

CO₂プロセスの特性を活用した鑄造表現の教材化 —油粘土を原型としたペンダントトップの制作—

(美術教育講座彫塑研究室) 原 田 義 明

Development of Teaching Materials by Metal Casting in the Qualities of the CO₂ process

— Casting Production of a Pendant Top by Oil Clay Model —

Yoshiaki HARADA

(平成 21 年 6 月 5 日受理)

1. はじめに

金属工芸は、技法により鑄金・鍛金・彫金に分類されるが、いずれも金属が本来持っている特性（溶融性、展延性、削穿性）を有効に利用し、様々な成形方法で製品化・作品化する分野である。その中でも鑄金は、溶かした金属を耐火性の鑄型に流し込み目的物を作る。この工程を総称して鑄造と呼び、作られたものを鑄物と言う。この技法の最大の特徴は、溶融金属の粘度が非常に低いという特性を生かし、どんな複雑な形状のものでも一度に成形できるところである。そして鑄物は、その地肌や光沢の美しさから、独自の存在感を有する。

しかし、鑄物制作は、作業工程が複雑で高度な専門知識や技術、そして経験を必要とする特殊な分野であると考えられ、学校現場では鑄物を教材として取り扱うことは極めてまれである。だが、鑄物制作も、素材である金属の種類や鑄型材、鑄造方法等を工夫・改良することで、鑄物の教材化は充分可能であると考え、先行研究¹⁾で耐火石膏²⁾と低融点合金³⁾を使った鑄造表現の教材化に関する研究を行い、鑄造工程と鑄型成型の簡略化に一定の成果を得ることができた。

その後、この成果を応用して附属中学校で授業実践を実施し、低融点合金を使った鑄造表現の教材としての可能性、特にその教育効果や課題について、分析・検討を行った。⁴⁾ 実践の結果からは、実際に金属素材に触れ、鑄物制作の様々な工程を経験する中で、金属に対するイメージが有意に変化し、9割以上の生徒がこの分野に

する興味や関心が向上し、ものづくりの楽しさや奥深さを感じたことが認められ、学校現場における鑄物の教材化は充分可能であることが実証できた。

しかし、授業実践では、授業時数等の関係から、あらかじめ準備した鑄型を彫刻刀やニードルで加工する作業が中心となり、本来、鑄物制作で行っている原型制作や鑄型製作を生徒に経験させることができなかった。生徒たちに多様な鑄造表現の世界をより深く理解させるためには、やはり、原型制作と鑄型製作は授業展開の上で外せない非常に重要な工程であると考えた。

筆者は、自己の発想が様々な工程（原型制作、鑄型製作、鑄造）を経て、新しい素材（金属）に生まれ変わる過程を体験することは、生徒自身が何かを感じ、何かを認識し、発見する場になると確信する。

本研究では、今までの研究と授業実践における問題点や課題を検討・改善し、CO₂プロセスの特性を活用した鑄造表現の教材化について研究を行った。有意な成果を得たので、以下、ペンダントトップの制作を例に、そのプロセスの概要をまとめてみた。

2. CO₂プロセス

2-1. CO₂プロセスについて

CO₂プロセスは、炭酸ガス型法とも呼ばれ、珪砂に水ガラス（珪酸ソーダ）を粘結剤として加え、よく混練したものを使用して鑄型を成型した後、この鑄型内にガス針等を使い、CO₂（炭酸ガス）を通気させ、水ガラスと

CO₂の化学反応により鑄型を短時間で硬化させる鑄型成型法である。なお、粘結剤である水ガラスが無機質の物質であることから、鑄型は無機質自硬性鑄型に分類される。

2-2. CO₂プロセスの特性

長所

- 1) 作業が速く、短時間で鑄型成型を行うことが可能である。
- 2) 鑄型を乾燥させる必要がない。
- 3) 鑄型乾燥のための焼成炉等の設備が不要で、設備費用がほとんどかからない。
- 4) 高融点金属から低融点金属まで様々な金属に使用できる。
- 5) 乾燥後の鑄型変形がほとんどなく、型の精度が高く、鑄肌が美しい。
- 6) 鑄型の強度が大きく、型の補強材（筋金等）が少量ですむ。
- 7) 鑄造に際し、不快臭が少ない。

