

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「アルミ基複合材鋳物のハイブリッド砂型低圧鋳造法の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 社団法人 日本鋳造協会

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的および目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該プロジェクト連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の原理、工程及び特徴
- 2-2 アルミ基複合材鋳物への砂型低圧鋳造の適用技術の開発
- 2-3 砂型低圧鋳造における湯口遮断機構技術の開発
- 2-4 砂型低圧鋳造への高周波押湯加熱システム適用技術の開発
- 2-5 ハイブリッド砂型低圧鋳造装置（鋳造機本体部分）の製作
- 2-6 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の基礎技術の確立
- 2-7 アルミ基複合材鋳物の内部品質評価技術の開発
- 2-8 量産検証用の量産モデル鋳造ラインの設計・製作
- 2-9 工程管理、品質管理への非破壊検査の利用技術の開発
- 2-10 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産技術の開発

第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 今後の課題
- 3-3 事業化の見通し、成果の普及

参考文献)

専門用語の解説)

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

(1) 研究開発の背景

アルミ基複合材鋳物は、従来の金属材料を超える優れた特性（軽量・高剛性かつ低熱膨張、高熱伝導、高耐磨耗など）を持つ高機能新素材である。現在、アルミ基複合材鋳物は、液晶露光装置や半導体検査装置、部品組立装置などの構造部材の一部に既に使用されて、装置性能の大幅向上に寄与している。

アルミ基複合材鋳物は、現在、砂型重力鋳造で製造されているが、アルミ基複合材は鋳造性の極めて悪い典型的な難鋳造材であって、現状の複合材鋳物の品質や性能、コストなどに多くの問題を抱えており、それらの改善・向上が強く望まれている。

それらの問題に対して、従来の砂型重力鋳造法による対応では技術的な限界にきており、そのために鋳造法を根本から見直し、新たな視点からアルミ基複合材鋳物の新鋳造法の構築を目指し、研究開発を進めることにした。

(2) 研究目的

本研究開発では、難鋳造材であるアルミ基複合材を鋳造性良かつ高い生産性で鋳造するために、砂型鋳造に低圧鋳造原理を適用し、さらに湯口遮断機構技術及び高周波押湯加熱システム等の独自開発の要素技術を組み合わせて高度化した、革新的な新鋳造法「ハイブリッド砂型低圧鋳造法」の開発を行う。

(3) 研究目標

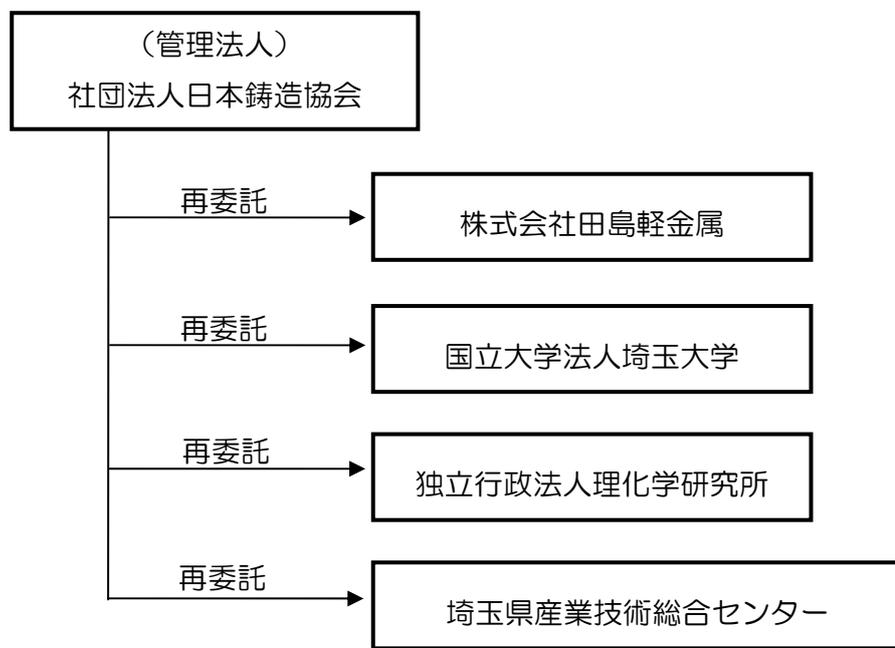
- ① アルミ基複合材鋳物への砂型低圧鋳造の適用技術の開発
 - ・砂型低圧鋳造適用時の最適鋳造条件（溶解・注湯・湯口方案）の確立
- ② 砂型低圧鋳造における湯口遮断機構技術の開発
 - ・弁板直接遮断方式及び湯口凝固遮断方式の設計製作と実用化
- ③ 砂型低圧鋳造への高周波押湯加熱システムの適用技術の開発
 - ・高周波押湯加熱システムにおける押湯方案技術の確立
- ④ ハイブリッド砂型低圧鋳造装置（鋳造機本体部分）の製作
 - ・加圧注湯、湯口遮断、押湯加熱の基本機能を備え、実機レベルの鋳造試作が可能な装置
- ⑤ ハイブリッド砂型低圧鋳造法の基礎技術の確立
 - ＜鋳造品の特性＞
 - ・薄肉化：肉厚 4mm 以下、
 - ・引張強さ向上 30%以上、
 - ・材料歩留：歩留 70%以上
 - ・気泡欠陥： ϕ 1mm 以下、
 - ・弾性係数向上 20%以上、
- ⑥ アルミ基複合材鋳物の内部品質評価技術の開発
 - ・3次元X線CTスキャン装置による内部欠陥評価法の確立

- ・ $\phi 1\text{mm}$ 以上の内部気泡欠陥を検出できる超音波検査技術の確立
- ⑦ 量産検証用の量産モデル鑄造ラインの設計・製作
 - ・ 注湯準備から内部欠陥検査までの工程を、自動あるいは半自動で連続作業可能なライン化設備（量産機モデル）とする
- ⑧ 工程管理、品質管理への非破壊検査の利用技術の開発
 - ・ $\phi 1\text{mm}$ 以上の指定部位の内部欠陥を検出
 - ・ 注湯及び押湯加熱条件等への検査結果のフィードバック工程管理技術の確立
- ⑨ ハイブリッド砂型低圧鑄造法の量産技術の確立
 - <パイロット鑄造ラインの性能>
 - ・ 生産性向上：サイクルタイム 20%~50%短縮
 - ・ 生産コストの低減：30%以上削減
 - ・ SiC セラミックス 40%配合アルミ基複合材鑄物の量産鑄造条件の確立

1-2 研究体制

(1) 研究組織および管理体制

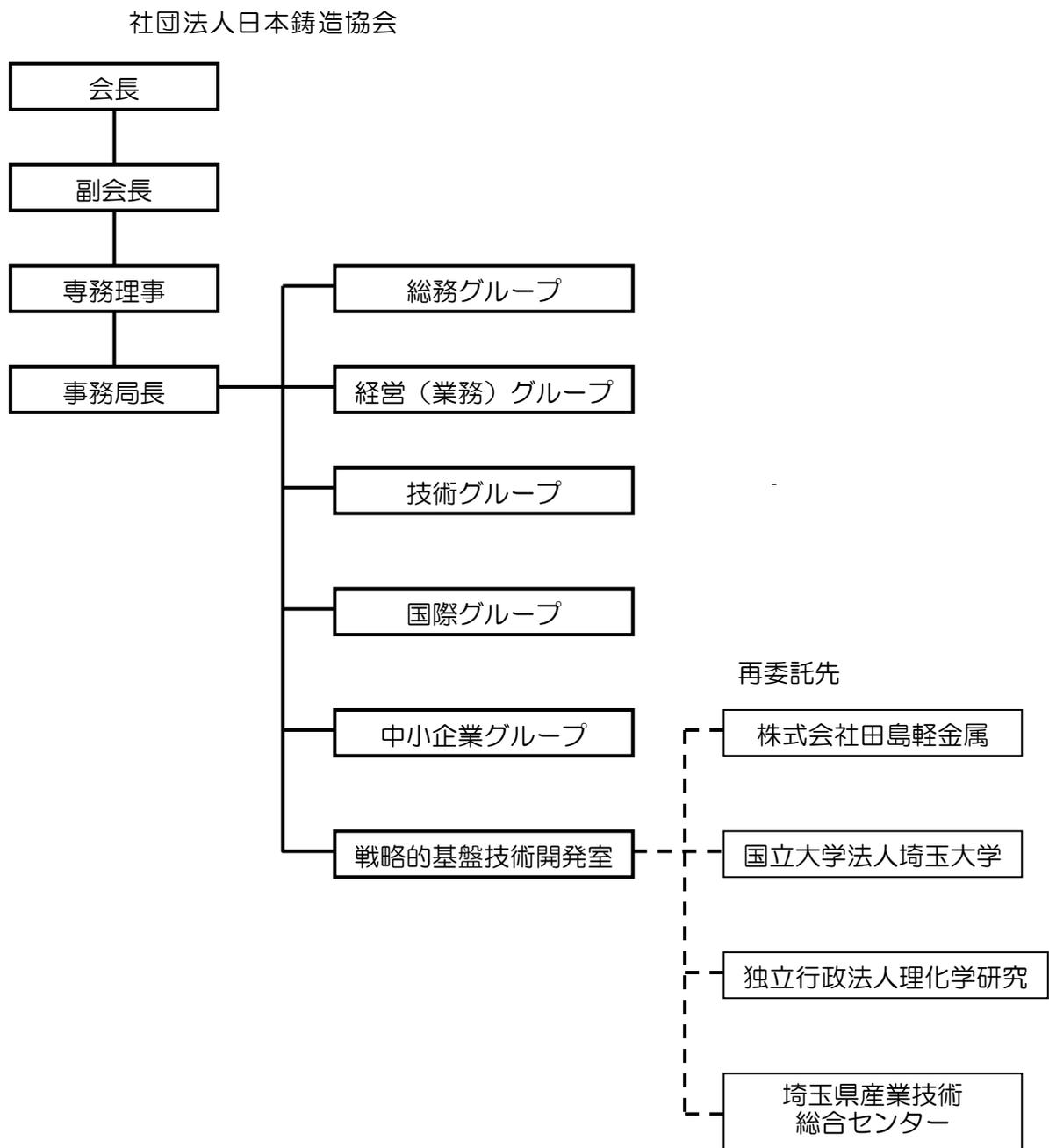
a) 研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）
所属：株式会社田島軽金属
役職：専務取締役
氏名：松浦 誠

