アルミニウム合金の金型鑄造

小松 二郎*

Progress of permanent mold aluminum castings

Jiro KOMATSU*

1. はじめに

大正年代の末期、萌芽をのぞかせた我が国アルミニウム合金鑄物の生産は、その後約60年幾多の変遷を経て今日の隆盛をみるに至っており、砂型鑄物、金型鑄物、ダイカストがその三大分野をなしている。初期から戦時中を経て戦後の再建期までは砂型鑄物が主流であり、高度成長期以降は需要の急増と技術の進歩に支えられてダイカストが飛躍的な発展をして今日の主流をなしている。その間金型鑄物は当初から特殊な製品、あるいは砂型鑄物の補助的方式としての位置をつづけてきたが、戦後復興に立ち上った各種機器の量産に高品質素材を提供すべく次第にその分野を拡大していった。オートバイや自動車の生産の隆盛とともにその部品の素材製造にとって不可欠の鑄造方式となり、今日では高品質量産鑄物生産の支柱をなすに至っている。

ここではこの金型鑄物60年の歴史を幾つかの製品を例示しつつ、その開発研究に努めた道程の一端を振りかえってみる。

2. 金型鑄物生産のたどった経過

金型鑄物のたどった60年の歴史をみると3つの時代に大きく分けることができる。第1の時代は昭和初期から終戦に至る約20年間、この時期は簡単な小物の鑄造に限られていた揺らん期を経て、昭和10年頃から以降軍需の拡大につれて次第にその生産量を増してきた期間である。砂型鑄物が主体で金型鑄物はいわば補助的鑄造法の位置にあったものの、今日からみてもかなり高度な技術を駆使した、特殊な高品質金型鑄物の幾種類かが作られていた。このことは今日の高度な金型鑄物技術の芽がすでにこの時期に芽生えていたことを感じさせるものがある。

第2の時代は、終戦による壊滅の空白期間を経て、やがて造船、光学機器、農業機械、モーターバイク、住宅

機器など各種の再建産業、新興産業の隆盛につれて軽合金鑄物の需要も急速に回復していった。この中にあつて金型鑄物もその本来の特質を発揮して高品質、量産性で各分野に大きく寄与できるようになった。再建の時期から昭和40年頃までの約20年間とみることができる。この時期においてはシェル型法、低圧鑄造法などの新技術も導入開発されて、次への飛躍の準備が行われた時期でもある。

そして第3の時代は、その後今日に至るまでの20年間である。高度成長期、各産業界の活況、中でも自動車（二輪および四輪）生産の飛躍的拡大、そして開発研究が進められてきた各種鑄造新技術、中でも低圧鑄造法の量産への実用化、この需要の拡大と金型鑄造技術の進歩が両々相俟つて金型鑄物はいよいよその真価を発揮して軽合金鑄物の中で不可欠の方式として主流をなすにいたつて今日におよんでいる。

3. 昭和10年以前

金型鑄物、ダイカストはもちろんのこと、砂型鑄物さえまだ揺らん期にあつて、合金の溶解方法や鑄造方案の研究開発に重点がおかれていたこの頃（昭和5年頃）金型鑄物に関する限りその高い鑄造技術がいまだに今日性を失っていないかに思われる一つの製品が作られて、その製品の一つが現存しているのを見ると（写真1）数少ない需要にもかかわらず全く経済性を超越してただ技術開発一筋に心血を注いだ先人の努力の結晶を見る思いがする。比較のために写真2に最近の金型鑄造品の一例を示したが、この両者の間に50年の歳月が経過しているとは思われないものを感じさせる。写真1のほうは中子に砂型を用い、写真2のほうはシェル型中子を用いた低圧鑄造法によっている。合金は前者は耐熱性はあるが鑄造性がやや劣るAC5Aを用い、後者は鑄造性の良いAC4Bを用いている。

この時期一般に金型鑄造で作られていたものはほとんど

* (株)東京軽合金製作所（行田市）顧問。Tokyo Light Alloy co. Ltd. (Gyoda).
受理日：昭和60年4月30日。

写真1 特殊発動機シリンダーヘッド（昭和5年）
重量 60 kg 合金 Y 合金（AC5A-T₆）

写真2 大型オートバイシリンダーヘッド（昭和55年）低圧鋳造。重量 9 kg 合金 AC4B-F

ど簡単な形状のものが多く、例えば各種機器類の部品の素材としての小さな丸棒やパイプなどの類であり量的にも微々たるものであった。

4. 昭和10～20年頃

軍需の拡大につれて金型鋳物の生産も増加の一途をたどっていったが、やはり複雑な形状のもの、大型のものは砂型鋳物の独壇場で金型鋳物の占める割合は微々たるものであった。軽合金鋳物の最大の需要先であった航空発動機の場合もそのほとんど全部が砂型鋳物であり、今日の自動車エンジンの主要部が金型鋳物であるのと比べて文字通り隔世の感がある。

