

最近の耐火物製造技術

Recent Technology of Refractory Production

加 山 恒 夫*
Tsuneo KAYAMA

浅 野 敬 輔
Keisuke ASANO

海老沢 洋
Hiroshi EBISAWA

上 野 和 志
Kazuyuki UENO

概 要

国内鉄鋼業の目覚ましい技術進歩とその発展に追従するために、耐火物メーカーは様々な努力を積み重ねて技術革新に努めてきた。そして、製鉄操業条件の変化に対応する新たな耐火材料の開発や品質安定化、生産性向上のための耐火物製造プロセスの開発、改善において数多くの成果を上げてきた。ここでは耐火物製造プロセスにおける品質管理の向上と生産性向上の二面について最近の状況を紹介した。

Abstract

In order to follow the technical innovation of domestic iron and steelmaking industry which has advanced very fast, the refractory suppliers have also made their effort to innovate their material and manufacturing technology. As the result, according to the change of steelmaking operation, they have developed new optimal materials. Furthermore, they have much progressed their technology to stabilize the quality of refractory products and to improve their productivity. In this paper, the improvements of quality control and productivity at each manufacturing process of refractory are both reported.

1. はじめに

耐火物は鉄鋼業における製鉄工程の高炉、熱風炉、コークス炉からはじまり、製鋼工程の転炉、二次精錬炉、連続鋳造を含め、熱間圧延工程の加熱炉に至るまでのあらゆる窯炉で使用されている。また非鉄、セメント、ガラスなどの産業における窯炉や焼却炉、熔融炉などの環境炉など、ありとあらゆる高温処理を必要とする部分に使用されている。

耐火物はその形態（定形れんが又は不定形）、材質（酸性、中性、塩基性、複合系）、形状などを組み合わせて考

えると、ひとつの製鉄所で採用されている耐火物の種類は数千種類にも及ぶ。それら耐火物の製造技術を、概括的とはいえ、限られた紙面で解説するのは大変困難である。そこで、本稿では耐火物の各製造工程における品質管理の向上と生産性の向上のふたつの側面から最近の技術を紹介するに留める。

2. 耐火物の製造フロー

耐火物の製造フローは、その形態に応じて図1のようになる。

正確に言えば、不定形耐火物は耐火物メーカーから出荷

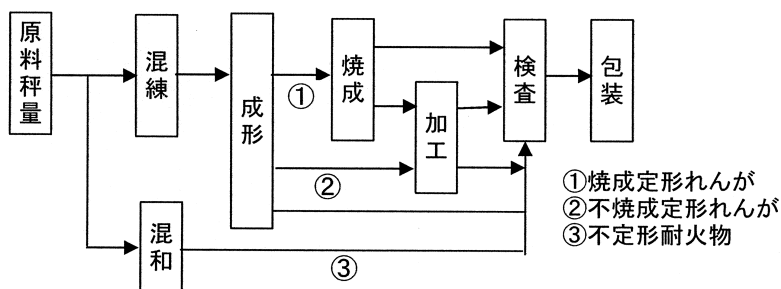


図1 耐火物の代表的な製造フロー
Typical production flow of refractories

* 黒崎播磨(株) 技術研究所長 福岡県北九州市八幡西区東浜町1番1号 〒806-8586 TEL:(093)622-7231

された状態ではまだ耐火物とは言えず、使用現場で、混練 - 成形 - 養生 - 乾燥 - 予熱などを経てはじめて耐火物と言えるものになるが、ここでは慣用的に不定形耐火物と称する。

3. 各製造プロセスの現況

3.1 秤量

従来は耐火物メーカーが生原料を直接購入し、自ら粉砕、篩い分けした後、粒度別に大型タンクへ投入し、且つそれらのタンク群の下を秤量台車が走り、人力によって必要量を切り出して回る作業形態が採られていた。少品種多量生産の時代はこの方式でも労働生産性は高かったが、1970年代前半から始まったオイルショックや円高によって安価な海外品が多く輸入されるようになり、日本の耐火物メーカーは高付加価値化、並びに多品種少量型生産プロセスへの転換を余儀なくされた。

