

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「消失模型鋳造法によるアルミニウム合金の薄肉中空鋳造技術の研究と
それを用いた発泡樹脂生産技術の確立」

研究開発成果等報告書概要版

平成26年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人岐阜県研究開発財団

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

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

第2章 本論

- 2-1 アルミニウム合金溶湯管理と鑄造技術の確立
- 2-2 数値解析による予測技術の開発
- 2-3 鑄物評価技術の開発
- 2-4 省エネエコ金型成形技術の開発
- 2-5 事業化の検討
- 2-6 プロジェクトの管理運営

最終章 全体総括

- 3-1 平成23年～25年度のまとめ
- 3-2 今後の課題と事業化について

研究開発の概要

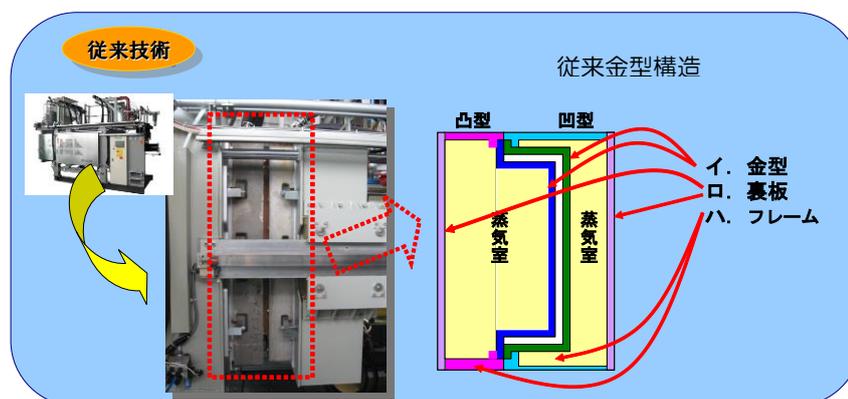
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

発泡樹脂の用途は従来食品箱（容器）や梱包材などがその大半を占めていた。しかし、近年発泡樹脂のもつ軽量性、断熱性を活かした部品としての用途が開発されている。



蒸気で成形する発泡樹脂成形用金型はマスタフレーム、インサイド金型と裏板で構成される蒸気室を持ち、成形加工1サイクルで金型の温度は加熱完了時で 120℃、冷却完了時が 50℃であり、その温度差 70℃を平均 120 秒で行うこの成形方法は加熱冷却を繰り返す化石燃料消費型である。

発泡樹脂成形用金型は、（イ） 発泡樹脂を成形する凸凹金型、（ロ） 裏板と、（ハ） 蒸気室を構成するマスタフレームから成る。（下図）



成形加工には、（イ）を周囲から取り囲む（ロ）、（ハ）に用役（蒸気、水、圧縮空気、真空）を出し入れする成形加工工程で、（イ）及び（ロ）で構成する蒸気室の大きさは、その発泡樹脂成形体体積と比較して 10 倍から 20 倍容積を占め、消費する加熱冷却エネルギーの約半分は、その蒸気室を構成する部材に費やしている。従って、蒸気が蒸気室内部の原料を軟化、溶融するまでの加熱時間は長い。その時間短縮を図るため、成形機メーカーは用役供給のバルブサイズを大きくし、大流量の流体圧力の調整性能を上げる技術開発

に多くの時間と費用を掛けてきた。しかし、先述の（ロ）、（ハ）は共用部材のためより小さな金型であればさらに過剰消費になっているのが現状である。

そこで発泡樹脂業界では加熱、冷却の効率化、製造時間の短縮、さらには、発泡樹脂成形体の加熱時間の短縮を目指した金型フレームの実現に取り組んできた。主に金型フレーム内側にシリコンやゴム、FRP等の素材を用いた断熱処理を施して省エネを図っているが、効果の持続は2、3年以下で耐久性に劣る問題がある。

DAISEN 株式会社は金型の熱容量を減らすため、上記（イ）を薄肉化する方法を検討し、薄肉金型と金型強度向上の研究開発を行った。蒸気室を金型に取込む構造（マスタフレームレス）を試作し、蒸気室を小さくすることによる成形時の省エネルギー化について検討した。

さらに、蒸気室を金型の形状に沿った最小限の空間にするため、消失模型鋳造法による薄肉中空アルミニウム合



蒸気室の一体成型試作品（一部カット）



鋳造欠陥（巣）

金鋳物金型構造の研究を、ものづくり中小企業製品開発等支援補助金を受けて行い、新しい発泡樹脂成形金型を開発した。

その金型は従来金型と比べてその重量を約70%削減、成形時間も従来120秒要していたものが80秒まで短縮することを可能とした。しかし、試作金型は鋳造欠陥（引け巣等）が原因で不良率が75%以上であった。鋳造欠陥の主な原因は巣によるもので、鋳物表面に発生するもの、機械加工後に鋳物内部に発見されるものがある。現在、鋳造結果の予測、鋳造欠陥の有無及びその規模を評価する装置など事業化に向けた生産技術は確立されておらず、結果として鋳造コストの増加、リードタイムの予測ができないため、顧客が要求する様々な形状を製品化するには困難な状況にある。継続的に値上がりしている原油価格は蒸気用ボイラの燃料や原材料等の原価を押し上げているため、発泡樹脂成形業界に於いて危機的状態が続き、喫緊の課題となっている。

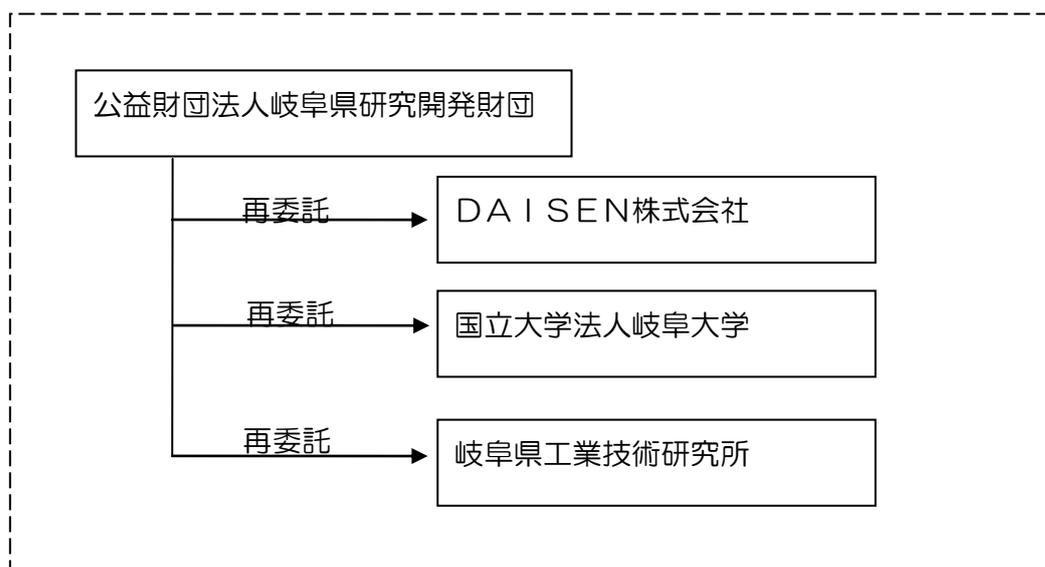
多量の蒸気が必要なエネルギー消費型の発泡樹脂成形を新規成形金型とこれを用いた成形法を開発して省エネ化する。新規成形金型では使用蒸気量を大幅に削減できるアルミニウム鋳物薄肉中空金型を開発する。これは世界で例のない技術で多品種少量生産且つ複雑

3次元形状に対応する。更に開発した金型に適した成形法を開発するとともに、成形装置を製作して事業化を図る。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