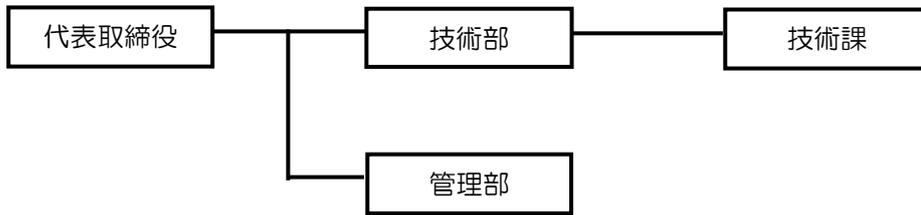
副総括研究代表者（SL）
所属：国立大学法人埼玉大学大学院
役職：教授
氏名：加藤 寛

b) 事業管理者

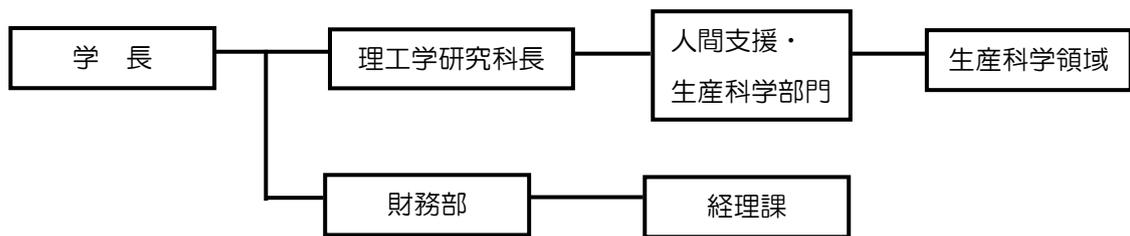


c) 再委託先

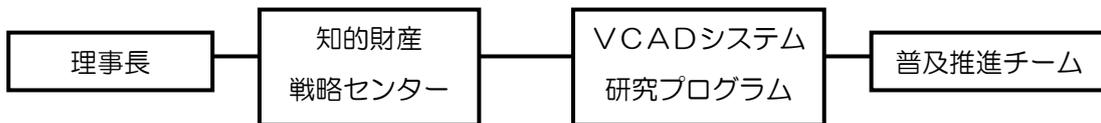
株式会社田島軽金属



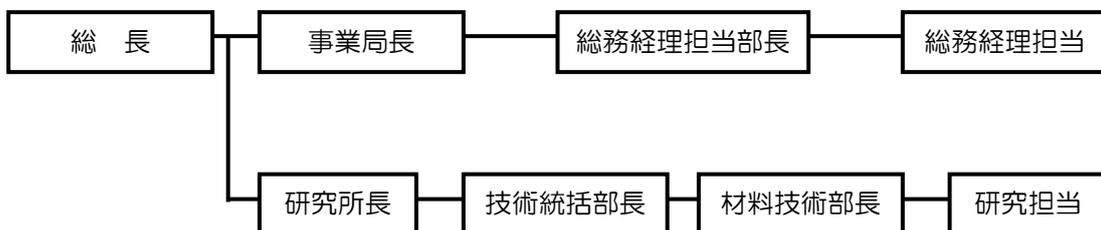
国立大学法人埼玉大学



独立行政法人理化学研究所



埼玉県産業技術総合センター



(2) 管理員および研究員

a) 管理員 【事業管理者】 社団法人日本鑄造協会

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
深井知子	戦略的基盤技術開発室	⑩プロジェクトの管理・運営

b) 研究員 【再委託先】

株式会社田島軽金属

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松浦 誠	専務取締役	①～⑨
栗田春男	技術部技術課 課長	①～⑨
早坂伸吾	技術部技術課	①～⑨

国立大学法人埼玉大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
加藤 寛	大学院理工学研究科 教授	①, ⑤、⑥、⑧、⑨

独立行政法人理化学研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
須長秀行	知的財産戦略センター VCADシステム研究プログラム 普及推進チーム チームリーダー	①、⑤、⑥、⑧
見原俊介	知的財産戦略センター VCADシステム研究プログラム 普及推進チーム 研究員	①、⑤、⑥、⑧

埼玉県産業技術総合センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
永井 寛	材料技術部主任研究員	①、③、⑤、⑥、⑧、⑨
笹川俊夫	材料技術部担当部長	①、③、⑤、⑥、⑧、⑨
井上裕之	材料技術部主任	①、③、⑤、⑥、⑧、⑨

(3) 他からの指導・協力者

企業・団体等	所属・役職	氏名
株式会社日本セラテック	MMC製造部長	岡 宗次
株式会社鑄経テクノ	代表取締役	田中弘史
新東工業株式会社	鑄物センター長	橋本邦弘

1-3 成果概要

① アルミ基複合材鋳物への砂型低圧鋳造の適用技術の開発

- 1) 試験鋳物や小型製品モデル等の鋳造基礎実験によって、低圧鋳造によるアルミ基複合材鋳物の製造に関する基本的な鋳造性能を調査した。その結果、試片レベルで、目標肉厚4mmを上回る3mmの成形を実現した。また外観品質や材料歩留についても顕著な改善効果が得られ、アルミ基複合材鋳物へ低圧鋳造を適用することで、極めて優れた鋳造性が得られることを確認した。
- 2) アルミ基複合材鋳物のX線透過試験を行い、内部欠陥等の発生状況を調査し、従来の重力鋳造品と比較した結果、砂型低圧鋳造品は、砂型重力鋳造品に比べて内部の気泡欠陥が非常に少なく、内部品質が優れていることが明らかになった。
- 3) アルミ基複合材鋳物の内部品質評価への、超音波測定の実用可能性について検討するため、アルミ基複合材鋳物中の超音波の伝搬特性や人工欠陥による検出性などの超音波測定の基本的特性を明らかにした。
- 4) 湯流れ・凝固解析を利用して、砂型低圧鋳造におけるアルミ基複合材鋳物の鋳造性や欠陥発生傾向などについて理論的に検討した。解析によって気泡欠陥や引け巣の予測データなどが得られ、鋳造方案検討のための有益な知見が得られた。

② 砂型低圧鋳造における湯口遮断機構技術の開発

湯口凝固遮断方式及び弁板直接遮断方式による基礎実験を行い、それぞれ効果的に湯口遮断できることを確認し、その条件、方法等を確立した。

③ 砂型低圧鋳造への高周波押湯加熱システムの適用技術の開発

砂型低圧鋳造へ高周波押湯加熱システムを適用して、アルミ基複合材鋳物の試作実験を行い、高周波押湯加熱システムの効果を確認し、その適用条件を把握した。

④ ハイブリッド砂型低圧鋳造装置（鋳造機本体部分）の製作

- 1) ハイブリッド砂型低圧鋳造法の基本となる鋳造機本体部分（容量700kg 低圧鋳造炉、加熱制御部、空圧制御部ほか）の基本仕様を設計し、製作した。
- 2) 製作した低圧鋳造実験装置を用いて、高周波押湯加熱システムおよび湯口遮断機構を組み合わせた鋳造試作実験を行い、ハイブリッド砂型低圧鋳造法の目標とする基本機能（原理、動作）が得られることを確認した。

⑤ ハイブリッド砂型低圧鋳造法の基礎技術の確立

- 1) 0.3kgから3.5kgまでの様々な肉厚、形状の実製品モデル5種類による試作鋳造実験によって、ハイブリッド砂型低圧鋳造法の実製品レベルでの基礎的な鋳造条件を把握した。従来技術では鋳造困難であった肉厚、形状の製品が低圧鋳造では鋳造可能で、また従来品に比べ、優れた外観品質、内部品質が得られた。
- 2) アルミ基複合材鋳物として、従来は、SiCセラミックス配合量が最大30%が限界であったが、低圧鋳造では、配合量40%の複合材でも鋳造可能であること示した。従来から高剛性の40%材鋳物に対する強いユーザーニーズがあり、これはそ

のニーズに応えアルミ基複合材鋳物の構造部材としての適用範囲を大きく広げる画期的な成果である。

- 3) 鋳物特性については、従来品に比べ強度、剛性ともに大幅に向上し、強度はほぼ目標（30%向上）通り、弾性率については目標の1.5倍の成果が得られた。
 - 4) 材料歩留について、実機製品モデルの試作実験の結果、従来技術に比べて歩留向上は2~10倍以上が可能であることを確認した。
- ⑥ アルミ基複合材鋳物の内部品質評価技術の開発
- 1) 実製品モデルのアルミ基複合材鋳物について、3次元X線CT測定により鋳物内部の欠陥を3次的に評価し、低圧鋳造の方案検討へのフィードバックに役立てた。
 - 2) アルミ基複合材鋳物の超音波探傷基礎試験を行い、アルミ基複合材鋳物についても内部の気泡欠陥を検出可能であることを明らかにし、その測定条件を求めた。
- ⑦ 量産検証用の量産モデル鋳造ラインの設計・製作
- 1) 将来的なハイブリッド砂型低圧鋳造法の本格量産化を前提として、量産鋳造ラインの構想設計を行い、その主要工程の一部をシミュレートできるような、検証用のパイロット鋳造ラインの設計・製作を行った。
 - 2) パイロット鋳造ラインを用いた鋳造試作実験を行い、ラインの機械的な基本性能を調査し、所期の性能が得られることを確認するとともに、今後の本格量産ラインの導入時に必要な、基礎的な種々の設計ノウハウや技術データを得た。
- ⑧ 工程管理、品質管理への非破壊検査の利用技術の開発
- 1) アルミ基複合材鋳物内部の気泡欠陥等の超音波測定を行い、 $\phi 2\text{mm}$ 以上の欠陥を超音波で検出できることを確認した。なお、目標値は $\phi 1\text{mm}$ 以上であったが、アルミ基複合材は、内部に含まれるSiCにより超音波の散乱が起きるために $\phi 1\text{mm}$ は測定困難であったが、 $\phi 2\text{mm}$ の分解能は、実用上十分な値であり、超音波測定が、アルミ基複合材鋳物の内部品質評価方法として有効であることを示し、その測定条件を明らかにした。
 - 2) X線透過試験によってアルミ基複合材鋳物の内部欠陥を評価し、その結果を、鋳造方案及び加圧条件等へフィードバックして欠陥対策を行った。
- ⑨ ハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産技術の開発
- ハイブリッド砂型低圧鋳造による量産レベルでの最適鋳造条件を確立するため、パイロット鋳造ラインを用いて、各種量産製品モデル鋳物の試作実験を行った。
- 1) 鋳造ラインの工程動作やサイクルタイム等について調査し、所期のライン基本性能が得られることを確認するとともに、ライン操業に関する基礎データを収集した。
 - 2) 代表的な各種量産モデル鋳物を取り上げて試作実験を行い、ハイブリッド砂型低圧鋳造法における鋳造方案及び注湯条件等の基本的な量産鋳造条件を把握した。
 - 3) 従来の重力鋳造と生産性を比較した場合、ハイブリッド砂型低圧鋳造法では、材料歩留り及び材料リサイクル率の大幅向上、生産枠数の増加など、優れた生産性が得

