

## 技術論文

## 耐火物補修機械化技術の開発(ロータリーショット工法)

## Development of Mechanical Repairing Technology for Refractories (Rotary Shot Method)

池 本 正\*  
Tadashi IKEMOTO  
内 田 貴 之  
Takayuki UCHIDA

今 川 浩 志  
Hiroshi IMAGAWA  
中 井 栄  
Sakae NAKAI

河 野 幸 次  
Kouji KONO

後 藤 潔  
Kiyoshi GOTO

## 抄 録

従来、耐火物施工における技能フリー化及び省力化を目的に、不定形耐火物の流込み施工および、吹付け施工、更にはショットキャスト工法等が実機化されてきた。特に溶鋼鍋の補修技術としてショットキャスト工法は、簡便性、材料の耐用性に優れることから、広く実施されている。しかし、ショットキャスト工法は圧送施工が必要なため、流し込み施工に比べて添加水分量が多くなり、施工体の耐用性は必ずしも満足いくものではなかった。そこで新日本製鐵八幡製鐵所では、圧送施工が不要で、従来のショットキャスト工法に対し大幅に低水分化が可能なロータリーショット工法を開発し、溶鋼鍋寿命延長及び補修作業の省力化を達成した。

## Abstract

Among conventional repairing technology for refractories, such as spraying or shot casting has been developed for labor saving and skill free of operators. However, the durability of repaired body by such methods was not enough because they usually need much amount of water. On the other hand, we developed a new repairing technology that is Rotary Shot Method, which has a very simple mechanical structure and needs much less amount of water than that of conventional repairing technology. Consequently, it has been enable to achieve a much longer life and labor saving for repairing of steel ladle.

## 1. 緒 言

従来法による吹付け施工をした耐火物は、一般的に添加水分が多く、施工体の耐用性として十分なものが得られなかった。そのため、ショットキャスト工法<sup>1,2)</sup>と比較して、装置機構上の特徴から大幅に低水分化が可能なロータリーショット工法を開発し、新日本製鐵八幡製鐵所溶鋼鍋に適用した結果、溶鋼鍋の寿命延長及び補修作業の省力化を達成することができた。その内容について報告する。

## 2. ロータリーショット工法の開発

## 2.1 八幡製鐵所溶鋼鍋の補修パターン

図1に八幡製鐵所の溶鋼鍋ライニングとショットキャスト工法導入以前の修理パターンを示す。従来、溶鋼鍋の小修理間寿命は羽口、湯当り、スラグライン部位が律速して

おり、修理タイミングで部分的な交換を実施していた。さらに、最終的には側壁の損傷がネックとなり大修理になっていた。また、溶鋼鍋修理パターンの後半には側壁部不定形耐火物の剥離損傷が発生し、不定期の計画外修理が発生するため、修理間寿命や大修理寿命の短命化を招いていた。そこで、これまでも溶鋼鍋寿命延長を目的として、溶鋼鍋側壁補修方法の改善に取り組んできた。

## 2.2 溶鋼鍋側壁補修方法の比較

溶鋼鍋側壁補修の改善を行うに当たり、従来の溶鋼鍋側壁補修方法について比較検討を行った。表1にこれまで実施したことのある溶鋼鍋側壁補修方法を示す。これらの補修方法のうち、汎用性に優れ、かつ吹付け補修よりも低水分なため耐用性向上が期待できるショットキャスト工法を選定し、実機適用を行ってきた。

