

テーマ名：国立研究機関における鑄造技術開発
—鑄鉄の金型鑄造技術を例として—

近藤靖彦 元名古屋工業技術試験所(通称名工試、1993年に名古屋工業技術研究所に改名)

要旨：

紀元前からある鑄造技術はいつの時代でも、これにとって代わる加工技術がなく、現代まで営々と引き継がれてきた。鑄造は目的の形状を有する鑄型空間に、溶かした金属を流し込み、瞬時に目的の形状を金属に付与する技術である。どんな複雑なものでも、製品の大小を問わず、どんな材質のものでも最も短時間に製造でき、切削工具、プレスなどほかのツールがいらないために、古代から人類の生活用品を中心に美術品など様々なものを作る合理的な技術として、時代ごとに必要とされる金属製品を供給し、人類の存続に欠かせない伝統的な技術として継続されてきた。

特に、金属があらゆる近代産業の発展に欠かせないものになってくるとその重要性は増していき、我が国においても明治以降、欧米諸国に追いつき追い越せの風潮に沿った殖産興業政策を打ち出し、鑄造は近代化に重要な役割を課せられた。時代のニーズに対応して金属の溶解技術、鑄造品の精度、鑄肌、材質の高機能化、量産化・低コスト化、鑄造合金の拡大、環境対策などを解決していくことが常に求められている。

全ての旧帝国大学設立時に「鑄造工学講座」が設置されたのもその裏付けになっている。トヨタ自動車の歴史においても、1930年に豊田自動織機(株)に自動車部を設置し、国産自動車の開発に取り組みだし、キーテクノロジーとなるガソリンエンジンの研究を開始した。最大の課題となったのはエンジンブロックの中子開発とブロックの鑄物技術であり、我が国の近代鑄造技術の礎を築く歴史的な開発ともなった。また、1938年には早稲田大学に鑄物研究所(現各務記念材料研究所)が設立され、鑄造技術の近代化に一層の拍車をかけた。

1952年に名工試は設立され、機械試験所からの流れをくむ鑄造工学研究部門が併合された。国立の研究機関で鑄造技術を取り上げたのはこれが唯一であった。1956年に科学技術庁に金属材料技術研究所(通称金材研)が設立され、新たに鑄造技術部門の設置が検討された折に、通産省と科技庁で調整が行われたようで、名工試は鑄造プロセス、生産加工技術を、金材研は鑄造金属材料の研究を分担することになった。名工試では鉄、アルミ、チタン、特殊合金の溶解、鑄型、プロセス技術等の研究開発が行われていた。

工業技術院では常に先端的な技術開発を標榜してきたが、紀元前からある伝統的な鑄造技術の先端性に対する説明に苦勞し、国で取り上げる技術として疑問視する方々かなりいた。特に、特別研究等大型予算の獲得には不利な状況が続いたと感じていた。後年、航空機等のエンジン開発においてNi、Ti等の超合金の鑄造技術開発には大型化した研究が生まれた。

最近では産学官連携研究開発体制が奨励され、且つ研究成果が重視され、研究の種、ニ

一ズは製造現場にあり、産業界の抱える課題を研究に取り入れる方向に向かいだしたが、鑄造技術の開発では率先してそういう体制、手法がとられていたことは誇らしいものである。現代の鑄造品の7割は自動車産業向けになっており、当分はこの状態が続くと思われるが、今後航空機産業の台頭が話題になってきており、航空機部品への進出も視野に入れた研究が望まれている。

ここでは、筆者の行ってきた鑄鉄の金型鑄造の研究開発について述べることにする。

1. はじめに

鑄物のプロセスは、溶解~鑄型・塗型~注湯~型バラシ~鑄物仕上げの各工程をシステム化したものであるが、名工試では2兆円産業であった銑鉄鑄物（鑄鉄、Fe-C-Si系合金、注湯温度は約1450℃）及び鑄鋼（Fe-C系合金、注湯温度は約1700℃）用の鑄型、塗型の研究が中心であった。鑄型の骨材である砂は注湯金属の融点以上の耐熱性、寸法精度の観点から低膨張特性、粒度分布、低反応性などの性質をチェックして選択される。一般的な鑄鉄には主に珪砂が使われ、小物の量産鑄物には砂に粘結材と水分、各種の添加剤を加えて混練して木型、金型等で造型した生型が使われる。現在では工場内外の粉塵、臭い、騒音などの環境を考慮し、自動造型及び型バラシ後の砂をリサイクルして使えるような大型プラント化が進んでいるが、1980年以前は手込めあるいは半自動造型が中心で、型バラシも人力に依存する時代で、工場内の環境は劣悪であった。1960年以降、若者に嫌われる職業の代表で、川口市を舞台に映画化された「キューポラのある街」は鑄造業にとってつらいものであった。3K（危険、汚い、きつい）産業、5K（暗い、臭い）産業と称され、人材不足の観点から鑄造産業の将来を心配した時代であった。産業界のみならず、1990年以降は大学、公的研究機関の鑄造研究も斜陽化していったが、この時までには鑄造産業は民間の力で生きていくすべを身に着けていた。今や、量的には中国、米国、ロシア等にはかなわないが、鑄造技術に関しては世界のトップを走り、世界最大の鑄造機械メーカー、鑄造業が出現しているし、若者の技術者も育っている。

筆者は1962年に名工試に入所したが、高校で機械、大学で工業化学を学んできたが、これからの鑄造技術の開発には機械・化学の両方の知識を持った研究者が必要であるとの理由で、鑄造研究室に配属となった。

2. 金型鑄造鑄鉄の研究

このような変化の中で、筆者らは1965年ころから砂型の表面に塗る塗型の研究を行っていた。これは融点の高い鑄造金属あるいは大・中型鑄鉄の鑄造品が凝固過程に鑄型表面で反応し焼着する欠陥を防止し、鑄物の肌を綺麗にするために必要な鑄型表面処理の研究であった。

塗型は高温液体と直に接触し、鑄物が冷めるまで反応を続けることになる。このため鑄

型骨材（砂）より耐熱性に優れた黒鉛、アルミナ、ムライト、ジルコンなどの微細粉末を液状に分散して塗布する技術である。本研究は鋳鋼、大・中物鋳鉄に用いられるが、小物でも肉厚変動があつて、熱容量の大きな部分を有する小物鋳物にも用いられる。焼着欠陥を防止し、鋳肌のよい鋳物づくりには必須のものである。

塗型の研究には、塗型を塗る模擬鋳型が必要であり、現場の鋳型で用いられる各種添加物、水を配合した模擬鋳型を作成し、その表面に研究用の塗型材を塗布して、塗布した膜の物性を調べていた。高温下での膜の強度、耐熱性、金属との反応性など調べるが、ばらつきが極めて大きく、データにならないことに失望していた。いろいろ解決策を試みたが、最後に砂型の物性を調べてみると、模擬鋳型の物性がばらつくことが分かった。当時、鋳物砂は 30 kg の紙袋に詰めて市販されていたが、袋が変わると全く違う砂かと思うほどに物性も変わってしまうことが分かり、鋳型物性を一定にすることが絶対的に必要であるとの結論に至った。そこで、模擬鋳型を砂型から金属型を使うこととし、塗膜の性質を調べ始めるとようやくデータが揃うようになり、研究を行うことが出来るようになった。塗膜の強度改善に有効な添加物、塗型材の粘度と膜厚の制御、低価格の耐熱粉末の開発などを進め、塗型材メーカーから研修生が来るようになり、新商品開発に必要な基礎的情報を得ることが出来るようになっていった。

