



## 電顕からシャベルまで

(株)宇部スチール 糸 藤 春 喜

この度の(社)日本鑄造工学会中国四国支部よりの「功労賞」受賞に際し、小松支部長を始めとする諸氏のおかげと心より感謝しております。

さて、微力ながら支部活動に貢献できるようになった要因を考えてみますと、電子顕微鏡の世界からシャベル作業までを体験することによって、理論と実際の溝が狭くなったことが、功を奏していると思っています。以下にその具体的な要因を、思いつくままに綴ってみます。

### 1. サイト説の誕生

最初に鑄物と接したのは、船用エンジンのシリンダーカバーの製造確性試験を実施した時である。まだ材料として市民権を得ていないCV黒鉛鑄鉄での確性試験だった。その時、CV化処理溶湯を鑄込んだ階段状試験片において、「なぜ球状、CV及びチャンキー黒鉛が同時に存在するのか。」が疑問だった。山本、張、川野らの気泡説に出会った時、「気泡に黒鉛が晶出するのなら、球状黒鉛にはあてはまる。しかし、CV及びチャンキー黒鉛には無理がある。」と思った。しかし、埴や李の焼戻し黒鉛理論「固相析出黒鉛の形態は、固相におけるボイドの形態次第であり、ボイドが球状なら黒鉛も球状となる。」に出会った時、すぐにサイト説「黒鉛の形態は、その黒鉛が晶・析出するサイトの形態に律速される。」と着想した。黒鉛の形態が基本的に同じで特殊性がない以上、その生成・成長が律速されているだろうし、同一理論で整理できると思ったからである。

サイト説の実証には、約20年間費やした。球状、CV、チャンキー黒鉛の生成・成長が、同一理論に

て説明できることを実証できた。企業人でありながら理論の研究が続けられたのは、山田肇氏(元、宇部スチール)のおかげである。直上の上司となったことはなかったが、色々と面倒を見てもらった。

### 2. プロフェッショナルとの出会い

球状化処理にて添加したMgは、溶湯中で気化し、溶湯に殆ど溶け込まないから気泡を形成する。その気泡に黒鉛が生成・成長して、球状黒鉛が形成される。Mgは、固相においても殆ど固溶しないから、必然的に球状黒鉛の周囲に存在することとなる。これが、黒鉛球状化へのMgの寄与である。球状黒鉛周囲のMgは、計算前では数原子層厚もない。

先ず電子顕微鏡(EPM)の勉強を開始した。山本、張、川野らの先駆者が、なぜ、球状黒鉛周囲のMg極薄層の存在を実証できなかったかを研究した。従来のEPMでは、回析格子の問題から特性X線の検出精度がよくなく、そのため、ある特性X線強度以上でないとデータとして取扱っていなかった。つまり、微量特性X線強度の検出精度が低いために、データを足切り表示していた。これらの点を解決したのが、JEOLのカラーマッピング装置付EPM(JXA8400M)である。元素固有の特性X線波長に合わせた回析格子を選択・装着できるようになったのである。これにより、データを足切りすることなく、発生する特性X線の全強度レベルを検出・表示できるようになった。待望のEPM誕生であった。

その最新EPMを操作するオペレータが、プロフェッショナルであったことが大きい。そのEPM

Aの開発スタッフであったり、業界で高名な分析技術者であったり、会社の威信をかけて対応してくれたりした人達である。機器が高精度機能を有していれば、良い分析ができるものではない。E P M Aのメンテに精通し、分析試料の構造をよく理解し、選択倍率において電子ビームが試料にどのように入射し、どのように特性X線が出るかをイメージできなければならない。分析依頼者も、オペレータと同様な知識を持ち、どんな分析をするのかを事前打合せできなければならない。そのための勉強もよくした。

上述の結果、球状黒鉛組織におけるMgの分布を、世界で初めて表現できた。Mg分布は、球状黒鉛周囲にハロー状に分布しており、サイト説を裏付けるのに充分であった。もちろん、介在物が黒鉛粒の中心に生成核のように存在する球状黒鉛もあった。しかし、そのような黒鉛粒にもMgハローは存在した。球状黒鉛粒1つではなく、光学顕微鏡と同じ倍率視野にて、複数の黒鉛粒に対する分析結果を、掛値なしに同時に表現できたことが大きい。

