

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「マグネシウム新成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人金属系材料研究開発センター

(目次)

第1章 研究開発の概要

1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1－2 研究体制 (研究組織・管理体制)

1－3 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2－1 歩留まり率向上への対応

2－2 成形時間の短縮への対応

2－3 加工精度の向上への対応

2－4 複雑形状金型及び取り出し機構技術の研究開発

2－5 円柱形状マグネシウムインゴット挿入型 射出成形機用熊大マグネシウム合金の最適化

第3章 全体総括

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) 研究開発の背景

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、部品の素材や形状等について見直しが進められている。また、燃焼効率向上に伴う排気ガスの高温化に耐える部材、ノイズ、バイブレーションの低減につながる部材の開発が求められている。さらに、自動車生産のグローバル化の進展に伴い、グローバル調達できる部材と原材料、地域環境への配慮のニーズが高まっている。

(2) 研究目的及び目標

①高度化指針における高度化目標

(十) 鑄造に係る技術に関する事項

1. 鑄造に係る技術において達成すべき高度化目標

(1) 自動車に関する事項 (抄)

②高度化目標

- イ. 剛性、靱性の向上に資する鑄造技術の開発
- オ. 耐熱性の向上に資する鑄造技術の開発
- ケ. 複雑形状を実現するための鑄造技術の開発
- サ. 薄肉化及び軽金属化を実現するための鑄造技術の開発
- シ. 品質の確保及び向上に資する鑄造技術の開発
- ス. コスト低減に資する鑄造技術の開発
- セ. 短納期を実現するための鑄造技術の開発
- ソ. 環境配慮に資する鑄造技術の開発

②研究開発の高度化目標

イ. 剛性、靱性の向上に資する鑄造技術の開発

熊大マグネシウム合金を用いた「ビレット形状マグネシウムインゴット挿入型射出成形技術」の確立を図る。そのため、強度特性の非常に優れている熊本大学の新マグネシウム合金の最適化とともに、これを用いた最適な射出成形技術を確立することにより、剛性、靱性の向上を図る。また、保温、冷却温度制御により、さらなる高品質化を図る。

オ. 耐熱性の向上に資する鑄造技術の開発

高温での強度劣化の少ない熊本大学の新マグネシウム合金の最適化とともに、これを用いた最適な射出成形技術を確立することにより、熊本大学の新マグネシウム合金の適用範囲を拡大する。

ケ. 複雑形状を実現するための鑄造技術の開発

自動車エンジン・ターボチャージャーのコンプレッサホイールという羽形状の複雑形状の製品に対応した取り出し機構を研究開発する。

サ. 薄肉化及び軽金属化を実現するための鑄造技術の開発

180℃に達する自動車エンジン・ターボチャージャーのコンプレッサホイールには、これまで、高温クリープ性能の低いマグネシウムは用いられにくい部品であった。熊本大学開発の新マグネシウム合金を用いて製造方法等を最適化することにより、当該部品のさらなる軽金属化を実現する。

シ. 品質の確保及び向上に資する鑄造技術の開発

湯流れ制御、冷却温度制御、合金成分制御、ビレット形インゴット挿入による空気との接触面の極小化の研究開発により、品質の確保及び向上を図る。

ス. コスト低減に資する鑄造技術の開発

アルミニウムやプラスチックの代替として、今後利用が見込まれるマグネシウムの成形加工において、加工精度を高めるとともに、加工時間を短縮することでコスト削減を達成するための新たな技術を開発し、軽量・高強度・安全な部品の加工技術を開発する。特に価格面での競争力をつけていくため、加工精度の向上・ロス率の軽減を軸とした歩留まりの向上、加工工程の研究による加工時間の短縮、以上の2つの研究開発を行う。

セ. 短納期を実現するための鑄造技術の開発

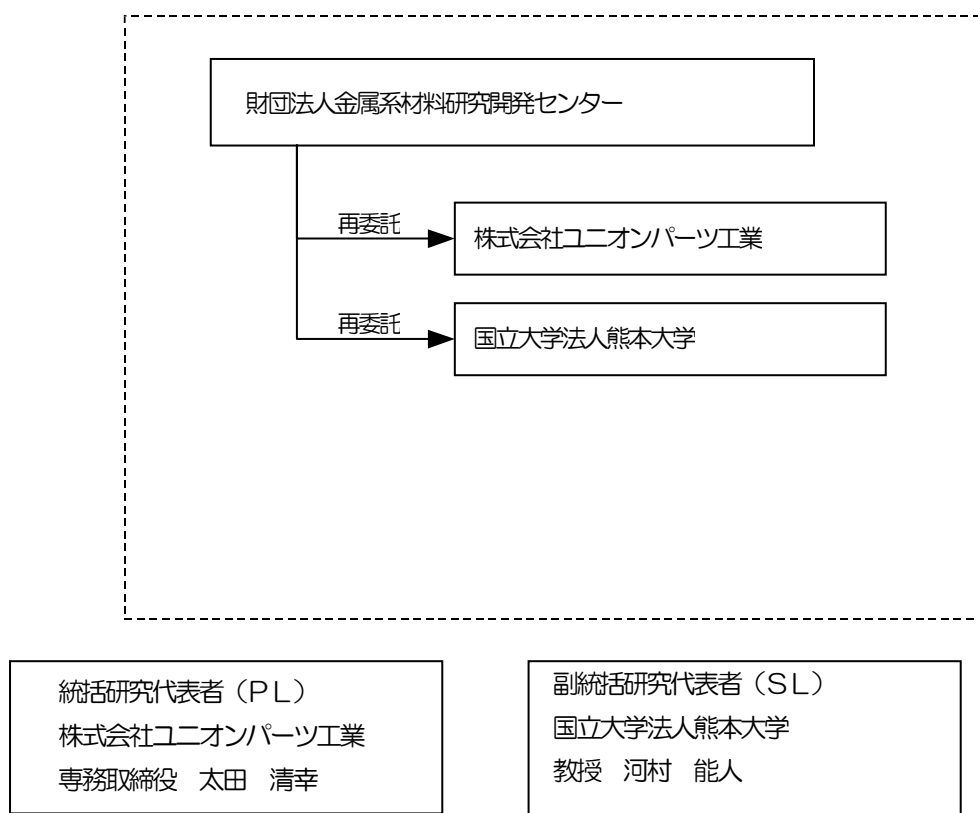
加工精度の向上・ロス率の軽減を軸とした歩留まりの向上、加工工程の研究による加工時間の短縮のための研究開発を行う。

ソ. 環境配慮に資する鑄造技術の開発

ビレット形インゴット挿入による空気との接触面を極小化する新射出成形技術の確立により、マグネシウム製品の製造時に用いる SF6 等の防燃ガスを用いない成形法を確立する。

1－2 研究体制

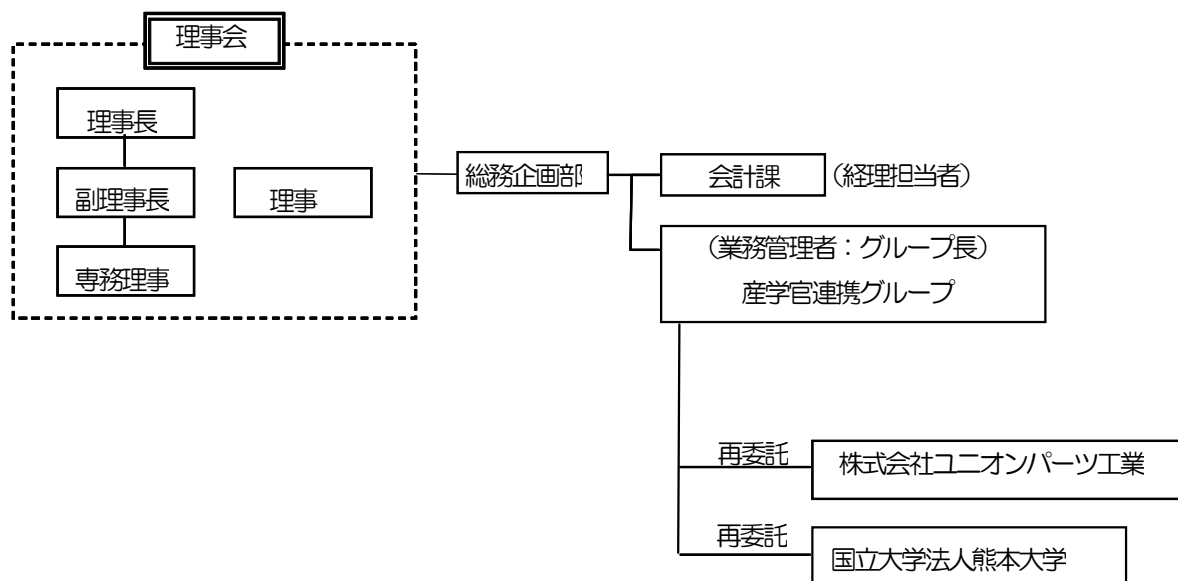
(1) 研究組織



(2) 管理体制

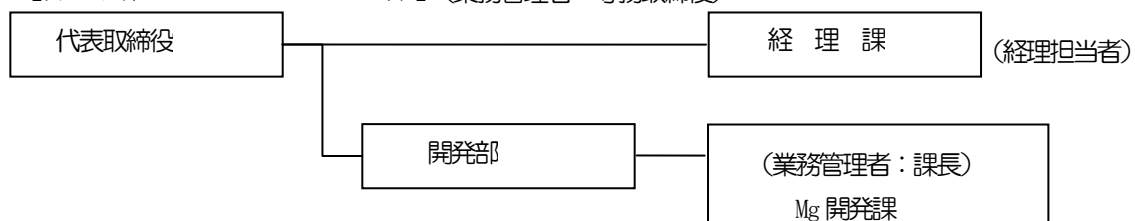
①事業管理者

[財団法人金属系材料研究開発センター]

