軽金属鑄物研究の回想

西 成基*

Memories of study on light metal casting

Seiki NISHI*

1. 前 言

軽合金鑄物の生産は、この数年来、年々数%ずつ着実に増加しており、この傾向は近年の機械、機器に求められている軽量化、小型化によるものであり、わが国の軽合金鑄物はダイカストも含めて考えると、量的にも、また質の面でも著しい成長を示している。

筆者は、太平洋戦争の時期、5年間軽合金鑄物の研究調査に携った。これは、戦後40年に比べて、決して長い期間ではなかったにも拘らず、大きな影響を受け、現在に至っている。また、当時の問題点は、その後も継続して究明され、学問技術の進歩につれて、着実に解決されながら、同様の問題が、高い水準ではあるが、未だ議論されていることに、自然現象の解明と制御の難しさを痛感している。

往時、筆者が関係した分野で、当面していた問題は大きくは製品歩留の向上で、細かく見れば、使用される材料の不純物の影響、鑄物砂の性状、金型鑄物における作業の安定化、製品のピンホール除去と脱ガス、作業者の伎倆に応じた作業工程の設定、多量生産の基本の理解等であり、未熟な筆者の眼にも、国家危急存亡の時に、これらの事柄が強く印象づけられた。

軽合金の使用が軍需から民需に移り、軽金属新地金の生産が禁止されていたのが、関係の方々の尽力によって、やがて再開され、国際情勢の変化、刻々に動く社会的要望や経済事情の中で、軽合金の需要は起伏を繰り返しながら伸長し続けている。この間に見られた、軽合金鑄物の移り変りを、筆者の大学に勤めていた立場から、振り返って見たい。

2. 昭和21年～34年の時期

筆者が名古屋大学で久恒中陽先生から最初に与えられ

た課題はマグネシウム合金の研究であつた。終戦直後の総てが思うにまかせない時代であつたが、基礎的な実験はなんとかできる状況であつたので、昭和22年から仕事を始めるようになった。マグネシウム合金としてはダウメタル系統のものを順次取上げ、2元系から3元系へと時効現象について合金元素の影響を追って行つた¹⁾。アルミニウムを合金元素とする合金は亜鉛の場合と異り、粒界反応による析出が生じ、析出相の種類、合金元素の含有量、第2の添加元素の影響の相違、熱処理条件等により変化が見られた。実用ではかかる組織は望ましいものではないが、ベリリウムを含む銅合金、アルミニウムを含む亜鉛合金に同様の現象があり、興味を惹かれるものがあつた。

当時、鍛造用合金としてアルミニウムと錫を含む合金が実用されており、わが国でもこの系については研究が報告されていた。Mg-Al-Sn三元系状態図につき実験を進め、かつ、錫がマグネシウム-アルミニウム合金の時効を遅滞させることを認めた。この系のマグネシウム合金は、その当時既に、欧米で実用化されていた、ジルコニウムを含む新しいマグネシウム合金が広く用いられるようになり、次第に置き換えられて行つた。

ジルコニウム、ミッシュメタル、トリウムを含む種々の新しいマグネシウム合金が実用化され、マグネシウム合金への関心が高まり、研究、生産の分野で活発な活動が見られた。やがてわが国における新地金の生産が始まり、各方面でマグネシウムの消費が見られたが、構造材料としての利用は限られていた。最近では、軽量化の追究、優れた機械加工性、耐食性の良い新合金の開発などの点から鑄物あるいはダイカストとしてマグネシウム合金が新しい視点から検討されている。

昭和25年頃から、わが国が復興するにつれ、機械工業が隆盛に向い、鑄物工業界も年々活況を呈し、鑄造合

* 名古屋大学、豊橋技術科学大学 名誉教授。Professor Emeritus, Nagoya University and Toyohashi University of Technology.

