

鑄造用発泡石膏の鑄型強度に関する研究

機械金属室

研究員 國 吉 和 男

1. 緒 言

鑄型はベントナイトや樹脂を粘結剤とした砂型鑄造法が主流で、精密鑄造や金型鑄造を含む特殊鑄造法はごくわずかにすぎないと言われる。しかし、近年鑄造に求められる高品質、高精度、高生産性の要求の高まりから、特殊鑄造法のうち特に精密鑄造法のような付加価値の高い鑄造法に関心が集まっている。

県内中小企業は、合成砂による生型鑄造法が主体であるが、最近有機自硬性鑄型の導入も行なわれ、さらに高精度、高品質の鑄造法に関心が向けられている。

一方県内に廃出するアルミ廃材の鑄物への再利用や、Al 金型模型の製作等の必要性から、精密鑄造法の一つである石膏鑄型が注目されて来た。

石膏鑄型は①比較的簡単な設備で生産が可能、②とりあつかいが容易、③しかも寸法精度や表面精度が高い、などの特長が評価され、Al を主とした軽合金の鑄造に利用されている。造型の主な工程は図-1 に示すとおりである。¹⁾

この図でみるように乾燥工程後に鑄型強度が決まるが、砂型に比べてその工程は長い時間を必要とする。従ってその中で鑄型の強度及び物理特性は十分に理解され管理されなければならないが、これらの研究例は極めて少い。

本研究は発泡石膏の作業工程中重要と思われる、攪拌から乾燥工程までの物理特性を中心とした実験を行い、石膏鑄型の2、3の性質を明らかにした。

2 実験方法

2・1 供試材

市販の鑄造用石膏は数多くあり、その1部を分類すると表-1 のようになる。²⁾

ここでは重力鑄込み用発泡石膏(日東A-1)と、比較のために hidroperm (U.S

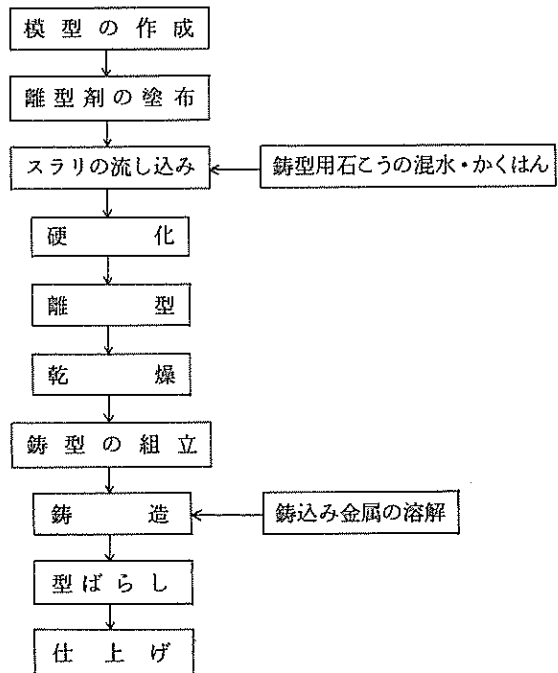


図-1 石膏鑄造法の作業工程

鑄造用石膏	発泡石膏	日東丸石 A-1	U.S.G ハイドロパーム E-340
	非発泡石膏	日東丸石 A-2	E-360、361 T-950、620
	埋沈用石膏	日東丸石 A-7	SS 720

表-1 市販鑄造石膏の分類

Gypsum) を用いて実験を行った。

2・2 強度試験方法

石膏の混合攪拌及び発泡には、ハンドドリル (2000rpm) にゴム製円板を取り付けて用い、強度試験片はアルミ金型 (50 φ × 50 ℓ × 16 コ取り) にカリ石ケンを十分塗付して石膏を流し込み、凝固後抜型し試験片に供した。試験機はオートグラフ (島津 2 t) を用いた。又乾燥器は TOYO KS-4 型を用いた。