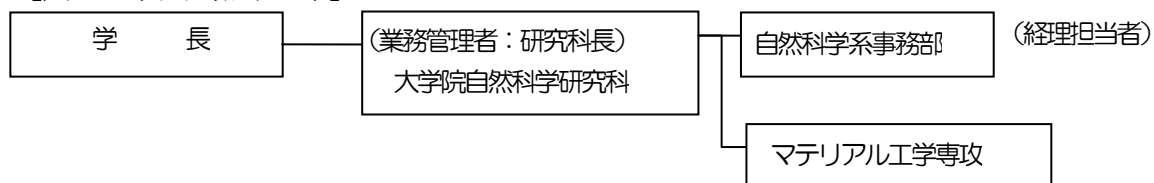


② 再委託先

[株式会社ユニオンパーツ工業] (業務管理者: 専務取締役)



[国立大学法人熊本大学]



1-3 当該研究開発の連絡窓口

財団法人金属系材料研究開発センター産学官連携グループ・主席研究員 櫻田 隆

TEL 03-3592-1284・FAX03 3592-1285・E-mail:tsakurada@jrcm.jp

第2章 本論

2. 1 歩留まり率向上への対応

・実施計画及び目標

ビレット式射出成形機 (Mg-PLUS) の射出部と溶解部を改造して、空気の巻き込み、酸化物の発生とその巻き込み等を防ぐ工法を開発する。ビレット方式射出成形用にチューンナップされた熊大マグネシウム合金のビレット方式射出成形品の熱処理条件を確立する。開発するビレット方式射出成形機で作製した熊大マグネシウム合金製品の機械的性質、欠陥発生状況 (巣、気泡巻き込み、酸化物巻き込み、湯ジワ) を評価し、自動車部品等への実用化可能性を検証する。その結果、成形歩留まりを従来の30%から50%に向上させる事を目標とする。

2. 1. 1 対策・実施内容

材料歩留まりの悪化の要因であるスプルー・ランナー部を縮小させる為に、ホットランナーシステムを使用し、成形品試作を行う。

図2. 1. 1-1に、通常のスプルーとホットランナー化した場合のスプルーを比較したものの一例を示す。製品形状により効果は異なるが、ホットランナー化する事で体積比約70%減・歩留まりは約22%の向上が予想される。

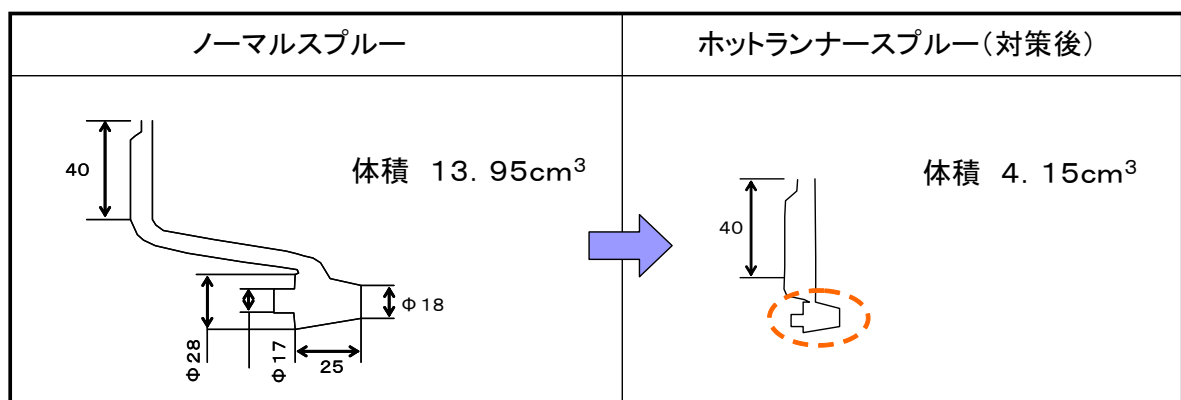


図2. 1. 1-1. スプルー違いによる体積比較の一例

また、ホットランナーを搭載することにより、湯の流れが短くなる事により金型内部のエア巻き込み現象が考えられる為、内部の欠陥低減につながる事が予想される。

2. 1. 2 結果

図2. 1. 2-1は、熊大Mg合金での成形品である。外観上はノーマルスプルーと同等の製品が成形できた。液相線の違いにより、ノズル先端の温度を上昇させ成形を行ったが、試作成形時点では金型溶損などの懸案事項は見られなかった。しかし、成形性の課題として、図2. 1. 2-2のように、金型の固定側に試作品が張り付く事象が多発した。これは、熊大マグネシウム合金が強度的に高い事から、射出後の金型が開く際に、既存の金型方案では可動側に引き抜く力が弱い為発生したものと予想される。今回の対策としては、金型側にアンダーカットを強くする方向で改修し張り付き事象も低減されたが、今後の金型方案での検証も必要と考えられる。



図2. 1. 2-1. 熊大マグネシウム合金
ホットランナー成形品



図2. 1. 2-2 固定側に張り付いた
金型写真

また、ホットランナー化することにより、外観・内部（鑄巣など）に影響が無いか評価を行った。棒状の形状においては、スプルー違いにおける外観影響は特に見られなかった。断面観察においても特に大きな鑄巣は確認出来ず、見通しはあるものと考えられる。

2. 1. 3. まとめ

本研究の結果、材料歩留まりは50%以上が実現できた。試作成形品以外の製品についても、検討の結果大幅な低減が予想されるため、見通しはあるものと考えられる。また、試作成形を行った2種類の製品についての外観や内部欠陥を調査したが、ノーマルスプルー同等の成形が実現できた。これにより、成形時の廃棄部分が大幅に低減でき環境面・コストダウンなどに効果があるものと考えられ、大量生産が考えられる自動車部品の製造にも大きなメリットがあるものと予想される。

但し、新たな課題として、①量産を考慮した際の耐久性、②製品形状や大きさ違いによる湯流れの検証などが考えられる。

製品	製品重量 (g)	スプルー 改善後(g)	オーバー フロー(g)	全体 重量(g)	歩留まり (%)
製品A	20.2	7.5	2.5	30.2	66.9
製品B	38.8	22.0	16.8	77.6	50.0
製品C	43.1	9.8	2.5	55.4	77.8
製品D	80.6	16.0	32.8	129.4	62.3
製品E	150.8	25.0	16.0	191.8	78.6

図2. 1. 3-1. 歩留まり向上予測
(製品A, Cに関しては、実成形結果)

2. 2 成形時間の短縮への対応

・実施計画及び目標

Mg-PLUS のホットランナー化に合わせ金型のスプルーの大きさやランナーの太さ、長さ等の最適化を目指すと共に金型の外側に断熱材を装着することで金型の温度を安定化させる研究を行い、不良品を減少させる。また、ノズル部分のホットランナー化を研究する。その際、マグネシウム合金の熔融温度や射出速度などの成形条件を最適にする研究開発を実施すると共にノズルヒーターや制御BOX等の設置など成型機の改良を行う。

溶解シリンダーのヒーターを高温で維持でき断線しにくいものに改良変更し、計量のばらつきや成形サイクルを安定化させることを目指し歩留まりを高める。また、歩留率の向上に伴い1ショット当たりの材料を少なくし、ショットサイクルを短縮化する成形方法を研究する。その結果、加工時間を従来の半分にする事を目標とする。

