

精密鑄造用埋没材の再利用に関する研究

—再生無結合型埋没材による鑄造製品の評価—

小林 克次・中山 信一・佐野 照雄・宮川 和博

Study on the Recycling of the Platinum Investment for the Lost Wax Precision Casting

— Assessment of the Casting Product by Recycled Platinum Investment —

Katsuji KOBAYASHI, Shinichi NAKAYAMA, Teruo SANO and Kazuhiro MIYAGAWA

要 約

プラチナ鑄造用無結合型埋没材の再利用は、前年度までの研究から一回のみの再利用は可能であるとの結果が得られている。本研究では、繰り返し使用が可能であるかについて研究を行った。その結果、埋没材自体に繰り返し使用により、物性値の変化が確認されたが、鑄造製品にその影響はほとんどなく、無結合型埋没材の繰り返し使用は、可能であることが明らかとなった。

Abstract

It is confirmed that the recycling of the platinum investment is possible by our previous study. However we conducted experiments on recycling test of one time, we must try to repeat reclamation of it. The goal of this study is to confirm whether it is possible or not. Some experiments showed changes of material properties of the investment itself by repetition recycling but they didn't affect the casting products. As a result, we can conclude that the reused platinum investment is able to produce a casting product even if it is used repeatedly.

1. 緒 言

ロストワックス精密鑄造法は、多品種・少量生産を行うことができる点で優れている。本県の代表的地場産業である貴金属装身具製造業界においては、80%以上の製品がこの方法により製造されている。この鑄造法に用いる鑄型材は埋没材と呼ばれ、基本的に一度しか使用されず、使用後は産業廃棄物として多額の費用を支払い廃棄処理されているのが現状である。県内で年間に廃棄される量は、250～300トン程度と推定されており、企業では使用済み埋没材の処理が問題となっている。

金製品や銀製品の鑄造には石膏系埋没材が、また、プラチナ製品の鑄造には無結合型埋没材が用いられている。そのうち、石膏系埋没材については、鑄型の硬化過程が化学反応によるものであり、再生利用は難しいと考えられるのに対し、無結合型埋没材は、硬化するのに結合材をほとんど用いないため、再生利用は比較的容易であると予想される。そのため、2カ年にわたり無結合型埋没材の再生利用方法の開発、検討に取り組んでおり、一回のみの再生利用は可能であるとの結論は得られている。本研究では、主に繰り返し使用が埋没材と鑄造製品に与える影響について調

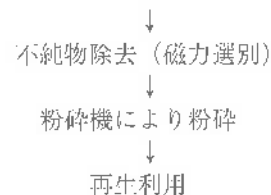
べ、評価した。その結果、繰り返し再利用は可能であるとの結論を得たので、以下に報告する。

2. 実験方法

2-1 埋没材の再生作業

使用済み埋没材を再生するために、以下の手順により作業を行った。

使用済み埋没材を乾燥（電気炉で80℃程度に加熱し、一口保持）



繰り返し使用の場合は、上記の作業を繰り返し行った。本研究では、一回使用したもの（一次使用材）から三回再生利用したもの（三次使用材）までの計3種類の使用済み材について再生作業を行った。不純物は、鑄型用の型枠（SUS304製）が剥離するものに由来すると考えられる。こ

のような不純物は鑄造欠陥の原因になると考えられるので、除去することが必要である。SUS304は、加工により磁性を帯びることが知られているので、高磁力磁石により除去できる。使用した磁石はカネテック社製超高磁力マグネット棒PCMBD-A20（磁束密度0.8T以上）である。

粉砕機は、ユーラステクノ社製バイプロポットである。装置の写真を図1に示した。装置中央に偏芯モーターがあり、装置両脇に試料を入れるポットがある。ポット中に試料と粉砕用メディアを入れ、偏芯モーターを駆動することにより、装置自体が振動する。本装置は、その振動力により試料の粉砕を行う、振動ミルの一種である。粉砕用メディアは、マンガンクロム鋼製ロッドメディアを用い、充填率30%程度で粉砕を行った。再生の際に、未使用材と同程度に粒度を調節する必要があるため、粉砕時間を変えて粒度分布を確認した。粉砕時間は、30秒、1分、5分、10分とした。