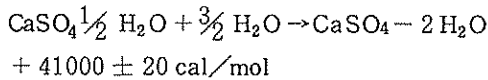
2・3 温度測定及び熱膨張試験

石膏鑄型の昇温は 50 φ × 50 ℓ の試験片の凝固時に A C 熱電対をほぼ中心部に埋め込んで測定した。記録は電子式高感度記録計 (CHINO EB 4 P 00) を用いた。又熱膨張は石膏が凝固後、その一片を切り出し、エミリー紙を用いて 5 φ × 50 ℓ の試験片に仕上げ、英弘精器製自動熱膨張計 HD-21 型を用いて測定した。

3 実験結果

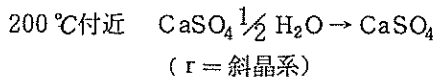
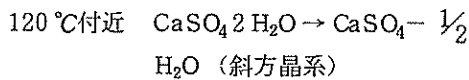
3・1 乾燥と鑄型強度

石膏に所定の水を加えて攪拌を行うと、次のように半水石膏が水和反応を起し、凝結硬化する²⁾。



この過程で発熱と同時に結晶成長に伴うみかけ上の膨張が起る。

次に抜型後の乾燥工程では水和した 2 水石膏が次のように脱水し転移する²⁾。



この 200°C 付近までの乾燥で石膏鑄型の重量変化と内部温度変化をみたのが図-2、3 である。図-2 は混水比 0.8 の場合、2 水石膏が蒸発脱水で重量を減少していく過程を抜型直後の重量を 100% として表わしている。

ここでは A-1 石膏がハイドロパームに比べて蒸発脱水が急激に進み、1~2 Hr で 40~50% も重量が減少しているのがわかる。

図-3 は前述の乾燥脱水過程で、鑄型内部の

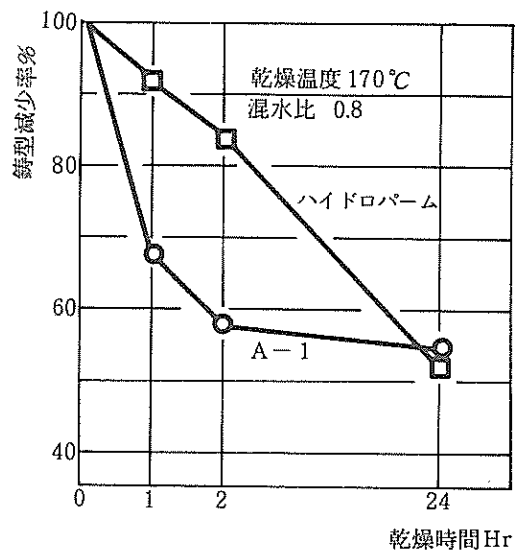


図-2 乾燥時間と鑄型重量減少率

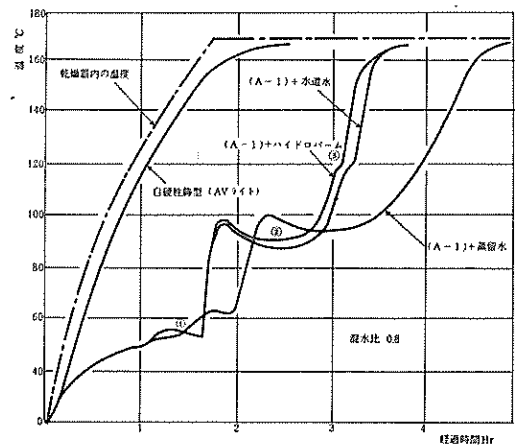


図-3 試験片中心部の温度変化

温度変化をみたものである。比較のため自硬性
 鋳型（AVライト）も測定した。

これで見ると、自硬性鋳型は乾燥器内温度の
 上昇とほとんど同じ上昇カーブを描くが、水分
 を含んだ石膏はいずれも複雑な曲線を描いて、
 4～5 Hr 程度遅れて乾燥温度に達する。その
 温度上昇曲線は3つのステップを含んでおり、
 第①のステップは遊離水分の脱水過程を示して
 おり60℃前後である。第②ステップは2水石膏
 が半水石膏へ移行する過程を示しており温度90
 ℃前後であった。又第③のステップは120℃前
 後で小さく現われているカーブでここは無水石
 膏への移行を示している²⁾。

