

技術論文

耐火物整備作業の集約化と機械化・省力化技術の開発

Development of Mechanization and Labor Saving Technology for Refractory Maintenance

三上 頼 儀*
Yorihito MIKAMI
原 田 茂 美
Shigemi HARADA

祐 成 史 郎
Shirou SUKENARI

麻 生 誠 二
Seiji ASO

高 田 亮 平
Ryohei TAKADA

抄 録

新日本製鐵大分製鐵所における製鋼耐火物整備作業の機械化・省力化技術の開発について概説した。従来の耐火物整備作業はれんが積み工法が主体で、特殊技能を要し作業効率が低くこの改善が急がれていた。その対策として、作業の集約化と耐火物不定形化開発を行い、かつ耐火物整備作業の機械化開発を推進した結果、耐火物のコスト削減と整備作業要員の省力が図られた。

Abstract

Development of mechanization and labor saving technology for refractory maintenance was outlined in Oita Works, Nippon Steel Corp. Brick lining was mainly used and needed the skilled worker. The improvement of work efficiency have been required. In the standpoint of mechanization and labor saving technology, the monolithic lining and has been applied and the centralization of maintenance shops, which improved the refractory cost and labor saving.

1. 結 言

鉄鋼業における耐火物整備作業は特殊技能を必要とし、熟練期間が長いうえ、高熱重筋、塵埃、騒音を伴う典型的な3K職場である。このことから技能工の定着率が悪く、全国的に問題提起され改善が急がれていた。特に大分製鐵所は製鋼耐火物の整備場所が数か所に分散されており、作業要員、設備活用の効率が悪く、且つ作業環境面の対策もとりにくい状況にあった。この要員・設備効率の抜本的改善

を図るべく整備場所の集約化(ステップI)と整備作業の抜本的改革を図るため、機械化、省力化(ステップII)を狙った開発推進を行なった。本稿は、これら開発内容と省力化及び耐火物コスト削減の成果について述べる。

2. 耐火物整備の課題と改善視点

2.1 従来作業の実態と課題

大分製鐵所では、製鋼耐火物の整備場所が製鋼工場内の5か所に分散配置(図1)されていたため、その整備作業

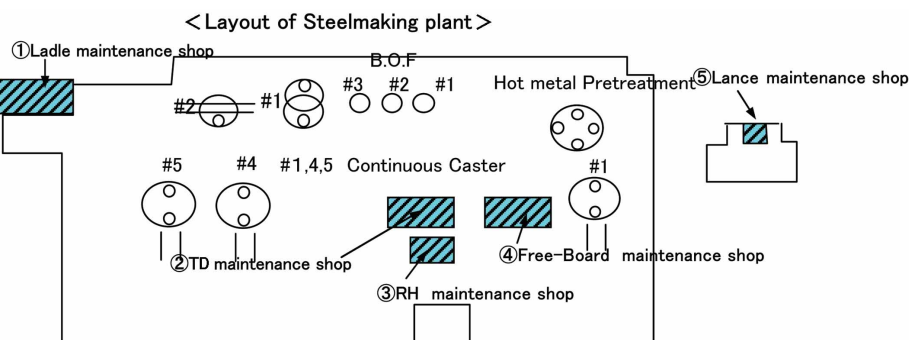


図1 作業集約前の耐火物整備場配置
Outline of refractory repair shops in steel making plant at Oita Works

* 大分製鐵所 製鋼工場 炉材課 課長 大分県大分市大字西ノ州一番地 〒870-0992 TEL(097)653-2170

には、1)作業要員の配置増で要員効率が低い、2)同類系の施工設備を多く持ち設備活用率が低い、3)工場内ハンドリングがクレーンの取り合い待ち等で時間ロス大となり作業効率が低下するといった多くの問題点があげられていた。

また作業分析を行なった結果、ハンドリング、乾燥、準備、片付け等の付帯作業比率が全作業の37%を占めており、その効率改善も大きな課題であった。これら問題点を解決するためには、整備場所の集約と低効率のれんが積み作業の見直しが必要であり、これらの改善をステップ1¹⁾として検討、実行した。

2.2 耐火物整備作業の改善視点

前述の課題への対応として、

- 1)設備毎の整備作業を要素別作業単位毎の整備作業に集約編成する
- 2)粉塵発生源を集中化し、効率的環境改善を図る
- 3)低効率のれんが積み作業を高効率の不定形耐火物施工作業に変更する

