平成２１年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「薄肉複雑形状で強度・放熱性・耐候性に優れた成型品の開発
～半凝固材に最適化した成型法の開発～」

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　財団法人科学技術交流財団

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、研究者氏名、協力者） 2
１－３　成果概要 7
１－４　当該研究開発の連絡窓口 8

第２章　本論 9
２－１　展伸・加工用合金による半凝固スラリー生成 9
２－２　成型機開発・金型開発 16
２－３　成型試験結果 19
２－４　組織観察及び強度試験結果 21

第３章　全体総括 26
３－１　３年間の研究開発成果 26
３－２　研究開発の課題・事業化展開 27

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＞

電機製品分野、情報機器分野のアルミ筐体において、一般ダイカスト法並みの薄肉複雑形状と、強度、放熱性、耐候性などの特性を両立させるニーズは数多いが、従来成型法ではこの両立をなし得ていないため、本開発にてこの両立を実現する成型法を開発する。当面の開発対象製品として、小型風力発電機筐体とデジカメ筐体、複雑形状の放熱フィンなどを扱う。

本開発成型法では、強度、放熱性、耐候性などの特性を確保するために、成型材としてダイカスト合金や鋳造用合金ではなく、展伸・加工用合金を利用する。展伸・加工用合金は、ダイカスト合金、鋳造用合金と比べて融点が高く、凝固収縮量が大きいため、単純に一般ダイカスト成型にて使用した場合には金型の焼付きや鋳巣の発生などの問題が生じる。

これに対し、近年、ナノキャスト法をはじめとした、材料を固体と液体が混ざり合ったセミソリッド状態化する技術が進歩してきたため、展伸・加工用合金をセミソリッド化してダイカストや鍛造に利用する研究が行われている。セミソリッド化により焼き付きや鋳巣の発生は防げるが、液体材料に比べて流動性が落ちるため、一般ダイカスト並みの薄肉複雑形状を実現するには至っていない。

＜研究目的及び目標＞

上記背景を踏まえ、本研究開発では、優れた強度・放熱性・耐候性・アルマイト性を持つ展伸・加工用合金を利用して、薄肉・複雑形状の成型品を実現できるような半凝固材、金型及び成型機を開発する。開発対象製品として、小型風力発電機筐体、デジカメ筐体を扱い、展伸・加工用合金による両筐体の成型品を得ることを目標とする。

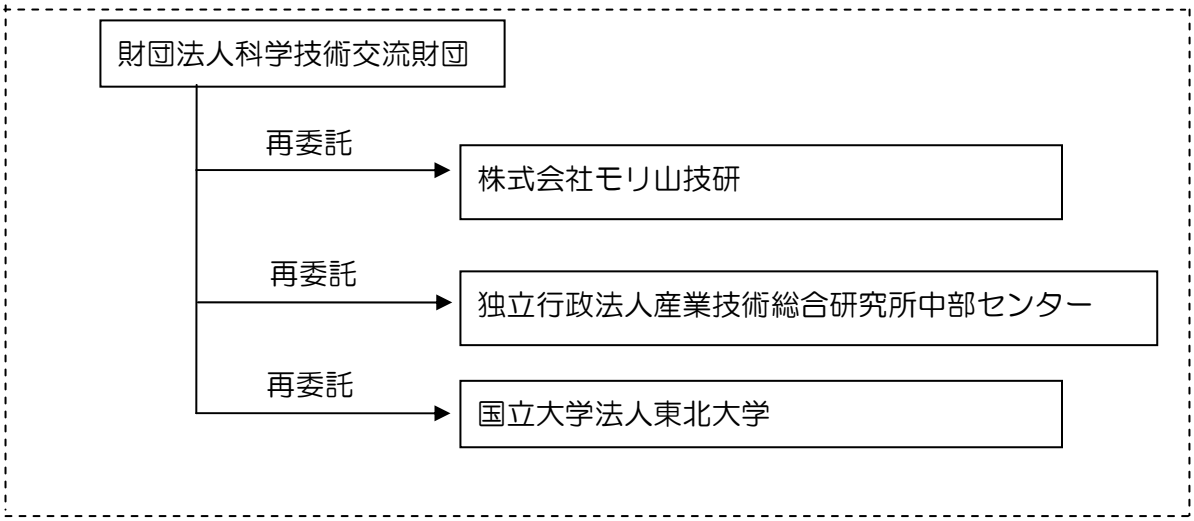
成型品で、0.2%耐力 150MPa 以上、伸び 7%以上を目標とする。また、A6063 合金筐体成型品にて、一般ダイカスト合金では不可能であるカラーアルマイト処理を施し、良好な発色を得ることを目指す。