受理日：昭和60年10月24日

金，溶解技術，造型法，鑄型材料，造型設備，工場設計等諸分野における新技術の開発，新知識の移入が次第に行われ，目を見張るものがあつた。その折，東海地方でも鑄物生産は活発で，研究開発も盛んであつたが特に，優れた鑄型材料が豊富に産出するという好条件があり，日本鑄物協会鑄物砂研究会が久恒中陽先生の主宰の下で，名古屋地区において，全国組織で発足した。

鑄鉄鑄物を主とした研究調査であつたが，大学，国・公立試験研究機関，企業が共同で，また壮年，若年の技術者，研究者が広く協力して，欧米特に米国の視察報告に刺激を受けながら会合を重ね，先進国に追付き追越えの時代の空気を反映した活動が続けられた。研究会の内容は，時には鑄物砂以外のことに及ぶ場合があり，見聞を広め，知己をふやし，交流を深め，東海地区における鑄造工業発展の基盤造りに，研究会が果たした寄与は大であつたと考えている。筆者も下働きとして，各種の鑄型材料の調査研究に参加できたことは，今尚，心に深く刻み込まれている。昭和33年頃のことである²⁾。

量産，良質で均質な製品の生産を前提とし，経済性，作業性等の諸条件に適合した鑄型材料が天然にあるいは合成された形で求められ，供給されて高度成長期を支えてきた。しかし，鑄型材料への要求の移り変わり，良い環境を維持することの要求，限られた産出状態による供給源の変化等により鑄型材料の供給について全容が変わってきており，わが国の産業構造の変化と共に変貌してきている。

3. 昭和34～40年の時期

わが国のアルミニウム新地金の生産が10万 ton に達し，アルミニウムサッシュが建築に盛んに使われ始めた頃(昭和34年)筆者は北海道大学に勤務することとなる。北海道の軽金属研究会々員は当時3名であつたと記憶する。金属加工学講座を担当し，名古屋大学時代の仕事の継続もあつたが，次の方向を定めなければならない時期であつた。

マグネシウム合金の燃え防止に対するベリリウムの効果はアルミニウム添加によつて複合されて効果を示すことを知り，ベリリウムに興味を惹かれることとなる。

また，その頃，北海道で産出する橄欖岩を破碎した人工鑄物砂はけい砂と異なる性状を持ち，マンガン鑄鋼に適していることが報告された。けい砂の産地から遠隔の地である北海道において，けい砂に代る鑄物砂として利用の適否について，企業，試験場，大学が協力して，研究を行い，鑄鉄，鑄鋼への利用について方向づけすることができたことは大変懐しく回想される³⁾。

アルミニウムに含まれるガスの挙動と製品に及ぼす影響は学問的にも技術の面でも関心の高い課題として，古くから取上げられてきた。ガスの金属への吸収あるいは放出の理論，ガス分析法についての研究があり，また，工業的な溶湯の脱ガス法や含有ガスの影響についての生産上の有用な方法や成果が発表されていた。わが国では太平洋戦争中から岩村齊郎先生が研究され，また同じ頃シリンダーヘッドのピンホールについての松家勝男氏の研究があつた。戦後はその流れを汲む研究者により研究が続けられ，海外においても，多くの研究者がガス分析法と含有ガス量についての研究があり，含有ガス量は測定者による差異が次第に少くなり，分析方法も確立されてきた。

昭和35年より鑄型に鑄込まれたアルミニウム溶湯がガスを吸収する経過についての研究を共同研究者と共に始めた。まず，鉄鋼中のガス分析に経験のある教室内の教官の助言を得ながら，溶融抽出法によるガス分析装置の製作に着手した。分析装置は手造りであり，測定の要領にも不慣れであり，また試料の取扱いや試料容器についての吟味が必ずしも十分でない初期の実験であつたので，固溶ガス量や全ガス量の測定値について，今考えて見ると満足できるものではない。しかし，生砂型，油砂型，CO₂型，金型の鑄型の種類と砂型水分のガス吸収に及ぼす影響について，基本的な現象を捉えることができ，それ以後の実験の第一歩を踏み出した。昭和37年の頃のことである⁴⁾。