2. 2. 1 現状把握・課題

現行の製品成形時間の調査を実施した結果を図2. 2. 1-1に示す。

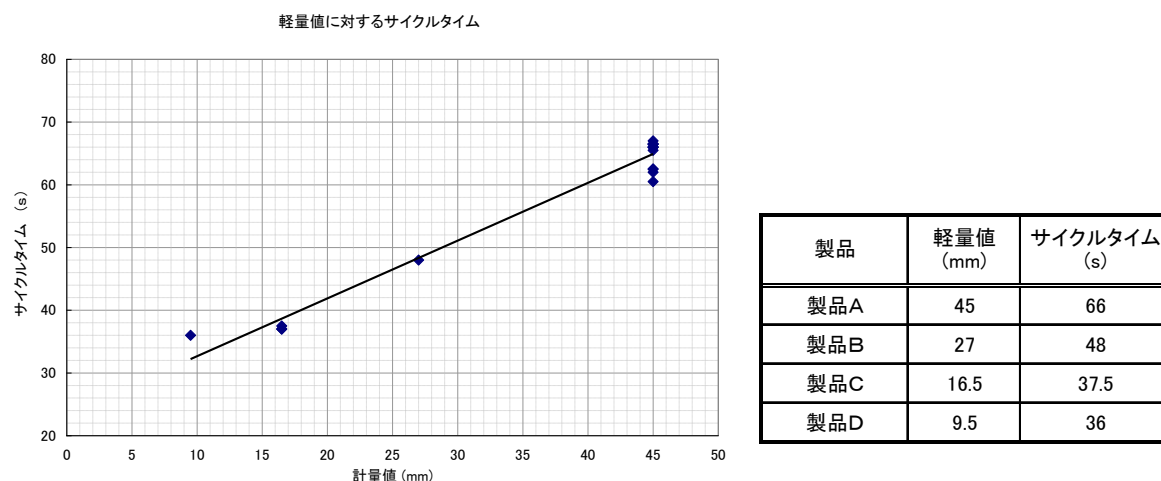


図2. 2. 1-1. 現状製品の計量値に対するサイクルタイム

4種類の計量値違い（体積・重量違い）による成形サイクルタイムを計測した結果、重量違いによりサイクルタイムが大きくかかっていることが確認出来る。よって、体積（計量値）の低減がサイクルタイム減少につながる事が予想される。

また、成形のサイクルについて検証を行った。1回のサイクルは大きく分類し、①溶解・鑄造時間と②休止時間の2つに分類される。この2つの項目のうち①に関しては、製品重量などを変化させてもほぼ変動は無く、改善の効果小さいと考えられる。②に関しては、マグネシウム合金の溶解待ち時間も含まれており、ランナー部を含む製品の重量の低減（溶解時間短縮）が成形時間短縮につながるものと考えられる。

現状確認の結果、加工時間を短縮させる手法として、下記2項目を考えられる。

- ① 計量値（体積）低減化による時間短縮検討
- ② 溶解能力向上による溶解時間の短縮化検討

この2項目を重点的に確認し、時間短縮を図る。

2. 2. 2 要因分析および対策

成形タイムの変化の要因としては、2つの項目が推測される。①計量値（体積）変化による成形時間への影響、②成形中の温度変化バラツキ（シリンダー、金型）の2項目が考えられるため、この2項目を重点的に検討し、成形時間の短縮を図る。

テーマ①の“歩留まり率向上への対応”で述べたように、従来製品は材料歩留まりが悪く溶解時間にも影響を与えていた事が予想される。よって、ホットランナー化する事で、大幅な重量低減が見込め、重量低減分の溶解時間短縮が考えられる。

次に、②成形中の温度変化バラツキ確認の為、現行の製品成形中の溶解温度の変化を確認した。図2. 2. 2-1に成形中の各ヒーター温度変化を示す。

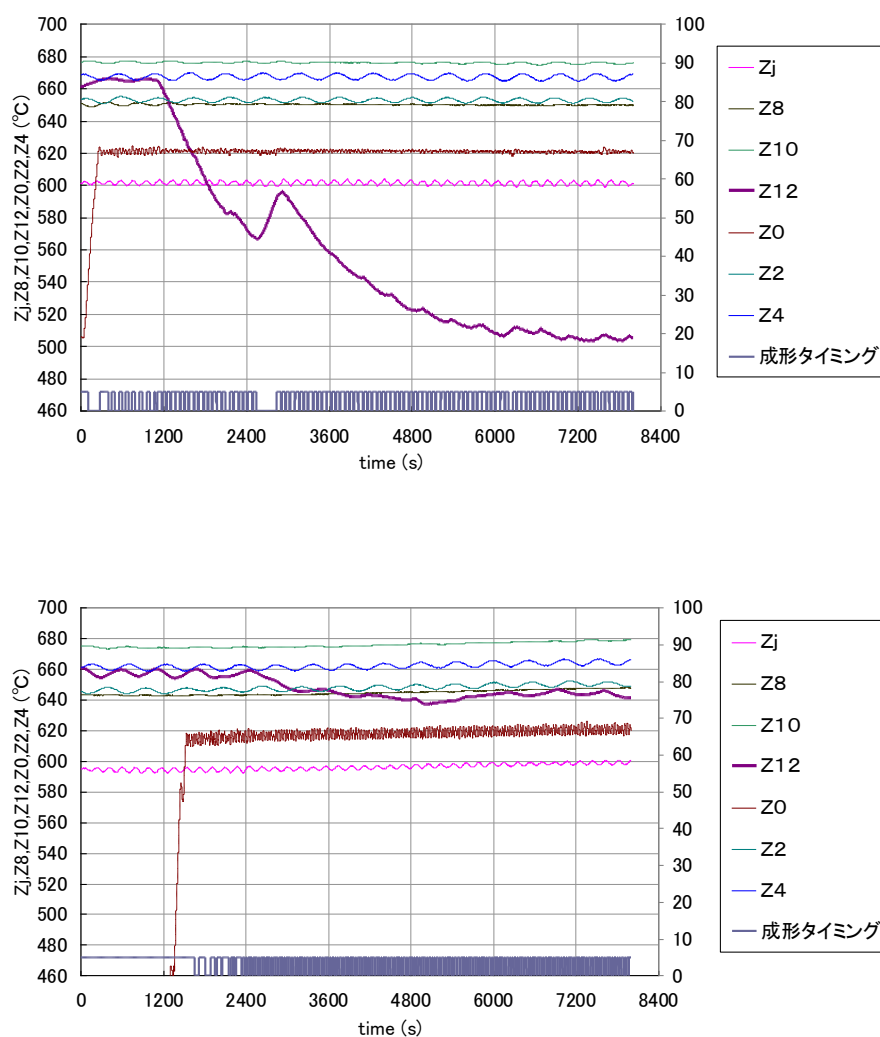


図2. 2. 2-1. 成形中のシリンダー温度の推移の一例
(上段：計量値45mmの製品 下段：計量値16.5mmの製品)

結果より、ほぼ同設定で成形したものでも一部のヒーター温度の大幅な低下が確認出来る。特に、計量値が大きい場合は、100℃以上も低下しており、溶解時間大幅な影響があるものと推測される。

また、成形中の金型温度についても測定を実施した。図2. 2. 2-2. に金型温度の測定結果を示す。

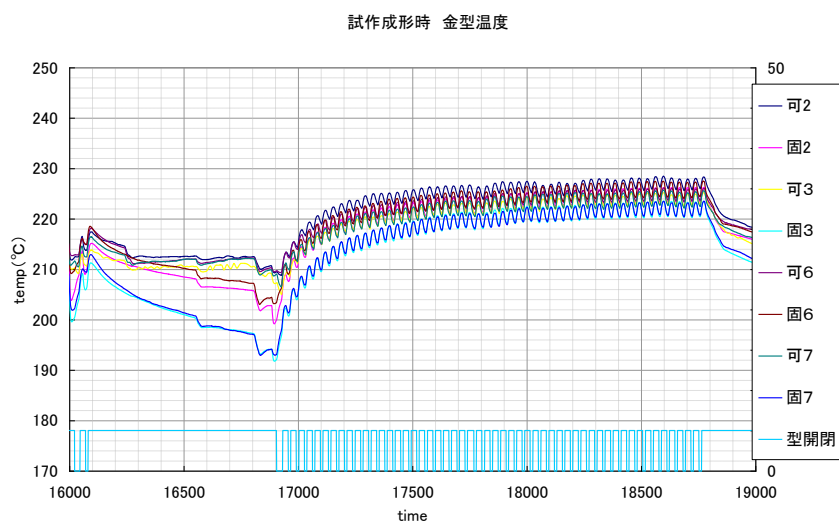


図2. 2. 2-2. 成形中の金型温度（一例）

測定結果より、成形開始より約10分は温度変動が確認でき、各ショットにおいても3～4℃の温度変化が確認できた。よって、溶解シリンダーの温度低下においては温度低下の小さいヒーターの選定、金型温度の低下対策については、金型に断熱材を装着する事で温度の安定化を図り、成形時間のバラツキ低減効果を確認する。

