

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「振動プロセスによる高品質、高強度、高信頼性
自動車用アルミニウム部品創製技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人中部科学技術センター

目次

第1章 研究開発の概要	1
1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1 - 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者、協力者）	2
1 - 3 成果概要	6
1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口	7
第2章 ダイカストに関する研究開発	8
2 - 1 研究目的及び目標	8
2 - 2 実施内容 【1】	8
2 - 3 研究成果	11
2 - 4 今後の課題	11
2 - 5 豊田工業大学における基礎研究	12
第3章 金型鋳造に関する研究開発	15
3 - 1 研究目的及び目標	15
3 - 2 実施内容	15
3 - 3 研究成果	24
3 - 4 今後の課題	27
第4章（最終章）全体総括	28
4 - 1 研究開発成果	28
4 - 2 研究開発後の課題・事業化展開	29

研究開発成果等報告書

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

本研究開発は、「中小企業の特定期ものづくり基盤技術の高度化に関する指針」のうち、以下の項目に対応した研究開発である。

(十) 鑄造に係る技術に関する事項

(1) 自動車に関する事項

川下製造業者等の抱える課題及びニーズ・・・オ．軽量化

自動車産業では環境問題（CO2の削減）安全問題への対応から、車体の軽量化が求められている。このため、a). 材料の高強度化、b). 鑄造技術の改善による薄肉化、c). 鑄鉄からアルミニウムへ、アルミニウムからマグネシウム・樹脂への材料転換、d). 構造の見直しによる部品の一体化（複雑形状一体成形化、低コスト化）が進展している。例えば、エンジンプロックは従来鑄鉄製が主流であったが、現在では軽量金属であるアルミニウム製が主流となっている。このように、車体の軽量化は急速に進展しており、自動車一台当りのアルミニウム使用量は2000年には約100kgであったものが、2010年には130kgへと飛躍的に拡大すると予測されている。

このためには、高品質、高強度でバラツキが少なく、信頼性の高いアルミニウム部品の開発、さらには部品の複雑形状一体成形化を可能とする鑄造技術の開発、溶接接合等が可能なアルミニウム部品の開発等のニーズが高まっている。

1-1-2 研究目的及び目標

本研究開発は、溶融・凝固途中のアルミニウム合金に振動を付与することによって組織を微細化する技術（本技術の基盤技術となる。）を確立するとともに、アルミニウム部品実用化のための周辺技術（金型、設備等）も含めた総合的な鑄造技術の開発を行なう。

具体的には、溶融・凝固途中のアルミニウム合金に機械的振動または超音波振動等を付与しながら鑄造することにより、晶出してくる結晶粒を小さく分断し、最終的な凝固組織を微細化する。これにより、アルミニウム鑄造部品の基地組織が微細化し、内部欠陥や異常組織等も大幅に減少する。この結果、現状のアルミニウム鑄造部品と比較し、内部欠陥が少なく、異常組織の発生も抑えられ、品質が安定し、強度が向上するとともにバラツキも大幅に減少し、信頼性の高い自動車用アルミニウム部品の創製が可能となる。

1-1-3 研究の概要

自動車産業では車体の軽量化が求められている。本研究開発では、鉄系材料を軽量金属であるアルミニウムに置き換え可能な鑄造技術を開発する。具体的には、溶融・凝固途中のアルミニウム合金に振動を付与することにより結晶粒を微細化して、高品質、高強度、高信頼性の自動車用アルミニウム部品を、低コストで創製するための新たなダイカストおよび金型鑄造に関する鑄造技術を開発する。

具体的には、平成19年度～平成21年度に亘り、下記の研究開発テーマ【1】～【7】を実施した。

- 【1】 アルミニウム合金の組織微細化に及ぼす各種振動方式の振動条件の影響
- 【2】 ダイカストおよび金型鑄造に最適な振動方式の決定と付帯する制約条件の影響
- 【3】 塗型材、潤滑剤、離型剤等の鑄造環境因子の最適条件の決め込み
- 【4】 ダイカストおよび金型鑄造に適合した振動付与装置の開発
- 【5】 振動付与装置の現有鑄造機との適合性評価
- 【6】 最適鑄造方案および金型仕様の決め込み
- 【7】 振動プロセスによる自動車部品の試作品、量産品の品質、コスト目標の達成

特に、3年目である平成21年度は、平成19年度及び平成20年度の研究開発で得られた知見をもとに開発・設計・製作・改良した振動装置を装備した鋳造機を用いて、前年度までの研究開発テーマ【1】～【6】項の総合評価として下記三つのテーマについて検証を行ない実用化に結びつける研究開発を実施した。

- アルミニウム合金の組織微細化に及ぼす最適鋳造条件の抽出・決定
- 振動プロセスに最適な鋳造方案および金型仕様の検討と改良および検証
- 振動付与装置、鋳造機の量産を前提とした改良及び制御システムの開発・設計・製作

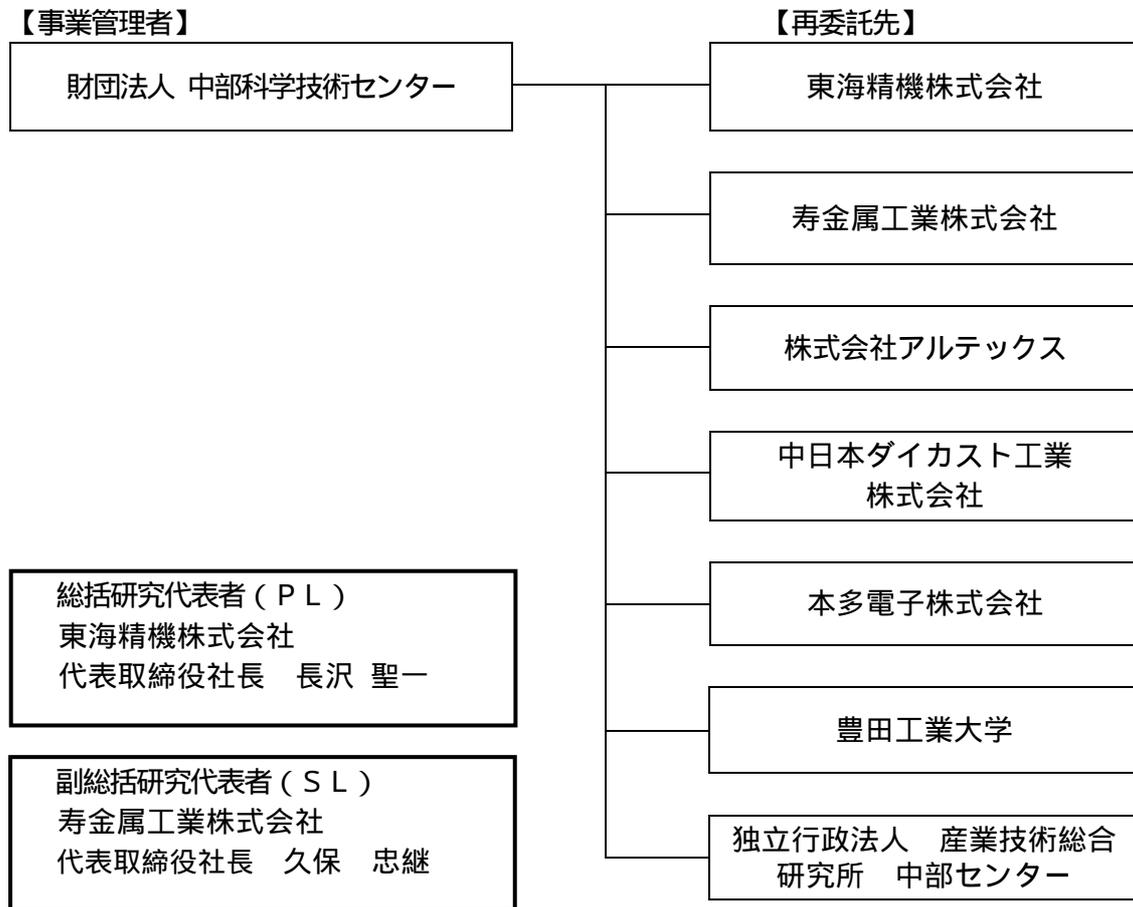
加えて、新たに平成21年度の計画である研究開発項目の【7】項に該当する次のテーマについて研究開発を行なうとともに、事業化を検討した。

- 振動プロセスによる自動車部品の試作品、量産品の品質、コスト目標の達成
- 事業化の検討

また、本研究開発の円滑な推進を図るため、事業管理者を中心にプロジェクトの進捗状況を定期的にチェック・フォローする体制で推進した。

1 - 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者、協力者）

1 - 2 - 1 研究組織（全体）



1 - 2 - 2 研究開発分担・・・(主たる研究実施場所については、下線表記)

ダイカストに関する研究開発

中日本ダイカスト工業株式会社

〒504 - 0014 岐阜県各務原市那加山崎町 87-1

東海精機株式会社

〒438 - 0078 静岡県磐田市中泉 2830 番地

株式会社アルテックス

〒434 - 0013 静岡県浜松市浜北区永島 521 番地

本多電子株式会社
 〒441 - 3193 愛知県豊橋市大岩町小山塚 20 番地
 豊田工業大学
 〒468 - 8511 愛知県名古屋市天白区久方 2 丁目 12 番地 1

金型鑄造に関する研究開発

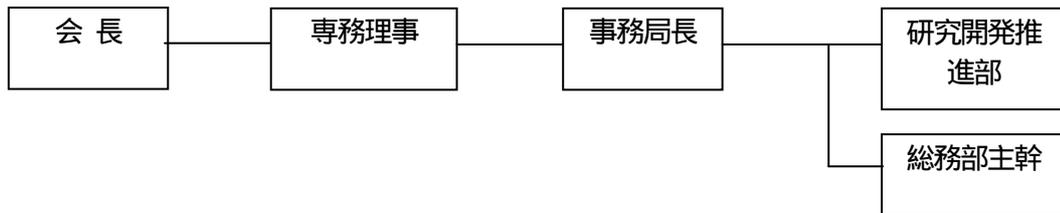
寿金属工業株式会社 本社工場
 〒445 - 0892 愛知県西尾市法光寺町北山 1 番地
 寿金属工業株式会社 関工場
 〒501 - 0814 岐阜県関市西田原字戸尻 65 番 1

本多電子株式会社
 〒441 - 3193 愛知県豊橋市大岩町小山塚 20 番地
 独立行政法人産業技術総合研究所
 中部センター サステナブルマテリアル研究部門
 〒463 - 8560 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-98

