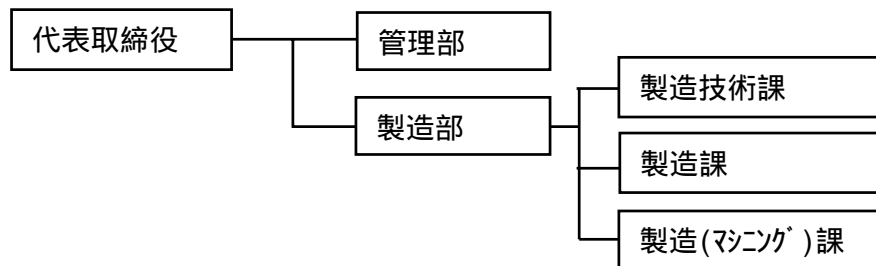
【サンワアルテック株式会社】



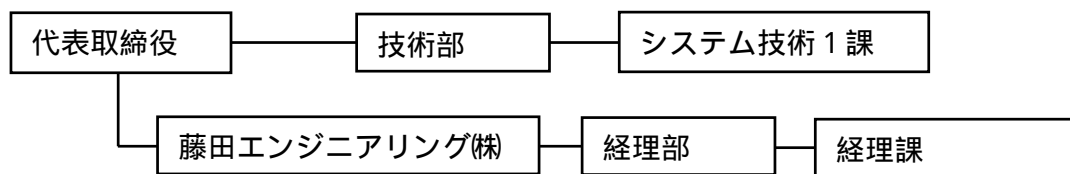
【旭産業株式会社】



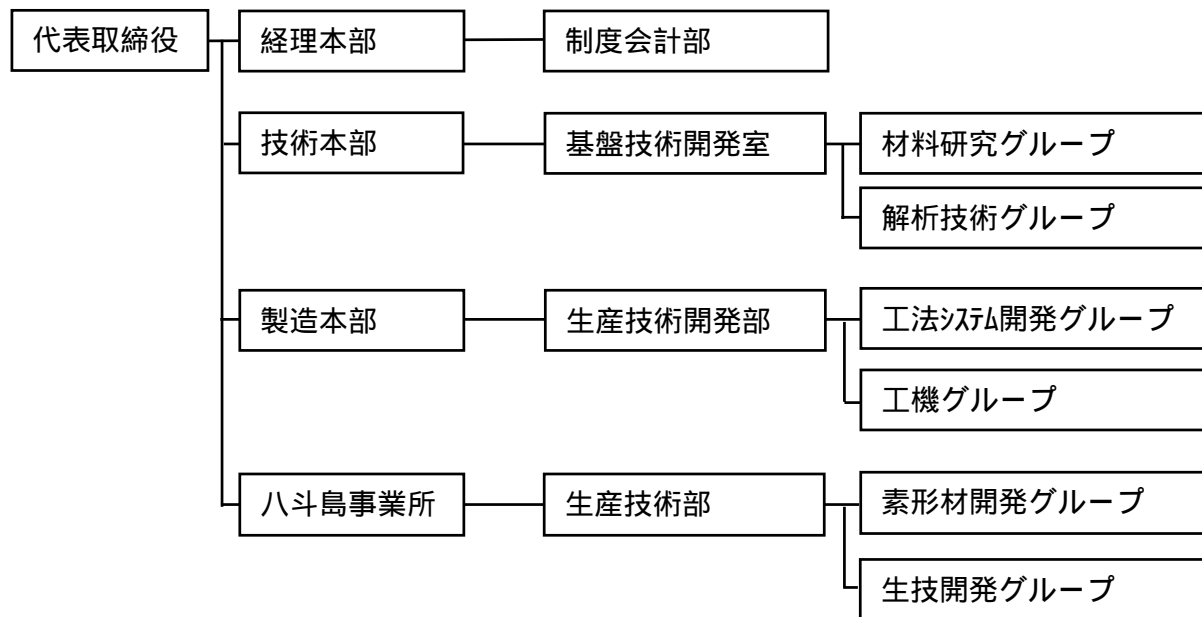
【蔵前産業株式会社】



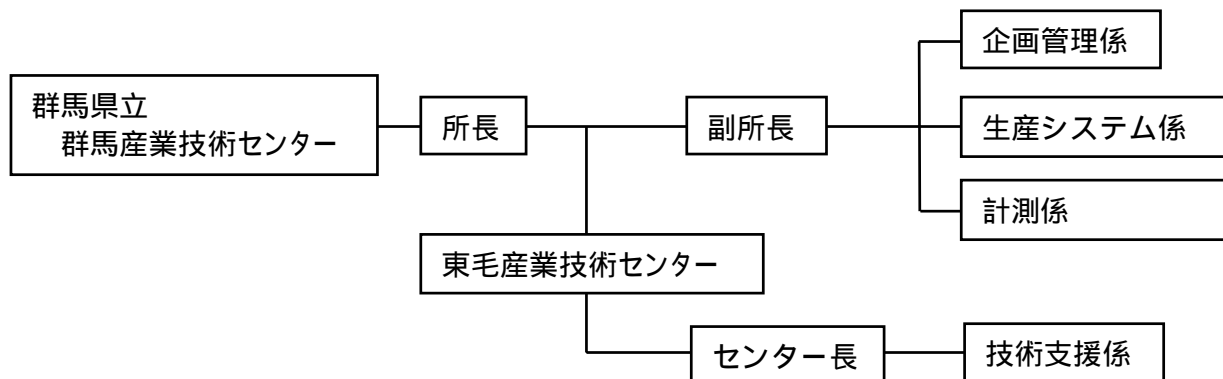
【藤田ソリューションパートナーズ株式会社】



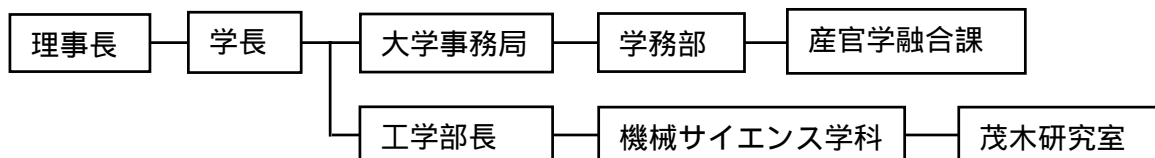
【サンデン株式会社】



【群馬県立群馬産業技術センター】



【学校法人千葉工業大学工学部】



1 - 2 - 3 研究者氏名

事業管理者

【M&Dテクノ研究協同組合】

氏名	所属・役職	実施内容
斉藤 克彦	研究開発担当	Sub1- ,Sub2- Sub3-

再委託先

【サンワアルテック株式会社】

氏名	所属・役職	実施内容
小林 正	生産技術課 課長	Sub1-
矢島 義之	生産技術課 係長	Sub1-

【旭産業株式会社】

氏名	所属・役職	実施内容
林 幸一	取締役 生産本部長	Sub2-
中島 仁	生産技術課 課長	Sub2-
佐俣 義幸	生産技術課	Sub2-

【蔵前産業株式会社】

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
永井 靖	製造技術課 課長	Sub1- ,Sub2- Sub3-
田村 明	製造(マシニング)課 課長	Sub1- ,Sub2- Sub3-
藪ノ内 貴志	製造課 課長	Sub1- ,Sub2- Sub3-
大崎 文彦	製造課 係長	Sub1- ,Sub2- Sub3-

【藤田ソリューションパートナーズ株式会社】

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
相川 裕	技術部 システム技術1課 課長	Sub3-
内藤 篤志	技術部 システム技術1課 担当課長	Sub3-
塚田 健一	技術部 システム技術1課 係長	Sub3-

【サンデン株式会社】

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
戸塚 博	八斗島事業所 生産技術部	Sub1-
木村 哲也	八斗島事業所 生産技術部 素形材開発グループ リーダー	Sub1-
金子 育生	八斗島事業所 生産技術部 素形材開発グループ	Sub1-
藤生 美明	八斗島事業所 生産技術部 素形材開発グループ	Sub1-
田中 雅啓	八斗島事業所 生産技術部 素形材開発グループ	Sub1-
関口 薫	八斗島事業所 生産技術部 素形材開発グループ	Sub1-
佐藤 秀男	八斗島事業所 生産技術部 素形材開発グループ	Sub1-
下橋 均	八斗島事業所 生産技術部 生技開発グループ	Sub1-

茂木 敏之	技術本部	本部長補佐			Sub1-	,Sub3-
福井 毅	技術本部	基盤技術開発部	部長		Sub1-	,Sub2-
福島 誠	技術本部	基盤技術開発部	材料研究グループ	リーダ	Sub1-	,Sub2-
KHAMESEE MIR BEHDAD	技術本部	基盤技術開発部	材料研究グループ		Sub1-	,Sub2-
佐々木 新悟	技術本部	基盤技術開発部	材料研究グループ		Sub1-	,Sub2-
松村 義人	技術本部	基盤技術開発部	解析技術グループ		Sub1-	,Sub3-
佐藤 泰造	技術本部	基盤技術開発部	解析技術グループ		Sub1-	,Sub3-
石丸 勝広	製造本部	生産技術開発部	プロセス管理グループ		Sub1-	,Sub2-
横堀 時男	製造本部	生産技術開発部	工機グループ		Sub1-	,Sub2-
村松 純	製造本部	生産技術開発部	工機グループ		Sub1-	,Sub2-
石関 祥典	製造本部	生産技術開発部	工機グループ		Sub1-	,Sub2-
千葉 隆一	製造本部	生産技術開発部	工法システム開発グループ		Sub1-	,Sub2-
石原 良規	製造本部	生産技術開発部	工法システム開発グループ		Sub1-	,Sub2-
					Sub3-	

【群馬県立群馬産業技術センター】

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小宅 勝	生産システム係 係長	Sub1- ,Sub2-
福島 祥夫	生産システム係	Sub1-
野口 貴生	生産システム係	Sub1-
黒岩 広樹	生産システム係	Sub1-
細谷 肇	計測係 係長	Sub1-
中村 哲也	計測係	Sub1-
鍋木 哲志	東毛産業技術センター 技術支援係	Sub1-

【学校法人千葉工業大学】

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
茂木 徹一	工学部 機械サイエンス学科 教授	Sub1- ,Sub2-

1-2-4 協力者

氏名	所属・役職	実施内容
齋藤 勝政	北海道大学 名誉教授	金型技術指導
久米原 宏之	(財)地域産学官連携ものづくり研究機構 常務理事	品質工学及び実験指導
仙石 裕司	有限会社ティ・ディ・エフ 代表	表面処理/離型剤技術指導
黒瀬 雅詞	群馬工業高等専門学校 機械工学科 准教授	超音波計測技術指導
福岡 新五郎	ウナック研究所 代表	鋳造技術指導
山城 道康	有限会社オプト企業 代表取締役	材料物性値取得指導

1 - 3 成果概要

【サブテーマ1】高耐圧薄肉部品の製造を可能にするダイカスト工法の開発

スラリー品質への影響因子のコーティング膜厚・アルミ流速を特定し、スラリー生成条件の管理値を明確化した。また鑄造実験による鑄造品サンプルの評価結果においては単純形状モデルでの鑄造欠陥対策により熱処理品(T6)にて引張り強度 MAX415MPa、伸び MAX6.10%を確保した。厚肉複雑形状モデルではガス含有量平均値 0.6ml/100g 以下を確保、耐圧値 38MPa を確保し、ユーザーカ開発担当より開発評価部品の耐圧容器部品としての合格判断を得た。薄肉複雑形状モデルにおいては従来セミソリッドでは不向きな平均肉厚 3mm 品の鑄造実現し、内部品質への有効性確認をした。さらに鑄造解析を軸とした方案設定と鑄造条件選定し、その条件によるサンプル評価結果により解析パラメータのチューニングで解析精度が向上し、鑄造解析による品質予測技術を構築した。

【サブテーマ2】高強度耐摩耗部品の製造を可能にするプレス成形工法開発

複合材の均一混入に関しアルミ溶湯表面の酸化膜の巻きみやヌレ性に対する課題が抽出できた。また、攪拌手法についても可視化実験による研究の効率化が図れた。

初期実験にて作製した複合化サンプルに強化材の凝集と巻き込みを確認、攪拌方法の改善により特定の添加量ではあるが均一混合化およびサンプルごとの差異も無い最適条件を選定。サブテーマ1と連動したスラリー安定生成条件の選定とビレット急冷方法特定により安定ビレット生成方法確立し、その安定品質ビレットを用いた常温下での自由据え込み実験を行ないセミソリッドビレットの「据え込み率 - 成形荷重」線図と加圧サンプルの組織観察による塑性変形形態把握により今後の開発の基盤となる基礎情報を取得するとともにセミソリッドビレットの組織異方性制御によるプレス加圧時の安定荷重に対する有効性を確認した。

