



コールドボックス法50周年

ASK ケミカルズジャパン株式会社
石橋 潤史 本間 司 伊藤 仁一

はじめに

Ashland Chemical Company (現在のASK Chemicals GmbH) が、1968年AFS Annual CongressにおいてAshland Cold Box Processを発表、翌1969年に保土谷化学工業株式会社によって日本に導入された。当時は、フェノールレジン・コーテッド・サンドを加熱金型に充填し熟硬化させて鋳型を成形するシェルモールド法が全盛の時代であり、量産中子はほとんどがこれによって造型されていた。省エネルギー、高生産性をうたい文句に導入されたコールドボックス法は、シェルモールド法をたちまちのうちに駆逐してしまうのではないかと危惧されたが、実際には導入後数年はいばらの道を歩むことになる。米国との気候、砂、造型機の違いなどから、米国で開発されたバインダーが、そのままではコールドボックス法本来の性能を発揮することができなかった。バインダーの改良が進むにつれ、徐々に使用範囲が拡大し、自動車、建設機械、一般機械部品の鋳鉄、鋳鋼、アルミ鋳物用中子あるいは主型が生産されるまでになった。

しかしながら、本家アメリカは言うに及ばず、日本と同時期にコールドボックスが導入されたヨーロッパと比較しても、日本における普及率はおよそ3分の1程度にとどまっている。つまり、コールドボックス法が日本の鋳造業界にもたらし得る利益が実現できていないのである。以下、導入以来コールドボックス法が経験してきた問題点/解決策を検証し、50年を経た現在の実力を明らかにしたい。

1 コールドボックス法の概要

1944年にドイツで開発されたシェルモールド法が、1952年に米国で現在のレジンコーテッドサンド(RCS)を、熟した金型に充填し硬化させる方法が確立すると、1953年には、シェルモールド法よりも消費エネルギーが少なく、生産性が高いホットボックス法が相次いで導入された。以後、これら両プロセスが自動車部品をはじめ

とする量産鋳物用中子、主型の造型法として急速に普及する。しかし、米国の鋳造産業の特質ともいえる、さらなる生産性向上の要求が新しい造型プロセスの開発を促し、1968年に至ってアシュランドコールドボックスプロセス(以下「コールドボックス法」)の誕生を見る。

コールドボックス法は、溶剤で希釈されたフェノールレジン(ポリ-ベンジリック-エーテル-フェノールレジン)をPart I、同様に溶剤で希釈されたポリメリックジ-イソシアネート樹脂をPart IIとして、これを砂と混合し金型に充填し、気化させた第3級アミン触媒を通気させることによって、金型を加熱することなく極めて短時間で硬化させて成形する方法である。

Part I/Part IIにアミン触媒加えてフェノールウレタンコールドボックスバインダーシステム(以下「PUCBバインダー」と称される。ポリウレタン樹脂は、その強固かつ強じんな特性から一般的に広く使用されている。PUCBは、Part Iを前述の特殊な変性フェノールレジンとすることにより、ポリウレタン本来の特性に加え、耐熱性を付与した、まさにうってつけの鋳型用バインダーであった。このPUCBバインダーに基づくコールドボックス法は以下に挙げる基本的な特性を持つ。

- ①従来法のいずれと比較しても造型スピードが速く、生産性が高い。
 - ②常温硬化性であるので、
 - ・消費エネルギーが少ない
 - ・金型の膨張、収縮、変形が少なく、鋳型並びに製品鋳物の寸法精度が高い
 - ・金型(鋳鉄、鋳鋼、アルミ)、木型、樹脂型など型材質の選択範囲が広く、また 製作費も安価
 - ・多品種少量の鋳型生産にも対応可能
 - ③鋳型の崩壊性が良く砂落としが容易
 - ④造型作業環境の改善
- 以上のように、ホットプロセスと比較して明らかな優位性を裏付けに、米国およびヨーロッパでは以後、自動車