を視点として、改善検討を行った。

3. 整備場集約と環境改善（ステップ1-1）

整備場所を集約するにあたっては、耐火物解体、金物整備、施工、補修、その他作業、の要素作業毎に設備集約し、更に整備場所も溶鋼鍋、真空脱ガス（RH）槽等の大物整備系とRH浸漬管、ランス等の小物整備系に区分けし、要員効率の向上、設備機器の共有化を図った。また、不定形耐火物施工の作業効率を上げるため、ミキサー

搭載型の移動台車方式を採用し、稼働エリア内に各窯炉設備の置き場を集約した。この整備場の概要を図2に示す。

整備作業の環境改善対策についても、集約・共有化と併行して実施した。粉塵の主な発生源である耐火物の解体場全体を囲う集塵フードを設置した。また、金物整備、ミキサー混練等については局所排気装置を設置した。

4. 不定形化適用拡大開発の推進（ステップ1-2）

4.1 不定形化適用拡大の視点

築炉技能工不足、作業要員効率向上、設備の長寿命化、耐火物コスト削減等の観点から、従来のれんが積み施工から不定形耐火物施工への改善開発を推進した。

不定形化の利点としては、

- 1)施工作業の簡素化で築造作業の非熟練化と機械化、自動化が容易
- 2)使用後耐火物の解体を最小化し継ぎ足し施工が可能
- 3)廃棄耐火物をリサイクルして再活用が可能

が上げられることから、省力化、長寿命化、炉材コスト削減を図ることができる。

整備作業集約にあたり、れんがから不定形化を検討した対象設備は、溶銑予備処理（FB）槽、溶銑鍋、溶鋼鍋、RH槽の4設備である。

不定形化はれんが構造に比べ、一体構造での応力集中による亀裂発生等の熱的スポーリング、スラグ浸潤変質、過焼結等の構造スポーリングが大きく、構造安定性確保が要求される。また、れんがに比べ一般的には耐用性が低いことから、耐用性の向上も要求される。構造安定性の確保のためには、亀裂の発生・進展抑制、容積安定性を図るべく、