しかしこのような時期においてもようやく金型鋳物の特質が認められ、特殊な製品には量産用としても用いられ始めた。低膨脹係数のローエクス合金（AC8A）を用いた戦車用エンジンのピストンは一貫して金型鋳造で生産され、金属ナトリウムによる溶湯処理技術も完全に安

定したものになった。高ケイ素過共晶合金のピストンへの試用も試みられたが当時まだ燐による初晶ケイ素微細化技術が知られていなかったので切削不可能で実用化するには至らなかった。

また各種算定機器据付用基板の素材として強力、健全で切削性のすぐれた大型軽合金板の要求に応じて、1,000×2,000×40 mm を始め各種サイズの板が大量に鋳造された。これには回転式水冷金型を用い、切削性をよくするためにチタンを添加して結晶粒を微細化した Y 合金（AC5A）が用いられた。

航空機エンジンの緊急増産の叫ばれていた戦時中、空冷シリンダーヘッドの鋳造は専ら油砂型方式に依存して細かいピッチの薄肉冷却フィンの鋳出しに苦心していた。その中にあつて、いわゆる真空鋳造すなわち減圧式金型鋳造法を成功させたことも鋳造業界としては注目に値するものであった。

5. 昭和20～30年頃

航空関係をはじめ全面的に軍需に依存していた軽合金鋳物の生産は終戦と同時に一挙に崩壊し、廃材を利用した日用品の砂型鋳物が細々とつづけられただけで金型鋳物はほとんど姿を消してしまつた。しかし数年の空白混乱の時代の後によりやうく各種産業の復活のきざしが見えはじめ、造船、光学機器、農業機械などが復興の先駆となった。

これらの分野の生産の増加に伴つて軽合金金型鋳物も再び登場する機運にめぐまれ徐々にではあるが金型鋳物の特質を生かした方面への応用を広げはじめた。写真3

写真3 コネクティングロッド 重量 0.7～1.2 kg
合金 AC2B-T₆

はその頃いち早く量産の軌道に乗っていた各種農業用機械のエンジンのコネクティングロッドの鋳物とその金型である。高力と韌性、そしてわずかの鋳造欠陥も許されない製品であるだけに金型鋳物が選ばれ、合金としては鋳造性と機械的性質にすぐれたAC2B-T₆が用いられた。この頃はアルミ新地金の供給も再開されており、合金の配合はすべて新地金を用い金属ナトリウムを添加して結晶粒微細化処理を行うなど合金の溶解には細心の注意がはらわれている。

写真4 はカメラの交換レンズ用鏡筒の素材であり、良好な切削性と耐食性を必要とし一点のピンホールなども許されないためアルミニウム-マグネシウム耐食性合金の金型鋳物が用いられている。

またこの年代の中頃には大戦中ドイツで開発され米国でも普及をみつつあつたシェルモールド法の技術導入が行われた。従来の砂型造型法の概念を一変させたこの方式は急速に普及発展して、シェルモールド鋳造法として鉄、非鉄を問わず広く用いられるに至つた。一方軽合金金型鋳造では、中子として複雑な形状の鋳物の鋳造に、また生産性の向上に大きな効果を発揮して、その後も改良を加えられつつ今日までつづいて使用されている。

またこの年代の終り頃には、金型の開閉に油圧を用いる鋳造機が作られ従来の手動開閉式の金型に代つて省力、生産性向上に効果を挙げ、将来大型化、多数個取、自動化へと進む端緒となつた。

6. 昭和30～40年頃

壊滅混乱を経てぼつぼつ再建の萌芽を見せはじめた20年代につづいて産業界はこの時期ようやく安定から拡大への途を歩みはじめ、隆盛を極めた耕うん機、トラクターなど農業機械に替り、モーターバイク、スクーターなども急速に普及して活発な生産が数多くのメーカーで展開された。これについてオートバイの生産も活況を呈しはじめ、軽四輪車に始まる自動車の生産も緒につきやがて来る自動車業界大飛躍の第一歩が踏み出されている。