模擬鋳型を金属に変えて、鋳造試験を行っても鋳物はできることが分かり、砂をベースとした鋳型ではなく、金属を型材とする金型で鋳鉄が出来ないかという興味がわいてきた。当時、鋳物砂資源の枯渇化が心配され、砂に起因する粉塵、臭い、振動などの環境問題も社会的に指摘され始めて、鋳物工場が住宅地から追い出されて地方に分散しだす時代になってきた。金型であれば砂のない鋳造工場を実現でき、且つ制御技術を自動化すれば無人化も可能になり、求人問題も解決できる、これからの夢の鋳造工場（当時、都市型鋳造技術と呼んでいた）が実現できるのではないかと考えるようになった。しかし、鋳鉄は Fe-C の平衡状態図からも分かるように、凝固の際に炭素が黒鉛として凝固するか、セメンタイト (Fe_3C) として凝固し、一般的に黒鉛として晶出する凝固形態が利用されている。C 含有量の少ない鋳鋼は高温での液体の流れが悪く、凝固時の収缩量も大きい、炭素を含む鋳鉄は高温液体の流れがよく、薄肉部分にも充填でき、且つ黒鉛が凝固時に膨張するので収縮も少ないなどの性質を有し、広く利用されている。材質的には鋳鋼の方が数段優れているが、コストは数段高いため、生産量は鋳鉄の方が圧倒的に多い。

型材としての金属と砂を比較すると、熱伝導率に大きな相違があり、且つ砂鋳型は多孔構造になるために、熱移動を小さくするので、凝固時の冷却速度は 1 千倍以上の差が出る。このために金型に鋳鉄を鋳造すると、黒鉛ではなくセメンタイトを晶出しやすくなってくる（現場ではチルと呼んでいた）。セメンタイトは炭化物であり、セラミックの 1 種である。硬度が極めて高く、脆いという性質があり、特殊な耐摩耗性を要求されるような部品以外には使われない。特に金型に接する鋳鉄液体は急冷凝固されるためにセメンタイトを生じやすく、凝固収縮による割れの発生、表面の機械加工ができないといった問題が出るために、

一般的な鋳物製造では欠陥品として扱われる。従って、金型鋳造ではセメント防止技術の開発が必須となり、その第一手段として、金型の急冷効果を緩和するために断熱性の大きな塗型材の開発が必要になってきた。また、金型鋳造は自動化を前提に開発したく、塗膜の耐久性があると、工業化はさらに一步進展する。鋳造現場では、昔からチル防止法として、アセチレンガスの不完全燃焼によって発生する煤を使っていたが、鋳造ごとに毎回煤塗りをし、且つ発生する煤は工場内に広く飛散し、工場環境を損なうことで問題になっていた。最初に開発した塗型材は、断熱材である珪藻土を 10%濃度の水ガラス水溶液に分散させ、300℃に予熱した金型キャビティ面にスプレー塗装したものであった。これにより、セメントの晶出を抑えることが可能になり、順調に基礎的試験を行うことが出来るようになった。また、珪瑯焼き付けや、当時技術輸入されたセラミックスのプラズマ溶射も試みたが、膜自体はセラミックスが焼結し強固な膜になるが金型界面での接着強度が小さく、膜の表裏温度差による熱膨張係数の差が生じて剥離してしまう結果になり、使えなかった。一方、硝酸クロムのような耐火物を含む酸化物塩を予熱した金型に塗布すると、酸化クロムが金型表面に膜として残存し耐火塗料としての役割を果たすことを見出し、特に硝酸塩が優れていて特許も取得した。この開発では、当初塗料用スプレーを使い圧縮空気で金型に吹き付けていたが、まったく膜形成せず色々な市販ノズルを試みたが結局成功しなかった。最後の最後のもりで、化学実験で使うガラス製の非常に細いノズルで、低圧で塗布したところ綺麗な膜が生成し、冷蔵庫の外装にも使えるのではないかという相談もあったぐらい綺麗な膜が得られた。しかし、塗型作業時に多量の硝酸ガスを放出し、作業者の健康、環境の面から問題であることが判明し、特殊な作業場を新設する必要があることを述べたところ利用することはなかった。プロセス開発では、当時あまり社会的問題にはならなかった環境問題、人体への影響など技術以外の課題を含めた開発が必要であることを身にしみて感じたものである。しかし、表面処理というのは製品出来栄のみならず生産性向上、品質などに大きな影響を持つものであり、どの分野でもいまだ理想の表面処理技術というのではなく、開発が続いている技術分野であろう。

この後の研究には凝固時の冷却速度と金属組織の関係を解明する必要性に迫られ、金属工学の知識がどうしても必要であると思い、工業技術院の国内留学制度で、1970年頃に名古屋大学の金属工学科の鋳造研究室に籍を置いた。鋳鉄は Fe-C-Si 系の合金であり、不純物の存在が材質に影響する。中でも Mn、P、S がかなり含有され、原料の鉄鉱石の産地によって変化する。我が国の鉄鉱石は Ti を多く含むし、ドイツのそれは V を多く含む。微量の不純物が影響する例として面白い話がある。ピアノの音色はメーカーによって微妙に異なり、世界的に高級ピアノとして著名なスタインウェイ・アンド・サンズに優るピアノづくりを目指していた日本のメーカーが徹底的に材料、機構を調査したことがある。その最終の結論は鋳鉄製のフレームの金属組織の違いであるとの結論に達した。鋳鉄の化学分析を行うとスタインウェイ・アンド・サンズのピアノは微量ながら V を含み、鋳鉄中の黒鉛形態がバラ状黒鉛と呼ばれる組織になっていることが判明した。そこで、V を添加してフレー

ムを作るとバラ状黒鉛が表れ、ほぼ同じ音色のピアノになったという。鉄鉱石の産地によりわずかに異なる微量の不純物元素が特徴ある性質を生み出すことになる。音の良し悪しは、人間の感性が決めることであり、スタインウェイ・アンド・サンズのピアノが高価格であるにもかかわらず、世界の一流の劇場に配備されているのは、Vの存在によるとは何とも不思議な話である。

精錬技術、不純物除去技術の進歩とともに不純物元素は少なりつつあるが、分析技術の発展により多種類の不純物が存在することが分かってきている。昔、鑄鉄は「雑炊の味」と呼ばれ、時として思わぬ金属組織が表れて、不良品になったり、思わぬ良い性質が出たりすることを鑄物屋さんは多く経験してきた。名古屋大学では凝固に関する研究を担当し、日本の原料鉄に多くのTiを含有するというので、Tiの影響を研究した。鑄鉄中のTiは凝固により鑄鉄中のCと反応してTiC、空気中の窒素と反応してTiNを生成する。TiCは薄い青色の板状結晶として、TiNは橙色の板状結晶として晶出し、その良否によって黒鉛形態が影響されることが分かった。特に、TiCは共晶状黒鉛を晶出し金型鑄造鑄鉄と同様の黒鉛形態を生み出し、肉厚鑄物の金型鑄造には有効であることをつかんだ。Tiの影響を学びながら、金属状態図、組織形成過程、組織と機械的特性の関係などを学んだ。

その後、金型鑄造鑄鉄の凝固、金属組織の形成過程、機械的特性等に関する研究に着手した。金型内の急速凝固で得られる鑄鉄組織は、図1¹⁾に示すように、初晶のオーステナイトが急速にデンドライト（樹枝状晶）状に晶出し、その後共晶凝固により黒鉛とフェライト（一部パーライトが残存）が晶出する特徴的な組織になることが分かってきた（共晶状黒鉛鑄鉄）。これを焼きなまし熱処理して、鉄マトリックスを完全フェライト地にすると、極めて高強度の材料になることが分かってきた。図2¹⁾に示すように化学成分が同一の場合に、砂型に鑄造した鑄鉄の引張強さは約20 kg/mm²であるのに対して、金型鑄造鑄鉄は2倍以上の45 kg/mm²になった。また、伸びも大きい。材質に関してまだ浅学の頃であったが、これは大変なことであるという

