

## 耐火物吹付け補修装置QMS, H-QMIの開発

## Development of Refractory Spraying Repair Devices of QMS (Quick Mixing Shot) and H-QMI (Hot Quick Mixing &amp; Mist Injection)

内田 貴之\*      花桐 誠司  
Takayuki UCHIDA      Seiji HANAGIRI

## 抄 録

窯炉設備の保守作業は労働集約的な作業が占める割合が高く、高稼働操業条件下、急速に進む少子高齢化の背景を受け、補修や点検作業の機械化開発に一貫して取り組んでいる。一般に、耐火物補修の機械化には不定形耐火物の吹付け補修作業が用いられるが、機械化による作業性を確保しつつ施工体の耐用性改善が求められる。この課題を受け、耐用性を左右する混練プロセスの瞬間化と連続化を図れるコンパクトな混練機構を核とする新しい耐火物補修システムを開発した。本システム技術の概要と本技術を用いた冷間及び熱間条件における各種の補修作業の機械化事例を紹介した。

## Abstract

In the background of rapidly progressing declining birthrate and aging, we are engaged in promoting mechanization development of maintenance and inspection work of various furnaces to meet the high occupancy operation. Typically, it is suitable for spraying work mechanization using the monolithic refractory as mechanization scheme of repair work, both the workability and durability cannot be achieved easily. Through developing new kneading mechanism realizing moment kneading process as an important process for construction, conventional batch processes can be replaced to a compact and continuous of the repair work. These technical points of these technologies and their application examples are reviewed as follows.

## 1. 緒 言

耐火物の補修はオフラインやオンラインにてそれぞれ冷間条件或いは熱間条件で行なわれる。冷間補修では吹付け、パッチングに加え差し替え、継ぎ足し、こて塗りが行なわれ、熱間補修では吹付け、圧入、投げ込み焼き付け、スラグコーティングが行なわれる。これらの中で大きく発展してきたのは冷間熱間条件に共通して用いられている吹付けである。新日鉄住金(株)では吹付け補修方法の開発を進め、窯炉の安定稼働と耐火物コスト低減を推進してきた。中でも開発した瞬間混練技術は、作業性と施工品質を高度なレベルでの両立を果たした機械化された補修方案であり、社内並びに社外へ普及することができた。以下にその概要について紹介する。

なお、文中において、開発した技術に対して略称を用いた。冷間補修はQMS (Quick Mixing Shot)、熱間補修はH-QMI (Hot Quick Mixing & Mist Injection) と呼ぶ。

## 2. 現状補修作業と機械化の課題

## 2.1 現状の吹付け補修の問題点

不定形耐火物の補修技術では、耐火物材料に水を添加し、混練後に流し込みや吹付け作業を行なうが、材料に添加する水の量が施工中の作業性と施工体の耐用性に大きく影響する。即ち、耐用性を上げる場合は添加水量をできるだけ抑え、施工体の気孔率を下げるにより緻密性を改善する。逆に、施工作業性においては、できる限り添加水量を増し、搬送時の粘性を抑え、搬送時の抵抗や付着物の低減を図る。つまり、耐用性と作業性は相反する関係にあり、施工目的や条件により最適な添加水分を調整し使い分けている。

具体的には、冷間補修では、作業性より耐用性を重視し添加水分を抑えた条件を採用し、逆に、熱間補修では作業性を耐用性より重視して添加水分を増やした条件を採用している。本開発では、こうした不定形材料の施工条件と耐

