

平成 2 4 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「精密鑄造法におけるワックス代替・高強度・軽量

樹脂模型材料の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 5 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 J F E テクノリサーチ株式会社

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
1-1-1	研究開発の背景	1
1-1-2	中小ものづくり高度化法及び特定ものづくり基盤技術高度化 指針との整合、及び高度化目標について	1
1-1-3	高度化目標の達成に資する特定研究開発等について ーサブテーマ、技術的数値目標、及び実施計画日程ー	2
1-2	研究体制	6
1-3	成果概要	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口	10

第 2 章 複雑形状軽量樹脂模型造型技術の開発

2-1	緒言	11
2-2	樹脂模型脱型性の検証	11
2-3	樹脂模型表面性の検証	14
2-4	樹脂模型の特性評価	16
2-5	結言	19

第 3 章 樹脂模型の組み立て（ツリーアセンブル）の検証

3-1	緒言	21
3-2	接着の強度	21
3-3	ツリーの組み立て	22
3-4	結言	23

第 4 章 鋳型からの脱樹脂技術の開発

4-1	緒言	24
4-2	鋳型からの脱樹脂方法	24
4-3	樹脂燃焼による脱樹脂	24

4-4	樹脂溶解+樹脂燃焼による脱樹脂	25
4-5	結言	27
第5章 大型樹脂模型造型と脱樹脂プロセスの検証		
5-1	緒言	28
5-2	大型樹脂模型の造型	28
5-3	大型樹脂模型の評価	31
5-4	脱樹脂プロセスの検証	38
5-5	結言	38
第6章 全体総括		36

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

精密鑄造法は、欧米諸国はじめとする防衛・航空機産業の主要な部品調達に欠くことのできない先端産業技術の一つに位置づけられる。我が国では、1960年代に米国からの技術導入が始まり、自動車産業、重電機産業、一般産業機械などの平和的産業分野で発展を遂げてきており、現在、精密鑄造法は、自動車機器のターボ翼車、重電機器用蒸気タービンブレード、航空機のジェットエンジン用タービンブレード、ロケットエンジンなどの難削・超耐熱主要部品に多く適用されている。

中型の部品製造が一般的であるが、昨今の急速な技術革新において、重電機器産業等では大型・複雑形状・高精度化、高生産・耐環境性への対応ニーズがますます高まってきている。一方、従来から精密鑄造に広く用いられているのはワックス模型材料であるが、同材料で大型化を試みた場合に、収縮率が大きく製品設計が極めて困難である、重くて壊れやすい、温度による変形が大きい等々課題が多い。

今回の研究開発は従来技術の概念から大きく脱却し、ワックスに代替する高強度・軽量発泡樹脂による新たな樹脂模型造型技術、及びその脱樹脂技術の開発をめざすもので、この確立により航空宇宙産業等他産業への適応も期待され、世界に先駆ける新たな市場が展開できる。

1-1-2 中小ものづくり高度化法及び特定ものづくり基盤技術高度化指針との整合、及び高度化目標について

今回の研究開発と上記の法律で定められた基盤技術高度化指針の整合は以下のとおりである。

技術分野：（十）鑄造に係る技術分野

鑄造において達成すべき高度化目標：（4）重電機器、環境機器に関する事項

①川下製造業者の抱える課題及びニーズ：

ア．大型化

ウ．複雑形状

ク．環境配慮

②高度化目標：

鑄造に係る技術において達成すべき高度化目標として、指針の中から次の4項目を

掲げ、新たな精密鑄造の鑄型造型技術、及びその脱樹脂技術の開発をめざした。

ア．大型鑄物に関する生産性の向上に資する鑄造技術の開発

ロストワックス精密鑄造法のワックス模型材料に代えて、大型部材に適応する、寸法・歪み等の形状安定性の高い樹脂模型材料を開発する。

オ．複雑形状を実現するための鑄造技術の開発

射出成形性の良好な平滑な表層を有する発泡樹脂模型材料を開発する。

カ．高精度化を実現するための鑄造技術の開発

収縮の少ない、そり、ピンホール等の欠陥を生じない樹脂模型材料を開発する。

コ．環境配慮に資する鑄造技術の開発

樹脂模型を発泡させることで使用樹脂量の低減を図る。

鑄型からの脱樹脂工程で樹脂を回収、再生することにより資源の有効利用を図る。

燃焼樹脂量を少なくすることにより、環境への負荷低減を図る。

本開発では、我が国精密鑄造ワックス材料市場の約 60%のシェアを占める(株)ブライソングジャパン独自の配合ワックス等を添加し、RIM※によりワックス模型と同等以上の表面性状を有し、かつ内部を均一・微細に発泡させた大型・複雑形状の軽量樹脂模型造型技術を確立する。また燃焼での原料ロスを最少とするために、有機溶媒によって発泡樹脂模型を分解・回収する技術を確立する。これらにより、ワックス模型では困難であったガスタービン翼等の大型化、複雑形状化への対応と環境負荷の低減が共に可能となる。

※RIM：Reaction Injection Molding の略称。2 種類以上の反応性の液体を混合させながら金型に注入し、反応固化させる成形加工法

1-1-3 高度化目標の達成に資する特定研究開発等について

ーサブテーマ、技術的数値目標、及び実施計画日程ー

高度化目標の達成に資する本特定研究開発において、サブテーマ、技術的数値目標、及び実施計画日程を以下のように定めた。

サブテーマ

サブテーマ① 複雑形状軽量樹脂模型造型技術の開発

樹脂模型造型装置と樹脂模型造型用金型・治具により実際に発泡樹脂模型造型を行う。また、鑄型造型装置により発泡樹脂模型の鑄型造型工程における特性及び鑄型造型最適条件の検証を行う。模型及び脱樹脂後の鑄型内部の表面を分析し、実際の鑄物の表面に転写される状態を観察、評価する。

サブテーマ② 樹脂模型の組み立て(ツリーアセンブル)の検証

試作樹脂模型を使用しツリーを組み立てる。ツリーアセンブルでランナー(湯道)材質と樹脂模型との適合性を検証する。更に接合部の強度試験を行い、大型化に向

け接合部の強度を数値で把握する。

サブテーマ③ 鋳型からの脱樹脂技術の開発

脱樹脂装置により有機溶媒や特殊なオイルを用いて樹脂模型を鋳型から消失させる技術として、樹脂の分解及び焼成を組み合わせた、鋳型損傷を起こさない新たな脱樹脂プロセスを開発する。更に、使用溶媒、溶液注入場所、分解温度、雰囲気、時間等の調整により、最適脱樹脂条件を検証・確定する。

サブテーマ④ 大型樹脂模型造型と脱樹脂プロセスの検証

①-③での試験結果を基に、実際にユーザーが使用している金型を用い、樹脂模型を造型し、ツリーアセンブルを行うことにより脱樹脂プロセスを検証する。また、造型、脱樹脂、焼成の特性に関しては、①-③での試験結果から、実際の工程での特性を想定する。①-④の結果を踏まえ、実工程での問題点等についてアドバイザーの助言を得る。

サブテーマ⑤ プロジェクトの管理・運営

- ・事業管理機関において、本プロジェクトの管理・運営を行う。
- ・本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行う。
- ・再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行う。

研究の技術的数値目標

以下の項目及び数値を掲げた。

- (1) 複雑形状軽量樹脂模型製造技術における表面無欠陥
- (2) 密度 0.25g/cm^3 以下
- (3) 燃焼灰分 0.03% 以下
- (4) 収縮率 0.6% 以下
- (5) 3点曲げ強度 4MPa 以上
- (6) 3点曲げ弾性率 90MPa 以上
- (7) ゲートとランナーの接着が可能
- (8) 鋳型を損傷すること無く脱樹脂可能
- (9) 大型樹脂模型造型にも適応可能

サブテーマ①及びサブテーマ②、③の従来技術と開発技術の比較を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

