

研究部会紹介

アルミニウム溶湯による耐火物の損傷プロセス研究部会

Sectional meeting on degradation of refractory materials by molten aluminum

田村 洋介¹・石渡 保生²Yosuke TAMURA¹ and Yasuo ISHIWATA²

1. 部会設立の経緯と目的

耐火物はセラミックスの一種であり、化学的に安定な材料である。しかし溶融金属を扱う現場においては、その劣化がしばしば問題となる。耐火物損傷に関する因子は様々であり、材料や用途に応じた調査・研究が必要である。

例えば、製鋼プロセスでは転炉に酸素を吹き込んで銑鉄から炭素、硫黄、リン、マンガン等を除去する。その際、反応熱による高温(1600°C以上)とスラグによって耐火物は損傷する。一方、アルミニウム合金の溶解は、それよりもはるかに低い温度で行われる。そのため耐火物損傷が起こること自体をイメージしにくい。しかしアルミニウムは非常に活性な金属であり耐火物成分と化学反応を起こす。また耐火物に浸透しやすく、黒色化と呼ばれる独特な損傷形態を示すことも知られている。このようにアルミニウム合金の溶解炉および保持炉では、製鋼時とは異なったタイプの耐火物損傷が認められる。

健全なアルミニウム合金素材および鋳物の製造を目的とし、耐火物部会では、かつて耐火物に起因する溶湯汚染の問題が調査された¹⁾。その中で、溶湯汚染が主として耐火物損傷に起因し、耐火物側の欠陥発生防止が溶湯品質の改善につながる事が示されている。アルミニウム合金素材の品質と耐火物損傷の間には密接な関係があると言える。また「アルミニウム溶解炉における複合酸化物の異常生成研究部会(茂木部会長)²⁾」では、アルミニウム溶解炉に発生する「オバケ」の問題が調査された。オバケとは一般に耐火物の外側に瘤状に張り出したコランダム主体の塊のことを言う。オバケという呼称の由来は定かではないが、外国の文献においては“External Corundum Growth”や“Outerward Corundum Growth”等と記されている^{3),4)}。オバケは炉壁から炉内に向かって成長し、炉の容積を狭め、その破片が溶湯に混入すると素材の品質を著しく低下させる。また炉壁に固着し、容易に除去することができない点も大きな問題となっている。部会では実機から採取したオバケを分類するとともに、それらの組織観察等を通じて、オバケ発生のメカニズムが検討された。また溶湯保持・追湯実験により、ラボスケール(るつぼ試験)でオバケを人為的に作り出すことに成功している。なお筆者らも当該研究部会に参画したが、オバケ発生に至る過程の耐火物変質については十分な検討を行わなかった。

オバケの発生と成長は、「溶湯/雰囲気」界面の反応のみならず、耐火物内部への溶湯の浸透および反応を伴う。また「溶湯/耐火物の界面反応と耐火物内への溶湯浸透(初期)」→「反応・浸透の進行(中期)」→「オバケの発生・成長(後期)」は連続した現象と捉えることができ、耐火物が溶融アルミニウムによって極度に損傷した状態になるとオバケが観察されるようになる。したがってオバケを含む耐火物の損傷は、以上に述べた一連のプロセスを経るものと言え、各過程をそれぞれ個別に調査するのではなく「アルミニウム溶湯による耐火物の損傷プロセス」という1つの枠組みの中で検討するのが正しい研究アプローチの仕方であると考えた。以上が当該部会の設立経緯である。

耐火物損傷の進行は、温度や雰囲気などの環境因子、および耐火物種やアルミニウム溶湯側の成分にも依存する。特に後者については多様な合金および耐火物種が対象となるため、はじめに研究対象を絞る必要がある。現在のアルミニウム産業では、コストと性能のバランスからアルミナ-シリカ質の耐火物が広く用いられている。ゆえに既存の研究の多くがアルミナ-シリカ質に関するものである。またマグネシウムを含むアルミニウム合金の溶製およびそのスクラップは増加傾向にあり、合金成分であるマグネシウムが耐火物の損傷を助長することが問題視されている。当該研究部会は、はじめに耐火物種を一般的なアルミナ-シリカ質、合金種をAl-Mg合金に絞り、耐火物損傷を調査することとした。また損傷プロセスを「初期」、「中期」、および「後期」に分け、各段階における耐火物損傷の特徴と溶湯品質の変化を調べ、耐火物およびアルミニウムの高品質化に係る知見を得ることとした。その上で合金種および耐火物種をいくつか設定し、損傷を分類・データベース化すること等を目的とした。

2. 部会の紹介

表1に構成メンバーを示す。部会には、溶融アルミニウムを扱っているメーカーに加え、複数の耐火物・工業炉メーカーからも参加をいただいている。それにより炉材および溶解設備の観点からも専門的な意見・助言を交えながら活動することが可能となっている。会議は年に3~4回の開催であり、関連資料、文献および講演内容等の紹介を通じた勉強会および情報交換会も兼ねて実施している。

図1は研究活動システムである。各社・機関が独立した

¹ 千葉工業大学 工学部 先端材料工学科 (〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1) Department of Advanced Materials Science and Engineering, Chiba Institute of Technology (2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016) E-mail: yosuke.tamura@it-chiba.ac.jp

² 日本軽金属株式会社 グループ技術センター (静岡市) Nikkei Research and Development Center (Shizuoka-shi, Shizuoka)