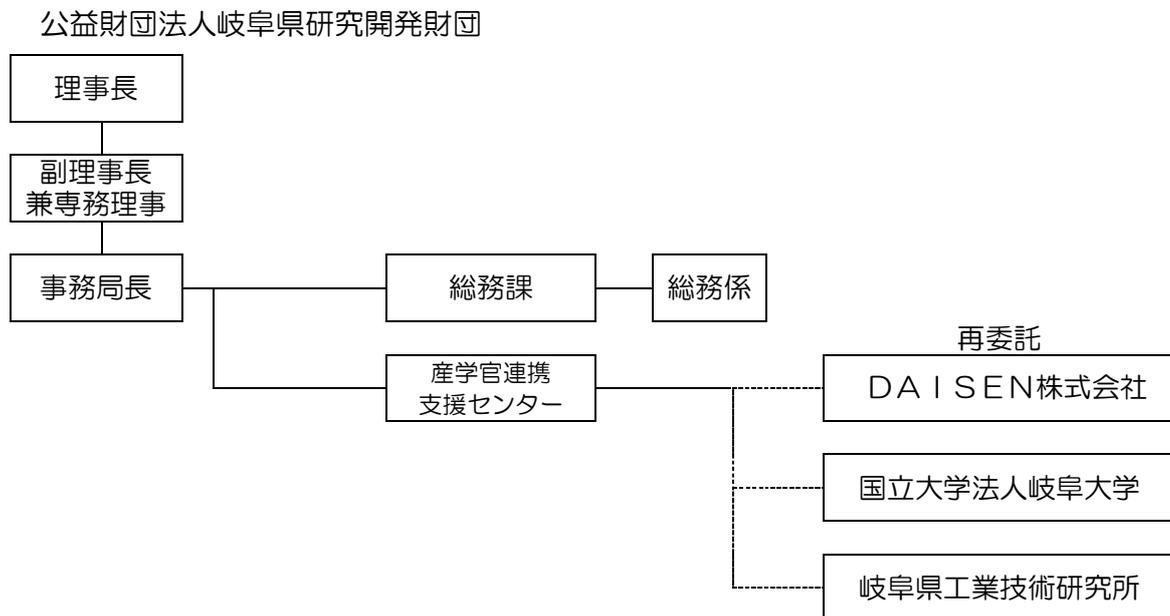


総括研究代表者（PL）
DAISEN株式会社
代表取締役

副総括研究代表者（SI）
国立大学法人岐阜大学
金型創成技術研究センター 教授

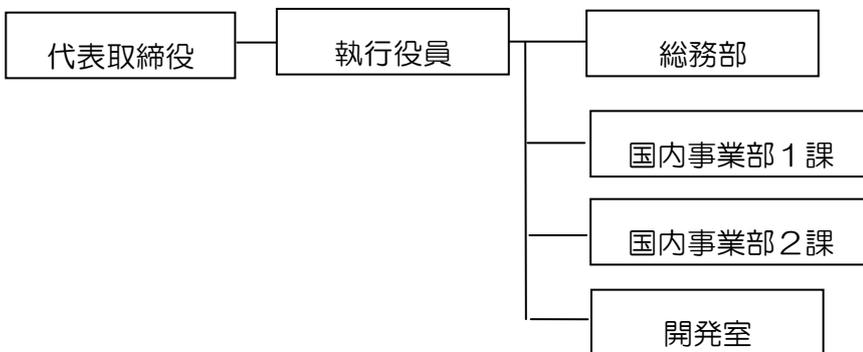
2) 管理体制

①事業管理機関

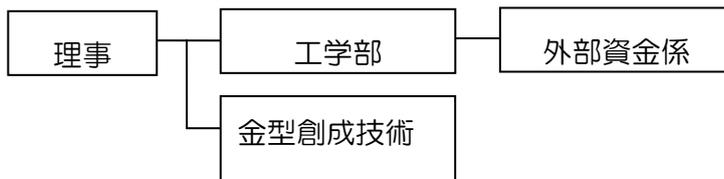


②再委託先

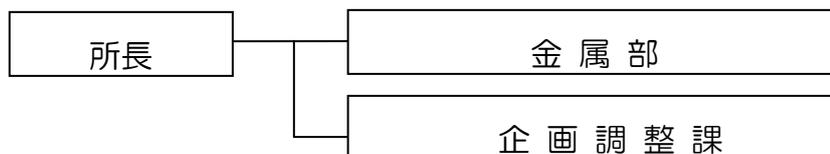
DAISEN株式会社



国立大学法人岐阜大学



岐阜県工業技術研究所



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人岐阜県研究開発財団

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
石原 保雄	産学官連携支援センター長	⑥
鷺見 浩	産学官連携支援センター事業推進員	⑥

【再委託先】

研究員

DAISEN株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
林 彰	代表取締役	①-(a),(b) / ③-(a) / ④-(a),(b) / ⑤
梅田 直行	執行役員 国内事業部長	①-(a),(b) / ②-(a) / ③-(a) / ④-(a),(b) / ⑤
井田 清孝	開発室 担当課長	③-(a) / ④-(a),(b) / ⑤
西尾 誠	国内事業部2課	①-(a) / ②-(a) / ③-(a) / ④-(a) / ⑤
楯 泰貴	開発室 副課長	①-(a),(b) / ②-(a) / ③-(a),(b) / ④-(a),(b) / ⑤
細澤 孝晃	国内事業部1課	②-(a) / ③-(a) / ④-(a) / ⑤
松葉 なつみ	国内事業部1課	①-(a) / ②-(a) / ③-(a) / ④-(a)

国立大学法人岐阜大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
山縣 裕	金型創成技術研究センター 教授	②-(a)
新川 真人	金型創成技術研究センター 助教	②-(a)

岐阜県工業技術研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
飯田 佳弘	金属部 部長	③-(a),(b)
大平 武俊	金属部 主任専門研究員	③-(a),(b)
水谷 予志生	金属部 専門研究員	①-(b)/②-(a)/ ③-(a),(b)
足立 隆浩	金属部 研究員	①-(b)/②-(a)/ ③-(a),(b)

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人岐阜県研究開発財団

(経理担当者) 総務課長 打田 克弘
(業務管理者) 産学官連携支援センター長 石原 保雄

(再委託先)

DAISEN株式会社

(経理担当者) 総務部 担当参与 今井 守男
(業務管理者) 執行役員 梅田 直行

国立大学法人 岐阜大学

(経理担当者) 工学部外部資金係 長屋 好美
(業務管理者) 工学部長 六郷 惠哲

岐阜県工業技術研究所

(経理担当者) 企画調整課長 窪田 敏人
(業務管理者) 金属部 部長 飯田 佳弘

(4) その他

なし

1-3 成果概要

① アルミニウム合金溶湯管理と鑄造技術の確立

(a) 様々な金型形状に対応した鑄造方案の開発

②数値解析による予測技術の開発、③鑄物評価技術の開発との相関をとるため、テストピース形状をさらに2形状増やし、異なる金型形状にも対応できる消失模型鑄造技術の確立を行った。

(b) 鑄物の微細化添加材の開発

強加工による微細化添加材の効果を得ることができなかつた一方、新たな微細化添加材による試作鑄造テストを行い、その効果を評価した。

② 数値解析による予測技術の開発

(a) CAEによる予測精度の向上

事業化に向けて欠陥のない鑄物を得るため、今回追加したテストピースの鑄造方案での数値解析を実施し、鑄造結果との比較を行った。

③ 鑄物評価技術の開発

(a) 鑄物の評価

①(b) 鑄物の微細化添加剤を加えた鑄物の評価を行う。具体的には、微細化添加材を加えたことによる鑄物組織の変化、強度・硬さ等の機械的特性の評価を行った。その結果、組織の微細化することが確認できた。

(b) 非破壊試験での検証方法の開発

超音波探傷器による検証を行った後、NC機械による加工を行った結果有効性を確認できた。

④ 省エネエコ金型成形技術の開発

(a) 省エネ成形金型に最適な専用機及び機構の開発

①試作成形を行い、省エネ成形金型の効果を引き出すことが出来る成形方法の確立と、多数個取り成形実験機の導入とその成形方法及び機器制御プロセスの開発を行った。

(b) 省エネ成形金型の効果測定

④(a) 省エネ成形金型に最適な専用機及び機構の開発にて開発した試作金型と試作成形実験機を用いて最も効果のある成形条件の抽出と成形性能をサイクルタイム、蒸気使用量などで評価した結果、成形サイクルタイムと蒸気使用量の削減が出来ることが判った。

⑤ 事業化の検討

ユーザであるA社、B社に④省エネエコ金型成形技術の開発についてその進捗と意見を取り入れ開発を進めた。④の試作成形にて判明した性能を示すことで大型機への実用化の期待を得ることができ、事業化に向けた一歩を踏み出すことができた。

⑥ プロジェクトの管理運営

研究開発を円滑に推進するため、研究実施プロジェクトの管理運営、研究開発推進委員会の開催、共同体構成員相互の調整、財産管理・報告書作成等の管理を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

DAISEN株式会社 開発室 楯 泰貴

TEL : 0573-66-3200 FAX : 0573-66-3276

E-mail : tate@daisen-inc.co.jp

第2章 本論

2-1 アルミニウム合金溶湯管理と鑄造技術の確立

(a) 様々な金型形状に対応した鑄造方案の開発

平成 24 年度は常に清浄化された溶湯で、簡易形状（TP1）実形状（TP2）の試作を通して「溶かす」「流す」技術をほぼ確立した。平成 25 年度は②の予測技術、③の非破壊試験評価との相関をとりながら異なる形状の鑄造形状にも対応できることを確認した。

鑄造方案は横方案、縦方案と実施したが横方案が最も欠陥が発生しなかった。その理由として加工面（キャピティ側）を下にした場合、溶湯中に混じる鑄造欠陥の原因となる発泡樹脂が溶ける時に発生するガスや溶湯中の酸化皮膜などが図 1-1 に示すとおり注湯から凝固までの間に反加工面側に浮き上がる。従って加工面側には欠陥の発生が抑えられていると考える。

上記考察より、食品容器蓋の中空鑄物鑄造方案は横型とした。

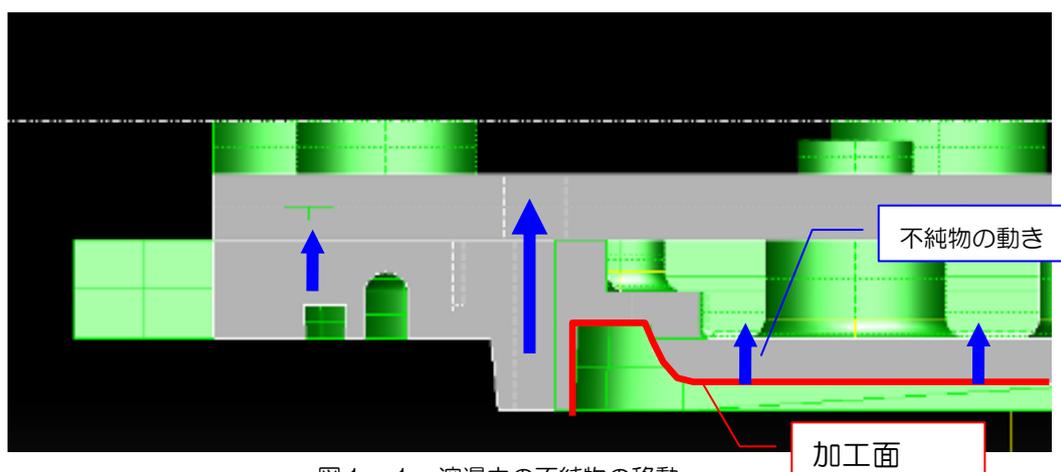


図 1-1 溶湯中の不純物の移動

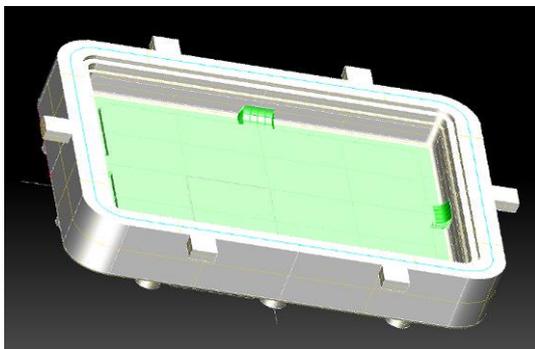
TP2 の試作において欠陥の少ない鑄造方案を得ることができたため、今年度の目標とした「様々な金型形状にも対応できる」ことを目的とし、TP3 TP4 の形状を市販の食品容器蓋形状を選定した。

TP3、4 に選定した成形品形状及を図 1-2 に示す。TP2 と比較して TP3、TP4 の順で外形は大きくなり、TP4 は TP3 よりも薄く、中空金型の形状が複雑になる。