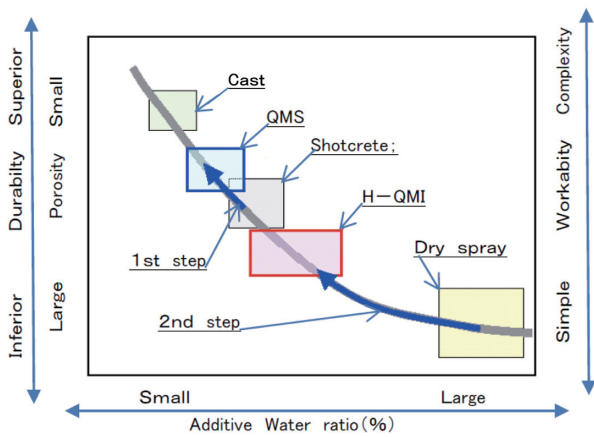


図1 水添加率による作業性と耐用性への影響  
Effect of additional water contents between workability and durability

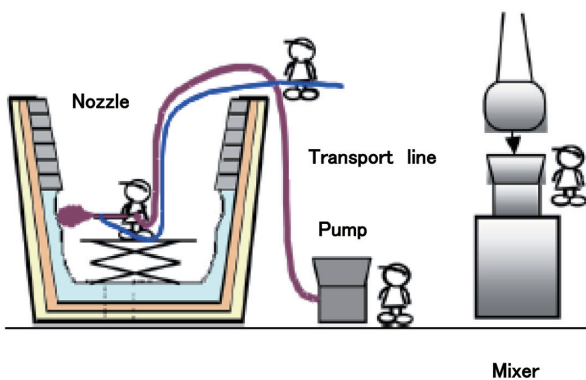


図2 現状の冷間補修技術  
Conventional cold conditioned repairing technology

表1 現状補修技術の問題点  
Problems of conventional repair technology

Items	Problems
Additive water	Extra additive water to ensure pumpability
Operability	Multiple operators for batch mixing, long distance transport and spray
Environmental condition	Poor environmental conditions for operator
Repair capability	Constrained capacity by workload
Supplementary work	Time-consuming cleaning after repair

用性の関係を踏まえ、図1に示すように、冷間補修と熱間補修の両方において、耐用性を上げられるよう、添加水分を低減しつつも作業性の改善を図る方針で取り組んだ。

### 2.1.1 現状の冷間補修技術とその課題

現状行なわれている代表的な冷間補修であるショットキャスト工法(図2)の概要と課題について下記に示す。

混練、搬送及び吹付けの工程から構成され、それぞれが独立しており、作業員を必要とする。施工品質の課題としては、表1にも示しているように、

- ①添加水分：混練後の高粘性材の圧送性確保のため、施工体品質から見た必要水分に対し余分な添加水の追加

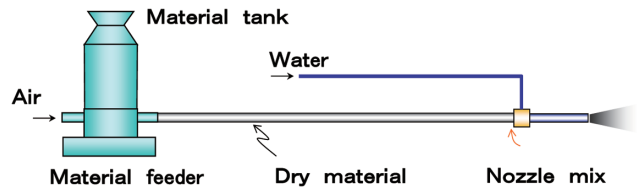


図3 現状の熱間補修技術  
Conventional hot conditioned repairing technology

が不可避である。

また、作業性に関する課題としては、

- ②バッチ作業性：混練、ポンプ圧送及びエア吹付けの各作業それぞれに作業要員が必要である。
  - ③環境条件：吹付けノズルから発生する粉塵により鍋内で吹付けを行なう作業者の環境条件が劣悪である。
  - ④施工能力：圧送条件や吹付け作業者の制約或いは作業負荷から施工能力に限界がある。
  - ⑤付帯作業：搬送ホース内に材料が残留するため施工後の清掃に時間と労力の手間を要する。
- 等の問題があり、耐用性の向上や補修作業の省力化に改善の余地が残されていた。

### 2.1.2 現状の熱間補修の問題点

現状行なわれている代表的な熱間補修である乾式吹付け工法(図3)の概要と課題について下記に示す。

材料をエアで搬送し、ノズル直前で水を添加する簡単な構成である。熱間条件では、厳しい高温環境にて短時間で行なわなければならないため、機構も簡単であり作業性が重視されている。しかし、ノズル直前で水が添加されるので、混練性が不十分、且つ添加水分が過剰傾向となるため、①施工体物性の低下、②付着し難い、③粉塵の発生による作業環境等の問題があった。