受付日: 2020年5月8日

テーマに取り組んでいる訳ではなく、1つのテーマを掲げ、それに全体で取り組んでいる。定例会議では、実験担当者から成果が報告され、審議により今後の進め方が決まり、次の実験へとフィードバックされる。現在、図1の通り活動を分担している。ワーキンググループのようなものは設置しておらず、実験に関しても適宜他のメンバーに参加・協力を依頼できるシステムとなっている。

2018年4月に第1回の研究部会会議を開催してから、部会も本年度で3年目を迎えた。1年目は文献調査をはじめとする情報収集、実験条件および分析方法の検討等、いわゆる手探りの状態であった。しかし2年目を迎える頃から図1に示したシステムが順調に回り出し、一定の成果が得られるようになった。現在は、今までの成果に基づき改めて研究方針を定め、併せて成果の取り纏めを念頭にした活動を進めている。

3. 活動内容

アルミナーシリカ質の耐火物は、粗大な骨材とそれらの結合媒体である結合材から成り、さらに結合材には微細な骨材粒子が混ざっている。このような複雑な相関係を有する耐火物の損傷過程を明らかにするには、損傷前後の組織、各相を構成する物質・成分、およびそれらの状態（結晶質 or 非晶質等）を十分に把握しておかなければならない。それにより各相のいずれが損傷を律速しているのか、あるいはどのような反応が関与しているのか等を推測することが可能となる。

耐火物の損傷は金属材料の場合とはやや異なり、種々の化学反応を伴う。したがって熱力学的な検討も必要と言える。しかし当該部会では、それに先立って組織観察と分析を主とした検討を行っている。具体的にはFE-EPMAによる高分解能組織観察（分析）、X線CTを用いた損傷領域の3D評価、二次元X線回折および微小蛍光X線分析の活用等である。これら分析機器の活用は、いずれも従来の耐火物部会で試みられていない新しい研究手法となっている。また耐火物損傷の「初期」、「中期」および「後期」で、それぞれどのような組織や成分分布を示すか、またそれらがどのような関係やつながりを有するのか等に注目している。現在、その半ばまで調査が進んでおり、進捗状況を纏める段階に至っている。さらにアルミナ質、スピネル質およびジルコン質耐火物に関しても同様の調査を開始している。

4. おわりに

当該研究部会の研究分野は、熔融金属、セラミックスおよびそれら材料の界面に係るものであり、かつ高温化学反応も関係している。しかも溶湯側の成分、耐火物側の成分および雰囲気など種々の因子が絡んでいる。したがって、「基礎研究」を行うとすれば、複数のテーマを設定し、それぞれについて研究を分担しなければならない。また各テーマを短期間で実施し、目的とする成果を上げるためには、メンバーに大きな負担を強いることとなる。一方、実操業を念頭にした「調査研究」では、雲をつかむような研究に終始し、データ収集のみで終わってしまう可能性がある。結局、後者の立場でスタートしたのであるが、当初の懸念は払拭され、現在、分析機器および分析技術の活用により基礎的知見も得られるよ

表1 構成メンバー（順不同）

氏名	所属	備考	
石川 隆朗	千葉県産業支援技術研究所	幹事	
石塚 道雄	ロザイ工業株式会社		
石渡 保生	日本軽金属株式会社		
繁光 将也	日本軽金属株式会社	副部長 (兼 幹事)	
岩本 富弘	株式会社トウネツ		
加藤 鋭次	元 名古屋大学		
勝亦 秀明	三菱アルミニウム株式会社		
鳥居 俊介	三菱アルミニウム株式会社		
川崎 正人	AGCセラミックス株式会社		
鈴木 裕之	日本坩堝株式会社		
朴 龍雲	日本坩堝株式会社		
田村 洋介	千葉工業大学		部会長
富濱 一輝	千葉工業大学 (学生委員)		
土肥 正芳	三協立山株式会社		
渡辺 亨	三協立山株式会社		
中塚 憲章	株式会社神戸製鋼所		
布川 啓太	株式会社UACJ		
水野 健太郎	株式会社ゲーマ		
茂木 徹一	千葉工業大学 名誉教授		

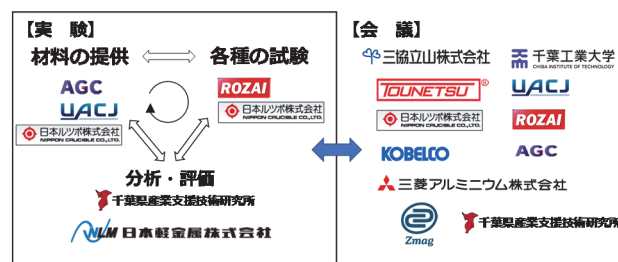


図1 研究活動システム

うになっている。

溶解・铸造プロセスによる素材作りは、ものづくりにおける川上に位置し、その素性は製品の品質を左右する。とりわけスクラップの多様化が進む今日に至っては、溶湯品質、ひいては耐火物品質の向上は重要であり、将来的にも重要な課題と言える。部会の活動期間も残り1年余りとなっているが、当初の目的達成に向け、より積極的に活動して行きたいと考えている。

なお、構成メンバーの加藤 鋭次 先生は、残念ながら令和元年8月に他界された。ここに謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 研究部会報告書No. 42「耐火物によるアルミニウム溶湯の汚染挙動と評価法」、軽金属学会, (2003).
- 2) 研究部会報告書No. 63「アルミニウム溶解炉における複合酸化物の異常生成 - 調査および再現試験 -」、軽金属学会, (2015).
- 3) R. N. Nandy and R. K. Jogai: International Journal of Metallurgical Eng., 1 (2012), 117-121.
- 4) C. Allaire: Aluminum Transactions, 3 (2000), 105-120.