写真4 交換レンズ用鏡筒 重量0.3～0.8 kg
合金 AC7A

住宅関連、建設関連機器の需要もこの時期に高まりをみせてきた。

これら各業界からの軽合金鋳物の需要も急激に増加の一途をたどり、金型鋳物も強力、耐圧、精密など高品質と量産性を生かして本格的生産の時期に入つた。

写真5 はトラクター用エンジンのシリンダーヘッドの金型鋳物で西独から導入されたエンジンの国産化されたものであり、Mg5%、Si1.1%、Cu0.5%、Mn0.2%、Ti0.1%、Be0.06%およびAl残の組成をしたシリンダーヘッド用としては我が国では珍しい合金が用いられ、シェル中子4個、鉄いぐりみ2個を用い耐圧試験は3 kg/cm²で行われた。

写真6 は住宅用ガス風呂釜の熱交換器の金型鋳物で、合金は鋳造性耐圧性耐食性を考慮してシルミン(AC3A)を用い、水路のジャケット部にはシェル中子を用いている。吸熱フィンには純アルミニウム板を用いて鋳造の際に鋳ぐるんでいる。

このほか、この時期にはスクーター、農発などの生産増加に応じてそれらのクランクケースなどが次々と金型鋳造に転換していき、生産の緒についた小型自動車のク

写真5 トラクターエンジンのシリンダーヘッド
重量4.95 kg 合金 Al-Mg5-Si1.1系合金

写真6 風呂釜用熱交換器 重量1.0 kg
合金 AC3A フィンは純アルミ

ラッチハウジングなども金型鑄造の対象となった。また各種の車両や産業機械に用いられる油圧部品にも金型鑄物の特質が認められた。

この時期に金型鑄造として特筆すべきことは昭和36年にはじまった低圧鑄造法の導入である。この方法は大戦中イギリスのアルマスク社で開発され、戦後同社でアルミ製ビール樽などの製造に用いられていたが、西独のカールシュミット社、オーストリアのベルガー社に移ってシリンダーヘッドその他機械部品の鑄造に応用されて成果をあげ、アメリカのゼネラルモーター社でも小型自動車のシリンダーヘッド鑄造に採用されたことがある。我が国にも昭和35年頃からその情報が入り、翌36年オーストリアにおける国際鑄物会議で当時の実情が公表されたのを契機に急速に関心が集まり、同年末には小型の低圧鑄造機が作られ小型の空冷シリンダーヘッドの試作に成功し、翌37年には量産を始めるほどの急速な展開をみせた。写真7は当時我が国ではじめて製作された低圧鑄造

機であり、オートバイ、軽自動車エンジンの空冷シリンダーヘッドの鑄造に活用されたものである。

その後、年を追って大型化、高性能化が進み今日に至るまで主に空冷、水冷シリンダーヘッド、シリンダーボディー、ホイールなどの金型鑄造に威力を発揮している。比較のために写真8に現在稼動している大型機の一例を示す。写真7の鑄造機との間には20数年間の隔りがあるがこの両鑄造機の諸元の対比を第1表に示す。

低圧鑄造法が上述のような急速な展開をみせたとはいえそれは決して平坦な途ではなかつた。我が国でその導入が始まった当初は極めて大きな関心を集め鑄造機および鑄造製品の開発研究を手がけた軽合金鑄造工場は100社を超す盛況であつたが、鑄造条件すなわち、温度、圧力、時間などの要素の微妙な調節管理の難しさあるいはこの方式に適する製品の選定の難しさなど数々の障壁に試行錯誤を繰返すうち当初の熱意も薄れた。これらの困

写真7 小型低圧鑄造機（昭和36年）

写真8 大型低圧鑄造機（昭和55年）

第1表 新旧低圧鑄造機の対比

低圧鑄造機	ストローク	最大金型の大きさ	最大可鑄重量	保 持 炉			製 作
				加 熱 る つ ぽ		容 量	
（写真7）	125 mm	250×250 mm	1 kg	24 kW ニクロム抵抗式	鑄 鉄	75 kg	昭和36年
（写真8）	900	1,300×800	25kg	36kW パイロマクス抵抗式	耐 火 材 キャスト	600 kg	昭和55年

難を越えて安定した量産に移行できたのはわずかに10社に足りない状態となり、それも大部分は製品としてシリンダーヘッドを選び得た工場に限られていた。低圧鑄造法の特徴の一つが指向性凝固であり空冷シリンダーヘッドや水冷シリンダーヘッドがそれに最適の形状を持っていることから考えて当然の結果であつたといえるであろう。

写真9は低圧鑄造法で鑄造された空冷シリンダーヘッドの数々でオートバイ用、農業機械用、スノーモービル用、軽自動車用などに従来の砂型鑄物、シェル型鑄物に代って広く採用され、品質と生産性の向上、大幅なコスト低減によつて当時上昇の一途をたどっていたこれらの業界に貢献するところ大なるものがあつた。