高付加価値耐火物の多品種少量生産では、一材質当りの秤量回数(原料別、粒度別)が多くなるだけでなく、秤量ロットが小さくなるため、耐火物メーカーは自らの粉砕を取りやめ、整粒品(粉砕かつ篩い分け済み品)を購入して効率化を図ってきた。一材質当りの秤量回数が多くなり、秤量ロットが小さくなったことは、準備する粒度別原料の種類が多くなり、常設するタンク数の増加を意味している。そのような状況下、手動秤量では生産性が著しく低下したため、自動化や省力化が進み、IT技術の普及と相まって生産性は向上した。不定形耐火物の場合、原料タンクは多い場合で大小100槽以上もあり、その下を無人秤量台車がコンピューター制御で動き回っている。(写真1, 2, 3, 4参照)

今後、一層の高付加価値化と品質安定化の要求が強くなり、品質保証の観点からも、手動秤量の排除とITを駆使した生産・品質管理が不可欠と考えられる。

3.2 混合、混練

原料の混合、混練は、耐火物の性能を左右する非常に重要なプロセスで、耐火物メーカー毎にいろいろな Know Howがある。最近では最適材料設計の観点から、粗粒、中粒、微粉に加えて、サブミクロンオーダーの超微粉を使用するが多いが、この超微粉は均一に分散させることが難しいのが実情である。そこで、様々な粒度の多種の粉粒体ができるだけ均一な配合となるように、最適な混和機、混練機の選定が重要となる。

最近の混合機の代表的なものにオムニミキサー(図2)やナウタミキサー(図3)があり、また混練機の代表的なものに下廻りタイヤ加圧ミキサー(図4)やアイリッヒミキサー(図5)などがあるが、この他にも数多くのタイプのミキサーがある。これらは、原料の種類や目的に応じて選定されるが、品質面でのポイントは、“いかに均一に混



写真1 数多くの原料タンク
Raw material tanks



写真2 原料タンクの下を走行する無人秤量台車
Automatic weighing car



写真3 集中制御室
Intensive control room



写真4 制御室内の遠隔モニター画面
Monitoring screen in control room

合できるか”、“いかに練り込み効果を高めるか”の二点である。混練の生産性では、高速回転羽根を用いたアイリッヒミキサーが優れている。

原料全体を均一な状態に混ぜるだけでなく、粗粒や中粒の周りに微粉、超微粉、バインダーからなるコーティング層をうまく形成させるために、微粉・超微粉原料の事前予

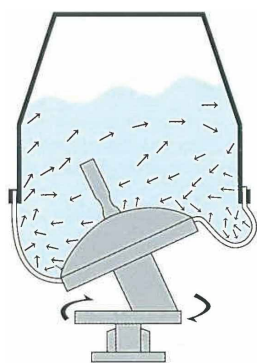


図2 オムニミキサー(チヨダマシンリー提供)
Omni mixer (by Chiyoda Machinery Co.,Ltd.)

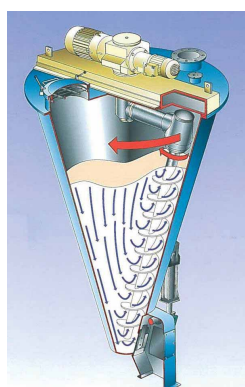


図3 ナウタミキサー(ホソカワミクロン提供)
Nauta mixer (by Hosokawa Micron Corp.)