１－２　研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

（１）研究組織及び管理体制

１）研究組織（全体）



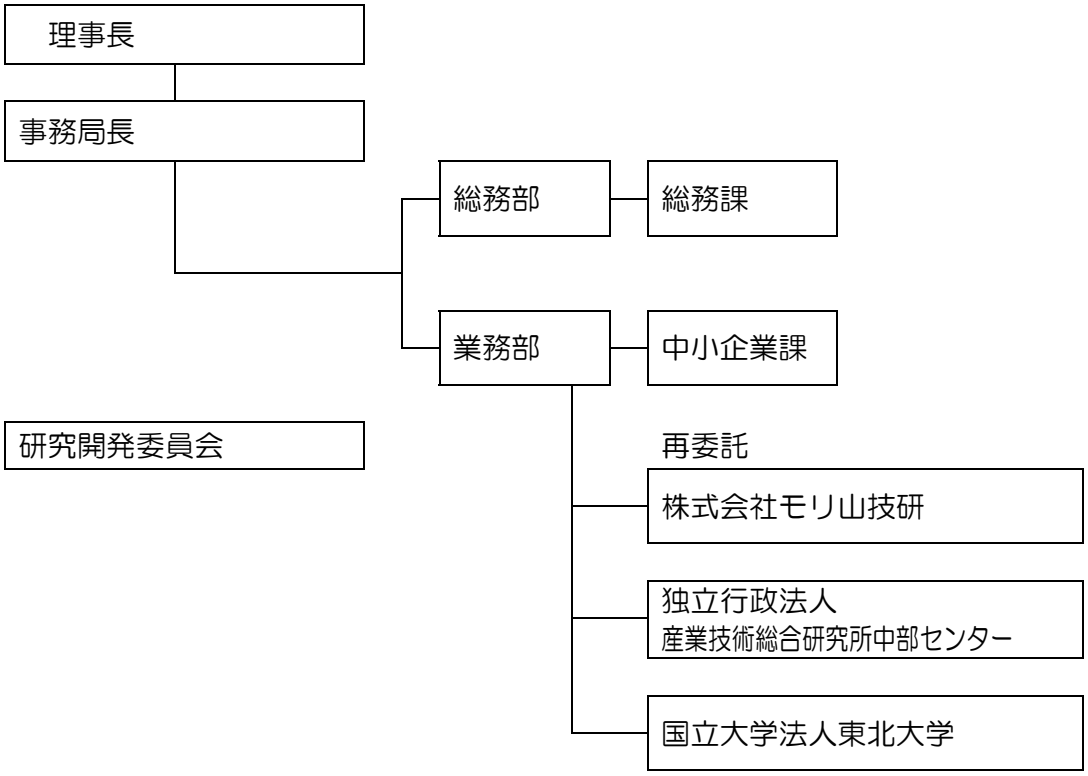
総括研究代表者（ＰＬ）
株式会社モリ山技研
代表取締役　大野徳郎

副総括研究代表者（ＳＬ）
国立大学法人東北大学　大学院工学研究科
教授　安斎浩一

2）管理体制

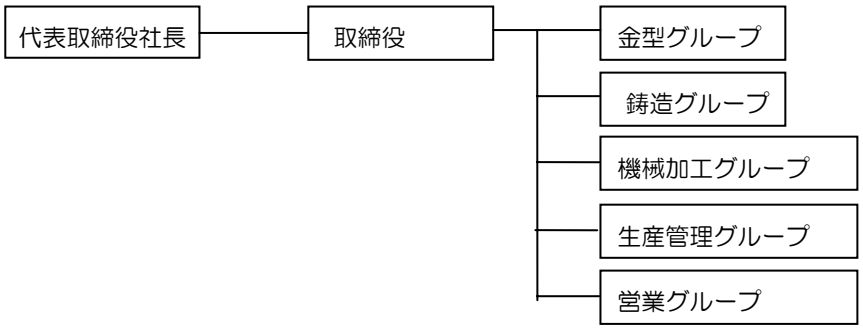
①事業管理者

［財団法人科学技術交流財団］

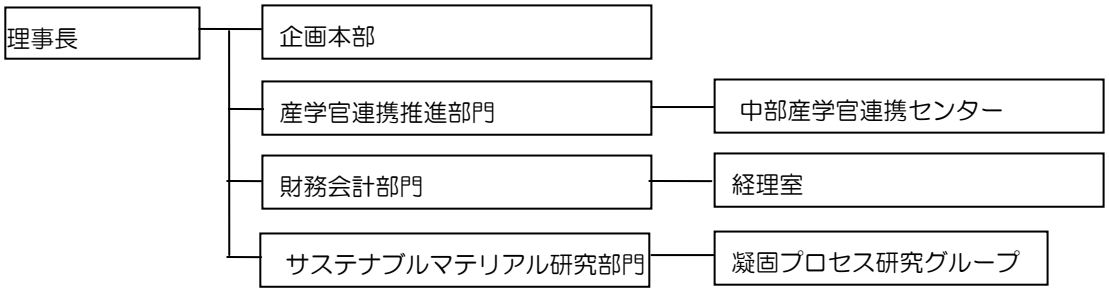


②（再委託先）

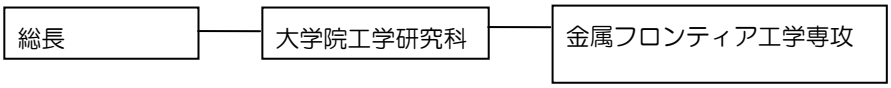
株式会社モリ山技研



独立行政法人産業技術総合研究所　中部センター



国立大学法人東北大学



(2)　管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人科学技術交流財団

①管理員

氏　名	所属・役職
本間　重満	専務理事兼事務局長
橋村　靖彦	業務部長
相澤　久志	業務部中小企業課長
本夛　康信	業務部中小企業課係長

【再委託先】※研究員のみ

株式会社モリ山技研

氏　名	所属・役職
大野　徳郎	代表取締役
大野　慎介	取締役・主任研究員
瀧　正行	金型・機械加工グループ長
川口　幸二	金型グループ
LY BA HAI	金型グループ
児嶋　良明	鋳造・生産管理グループ長
中島　明広	鋳造グループ

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

国立大学法人東北大学

氏　名	所属・役職
安斎　浩一	大学院工学研究科　教授
板村　正行	大学院工学研究科　研究員
平田　直哉	大学院工学研究科　助教

(3)　経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理者）

財団法人科学技術交流財団

（経理担当者）　総務部 総務課　係長　平野　大輔

（業務管理者）　業務部 中小企業課 係長　本夛　康信

（再委託先）

株式会社モリ山技研

（経理担当者）　取締役　大野　慎介

（業務管理者）　代表取締役　大野　徳郎

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

国立大学法人東北大学

（経理担当者） 工学部・工学研究科事務部経理課

外部資金第一係　小野寺　達也

〃　稲毛　真寿美

（業務管理者） 大学院工学研究科　教授　安斎　浩一

１－３　成果概要

- A6063 合金により、結晶粒径が平均 100μm 以下の半凝固スラリーが生成可能であることを確認した。
- A6063 合金による、最薄部肉厚 0.8mm のデジカメ筐体の成型を実現した。
- デジカメ筐体成型品にてカラーアルマイト処理を施し、良好な発色を確認できた（図１－３－１）。
- デジカメ筐体成型品 A6063）にて、0.2%耐力４７MPa（※、 伸び 8.4%

  （※ 0.2%耐力は目標値を下回っているが、0.2%耐力の目標値（150MPa）は 6063 合金熱処理材での強度に近い値であり、本試料の強度はこれに比べると低いものの熱処理を行っていない材料（A6063-O）の文献値、引張強さ 90 MPa、0.2%耐力 50 MPa と同等程度の強度を持つことが確認された。
- 風力発電機筐体（材質：4A12）の成型では、一部未充填箇所が残った。これは、今回設計、製作した風力発電機筐体金型の浮型の構造に起因して、型締めと射出を同時に行えないことが原因である。風力発電機筐体の成型試験の結果判明した本問題について、その対策を施したデジカメ筐体成型品では、未充填なく成型を行えており、風力発電機筐体においても、同様の対策を取り入れた金型を再度製作すれば未充填問題は解決することは可能である。

図１－３－１　デジカメ筐体成型品（材質：A6063　赤色アルマイト処理）

１－４　当該研究開発の連絡窓口

財団法人科学技術交流財団　担当者：本夛

〒４６０－０００２

名古屋市中区丸の内二丁目４－７　愛知県産業貿易館西館内

電　話　０５２－２３１－１４７７

ＦＡＸ　０５２－２３１－５６５８

第２章　本論

２－１　展伸・加工用合金による半凝固スラリー生成

＜材料中のガス量とスラリー品質との相関の調査＞

図２－１－１に実験に用いた溶解保持炉と、材料脱ガス装置を示す。

（a）溶解保持炉

（b）材料脱ガス装置

図２－１－１　溶解保持炉と材料脱ガス装置

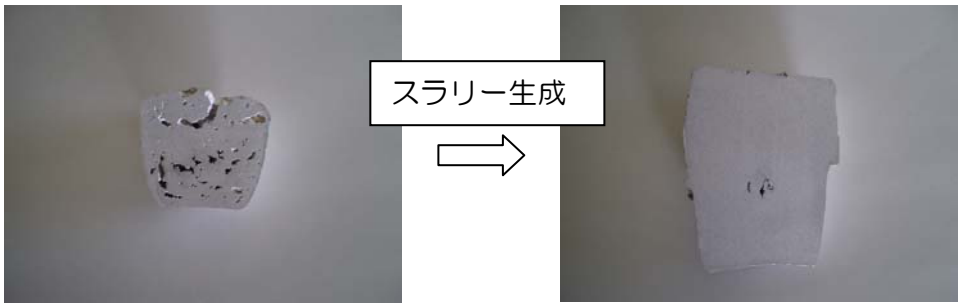
材料中のガス量と、生成されるスラリー品質との相関性の調査を行った。脱ガス前の材料と脱ガス後の材料を用いて、同一条件にてスラリーを生成し、生成されたスラリーの減圧凝固片の断面を観察した。