【サブテーマ3】新アルミ部品製造工法に関するナレッジシステム開発

サブテーマ1・2で得られた、各種の実験データと組織観察や実験画像等の評価結果を連動させる「実験情報管理システム」を構築。各部門が個別で集計していたデータ管理の一元化による、トレーサビリティ強化が図れた。運用開始後にシステムが陳腐化せぬようヒアリングを継続し実験表の汎用性向上、動画等情報種類の充実、閲覧権限の細分化等のシステムを更新した。さらに鑄造解析による高精度内部品質予測技術が確立されたことにより、鑄造解析による、金型設計と鑄造条件選定の検証が開発時の技術的根拠となると考え、検証過程を前述の実験情報管理システム内に記録するようにした。ここでは解析結果だけでなく解析実施時の問題点と使用物性値等の情報も記録することとした。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理者：M & Dテクノ研究協同組合
〒370-8502 群馬県伊勢崎市寿町 20 番地
TEL 0270-22-1321, FAX 0270-21-2646
研究管理担当 小和田雅明

第2章 本論

2 - 1 【サブテーマ1】高耐圧薄肉部品の製造を可能にするダイカスト工法の開発

Sub1- : 傾斜冷却法のスラリー生成条件の特定

・目的

引張強度に優れるアルミ材 AC2B をベースとした材料に対しラボレベルでの傾斜冷却実験を行ない、50～60 μm の等軸晶組織が生成可能な傾斜冷却条件（溶湯温度・傾斜角度・傾斜板長さ）を組織観察により特定する。

・研究成果

Sub1- -1 傾斜冷却法の基礎実験の実施

本開発工法は千葉工業大学 茂木教授が開発した結晶遊離説に基づいた傾斜冷却法を適用し、現有鑄造設備を活用し迅速に微細組織を有するセミソリッド鑄造品を作製することを想定している。この傾斜冷却法は傾斜した冷却板上に溶融金属を供給し、冷却板上で生成した結晶核を次々と引き剥がし、多数の微細均一粒状結晶を得るものであり、この原理を活用しデンドライト成長を抑制し、鑄造中の溶湯の流動性確保を狙うものである。その傾斜冷却法によるスラリー生成（図 S1-1）での最適条件を特定する実験の第一段階として茂木教授の知見を基に初期生成条件を設定し、冷却板未使用組織との組織比較による傾斜冷却法の有効性確認と併せ、スラリー生成に関わる諸条件項目の把握を行なった。

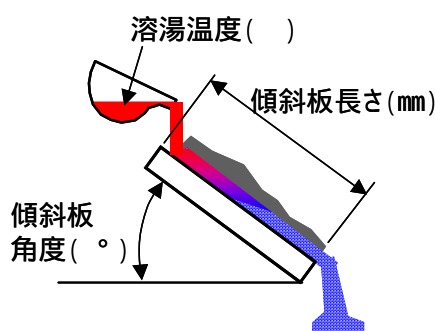


図)S1- 1 傾斜冷却法によるスラリー生成

結晶組織観察は試料中央部位を採取し評価した。（図 S1-2）に示すように、それぞれのミクロ組織を比較すると、冷却板未使用は全体的に樹枝状のデンドライト組織であり、冷却板を使用すると球状組織を示しており本実験での傾斜冷却法の有効性が確認された。傾斜板使用試料の結晶は測定箇所によりバラツキがあるが、平均初晶粒径は70 μm であった。

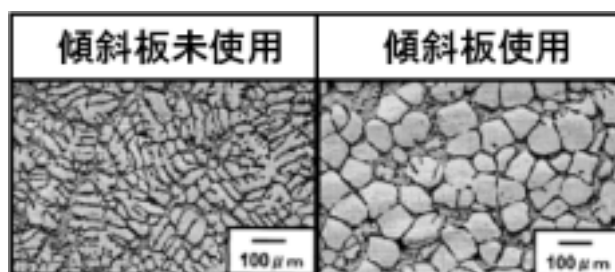


図)S1- 2 結晶組織比較(有効性確認)

Sub1- -2 スラリー品質への影響因子の特定

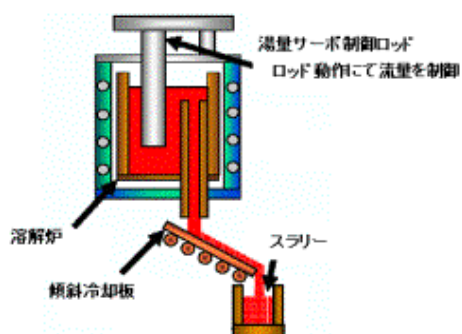
スラリー品質に対する生成条件最適化に向けて、基礎実験にて把握した制御因子より影響度の高い因子の特定とその因子の評価方法を確定した。

Sub1- -2-1 溶湯流速の影響度調査

スラリー生成における流速の影響を調査するため、制御棒の上下運動により溶解炉から溢れた溶湯を傾斜冷却板へ給湯する機構を有し、安定した流速を得られる傾斜冷却装置（図 S1-3）を使用し、影響度調査実験を実施した。実験の条件は（表 S1-1）に示す。流量の選定に関しては、Max 値を本装置での最大流量 69ml/min とし、Min 値は流量が少ないことで適正な流動が得られず、凝固シェルとして冷却板上に凝固し堆積する条件とした。また、それぞれの条件において再現性を考慮して、N=3 以上の実験を行なった。

実験結果は、流量 Min に関しては条件 5（流速 30ml/min）にて流動が不安定となり、条件 6 においては凝固シェルとしての損失が多く鑄型にスラリーが得られない状態となっている。

表)S1- 1 流速影響度検証条件表



	流速ml/min
条件 1	69
条件 2	60
条件 3	50
条件 4	40
条件 5	30
条件 6	20

図)S1- 3 安定給湯スラリー生成装置

実験で得られたスラリーサンプルの代表的な組織観察画像を（写真 S1-4）に示す。一般的に粒状の均一組織は得られているが、条件 1 の平均粒径 58 μm に対し、条件 4 の平均粒径は 3.3 μm であることから、流速の初晶粒径サイズへの影響度が非常に高い事が確認できた。

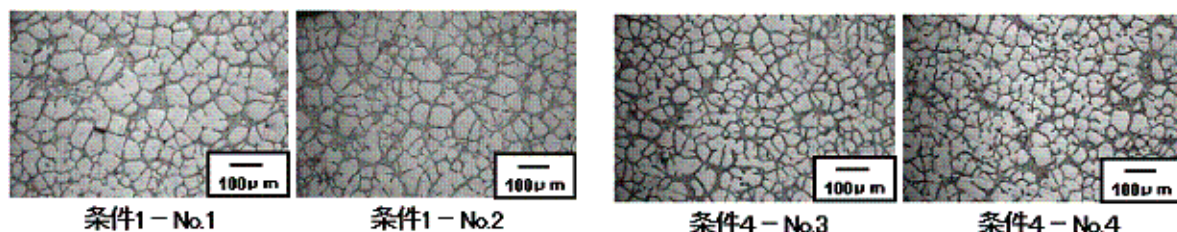


図)S1- 4 組織比較 (流速影響度検証)

Sub1- -2-2 コーティング膜厚の影響度調査

傾斜冷却板の表面には、溶湯および凝固シェルの貼り付き防止、傾斜冷却板の酸化防止のためにコーティングを施す。そこで、膜厚を厳しく管理して影響度調査実験を行なった。実験使用装置は（図 S1-2）と同装置を使用している。

作製したスラリーのミクロ組織を（図 S1-5）に示す。今回の膜厚範囲においては、すべての条件で初晶の粒状化が確認されている。



図)S1- 5 組織比較 (コーティング膜厚影響度検証)

次に、冷却板上に設置した熱電対によるスラリーの温度測定結果を（図 S1-6）に示す。すべての膜厚において、過冷現象により冷却板上で温度低下し、その後復熱による温度回復が見られる。しかし、温度変化の挙動は膜厚ごとに異なっており、コーティング膜厚がスラリー組織に影響することが予測される。更に、コーティング膜厚と算出した熱伝達率および結晶粒径との関係を（図 S1-7）に示す。

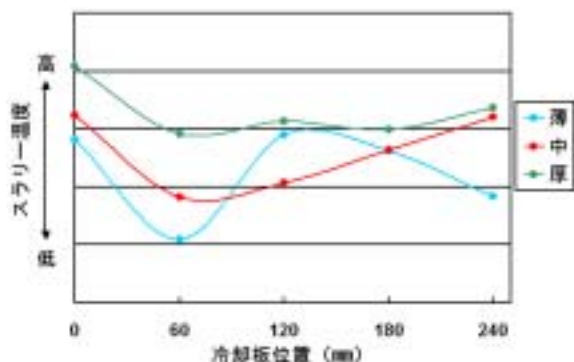


図)S1- 6 冷却板上スラリーの温度分布

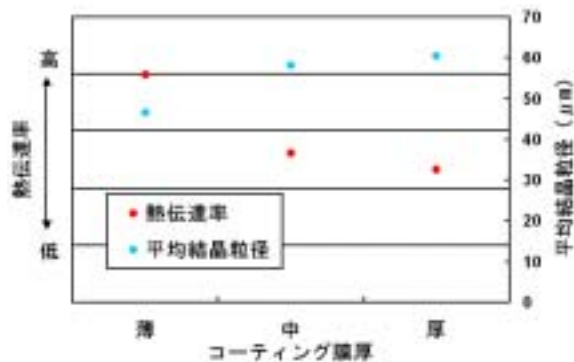


図)S1- 7 膜厚と熱伝達率、結晶粒径の関係

膜厚が厚くなるほど、熱伝達係数は小さく、結晶粒径は大きくなっている。すなわち、膜厚を薄くして熱伝達係数を大きくすることで、スラリーと冷却板との熱交換が効率的に行なわれ、微細・粒状な組織を有するスラリーとなることがわかる。

Sub1- -3 スラリー生成条件の最適化

前項にて特定した影響度の高い因子である溶湯流速とコーティング膜厚を重点項目として各因子の水準の組み合わせより最適条件の選定を実施した。最適条件によるスラリー組織を（図 S1-8）に示す。条件最適化により採取サンプルの全域にわたり均一な球状結晶を示しており、平均粒径は 55 μm であった

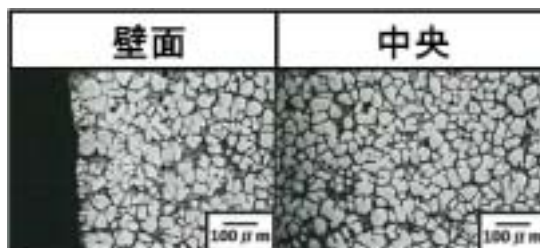


図)S1- 8 最適条件によるスラリー組織

Sub1- -4 ダイカストマシン対応スラリー生成装置開発

スラリー生成実験による結晶組織観察から、実際の鋳造品の鑄込み量を想定したスラリー生成実験による最適条件選定を完了したことを受け、実用化に向けて、汎用横型ダイカストマシンに対応したスラリー生成装置を開発した（図 S1-9）。

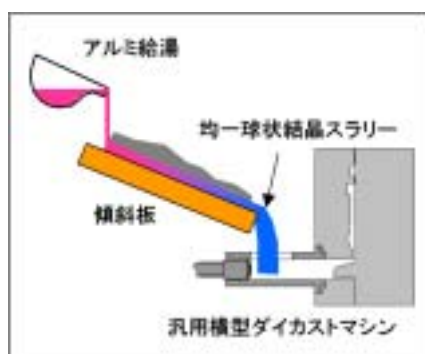


図)S1- 9 ダイカストマシン対応スラリー生成装置

実際のダイカストマシンによる鑄造工程では、射出スリーブ（スラリーを供給する射出機構部品）への給湯から金型への鑄込みまでの過程を考慮しなければ、スラリーの最適条件の選定が出来ない。そこで、実験室にダイカストマシンの射出スリーブを設置し、直接スリーブ内に供給したスラリー組織観察を行なった。スリーブ内で凝固したサンプルの組織比較を（写真 S1-10）に示す。スリーブ内にて自然凝固したサンプルのため、これまでの水冷による急冷凝固スラリー評価に比べ、結晶組織の成長が認められるものの、比較的均一な球状結晶が得られており、スリーブ内でも球状結晶を維持出来ている事を確認した。