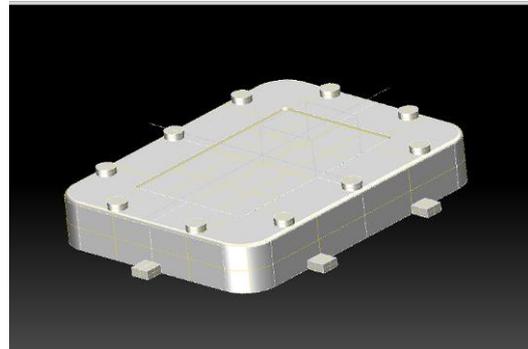


図1-2 左 TP3、右 TP4 成形品形状

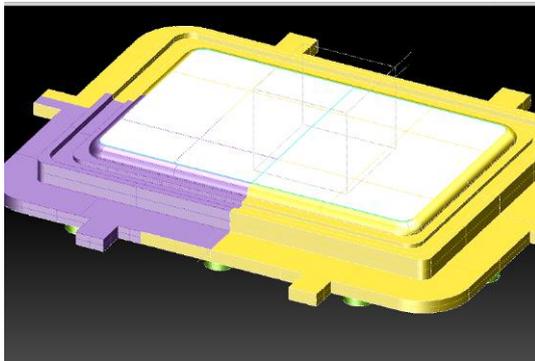
TP3 の製品形状を決め、金型の設計、消失模型の設計（図1-3）を行った。



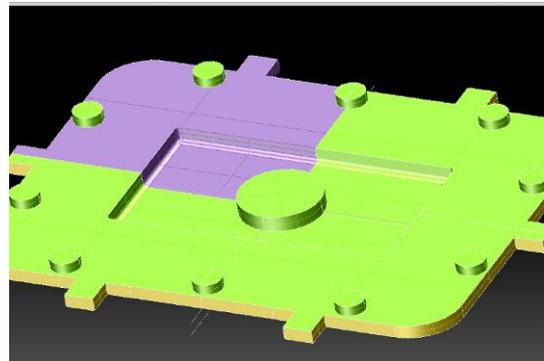
凹型（製品面）



凹型（裏面）



凸型（製品面）



凸型（裏面）

図1-3 TP3 図面

3次元設計図から3DCAM データを作製し、発泡樹脂ブロックから削り出し消失模型を作製した。

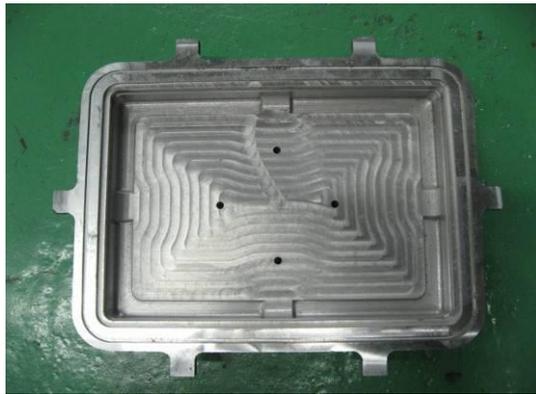
鑄造結果を図1-4に示す。凸型は鑄造結果及び加工結果は金型として問題ないレベルのものが鑄造できた。一方凹型は鑄砂が崩落し、設計寸法とは大幅に異なる鑄造品となった。



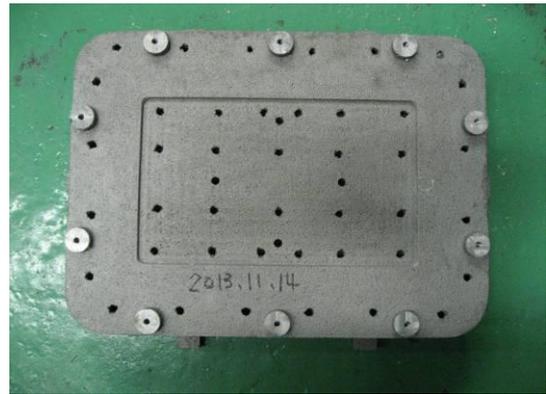
図1-4 TP3 鋳造結果

TP3 凹型の鋳砂崩落原因は CO₂ 鋳型が消失模型に鋳砂を充填する時に用いる振動テーブルの振動に耐え切れず崩壊した結果、製品面側の底面が下がり、中空部位の砂充填量が足りなくなり裏面の肉厚が少なくなったと考える。

上記の結果を踏まえ、TP3 凹型の鋳造方案として CO₂ 鋳型を使わない縦型とし、再度鋳造試作を行った。鋳造方案と鋳造結果、加工結果を図1-5に示す。良好な鋳物を得ることができた。



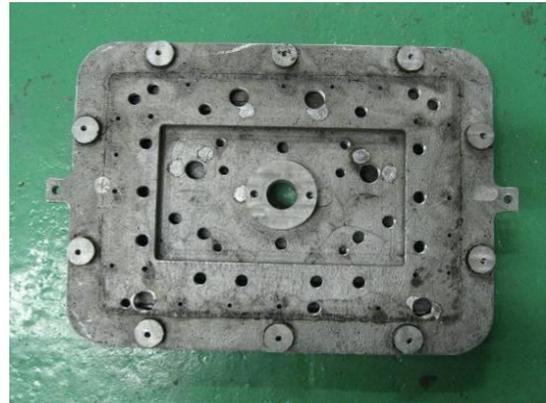
凹型製品面加工完



凹型反製品面加工完



凸型製品面加工完



凸型反製品面加工完

図1-5 TP3 再試作

TP4 試作に当り、凸型の方案は横型とし凹型の方案は TP3 で得た知見から縦型にて実施することとした。

鑄造結果を図1-6に示す。

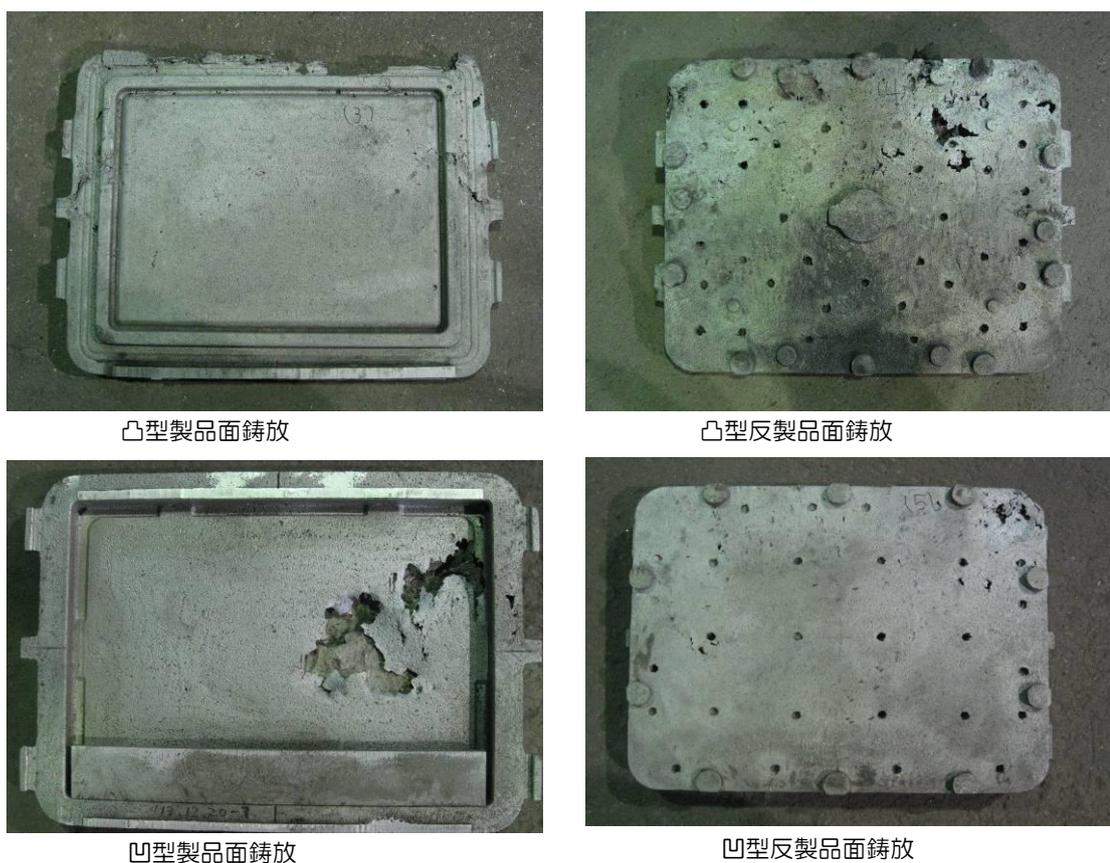


図1-6 TP4 鑄造結果

結果、TP4 の凸型、凹型それぞれ 4 回の鑄造試作を行ったが全てに鑄造欠陥が発生した。全ての欠陥に通じる現象として①溶湯が充填されていない ②鑄物の偏肉 ③変形が見られた。この現象は TP1 から 3 までにおいて発生したことが無かったため、原因を溶湯温度や清浄度等の鑄造条件ではなく、中空金型構造（消失模型構造）を見直すこととした。凶面を再度検証すると、鑄砂を充填する空間が少ない場所（砂崩れ）や消失模型肉厚の薄い（湯まわり不良）ところが点在した。そこで再度 TP4 中空金型構造を検討し再設計を行った。

再設計を行ったデータを元に消失模型を作製し、鑄造方案は前回同様の条件で試作を実施した。鑄造結果、加工結果を図1-7に示す。

結果として凸型、凹型いずれも初回に発生した砂崩れ等の問題点は改善された。中空金型構造の設計が鑄造の成否を決める重要な要件であることがわかった。



圖1-7 TP4 試作鑄造結果

(b) 鋳物の微細化添加材の開発

ECAP 法による微細化添加材の作製において、母材となる AC4A の成分が微細化添加材の働きを抑制することがわかった。そこで、AC4A 材の微細化方法を再検討した。

新たに開発した微細化剤を用いたところ組織の微細化した上、硬さの向上が見られた。

2-2 数値解析による予測技術の開発

2-1 で実施した様々な金型形状に対応した鋳造方案の開発にて TP4 の再設計を行った。再設計後の湯流れを事前に岐阜大学にシミュレーションを実施した。結果を図 2-1 に示した。

TP4 凸型は横型方案であるが溶湯は湯口側の下部から徐々に充填され、ほぼ同時にあがりに湯が充填されているのがわかる。充填時間は注湯開始から⑥の段階までおよそ 15 秒かかっている。一方実際の鋳造は注湯から⑥を過ぎ上がりから溶湯が全て出たところまでの時間が 20 秒から 24 秒ほどであったことから溶湯速度はシミュレーションと実際の速度はほぼ同等の速度であったといえる。図 2-2 に TP4 凹型のシミュレーション結果を示す。