## 3. 機械化開発の狙い

### 3.1 不定形耐火物の構造

不定形耐火物の施工体はモノリシック(一枚岩)と言われるが、微視的に見れば骨材とセメント固化したバインダーからなる複合材料(図4)であり、施工体の強度は、表2のような分担で構成される。従って、複合材としての耐用性改善を狙うには、骨材配分の増加には限界があるのでバインダーの緻密化、強度アップが効果的である。また、作業性改善については、微粉を含むバインダーの分散と骨材との混練の強化が基本的な手段である。

こうした特性を踏まえて、混練プロセスにおいて低水分条件でありながら混練を強化する方案として混練機構の高速化を試みた。図5は、混練機構により付与される回転加速度的大きさと混練時間の関係を示した模式図である。従来の3桁以上の加速度により分散強化と混練強化を狙った。

### 3.2 開発の思想

冷間補修技術に必要とされる性能について図6に整理し

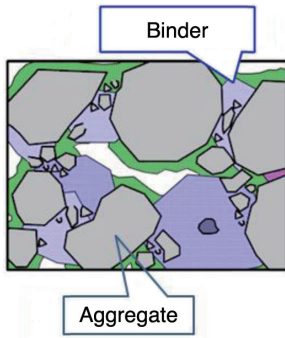


図4 微細構造モデル  
Microscopic structure model

表2 複合材の強度配分  
Composite strength sharing

Strength	Binder	Aggregate
Compression	△	◎
Erosion	△	◎
Thermal stress	◎	○

◎ : Excellent, ○ : Good, △ : Poor

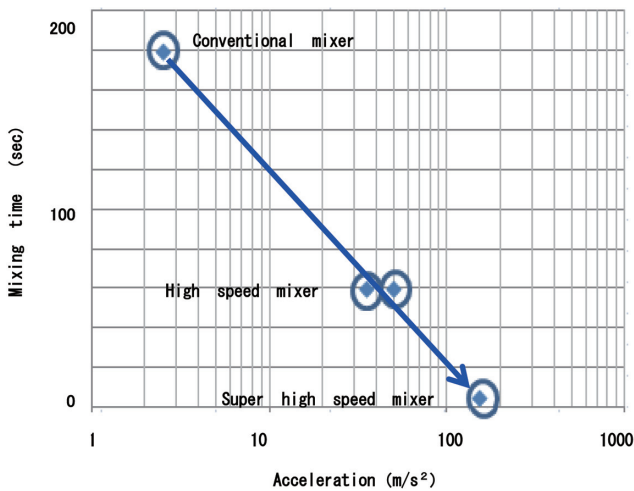


図5 各種混練装置の加速度  
Acceleration of various mixers

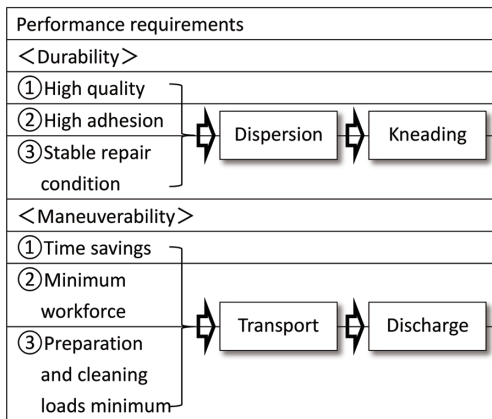


図6 補修技術に要求される性能  
Required performances for repair technology

た。高耐用性については、①緻密な高品質の施工体、②良好な付着性、及び③安定した施工条件、作業性については、①短い作業時間、②最小要員、及び③付帯作業負荷低減が求められ、それぞれ混練、搬送、吹付けの各単位プロセスにおいて機能の改善が求められる。