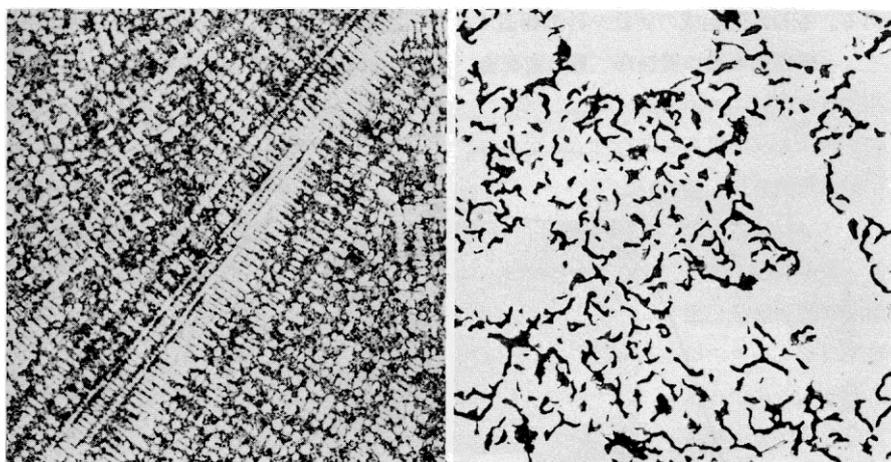


図1 金型共晶状黒鉛鑄鉄の組織（左72倍、右720倍）

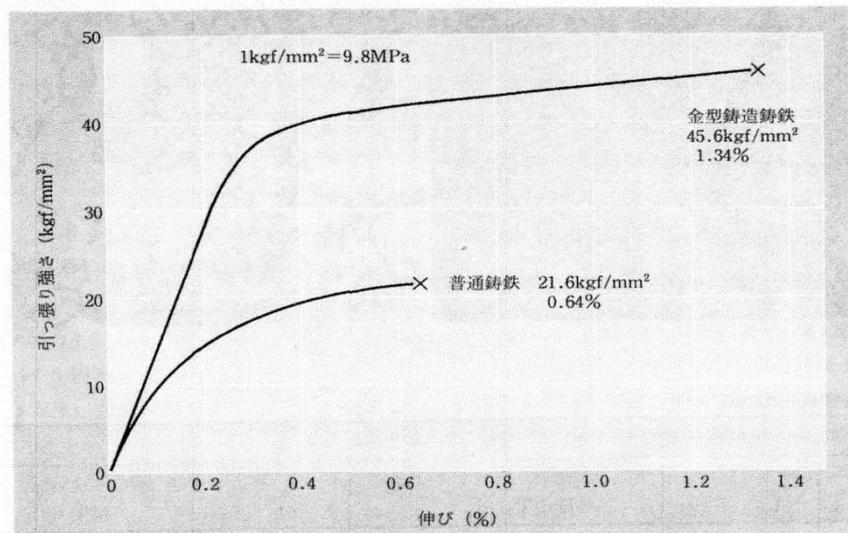


図2 ●金型鑄造鑄鉄の応力-歪み線図

ことを実感した。日本鑄物協会（現日本鑄造工学会）の全国講演大会で発表したところ、その道のビッグボスである旧帝大の教授から 20 年以上、フェライト鑄鉄の研究をしてきたが、そのような高強度が出るはずがない。引張試験機の応力-ひずみ線図チャートの単位の読み違いをしているとまで言われた。金属材料に関してマイナーな研究組織へのいじめ行為であると思いつつ、「発表した通りの方法で試験片を鑄造し、測定してみてくださいと」返答をした。次の全国講演大会で、その先生が発表をし、近藤の実験は事実であったと謝罪がなされた。若かった頃のことで、自分の研究成果が、ビッグボスに認められたことが嬉しく、研究に対して自信を得ることが出来、これを「金型共晶状黒鉛鑄鉄」と命名した。その後、先生と高強度化の要因について共同で研究するようにもなった。特許化ということも考えていたが、当時の我々の周囲は、国立研はいち早く研究成果を発表して公知の事実にするのが大事な役割の一つであるとの考えが支配していた。特許を書くより実験をしたいという気持ちが勝り、申請はしなかったが、鑄鉄の金型鑄造の普及には有効であったと思っている。高強度化の要因を研究した結果では、初晶オーステナイトのデンドライトは黒鉛を含まない鉄の連続層であり、図 3²⁾ に示すように、これが骨格（スケルトン）になって金属組織を構成し、骨格の空間に共晶凝固した微細な黒鉛（約 30 ミクロン）が存在し、強度はその骨格で持つと考えている。鑄鉄は大きな片状黒鉛が鉄の連続性を妨げて、切り欠きのような働きをするために強度を小さくするが、黒鉛を含まないスケルトン状の鉄が存在することにより、鉄本来の強度を出しやすくすると考えた。これを実証するために、顕微鏡用鑄鉄片を数ミクロン単位で研磨を繰り返しながら立体構造を描き出すことにより実証したが、研磨に明け暮れて顕微鏡をのぞき続けた時代の研磨技術の賜物である。

高強度の出ることで、いくつかの企業から実用化をしたいとの話が起き、マンホールの蓋に応用されたのが最初であった。直径 600mm 位の円盤状リブ構造で、もっとも肉薄な部

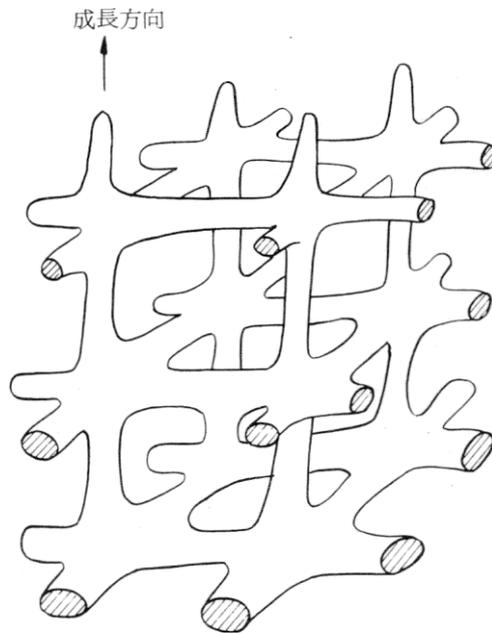


図3 初晶オーステナイトの成長予想図

分は 3 mm程度で、セメントを完全に除去することはできないが、 casting後直ちに熱処理に入れ、15分ぐらいの時間でセメントを黒鉛に分解でき、商品化が進んだ。しかし、世の中は厳しいもので、砂型の同製品より良くなっても売値は同一で、採算が合わないとの理由で、3年ほどで中止された。コストも研究開発に必須であることを学んだわけである。また、地中の水道管のフランジ継手の工業化の話があり、直径 1200 mm位で高さ 100 mm位の継ぎ手で量産物であった。砂型では量産化に対応しづらいということで、金型を利用することにしたが、2m 角の鉄制定盤の上に、金型を載せて castingするのだが、重量が 30 kg程度あり、定盤の溶湯落下部は注湯中の熱衝撃により焼き付いたり、 casting中に継ぎ手が割れたりする問題が発生し、難儀した。1400°Cを超える溶湯が落下し、定盤金型をアタックするのであるからどうしても焼き付きやすいのだが、落下部に小さな薄鉄板を置いておくと熱衝撃が緩和され焼き付きにくくなる。ちょっとした工夫を加えることで問題が解決することもある。また、 casting割れは金型中子を溶湯が包み、凝固収縮時に金型が変形しないのであるから casting物が割れることになる。金型中子にテーパを付けることである程度解決できるが、後加工が増えるために制限された。いろいろ試みたが、最終的には中子部分を砂型に置き換えて量産化に対応した。金型と砂型を組み合わせることにより、応用範囲が広がるわけである。これは、今後の自分の研究に大きく影響したことでもあった。送電線鉄塔では電線を支えているがそこには多くのセラミック製碍子が利用されている。各碍子はその上部にキャップを付けている。碍子の保持・保護に鋳鉄製碍子キャップが使われているが、碍子キャップは昔から可鍛鋳鉄と呼ばれる高級 casting物が使われてきた。特に、夏・冬の気温が変化する中での疲労強度が強いことと、信頼性の大きいことで使われてきたが、