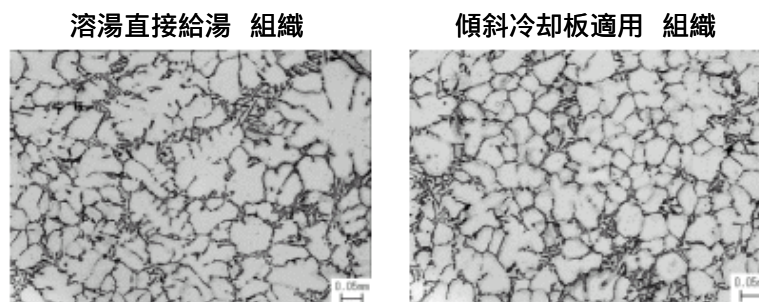


図)S1- 10 スリーブ内スラリー組織観察

Sub1- : 実機想定モデル鑄造実験・評価

・目的

スラリー生成の最適条件選定を受け、単純形状モデルでの鑄造実験により湯流れ形態と欠陥状況を把握し、それに応じた機械特性を収得する。さらにこれら情報を基にユーザー企業の新規開発製品モデルにて金型設計、製作および鑄造実験を行ない、この鑄造品で技術目標値に掲げている耐圧値評価を行なうことで、設計ノウハウや鑄造条件の蓄積を図る。またこれらの鑄造方案、成形条件の選定は鑄造解析を活用し、収集したデータおよびサンプルの評価結果を鑄造解析結果と都度照合し、解析の精度向上（物性値のチューニング）を実施することで予測技術を構築し、事業化時の新規製品開発リードタイム短縮及び不具合予知技術向上を図る。

・研究成果

Sub1- -1 単純形状モデル金型での基礎鑄造実験

本開発工法に必要な鑄造条件や物性値等の各パラメータの影響度と関連性を明確化するため、（図 S1-11）に示す単純形状モデル金型（平板形状で各部位の厚さを変化）を用いた基礎鑄造実験を実施した。その実験結果により鑄造解析精度の向上を図り、実機想定モデル型の設計製作を行ない、鑄造実験サンプル評価によるセミソリッド鑄造に適した条件の選定及び本開発工法の特長値を把握した。

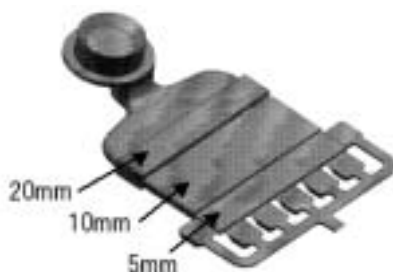


図)S1- 11 単純形状モデル

Sub1- -1-1 工程別のガス量調査

本開発工法の対象素材が T6 熱処理を前提とした工法であり、素材のガス量低減に対する課題を明確にする必要があった。実際の鑄造では射出から金型内への溶湯充填時に、溶湯内のガス量以外にも鑄造品にガスを巻込む要素が多くある。そこで初期の段階で、工程ごと（インゴット、溶解炉内溶湯、スリーブ内スラリー、鑄造品）のサンプルを抽出し、ガス量と成分の

調査を実施した(図 S1-12)。尚、今後の鑄造解析による事前検証技術構築あるいはあらゆる素材形状への対応が予想されたので、この単純形状モデル鑄造実験においては、成形が可能かつ条件入力に対する応答が確保可能な広範囲内で層流充填を想定した低速射出条件から普通ダイカスト(以下 HPDC)同等の高速射出条件における鑄造品を採取している。

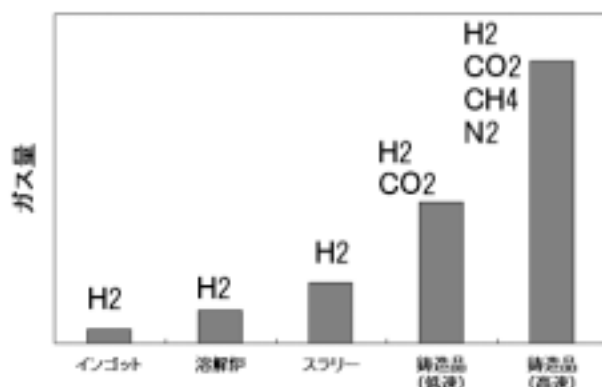


図)S1- 12 各工程のガス量推移

スラリーの段階までは水素のみ検出されていたが、鑄造品の段階では他の成分(CO₂、CH₄、N₂)も検出され、ガス量自体も増加している。増加の要因としては、ダイカストマシンの射出機構のカジリ防止用に塗布しているスリーブと射出チップの潤滑剤や、金型の離型剤残りが考えられる。これらの要因に関する影響を確認するため、単純形状モデル型の鑄造時に離型剤塗布の有無によるサンプル抽出を行なった結果、離型剤を HPDC 量産相当量塗布した鑄造サンプルのガス量に対して(成分の多い順:CO₂、H₂、C₂H₄、CH₄)、離型剤未使用の鑄造品では、ガス量が約 50%以下になった(成分多い順:H₂、CO₂、CH₄)。以上のことから、ガス量低減に関しては溶湯の清浄度向上、流動の整流化に併せ、離型剤および潤滑剤の最適化も図る必要性が明らかになった。

Sub1- -1-2 鑄造解析による品質予測(単純形状モデル)

通常と異なる物性を有するセミソリッド鑄造工法に、鑄造解析を展開し実験回数の削減による開発リードタイム短縮を図る。そのため、単純形状モデル金型を用いて鑄造実験で収集したデータおよび情報を基に、解析結果のチューニングを行ない、セミソリッド鑄造工法に適した物性の特定と、流動や凝固挙動の明確化による解析精度の向上を実現させる。

Sub1- -1-2-1 流動解析検証

テストピース金型を用いた鑄造実験の際、ショートショットサンプルを採取し、鑄造解析のパラメータ調整により、流動解析結果と実体サンプルの照合を行なった(図 S1-13 参照)。特にスリーブ内のスラリー挙動の照合を徹底することで、条件変更した実験サンプルの照合結果も流動状態は近似していた。これにより傾斜冷却法を用いたセミソリッド鑄造工法に対応した鑄造解析による内部欠陥検証の基礎となる高精度流動解析結果を得ることが可能となった。



図)S1- 13 流動解析結果と鑄造品の照合

Sub1- -1-2-2 ガス量低減条件の検証

前項にて、解析の基本となる流動解析の精度も向上したことから、鑄造解析での直行表実験によりガス量の少ない最適条件を選定し、鑄造実験サンプル結果との照合検証を実施した。(図 S1 - 14)にガス量検証範囲と(図 S1 - 15)に鑄造解析でのガス量検証イメージを示す。

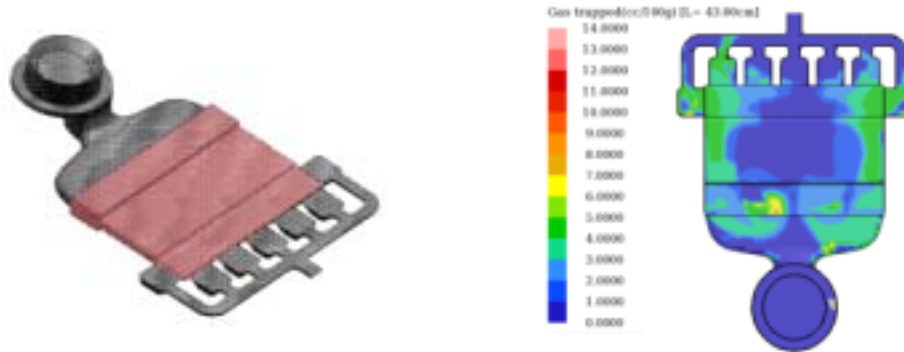


図)S1- 14 ガス量検証適用範囲

図)S1- 15 鑄造解析のガス量検証イメージ

鑄造解析による選定最適条件のガス量とその選定条件により成形したサンプルのガス量及びガス成分分析の結果を(図 S1 - 16)に示す。高速射出サンプルのガス量は、対策を施すことで飛躍的に低減している。また、低速射出条件においても対策の効果は現れている。鑄造解析結果精度に関しては、解析値と実測値にて、低速射出条件で差はないが、高速射出条件ではわずかに 2.79ml/100g の開きがある。今回の解析では、離型剤と潤滑剤の影響を考慮していないため、これが影響していると考えられるが、ガス量増減の傾向把握ツールとして活用するには現時点でも十分であると判断した。その理由は、離型剤や潤滑剤塗布の有無による影響度を把握した上で、これらの剤種選定および塗布条件最適化を別途実施しており、その成果もこの検証結果に現れていることによる。

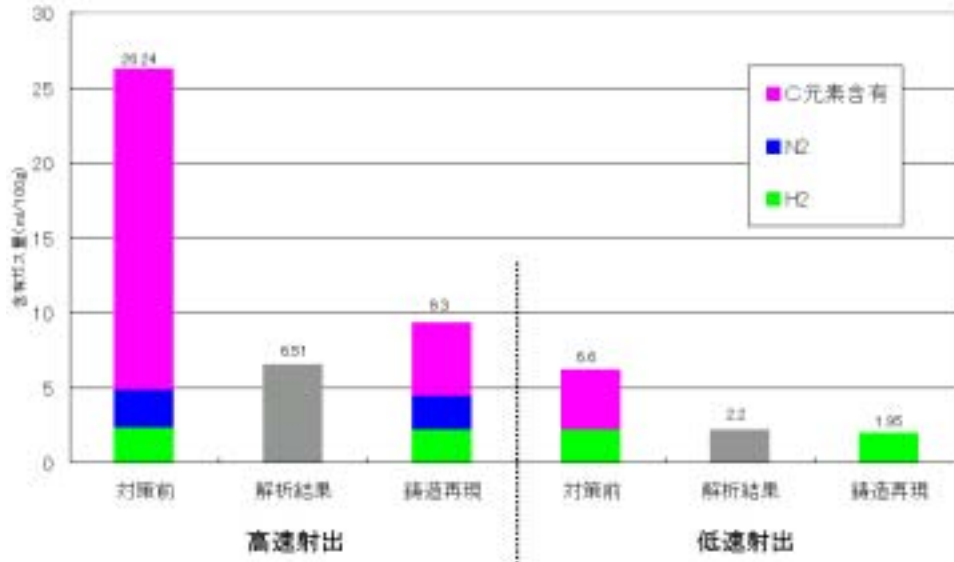


図)S1- 16 解析結果と実測値の比較(ガス量及びガス成分分析結果)

さらに実機想定モデルでの詳細な欠陥検証の準備として、ガス量計測とともに射出時の増圧位置と、その圧力値による鑄造品内部のポロシティ分布変化(図 S1 - 17)、及びスリーブ壁面に発生し鑄造品に混入する破断チルの経路解析(図 S1 - 18)を行ない、それぞれに必要な入力パラメータの確認・入力と実体照合を実施した。

Amount of porosity (%)



図)S1- 17 ポロシティー分布解析

flow simulation
Elapsed Time = 1.5244

Particle Initiation Time

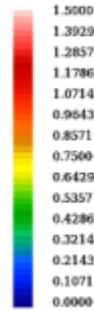


図)S1- 18 破断チル分布解析

これらの結果を用いて、鑄造品質を予測すると共に、鑄造方案最適化のための指針を明らかにした。

Sub1- -1-3 機械的特性値収集

鑄造品の機械的性質を調査するため、本工法で得られた鑄造品の硬度測定および引張試験を実施した。各肉厚中心部から試験片を切出し、各条件による特性値のパラツキを把握出来る数量の試験片による評価とした。(図 S1-19)に試験片採取位置および試験片形状を示す。