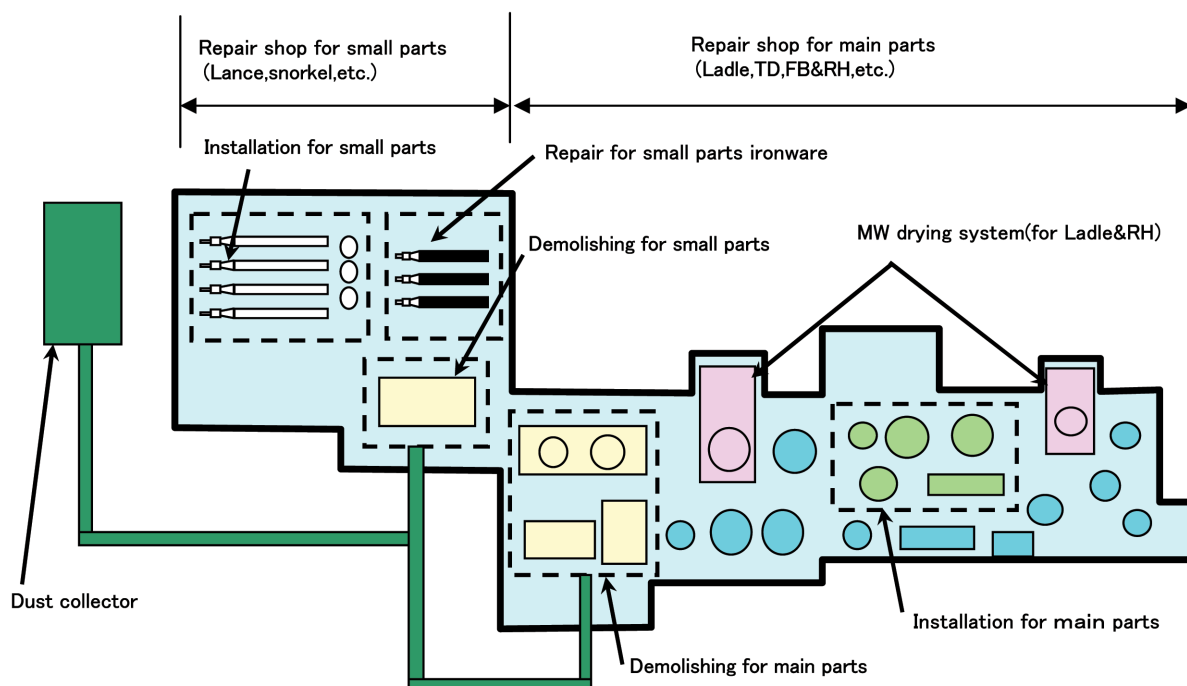


図2 製鋼耐火物整備場概要
Outline of refractory repair shop

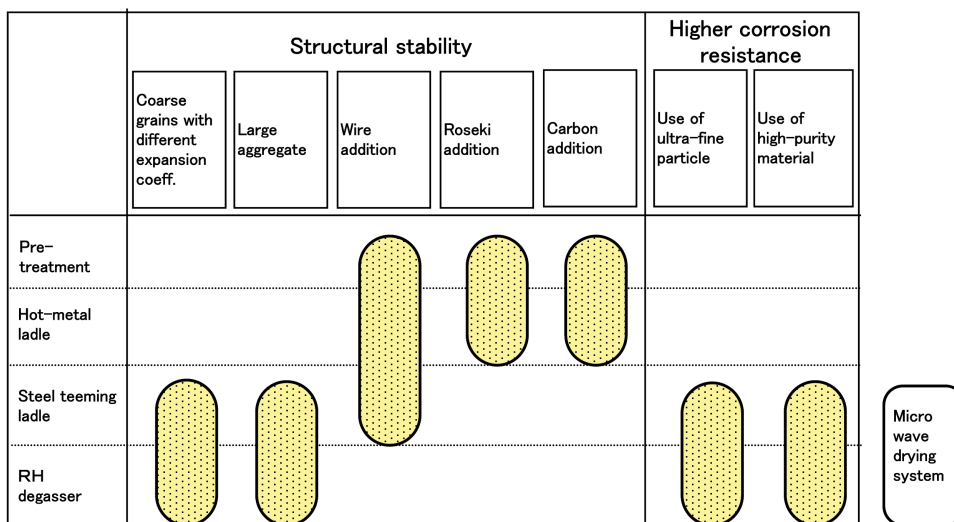


図3 設備別不定形化検討の視点
Viewpoint of monolithic technology for each facility

れんが目地代替技術が必要である。

この対応策として、異膨張原料、粗大粒子活用によるマイクロクラック生成、ワイヤー、ろう石原料、カーボン等の添加検討を行った。また耐用性向上を図るには、組織の緻密化が必要不可欠であり、超微粉セメント・原料の適用、高耐食性原料(スピネル、マグネシア)、緻密材料の高効率乾燥(マイクロ波乾燥)等の検討を行った(図3)。

4.2 不定形化技術概要

溶鋼系耐火物の不定形化例として、RH用耐火物の概要を示す。RH用耐火物の不定形化は、耐食性の向上が課題であり、材料の緻密化と耐FeO性の向上を図るため、アルミナ超微粉の添加とスピネル原料の適正化を行った¹⁾。図4にアルミナ超微粉の添加量と耐火物の施工体の平均気孔径の関係を示す。この結果から、より緻密化が得られるアルミナ超微粉の添加量を4a%と設定した。また耐FeO性を向上するため $Al_2O_3 \cdot MgO$ スピネル原料種の検討を行

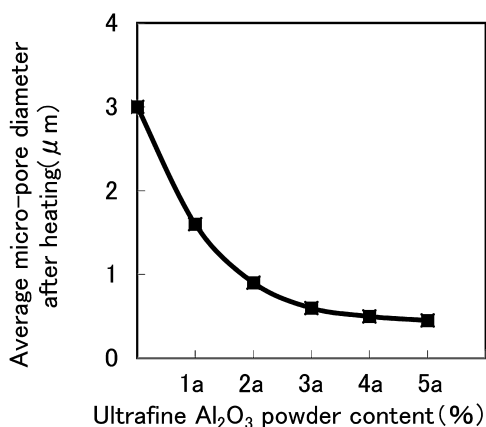


図4 超微粉アルミナ添加量と平均気孔径
Relationship between the content of ultrafine and average micro-pore diameter