### 3. 海外への挑戦

良い論文は、英語で出せ。これが、故、川野先生の教えである。サイト説の実証論文は、英・米国に全て英語論文で出した(全13報)。米国では、通算4回6報の講演を行った。おかげ様で、4回共、学会期間中のゴールデンタイムに割り当てられた。一番良い時間帯で発表することを狙って、それに値する研究をし、論文にしたつもりであったから、的中した時には満足感があった。満席の前での講演は、気持ちが良い。「下手な英語であったが、講演後の反応は悪くなかった。」とは、自己満足か……。質疑応答は、国内の学会でも白熱の議論となることが多い。ましてそれを英語でやるのだから、尚更無理が多い。しかしその後、英語論文が全てドイツでレビューされ、そのレビューが日本語となって国内で紹介されたことを考えると、単に自己満足では終わらなかったと思っている。

### 4. 理論を現場に適用

一見、理論研究は、企業活動とは直接関係がないように思える。しかし、不可解な現象が多い鑄鉄の製造において、理論の存在は、問題を整理・理解するのに非常に有益なことに気付かされた。山田肇氏は、このことを知っていたからこそ、理論研究を継続させてくれたに違いない。

事実、サイト説理論があったからこそ、海外や国内同業他社から技術導入することなく、自社技術にて30Tアーク炉による鑄鉄溶解を可能とした。技術開発当時、キュポラの湯が最良で、低周波炉の湯はチルが出易く良くないとされていた。それが、アーク炉で溶解するというのだから、とんでもない話だった。当初、アーク炉溶製の湯で製品を造ることに對して顧客の了解を得るのに、大変だったことを覚えている。

また、大型厚肉球状黒鉛鑄鉄の製造技術も、自社のみで開発した。引巢やチャンキー黒鉛を発生させることなく、マイクロ組織を制御することで所定の実体強度を保證することが特徴である。

技術コンサルタントの張博士が、既に理論と実際との融合を現場で実現されており、大きな刺激を受けた。自分もやれるのではと自ら鑄造方案し、シャベルをもって造型、溶解・鑄込み、引巢の存在を破壊・非破壊的に確認、強度試験まで一通り体験した。実施結果の評価は、学会に問うた。これが、技術開発に大いに役立っている。おかげ様で、本部技術賞を2度も頂いた。

### 5. 現象は神様

「理論が正で、現象が誤り。」は、有り得ない。理論は、必ず現象を解説できるものでないといけないうし、ブラックボックス的な逃げは打ちたくない。学者の世界であって、現場技術者がイメージできない理屈であってはならない。つまり、特定の現象を言い当てるのではなく、全ての現象を説明できることが望ましい。これが、サイト説の最終目標である。

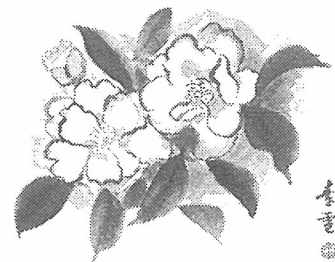
炭素が黒鉛として存在している以上、Mgの存在により異質の結合を示すのではなく、同じ構造であり、晶・析出する場所（サイト）の形態により、黒鉛としての形態が決まる。

## 6. 状態図で見る現場

現場が目前にあり、現場現象を直接体験しながらの職務が常となっている。一品料理に近い生産方式で、材質も鋳鋼から鋳鉄へと多種にわたり、しかも白銑まで手掛けている。熱処理工程もあるために、液相、液・固相共存を含めて、Fe-C系平衡状態図の全域をイメージした対応が必要となる。しかも、現場現象に平衡状態は殆どなく、非平衡状態を扱わなければならない。平衡状態図を一つの指標として、現場の非平衡条件下の現象理解が求められる。やはり、鋳鋼、鋳鉄と問わず同じ理論で対処してやらないと、現場は見えてこない。

## 7. クレームで成長

形ある物は、いつかは壊れる。汗を流して注意深く製造した鋳造品も、産業機械の部品として使用している間に破損することがある。過って鋳造品が破損したのだから、その製造者が悪いと、責任を押し付けられてきた。言われるがままに謝らされ、代替品を無償で納入させられることもあった。しかし、破損部を詳細に調査し、契約面（仕様）及び破壊力学的観点より考慮すると、製造者に起因の不適合が原因で破損に至ることは、極めて稀であることが分かってきた。それ以来、納入先、エンドユーザーと対等に技術論争ができるようになった。国内外共に、製造者の不利な結論に至った例はない。他社が抱えるクレームの相談にものったことも何例かあるが、同様な結果となっている。



以 上