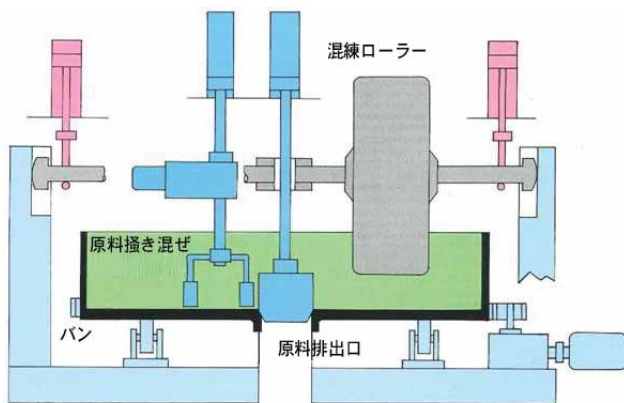


図4 下廻りタイヤ加圧ミキサー(三石深井提供)
MKP mixer (by Mitsubishi Fukai Co.,Ltd.)



図5 アイリッチミキサー(日本アイリッチ提供)
Eirich mixer (by Nippon Eirich Co.,Ltd.)

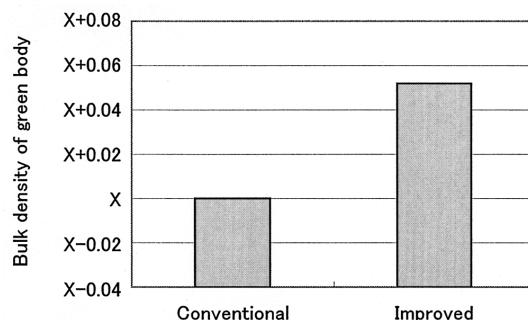


図6 混練方法改善前と改善後の素地嵩比重の比較
Comparison of bulk density by improving mixing

備混合処理に加えて、粒度毎の原料投入順やバインダーの投入タイミングなどに様々な検討、工夫が行なわれている。うまく練り込みされた配合は締りが良いため、嵩比重が高くなると考えられる。

参考までに、ある同一配合を一定時間混練した後に一定荷重で加圧したサンプルの素地嵩比重を改善前(各種粒度原料及びバインダーの一括投入)と改善後(微粉の事前予備混合+原料及びバインダー投入順改善)で比較したものを図6に示す。また、バインダーは温度環境に敏感で粘性が大きく変化するために、バインダーに加えて原料や混練機の温度管理を実施することにより、年間を通じて一定の条件下での混練が可能となり、品質の安定化につながる。更に、バインダーによっては、経時変化が起きやすいものがあり、特に取り扱いには留意が必要である。尚、客先で混練される不定形耐火物の場合は、バインダーのみを厳重に別梱包し、使用時にフレッシュな状態になるようにしている。

混練プロセスのもうひとつの課題は終点判定である。従来は熟練者による触手判定が最も有効であったが、近年では自動化の推進で触手診断が難しくなり、混練時間、混練温度、混練時の所要動力などが終点判定のためのパラメータとして用いられつつある。しかし、未だ的確な判定基準が見出せておらず、今後新たな測定項目や診断法の進歩を待たなければならないのが現状である。

更なる課題として、多品種少量生産の影響を受けて材質切替が頻繁に行われるため、混練機内の残存配合の清掃及び付着固化物の除去が容易に行なえる混練機であることが求められる。

3.3 配合搬送

先に述べたように、混練工程では均質な配合とするために様々な工夫が行なわれているが、その後成形工程に至るまでにこの配合物は移動を繰り返す。配合は粗粒から超微粉に至るまで様々な粒度から構成された粉粒体であるがゆえに、移動の度に重力の影響を強く受けて再び偏析してしまう。混練での苦勞を水の泡としないためにも、工程間移動での配合の偏析をなくすために様々な工夫を行なう必要

がある。いずれの場合にも、落差を小さくし、且つ重力方向への配合の流れが出来る限り発生しないように、配合の排出方法や切り出し方法が工夫される。更に、成形直前に配合を再び攪拌、混和する設備を設ける場合もある。