図-4は上記の乾燥が終了した後にい
 ったん大気中で冷却して再乾燥したも
 ので、図-3のような①②ステップが現
 われず、速かに温度は上昇し③ステ
 ップの無水石膏への移行過程だけがみ
 られる。

又両図で明らかなようにA-1石膏
 とハイドロバームに水道水を混入した
 場合はその脱水移行の時間に大きな差
 がみられる。

一方乾燥温度のちがいで、鋳型重量
 と強度がどのように変化するかをみた
 のが図-5である。

これで見ると鋳型重量は乾燥温度の
 ちがいで、又いずれの混水比でも、
 1～2 Hr で急減し、抜型直後の重量
 の60～80%となる。その後は徐々に減
 少して、最終的（24 Hr 経過後）に50
 ～60%前後まで減少して無水石膏とな
 っていることがわかる。

120℃の乾燥温度は半水石膏から無水
 石膏へ移行する温度付近であるため、
 図-5の乾燥温度120℃にみるように、
 混水比のちがいにより重量減少率にバ

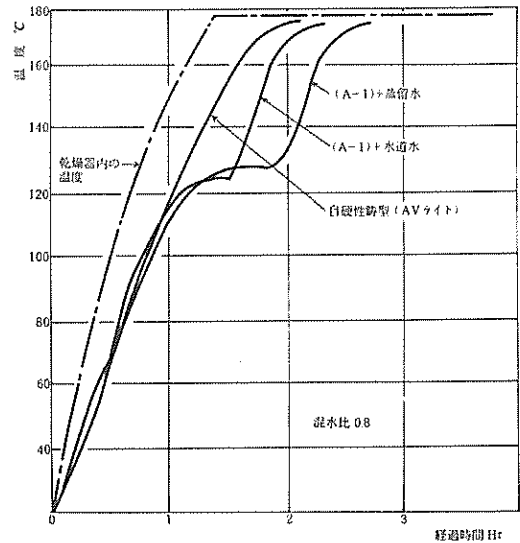


図-4 再加熱による試験片中心部の温度変化