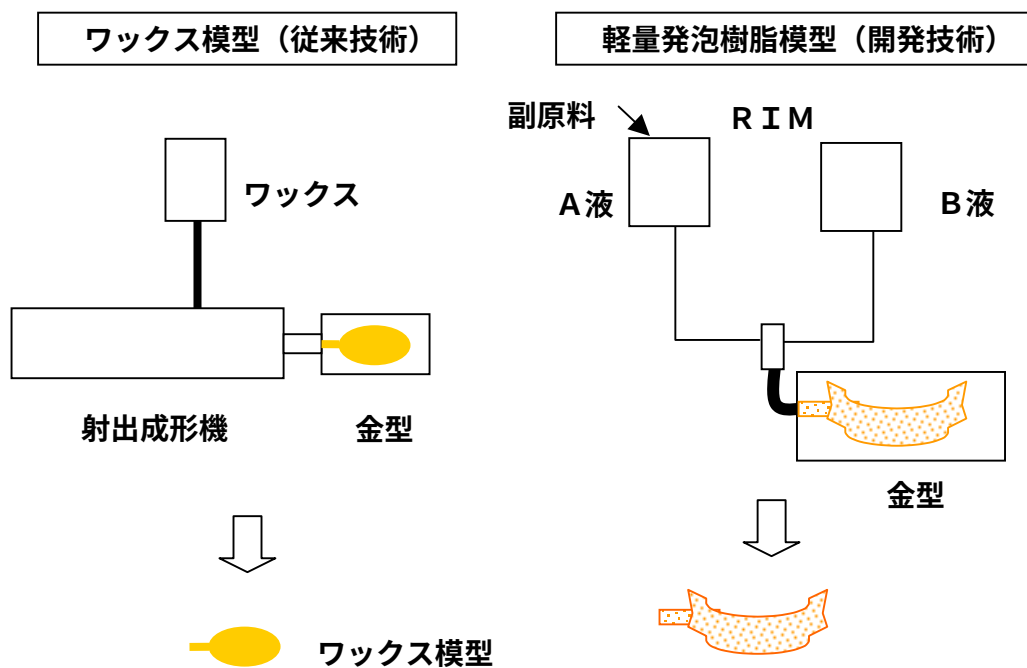


図 1-1 サブテーマ①における従来技術と開発技術の比較

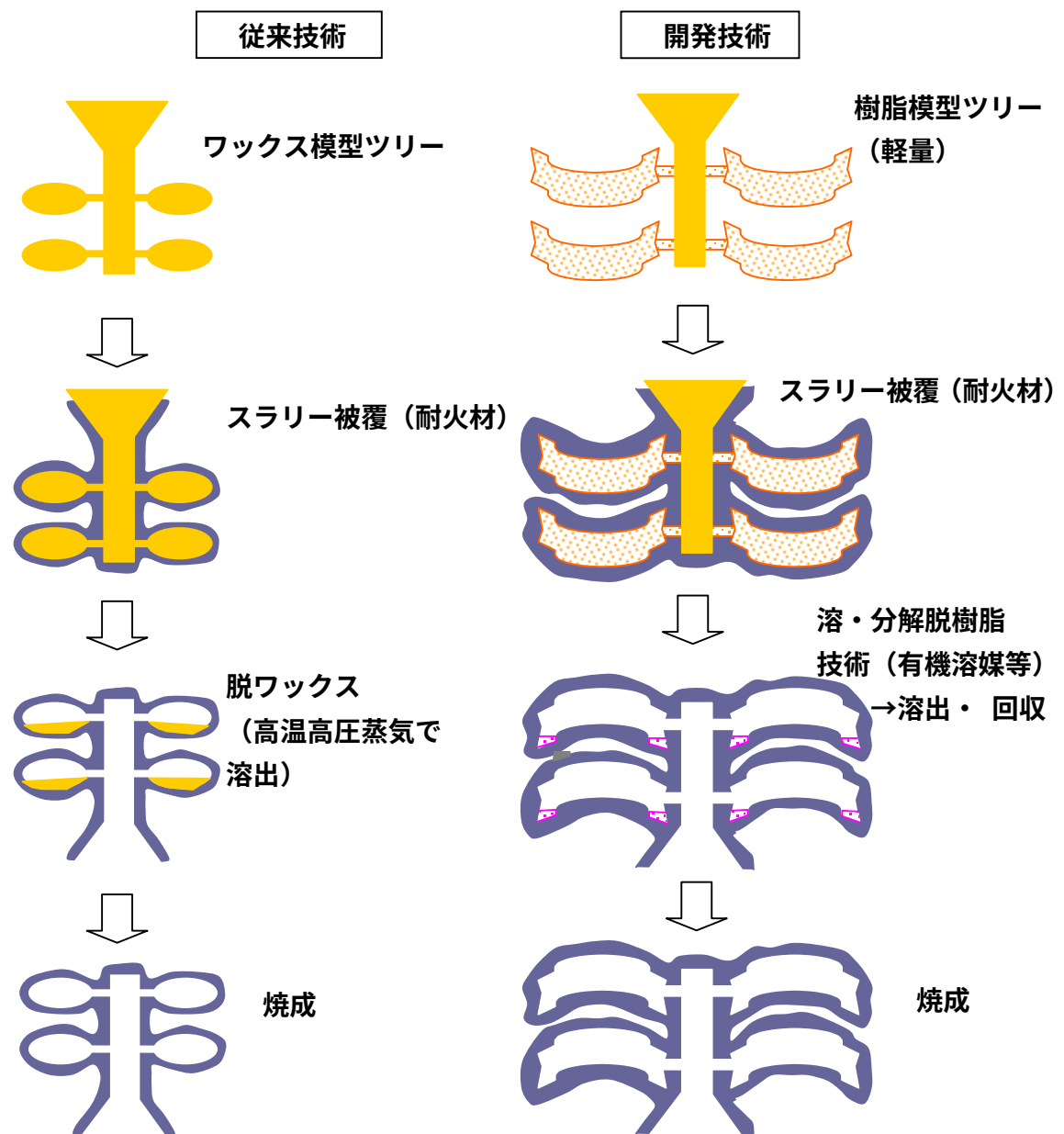


図 1-2 サブテーマ②～③における従来技術と開発技術の比較

1-2 研究体制

以下に、研究組織と管理体制について図 1-3 と図 1-4 に、実施サブテーマ番号に対応する研究者氏名及び協力者からなる研究開発推進委員会委員について表 1-1 に示す。

事業管理機関

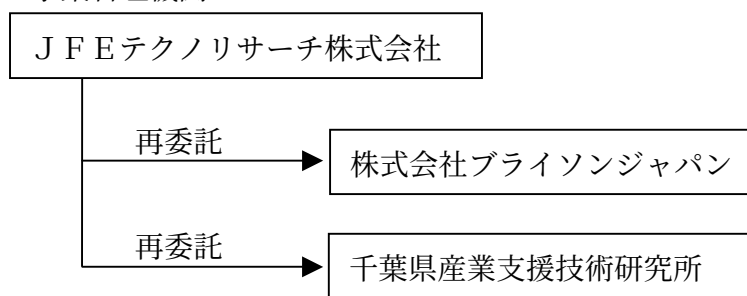


図 1-3 研究組織（全体）

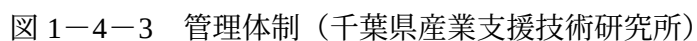
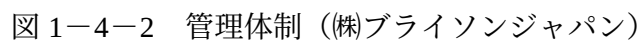
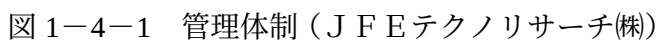


表 1-1 研究開発推進委員会委員

氏名	所属・役職	備考
金城 庸夫	株式会社ブライソングジャパン 取締役	P L
石田 昌太郎	株式会社ブライソングジャパン 開発グループ長	S L
唐鎌 利雄	株式会社ブライソングジャパン 開発グループ 研究員	
本田 昌之	株式会社ブライソングジャパン 開発グループ 研究員	
林 裕子	株式会社ブライソングジャパン 開発グループ 研究員	
松山 隼也	JFE テクノリサーチ株式会社 ビジネスコンサルティング本部 調査研究第二部 特任研究員	
稲田 暢文	JFE テクノリサーチ株式会社 ビジネスコンサルティング本部 調査研究第二部 主査	
石塚 仁司	JFE テクノリサーチ株式会社 ビジネスコンサルティング本部 調査研究第二部 主査	
齊木 みさ	千葉県産業支援技術研究所 主任上席研究員	
根本 久志	千葉県産業支援技術研究所 上席研究員	
一箭 喜晴	千葉県産業支援技術研究所 上席研究員	
大谷 大輔	千葉県産業支援技術研究所 プロジェクト推進室 上席研究員	
西沢 和夫	千葉県産業支援技術研究所 プロジェクト推進室 上席研究員	
水野 充	川崎重工業株式会社 ガスタービン・機械カンパニー G T B C 生産総括部 製造部 精鑄課 課長	アドバイザー
松崎 祐司	川崎重工業株式会社 ガスタービン・機械カンパニー G T B C 技術総括部 要素技術部 材料技術課 課長	アドバイザー
石原 広助	川崎重工業株式会社 ガスタービン・機械カンパニー G T B C 資材部 資材課 課長	アドバイザー
加川 正純	株式会社 日立メタルプレシジョン 生産本部 T/W・産機製造グループ グループ長	アドバイザー
三島 勝則	キングパーツ株式会社 鑄造部 課長	アドバイザー
繁岡 哲也	キングパーツ株式会社 鑄造部 係長	アドバイザー
伊原 雅彦	伊原電気工事株式会社 代表取締役	アドバイザー

1-3 成果概要

本研究において次のような成果を得た。

①複雑形状軽量樹脂模型造型技術の開発

初年度より継続して脱型性の向上に係る検証をおこなった。成型条件や外部及び内部離型剤により模型の脱型性は大きく変化する。また、表面性も同様であり模型の形状にあった成型方法を確立した。

製作した樹脂模型の技術的目標と成果は以下の通り。

(1) 複雑形状軽量樹脂模型製造技術における表面無欠陥

成果：樹脂模型表面無欠陥を達成した。

(2) 密度 0.25g/cm³以下

成果：密度はおおよそ 0.20g/cm³で目標値を達成した。

(3) 燃焼灰分 0.03%以下

成果：燃焼灰分 0.02%で目標値を達成した。

(4) 収縮率 0.6%以下

成果：収縮率はおおよそ 0.4%で目標値を達成した。

(5) 3点曲げ強度 4MPa 以上

成果：3点曲げ強度は 4 MPa 以上で目標値を達成した。

(6) 3点曲げ弾性率 90MPa 以上

成果：3点曲げ弾性率は 90MPa 以上で目標値を達成した。

(7) ゲートとランナーの接着が可能

成果：模型の脱落のないツリーの組み立てに成功した。

(8) 鋳型を損傷すること無く脱樹脂可能

成果：樹脂の燃焼又は溶出により樹脂模型を消失させることで、鋳型の損傷のない脱樹脂を可能とした。

(9) 大型樹脂模型造型にも適応可能

成果：成型条件の検証により大型樹脂模型の造型に対応可能とした。

②樹脂模型の組み立て(ツリーアSEMBル)の検証

瞬間型の接着剤を使用したツリーの組み立てプロセス、鋳型造型プロセスに問題はなかった。これにより、パターンのランナーからの脱落のない組み立て方法が確立した。また、ワックス模型と樹脂模型の接着方法も確立した。

③ 鋳型からの脱樹脂技術の開発

鋳型から樹脂模型を消失させる方法として、樹脂の燃焼又は溶解による脱樹脂をおこなった。樹脂の燃焼による脱樹脂は、燃焼後の鋳型内に灰分が多く残る。鋳型内燃焼灰分は最終製品の欠陥につながるため、本脱樹脂方法ではいかに残渣を残さず燃焼をさせるかが重要でありそのためには高温で長時間、活性化雰囲気での燃焼が必要となる。樹脂の溶解による脱樹脂では初めにほとんどの樹脂を溶出させてしまうため、鋳型内燃焼灰分はほぼ皆無となる。溶解中に発生した鋳型の損傷は、溶解前に鋳型に熱処理を施すことで解決した。

④ 大型樹脂模型造型と脱樹脂プロセスの検証

次年度までの研究結果を基にスケールアップをおこない大型模型の造型とツリー形状の鋳型を使用した脱樹脂プロセスの検証をおこなった。成型条件の検証の結果、大型模型の造型にも対応した。