2. 2. 3 結果

下記条件にて、改善前と改善後の成形時間確認ならびに成形時の温度確認を行った。

項 目		設 定	備 考
成形機 温度	ホットランナー	600℃	休止中は、先端520℃付近に設定。
	ノズル先端	620℃	ホットランナー時は、650℃設定。
	その他ヒーター	650℃～680℃	
射出スピード		Max1500mm/s	
サックバック		3 ～ 6mm	
金型温度		200～250℃	

図2. 2. 3-1. 成形設定一例

まず、はじめに温度安定化を狙った対策として、金型に断熱材を装着し成形時の金型温度の変化を測定した。図2. 2. 3-2は、金型改修前後の比較写真である。断熱材を装着した金型の温度を測定したが、予想された効果は見られなかった。金型の温度変動は、製品取り出しの際の金型開時間や離型剤の噴霧時間が大きな要因と考えられ、金型側面の断熱効果は薄い事が確認出来た。



図2. 2. 3-2. 断熱材装着前後の金型写真
(左：断熱材装着前、右：断熱材装着後)

但し、断熱材有り・無しの双方で成形サイクルがある一定のタイミングで行われると、金型温度が安定してくる事が確認出来た為、成形時間のバラツキを抑える事が金型温度の安定化につながるものと考えられる。また、ヒーターを変更した成形機条件も同時に測定した。結果は、図2. 2. 3-3であるが、ヒーターの変更では、大きな効果は見込めない事が確認出来る。これは、材料投入の際の材料側への温度ドリフトが要因であり、設定違いで改善できることが図2. 2. 3-4で確認出来た。

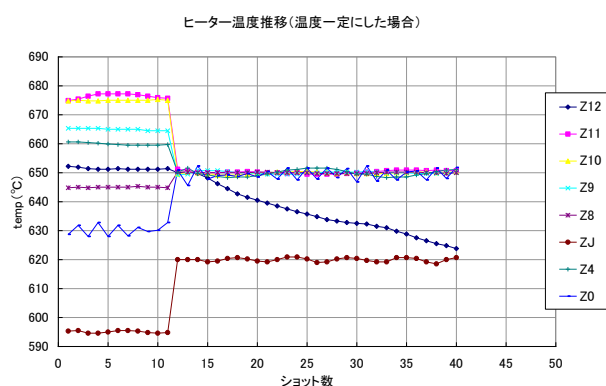


図2. 2. 3-3. 成形中のヒーター温度変化推移 (ヒーター変更後)

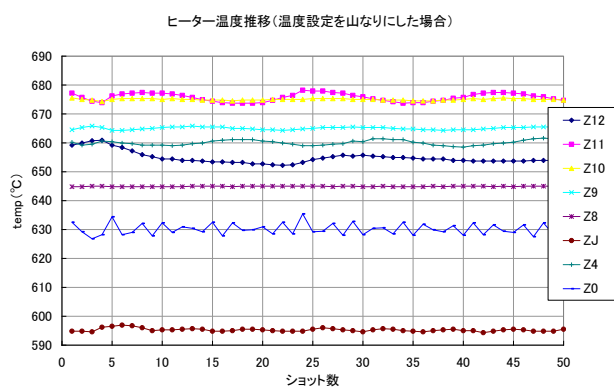


図2. 2. 3-4. 成形中のヒーター温度変化推移 (温度設定変更後)

以上の結果より、成形安定化の条件として下記内容が有効であると考えられる。

- ・計量値の低減化 : ホットランナー化により、26%以上の効果が確認でき、成形時間の短縮につながると予想される。
- ・金型温度の安定化 : 断熱材の効果は少なかったが、成形タイミングを一定にする事で安定した金型温度での成形が見込める。
- ・シリンダー温度の安定化 : ヒーターによる効果は少なかったが、温度設定でも効果があることが確認できた。

3項目の結果を盛り込んだ成形条件で成形時間短縮の効果確認を実施した。計量値低減により、マグネシウム合金の溶解時間などが短縮できたことから、ノーマルスプレー形状の成形時間から33%の時間短縮が実現できた。

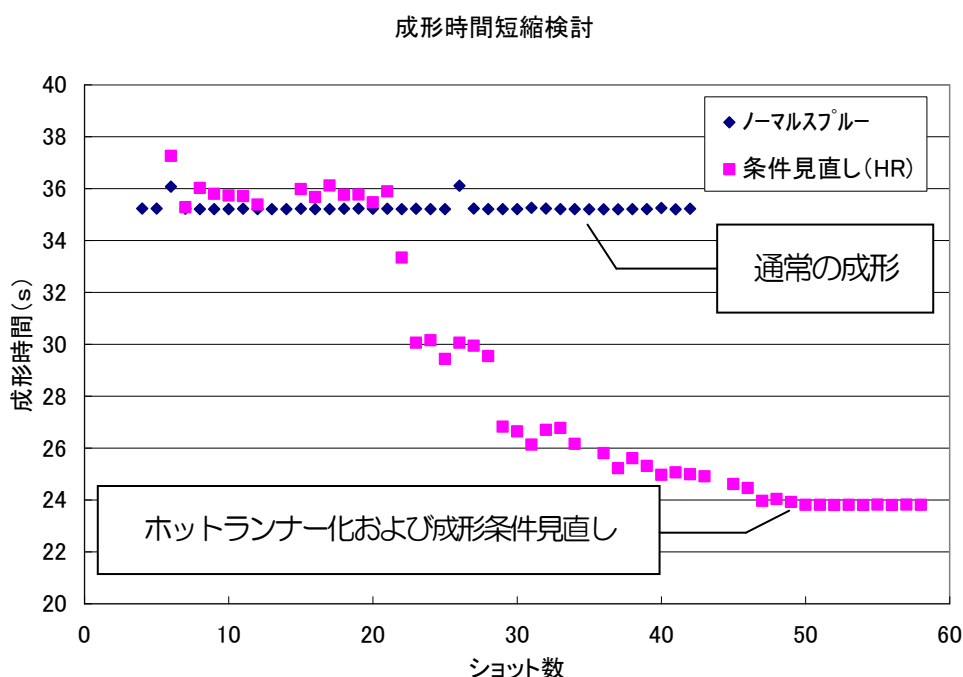


図2. 2. 3-5. 成形時間短縮の対策前後の成形時間比較

2. 2. 4 まとめ

本研究の結果、目標値50%減に対しては未達成となった。今回の研究で成形時のおおよその限界値が24秒付近であることが推測されたが、今回の試作品の計量値から考慮すると、目標値はその限界予想値より下回っていた為である。

より大きな製品に対しては、次の2項目を検討することにより、より多くの時間短縮が出来ると予想される。①計量値が大きな製品での効果確認、②溶解能力向上の再検討が考えられる。ヒーターの交換では効果は見られなかったが、内部のマグネシウムビレットにより早く熱を伝える手法の検討が必要である。

2. 3 加工精度の向上への対応

・実施計画及び目標

Mg-PLUS で使用可能な、高強度で耐久性の高い新マグネシウム合金の開発を行う。また、最適な溶融温度と射出圧力の研究を行う。その結果、加工精度を10%向上させる事を目標とする。

2. 3. 1 現状課題

既存のマグネシウム合金で成形を行った際に発生する課題として、湯ジワ・クラックなどの外観欠陥、鋳巣などの内部欠陥があり、成形条件や離型剤などの選定で対応している。熊大マグネシウム合金においても、最適な成形条件を検討することで、欠陥への影響を確認すると共に寸法精度影響の確認を行う。

下記条件を変更し、それぞれの成形品の欠陥状況などを調査し、熊大マグネシウム合金を成形するための最適条件を見出す。

- ・ 成形機条件、金型温度変更による影響確認
- ・ 熊大マグネシウム合金の成分違いに対する成形性確認

2. 3. 2 結果

項 目		熊大Mg合金	AZ91D
成形機温度	ノズル先端	650℃	620℃
	その他ヒーター	670℃～680℃	670℃～680℃
射出スピード		AZ91D同等	基準
サックバック		3mm	3mm
金型温度		200℃	200℃

図2. 3. 2-1. 成形条件の一例（成形初期段階）

AZ91Dと比較し、ノズル先端やジャンクション部のヒーター温度は、熊大マグネシウム合金の液相線が高いことから、620℃⇒650℃で試作成形を行った。初期の結果として、AZ91Dをベースとした設定では、成形品にヒケが発生したものが多く確認出来た。よって、射出スピード・サックバックの変更や金型温度の上昇にて対策を行った。図2. 3. 2-2. に成形条件の変更したものを示す。

項 目		熊大Mg合金	変更後
成形機温度	ノズル部	650℃	650℃
	シリンダ部	670℃～680℃	670℃～680℃
射出スピード		基準	+100(mm/s)
サックバック		3mm	6mm
金型温度		200℃	250℃