短所

- 1) 水ガラスと混錬した砂は、大気中のCO₂と反応して徐々に硬化するので、混錬後の砂は、空気に直接触れないよう容器に密閉しておく必要がある。（密閉した状態で1～2週間貯蔵可能）
- 2) 鑄造後の砂落としが悪い。
- 3) 鑄型に使用した砂の再使用は難しい。
- 4) 鑄型は吸湿性があるので、湿気のある場所に長時間放置しない。

2-3. 鑄型材としての珪砂と水ガラス

鑄型材として使用される珪砂は、山で産出される天然の珪砂と珪岩を粉碎加工した人工珪砂に分類される。いずれも、主成分はSiO₂（無水珪酸）で、鑄物砂の条件である成型性や通気性、耐火性を有する。しかし、珪砂はそれ自体、粘結力が無いので砂粒を粘結させるために各種粘結剤を使用する。CO₂プロセスの場合、水ガラスを使用する。水ガラスは、珪酸ソーダとも呼ばれ、ソーダと珪酸と水の結合体である。珪酸分が多くなるほど粘性が高まる。

3. CO₂プロセスの特性を活用した鑄型成型について

今回の鑄型製作では、CO₂を通気させて鑄型を硬化させる工程を省略し、大気中のCO₂を利用して、常温で自硬化させるものである。これは、液化炭酸ガス（高压ガス）が不要だけでなく、設備面や安全対策にも配慮した方法と言える。そして、CO₂プロセスが空気中のCO₂と反応して自硬するという短所（特性）をここでは積極的に鑄型成型に活用するところが最大の特徴である。

4. その他の材料・工具について

今回のペンダントトップの制作には、前述した珪砂、水ガラスも含め、各工程で主に以下の材料・工具を使用した。

4-1. 原型制作

ポピー油土、コルクボード（大）、カッターナイフ、各種ヘラ（図1）

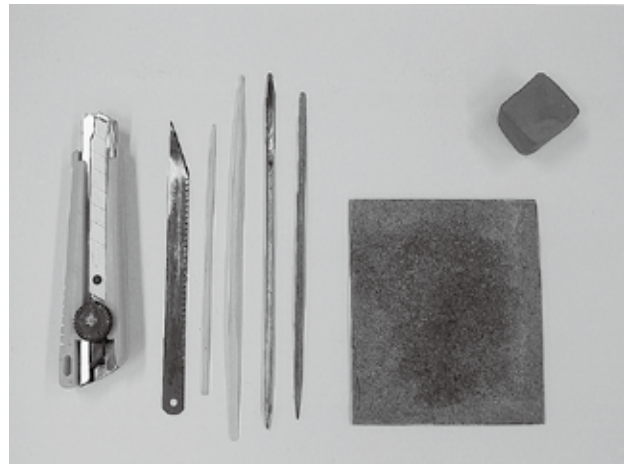


図1. 原型制作用材料・工具

4-2. 鑄型製作

鑄型用型枠、篩（ふるい）、珪砂8号（肌砂）、珪砂6号（荒砂）、筆、刷毛、延べ棒、塗型剤⁵⁾、パーチン粉⁶⁾、古タオル、新聞紙、セロテープ（図2）



図2. 鑄型製作用材料・工具

4-3. 鑄造

低融点合金（ピューター）、カセットコンロ、ホーロー製片手鍋、コルクボード（小）、クリップ、軍手、耐火手袋、割り箸、耐火ボード、耐火レンガ、金属製スプーン、アカ取り用容器（図3）