スラリーの生成条件を表２－１－１に示す。

表２－１－１　スラリー生成条件

溶湯温度	670℃
カップ温度	30℃
攪拌時間	18sec
沈静時間	0.5sec

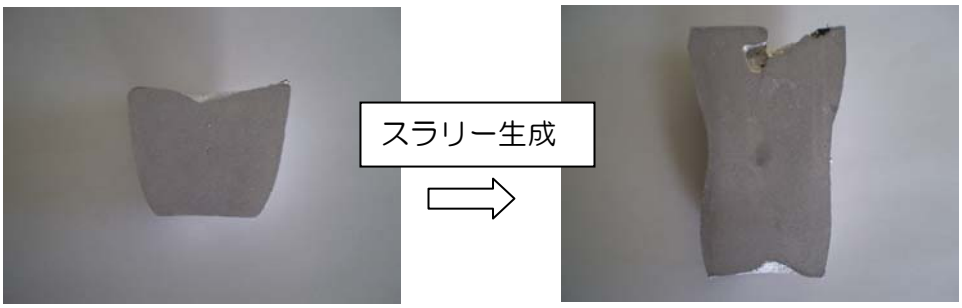
脱ガス前溶湯の減圧凝固片、及びスラリーの減圧凝固片を図２－１－２に示す。



（a）脱ガス前溶湯減圧凝固片　　（b）スラリー減圧凝固片

図２－１－２　脱ガス前溶湯により生成したスラリーの減圧凝固片

脱ガス後溶湯の減圧凝固片、及びスラリーの減圧凝固片を図２－１－３に示す。



（a）脱ガス後溶湯減圧凝固片　　（b）スラリー減圧凝固片

図２－１－３　脱ガス後溶湯により生成したスラリーの減圧凝固片

観察結果から、溶湯のガス量と、生成されるスラリーとの関係として、以下のことがわかった。

・ 脱ガス前の場合、減圧凝固片内の巣の量が、スラリー化することにより減少している。このことから、半凝固スラリー化することにより、材料内ガス量は減少するものと思われる。
・ しかしながら、脱ガス前の場合、スラリー内にも若干の巣が観察される。一方で脱ガス後の溶湯によるスラリーには巣は観察されなかった。

以上から、スラリーを用いた成型の場合には、脱ガス処理を無くすことはできないが、溶湯による成型に比べて、処理の頻度を減らせることが明らかとなった。

＜スラリーカップ設計＞

半凝固スラリーは、カップに注がれた溶湯に対して電磁攪拌を行うことにより生成される。半凝固スラリーの固相率は、カップの熱容量（肉厚）により決まり、スラリー内の固相の分布は、カップ形状と電磁攪拌時間により決まる。

A6063、300g の溶湯に対して、固相率 50%の半凝固スラリーの生成のためのカップ設計を行った。A6063 の材料組成を表２－１－２、物理的性質を表２－１－３に示す。

表２－１－２　A６０６３材料組成（単位：%）

Cu	Si	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	Ti	Cr	Sn	Pb	Al
0.02	0.04	0.23	0.04	0.35	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	残部

表２－１－３　A6063 物理的性質

密度	液相線温度	固相線温度	比熱
2.69g/cm^3	655℃	615℃	900J/kg・℃

表２－１－２、表２－１－３のデータから、A6063 の温度と固相率の関係を Thermo-Calc により計算した。その結果を図２－１－４に示す。

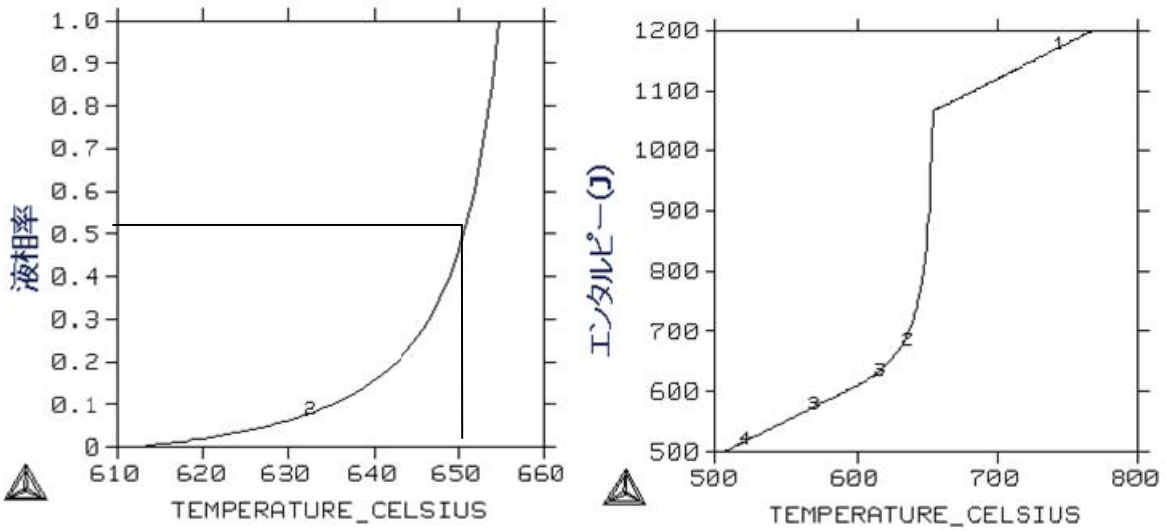


図２－１－４　A６０６３の温度と固相率の関係（Thermo-Calc 計算より）

図２－１－４より、A6063 は 650℃において固相率 50%となる計算になることがわかった。したがって、A6063 のカップ注湯前温度は 670℃として、670℃、300g の A6063 合金を注湯後、650℃で熱平衡となるようなカップを求めればよい。カップ材質は SUS304 を用いた。SUS304 の密度、比熱を表２－１－４に示す。

表２－１－４　SUS304 の密度・比熱

密度	比熱
8.03g/cm^3	502J/kg・℃

カップの初期温度を 30℃として、上述の熱平衡を得るカップ体積は 27cm^3、カップ重量は 216ｇとなる。したがって、カップ形状は、300ｇ・111cm^3 を注湯できることを考慮して、円筒部 2mm 厚、底板部 0.5mm 厚、高さ 90mm、底部外径 Φ45mm、口元部外径 Φ53mm とした（図２－１－５）。