脱樹脂プロセスの検証として、脱樹脂から実際に鋳物の製作まで実施した。脱樹脂は前述の通り燃焼又は溶解によりおこなった。脱樹脂方法による差異を以下に示す。

- ・ 樹脂燃焼による脱樹脂

鋳型内燃焼灰分が多いため、鋳物の表面に肌荒れが生じた。燃焼の条件、鋳型内洗浄が重要となる。

- ・ 樹脂溶解による脱樹脂

模型の膨潤による鋳型損傷を防ぐために、鋳型への熱処理が重要である。鋳型内燃焼灰分はほぼ皆無である。補完研究として、熱処理条件の再検証が必要であり、これにより本プロセスが構築される。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

JFE テクノリサーチ株式会社

技術情報事業部 調査研究第一部

主査 松山 隼也（工学博士）

〒103-0027 東京都中央区日本橋二丁目 1 番 10 号

電話 03-3510-3385

FAX 03-3510-3476

E-mail j-matsuyama@jfe-tec.co.jp

第2章 複雑形状軽量樹脂模型造型技術の開発

2-1 緒言

精密な部品鑄造にはロストワックス精密鑄造法が用いられている。これにはワックスを用いたワックス模型が用いられる。ワックスは室温では固体であるが温度を高めると容易に液状になるため、室温では成型体として形状を保つと共に、鑄型を形成した後の脱ワックス工程では高温高圧蒸気で鑄型から容易に流出させることができるという特徴がある。反面、温度に敏感なため形状保持並びに比重が1に近い重量物となるためハンドリング等に難点があり、大型の精密模型には適していない。これを解決するため、新たな模型素材および模型造型技術が求められている。これには、ワックス模型に代わる樹脂模型が考えられるが、通常の樹脂成型では樹脂模型の周囲に形成した鑄型から脱樹脂を行う加熱・燃焼工程で樹脂の熱膨張および発生する分解ガスにより鑄型に割れやひびなどが発生すると共に大量の樹脂を消失させる問題がある。

これらの課題を解決するため、樹脂を発泡させ、樹脂模型に使用する樹脂量を少なくし、かつ、脱樹脂工程で樹脂を分解・溶解することにより樹脂を回収すると共に後の焼成工程で焼成する残樹脂量を減らし、鑄型の損傷を起こさない樹脂模型が求められた。このため、表面に平滑層を有する発泡樹脂模型による形状（寸法）安定性が高く、且つ脱樹脂工程で鑄型に損傷を与えない寸法精度の高い発泡樹脂模型を開発することを目的とした。

2-2 樹脂模型脱型性の検証

発泡樹脂はワックスに比べ収縮も小さく、金属への接着性を有しているため金型からの脱型が難しい。また、脱型時にスキン層が模型から剥離し金型表面に付着するなどの問題もおこった。特に複雑及び大型形状の模型の脱型はさらなる困難が予想され、脱型性を向上させることが必要となる。そのため、初年度より継続して検証をおこなってきた。発泡樹脂模型の脱型性改善に寄与する成型条件等を次に示す。

i 外部離型剤

成型品を金型から脱型するためには離型剤が必要となる。離型剤はその種類によってその効果は大きく異なり模型の表面性にも影響した。ワックス系、フッ素系、シリコン系等の種々の離型剤について試験をおこなった。ワックス系、シリコン系離型剤使用において一定の効果があつたがワックス入りのシリコン系離型剤が脱型性、表面性が最も良好であることがわかった。また、他の離型剤使用時に存在した模型表面の

ベタツキも一切なくなった（図 2-1）。

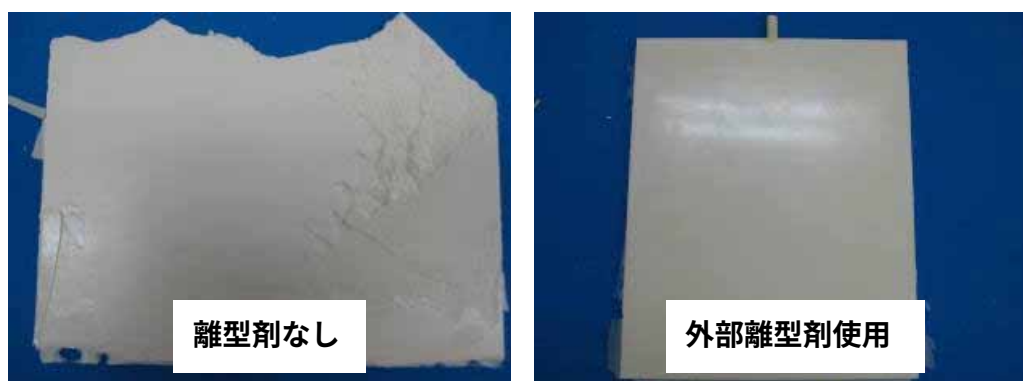


図 2-1 離型剤の有無による模型の差異

決定した離型剤をより効果的に使用するためには金型を温調する必要がある。金型の最適な温度に関する検証もおこなった。

ii 原料液温度

図 2-2 に A 液と B 液の粘度と温度の関係を示す。B 液の粘度は温度によらずほぼ一定であるが、A 液の粘度は温度に大きく依存しているのがわかる。液温度が常温にて模型製作をおこなった時、2 液の粘性には大きな差がある。そのため混合状態が悪化し、発泡にムラが生じてしまう。この異常な発泡が脱型性にも影響を及ぼす。よって、原料の温度を管理することが重要となる。

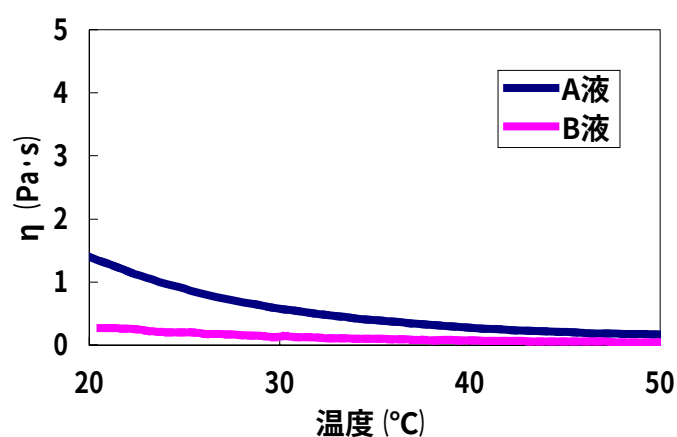


図 2-2 原料の粘性

iii 内部離型剤

外部離型剤の使用により脱型性は向上するが、外部離型剤はその多くが空気中に飛散するため職場環境の悪化が問題となる。そこで、内部離型剤に関する検証をおこなった。内部離型剤は原料の A 液に添加するため次の様な性質が求められる。

①A 液との間に相溶性がある

常温において分離・沈殿がおこらず、分散していること。

②添加による粘性への影響が小さい

A 液の粘性が添加により高くなると反対に脱型性は悪化する。そのため、添加による影響はできるだけ小さいことが望まれる。

以上の条件をみたす添加剤の決定をおこなった。添加に対する粘性への影響は図 2-3 を参照。低温においては添加による粘性への影響は添加量に応じ大きくなるが、成型温度付近においては原料との差がなく添加による影響はほぼ皆無である。

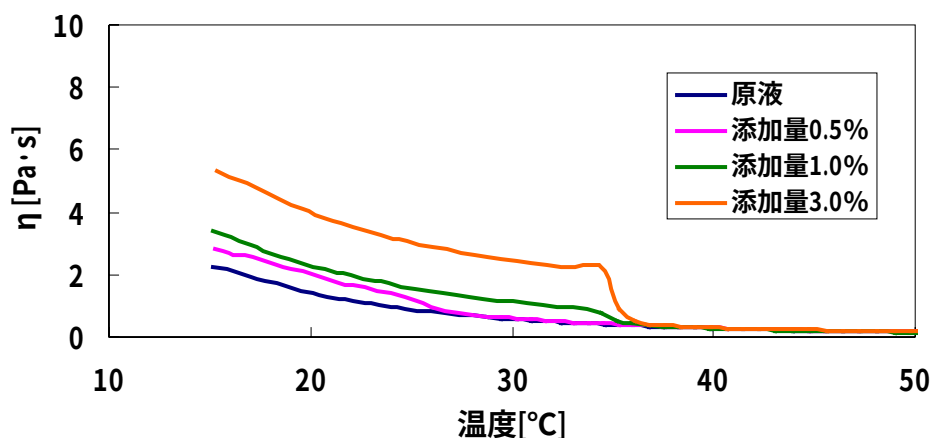


図 2-3 添加による A 液の粘度変化

決定した添加剤を使用し、実際に樹脂模型造型装置により模型の製作をおこなった（図 2-4）。内部離型剤を入れたことで脱型性は向上した。また、模型の表面性も良好であった。模型や金型の形状によっては外部離型剤を使用しなくても脱型が可能である。複雑形状の模型では外部離型剤との併用が必要になるが使用する離型剤の量や塗布回数の減少が大いに期待出来る。



図 2-4 発泡樹脂模型（内部離型剤使用）

上記以外に使用する型の変更（シリコン型の使用）についても検討した。シリコン型は金型に比べ軽量で脱型性も良く、型のコストも安い。金型による成型では外部又は内部離型剤が必須であるが、シリコン型では不要である。しかし、型自体が柔軟性をもっているため発泡時の圧力によって、模型のサイズが不均一になることが度々生じた。また、シリコンは劣化するため金型に比べ型の寿命は短い。つまりシリコン型は、脱型性は非常に良いが成型回数や模型の形状（寸法）安定性に難があるためパターン模型の製作には適さなかった。

2-3 樹脂模型表面性の検証

模型表面の欠陥は最終製品にも大きな悪影響を及ぼす。そのため発泡樹脂の表面性として、ワックスと同等又はそれ以上であることが望まれる。模型の表面性に寄与する成型条件等を次に示す。

i 外部離型剤

離型剤は脱型性だけでなく模型の表面性にも影響を及ぼす。また、塗布量にも左右され、少量であることが望ましい。

ii 原料液温度

原料である 2 液の混合状態は、模型の発泡及び表面性に影響を与える。A 液の粘性は温度依存性が大きい（詳細は 2-2 章参照）ため、温度管理が必要である。温度管理の有無による模型の差異を図 2-5 に示す。