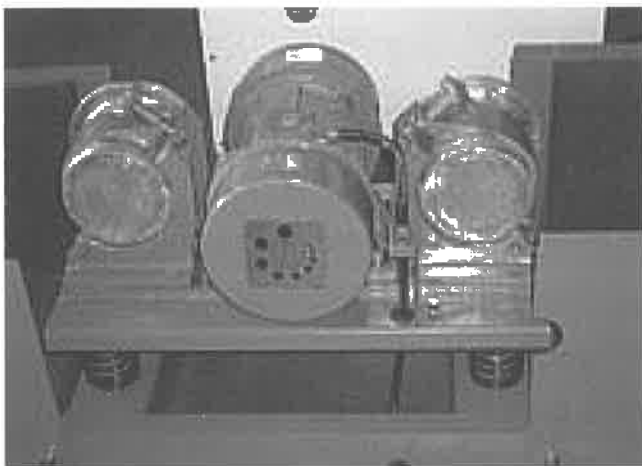


図1 使用した粉砕機
(ユーラステクノ社製バイプロポット)

2-2 再生埋没材の評価

(1) 埋没材の評価

埋没材の評価は、未使用材と使用済み材との粒度分布の相違、使用前後と繰り返し使用による成分の変化および熱膨張率の変動の3項目で行った。

粒度分布の測定は日機装株式会社製レーザー回折式粒度分析装置マイクロトラックHRAを用いて行った。測定条件は、超音波分散時間3分(300W)、測定時間20秒、分散剤ヘキサメタリン酸ナトリウムで行った。測定は、未使用材(吉田キャスト社製オール89)と使用済み材(県内鑄造業者より提供されたもの)について行った。使用済み材については、粉砕時間をパラメータとして、上述のように30秒~10分まで変えたもの4種類を試料とした。

成分変化は、X線回折分析を用いて結晶成分の変化を調

べた。測定装置はリガク社製RINT2000を用い、測定条件は、Cu管球、管電圧40kV、管電流40mA、スキャンスピード5°/minで行った。元素分析についても、セイコーインスツルメンツ社製SEA-2001を用い測定を行ったが、すべての試料について、ケイ素(Si)が検出されたのみである。

熱膨張率の測定は、ティーエーインスツルメンツ社製熱分析装置TMA2940を用いた。測定条件は、窒素雰囲気、昇温速度10°C/minで行った。

(2) 鑄造製品の評価

鑄造製品の評価は、歯科技工の分野で一般的に用いられる表面粗さの計測により行った。表面粗さを計り易いように、鑄造製品の形状は板状とした。測定装置は、小坂研究所製表面粗さ輪郭形状測定機DSF-1000を用いた。測定は各種埋没材につきそれぞれ2試料について、算術平均粗さ(Ra)、最大高さ(Ry)、十点平均粗さ(Rz)の三種類の項目を測定し、平均値を求めた。

3. 結果

3-1 埋没材の評価

各種埋没材の粉砕実験結果について、図2に未使用材のものを、図3~6に一次使用材の粉砕評価時間を変化させたものを示した。各図の横軸は、粒径を対数表示したもの、また、縦軸は各粒径の頻度である。また、図7に、各試料の50%平均粒径(D₅₀値)を比較した

ものを示した。未使用材の粒度分布をみると、単一の粒度のピークをもつような単純な粒度分布ではなく、複雑な粒度分布であることが明らかとなった。使用済み材でも、30秒粉砕すればほぼ未使用材と同程度の粒度分布を得ることができ、また、D₅₀値についても同様の値にまで粉砕できることが明らかとなった。粉砕時間を延長するに従いD₅₀値は低下した。粒度分布の形状やD₅₀値については、粉砕時間5分の場合に未使用材と使用済み材との類似度が高かった。