コールドボックス法で製造した品質の良いアルミニウムシリンダーヘッド

用鉄物部品中子を皮切りに、急速に普及する。

2 日本への導入初期

米国での発表の翌1969年、早くも日本に導入されたコールドボックス法は、あたかも黒船の来襲のごとく受け止められた。そして、1社により技術が独占されるのは、独禁法上よろしくないとの理由から、日本铸造協会（当時：铸造技術普及協会）を通じて10社を超えるレジンメーカーに、関連特許技術の使用が許諾される事態となつた。

铸造産業界からも大きな期待を持って受け止められ、多数のレジンメーカーからPUCBバインダーの供給を受け評価が始まられた。多くの鉄物メーカーでは、木型に手込め、またはコアシューターによって砂を充填後、ボックス型造型機により硬化させる方法により、あるいは最初から本格的造型機を導入して評価する鉄物メーカーも少なからずあった。鳴り物入りの新技術評価であったが、コールドボックス法の利点を見出し実生産に移行したのは比較的少数の鉄物メーカーに限られ、大方の評価結果は低く、多くは撤退した。その後は、あたかもコールドボックス法推進派と反対派に分かれ、前者は使用範囲を拡大し、後者はほぼ完全に背を向けるといった極端な状況が長い間続くことになる。導入初期に出来上がったコールドボックス法のイメージは、当初喧伝されたその利点に反し、概ね以下のようなものであった。

- (i) 造型強度が低い
- (ii) 硬化時間がさほど早くない
- (iii) 造型の耐熱性/熱間強度が低い
- (iv) ガス欠陥が多い
- (v) 生型砂の性能を低下させる恐れがある
- (vi) 造型現場のアミン臭が強く不快

これらのマイナスイメージは、現在に至ってもなお根強い先入観として尾を引いているのであるが、コールドボックス法に対する正当な評価とはいえない。しかし、初期にこのようなイメージが出来上がったのにはそれなりの理由があったこともまた確かである。下記にその原因と

なった背景と、現在は改善され解決していることを示す。

(i) 強度

まず目が向けられたのはバインダーである。バインダーの粘結力が弱いから造型強度が低いとするものであるが、PUCBバインダーのウレタン結合は本来きわめて強固である。導入初期にこそ、米国の処方通り製造したバインダーを使用すると、日本の砂では十分な強度が出ないと問題が発生した。しかし、日本の砂でも十分な強度を出せるバインダーの開発に、さほど時間はかからなかった。そしてその後も改良が進み、日本製のバインダーが強度特性において、米国およびヨーロッパ製のバインダーに劣ったことは一度もない（当社比較）。

しかるに、バインダー以外に造型強度を大きく左右するのは混練砂の充填密度である。国内の天然珪砂は、粒形が角ばったものが多く、高い充填密度が得にくい。加えて、PUCBバインダーの混練砂は湿態であるため、シェル砂（RCS）と比較すると流動性が劣る。これがコールドボックス法の造型強度が低いとされた主たる要因である。つまり、湿態の混練砂に十分な流動性/充填性を与えるのに必要な、豊富な空気の流れを生み出すのに必要な、中子取り型の排気ベントが圧倒的に不足していた。ホットボックス法も同様に湿態砂をブローして成型するので、同法が主流であった欧米ではこの問題を経験済みであり、コールドボックスへの転換は、日本におけるほど大きな問題ではなかった。それでも、コールドボックス法の型設計の最適化に3～4年を要したようである。

(ii) 硬化時間

PUCBバインダーシステムの硬化反応は極めて速く、Part I/IIを砂と混合し、これに触媒アミンガスを接触させると瞬時に硬化する。硬化に時間がかかったのは、前項でも触れた中子取り型のベントが不足および/または配置が不適切であったことが主たる原因である。また、型の割り面が適切にシールされていないと、アミンガスの漏洩が起り、硬化を遅らせる。さらに、初期の造型機は、ガス発生器から型に至る配管が細い、長いなどの問題があり、型のベント不足と相まって、ガス化したアミンが配管内で凝縮/液化し、十分な量のアミンガスが型に届きにくいという側面もあった。

