

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

『優れた耐摩耗性と放熱特性を有する軽量化エンジン用シリンダーの開発』

研究開発成果等報告書

平成22年9月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人青葉工学振興会

目次

第1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、研究者指名、協力者）	1
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	7
2-1 マグネ合金用スラリー生成条件の開発	7
2-1-1 マグネ合金の開発と材料分析調査	7
2-1-2 半凝固スラリーカップ設計技術の設計	7
2-1-3 半凝固スラリー生成条件の確立	9
2-2 金型設計技術の確立	10
2-2-1 CAE 解析	10
2-2-2 金型設計、金型製作	10
2-3 鑄造条件の確立	11
2-3-1 半凝固スラリー生成条件の影響の調査	11
2-3-2 金型条件の影響の調査	11
2-3-3 鑄造条件の影響の調査	12
2-4 金属組織観察についての評価	14
2-5 製品機能評価	18
2-5-1 草刈り用シリンダー	19
2-5-2 オイルポンプボデー	19
第3章 全体総括	20
3-1 研究開発成果	20
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	20

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

〈研究開発の背景〉

自動車やチェーンソー・芝刈り機等の機材は、環境問題・安全問題への対応から、軽量化が求められており、部品の素材についての見直しが進められている。とくに高品質を要求する汎用エンジンは、アルミ化までは出来ているが、それ以上の軽量化は出来ていない。今回、半凝固鑄造技術を用いて、新たなマグネシウム合金の開発をおこない、耐クリープ特性、耐摩耗性を有する低コストな汎用エンジンを国内初の製品開発を行う。

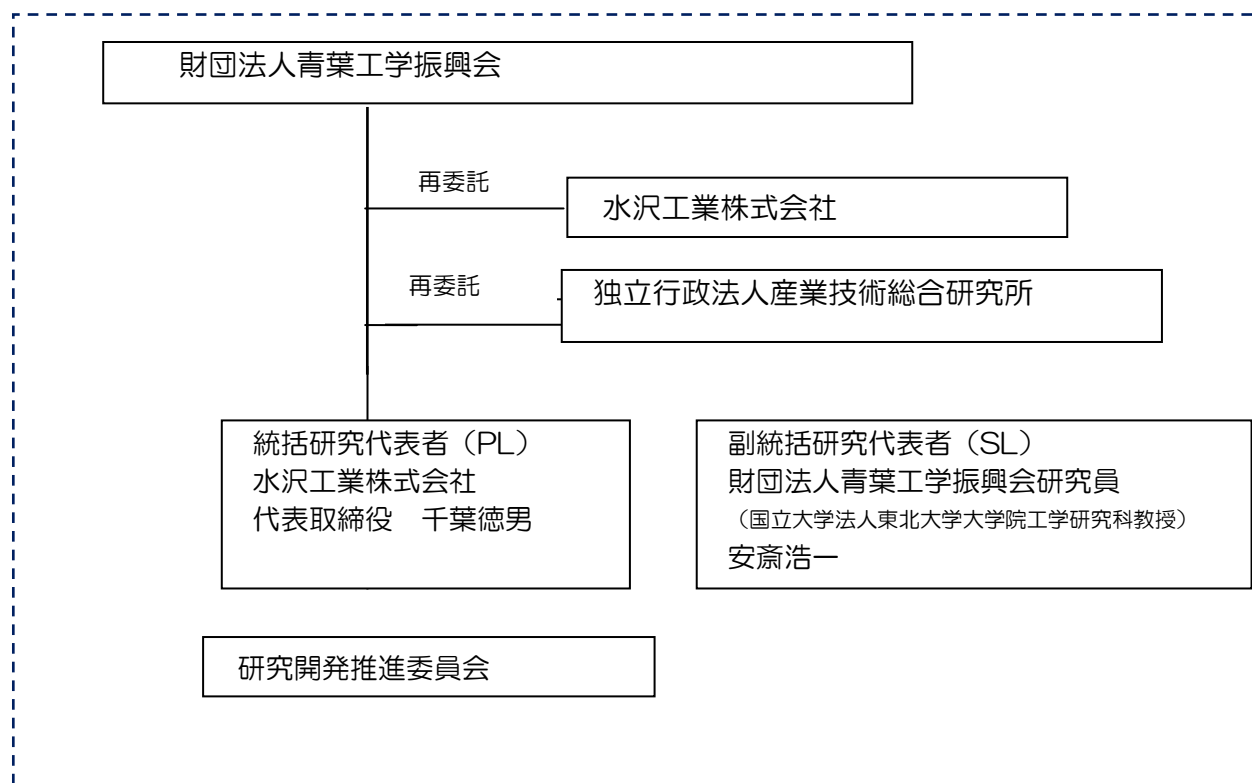
〈研究目的及び目標〉

自動車産業では環境問題、安全問題への対応から、車体の軽量化が求められており、部品の素材について見直しが進められている。チェーンソーや・芝刈り機等の機材においても環境問題、安全問題だけでなく、近年の高齢化や家庭菜園の普及に伴い、軽量化がとくに求められようになってきた。

この軽量化の中で、近年機材製造メーカーが、エンジン用シリンダーをアルミからマグネへの置き換えに取り組んできた。エンジン用シリンダーとして特に求められるのは、①軽量化、②低コスト化、③高強度化（耐クリープ特性、耐摩耗性）である。しかしながら、従来の成形法では、鑄造欠陥の発生に対する対策が困難であり、①、②、③のすべてにわたって進展していないのが現状である。その鑄造欠陥は、鑄造時の割れや鑄造組織の不均一によるものといえる。そこで、鑄造時の割れ抑制と鑄造組織の均一性ならびにと高強度特性（耐クリープ特性、耐摩耗性）の向上のために、半凝固鑄造法を用いて新たな鑄造技術を確立することで、マグネダイカスト製品の事業化を実現しようとするものである。

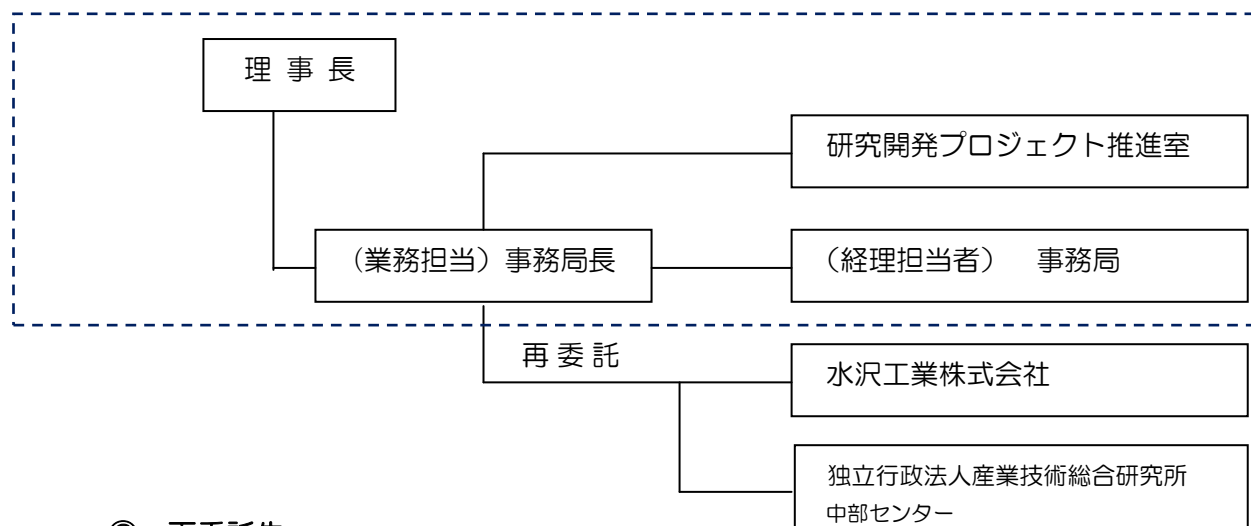
1-2 研究体制

(1) 研究組織



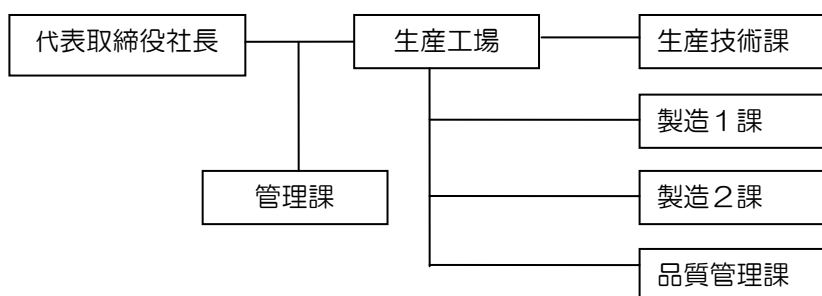
(2) 管理体制

① 事業管理者 【財団法人青葉工学会】



② 再委託先

水沢工業株式会社



独立行政法人産業技術総合研究所中部センター



(3) 管理員及び研究員 (役職・実施内容別担当)