\* 八幡製鐵所 設備部 炉材技術グループ グループリーダー 工博 福岡県北九州市戸畑区飛幡町1-1 〒804-8501 TEL:(093)872-6569

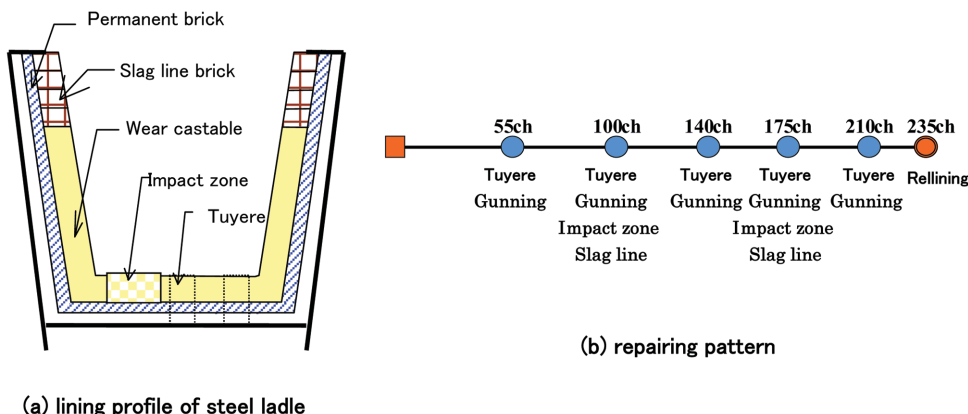


図1 溶鋼鍋ライニングと補修パターン  
Lining profile of steel ladle (a) and repairing pattern (b)

表1 従来の補修方法の比較  
Comparison of conventional repairing method

	Workability	Durability	Problem
Bricklaying	Bad	Good	Penetration of metal into the joints Loss of demolition refractory
Gunning	Good	Bad	Bad working condition Bad durability
Shot casting	Good	Good	Increase of workforce
Casting	Bad	Very good	Bad workability Necessary for special core

2.3 ショットキャスト補修導入効果

ショットキャスト工法には、ダブルピストン方式とスクイズポンプ方式の2方式が報告されている<sup>3)</sup>。施工量が少なくかつ施工頻度が低い場合には、材料残渣、機器清掃の面からスクイズポンプ方式の方が有利である。そこで、溶鋼鍋側壁補修用にスクイズポンプ方式のショットキャスト工法を導入し、溶鋼鍋大修理寿命延長に取り組んで来た(図2参照)。その結果、大修理寿命延長の目的に対し一定の成果は得られたが十分ではなかった。さらに、作業面での問題点として、作業段取にかかる要員が多い、作業を補修対象鍋内で行うため作業環境が悪い、作業時間を要する等の課題があった(図3、表2参照)。

これらの課題を解決するために、ショットキャスト工法をベースに補修材の耐用性向上及び補修作業の省力化に着目した新たな補修方法の開発を行った。

2.4 ロータリーショット装置概要

図4にロータリーショット工法の装置概要を示す。ロー

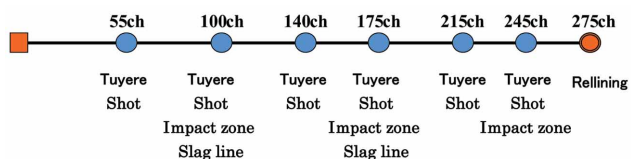


図2 ショットキャスト導入後の溶鋼鍋補修パターン  
Repairing pattern of steel ladle after introducing shot cast

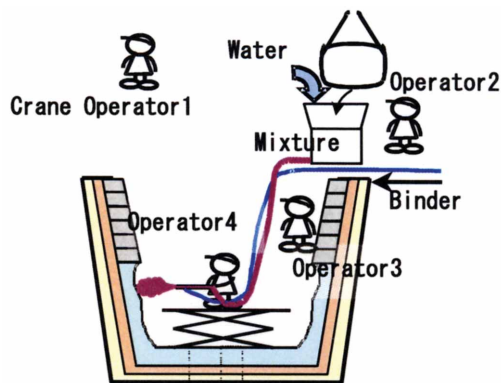


図3 ショットキャスト工法による溶鋼鍋補修方法  
Steel ladle repairing method by shot cast

表2 ショットキャスト工法の課題  
Problems of repairing method by shot cast

	Squeeze type	Double piston
Addition water	7.8-9.3mass%	5.8-7.0mass%
Workforce	3 or 4 people	
Working hour	Long	Long
Working environment	Bad	
Material loss	50kg/time	1 000kg/time

ロータリーショット工法では、従来のショットキャスト工法とは異なり、事前に混練した材料をホッパー内に充填し、スクリュウオーガーにより定量切出し、ホッパー下端部で急結剤を添加した後、インペラー部で遠心力により材料の混合と小割化を行う。この小割化した材料をインペラー下端