所得倍増，大きいことは良いことである等の言葉が現われ，産業規模の拡大が図られ，金属系学生が増募され，鉄鋼生産は増加に向つていた。鋼塊の製造が転機を迎えようとする時期であつた。地域の関係もあつて，大型鋼塊の偏析の問題は，教室内の重要なテーマの一つであつた。融液の凝固に伴う，含有成分の挙動に関する基礎的な考え方がB. Chalmers一派により提示され，これを基盤とした研究，実験や討論は学問的にも現場の立場からも盛んに行われる環境であつた。

丁度その頃，軽金属協会アルミニウム技術振興委員会が設けられ，大日方一司先生が主宰された液体と凝固に関する研究グループができ，その一員に加えられ，その後の筆者の研究に数々の教示が得られた。これは昭和49年頃まで継続され，アルミニウムについての基礎研究を共同で進める方向を示す一つの試みであつた⁵⁾。

4. 昭和40～53年の時期

昭和40年春より名古屋大学に移り，鑄造学講座を担当し，非鉄金属材料を中心にした鑄物と材料の教育と研究

13

に当たった。

この時期、高力鋳造アルミニウム合金を目標として、けい素、マグネシウム、亜鉛を含む合金の基本が既にあり、これに少量のベリリウムを添加することにより一応の目的を達した。これは、その頃、軽金属協会アルミニウム鋳物委員会の中に設けられていた「新高力アルミニウム合金鋳物の開発に関する研究」⁶⁾の一部としても実験が進められた。ベリリウムの少量の含有により肉眼組織の微細化や焼入焼戻によつて得られた性質が従来の同系統の合金に比べて高温まで安定する新しい知見を得た⁷⁾。

昭和38年頃から、強度と共に靱性の高いアルミニウム鋳物が求められ、米国におけるプレミアム・クオリティ・キャスティングの考え方が取入れられるようになってきた。合金中の不純物含有の抑制、脱ガス脱酸による溶湯の清浄化、鋳造方案と冷金使用による指向性凝固の適正化、急冷と結晶微細化剤を利用した顕微鏡組織と肉眼組織との微細化はアルミニウム鋳物製造上最も良い条件の下で作業することであつて、注目された。製品の価格が高くなり、特殊の用途にのみ、生産が限られたが、このような考え方は一般の鋳物にも適用され、アルミニウム鋳物の品質の改善と利用の拡大に役立った⁸⁾。

昭和39年に制定され、昭和43年に確認が行われたアルミニウム合金鋳物の規格 (JIS H 5202) は、新地金、二次地金の事情が好転し、需要分野がひろがり、合金の性質への要求が高くなつた等の状況で、改正する必要が生じ、昭和44～46年の間、軽金属協会に設けられた改正のための委員会に加つた。この作業では、新しく合金一種類を加え、従来なかつた砂型試験片を定め、試験片の熱処理条件を明示し、また在来の合金成分範囲に検討を加えた。しかし、不純物に対する一層厳格な規定を、米国や西独の例に見られるような形で、設けるまでには至らなかつたが成案を得て、昭和46年には新しい規格が決定された⁹⁾。

その後、年を追つて、アルミニウム合金鋳物の使用範囲が拡大し、高い靱性の高力アルミニウム合金鋳物の生産量が、自動車産業の発展につれて増し、新に規格を改正することとなつた。昭和51年には原案作成委員会が発足し委員長として、軽金属協会アルミニウム鋳物委員会の研究成果を基に、新合金追加の検討、不純物の制限の厳格化、実体の性質を十分に推測できる新しい試験片の採用等広範に改正し、国際的に共通して利用できる規格とする意図で作業が進められ、活発な議論を経て、昭和53年には原案の作成を終つた。しかし、石油危機の時期に遇い、当時の情勢に照らして、改正原案の実現が先送

りされることとなつた。その後、新しい委員会 (委員長: 加藤正夫氏) により、該改正原案に修正が加えられ、昭和57年にアルミニウム合金鋳物規格 (1982) が制定された。