また30年代中頃から軽自動車につづいて小型自動車の生産が緒につき、当初は鑄鉄鑄物が用いられていたが性能の向上と軽量化を目ざしてまずアルミニウム合金水冷シリンダーヘッドの開発研究が行われた。しかも新車の設計当初から軽合金製エンジンの採用が考えられる気運になった。金型鑄物としては従来の各種鑄物よりはるかに複雑な形状であるため、寸法精度、材料強度、冷却水通路の耐圧性など鑄物に要求される品質も一段と高度になった。開発期間中はエンジンメーカーと素材メーカーの緊密な連繫のもとに極めて慎重な研究がつけられた。

金型鑄物の特質は複雑な形状のシェル中子の使用と相まってこの製品に対して遺憾なく発揮された。このことがやがて高度成長期を迎える我が国自動車産業の中に軽合金鑄物とくにその金型鑄物の地位を確立して鑄造技術の発展、生産量の拡大の時期を迎える端緒となった。

写真10および**写真11**は30年代末に試作に成功し40年代早々に生産に入つた水冷シリンダーヘッドで低圧鑄造法によるものである。使用合金はアルミ—銅—ケイ素系の各種の合金が試作研究された結果鑄造性、切削性、機械

写真10 自動車水冷シリンダーヘッド (低圧鑄造)
重量 8.3 kg 合金 AC4B

写真11 自動車水冷シリンダーヘッド (低圧鑄造)
とシェル中子 重量 4.0 kg 合金 AC4B

的性質を勘案して AC4B 合金が採用されている。中子にはいずれもシェル型が用いられている。

7. 昭和40～60年頃

30年代後半にはじまつた日本経済の高度成長政策以来活況を呈しはじめた各産業分野は40年代から50年代へかけて従来その例を見なかつたような大きな発展をとげた。40年代後期に突発した石油危機は産業界全般に深刻な打撃を与えはしたが、かえつてこれを契機に省エネルギー技術、生産性向上、品質向上の技術は特段の進歩をみて打撃の緩和に資するところが大きかつた。同時に、50年代以降迎えたいわゆる低成長時代に対処する素地を作り得たことは禍を転じて福となしたものだといえるであろう。

各分野からの軽合金鑄物の需要が伸びていく中で、とりわけ金型鑄物の需要を飛躍的に伸ばしたのはオートバイ、自動車およびその関連機器であつた。シリンダーヘッド、シリンダーブロックはますます大型化し、形状は複雑化し、鑄造機の大型化とともに複数個取へと進み、鑄造条件の精密な自動管理によつて品質の向上と鑄造時間の短縮など一段の技術進歩がみられた。

写真12、**写真13**はいずれも大型オートバイの空冷あるいは水冷シリンダーヘッドであり、ともにシェル中子を用いた低圧鑄造品である。薄肉で耐圧試験に十分耐えて低圧金型鑄造の長所を遺憾なく発揮している。

なお小型自動車の軽合金シリンダーヘッドの鑄造は我

写真9 空冷シリンダーヘッド (低圧鑄造)
重量 0.5～1.5 kg 合金 AC4B

写真12 大型オートバイシリンダーヘッド（低圧鋳造）重量 8.8 kg 合金 AC4B

写真13 大型オートバイシリンダーヘッド（低圧鋳造）重量 12.2 kg 合金 AC4B

写真14 自動車シリンダーブロック（低圧鋳造）重量 8.9 kg 合金 AC4B

が国自動車メーカーは勿論、欧州車においてもほとんど全面的に低圧金型鋳造法が定着しているようである。

写真14は小型自動車エンジンのシリンダーブロックで、鋳鉄ライナーが2個鋳ぐるまれており、シェル中子

写真15 1200馬力船用エンジンクランクケース 重量 510 kg 合金 Al-Si-Cu 系

写真16 トランスミッションケース 重量 24.5 kg 合金 A-356T6

を用いた低圧鋳造品である。この鋳物は写真8に示した鋳造機で2個取でショットサイクル約10分で鋳造され、作業員は1人で2～3台の操作が可能である。

またこの時期になつて、次第に大型鋳物の金型鋳造も行われるようになった。西独ダイムラーベンツ社の船用エンジンの国産化にあたり写真15に示すようなV型1200馬力エンジンのクランクケース重量510 kgの鋳物が外型を金型、中子と押湯部分に砂型を用いた複合型で鋳造された。鋳物1個ごとに数10個所のX線写真を撮り、また厳密な耐圧検査を経てから使用に供されるため鋳造方案、鋳型温度、鋳込温度、溶湯処理などに細心の注意が必要であつた。写真16は特殊車両用エンジンのト