球状黒鉛鑄鉄を金型と砂型の組み合わせた鑄型で鑄造して、可鍛鑄鉄に代わる球状黒鉛鑄鉄で、黒鉛粒径が細かく低温靱性に優れる点を利用したものだが、コスト面で圧倒的な優位性を示した。こうした鑄物づくりには製品ごとにノウハウが生まれるとともに、解決すべき課題が出てくる。その中に意外な課題があるものであり、モノづくり研究者は現場に行くことがいかに大切かを悟るのである。

同じころ、米国 GE と提携していた三洋電機が、GE のスペックにより新しいエアコンのシリンダー、シリンダーヘッドを高強度で被削性、耐摩耗性に優れた共晶状黒鉛鑄鉄で製造するようになり、ナショナルもその方向に向かった。量産物であり、砂型鑄造ではこのスペックを満たせないことから、大手の鑄造メーカーも加わり、金型鑄造技術も陽の目を見るようになりだした。月産 300~500 トンクラスのラインが国内で 5 社ほど稼働しだし、一部は海外に工場を新設して製造をしていた。図 4¹⁾ に金型鑄造による鑄鉄鑄物の例を示したが、エアコン用シリンダー及びそのシリンダーヘッドも示した。このように、金型鑄造実施例が増えていくことになったが、塗型の耐久性の問題がクローズアップされるようになり、塗型の研究は続いていた。粘結材に水ガラスを使う塗型の寿命は短く、鑄造ごとに塗布しなければならなかった。そこで開発したのがリン酸塩を粘結材にする塗型材である。リン酸アルミニウムを予熱した金型キャビティ面に塗布すると、アルミナの膜を生成するが、これはガラス化して極めて強固である。水ガラスを粘結材として使用した珪藻土膜に比し、数倍の注湯に耐えることが分かり、広く普及するようになったが、塗型膜を清掃するときにも剥がれないということが問題になり、次の課題として強固でありながらも剥がしたいときにスムーズに剥がれる塗型材が要求されるようになった。リン酸塩を使用した塗型についての研究成果を特許申請したが、1937 年頃の特許に抵触するという事で拒絶された。しかし、某電気メーカーがおおよそ筆者の特許内容と同じ内容で特許を取得し、商品化したことが分かった。詳細に調べていくと、特許の対象が鑄造分野ではなく、テレビのブラウン管の塗料で提出し、特許になっていることが分かり、民間企業の特許戦略のたくましさに驚いたものである。オリジナリティーは自分にあるが、このような形で他人にその実績を奪われた悔しさは忘れることが出来ない。国立研の成果はいち早く学会を通じて公表しろとの教育を受けてきたのが裏目に出たわけだが、その後の技術開発における特許の重要性と戦略を痛いほど思い知らされ、若手研究者にはこの話をいつもしてきた。

その後、鑄鉄の凝固時の黒鉛の結晶核を生成するための溶湯処理を研究し、セメントタイトの晶出を抑える接種材の開発に成功した。注湯直前に Fe-Si、Ca-Si などのシリコン系化合物を添加すると、黒鉛生成のための結晶核が増加し、黒鉛の形状も改善できることが分かっていたが、これらに Sr あるいは Ba を微量添加するとセメントタイト晶出の抑制効果が表れ、黒鉛化を促進することを見出した。新たな接種材の開発と共に、Fe-C-Si 系合金である鑄鉄の C 及び Si 含有量の比率を制御することで、急冷凝固下では黒鉛を晶出し、微細化する効果の大きいことを見出した。その結果、Si/C 比の増加により黒鉛は微細化され、金型共晶状微細黒鉛鑄鉄の引張強さは、球状黒鉛鑄鉄並みの 60 kg/mm²を超えるようになってき



図4 金型鑄造鑄鉄鑄物例

(上: 異形管 (14 kg) とフランジ (1 kg)、

右上:ピロブロック (P型:1.4 kg、F型:1.3 kg)、右下:エアコン用シリンダー (0.9 kg) とシリンダーヘッド (0.7 kg)、

た。これにより、セメントait晶出抑制手段として考えてきた、塗型への依存度が減ってきて、塗型材はなくても鑄鉄の金型鑄造が可能になる期待が出てきた。アルミニウムのダイキャストでは金型表面に離型剂的効果を持たしたコロイド状黒鉛塗型とかシリコンオイルが使われている。アルミニウムの注湯温度が 700°C程度なのに比し、鑄鉄では 1400°C程度の高温になるので、シリコンオイルは無理にしてもコロイド状黒鉛塗型でいけるようになってきた。金型は予熱温度である約 300 度と注湯温度 1400 度の熱衝撃を繰り返す。このため、金型寿命は熱疲労によって左右されることになる。金型の長寿命化はコストに最も影響する因子であり、工業化には長寿命金型システムの開発が最も重要になる。一般的に、コストは常に砂型鑄物コストより同等かもしくは安くならねばならないという宿命がある。砂型鑄造も環境対策を進めながら自動造型機の開発が急速に進歩し、普通鑄鉄ではkg当たり 150 円前後で出荷しているが、金型鑄造ではその実現がかなり困難で、高付加価値鑄物の製造に限られていた。金型寿命は、金型材質に依存し、低価格金属を用いて安価で且つ短寿命金型を加工するか、高価格金属で長寿命金型を加工するかの選択肢がある。前者には鑄鉄が使われ、後者には Ni、Cr などを含有する耐熱金属が使われるが、両金型の比較では鑄鉄金型が大勢を占め、機械加工費節約のためにニアネットシェープの鑄鉄鑄物をベースに仕上げの機械加工をして金型とすることが多い。この場合に、最低 1 万ショットが目

安であったが、なかなか難しい問題であった。熱疲労は casting 時の注湯による金型温度の急激な上昇と離型後の急激な温度低下の繰り返しによって生じるが、この温度差を小さくすれば熱疲労も減少するはずであるし、寿命も延びるはずである。そのためには高熱伝導率の金属を型材として利用すれば温度差を小さく、金型の温度分布を均一に近づけられるはずであるとの観点から、金属で最も高い熱伝導率を有する銅に焦点を当てた研究を行った³⁾。調査をすると、鉄鋼の連続 casting で約 1700°C の溶鉄を銅製ノズルに通して、連続した丸棒を製造していた。鉄は銅に比し融点が約 500°C も高いが、銅製ノズルは溶けることなく長時間使用されている。この場合は、温度は高温でも、一定温度での作業であって、熱疲労は極めて小さい条件での作業であるが大いに参考になった。純粋の銅は熱伝導率が高いものの、加工しにくく硬度、強度の面で低い。微量の合金元素を添加して弱点を改善していく必要があり、企業との連携で casting 用の銅合金を開発した。これは、Cu-Zr を基本とする銅合金に機能を持たせる金属元素を添加したもので、機械加工は容易で、熱伝導率も $0.74 \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{°C}$ と鉄の 0.20 に比し 3.7 倍大きい金型材料である。コストは kg 当たり 4,000 円程度で高価ではあったが高熱伝導率を維持し、機械加工に優れた型材として普及した。铸件重量によって異なるが、例えばコンプレッサー用のクランクシャフトの casting 例では金型の 7 個所で測定した温度差は 80°C から 10°C にまで下がり温度分布のよいこと、金型の最高到達温度約 800°C から 200°C 位まで下がり、温度勾配の小さいものとなった。さらに、金型内に冷却用の通路を設計し、金型の温度をほとんど決めた範囲内に収められるようになってきた。これにより熱疲労は抑えられ、鋳鉄金型では 600 ショット、鋼で 2,000 ショットであったのが、20,000 ショットまで使用でき、型による低コスト化をある程度解決できたが、さらなる改良が求められている。