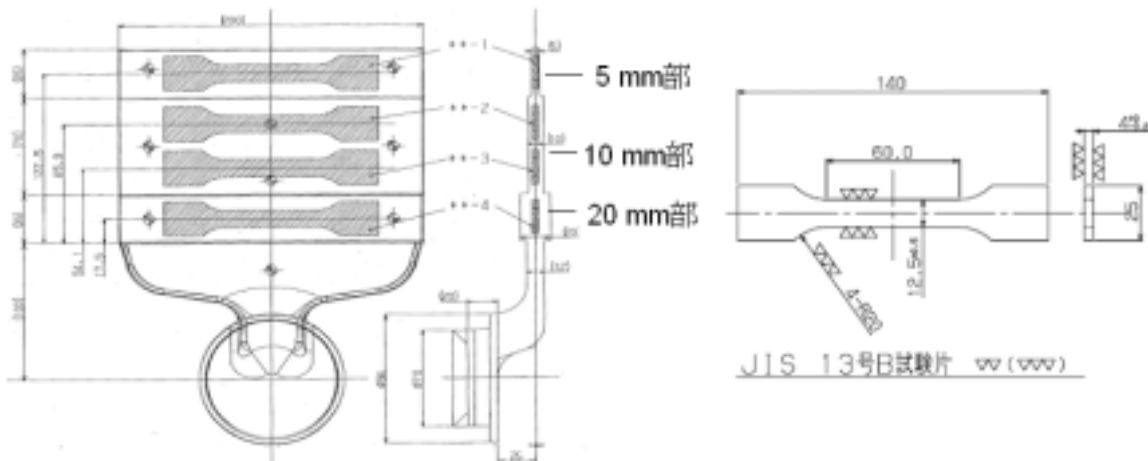


図)S1- 19 試験片採取位置および試験片形状

(図 S1-20)に鑄造条件と引張強さの関係を、(図 S1-21)に鑄造条件と伸びの関係を示す。図中の横軸に示す数字は鑄造成形条件であり、充填性に問題無い出来得る限り広範囲での成形条件での実験を実施しており、ここでは射出速度は高速 2.0m/s、低速は 0.2m/s である。また、「通・少」は離型剤の塗布量を表しており、通は HPDC での標準塗布量、少の場合では HPDC の約 50% である。離型剤およびプランジャー潤滑剤の種類および塗布量は、鑄造品のガス量に影響するため、今回は離型剤の量のみ変更した。さらに、ここでは敢えて熱処理が困難な HPDC サンプルにも T6 処理を施した。(図 S1-22)および(図 S1-23)に典型的な破面の様子を、(図 S1-24)に破面近傍の代表的なミクロ組織写真を示す。

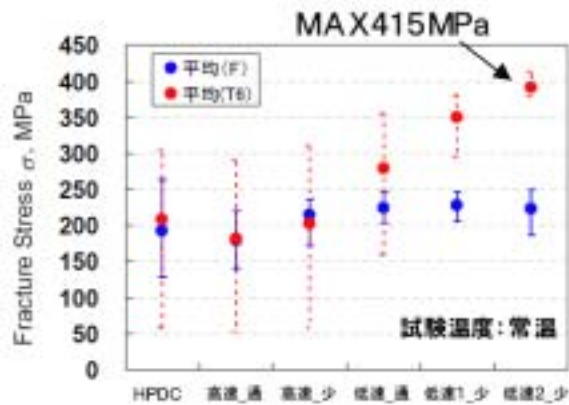


図)S1- 20 鑄造条件と引張強さの関係

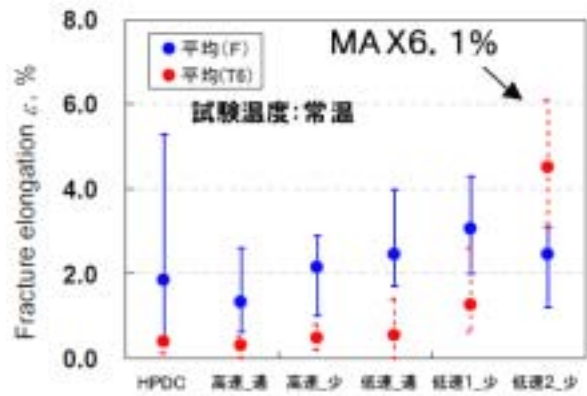
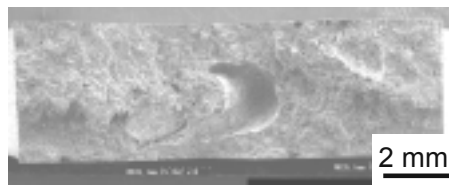
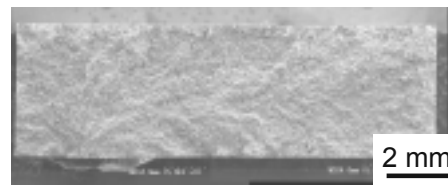


図)S1- 21 鑄造条件と伸びの関係



伸び:0.3%(欠陥:多)



伸び:4.3%(欠陥:少)

図)S1- 22 引張試験後の破面

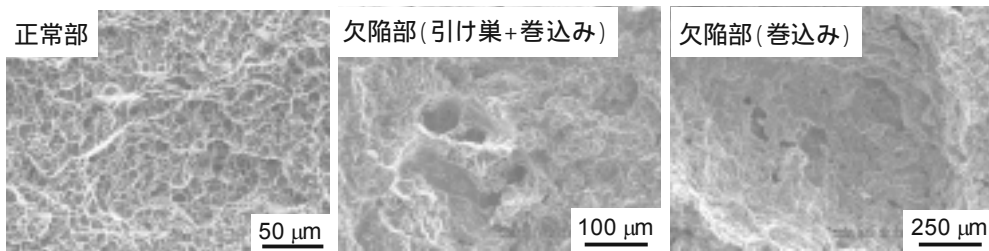


図)S1- 23 引張試験後の破面(拡大)

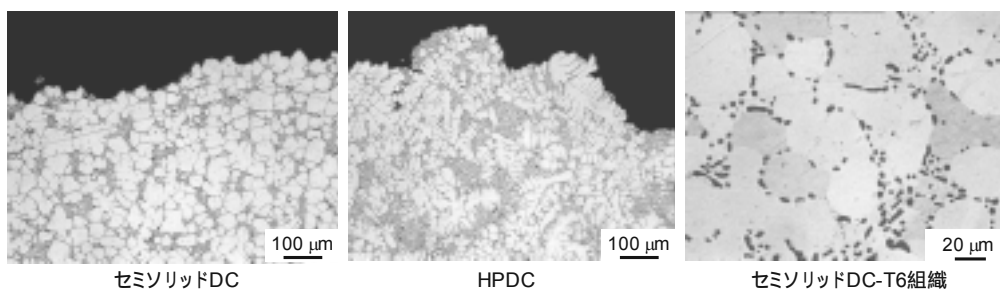


図)S1- 24 破面近傍のマイクロ組織

セミソリッドダイカスト-T6 材は、HPDC-T6 材よりも優れた特性を示し、その効果は熱処理材において著しい。特に、前述の鑄造解析による選定最適化条件での、低速 2_少サンプルは、唯一 T6 材の伸びが F 材の伸びを上回っている。セミソリッドダイカストによって組織が粒状化し、伸びを増加させたと考えられる。

引張強さと伸びは、欠陥の影響を大きく受ける。伸びの小さな条件では、巻込みや引け巣が見られる。一方、伸びの大きな条件では、著しい異常は見られず、全面にわたりディンプルを呈する。加えて、熱処理材で見られるブローホール状の欠陥が F 材では見られないことから、欠陥の中には熱処理によって生じるものと判断できる。また、HPDC 材、セミソ

リッドダイカスト材ともに、き裂は初晶の境界を進展している。また、セミソリッドダイカスト-T6 処理材の共晶 Si は微細・球状化しており、粗大な析出物もなく、良好な熱処理が施されていると判断される。

これらの機械的特性は、射出速度が遅い・離型剤量が少ない・給湯温度が低いほど良好となる傾向にある。その理由は、射出速度の低下によって巻込みが抑えられたこと、離型剤量を絞って T6 処理時のガス発生が抑えられたことにある。

鑄造欠陥が特性の低下をもたらしていることは明白である。そこで、欠陥サイズから機械的特性が予測できるのではないかと考え、欠陥サイズと機械的特性の関係を調べた。(図 S1-25)および(図 S1-26)に引張強さ・伸びと破面上の最大欠陥サイズとの関係を示す。

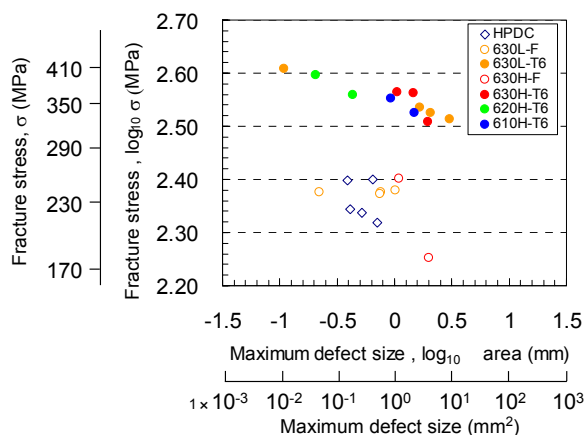


図)S1- 25 最大欠陥サイズと引張強さの関係

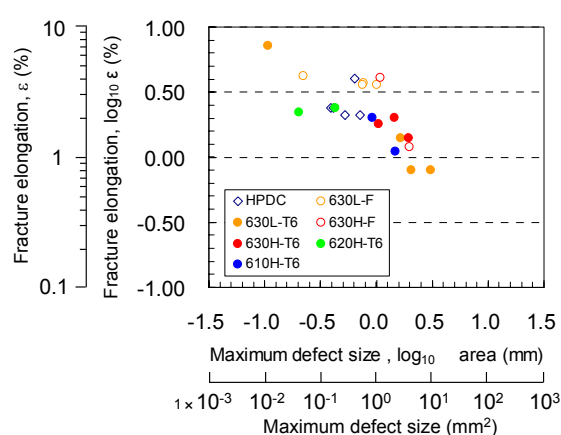


図)S1- 26 最大欠陥サイズと伸びの関係

引張強さは、欠陥サイズと負の相関関係にあり、欠陥サイズが大きくなるほど低下する。T6 材の相関係数は-0.92、一方 F 材の相関係数は-0.43 であり、T6 材ほどの相関性はない。T6 材すなわち、高強度材ほど強度に対する欠陥の影響が大きいことが明らかとなった。伸びも欠陥サイズと負の相関関係にあり(相関係数: -0.74)、欠陥サイズが大きくなるほど低下する。伸びは引張強さの場合と異なり、熱処理条件に依存していない。これらの結果は、要求特性を満たすために許容される最大欠陥サイズの指標になると考えている。

以上の結果より、本工法は鑄造欠陥低減に有効であると言える。さらに、鑄造条件を適正にコントロールすることで、熱処理を施しても伸びを落とすことなく、強度と延性を両立できることが示された。しかし、依然として引張特性のバラツキは大きく、品質の安定化が課題である。

Sub1- -1-4 実機想定厚肉モデルでの鑄造実験とサンプル評価

実際の製品形状と前述単純形状モデルでは、根本的に複雑さが異なり、製品形状が鑄造品質に及ぼす影響は大きく、湯回り不良、湯境や巻き込みの発生につながりやすい。開発リードタイム短縮や費用削減のためには、湯流れや各種欠陥を如何に予測するかが重要となる。すなわち、鑄造解析による予測と実形状での傾向確認、さらには鑄造解析の精度向上が必要になる。また、熱処理を可能にするためには、鑄造品に含まれるガス量を低減しなければならない。我々は、2ml/100g を熱処理可否のガス量閾値として設定している。そこで本項では、耐圧容器を想定した厚肉・複雑形状モデルで鑄造を実施し、耐圧値および機械的特性を調査する。さらに、鑄造解析と実際の鑄造品の傾向を確認し、鑄造解析技術の精度向上を図った。尚、鑄造条件は単純形状モデルにて解析・実験した情報を基に設定した。

鑄造品のミクロ組織を(図 S1-27)に示す。肉厚の違いにより、組織の大きさに差は見られるものの、各場所で結晶の粒状化を確認した。結晶粒径は、冷却速度の遅い厚肉部で 30~40 μm であり、セミソリッドダイカストの組織としては微細である。なお、給湯温度が高い場合にはデンドライトが晶出し、一部は花びら状に成長している。

