

耐火物技術教育

Refractories Education

Key-words : Refractories, TARJ, ATHOR

平 初雄

Hatsuo TAIRA (Okayama Ceramics Research Foundation)

1. はじめに

筆者は、大学時代に無機材料について学び、概論として耐火物を勉強する機会があった。最初の勤務先が耐火物の主用途先である鉄鋼メーカーであり、耐火物を転炉等、窯炉用炉材として使う炉材技術、評価技術を学び、その後耐火物メーカーにて耐火物原料、耐火物の製造方法からさらにはそれらの機能を評価する技術を勉強する等貴重な機会を得た。

これらの経験の中で、数多くの新入社員と出会ってきたが、彼らは大学時代に耐火物そのものを学んだことが全くない学生がほとんどであった。ただ、当然耐火物技術を構成する基礎学問としての熱力学や状態図、反応速度論等は化学系出身者の人ならほとんど大学で勉強してきたが、これらの知識の応用先として耐火物を考えるという観点にはほとんどの人が立てていなかったように感じてきた。

現在国内の大学教育・研究として耐火物を専門的に扱っている機関は、残念ながらほとんどないのが実情と思われる。つまり、耐火物技術教育は、ほとんどが耐火物のユーザーやメーカー独自の社内教育で賄っているのが実態である。大手企業では、技術研究所を主体に系統的な耐火物教育が行われているが、残念ながら技術研究所機能を持たない中小耐火物企業では、系統的な耐火物教育を受けられないのが実態である。

また過去の経験として、セラミックスに関する国際会議や耐火物分野での主たる国際会議へ参加する機会も多数いただけた。その会議の中で欧州における現在の耐火物技術教育の一端を知り得ることができた。

今回は、耐火物とあまり関連のないセラミックス分野の方々にも耐火物を知ってもらおうべく、最初に耐火物の特徴を述べさせていただき、次いで日本の耐火物教育の実情を述べた後、耐火物に関連する国際会議、および筆者にとって大きな衝撃を受けた欧州における耐火物教育プロジェクトを紹介させていただきたい。

2. 耐火物技術

耐火物技術は、耐火物を構成する原料、製造方法、耐火物施工法等だけではなく、いかに炉材として長期耐用性を確保していくのかの観点からの炉材技術等、数多くの技術から構成される。ここでは、その概略だけを述べる。耐火物技術全般については後述する耐火物技術協会より、「耐火物手帳改訂12版」が出版されており、参照していただければ幸いである。

2.1 耐火物組織の特徴

岩波理化学事典第4版で耐火物と引くと、「高温度に耐え、化学的に安定な非金属無機物質、またはその製品の総称」と記載されている。つまり、耐火物とは、高温に耐えられる素材のことで、例えば1500℃以上で熔融した銑鉄を作る高炉には耐火物が内張り材として使用されている。高炉の他にもガラスを溶かす溶解炉、セメントを作る焼成炉、各種廃棄物焼却炉等さまざまな設備に使用されている産業用基礎素材なのだが、日常生活では耐火物を直接みる機会ほとんどないのが実情である。

耐火物はセラミックスの範疇に含まれるのだが、ファインセラミックスとは大きく異なる組織を有する。まずは代表的な耐火物組織写真例を図1に示す。耐火物は、数mmの粗粒から、中粒、微粒から構成されている。そのため幅広い粒度分布を有しており、複雑な気孔形態を持つ。これは、耐火物が使用される場面において耐食性とともに必要な耐熱衝撃性をも付与することに主眼がおかれているからである。

このように、耐火物は粗粒、中粒、微粒を配合し、多くの気孔を持つことが組織としての最大の特徴として挙げられる。また、単に粒子サイズの違いだけでなく、それぞれの粒子サイズにおいても、求められる耐火物特性例えば耐食性の改善のため、化学組成や鉱物組成が異なる原料粒子で構成されることが多い。近年では転炉等で使用されているMgO-Cれんがに代表されるように炭素を含有した複合耐火物が主流となり、