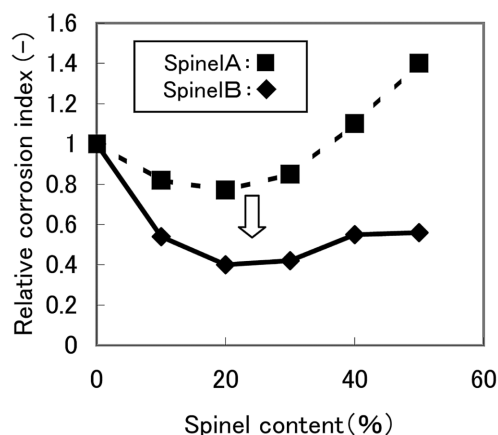


図5 スピネル種 添加量と溶損指数
Relationship between the spinel content and the corrosion resistance

なった。その耐食性を比較した結果を図5に示す。スピネル原料は、溶鋼鍋で使用しているA原料に比較して、新規B原料が耐FeO性の向上に効果が得られることから、B原料を20%添加した材料を開発した。

5. 更なる機械化・省力化推進(ステップII)

大分製鉄所においてはステップIで実行した耐火物不定形化開発を基にして、更なる耐火物整備作業の抜本的改革を図るべく、耐火物整備作業のワンマン化を狙った機械化、自動化²⁾と耐火物廃材の完全クローズド化(ゼロエミッション)対策を視野においた改善施策をステップIIとして推進した。この考え方を図6に示す。ステップIIを開発実行するにあたり、以下課題が揚げられた。

- 1)不定形耐火物の流し込み施工作業の省力化と高速化
 - 2)物流のスリム化
 - 3)溶接作業の自動化
 - 4)廃材回収作業の機械化、効率向上
- これら課題を解決する技術開発を以下に述べる。

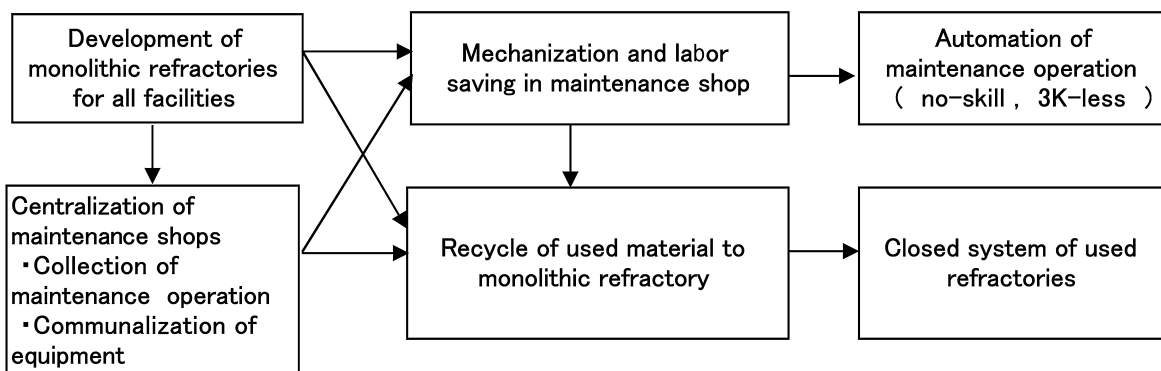


図6 機械化・省力化推進の考え方
Standpoint of mechanization and labor saving of maintenance shop

5.1 不定形耐火物の流し込み施工作業の省力化と高速化技術

ステップIの不定形耐火物の流し込み施工作業では、中子のセットはボルト接続方式のために人手と時間を要し、また、材料混練、鑄込みにおいてはフレキシブルコンテナバック(以下フレコン)方式の材料搬送とミキサー走行方式の非効率的なバッチ作業であった。この改善策として、中子のセット作業においては中子本体に自動調芯機能を設け、且つ着脱機構を拡張構造とすることで省力化を可能とした。材料混練、鑄込みについては材料荷姿をフレコン方式から鉄製コンテナ方式(以下鉄コン)とし、且つ混練機は2系統の高速2軸ミキサーを採用した。

更に混練材料の搬送は専用のホッパー台車移動方式を採用した。本方式の施工技術の確立で材料搬送、混練、鑄込みまでの作業の省力化と高速化が図られた。図7にステップIIの流し込み施工概念図を大物系設備の整備場を例に示す。ステップIIの施工設備の特徴は施工台車とミキサーを

分離することで、材料搬送、混練と流し込みを併行に作業することができ、高速化を可能とした。また施工台車はX-Y-Z軸の番地システム機能により、任意の位置に自動でアプローチでき、更にミキサーの自動洗浄機能を付加させたことで、多品種材料の連続流し込みが可能となった。また不定形材料への廃材添加は、各材質別の設定添加量を自動秤量し、鉄コンに事前供給する機能を設けている。