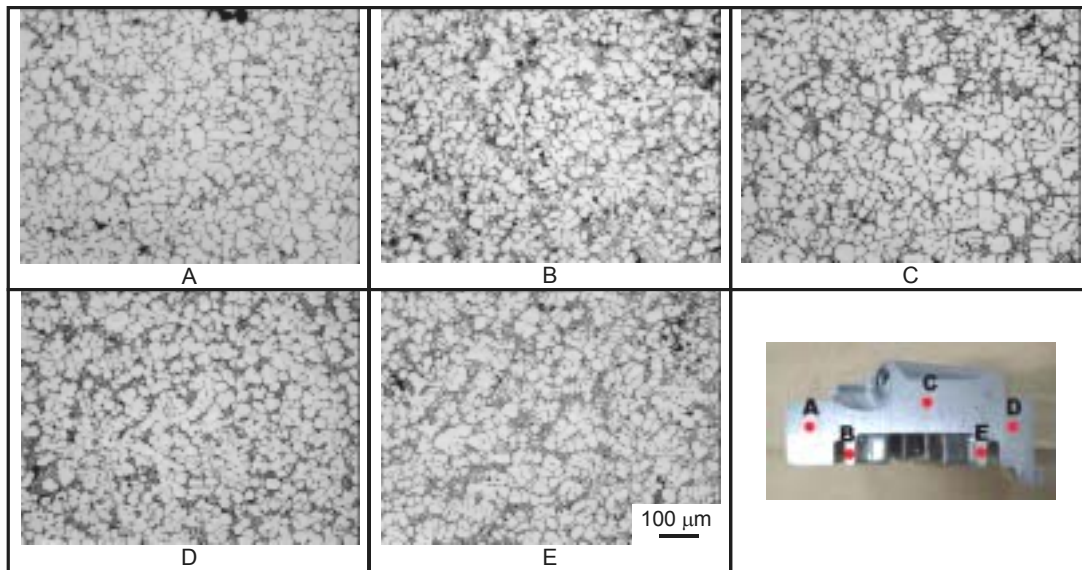


図)S1- 27 セミソリッド鑄造品のマイクロ組織

鑄造品の断面写真を(図 S1-28)に示す。単純形状モデル同様に、あらゆる可能性を考慮し可能な限り広範囲の鑄造条件での鑄造解析による予測検証を実施し、鑄造品評価結果との照合を図った。鑄造欠陥は引け巣・凝固割れや巻込みの発生状況や分布は、射出速度によって異なる。高速射出(1.5m/s)の場合、ゲートから遠い位置に大量の巻込み、ゲートに近い位置には引け巣が発生している。ゲート遠方での湯の合流部の破面は、片側は酸化皮膜、他方はデンドライトを呈しており、凝固中に引けていることがわかる。低速射出(0.2m/s)の場合、高速射出の場合に見られたゲート遠方での巻込みは発生していない。しかし、高速射出の場合よりも湯境や厚肉部での引け(凝固割れ)が顕著に見られる。なお射出速度以外の鑄造条件はそれぞれの射出速度に応じて変更している。また鑄造品の欠陥分布状況により、射出速度を判定できる再現性も確認された。

これら結果を鑄造解析結果と照合し、チューニングを実施し再現が可能とした後に、それぞれの欠陥に応じた検証方法とその精度も確認し評価に対する条件を調整することで、これらの欠陥を抑制した(図 S1-28 右図参照)。鑄造解析による選定条件による鑄造品断面に確認される顕著な欠陥は無いことから、鑄造解析による予測技術の構築に向けた方向性の妥当確認ができたものと捉えている。



図)S1- 28 鑄造品の断面写真

鑄造品の比重を測定し、内部品質を定量化した(図 S1-29)。ここでは、高速射出(1.5m/s)と低速射出(0.2m/s)の中間速度(0.4, 0.6, 1.0m/s)で鑄造したものの比重も示す。バラツキはあるが、射出速度と比重は反比例の関係にあることがわかる。

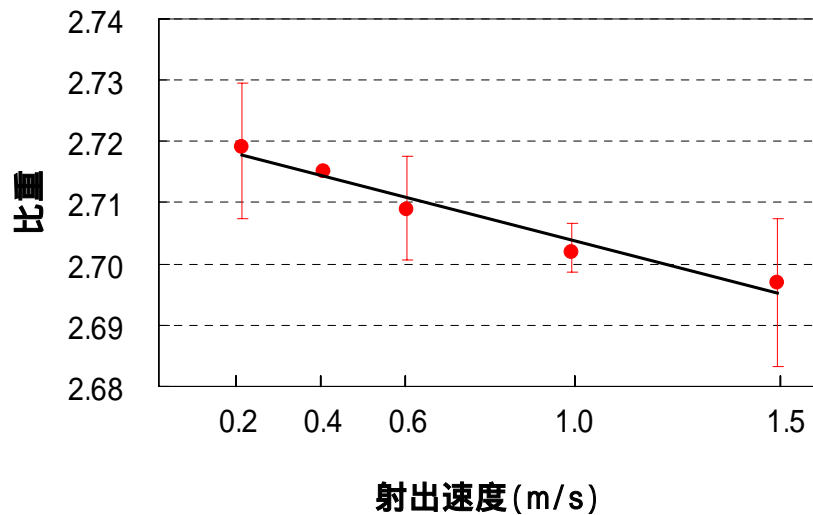


図)S1- 29 射出速度と比重の関係

鑄造品に含まれるガス量を測定した結果を(図 S1-30)に示す。高速射出の条件では、約 4ml /100g 程度であるのに対し、低速射出の条件では 1ml/100g を下回る結果となった。また、これらのガスの成分分析を実施したところ、高速射出では発生ガスの約 30%が窒素であり、一方、低速射出では水素しか検出されず、前述の高速条件の比重値低下と同様の結果を得たことから巻込みの影響が大きいと判断される。

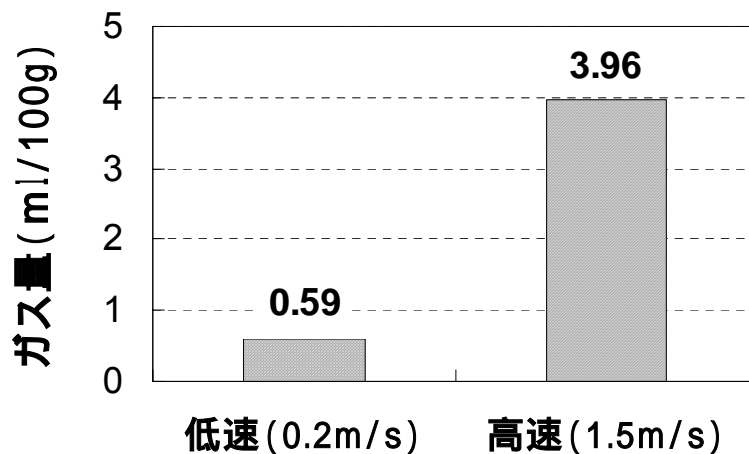


図)S1- 30 ガス量測定結果

当初の熱処理可否の閾値である 2ml/100g を下回った条件のものに T6 熱処理を施した。一部にわずかな膨れが見られるものの、極端に大きな膨れは見られない。熱処理前後での比重変化をブリスト率として算出した結果、1%以下であった。

鑄造条件を選定しながら鑄造品の欠陥を低減することで、一定のレベルまで達したと判断した。そこで、(油圧試験機を用いて、圧力容器としての特性を確認した。試験中の圧力変化を(図 S1-31)に示す

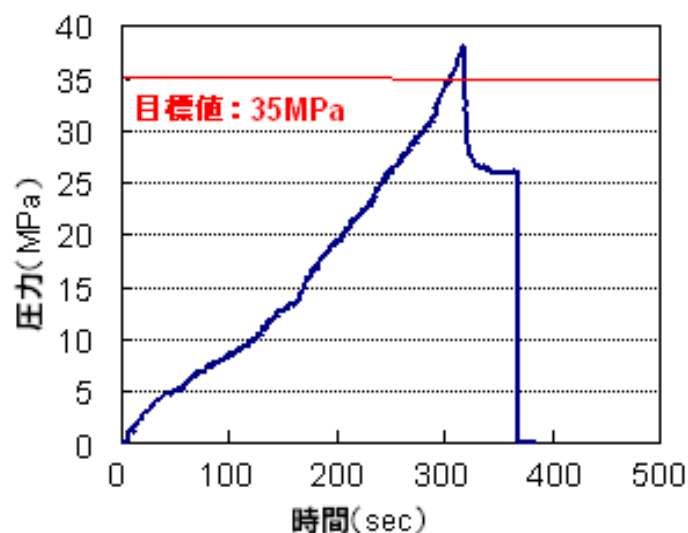


図)S1- 31 試験中の圧力変化

徐々に昇圧していき、目標である 35MPa を越えて 38MPa まで到達した。その後の圧力低下は、シール部からのリークによるものである。この値は開発試作品（鋳造鍛造素材）と同等であり、試験中に供試体が破損することなく、割れや変形といった異常も見られないことから、ユーザー企業より耐圧容器として問題なしと判断された。

鋳造品の中央より切り出した試験片の引張試験結果を(表 S1-2)に示す。T6 処理により、大幅な強度向上が達成された。しかし、破面には介在物などの微小欠陥がわずかに存在するため、欠陥を低減することにより、これらの特性値をさらに向上させられると推測している。また、試験片の採取位置によるバラツキも大きく、今後は品質の安定化が課題となる。

表)S1- 2 引張試験結果(室温)

熱処理	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
F	132	213	2.5
T6	318	372	1.9

2 - 2 【サブテーマ2】高強度耐摩耗部品の製造を可能にするプレス成形工法開発

Sub2- : 複合材最適条件の特定実験・評価

・目的

強化材のなかでも炭化シリコン (SiC) は高強度、耐摩耗性が高い。しかし、アルミと SiC の比重差があり組織内に均一に分散させることは困難であるが、固相と液相が共存するセミソリッドスラリーは高粘性であるため、強化材粒子の重力偏析の抑制を期待できる。そこで傾斜冷却法により生成した固液共存スラリーに SiC を均一に混入可能な攪拌翼詳細設計及び、添加量及び攪拌時の回転数、アルミ温度等の条件を特定する。

・研究内容

Sub2- -1 可視化実験による均一攪拌性調査

傾斜冷却法を用いたセミソリッド状態のスラリーへ添加材を均一に混入するための攪拌方法確立に向け、予備実験として機械式攪拌翼の選定を実施。千葉工業大学の知見を基に数種類の翼種を抽出し、スラリー粘度と同等液体による可視化実験で攪拌状態を観察した (図 S2-1)。この実験にて数種の翼より、流動体に発生する気泡が少なく容器全域での対流が認められた翼種を選定した。

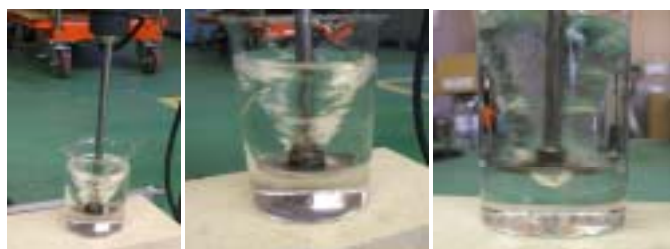


図) S2- 1 水による可視化実験

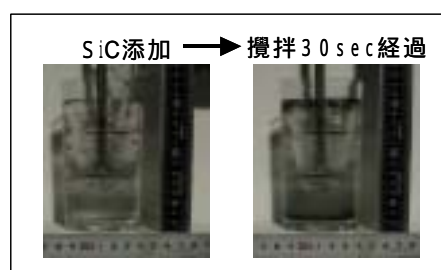


図) S2- 2 SiC添加実験対流状態

次に添加材 SiC を投入し粒子の分散状態を確認した。SiC と水との比重差および溶湯と粘性が異なるため、容器内を対流後に液面に浮かぶ現象が確認されたが、投入した SiC は翼の上下面にも対流しており、選定翼種の有効性を確認し翼の種類とサイズを特定した (図 S2-2)。

Sub2- -2 実験方法装置・方法

Sub1 スラリー生成における有効性確認実験で使用した傾斜冷却装置を用い、機械式攪拌による強化材の均等混合試験を実施した。

攪拌の条件は、初期設定として、AC4C 材を用いた複合化研究で知見を有する千葉工業大学の経験を基に、下記の条件を設定した。実験装置および方法は (図 S2-3) に示す。なお、使用した強化材は SiC 粒径 $5\mu\text{m}$ として、機械式攪拌の攪拌翼は可視化実験結果を基に選定した翼種を使用した。