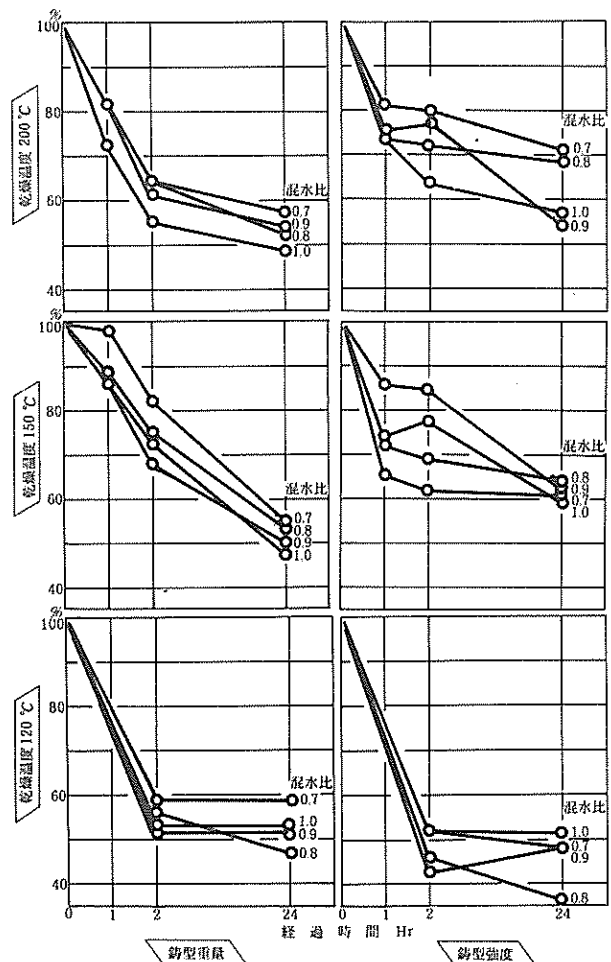


図-5 乾燥温度と鋳型重量及び鋳型強度の経時変化

ラツキがみられた。

図-5の鑄型強度をみると、強度は乾燥時間とともに低下し、初期強度の50~70%まで低下する。又最終強度を乾燥温度毎に比較したのが図-6であるが、ここでも無水石膏への移行温度付近の120℃乾燥では最終強度の低下率も大きく、混水比のちがいによるバラツキも大きい傾向が見られた。

乾燥温度が高いと、最終強度は高く、混水比のちがいによるバラツキも少く安定した強度を示した。

3・2 水質と鑄型強度

石膏は水との反応により水和し、凝結硬化し、強度を発現する。従って乾燥する過程での強度や、最終鑄型強度は水質に大きく影響されると考えられる。前述の乾燥過程で水道水と、蒸留水の脱水過程は大きなちがいがあることがわかったが、最終強度を測定すると、蒸留水と井戸水は4.5~4.9%、水道水は3.6%で強度差の大きいことがわかった。そこで水道水に含まれている Cl^- イオンと、水質のPHに注目して強度への影響を調べたのが図-7、8である。