られ、また、その結果、約 30%のコスト低減が可能であることを示した。

4) 以上のような、パイロット鑄造ラインによる試作を通して、ハイブリッド砂型低圧鑄造の量産基礎技術を確立することができた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

株式会社田島軽金属 専務取締役 松浦 誠

〒348-0064 埼玉県羽生市藤井上組字城沼 1375

TEL 048-563-5221 FAX 048-563-4335

E-mail: matsuura@tac-casting.com

第2章 本論

2-1 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の原理及び工程

本研究開発の目的とする新鋳造法「ハイブリッド砂型低圧鋳造法¹⁾」は、低圧鋳造を基本として鋳型に砂型を用い、その砂型には上部に高周波押湯加熱システム^{2)、3)}が設置され、さらに鋳型下部には、湯口遮断機構⁴⁾が組み込まれている。すなわち、ハイブリッド砂型低圧鋳造法は、砂型低圧鋳造を基本技術として、それに独自開発の要素技術である高周波押湯加熱システム、湯口遮断機構技術が組み合わされて構成された、革新的な鋳造法である。

図1に、ハイブリッド砂型低圧鋳造法の原理と鋳造工程の説明図を示す。ハイブリッド砂型低圧鋳造法の注湯工程は、一般の低圧鋳造と同様に空気で加圧して鋳型に注湯する。しかしその後の工程が従来とは大きく異なり、ハイブリッド砂型低圧鋳造では注湯後に湯口を強制遮断し、同時に加圧を解除する。このようにハイブリッド砂型低圧鋳造法では、一般の低圧鋳造法のように鋳物の凝固を待つことなく、すぐに次の工程に進めることができるので鋳造サイクルタイムが大幅に短縮され、極めて高い生産性が得られる。

ここで、低圧鋳造において湯口遮断した場合、鋳物の凝固収縮に対して湯口から溶湯補給ができないので、その代わりに、従来の重力鋳造と同様に鋳型上部に押湯を設置する。ハイブリッド砂型低圧鋳造法では、その押湯に高周波押湯加熱システムを適用することにより、押湯効果を高め、材料歩留の向上と品質確保を図る。

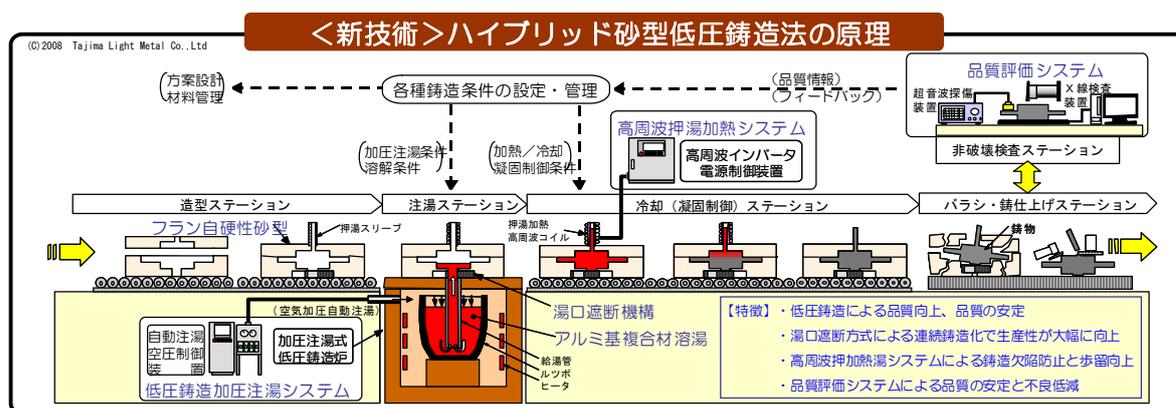


図1 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の原理と鋳造工程の説明図

2-2 アルミ基複合材鋳物への砂型低圧鋳造の適用技術の開発

ここでは、小型低圧鋳造実験装置を用いた基礎実験を行い、低圧鋳造によるアルミ基複合材の基礎的な鋳造性について調査した。

(1) 砂型低圧鋳造基礎実験

【実験方法】 実験に用いたアルミ基複合材料は、アルミニウム合金にSiC（炭化けい素）セラミックス粒子（平均粒径は約 $20\mu\text{m}$ ）を30 vol%配合したもので、これは予めインゴットとして作成したものを実験炉で溶解して使用した。また、実験に用いた鋳型は、フラン自硬性砂型鋳型である。

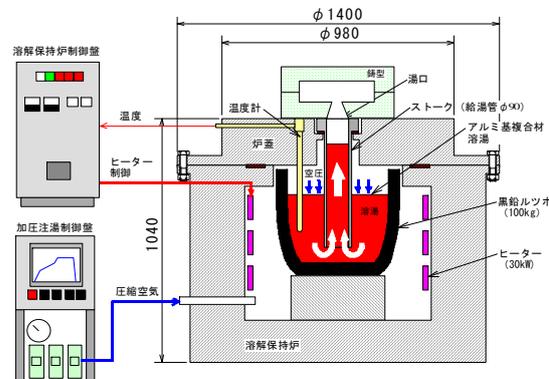


図2 小型低圧鋳造実験装置

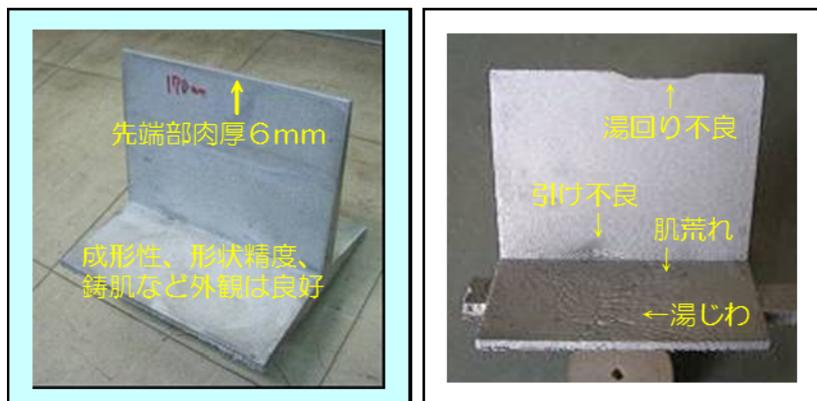
図2に、実験に用いた小型低圧鋳造実験装置（容量100kg）を示す。鋳造基礎

実験には、3種類の試験鋳物（①T字型試験片、②段付T字型試験片、③製品モデル鋳物）を用い、低圧鋳造による成形性や鋳物の外観あるいは内部品質などの基本的な鋳造特性について調査した。

【実験結果】 低圧鋳造で試作したT字型試験片鋳物と、さらに従来法と比較するために、同じ試験片を砂型重力鋳造法で試作したものを、それぞれ図3に示す。低圧鋳造の試験片は、肉厚6mmの先端部まで溶湯が充填されて、また鋳肌表面も良好で成形性良く鋳造されている。一方、重力鋳造の試験片は、先端部に湯回り不良、さらに引けや湯じわ、肌荒れ等の不良が多く発生しており、外観品質が大きく劣っていることわかる。このように、アルミ基複合材へ低圧鋳造を適用することによって、顕著な鋳造性の向上が認められた。

図4は、低圧鋳造で試作した段付T字型試験片鋳物を示す。板厚が、8mm、6mm、3mmの3段階に変化している。

図のように、従来の重力鋳造では成形不可能な肉厚3mmの薄肉先端部まで、完全に湯が充填され、健全な試験片鋳物を得ることができた。このように、図3の肉厚6mmのT字型試験片



a) 低圧鋳造品

b) 重力鋳造品（従来法）

図3 T字型試験片鋳物の鋳造性の比較

よりもさらに薄肉の3mmについても、低圧
 鋳造によって成型可能であることがわかり、
 当初の目標値4mmを超える薄肉化が達成で
 きた。

なお、従来の砂型重力鋳造の一般的な最小
 肉厚は8mmであり、それに対して低圧鋳造
 による肉厚3mmの実現で、アルミ基複合材
 鋳物のニアネットシェイプ化が可能となり、
 適用分野や用途の拡大、販路拡大につながる
 ことが期待できる。

次に、砂型重力鋳造で量産されているアル
 ミ基複合材鋳物の実機製品モデルを、低圧鋳造で試作して鋳造性を調査した。図5に、
 試作した製品モデル鋳物の鋳放し素材外観（方案を含む）を示す。従来の重力鋳造品
 に比べ、形状精度や鋳肌などの外観品質は非常に良好で、従来品に多く見られた気泡
 欠陥もなく、また、内部品質についても、図6のX線写真を示すように、低圧鋳造品
 は内部欠陥が極めて少なく、実製品についても低圧鋳造の優れた鋳造性を確認するこ
 とができた。この製品の材料歩留についてみると、低圧鋳造では湯口が製品に直結し
 ているため、方案が極めてシンプルになり、重力鋳造に比べ、材料歩留が約2.7倍と、
 大幅に改善された。

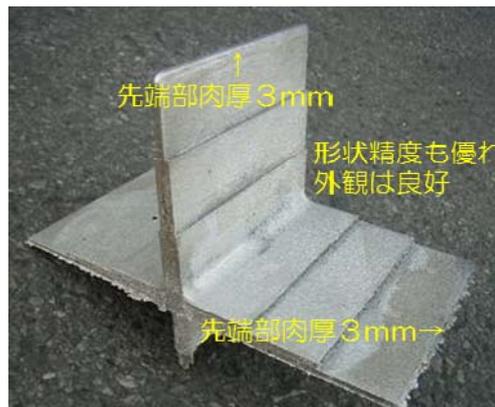
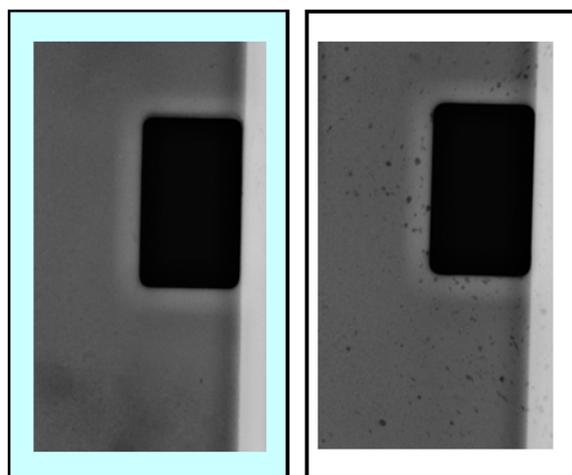