1 - 2 - 3 管理体制

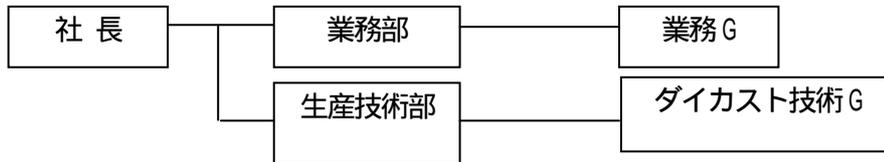
【事業管理者】

財団法人 中部科学技術センター

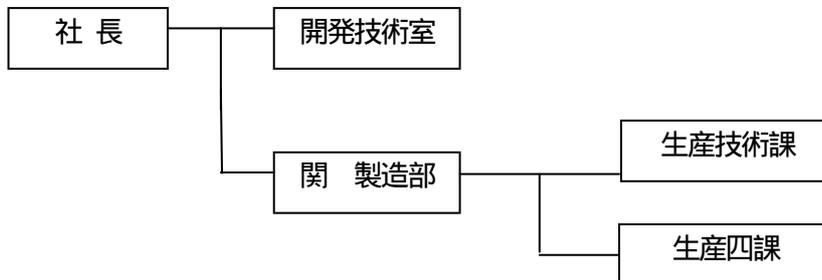


【再委託先】

東海精機株式会社



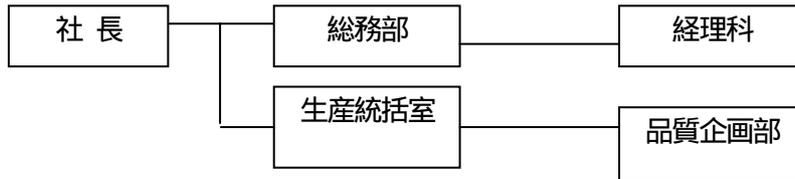
寿金属工業株式会社



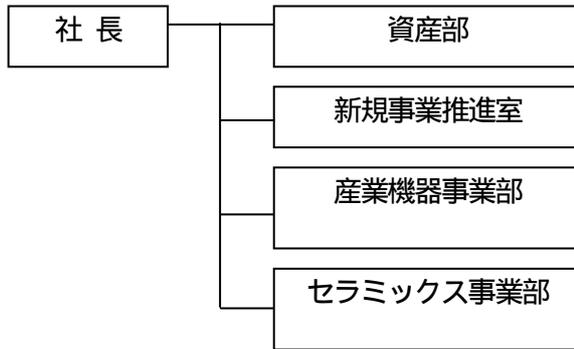
株式会社アルテックス



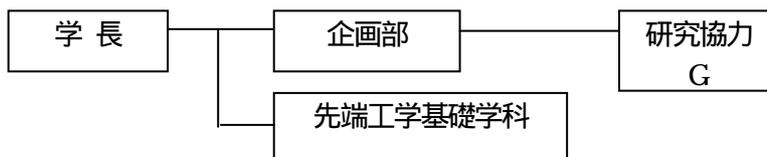
中日本ダイカスト工業株式会社



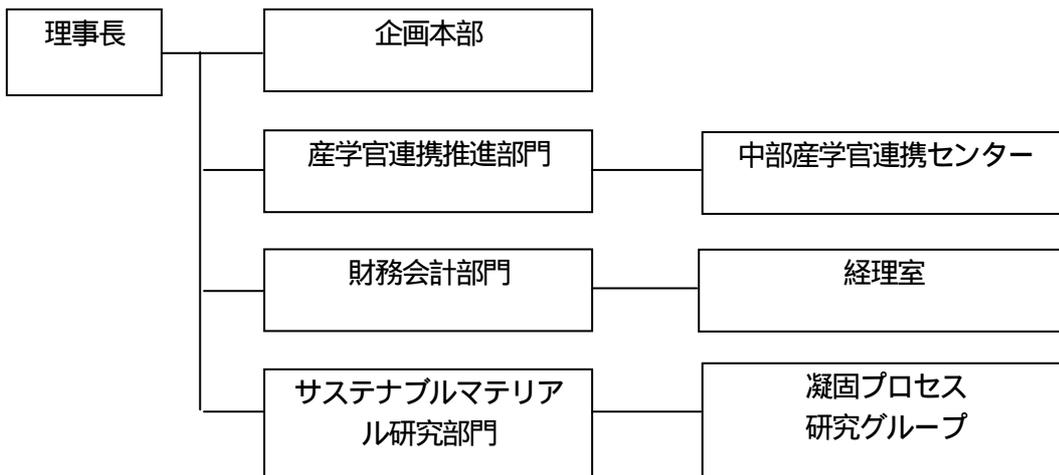
本多電子株式会社



豊田工業大学



独立行政法人 産業技術総合研究所 中部センター



1 - 2 - 4 管理員及び研究員

【事業管理者】 管理員のみ

財団法人 中部科学技術センター

氏名	所属・役職	備考
永田達也	研究開発推進部長	
福嶋 昭	研究開発推進部 担当部長	
大沢秀敏	研究開発推進部 担当部長	
平澤 進	研究開発推進部 主幹	
宮島和恵	研究開発推進部 主任	
高須容功	研究開発推進部 主任	

【再委託先】 研究員のみ

東海精機株式会社

氏名	所属・役職	備考
長沢 聖一	代表取締役社長	総括研究代表者
大田 博巳	生産技術部 次長	
青島 衛	生産技術部 ダイカスト技術G 課長	
市川 真吾	生産技術部 ダイカスト技術G 主任	

寿金属工業株式会社

氏名	所属・役職	備考
久保 忠継	代表取締役社長	副総括研究代表者
横井 光義	元常務取締役	
古川 秀樹	開発技術室課長	
谷川 昌司	関製造部次長	
原田 雅行	開発技術室課長	
野畑 元亨	関製造部 設備保全課課長代理	
森田 紘嘉	関製造部 生産技術係班長	

株式会社アルテックス

氏名	所属・役職	備考
長沢 聖一	代表取締役社長	研究統括
伊藤 憲昭	元代表取締役社長	
池田 幹委	業務部	
塩沢 和彦	本社工場製造部 技術員室室長	
鈴木 卓二	本社工場製造部 技術員室係長	
竹内 章仁	本社工場製造部 技術員室	

中日本ダイカスト工業株式会社

氏名	所属・役職	備考
井戸 龍雄	取締役 生産統括室長	研究統括
武山 喜嘉	執行役員 品質企画部長	副研究統括
石田 敏規	品質企画部担当	
日比加瑞馬	品質企画部担当	
長谷川沙織	品質企画部担当	

本多電子株式会社

氏名	所属・役職	備考
宮本 年昭	新規事業推進室 専務取締役部長	研究統括
岡田 長也	新規事業推進室 課長	
向坂 秀雄	新規事業推進室 課長	
渋谷 信長	産業機器事業部 係長	
村井 勇氣	セラミックス事業部	

豊田工業大学

氏名	所属・役職	備考
恒川 好樹	先端工学基礎学科 教授	

独立行政法人 産業技術総合研究所 中部センター

氏名	所属・役職	備考
三輪 謙治	サステナブルマテリアル研究部門・主幹研究員・グループリーダー	研究統括
田村 卓也	サステナブルマテリアル研究部門・研究員	
尾村 直紀	サステナブルマテリアル研究部門・研究員	
李 明軍	サステナブルマテリアル研究部門・研究員	
村上 雄一郎	サステナブルマテリアル研究部門・研究員	

1 - 2 - 5 アドバイザー

株式会社豊田自動織機

氏名	所属・役職	備考
平野 春好	エンジン事業部東知多工場 主査	

株式会社デンソー

氏名	所属・役職	備考
高木 博己	生産技術開発部 主幹	

1 - 3 成果概要

1 - 3 - 1 ダイカストに関する研究開発

スリーブ内で超音波を付与すると、チップ界面では微細化効果が観られるものの製品内部の結晶粒微細化効果は得られなかった。

スリーブ内で超音波を付与すると、破断チルは粉碎されるが粉碎された破断チルが製品内部に混入し強度を低下させる要因となった。

スリーブ内で超音波を付与すると、超音波付与の効果よりも冷却速度の影響が強く現れた。

超音波を付与する場合は、ホーン、スリーブ等を余熱する必要がある。

豊田工業大学の基礎研究の結果、超音波を付与することによって晶出する非平衡 -Al相は共晶温度以上で晶出し、共晶温度以上での存在寿命も数秒は認められた。また、微細粒状化した初晶Si粒は液相線温度以上でも存在寿命が数分は認められた。

1 - 3 - 2 金型鑄造に関する研究開発

振動付与により厚肉鑄物、薄肉鑄物とも金型への転写性は増し、中子砂の焼き付きも認められる。砂中子を必要とされる鑄物に対しては、砂中子の焼き付きを除去するために、後工程でショットブラスト等の工程を必要とする。

振動付与により厚肉鋳物、薄肉鋳物とも内部欠陥は小さく、或いは分布範囲が小さくなる。圧漏れ不良は厚肉鋳物に対しては、振動付与の効果が著しい。機械的性質に関しては、伸びの改善効果は認められるが、強さへの効果は明瞭でない。

振動付与の条件により、場合によっては外引け、偏析等の外観の欠陥が現れる。偏析が製品表面に残存し、その部位に負荷がかかる場合、破壊の起点となり、強度が低下する。従って、適切な振動の部位、条件の選定、或いは偏析の出る箇所を制御する必要がある。

振動子の種類により、振動の立ち上がりの遅れ、振動周波数、遠心力が異なり、金型への振動付与による金型の変位も異なる。従って、金型及び鋳物にあったものの選定の必要がある。

振動付与と鋳造に関する研究をもとに、2件の特許出願をし、4件の研究発表、及び5件の論文発表をした。

1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口

事業管理者

住所：愛知県名古屋市中区栄二丁目 17 番 22 号 名称：財団法人中部科学技術センター 代表者役職・氏名： 会長 野嶋 孝 連絡先：Tel (052) 231-3043 Fax (052) 204-1469
連絡担当者所属役職・氏名：研究開発推進部長 永田達也 Tel： (052) 231-3043 Fax： (052) 204-1469 E-mail： h.sado@cstc.or.jp

総括研究代表者

副総括研究代表者

(フリガナ)：ナガサワ セイイチ 氏名：長沢 聖一 所属組織名：東海精機株式会社 所属役職：代表取締役社長 Tel：(0538) 32-2126 Fax：(0538) 35-2164 E-mail：nagasawa @toukai-seiki.co.jp	(フリガナ)：クボ タダツグ 氏名：久保 忠継 所属組織名：寿金属工業株式会社 所属役職：代表取締役社長 Tel：(0563) 56-3551 Fax：(0563) 56-5689 E-mail：kubo_tadatsugu @kotobukikinzoku.co.jp
--	--

第2章 ダイカストに関する研究開発

2-1 研究目的及び目標

本研究開発では、鉄系材料を軽量金属であるアルミニウムに置き換え可能な鑄造技術を開発する。具体的には、溶融・凝固途中のアルミニウム合金に超音波振動を付与することにより結晶粒を微細化して、高品質、高強度、高信頼性の自動車用アルミニウム部品を、低コストで創製するための新たなダイカストに関する鑄造技術を開発する。

平成21年度では実施計画書に基づき、実施内容【1】として ~ の計画を実施した。

2-2 実施内容【1】

アルミニウム合金の組織微細化に及ぼす最適条件の抽出・決定
振動プロセスに最適な鑄造方案及び金型仕様の検討と改良および検証
振動付与装置、鑄造機の量産を前提とした改良及び制御システムの開発・設計・製作
振動プロセスによる自動車部品の試作品、量産品の品質、コスト目標の達成
事業化の検討