昭和41年にはアルミニウム中のガスの挙動についての実験を再開した。凝固の際に合金成分の偏析現象に対して筆者は常に強い関心を持つており、当時各方面で取り上げられる機会も多かつた。

アルミニウム—4%銅合金について、ガスを一般元素と同様に溶質として取扱ひ、種々の凝固条件におけるガス含有量の測定により、見掛けの分配係数を求め、凝固界面付近において、ガスが一般の合金元素と同様の挙動をすることを定量的に示すことができた。また、気孔を生成するための気泡内圧力の算出と、それによる気孔生成に必要な溶湯中のガス量を凝固速度に対応して求め、気泡生成の臨界ガス量及び気孔生成に及ぼす凝固収縮の影響についての知見を得ることができた。工業的な貢献については幾つかの段階を経て達すべきものであるが、現場における考察に定量的な根拠を示すことができた¹⁰⁾。

溶湯に含まれるガスに関する問題は作業上の立場からも新しい課題を生じていた。脱ガス法については、環境改善の見地から、脱ガス剤は塩素ガスから他のものへと変わり、窒素ガス処理、真空脱ガス法が採られてきた。しかし、なお脱ガス効果等において塩素ガスが優れており、いずれを採るかは諸条件によつて分れてきているが環境問題は重要な要素であつた。ガス分析法は実験的な方法について、大学及び企業で次第に精度の高い方法が確立し、信頼度の高い結果が報告され、現場的なガス含有判定法による結果とガス含有量との相関を明らかにしてきた。溶湯中のガス量の作業上の判定法も従来から用いられている減圧凝固装置による方法の外に Hycontester により定量的に含有量を示すことができるようになり、また Telegas 法により連続的な測定も行われ、操業上の判定に進展がもたらされた¹¹⁾。

この時期、ガス分析法の精度向上のための諸要因の解明が進み、固溶ガスや分子状ガスの定量に固体抽出法や熔融抽出法を用いた場合に測定されるガスと試料中のガスの状態との関連を明らかにし、ガス分析技術の地道な改善が図られていつた¹²⁾。研究室の若い職員、学生による労をいとわぬ細かい測定観察によつて凝固に伴い変化するガスの状態変化やガス分布を掴み、アルミニウム合金の凝固形態の差異による気泡の挙動を知り、また溶剤と放出されるガスとの関連を明らかにすることができた。若い人の活力とひたむきな努力が多くの成果を得る

13

ための貴重な原動力であつた。

これらの研究結果を整理するためアルミニウム－水素の状態図とそれによる気泡発生機構の説明が提案された。気泡発生には臨界濃度があり、融液中の水素濃度がこれを越えるか否かにより、融液の温度降下により直ちに気泡を形成し、あるいは融液中で凝固による水素の濃化について気泡を発生すること、また固溶水素量の大小の分布、凝固形態による気泡の凝固後の分散状態の差異等について解釈することができた¹³⁾。

昭和40年代後半から溶湯の脱ガス処理は大量溶解の場合に炉内処理から連続式操作に移る傾向にあり、また脱ガス剤は不活性ガスが主体となり、さらに回転ノズルを利用し、より細かい不活性ガス気泡による高い脱ガス率の方法が用いられている。

非金属介在物を除去する溶湯濾過もこの時期から注目され始め、種々の方法があるがセラミック・チューブによる濾過法が高品質材料用として定着するに至っている。酸化物や他の非金属介在物が気泡形成の核として働き、これにより気泡生成の臨界ガス濃度を下げ、また生成した気泡の浮上離脱を妨げる。さらに、核となる物質の除去により、工業的ガス含有量の判定に気泡の発生をもつて判定する結果に影響を与える場合が生じてきた。溶湯濾過材に広範囲な、構造と空孔の大きさを与えることができ、鋳物の溶湯に対しても適用されるようになってきた。溶湯濾過については解決されなければならない多くの点があると聞いているが溶湯の清浄化に効果を示している。しかし、清浄な溶解法により、脱酸、脱ガス、あるいは溶湯濾過の諸法の適用を最少限にとどめることが高品質材料を得るための基本的な課題であり、溶解炉の考え方にその傾向が現われている。

