



慶應義塾大学ビジネス・スクール

株式会社キャストム (B)

—ロストワックス製法の概要—

そもそも^{ちゅうぞう}鋳造って？

ロストワックス (Lost Wax) 法^[1] は鋳造法のひとつである。鋳造とは、簡単に言えば、溶かした金属を型に流し入れ、冷やして固めることで製品を作る方法である。鋳造の方法は様々あり、簡単なものは紀元前 4000 年ごろから実施されていたようである。主に、融点が比較的低い金、銀、銅などを用いて、通貨、兵器、工芸品などが製造されていた。日本に入ってきたのは紀元前後であり、奈良の大仏なども鋳造法で作られている。

ロストワックス法は精密なものを作る鋳造法であり、「精密鋳造法」とも呼ばれている。紀元前 2300 年ごろにはすでにロストワックス法で美術品が作られている。工業製品の製造に用いられ始めたのは 1930 年代のアメリカであり、第二次大戦中に兵器の部品製造などで発達した。日本では 1950 年ごろからガスタービンの部材を対象に実用化が進んだ。現在では融点が比較的高い鉄を含め、様々な金属を対象に精密部品が作られている。

ロストワックス法の製造プロセス

ロストワックス法の製造プロセスの概要は次のとおりである。まず、蠟^{ろう} (wax) でオリジナルの型を作る。その蠟の型の外側をセラミックでコーティングし、セラミック型を乾燥させる（その際に湯口と呼ばれる、蠟の型を取り出したり、溶かした金属を入れたりするための口も作っておく）。セラミック型に熱をか

[1] インベストメントキャスト法 (investment casting) と呼ばれることもある。

本ケースは、表題企業の全面的な協力を得て、慶應義塾大学大学院経営管理研究科専任講師の市来寄治が作成したものである。本ケースは、クラス討議の資料として用いるためのもので、経営管理の巧緻を記述したものではない。

本ケースは慶應義塾大学ビジネス・スクールが出版するものであり、複製等についての問い合わせ先は慶應義塾大学ビジネス・スクール (〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉4丁目1番1号、電話 045-564-2444、e-mail: case@kbs.keio.ac.jp)。また、注文は <http://www.kbs.keio.ac.jp/> へ。慶應義塾大学ビジネス・スクールの許可を得ずに、いかなる部分の複製、検索システムへの取り込み、スプレッドシートでの利用、またいかなる方法（電子的、機械的、写真複写、録音・録画、その他種類を問わない）による伝送も、これを禁ずる。

Copyright © 市来寄治 (2019 年 6 月作成)

けて中の蠟を溶出させ（これがロストワックスと言われる理由である）、さらに高温で熱することで、セラミック型を陶磁器のように固めて鋳型を作る。鋳型に溶けた金属を流し込み、冷やす。金属が十分に冷えた後にセラミック型を壊し、中の金属を取り出すと、オリジナルの型と同じ形状の金属製品を作ることができる（厳密には湯口の部分など不要な個所を取り除く必要がある）。

5 一般的なロストワックス法の製造は、以下の 12 プロセスからなる。なお、製品によってはこれらの一部が実施されないこともある。

1. 金型設計と製作 (tooling design and manufacture)
2. 中子^{なかご}製作 (core production)
- 10 3. ワックスパターンの製作 (wax pattern production)
4. ワックスパターン組立て (wax pattern assembly)
5. コーティング (coating)
6. 脱蠟 (de-waxing)
7. 焼成 (shell curing / shell firing)
- 15 8. 溶解と鋳造 (melting and casting)
9. 型ばらしと砂落とし (knock-out and removal)
10. 湯口切断と仕上げ (gate removal and grinding)
11. 熱処理と矯正 (heat treatment and straightening)
12. 検査と品質保証 (inspection and quality assurance)

20 まず、「1. 金型設計と製作」と「2. 中子製作」は、蠟の型（ワックスパターン）を作るために実施する。特に、ロストワックス法で複数製品の製造をする場合、同じワックスパターンを複数、作るために金型が必要になる（図 1）。金型の中に溶かした蠟を注入し冷やし固めることで、ワックスパターンを作成できる（「3. ワックスパターンの製作」）。金型の素材は、融点の低い蠟が対象であるため、加工のしやすいアルミニウムなどが用いられる。

25 中子は中空の製品を作る際に必要になるものである。例えば、ペットボトルの容器のような形状のものを作る際、金型だけだと内部もすべて蠟のワックスパターンができてしまう。しかし、ペットボトルの内側の形状を中子として作り、それを金型の中に位置を合わせて入れてから蠟を注入すると、中子が入ったワックスパターンができる。その後、中子を取り出すことでペットボトルのような中空のワックスパターン
30 を作ることができる。中子は、簡単な構造で取り出しが容易な場合は金型と同じ金属で作られるが、複雑な形状の場合は水溶性のワックスなどで中子を作り、中子入りのワックスパターンを水溶液につけて中子だけを溶出させることもある（例えば、ペットボトルは口の径が本体より小さいので、溶出させないと

中子を取り出せない)^[2]。

なお、ロストワックス法では、製造の過程でワックスや鋳型が収縮するので、その収縮を見込んで金型と中子を設計しなければならない。



図1 金型によるワックスパターン成型
(カスタテム社 Website より引用)

このようにして作ったワックスパターンをワックスのランナー（後で溶けた金属を流し込む道になる部分）に取り付け、湯口（溶けた金属を流し込む口）などを付加した状態にする。これを、「4. ワックスパターン組立て」という（図2）。特に、複数の製品を作る場合は、ワックスのランナーに、複数のワックスパターンを枝のように取り付けることで、一回の製造で複数製品を作ることができる。