これらの計画を実施するために具体的に次の事項を実施した。

- 2-2-1 超音波の影響度の調査
- 2-2-2 プランジャーチップにピスケットが張り付き離型しないという現象の解明・改良
- 2-2-3 超音波の影響度を製品部まで伝達できる方策の検討

2-2-1 超音波の影響度の調査

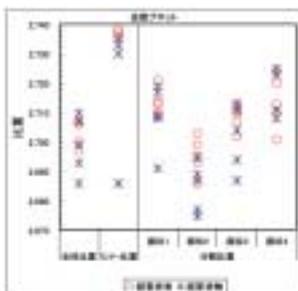
1) 試作用金型での品質評価結果

超音波付与有り・無し2条件の製品を鑄造し、比重測定・引張試験・組織観察を行った。

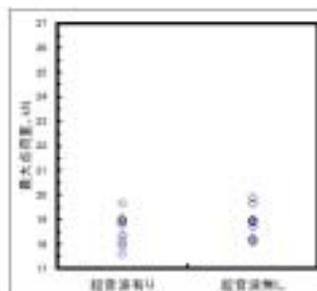
製品の全体比重と製品を分割し各部位の比重を測定し、超音波付与有無の比較をした結果を図D-1に示す。超音波有無での大きな差はないが、超音波有りの方がバラツキは小さかった。

次に、専用治具で製品を固定して引張試験を行った。引張試験結果を図D-2に示す。超音波有無での差はほとんどなかった。

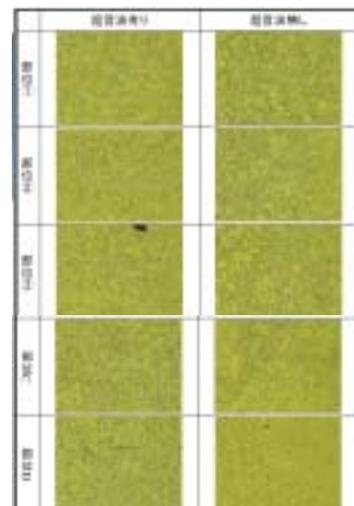
さらに、製品を切り出し超音波有無のミクロ組織を比較した結果を図D-3に示す。超音波を付与しても微細化は認められなかった。また、マクロ組織を比較すると超音波有りのチップ側だけ、組織が微細化していることが観察された。このことから、超音波の効果はチップ接面だけに観られ製品内部には及んでいないことが解った。



図D-1 比重測定結果



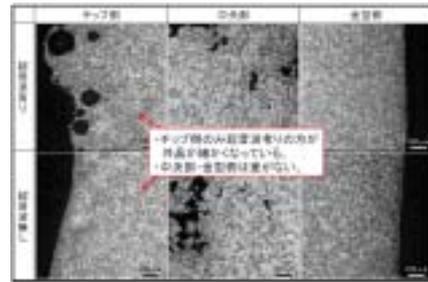
図D-2 引張試験結果



図D-3 ミクロ組織

2) スリーブ内凝固片の組織観察結果

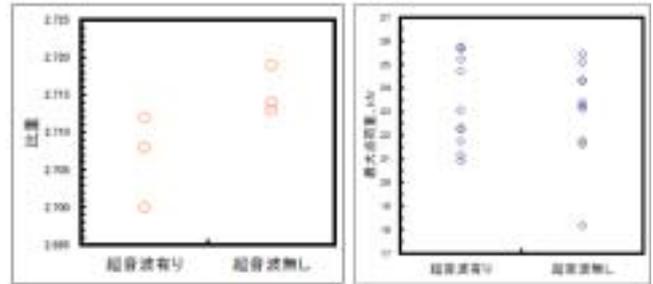
スリーブ内でアルミニウム合金溶湯を超音波有り・無しの2条件で凝固させ、マクロ組織・ミクロ組織を比較した。スリーブ内での凝固は、スプール铸造時よりも凝固に時間がかかるため、長時間に亘り超音波を付与し効果を確認した。結果は、図D-4に示すように超音波有りのチップ側だけ組織が微細化しているのが観察された。



図D-4 スリーブ内凝固片 ミクロ組織

3) テストピース金型での品質評価結果

テストピース金型でサンプルを作製し、比重測定・引張試験・マクロ組織観察・ミクロ組織観察を行った。比重は図D-5に示すように超音波無しの方が高かった。引張試験結果は、図D-6に示すようにほとんど差がなかった。また、マクロ組織・ミクロ組織を観察した結果、チップ界面には微細化効果が観られたが、それ以外の部位には微細化効果が観られなかった。

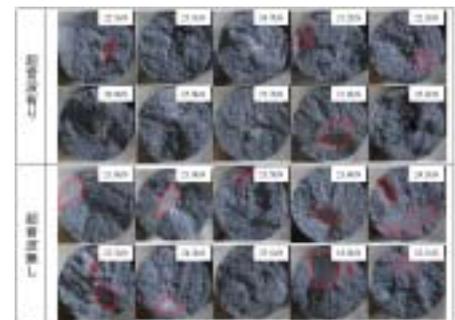


図D-5 比重測定結果

図D-6 引張試験結果

次に、引張試験後のテストピースの破断面を観察した。図D-7に示すように超音波有りの方は破断チルが細かく、破断面にはガス巣が多いことが解った。また、超音波有りの方は超音波無しよりも破断面に大きな破断チルが少なかった。

以上のことから、超音波により破断チルが粉碎されたと推測された。



図D-7 引張り試験破断

4) テストピース金型と試作用金型の比較結果

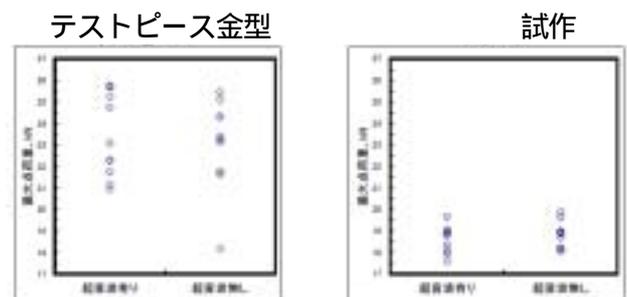
テストピース金型と試作用金型の引張試験の比較結果を図D-8に示す。テストピース金型と試作用金型では、超音波有り・無しで引張試験結果が相反する結果となった。

また、試作用金型では超音波なしのゲート部付近に大きな破断チルが観察された。

試作用金型は、キャビティへの充填速度を上げるためゲート断面積が小さく、これによりゲート手前で大きな破断チルは止まるが、超音波により粉碎された微細な破断チルはキャビティ内へ混入していくため、引張強さを低下させる原因になっていると思われる。

一方、テストピース金型は、ランナー部、ゲート部及びテストピース部とも同じ径であるため、超音波有り・無しに関わらず破断チルがテストピース内へ混入しやすい形状となっている。

以上のことから、テストピース型と試作用金型では破断チルの混入に差があり、引張試験結果を同等に扱うことは出来ないと言える。



図D-8 テストピース/試作用金型の

引張試験結果比較

2-2-2 プランジャーチップにビスケットが焼付き離型しないという現象の解明・改良

当初から問題となっていたプランジャーチップへの焼付き現象について調査した。超音波を付与して铸造した後、プランジャーチップへのアルミの焼付きが認められた。

一方、超音波無しの条件ではアルミの焼付きは起こらなかった。また、焼き付き以外にも铸造5ショット

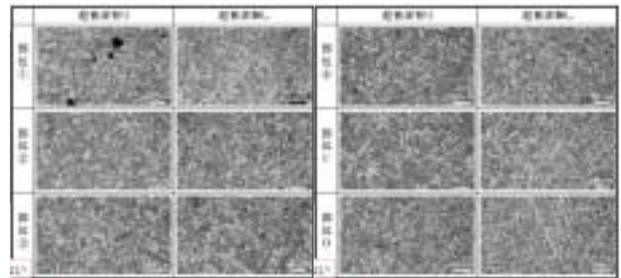
程度で射出時に異音が発生し、プランジャーチップにカジリが認められ連続鋳造が出来ない状態となった。
 焼付き・カジリ現象を解明するため、プランジャーチップへの潤滑剤の付着状況を観察した。超音波を付与するとチップ潤滑剤が飛散し、プランジャーチップから剥がれていることが解った。粘性の高い潤滑剤でもテストしてみたが同様に剥がれてしまうため、プランジャーチップ自体をアルミが焼付かない条件にする必要があることが解った。

調査結果より、アルミの焼付き防止のためプランジャーロッド・チップに表面処理を施した。その結果、アルミの焼付きは低減し、連続鋳造をしても異音がしなくなりカジリも大幅に低減出来た。

2 - 2 - 3 超音波の影響度を製品部まで伝達できる方策の検討
 これまでの結果を踏まえて、下記の改良実験を行った。

- 1) 試作用金型の形状追加実験
- 2) スリーブ内中間停止実験

1) 試作用金型の形状追加実験
 スリーブ充填率が低いいため超音波振動が伝わらないと考え、試作用金型にダミーを取り付け、スリーブ充填率を上げた鋳造実験を行った。その結果、超音波有りの方がゲート付近の破断チルは細かくなった。また、チップ界面には微細化が観られた。一方、図D-9に示すように製品内部には超音波による微細化効果が観られなかった。



図D-9 製品部マイクロ組織

2) 1 スリーブ内中間停止方式の検討

従来までの実験では、製品内部には超音波による微細化効果が観られなかった。溶湯に超音波を出来るだけ長く付与することを考え、射出時にスリーブ充填率が約80%になる位置でプランジャーロッドを一旦停止する方式を検討した。鑄込み重量とスリーブ内寸法から、スリーブ充填率が約80%になる位置で一旦中間停止させ、その後射出する鋳造方式とした。

2) - 2 スリーブ内中間停止によるスリーブ内凝固片作製実験

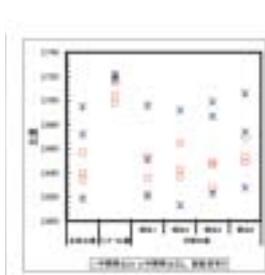
注湯後、超音波有り・無しの2条件でプランジャーロッドを中間停止させ、射出せずそのまま凝固させた。超音波の付与は凝固終了時まで連続して行った。その結果、超音波を付与すると溶湯がゲートを通過し、製品部にまで到達していることが解った。また、超音波有りの条件ではスリーブの内壁に沿って凝固していることが解った。さらに、作製したスリーブ内凝固片の断面組織を観察した結果、スリーブ充填率約80%で超音波を付与しながら凝固させると、チップ端面だけでなくサンプル中央部まで微細化効果が得られることが解った。