混合攪拌の条件はA-1石膏を用いて、混水比0.8、攪拌2分、乾燥温度200℃と一定にした。

Cl^- 濃度はNaClを用いて $10^2 \sim 10^4$ ppmまで、PHはHClとNaClを用いてPH1~12まで調整した。

図-8に見るように Cl^- 濃度は蒸留水の0ppmから 10^4 ppmまで変化させても、強度に著しい変化はみられなかった。

しかし、PHの変化は図-7のように強度に大きな影響を与えており、酸性側で強度は向上し、アルカリ側で強度は低下する傾向にある。

従って図-7の中に示すように水道水が、蒸留水や井戸水に比べて強度が低下するのは、蒸留水と井戸水がPH7.2程度の中性であるのに水

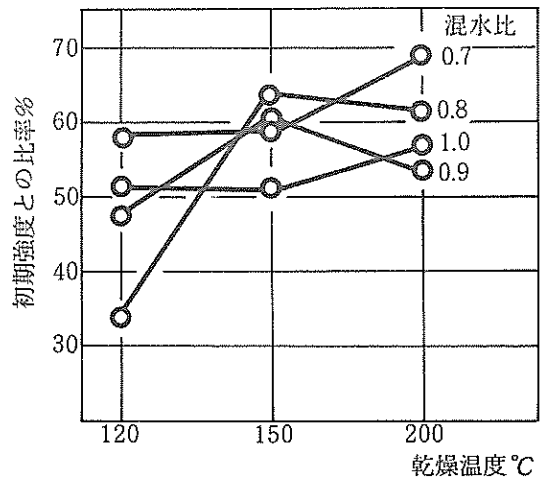


図-6 乾燥温度と鑄型最終強度

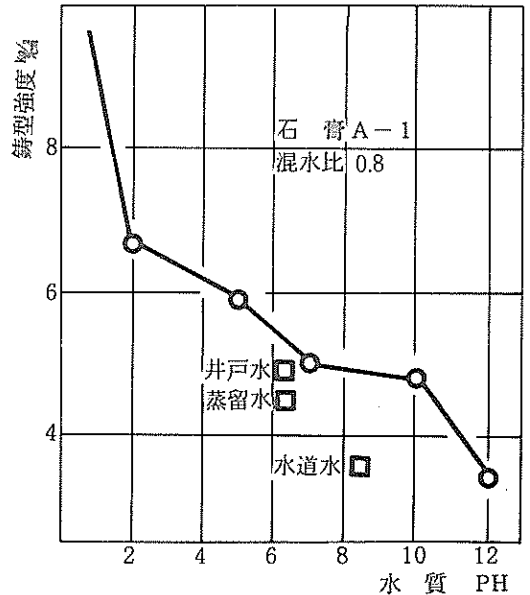


図-7 水質 (PH) と鑄型強度

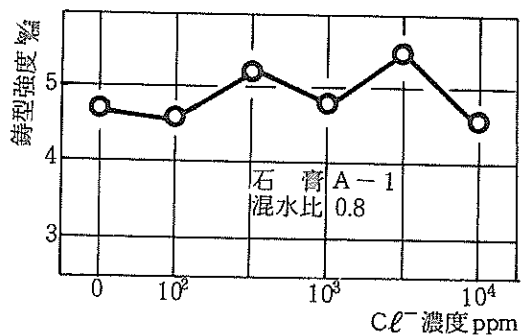


図-8 Cl^- 濃度と鑄型強度

道水がPH8.6とアルカリ側にあるためと考えられる。

3・3 鑄型の膨張

石膏が凝結硬化する時は、0.1～0.4%程度膨張すると言われる¹⁾がここではいったん硬化した石膏を乾燥する過程で、どのような膨張収縮をするのかを調べた。

図-9の③は抜型後の乾燥工程で、脱水による膨張収縮を示している。150℃付近で0.3%程度の膨張率ピークを示し、その後昇温とともに急激に収縮し、200℃近くでいったん収縮が止って平行部が続く、300℃を越すと又急激に収縮していく³⁾。しかしこの300℃からの収縮は、試験片を支える石英棒の圧が75～80gあることから、無水石膏となった試験片端の表層部が崩壊して、みかけ上の収縮を示していると考えられる。

同図の⑥は200℃でいったん乾燥後膨張試験を行ったもので、200℃まで直線的に膨張してピークに達し、300℃まで平行部を示して、それ以上の温度で急激に収縮している。これもみかけ上の収縮で、実際は300℃を越して、石膏は崩壊していると考えられる。

従ってA-1石膏は、脱水乾燥の過程で約+0.3%膨張し、その後0.4%程度収縮し、いったん乾燥すれば0.2%程度の膨張を示すことがわかる。これは同図に示したハイドロパームに比べて、約1/2の膨張率で、崩壊温度は50℃低くめであった。