Si/C 比の増加により鉄中の Si 量が増加することになり、マトリックスの硬化により強度は上がるが、反面、脆くなりやすくなり、一般には、鋳鉄では 2% 以下の含有量である。普通鋳鉄では Si 含有量を増やすとフェライト組織の割合が高くなり、黒鉛の粗大化を招くため低 Si にするのが常道である。凝固時の冷却速度が急速な金型 casting では、初晶がデンドリティックに残存し、微細な共晶状黒鉛が分散した組織を呈し、Si 量を増やすと引張強さ、硬度は上昇する。脆さを表す衝撃強さは鉄中に黒鉛が分散した普通鋳鉄では、黒鉛の存在による低衝撃強度材料であり、Si 量の増加による衝撃強さへの影響は小さいので、Si 含有量を増やした金型共晶状黒鉛鋳鉄はフェライト地であるにもかかわらず球状黒鉛鋳鉄並みの引張強さを示す。Si 含有量は 4% 程度まで可能であり、その強度は前述したように 60 kg/mm^2 以上に上昇する。

一方、 casting 業界は鍛造材に匹敵する鋳鉄の開発が進み、普通鋳鉄の黒鉛がセル内では一つの黒鉛結晶種から連続した片状に成長し（キャベツの葉のような形状）、鉄の連続性を分断しているために高強度にはなりにくいという宿命を持っている。黒鉛形状を独立した球状にすれば鉄本来の連続性を維持する部分が増え、強度増加が期待できる。鋳鉄の種類は

黒鉛形状によっても分類されるが、普通鋳鉄は片状黒鉛鋳鉄、球状である場合には球状黒鉛鋳鉄と呼ばれる。黒鉛を球状にするには、鉄中の S 含有量を出来る限り少なくすることが必要であり、一般に Mg 合金の添加で MgS を生成させて脱硫する方法がポピュラーに広まっている。黒鉛を球状にしてマトリックスをパーライト地にすると、その強度は 70 kg/mm²程度になり、熱処理を加えると 100 kg/mm²にもなる。金型の急速凝固を利用して球状黒鉛鋳鉄を製造すると、黒鉛は超微細化し、強度は増加し、伸びは減少する。また、Si 量が多いために常温での衝撃強度は低下するが、低温での衝撃値は常温の衝撃値と同等であり、低温遷移温度は改善されるような性質を持つことが分かってきた。金型球状黒鉛鋳鉄は自動車のカムシャフトなどに利用されているが、これは鋳造後若干発生するセメントイトを焼鈍し熱処理によって分解して使われた。熱処理時間が 30 分程度と短時間であり、鋳造ラインに熱処理炉を組み込むことが出来るために普及した。

金型鋳造が普及するにつれて、当初イメージしていたプロセスも変化していった。第 1 に、塗型への依存度が減少し、塗膜耐久性への要求は大きな問題にならず、離型剂的な効果があれば十分になってきた。鋳造後の焼鈍し熱処理の導入、鋳鉄液体の注湯直前処理（接種剤、温度コントロールなど）の改良により可能になった。第 2 に金型寿命の延長に対する考え方である。金型表面は注湯時に 1400°C の液体に接し、離型後 300°C 以下に調整されるが、この温度差による熱衝撃、熱疲労によって支配されることが分かってきた。注湯温度を下げるわけにはいかず、金型温度を上昇すればさらに熱疲労は大きくなることから、金型温度を常に低温に維持できれば金型内温度分布は均一に近い状態になり疲労が起きにくくなるであろうとの前提に、開発したのが前述した金属で最も熱伝導率の高い銅を用いることである。銅自体は加工しにくく、傷つきやすいので合金化する必要があるが、例えば真鍮は純銅の熱伝導率に比し、3分の1ぐらいで鉄とほぼ同じ熱伝導率に低下してしまう。加工性に優れ鋳造機に設置しても変形しない銅合金の開発により、銅合金金型を開発したが、砂型鋳造ラインの進歩は環境問題を含めて自動化とハイ・サイクル化（15 秒タクト）が進み、新たに金型鋳造ラインに置き換えるための投資はあまりなされなかった。砂資源枯渇化の問題も砂のリサイクル技術が進んでいった。片状黒鉛鋳鉄あるいは球状黒鉛鋳鉄でも、金型の特徴的な金属組織が要求される鋳物では金型鋳造が使われるが、鋳物の 70% 以上が自動車部品の時代となり、厳しいコスト競争に対応せざるを得ない時代になってきた。特異な組織と物性を示す金型鋳造鋳鉄はその特徴にあった製品への利用にとどまるようになり、特殊な鋳造法としての位置づけにとどまっている。

3. 地域貢献

国立試験研究機関で鋳造技術を実施している唯一の試験所として、名工試は昭和 30 年代初期より、各自治体にある試験場の鋳造部門の研究者との交流を積極的に実施してきた。当時、中小企業事業団では公設試験研究機関の人材育成として 1 年間の研修プログラムを実施しており、事業団で 6 か月の座学を実施し、国立研で 6 か月の研究 OJT を行っていた。

鑄造研究者は、全て名工試に来ることになるわけだが、毎年2, 3名の研修生を引き受けていた。制度が始まって数年たったころから、研修経験者の同窓会のような形、「全国鑄造技術担当者会議」を組織した。これは、卒業後も技術相談に多くの卒業生が頼りにして名工試に来てくれ、また自治体事業などの鑄造技術の指導にも名工試からも快く出向いていたから組織出来たものである。この関係は年々強いものとなり、担当者会議のメンバーになりたく他の金属加工研究者も鑄造コースを選択して参加するようになった。約15年の間、年を追うごとに自治体の数は増えていき、最終的には2, 3の自治体を除いてすべての自治体の研究者が来た。担当者会議は会議費等の支援を当時の(財)総合鑄物センター(現、(一財)素形材センター)に依頼するようになり共催の形をとりながら、鑄造に関する情報交換、中小企業施策、技術開発の方向性、先端的鑄造技術、個々の課題に関する相談などを実施し、真の師弟関係が確立されていった。このような成果は、組織を引っ張るにふさわしいリーダーがいたことによるが、その人は昭和40年代中頃に民間企業に転職し、小規模の鑄造を主とする企業を東証2部に引き上げ、当時日本経済新聞をにぎわしたほどであった。そのリーダー退職後、名工試鑄造部門は一体となって担当者会議をけん引してきた。中小企業庁が全国の中小企業のために講ずる各種施策のうち、関係するものはほとんどお手伝いしてきた。例えばかなり長期間行われた省エネ技術の巡回指導などには、名工試の研究者は公設試験研究機関の鑄造部門の要請にこたえて、全国の鑄造企業を駆け巡り、エネルギー消費型の鑄造システムの省エネに関しての指導を担ってきた。これは、研究者も中小企業の実態を学び、現場のニーズを把握するのに極めて効果的であった。