2) - 3 スリーブ内中間停止による試作用金型での鋳造実験

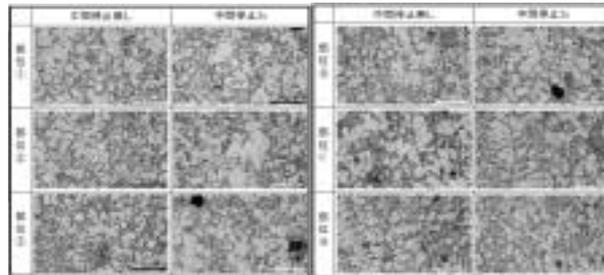
スリーブ内で中間停止させた場合、溶湯温度低下により射出出来ない可能性があると考えた。そこで、スリーブ内で溶湯を何秒間保持出来るのかを調べた。その結果、製品形状を得るためには中間停止時間は2秒が限界であることが解った。

2) - 4 スリーブ内中間停止した場合の品質評価結果

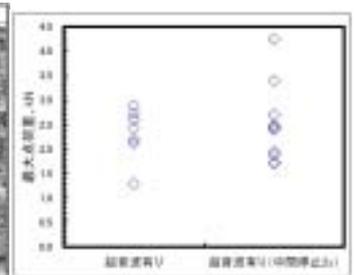
中間停止時間2秒で鋳造した製品の比重測定・組織観察・引張試験を行った。比重測定結果を図D-10に示す。比重は、中間停止無し・超音波無しの条件とほぼ同等でバラツキが小さくなることが解った。また、マイクロ組織は図D-11に示すように、中間停止無しの条件とほとんど差がなく微細化も観られなかった。ランナー部のマイクロ組織を観察すると、中間停止有りの場合は他の条件よりも微細である様に観られた。そこで、ランナー部から引張試験片を切り出し、引張試験を行った。ランナー部の引張試験結果は図D-12に示すように、中間停止有りの方が稀に最大点荷重が高いものもあるが、ほとんどが中間停止無しのものと同様であった。



図D-10 中間停止比重測定



図D-11 ミクロ組織

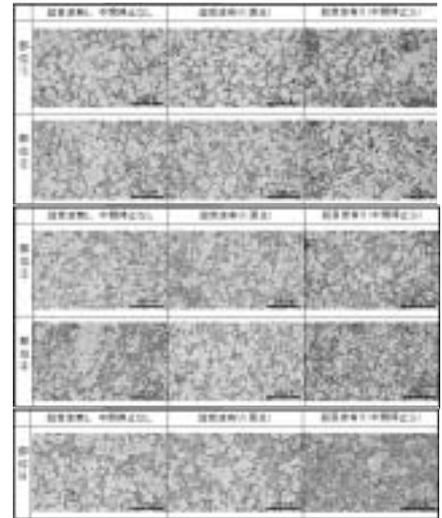


図D-12 引張試験

2) - 5 A金型でのスリーブ内中間停止実験

前述した試作用金型で、充填率を上げるために追加したダミー部分が超音波付与に悪影響を与えているかも知れないと考え、A金型を用いて同様の評価を行った。比重測定結果から、比重は中間停止を付与すると若干高くなることが解った。引張試験結果から、各条件とも上限値は同じであるが、下限値は超音波有り・中間停止有りの方が低くなることが解った。

ランナー部のマクロ組織観察結果より、超音波を付与すると中間停止に関係なく破断チルがゲート付近まで流れていることが解った。また、製品内部のマクロ組織を観察すると、超音波の付与により製品内に破断チルが混入していることが解った。ミクロ組織は図D-13に示すように、超音波有り・無しによる差はなく微細化効果も観られなかった。



図D-13 ミクロ組織

以上の実験結果から、次のことが判明した。

量産ダイカストマシンではスリーブ・チップの温度が低く、注湯後すぐに破断チル層が発生する。この状況下で、スリーブ内で超音波を付与するとこの破断チル層を破壊しつつ、次の破断チル層の生成を助長し、加えて破壊された微細な破断チルが製品内部まで混入し強度低下の原因となるものと考えられる。

よって、スリーブ内での超音波付与では超音波による結晶粒微細化効果より、冷却による破断チル層の影響の方が強く現れる結果となる。また、鑄造中にロッドの冷却金具が折れるという現象が起きており、超音波振動が溶湯に十分伝播されず、溶湯以外にも逃げている可能性があることも考えられる。

改良実験の結果から、現状の方式ではスリーブ内で超音波を付与しても結晶粒微細化の効果を得るのは困難であるという結論に至った。よって、超音波による微細化効果を得るためにはスリーブ・ロッド等を高温に余熱するか、又は超音波を付与する位置をスリーブ以外についても検討も必要があり、超音波付与のタイミングとしては実用性も考慮し注湯前に超音波付与する方法についても検討する必要があると判断した。

2 - 3 研究成果

これまでの実験より、ダイカスト鑄造における超音波付与について下記のことが解った。

スリーブ内で超音波を付与すると、チップ接面では微細化効果が観られるものの製品内部の結晶粒微細化効果は得られなかった。

スリーブ内で超音波を付与すると、破断チルは粉碎されるが粉碎された破断チルが製品内部に混入し強度を低下させる要因となった。

スリーブ内で超音波を付与すると、超音波付与の効果よりも冷却速度の影響が強く現れた。

超音波を付与する場合は、ホーン、スリーブ等を余熱する必要がある。

2 - 4 今後の課題

スリーブ内で超音波を付与しても効果が得られなかったため、余熱等も含め超音波付与のタイミング・超音波付与の方法を実用性も考慮した上で再度検討する必要があるため、今後も継続して研究開発を推進する。

2 - 5 豊田工業大学におけるアルミニウム合金の組織微細化に及ぼす超音波振動の影響に関する基礎研究

2 - 5 - 1 共晶 Al-Si 合金溶湯内の音響キャビテーションに伴う核生成に関する研究

1) 実験目的

超音波照射場での共晶 Al-Si 合金晶出過程への影響を調査し、ソノ凝固に特徴的なマイクロ組織（塊状 α -Al 相と微細塊状初晶 Si 相）の晶出メカニズムを検討する。

超音波照射場における Al-Si 合金の凝固（ソノ凝固）に関する最近の研究報告として、下記が報告されている。

- ・液相温度以上での超音波照射による結晶粒微細化・・・[参考文献 1, 2]
- ・過共晶 Al-Si 合金中への超音波照射による非平衡 α -Al 相の晶出および初晶 Si 粒の微細粒状化・・・[参考文献 3] 図 T - 1

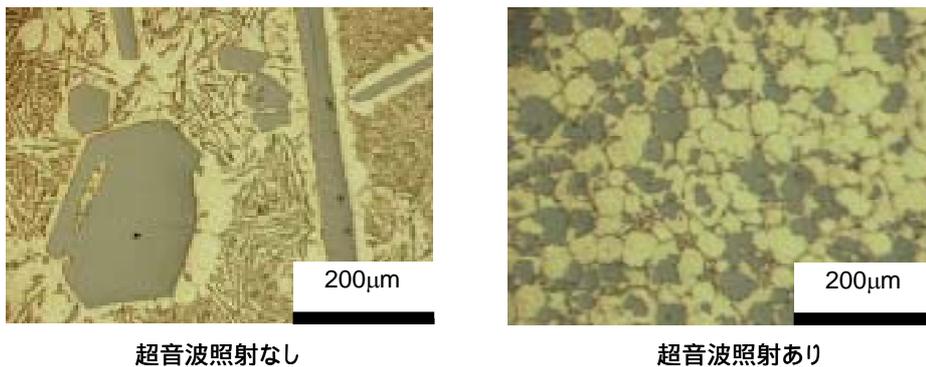


図 T - 1 過共晶 Al-Si 合金の超音波加振の有無による凝固組織の差

2) 実験方法

共晶温度(577)以上に Al-12.6wt%Si 合金溶湯（共晶組成）を保持し、超音波照射を行い超音波照射によって状態図が変化するか観察する。（ α -Al および Si の晶出）

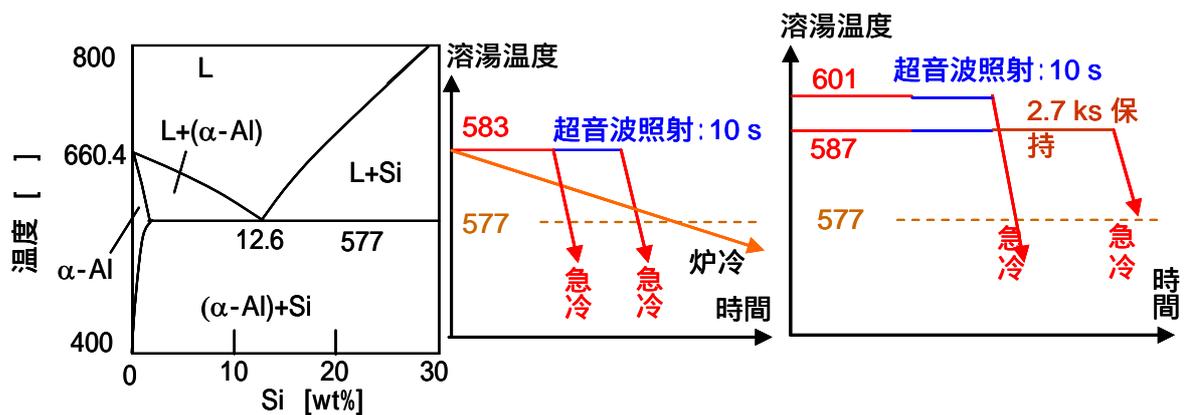


図 T - 2 実験条件（共晶温度以上で超音波照射を行い急冷する）

- 実験 1 : 583 (液相のみの状態)で 10 秒間超音波照射を行い、直ちに急冷
 583 から超音波照射をしないで急冷
 583 から炉冷
- 実験 2 : 583 (液相のみの状態)で 10 秒間超音波照射を行い、直ちに急冷 標準
 601 で 10 秒間超音波照射を行い、直ちに急冷
 587 で 10 秒間超音波照射を行い、同温度で 2700 秒間保持した後急冷