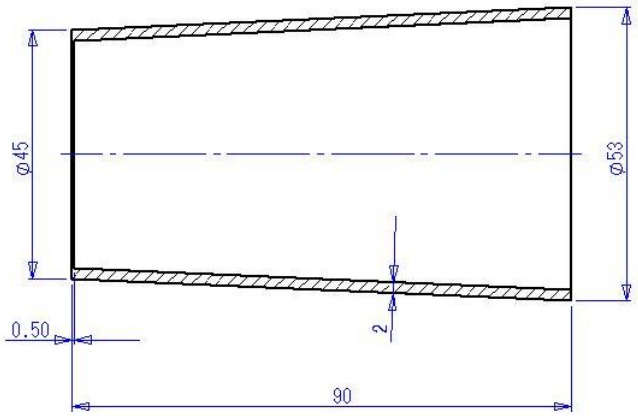


図２－１－５　スラリーカップ図面（A6063/300g 用）

＜半凝固スラリー生成試験＞

図２－１－６に半凝固スラリー生成装置を示す。

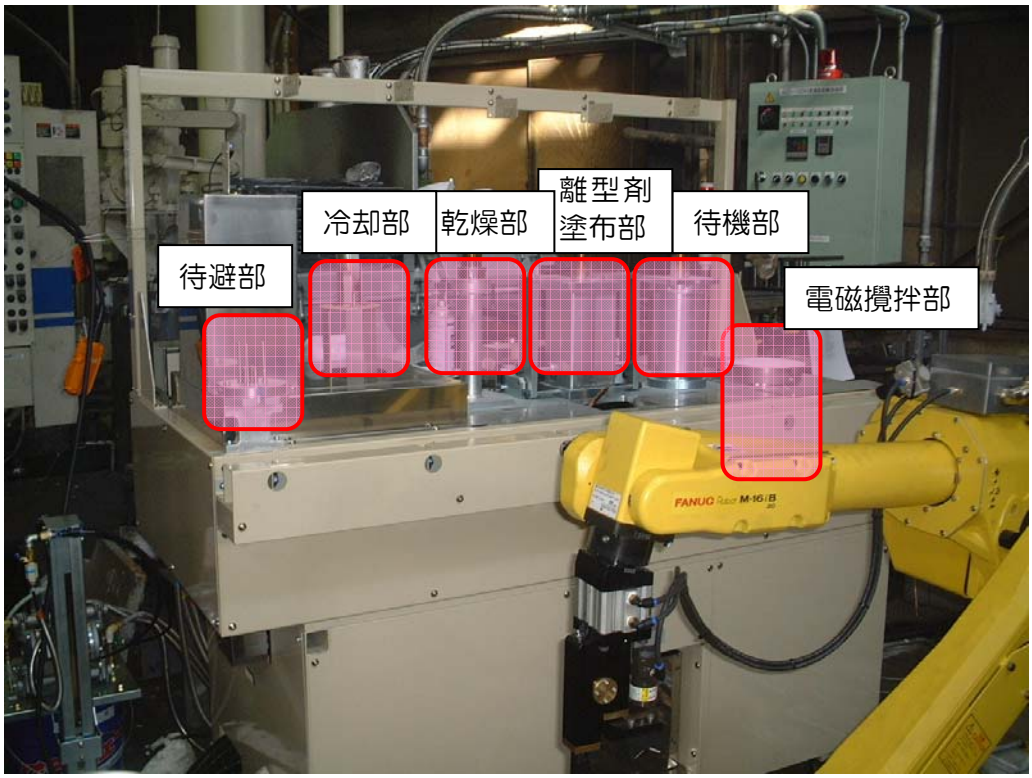


図２－１－６　半凝固スラリー生成装置

半凝固スラリー生成装置は、溶湯に対する電磁攪拌を行う電磁攪拌部と、連続運転用に設けられた待避部、冷却部、乾燥部、離型剤塗布部、待機部とからなる。各部の役割は以下の通りである。

電磁攪拌部：溶湯に対する電磁攪拌を行う。

待避部：成型機への材料投入後のカップを待避させる。

冷却部：材料投入後のカップを水冷する。

乾燥部：水冷後のカップの乾燥を行う。

離型剤塗布部：乾燥後のカップに離型剤の塗布を行う。

待機部：電磁攪拌前にカップを待機させる。

図２－１－５により製作されたスラリーカップにより、図２－１－６のスラリー生成装置を用いて、スラリーの生成を行った。生成条件を表２－１－５に示す。

表２－１－５　半凝固スラリー生成条件

スラリー材質	A6063
スラリー重量	300ｇ
溶解温度	680℃
カップ温度	30℃
攪拌時間	12sec.
沈静時間	0.5sec.

生成されたスラリーを図２－１－７に示す。

図２－１－７　理論値から製作したカップを用いて生成したスラリー

上図では、生成したスラリーを、断熱レンガ上にカップを返してスラリーを置いたため、カップ上面が下側に、カップ下面が上側になっている。図より、前年度カップによるスラリーのような、液相の溢れは生じていないが、カップ上面の固相率が低く、下面の固相率が高くなっていることがわかる。これは、カップの抜き勾配の関係上、下面側のほうが、内径が小さく、また底板もあるために、下面側のほうが、溶湯がカップと接触する面積が大きくなるためと思われる。

そこで、スラリーの生成結果を見ながら、カップ下部の肉厚を徐々に薄くして、スラリーの上下間の固相率の均一化を試みた。最終的には、カップ下部の肉厚を2mm から 1.4mm 厚とした時点で、図２－１－８に示すスラリーを得た。

図２－１－８　肉厚を調整したカップを用いて生成したスラリー

また、この調整済カップによるスラリーをカットした様子を図２－１－９に示す。

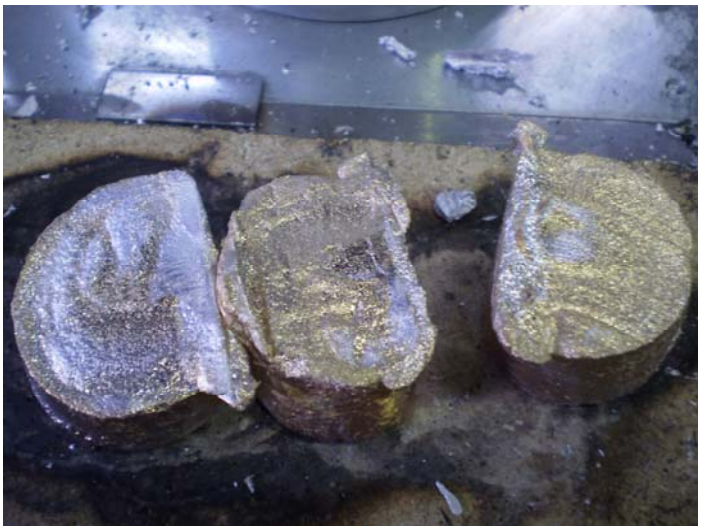


図２－１－９　肉厚を調整したカップによるスラリーのナイフカット断面

中心部がやや液相リッチであることが見受けられるものの、全般に比較的均質な固相率を持ったスラリーが生成できていることがわかる。

以上より、A6063 材を対象として、良質な半凝固スラリーが得られるカップを実現することができた。

２－２　成型機開発・金型開発

本開発法では、ダイカスト成型のような型締後の射出による材料充填ではなく、鍛造成型のように型締めによる成型を行う。このため、材料の充填厚みは成型開始から完了にかけて徐々に薄くなり、薄肉製品の充填でも、材料の充填厚みが薄くなるのを極力減らすことができる。加えて、従来の鍛造成型に比べて型締め速度を高速化することにより、成形時間を短縮し、薄肉製品の成型途中の凝固を減らすようにする。

図２－２－１に本開発にて実現した成型機を示す。

図２－２－１　超高速油圧型締成型機

本成型機の主な仕様は以下の通りである。

１．超高速型締機構。

半凝固材料における成型では、材料の温度低下による影響が大きいため、型締めによる成型時間を短縮し、成型途中での材料の温度低下を極力抑える必要がある。

このためには型締速度を、ダイカストの射出速度並みにすることが有効であり、本成型機では型締速度 2m/sec 以上を実現している。一方で、冷間鍛造、熱間鍛造とは異なり、半凝固材料の成型では材料の変形に要する圧力は少なくてよい。本成型機では型締力は 20ton である。