図4 低圧鋳造で試作した
 段付T字型試験片鋳物



図5 低圧鋳造で試作した
 製品モデル鋳物



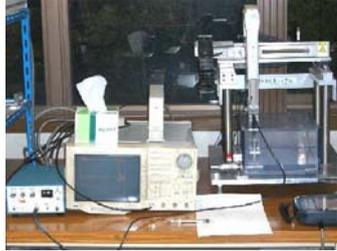
a) 低圧鋳造品 b) 重力鋳造品

図6 製品モデル鋳物の品質比較
 (内部欠陥のX線写真)

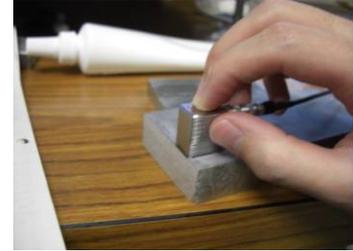
(2) アルミ基複合材鋳物の中に含まれる気泡等鋳造欠陥の超音波評価

アルミ基複合材鋳物の気泡欠陥を非破壊的に評価する方法として、超音波測定法の適用について検討した。ここでは、その有効性を確認するための予備調査として、複合材鋳物中の超音波の伝搬特性（音速、減衰特性）について調査した。

【実験方法】 アルミ基複合材鋳物から試片を切り出し、試片表面に垂直に超音波縦波を入射させ、鋳物中の超音波の伝搬特性、すなわち、衰特性及び音速を測定した。探触子には発信周波数 5 MHz 及び 20 MHz の縦波発生用水浸探触子（振動



a) 水浸超音波測定装置



b) 超音波探触子

図7 超音波測定試験装置

子直径：10 mm）を用いた。減衰特性については、底面反射波の強さを比較した。表面反射から底面反射までの経過時間を読み取り、板厚の 2 倍をこの経過時間で除すことにより、音速を求めた。実験装置、方法を、図 7 に示す。

【実験結果】 周波数 5 MHz 及び 20 MHz の探触子を用いて、アルミ基複合材鋳物について、深さ方向の縦波の伝搬状況を観察した結果、10mm 程度の厚さであれば、底面まで縦波が伝搬していき、底面反射波が観察された。また、超音波縦波速度を求めた結果、7500 m/s の値が得られ、Al-Cu 合金鋳物の縦波速度 6650 m/s に比べて大きな値となった。これらの結果をもとに、引き続き、アルミ基複合材鋳物の超音波測定を継続実施し、複合材鋳物中の鋳造欠陥、特に 1 mm 以上の気泡を、非破壊的に検出するための条件を明らかにしていくこととした。

2-3 低圧鋳造における湯口遮断機構技術の開発

ハイブリッド砂型低圧鋳造法においては、注湯後に湯口を強制遮断することによって、注湯直後の鋳型移動を可能にし生産性を向上させることを目的としている。ここでは、湯口遮断の基礎実験を行い、基本性能を確認し、その実用性について検討した。

なお、この実験では、砂型低圧鋳造と湯口遮断機構、さらに高周波押湯加熱システムを組合せたハイブリッド砂型低圧鋳造法の基本構成で鋳造実験を行い、次項の高周波押湯加熱システムの適用基礎実験も兼ねた。

(1) 湯口遮断実験方法

湯口を弁板によって直接に強制遮断する方式について、湯口直接遮断実験を行った。湯口遮断実験には、図 8 に示す実験鋳型を使った。鋳型は上下 3 段に分かれており、上段と中間の鋳型で製品部（角ブロック試片）を形成し、下段の鋳型に湯口を強制遮断するための鉄製弁板が設置されている。溶湯が湯口を通過して鋳型内に充填されたら、その直後に弁板を水平方向に移動させて湯口を遮断する構造となっている。実験では、

注湯直後（約5秒後）に弁板を移動させて湯口を遮断し、その後に加圧を解除して鑄型を移動し、溶湯が確実に遮断されているか、また鑄型移動によって湯漏れがないか等を確認めた。

(2) 実験結果

図9に、湯口直接遮断実験の様子を示す。鑄造作業工程は以下である。

①低圧鑄造機上に鑄型をセット、②加圧注湯、③注湯完了後、湯口を遮断、④加圧解除し鑄型を鑄造機上から移動。

作業終了後に、湯口の遮断状況等を確認したが、とくに問題なく弁板による湯口遮断を行うことができ、湯漏れなどもなかった。このように、湯口直接遮断方式は、実用上とくに問題なく有効に適用できることがわかった。

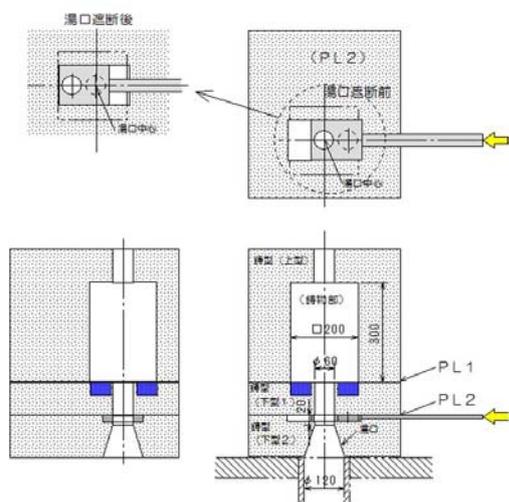


図8 湯口遮断実験実験用の鑄型

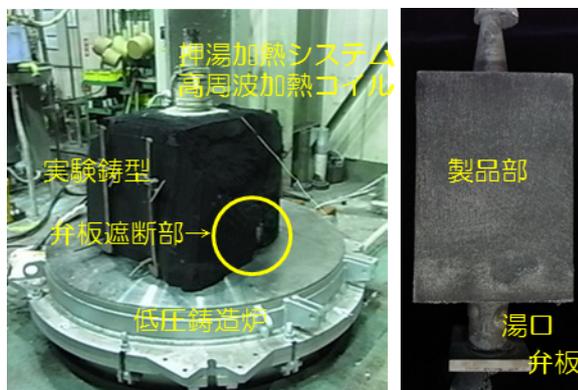


図9 湯口遮断実験の鑄型の状況と湯口遮断結果

2-4 砂型低圧鑄造への高周波押湯加熱システムの適用技術の開発

ハイブリッド砂型低圧鑄造法は、低圧鑄造に湯口遮断機構と、さらに高周波押湯加熱システムの3つ技術を組み合わせて構成される。ここでは砂型低圧鑄造へ高周波押湯加熱システムを適用した時、基本的な押湯加熱の機能、効果を確認するための基礎実験を行った。

(1) 高周波押湯加熱システムの原理と実験方法

高周波押湯加熱システムは、押湯を外部から強制加熱することにより押湯効果を飛躍的に高めることを目的に開発された技術である。図10に、実験を行った高周波押湯加熱システムの概要と実験用の鑄型を示す。高周波加熱装置は、押湯部に鋼製の押湯加熱スリーブを用い、

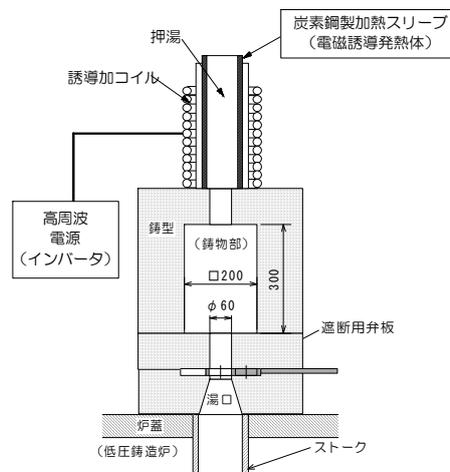


図10 高周波押湯加熱システムの適用実験用鑄型

これを高周波電磁誘導によって発熱させ、その鋼製スリーブの熱で押湯を周囲から間接的に加熱する構造となっている。この実験は、前項の湯口遮断機構の実験と組み合わせで行ったものであり、実験方法は、2-3で既に述べた。

(2) 実験結果

高周波押湯加熱システムを、湯口遮断機構との組み合わせた時のシステムの動作は良好であり、また、鋳物の押湯加熱効果については、前項の湯口遮断鋳造実験で得られたブロック鋳物で評価したが、鋳物の外部及び内部ともに引け巣その他の鋳造欠陥は認められず、高周波押湯加熱システムの有効性を確認した。

2-5 ハイブリッド砂型低圧鋳造装置（鋳造機本体部分）の製作

(1) 低圧鋳造装置（鋳造機本体部分）の製作

ここでは、ハイブリッド砂型低圧鋳造法の装置の基本部分となる低圧鋳造機本体について、炉体の形状や大きさ、溶解能力等、また低圧鋳造の加圧注湯の制御性能等、さらに今後の拡張性を考慮した各種付帯機能などの基本仕様（表1）を決定し、それに基づいて低圧鋳造機本体部分を製作した。

表1 低圧鋳造機本体の基本仕様（概要）

保持炉	タイプ	密閉式（加圧・減圧で使用）黒鉛ルツボ
	保持容量	700kg
	ヒータ容量	65kW（電源75kW）
	保持温度	670℃～720℃
鋳造方法	注湯方式	・ 鋳型は保持炉上面に直接載せる
		・ 空気圧によりストークを通して加圧注湯
圧力制御	プログラム制御方式	0～100kPa

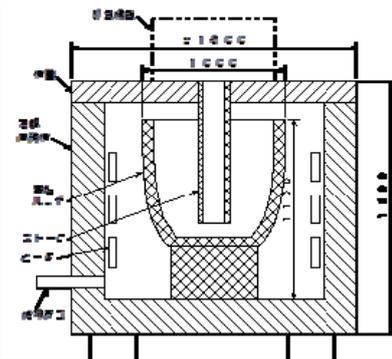


図11に、製作した低圧鋳造装置の本体部分の写真を示す。装置は実験場所（株式会社田島軽金属）に据付け後、無負荷（材料溶解および注湯なし）状態で性能試験を行い、炉内温度制御や空圧制御性能を調査し、装置が仕様通り正常に動作することを確認した。



図11 低圧鋳造装置の据付、調整、運転準備完了の状況

2-6 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の基礎技術の確立

ここでは、より実用に近い条件でアルミ基複合材鋳物の低圧鋳造の鋳造性を調べるために、小型実製品モデルによる低圧鋳造試作実験を行い、基本的な鋳造性を調べた。

また、アルミ基複合材鋳物の材質（SiC セラミックス配合量）の改善について検討し、従来、SiCセラミックス配合量が最大30%が限界であったアルミ基複合材に対して、今回、配合量40%の複合材を用いて試作鋳造を試みた。