急冷凝固によつて、過飽和に固溶される一般の場合よりもさらに過飽和度が大きく、平衡状態図の最大固溶限以上になり、強制固溶体を生じる合金の一つとして、アルミニウム－マンガン合金があり、比較的容易に強制固溶体が得られる。強制固溶体の状態で、強度、靱性が改善され、これらの性質は比較的高温まで変化が少く、また強制固溶体の分解は、過飽和固溶体の変化に比べ高温で起り、熱処理後の性質はアルミニウム合金として耐熱性が求められる高温まで安定である。強制固溶体が生ずる時の凝固モデルに基づき、固相セルの成長速度と過冷液相中のマンガン原子の拡散速度との関連において、マンガン原子が固相中に捕捉されることを示し、この合金の強制固溶体の特性について知ることができた。超急冷凝固による非晶質材料の実用化の研究にくらべ、強制固溶体（完全または不完全な状態）については、その成果

の工業上の利用は少いが、高温において特性を安定して保持する必要がある場合に特徴を現わすものと考えている¹⁴⁾。

アルミニウム合金鋳物の特性に及ぼす凝固の諸因子の影響については多くの報告があり、特に銅を含む合金については基礎的に研究が進んでいるが、鋳物として、従来の種々の考え方を整理総合して、実用上の指標を与えるものとして、アルミニウム－銅合金について、一連の基本的な実験を行つた。基質固溶体への合金成分の固溶量増加、不純物も含めて第2相の微小化と減少、樹枝状品の微細化、結晶方位と応力附加方向の調整、急冷効果の増加等について機械的性質に及ぼす寄与度を知り、従来経験的または定性的に示されていた作業要因に定量的な考えを加えることができ、その性質の予測についても目途がえられた¹⁵⁾。

まだ、明らかにできない現象は数々あるが、鋳物の特性を制御する基礎条件が得られ、凝固理論による鋳型構造、鋳造方案の設定、鋳型の状態を検知する手法の適用、伝熱理論と作業上の技術との融合に加えてマイクロエレクトロニクス、コンピュータの援用による鋳型条件の調整等による鋳造の装置化とその完成が望まれる。

液体凝固理論により高品質半導体素材の製造が実現したことは周知のことであり、金属工業にあつては鋳塊製造に既に幾多の寄与が見られる。鋳物の凝固についてのシミュレーションは年毎に進歩し、実用化が進み、欠陥の防止、材質の保証のためにこの手法が普及するきざしを見せている。アルミニウム鋳物について広く活用される日も近いものと期待される。

鋳鉄の量産には長年の生産技術の蓄積により、生砂型を主流とする各種造型機構による造型機を配置した造型ライン並びにキューボラ、低周波誘導炉を主軸とする溶解設備を駆使して生産性、経済性、信頼性の高い生産が行われている。今、アルミニウム鋳物について見るとき、生産速度、製品歩留、あるいは品質において、それぞれ優れた製造法が地歩を確立しているが、鋳鉄の生産方式に匹敵する製造法の新たな展開が望まれるところである。

5. 課題をはなれて

均質な合金の造りにくい合金系としてアルミニウム－錫とアルミニウム－鉛の両系があり共に耐摩耗材としての特色をもっている。前者については錫含有量の高い場合についても、製造技術の進歩により高品質の製品が得られ、この系を基本とした合金がアルミニウム合金軸受

13

として、自動車に広く装着されている。この傾向は昭和40年頃から始まったが、この系の合金の軸受材料としての源は太平洋戦争前にある。当時の陸軍航空技術研究所において久恒中陽先生を中心とするグループによつて昭和14年頃より研究が始められた。昭和17年頃には軸受材料としての使用上の用途が得られ、鋳物の形で機械に組込まれ使用された。当時その成果に対して、陸軍技術有功章が授与されている。