【事業管理者】財団法人 青葉工学会

① 研究員

氏 名	所属・役職
安斎 浩一	財団法人青葉工学会研究員 (東北大学大学院工学研究科 教授)
平田 直哉	財団法人青葉工学会研究員 (東北大学大学院工学研究科 助教)
板村 正行	財団法人青葉工学会研究員 (東北大学大学院工学研究科 教育研究支援者)

② 管理員

氏 名	所属・役職
霜山 忠男	事務局 事務局長
米谷いし子	事務局 経理主任
櫻井 正彦	事務局 契約主任
四十川千秋	産学連携アドバイザー

【再委託先】＊研究員のみ

水沢工業株式会社

氏 名	所属・役職
千葉 徳男	代表取締役
小西 理夫	専務取締役
菅原 美喜男	取締役工場長
川島 芳明	製造1課課長
菊地 公男	製造2課課長
中島 秀樹	生産技術課課長

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
三輪 謙治	サステナブルマテリアル研究部門主幹研究員
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 雄一朗	サステナブルマテリアル研究部門研究員

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人 青葉工学会

(経理担当者)	事務局 経理主任	米谷 いし子
(業務管理者)	事務局 局長	霜山 忠男

(再委託先)

水沢工業株式会社

(経理担当者)	管理課長	黒沢 誠子
(業務管理者)	代表取締役社長	千葉 徳男

独立行政法人 産業技術総合研究所 中部センター

(経理担当者)	財務会計部門 経理室長	宮本 晃之
(業務管理者)	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	三輪 謙治

(5) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

①研究開発促進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
霜山 忠男	財団法人青葉工学会 事務局長	PL
千葉 徳男 菅原美喜男	水沢工業株式会社 代表取締役社長 水沢工業株式会社 取締役工場長	
安斎 浩一 板村 正行	東北大学大学院工学研究科 教授 東北大学大学院工学研究科 研究員	SL
三輪 謙治 田村 卓也 尾村 直紀 村上雄一朗	独立行政法人産業技術総合研究所中部センター 主幹研究員 独立行政法人産業技術総合研究所中部センター 研究員 独立行政法人産業技術総合研究所中部センター 研究員 独立行政法人産業技術総合研究所中部センター 研究員	
	農機具部品メーカー 開発本部 部長 自動車部品メーカー 次 長	アドバイザー アドバイザー

②協力者

アドバイザー・氏名	主な指導・協力事項
開発本部 部長 次 長	草刈り機用シリンダーの機能性評価と助言 オイルポンプボデーの機能性評価と助言

1-3 成果概要

本研究開発では、川下ニーズに応えるため、草刈り機エンジン用シリンダーと自動車部品のオイルポンプボデーをアルミニウム合金から、より軽いマグネシウム合金に置き換えることを目標に進めてきた。特に、エンジン用関連部材として特に求められるのは、①軽量化、②低コスト化、③高強度化である。しかしながら、従来の成型法では鋳造欠陥が生ずるなどの問題点が多く、解決策が見いだせない状況にあった。そこで、半凝固鋳造法を用いた新たな鋳造技術を確立することで、マグネダイカスト製品の開発を進めた。

その開発では、マグネ合金用スラリー生成条件の開発において、マグネ合金で新たに水沢規格を発見するとともに水沢規格用のスラリーカップの開発に成功した。また、金型設計では、草刈り機エンジン用シリンダー及びオイルポンプボデーの金型に対し、CAE 解析システムを用いて湯流れ・凝固解析によるシミュレーションを行い、金型方案の最適化を確立した。更に、開発製品の金属組織観察評価では、顕微鏡及びX線 CT による組織観察と引張試験による機械的観察により、スラリー生成条件、金型方案、鋳造条件等へフィードバックするとともに、川下企業からの評価と助言を受け、それを反映したマグネ製品が機能し、アルミ製品と同等のクリープ特性と耐摩耗性を確保できるかの機能評価でも一定の評価を得るにいった。

以上のことから、本研究開発で制作した製品は、「優れた耐摩耗性と放熱特性を有する軽量化エンジン用シリンダーの開発」の目標をほぼ達成したといえる。

① マグネ合金用スラリー生成条件の開発

草刈り機エンジン用シリンダー及びオイルポンプボデーに使用する材質、重量に対するスラリーカップ形状の設計が出来た。そして、設計・製作したカップによるスラリー生成試験及びスラリー組織評価を行うことが出来た。

- ①ー1 マグネ合金の開発と材料分析調査
今回導入した、材料分析器システムを使用して、エンジンシリンダーに使用する材質（AZ-91ほか）のマグネ合金（水沢規格Mg合金）の開発が出来た。
- ①ー2 半凝固スラリーカップ設計技術の設計
水沢規格Mg合金用スラリーカップの形状設計及びスラリーカップ製作が出来た。
- ①ー3 半凝固スラリー生成条件の確立
今回導入した、「ナノ電磁攪拌」、「ナノ装置」を用いて、草刈り機エンジン用シリンダー及びオイルポンプボデーの品質を満足するための半凝固スラリー生成条件を確立確認した。
①ー2で製作したカップでの半凝固スラリー生成実験で、そのスラリーの組織観察に基づいて、最適な条件の確立を行い。固相率として30%、40%、50%の半凝固スラリー生成条件を確認した。
- ② 金型設計技術の確立
草刈り機エンジン用シリンダー及びオイルポンプボデーの金型に対して今回導入した 鋳造 CAE 解析システムを用いて湯流れ・凝固解析によるシミュレーションを使用して、金型方案の最適化を検討し、金型設計および金型製作技術の確立が図られた。
- ②ー1 CAE 解析
草刈り機用シリンダー及びオイルポンプボデーの金型に、今回導入した 鋳造 CAE 解析システムを用いて湯流れ・凝固解析によるシミュレーションを行い金型方案の最適化を検討する。最適化の目標として、草刈り機用シリンダーについては2つの金型方案をもとに、湯流れ・凝固解析によるシミュレーションを行い湯流れによるスラリー充填における空気の巻き込み状況や、金型充填完了後の割れ等の鋳造欠陥を事前に見つけることが出来たことにより、金型設計・製作技術の確立に大きな役割を果たした。
- ②ー2 金型設計、金型製作
CAE 解析を用い、湯流れ・凝固解析による金型方案の最適化を検討した結果、最適なマグネ合金型設計・金型製作をおこない得た。草刈り機用シリンダー金型1面製作し、オイルポンプボデーは既存金型を流用した。
- ③ 鋳造条件の確立
②項の鋳造 CAE 解析システムを用いて行った解析結果をもとに、固相率 30%、40%、50%の半凝固スラリーにおける金型条件（金型温度、スプレー量）、鋳造条件（射出速度、射出圧力）で実際に鋳造を行い、スラリー充填における空気の巻き込み状況や金型充填完了後の割れ等の鋳造欠陥を確認した結果を鋳造条件に反映した。
- ③ー1 半凝固スラリー生成条件の影響の調査
草刈り機用シリンダー及びオイルポンプボデーに対して「ナノ電磁攪拌」、「ナノ装置」を用いて、固相率 30%、40%、50%の半凝固スラリーで実鋳造を行い、品質への影響を確認した。
- ③ー2 金型条件の影響の調査
導入した「金型温度調整器」を用いて、金型温度調整を行い、金型温度（100℃、150℃、200℃、250℃）が品質及ぼす影響を確認できた。
また導入した「スプレーロボット」を用いて、離型材の塗布量、塗布状態に鋳造性（充填状態）の影響が確認できた。