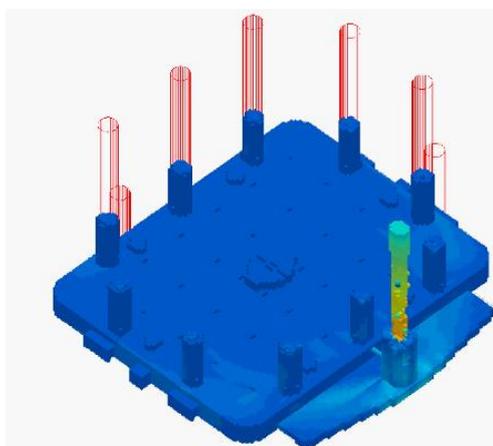


図 2-1 TP4 凸型シミュレーション結果

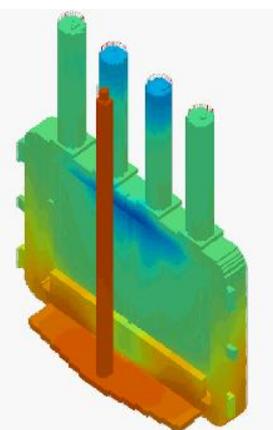


図 2-2 TP4 凹型シミュレーション結果

溶湯は湯口側、反湯口側いずれもほぼ同等の速度で充填されていることがわかるが、製品部分に充填された時点で上部中央の湯温が全体と比較して低いことがわかる。湯温が低いことからこの部位の凝固が早くなり、浮上してきた水素ガスや EPS が消失したときに生じるガス、残渣などが閉じ込められる可能性がある。

＜消失模型の溶解・気化量、種類の検討・・・岐阜県工業技術研究所＞

消失模型鑄造の CAE において、消失模型が溶解・気化する際の潜熱や発生するガスの種類・量等、不明な点が多く、解析精度の向上にはこれらの各種物性値を測定することが必要である。そこで、昨年度測定不可能であった発泡スチロール(ポリスチレン)の融解熱を、示差走査熱量測定(DSC)で測定することを試みた。

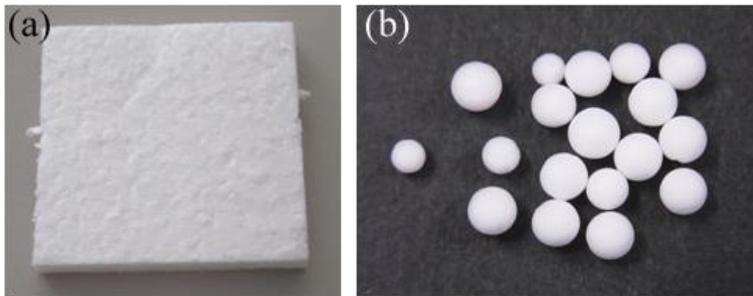


図2-3 消失模型用発泡材料、(a)発泡済み試料(PMMA・(スチレン-メタクリル酸メチル共重合体)またはEPS(ポリスチレン))、(b)発泡粒(EPS)

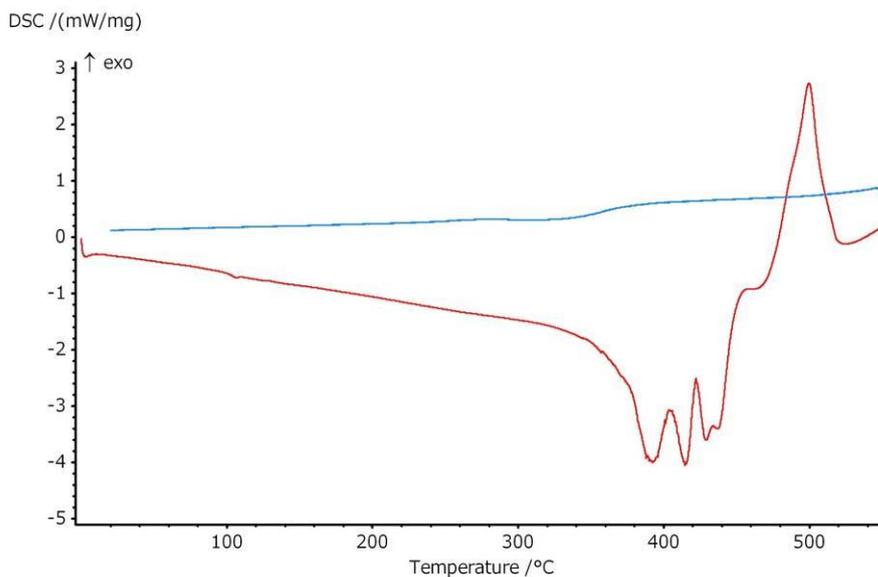


図2-4 EPS 発泡材のDSC 曲線

(試料重量：2.19mg、雰囲気：N₂ガスフロー 50cc/min、昇温速度：10°C/min、最高温度：550°C)

昨年度は図1 (a)に示したような発泡済み試料(PMMA・(スチレン-メタクリル酸メチ

ル共重合体)または EPS(ポリスチレン))で DSC 測定を行ったところ、図2のように吸熱反応に引き続いて発熱反応も起こったため、融解熱を決定することができなかった。これは、大気中で試料(発泡スチロール)をアルミパンの中に密封したため、内部に酸素ガスを内包しており、発泡スチロールの溶融・気化後、燃烧反応が起きたためではないかと考えられた。このため、①アルミパンへの密封作業を不活性雰囲気で行う、②発泡済み試料ではなく原料である発泡粒を試料として用いる、ことで融解熱測定できないかと考えた。そこで今年度は、図1 (b)に示したような EPS の発泡粒を入手し、DSC 測定に用いた。

まず、この図1 (b)の EPS 発泡粒が成形後の発泡スチロールと同様の構造であるかどうかを確認するため、図1 (a)の発泡済み試料(PMMA ・ および EPS)との比較を赤外吸収スペクトル(FT-IR)分析で行った結果を図3に示す。この結果、EPS 発泡粒は成形された EPS 発泡スチロールとほぼ同じポリスチレンのピークを示した。また、PMMA ・ は EPS と似たピークもあるが、他にも特徴的なピークがいくつかあり、異なる構造をもつことが分かる。

