

随 想

単純な疑問へのこだわり

糸藤春喜*

Carring about a Simple Question

Haruki Itofuji*



「なぜ、黒鉛が球状化するの？ 逆に、球状化せずに芋虫状となるの？」との単純な現象に対する疑問から始まり、「なぜ球状黒鉛組織の中にチャンキ黒鉛があんこ状に晶出するの？」との複雑怪奇な現象に向き合っており、30年以上も経過した。当初はなぜが先行したが、疑問が解かれていく内に知りたい意欲へと変わっていった。最近では、自ら出した結論に、自他共に逃げられなくなっている。単純な疑問は、容易な解決とはならず、かえって深みにはまってしまった。

疑問の解決にあたり、球状黒鉛生成・成長に関する国内外の学説及び現象の報告を、漏れなくチェック・要約し、体系的にまとめた。液・固相を問わず実施し、その数は、190報にものぼった。その結果、不十分な点はあるものの、最も無理が少ないのは、気泡説との結論に至った。気泡説は、「球状化元素として添加したMgは、溶湯中で気泡として存在する。その気泡中に黒鉛が生成・成長した結果、黒鉛が球状化する」とする説である。固相で形成する焼戻し黒鉛の析出理論は、研究者によって違う。しかし報告事象は、黒鉛が析出するポイドの形状そのものとなる事で共通している。液相においても黒鉛には違いなく、固相の生成・成長様式と異なるとは考え難い。サイト（Site;場所）の形態が、黒鉛の形態を律速するはずと考えた。その結果、黒鉛の構造・形態の観点より、「液・固相を問わず黒鉛の形態は、その黒鉛が晶・析出する場所の形態に律速される」との答えが生まれ、サイト説を着想した。CV及びチャンキ黒鉛も、この仮説に基づいて実証を展開した。

気泡説に無理が少ないとしたのは、現象を物理的に説明できる点が多いからである。その物理現象は、現場でも容易に体感的にできるから、理解し易い。Mgは、一気圧の下、約1100°Cで気化する。Mgは、その原子サイズの違いから、鑄鉄の液・固相にはほとんど溶け込むことはない。従って、溶湯中には気泡で存在することができる。このことは、球状化処理時の沸騰及びバブリング現象により、容易にイメージできる。サイト説では、「Mgが球状化に直接作用するのではなく、気泡として黒鉛に球状の晶出サイトを提供する」と考えている。「凝固後も、固相には溶け込まないから、必ず球状黒鉛の周囲に存在する」と容易に推定される。一様に分布すると仮定すると、数原子層と推定された。

球状黒鉛へのMg気泡の痕跡を証明するには、EPMAを用いる必要がある。しかし従来、電子ビームの照射位置及び発生する特性X線の検出精度に問題があり、微量に検出される特性X線強度は足切りされ、分析結果として表示されなかった。この為、球状黒鉛周囲の微量Mg分布は、検出されることはなかったのである。一方で、球状黒鉛粒内のMg介在物は、低倍で観察される固体で特性X線強度も強いことから、容易に検出されたと言える。サイト説実証の過程で、幸運にも、Mg分布検出可能な新EPMAが開発された。カラーマッピング・アナライザー装置付きEPMAの登場である。その機能・データ処理方法が従来と比べて格段に進歩し、球状黒鉛周囲に極微量でもMgが存在すれば検出可能となったのである。上記精度問題の克服、分析元素毎に装着された特性X線検出器及び標準試料による検量線の採用が大きい。分析は、開発機で実施された。オペレータが本EPMA機種の開発担当者の一人であり、その機能を十分に理解していたことが幸運であった。球状黒鉛組織と想定されるMgの分布位置・量を詳細に説明すると、本当に存在するなら、必ず検出できると挑戦してくれた。ミクロ組織に対する分析条件は、最大限に設定できた。その結果、Mg気泡に黒鉛が晶出した痕跡を、

依頼原稿 平成20年9月2日 原稿受理

* (株)宇部スチール

全ての球状黒鉛の周囲にハロー（皆既日食の金環）状に検出できた。世界で初めての成功である。一般倍率視野（ $\times 100$ ）の全黒鉛粒を分析対象とし、データの透明性を上げた。粒内に介在物が存在球状黒鉛も、あえて視野に入れた。