図 2-5 温度管理の有無による模型の差異

iii 金型形状

発泡樹脂の成型はワックスの射出成型と異なり圧力をかけずにおこなうため模型の表面にエアによる表面欠陥がおこりやすい。そのため、模型や金型の形状を考慮したエア抜きを金型に設けることが重要である。また、金型に角度をつけより効果的にエアを抜くことも形状によっては必要となる。図 2-6 にエア抜きの有無による模型の差異を示す。

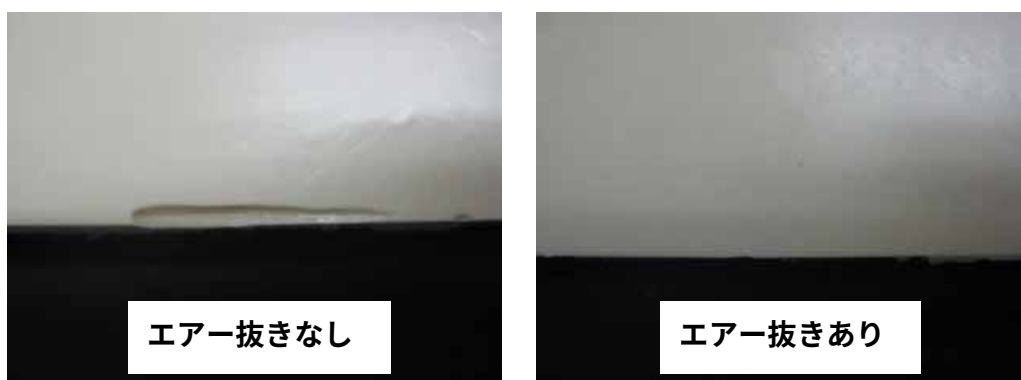


図 2-6 エア抜きの有無による模型の差異

iv 射出速度

図 2-7 に射出時間の長短による模型の差異を示す。表面性の良い模型製作には短時間で射出が望ましい。

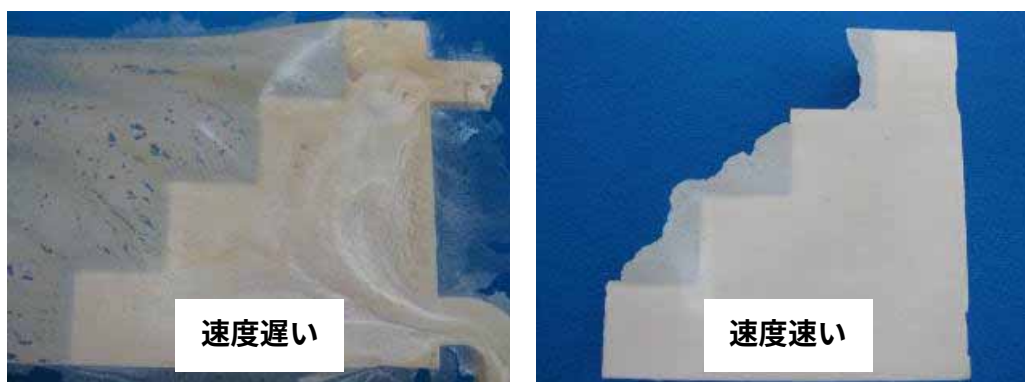


図 2-7 射出時間の長短による模型の差異

v 内部離型剤

内部離型剤量によって模型表面に差異が生じた。添加量が多いほうが模型の脱型性には有利であるが模型の表面性には不利である。添加量が少量であっても脱型効果は確認されているため、少量添加が望ましい。

2-4 樹脂模型の特性評価

技術的目標値は以下の通り。

- ①複雑形状軽量樹脂模型製造技術における表面無欠陥
- ②密度 0.25g/cm^3 以下
- ③燃焼灰分 0.03%以下
- ④収縮率 0.6%以下
- ⑤3点曲げ強度 4MPa 以上
- ⑥3点曲げ弾性率 90MPa 以上
- ⑦ゲートとランナーの接着が可能
- ⑧鋳型を損傷すること無く脱樹脂可能
- ⑨大型樹脂模型造型にも適応可能

① 複雑形状軽量樹脂模型製造技術における表面無欠陥

製作した発泡樹脂模型の表面を樹脂模型造型装置(検体表面測定装置)で観察した。観察結果を図 2-8 に示す。泡の均一性もよく表面に欠陥はみられなかった。

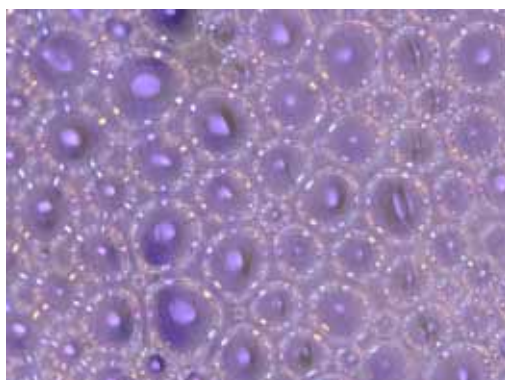


図 2-7 樹脂模型表面（100 倍）

②密度 0.25g/cm^3 以下

樹脂模型造型装置を使用して製作した大型模型の嵩密度を計算した。密度は $0.16 \sim 0.20 \text{ g/cm}^3$ で全サンプルにおいて目標値である 0.25g/cm^3 以下を達成した。

③燃焼灰分 0.03% 以下

燃焼灰分は次のように測定した。まず、空のるつぼを 950°C に保持した電気炉で 1 h 焼成し、デシケーター内で冷却し乾燥重量を測定する。サンプルをるつぼにいれ、秤量しサンプルの重量を求める。るつぼをブンゼンバーナーで加熱し、サンプルの燃焼を行う。燃焼後、電気炉で 950°C 、1 h 焼成し、冷却、秤量し燃焼灰分を算出した。

全サンプルにおいて、燃焼灰分は 0.02% で目標値である 0.03% 以下を達成した。

④収縮率 0.6% 以下

測定に使用するサンプルの製作を行った。製作したサンプルを収縮率測定装置（図 2-8）にて測定を実施したが、本装置のセンサーは接触式であるため模型表面に凹みが生じ、正確な収縮率の測定が困難であった。そのため検体表面測定装置にて生じた凹みの深さを計測し、数値の補正を行うことでより正確な樹脂模型の収縮率を算出した。

樹脂模型の収縮率はおよそ 0.3% で目標である 0.6% 以下を達成した。これは、ワックスの平均的な数値の $1/4$ 程度の値である。



図 2－8 収縮率測定装置

⑤3 点曲げ強度 4MPa 以上

⑥3 点曲げ弾性率 90MPa 以上

曲げ試験に用いたサンプルを示す。サンプルの形状は 10×10×120mm。測定には（株）島津製作所製 AGS－H 曲げ試験機を使用した。測定結果を表 2－ 1 に示す。

表 2－1 3 点曲げ試験結果

データ処理項目 単位	最大点－試験力 N	最大点－応力 MPa	弾性率 MPa
1	52.6	4.59	101
2	52.8	4.65	100
3	54.7	4.64	98
4	53.4	4.65	98
平均値	53.4	4.63	99
標準誤差	0.5	0.01	1

曲げ強度、曲げ弾性率ともに目標値以上であった。ワックスと比較すると強度・弾性率ともに小さいが、密度は約 1／5 であるため軽量であり比強度では同等又はそれ以上であった。

⑦ゲートとランナーの接着が可能

第 3 章参照

⑧鋳型を損傷すること無く脱樹脂可能

第 5 章参照

⑨大型樹脂模型造型にも適応可能

第 5 章参照

2-5 鋳型造型

成型した樹脂模型を鋳型造型する際の特性確認又は脱樹脂プロセスの検証(第 5 章で実施)をおこなうために、サンプルを鋳型として造型した。また、ツリー(第 3 章で実施)の鋳型造型はアドバイザーにておこなった。ワックス模型はスラリーをはじくことがあり綺麗に付着しないことがあるが、樹脂模型はスラリーの付着性も良好であった(図 2-9)。



図 2-9 スラリー付着状況

2-6 結言

本章では、従来の技術ではない新たな 2 液混合射出型の樹脂模型造型装置・樹脂模型造型用金型・治具により発泡樹脂模型の造型を行い、製作したサンプルの脱型性・表面性・機械的特性等の評価をした。

2-2 章では樹脂模型脱型性の向上を計るため外部及び内部離型剤、成型温度の検証をおこなった。脱型性は当初に比べ大幅に改善された。

2-3 章では樹脂模型表面性に起因する成型条件等について検証をおこなった。影響を及ぼす要因と表面性の良い模型製作条件を明らかにした。

2-4 章では製作した樹脂模型の機械的特性等の評価を行った。

- ・複雑形状軽量樹脂模型製造技術における表面無欠陥

樹脂模型造型装置(検体表面測定装置)にて樹脂模型表面の観察を行った。樹脂模型の表面欠陥はみうけられなかった。

- ・密度 0.25g/cm^3 以下

密度は 0.20g/cm^3 で目標値を達成した。

- ・ 燃焼灰分 0.03%以下

燃焼灰分は 0.02%で目標値を達成した。

- ・ 収縮率 0.6%以下

マイクロメーター、樹脂模型造型装置（検体表面測定装置）を用いて、発泡樹脂模型の収縮率を測定した結果、およそ 0.3%で目標値を達成した。

- ・ 3 点曲げ強度 4MPa 以上

- ・ 3 点曲げ弾性率 90MPa 以上

曲げ試験機を用いて、樹脂模型の曲げ強度・曲げ弾性率を測定した。曲げ強度は 4.6MPa、曲げ弾性率は 99MPa でともに目標値を達成した。比強度もワックスと同等またはそれ以上であった。