3.4 成形

定形耐火物の製造に使用される主な成形機には次のようなものがある。

衝撃圧プレス（フリクションプレスなど）

図7及び写真5参照（三石深井提供）

静圧プレス（油圧プレスなど）

図8及び写真6参照（三石深井提供）

静水圧プレス（CIP：Cold Isostatic Press）

図9及び写真7参照

いずれも長所・短所があり、生産品種、生産量などにより使い分けされている。は金型による機械一軸成形法であり、通常の耐火レンガ製造には幅広く使用されている。一方、はラバーモールドを使用した無限多軸加圧成形法であり、長さや径の比が大きいものでも均一な成形体

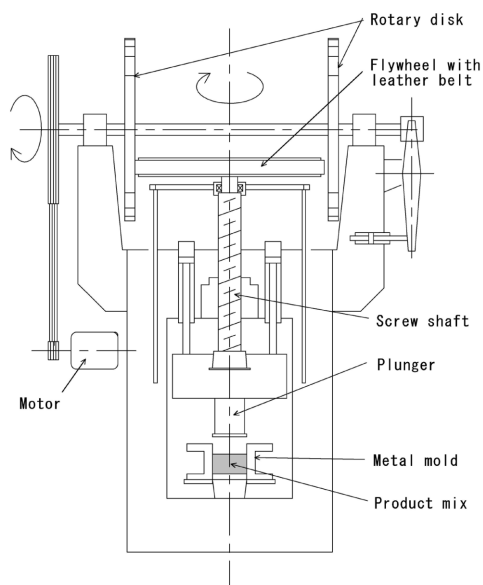


図7 フリクションプレスの断面イラスト
Section of friction press



写真5 フリクションプレスの外観
Appearance of friction press

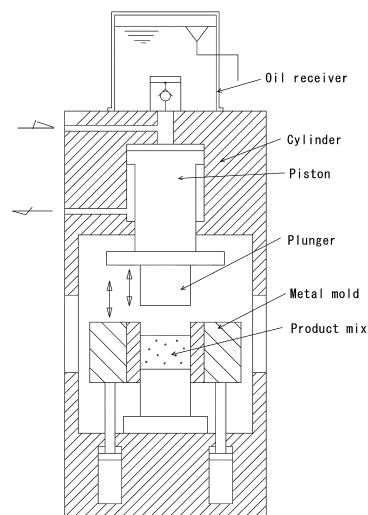


図8 油圧プレスの断面イラスト
Section of hydraulic oil press



写真6 油圧プレスの外観
Appearance of hydraulic oil press

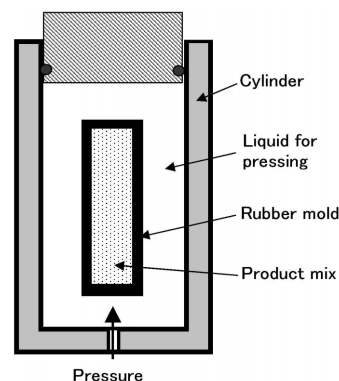


図9 CIPの断面イラスト
Section of CIP



写真7 CIPの外観
Appearance of CIP

が得られることが特徴である。具体的に鉄鋼向け定形耐火物では、連続鑄造用ノズルや転炉出鋼孔などの長尺パイプ形状の耐火物製造には、この静水圧プレスが使用されている。

最近の耐火物には、原料として鱗状黒鉛や微粉、超微粉などが多用されているが、このような配合を機械一軸成形する場合、ラミネーション(層状の空隙欠陥)発生の危険性が高まる傾向にある。この問題を解決するために、成形時に金型モールド内を脱気できる真空プレスが開発されて、広く普及してきた。また既設のプレスを改造して、この真空処理機能を付加する場合もある。これら真空プレスの導入によって、長さ1メートルを超える大型れんがの成形も可能になった。