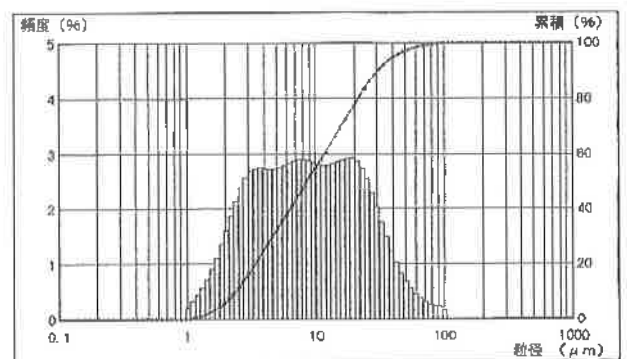


図2 未使用材(オール89)の粒度分布測定結果

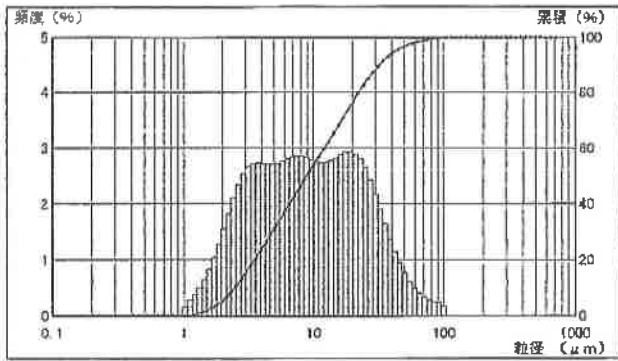


図3 一次使用材の粒度分布測定結果 (粉砕時間30秒)

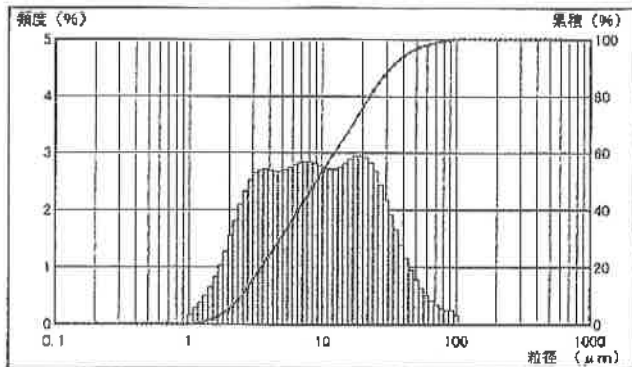


図4 一次使用材の粒度分布測定結果 (粉砕時間1分)

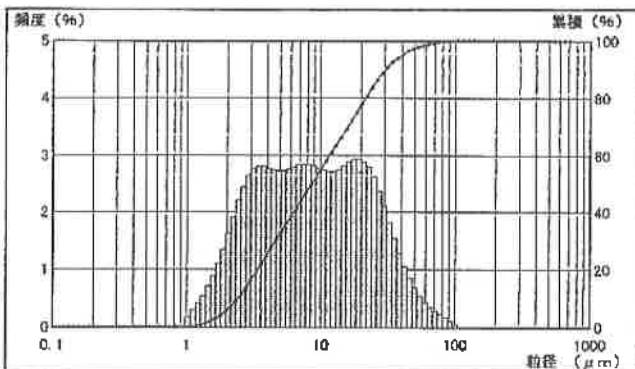


図5 一次使用材の粒度分布測定結果 (粉砕時間5分)

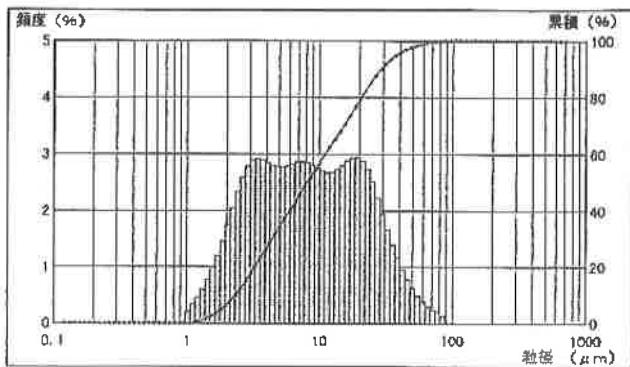


図6 一次使用材の粒度分布測定結果 (粉砕時間10分)

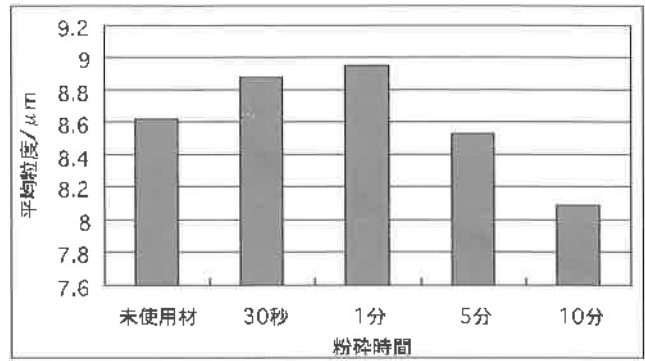


図7 粉砕時間による50%平均粒径 (D₅₀値) の変化

X線回折分析の結果を、図8に示した。図の横軸は回折角度 (2θ 値)、縦軸は回折線強度値である。未使用材のピークはすべて石英のものと一致した。図から明らかなように、繰り返し使用により、新たな結晶相の生成は確認されず、石英のピークのみが検出された。ただし、わずかではあるが、繰り返し使用によりピークが高角度側にシフトしていることが確認された。