③ー3 鋳造条件の影響の調査

今回導入した「鋳造 CAE 解析システム」を用いて湯流れ・凝固解析によるシミュレーションを行い鋳造条件と湯流れ・凝固挙動の検討をおこなった結果をもとに下記の1)、2)の影響を確認した。

- (1) 射出速度 (0.1m/s、0.3m/s、0.5m/s、1.0m/s) が品質に及ぼす影響を調査した。
- (2) 射出圧力 (低圧、中圧、高圧) が品質に及ぼす影響を調査した。

④ 金属組織観察についての評価

③項で鋳造して得られた草刈り機用シリンダーおよびオイルポンプボデーに対して、今回の研究予算で、独立行政法人産業技術総合研究所に導入した「精密卓上旋盤」、「コンターマシン」の設備を使用して、金属観察を行うと共に、青葉工学会に於いて機械的性質 (引張試験) 調査を実施し、スラリー生成条件、金型方案、鋳造条件へのフィードバックを行った。

⑤ 製品機能評価 (耐クリープ特性、耐摩耗性)

③項および④項で評価を得た草刈り機用シリンダーおよびオイルポンプボデーを、水沢工業株式会社が主体となって、草刈り機用シリンダーについては株式会社やまびこ (旧共立) の評価と助言を受けた。オイルポンプボデーについては株式会社ユニシア厚和と共同で製品の機能評価を行なった結果 25℃、100℃、230℃で高温引っ張り試験を行い良好な結果が得られた。

⑤ー1 草刈り機用シリンダー

製品として機能するかを実機でテストを行う方向で調整。市場へ投入可能かを株式会社やまびこ (旧共立) の評価と助言を受けた。目標品質として、30%の軽量化と 25℃、100℃、230℃の高温引っ張り試での結果は確認できたが 230℃においてアルミと同等のクリープ特性、耐摩耗性については引き続き実機試験を行う。

⑤ー2 オイルポンプボデー

製品として機能するかを実機でテストを行うため、市場へ投入可能かを株式会社ユニシア厚和の評価と助言を受けた。目標品質として、30%の軽量化と 25℃、100℃、230℃の高温引っ張り試での結果は確認できたが、200℃においてアルミと同等のクリープ特性、耐摩耗性については、引き続き実機試験を行う。

⑥ 研究全体の統括、プロジェクトの管理運営 (財団法人青葉工学会)

本研究を円滑に推進するため、「水沢サポイン研究開発推進委員会」の適切な運営等により、各研究開発項目の総括的な課題抽出とその検討及び研究成果の評価等を行った。

また、青葉工学会は事業の進捗について、新たに設置した「研究開発プロジェクト推進室」のもと適正な管理を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人青葉工学会 研究開発プロジェクト推進室：霜山忠男

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6 東北大学工学部内

TEL 022-795-3862 FAX 022-795-3579

第2章 本論

2-1 マグネ合金用スラリー生成条件の開発（（財）青葉工学会、水沢工業(株)

2-1-1 マグネ合金の開発と材料分析調査

現在一般に生産されている AZ-91D マグネ合金でスラリー生成が可能かを行うと共に、シリンダー特性の耐摩耗性と放射特性を有する材料が無いかを調査した結果、T 社規格材があることが判明し、実験材料に選定した。又、以前水沢工業で放射性特性のあるマグネ材も使用した経験から、水沢規格の材も作り、これら3種類のマグネ材のスラリー生成を実験した。

半凝固スラリーの生成を行う際、写真2-1-1の材料分析機器を使用し、分析値を確認しながら実験を行ない、本開発用の水沢規格合金の成分配合が決定した。写真2-1-2に材料分析測定風景を示す。



写真2-1-1 材料分析機器



写真2-1-2 材料分析測定風景

2-1-2 半凝固スラリーカップ設計技術の設計

JIS 規格 AZ-91D、T 社規格、水沢規格の固相率と溶湯温度の関係を図2-1-1、図2-1-2、図2-1-3に示す。これらの固相率と溶湯温度の関係曲線からわかるように AZ-91D、T 社規格は溶湯温度の低下に伴い急激に固相率が増加しているのに対して、水沢規格はゆるやかに固相率が増加していることがわかる。このことから、水沢規格は、AZ-91D、T 社規格と比較して半凝固スラリーの生成が容易な合金といえる。

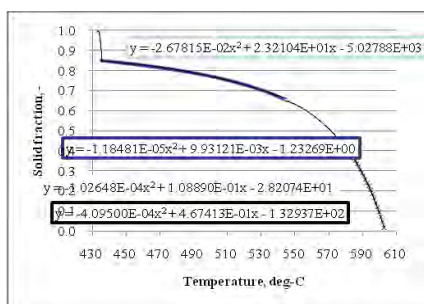


図2-1-1 JIS規格AZ91D

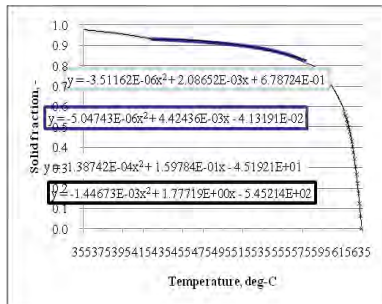


図2-1-2 T社規格1123

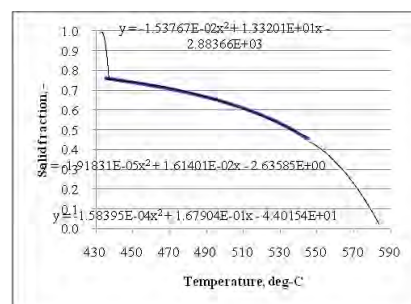


図2-1-3 水沢規格

各合金の固相率と溶湯温度の関係

(1) カップの最適設計の手順

カップ及びスラリーの熱物性値（密度 r 、比熱 C_p 、体積 V ）とスラリー量の関係からカップ形状を決定する。そのスリラーカップの最適設計の手順を図2-1-4に示す。

(2) r 値（カップと溶湯の熱容量の比）を用いた固相率の推定方法

r 値（カップと溶湯の熱容量の比）を用いてスラリーの固相率の推定方法は、まず比熱分析により図2-1-5に示す固相率-温度曲線を求め、固相率-温度曲線を最小自乗近似により2次方程式で近似を得た。

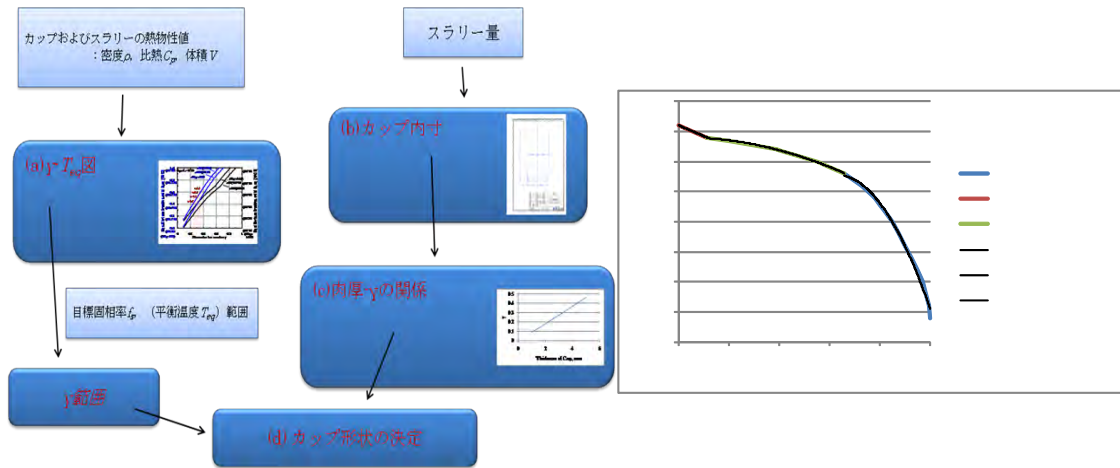


図 2-1-4 カップの最適設計の手順

図 2-1-5 固相率-温度曲線

(3) γ 値を用いたスラリーカップ体積-溶湯量による固相率の推定結果

表 2-1-4 にスラリーカップ体積-溶湯量による固相率の推定をおこなうために用いた γ 計算の物性値を示す。 γ 値を用いてスラリーカップ体積-溶湯量による固相率を推定し、これらのカップと溶湯の熱容量より定まる無次元数 γ 値を用いて、外気への放熱を無視した場合の平衡温度の推定をおこなった。