図2. 3. 2-2. 成形設定変更後の条件の一例

変更した設定にて試作成形を行ったものを図2. 3. 2-3に示す。成形当初はヒケが発生したが、条件を変更する事でヒケが大幅に低減された。外観は、湯ジワやクラックなども見られず、最適な成形条件での成形が出来たものと考えられる。また重量に関しても、対策前は大きくばらつきが生じていたが、対策後はばらつきも減り、机上計算値近くでの製品重量となったことから、安定した成形が行われたものと考えられる。3種類実施した熊大マグネシウム合金については、対策後はヒケ等の事象は発生しておらず、安定した成形が行われたものと考えられる。



← ベント側

ゲート側 →



図2. 3. 2-3. 熊大マグネシウム合金試作成形品一例
(上：全体写真、下：拡大写真)

ベント側



センター側



ゲート側



図2. 3. 2-4. 熊大マグネシウム合金断面写真一例

また、成形トライの中で上がった課題として、F e成分が多く含まれていることに対する耐食性の悪化については、シリンダー洗浄の際の水洗浄後の防錆剤噴霧の管理徹底化と錆等を細かく研磨する事により対応した。洗浄後は、F e成分の低下が確認されており、効果はあったと考えられる。

加工精度については、試験片の寸法測定を行い成形条件違いやスプルー違いでのバラツキを検証した。測定の結果を図2. 3. 2-5に示す。金型温度を250℃（設定値）固定で行ったところ、まず最初の設定条件（条件1）では、偏差 σ 0.1mmとなっている。長さは、検討上148.5mm狙いに対して、平均値はほぼ狙い値通りだが、最小値で148.3mmという値が発生しており、多少のバラツキを有している。様々な検証を行った結果、結果としてはホットランナーを使用した際の精度が最も良い結果となった（条件2・3・4・5）。実寸法で148.55mmと狙い値付近となり、標準偏差 σ も最悪で0.036mmと条件1から大幅な精度向上が確認出来ている。製品部に近い箇所に湯口があり通常のスプルータイプではエアで湯口付近を冷やしているのに対し、ホットランナータイプは金型温度と同じ温調システムで高温に維持されていることから、安定した成形が行われてきたと推測される。

	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
Ave.	148.44	148.53	148.55	148.54	148.55
Max	148.57	148.57	148.60	148.60	148.58
Min	148.30	148.50	148.49	148.47	148.46
σ	0.100	0.020	0.029	0.036	0.026

	条件6	条件7	条件8	条件9
Ave.	148.41	148.52	148.38	148.38
Max	148.50	148.58	148.55	148.56
Min	148.32	148.31	148.27	148.28
σ	0.054	0.062	0.089	0.081

図2. 3. 2-5 成形条件違いによる寸法バラツキ検証

2. 3. 3 まとめ

寸法を測定しそれぞれの加工精度を確認した。当初は、寸法バラツキが0.1mmあったのに対し、条件を変更する事により40%以上の向上が確認出来た。また、ホットランナーを使用した際は、0.036mmと60%以上の精度向上が確認出来た。要因としては、①金型の温度の安定度合いがホットランナータイプのほうが優れていた、②湯道がノーマルスプルーより短く空気の巻き込みなどの負荷要因が少ない為、と推測される。

現状はバラツキ低減の要因が推測でしかない為、更なる検証を重ねる事でノーマルスプルーにおいても、安定した精度が出る可能性がある。

2. 4 複雑形状金型及び取り出し機構技術の研究開発

・実施計画及び目標

熊大マグネシウム合金に適した Mg-PLUS 用金型を開発するとともに、自動車エンジン・ターボチャージャー用コンプレッサーホイールに対応する回転取り出し型の複雑形状金型を実現する。

2. 4. 1 検討内容

コンプレッサーホイールの形状に適した金型の検討を行った。実用化されているコンプレッサー形状をベースに、下記変更を加えて射出成形に適した金型作製を行い、試作成形を実施した。

- | | |
|---------------|------------|
| ① 羽の枚数8→6枚 | ② 加工代形状の追加 |
| ③ チャッキング部角度変更 | ④ センター穴削除 |
| ⑤ リブ根元RをR1に変更 | |

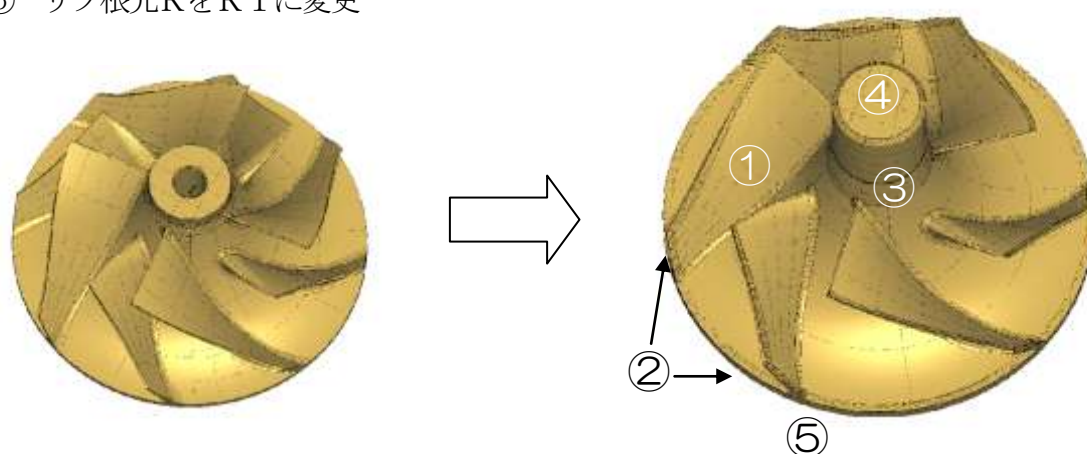


図2. 4. 1－1. 金型方案検討項目（左：検討前、右：検討後）

2. 4. 2 結果

まず、熊大Mg合金（熊大合金A）での試作成形を実施した。成形セッティングは、AZ91Dで成形したセッティングをベースに熊大Mg合金用に温度やスピードなどの見直しを行った。図2－4－2－1.に、コンプレッサーホイール成形時のセッティング概要を示す。

項 目		熊大Mg合金
成形機温度	ノズル部	650℃
	シリンダ部	670℃～680℃
射出スピード		AZ91D時成形した条件ベース
サックバック		6mm
金型温度		220℃

図2. 4. 2－1. コンプレッサーホイール成形設定一覧

熊大Mg合金での1回目の成形品の外観評価を行った結果、羽（長翼）のエッジ部分にカケが発生している事が確認出来た。また、数点を抜き取り内部欠陥の確認を行ったところ製品の中心部に巣やクラックが発生している事が確認出来た。

羽のエッジ部は湯流れ上、流れ難い構造であることや金型のエア抜き構造が不足している事により、欠陥として現れたものと考えられる。よって、対策としては、下図が考えられた為、金型などの改造に取り組み、再度試作を実施した。

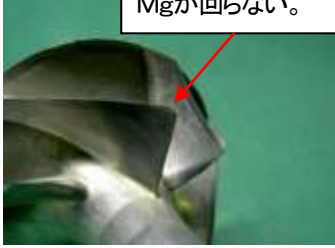
要 因	対策案				
① 羽のエッジ部は薄肉の為、凝固してしまう。 ② 成形中のゴミがたまりやすい。 離型剤などが先端に溜まり、Mgが回らない。 	① 金型温度の高温化により、羽のエッジ部の湯流れ改善 <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <th>変更前</th><th>変更案</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">220~250℃</td><td style="text-align: center;"> 250~300℃ </td></tr> </table> ① 離型剤の見直しによるゴミ低減 ⇒ 水溶性離型剤 → 油性離型剤 ② エアブローの最適化によるゴミの排除 	変更前	変更案	220~250℃	250~300℃
変更前	変更案				
220~250℃	250~300℃				

図 2. 4. 2-2. 外部欠陥不良に対する対策案

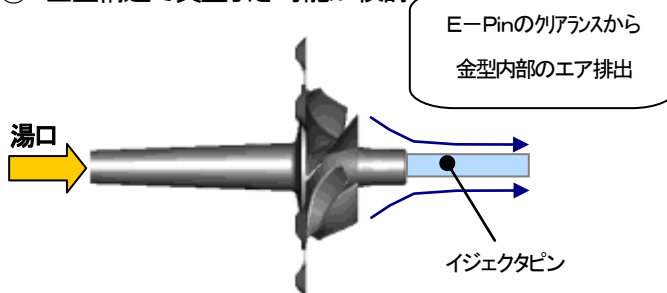
要 因	対 策 案
① 内部エア抜き構造の不足 ② 水溶性離型剤によるガス発生	① 金型構造で真空引き可能か検討  湯口 → エーPinのクリアランスから 金型内部のエア排出 イジェクタピン ① 離型剤の見直しによるガス発生低減 ⇒ 水溶性離型剤 → 油性離型剤