(iii) 耐熱性/熱間強度

造型の耐熱性/熱間強度は、一般的に、焼着、差しこみ、洗われ、あるいはすぐわれなどの鉄物表面に出る欠陥に対する耐性であると言え換えることができるであろう。有機造型は有酸素雰囲気においては、バインダーの種類を問わず250°C～400°Cではほぼ完全に分解する。しかし、ほとんど無酸素状態の溶湯との界面においては、ポリマー骨格が炭化した状態で相当な強度を保持する。PUCBバインダーは中でも高い熱間強度を持つバインダーである。しかし、造型の充填密度が低いと、バインダーの熱間強度に関係なく、様々な表面欠陥が発生する。充填密度が低く、強度が出ないとバインダー添加量を増やして強度を上げがちであるが、これは、中子の常温強度を上げる効果はあるものの、铸造性の改善には逆

効果である。むしろ、レジン添加量の増加は、金型へのレジンしみつき、ペントの目詰まりを助長し、清掃のためのダウントIME増による生産性低下につながる。さらに悪いことには、表面欠陥にとどまらず、ガスやすすによる欠陥発生の潜在性を高めかねない。中子は、バインダー添加量が低く、充填密度の高いものが最善である。

(iv) ガス欠陥

ガス吹かれ、プローホール、内部ピンホールなど、ガス欠陥にはいろいろな種類があり、その原因も多岐に亘る。ガス吹かれやプローホールは、バインダーの種類に関わりなく、溶湯ヘッドの高い低い、鋳造方案、あるいは溶湯の性状が原因であることが多い。コールドボックス中子にかけられた疑いは、もっぱら窒素ガスによるピンホール欠陥であった。PUCBバインダーのPart IIの主成分であるポリイソシアネートには窒素が含まれており、これが熱分解によって遊離して溶湯中に溶解しピンホール欠陥を生成するというものである。しかし、PUCBバインダーは、Part I/Part IIの添加比率が本来の50:50から大きくそれて40:60あるいは35:65程度にならないと、バインダーが原因のピンホールが出ることがほとんどないのである。実際、過去に分析を行ったピンホール欠陥は、ほとんどが溶湯中の高含有量のアルミニウム、型被せ後に起きた結露、あるいは塗型の乾燥不十分によると思われる水素、あるいは酸化物系スラグの還元によって遊離した酸素を原因とするものがほとんどであった。

(v) 生型砂の性能低下

コールドボックス法鋳型は型ばらし後の崩壊性が非常によく、中子砂が生型砂に混入しやすい。のために生型砂が性能の低下きたすのではないかとの懸念が持たれたのである。しかしこの懸念は、導入初期から継続してコールドボックス法を使用している鋳造工場ではさほど、もしくはほとんど問題にならなかった。中子砂の混入量が生型砂の30%を超えるければ、新砂の混入とみなしてクレー、水などの調製を行えば問題がない。しかし、コールドボックス法ユーザーの多くは、中子砂が、生型にできるだけ混入しないようなライン構成として、中子砂を分離して、再生、再使用するケースがほとんどである。

(vi) アミン臭

前述のように、当初の中子取りには割り面のシールがほとんど使われておらず、アミンガスの漏れがひどかった。加えてペント不足のために、エアーパージが不十分で、抜型後の中子に残留するアミン量が多かった。臭いが強烈で、毒性があるのでないかと危惧するのも当然であった。この頃日本にはトリエチルアミンの許容濃度などの安全衛生管理基準がなく(現在もない)米国のACGIHが定めるTLV-TWA(8時間加重平均ばく露値)5 ppmを援用していた。2001年に1ppmに変更されたが、1 ppmでも耐えがたい濃度である。しかし、実際のところ、眼、皮膚への刺激性以外、急性毒性、慢性毒性は確認されておらず、コールドボックス中子造型現場は、作業者が熱、フェノール、ホルムアルデヒド、BTXなどの熱分解ガスに曝されるホットプロセスの中子造型現場と比

較するとはるかに安全性が高いといえる。

3 成長期 一 現在まで

導入後、数年が経過した頃、日本での普及が遅いとみてAshland社(現:ASK Chemicals)は頻繁に技術者を日本に派遣し、セミナーや、ユーザーを訪問してコールドボックス法の技術指導を行なった。その内容は、主として砂吹込み、ペント、および割り面のシーリング等、型の方針に関するものであった。すでにお気づきのとおり、先に述べたコールドボックス法に対するマイナスイメージは、生型砂に関するものを除き、すべて型の不備に起因するものであったといつても過言ではない。コールドボックス法の基本要素はバインダーであるが、そのバインダーの性能を発揮させるのは型設計次第なのである。