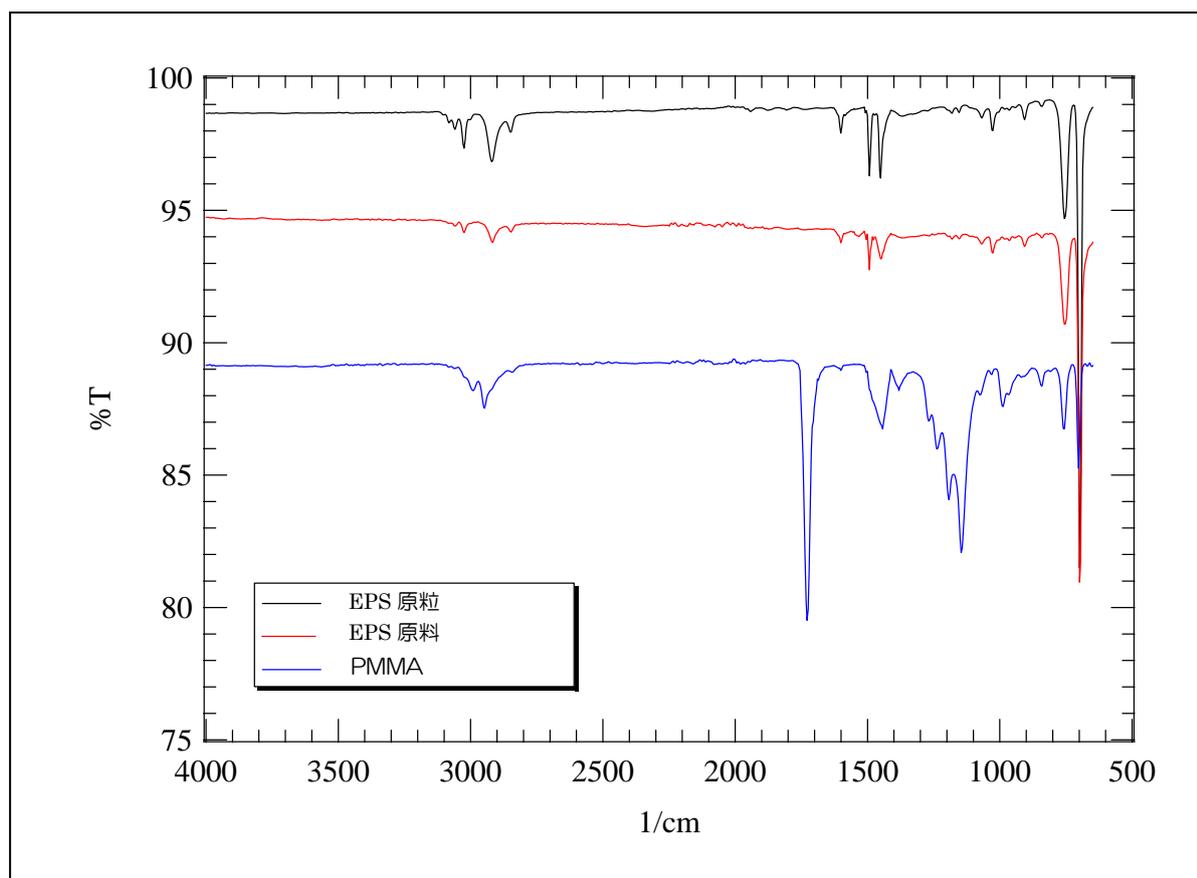


図2-5 図1の原材料の赤外吸収スペクトル比較

次に、この図1 (b)の EPS 発泡粒を不活性ガス中でアルミパンに密封させることを試み

た。DSC で測定するには、通常図 2-6 に示したようなアルミ製の容器に試料を入れ、これをアルミ製の蓋で覆った後、ハンドプレス機でかしめることで密封させる。昨年度は、この作業を大気中で行ったためアルミパン中に酸素ガスが内包されていたと考えられたため、今年度は図 2-7 に示したような簡易のグローブボックスを用いた。このグローブボックス内に、予め試料、アルミパン、ハンドプレス機を入れて窒素ガスをフローさせ、内部の酸素モニターが 0% になった後も数時間放置させることで酸素ガスの除去を試みた。この状態で試料をアルミパンに密封し、DSC 曲線の測定を行った。その結果を図 6 に示す。吸熱反応のみが検出されることを期待したが、今回も吸熱後に発熱反応が起こってしまった。この原因を調べるため、試料部を真空引きすることができる示差熱重量同時測定装置(TG-DTA)で、He ガス雰囲気中と N₂ ガス雰囲気中で EPS 発泡材の測定を行った。その結果、図 2-9 に示したように、He 雰囲気中の図 2-9 (a) は重量減少時に大きな吸熱が検出されたのみで明確な発熱は検出されていないが、N₂ 雰囲気中の図 2-9 (b) は明確な吸熱が検出されることなく大きな発熱が起こっていた。このことから、雰囲気ガスに含まれる残留酸素が原因であると推測された。図 2-9 (a) の TG-DTA に用いた He ガスボンベのグレードは最高級のアルファガスであり、He の純度が高いだけでなく酸素は 0.1ppm 以下にコントロールされている。一方、図 2-9 (b) で用いた N₂ ガスボンベは一般の高純度窒素であり、窒素の純度が 99.999% であるけれどもその他の不純物ガスについては一切コントロールされていない。このため、不純物の酸素ガス濃度の違いが発泡スチロール試料の燃焼に影響したと考えられる。また、図 5 の簡易グローブボックスで流した窒素ガスは、さらにグレードの低い圧縮窒素であったため、より酸素ガスの濃度が高かったことが容易に予想される。図 2-8 の DSC 測定では、比較的グレードの高い G2 ガスの N₂ ガスボンベ(酸素は 0.3ppm 以下)を用いているが、試料密封時の残留酸素が多かったために燃焼反応が起きてしまったと考えられる。このため、①よりしっかりしたグローブボックスで、②より高純度な N₂ ガスを用いて、試料をアルミパンに密封することが必要になると考えられる。また、今回用いた図 1 (b) の EPS 発泡粒は、完全に内部までバルク状の固形物ではなく、ある程度発泡したスポンジ状であったため、粒内部の微細な空間内壁に吸着したガスを完全に抜き取ることは困難であると考えられる。そこで、このような多孔体の試料ではなく、内部まで完全に固体のポリスチレンが試料として入手できれば、融解熱の測定に役立つと考えられる。



図2-6 DSC測定用アルミパン



図2-7 DSC測定用アルミパンの封入作業を行った簡易グローブボックス

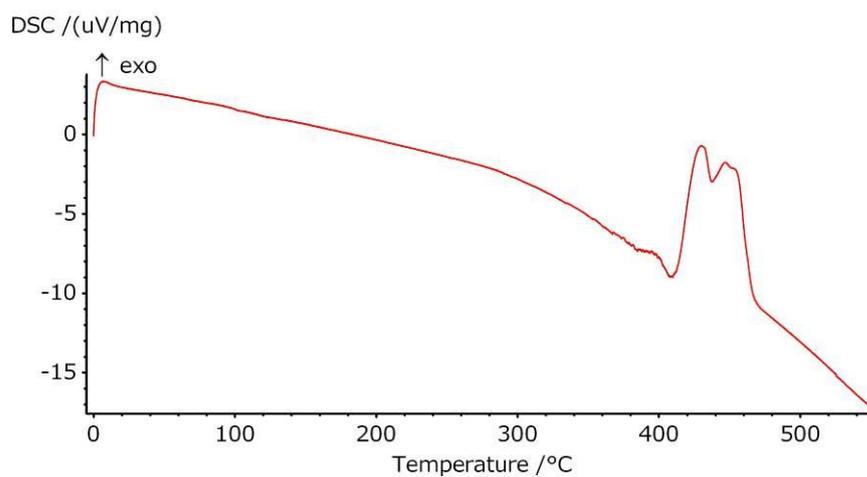


図2-8 窒素雰囲気下でアルミパンに密封した EPS 発泡粒の DSC 曲線

(試料重量：0.94mg、雰囲気：N₂ ガスフロー 50cc/min、
昇温速度：10°C/min、最高温度：550°C)

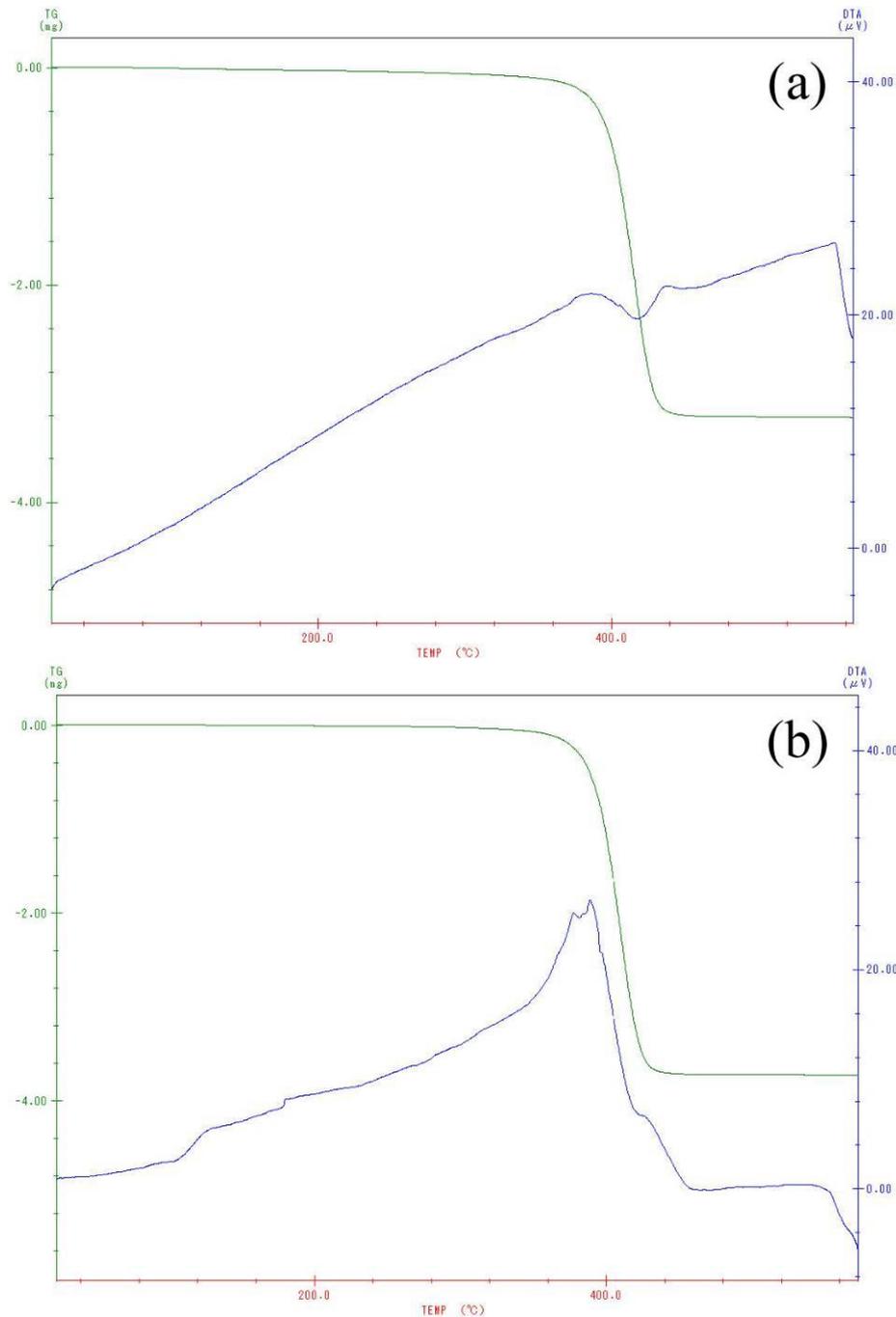


図2-9 EPS発泡材のTG-DTA曲線(昇温速度：10°C/min、最高温度：550°C)、
 (a)試料重量：3.26mg、雰囲気：Heガスフロー 100cc/min、
 (b)試料重量：3.74mg、雰囲気：N₂ガスフロー 100cc/min

次に、消失模型から発生するガスの種類・量の特定を試みた。昨年度は図1(a)の発泡済み試料(PMMA・およびEPS)について、示差熱重量同時測定とガス分析(TG-DTA-MS)を行ったが、ガス分析装置(MS)の都合上He雰囲気下での分析であったため、大気中で行われる実際の casting時に発生するガスを特定できるとはいえない。そこで、今年度はこの

MS を改造し、酸素ガスを含んだ大気ガス雰囲気下でも測定・分析できるようにした。図2-3 (b)の EPS 発泡粒を、He 雰囲気下で測定した TG-DTA 曲線を図2-10 (a)に、He +20%O₂ ガス雰囲気下で測定した TG-DTA 曲線を図2-10 (b)に示す。図2-10 (a)の酸素のない He 雰囲気下で測定した場合は、図2-9 (a)と同様に 400°C付近で重量減少時に大きな吸熱が検出され、明確な発熱は検出されなかった。一方、酸素を 20%入れた図2-10 (b)の場合では、重量が減少し始める温度が 300°C付近に低下し、この温度で吸熱し始めてすぐ発熱していた。そして、いずれも測定に用いた試料重量全てが減少しており、蒸発あるいは燃焼することで全て気化したと考えられる。また、図2-9 (a)の EPS 発泡材の結果と異なり、図2-10 (a) (b)の EPS 発泡粒の場合は、130°C付近に極わずかではあるが重量の減少が起こっている。これは、ポリスチレンの構成モノマーであるスチレンの沸点が 145°Cであることから、未反応のスチレンモノマーが若干存在しており、これが揮発したためであると考えられる。