図3. 鑄造用材料・工具

4-4. 仕上げ

ペンチ、金工用ヤスリ（中目、細目等）、ワイヤーブラシ、真鍮ブラシ、耐水ペーパー各種（＃400、＃600、＃800、＃1000）、金属研磨剤、ボロ布等（図4）



図4. 仕上げ用材料・工具

5. ペンダントトップの制作工程

5-1. 油粘土による原型制作

今回のCO₂プロセスでは、油粘土を直接原型として使う。鑄物制作で使用する原型は、鑄型に転写し鑄造工程を経て、作品化されるものであるから、作り手の制作意図が形に充分反映される必要がある。鑄金では、原型素材として、蠟や石膏を使うことが多い。これは、これらの素材が精密な加工が可能で、特に蠟原型は、加工性の良さから美術・工芸全般で多く使われている。一方、石膏原型は、石膏を芯材等に直付けして作る方法と各種粘土や蠟で原型を作り、これを石膏に置き換えて原型とする方法がある。しかし、蠟も石膏もその素材特性を生かすためには、経験と技術が必要で、原型制作に多くの時間を必要とする。

筆者は、これまでCO₂プロセスを主要な鑄型成型法として作品研究を行ってきた。その鑄型成型の工程で、湯口や湯道に使用した油粘土がその柔らかな素材特性により、刻印性に優れていることに注目し、これを原型として利用する方法を研究してきた。その結果、油粘土を直接原型に使用する場合、中子のある立体物は難しいが、レリーフ状の小品であれば、原型として使用可能であることが分かった。

ここでは、可塑性があり適度に固く、型離れが良いことから、ポピー油土を原型として使用する。

1. デザインが決まったら、コルクボードの上でポピー油土を使い原型を作る。金属になった時の重さやアクセ

サリィとしての機能性を充分考慮し、作品の大きさの範囲や厚みを考えて原型を制作する。※低融点合金は、凝固時の金属収縮が大きく、肉厚が10mm以上の場合、裏面にひけ巣が生じやすいので、今回のペンダントトップでは、原型の肉厚を約5mmに調整し制作した。(図5)



図5. 油粘土による原型制作1

2. 油土原型が完成したら、鋳型用型枠をコルクボードに合わせてセットし、型枠がずれないように型枠とコルクボードをテープで止める。次に型枠の内側面に湯口が密着するように取り付ける。※湯口の形状は、円錐形(上部直径約1cm、下部直径約2cm)を縦2分割したものを使用する。(図6)

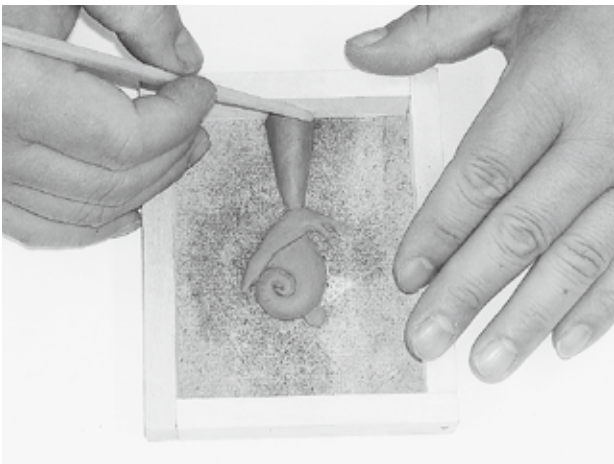


図6. 油粘土による原型制作2

3. 鋳型(鋳物砂)と油土原型が付かないように離型剤としてパーチン粉を筆で原型と湯口にたっぷり付ける。その後、余分な粉は筆で取り払う。※鋳型硬化後に型枠

を外すことを考慮し、型枠の内側面全体にもパーチン粉を塗る。(図7)