図 2. 4. 2-3. 内部欠陥不良に対する対策案

金型温度違いによる羽形状比較写真を図2. 4. 2－4に示す。通常220℃付近の設定で成形を行ってきたのに対し、250℃・300℃での羽形状確認および成形性確認を実施した。型温上昇による流動性向上から、羽のエッジ部分に対する“カケ”不良低減の方向にある。また、離型剤の見直しも同時に行い、水溶性離型剤を使用したことにより金型内に溜まっていた離型剤のゴミによる羽の“カケ”不良に対しても、油性離型剤を噴霧する事により、大幅な不良低減も確認できている。

型温220℃

型温250℃

型温300℃



型温220℃

型温250℃

型温300℃



図2. 4. 2－4. 金型温度違いでの羽形状比較の一例
(上段：長翼、下段：短翼)

水溶性離型剤

油性離型剤



図2. 4. 2－5. 離型剤違いでの羽形状比較の一例

水溶性離型剤の使用により発生したガスの影響で鑄巣が発生したと考えられることから、油性離型剤での確認を行った。油性離型剤を使用し外観評価の問題の無かった試作品の断面確認を行った結果、内部の大きな鑄巣は低減しており、予想したガスの混入による内部欠陥であったことが予想される。但し、水溶性に比べ少なくなったが依然小さな鑄巣が残っており、対応の検討が必要である。

真空引きに関しては、既存の金型を修正する形で改造した。多数スライド構造の金型の為、製品オーバーフロー方向からのガス抜き構造が困難であった為、イジェクタピンからエア抜きする構造を採用したが、大きな効果は確認できなかった。要因としては、最終充填位置と予想されるポイントでのエア抜きでなく効果が薄かった事、イジェクタピンと金型のクリアランス設定が最適でなく、内部のエアを抜ききれなかった事が考えられる。

対策効果の確認より、羽の“カケ”欠陥、内部の鑄巣欠陥ともに改善が見られた為、再度熊大Mg合金での試作成形を行った。外観上は、懸案事項である羽のカケの無い製品が確認できている。但し、内部欠陥に関しては、図2. 4. 2-7に示すように一部の製品に内部に巣があるものも確認されている。良品率の観点では、羽のカケも含めて完全に取りきれておらず決して高水準には無いことから、更なる成形条件の対策が必要と考えられる。

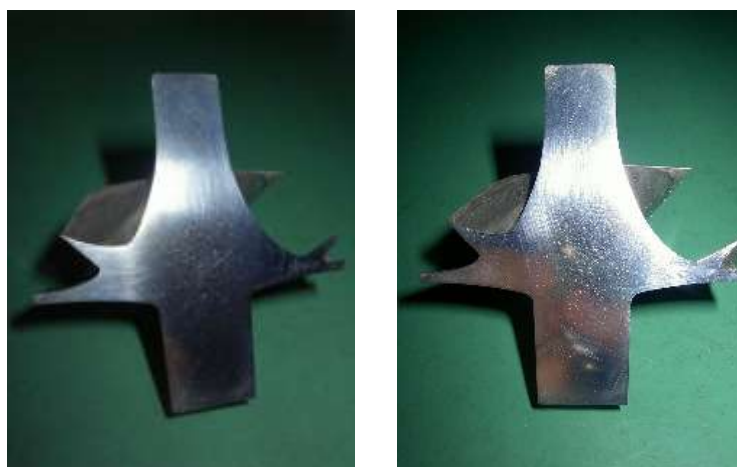


図2. 4. 2-6. コンプレッサーホイール断面写真一例

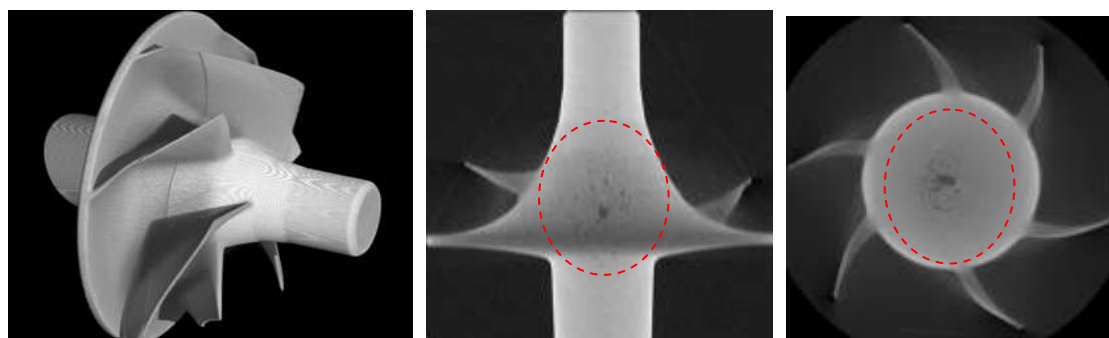


図2. 4. 2-7. コンプレッサーホイール試作成形品CT画像一例
(左：全体図、真ん中・右：CT断面画像)

また、コンプレッサーホイール成形後および熱処理後の寸法を測定した。寸法測定の結果、基準値内に入っていることが確認出来た。また、熱処理後の測定も同時に行ったが、大きな変化は見られなかった。

2. 4. 3 まとめ

今回の試作成形で、成形設定を変更する事による羽欠陥や鑄巣の改善は確認出来た。但し、下記項目については課題として残っており、今後の金型への反映などが必要と考えられる。

- ・真空引き（減圧）への対応

小さな鑄巣が取りきれなかったものに関しては、真空引きが必須と考えられる為、真空引き構造の対応検討が必要と考えられる。上記減圧化に伴い湯流れにも影響があると考えられる事から、最適な真空引きのポイントとその条件下での湯流れ性の検討が必要と考えられる。

- ・良品率向上検討

今回のコンプレッサーホイールの良品率は半分程度であった為、良品率向上の為の更なる方案検討が必要と考えられる。

- ・金型焼きつき（溶損）

今回の6枚仕様を成形していく過程で一部焼き付き発生した。高温になる部位と考えられる。離型剤の噴霧法や次回金型方案に対策を盛り込む必要がある。



図2. 4. 3－1. 金型溶損発生時の金型写真（赤丸部）

2. 5 円柱形状マグネシウムインゴット挿入型

射出成形機用熊大マグネシウム合金の最適化

・実施計画及び目標

現在開発されている熊大マグネシウム合金（複数種類の合金成分のものが作製されている）を基に、ビレット方式射出成形に最適の合金成分を開発する事を目標とする。

・研究内容及び成果等

熊本大学では希土類にYを使用したTYPE 1（Mg - Zn - Y 合金）について射出成形に最適な合金成分の開発を行った。その結果、三元系合金に第四元素添加、複合添加を行うことでクリープ特性、耐食性が向上するという結果を得た。また、不純物元素を低減することでさらなる耐食性向上が期待できるため、ビレットに含まれる不純物元素の低減と、成形過程において不純物元素の混入を出来るだけ低減することが求められる。

2. 5. 1 第四元素添加によるクリープ特性の向上

ビレット方式射出成形機にて作製したMg - Zn - Y 合金と三元系合金に第四元素を添加した開発合金Aの機械的特性、クリープ特性を中心に比較考察した。

まず、両合金成分の成形品を図 2.5.1 - 1 で示すような試験片寸法に加工し、その機械的特性を測定した。

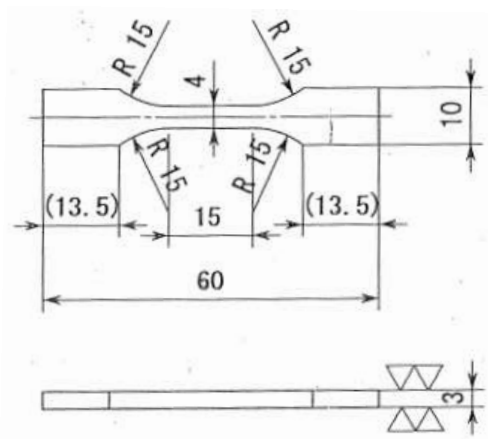


図 2.5.1 - 1 引張試験片寸法

図 2.5.1 - 2、図 2.5.1 - 3 に引張試験の測定結果を示す。高温環境下(150℃、200℃、250℃)では引張強さ、降伏強度（0.2%耐力）、ひずみにおいて、Mg - Zn - Y 合金に比べ、開発合金Aがやや劣る結果となった。しかしながら、降伏応力（0.2%耐力）は高温下でも120MPa以上、また、ひずみは室温で5%以上あることが確認された。