「良い研究成果は、英論文で出せ！」との鉄則に基づき、イギリス誌に投稿した。「一大発見の論文編集に関与できてうれしい」と、編集者が英文の校正、カラー印刷、早期出版等の便宜を図ってくれた。更には、編集社に寄せられた質疑と小生の応答をまとめ、追加出版してくれた。心から感謝した。

その後、しばらくして、直接質問が送られてくるようになった。「コンピューター・グラフィックで色付けしたのではないか？」との中傷には、議論をする余地はなく、放っておいた。「同様にカラーマッピング分析をしたが、Mgハローは検出できなかった。なぜ？」との質問がきた。これは放っておかず、分析上のポイントを列挙して情報交換した。その結果、機能に問題があるとの結論で合意し、質問者は、EPMAを某メーカー製に買い替えた。以後、同質問者からの質問はない。当初、某メーカーには、色々無理を聞いてもらい、恐縮していた。しかし、EPMAを紹介し売れたことで、恩返しできた。

球状黒鉛の周囲にMgがハロー状に存在することは実証できた。しかし、具体的にどこになると、まだ実証不十分であった。分析結果の再現性確認を含め、今度は、試験・検査サービス会社に分析依頼した。Mgハローは、予測した通り、一次黒鉛と二次黒鉛の間に存在した。詳細分析の為、倍率は $\times 200$ とした。当初と同様、視野内の全ての黒鉛を分析対象とした。ここで感銘したのは、オペレータのこだわりである。分析前に、予測されたMg分布位置とその微量の程度を説明すると、前日よりオーバーホールし、Mg標準試料による検量線設定等、精度を確認してくれていたのである。最も重要なのは、分析中の電流と電子ビーム位置の安定である。ビームの安定性が悪いと、焦点が分析中にずれ、螺旋状に回転する。これでは、微量のMgを検出できない。この確認は、当日、目の前で使ってみせてくれた。大変なこだわりである。このこだわりなくして、実証は、不可能であったと思われる。有難く感謝した次第である。そんなオペレータが分析するのだから、得られる結果に間違いはない。

サイト説は、研究室レベルを抜け出し、現場でも実証した。逆に、現場における問題点を研究室レベルで解明し、それを基に現場に展開したと言った方が正解かもしれない。現場で使えない理論は、全く意味がない。現場に対して空論を述べても、仕方がない。具体的なアクションが取れない限り、現場からも相手にはされない。もう一つ大事な事は、物造り計画に対する成功率である。野球は、三割を超えれば好打者、偉大なバッターだが、物造りはそうはいかない。現場を巻き込んで従来の方案を変えるには、七割以上の成功率が必要と感じている。言い換えれば、現場の信頼を得る事が重要である。

現場では、特に、大物厚肉球状黒鉛鑄鉄鑄物の製造技術確立に貢献できた。従来、チャンキ黒鉛は、ある日突然発生し始め、あれこれ悩み何も対策できないうちに、いつの間にか発生しなくなる様なゲリラの様相があった。しかし、チャンキ黒鉛晶出メカニズムを実験室レベルで解明できてからは、現場にて発生防止策を見い出せた。この成果は大きく、実体強度保証技術確立の絶対必要条件が確保された。お陰様で、本部技術賞を二度も受賞するに至った。

鑄物は、複雑な要素が関わり合った結果として、品質が得られる。各要素を一定にできれば良いが、なかなかそうならないのが現状である。 $1+1=2$ の単純算術が成立し難いことが多い。鑄込み始めたら、鑄放し品質を修正することが殆ど不可能なものも、鑄物の特徴である。それが故に、使える理論が必要であり、理論に立脚した物造りの展開が必要となってくる。

サイト説は、まだ一般に知られていない。実証不十分な点もある。しかし、一連の研究で得られた製造技術は、現場で大いに役立っている。有益であることは、間違いない。今後は、理論と製造技術を、いかに伝承するかが問題である。欲を言えば、両者を発展できる新人の登場が望まれる。