表 2-1-4 γ 計算に用いた物性値

Density (mold)	7758.0 kg/m ³
Heat Capacity (mold)	553.0 J/kg · K
Volume (mold)	20493 mm ³
Heat Capacity (melt)	1100.0 J/kg · K

γ 値と予想平衡固相率の関係を過熱度 5℃ の場合を図 2-1-6 に、過熱度 50℃ の場合を図 2-1-7 に示す。カップ厚みと過熱度により固相率を任意に設定できることがわかる。写真 2-1-3 にスラリーカップの外観写真を示す。

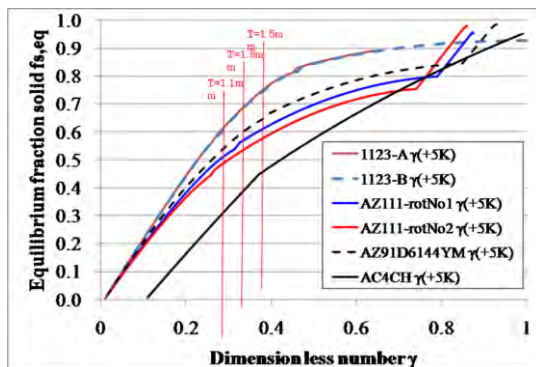


図 2-1-6 γ - T_{eq} 曲線 (過熱度 5℃)

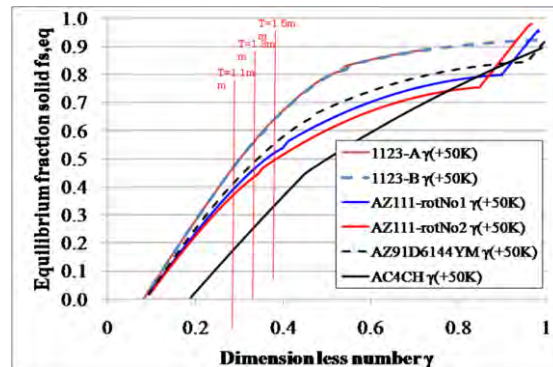


図 2-1-7 γ - T_{eq} 曲線 (過熱度 50℃)



写真 2-1-3 スラリーカップの外観写真

(4)まとめ

- (1)マグネ合金の材料分析を行い、溶湯重量に応じたカップの最適設計・製作をおこなうことができた。
- (2)スラリーカップ体積-溶湯量による固相率を推定することで、それぞれの合金における $\gamma-T_{eq}$ 曲線を求め、その線図にカップ厚みに対する γ を求めることで固相率が推定され、カップの最適設計をおこなうことができた。

2-1-3 半凝固スラリー生成条件の確立

ナノ電磁攪拌、ナノ装置を用い草刈り機エンジン用シリンダー及びオイルポンプボデーの品質を確保するためマグネ材半凝固スラリー生成条件を確認した。そのときの作業風景を図2-1-8に示す。

	スラリー生成装置	各種データー収集	Mg 合金スラリーカット
作業風景			
図 2-1-8 スラリー生成作業風景			

(1) スラリー生成初期設定条件

AZ-91D,T 社規格、水沢規格のスラリー生成初期設定を行い、生成条件の確立を行う、下記に生成風景を示す



(2)スラリー固相率の確立

スラリーの固相率を30%、40%、50%と変化させる実験をおこなった。その結果、カップ厚みと過熱度により固相率を30%、40%、50%と設定できることがわかった。表2-1-7にスラリーの固相率30%、40%、50%の外観写真を示す。

表2-1-7 スラリーの固相率30%、40%、50%の外観写真

固相率30%	固相率40%	固相率50%
		

2-2 金型設計技術の確立（（財）青葉工学会、水沢工業株）

2-2-1 CAE 解析

2-2-1-1 解析条件

湯流れ解析専用ソフトを用いてシリンダーの半凝固鑄造として最適な金型設計技術の確立および鑄造方案の確立を行った。鑄造 CAE ソフト ADSTEFAN Version11.0 を用いてシリンダー金型の湯流れ解析をおこなった。その解析時の CAE 解析画面を写真 2-2-1 に示す。解析に用いた条件を表 2-2-1 に示す。

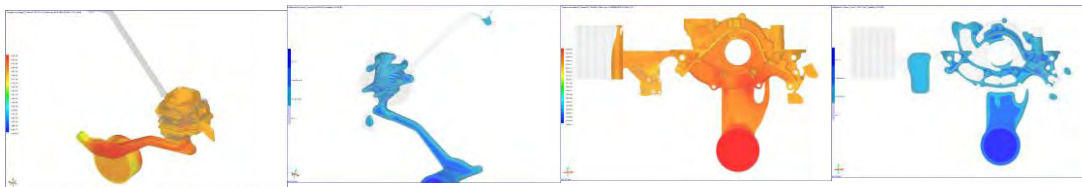


写真 2-2-1 CAE 解析

熱伝達係数(cal/(cm ² ・s・deg))	鑄物/金型：0.2 金型/空気：0.2
流入速度(cm/s)	200

表 2-2-1 解析条件

2-2-1-2 まとめ

草刈機用シリンダーとオイルポンプボデーについて湯流れ解析および凝固解析をおこなった。

(1) 草刈機用シリンダー

金型設計が、CAE 解析シミュレーションをおこなうことで、湯流れ挙動による鑄造欠陥および凝固挙動による鑄造欠陥の推定が事前に推定することが可能となり、最適な金型設計技術の確立をおこなうことができた。

(2) オイルポンプボデー

既存金型（アルミ鑄造金型）で半凝固鑄造を鑄造 CAE 解析した結果、既存金型でも使用できる事が確立できた。

2-2-2 金型設計、金型製作

湯流れ解析をベースに金型設計を行い金型設計仕様書を作成、方案に沿って型製作を行った

- ① 現行アルミニウムダイカスト鑄造は2個取り金型である。
- ② 量産に対応した現行方式と同じように2個取りの構造とした。
- ③ 湯廻り対策の為に、温度調整器を使用できる方式とした。
- ④ 製品形状から各製品毎1個の油圧中子、3個の傾斜中子で構成されている。
- ⑤ 品質確保の一貫としてチルベントを設けた。



シリンダー固定型



シリンダー可動型

シリンダー金型の外観写真

2-3 鋳造条件の確立（（財）青葉工学会、水沢工業株）

2-3-1 半凝固スラリー生成条件の影響の調査

2-3-1-1 スラリー生成試験

溶解炉にてマグネ材 AZ-91D 150Kg を予め設定しておいた溶解温度（660℃～710℃）にて溶かし、溶けて液体状になったマグネ材 AZ-91D を溶解炉から、ナノ電磁攪拌装置にセットされている半凝固スラリーカップへ注入し、マグネ合金 AZ-91D の電磁攪拌を行いスラリーカップ内にて半凝固状態（スラリー）を作り出す。ナノ電磁攪拌装置の外観、注湯風景を下記写真示す。