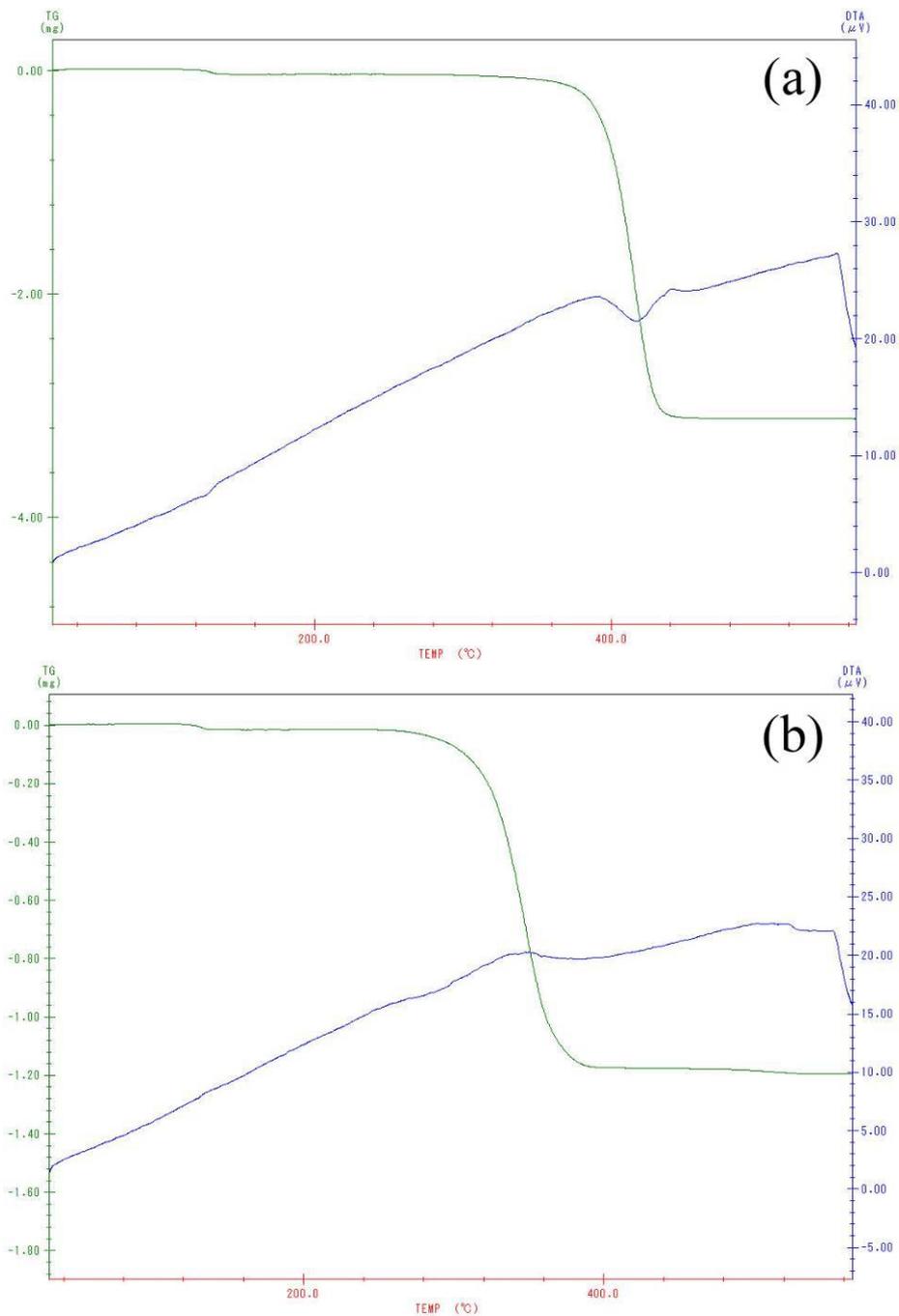


図2-10 EPS 発泡粒の TG-DTA 曲線(昇温速度：10°C/min、最高温度：550°C)、
 (a)試料重量：3.18mg、雰囲気：He ガスフロー 100cc/min、
 (b)試料重量：1.22mg、雰囲気：He 80cc/min + O₂ 20cc/min

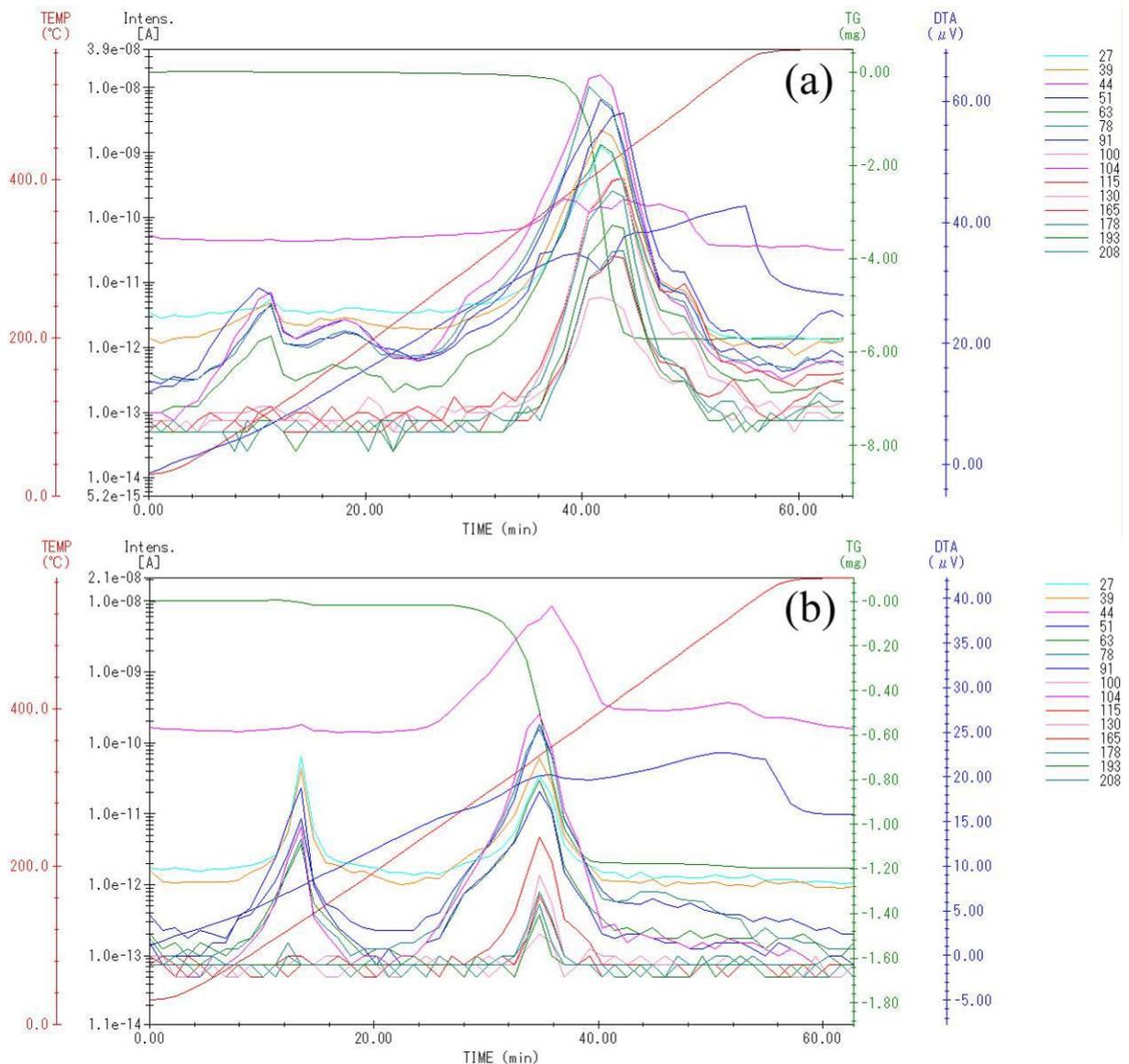


図2-11 EPSのTG-DTA-MS曲線(昇温速度：10°C/min、最高温度：550°C)、
 (a)発泡材、重量：5.78mg、雰囲気：He ガスフロー 100cc/min、
 (b)発泡粒、重量：1.22mg、雰囲気：He 80cc/min + O₂ 20cc/min

図2-11(a)に、昨年度測定したEPS発泡材をHe雰囲気下で測定したTG-DTA-MS曲線を(図2-9(a)+MS曲線)、図2-11(b)に図2-10(b)のEPS発泡粒をHe+20%O₂ガス雰囲気下で測定したTG-DTA-MS曲線を示す。TG, DTA, 温度の各曲線の他に、各図右側の凡例に示した数字の原子番号について、ガスの発生量を示す曲線を示す。いずれも130°C付近に1つ目の発生ガスのピークがあり、300~400°C付近に2つ目の大きなピークがある。この1つ目と2つ目のピークの強度比を比べると、図2-11(b)のEPS発泡粒では1オーダー違うだけだが、図2-11(a)のEPSEPS発泡材では3オー

ダーも異なっている。この結果が TG 曲線にも現れており、図 2-11 (a)ではほとんど重量の減少が分からないが、図 2-11 (b)では約 20・g 減少していた。2 つ目のピークについては、図 2-10 (a) (b)の結果と同様に、He 雰囲気下では約 400°C、He+20%O₂ ガス雰囲気下では約 300°Cで大きな重量の減少が起こり、ガスが大量に発生していた。このピークの位置で試料重量がほぼ 0 となり、全て気化したことが分かる。この時発生しているガスは、不活性雰囲気の図 2-11 (a)では原子数 104 等の高分子ガスが多いのに対し、酸化性雰囲気下の図 2-11 (b)では 104 等の高分子ガスの他に、44 番の CO₂ と思われるガスが大幅に増加していた。これらの結果を分かりやすく比較するため、原子数 44, 100, 104 のみ抜き出し、図 2-12 (a)に He 雰囲気下での EPS 発泡材の結果、図 2-12 (b)には He 雰囲気下での PMMA・発泡材の結果、図 2-12 (c)には He+20%O₂ ガス雰囲気下での EPS 発泡粒の結果を示す。He 雰囲気下では、ポリスチレンの EPS では図 2-12 (a)に示すようにスチレンの 104 番が大きなピークとなっており、100 番は MS 検出部での解離によるフラグメントイオンであると考えられることから、発生ガスの主成分はスチレンであると考えられる。一方、同じ He 雰囲気下でもスチレン-メタクリル酸メチル共重合体の PMMA・では、図 2-12 (b)に示すようにスチレンの 104 番とメタクリル酸メチルの 100 番のピーク強度が同程度になっており、スチレンもメタクリル酸メチルも同程度近く発生していると考えられる。また、これら He 雰囲気下での TG-DTA-MS 分析では、図 2-12 (a)の EPS も図 2-12 (b)の PMMA・でも CO₂ の 44 番はベースラインの強度が高いものの、ピーク時の増加幅は小さいことから、発生ガスではなく MS 検出部での解離によるフラグメントイオンであると考えられる。一方、酸化性雰囲気下での TG-DTA-MS 分析である図 2-12 (c)では、CO₂ の 44 番が 300°C付近の 2 つ目のピークでベースラインから 2 桁増加しており、酸素が存在することで CO₂ までの分解が進行したと考えられる。しかし、スチレンの 104 番も同様に 2 つ目のピークで大きく増加していることから、スチレンの状態でもガスとして発生しており、酸素が存在していても全てが CO₂ まで分解するわけではないことが分かった。