- ・ ゲートとランナーの接着が可能

第 3 章に記載

- ・ 鋳型を損傷すること無く脱樹脂可能

第 5 章に記載

- ・ 大型樹脂模型造型にも適応可能

第 5 章に記載

2ー5 章では鋳型造型を行った。発泡樹脂はワックスに比べコーティングしたスラリーが均一に付着した。鋳型造型プロセスに問題はなかった。

第3章 樹脂模型の組み立て（ツリーアSEMBル）の検証

3-1 緒言

ロストワックス製造法では、製作したワックス模型をランナー（湯道に）取り付けツリーを組み立てる。また、このツリーを用いて鋳型の製作をおこなうため脱落のないツリーを組み立てなければならない。

本テーマでは、試作樹脂模型を使用しランナーとの適合性（接着剤、接着方法）の検証を行い、脱落のないツリーの組み立てを目的とする。

3-2 接着の強度

樹脂模型を、10×10×60mmの大きさにカットした。発泡樹脂模型の接着剤として瞬間型接着剤を使用し、接着面はスキン層同士で行った。曲げ試験機を用いて接着面の強度を測定した。測定結果を表3-1、図3-1に示す。曲げ強度、曲げ弾性率ともに接着の無い同形状サンプルの曲げ試験結果（2-4章参照）とほぼ一致しており、接着による強度の低下は無いと言える。破断箇所は接着面ではなく、樹脂が剥離しており接着の強度は十分であると考えられる。

表3-1 接着サンプルの3点曲げ試験結果

データ処理項目 単位	最大点－試験力 N	最大点－応力 MPa	弾性率 MPa
1	52.6	4.59	101
2	52.8	4.65	100
3	54.7	4.64	98
4	53.4	4.65	98
平均値	53.4	4.63	99
標準誤差	0.5	0.01	1

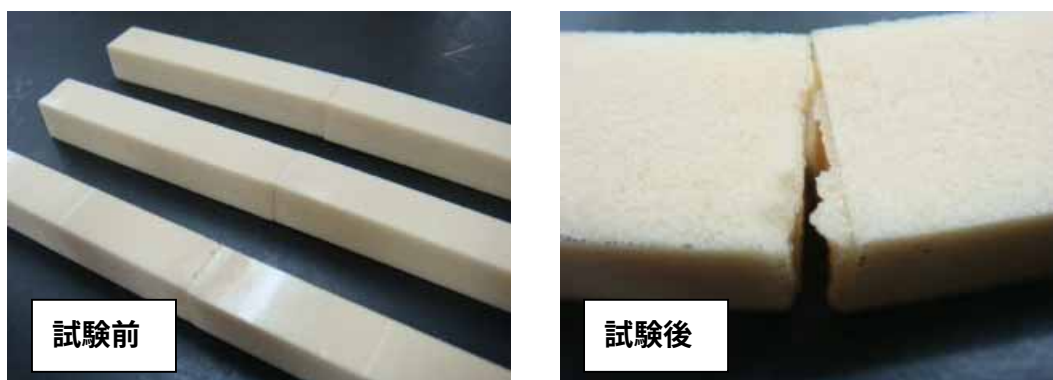


図 3-1 曲げ試験前後写真

3-3 ツリーの組み立て

ツリーの組み立てに用いる各パーツ（パターン、堰、ランナー棒、カップ）を製作し、接着剤を使用し実際にツリーの組み立てを行った。また、ワックスによる補修を行った後、鋳型の造型を行った。

製作した模型を使用し組み立てたツリーを図 3-2 に示す。接着後の変形もなく、瞬間型接着剤により模型の脱落のないツリーの組み立てが可能であることがわかった。また、鋳型造型後のツリーは図 3-3 の通りである。鋳型造型プロセスにおいても模型の脱落がなくスラリーの付着性も良好であった。

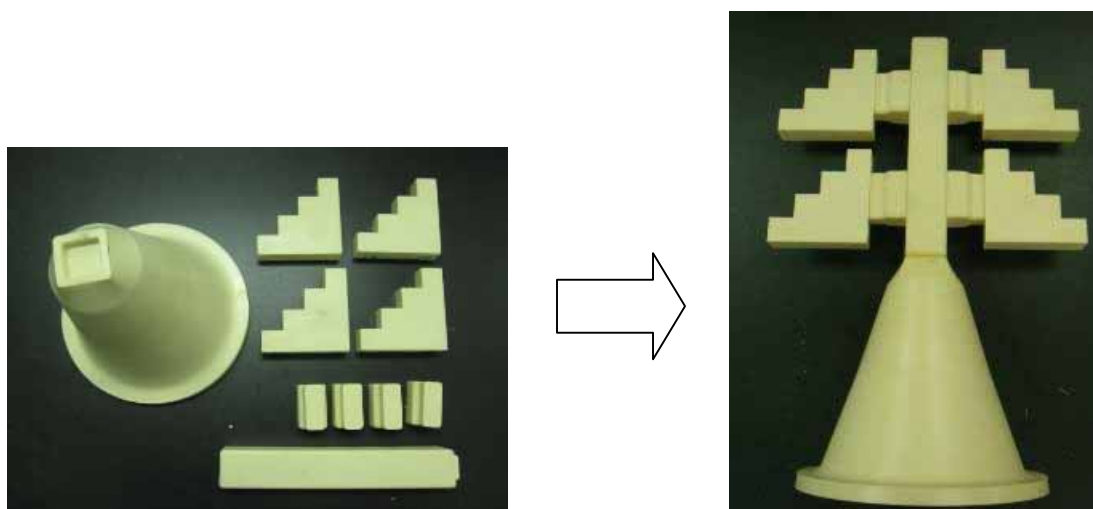


図 3-2 ツリーの組み立て



図 3-3 鋳型（ツリー形状）

3-4 結言

接着剤を使用し組み立てた全てのツリーにおいて変形、歪みや模型の脱落がないことが確認できた。また、樹脂模型は軽量で密度が小さいため鋳型造型中の模型の脱落が心配されたが、造型において模型の脱落はなく接着の強度は十分であるといえる。これにより、パターンのランナーからの脱落のない組み立て方法が確立した。また、ワックス模型と樹脂模型の接着方法も確立した。

第4章 鋳型からの脱樹脂技術の開発

4-1 緒言

精密鋳造法では鋳型からの脱ワックスは、模型形状によって鋳型内部にワックスが残るという課題があり、またワックスの膨張により鋳型にストレスがかかり鋳型を損傷させるという問題がある。

これを解決する手段として、開発する発泡樹脂模型の鋳型からの脱樹脂では、有機溶媒を用いてまず樹脂を溶解する。樹脂を発泡させているため、溶解は比較的容易となる。この溶解工程では有機溶媒に樹脂が溶け出すため、樹脂模型の内部への残樹脂量を少なくすることができる。樹脂模型を鋳型から消失させる樹脂の溶解・回収および焼成を組み合わせた鋳型損傷を起こさない新たな脱樹脂プロセスを開発する。本テーマではシェル鋳型に損傷を与えない脱樹脂技術の開発を行う。

4-2 鋳型からの脱樹脂方法

鋳型からの脱樹脂として2つの方法で試験をおこなった。その方法を次に示す。

- ・樹脂燃焼による脱樹脂

鋳型内の樹脂模型を燃焼させることで消失させる。

- ・樹脂溶解＋樹脂燃焼による脱樹脂

溶剤により樹脂を溶出させた後、燃焼をおこない模型を消失させる。

4-3 樹脂燃焼による脱樹脂

製作した鋳型（ビーカースケール）を900～1000℃の焼成炉にて1時間保持し、模型を燃焼させることで鋳型からの脱樹脂をおこなった。燃焼後の鋳型を図4-1に示す。この方法で脱樹脂をおこなうことで鋳型の損傷無く模型を消失させることが出来た。しかし、鋳型内には燃焼灰分が多く残った。鋳型内燃焼灰分は最終製品の欠陥につながるため、本脱樹脂方法ではいかに残渣を残さず燃焼をさせるかが重要でありそのためには高温で長時間、活性化雰囲気での燃焼が必要となる。

また、上述の条件でも完全に残渣を残さずに燃焼させることは困難であるため燃焼後に鋳型内を洗浄する必要がある。

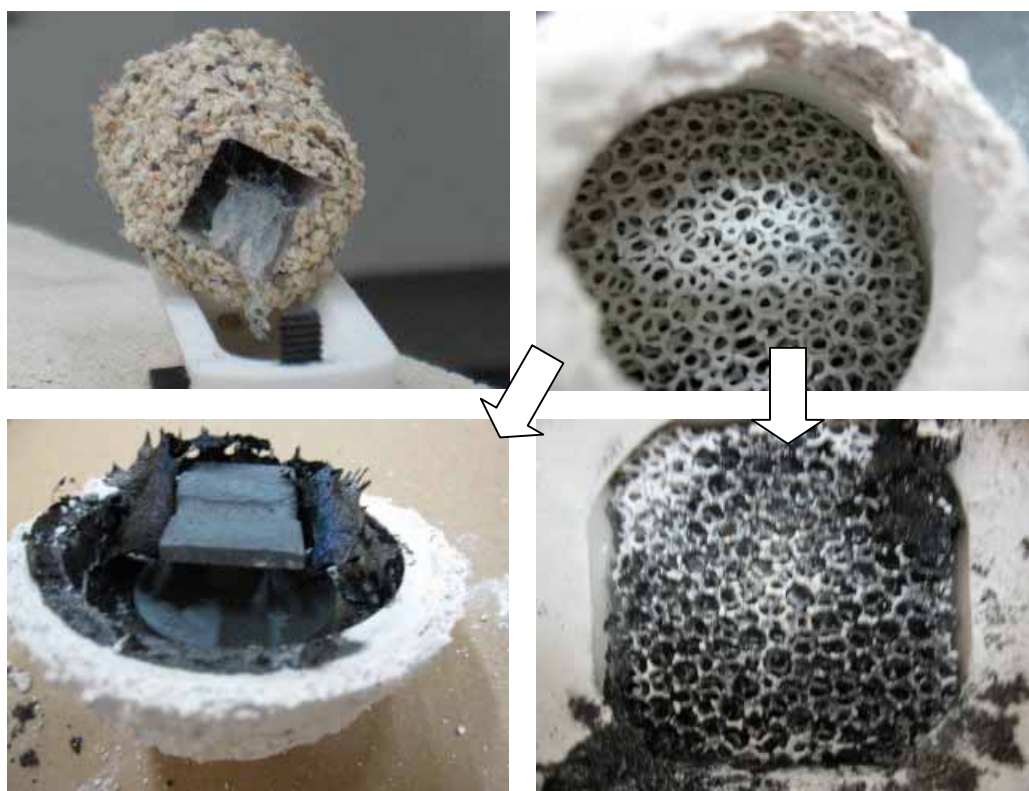


図 4-1 樹脂燃焼による脱樹脂後の鋳型（下 2 枚は右上の鋳型の内部）

4-4 樹脂溶解＋樹脂燃焼による脱樹脂

i 溶剤の決定

本脱樹脂方法では、溶剤を使用し樹脂を鋳型から溶出させる。使用する溶剤としてはより短時間に樹脂を溶解させることが求められる。溶解条件（温度、時間）や溶解能力（樹脂濃度と時間の関係）に関する検証をおこない、樹脂溶解に使用する最適な溶剤の決定をおこなった。