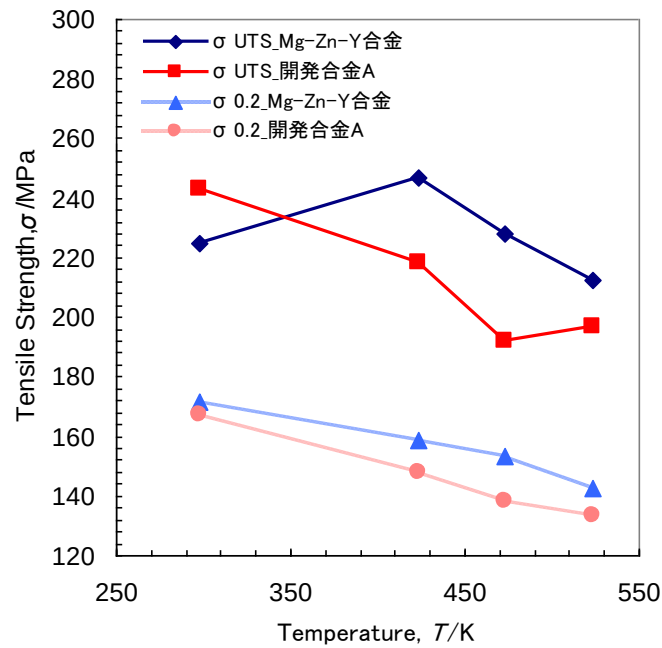


図 2.5.1 - 2 高温環境下での引張強さ、降伏応力（0.2%耐力）比較

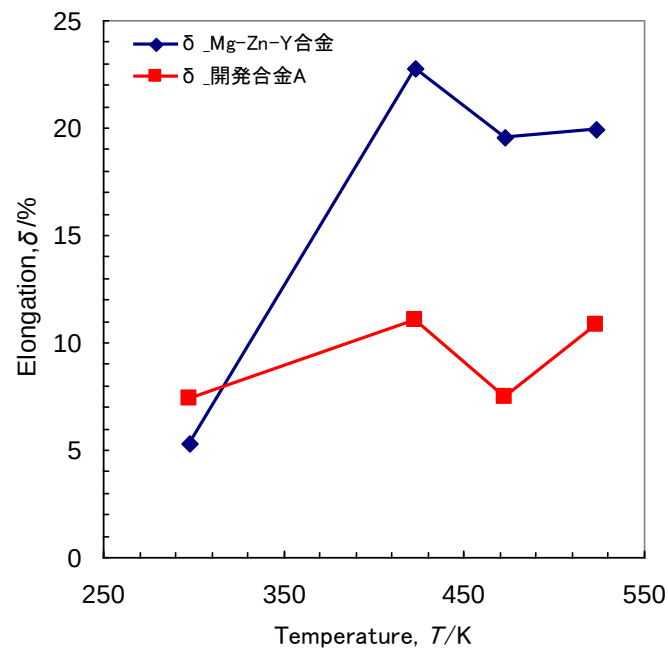


図 2.5.1 - 3 高温環境下でのひずみ比較

次に、図 2.5.1 - 4、図 2.5.1 - 5 に開発合金 A の成形品の断面写真を示す。図 2.5.1 - 4 は表面部の組織を観察したものであり、右端が表面に該当する。この図から微細組織による 50 μ m 程度の表面硬化層が確認できる。表面硬化層を取り除いた場合にはビッカース硬さが低下することから、この表面硬化層の存在も機械的特性に影響しているものと考えられる。

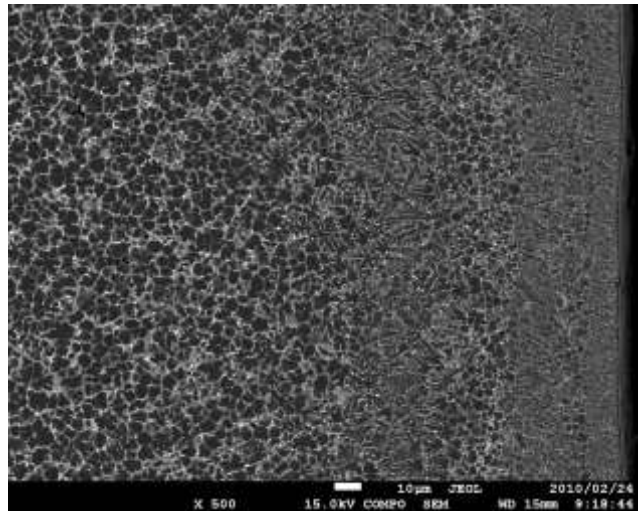


図 2.5.1 - 4 走査型電子顕微鏡写真（表面）

図 2.5.1 - 5 は断面中央部を高倍率にて撮影したものである。LPSO 相が存在していることが確認できた。

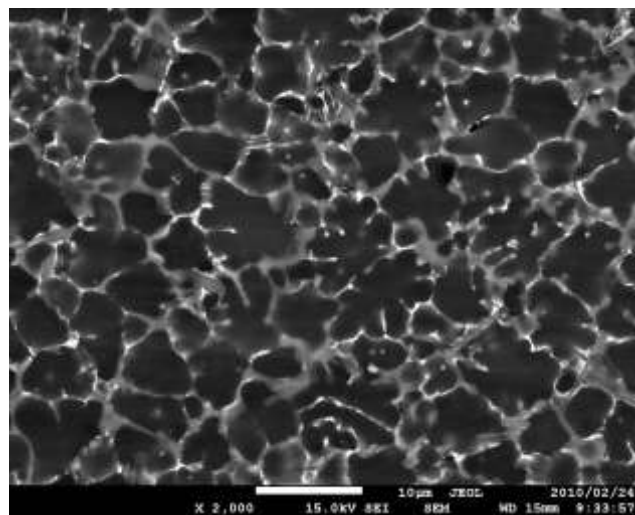


図 2.5.1 - 5 走査型電子顕微鏡写真（中央）

次に、成形品を図 2.5.1 - 6 で示すような試験片寸法に加工し、クリープ試験を行った。試験片厚は両面を 0.5mm ずつ削り 2mm にした。

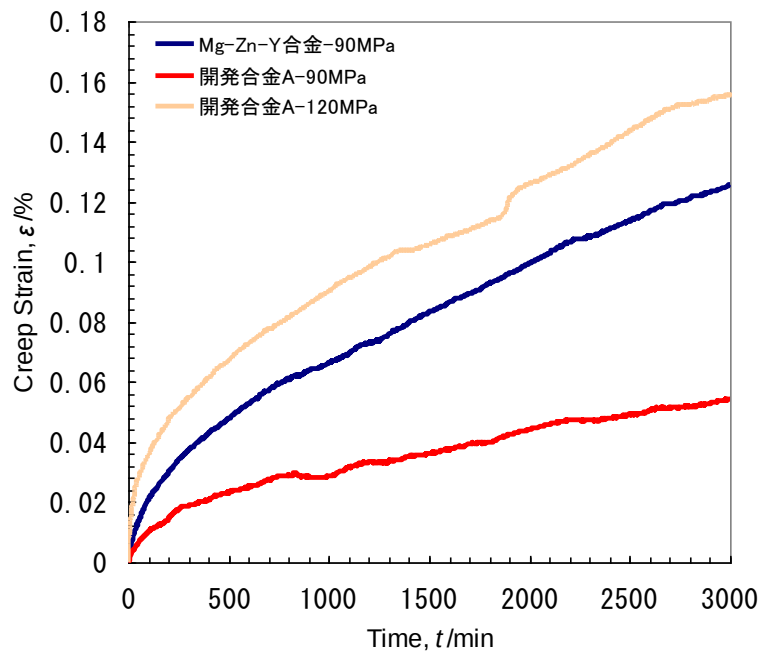


図 2.5.1-8 高温環境下での (200°C) クリープ比較

2. 5. 2 複合添加による耐食性の向上

耐食性の向上を目的とした成分開発として、耐食性に影響する元素の複合添加を行うことを検討した。図 2.5.2-1 に押出材の腐食試験の結果を示す。 X_1 は前記第四元素、 X_2 は耐食性に影響する他元素を表している。 X_1 を添加したもの、 X_2 を添加したもののどちらも耐食性が向上しているが、さらにこれらを複合添加することで Mg - Zn - Y 合金に比べ 5 倍程度耐食性が向上している。この結果から、ビレット方式射出成形機にて作製した射出成形材においても、複合添加を行うことで耐食性の向上が期待できる。