さらに、低圧鋳造によるアルミ基複合材鋳物の引張強度や伸び等の機械的性質及び弾性率、密度等の物理的性質についても調べた。

(1) 実製品モデルによる鋳造試作実験と鋳造条件調査

低圧鋳造の最適鋳造条件（鋳造方案、加圧パターン）を明らかにするために、代表的な形状の実製品モデル数種を選んで低圧鋳造試作実験を行い、その鋳造性（湯流れ性、成形性、鋳造欠陥発生傾向など）を調査した。

【材料及び鋳造条件】 実験に用いたアルミ基複合材料は、アルミ合金にSiCセラミックス粒子を30 vol%配合したものである。

そのアルミ基複合材インゴットを炉で溶解後、真空脱ガス装置で炉内を減圧し、溶湯中に混入したガス（主に空気の泡）や介在物を除去する。その後、攪拌装置で溶湯を攪拌して、鋳造実験に用いた。

空圧制御装置で、注湯時の炉内の圧力、昇圧速度、保持時間などの加圧パターンを設定する。

加圧パターンは、図

12の例に示すように、鋳型内の製品形状（キャビティ）

に合わせて、溶湯が早く静かに鋳型内を充填するように、適切な圧力、加圧速度、保持時間等を設定する。

これら加圧パターンや方案などの鋳造条件は、これまでの基礎研究結果を参考にしながら、試作鋳造によって最適鋳造条件（鋳造方案、加圧パターン等）を求めた。

【試作モデル鋳物の種類】 試作実験では、代表的な形状のモデル鋳物について、実用条件での低圧鋳造の鋳造性（湯流れ性、成形性、鋳造欠陥発生傾向など）を調査した。試作した製品モデルの種類を表2に、その形状を図13(a)～(c)に示す。

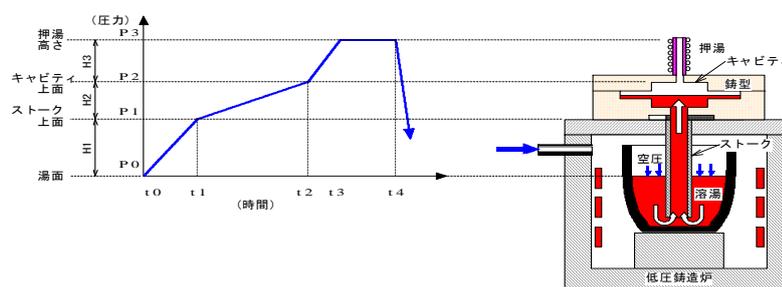
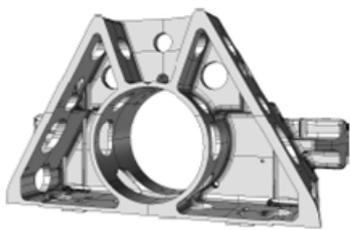


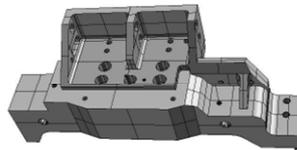
図12 低圧鋳造の加圧パターン例

表 2 試作した製品モデルの種類

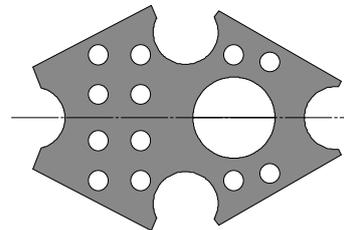
製品モデル種類	製品重量 (kg)	製品の特徴や casting 上の課題、調査内容など
モデル A	1.8	広い面積の薄肉部（肉厚 3mm）があり、湯回り不良が起きやすく casting 難易度の高い形状である
モデル B	1.0	全体に肉厚変化が少なく、また薄肉部も少なく casting やすい形状。重力 casting と casting 性を比較した
モデル C	0.5	薄板の比較的単純な形状であるが、平面的な湯流れになり、湯境いや泡の巻き込みなどが発生しやすい。



(a) モデル鋳物 A



(b) モデル鋳物 B



(c) モデル鋳物 C

図 1 3 試作を行ったモデル鋳物の種類

【結果及び考察】 フラン自硬性砂型鋳型を低圧鋳造炉上にセットし、空圧制御盤により予め設定した空圧パターンによって炉内を加圧し、注湯する。製品部が凝固するまで所定時間加圧保持後、圧力を解除して注湯を完了する。

図 1 4 に、試作した製品モデル A の鋳物写真を示す。これは予備試験によって求めた、最適 casting 条件で試作した結果である。



図 1 4 モデル鋳物 A の試作結果

この製品は、底面部及び側面部が肉厚 3mm の薄肉であり、通常の重力 casting 法では湯回り不良となり、成形困難な形状である。今回の低圧 casting による試作結果では、図に示すように、湯回り不良な

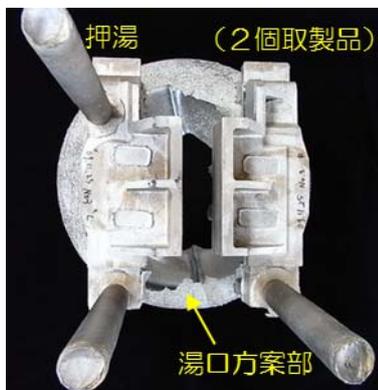


図 1 5 モデル鋳物 B



図 1 6 モデル鋳物 C

どの鑄造欠陥などは見られず、また形状精度や鑄肌など、外観評価において極めて良好な鑄物が得られた。

図15、16に、製品モデル鑄物B、Cの低圧鑄造試作結果を示す。いずれも、1～3回程程度の予備実験により、適正な鑄造条件を求めて、試作したものである。製品モデル鑄物B、Cともに、製品モデルAの場合と同様に、鑄造欠陥などは見られず、また形状精度や鑄肌など、外観評価において極めて良好な鑄物が得られた。

以上の実製品モデル鑄物の試作結果から、アルミ基複合材鑄物における低圧鑄造法の優れた成形性と実用性を確認することができた。なお、本研究で技術目標とした薄肉化4mmに対して、試作結果ではそれを上回る3mmの薄肉化が実現でき、ニアネットシェイプ化を可能とした。

(3) SiC 粒子高配合率 (40%) のアルミ基複合材料による鑄造試作実験

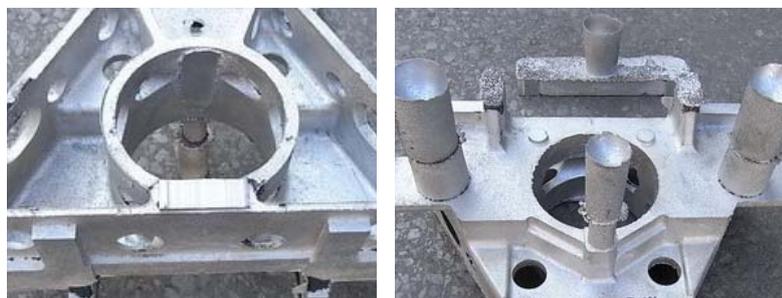
従来、ユーザーからは、弾性率や熱膨張率が鉄鋼材料に近いSiC40%材に対する強いニーズがあった。このSiC40%材のアルミ基複合材鑄物が実用化できれば、その適用範囲、用途の飛躍的な拡大が期待できる。しかし、従来の砂型重力鑄造ではアルミ基複合材のSiCセラミックス粒子配合率は30%が限界であり、それ以上では溶湯の粘性が高すぎて鑄造できなかった。

ここでは、低圧鑄造によるSiC配合率40%アルミ基複合材の鑄造実験を行い、その可能性について検討した。

【実験方法】 SiC配合率40%材を用いて低圧鑄造による試作を行った。試作対象は、薄肉で鑄造難易度の高い前出の製品モデルAを取り上げ、鑄造方案その他の条件は、前出の30%材の場合と同一にして鑄造性の比較を行った。

【実験結果】 図17に、低圧鑄造で試作したSiC40%アルミ基複合材による製品モデル鑄物Aの外観を示す。SiC40%材は極めて流動性が悪いことから、低圧鑄造における鑄造の困難性が予想されたが、特別な鑄造条件の変更は必要ではなく、図に示すように、問題となるような欠陥等は見られず、また寸法精度や鑄肌などについても、前出のSiC30%材の試作結果とほぼ同等で、また内部品質も極めて良好であった。以上のように、低圧鑄造ではSiC40%アルミ基複合材でも鑄造可能であることがわかり、

実用上十分な品質が得られることが確認できた



(上型面側外観)

(下型面側外観)

図17 SiC40%材で試作した製品モデル鑄物A

(4) アルミ基複合材鋳物の機械的、物理的性質の調査

アルミ基複合材鋳物の引張試験およびX線試験、弾性率測定、密度測定試験などを行い、機械的性質及び物理的性質について調べた。

【アルミ基複合材鋳物の引張試験】 JIS H 5202 に準じて、アルミ基複合材の4号試験片用の砂型を用いて、低圧鋳造によるSiC 30%及び40%配合アルミ基複合材また重力鋳造によるSiC 30%材の試片を作成し、試験に用いた。

アルミ基複合材鋳物試片の引張強度と伸びを、表3に示す。表より、低圧鋳造試片は、重力鋳造試片よりも強度、伸びとも高い値を示し、機械的性質が優れている。これは、図18に示した試片のX線検査結果からわかるように、低圧鋳造試片の方が重力鋳造試片よりも内部気泡欠陥が少ないためと思われる。

表3 アルミ基複合材鋳物試片の引張強度と伸び

試験片の種類		引張試験結果	
鋳造法	SiC配合率	引張強さ N/mm ²	伸び %
重力鋳造	30%	134	0.51
低圧鋳造	30%	166	0.63
低圧鋳造	40%	176	0.68



図18 アルミ基複合材試片のX線透過写真

【アルミ基複合材鋳物の弾性率及び密度の測定】 表4に、弾性率及び密度の測定結果を示す。測定したアルミ基複合材試片は、今回実験に用いたSiC配合率30%材及び40%材による低圧鋳造品から切り出したものである。アルミ基複合材鋳物の弾性率は、SiC配合率が多い方が高い値を示す。またこの結果より、SiC配合率30%材はアルミ基複合材鋳物の特徴である普通鋳鉄と同等以上の剛性(弾性係数)を持つこと、さらにSiC配合率40%材は一般アルミ合金の約2倍の弾性率を示し、球状黒鉛鋳鉄やステンレスに近い剛性を持つことが確認できた。

表4 アルミ基複合材鋳物の弾性率及び密度の測定結果

アルミ基複合材鋳物の試験片の種類	縦弾性率 GPa	密度 g/mm ³
製品モデル(SiC配合率30%材)	125	2.78
製品モデル(SiC配合率40%材)	147	2.83