ii 鋳型からの脱樹脂

決定した溶剤、溶解条件にて鋳型からの脱樹脂を試みた。図 4-2 に樹脂溶解後の鋳型を示す。樹脂溶解中に鋳型が損傷した。



図 4-2 樹脂溶解後の鋳型

樹脂溶解中に生じる鋳型損傷の原因として、発泡樹脂模型の膨張・膨潤・鋳型の強度不足などが考えられる。発泡樹脂の膨張・膨潤は、溶解前に鋳型に熱処理をおこなうことで鋳型損傷の問題が解消できないか検討した。

iii 鋳型の熱処理

発泡樹脂は熱処理の温度によって状態が変化する。収縮、膨張、軟化、溶解に要する時間の検証をおこない熱処理温度を決定した。図 4-3 に熱処理後の鋳型を示す。熱処理を施したことで樹脂が収縮しているのがわかる。



図 4-3 熱処理後の鋳型

iv 熱処理を施した鋳型からの脱樹脂

熱処理を施した鋳型を使用（サンプルは 4-4-ii にて鋳型が損傷した模型と同形状）し、樹脂溶解による脱樹脂をおこなった。溶解後の鋳型を図 4-4 に示す。

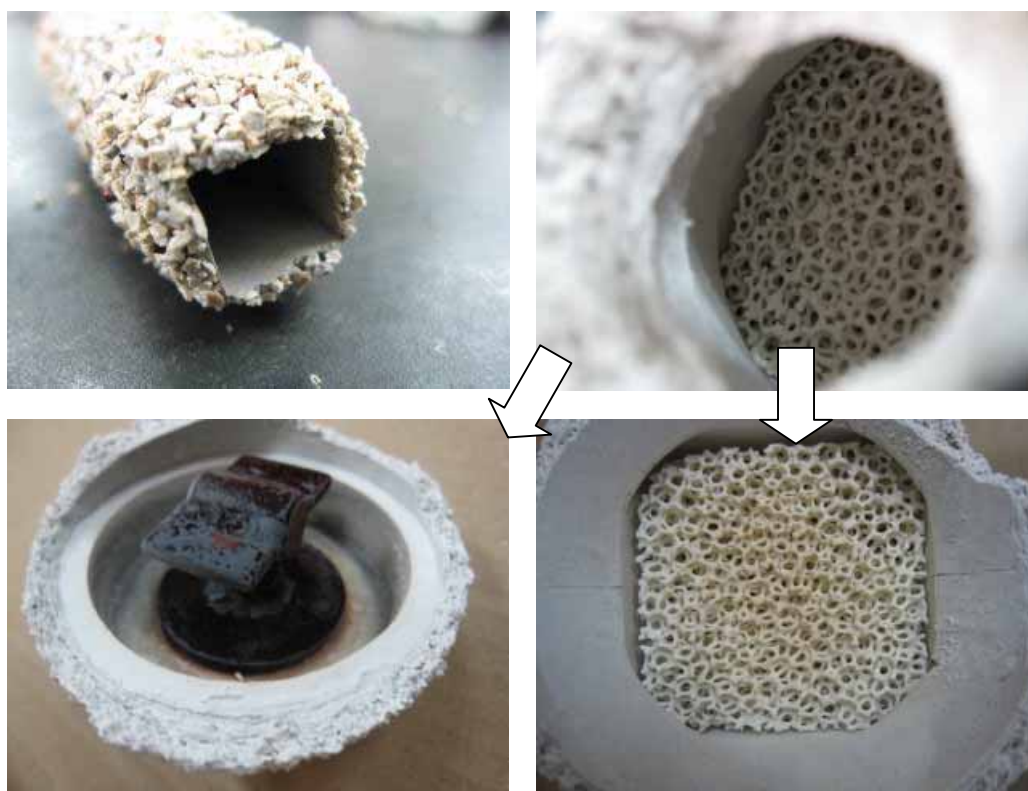


図 4-4 樹脂溶解による脱樹脂後の鋳型（下 2 枚は右上の鋳型の内部）

溶解前に熱処理を施したことで鋳型の損傷はなくなった。熱処理により樹脂の収縮、鋳型中水分の蒸発が生じ、樹脂模型の膨張・膨潤によるストレスが抑制されたことや鋳型強度増加のため鋳型損傷のない脱樹脂が可能となったと思われる。また、本脱樹脂方法は溶剤によりほとんどの樹脂が溶出する。鋳型内の樹脂分がほとんど無い状態での燃焼となるため、燃焼灰分は少ない。

4-5 結言

鋳型から発泡樹脂を取り除くために燃焼又は溶出と燃焼を組み合わせた新しいプロセスの開発が必要である。溶剤を用いて発泡樹脂の溶解を試みた。また、ビーカースケールで製作した鋳型からの樹脂模型の溶出を行った。

4-3 章では樹脂燃焼による鋳型からの脱樹脂をおこなった。鋳型の損傷なく脱樹脂が可能であるが、鋳型内燃焼灰分は多い。

4-4 章では樹脂模型の溶解に用いる溶剤を決定した。実際に鋳型からの樹脂の溶出を試みたが、鋳型は昇温中に損傷した。樹脂溶解中に生じた鋳型の損傷は脱樹脂前に熱処理をおこなうことで解決された。初めに模型のほとんどを溶出させるため鋳型内燃焼灰分はほぼ皆無であった。

第5章 大型樹脂模型造型と脱樹脂プロセスの検証

5-1 緒言

模型材料にワックスを使用する場合、歪みを発生する可能性が高く、その防止のため多くの補強リブをつくらなければならない、また重量物になるという課題があった。これに対し、発泡樹脂模型は軽量でハンドリング性もよく、寸法精度が高いという優れた特徴がある。この特徴を活かすため、ガスタービン等の大型部品の製造に対応する大型形状サンプルの試作が必要である。また、精密鑄造法では鑄型からの脱ワックスは、模型形状によって鑄型内部にワックスが残るという課題があり、またワックスの膨張により鑄型にストレスがかかり鑄型を損傷させるという問題がある。これを解決する手段として、開発する発泡樹脂模型の鑄型からの脱樹脂では、有機溶媒を用いてまず樹脂を溶解する。この溶解工程では有機溶媒に樹脂が溶け出すため、樹脂模型の内部への残樹脂量を少なくすることができる。樹脂模型を鑄型から消失させる樹脂の溶解・回収および焼成を組み合わせた鑄型損傷を起こさない新たな脱樹脂プロセスを開発する。

本テーマでは、大型樹脂模型の成型性に係る検証とシェル鑄型に損傷を与えない脱樹脂技術の開発を行う。

5-2 大型樹脂模型の造型

製作した金型（模型サイズは $1200 \times 400 \times 40\text{mm}$ ）を使用し樹脂模型造型装置にて大型樹脂模型の造型をおこなった。成型条件は小型模型と同一の条件で行った。成型結果を図5-1に示す。

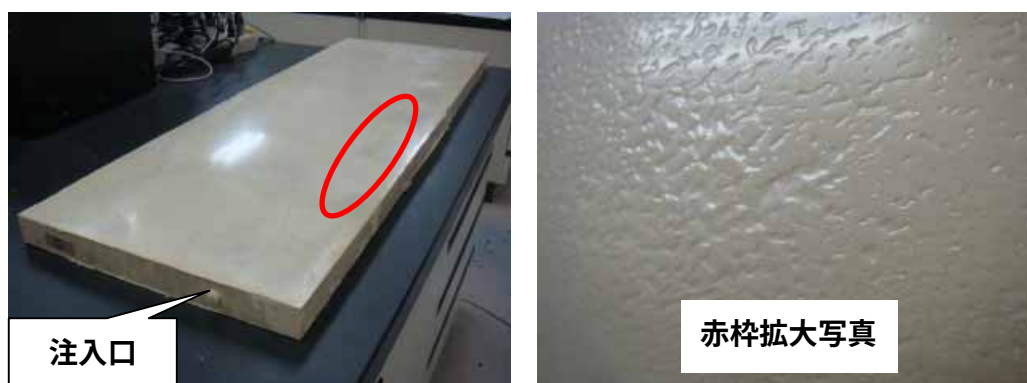


図5-1 大型樹脂模型造型結果

拡大写真にて確認できるように側面下部（赤枠内を拡大）に広い範囲にわたる肌荒

れが存在しており、上部の表面との違いは明らかであった。3年にわたる研究により離型剤の量や金型の向き(角度)により模型の表面性に違いが生じることが明らかになっており、離型剤の量や金型の向き(角度)を変え模型の製作をおこなったが改善には至らなかった。

成型条件が確立された小型模型と大型との条件の違いは、射出時間である。当然、大型ではその時間は長くなる。そのため樹脂の注入中に既に発泡が始まっていると考えられ、注入による流れが正常な樹脂の発泡を妨げているのではないかと推察した。この仮定の検証を行うため次のような方法で試験した。樹脂模型造型装置のノズルにシリコンチューブをつなげ、反対側を上部を開放した金型に垂らし射出を行った(図5-2)。射出中はチューブを左右に動かしながら、液面に合わせ上に引き上げた。結果を図5-3に示す。模型の下部にあった肌荒れや、スキン層の剥離は大幅に改善した。表面性の良い模型製作のためには樹脂の発泡を妨げない注入方法が必要である。