２．型締による衝撃の緩衝機構

超高速型締めに伴う型締時の衝撃を緩衝するために、下型にショックアブソーバを装着し、衝撃の緩衝を行っている。

３．射出用のシリンダ機構

低固相率での材料での成型を可能とすることと、局部加圧を行えるようにするためにする目的で、下型に射出用のシリンダ機構を備える。なお、本シリンダの動作タイミングは、上型の型締めタイミングに対して可変できるようにしている。

４．周辺ロボットとの連携

材料投入ロボット、製品取出ロボットとの連携動作を実現するインターフェースを備える。

図２－２－２に、本開発成型機を含む、成型装置全体のレイアウトを示す。

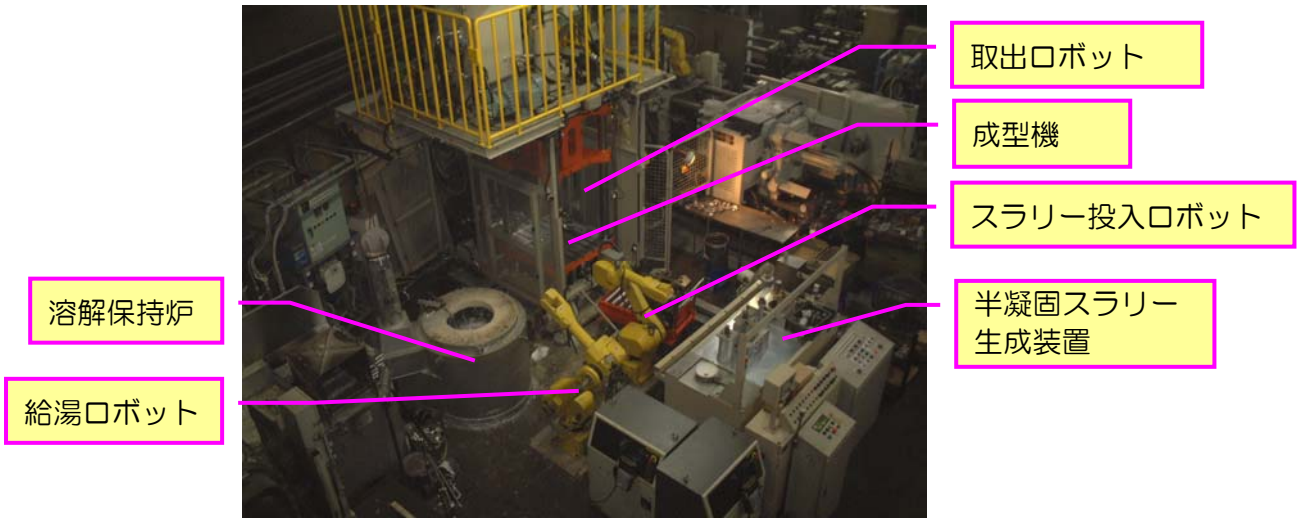


図２－２－２　成型装置全体

本開発成型機向けの金型の設計・製作も行った。対象とした製品は、風力発電機筐体およびデジカメ筐体である。図２－２－３に風力発電機筐体の外形図、図２－２－４にデジカメ筐体の外形図を示す。