### 4. 混練機構とシステム化の開発

#### 4.1 連続・瞬間混練機構

混練機構の高速化を図る方案として、新日鐵住金で以前開発したロータリーショットの技術を応用した<sup>1,2)</sup>。即ち、急結材の混合用の多数の高速回転ピンの分散機構の応用により、凝集しやすい微粉を含む材料の分散性を高めるとともに、下流ほど広がる円錐台形の外筒（図7）を回転させることにより、遠心力によりスラリーを外筒内面に付着滞留させ、付着した材料へ混練ピンの回転により混練作用を与えつつ下流へ適切な速度で移動させる。

材料には混練機構に入る直前でミスト状の水が添加され、混練容器内に導入される。混練容器の上流と下流とでそれぞれ分散と混練とが分担される。即ち、上流側では材料と添加された水との分散が主体に行なわれるため羽根状の回転体を取り付けられている。混練容器の下流側においては、材料と水とが分散され合体したスラリーが混練ピンの遠心力により容器内面に付着し、混練が行なわれる。

強化が図られた混練の手段としては、添加水分量が低い条件で十分な混練を行なうため容器内面における滞留時間の延長が有効である。即ち、外筒と呼ぶ混練容器の外周を遠心力により材料を付着できる程度に回転させる機構とした。更にこの外筒は、容器内への過剰な滞留防止と、投射機構への移送を円滑化するため、下流に従い径が広がる円錐台形状とした。