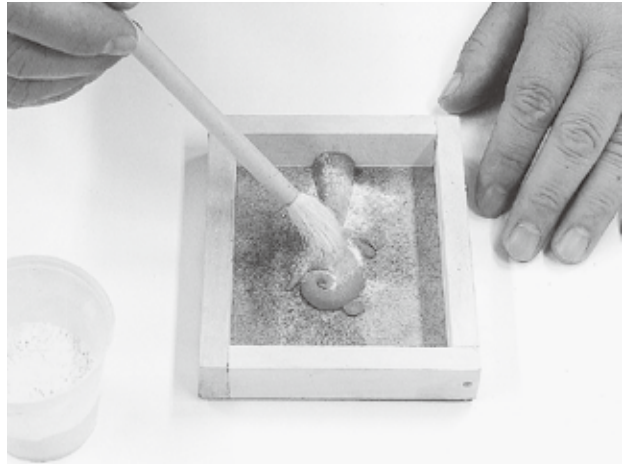


図7. 油粘土による原型制作3

5-2. 鋳物砂を作る

5-2-1. 8号珪砂による肌砂作り

8号珪砂に重量比13~14%の水ガラスを粘結剤として添加し、混練機で充分混練する。混練時間は5分以内とする。肌砂の場合、混練が不十分だと水ガラスのダマが残る、鋳型の刻印性にも影響するので注意を要する。混練後は、直ちに小分けしてビニール袋(小)に入れ、空気を抜いて口を縛り、蓋付きの容器に密閉しておく。

5-2-2. 6号珪砂による荒砂作り

6号珪砂に重量比11~12%の水ガラスを添加し、肌砂と同様に混練する。6号珪砂は、8号珪砂より粒度が大きいので、肌砂と比べると混ぜ易い、珪砂と水ガラスを計量後、大きめのタライやバケツに入れて手(ゴム手袋着用)で混ぜることも可能である。なお、6号珪砂も混練後は、ビニール袋(黒大)に入れて空気を抜いて口を縛り、蓋付き容器に密閉して貯蔵する。

5-3. 鋳型の製作

1. 篩(ふるい)を使い、肌砂を厚さ約5mm程度になるまで原型・湯口を中心に振り掛ける。※篩に砂を入れ、ただ揺すっているだけでは上手く下に落ちていかない。指先で円を描くようにして砂を篩の目にこすり付けるとよい。(図8)



図8. 鑄型の製作1

2. 肌砂を振り掛けた後、指先で丁寧に押すように油土原型に密着させる。この時、あまり強く押しすぎると原型の形が変わってしまい、逆に弱いと刻印性が損なわれるので、鑄型成型では最も重要な作業である。(図9)

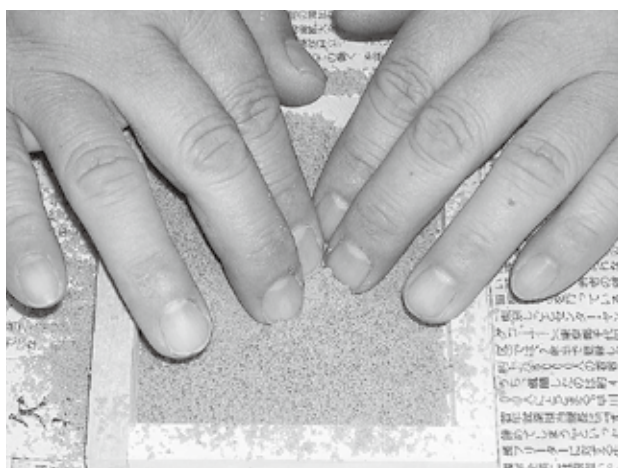


図9. 鑄型の製作2

3. 肌砂押しに引き続き、荒砂を適量手に取り型枠全体に入れて、指先で丁寧にしっかり押し付ける。砂押しは原型を中心に型枠の隅まで砂をしめるように押す。次に型枠の縁まで荒砂を盛り付けて、延べ棒で転がすように圧着させる。四隅の砂押しが足りないと、硬化後型枠を外す時に鑄型が壊れることがある。(図10)