この点に関する理解が深まるにつれ、コールドボックス法の使用が拡大する。当初から積極的にコールドボックス法の採用に取り組んだ鋳物メーカーでは、徐々に適用品目を拡大していた。自動車のエンジンブロック、足回り部品、建設機械部品等の中子がシェルからコールドへと徐々に置き換わっていったのである。硬化速度が期待したほど速くないとはいえ、シェルモールド法に比べほぼ2分の1のサイクルタイム、金型の予熱の省略、交換に要する時間の大大幅短縮など、中子の生産性の向上、並びに案に相違して鋳造性が良いことなどが認められ、その牽引力となっていたことは言うまでもない。

1980年に入ると、V型エンジンの中子パッケージ化や、接合造型による複雑形状中子の一体化にコールドボックス法が適することが見いだされ、使用範囲が大幅に拡がった。その後、乗用車用エンジンのアルミ化が進むにつれ、この分野でのコールドボックス法の使用が減少に向かう。しかし、2000年代に入ると、コールドボックス中子の特性を最大限活用した独特の中子パッケージによるアルミシリnderヘッドの鋳造、また主型/中子ともにコールドボックス法を使った薄肉鋳鋼製ターボチャージャーハウジングの鋳造など、コールドボックス法なればこそ可能となる、高精度、薄肉鋳造品用の鋳型分野へと新たな適用の拡大を見た。

現在、コールドボックス法で造型できない鋳型はほとんどなく、鋳鉄、アルミ、鋳鋼製の自動車用鋳物から鋳鉄管等々、その適用範囲は多岐に亘っている。ここで、コールドボックス法がここまで普及するに至った理由をシェルモールド法との比較的観点から見てみると、やはり大きなコストダウンである。具体的には以下のようになる。

- ・ 造型スピードが速い - 2倍以上
- ・ 材料(砂、レジン、触媒)コストが安い
- ・ 労務費が1/2~1/3
- ・ エネルギー消費量が約1/7
- ・ 型費が安い - 製作費が安く、補修頻度も低く、寿命も長くなる
- ・ 鋳型の寸法精度が高く、薄肉、高精度鋳物の鋳造が可能

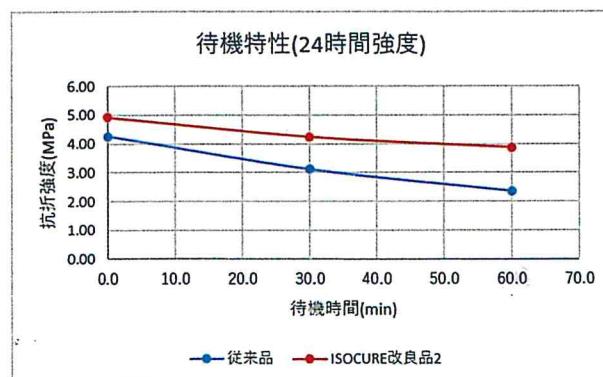
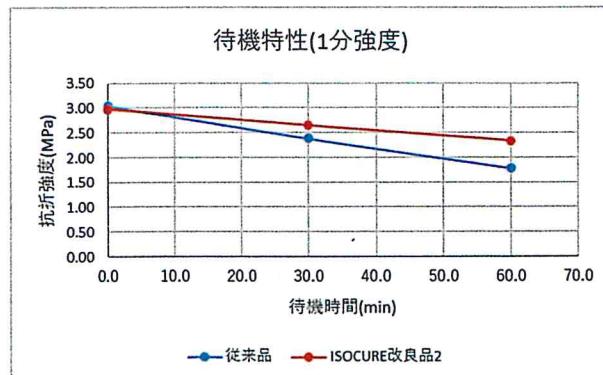
- ・ 造型現場の作業環境改善
また、日本におけるコールドボックス法の普及には、バインダーの改良、進歩が大いに与ってきた。導入初期、コールドボックス法の普及が進まない原因はPUCBバインダーのせいであるとされた。具体的には