混練のメカニズムについて図7の一部（○内）を拡大した図8を用いて説明する。

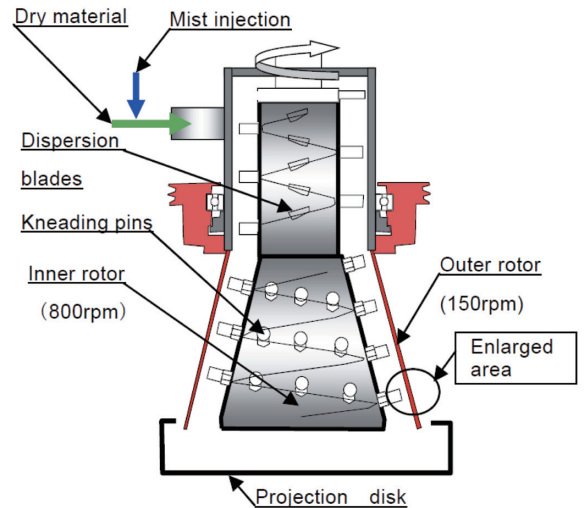


図7 新開発の混練機構  
Mechanism of newly developed mixing device



- ①混練ピンは外筒内側の滞留層に押し込まれ、材料に剪断力、圧縮力及び圧延力を与える。
- ②一定ピッチでずれた後続の混練ピンが同様の作用を繰り返す。

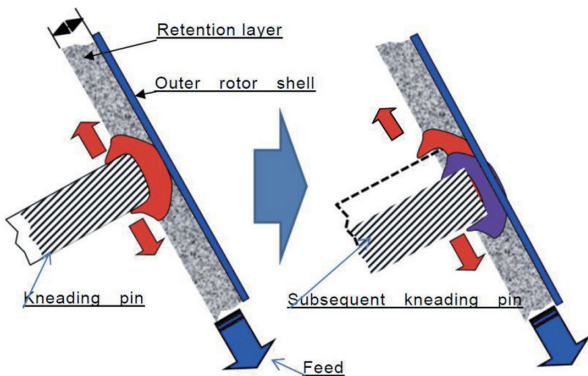


図8 混練改善の仮説  
Hypothesis of improved mixing

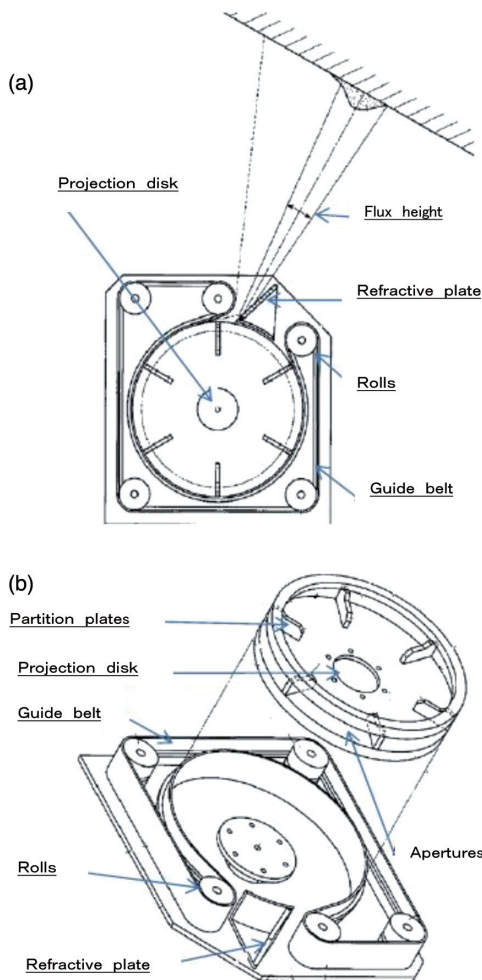


図9 投射板と流束の外観  
Appearance of (a) projection disk and (b) flux

表3 投射条件と仕様  
Projection conditions and specification

Projection condition	Projection specification
Speed of projection	Rotation speed of disk
Projecting grain size	Number of partition plates
Width and height of flux	Angle of reflection plate

返す。材料は、混練容器の外筒内側における滞留時間中にこの作用を繰り返し受けることにより瞬間混練が可能となる。

最適な混練条件は、適正な滞留時間に調整するため、①内筒の回転数や外筒の回転数、②ピンの径と長さ、③配置(ピッチや本数)、④ピンと外筒のギャップ長さ等のパラメーターの組み合わせの最適化を図った。

#### 4.2 投射原理と投射機構

耐用性を確保するべく低水分条件で混練した粘度の高いスラリー状の材料について、作業性の両立を図るためにはできるだけ最短の搬送系にて施工体への吹付けが要求される。そこで、混練後の材料の吹付け並びに吹付け場所までの搬送を一体化する機構としてロータリーショットの機構を応用し、エアーを用いず遠心力を利用して吹付けを行なった。

材料をエアーによらず投射する機構について説明する。図9に示すように、投射機構は、①外筒の出口に接するように配置された投射円盤、②円盤の外側に巻きつけて駆動され開放部を設けたベルト、③開放部から投射された材料に方向性や流束形状を整える反射板からなる。

表3に示すように、投射条件は投射機構を構成するこれら要素の仕様により制御や調整が可能である。従って、付着率の改善の目的によって、投射流束(図9(b))の速度や断面寸法の最適化を図るため投射機構の要素(図9(a))の最適仕様を組み合わせることができる。

### 5. 冷間補修システム化事例

混練と投射の機構が一体化された連続・瞬間混練機構を中心として、①材料、添加水及び搬送エアーの定量供給系、②混練・投射機構の旋回、昇降或いは傾動の位置決めや姿勢の制御系、及び③本体を鍋に設置するための移動装置或いは架構から自動補修システムが構成される。こうした構成により、表4に示すように、従来3つの独立の工程の一体連続化が図れた。

#### 5.1 実炉実証用装置

実炉における耐用性や作業性に関する実証評価を各所において行なうための試験装置を試作した(図10)。図は鍋の底に装置を設置する方案であるが鍋の縁に装置を設置する方案も試作した。施工体の評価を最優先にしたため、材料の搬送系等一部の機構については簡素化を図った。

#### 5.2 自動補修制御方案

混練機構と投射機構が一体化された混練・投射機構に対し、昇降、旋回或いは傾動の動作による位置決めにより所定の部位に必要な厚みの施工体を成形できる。必要な施工体厚みの形成は、旋回速度と昇降ピッチの組み合わせに