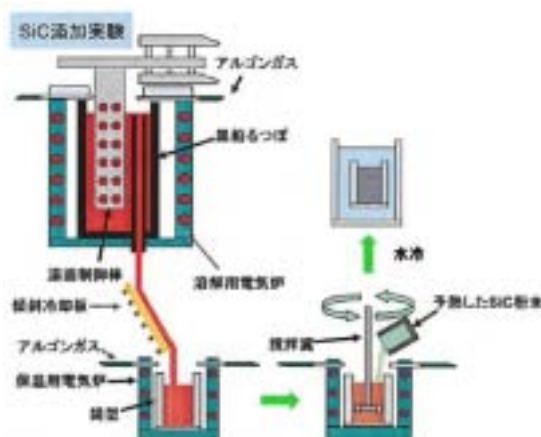


図) S2- 3 実験装置および方法

Sub2- -3 複合材最適条件の特定・評価

初期条件での実験では、スラリー上面で強化材がダマになる現象が多く発生し、安定した分散が得られなかった。これは対象材料である AC2B 材の濡れ性が AC4C 材に比べ、悪いためと考え、新たに攪拌回転数、攪拌時間、強化材加熱温度、添加方法を可変させ再実験を行った。特に、濡れ性改善のため、溶湯内に生成された結晶核の再溶解化にも配慮しつつ SiC 加熱温度を上昇させることや、攪拌回転数を増速させ、せん断力が大幅に増加したことにより全域での強化材の分散を確認した。実験サンプルの試料採取位置(図 S2-4)と代表的なミクロ組織観察結果(図 S2-5)に示す。

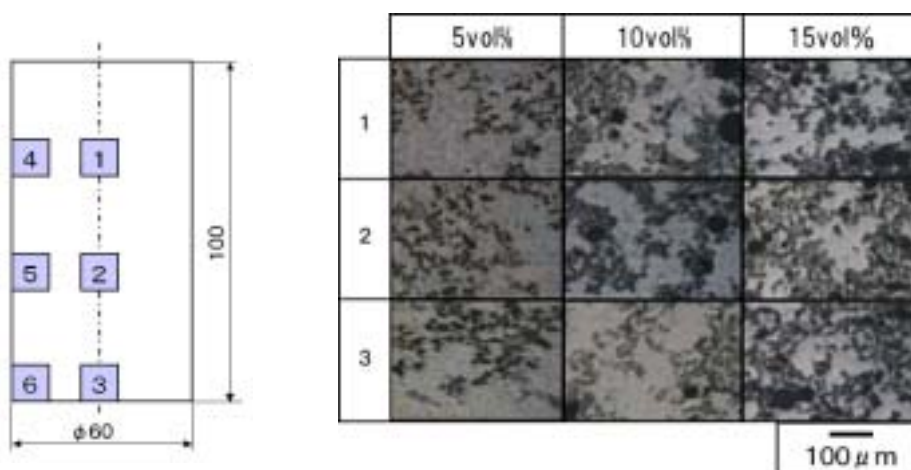


図) S2- 4 試料採取位置

図) S2- 5 ミクロ組織観察結果

添加量は 5vol%、10vol%、15vol%、20vol% にて混入実験を実施したが、添加量 20vol% では、SiC が母材アルミと同等の容積となり、強化材が表層部に残ってしまったことから、評価サンプルから除外している。ミクロ組織観察結果にて 5、10、15vol% に強化材は局所的な凝集は無く全域への分散を得ているものの、添加量が 10vol% 以上になると、空気巻き込みによるブローホールが確認され、強化材投入方法及び添加条件の見直しが必要となる。しかし、強化材は全域に分散しており、前述の強化材添加条件の最適化を行なうことで適切な複合材が得られるものと考えている。

次に、複合化の効果と分散状況をビッカース硬さ試験 (JIS Z2244) により評価した。硬さ測定結果を(図 S2-6)に示す。

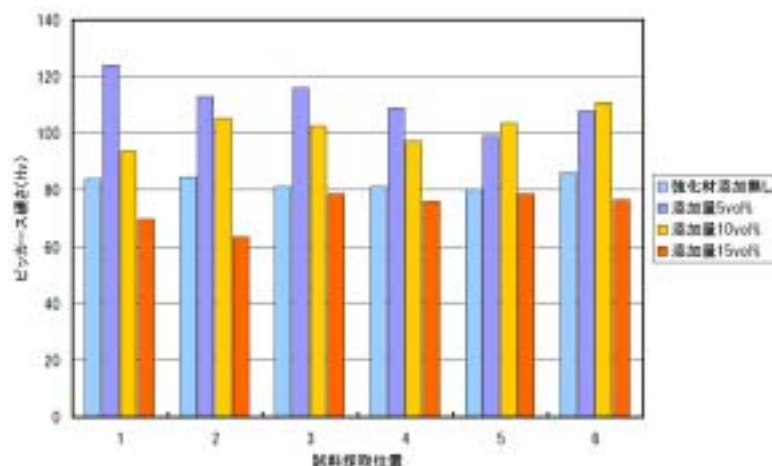


図) S2- 6 強化材添加量による硬さの差異

なお、強化材の影響を調査するために、10vol%以上の試料測定はブローホール部を避け健

全部で実施している。この結果を見ると、添加量 5vol%及び 10vol%においては全域で強化材未添加試料上回っているが、15vol%では母材硬さを下回る結果となっている。これは、大容積の強化材を長時間添加していることにより、微細な巻き込みが多く発生するためと考えられる。

現状の複合化条件では、15vol%の添加が限界と捉えた。今後は、添加時の巻き込み対策となる添加方法の再検討を主とした複合化条件の見直しが課題となる。

Sub2- : 塑性変形の基礎試験

・目的

均一球状結晶組織を有すセミソリッドビレットによる単純据え込み実験での塑性変形状況を調査し、セミソリッドビレットのプレス成形での可能性評価と共に、将来的に想定している複合材ビレット及び実製品に対応した閉塞金型設計に対する基礎データを取得する。

・研究内容

Sub2- -1 セミソリッドビレットの安定生成手法の確立

構成メンバー企業に導入したサーボプレス機（コマツ H1F200C・S）を用いて、セミソリッドビレットを自由据え込み（非閉塞）にて据え込み率と成形荷重の相関関係と、加圧後のミクロ組織から変形形態を確認することで成形性の傾向を把握することとした。据え込み率の計算と加圧方法を（図 S2-7）に、実験に使用したプレス機を（図 S2-8）に示す。

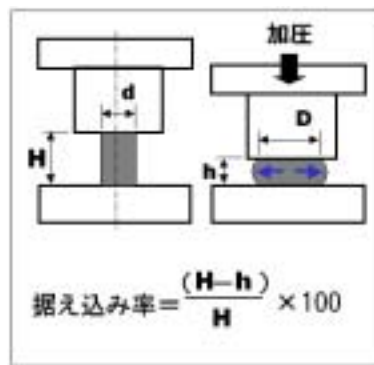


図)S2- 7 自由据え込み実験方法



図)S2- 8 自由据え込み実験金型

初期の成形実験において Sub1- -1 で選定したスラリー生成条件にてビレットの加圧実験において（写真 S2-9）に示すような分断割れを起こした。加圧成形後の破面をマイクロSCOPEで観察したところ、デンドライトや連続した鑄造巣が見られ、この鑄造欠陥が割れの起点となっていると考えられる。（写真 S2-10）



図)S2- 9 加圧サンプル外観

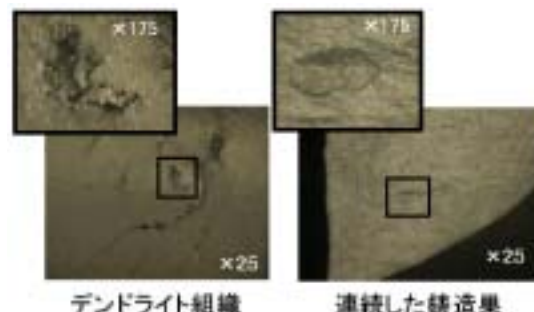


図)S2- 10 加圧サンプルの破面観察

そこで安定的な成形状態を得るため、所望するプレス成形用試料に適用するサイズにて鑄造欠陥を徹底的に撲滅した高品位ビレットを生成する必要があった。

そこで Sub1 と連携した活動により生成条件の見直しと共に、外周部のデンドライト成長を抑制するために、鑄型温度や水冷用水槽の水温、水位を厳しく管理した。これらの対策によ

る実験サンプルの組織を(図 S2-11)に示す。外周部・中央部共に均一粒状結晶であり、ブローホール欠陥も見られない。N 増し実験においても同等の結果が得られ、再現性を確認した。

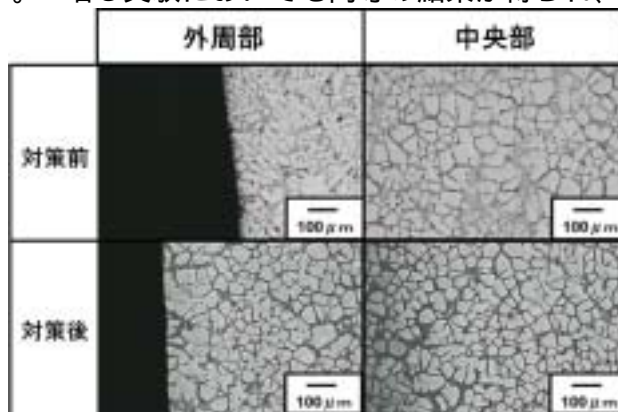


図)S2- 11 セミソリッドビレット組織観察

Sub2- -2 セミソリッドビレットの常温加圧実験

常温環境下にて結晶組織及び鑄造欠陥の対策がなされたビレットでの加圧実験を実施した。なお、比較対照として傾斜冷却板を使用せずにアルミ溶湯を直接鑄型に給湯して作製した「直接給湯」ビレットも合わせて試験に供した。

据え込み率と成形荷重の相関関係を(図 S2-12)に示す。直接給湯ビレットでは据え込み率 20%付近で試験片外径部に微細なワレが発生した。しかし、据え込み率 35%及び 40%ではワレが進行して座屈のような状態となり、正確な荷重値を収集することが出来ていない。対してセミソリッドビレットではビレット品質を高めたことにより、非常に安定した成形荷重が収集出来た。これらは、アルミ材の成形に対するセミソリッド組織の優位性を確認するとともに今後の成形性実験及び事業化に対して活用できる基礎データとなった。

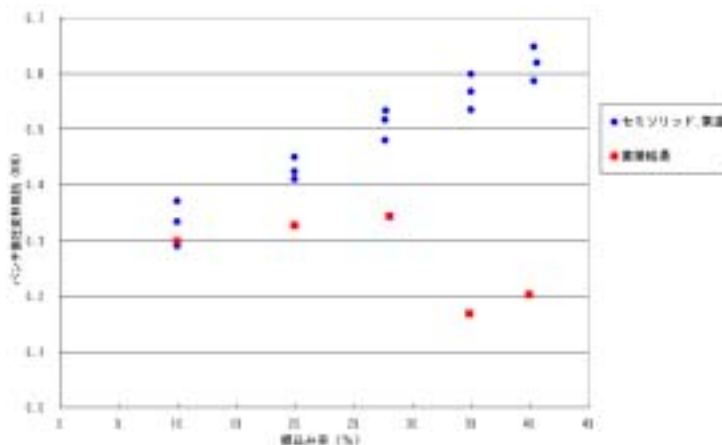


図)S2- 12 セミソリッドと直接給湯ビレットの加圧実験結果

加圧実験前のビレットのマイクロ組織を(図 S2-13)に示す。スラリー生成条件の最適化と急冷凝固方法の見直しにより、セミソリッドビレットの組織は均一球状結晶となった。これに対して、直接給湯ビレットの組織はデンドライトであり、デンドライトの間には微細な引けによる空隙が点在している。

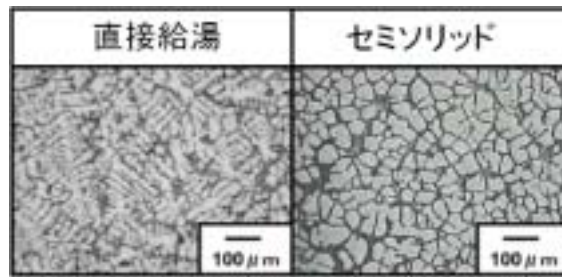


図)S2- 13 セミソリッドと直接給湯ビレットの加圧前組織

(図 S2-14) に加圧実験後のビレットのミクロ組織を示す。条件は、据え込み率：40.6%、成形荷重：498KN である。ビレットのコーナー部を起点として、約 45° の角度で内部に激しい塑性流動域が確認できた。また、ワレの進展を確認できる箇所は見られず、塑性流動及び加圧による球状結晶の扁平が確認できた。