鑄造産業は川口、桑名、盛岡など伝統的な地域で鑄造業が受け継がれてきたが、環境問題、若手技術者の不足などの問題で産業構造に変化が表れてきた。特に川口の鑄造業は映画「キューボラのある街」の舞台にもなったせいか、近隣住民の環境問題対策の矢面に立たされ、栃木、福島方面に移転していき、長年最大の生産量を誇ってきた埼玉県が愛知県に抜かれるといった時期でもあった。担当者会議は、1980年代に入った頃から熱心であった公設試の鑄造部門の代表者が試験場の場長になる人も出てきて盛り上がりを見せていたがそういう自治体の鑄造部門は存続したが、いくつかの地域では、大学と同様に鑄造部門が徐々に縮小していった。縮小に伴って、鑄造以外の金属関連研究部門の参加が増える傾向が出てきた。会議の柱に鑄造技術を備えての組織が徐々に崩れ、金属全般に移行していく中、中身は中小企業庁の施策に関する話題、情報交換が主体を占めるようになっていった。名前も「全国公設試験研究機関素形材技術担当者会議」と変更した。このころ、通産省の「鑄鍛造品課」が「素形材産業室」と名前を変更し、素形材というキーワードが広く普及した頃であった。

平成に入って、自治体の公設試験研究機関との交流組織でもあった工技院の工業技術連絡会議の見直しが始まり、その中にこの担当者会議も組み入れてもらうよう提案し、機械・金属連合部会の「素形材分科会」として現在も活動を続けている。

1980年代に工技院は地域大プロなる地域密着型の産学官研究体制による研究開発制度を

導入した。名工試鑄造グループでは、1983年から「多品種少量生産型高効率鑄造技術の研究開発」を7自治体研究機関、約20民間企業（有機樹脂メーカー、鑄造機械メーカー、鑄造業など）の参加を得て推進した。1989年には「銅合金金型の鑄鉄鑄造への応用に関する研究」を2自治体、1民間企業で実施、1991年には「複合材両親成形技術の研究開発」を4自治体、4企業で実施した。いずれも地域の大学の先生方にアドバイザーとして参加してもらっていた。

3. 学会等鑄造関連団体での活動

鑄造技術に関する学術組織として（社）日本鑄物協会、（社）日本鉄鋼協会、（社）日本金属学会、（社）軽金属協会、学術振興会第24委員会などがあり、特に日本鑄物協会については、名工試が唯一「鑄型」を中心とした鑄造プロセスの国立研究機関であったので、主導的役割を果たしていた。

また、鑄造関連団体としては、（財）総合鑄物センターが鑄鍛造品課の事業を実施する団体として、また、鑄造業界を中心に構成された（社）日本鑄物工業会、（社）日本鑄造技術協会、（社）日本強靱鑄鉄協会、（社）日本鑄造機械工業会などが平成17年に（一社）日本鑄造協会に統一された。この中で、日本鑄造技術協会は中部支部を名工試において活動していた。

終戦後鑄物砂の資源調査が各地の大学を中心に行われたが、東海地区に豊富に分布していた。終戦直後は山砂が主流で、良い粘土を含んだ土がそのまま鑄物砂となり、需要増加にこたえるため海砂が使われた。瀬戸、多治見の陶磁器産地も粘土資源の豊富なことに由来を發するが、鑄物産地も、昔は川砂を利用していただけ良い川砂の採れる地域（川口―荒川、桑名―木曾3川）に發展してきた。海砂は、例えば知多半島の内海海水浴場の砂は、当時1トン当たり6千円で取引され、ダンプカーを持っていれば食うに困らない時代であった。しかし、自然環境の保護が叫ばれるようになってから天然砂は影を潜め人工砂が主流になっていった。天然砂が主流のころ、東海地域では産学官が一体となって産地を回って、SiO₂分に富んだ砂の産地を精力的に探索した。造型技術も天然砂を前提に開発が進んだが、人工砂の時代になると1からのスタートになり、このあたりから名工試の鑄造研究は着手したことになる。天然の珪石を粉砕して砂にする光景は今でも覚えている。山の傾斜を利用して、大きな珪石を粉砕するのだが、山頂側に粉砕機を設置し、斜面に粗い目を持つ篩から下降するにつれて徐々に細かい篩を配置し、最下部は篩をすり抜けた微粉碎の砂を集める小屋がある。ものすごい音と共に珪石を粉砕しだすともうもうと煙のような埃をたて、粉砕された砂は落下していき、大きさに応じて篩に回収され、微粉碎の砂を集める小屋は一寸先が見えないほどの埃にまみれている。この作業をしている周囲の木々はすべて枯れ、小屋には防塵マスクをした作業者がいたが、ほとんどの人が珪肺で亡くなっていくと聞いた。当時のことではあるが、作業者は珪肺を承知で入社してきたそうで、命と金の交換をする時代でもあったのだ。人工砂製造の初期はこのような悲惨な犠牲を前提に

工業は成り立っていた時代であり、今では許されないモノづくりを余儀なくされたことを思うと、いたたまれなくなる。

人工砂を鋳型に利用することに関して、名工試はいち早くリーダーシップをとったが、その主役は鋳物砂高温試験機（サーモラボ）を筆頭に各種の高温試験機で、当時の先進的鋳造技術を実施していた研究機関は、どこが最初に設置するかを競っていたが通産省が名工試に設置してくれたのである。これによるデータは人工砂の鋳型への利用に大きな役割を果たし、民間企業からの依頼試験も大変な数であった。鋳型の性質のみならず、粘結材開発、鋳造欠陥対策にも対応できるように提案し、学会の鋳型部門の研究発表では大きな話題を呼び、研究会が設立された。鋳型造型技術はこの後、小物量産鋳物の製造に劇的な変化を遂げていくが、一方で中・大物鋳物に対応する鋳型の造型法についても、石油化学の進歩とともに新しい技術が次々と誕生した。有機樹脂粘結材の開発と利用である。鋳造産業に樹脂メーカーが加わると共に、工程の自動化に機械メーカーが加わり、多くの産業を巻き込んで進歩するが、名工試においても多くの鋳型造型法の提案を行ってきた。

こうした鋳型の開発をメインに、学会で鋳造技術開発の中核的機関として位置づけられるようになった。

筆者の金型鋳造技術はこれらと一線を画して、特殊な鋳造技術として注目され、新しい鋳造技術の開発を進めたことになるが、これも、他ではほとんど研究していなかった分野で、環境問題、資源枯渇化、人材不足対応の自動化などを可能にする次の次ぐりの時代に位置付けられた鋳造技術として、鋳造の将来を心配する人々には関心の高い技術であった。学会の講演会場は 5、60 人の部屋がいつも人であふれていた。名工試のグループで午前の金型セッションを全て占めるという精力的な研究を進めてきたが、学会本部に研究会を設置する話はけられ、やむを得ず地元の東海支部で自ら研究会を設置した。全国から参加者が表れ、関西支部でも作りたいとの話に乗って、設置に動き、毎回委員を交互に参加させながら運営してきた。中央設置の話も出たが、こちらからお断りした。あくまで支部活動として取り組んできた。データもそろいだした頃、金型鋳造技術に関しての技術をまとめた出版物を出したいとの話が起り、1976 年 11 月に日本鋳造協会編「鋳鉄の金型鋳造」を出版した。