表4 プロセスの比較  
Processes comparison



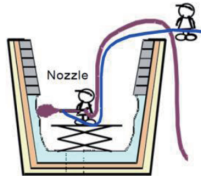

Process	Mixing	Transporting	Spraying
Conventional	Mixer 	Pump 	Nozzle 
	<b>Continuous quick mixing (QMS)</b>		
New	Dispersion & mixing	Shortest transportation	Air-less projection
			



図10 プロトタイプ機  
Prototype system

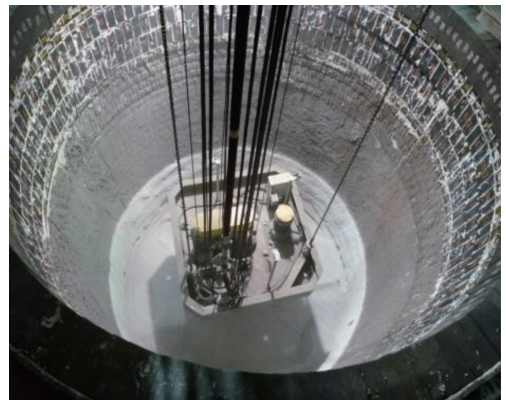


図11 稼働中のQMS 実用機  
Proper QMS in working condition

より制御でき、この関係を参考に条件を設定することで予め目標とした厚みの自動補修が実現できる。

### 5.3 QMS システム化事例

#### (1) 中心配置懸垂方式

図11に室蘭製鉄所にて稼働中の設備の実例を示す。装置の鍋への移動は台車で行なわれ、混練・投射機構は架台から懸垂され、昇降、回転或いは傾動が行なわれ、鍋内の任意の位置に所定の厚みの施工体を施工できる。昇降機構の簡素化を図るため、3本のワイヤで懸垂する方式とし、各ワイヤの巻き取りや巻き戻しの量や差の制御により投射機構に任意の傾きを与えながら旋回が容易に実現できる。

材料は、ロードセルによりオンラインで秤量されているタンクから定量的に切り出され、流量制御されたエアで搬送される。この材料へ添加水分が混練機構に定量的に搬送され、連続・瞬間混練機構にて連続的な混練、投射が行なわれる。懸垂された混練・投射機構は、予めプログラミ

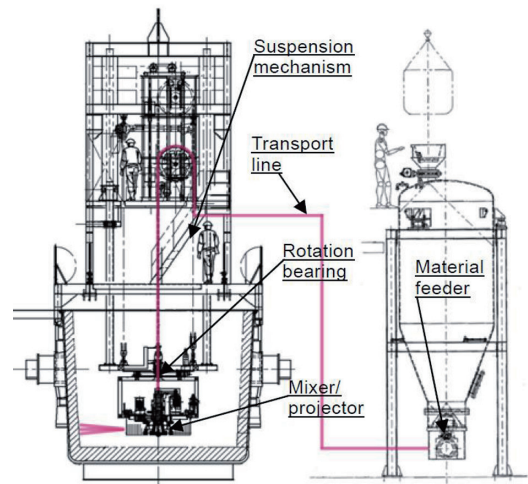


図12 大型溶鋼鍋用のQMS 実用機  
Proper QMS for large ladle

ングされた制御方案による旋回、昇降及び傾動により自動補修が行なわれる。

#### (2) 偏心配置方式

図12は、大分製鉄所へ導入した実例で、装置全体を溶



鋼鍋に乗せ掛け使用する方案である。基本的な構成や材料のフローは、中心配置方案と同様である。相違点としては、鍋の容量の大型化のため、混練・投射機構は、大口径のベアリングで回転される台に偏心して配置されている。傾動は、台上で混練・投射機構を傾動させるリンク機構により行なわれる。また、大容量のタンクを組み合わせることで 10 t の連続施工が可能である。