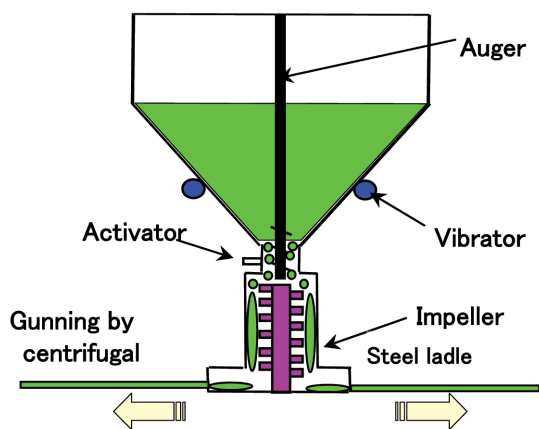


図4 ロータリーショット装置の概要  
Outline of rotary shot system

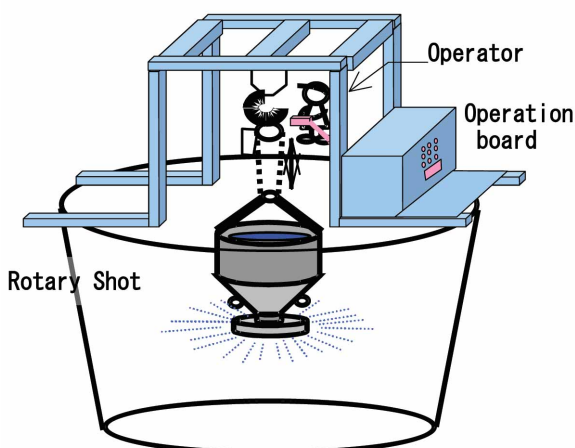


図5 ロータリーショットによる溶鋼鍋補修方法  
Steel ladle repair method by rotary shot

円盤部の遠心力により投射し<sup>4)</sup>、壁面に付着させる工法である。

ロータリーショット工法は、施工に人力を必要としないので施工速度の大幅な向上が可能であり、また、オペレーターは鍋外で機器操作を行うため、作業環境も改善された。更に、ロータリーショット装置に、投射装置部分を上下動させるチェーンブロックと操作盤を併せ持つ架台とをユニット化させることで、段取作業の大幅な簡略化と施工作業の省力化が可能になった(図5参照)。

### 2.5 ロータリーショット工法用材料の特徴

図6に各種不定形耐火物の施工方法毎の添加水分量と気孔率の関係を示す。従来のショットキャスト工法では材料の配管内圧送が必要であり、圧送性を確保するために通常の流し込み材よりも多くの水分添加が必要であった<sup>5)</sup>。一方、ロータリーショット工法は圧送を必要としないため、流し込み材により近いレベルでの低水分施工が可能になり、得られる施工体も流し込み材に近い緻密な施工体が得られるようになった。

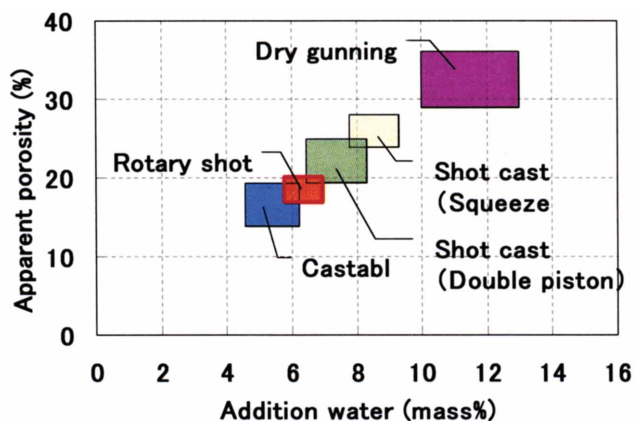


図6 添加水分と見掛け気孔率との関係  
Relationship between addition water and apparent porosity

ロータリーショット工法を用い実機施工を行った結果、添加水分6 mass%以下の低水分施工が可能であった。また、施工体の耐用性向上を目的に従来流し込み材の手法<sup>6)</sup>を用い最大粒径を8 mmとする粗粒添加を行ったところ、問題なく施工が可能であることが確認できた。