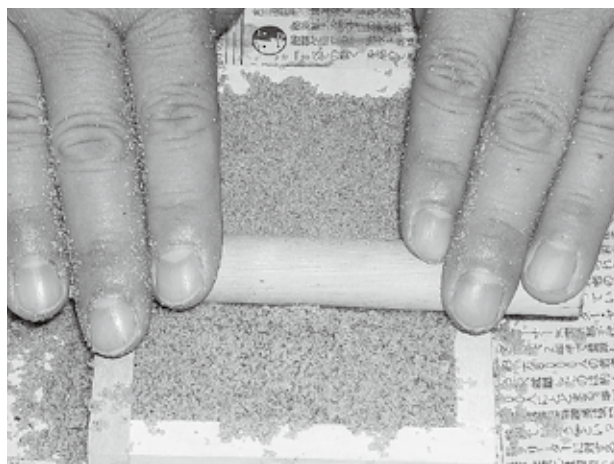


図10. 鑄型の製作3

4. 鑄型完成。通常のCO₂プロセスの工程では、この後、炭酸ガスポンプを使いCO₂を通気させて、鑄型を短時間(約3～4分)で硬化させる。今回は、炭酸ガスポンプを使用しないので、このまま放置し空気中のCO₂と反応させて自然硬化を待つ。今回作った鑄型の寸法(縦8cm×横10cm×厚さ2cm)では、自然硬化4～5日で鑄造に十分な強度を得た。(図11)

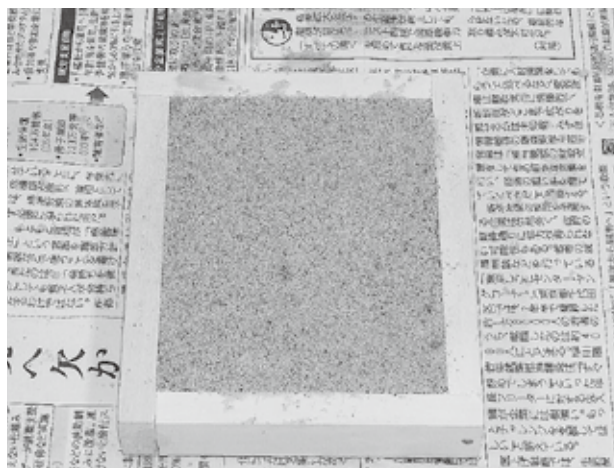


図11. 鑄型の製作4

5. 鑄型が壊れないように注意深く型枠を外す。次に鑄型から油土原型と湯口を取り出す。油土原型は、多少抜け勾配でなくても粘土の特性により、鑄型を壊すことなく原型を取り出すことができる。しかし、前述したパチン粉の作業が適正に行われていないと、鑄型の肌に粘土がこびり付き、刻印性を損なうことになる。(図12)

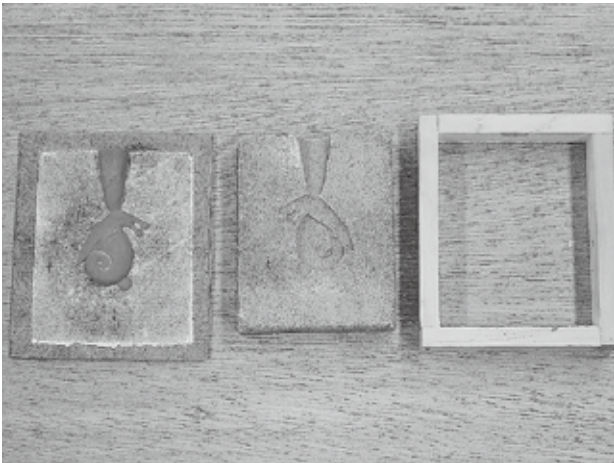


図12. 鋳型の製作5

6. 鋳型の凹部（原型と湯口）に塗型剤を筆でむらがないように塗布する。その後、着火して溶剤中のアルコール分を燃焼させる。(図13)



図13. 鋳型の製作6

5－4. 鋳型の準備

1. 鋳型開口部（裏面）をコルクボード（小）で蓋をして、4箇所をクリップで隙間がないように挟んで止める。(図14)

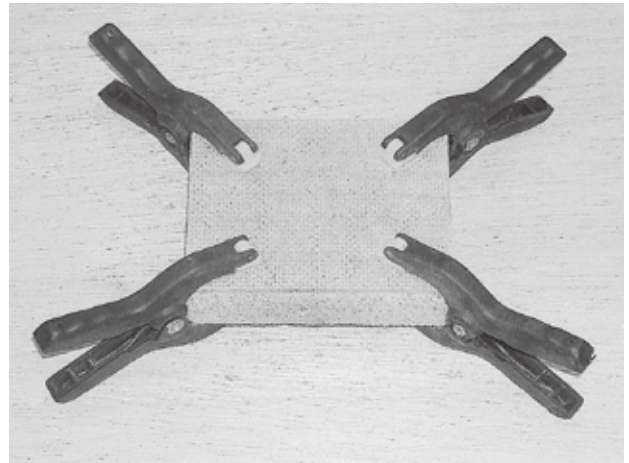


図14. 鋳型の準備 1

2. 耐火ボードの上に耐火レンガを置き、鋳型の裏面を表にして、斜めに立て掛ける。レリーフ状の作品はこのようにすると、熔融金属中の不純物は比重が軽いため、裏面に集まり、鋳物不良を防げる。(図15)