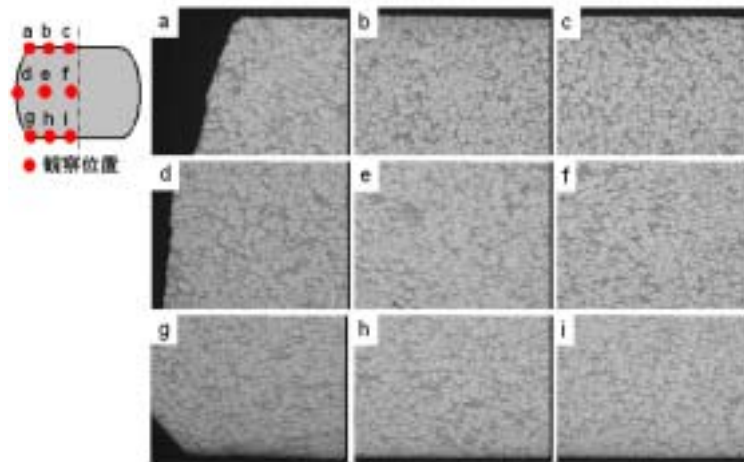


図)S2- 14 セミソリッドビレットの加圧後組織

(図 S2-15) に直接給湯ビレットの加圧後のミクロ組織を示す。条件は、据え込み率：28.1%、成形荷重：276KN である。壁面にワレが発生しているものの、座屈には至っていない。A 部には、壁面に発生した微細なワレがあり、内部とつながっている。全体的にセミソリッドビレットと同様の塑性流動が確認できるが、B 部ではデンドライトの間に存在するヒケ巣が塑性流動の向きに沿ってつぶれており、周辺部にワレが発生している。このワレが進展するために直接給湯ビレットの荷重値推移が不安定になっていることが明確となった。

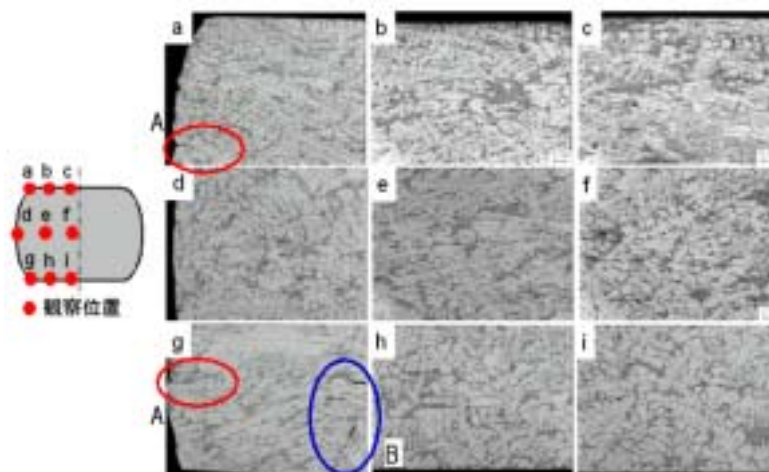


図)S2- 15 直接給湯ビレットの加圧後組織

Sub2- -3 セミソリッドビレットの加温加圧実験

次に、今後想定される複雑かつ肉厚変化のあるプレス成形、低圧力化による成形機の小型化つまり設備投資の抑制を考慮すると、成形性に与えるビレット温度の影響を検証する必要がある。そこで、小型電気炉を用いてセミソリッドビレットを 100 及び 300 に加温して、据え込み率 20%、40%の加圧実験を実施した。実験結果を(図 S2-16)に示す。ビレット温度 100 の場合の荷重値は、常温と比較しても差異が見られない。一方、ビレット温度 300 の場合の荷重値は、40%据え込みに時に 0.618KN (常温) から 0.353KN に半減している。また、40%据え込み時のビレットは、常温、100 の場合にはワレにより形状を留めていない。一方、300 の場合は、微細なワレが見られるものの自由据え込みで得られる湾曲形状を留めていた。

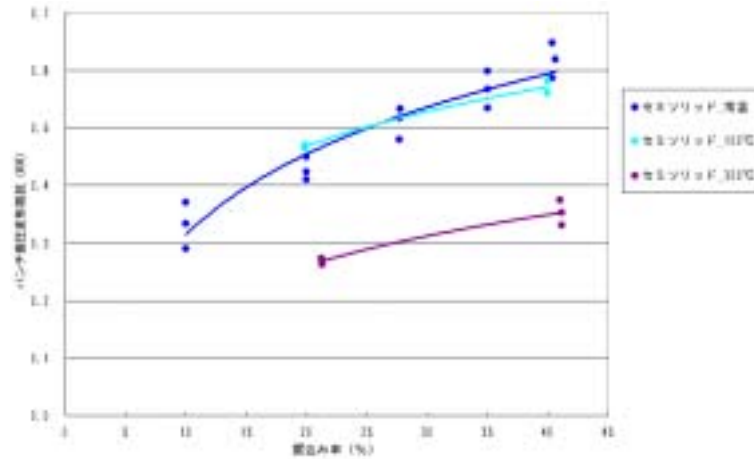


図)S2- 16 セミソリッドビレットの加温加圧実験結果

次に、加温・加圧したビレットのミクロ組織観察を行なった。ビレット温度 100 の場合、明確な組織変化は見られないが、ビレット温度 300 ・40%据え込みでは(図 S2-17)に示すように、常温加圧組織(図 S2-16)で確認できた a 及び g 視野におけるビレットのコーナー部の急激な塑性流動域が不明確になっている。また、e 及び f のビレット中心部の組織の扁平率が高くなっていることを確認した。

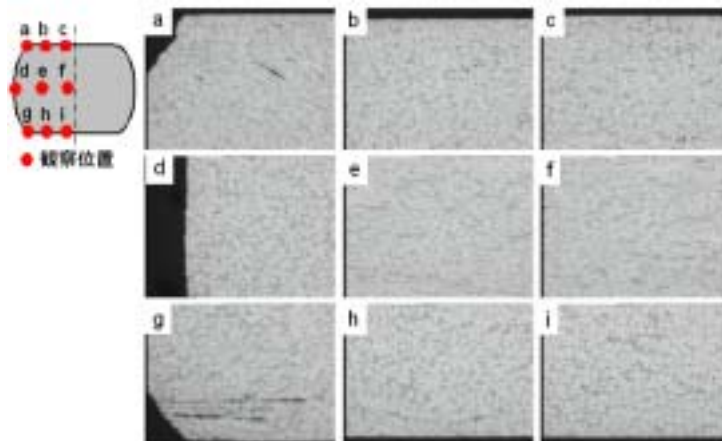


図)S2- 17 セミソリッドビレットの加温加圧後組織

以上、自由据え込みでのビレット加温(ビレット温度 300)の成形性に対する有効性とその環境下での組織の流動挙動を確認できた。しかし、事業化においては完全な閉塞状況下での成形が対象となる。現在、前方押し出し及び後方押し出しの評価用金型を準備中であり、今後も同様の研究を継続する予定である。

2 - 3 【サブテーマ3】新アルミ部品製造工法に関するナレッジシステム開発

Sub3- : 新工法設計対応ナレッジシステムの開発

・目的

本研究開発で収集される全ての情報は、設計から製造までの各工程で変更を必要とする場合の判断基準や技術的根拠のベースとなる重要な技術情報である。これらの情報により開発過程で決定したパラメータ設定根拠の明確化を図り、事業化時の様々な変化に対応できる技術情報データベース（以下 DB）を構築する。また、この DB 情報によるトレーサビリティ機能を付加した、システムの開発を実施する。

Sub-3 において開発したナレッジシステム（図 S3 - 1）の全体イメージ図を示す。素材形状の設定 鋳造方案・鋳造条件の設定 金型設計 鋳造実験実施の工法開発に関わる一連の工程の情報を一元管理した。特に製造段階に必要となり得る判断基準の根拠の明確化に配慮している。

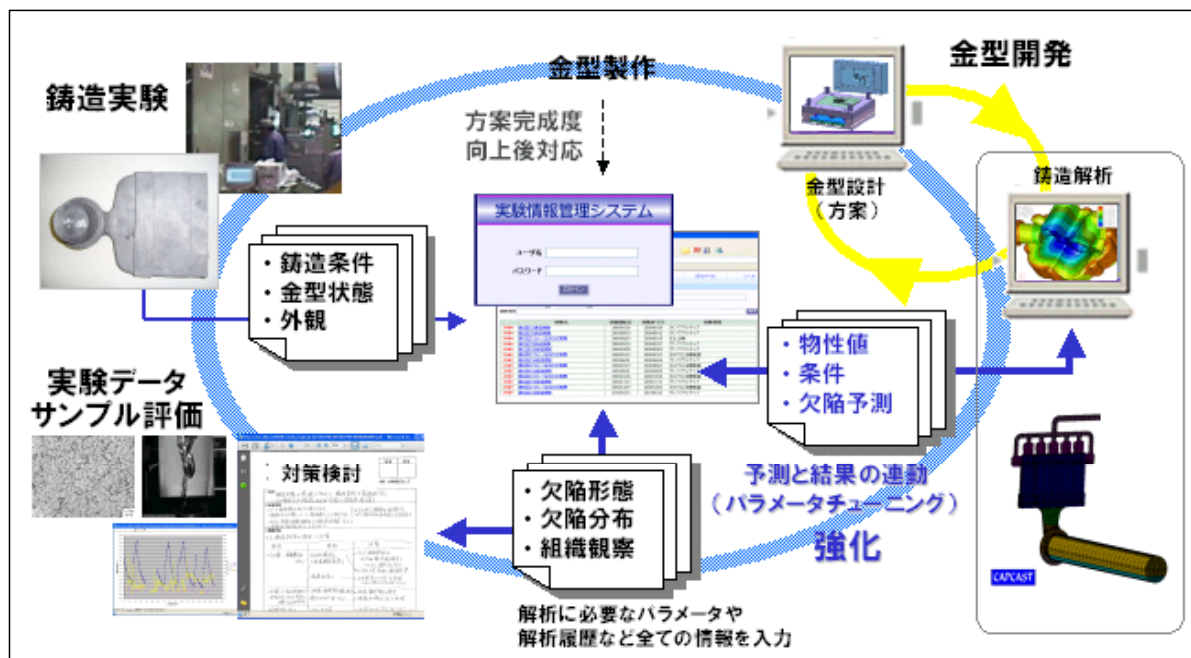


図)S3- 1 新工法設計対応ナレッジシステムのイメージ

・研究成果

Sub3- -1 実験情報管理システムの開発

各種実験を実施すると実験後のデータ編集やサンプル組織観察等の評価は、複数人で同時に実施され、他者の進捗待ちや確認不足による連携ミスから、停滞や重複、後戻りも発生する。特に、本研究開発のような、コンソーシアムとして異なる企業や研究機関との連携作業になると、最新情報の共有化は困難となる。新たな技術情報の積上げを行なっている現段階から、実験の内容や評価結果の履歴を共有化する必要があると考え、Web を活用した過去の実験情報、および最新情報の共有化を支援する“実験情報管理システム”を製作した。

はじめに、本システムのベースとなる実験条件表(Excel シート)の繰り返し検証と見直しを実施し、条件表のフォーマット（図 S3 - 2）を作成した。

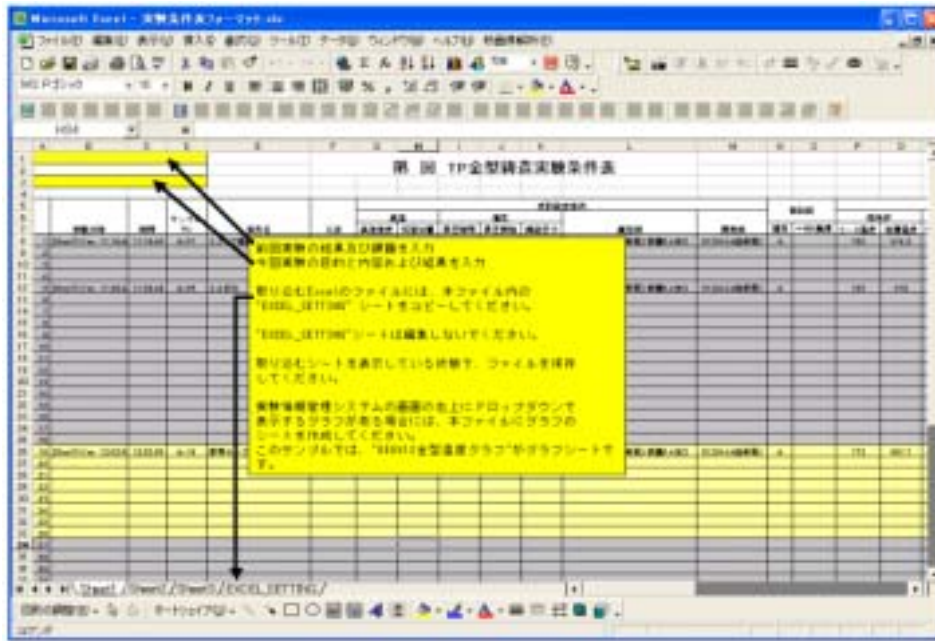


図) S3- 2 条件表のフォーマット

上記フォーマットへ各実験時の鑄造条件や各温度データなどを入力し本システムへ登録し実用化検証を行なった。実用化検証を実施する中で、登録する添付ファイル数を調査した。