## 6. 熱間補修への適用

### 6.1 必要とされる機能

熱間補修技術に必要とされる性能について、基本的には表 2 に整理したように冷間補修の場合と同じである。熱間補修の場合は、作業性が重視されるので、作業性を維持しつつ、耐用性の改善を図るため連続混練機構をライン内に導入する。

### 6.2 連続混練機構の適用の課題

上記の要求される課題を踏まえ、耐火物原料の連続混練が可能な連続・瞬間混練機構を従来の乾式吹付けシステムに組み込むことにより、①低水分化、②組織の緻密化、③付着性向上、④高耐用化、⑤低発塵化を狙った。混練プロセス以降の材料搬送は、オンライン補修で重要である作業性を重視し、乾式吹付け方式と同等な簡便性を担保できる気流搬送方式とした。

### 6.3 熱間補修システム化事例

#### 6.3.1 混練機構の改造

機構としては図 13 に示すように、オリジナルの混練機構の内筒に当たる分散・混練機構を非回転の外筒に配置した構成とした。混練機構直前で材料への水添加を行ない、①微粉の凝集力を上回る大きな剪断力の付与を狙い、従来の 2 桁以上の加速度を生じる高速回転の混練ピン（冷間補修より高い 1500rpm）で混練し、②混練ピンと外筒との間の間に混練された材料が遠心力により側壁に付着し、混練ピンにより剪断されつつ下方に送られ、③絞り部において集合され、再び気流により後方の搬送ライン、吹付けノズルへ搬送される。絞り部におけるスラリー材の排出の安定化のために補助的な攪拌機構が設けられている。

#### 6.3.2 システム

システムは図 14 に示すように、①材料の定量切り出し機構、②加圧エアにより水を微粒化させ材料を濡れやすくするミスト水添加機構<sup>3)</sup>、③乾粉材料搬送、④連続・瞬間混練機構、⑤スラリー搬送ライン、及び、⑥吹付けノズルから構成される。なお、施工能力は最高  $100\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ 、添加水分率は従来の 2～3 割低減を可能とした。図 15 に一例として、室蘭製鉄所に導入した連続・瞬間混練機構を組み込んだ自走式の転炉用熱間吹付け装置の外観を示す。