図5-2 注入風景



図5-3 下部拡大写真

前述の方法により模型の表面性は改善したが、実用化に向けより簡便である従来の射出方法が望ましい。また、発泡を妨げない本射出方法は従来の方法に適用できない。そこで、発泡前に樹脂の注入を終えることで表面性の良い模型の製作が出来ないか試験することとした。

i 射出時間と表面性の関係

発泡前に樹脂の注入を終えるための最も容易な方法は流量を増やし、射出時間を減らすことである。射出時間を短縮し成型した。結果を図5-4に示す。従来の射出方法でもその表面性は改善したが、模型の底部に新たに肌荒れが確認されるようになった。射出のスピードがあがったために起きる肌荒れであると考えられる。

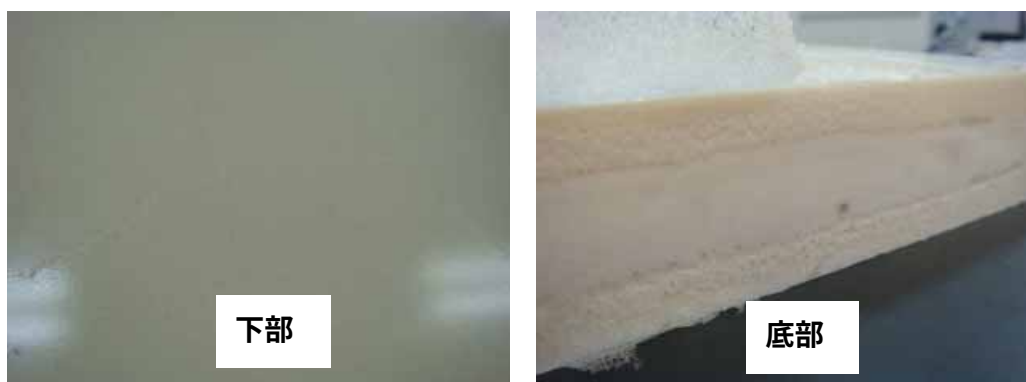


図 5-4 射出時間による差異

ii 液及び金型温度と表面性の関係

射出の時間を短縮することで、発泡前に注入を終えることはできるがその結果は前章の通り新たな肌荒れを引き起こした。そこで、射出の時間を短くするのではなく発泡に至るまでの時間すなわちクリームタイムを長くすることで対応できないか検証した。

クリームタイムは液及び金型の温度に依存する。当然、時間を長くするためには温度を下げる必要がある。しかし、前年度までの研究により離型剤と金型の温度には密接な関係性があることが明らかになっている。そこで、金型の温度を上昇させた後目的温度に保持することとした。成型結果を図 5-5 に示す。クリームタイムを長くし、発泡が始まる前に成型を終えたことで肌荒れは解消した。しかし、模型の上部にエア―抜きから抜けきらなかったエア―が多く存在していた（図 5-6）。



図 5-5 液及び金型温度による差異

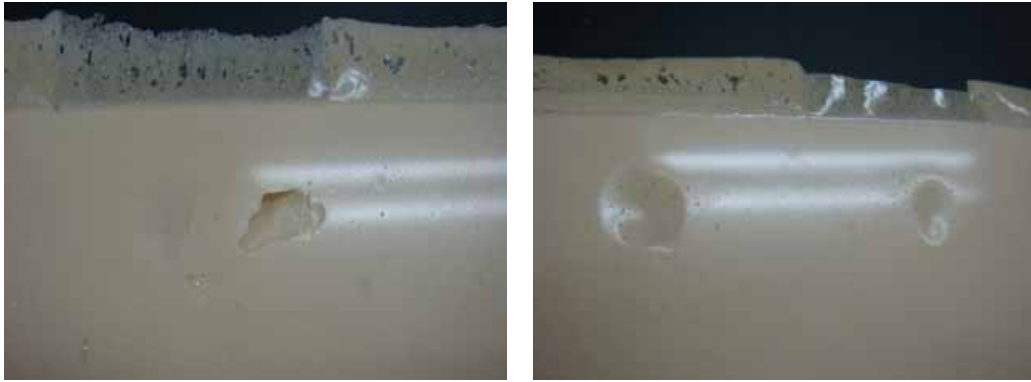


図 5-6 金型上部のエアー溜まり

上部に溜まったエアを抜くために樹脂の注入量と脱型時間までの保持時間を増やし成型をおこなった。結果を図 5-7 に示す。注入量、保持時間の検証によりその表面性はさらに改善し、大型樹脂模型造型にも対応した。



図 5-7 大型樹脂模型

5-3 大型樹脂模型の評価

製作した大型樹脂模型の表面性状を知るため、表面粗さ測定機を使用して粗さ測定を行った。便宜上サンプルの一面を A、反対面を B とし、長手方向を X、それと直交する方向を Y とした。結果を図 5-8 に示す。グラフは 3 ヶ所測定した値の平均値で、バーの両端が最大値と最小値を示している。なお、グラフには参考比較としてワックスと鋳物（樹脂燃焼 N、樹脂溶解＋燃焼 Y）も載せている（測定方法は大型樹脂模型と同様）。

ワックスと大型樹脂模型との比較では、測定値のばらつきを考えると Ra（算術平均粗さ）はほぼ同等といえる。

また大型樹脂模型と鋳物を比較すると、鋳物のほうが4～5倍の値であるが、精密鋳造に要求される水準は満たしており、特に問題ないと考えられる。

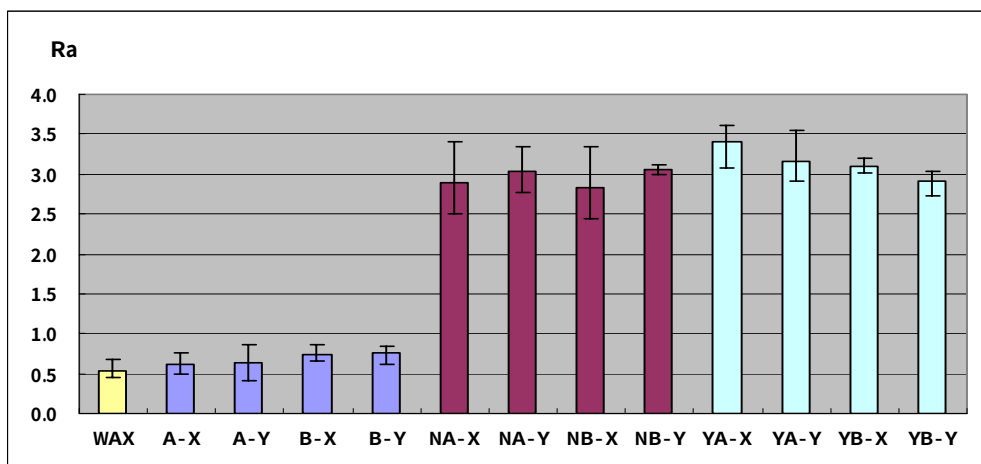


図 5-8 算術平均粗さ Ra

5-4 脱樹脂プロセスの検証

第4章ではビーカースケールの試験にて鋳型からの脱樹脂技術の開発をおこなった。鋳型損傷の起こりやすい形状では樹脂溶解前に鋳型に熱処理を施すことで対応した。本章ではツリー形状の鋳型を使用し、樹脂溶解の最適な条件について更なる研究をおこない鋳型からの脱樹脂プロセスを確立し、実際に鋳物の製造まで行う。また、溶剤の回収・再利用についての実験をおこないその実用化を目指す。

i 鋳型の熱処理

樹脂溶解前の鋳型に熱処理を施した。熱処理後、大型樹脂分解装置にて樹脂の溶解を試みた。結果を図5-8に示す。図のように鋳型は崩壊した。



図 5-8 樹脂溶解後鑄型

溶解中の鑄型損傷の原因は鑄型内樹脂の膨潤であると考えられる。膨潤による損傷を防ぐために鑄型に生じるストレスの減少又は鑄型強度をあげる必要がある。そこで、熱処理の条件（処理温度）を変更し再度試験をおこなった。

熱処理後、鑄型内樹脂模型には軟化、収縮がみられた。図 5-9 に鑄型より脱落した樹脂模型（カップ形状）を示す。これは熱処理温度の変更による収縮及び接着力の低下によるものだと考えられる。模型の一部が脱落したことで、鑄型内圧力の低下が期待出来る。樹脂脱落后の鑄型を使用し大型樹脂分解装置にて樹脂溶解をこころみた。溶解後の鑄型を図 5-10 に示す。鑄型には損傷も無く、鑄型内表面も良好であった。

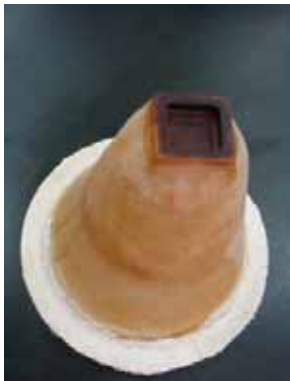


図 5-9 脱落した樹脂模型

図 5-10 樹脂溶解後鑄型

熱処理条件の変更により樹脂溶解による脱樹脂においても鑄型損傷のない脱樹脂を可能とした。補完研究として熱処理条件のさらなる試験が必要であり、熱処理温度、時間、雰囲気との関係性を明らかにすることで本プロセスの確立を図る。

ii 溶解液の再生

樹脂の溶解に使用した溶剤の再生方法を確立した。方法は以下の通り。

- ①樹脂溶解後の溶液に水を加え、静置する。量は溶解液：水＝1：1。
- ②上澄み液を採取し蒸留を行い、溶液を得る。

大型樹脂分解装置を使用し、溶解液の再生をおこなった。装置は上記方法をもとに設計をおこなった。再生後の溶剤の分析（図 5－11）及び再利用試験結果に問題はなく、再生方法が確立された。