### 2.6 ロータリーショット工法の詳細

ロータリーショット工法の課題として、以下のことが挙げられる。遠心力による投射を考えた場合、補修材の投射方向はインペラーの回転する水平面の全周に限定される。しかし、実機の溶鋼鍋側壁では、図7に示す様に局部的な剥離や壁、敷の継ぎ目部(壁立ち上がり部)に局部的な損耗が発生するため、ロータリーショット工法においても、これらの損耗部位に対応した補修を可能にするための改善が必要であった。

溶鋼鍋の局部的な損耗に対応した補修を可能にするため、ロータリーショット装置には全周施工以外に集中吹き機構を付与した。これは図8に示す様に、基本となるインペラーの外周に、インペラーの回転速度と同期させたガイドベルトを配置させることで、投射方向の1方向化集中

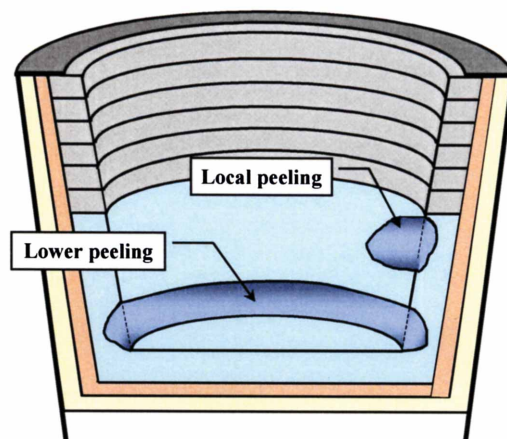
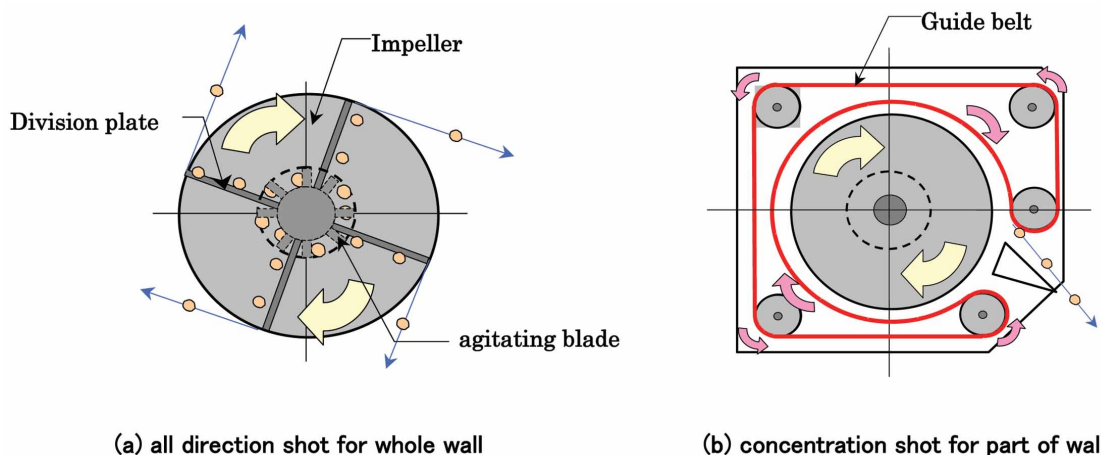


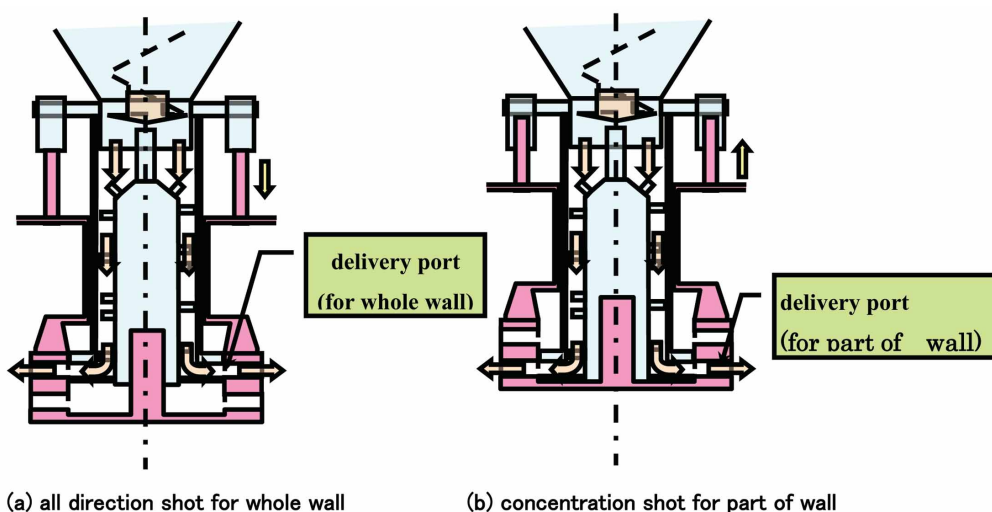
図7 溶鋼鍋の損耗パターン  
Typical wear pattern of steel ladle