3・4 発泡石膏(A-1)のマイクロ組織

石膏のマイクロ組織を走査電子顕微鏡(明石製作所 ALPHA-9型)を用いて観察したのが写真①～⑤である。

写真①では、攪拌で発泡した気泡が0.1～0.3mmの大きさで、ランダムに発生しているのがわかる。

写真②は同じ試料を700倍で見たもので、CaSO₄の針状結晶と、一部に板状の結晶を混じ

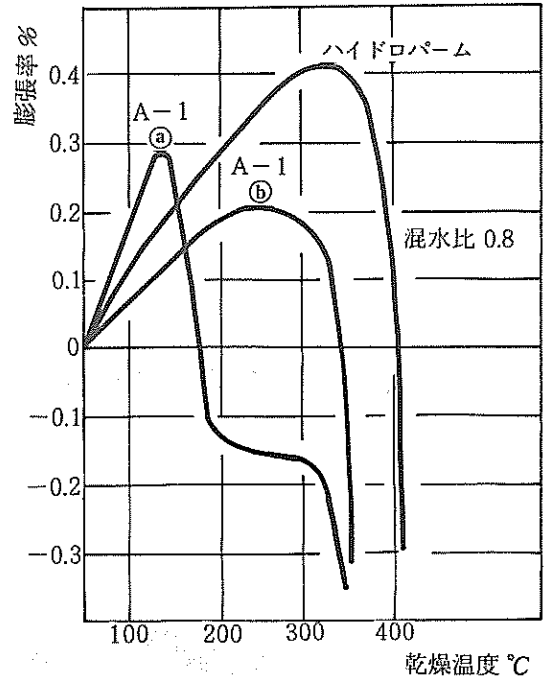


図-9 乾燥温度と膨張率

発泡石膏(A-1)のSEM写真

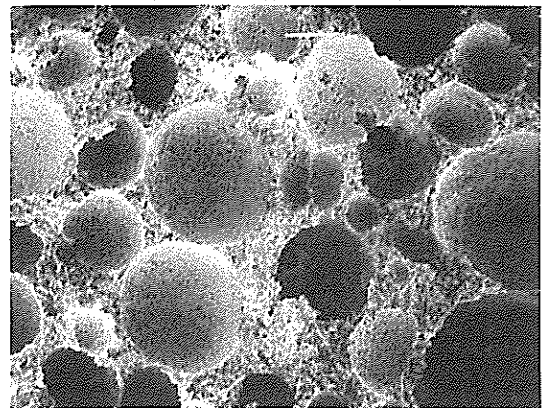


写真-1 (水道水+A-1) × 100

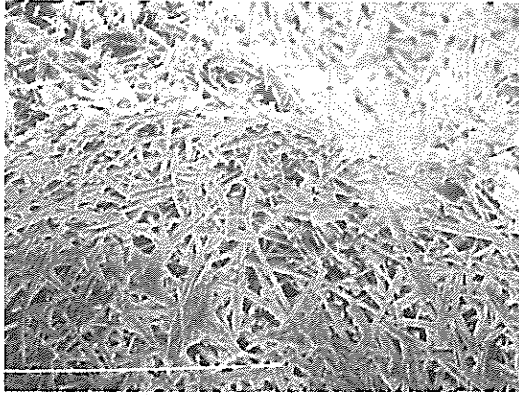


写真-2 (水道水+A-1)×700

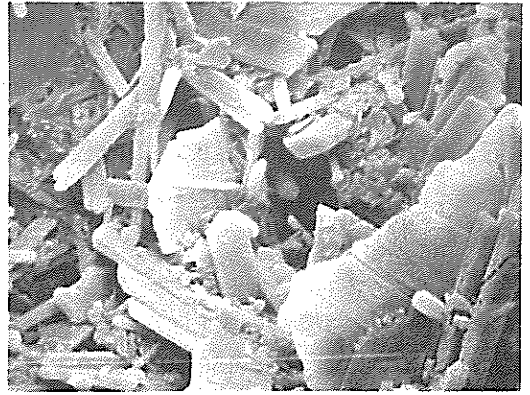


写真-3 (酸性+A-1)×3,000

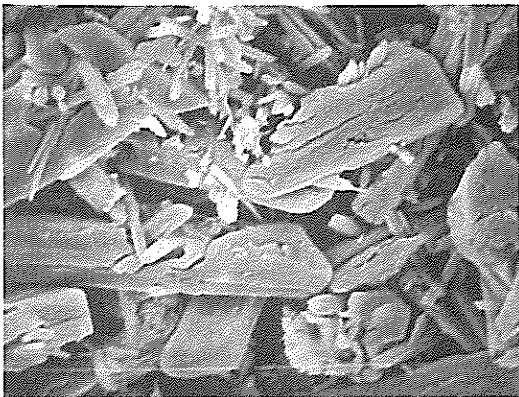


写真-4 (アルカリ性+A-1)×3,000

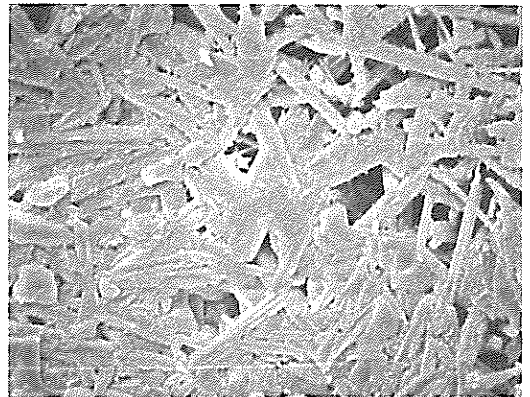


写真-5 (Cl^-10^4 ppm+A-1)×3,000

えて、複雑に交錯し、鑄型強度を保持しているのがわかる。鑄状結晶の径は約 $2\sim 3\mu$ 程度である。最終強度は水質によって、変化することは前述のとおりで、写真③～⑤は、酸性、アルカリ性、 Cl^- 含有水の3つの水を使った場合の特徴を示している。写真③でみると酸性の水和反応では板状結晶が交錯して発生しているのが見られ、これが鑄型強度を高めていると考えられる。一方写真④はアルカリ性の水による水合反応で、板状結晶が大きく発生はしているが、丸味を帯び、しかも結晶そのものにクラックが数多く見られ、強度低下の原因になっていると考えられる。

又写真⑤は Cl^- 濃度 10^4 ppmの場合の組織で、板状結晶が緻密に発生している。 Cl^- 濃度が強度に影響を与えなかったのは、このように結晶状態は変っても針状結晶と同程度の強度を板状結晶が保持しているためと考えられる。