- ・ 鋳型強度が低い
- ・ 混練砂の可使時間が短い
- ・ 熱間強度が低い
- ・ 鋳型の耐湿性が低い、というものであった。

以来、改良に次ぐ改良の連続であり、今日に至ってもなお同じである。先にも述べたが、米国で開発されたバインダーは、そのままでは日本の砂、気候には適合できなかつた。よつて、改良というより、実質的に日本独自のバインダー開発となつた。

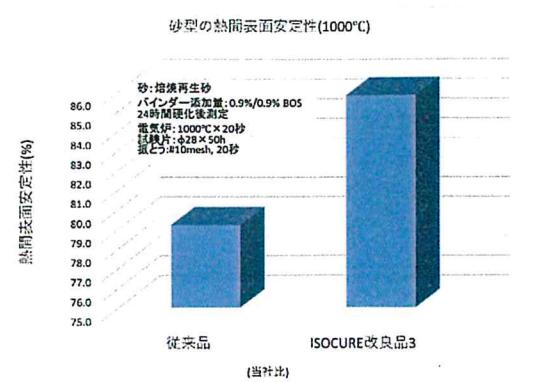
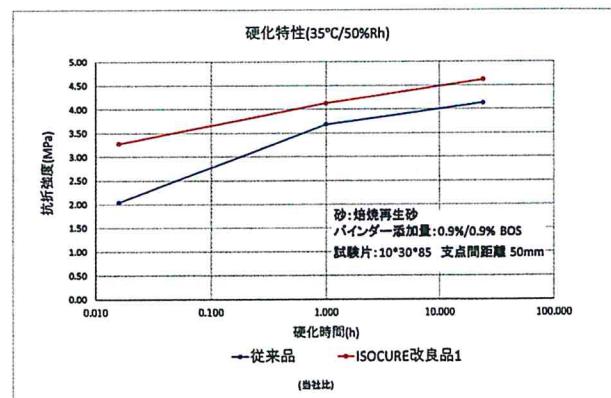
強度 - PUCBバインダーは、Part I/IIともにレジンの溶剤溶液であるため、鋳型の抜型時強度は比較的低く、溶剤の蒸発とともに高くなり、常温では24時間で2ないし3倍まで上昇するのが特徴である。対して、シェル鋳型は抜型時にすでに相当高強度に達しており、冷却とともに急速に最終強度に達する。下図は、最新PUCBバインダーと従来品の強度特性を比較したものであるが、前者は抜型直後強度が高く、バインダー添加量を下げても十分なハンドリング強度が得られるものとなつてゐる。古くは、バインダー添加量2%以上が一般的であったが、徐々に低下し、近時は1.8%から1.6%程度まで下がつてきつてゐる。

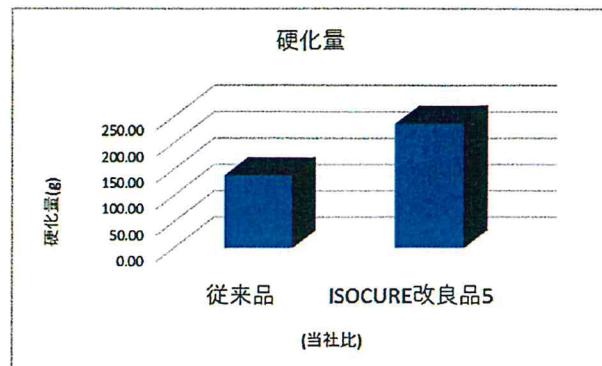
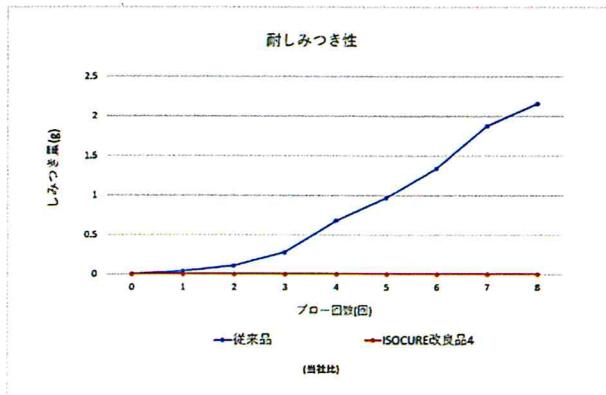
可使時間 - PUCBバインダーは砂と混練した状態で放置しておくと、硬化触媒と接触しなくとも徐々に硬化反応が進行し、造型しても鋳型強度が低くなる。鋳型が使用に耐える時間の限界を可使時間といふ。可使時間は、砂の酸消費量、温度、湿度などに大きく影響される。導入初期には、夏季には昼食休憩の時間を持ちこたえられないといふことも頻発したが、現在では、滅多にそういうことはない。下図は、長可使時間型PUCBバインダーの一例である。