3) 実験結果

実験 1

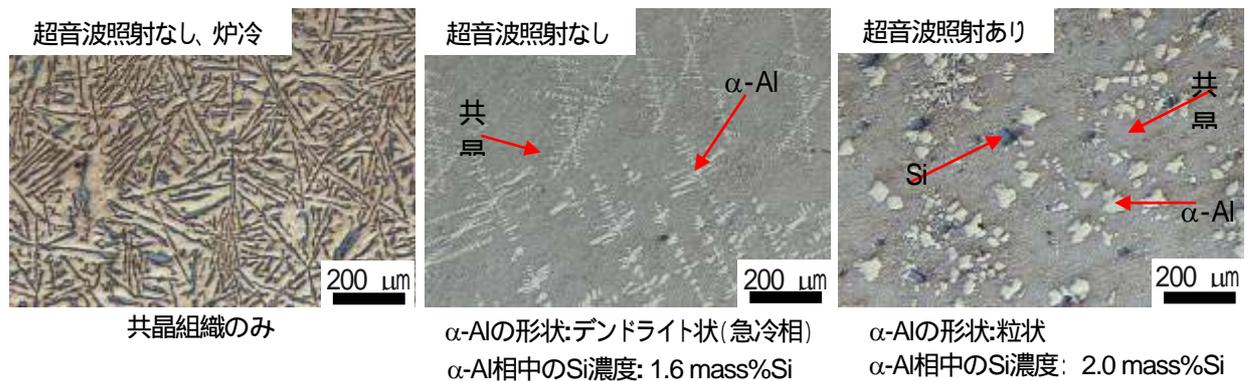


図 T - 3 実験 1 によって得られたマイクロ組織

超音波照射なしで炉冷したマイクロ組織には、 α -Al と Si からなる粗い共晶組織のみ

超音波照射なしで 583 から急冷したマイクロ組織には、急冷により分離共晶のデンドライト状 α -Al 相と共晶組織

583 で 10 秒間超音波照射した後急冷したマイクロ組織には、非平衡の塊状 α -Al と塊状 Si、共晶組織

超音波照射によって生成した α -Al 内の Si 濃度は、急冷凝固による α -Al 相内の Si 濃度より高い。

実験 2

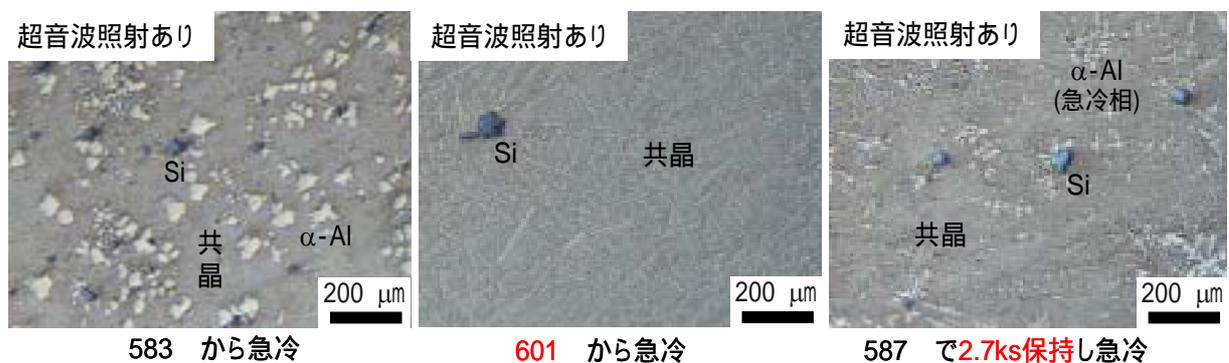


図 T - 4 実験 2 によって得られたマイクロ組織

583 で 10 秒間超音波照射した後急冷したマイクロ組織には、非平衡の塊状 α -Al と塊状 Si、共晶組織

601 で 10 秒間超音波照射した後急冷したマイクロ組織には、非平衡の塊状 Si と、共晶組織

587 で 10 秒間超音波照射した後同温度 2700 秒保持後急冷したマイクロ組織には、非平衡 Si、共晶組織

超音波処理時の溶湯温度が低いほど、粒状 α -Al と Si 粒が多数晶出する

超音波照射から急冷処理まで時間が長くなる程、露出する粒状 α -Al と Si 粒が減少する

4) 初晶 Si の微細粒状化, 粒状 α -Al 相の晶出メカニズム

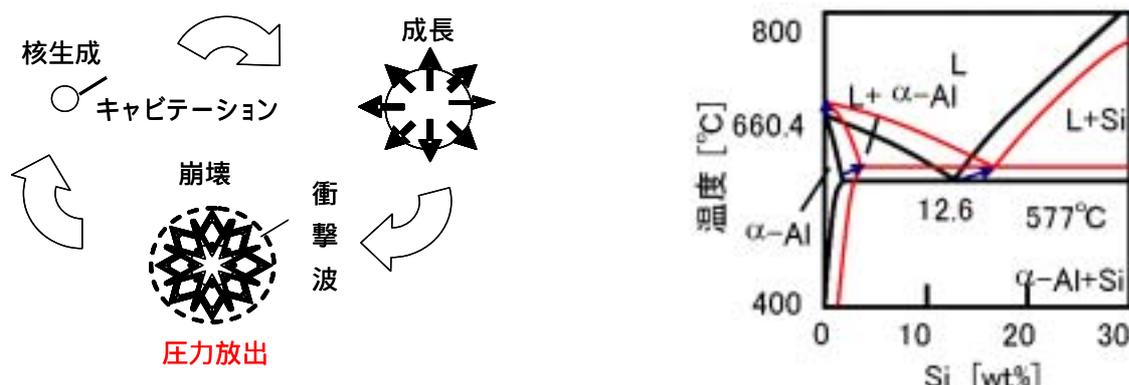


図 T- 5 キャビテーション崩壊時の圧力放出、Al-Si 合金の高圧下における平衡状態図
(α -Al の液相線温度の上昇)

キャビテーション崩壊に伴う高圧力の放出

非平衡 α -Al 相は、凝固に伴い体積収縮する 高圧下では凝固温度が上昇する。

大気圧下では液体であっても、高圧下では固体になる。

超音波キャビテーションによって、核生成が促進し

初晶 Si 相は、凝固に伴い体積膨張する 高圧下では凝固温度が低下する。

大気圧下では固体であっても、高圧下では液体になる。

共晶 Al-Si 合金の超音波照射下における凝固組織のうち、塊状 α -Al 相はキャビテーションの崩壊に伴う高圧により平衡状態図が高温側に移動するため生じる。しかしながら、塊状 Si 相は、 α -Al 相晶出によって溶湯組成が過共晶となり、Si が晶出するかキャビテーション気泡（異質核）への晶出が予想される。

5) 研究の成果

超音波照射によって晶出する非平衡 α -Al 相は共晶温度以上で晶出し、共晶温度以上での存在寿命も数秒は認められる。また、微細粒状化した初晶 Si 粒は、液相線温度以上でも存在寿命が数分は認められる。

超音波照射下における Al-Si 合金の凝固には、音響キャビテーションと音響流がきわめて重要な役割を果たすことが明らかになった。

6) 今後の課題

超音波照射による特徴的なミクロ組織の晶出は、亜共晶組成では、粒状初晶 α -Al 相の晶出と鉄化合物の微細粒状化にあり、過共晶組成では、非平衡塊状 α -Al 相、微細粒状初晶 Si 相、微細鉄化合物にある。

- ・ 共晶組成に近い ADC12 合金の場合、初晶 α -Al 相と塊状 Si 相を晶出させるには、共晶温度直上で長時間の照射が必要とされる。特徴的なミクロ組織を得るためには、超音波照射に適した Si 濃度が 7 wt% くらいのダイカスト合金の開発が望まれる。
- ・ 過共晶 Al-Si 合金では、非平衡 α -Al 相と微細粒状 Si 相が比較的容易に晶出することから、過共晶組成の半溶融鋳造あるいは半凝固鋳造が超音波照射プロセスには適すると思われる。
- ・ 非平衡 α -Al 相と微細粒状 Si を含む Al-Si 合金の機械的特性の測定が期待される。

参考文献

- [1] W. Khalifa, Y. Tsunekawa, M. Okumiya: International J. Cast Metal Research 21(2008) 129
- [2] S. Komarov, K. Oda, Y. Ishiwata, T. Tsuchida, I. Okamoto: Proc. 11th International Conference on Aluminium Alloys (2008) CD Proceedings
- [3] 田賀佳奈子, 福井雄太, 恒川好樹, 奥宮正洋: 鋳造工学 81(2009) 469

第3章 金型鑄造に関する研究開発

3 - 1 研究目的及び目標

溶融・凝固途中のアルミニウム合金に振動を付与することにより結晶粒を微細化して、高品質、高強度、高信頼性自動車用アルミニウム部品を低コストで創製するための鑄造技術開発を平成19、20年度に引き続き取り組み、平成21年度の実施計画書に基づき、次の計画を実施した。

アルミニウム合金の組織微細化に及ぼす最適鑄造条件の抽出・決定

2 金型鑄造に関する評価

振動プロセスに最適な鑄造方案および金型仕様の検討と改良及び検証

- 2 金型鑄造に関する検討と検証

振動付与装置、鑄造機の量産を前提とした改良及び制御システムの開発・設計・製作

- 2 金型鑄造に関する検討と検証

振動プロセスによる自動車部品の試作品、量産品の品質、コスト目標の達成

- 2 金型鑄造に関する評価

事業化の検討

- 1 量産化を前提とした、振動プロセスの基本仕様・構想の検討

- 2 適用部品の探索

3 - 2 実施内容

上記計画を実施するために、自動車部品等の代表的なアイテムの金型を製作して、試作を行った。この試作品の品質評価、問題点を把握して、量産化のための実証試験を行うとともに、基礎的なデータを採取した。自動車部品等の代表的なアイテムを抽出するに当たっては、次の基準に従って選定した。

- 1) 厚肉鑄物、薄肉鑄物の代表的なアイテムの抽出 : 製品肉厚により、湯廻り・凝固の形態が変わり、これに伴い、振動付与の影響、或いは適切な条件が変わってくることが予想される。このため、2種類の金型、即ちモデル金型(1):厚肉鑄物、及びモデル金型(2):薄肉鑄物の金型をそれぞれ製作して、検証・評価した。
- 2) 振動付与の効果が検証可能なこと : 現状量産品に品質(欠陥)問題があり、振動付与によりその評価が可能なこと。
- 3) 砂中子を有すること : 金型鑄造には中子を有する鑄物が数多くあり、砂中子は崩壊し易く振動付与に伴い悪影響を及ぼすことが考えられる。

具体的にはモデル金型を製作して、次の事項を実施した。

- 3 - 2 - 1 モデル金型 (1) による検証・評価
- 3 - 2 - 2 モデル金型 (2) による検証・評価
- 3 - 2 - 3 振動プロセスに適した振動子及び振動の評価

3 - 2 - 1 モデル金型 (1) による検証・評価

1) 目的

厚肉鋳物の選定に当たって、厚肉部の機械加工面に鑄巣欠陥が多発し、且つ圧漏れ不良に繋がっている自動車用エンジン部品を選定した。これに機械的な振動を与えて、金型への振動の伝達、振動付与による凝固特性に及ぼす影響、振動付与による鋳物品質への影響評価を行った。

2) 実験方法

金型について

湯口部、製品センター、製品サイドの3箇所に振動付与可能な金型構造とした。

振動子について

振動子としては、電流周波数にて振動を制御・付与する高周波モーターとエア圧力にて振動を制御・付与するボールパイプレータを選定した。図 K-1 に振動子の特性を示す。高周波モーターがより低い振動数で強い遠心力を示す。