図15. 鋳型の準備 2

5－5. 鋳造

1. ホーロー製片手鍋に低融点合金のインゴットを入れ、カセットコンロで溶かす。溶融時間は約5～10分程度。鋳造適正温度の目安は、溶けた金属を割り箸で軽く攪拌し、割り箸の先が少し焦げる程度が良い。(図16)



図16. 鑄造 1

2. 金属が適正温度に溶けたら、表面の酸化膜や不純物を金属製のスプーンで取り除き、素早く鑄型に流し込む。
※安全対策のため、鑄造時は軍手と耐火手袋を着用する。
(図17)



図17. 鑄造 2

3. 5分程冷ましてからクリップとコルクボードを外し、鑄型から鑄物を取り出す。鑄造後のこの作業も火傷防止のため軍手を必ず着用する。(図18)

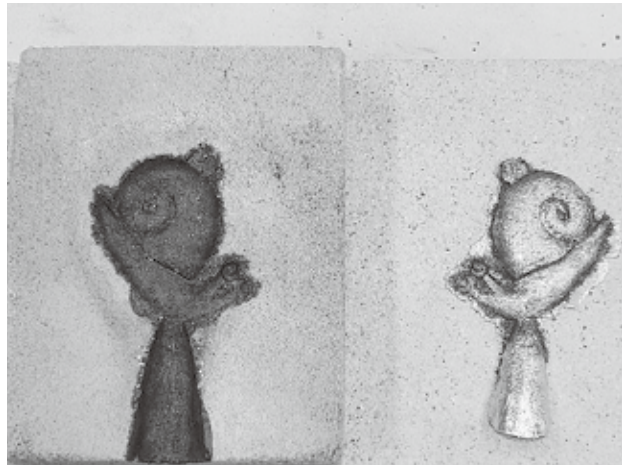


図18. 割り出し

5－6. 仕上げ

1. 鑄物の湯口をペンチで切断する。その後、真鍮ブラシやワイヤーブラシを使い、砂や酸化膜を取り除く。(図19)



図19. 仕上げ 1

2. 湯口の切断面とバリを各種金工ヤスリ（中目，細目等）を掛けて整える。(図20)



図20. 仕上げ2

3. 光沢や艶を出したい時は、耐水ペーパーを400番、600番、800番、1000番の順で掛けた後、ボロ布に金属研磨剤を少量付け磨く。研磨作業は丁寧に時間をかけて行くと、金属独特の表情や存在感が表れる。今回は、鋳物表面に変化を付けるため、研磨後に一部タガネ⁷⁾で鋸目を付けた。低融点合金は軟らかいので、鋳造後の様々な加工（曲げる、叩く、穴あけ等）が容易な素材である。(図21)

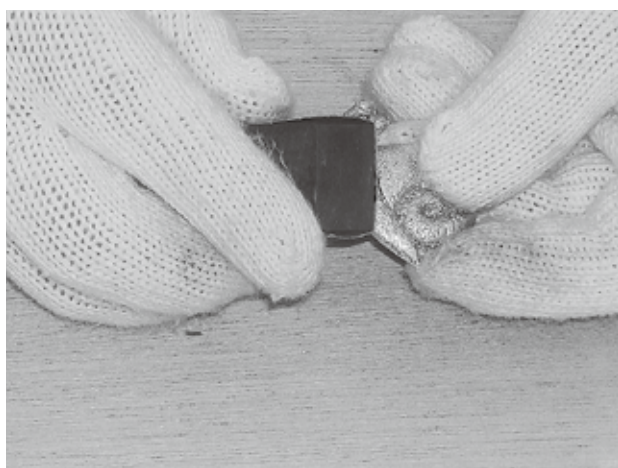


図21. 仕上げ3

4. 作品完成。(図22)