2-7 アルミ基複合材鋳物の内部品質評価技術の開発

(1) X線CTスキャン装置による製品モデル鋳物の内部欠陥測定

低圧鋳造で試作したアルミ基複合材鋳物の製品モデル鋳物 A について、さらにその内部品質を詳細に検討するために、X線CTスキャン装置（エクスロン・インターナショナル(株)製 型式：Y.CT COMPACT 450kV XL）を用いて、鋳物内部の気泡等の鋳巣欠陥の発生状況を調査した。

【X線CT測定方法】 製品モデル鋳物AのX線CT測定を行った。その状況を、図19に示す。X線CT測定により鋳物の内部に存在する鋳巣の位置、鋳巣の体積、鋳巣の個数等を定量的に把握した。

【X線CT測定結果】 図20に、鋳物内部に存在する大きさ 10mm^3 以上の鋳巣の分布を示す。また、図21は、部の鋳巣をサイズ毎に分類して個数分布をグラフ化したものである。

鋳物内部には、全体的に平均して多数の鋳巣が存在しているのがわかる。それらは集中してはいないので、引け巣ではなく、そのほとんどが気泡欠陥であると思われる。

ただし、そのサイズは最大でも $\phi 2\text{mm}$ 以下の微小な鋳巣であり、現状の品質基準の規格は $\phi 3\text{mm}$ であることから、品質上はとくに問題ない。これらの気泡は、注湯時に発生したものと、炉内容湯中に既に含まれていたものがあると考えられる。

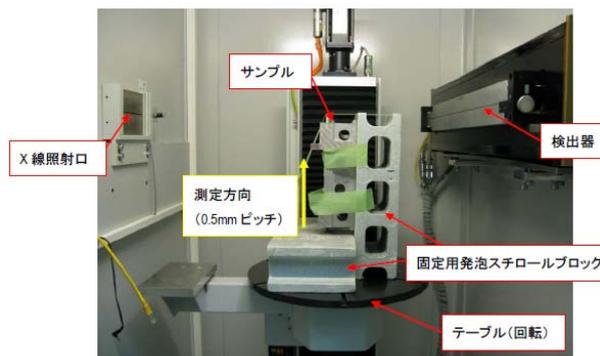


図19 X線CT測定の状況

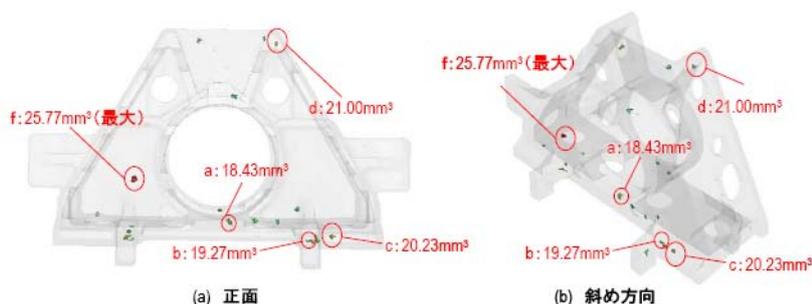


図20 内部の鋳巣の分布 (10mm^3 以上)

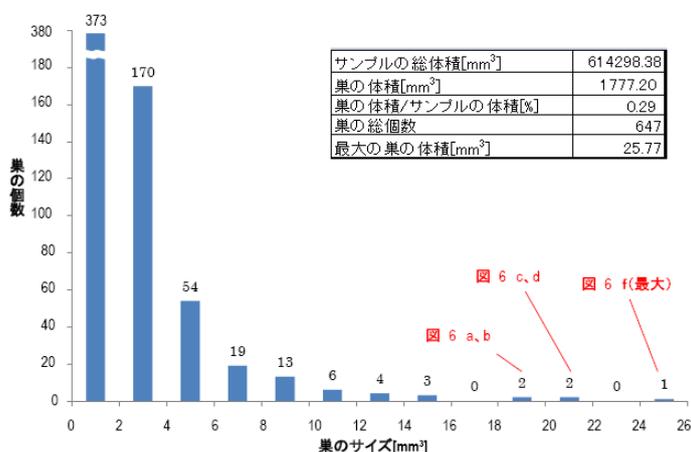


図21 内部の鋳巣のサイズと個数

2-8 量産検証用のパイロット鑄造ラインの設計・製作

将来的なハイブリッド砂型低圧鑄造法の量産化を前提として、量産鑄造ラインの構想設計を行い、次いで、その構想の主要工程の一部をシミュレートできるような、量産検証実験用のパイロット鑄造ラインの設計及び製作を行った。

(1) 量産ラインの構想設計

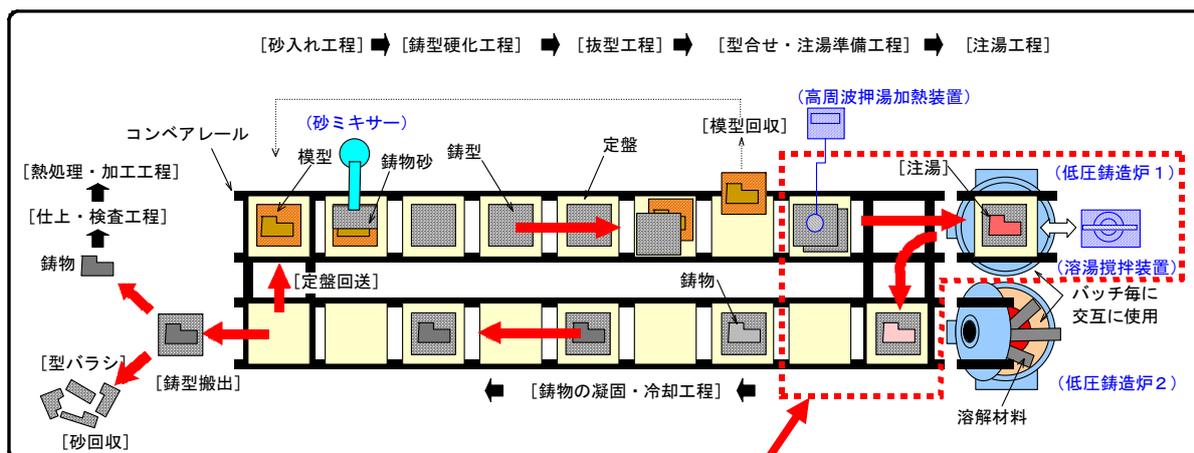
【構想設計上の主な仕様】 想定する量産ラインの工程範囲としては、造型から注湯、鑄物冷却までの工程であり、その一連の工程を連続的にサイクルで作業できることとした。なお、模型準備や型バラシ、鑄仕上、検査工程等はライン外作業とした。この量産ラインの構想設計上の主な仕様を、表5に示す。

表5 量産ライン構想設計上の主な仕様

③鑄型	種類・構造	フラン自硬性砂型 無枠タイプ
	最大鑄型サイズ	1500×1500×1000(H)
	最大鑄型重量	2500kg
④低圧鑄造炉	溶解保持炉	容量 700kg
⑥鑄型搬送装置	定盤搬送方式	定盤サイズ 1500×1500
⑦高周波押湯加熱システム	加熱コイル数5	加熱容量 30kW
⑧湯口遮断機構	鑄型内に遮断弁を組み込み	
⑨鑄造サイクルタイム	(目標) 3min/ショット	

【量産鑄造ライン構想図】

表2-1の仕様に基づき、構想設計を行ったハイブリッド砂型低圧鑄造法の量産ラインの構想図を、図22に示す。



この部分について、検証実験用のパイロット鑄造ラインを設計製作した。

図22 ハイブリッド砂型低圧鑄造法の量産鑄造ライン構想図

(2) 量産検証用のパイロット鑄造ラインの設計製作

図22の量産ラインの構想設計をもとにして、その主要工程の一部をシミュレートできるような、量産検証用のパイロット鑄造ラインの設計・製作を行った。

[パイロット鑄造ラインの設計・製作]

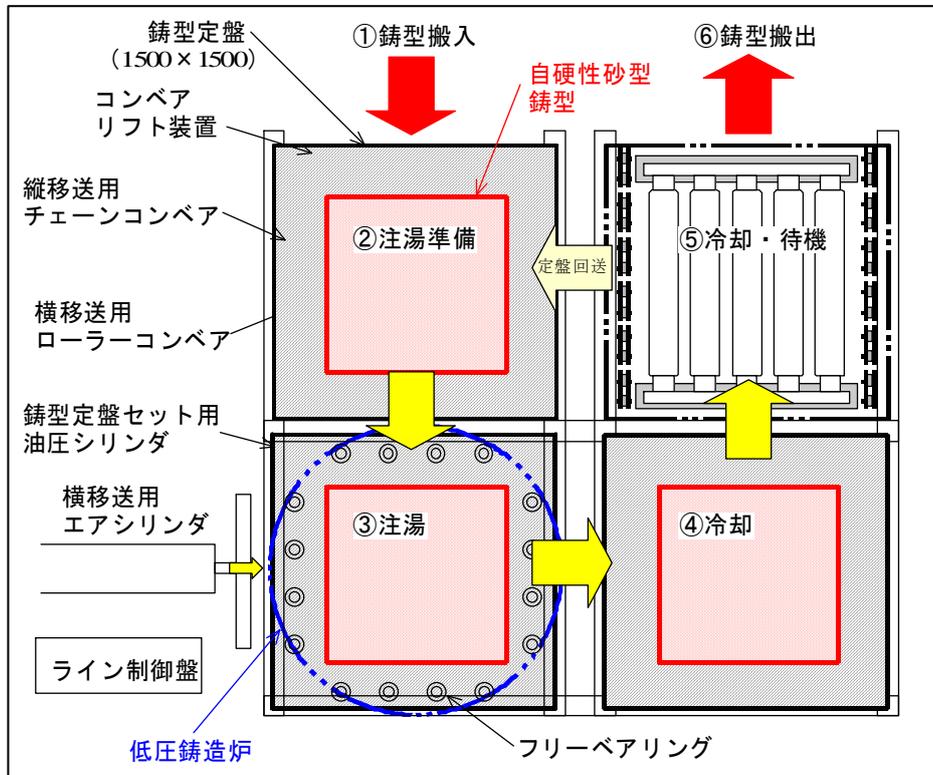


図23 製作したパイロット鑄造ラインの構成

図23に、製作したパイロット鑄造ラインの構成図を、また図24に、全体写真を示す。コンベア上に3台の鑄型定盤が設置されており、それらは、4つのステーションを順次回転するように縦、横方向に、ローラーコンベア、チェーンコンベア、エアシリンダによって移送される。