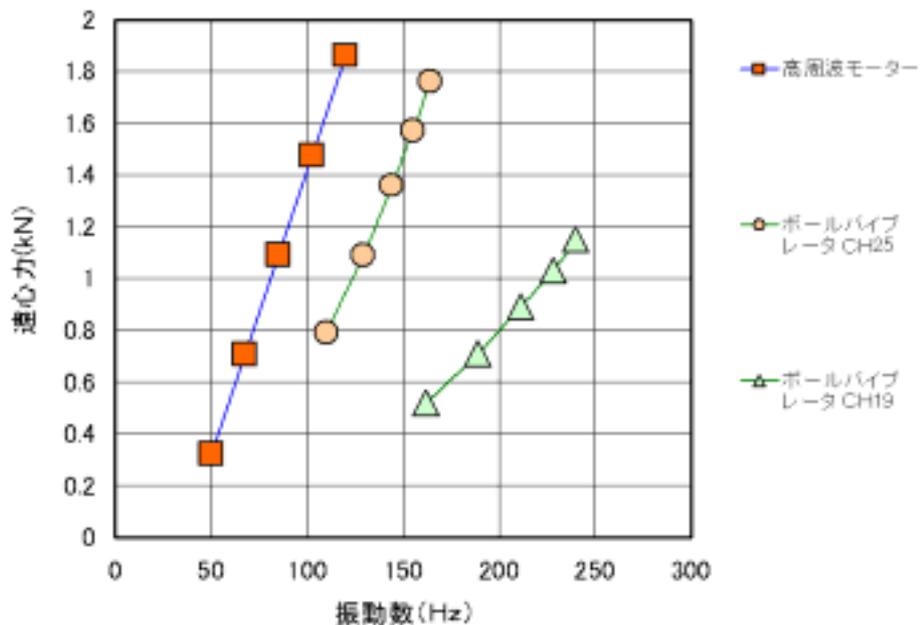


図 K-1 振動子の特性

鑄造条件について

基本的には量産の鑄造条件と同じ条件にて鑄造を行い、振動付与の影響を調べた。即ち AC4C 合金を溶解後、フラックス精錬・改良処理を行った溶湯を所定の温度に設定した金型に鑄造した。振動付与の効果をj見るために、金型に振動付与したものと、しないものとの鑄物を試作した。なお結晶粒微細化処理は行わなかった。

評価方法

金型に振動検出器と熱電対を設置して、振動並びに金型温度を測定した。品質評価は、外観を含む鑄造上の出来栄え評価、マクロ組織観察、透過 X 線 CT による内部欠陥観察、鑄物より切り出した引張り試験片による強度評価、及び機械加工面の鑄巣並びに圧漏れの評価を行った。

3) 実験結果

3-1) 金型への振動の伝達

金型への振動の伝達を調べるために、鑄造をしないで高周波モーターにて振動数・遠心力と金型の変位の関係を調べた。振動数・遠心力と金型の変位は直線的な関係を示し、振動数・遠心力が増すと共に金型の変位は増す。また、金型の横或いは縦の設置状況により振動の伝達の仕方が若干異なる。

鑄造した場合の金型への振動付与の影響を調べた結果、鑄造途中で急激に振動が金型に伝わらなくなった。対策として押出し棒(ロッド)を修正して、再度振動の金型への伝達状況を調べた結果、振動付与完了まで金型に振動が良く伝達されている。ボールパイププレートにて振動付与の金型への伝達状況を調べた。高周波モーターと同様に振動付与の完了まで金型に振動が良く伝達されている。

3-2) 振動付与による凝固特性に及ぼす影響

高周波モーターにて振動を付与したときの金型温度の変化を図 K-2 に示す。振動を付与することにより、振動を付与しないものより金型到達最高温度が若干上昇する。ボールパイププレートにより振動を付与したときの金型温度の変化を図 K-3 に示す。

振動数と遠心力の金型温度に及ぼす影響を定量的に把握するために、25 試験鑄型を使用してボールパイププレートにより様々な振動条件にて振動を付与したときの金型温度変化を図 K-4 に示す。振動を付与することにより、振動を付与しないものより金型到達最高温度が上昇した。これは H20 年度の成果報告書にて報告したように、振動付与することにより、金型界面と鑄物のエアーギャップが小さくなり、溶湯或いは鑄物より金型への熱移動がスムーズになるためと考えられる。

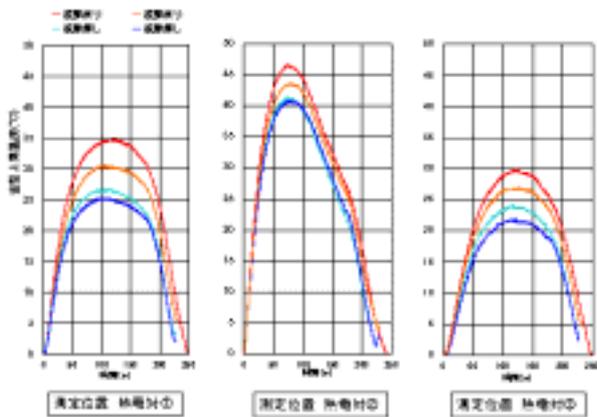


図 K-2 金型温度の測定結果

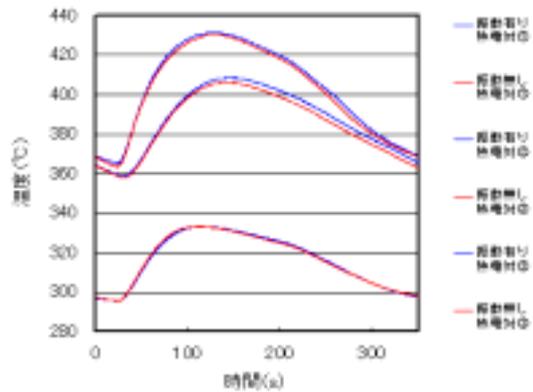


図 K-3 金型温度変化

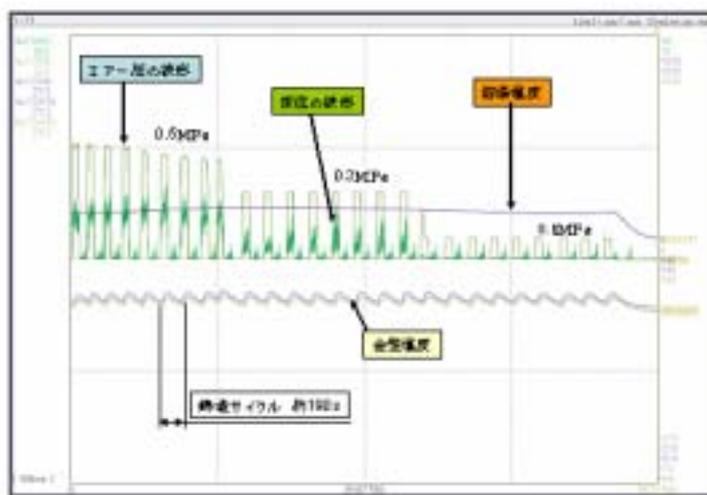


図 K-4 金型温度と振動変位の測定結果（鋳造試験中の記録データ）

3 - 3) 振動付与による鋳物品質への影響評価

鋳物外観等の出来栄評価

振動を付与することにより金型表面が鋳肌によく転写されている。H19 年度の成果報告書にて報告したように、振動を付与して鋳造すると、数ショットで塗型が剥離ないし薄くなることもある。そこで、ダイカスト鋳造用の WF 油性離型剤に粉末を添加したものの毎回塗布にて、25 モデル金型の振動鋳造を行ったところ、良好な結果であったことを昨年度の成果報告書にて報告した。この油性離型剤を用いて(毎回塗布)、モデル金型(1)の振動鋳造を行ったところ、湯回り不良が発生した。

一方、一般に金型鋳造に使用されている塗型タイプでは、湯廻りは良好であった。砂中子（シェル芯）は図 K-5 に示すように、焼き付きが認められた。砂中子の割れ確認の結果、図 K-6 に示すように割れ等は認められなかった。

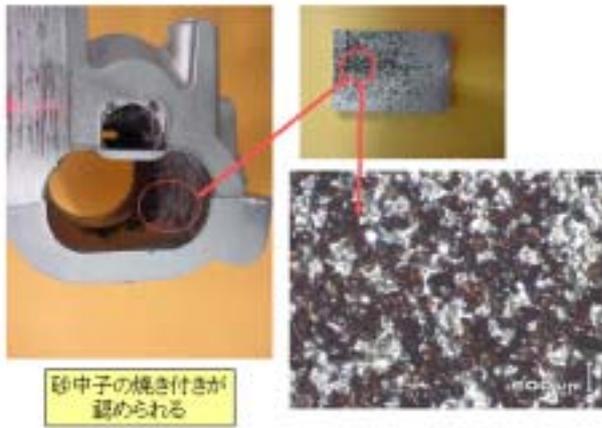


図 K-5 砂中子への影響

評価回数	検査数	砂中子の割れ	振動子
1回目	10	0	高周波モーター
2回目	16	0	高周波モーター
3回目	20	0	高周波モーター
4回目	100	0	高周波モーター
5回目	24	0	ボールパイプレータ
6回目	21	0	ボールパイプレータ
合計	197	0	

図 K-6 砂中子の割れの確認結果

マクロ組織観察結果

図 K-7 にマクロ組織観察した結果を示す。振動を付与することにより、マクロ組織は同等ないし、若干細かくなる。

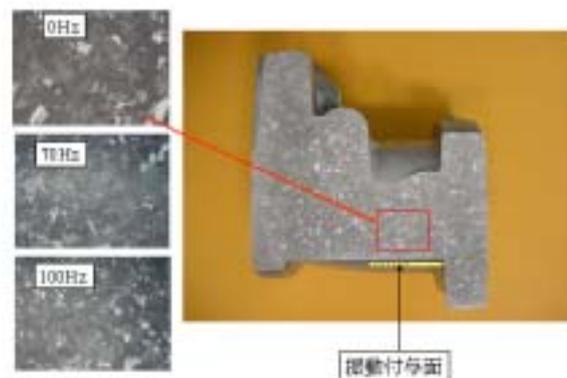


図 K-7 マクロ組織観察（振動子の直下）

透過X線CTによる内部欠陥観察結果

透過X線CT検査の結果、振動付与により、欠陥が小さくなり、欠陥の分布位置も異なってくる。

強度評価結果

鋳物より切り出した引張り試験片による強度評価の結果、振動付与の効果は、引張り強さには認められませんが、伸びは改善され、振動付与により向上する。

機械加工面の鑄巣及び圧漏れ評価

高周波モーターにて振動付与した場合、振動付与により機械加工面の鑄巣及び圧漏れは減少するが、鑄造条件により異なり、適切な鑄造条件を設定する必要がある。ボールパイプレータによる振動付与は、更に圧漏れの改善効果が著しく、圧漏れ不良がゼロであった。

4) まとめ

厚肉鋳物のモデル型(1)にて試験した結果、下記の成果が得られた。

1. 電流周波数にて振動制御(高周波モーター)、エア圧力にて振動制御(ボールパイプレータ)いずれの方法も金型に振動を良く伝達をすることが可能で、振動数・遠心力と金型の変位は直線的な関係を示し、振動数・遠心力が増すと共に金型の変位は増す。
2. 振動付与することで、振動を付与しないものより金型到達最高温度が若干上昇する。これは振動付与することにより、金型界面と鋳物のエアギャップが小さくなり、溶湯或いは鋳物より金型への熱移動がスムーズになるためと考えられる。
3. 振動付与することで、鋳肌への金型の転写が良くなる。一方砂中子は焼き付きやすくなる。
マクロ組織は同等か、若干細くなる。機械的性質の伸びは改善されるが、引張り強さには、効果が認められない。機械加工面の鋳巣及び圧漏れは減少し、特にボールパイプレータによる振動付与では圧漏れ不良はゼロであった。