自動車用軸受材料としてはパイメタルとして鍛造軸、球状黒鉛鋳鉄軸いずれに対しても高い性能を保証して、広く使用されている。エンジンはコンパクトになり、高効率の設計となると共に、使用条件は苛酷となり、かつ安全と経済性が追求された。ここに達するまでには多方面の知識を結集し、激しい競争の中で、努力が重ねられて、性能、生産性、経済性の点で要望にかなったアルミニウム軸受が供給されるに至っている。

題目を離れた研究としては電気接点材料として内部酸化に着目した銀-ベリリウム合金¹⁶⁾、純鉄・金属けい素・炭素による鋳鉄の合成¹⁷⁾、球状黒鉛鋳鉄の靱性¹⁸⁾、鋳鉄の摩耗¹⁹⁾等の研究がある。また、系統的に実験を進めたがまとめあげるまでには至らなかった、アルミニウム-鉄系並にアルミニウム-鉄-マンガン系共晶合金の特性²⁰⁾、水素ガスの固体アルミニウムへの吸収とその挙動、アルミニウム-錫系並にアルミニウム-鉛系合金の鋳造等の研究がある。これらの仕事は従来の関係した分野と異り、得られた成果は共同研究者の尽力と研鑽に負うものである。

昭和53年度から学生を受入れ、特色ある工科系大学として開設された豊橋技術科学大学の創設に参加し、当時実施が困難とされていた幾つかの大学運営事項を実現し、工科系大学の在り方を復活する端緒となる仕事に携ったことは生涯の大きな思い出の一つである²¹⁾。

6. 結 言

軽合金鋳物の生産は、その折々の需要につれて動き、

生産技術はこれを反映しながら進歩を続け今日の盛況を迎えている。根本的な問題について、解明されなければならない課題を持ちながら前進を続けており、これは今後も続くことである。生産に関する基本的な問題は、短期間には解決しにくいものが残されており、継続的な考究と対応によつて達成されるものである。これらの課題は産・学・官の協力の下に大胆に研究が進められることが必要と考える。大学・国公立研究機関と企業では基礎研究の種類、内容は自ら異なるものであるがこれらの成果が公開され、互に補いながら軽金属技術の振興を図り、併せて若い研究者、技術者が育成されることを願うものである。

40有余年かかわってきた軽金属鋳物の研究を回想し、残されている事の如何に多きかに、思いを新にするものである。

参 考 文 献

- 1) 西：軽金属，2 (1952) No. 4, 143, 日本金属学会誌，17 (1953) 89等。
- 2) 西：鋳物，34 (1962) 346等。
- 3) 西：綜合鋳物，(1967) No. 4。
- 4) 西，品田：日本金属学会誌，29 (1965) 708等。
- 5) 竹内栄，外：軽金属，18 (1968) 396等。
- 6) 軽金属協会アルミニウム鋳物委員会：新しい高力アルミニウム合金鋳物 (1968)。
- 7) 西，篠田，上島：軽金属，21 (1971) 809等。
- 8) 西：日本金属学会会報，9 (1970) 693。
- 9) 西：鋳物，44 (1972) 1001。
- 10) 西，黒淵：軽金属，24 (1974) 17等。
- 11) 西，品田，黒淵：軽金属，24 (1974) 89等。
- 12) 品田，西：軽金属，29 (1979) 458等。
- 13) 品田，上田，西：軽金属，33 (1983) 445等。
- 14) 池田，西：日本金属学会誌，39 (1975) 147等。
- 15) 尹，西，篠田：鋳物，49 (1977) 263等。
- 16) 木全，西：日本金属学会誌，35 (1971) 615等。
- 17) 土井，西，上田：鋳物，46 (1974) 827等。
- 18) 西，小林，河部，遠山：鋳物，49 (1977) 222等。
- 19) 西，橋本：潤滑，13 (1968) 647。
- 20) 西，加藤：軽金属，24 (1974) 101等。
- 21) 西：軽金属，33 (1983) 571。