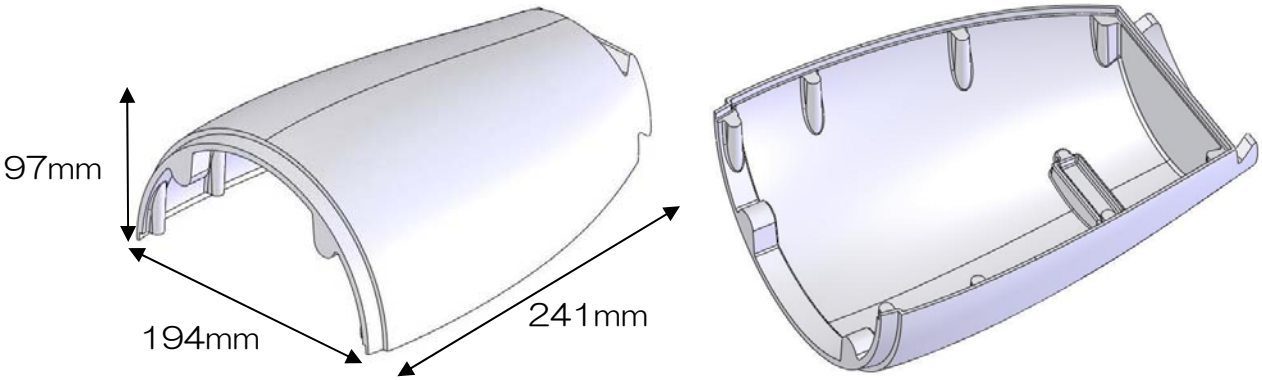


図２－２－３　風力発電機筐体外形図

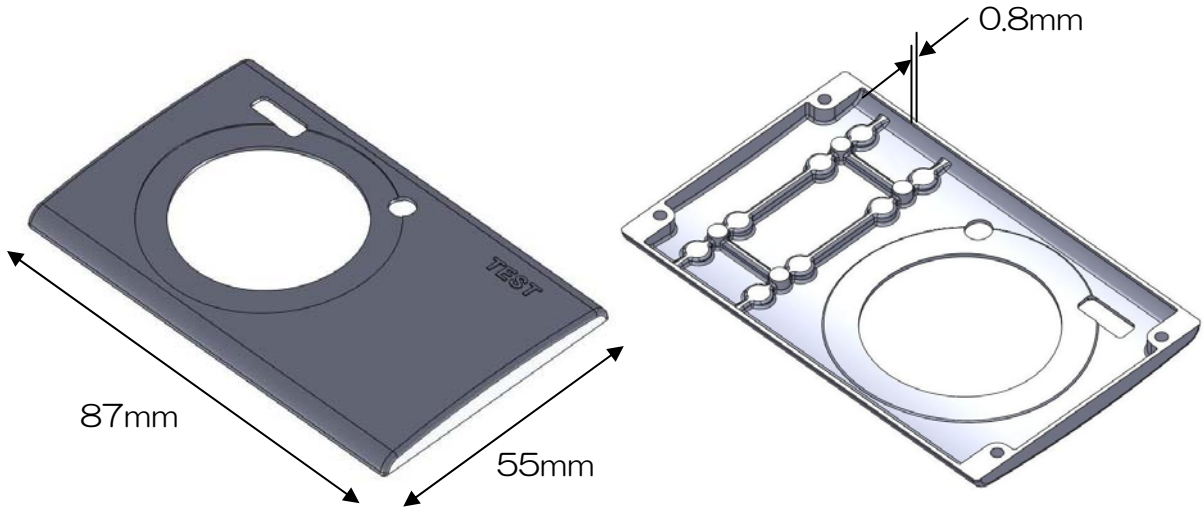


図２－２－４　デジカメ筐体外形図

２－３　成型試験結果

開発した成型機・金型を用いて、風力発電機筐体、デジカメ筐体の成型試験を行った。図２－３－１に風力発電機筐体成型試験片を示す。

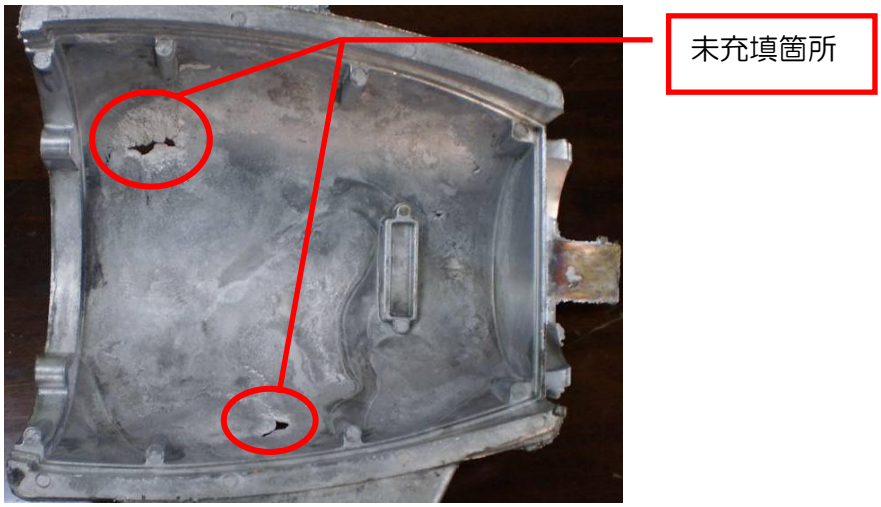


図２－３－１　風力発電機筐体成型試験片（材質：4A12）

未充填箇所が残る結果となった。これは、金型構造に問題があり、材料充填が十分に行えなかったことによる。このため、後続のデジカメ筐体金型の設計に際しては、この金型構造の問題点について対策を施し、製作を行った。

図２－３－２にデジカメ筐体金型による成型試験結果を示す。

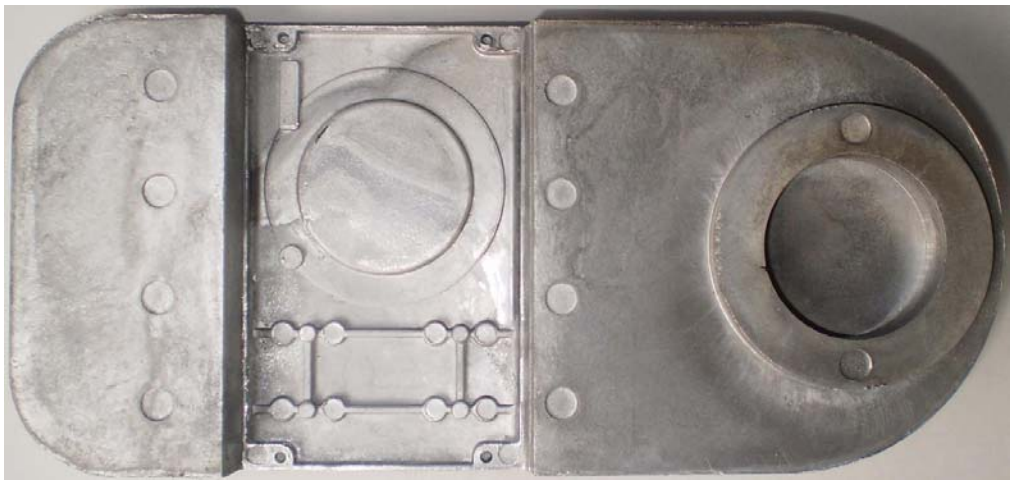


図２－３－２　デジカメ筐体成型試験片（材質：A6063）

図２－３－３に不要部分のトリミングを行い、仕上げを行った状態を示す。

（a）表面　　（b）裏面

図２－３－３　デジカメ筐体試験片（トリミング後）

カラーアルマイト処理を行った後の状態を、図２－３－４に示す。裏面に多少の色むらがあるが、おおむね良好に発色した製品を得ることができた。

（a）表面　　（b）裏面

図２－３－４　デジカメ筐体試験片（カラーアルマイト後）

２－４　組織観察及び強度試験結果

２－４－１　デジカメ筐体試験片組織観察

１）目的

デジカメ筐体試験片について、試料中におけるスラリー流動方向の各断面について組織観察を行い、製品の流動形態の調査と充填不良の原因調査を行った。

２）観察方法

以下の条件で作製された試料について、組織観察を行った。

- 金型設定温度　製品部：200℃、スリーブ：530℃
- スラリー生成条件
  - A6063 合金　溶湯温度：680℃、カップ温度：30℃、撹拌時間：8sec
- 成型条件　射出中の型締めによる成形、金型下降遅延時間：1s
- 離型剤　黒、白

観察位置として、図２－４－１に示すようにスラリーの流動方向と平行に８カ所、製品部に関しては流動方向と垂直に 4 箇所の観察を行った。

３）観察結果

流れ方向と平行な面の組織写真を図２－４－２、図２－４－３に、流れ方向と垂直となる面の組織写真を図２－４－４に示す。ランナ側では固相粒子はデンドライト状であるが、製品部では固相粒子が分散している。また、オーバーフロー部分の固相率はランナ側に比べ低くなっており、製品部と同様の組織を示した。流れ方向と垂直となる面についてみると、製品端部（L）は固相率が低く、離型剤白の場合ほとんど固相粒子は存在しない結果となった。離型剤の違いによる組織の差はほとんどみられなかった。