このパイロット鑄造ラインを用いて、後出2-10の鑄造試作実験を行った。

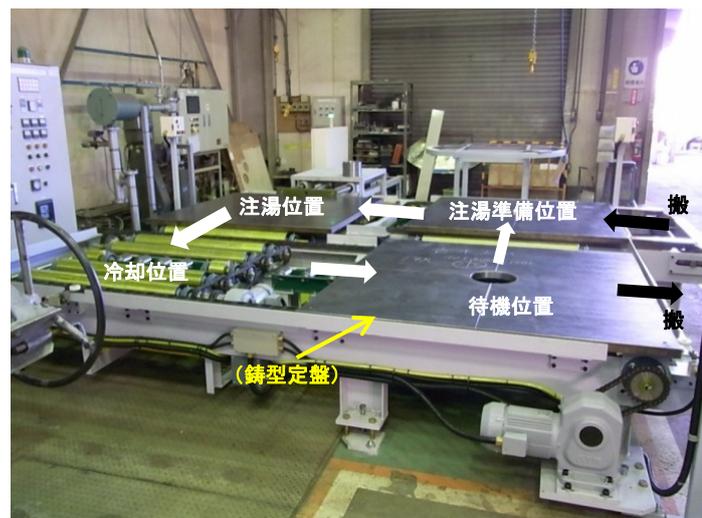


図24 パイロット鑄造ラインの全体写真

2-9 工程管理、品質管理への非破壊検査の利用技術の開発

(1) アルミ基複合材鋳物内部の気泡欠陥等の超音波評価

アルミ基複合材鋳物の内部気泡欠陥を、超音波探傷試験によって定量的に把握するための超音波測定条件を明らかにし、また、超音波測定の現場的検査法への適用性について検討した。

【目的】 アルミ基複合材鋳物内に含まれる気泡の分布を、超音波測定により定量的に把握するための条件を明らかにすることを目的とし、鋳物表面から2～4 mm 程度の間深さに存在する人工穴の検出可能性について超音波測定を行った。

【実験方法】 アルミ基複合材鋳物の平板状試片（厚さ：約10 mm）を製作し、それに、深さ及び寸法の異なる人工穴を導入して測定片とし、これに、縦波を垂直に入射させて超音波測定を行った。まず、人工穴近傍の数箇所超音波波形を観察し、人工穴からの反射波強さが最大となる位置を確定し、次いで、その位置で反射波形を測定した。

【実験結果】 直径2 mm の人工穴先端位置が表面から2～5 mm の全範囲に渡って、反射波形が明確に観察された。また、それぞれの穴先端位置は、予定した深さ位置にほぼ一致することが分かった。反射波強さと穴深さの関係を求めた結果を、図25に示す。人工穴からの反射波強さは、全て散乱ノイズレベルを大幅に超えており、直径2 mm の人工穴がアルミ基複合材鋳物の表面から2

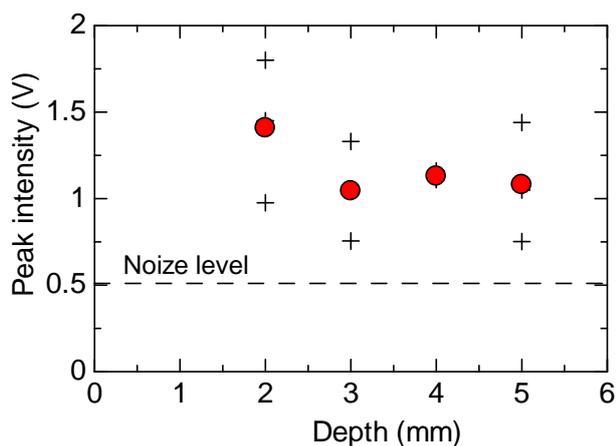


図25 中間深さにある人工穴からの反射波強さに及ぼす穴深さの影響

～5 mm の深さに存在する場合、十分な精度で検出が可能であることが分かった。

以上のように、アルミ基複合材鋳物の表面から2～5 mm の中間深さに直径2 mm 以上の人工穴が存在する場合、周波数10 MHz の縦波を垂直入射させることにより、人工穴の検出が可能である。

ここで、現状の生産現場における、アルミ基複合材鋳物の内部欠陥の品質基準については、機械加工面となる表面から約5 mm 以内の深さにおいて、大きさ3 mm の気泡欠陥が許容基準とされる場合が多い。本結果では、それを下回る2 mm の欠陥が検出可能であるので、超音波測定がアルミ基複合材鋳物の内部欠陥の現場的な検査方法として、有効であろうと考えられる。

2-10 ハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産技術の開発

ハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産検証用として製作したパイロット鋳造ラインを用いて、実機製品モデル鋳物の量産試作実験を行った。それらの試作実験を通して、ハイブリッド砂型低圧鋳造法における量産時の鋳造方案や注湯加圧条件などの、基本的な量産鋳造条件を把握するとともに、生産性や品質、コスト等について調査し、従来の砂型重力鋳造との比較も行った。

(1) モデル鋳物の試作実験による量産鋳造条件の確立

数種の代表的な量産製品モデル鋳物を用いて、量産試作実験を行い、量産鋳造条件について検討し、ハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産基礎技術の確立を目指した。

また、試作実験を通して、パイロット鋳造ラインの各工程における設備動作や作業内容の確認など、ラインの鋳造性能の確認も行い、量産化に向けての、設備上の課題や問題点の洗い出しなどを行った。図26に、作業状況の写真を示す。



a) 低圧鋳造炉で注湯 b) 注湯直後に湯口遮断 c) 注湯後の鋳物冷却工程

図26 パイロット鋳造ラインにおける試作実験作業状況

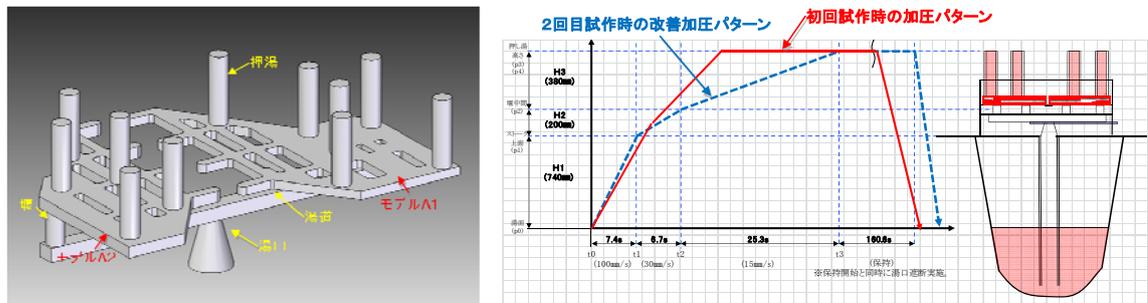
【モデル鋳物の種類】 量産鋳造条件を把握するため、代表的な各種の量産モデル鋳物を取り上げ、砂型低圧鋳造による試作を行った。その種類と試作の主な狙いなどを、表6に示す。

表6 試作実験に用いた各種量産製品モデル鋳物

種類(製品重量)	適用製品分野	試作の主な狙い
モデル鋳物 D(14kg)	液晶製造装置	基本形状のモデル鋳物で、方案、注湯条件等の基礎検討
モデル鋳物 E(8kg)		量産製品の鋳造条件の把握
モデル鋳物 F(16kg)		品質、生産性、コストの調査
モデル鋳物 G(7.4kg)	部品組立装置	アルミ基複合材鋳物への SiC40%材の適用 複雑形状品の鋳造条件の把握

[モデル鋳物 D の試作実験] まず、鋳造条件の基礎的検討に適した、平板形状の製品モデル鋳物 D を取り上げ、量産時の鋳造方案や加圧注湯条件などの基本的な量産鋳造条件について調査した。

モデル D の試作実験では、方案及び加圧注湯条件等を変化させて、試作評価を行い、条件の最適化を図った。試作条件の一例を、図 27 に示す。



a) 鋳造方案

b) 加圧注湯パターン

図 27 モデル D 鋳物の試作時の鋳造条件例

図 28 に、最適条件で試作したモデル鋳物 A の鋳放し素材及び鋳仕上後の鋳物の外観写真と、さらに鋳物内部の X 線透過写真をそれぞれ示す。外部、内部ともに鋳造欠陥は殆ど見られず、良好な品質の健全品が得られた。



a) 鋳放し素材

b) 鋳仕上後の外観

c) 鋳物内部の X 線写真

図 28 低圧鋳造で試作したモデル鋳物 D の外観写真と内部 X 線写真

[モデル鋳物 E、F の試作実験]

試作したモデル鋳物 E、F の鋳放し素材の外観写真を、図 29、30 に示す。湯回り不良その他の問題となるような外観不良は見られず、外観、内部品質とも良好であった。これらの鋳物は、



図 29 モデル鋳物 E



図 30 モデル鋳物 F

適正条件を求めるまでに1～3回の試作を必要としたが、これらの試作を通して、ハイブリッド砂型低圧鑄造の基礎的な鑄造条件（方案、加圧パターン等）を確立することができた。

(2) SiC40%アルミ基複合材の量産鑄造条件の確立

本研究の大きな成果のひとつは、SiC セラミックス 40%配合のアルミ基複合材鑄物の鑄造に成功したことである。その実用化の推進のため、複雑形状の量産モデル鑄物 E を取り上げ、その鑄造試作によって、SiC40%配合アルミ基複合材鑄物の量産レベルでの鑄造条件を把握する。

ここで、モデル鑄物 E は、これまで試作した鑄物とはかなり形状が異なり、また複雑であるために、その方案設計にあたっては、コンピュータによる湯流れ・凝固解析のシミュレーションを利用して、事前に鑄造方案の予備検討を行うことにした。これによって、基本的な方案を決定し、その後の鑄造試作によって、実験的に方案の最適化を図った。

【モデル鑄物 E の湯流れ・凝固解析】 湯流れ・凝固解析にあたっては、鑄造方案その他の鑄造条件を変化させて解析を繰り返し、最適化を図った。

湯流れ及び凝固解析を行った結果の一例を、図31に示す。鑄型内における溶湯の充填パターンを a) に、また凝固パターンを b) にそれぞれ示す。これらから、湯流れや

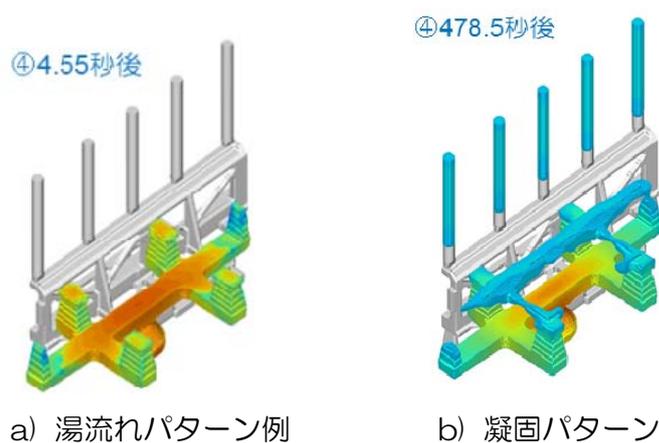


図31 モデル鑄物 E の解析結果（湯流れ・凝固過程）

凝固に起因する欠陥を予測し、それを方案設計にフィードバックして、方案の最適化を図った。それを、図32に示す。

【モデル鑄物 E の鑄造試作】 パイロット鑄造ラインで、SiC セラミックス 40%配合アルミ基複合材を用いたモデル鑄物 E の低圧鑄造試作を行った。方案は、湯流れ・凝固解析シミュレーションによって求めた図32に示す鑄造方案を参考にして設計した。