半凝固スラリー生成条件が鋳造品に及ぼす影響を調査するためスラリー固相率と製品鋳造の比較をおこなった。その結果を、図2-3-1に示す。

	固相率30%	固相率40%	固相率50%
スラリー状態			
製品状態			

図2-3-1 スラリー固相率と製品鋳造の比較

2-3-2 金型条件の影響の調査

金型温度調整器を使用しての品質調査

金型温度調整器を使用しての品質調査をおこなった結果を表2-3-1に示す。

表2-3-1 金型温度と品質の関係

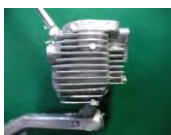
金型温度100℃	金型温度150℃	金型温度200℃	金型温度250℃
 	 	 	 
製品に及ぼす影響 湯廻り不良	製品に及ぼす影響 若干の湯廻り不良	製品に及ぼす影響 湯じわも無く良好	製品に及ぼす影響 湯じわも無く良好

2-3-3 鋳造条件の影響の調査

2-3-3-1 射出速度が品質に及ぼす影響の調査

射出速度を 0.1m/s、0.3 m/s、0.5 m/s、1.0 m/s の条件で鋳造をおこなったところ、どの射出条件でも湯廻り不良で製品が作れなかった。その結果を表2-3-2に示す。

表2-3-2 射出速度 0.1、0.3、0.5、1.0 m/s での品質調査結果

	0.1m/s	0.3m/s	0.5m/s	1.0m/s
状態				
品質	外観は、不良 内部鑄巣欠陥あり	外観は、不良 内部鑄巣欠陥あり	外観は、不良 内部鑄巣欠陥あり	外観は、不良 内部鑄巣欠陥あり

そこで、射出速度を 2.5m/s および 3.5 m/s の条件で鋳造をおこなったところ良好な製品が得られた。その結果を表2-3-3に示す。

表2-3-3 射出速度 2.5、3.5 m/s での品質調査結果

	2.5m/s	3.5m/s
状態		
品質	外観は、良好 内部鑄巣欠陥あり	外観は、良好 内部鑄巣欠陥あり

2-3-3-2 射出圧力が品質に及ぼす影響の調査

射出圧力が品質に及ぼす影響を調査した結果を表2-3-4に示す。その結果、射出圧力を低圧、中圧、高圧と条件を変えても湯廻り不良等の外観的目視検査では大きな差は認められなかった。

表2-3-4 射出圧力が品質に及ぼす影響

	低圧	中圧	高圧
状態			
品質	外観は、良好 内部鑄巣欠陥あり	外観は、良好 内部鑄巣欠陥あり	外観は、良好 内部鑄巣欠陥あり

AZ-91D 材, T 社規格材、水沢規格材を用いて鋳造を行い、品質確認を行った結果金属的に優位性は個々に有るが、現状ゲート方案では最終的に一部湯廻りが改善されず、要因の洗い出しを行い各種解析結果を基にゲート断面積の改善を行った、その内容を表 2-3-5 に示す

表 2-3-5 品質の問題点と原因、対策

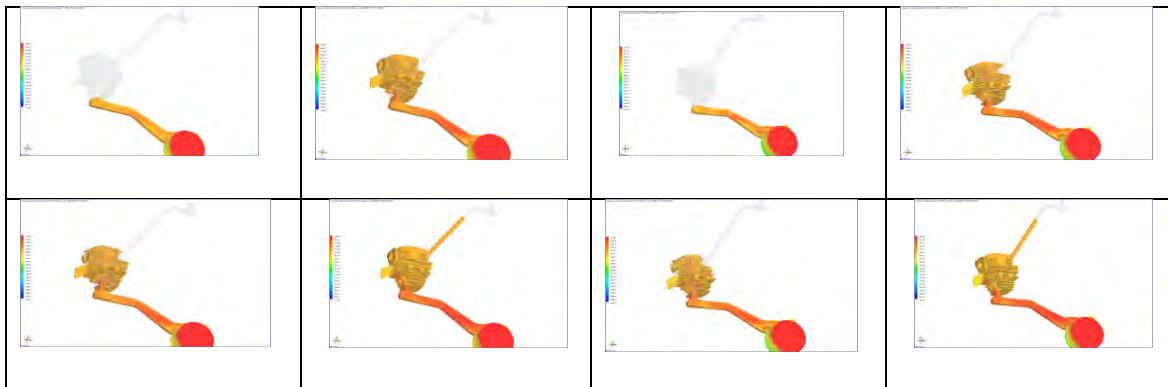
問題点	原因	対策	効果予測
 外観は、良好 内部鑄巣欠陥あり	①高速、増圧スピードを上げても変化が無い。 ②溶湯温度を上げてても解決されない。 ③電磁攪拌を変化させても解決されない	①ゲート幅の拡大 ②ゲート先湯先に湯溜まり追加	現状ゲート速度 147m/s。 ゲート拡大によりゲート速度 50m/s に変更 ゲート通過時の溶湯の乱れを制御される事により湯廻り改善に効果が期待できる。

2-3-3-4 CAE 解析による事前検討

金型方案を CAE 解析により事前検討を行なった。CAE 解析による現行方案とゲート拡大方案の比較を示す。その結果ゲート拡大により湯廻り不良の改善に効果のあることがわかった。

現行方案

ゲート拡大方案



ゲート拡大方案にて鋳造した結果、下記写真に示すように良好な結果が得られた。



2-3-3-5 まとめ

(1) 現行金型における鑄造条件と品質の調査をおこなった結果以下のことがわかった。

① 外観品質は、射出速度を 2.5m/s 以上にすれば良好であることがわかった。

しかしながら、内部鑄巣欠陥の改善はできなかった。

② 射出圧力は、圧力による変化はなく、外観は良好であるが、内部鑄巣欠陥の改善はできなかった。

(2) 金型方案を CAE 解析により事前検討を行ない、現行方案とゲート拡大方案の比較により内部鑄巣欠陥の改善に効果のあることがわかった。

(3) 半凝固鑄造の各合金での品質をまとめると下記のように Mg シリンダー半凝固鑄造に最も適する合金は、水沢工業規格であることが解った。

T 社の Mg 材については半凝固鑄造には適さなかった。

	AZ-91D	T 社規格	水沢規格
スラリー生成	○	○	◎
半凝固鑄造性	○	○	◎
製品出来映（外観）	○	×	◎
取り扱い（発火等）	○	×	◎

2-4 金属組織観察についての評価（（財）青葉工学会、水沢工業㈱、 （独）産業技術総合研究所中部センター）

2-4-1 目的

前節にて作製したエンジン用シリンダ及び特性評価用試料（引張試験片）の組織観察、内部欠陥観察（X 線 CT 観察）を行い、その結果をもとにスラリー作製条件、鑄造方案、鑄造条件へのフィードバックを行う。

2-4-2 エンジン用シリンダ試料の組織観察

今回製作したマグネ合金用の金型を用いて作製した試料の組織観察を行った。今回観察を行った試料は次の 4 種類である。

AZ-91D ダイカスト品 AZ-91D セミソリッド品 T 社規格材セミソリッド品
水沢規格材セミソリッド品

図 2-4-1 に組織観察を行った位置を示す。図中 A はゲートから入った溶湯が全方向へ分岐する部分、B、C はシリンダ内壁部分、D、E、F は放熱用フィン先端部分である。

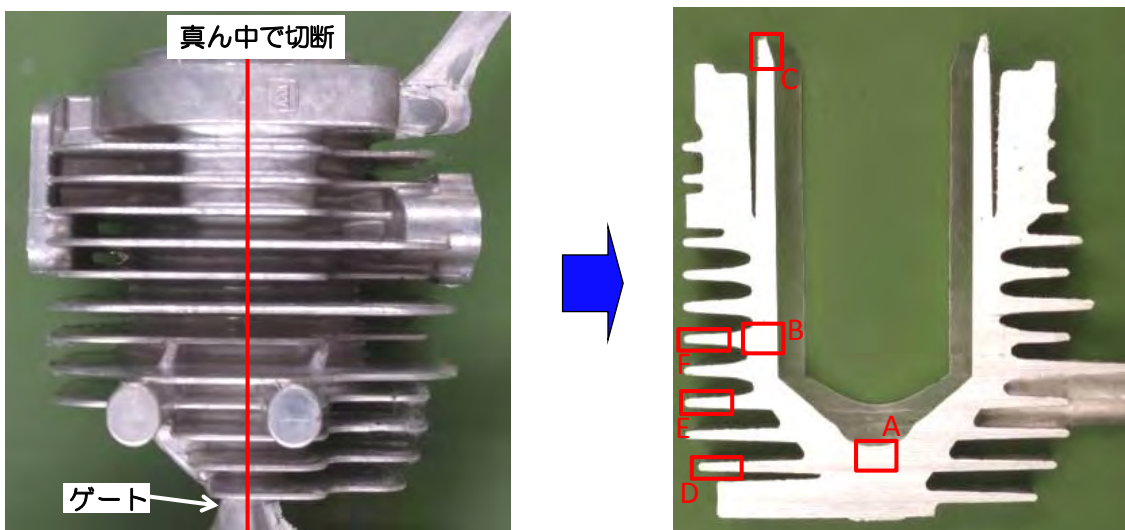


図 2-4-1 組織観察位置

図 2-4-2 に各試料の組織観察結果を示す。ダイカスト品 (No.1) は、セミソリッド品に比べ試料中の α 相粒子 (写真中白色) は非常に細かいが、場所により α 相粒子量が大きく異なり、また至る所に粗大な α 相粒子が存在し、その組織は不均一であった。一方、セミソリッド品は試料の場所による α 相粒子量に