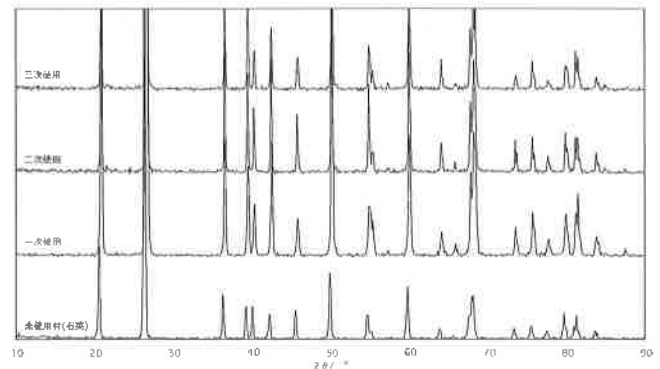


図8 各種埋設材のX線回折分析結果

熱膨張率の測定結果を図9に示した。横軸は温度、縦軸は熱膨張率を表している。図からも明らかなように、使用済み材は、未使用材に比べ、熱膨張率が減少していることが分かった。また、繰り返し使用により、順次、熱膨張率が減少していることが明らかとなった。

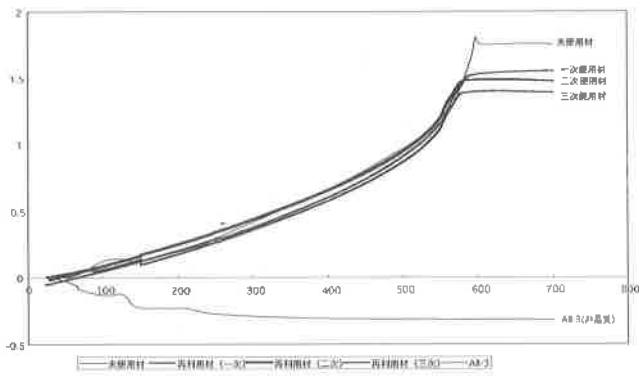


図9 各種埋没材の熱膨張率測定結果

3-2 鑄造製品の評価

各種埋没材による鑄造製品の表面粗さ測定結果について、表1と図10に示した。また、実際の鑄造製品の写真を図11~14に示した。本研究の結果から繰り返し使用により表面粗さが低下するというような傾向は確認されなかった。

表1 各種埋没材による鑄造製品の表面粗さ測定結果

	Ra/ μm	Ry/ μm	Rz/ μm
未使用材	1.03	5.82	3.99
一次使用材	1.36	6.18	4.89
二次使用材	1.73	10.53	6.85
三次使用材	1.18	7.24	4.62