耐熱性 - 鋳型の耐熱性もしくは熱間強度は、充填密度に左右されると先に述べた。しかし、鋳物によつては、鋳肌あるいは表面粗度に対する要求上、ベントを十分つけられないという事情が生じる。我が国においては特にその傾向が顕著である。そのため、バインダー自体の熱間強度を上げることが要求された。改良に改良を重ねて、現在は下図に示す水準に達している。この試験は、鋳型を不活性ガス中で1000°Cに加熱保持した後、金網状で振盪にかけて残った鋳型重量を測定する。鋳型/浴湯界面における状態を示すものではないが、耐熱性の目安とはなるであろう。

上記以外にも、しみ付き性の改善、充填密度あるいは硬化性の向上などの面でバインダーの改良が進み、コールドボックス法の普及促進に少なからず貢献している。





3 これからのコールドボックス法

コールドボックス法が鋳造業界に紹介されて以後、今後はコールドボックス法の時代とばかりに加熱型を使わない造型法が次々に発表される。まず、1975年のフラン/SO₂法、1984年エポキシ・アクリル/SO₂法とアルカリフェノール/ギ酸メチル法、1989年アルカリフェノール/CO₂法、そして1999年のエポキシ・アクリル・フェノールウレタン/アミン法である。しかし、いずれも本格的な普及を見ることなく、フラン/SO₂法のように日本ではすでに消滅したものもあり、今後も大きく発展するとは思われない。

鋳型造型法に求められる造型性、鋳造性、経済性および環境性を総合的に満足させることができる造型法がコールドボックス法のほかに、予見可能な将来に現れるとは考えられない。しかもコールドボックス法にはまだ大きく改善する余地がある。たとえばより低いバインダー添加量でより高い強度の鋳型を造型できれば、コールドボックス法はすべての性能面で向上する。ASKは、高強度で、造型から鋳造に至る全工程を通じて、VOC、BTX、遊離フェノールおよびホルムアルデヒドなどの有害排出物の発生を、現在の環境基準をはるかに下回る水準に抑制することが可能な新規バインダーを、すでに欧州では一足先に実用化している。これは、高強度、高硬化量、高耐熱性といった特性を持つ環境対応型バインダーシステム“ECOCURE（エコキュア）”である。現在は、やはり日本の使用環境に適合するバインダーシステム、い

うなれば“ASK Japanバージョン”的確立に向けての開発ならびに量産化条件の最適化を鋭意進めている段階である。

また、近年、砂のブローアイングおよび硬化のコンピューター・シミュレーションによる金型方案の最適化が可能となり、使用が徐々に拡がっている。先にも述べたように、型方案はコールドボックスの性能を大きく左右する要素であるが、まだ十分理解されているとはいがたい。コンピューター・シミュレーションで最適化された型は、バインダーと相乗的に働き、コールドボックス法の造型性、鋳造性、経済性および環境性のすべてを、もう一段高い水準に押し上げると期待できる。

おわりに

鋳造部品に対する薄肉軽量化とコストダウンの要求は、今後も決して止むことはないであろう。また、鋳造工場に適用される環境規制は今後ますます強化が予想される。コールドボックス法が、これらの継続的な大命題にとって、主要なソリューションであり続けることは疑う余地のないところである。

コールドボックス法の過去50年、現在および将来を概述したが、すでにコールドボックス法を実施しているユーザーのみならず、これからコールドボックス法を採用される将来のユーザーが、コールドボックス法を最大限活用するためのご参考としていただければ幸いである。

JFS Inc