ランスミッションケースであり、高度な健全性と機械的性質を必要とするため鑄造性のよい高純度合金のA-356を用い T_6 熱処理が施されている。その他例えば四輪駆動車ミッションケースや船外機制御装置用部品など他の鑄造法では十分に要求品質を満たし得ない鑄物の量産にも金型鑄物はその要求に応じて独自の分野を次第に広げている。

40年代初期から欧米諸国で自動車用アルミホイールの開発が行われ、生産販売が次第に増加の傾向をみせてきた。この傾向をみて我が国でも40年代中頃から関心が高まり、軽合金鑄物の大きな領域が広がるものと期待された。その要求される品質から鑄造法としては従来からの重力金型鑄造または低圧金型鑄造が最適であり、使用する合金も高純度のアルミ-ケイ素-マグネ合金A-356- T_6 が用いられている。これはSi6.5~7.5%, Mg0.2~0.4%, Cu<0.2%, Zn<0.1%, Fe<0.2%, Mn<0.1%, Ni<0.1%, Ti<0.2%の組成であり、Mgは0.3~0.35, Feは<0.15%の狭い範囲に管理するのが望ましい。鑄物はその使用状況からみて最高度の機械的性質と健全性が要求され材料試験、実体強度試験、実体X線検査が綿密に行われ、切削加工した製品の表面には微小な鑄巣も許されない厳重な検査が行われている。写真17は低圧鑄造法で鑄造された自動車用アルミホイールの完成品の数々で、設計には強度の確保とともにデザインのファッション性も強く追求されている。

自動車用につづいて大型オートバイ用にもアルミホイールの装着が開発されてホイールの需要はさらに拡大し、シリンダーヘッド、シリンダーブロックなどのエンジン部品と並んで軽合金金型鑄物の分野において双壁をなして今日に至っている。

比較的小物の分野においても特殊な性質を必要とし、量的にも増加をつづける各種鑄物部品に金型鑄物の特質が発揮されて質と量の両面に大きく貢献している。例えばAC8A合金を用いた耐磨耗部品、低膨脹係数の過共晶アルミニウム-ケイ素合金を用いたピストン、耐圧性を要するブレーキ用シリンダー、熱処理による強度増加を求める各種強度部品など、形状の難易大小に関係なく質的要求に応じて金型鑄物を用いる場合が増加している。量の増大に対応しては鑄造機の自動化省力化大型化が急速に進み生産性の向上にみるべき成果を挙げている。

写真18は小物量産品を対象にしたロータリー式鑄造装置で、溶解炉、鑄造機、湯口押湯切断機を1セットとして配置したもので1時間当たり約500個の仕上完了した鑄物の生産が監視要員1名で操作されている。

8. 終りに

昭和初期から今日までの約60年間、我が国の政治経済

写真18 ロータリー式金型鑄造機

写真17 自動車用アルミホイール 重量7~12kg 合金A-356- T_6

はその大半を激動のうちに過し、現在ようやく安定と繁栄の時期を迎えている。各産業界もこの間に盛衰を繰返し、各産業分野に対する素材供給の一翼を担った軽合金鋳物、そしてその中の重要な位置を占める金型鋳物も昭和初期のれい明期から今日まで幾度かの不況や難局に遭遇しながらも鋳造技術はその時々々の要請に応じて着実に進歩をつづけてきた。

長年にわたる研究開発の努力は、時に先進諸国からの新技術導入と相まって、品質向上、生産性向上、省力、省エネルギーなど数々の成果を生み、今日みるごとき隆盛をもたらしさらに次への発展が期待されるわけである。

しかしまた一面見方をかえれば、前述のごとく既に昭和初期において現在の鋳造技術をもつてしても注目に値するほどの製品を生んでいること、また今日鋳造に用い

られている鋳造用軽合金の多くが昭和初期において既に実用化し50年以上にわたってつづけて使用されていることなどから考えて、金型鋳物技術が暗中模索の幼稚な状態から長年かかって現状まで到達したというよりも、そのれい明期に、既に金型鋳造法の構想とか実施面においても今日の意義をもつものが潜在していた。この内に秘められ貯えられた技術力が時代の要請とか、取り巻く経済情勢の要求に応じて実現してきたものであらうと見ることもできるのではなかろうか。

ともあれ過去50～60年を費やしてここまできた進歩に匹敵する進歩が今後は歩度を速めて10年20年の短時間で達成されるであろうことを考えると、過ぎ去った長い歴史の中に生きてきた者にとつて、将来のより輝かしい発展とこれに携わる関係者各位の一層の努力を期待したいところである。