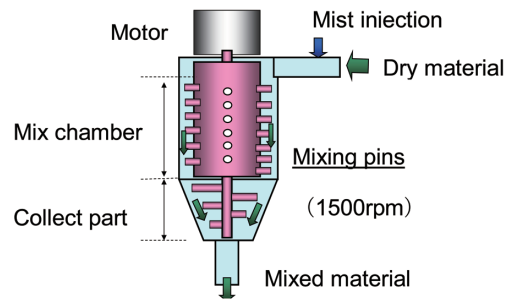


図 13 H-QMI の混練機構  
Mixing mechanism of H-QMI

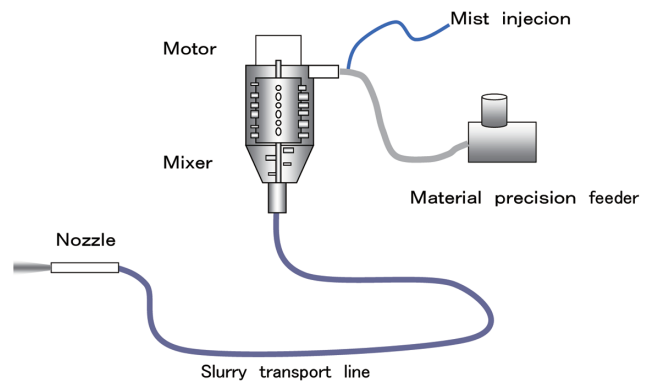


図 14 H-QMI のシステム  
System for H-QMI

#### Continuous quick mixer

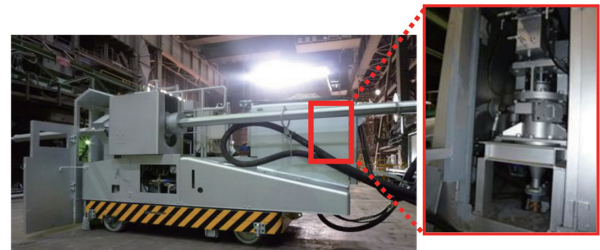


図 15 H-QMI を装備した吹付け装置  
Gunning machine equipped with H-QMI

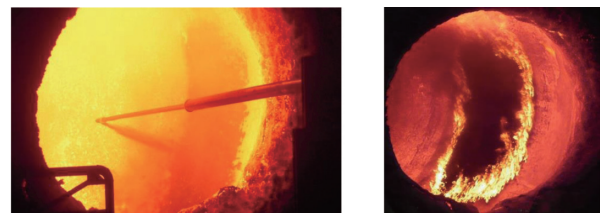


図 16 H-QMI の運転状態  
Operational condition of H-QMI

図 16 に施工中及び施工後の状態を示すが、従来の施工法とは異なる点は、十分な混練が行なわれ、且つ、施工厚みのある施工体が形成できるため、材料中のタール成分の燃焼がしばらくの間施工した周辺部にしか見られないのが大きな特徴である。

## 7. システムの信頼性設計のポイント

連続プロセスのため材料や添加水の変動はただちに系全

体の不安定化をもたらすので、安定化を図る設計が重要である。

### 7.1 材料・ユーティリティー供給の高精度化

システム化に当たっての機器選定には下記の配慮を図った。

- ①材料切り出しの高精度化：背圧の影響を受けない切り出し機構の採用
- ②水添加の均一化：ミスト化等水の分散化
- ③搬送風量の安定化手段の設置：専用コンプレッサーと定風量弁

材料と添加水量については、閉塞などのトラブル回避のためリアルタイムの管理が必要であり、材料タンクには秤量計を設置した。加えて、従来は各作業員の判断で個々に設定されてきた条件が、全て記録化されトラブル時の品質管理にも適用できるようになった。

### 7.2 搬送系の耐摩耗対策

上記に加えて、摩耗性の高い不定形耐火物を高速で搬送、処理するため長期にわたる操業安定性に対して下記部位での耐摩耗対策が重要である。

- ①搬送ルート中の屈曲部の耐摩耗対策
- ②混練容器内の衝突部（特にピンや羽根）の耐摩耗材の使用
- ③混練容器内の高圧高速回転部のシール機構

## 8. 結 言

上記の連続瞬間混練機構の開発を通じ、従来バッチプロセスからなる労働集約的作業に対して、連続化と自動化を果たし、従来の課題だった耐用性と作業性の高度なレベルの両立化を図った。現時点で、冷間補修では2セット、熱間補修では9セットが、国内で稼働中である。

### 謝 辞

本開発の共同研究のパートナーである黒崎播磨(株)の海老沢氏、遠矢氏、伊東氏の歴代部長を始めとした開発スタッフの皆様並びに、ほぼ2年間毎月延べ1週間の膨大な研究室試験と各製鉄所での実炉試験にご協力いただいた試験班の皆様方に心から篤く御礼申し上げます。

最後に、本技術のアイデアを戴いて以来、心臓部である混練機構の設計、製作まで終始一貫プロジェクトご支援いただきましたゼネコンOBの中井榮氏のチームの皆様方にも御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 花桐 ほか：第102回精錬用耐火物専門委員会報告集. 耐火物技術協会, 2012, p. 95
- 2) 古田 ほか：第102回精錬用耐火物専門委員会報告集. 耐火物技術協会, 2012, p. 104
- 3) 花桐 ほか：耐火物, 64 (3), 120-121 (2012)



内田貴之 Takayuki UCHIDA  
設備・保全技術センター 機械技術部  
機械技術開発室 主幹  
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



花桐誠司 Seiji HANAGIRI  
鹿島製鉄所 製鋼部  
炉材技術室長