大きな違いは見られず、非常に均一な組織となっていることが分かった。全ての試料において、溶湯が分岐する A の部分に多くの鑄巣が発生していた。この他の部分にも、A の部分程ではないが鑄巣が観察された。AZ-91D 及び水沢規格材のセミソリッド品 (No.2、No.4) は比較的良好な充填状態であったが、AZ-91D のダイカスト品 (No.1) 及び T 社規格材のセミソリッド品 (No.3) はフィン先端部への不十分な充填状態が多く観察された。更に T 社規格材では、溶湯が分岐する A の部分に鑄巣だけでなく幾つかの割れも観察された。

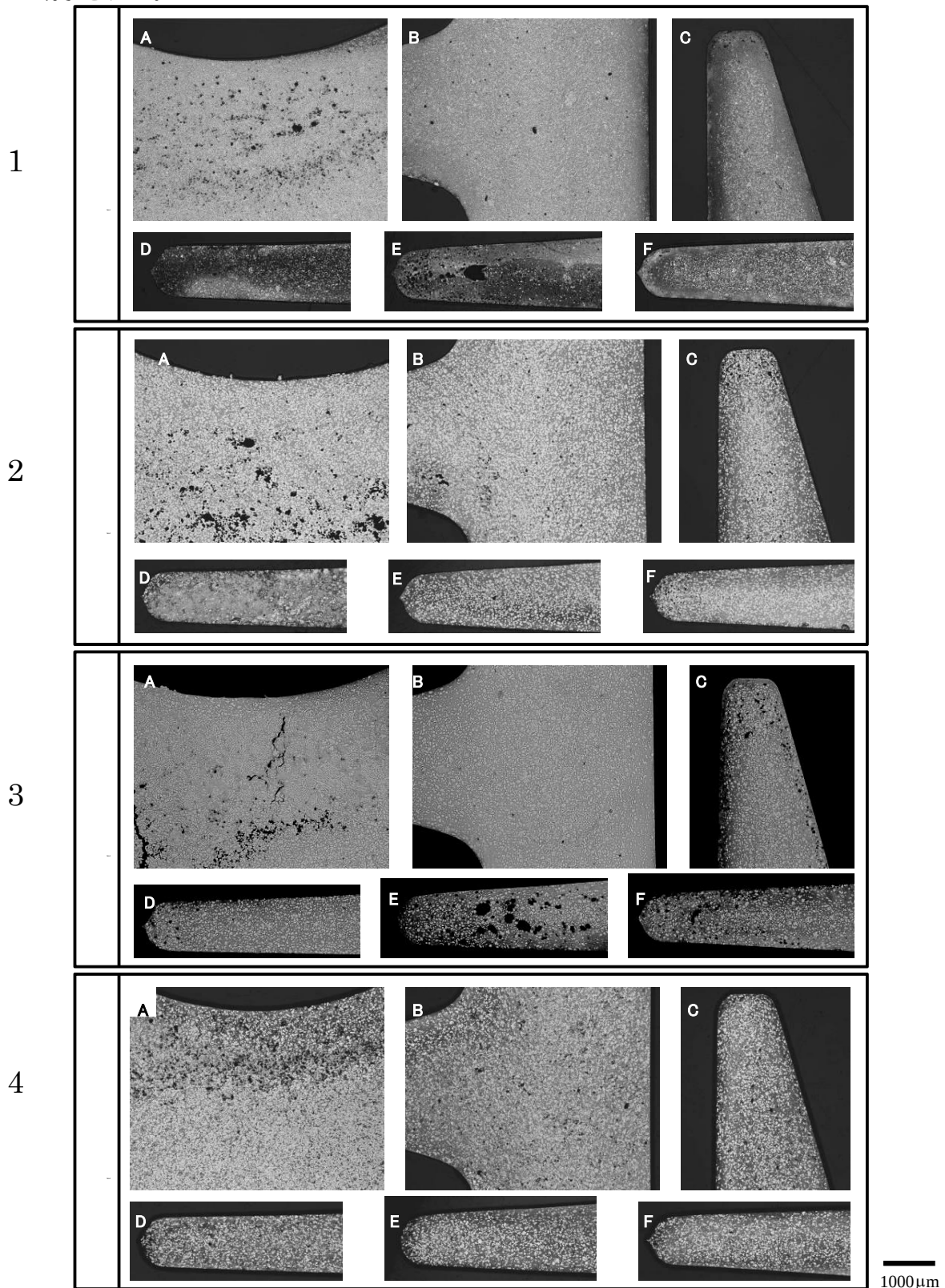
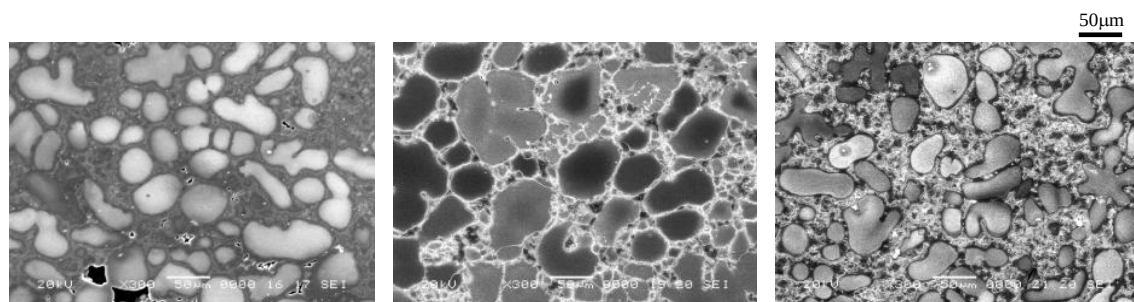


図 2-4-2 組織観察結果

図2-4-3に各セミソリッド品の初晶粒子(初晶 α 粒子)の拡大写真を示す。AZ-91D及び水沢規格材では、初晶粒子は50-100 μ m程度の比較的球形をしていた。これに対しT社規格材では、初晶粒子は100-150 μ mと若干大きく、また角ばった形状をしており、AZ-91Dや水沢規格材とは大きく異なる。このような角ばった形状の初晶粒子は湯流れ性に悪影響を及ぼすことが考えられる。これが、図2-4-2で見られたT社規格材の不十分な充填状態の原因の一つと考えられる。



AZ91D

T 社規格

水沢規格

図2-4-3 初晶粒子比較

図2-4-4にMg-Al二元状態図を示す。今回用いた各材料をMg-Al二元系と仮定した場合、状態図から読み取れる各材料の固液共存範囲は次のようになる。

AZ-91D	605℃-500℃	(105℃)
T 社規格材	641℃-620℃	(21℃)
水沢規格材	593℃-470℃	(123℃)

これからわかるように、AZ-91Dや水沢規格材に比べT社規格材は固液共存範囲が非常に狭い。つまり、セミソリッド条件で射出を行った場合、非常に短時間で凝固が完了してしまう。この固液共存範囲の狭さも図2-4-2で見られた不十分は充填状態の原因の一つと考えられる。