その結果、どのような情報がどこに入っているか不明確であり、各セルに情報内容の表記が必要であると考えた。また、ひとつのセルに登録出来る添付ファイル数を上限 10 にシステム変更した。更に各セルに文字記入・文字色変更・背景色変更機能を付加した。これによって、必要データの明確化やデータ編集の効率化が実現するだけでなく、他サンプルあるいは別の実験結果との比較も容易となった。機能拡張画面を（図 S3-3）に示す。

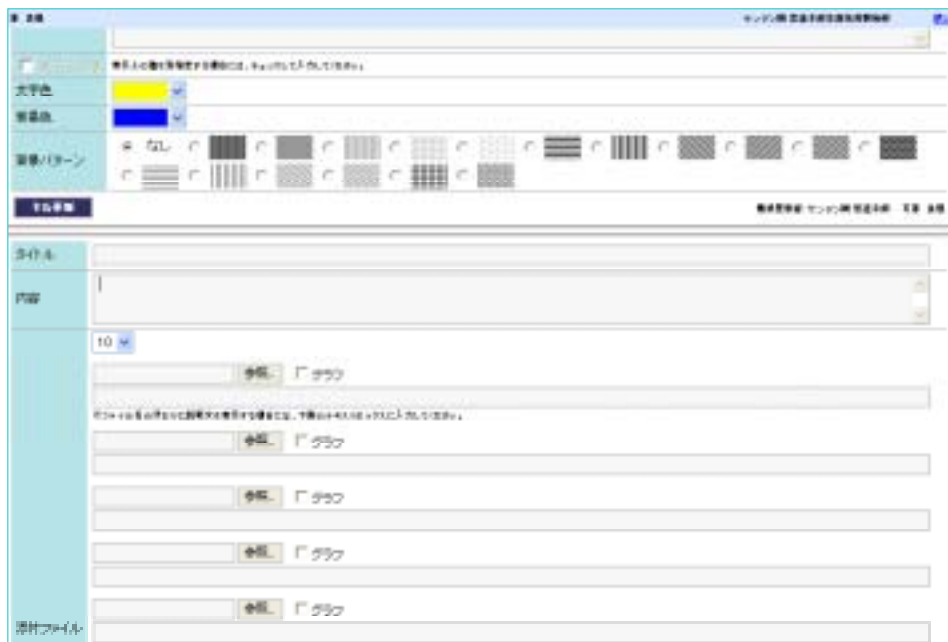


図) S3- 3 登録添付ファイルの拡張画面

次に、本システムに登録した代表的な項目と添付ファイルの一例を（図 S3 - 4）に示す。



図)S3- 4 添付ファイルのデータベースへのアップロード画面

次にヒアリング情報によるシステム改善を実施した。各構成メンバーは専門分野が異なり、各担当者も必要とする情報がさまざまである。そのため、本システムはそれら情報を網羅したものにする必要があると考え、システムを運用し、構成メンバーへのヒアリングを実施した。下記にヒアリングで得られた問題点や要望と実施したシステム改善の一部を示す。

- 1) 実験の目的や評価結果および課題が不明確
各実験トップ画面からセルをクリックすることで添付ファイルの閲覧が出来る機能を追加
- 2) 統一化した各種アップロードファイルを Web からダウンロードしたい
各種アップロードファイルのフォーマットを作成し、システム内へ登録
Web 内からユーザがファイルをダウンロードできるように機能を追加
- 3) 金型に関する条件や変更履歴など技術情報として残したほうが良い
切削条件・切削工具などを含む金型要件をアップロードできるシステムに変更

上記のシステム変更により、ファイル管理の一元化と構成メンバーとの情報共有化が可能となった。また、情報共有化には情報を登録・修正する管理者と、閲覧のみ利用する一般ユーザなど扱うの人の権限や利用範囲のルール化を図る必要がある。上記の管理システムは(図 S3-5)のように、システム上で権限を管理するようにした。

	管理ユーザ	一般ユーザ	制限ユーザ
実験データ登録-鋳造実験	○	○	
実験データ登録-その他の実験	○	○	
実験データ更新	○	○	
実験データ参照	○	○	○
システム管理-ユーザ登録	○		
システム管理-ユーザ修正	○		
システム管理-アップロード	○		
プロフィール	○	○	○
ダウンロード	○	○	
ログアウト	○	○	○

図)S3- 5 データ管理システムのユーザー権限

上記内容を実施し、完成した実験情報管理システムの全体イメージを（図 S3 - 6）に示す。

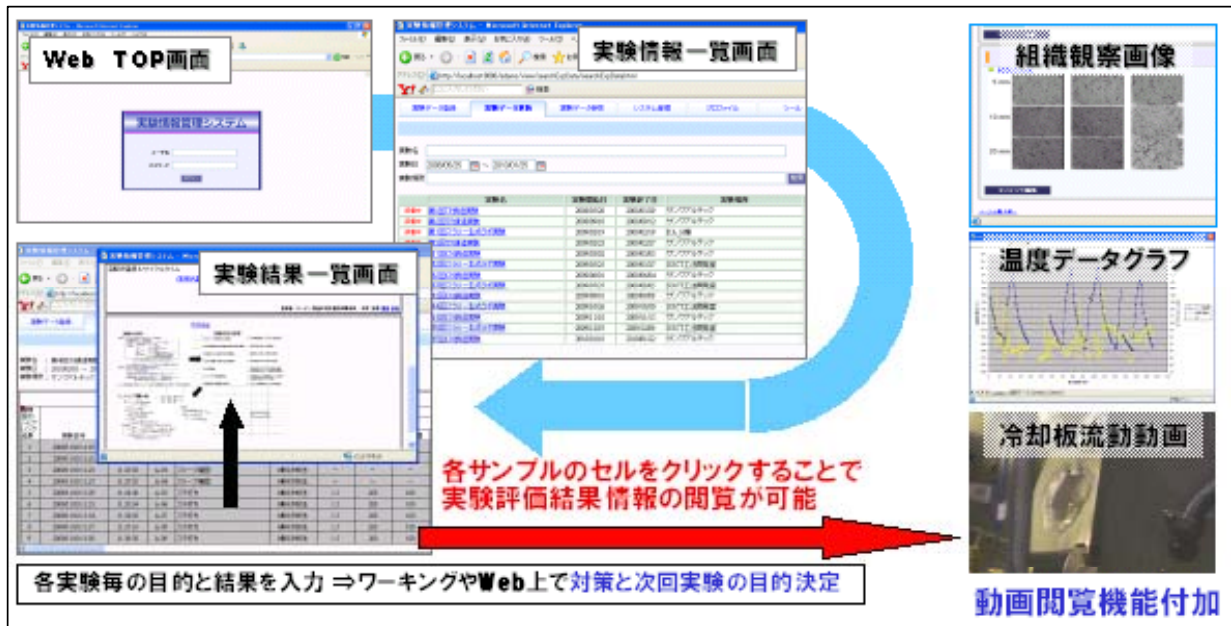


図)S3- 6 実験情報管理システム全体イメージ

本システムに登録した実験条件表の各セルをクリックすることで、評価結果や温度データなどが閲覧でき、サンプルごとに良否判断が可能となった。また、一つの画面で多数の情報を確認でき、一元管理化・共有化が可能となり事業化に向けたナレッジシステム化の有効性を確認した。

Sub3- -2 方案の解析とシステム化

前項にて前述の実験情報管理システムへ実験情報の登録することにより、情報共有及び開発リードタイム短縮の効果を確認できたことから、同システムを活用し、同様に方案解析情報を登録することとした。

本研究では鑄造解析を鑄造方案・鑄造条件の設定の軸として捉え、徹底した物性値取得をした上で、鑄造解析結果により選定した方案・条件による鑄造実験でサンプルを採取し、そのサンプル評価結果にて良否判断し、その情報を鑄造解析にフィードバックしてチューニングすることにより解析精度向上を図っている。これらにより事前の鑄造品質の予測技術構築で以後の研究及び事業化時の製造リードタイム短縮を図ることを目的としている。

そこで開発段階からの鑄造解析に用いる解析パラメータのチューニング内容と入力値を明確にしつつ、方案設定の過程を記録することで、方案設定の根拠をナレッジ情報として明確化できると考えた。

そこで、研究開発の実験情報の一元管理として運用を開始している、前述の実験情報管理システムに鑄造解析情報を解析実験として登録した。方案解析情報一覧画面を（図 S3-7）に示す。初期に既存するパラメータで素材形状・金型方案・鑄造条件を鑄造解析に設定 鑄造実験サンプル採取 サンプル評価 鑄造解析によるチューニングあるいは不具合対策といった一連の工程が繰り返されており、前後の鑄造解析・鑄造実験との関連性が明確になり、必要な情報検索が容易になることを確認した。

最終章 全体総括

Sub1

本開発工法は現有汎用鑄造設備を最大限活用して、高品質鑄造を可能とすることを目標としており、結果大掛かりな付加設備無く汎用鑄造機による対象厚肉鑄造品において技術目標である耐圧値をクリアし、工法としての成立性を確認した。また実験室でのスラリー生成実験結果を実機鑄造条件へ関連付け、鑄造解析精度の向上による鑄造品質予測技術の構築が実現しており、今後の事業化に対して柔軟な対応が取れる体制が整ったものとする。

基本的な技術には目処が立ったが、事業化のためには年間を通して安定した品質を確保しなければならず、以下の課題が残されている。

品質管理を含む量産自動化設備開発、
凝固シェル管理方法の検討および排出機構の設置
鑄造品質の安定化
製品形状および材質の変化に対する柔軟性の獲得

Sub2

Sub1 と共通する高品位スラリー生成に対する最適条件見極めを最優先項目として、計画を変更したことにより当初目標を達成することが出来ていない。しかしユーザー企業からの高強度・耐摩耗だけでなく防振・熱膨張への適用を期待するニーズが強く、これら特性値向上を期待できる複合材を作製するための“混ぜる”ノウハウを獲得できたとする。現状の課題は強化材添加時の巻き込み対策であり、今後も継続的に研究する予定である。また、後方押し出し等の高度な成形法を含む成形性評価を継続するとともに、耐摩耗性を代表とする特性評価を早急を実施し、開発対象部品を選定し研究のスピードアップを図る予定であり、さらに複合材の被削性もあわせて検討を継続する。

Sub3

ヒアリングなどから得られた、鑄造解析を含む工法開発過程の必要情報の明確化によって、実用的な技術情報 DB の構築が図れた。また、この情報 DB によるトレーサビリティ機能を作り込み、事業化に向けた、鑄造解析を含む各パラメータ設定根拠や条件変更、パラメータ管理幅の設定根拠などの共有化が図れた。工法開発途上により技術目標を達成していないが、実験情報管理システムへの情報一元管理の継続により、技術目標を実現し得るものと確信している。また同システムは非常に汎用性が高く、他の開発案件あるいは製造管理への展開も検討していく。

本論記述の研究成果を受け、新工法事業化に向けて次年度以降は下記の研究開発を実施する。

- サブテーマ 1：品質安定に向けた鑄造実験継続による鑄造条件選定と量産自動化設備開発
- サブテーマ 2：強化材混入複合材の機械的特性把握と安定性評価と強化材の塑性流動制御
- サブテーマ 3：実験情報管理システム運用の継続と実用化に向けたシステム改良

参考文献

- ・茂木 徹一 : 素形材 Vol147 No.7 (2007)
- ・茂木 徹一 : 鑄造工学 第77巻第8号(2005)526
- ・茂木 徹一、田辺 郁、和田 典也 : 銅と銅合金 第42巻1号(2003)1
- ・西田 義則 : 金属基複合材料入門 コロナ社(2001)
- ・佐藤 彰 : 鑄物 62 12(1990)
- ・金属基複合材料用語 JIS H 7006 : 日本工業標準調査会、日本規格協会
- ・軽合金鑄物・ダイカストの生産技術 : (財)素形材センター(2000)
- ・相沢 達志 : 鑄物 50 11(1978)683
- ・糸井 高志、土肥 康人 他 : 日立金属技法 Vol.15 (1999)91
- ・品田 与志栄 他 : 鑄物 61 12(1989)920,926