3-2-2 モデル金型(2)による検証・評価

1) 目的

薄肉鋳物の選定に当たって、薄肉部の機械加工面に鋳巣欠陥が多発し、且つ圧漏れ不良に繋がっている自動二輪車用アブソーバー部品を選定した。これに機械的な振動を与えて、振動付与による凝固特性に及ぼす影響、振動付与による鋳物品質への影響評価を行った。

2) 実験方法

金型について

固定型2箇所、可動型1箇所の計3箇所に振動付与可能な金型構造とした。

振動子について

振動子としては、エア圧力にて振動を制御・付与するボールパイプレータを選定した。

鋳造条件について

基本的には量産の鋳造条件と同じ条件にて鋳造を行い、振動付与の影響を調べた。即ちAC4C合金を溶解後、フラックス精錬・改良処理を行った溶湯を所定の温度に設定した金型に鋳造した。振動付与の効果を見るために、金型に振動付与したものと、しないものとの鋳物を試作した。なお結晶粒微細化処理は行わなかった。

評価方法

振動付与の影響を調べるために、金型に熱電対を設置し金型温度を測定した。品質評価は、外観を含む鑄造上の出来栄評価、マクロ組織観察、透過X線CTによる内部欠陥観察、欠陥部の比重測定及び断面観察、鑄物実体の破壊試験による強度評価、及び機械加工面の鑄巣並びに圧漏れの評価を行った。

3) 実験結果

3-1) 振動付与による凝固特性に及ぼす影響

ボールパイプレータにて振動を付与したときの金型温度の変化は、振動を付与しないものより金型到達最高温度が若干上昇する。厚肉で認められた金型到達最高温度の温度上昇に較べて若干低い。これは鑄物のマスの差による放出熱量の差が現れたものと考えられる。又薄肉鑄物でも振動付与することにより金型到達最高温度が上昇し、金型界面と鑄物のエアギャップが小さくなり、溶湯或いは鑄物より金型への熱移動がスムーズになっている。

3-2) 振動付与による鑄物品質への影響評価

鑄物外観等への出来栄評価

図 K-8、K-9 に振動付与の外観への影響を示す。振動を付与することにより金型表面が鑄肌によく転写されている。又振動付与の条件によっては各種の外観欠陥が現われ、振動の与え方、条件が重要である。ボス部に現われた欠陥（通称：二枚肌）のマクロ組織を図 K-10 に示す。二枚肌部はマクロ組織が非常に微細となり、周囲と不連続となっている組織異常が認められた。この組織異常は逆偏析であった。砂中子（シェル芯）は図 K-11 に示すように、焼き付きが認められた。砂中子の割れ確認の結果、3/77に割れが発生した。砂中子の割れ防止には、中子の肉厚、形状の考慮が必要である。



図 K-8 試験片の外観観察



図 K-9 スライド内部の湯鍔観察

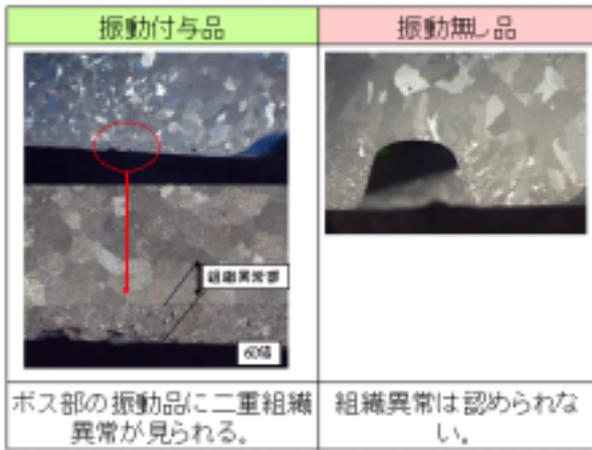


図 K-10 欠陥部のマクロ組織



図 K-11 砂中子の焼き付き

マクロ組織観察結果

図 K-12 にマクロ組織観察した結果を示す。振動を付与することによるマクロ組織への影響は認められない。

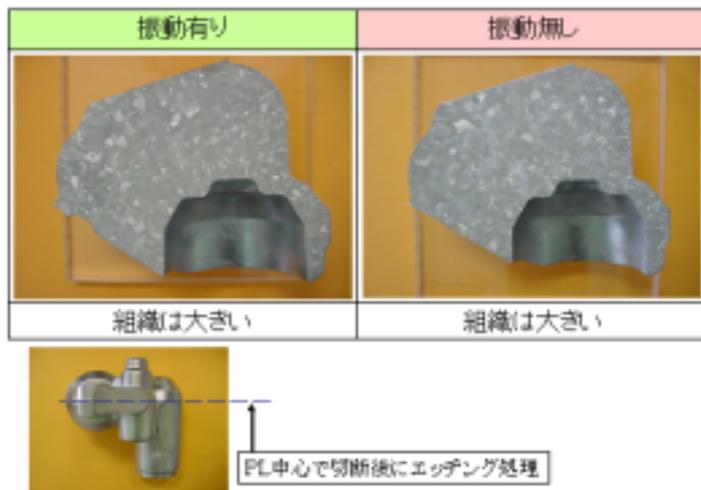


図 K-12 マクロ組織観察結果

透過X線CT等による内部欠陥観察結果

透過X線CTによる内部欠陥観察の結果、振動付与により、欠陥が小さくなっている。また、振動付与により比重値が上昇している。図 K-13 に断面切断確認結果を示す。振動付与により欠陥が小さくなっている。比重測定結果、欠陥部の断面切断確認結果、透過X線CT検査結果いずれも内部欠陥が減少していることを裏付けている。

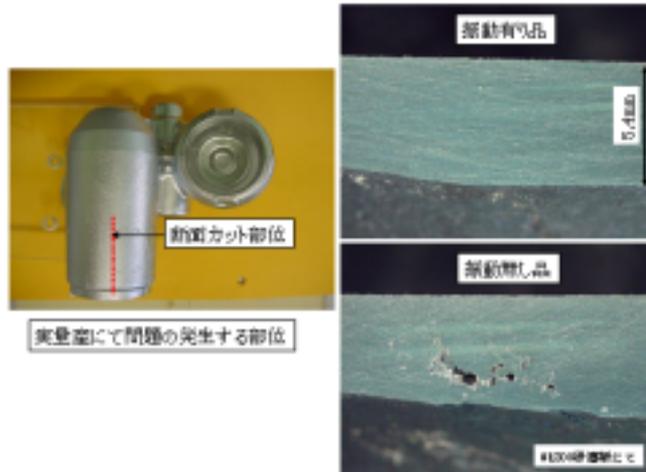


図 K-13 断面切断確認結果

強度評価結果

鋳物実体の破壊試験による強度評価の結果、振動付与による実体破壊強度の向上は認められず、振動の条件によっては低下をする。振動付与して実体破壊強度の低いものの破断面の起点には欠陥が認められた。割れ起点部と周囲の破断面は明瞭に異なって、外観及びマクロ組織観察をした時の二枚肌に対応している。

機械加工面の鑄巣及び圧漏れ評価

機械加工面の鑄巣観察結果、並びにカラーチェック検査結果、振動付与による機械加工面の鑄巣への効果は振動付与の場所、条件により異なる。また圧漏れ試験の結果、厚肉鋳物のような明瞭な振動付与による効果は認められなかった。

4) まとめ

薄肉鋳物のモデル型(2)で試験した結果、下記の成果が得られた。

1. 振動付与することで、振動を付与しないものより金型到達最高温度が若干上昇した。薄肉鋳物でも振動付与することにより、金型界面と鋳物のエアギャップが小さくなり、溶湯或いは鋳物より金型への熱移動がスムーズになったと考えられる。
2. 振動付与することで、鋳肌への金型の転写が良くなる。一方、砂中子は焼き付きやすくなる。

振動付与の部位或いは条件により、外観欠陥が現れる場合がある。マクロ組織には効果が認められない。実体破壊強度には効果が認められない。振動付与により偏析が生じて、その部位に負荷がかかる場合に強度低下の原因となる、機械加工面の鑄巣及び圧漏れは、明瞭な効果は認められなかった。

薄肉鋳物では、厚肉鋳物に較べて振動条件によって外観等はより微妙な変化が現れやすく、マクロ組織、圧漏れ等については影響が認められなかった。これらのことは、振動の付与条件とともに凝固形態が大きく影響をしていることを示唆している。

3 - 2 - 3 振動プロセスに適した振動子及び振動の評価

今回、振動プロセスの試験に電流周波数にて振動を制御・付与する高周波モーターとエア圧力にて振動を制御・付与するボールパイププレートを使用した。図 K-1 に示すように振動子の特性は高周波モーターとボールパイププレートでは異なる。このため 25 テストピース試験片鋳型を用いて試験した結果を含めて、高周波モーターとボールパイププレートによる振動付与の効果を比較した。

1) 金型への振動の伝達

金型への振動の伝達を調べた結果、高周波モーターは起動後の振動の立ち上がりがボールパイププレートに較べて、遅い。

2) 特性に及ぼす影響

機械的性質、比重に及ぼす高周波モーターとボールパイププレートの振動数、遠心力の影響を調べた結果、引張り強さ、伸びとも振動の付与により向上するが、バラツキが大きくて振動子の種類、振動条件等についての効果の傾向は明瞭でない。

比重についてもバラツキが大きくて、振動子の種類、振動条件等についての効果の傾向は明瞭でなく、モデル金型(1):厚肉鋳物、モデル金型(2):薄肉鋳物で振動付与により欠陥が小さくなったことと対応していない。これらのことは振動による効果が鋳物全体に及ぶものでなく、局所的なこと、或いは鋳造因子と振動因子の相互作用等単独因子がよく分離されてないことを示唆しているものと考えられる。

3 - 3 研究成果

モデル金型(1):厚肉鋳物、及びモデル金型(2):薄肉鋳物をそれぞれ使用して試験した結果、下記の成果を得た。

1. 振動付与により厚肉鋳物、薄肉鋳物とも金型への転写性は増し、中子砂の焼き付きも認められる。砂中子を必要とされる鋳物に対しては、砂中子の焼き付きを除去するために、後工程でショットブラスト等の工程を必要とする。