実際の最終的な鑄造方案は、試作実験により、冷し金の位置など部分的に修正が必要であった。また、加圧パターンについては、SiC40%材は湯流れへの影響度合いが大きく、最適条件を求める

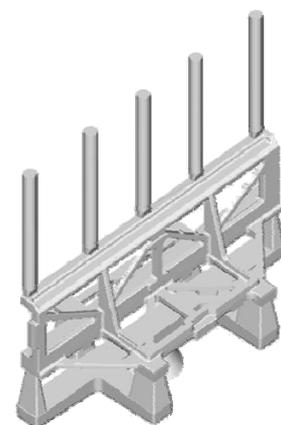


図32 最適化方案

ために、方案修正も含めて、数回の試作が必要であった。図33に、加圧力の不足で湯回り不良が発生した試作例を示す。それらの試作結果をもとに、方案や加圧パターンに不具合対策を施し、最適条件を求めて試作した結果を、図34に示す。得られたSiC40%材によるモデル鋳物Eは、外観品質、内部品質ともに良好な健全品が得られ、これらの試作によって、SiC40%材の最適鋳造条件を確立することができた。



図33 試作の不具合発生例



図34 最適条件で得られた健全品

(3) 砂型低圧鋳造と砂型重力鋳造との生産性、コストの比較

ここでは、生産性、コスト等について、低圧鋳造と重力鋳造との比較を行った。比較した製品は、モデル鋳物Dである。比較結果を、表7に示す。

低圧鋳造と重力鋳造との生産性を比較した場合、鋳込重量と廃棄材重量に大きな差がある。低圧鋳造では、鋳造方案が比較的単純であるため、鋳込重量が重力鋳造の半分以下で済み、また廃棄材も大幅に削減され、それによる材料費の低減、さらに1バッチ炉当りの生産数が2倍以上になるなど、生産性やコストが大幅に改善される。

ここで、アルミ基複合材料は、一般アルミ合金に比べて、原価に占める材料費の割合が高く、材料関連の費用削減はコスト低減に大きく寄与する。それら材料関連コストやその他の生産性に関するコスト要因等を考慮して、表7のモデル鋳物Dを例として、低圧鋳造と重力鋳造とのコスト試算をして比較した結果、低圧鋳造では、従来の約30%程度のコスト低減が可能であることがわかった。このように、ハイブリッド砂型低圧鋳造によるアルミ基複合材鋳物は、重力鋳造の場合に比べ、鋳造性、生産性、コスト等、多くの面で優位にあることがわかる。

表7 低圧鋳造と重力鋳造との生産性の比較例

製品例 (モデル鋳物D 製品重量 28kg)	鋳込重量	方案重量	方案歩留	廃棄材重量	1バッチ炉当りの生産数
重力鋳造と比較した場合の 低圧鋳造による改善効果	53% 低減	70% 低減	2.2 倍 向上	98% 低減	2.3倍 向上

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

本研究開発では、世界初の試みとして、まず、アルミ基複合材鋳物への砂型低圧鋳造法の適用について検討した。実験室レベルでの試作基礎実験においては、鋳物肉厚3mm（従来は肉厚限度8mm）が成形可能で、さらに従来の重力鋳造で最大の問題であった気泡欠陥が大幅に低減し、また外観品質や材料歩留についても顕著な改善効果が得られるなど、アルミ基複合材への低圧鋳造の適用により、極めて優れた鋳造性が得られることを明らかにした。さらに、従来鋳造法では鋳造不可能であった、SiCセラミックス配合率40%のアルミ基複合材鋳物が、低圧鋳造では鋳造できることがわかり、高剛性かつ低熱膨張の高性能アルミ基複合材鋳物を実現することができた。これは、アルミ基複合材鋳物の用途拡大や市場拡大に繋がる、最も重要な研究成果のひとつである。

次いで、砂型低圧鋳造へ、湯口遮断機構技術及び高周波押湯加熱システム等の独自開発技術を組み合わせて高度化した、革新的な鋳造法「ハイブリッド砂型低圧鋳造法」の開発に取り組んだ。湯口遮断機構及び高周波押湯加熱システム等の適用実験により、それらが砂型低圧鋳造において基本原理通りに有効に作用することを確認し、さらに試作基礎実験によりアルミ基複合材鋳物のハイブリッド砂型低圧鋳造法の基礎技術を確立し、実用化の目途を得た。

そのハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産化技術開発のため、量産実証用のパイロット鋳造ラインを設計・製作し、そのラインを用いて、各種製品モデル鋳物のアルミ基複合材による試作実験を行った。それら実用レベルの試作実験を通して、鋳造方案や加圧注湯パターン等の鋳造条件に関する技術データを収集するとともに、その最適化について検討し、アルミ基複合材鋳物のハイブリッド砂型低圧鋳造における基礎的な最適量産鋳造条件を確立した。

それらアルミ基複合材鋳物のパイロット鋳造ラインによる試作実験によって、ハイブリッド砂型低圧鋳造法における鋳物品質のほかに、材料歩留などの経済性やバッチ当り鋳造数などの生産性、製造原価その他の実用データを収集し、従来重力鋳造法との比較を行った。その結果、ハイブリッド砂型低圧鋳造法は従来重力鋳造法に比べ、品質、生産性、コストの各面において優位にあり、大幅な改善効果が得られることが明らかになった。

このように、ハイブリッド砂型低圧鋳造法の量産化により様々なメリットが期待できることから、今後、早急に量産化を行うことが必要であり、引き続きそのための実用化研究を進めていく予定である。

3-2 今後の課題

本格量産化に向けての、主な検討課題は以下のものであり、今後、実用化研究によって、それらの課題解決を図っていく予定である。

- a) 鋳造ラインにおける、材料の溶解や処理、湯口遮断作業等の工程自動化、さらに今回対象外としたパイロット鋳造ラインの、前後工程のライン化の検討を進める。

- b) 鑄造方案、加圧注湯条件等の量産鑄造条件について、さらに多くの技術データを蓄積し、技術標準化を図る。
- c) アルミ基複合材に関する材料技術（材料作成、溶湯処理、機械的・物理的性質の改善等）に関する研究開発を行う。
- d) アルミ基複合材鑄物の超音波探傷検査を、量産ラインの検査工程へ適用するための実用化研究をさらに進める。

3-3 成果の事業化、成果の普及

今後、表8の事業化計画に沿って、ハイブリッド砂型低圧鑄造法を実機製品へ展開し、アルミ基複合材鑄物の量産実用化を進めていく。

表8 ハイブリッド砂型低圧鑄造によるアルミ基複合材鑄物の事業化計画

項目	(年度)			
	H23	H26		H29
量産技術の開発と確立	(補完研究) 実機製品の量産試作実験 量産条件の確立(鑄造方案、注湯条件、溶解/注湯条件他)			
量産設備の導入		量産ライン設計	ハイブリッド砂型 低圧鑄造法ライン導入	
量産化				電子部品実装装置部品 液晶製造装置部品 半導体製造装置部品 精密工作機械部品

事業の成果については、日本鑄造協会の会誌「鑄造ジャーナル」及び各種委員会、さらに鑄造関連の学協会における研究発表や業界紙、展示会等を通じて、普及を進めていく。

参考文献)

- 1) 特願 2008-108364 「低圧鑄造装置及び方法」
- 2) 特願 2004-151768 「非鉄金属用押湯加熱装置」
- 3) 松浦、田島、高田、平山、林：日本鑄造工学会第 146 回講演大会概要集(2005)
- 4) 特願 2008-127509 「低圧鑄造用砂型及びそれを利用した低圧鑄造装置」

専門用語の解説)

■アルミ基複合材

現在、砂型重力鋳造で使用しているアルミ基複合材は、アルミニウム合金(Al-Si系)に粒径10~20 μ mの炭化けい素(SiC)セラミック粒子を均一に混合(配合率30%以下)した材料。予め溶解炉でインゴットにして、それを鋳造時に再溶解する。

■押湯

鋳型内で金属が凝固収縮する時、収縮に対する溶湯補給をするために付ける駄肉。

■高周波押湯加熱システム

砂型鋳造において、高周波加熱装置を使用して押湯を外部から強制加熱するシステムで、押湯効果を飛躍的に高めて引け巣等の鋳造欠陥を防止し、また押湯量削減により材料歩留を向上させる。

■砂型

砂を粘結材で固めて作る鋳型。粘結材には粘土や樹脂などが用いられ、本研究では多品種少量生産に向けたフラン樹脂を粘結材とするフラン自硬性鋳型を用いる。

■砂型重力鋳造法

砂型に取鍋あるいは溶解炉から溶けた金属(溶湯)を鋳型の上側の湯口から重力落下で鋳型内に流し込む鋳造法。鋳型には押湯、湯口、湯道、堰などが付属。

■鋳造方案

溶湯を鋳型に流し込む湯口・湯道・堰の設計(湯口、湯道方案)、引け巣を防止する押湯・冷し金などの設計(押湯方案)ならびに注湯温度の設定などを指す。

■注湯

鋳型に溶けた金属を流し込むこと。

■低圧鋳造法

主にアルミニウム合金において、空気圧を利用して溶湯を給湯管を通して鋳型の下側から静かに注湯する鋳造法。注湯後、鋳物が凝固するまで加圧保持する。鋳型には主に金型を使用するが、試作や高品質な大型鋳物の少量生産などでは砂型も使用する。

■引け巣

鋳型内で金属が凝固収縮する時、収縮に対する溶湯補給の不足によってできる鋳物内部の空隙(内引け欠陥)あるいは外部の凹み(外引け欠陥)。

■超音波探傷試験(検査)

超音波を試験体中に伝えたときに、試験体を示す音響的性質を利用して、試験体の内部欠陥、材質などを調べる非破壊試験。略記号 UT。

■X線透過試験(検査)

放射線透過試験の一種で、放射線を試験体に照射し、透過した放射線の強さの変化から欠陥の状態などを調べる非破壊試験。線源として、X線、 γ 線又は中性子線が用いられ、本研究では線源としてX線を用いた。略記号 RT