- 以上の改善によりステップIに比べステップIIでは、
- 1)作業要員は1クルー4～5人を1クルー1～2人に削減できた
 - 2)作業時間は中子セットで約6割、流し込みで約8割短縮できた
- の効果を得た。

5.2 物流のスリム化

大物系設備ではRH, FB, 解体屑バックの玉掛け作業、小物系ではランス類の運搬作業等において発生する煩雑な

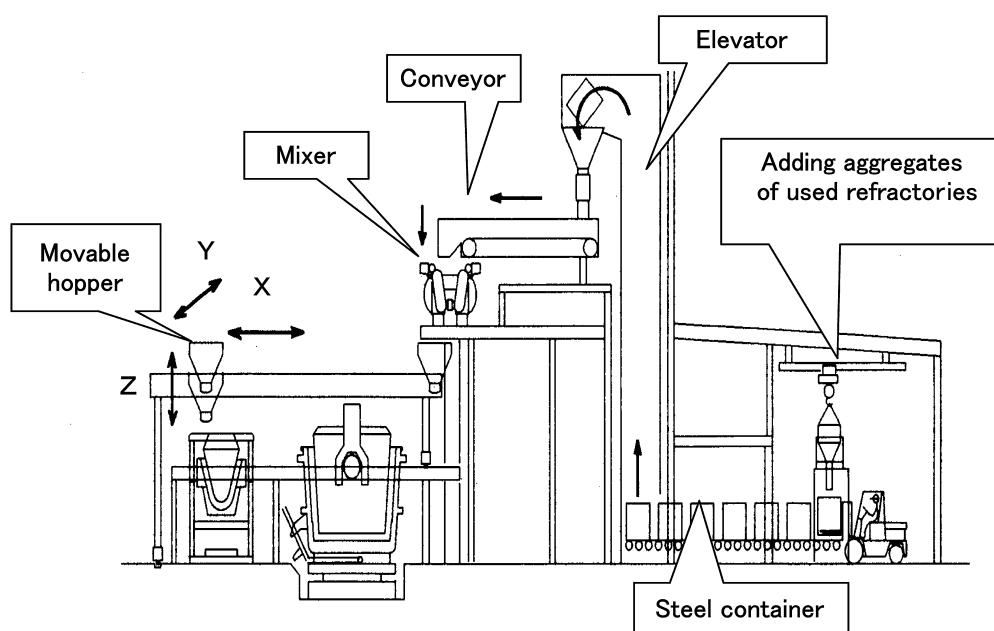


図7 大物系流し込み施工場概念図
Outline of casting machine

ハンドリング作業が課題としてあげられた。この改善策として、大物系では設備毎に異なる吊り部へのアプローチを可能とするため、クレーンフック部の電動回転化と4か所の吊り治具部が移動可能な電動吊り具を採用することで、玉掛け作業の省力化を図った。小物系では、ランス1本毎に実施していたハンドリングを数本毎に集約し、専用架台で運搬、乾燥することでハンドリング回数の削減が図られた。

5.3 溶接作業の自動化

スタッド金物の溶接作業は人手により長時間を要し、作業負荷、効率の面で課題があった。この対策として、溶接の自動化技術を開発し実機化した。この装置は炭酸ガスマグネシウム溶接方式を採用し、溶接効率を向上させるため溶接トーチ部はダブルトーチ式とした。スタッド形状はY形とし、2種類の形状を溶接可能とした。スタッド供給は振動ボールとリニアフィーダーを用いた装置構成とした。この溶接装置の導入で溶銑予備処理浸漬槽スタッド溶接の自動化が図られた。

5.4 廃材回収作業の機械化，効率向上

整備作業の機械化，自動化を進めるにあたり，解体屑回収作業，分別作業の効率改善も併行して行った。従来の解体屑回収は各解体場所で地金と耐火物の事前選別を行い，手作業で一定の大きさの耐火物のみを選別回収していた。この回収した耐火物を破砕機に投入して耐火物廃材を製品化していた。この方法では，手選別要員が多く，且つ廃材の回収率に限界があった。この改善策として，集約した解体場で排出された解体屑を設備単位毎に専用回収場にストックし，まとめて地金塊と耐火物に粗仕分け処理し，仕分けした耐火物を更に破砕，選別する設備を導入した。この事前選別作業の集約と設備導入によって従来4名で行っていた作業が2名で可能となるとともに，廃材の回収率も