製品の大型化、高嵩比重化に伴い成形機も大型化し、人力では作業できなくなり、重筋作業を軽減するため半自動化が進んできた。近年、油圧技術が進歩し、従来のフリクションプレスに代わり油圧プレスが採用されるようになってきたが、油圧プレスの導入によって寸法制御が容易になると共に、成形出力の制御が容易になり、寸法制御と嵩比重制御が取り入れられるようになった。これらの進歩は、生産性に大きく影響を及ぼす成形サイクルタイムの短縮に大きく貢献している。

更に、ロボット技術の進歩と価格低下によって、成形されたれんがのハンドリング自動化が広く普及し、且つ最近では、成形直後の寸法と嵩比重の工程内検査の自動化も相まって、無人成形の工場風景は珍しくない。

一方、先に述べたように静水圧プレス(CIP)適用の代表例は連続鑄造用ノズルであるが、このノズルは鋼品質を左右する重要な耐火物であるために、定形耐火物の中でも最も厳しい品質管理が行なわれている。その一例が、成形環境の厳格空調化である。外気の温度、湿度の変化が配合の可塑性に大きく影響を及ぼすため、品質を一定に保つためには厳格な空調が求められ、これによりばらつきの少ない成形体を実現できる。実績としては、簡易空調から厳格空調へ切り替えることにより、嵩比重、気孔率などの品質値の標準偏差が年間を通じて20%改善されている。

更に、通常の耐火物は混練バッチ単位(500~1500kg)での管理が一般的であるが、この連続鑄造用ノズルの場合には、先に述べた理由により単品管理が行なわれており、ノズル成形直後から出荷に至るまで全工程に渡り単品毎に識別カードが取り付けられている。また、最近ではコスト、環境の面から加工無し又は加工最小とするために、最適ラバーモールド設計によるニアネット成形技術が進んできている。ちなみに、連続鑄造用ノズルの場合は、他の窯炉れんがと異なり、水モデル実験やコンピューター流体解析により溶鋼の流れをシミュレーションしてノズル形状の最適化が行われている。

3.5 焼成

焼成炉は、大量生産に適した連続焼成炉(トンネルキルン:写真8)と小回りの効く単独窯(シャトルキルン:写真9)に大別される。

焼成温度はれんが品種により異なるが、概ね1000~1800度の範囲で焼成される。品質管理面においては、れんが品種毎に決められた焼成温度曲線通りに昇温、冷却される必要があるが、不適切な昇温や冷却を行なうとれんがに焼成亀裂が発生する原因となる。勿論、焼成炉内の温度は均一であることが理想的であるが、実際には焼成炉の物理的なサイズのために炉内の温度は場所により若干異なり、特に炉内上部と下部の温度差及び両端部と中央部の温度差が問題となる。耐火物メーカーはこの温度差を出来る限り小さくするために様々な工夫、改善を行なっている。

生産面での焼成炉の進化は、大きく分けて燃料転換、省エネルギー、及び自動操炉の3点である。燃料については、かつて石炭に始まり、重油へと変わって温度制御を可能にした焼成炉も、CO₂削減やコスト削減目的で天然ガス化され、より高い精度での温度制御が実現した。一方で省エネルギーについては、オイルショック以来、省エネルギーバーナーや廃熱利用が進み、れんが重量当りのエネルギー原単位は激減したが、近年になって、耐火物の高付加価値化と多品種少量生産によって、焼成温度の高温化、温度切替の頻発化、焼成台車当りの製品積み数量の減少などにより、エネルギー原単位は停滞かむしろ増加傾向にある



写真8 トンネルキルンの外観(美濃窯業提供)
Appearance of tunnel kiln (by Mino Ceramic Co., Ltd.)



写真9 シャトルキルンの外観(美濃窯業提供)
Appearance of shuttle kiln (by Mino Ceramic Co., Ltd.)