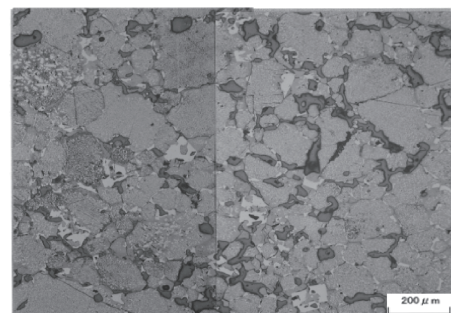


図1 耐火物組織写真例

さらには炭素の酸化を抑制するための金属等も含有している。現在各産業界で使用されている耐火物は、すべてが複合材、つまり複合耐火物といっても過言ではない。

したがってミクロに見れば不均一さわまりない組織かもしれないが、使用環境下で高温や温度変動、さらには熔融した鉄やスラグ等に曝されながら使用される耐火物として、最適な気孔を持つ組織として開発されてきたものである。またこの気孔以外にも構造部材として使用されるエンジニアリングセラミックスとの大きく異なる点として、鉄やスラグ等により損耗されながら使われていくのも耐火物の特徴の一つである。

2.2 耐火物原料

ファインセラミックスではほとんど人工的に精製・加工された人工原料が使用されているが、耐火物を構成する原料としては、経済合理性の観点から、人工原料以外にも多くの天然鉱物が使用される。耐火粘土、ばん土頁岩、ろう石、ドロマイトや鱗状黒鉛等用途に応じて人工原料と併せてこれら天然原料が併用されており、これら天然鉱物の特徴を理解して、使用することも非常に重要である。

2.3 耐火物製造方法

耐火物はその製造法の違いから大きく定形耐火物と不定形耐火物に分類される。例えば建築で使用され、我々が直接目にする赤れんが等は、一定の寸法で製造されていることから定形耐火物である。

この定形耐火物の製造プロセスは、原料の配合・混練、成形、乾燥・焼成等の熱処理、加工等の工程となり、各々の工程で使用される機械・装置に違いがあるが、例えば Al_2O_3 、 SiC 等のエンジニアリングセラミックスと同じ製造プロセスで作られている。

それに対して現在日本の耐火物生産量の約 70% を占めているのが不定形耐火物である。不定形耐火物は、施工法により種々の分類が成されるが、ここでは、流し込み材（キャストブル）と称される不定形耐火物を例に説明する。流し込み材は、施工の機械化による省力化が図れることから急速に進歩してきた耐火物である。上記製造プロセスでいうと原料の配合・混練されただけの状態での耐火物メーカーから出荷され、ユーザーの元で、水を添加し混練された後、所定の形状に流し込まれ、養生過程を経た後、乾燥・予熱を施したものが実炉で供される。取鍋における流し込み施工装置模式図を図 2 に示す。これらは、流し込み材を混練するミキサー、混練物を運搬するベルトコンベヤー、さらには所定の部位に流し込むための回転できるシューター、型枠を振動させ流し込み材に流動性を付与するパイプ

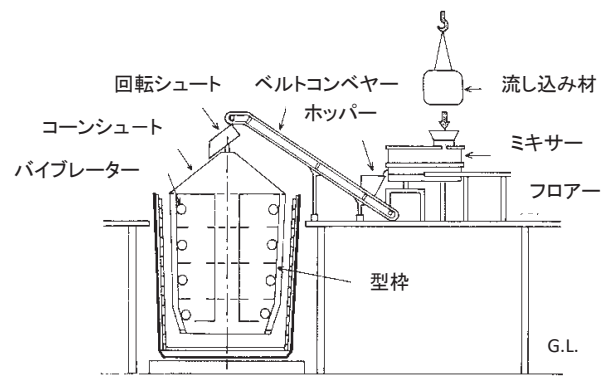


図 2 取鍋流し込み施工装置模式図

レーター等からなる。したがって、不定形耐火物の機能・品質は、定形耐火物と違い、上述の耐火物原料の依存度が高いことになる。さらには流し込みをするために必要な、耐火物原料の分散・邂逅にも不可欠な分散剤等が不定形耐火物の特性に重要な役割を果たす。

2.4 耐火物の設計

耐火物の特性の中で、密度、熱膨張特性、熱伝導性等は、熱処理過程で大きな鉱物変化がなければ、ほぼ構成原料（鉱物）の加成性が成り立ち、構成原料各々の値の相加平均的な値となる。他方、強度、弾性率等は熱処理過程で生じる結合や気孔等、新たな組織に依存する。これらを前提として、耐火物の特性をどのように制御していくかが、耐火物設計技術となる。