図22. 作品完成

6. まとめ

本研究は、先行研究とそれを基に授業実践を通して表出した、幾つかの課題や問題点を整理・検討し、より学校現場の状況に対応した鋳造表現の教材化を目指すことが目的であった。

先行研究では、低融点合金と耐火石膏鋳型を使うことにより、鋳造設備や作業工程の簡略化に一定の成果を得た。しかし、授業実践では限られた授業時数の中、プロセスの基幹である原型制作と鋳型製作を生徒に充分経験させることができなかった。だが、今回の研究を通して、CO₂プロセスの特性を活用し、原型素材や鋳型材、鋳型成型法を工夫・改善した結果、原型制作から鋳型成型までを現場の授業形態に対応させたプロセスを確立することができたと考える。

特に鋳型成型に関しては、従来の炭酸ガスボンベを使った鋳型硬化の工程を省略して自然硬化の方法を取り入れたことにより、高圧ガスである炭酸ガスボンベ使用による設備費及び安全管理面の問題が解消した。さらに、鋳造設備や作業工程の簡略化も可能となった。

また、この方法では、現在多くの学校現場が週1コマ(小学校45分、中学校50分)で実施している図画工作や美術の授業間隔(次の授業までの1週間)を有効に利用して鋳型を硬化させることが可能である。このCO₂プロセスによる鋳型成型法は、石膏鋳型と比べた場合、刻印性では若干劣るが、鋳型成型が迅速で乾燥・焼成が不要である。刻印性を多少犠牲にしても、教材として余りあ

る多くの効果が期待できる鑄型成型法と言える。

学校現場の限られた設備、限られた授業時数、そして、鑄造を行うのが授業者も含め初心者であることを考えると、CO₂プロセスの特性を活用した鑄造表現は、現場の実状に即応した教材になると考える。

筆者は現在、大学での授業で、このCO₂プロセスを取り入れて授業を展開している。今後も授業実践や実習と教材研究を往還させながら、さらに魅力的な鑄造表現の教材化に取り組みたい。

註

- 1) 原田義明 2007：低融点合金を使った鑄造表現の教材化－耐火石膏を鑄型としたネームプレートの制作－，愛媛大学教育実践総合センター紀要 第25号，P 25－33
- 2) 同上 P 27
- 3) 同上 P 26
- 4) 原田義明 2008：低融点合金を使った鑄造表現の教材化への可能性－附属中学校での授業実践を通して－，愛媛大学教育実践総合センター紀要 第26号，P 43－54
- 5) 鑄型成型では多くの場合、成型後鑄型表面に塗型剤を塗布する。これは、①鑄造後の型離れが良い。②熔融金属のさし込み防止。③鑄肌がなめらかになる。といった効果からである。CO₂プロセスは、鑄物砂の粘結剤として水ガラスを用いるため、乾燥性塗型剤を使用する。ここでは、メタノールを黒鉛と混ぜ塗型剤とした。
- 6) 炭酸カルシウムの粉末にパラフィンまたはステアリン酸を添加したもの。ポーターとも呼ばれ、鑄型成型では離型剤として使われる。
- 7) 株と呼ばれる炭素鋼の棒材。用途（叩く、彫る、切る等）に応じて、先端を様々な形状に加工して使用する。ここでは、先端を丸く削り研磨した坊主タガネを使用した。

参考文献

1. 技能教育研究会編 1964：技能指導 鑄造法 工学図書株式会社
2. 千々岩健児 1980：鑄物の現場技術 日刊工業新聞社
3. 向川信博・松浦正史 1983：ろう型鑄造法のCO₂鑄型法を用いたレリーフの製作，愛媛大学教育学部紀要 第I部 教育科学第29巻 P107－114
4. 鹿取一男 1983：美術鑄物の手法 アグネ
5. 加山延太郎 1985：鑄物のおはなし 日本規格協会