2. 振動付与により厚肉鋳物、薄肉鋳物とも内部欠陥は小さく、或いは分布範囲が小さくなる。 圧漏れ不良は、厚肉鋳物に対しては振動付与の効果が著しい。機械的性質に関しては、伸びの改善効果は認められるが強さへの効果は明瞭でない。
3. 振動付与の条件により、場合によっては外引け、偏析等の外観の欠陥が現れる。偏析が製品表面に残存しその部位に負荷がかかる場合、破壊の起点となり強度が低下する。従って、適切な振動の部位、条件の選定、或いは偏析の出る箇所を制御する必要がある。
4. 振動子の種類により、振動の立ち上がりの遅れ、振動数、遠心力が異なり、金型への振動付与による金型の変位も異なる。従って金型及び鋳物にあったものの選定の必要がある。
5. 振動付与鋳造に関する研究をもとに、2件の特許出願をし、4件の研究発表、及び5件の論文発表をした。

5 - 1 . 特許出願

特許出願番号 : 特願2010 34423 (H22年2月19日の出願)

発明の名称 : 振動凝固鋳造装置

出願人 : (独)産総研と寿金属工業(株)の共同出願

特許出願番号 : 特願2010 34424 (H22年2月19日の出願)

発明の名称 : 振動凝固鋳造装置及び振動凝固鋳造法

出願人 : (独)産総研と寿金属工業(株)の共同出願

5 - 2 . 研究発表

発表先 : 日本鋳造工学会第154回全国講演大会(於東京都早稲田大学)

発表日 : H21年5月31日

講演名称 : 振動鋳造したAC4C アルミニウム合金の組織と機械的性質

発表者 : 尾村、村上、李、田村、三輪、古川、原田、横井

発表先 : 日本鋳造工学会非鉄鋳物研究部会(於名古屋市中心企業振興会館)

発表日 : H21年9月2日

講演名称 : 金型鋳造材への機械振動の効果

発表者 : 尾村、田村、三輪、古川、原田、久保

発表先 : 日本鋳造工学会第155回全国講演大会(於長崎県長崎大学)

発表日 : H21年10月18日

講演名称 : 振動鋳造したAC4C 合金の冷却速度と金型温度に及ぼす振動の影響

発表者 : 古川、原田、久保、尾村、田村、三輪

発表先 : 日本鑄造工学会東海支部 YFE フォーラム'09

発表日 : H 2 2 年 1 月 2 2 日

講演名称 : 金型鑄造への機械振動の効果

発表者 : 尾村、田村、三輪、古川、原田、久保

5 - 3 論文発表

題 目 : AC4C アルミニウム合金鑄物の組織及び機械的特性に及ぼす機械振動の影響

雑誌名 : 鑄造工学会誌 第 81 巻 (2009) 第 6 号 P295-299

尾村、村上、李、田村、三輪、古川、原田、横井

題 目 : AC4C アルミニウム合金の金型鑄造時の冷却速度に及ぼす機械振動の影響

雑誌名 : 鑄造工学会誌 第 81 巻 (2009) 第 9 号 P436-441

尾村、村上、李、田村、三輪、古川、原田、横井

題 目 : 振動鑄造した AC4C アルミニウム合金鑄物の組織および機械的特性

雑誌名 : 鑄造工学会誌 第 81 巻 (2009) 第 11 号 P536-542

尾村、村上、李、田村、三輪、古川、原田、

題 目 : Effects of mechanical vibration on macrostructure and mechanical properties of AC4C aluminum alloy

雑誌名 : Materials Transactions 第 50 巻 (2009) 第 11 号 P2578-2583

尾村、村上、李、田村、三輪、古川、原田、横井

題 目 : Effects of mechanical vibration on cooling rate and DAS of AC4C aluminum alloy gravity die castings

雑誌名 : Materials Transactions 第 50 巻 (2009) 第 11 号 P2604-2608

尾村、村上、李、田村、三輪、古川、原田

3 - 4 . 今後の課題

今回の量産を前提としたモデル型にて、量産を行う上での品質への効果、工程設計をする上での配慮しなければならない事項を抽出できた。今後、図 K - 8 1 に示す課題を推進・解決して、本研究開発で得た成果を適用した金型鑄造部品の事業化に向け邁進する。

項目	今後の課題	対処方法
1	モデルⅡ型を使用して、鑄巣の低減に良い振動条件を掴む。 (振動子の選定、振動位置、振動タイミング)	引き続きモデル型にて、基礎実験を進める。
2	鑄造機の振動仕様	新設機・現行機への振動機構の設計 (現行機への応用展開)
3	受注活動	①現行の不良対策 ②新規製品の受注活動

図 K - 14 今後の課題

第4章（最終章） 全体総括

4 - 1 研究開発成果

本研究開発は、平成19年8月20日に委託契約を締結し、三年間に亘る研究開発のスタートを切った。

本研究開発では、研究開発体制を「ダイカストに関する研究開発」と「金型鑄造に関する研究開発」の二つの研究開発分野に分け、基礎実験、テストピースによる品質評価、試作金型・量産金型を用いた鑄造品評価等の研究開発を実施し、それぞれ次のような成果を得ることができた。

4 - 1 - 1 ダイカストに関する研究開発

本研究開発では、振動プロセスとして超音波振動を付与した研究開発を実施した。

その成果として、1年目では

本研究開発に適したピックアップ機能を付加した超音波振動子（BLT）を開発・設計・製作した。

現有のダイカストマシンに組み込み可能な超音波発振機を開発・設計・製作した。

スリーブの注湯口にホーン先端を直接挿入可能な超音波発振機を開発・設計・製作した。

超音波発振機にマッチングした、発信機（アンプ）を改造・製作した。

超音波出力をモニタする超音波センサを開発・設計・製作した。

現有ダイカストマシンに超音波発振機を組み込むため、ダイカストマシンの改造内容を明らかにするとともに、超音波発振機能を付加した射出口ロッドを開発・設計・製作した。

豊田工業大学に導入・設置した簡易形超音波発振機について、その基本性能を評価した結果、ねらい通りの性能を発揮することが実証された。

2年目では、

ダイカストマシンへの超音波発振機の組み込み方法が確立できた。

超音波の性能を最大限引き出せる冷却、熱処理、材質含めたカップリングケース、プランジャーロッドの構造が確立できた。

実鑄造時の衝撃による超音波発振機への影響は少ないことが確認できた。

連続鑄造時に超音波性能のバラツキが起きることが確認できた。

超音波発振機は空冷程度を行えば温度上昇による性能低下を防げることが解かった。

超音波付加による組織微細化の効果は、振動部の直近までは効果が伝達することが確認できた。

豊田工業大学における基礎研究の結果、Fe化合物の微細粒状化効果が認められた。

3年目では、実用化に向けた量産実験を実施した結果、

スリーブ内で超音波を付与すると、チップ接面では微細化効果が観られるものの製品内部の結晶粒微細化効果は得られなかった。

スリーブ内で超音波を付与すると、破断チルは粉碎されるが粉碎された破断チルが製品内部に混入し強度を低下させる要因となった。

スリーブ内で超音波を付与すると、超音波付与の効果よりも冷却速度の影響が強く現れた。

超音波を付与する場合は、ホーン、スリーブ等を余熱する必要がある。

豊田工業大学の基礎研究の結果、超音波を付与することによって晶出する非平衡 α -Al相は共晶温度以上で晶出し、共晶温度以上での存在寿命も数秒は認められた。また、微細粒状化した初晶Si粒は液相線温度以上でも存在寿命が数分は認められた。

などの結果となり、射出スリーブ内での超音波付与による振動プロセスは断念せざるを得ない結果となった。

よって、今後は本研究機器設備を活用して、実用性も考慮したスリーブ以外での超音波付与方法・タイミング等について再度検討して行く。

4 - 1 - 2 金型鑄造に関する研究開発

本研究開発では、振動プロセスとして機械的振動を付与した研究開発を実施した。

その成果として、1年目では

鑄造機及び金型への振動付与について、簡易型を用いた機械的振動付与に関する基礎研究を行なうことにより、実機サイズの鑄造設備（鑄造機及び金型）を開発・設計する上での基本的なコンセプトを確立した。

の結果に基づき、実機サイズの鑄造設備（鑄造機及び金型）を開発・設計・製作し、寿金属工業株式会社閉工場に設置した。本実機サイズの鑄造設備を用いた基礎実験を行なった結果、ねらい通りの性能を発揮することが実証された。

機械的振動を付与することによりマクロ組織が微細化し、振動付与の効果を実証できた。

外観に凹ホールが発生しない条件の解明や、振動プロセスに適した塗型材の選択・開発の必要性を抽出できた。

2年目では、

テストピース金型を用いて試験した結果、振動付与により金型の転写性が向上し、マクロ組織が微細となり、機械的性質が向上する。これらの諸特性は振動数、金型温度、製品の肉厚、重量により、影響が異なる。

機械的性質の振動付与による改善の最適範囲はモーター駆動式の場合50～75Hzである。この範囲ではX線CT観察をした結果、内部欠陥が少なくなる。

製品（鋳物）の冷却速度を測定した結果、振動付与により冷却速度が速くなる。また、金型温度が上昇する。

これらの基礎試験をもとに、量産モデル鋳物を選定し、金型方案を設計し金型を製作した。

3年目では、実用化に向けた量産実験を実施した結果、

振動付与により厚肉鋳物、薄肉鋳物とも金型への転写性は増し、中子砂の焼き付きも認められる。砂中子を必要とされる鋳物に対しては、砂中子の焼き付きを除去するために、後工程でショットブラスト等の工程を必要とする。

振動付与により厚肉鋳物、薄肉鋳物とも内部欠陥は小さく、或いは分布範囲が小さくなる。圧漏れ不良は厚肉鋳物に対しては、振動付与の効果が著しい。機械的性質に関しては、伸びの改善効果は認められるが、強さへの効果は明瞭でない。

振動付与の条件により、場合によっては外引け、偏析等の外観の欠陥が現れる。偏析が製品表面に残存し、その部位に負荷がかかる場合、破壊の起点となり、強度が低下する。従って、適切な振動の部位、条件の選定、或いは偏析の出る箇所を制御する必要がある。

振動子の種類により、振動の立ち上がりの遅れ、振動周波数、遠心力が異なり、金型への振動付与による金型の変位も異なる。従って、金型及び鋳物にあったものの選定の必要がある。

振動付与鑄造に関する研究をもとに、2件の特許出願をし、4件の研究発表、及び5件の論文発表などの成果を得ることができた。

よって、今後は本研究機器設備を高度化するとともに「川下製造事業者」との協力体制を強化し、事業化の実現に向けて邁進する。

4 - 2 研究開発後の課題・事業化展開

この3年間に亘る研究開発により、「振動プロセスによる高品質、高強度、高信頼性自動車用アルミニウム部品創製技術の開発」は多くの知見を得ることができた。

しかしながら、さらなる振動プロセスによる高品質、高強度、高信頼性自動車部品創製技術の高度化に向けて、機器設備の開発・改良が必要である。また、事業化を進めるためにはさらなる実用化試験を実施するとともに、品質・性能の妥当性や操作性、作業性などを含めたコストパフォーマンスの達成等、解決すべき課題も多く、共同して総合的な研究を推進する必要がある。そこで、参加各機関の連携体制を継続して研究を行うとともに、「川下製造事業者」との協力体制を強化して事業化の実現に邁進して行く。