日本鋳物協会は東京、名古屋、大阪で交互に春の講演会を開催し、秋の講演大会は地方で開催するが、名古屋の大会では 4 年に一度、日本鋳造機械工業会と共催して鋳造展示会を開催する。鋳造技術に関して我が国最大の展示会で、3 日間で約 2 万人の参加者が来場する。1992 年開催の時は実行委員長だったが、JICA 研修で約 1 年間、名工試で学んだ韓国漢陽大学の先生が応援のために韓国鋳造学会会員 50 人を引き連れて参加してくれた。他にも米国、ドイツ、中国、インドネシア等から展示会のために参加する者はいたが、組織での参加は初めてのことであった。彼らが工場見学にも参加したところ、日本企業から韓国人はお断りといわれたときには残念に思い、経営者に無理やりお願いして認めてもらったが、民間企業の国際協力の厳しさを知った。

学会で「アジア鋳物国際会議」の構築を企画した時、ちょうど理事であったので各国にお願いするとき、JICA 研修で名工試に来たことのある技術者はその国における中核的立場にいるとのことで、参加を呼び掛けたこともあった。第 1 回の設立記念会議は東北大学で開催されたが、初めてのアジア各国との交流の場であり、発表が少ないのが印象的であった。後に、JICA の技術移転事業でフィリピンの金属工業研究開発センター (MIRDC) に 5 年間籍を置いたが、学会誌もなければ、研究発表する場もなく、経営者の意見交換の場であり、世界の学会誌も予算の関係で購入していない。技術情報は商社からの情報が展示会参加に依存している。発展途上国の研究と日本では大きな差のあることを理解しておかねばならない。

鋳造業の人材不足は深刻な問題であるが、大学でも先生方の鋳造研究を放棄したところが多く、産学で人材不足の時代に入ってきた。日本鋳物協会は現在、(公社) 日本鋳造工学会に変わったが、会員数は 3000 人を切った。戦前は 1 万人を超えていたようで、ここ 20 年で 500 人以上の減少である。このまま推移すると鋳造工学会は鋳造産業より先に自然消滅していく運命にある。1990 年に入った頃、これを学会で初めて問題視し、若手の勧誘を強化しなければならないことを理事会で訴えた。いろいろ考えた末に、若者、学生などこれから活躍する世代に鋳造への関心を持ってもらうこと、現在の若手が情熱をもって鋳造を続けるようにすることなどが重要であると考えて、40 歳以下の技術者、研究者を中心に「若手鋳造技術者の会 (Young Foundry Engineer)」の構築を提案した。理事会は直ぐに構築しろとの意見多数であった。そこで、「全国公設試験研究機関鋳造技術担当者会議」のメンバーが日本中にいることを利用して、各地のメンバーに電話で趣旨説明をして、参加するように呼び掛けた。その結果、2 週間ぐらいで各地とも協力してくれるとの了解を取り付け、9 つの支部の組織を 2 週間で構築し、全国組織と規約の両案を 1 か月後に理事会に提案し、認められた。初代代表になって、名称を「YFE」とし、活動内容、各地責任者、スケジュールなどを作成して、全国大会でオープンセレモニーを開催した。これは、現在も学会の若手の活躍する場として継続されており、彼らの独自の行事も取り入れて活動している。アイデアから実現までわずか 1 月程度で、電話代だけで完成させたが、担当者会議の皆様のお陰であることに感謝している。

中央職業能力開発協会の主催する技能検定試験のうち、東海地区における鋳造及び金属溶解の審査委員長を名工試職員が担当している。この試験は休日に、しかも早朝より開催され、審査終了まで 10 時間程度かかる。技能オリンピックの卵ともいべき若い人から、上級の管理職まで含めた各レベルに応じたクラスの試験を担当する。会場は大手民間企業の鋳造工場であり、自分も現場の職人になったような気持ちになる。瞬間の行動でお釈迦になる子には同情し、最後まできっちりやった子には拍手を送るようなまなざしで応援し、いつもと異なる気持ちで鋳造技術を見ることが出来る。しかし、実技試験は自動化が進んだ現代の鋳造技術とはかなり異なる古い時代の内容で試験しているのが気になる。経営者に問うと、古い時代の方が鋳物づくりの基本を身につけるのには理に適っており、奨励し

ているとの答えに納得したりする。こうした活動も、鑄造というモノづくり技術にはついて回るもので、実験室でデータを取るのとは全く異なった体験を楽しめる。

4. 国際貢献

日本の鑄物品質は世界一であると思っているが、他の国の鑄物工場で鑄物づくりを見ると、多くの国で、後加工で切削するような部分の鑄肌に対して少々の欠陥があっても、それは排除されず製品として出荷されている。日本ではそれは許されない。それが日本のモノづくりといえればそれまでだが、そこに自分の作ったものに対するこだわりが働く。出来た物への製作者の愛情である。名工試では、1962年に創設された海外技術協力事業団から1974年に国際協力事業団に統合されたが、発展途上国への技術協力（研修生受入、青年招へい、プロジェクト方式技術協力、専門家派遣など）の支援を続けてきた。研修生受入では鑄造コースに毎年10人前後の研修生を受け入れ、約半年間、座学、OJTを行っていた。中国、韓国を含め東南アジア、中近東、南米、アフリカの鑄造技術者を預かり指導をしてきた。また、特定の研究者は青年招へいで中国、韓国の大学の若手を1年間の留学生を受け入れてきた。さらに専門家派遣ではインドネシア、フィリピン、トルコ、タイ、中国、韓国などに赴いた。プロジェクト方式の技術協力ではフィリピン MIRDC で砂型および精密鑄造の技術移転事業を行った。前にも述べたが、これらの国での研究は即現場の問題に立ち向かうための技術開発で、未知の問題を研究していくことには慣れていない人が多く、鑄造の理論もほとんど知らない場合が多い。

鑄造コースの研修で来る技術者は、国に帰れば我々には想像もできない裕福な家庭の人が多く、タイからの研修生の一人は庭にプール、テニスコートのある家に住み、ベンツに乗っている写真を見せてくれた。当時、タイには行ったこともなく、こんな人が鑄造技術者をしている国の鑄造工場とはどんなところかと思ったが、後に訪問した時にあまりのギャップの大きいことに驚いたものである。多分、鑄造を所轄する部門にいた役人ではなからうかと思った。3Kとも5Kともいわれる鑄造工場は、発展途上国の方がその改善の速度は遅く、改善の程度も低いし、意識に問題があるように思う。急速に変化を続けている発展途上国ではあるが、技術力の差は20年程度あると思われる。個別で留学してくるのは大学の先生であり、中国、韓国が多かったが、今から考えれば東南アジア等に比し2歩も3歩も進んだ国であったが、今や、日本が追い抜かれたり、追い抜かれようとしている。中国は上海交通大学から2人の留学生が来たが、後年しばらく年に1度集中講義を依頼されて、講義に行った。上海交通大学の制度が日本と大きく異なるのに驚いたが、教授は自分の技術特許で会社を興し、本社機能を学内において、会社からも給料をもらっている。車も中国の国産車ではなく、ドイツの高級車に乗っており、会社を持たない教授とは収入に大きな差がある。会社の利益の25%を大学に納める義務があるそうで、大学はそういうお金を集めて職員のボーナスの原資にしているのだそうだ。日本の大学とはずいぶん違うものである。大学も企業も組織の主要ポストに共産党から幹部が派遣されているとのこと。