と言っても過言ではない。

最後の自動操炉については大きく進歩した。焼成炉設備の信頼性が向上したため、焼成台車の挿入や引き出し、回送が自動化され、それまで24時間に渡って作業者が交代で温度管理や失火監視を行ってきたが、現在では殆どの焼成炉で無人操炉が実現されている。

残された課題は、れんがを焼成台車に積む作業の自動化である。規格化されて類似形状で多量に生産されるセメントキレン用のれんがなどでは、ロボットを使った自動れんが積みが行なわれているが、その他のれんがでは形状が多岐に渡るために、未だに手積みが一般的である。

3.6 加工

加工工程では、適正れんが寸法や面精度を得る切削加工プロセスと、メタルケースなどに嵌め込んだりする組立プロセスがあるが、一般的に汎用の比較的小型の機械を使っただけの手作業に頼る傾向にある。これは、顧客の要望により、形状が非常に多岐に渡り、同一形状、同一品種当りの生産数が少ない割りに作業工程数が多いためと考えられる。耐火物メーカーとしては、トヨタ生産方式に習って、多能工化やU字ライン化、セル生産などを取り入れて、手作業の中で生産性向上が図られているのが現状であり、このような多品種少量生産の環境下では、あくまでも手作業を軸としたライン化、セル生産化となり、無人加工化は困難と思われる。

4. 品質管理と生産性向上についてのまとめ

これまで述べてきたことを箇条書きでまとめてみると、以下ようになる。

品質管理面での向上

- ・微粉，超微粉原料の均一分散
- ・配合の偏析防止
- ・空調管理による配合の可塑性の一定化
- ・自動化によるオペレーター技能からの脱却
- ・IT導入によるトレーサビリティの向上

生産性での向上

- ・サイクルタイムの短縮，リードタイムの短縮

・物流整流化

・ITを駆使した自動化，省力化

殆どの耐火物の生産は、金属のような溶融プロセスを経ずに粉粒体から形づくりされるため、一度混入してしまった不純物は除去することができず、また成形や焼成で発生した亀裂や内部欠陥などの不具合は矯正する手段がないため、各工程毎にきちんとした管理を行なっていくことが極めて重要である。そのために、さまざまなセンサー機器の活用による工程内検査の充実を図っているが、まだまだやるべきことは多い。一方、生産性の面では、プロセスの連続化による安定生産を追求している。

5. まとめ

耐火物業界は製鉄プロセスの急速な変化に追従すると同時に、耐火物製品の高付加価値化を図るために、様々な努力で技術革新を進めてきた。耐火物メーカーとしては材質の開発もさることながら、一層の品質の安定化を進めるために多くの製造プロセスの開発と改善を積み重ねてきた。本稿で紹介したものはその一端である。今後は更に、顧客での使用結果がフィードバックされて耐火物の製造履歴と照合されることにより、より一層研究開発に拍車がかかるものと考えられる。

また最近の地球温暖化を筆頭にした環境問題についても、今後の耐火物業界での重要な取り組み課題であると認識している。そのため、廃棄物削減に向けたリサイクル、再使用、再利用などの活動に加え、CO₂排出量削減のために、現在の高温焼成れんがを低温焼成れんがへ、又は不焼成れんがへ切り替えたり、れんがの適用を不定形へ切り替えるなどの検討を推し進めなくてはならないと考えている。

上述の通り、今後は常に環境に配慮しながら高付加価値、高品質の耐火物を安定して供給できるように、ありとあらゆる努力を積み重ねていく所存である。

参考文献

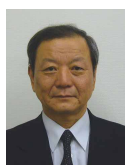
- 1) 耐火物技術協会:耐火物手帳 97



加山恒夫 Tsuneo KAYAMA
黒崎播磨(株) 技術研究所長
北九州市八幡西区東浜町1番1号 〒806-8586
TEL:(093)622-7231



浅野敬輔 Keisuke ASANO
黒崎播磨(株) 常勤監査役



海老沢洋 Hiroshi EBISAWA
黒崎播磨(株) 参与
技術部 生産技術センター長



上野和志 Kazuyuki UENO
黒崎播磨(株) 技術部 マネジャー