図2 ワックスパターン（ツリー）組立て
(カスタテム社 Website より引用)

^[2] さらに複雑な形状の場合は、中子を溶出しやすいセラミックで作り、金属を流し込んだ後、セラミック型を壊す段階で中子を取り出すこともある。

「5. コーティング」では、このようにして作ったワックスパターン（ツリー）にセラミックをコーティングする。一般的には、ワックスパターンをスラリー（slurry）と呼ばれる泥状のセラミックに浸漬し、過剰に付着したスラリーを液切りし、粉状のセラミックを付着させ（図3）、乾燥させる、というサイクルを複数回、繰り返すことで層を作る。この際、ワックスパターンに直接付着するセラミックは、製品の表面の品質に影響するため、平滑さや緻密さなどの高いものを用いるが、外側の層のセラミックは強度特性や熱的性質などのよいセラミックを用いる。この工程には数日を要することがある。



図3 コーティング
(キャステム社 Website より引用)

コーティングされたセラミック型は、「6. 脱蠟」、「7. 焼成」を経て^{いがた}鋳型になる。脱蠟では、オートクレーブ（高圧蒸気により内部を加熱する装置）などを用いてセラミック型を急速に加熱することで、セラミック型内のワックスパターンを溶出させる（図4）。なお、溶出させた蠟は、回収して処理することでリサイクル材として再利用することもできる。その後、セラミック型を炉で約1,000℃の熱で焼成し、鋳型が完成する（図5）。この時、セラミック型内の残存ワックスも燃焼除去される。



図4 脱蠟



図5 焼成

(いずれもキャステム社 Website より引用)

ロストワックス法のメリットとデメリット

メリット

一般的に、ロストワックス法には以下のような特徴があるといわれており、これがロストワックス法の主なメリットである。

- 寸法精度が高い（一般公差は $\pm 0.5\%$ 以下）
- 铸肌（表面）がなめらか（ R_{max} で $2 \sim 20\mu\text{m}$ ）
- 様々な材質を選択できる
- 複雑な形状のものを作れる（コストダウン）
- 強度が高い

精密なワックスパターンを基にして作ることで、切削加工などと比べても製品の寸法精度は高い。铸型を作る際に粒の細かいセラミックを用いることで、切削加工や、一般的な砂型を用いる铸造よりも薄い形状（ 0.5mm 程度が可能）のものを作ることができ、表面もなめらかに仕上がる。

材質については適切な溶解方法を選択すればアルミニウム合金、マグネシウム合金、銅合金、チタン合金、炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼、コバルト基合金、ニッケル基合金など、ほとんどすべての金属材料で製造できる。これは、製品を成型する際に、金型ではなくセラミックの铸型を用いるためである。

また、ワックスパターン成形が可能であれば、基本的にはどのような形にもできるので、上述したような薄い形状のものも含め、他の加工法では製造困難な複雑な形状のものを作ることができる。さらに、複数の部品を溶接などにより組立てて作る部品も、ロストワックス法では一度に成形することができるので、コストダウンにつながる場合がある。なお、大きさについては一般的に直径 $300\text{mm} \times$ 高さ 300mm に収まるものが多いが、日本では最大、直径 $1,000\text{mm} \times$ 高さ 700mm 程度のものが作られている。重量については材質や形状によるが 10kg 以下のものが多く、最大でも 200kg 程度である。

圧延などで加工した製品に比べて製品の部位による強度が安定している。また、溶接などにより組立てた製品のように接着部の脆弱性が生じることもないので、強度が高いといえる。

上述したことに加えて、以下のようなこともメリットといえる。

- 少量品の製造にも比較的容易に応じられる
- 金型を安価で作りやすい（修正も比較的容易）
(プラスチックの射出成型機やアルミダイカストなどと比べて)

- 同じ金型で異なる金属の製品を作れる
- 試作品を早く作れる (rapid prototyping)

金型については、プラスチックやアルミに比べて蠟の融点が低いので、安価で加工の容易な金属（アルミニウムなど）を用いることができるので、材料費や加工費を抑えることができる。また、試作段階など、軽微な設計変更をする際にも金型の追加工が比較的容易である。さらに、金型で成形するのはあくまで鋳型を作るためのワックスパターンであり、鋳型に流し入れる金属を変えれば、ひとつの金型で複数の金属製品を製造できる。

さらに、ロストワックス法ではワックスパターンがあれば鋳型を作れるため、金型は必須ではない。この特徴を活かし、近年、注目されている AM (Additive Manufacturing) の技術を用い、例えば、コンピューター上の設計データから 3D プリンターを用いて直接、ワックスパターンに相当するものを作り、それを用いて短期間で試作品を作ることに取り組むようなケースも増えている。

デメリット

一方で、以下のようなデメリットもある。

- 製品の形状、材料、温度などを適切に制御できないと欠陥が生じることがある
(寸法不良、形状不良、凹凸などの表面欠陥、巣や中子残りなどの内部欠陥、など)
- より精密な形状（小さな穴など）を作るためには追加工が必要になることがある
- 多量の製造には向いていない
- 製造に手間がかかる（リードタイムが長い）

参考文献

1. 一般社団法人 日本鋳造協会 ロストワックス精密鋳造教本編集委員会 編：「ロストワックス精密鋳造法」, 産業図書株式会社, 2015
2. 株式会社キャストム Website : <http://www.castem.co.jp/>

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

不 許 複 製

慶應義塾大学ビジネス・スクール