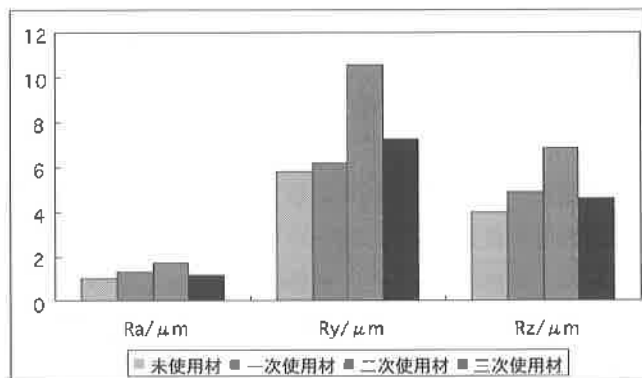


図10 繰り返し使用による表面粗さの変化

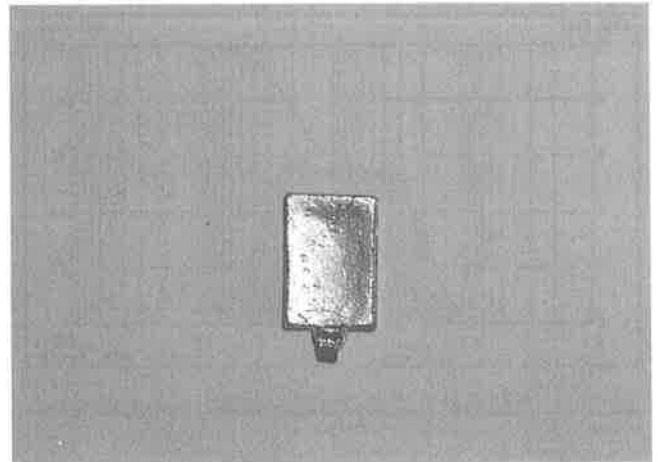


図11 未使用材による鑄造品



図12 一次使用材による鑄造品

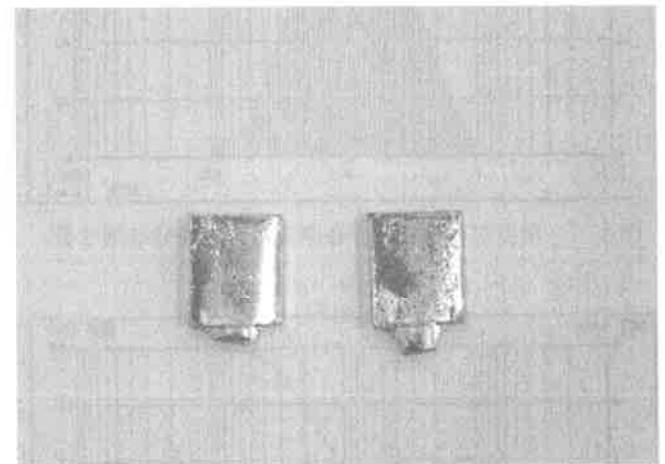


図13 二次使用材による鑄造品

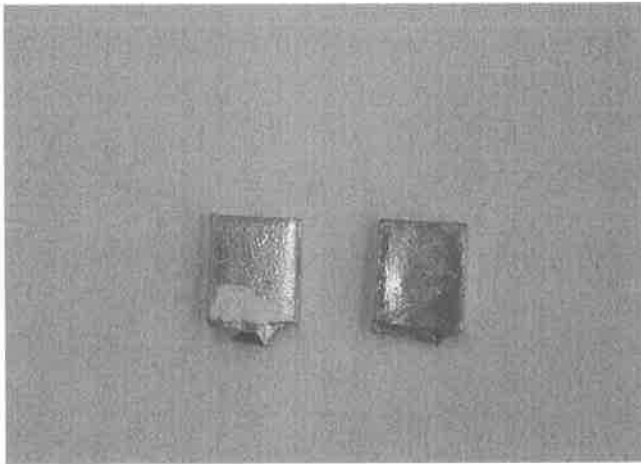


図14 三次使用材による鑄造品

4. 考 察

埋没材の再生利用に当たっての当初の課題は、粒度の調節であると考えられた。粒度が粗すぎれば、鑄肌が粗くなるであろうし、逆に細かすぎても、鑄型としての通気性が悪くなるので、鑄造欠陥を招くことが予想される。しかし、実験の結果から、使用済み材でも比較的短時間で、未使用材と同様な粒度分布を得ることが可能である事が明らかとなった。これはプラチナ用埋没材が、バインダーをほとんど用いない無結合型埋没材であるため、個々の粒子の結びつきが弱く、結果として短い粉碎時間で、使用前と同程度まで粉碎できたと考えることができる。粉碎時間を長くした場合には、未使用材よりもさらに細くなる傾向が確認できたことから、長時間粉碎することはかえって再生利用を難しくなることが予想される。

埋没材を繰り返し使用することにより、埋没材そのものに変化が生じるかどうか調べた。その結果、新たな物質の生成は確認されなかったが、熱膨張率については、繰り返し使用により減少することが観察された。熱膨張率の減少の原因は、以下のように考えることができる。まず、X線回折分析の結果から、新たな結晶性物質は生成しておらず、そのような物質の生成が原因であるとは考えられない。また、ピークの高角度側へのシフトが確認されたことから、結晶格子の収縮が起きていると考えられる。しかし、そのシフト幅は 0.3° 程度であり、大きな変化とは考えられないため、これが原因であるとは考えられない。そこで考えられるのが、非晶質成分の増加である。石英を構成する二酸化ケイ素の融点は 1730°C であり、白金の融点は 1770°C であることから、鑄造時には、鑄型の一部は溶解している。鑄造後、すぐに水冷されるため、これら溶解した二酸化ケイ素は、急冷され、非晶質化することが考えられる。そのため、繰り返し使用により、試料中には石英の他に非晶質成分が増えることが予想される。しかし、非晶質はX線回