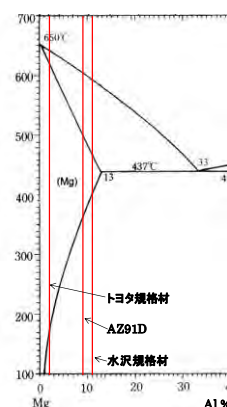


図2-4-4

以上のように、T社規格材は固液共存範囲が狭く、また初晶粒子の形状も角ばっているためセミソリッド成形には不向きであると判断し、以降の実験ではAZ-91Dと水沢規格材に絞って検討を行った。

2-4-3 ゲートサイズの影響

前節ではアルミニウム合金用の金型を用いてエンジン用シリンダの作製を行った。しかし、マグネシウム合金はアルミニウム合金に比べ凝固潜熱が小さく凝固しやすいため、同じ金型(鑄造方案)では充填性が不十分になると考えられる。そこで、ゲート断面積を増大した金型を用いて試料の作製を行い、得られた試料の組織観察を行った。今回観察を行った試料は次の4種類である。

No.5	AZ91D	ダイカスト品	No.6	AZ-91D	セミソリッド品
No.7	水沢規格材	ダイカスト品	No.8	水沢規格材	セミソリッド品

組織観察場所は前節と同じである。

図2-4-5に各試料の組織観察結果を、図2-4-6にセミソリッド品の初晶粒子拡大写真をそれぞれ示す。これらの写真から分かるように、ゲートサイズを増大したことによる微視組織の大きな変化は観察されなかった。AZ-91Dのセミソリッド品において若干初晶粒子が合体するような傾向が見られたが、それ以外は初晶粒子の形状や大きさ、量、分布状態などはゲートサイズの影響をほとんど受けなかった。ゲート断面積を増大したことで充填性は向上し、シリンダ内壁先端(C部)やフィン先端(D, E, F部)までしっかりと溶湯が流れていることが分かった。しかし、試料内部の鑄巣量は明らかに増加していること

が確認できた。図2-4-2では溶湯の分岐部分(A部)以外ではそれほど鑄巣量は多くなかったが、今回は試料全体に多くの鑄巣が存在していた。これは、ゲート断面積を増大したことにより、溶湯の流れが層流から乱流に変化し、多くのガスを巻き込んでしまったためと考えられる。

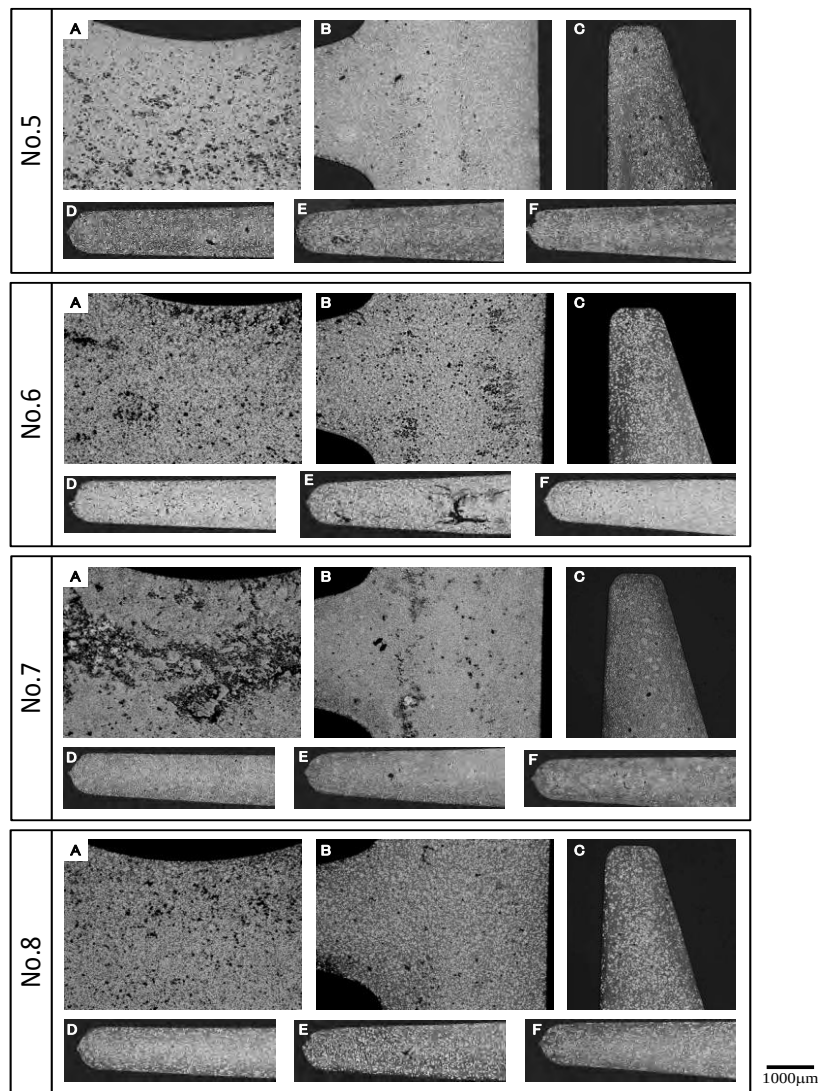


図 2-4-5 組織観察結果

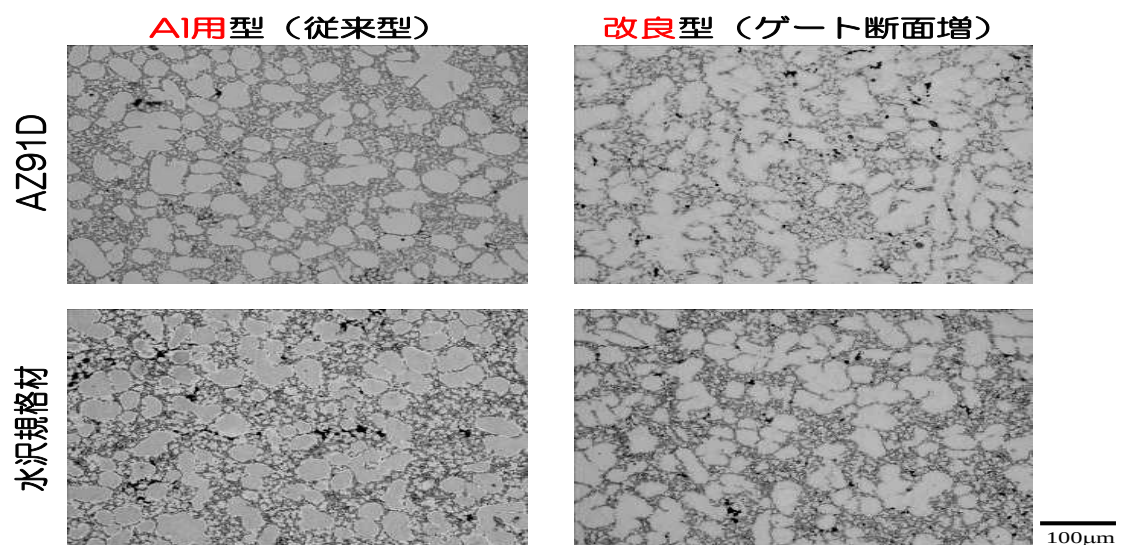


図 2-4-6 初晶粒子に及ぼすゲートサイズの影響

2-5 製品機能評価（耐クリープ特性、耐摩耗性） （水沢工業株式会社）

草刈り機用シリンダーおよびオイルポンプボデーのクリープ特性を確認する為、写真2-5-1のJIS規格4号試験片テストピース金型で高温引張試験（写真2-5-2）を行い、製品機能評価を行った。試験温度 25℃、100℃、230℃で行った高温引張試験の結果を図2-5-1に示す。普通鋳造品はデータのバラツキが多く低い値を示した。半凝固鋳造品はAZ-91D、水沢規格共に、普通鋳造品よりもバラツキが無い安定して高い値を示した。