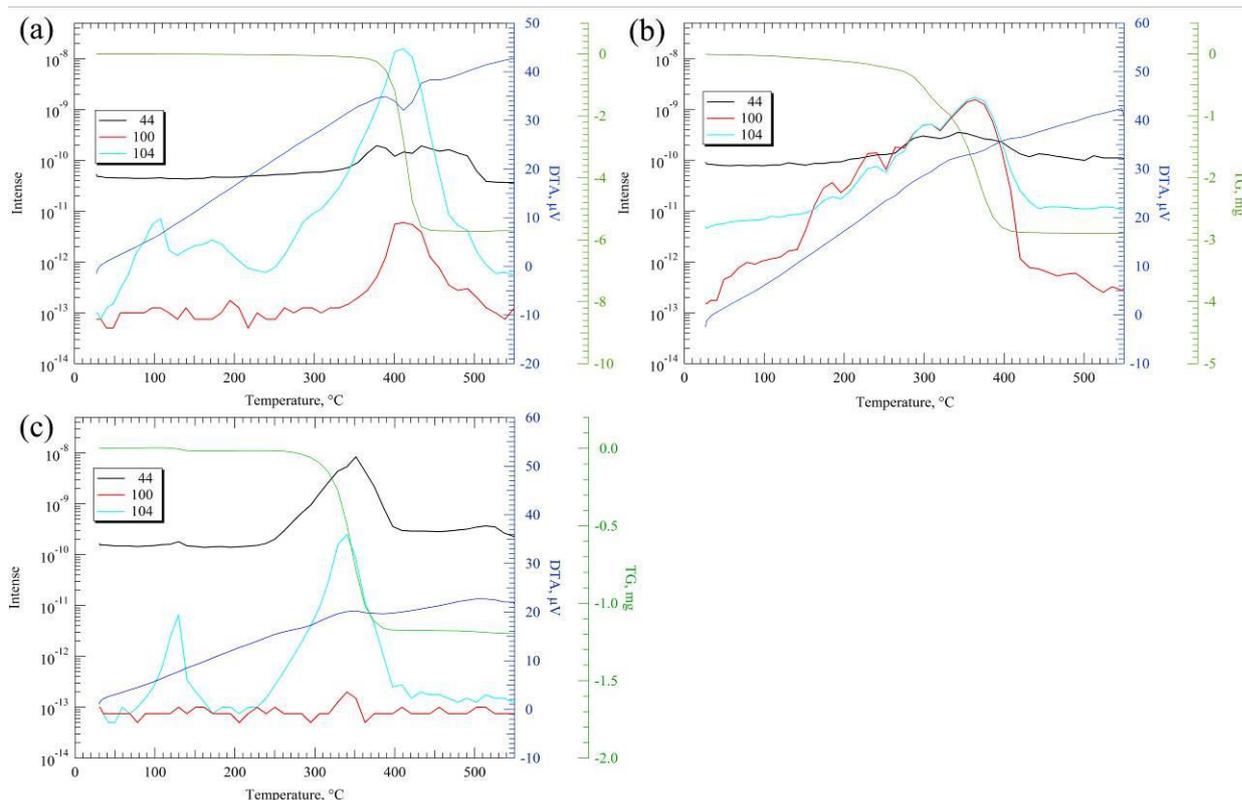


図2-12 TG-DTA-MS 曲線の比較(昇温速度：10°C/min、最高温度：550°C)

(a)EPS 発泡材、重量：5.78mg、雰囲気：He ガスフロー 100cc/min、

(b)PMMA ・発泡材、重量：2.85mg、雰囲気：He ガスフロー 100cc/min、

(c)EPS 発泡粒、重量：1.22mg、雰囲気：He 80cc/min + O₂ 20cc/min

図2-12(c)のEPS発泡粒のTG-DTA-MS曲線について、スチレンの104番に注目し、縦軸を線形に変更したグラフを図2-13に示す。線形に変更したことで、130°C付近のピークと340°C付近のピークの大きさの違いがよく分かり、ピーク面積を計算すると、340°C付近のピーク面積は130°C付近のピーク面積の約55倍となった。130°C付近では約20・gの重量減少起きており、スチレンの沸点が145°Cと近いことから、この重量減少は未反応のスチレンモノマーの揮発が主だと考えられる。この重量減少を全てスチレンだと仮定し、温度条件が異なるがピーク面積比がガス発生量に換算できるとすると、340°C付近のピークではスチレン由来の重量減少が約1.1mgとなる。測定に用いた試料重量は1.22mgであることから、試料の大部分がスチレンとして発生していると考えられる。しかし、この計算はあくまでも仮定であることから、実測による定量化が今後の課題である。

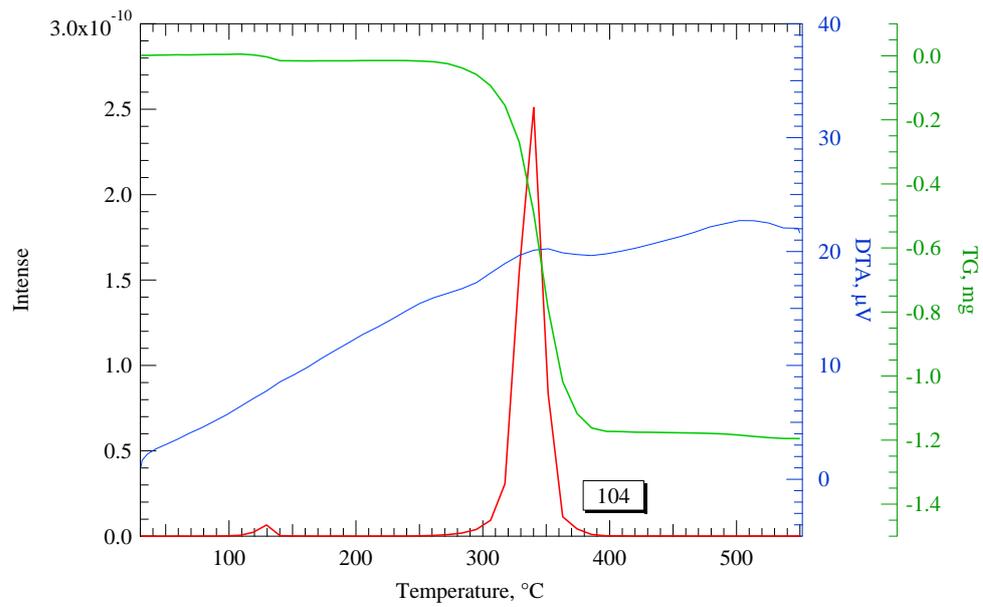


図2-13 図2-12(c)のEPS発泡粒のTG-DTA-MS曲線(試験条件は図2-12(c)と同じ)

2-3 鋳物評価技術の開発

(a) 鋳物の評価

より省エネに寄与する金型とするには、軽量化も必要となる。そこで、金型材質の高強度化による薄肉化が必要となるため、AC4A アルミニウム合金鋳物のマイクロ組織の微細化も検討した。

鋳物の組織を微細化するには、冷却速度を上げる、組織微細化に寄与する添加剤を入れる、といった方法が考えられる。しかし、今回の鋳造方法では冷却速度を上げるのは難しいので、微細化剤を添加する手法を検討した。AC4A アルミニウム合金の微細化剤として、名古屋工業大学の渡辺教授が開発した微細化添加材 A の効果が高い、という報告があるため、この微細化剤を用いた。図 1 2 にそれぞれ、(a) (b) 何も添加していない通常の AC4A 鋳物、(c) (d) 通常の添加剤である Al-5mas.%Ti を添加した AC4A 鋳物、(e) (f) 新規開発の微細化添加材 A を添加した AC4A 鋳物、のマイクロ組織を示す。図 1 2 の(a), (c), (e) に示した低倍率の写真を見ると、白色の α デンドライトの大きさには大きな違いはない。しかし、図 1 2 の(b), (d), (f) に示した高倍率の写真を見ると、 α デンドライトの間にある共晶 Si の形状・大きさに違いが出ている。図 1 2 の(b), (d) では典型的な針状の共晶 Si であるが、(f) では大部分が粒状になっており、改質の効果が出ている。今回試した 2 つの微細化剤では、新規開発された微細化添加材 A 添加剤の方が組織微細化の効果があった。