2.5 ろ材技術

耐火物の研究開発においては大きな特徴がある。例えば、自動車、化粧品、薬品、家電、食品メーカーの研究開発担当者は新商品の開発者であると同時に、ユーザーの立場にも立てて、研究開発が進められる。しかし、耐火物メーカーの研究開発担当者は単独では、ほとんどユーザーの立場には立てないのが実態である。つまり耐火物を窯炉の炉材として使用するユーザー側の視点での炉材技術が不可欠となる。ここでいう炉材技術とはさまざまな窯炉の操業条件の把握であり、操業条件を踏まえて、耐火物の使用後解析等から最適な耐火物を見いだすことである。例えば、鉄鋼用炉材においては、スラグが生成する冶金反応も含めた製鉄プロセスを理解することも含まれる。

少し古い事例であるが、新しい製鉄プロセスとして、高炉から排出された溶銑中の Si、P 等の不純物成分を転炉に装入する前に除去する技術として、溶銑輸送容器である混銑車にて、脱 Si、脱 P 処理をするという溶銑予備処理技術が開発された。そして、溶銑予備処理作業が行われていくようになると、従来混銑車で使用していた Al_2O_3 - SiO_2 系粘土れんがでは全く耐用で

きなくなった。そこで、ユーザーとメーカーが一致協力して、新しい操業条件に耐用する新しい混鉄車用れんがの開発に取り組み、 Al_2O_3 -SiC-C系れんがが開発され現在でも使用されている。つまり、耐火物を窯炉の炉材として使用できるようにするためには、炉材技術も非常に重要となる。

3. 日本における耐火物技術教育

3.1 耐火物技術協会 (TARJ)

耐火物技術協会は、1946年の創立以来、国内の高温産業の発展に寄与することを目的に、より高耐用な耐火物の開発・改良、耐火物施工技術の革新、および、耐火物に関する基礎的学術研究の進歩・普及を推進してきた協会である。主たる学協会活動として、年次学術講演会、鉄鋼用耐火物専門委員会、耐火物原料専門委員会、セメント用耐火物研究会、環境と耐火物研究会等各種活動が開催され、耐火物技術の発展に寄与してきた。また、協会誌として「耐火物」および英文誌の「TAIKABUTSU OVERSEAS」も発行されている。

また、前述したように大学における耐火物関連の研究があまり行われていない現状を改善するために、毎年耐火物協会と共同で耐火物関連分野の研究振興と若手研究者育成のために、大学・工業高等専門学校の研究員に対して、公募による研究費の助成を行っている。今までに採択された大学・工業高等専門等は21の研究機関におよびこの研究成果が、毎年学術講演会で発表されている。

3.2 岡山セラミックス技術振興財団

岡山県は日本の耐火物生産量の約30%強を占める日本でも有数の耐火物産業集積地域である。この地に、日本で唯一の耐火物に関する公的研究機関として1990年に設立されたのが岡山セラミックス技術振興財団である。当財団では、耐火物に関する研究のみならず各種耐火物関連の教育を実施している。特に、耐火物関連企業の新入・若手社員を対象とした「耐火物基礎学問研修」を耐火物メーカー、鉄鋼メーカーの協力を得て実施しており、毎年100人強の参加者となっている。その他各種装置メーカーの協力を得て、「粉碎・分級・混合技術」、「焼結技術」、「研磨技術」、「加工技術」、「高温下でのセラミックス測定技術」、「X線と熱分析」等種々の耐火物に関連するセミナーも主催している。

ただ現状では、本格的な耐火物技術としては基礎学問研修しか行えておらず、各企業にて複数年の経験を積まれた人材への中核教育となる研修はできていない。当財団にとっては、耐火物技術に関する中核人材育成

のためのプログラム作りが今後の大きな課題であり、数年後には実現させたいと考えている。

4. 世界における耐火物教育

4.1 FIRE

FIRE (Federation for International Refractory Research and Education) が、モントリオール理工科大学の M. Rigaud 名誉教授の提唱により始められたプログラム、耐火物技術の教育、研究のために組織されている。これは、耐火物原料メーカー、耐火物メーカー、鉄鋼メーカー等が資金供与をし、ドイツ、オーストリア、カナダ、米国、ブラジル、中国、日本等8カ国の10の大学と連携をして、耐火物技術者の育成し、革新的な耐火物の研究開発を実行している。本プロジェクトから多数の博士号取得者が生まれている。なお、日本からは名古屋工業大学橋本教授がこの組織のメンバーで活躍されている。