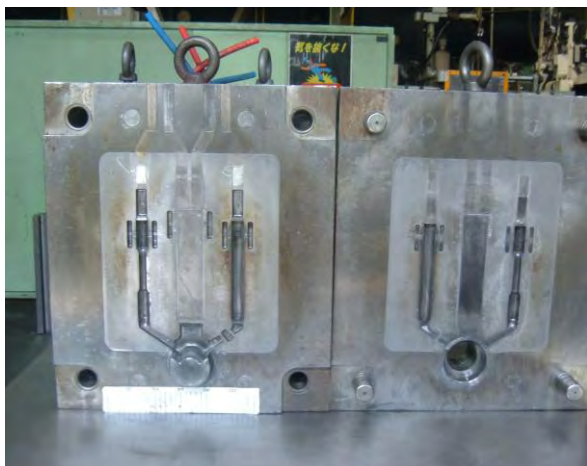


写真2-5-1 テストピース用金型
テストピース用金型（JIS規格4号試験片）



写真2-5-2 高温引張試験試験風景

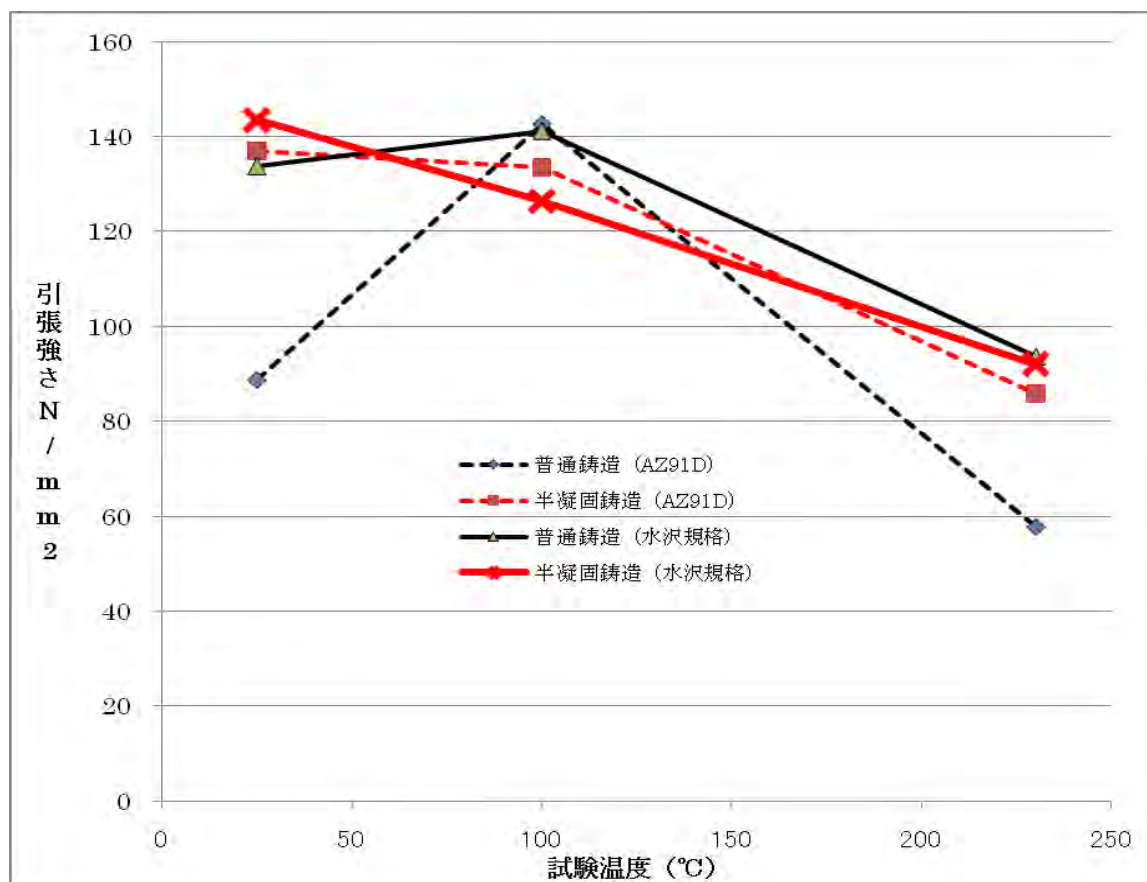


図2-5-1 高温引張試験結果

2-5-1 草刈り機用シリンダー （水沢工業㈱と農機具メーカーとの共同）

試作品をメーカーに納入した際、マグネ材にメッキ処理した後で無ければ実機テストができないと指摘され、現在専門メーカーへマグネ材試験片にメッキ処理テストを依頼中である。

2-5-2 オイルポンプボデー （水沢工業㈱と自動車部品メーカーとの共同）

現使用のアルミ鋳造金型でマグネ材半凝固製品を鋳造することが出来た。その製品の外観写真は写真2-5-3及び写真2-5-4に示すとおり、自動車部品メーカーとの共同での調査結果、概観及び形状とも満足できる成果が得られたことを確認した。よって、今後は川下企業である自動車部品メーカーと具体的仕様について打ち合わせを開始することとした。



固定側



可動側

写真2-5-3 半凝固鋳造品 （現行アルミダイカスト鋳造金型を使用）

重要箇所をX線装置にて欠陥を確認、良好な状態と判断した。

重要箇所X線装置にて内部欠陥確認



写真2-5-4 重要箇所X線装置にて内部欠陥確認

【結果】

目標のマグネシウム合金の耐摩耗性と放熱特性を有する軽量化エンジンシリンダーの開発に関して①耐摩耗性評価に関して、今後実装テストを行えるまでの製品化は完了した。②放熱特性に関しても同様の実用化までの確認はできた。今後アドバイザー企業（メーカー）と表面処理などの仕様を追加して実用化を目指して確認する。

今回、電磁攪拌装置を利用して、マグネシウム合金の半凝固鋳造に最適なスラリー生成条件、製品に最適なマグネシウム合金配合の開発、鋳造条件や半凝固用鋳造金型設計係数など、詳細な条件が確認できた。

【まとめ】

マグネシウム合金普通鋳造品は、高温クリープ特性から、機械的強度部品には採用される事はなかった。また、合金配合を変えると鋳造製品化が難しく実用化にならなかった。今回マグネシウム合金を電磁攪拌式半凝固（semi solid）化し、普通鋳造法では製品化出来なかった新合金配合マグネシウムでの製品化が可能となった。

このことは、本開発研究での大きな成果と言える。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

本研究開発では、草刈り機エンジン用シリンダーと自動車エンジン用オイルポンプボデーの軽量化、低コスト化及び高強度化を図るため、半凝固鋳造法を用いた Mg ダイカスト製品の研究開発を実施することを目的として、

- ① マグネ合金用スラリー生成条件の開発
- ② 金型設計技術の確立
- ③ 鋳造条件の確立
- ④ 金属組織観察についての評価
- ⑤ 製品機能評価（耐クリープ特性、耐摩耗性）

をおこなった。

その結果、草刈り機エンジン用シリンダー及び自動車エンジン用オイルポンプボデーの耐クリープ特性を確認するため、顕微鏡及び X 線-CT による金属組織観察並びに高温引張試験を実施した結果、半凝固鋳造法を用いた水沢規格合金による Mg ダイカスト製品は、軽量化とアルミ製品と同等のクリープ特性が得られた。

また、川下企業との共同で行った実装試験においても一定の強度特性が確認された。今後も製品の實用化に向けて、実装試験を繰り返し実施するとともに、量産化の検討など、軽量化、低コスト化、高強度化製品の確立を図る。

以上のことから、本研究開発で製作された製品は、「優れた耐摩耗性と放熱特性を有する軽量化エンジン用シリンダーの開発」の所期の目標をほぼ達成したと言える。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

草刈り機エンジン用シリンダー等の製品化に向けては、引き続き高強度確認のための実装試験、量産化のための Mg 溶湯のスラリーカップ注入の自動化や川下企業の強い要請がある Mg 製品の表面処理技術の確立など、多くの課題があるが、これらを解決したうえで、事業化の実現を図る。

今後は、引き続き本研究開発の課題解決に取り組みながら、川下企業との情報交換やアドバイスを得ながら、マーケット開拓等を進め、事業化展開に取り組んで行く所存である。