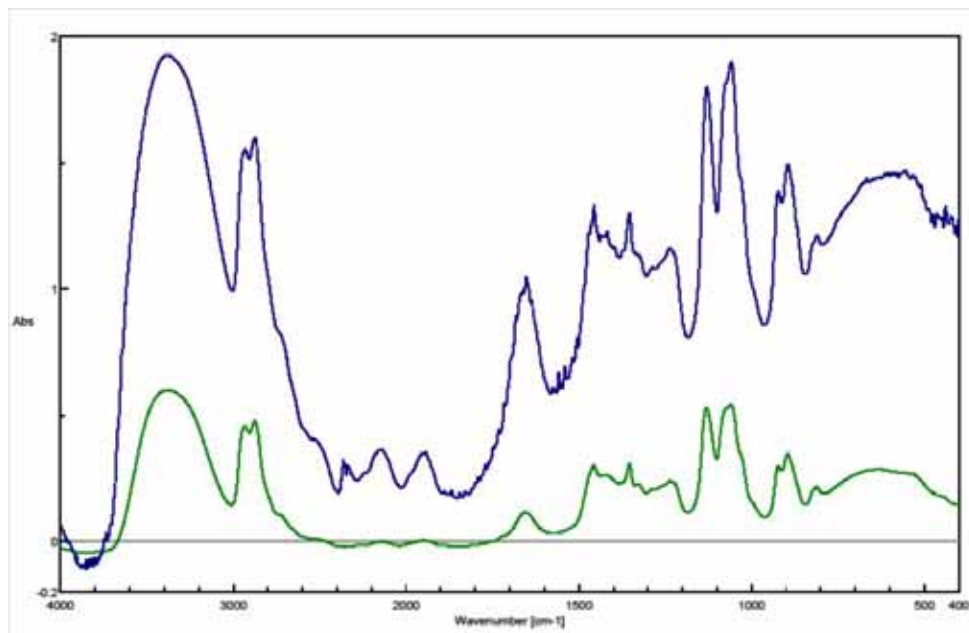


図 5－11 赤外分光分析結果（青：再生溶解液 緑：新規溶解液）

iii 鋳物の製作

樹脂溶解により脱樹脂をおこなった鋳型に加え、樹脂燃焼により脱樹脂をおこなった鋳型を用いて実際に注湯し、鋳物を得た（図 5－12 及び 5－13）。脱樹脂の方法による差異を下記に記す。

・樹脂燃焼による脱樹脂

鋳型内燃焼灰分が多いため、鋳物の表面に肌荒れが生じた。燃焼の条件、鋳型内洗浄が重要となる。

・樹脂溶解による脱樹脂

模型の膨潤による鋳型損傷を防ぐために、鋳型への熱処理が重要である。鋳型内燃焼灰分はほぼ皆無である。補完研究として、熱処理条件の再検証が必要であり、こ

れにより本プロセスが構築される。

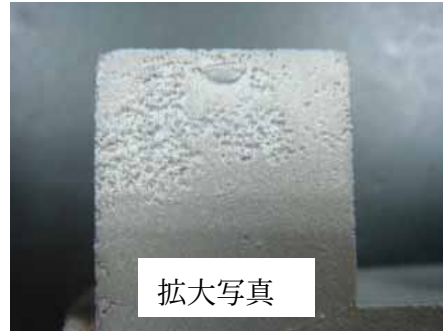


図 5-12 鋳物（樹脂燃焼による脱樹脂）

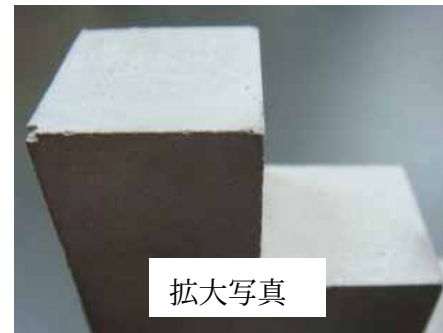
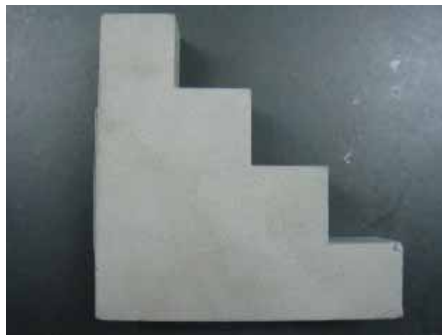


図 5-13 鋳物（樹脂溶解による脱樹脂）

5-5 結言

ロストワックス精密鋳造法のワックス模型材料に代えて、大型部材に適応する形状安定性の高い樹脂模型材料の開発をおこなった。また、脱樹脂プロセスの検証により鋳型損傷のない脱樹脂が可能となり、樹脂の溶解に使用した溶剤の再生方法も確立した。

5-2 章では、大型樹脂模型造型に係る検証をおこなった。従来の成型条件とは異なる大型模型の製作に適した成型条件を決定した。

5-3 章では、前章で製作した模型の分析をおこなった。表面性が良好な模型であることが確認された。

5-4 章では、大型樹脂分解装置を使用した樹脂溶解による脱樹脂試験をおこなった。樹脂溶解中に発生した鋳型の損傷は溶解前におこなっていた鋳型の熱処理条件の検証をおこない改善した。樹脂の溶解により脱樹脂した鋳型による鋳物には燃焼灰分による肌荒れはなかった。また、大型樹脂分解装置による溶剤の再生をおこない、実用化に向けたその方法を確立した。

第6章 全体総括

本事業（事業名：精密鑄造法におけるワックス代替・高強度・軽量樹脂模型材料の開発）は平成22年度に始まり、平成24年度まで継続し実施してきたものである。

初年度は、ロストワックス精密鑄造法のワックス模型材料に代えて、発泡樹脂模型の製作から鑄型造型プロセスに係る開発をおこなった。樹脂模型の成型に係る検証では、表面性の良好な模型製作のための種々の成型条件を決定した。

次年度は、鑄型からの脱樹脂技術の開発をおこなった。また、最終年度に繋げる形として模型の脱型性に係る検証をおこなった。

最終年度は、昨年度から継続して、模型の脱型性を向上させるため内部離型剤に関する研究をおこなった。また、昨年度までの研究結果を基にスケールアップをおこなった。これにより、模型から鑄物の製作までの各プロセスの検証が終了した。

実施内容ごとに研究結果を総括して次に示す。

①複雑形状軽量樹脂模型造型技術の開発

発泡樹脂は金属への接着性を有しているため金型からの脱型が困難であった。そのため初年度より継続して脱型性の向上に係る検証をおこなってきた。成型条件や外部及び内部離型剤により模型の脱型性は大きく変化する。また、表面性も同様であり模型の形状にあった成型方法を確立した。

②樹脂模型の組み立て（ツリーアSEMBル）の検証

試作樹脂模型を使用しランナーとの適合性（接着剤、接着方法）の検証を行い、脱落のないツリーの組み立てを目的とした。瞬間型の接着剤を使用したツリー組み立てプロセス、鑄型造型プロセスに問題はなかった。これにより、パターンのランナーからの脱落のない組み立て方法が確立した。また、ワックス模型と樹脂模型の接着方法も確立した。

③鑄型からの脱樹脂技術の開発

鑄型から樹脂模型を消失させる方法として、樹脂の燃焼又は溶解による脱樹脂をおこなった。樹脂の燃焼による脱樹脂は、燃焼後の鑄型内に灰分が多く残る。鑄型内燃焼灰分は最終製品の欠陥につながるため、本脱樹脂方法ではいかに残渣を残さず燃焼をさせるかが重要でありそのためには高温で長時間、活性化雰囲気での燃焼が必要となる。樹脂の溶解による脱樹脂では初めにほとんどの樹脂を溶出させてしまうため、鑄型内燃焼灰分はほぼ皆無となる。溶解中に発生した鑄型の損傷は、溶解前に鑄型に熱処理を施すことで解決した。

④大型樹脂模型造型と脱樹脂プロセスの検証

次年度までの研究結果を基にスケールアップをおこない大型模型の造型とツリー形状の鋳型を使用した脱樹脂プロセスの検証をおこなった。成型条件の検証の結果、大型模型の造型にも対応した。製作した発泡樹脂模型は経時変化がなく、ワックス模型で問題となる面引けがない。また、温度依存性が小さいため保管場所の温度調節も不必要であった。発泡樹脂の機械的特性はワックスと比較して遜色はなく、表面性はワックス以上でありワックスの代替材料としてだけでなく他分野への利用も考えられる。

脱樹脂プロセスの検証として、脱樹脂から実際に鋳物の製作まで実施した。脱樹脂は前述の通り燃焼又は溶解によりおこなった。脱樹脂方法による差異を以下に示す。

- ・樹脂燃焼による脱樹脂

鋳型内燃焼灰分が多いため、鋳物の表面に肌荒れが生じた。燃焼の条件、鋳型内洗浄が重要となる。

- ・樹脂溶解による脱樹脂

模型の膨潤による鋳型損傷を防ぐために、鋳型への熱処理が重要である。鋳型内燃焼灰分はほぼ皆無である。補完研究として、熱処理条件の再検証が必要であり、これにより本プロセスが構築される。

また、樹脂の溶解に使用した溶剤の再生の方法を確立した。

本事業により材料の基礎的な特性確認試験を終了し、アドバイザーの下で実際の鋳造品で製作を行い、評価を頂いた。本事業終了後にユーザーである精密鋳造メーカーへの模型販売開始に向け進めていく。それと並行し、ノウハウを付与した樹脂模型に関する装置・プロセスの販売も行っていく。

また本事業を進めていく中でユーザーから精密鋳造だけでなく、大型の砂型鋳造品にも適応できるのではとのアドバイスを頂き、この分野への応用に関しても大きな可能性があると考ええる。

成果技術は本プロジェクト中核企業にのみ留めることなく、精密鋳造協会等、斯界の技術力発展に広く周知貢献することを基本方針とする。これにより精密鋳造技術の先進国である欧米の技術を凌駕し、後発の中印等への差別化を鋭意果たしていきたい。

当初の計画は概ね達成し、今後実製品での使用に際して、ユーザーとの1対1での検証を行っていく。実製品の形状、特にガスタービン翼、航空機部品の場合はユーザーのノウハウを外部に開示できないため個々のユーザーと秘密保持を行った上で、協力して開発・検証を行っていく。



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。