4 結 言

鑄造用発泡石膏（日東A-1）を用いて、抜型後の乾燥過程での強度、熱膨長、及び最終鑄型強度（24 Hr 乾燥後）を調べた。さらに走査電子顕微鏡による鑄型の組織を観察した結果次のことが明らかになった。

- 1) 200℃付近の乾燥で、鑄型重量は1～2 Hrで60～80%、最終（24 Hr）で50～60%まで減少する。
- 2) 強度は、乾燥時間とともに低下し、初期強度の50～70%まで強度は低下する。
- 3) 乾燥温度は無水石膏へ移行する温度以上なら、重量と強度減少率が安定する。
- 4) 乾燥中の石膏鑄型は、初回の脱水乾燥過程で150℃まで+0.3%程度膨張し、それから200℃まで0.2%程度収縮し300℃で崩壊する。又一次乾燥（無水石膏へ移行）すると、200℃まで0.2%程度膨張し、300℃で崩壊する。その場合収縮はみられなかった。
- 5) 水質は最終鑄型強度に大きく影響する。Cl⁻濃度は強度に影響を与えなかったが、PHは、酸性側で強度を高め、アルカリ側で強度を低下させる。
- 6) SEM観察により、通常の組織が針状結晶で、酸、アルカリ又はCl⁻で板状結晶が発生し、酸性側で強固に、アルカリ側でクラックを伴って成生し、強度に大きく影響を与えていることがわかった。

— 補 足 —

本研究は技術移転事業のテーマ「アルミ廃材を用いた工芸鑄物の研究」の一部をまとめたもので石膏鑄型による、置物、壁掛等室内装飾品の試作も行った。

今後、石膏鑄型と、注湯する金属との関係、石膏鑄型に起因する鑄造欠陥対策、さらには石膏を模型材料として利用する技術の研究等に取り組み、石膏鑄造法が県内技術として定着するよう関連技術の開発を行っていく予定である。

引用文献

- 1) 日本鑄物協会精密鑄造部会 精密鑄造法 日刊工業新聞社 1974 189
- 2) 小池、佃、「石膏鑄型によるアルミニウム合金の鑄造」 JACT NEWS 1980 8 4857
- 3) 加藤 「石膏鑄造法による精密金型の製作」 JACT NEWS 1980 9 4917

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。