折分析では、ブロードしたピークもしくは、バックグラウンドの高まりという形でしかとらえることが出来ないため、本研究で行った成分分析では確認出来ない。実際に、図9に示したように、非晶質成分は、全く熱膨張せず逆に収縮することから、本研究で得られた繰り返し使用による熱膨張率の減少は、非晶質成分の増加によるものという仮定とは矛盾しない。非晶質が実際に増加しているかについての確認は、今後の研究課題である。

次に、再生利用による鑄造製品への影響についてであるが、結果でも示したとおり、繰り返し使用により、鑄肌が荒れるというような傾向は確認されなかった。鑄造製品の写真を見ても、使用済み材を使用した試料は、未使用材による試料と比較して鑄肌の状態に差異はなく、繰り返し使用は十分可能であると考えられる。しかし、今回鑄造実験を行ったのは、あくまでも単純な板状の試料であり、今後は実際に製品として売られているような複雑な形状をしたものについても確認が必要である。特に、熱膨張率の減少が、複雑な形状の試料では、鑄造欠陥を誘発する原因になることが考えられる。

それ以外の物性値の変化についてであるが、圧縮強度および流動性については、これまでの研究で一次使用済み材について測定を行っているが、未使用材との有意な差は確認されていない。これらの物性値についても、繰り返し使用による影響を測定する必要がある、今後の課題である。

本研究の結果から、埋没材の繰り返し再生利用は十分可能であるとの結論が得られた。今後実用化するに当たっての留意点について、以下に記す。

・乾燥方法

前述のように、鑄造された試料は水中で急冷される。そのため、排出される鑄型材は通常多量の水分を含んでいる。今回実験室レベルでは、乾燥する試料量は多くても $2\sim 3\text{ kg}$ 程度であり、電気炉で乾燥を行うことができた。しかし、実際に鑄造業者から排出される量は、数十～百 kg 単位になることが予想され、その乾燥方法が問題である。軽い水切り程度ならば、行うことは可能であろうが、未使用材と同条件で再利用を行うには、使用済み材の完全な乾燥が必要である。そのため、多量の使用済み材が簡単にかつ安価に乾燥できる施設が必要となってくる。

・不純物の混入

使用済み埋没材に混入してくる物質として、鑄型の型枠材が考えられる。鑄造後、鑄型ばらしを行う際に、水中急冷でも壊れず型枠に付着した埋没材を除去するために、ハンマーなどで型枠を叩いて埋没材を除去することが一般的に行われている。このときに型枠の一部が剥離し、混入することが分かっている。SUS304ステンレス鋼であれば、

着磁する場合もあり、そのときは除去可能であるが、一部磁石では取り除けないものもある。そのため、ステンレス片の混入を防ぐためにも、再生利用する埋没材には、ハンマーで鑄型ばらしをしたものは混ぜないようにすることが必要である。

・埋没材の管理

金・銀用石膏系埋没材を混入させないことである。混在してしまえば、石膏系埋没材と無結合型埋没材を分離することはきわめて難しく、また外見からでは混在しているかどうかさえ判断することができない。しかし、石膏（硫酸カルシウム CaSO_4 ）は 1100°C 程度で酸化カルシウム（ CaO ）と亜硫酸ガス（ SO_2 ・ SO_3 ）に分解するため、プラチナの鑄造を行えば亜硫酸ガスが発生し、鑄巣のような鑄造欠陥を発生させる原因になることが十分考えられる。そのため、石膏系埋没材と無結合型埋没材を分けて扱うことが一番簡単であるが、ほとんどの鑄造業者では両者を同一に処理しており、実用化に当たって難しい課題の一つであると考えている。

5. 結 言

本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- ・振動ミルなどで粉碎すれば、使用済み材も未使用材と同程度の粒度分布に制御可能である。
- ・繰り返し使用による埋没材中の新たな結晶相の生成は確認されなかった。
- ・繰り返し使用により、埋没材の熱膨張率は低下することが確認された。これは鑄造により加熱された埋没材の一部がガラス化したことによる影響と考えられる。
- ・使用済み材による鑄造製品の表面粗さは、未使用材と比べても遜色なく、また、繰り返し使用の影響もあまりなかった。

以上の実験結果から、埋没材の繰り返し再生利用は可能であると結論できる。

ただし、実用化にあたっての問題点としては、

- ・使用済み埋没材の簡便な乾燥方法の確立
- ・ステンレス片混入の防止
- ・石膏系埋没材混入の防止

が挙げられる。

最後に本研究を進めるにあたり、ご協力をいただいた、鈴木製作所、(有)伊藤貴金属工業に感謝いたします。