4.2 耐火物技術に関する耐火物国際会議

耐火物技術に関連する大きな国際会議として、ドイツ、コブレンツに本部がある ECREF (European Center for Refractories) が主催し毎年開催され、2019年で第62回の歴史を数えるアーヘン耐火物国際会議と UNITECR (Unified International Technical Conference on Refractories) がある。

欧州はアーヘン耐火物国際会議が開催されているように耐火物を研究している大学は多数ある。特に耐火物研究の分野ではドイツのアーヘン工科大学、フライベルグ大学、フランスのリムージュ大学等が有名である。このように欧州では多くの大学で、耐火物が研究されており、例えばアーヘン耐火物国際会議では、60件程度の発表件数のうち約半数が欧州の各地の大学からの発表である。

また UNITECR は、1989年から開催されている耐火物に関する国際会議であり、日本の耐火物技術協会、米国窯業協会 (Acers)、南米耐火物協会 (ALAFAR)、ドイツ耐火物協会 (GRA) の4つの団体が、2年に1回持ち回りで開催している。ちなみに、2019年は日本の横浜で第16回目となる UNITECR 2019 が、10月開催予定であり、筆者の意識になるかもしれないがスローガンとして「未来のための耐火物：ユーザー、製造者、アカデミアが共同で追求する更なる高温技術」を掲げ、全世界の耐火物技術者が一同に集まり、300件程度の報告が予定されており、最先端の耐火物技術について活発な議論がなされる予定である。

4.3 欧州における耐火物教育動向

2018年イタリア、ペルージャにて開催された CIMTEC

2018の耐火物に関するシンポジウムに参加する機会を得た。ヨーロッパではノーベル賞学者のキュリー夫人の名前を冠した教育プログラム制度がある。このシンポジウムの中で、フランス、リムージュ大学のM. Huger教授から、この教育プログラムとしてATHOR (Advanced Thermomechanical multiscale mOdeling of Refractories) が採択され、2018年2月より3ヶ年計画で、この教育プログラムを実行しているとの報告があった。これは、製鉄の取鍋を例として、取鍋用れんがを構成するれんがの材料設計から築炉設計、さらには操業時のれんがに発生する熱応力や損傷状況等の評価解析技術を実験とコンピューターシミュレーションで確立していくものである。このプログラムを実行していくことで、今後3年間で15人の耐火物関連の博士号取得者を育てるものであり、具体的にはフランス(リムージュ大学、オルレアン大学)、ドイツ(アーヘン工科大学)、オーストリア(レオーベン大学)、ポーランド(AGH大学)、ポルトガル(ミーニョ大学)の各大学の耐火物関連の教授が中心となり、耐火物メーカー、鉄鋼メーカーの研究者とも連携をして、各大学間の協力も得ながら、プログラムに従事する学生を耐火物関連の博士号研究者に育てていくものである。詳細はURLを参照していただきたい。(http://www.etn-athor.eu/)

このような大きな欧州域内プロジェクトが活動しているように、欧州では耐火物教育が盛んに行われていることを認識し、驚愕した。

5. おわりに

筆者のつたない知識と経験を元に、耐火物技術、日本および世界における耐火物教育、耐火物の国際会議、さらには最新の欧州における耐火物教育状況について述べてきた。筆者の無知によるかもしれないが、冒頭にも書いたように、残念ながら日本の大学では、耐火物の研究を主体とする活動はほとんど行われていないように思っている。今回欧州の耐火物教育動向を知ったことで、日本においても欧州で実施されているように、優秀な耐火物技術者を育成する取り組みが必要だと痛感している。そのためにも、まずは日本の大学において耐火物を認知していただくことから始めなければならないと考えている。そのためにはどのような活動をしていかねばならないのか、今年開催されるUNITECR2019を足がかりに、まずは耐火物技術協会や鉄鋼協会、さらには耐火物に関連するアカデミアの方々のみならず幅広く大学関係者や有識者と議論を行っていく所存である。

筆者紹介

平 初雄 (たいら はつお)

1982年京都工芸繊維大学無機材料工学科修士課程修了。同年新日本製鐵(株)、2011年黒崎播磨(株)、2018年岡山セラミックス技術振興財団所長。専門は耐火物全般、マイクロ波乾燥・加熱、ブラズマ溶射等。

[連絡先] 〒705-0021 岡山県備前市西片上1406-18 岡山セラミックス技術振興財団

E-mail: hataira@optic.or.jp