(a) all direction shot for whole wall

(b) concentration shot for part of wall

図8 全周-集中吹き機構  
Mechanism of all direction shot (a) and concentration shot (b)



(a) all direction shot for whole wall

(b) concentration shot for part of wall

図9 全周-集中吹き切替え機構  
Exchange mechanism of rotary shot

表3 ロータリーショット付帯機構  
List of an incidental function of rotary shot

Item	Function
Move up and down	Move up and down by electric winch
Operation	Remote control
Changeover system	Automatic quick changing device (changeover time 2s)
Method of addition activator	Automatic control in proportion to discharge speed
Cleaning	Turn around in water tank    High-pressure water washing

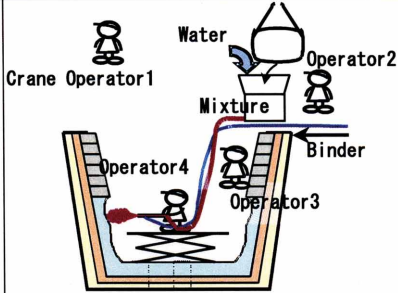
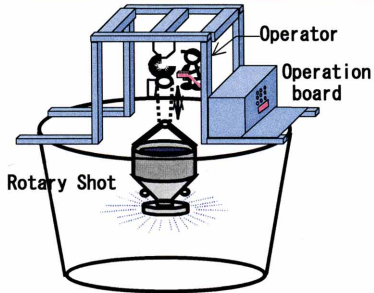
吹き施工)を可能にさせたものである。更に、全周吹き-集中吹き切替方法(図9参照)は、ロータリーショットの開発目標である省力化の利点を損なわないように人力を用いず、短時間で全周-集中切替を可能にする機構を開発し搭載した。

表3にロータリーショット工法に導入した付帯機能についてまとめた。これらの機能により、溶鋼鍋でのロータリーショット工法を用いた、簡易かつ汎用性に富んだ補修が可能になった。

### 2.7 ロータリーショット工法導入効果

表4にロータリーショット工法と従来ショットキャスト工法の比較結果を示す。ロータリーショット工法による施工体は、ショットキャスト工法による施工体に比較して緻密であり、耐食性指数は44%の向上効果が確認できた。また、施工作业の面ではショットキャスト工法に対し、最大で約6倍の施工速度が得られ、施工時間の短縮化が可能になった。更に、材料圧送用配管が無い為、配管内の無残材化と洗浄作業時間の短縮化が可能になった。この結果、補修作業に要する作業時間は59%、必要工数は75%の削減

表4 ロータリーショット工法とショットキャスト工法の比較  
Comparison of rotary shot and shot cast (squeeze type)

	Shot cast(Squeeze)	Rotary Shot
Outline of equipment		
Addition water	7.8~9.3 mass %	5.8~7.0 mass %
Corrosion resistance index	100	56
Gunning speed	50kg/min	300kg/min
Working environment	Bad	Good
Material loss	50kg	0
Cleaning time	40min	30min
Total repair time	220min	90min
Man-hour rate	100	25