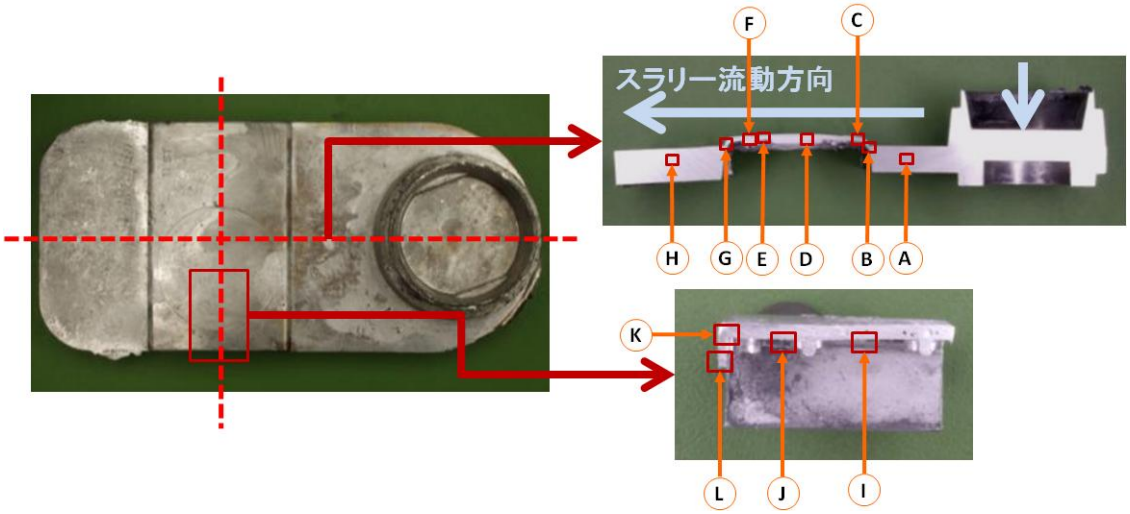


図２－４－１　試料外観と組織観察位置

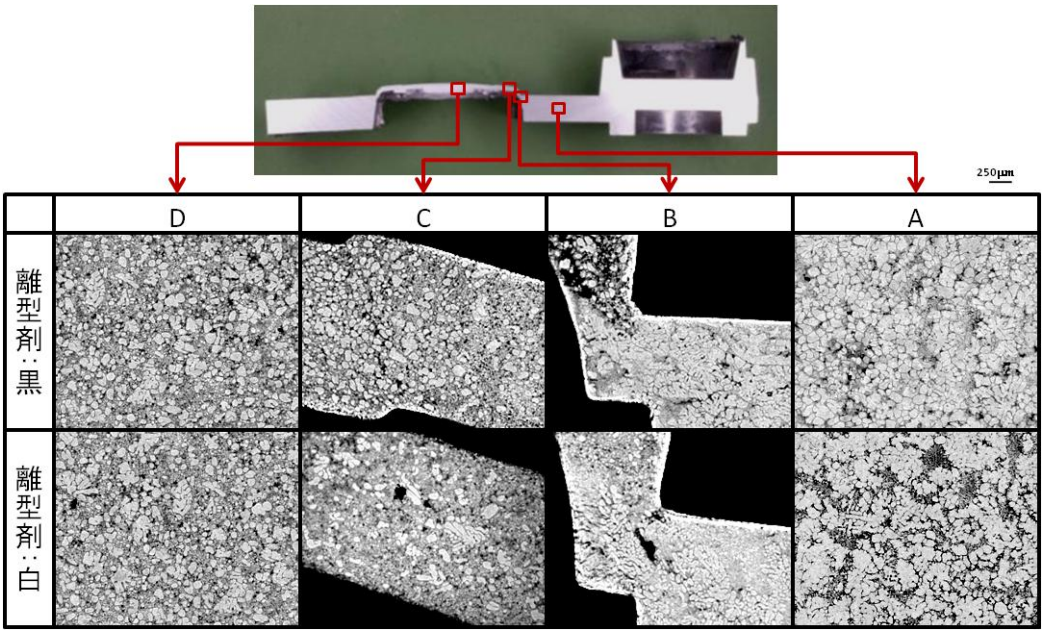


図２－４－２　組織観察結果：ランナ側流れ平行方向断面

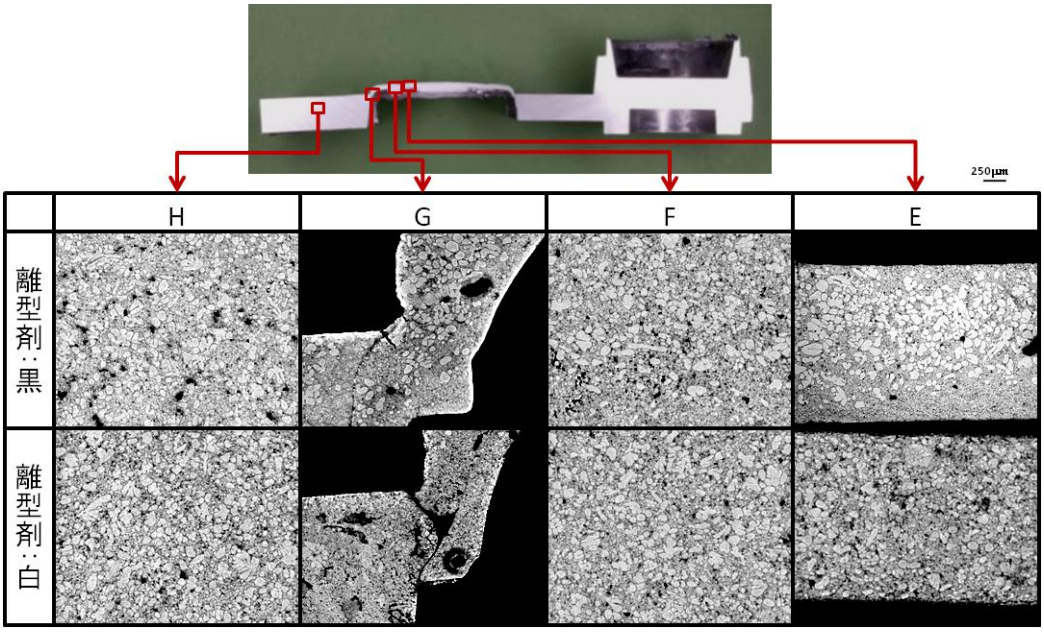


図２－４－３　組織観察結果：オーバーフロー側流れ平行方向断面

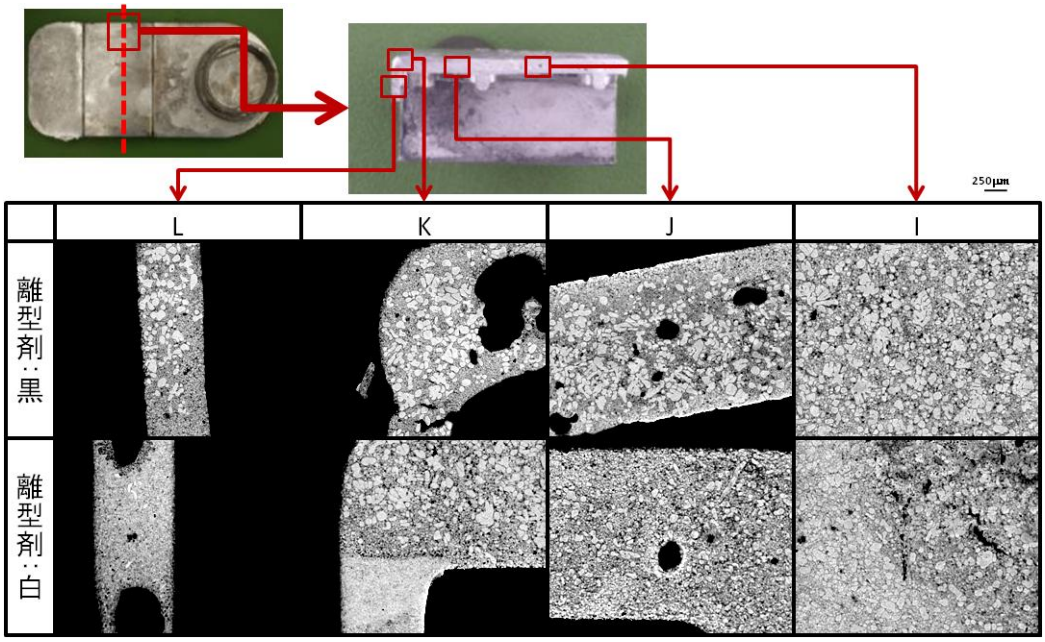


図２－４－４　組織観察結果：製品部流れ垂直方向断面

２－４－２　デジカメ筐体試験片強度評価

１）目的

デジカメ筐体試験片について、試料のランナ部分およびオーバーフロー部分から引張試験片を作製し、引張強度、伸びを求めた。

２）試験方法

供試材の試料作製条件は前節と同じである。製品部分は薄肉であり、ここから引張試験片を作製するのは困難であるため、ランナ部分（図２－４－５）から試験片を作製した。試験片形状は JIS14A 号試験片に準拠しており、寸法を図２－４－６に示す。引張試験片は 5 個の試料から各 1 本ずつ、合計 5 本作製し、試験を行った。