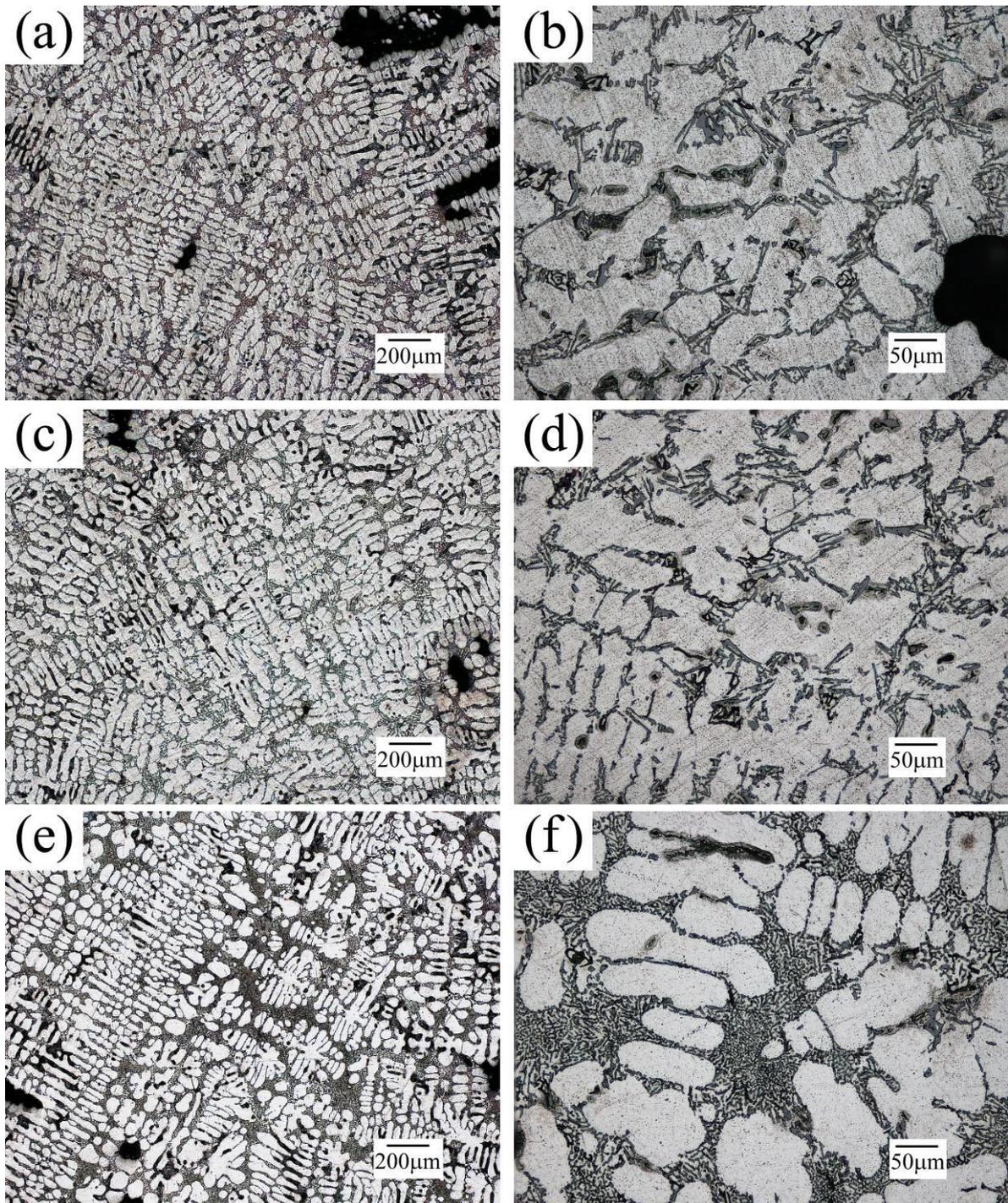


図12 AC4A アルミニウム合金鋳物のマイクロ組織への添加剤の影響、
 (a) (b) 添加剤なし、(c) (d) 通常添加剤 Al-5mas.%Ti、(e) (f) 開発品微細化添加材 A

(b) 非破壊試験での検証方法の開発

平成 24 年度に引き続き超音波探傷による事前検査を機械加工前に実施した。鋳造後直ぐにわかる欠陥を除き、大きな巣は確認することができた。ただし、確認できたものは比

較的鑄肌が良いものしか確認ができず、鑄肌が悪いものやプローブよりも大きな凹凸がある鑄物については確認することが出来なかった。

2-4 省エネエコ金型成形技術の開発

(a) 省エネ成形金型に最適な専用機及び機構の開発

平成 24 年度は専用機の構想を実施した。今年度は鑄造試作した TP3、TP4 から金型を試作し、省エネ成形金型の効果を引き出すことが出来る制御方法及び機器の開発を行った。

専用機の構想については顧客要求から金型の配置及び、成形機の構造を検討した。多数個取りが出来、簡易な金型交換をするためには

①前段取で金型が組みあがっており成形機に取り付けが出来ること

②成形機と金型を結ぶ用役（蒸気、圧縮空気、冷却水、ドレン）配管を早く取り付けられること

が必要である。しかし、省エネエコ金型構造を行うためには従来、蒸気 4 本 冷却水 4 本、ドレン 4 本の計 12 本のカムロックの接続が必要であったが、省エネエコ金型構造には少なくとも 18 本以上の接続が必要である。また、成形機から金型につなぐ用役は圧力制御などを必要とすることから制御装置の配置及びプログラムの開発が今後は必要となる。

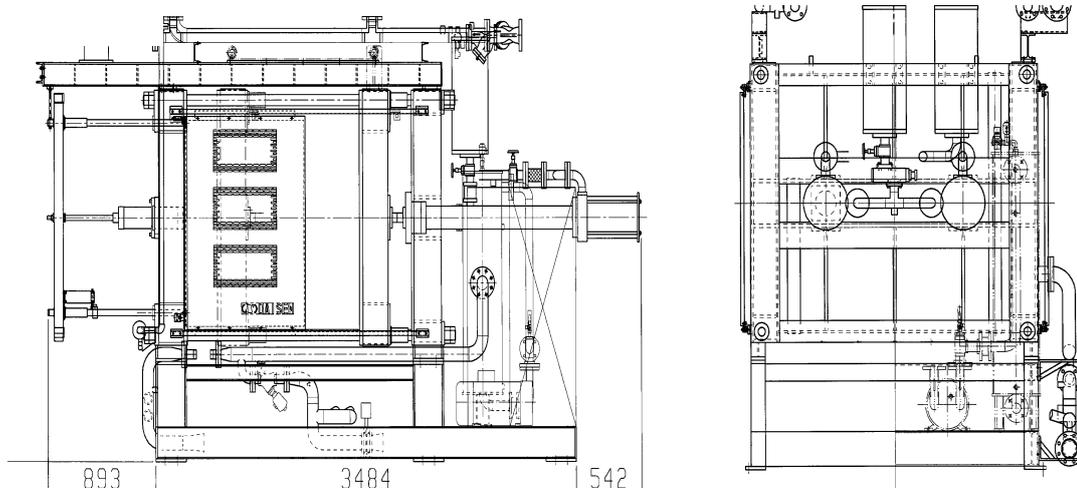


図4-2 専用成形機図

中空鋳物から試作した省エネエコ金型、専用成形機による試作まで出来た。

(b) 省エネ成形金型の効果測定

2-4(a)にて開発した金型と専用機を用いて最も効果のある成形条件の抽出と成形性能をサイクルタイム、蒸気使用量などで評価し、事業化に向けた省エネ・省資源の実証を行った。

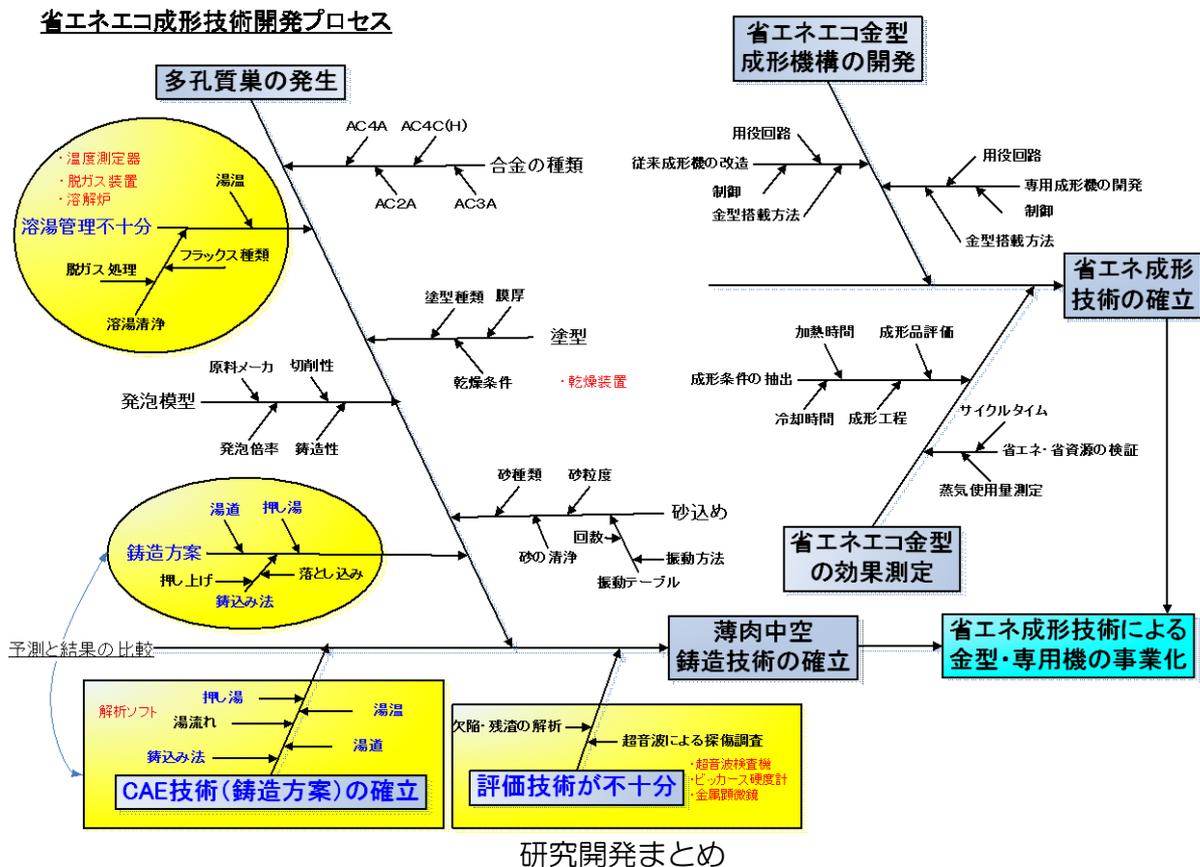
試作に当って試作金型は2-1で試作した TP3、TP4 を用いた。また、4個取り成形を実施する前に TP3 を小型用試作機にて2個取りで試作を行うことで成形条件の抽出と4個取り用金型設計に展開できるようにした。

また、試作成形時の蒸気使用量を従来の成形機と比較してみた。ボイラの給水量及び重油使用量から試算すると、従来成形方法で6.2kg/ショット（6個）とすると2.7kg/ショット（6個）となるため、成形品1個当たり40%以上の省エネを図ることが出来る。

最終章 全体総括

3-1 平成23年~25年度のまとめ

本研究開発の研究項目を図示した。



大きく分けて鑄造の部分と省エネエコ金型（成形）でとりすすめた。3 ヶ年のプロジェクトで概ね確立できた内容を下記にまとめた。

【1. 鑄造技術】

- ①中空金型設計要件の確立
- ②中空鑄造方案の確立

【2. 鑄物の高強度化】

- ①AC4A の鑄物を高強度化する可能性が見つかった

【3. CAE】

- ①実測値との照合、あわせ込み
- ②X 線可視化による消失模型の分解時の挙動確認

【4. 評価方法】

- ①減圧凝固測定による溶湯のガス量
- ②K モールド法による介在物の確認
- ③X 線 CT と超音波探傷による評価方法

【5. 成形方法】

- ①専用成形機、金型構造の開発
- ②成形方法の確立

3-2 今後の課題と事業化について

【今後の課題】

鑄物の高強度化・・・微細化添加材の継続研究

金型のライフ検討・・・試作型を用いて耐久試験を行う。

【事業化について】

- 研究期間中に事業化まで至った例は無かったが、顧客との共同開発をすすめる事業化を図る。

販売先のニーズと販売戦略

	改造需要	新規需要
成形機	従来機に後付で省エネ金型が成形可	専用機(従来金型対応)
金型	省エネ金型	省エネ金型
メリット	少ない投資で導入可	専用機のためより省エネ効果が期待できる
市場規模 対象市場	大 食品容器	小 多品種少量生産品

以上