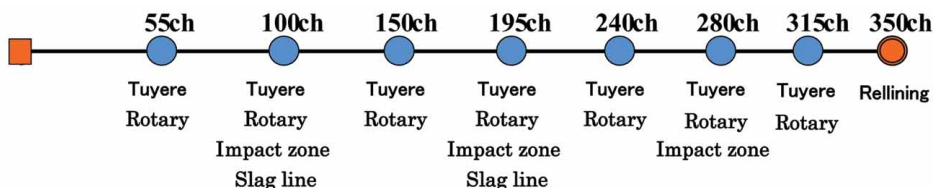


図10 ロータリーショット工法導入後の溶鋼鍋補修パターン  
Repairing pattern of steel ladle after introducing of Rotary Shot

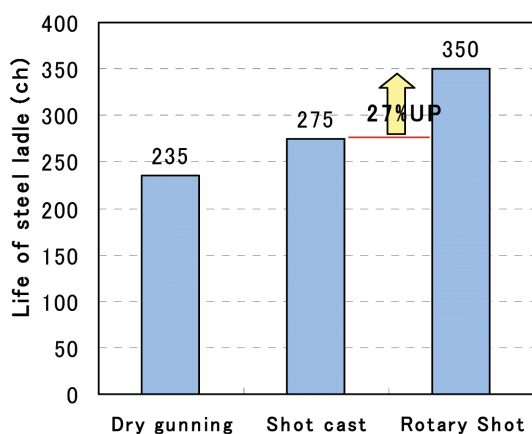


図11 補修工法による溶鋼鍋寿命の比較  
Comparison of life

減が達成できた。

図10に八幡製鐵所におけるロータリーショット工法導入以降の溶鋼鍋補修パターンを示す。また、図11にロータリーショット工法導入前後の溶鋼鍋寿命比較結果を示

す。ロータリーショット工法導入により、小修理間を通しての補修材の耐用確保（50チャージ）が可能になり、小修理間寿命の安定化が図れた結果、溶鋼鍋大修理寿命の大幅な向上が図れた。

### 3. 結 言

新規な耐火物施工方法として、ロータリーショット工法を開発し、溶鋼鍋で実機適用を行った結果、以下の効果を確認した。

- (1) 材料圧送用配管無し構造のため
  - 材料の低水分化が可能
  - 材料の緻密化，高耐用化
  - 残材発生量 0
  - 粗粒（～8mm）添加が可能
  - 施工体の高耐用化
- (2) 人力によらない投射機構
  - 施工速度の大幅アップが可能
  - 施工時間の短縮化
  - 省力化（1名作業化）が可能
  - 鍋外からの操作が可能
  - ため作業環境が改善

(3) 緻密質材による補修

溶鋼鍋の大幅な寿命延長達成

今後は、本ロータリーショット工法他設備への展開を図り、他設備でも補修作業の省力化及び長寿命化を図っていくことを狙う。

参考文献

1) 古賀正徳, 多喜田一郎, 片岡稔, 川崎和彦:耐火物 51(4), 179-

187(1999)

- 2) 釘宮昌寛, 岩下和俊, 多喜田一郎, 阪本克彦, 犬塚孝之:耐火物 51(11), 599(1999)
- 3) 加藤淳二:耐火物 51(4), 223-230(1999)
- 4) 特公昭50-39403号
- 5) 石川豊, 花井謙次, 矢島幸造:耐火物 52(12), 651-655(2000)
- 6) 久保田裕, 菅原光男, 原田正博, 瓜田祐輔, 片岡稔, 山口一成:耐火物 51(5) 266-274(1999)



池本 正 Tadashi IKEMOTO  
八幡製鐵所 設備部 炉材技術グループ  
グループリーダー 工博  
福岡県北九州市戸畑区飛幡町1-1 〒804-8501  
TEL:(093)872-6569



今川浩志 Hiroshi IMAGAWA  
八幡製鐵所 設備部 炉材技術グループ  
マネジャー



河野幸次 Kouji KONO  
環境・プロセス研究開発センター 無機材料  
研究開発部 マネジャー



後藤 潔 Kiyoshi GOTO  
環境・プロセス研究開発センター 無機材料  
研究開発部 主幹研究員 Ph.D



内田貴之 Takayuki UCHIDA  
環境・プロセス研究開発センター 機械技術  
部 マネジャー



中井 栄 Sakae NAKAI  
NSエンジニアリング 代表