集中講義を聞くのは学生のみならず鑄造企業の人も参加しており 300 人くらいは来ていたであろう。帰国してしばらくした時、中国から日本語の手紙が来て、日本でキュボラに技術者が不足していると聞いたが、自分を雇ってくれとの内容であった。南京大学からは南京鑄造工学会の名誉会員に就任してくれとの連絡が来た。清華大学からは集中講義を依頼され、学内の宿泊施設で久しぶりに東大の先生と出会う、世界は狭いことを実感させられた。韓国漢陽大学の先生からは、漢陽大学設立 80 周年の記念講演に「21 世紀に向けての日本の技術戦略」と題して話をしろと依頼された。これはちょっと荷が重すぎることであり、工技院に相談したが、自分の考えていることを話して来ればとのことで、一層参ってしまった。戦略というからにはそれなりの主張はできるが、センセーショナルなことは避けて、無難な話にしたのだが、韓国が日本の技術者を引張り込み、日本企業の先を歩き出すとは夢にも思わなかった。講演後、総長室でしばらく歓談する時間があったが、日本についてかなり情報を集め、よく分析されていることに驚いた。教授から謝金が渡されたが、研究費に使ってもらいたいと申し出ると、変な人が来て体の寸法を測定していった。帰国して 1 月ほどたったなら、教授から荷物が届き、開けてみると背広が入っていた。あの測定は背広仕立てのためのものであったことに気付いた。謝金が背広に変わっただけで、研究費に使ってもらえなかったのは残念なことであった。

1973 年に創設された工業技術院の国際産業技術研究事業 (ITIT) においてもフィリピンの MIRDC における鑄造技術調査、中国の上海交通大学の研究者の招聘、パキスタンの機械・金属工業調査など行ってきた。

海外の鑄造技術に関係する人々との交流も、長年続けるとその人数は膨大なものに膨らむものの、その後の交流は限られていくが、1987 年 2 月に、それらの人々を集めた「アジア鑄造技術担当者会議」開催をした。日本はバブルのさなかにあるものの各国は厳しい財政状況にあり、出席者を心配していたが約 30 人の懐かしい人々が集まり、昔話に花を咲かせた。多くの皆さんから今後のさらなる協力依頼を受け、現実にはなかなか出来ないことなので辛い思いもした。

5 まとめ

工業高校時代の実習で鑄造実習が一番いやなものであったが、一つ記憶に残ったのは、自分で作ったものがいまだにあるということである。鉄鑄物であれば鑄びて、とっくに捨てていると思われるが、実習ではアルミニウム合金の鑄造品を作り、そのままの形で残っている。創作とまでいかないが、自分が冬の冷たい実験工場で必死になって鑄型を造型し、先生が溶かしてくれた AI 溶湯を注湯する。翌日型バラシをして鑄物を取り出すと、そこそこの形をしたものが出てくる。この瞬間はいいものである。ある企業のキャッチフレーズに「素材に命を」というのがあったが、まさに命を吹き込んだような感じである。

鑄造は研究がなくても生産は進展するであろう。しかし、常に変化するユーザーの要求を満たし続けるには、やはりたゆまぬ研究を続けねばならず、大学、公的研究機関での

鑄造研究は必要なのである。鑄造に代わる技術が出てくればそれはそれで進むであろうが、もっとも形を作りやすい液体を出発点とする技術は類がないし、今後も出てくるとは思えない。

金型鑄造の研究を始めたころ、鑄鉄の金型に関する情報は皆無と言ってよいくらいなかった。塗型の研究から入ったが、金型表面の塗膜に結晶水のような水分が残っているようなときには、注湯した鑄鉄溶湯が花火のように天井めがけて飛び出してくる。鉄の玉となって頭に降りかかってくるため、今でも頭は部分部分に小さな禿げが残っている。これを勲章と思っている。粘土は900℃位で熱分解し、結晶水を放出するため特に爆発力が大きかった。金属液体は反応性が高く、高温であるために細心の注意をしてかからねばならず、火傷は良くしていた。まして、球状黒鉛鑄鉄では金属の中でも最も反応性の高いMgを添加するのであるから極めて危険であった。最近のMg合金は反応性をかなり抑えたもので、反応時も若干のうねりが溶湯表面に生じるくらいまで改良されているが、初期段階では、溶湯が飛んできてよいように身体をメガネ、帽子は当然として、耐熱性のある衣服で防御して鑄造していた。こんな現場での作業の後に、試験片の化学分析、機械的性質の測定、顕微鏡観察等を行ってきた。実験の素材を自ら作り、それを研究するというのに、一から十まで自分でやるという習性を身につけたことになった。これは今でも良い修正を身につけたと思っていることであり、ややもするとコンピューターのシミュレーションに傾きがちな研究に依存する傾向のある若き研究者には、ぜひ体験してもらいたいことである。

技術は少しでも良い技術が生まれると、今までの技術は直ちに過去のものとなり、徐々に忘れ去られる運命にある。算盤は今でも子供の習い事になっている。計算機が安く売られて誰もが手に入る時代であるにもかかわらず算盤は生きている。一方、世の多くの人から忘れられたか全く知らないものに計算尺がある。工業高校の頃、計算尺を習い、わずか3か月の練習で東京商工会議所主催の全国計算尺大会に出場し、最年少で入賞した実績のある筆者は計算尺不要の時代になったころから、世の中のものはずべてこうした浮き沈みの中にあるのだと悟った。その中で、算盤はなくてはならないものではないのに受け継がれていく。鑄造技術も算盤のように永遠に受け継がれていく技術であると思っている。算盤の良さが子供の教育にプラスに作用するからであろうし、昔から言われるように読み書き算盤という学習の手段としてだれもが良いものと思うから残っているのであろうが、技術も、他の技術で代替できないような長所があれば生き残るのである。鑄造は金属固体の構造をすべて破壊して液体に変えたものがスタートであり、そこから鑄型に応じていかなる形のものでも、瞬時に作ってしまうという離れ業の技術である。算盤のように鑄造はいつの時代でも必要であり、時代の要求する形のもを最も合理的に安く作る技術であり、今後とも研究を続けていかねばならない技術の一つである。

参考文献

- 1) 近藤靖彦；NIKKEI MECHANICAL,7月6日号（1981年）、 P42
- 2) 近藤靖彦、磯谷三男、上田俣完；鋳物 45（1973）、11、20
- 3) 近藤靖彦（共著）「鋳鉄の金型鋳造への銅合金金型の適用」（（社）日本鋳物協会東海支部金型鋳造研究部会編）、（1992）

著者略歴

1962年1月：通商産業省工業技術院名古屋工業技術試験所入所

1985年6月：同 上 研究企画官

1987年10月：同 上 金属部長

1993年6月：同 上 所長

（同年10月名古屋工業技術研究所に改組）

1997年10月：国際協力事業団フィリピン金型技術向上プロジェクトチーフアドバイザー

2003年1月：フィリピン国貿易産業省 中小企業振興政策立案コンサルタント

2003年7月：（財）中部科学技術センター 東海ものづくり創生協議会事務局長

2004年6月：同 上 専務理事

2008年6月：（社）中部航空宇宙技術センター専務理事

2012年6月：同 上 参与兼プロジェクトマネジャー

学協会活動：

（公財）日本鋳造工学会関連（副会長、理事、英文誌編集委員長、東海支部長、同顧問）、第120回全国講演大会実行委員長、'92名古屋鋳物フェア実行委員長、名誉会員）

（公社）日本鋳造協会中部支部理事、顧問

その他学協会関連（日本金属学会・日本鉄鋼協会東海支部理事、軽金属協会中部センター幹事）

型技術協会、流体熱懇話会、日本溶射協会等に所属

勲章：

2012年4月 瑞宝中綬章 授与

表彰：

（財）日本鋳物協会：小林賞、日下賞

（公財）日本鋳造工学会：功労賞

（社）日本鋳造技術協会：功労賞

(財)永井科学技術財団： 学術賞
通商産業省功労賞 (平成9年11月11日)
中部経済産業局： 施策功労者感謝状(平成25年1月15日)

受理日：2016年3月11日