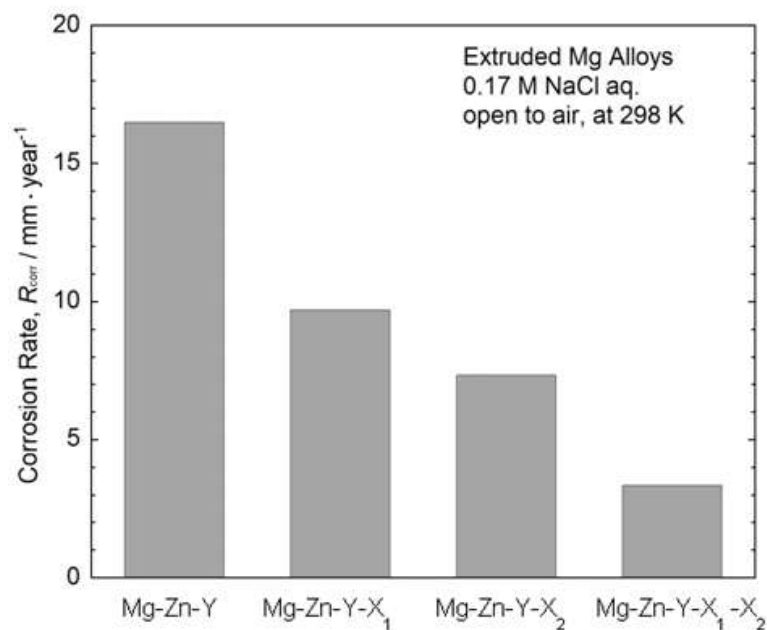


図 2.5.2-1 腐食速度比較 (押出材)

図 2.5.2-2 に射出成形材の腐食速度を示す。腐食試験は樹脂埋めした試料を室温で食塩水 (0.17mol/L) 中に浸漬させ行った。結果として、複合添加を行った開発合金 B は耐食性がその他合金成分に比べ 3 倍程度向上していることが確認された。

なお、添加量を増やすと耐食性はさらに向上するが、添加量が多すぎると化合物をつくり機械的特性が低下するというデメリットもあるため、添加量の調整がポイントであると考えられる。

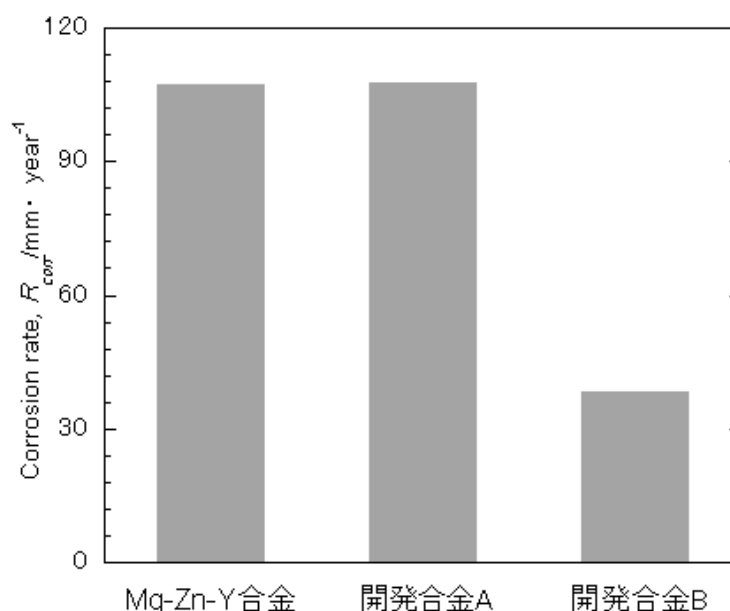


図 2.5.2-2 腐食速度比較 (射出成形材)

また、Fe、Ni、Cu 等の不純物元素の存在が耐食性に影響を与えることが知られている。ビレット中に含まれる不純物元素は表 2.5.2 - 1 に示す通り微量であるが、これらをさらに低減することで耐食性の向上が期待できる。

不純物元素	濃度 (ppm)
Fe	50 ～ 55
Ni	10 ～ 20
Cu	30 ～ 40

表 2.5.2 - 1 ビレット中の不純物元素

Fe 量	濃度 (ppm)
ビレット	50
射出成形材	218
射出成形材 (洗浄後)	53

表 2.5.2 - 2 不純物元素 (Fe) 量比較

開発合金 A について、ビレット、射出成形材に含まれる Fe 量をそれぞれ ICP にて測定したところ、表 2.5.2-2 のような結果を得た。このことから、成形段階において何らかの形で Fe が混入していることが分かった。

この結果を受け、シリンダー洗浄にて酸化物の除去を行ったところ、開発合金 B の成形品においては Fe が 53ppm に低減されていた。このことも耐食性が向上した一因と考えられる（表 2.5.2-2 参照）。

2. 5. 3 熊大マグネシウム (TYPE1) 評価まとめ

ビレット方式射出成形機にて作製した射出成形材においても第四元素添加、複合添加によるクリープ特性、耐食性の向上を確認することができた。

図 2.5.3-1 に引張試験の結果を示す。Mg - Zn - Y 合金、開発合金 A、開発合金 B を比較したところ、結果として、開発合金 B は高温環境下（200℃、250℃）において、降伏応力（0.2%耐力）が急に低下することが分かった。しかしながら、LPSO 量の増加、熱処理の開発等により特性の向上が期待できると考えられる。

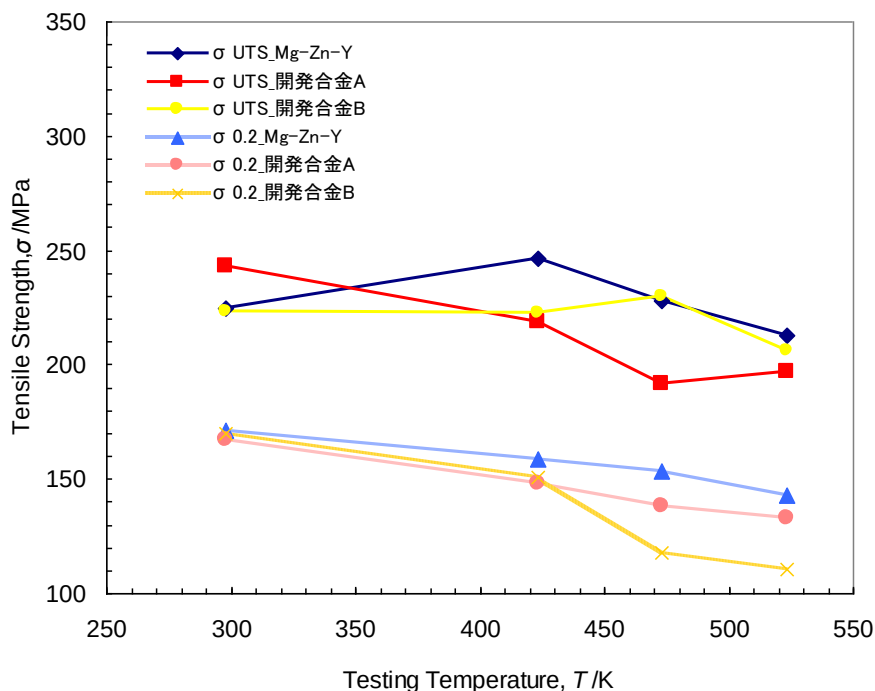


図 2.5.3-1 高温環境下での引張強さ、降伏応力（0.2%耐力）比較

クリープ特性に関しては、第四元素を微量添加するだけで高温環境下においても優れた特性を示しており、その他のマグネシウム合金と比べてもその優位性は顕著であると言える。また、射出成形材に圧延等の加工を加えることでさらなるクリープ特性向上が期待できると考えられる。

腐食試験においては、複合添加により耐食性の向上が確認できた。また、不純物元素を低減することでさらなる耐食性向上が期待できるため、ビレットに含まれる不純物元素の低減

と、成形過程において不純物元素の混入を出来るだけ低減することが求められる。

第3章 全体総括

1. 研究開発成果

本研究の結果、材料歩留まりは50%以上、加工精度は40%以上と目標値を達成した。また、複雑形状である6枚仕様の金型を作製し、その金型を使用して熊本マグネシウム合金のコンプレッサホイルの試作成形に成功した。また、射出成形に最適な合金成分の開発し、その結果、微量のLa、Al等を添加するとクリープ特性、耐食性が向上するという結果を得て、目標通りの成果を得た。

一方、成形時間の短縮は33%で、目標値50%減に対しては未達成となったが、その要因は今回の試作品の形状が小さい為であり、コンプレッサホイル等のより大きな製品に対しては、より成形時間を短縮が出来ると予想される。

2. 研究開発後の課題・事業化展開

コンプレッサホイルの実用化には8枚以上の羽形状が要求されており、本研究開発後に現在検討中の多数羽コンプレッサホイル用金型の作製及び射出成形技術の開発を行うと共に、6枚羽コンプレッサホイルの実機試験による信頼性評価を進める必要がある。

また、それと並行してコスト実証を進めて、平成24年度中のサンプル出荷、平成25年度中の事業化を計画している。