図２－４－５　引張試験片採取位置

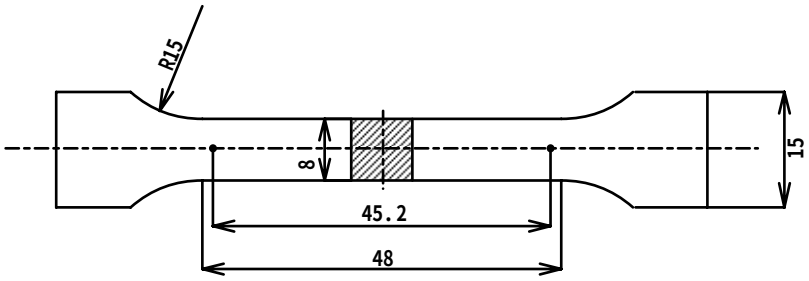


図２－４－６　引張試験片寸法

３）試験結果

引張試験の結果を図２－４－７に示す。引張強さは 101.7MPa、0.2%耐力は 47.7 MPa、伸びは 8.4%であり、伸びに関しては目標値（7%以上）を達成したが、0.2%耐力は目標値（150MPa）を下回った。この原因として、ランナ部の組織が製品部分に比べ粗大化していること、鋳造欠陥が含まれていることが考えられる。しかしながら、0.2%耐力の目標値（150MPa）は 6063 合金熱処理材での強度に近い値であり、本試

料の強度はこれに比べると低いものの熱処理を行っていない材料（A6063-O）の文献値、引張強さ 90 MPa、0.2%耐力 50 MPa と同等程度の強度を持つことが確認された。

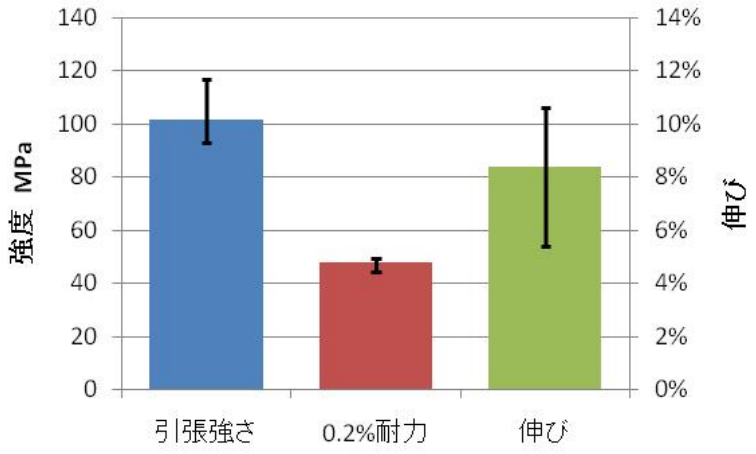


図２－４－７　引張試験結果

第３章　全体総括

３－１　３年間の研究開発成果

本研究開発では、展伸・加工用合金による薄肉・複雑形状成型品の実現を目的とし、風力発電機筐体、及びデジカメ筐体を開発ターゲットとして、

- 展伸・加工用合金の半凝固スラリー生成の開発
- 高速型締機能と材料射出機能を備えた新型成型機の開発
- 新型成型機に対応した金型開発

を行った。

展伸・加工用合金の半凝固スラリー生成の開発では、展伸・加工用合金としてA6063 材と、４Ａ１２材を対象として、半凝固スラリーの生成を行った。展伸・加工用合金は、その組成から、鋳造用合金に比較して液相線温度と固相線温度の差が少ない。さらに本研究開発における計算結果より、鋳造用合金に比べて温度変化に対する固相率の変化量が大きいことが明らかとなり、わずかな温度の差異が半凝固状態を大きく変化させることが明らかとなった。

そのため本研究開発においては、半凝固スラリー生成に関係する温度条件の洗い出しを行い、その管理を厳密に行った。当初 A6063 材の半凝固スラリーは、固相率のばらつきが大きかったが、温度条件の洗い出し、温度管理を厳密に行った結果、A6063 材によるスラリーの状態のばらつきを抑えることが可能となった。

また、同一スラリー中においても、展伸・加工用合金のスラリーは、鋳造用合金に比べて、スラリーの場所による固相率の差が大きくなることも明らかとなった。これについては、スラリー生成結果から肉厚を変化させたスラリーカップを作成することによって、差を少なくできることを確認した。

以上の結果から、半凝固スラリー生成が困難な A6063 材においても、500g 程度の鋳込み重量までならば良好な半凝固状態が生成できるようになった。

高速型締機能と材料射出機能を備えた成型機開発では、重量物である上型および

上部ダイプレートを、高速度で下降させることが最大の技術課題であり、本研究開発の要点である。高速下降後の下型との接触で、衝撃・振動が発生することが予想されたため、想定される衝撃エネルギー、衝撃加速度を計算し、下部ダイプレートの下にそのエネルギーを吸収しうる衝撃緩衝器を備えた予備実験機を製作し、上型を自由落下により高速に下型との接触させた場合にも、その衝撃は、十分に緩衝できることを確認した。その後製作した油圧アクチュエータを備えた成型機においては、上型の高速下降を可能にするための大容量サーボバルブを備え、サーボバルブの動作調整、油圧流量調整、シーケンス制御の調整の結果、安定動作を実現した。

金型開発では、成型試験の結果から、金型の温度管理が重要であることが明らかとなり、そのための機構を開発した。

以上の開発成果として、展伸・加工用合金 A6063 によって、最薄部 0.8mm 肉厚のデジカメ筐体の成型品を得ることができた。

３－２　研究開発後の課題・事業化展開

今後の事業化に向けた課題については、以下の通りである。

１．　成型限界能力の調査　（H２２．４～H２２．１０）

本研究開発により、デジカメ筐体の成型については良好な成型品が得られた一方で、風力発電機筐体については良好な成型品を得るに至らなかった。今後、これら製品への事業化を進めてゆく上では、これまでのように、既存製品形状への適用性を追及する一方で、本開発成型法を適用しやすいように製品形状の変更を依頼する必要も生じる。また、その後、後継機種や類似機種への本開発成型法の展開を図る状況も生じるであろう。そのためには、本開発成型法の成型能力の調査をより厳密に行い、様々な製品への適用に際して、その製品への適用の可否や想定される問題点を、事前にできるだけ正確に見積もれるような状況を作ることが必要となる。新規成型機の実装、および金型構造が確定した現在、再度比較的簡単なサンプル形状を対象として、様々なサイズ、厚みの成型品に対する本開発成型法の能力の調査を行い、その限界能力を明らかとする必要がある。

２．表面処理・離型剤・潤滑剤の選定、耐久性評価（H２２．６～H２２．１０）

本開発における成型試験より、展伸・加工用合金では、半凝固スラリーを用いた場合においても、一般鋳造用合金に比べて金型表面の焼付きが生じやすいことが判明している。これを防ぐために、金型表面処理方法、及び離型剤・潤滑剤の選定を行い、それらによる金型の耐久性を評価する必要がある。

３．離型剤・潤滑剤の塗布方法の検討・自動化　（H22．１０～H２３．３）

上記離型剤・潤滑剤の選定が完了した段階で、それらの塗布方法の自動化について検討し、事業化が確定した時点で実装を行う必要がある。

４．川下ユーザー企業との連携（随時）

以上の状況を適宜ユーザー企業に連絡しつつ、ユーザー企業からのフィードバックを得る。

表３－１　事業化に向けた課題とスケジュール

	H22								H23			
	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03
1.成型限界能力の調査	◆	―	―	―	―	―	―	▶				
2.表面処理・離型剤・潤滑剤の選定、耐久性評価		◆	―	―	―	―	―	▶				
3.離型剤・潤滑剤の塗布方法の検討・自動化						◆	―	―	―	―	―	▶
4.川下ユーザー企業との連携	○				○				○			