向上した。

不定形材への廃材添加は，使用粒度域，添加量，不定形材の施工作業特性，耐食性，強度に影響を与える。したがって，各不定形材質に見合った粒度域，添加量をそれぞれ実験室で評価し，実機への適用開発を図った。廃材添加の対象設備・材料は，混銑車補修のショットクリート材，ランス類，溶鋼鍋，タンディッシュ等の流し込み材等広く適用し，炉材コスト削減に寄与している。

6. 効果

6.1 省力化

これまで，ステップⅠ，ステップⅡと耐火物整備作業の省力化対策を実施した結果，図8に示す通りの効果が得られた。ステップⅠの耐火物の不定形化，作業場集約化で，対策前に比べて省力効果は45%得られ，更にステップⅡの機械化・省力化改善では，ステップⅠに対して47%の削減が図られた。ステップⅡの効果の内訳としては，施工作業の改善効果が大きく，全体の約半分を占めている。ステップⅠ，ステップⅡを合計すると，ステップⅠの対策前に比べて約7割の省力効果を得た。

6.2 炉材コスト削減

既に，不定形化拡大のステップⅠで廃材添加を実施していたが，ステップⅡ対策で回収率の向上を図り廃材添加拡大を行った。この結果，図9に示すようにステップⅠに比べ34%の廃材活用率向上が図られた。この廃材活用による炉材コスト削減の寄与率は，全製鋼炉材コストの約5%に相当する。

7. 結 言

大分製鐵所においては，製鋼耐火物整備作業の集約化改善等のステップⅠをベースに，更なる作業効率の向上，省力化を図るため機械化，自動化を推進した結果，ステップ

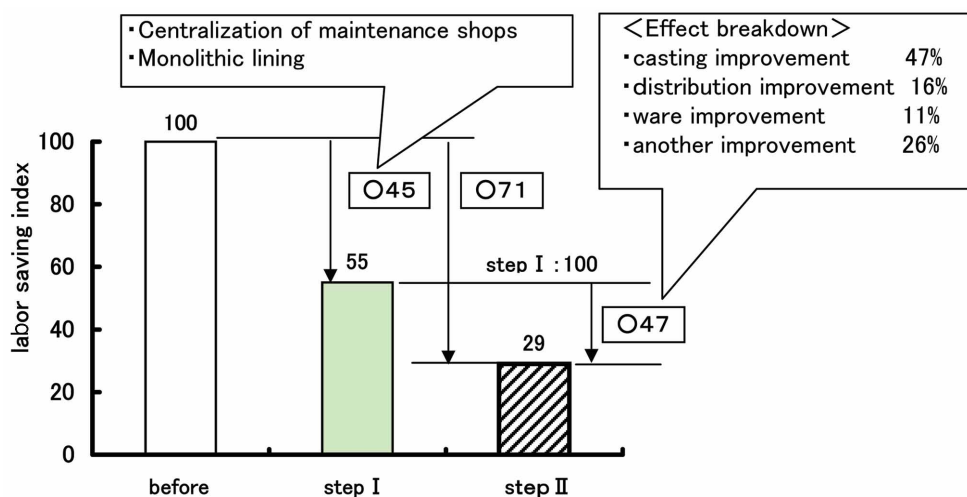


図8 省力化効果
Labor saving effect

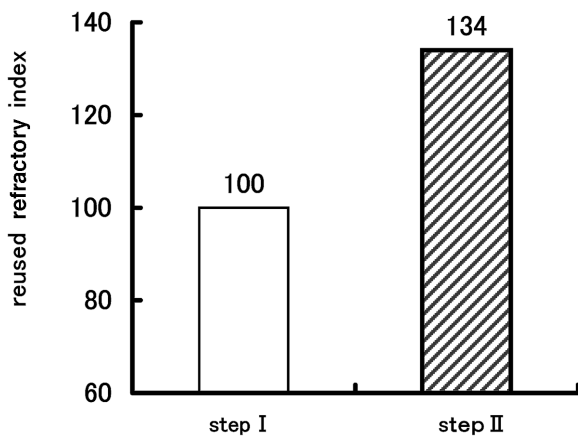


図9 廃材添加拡大
Amount of reused refractory

Iに比べ47%，ステップIとの総合効果では71%の省力化改善が得られた。また，耐火物コストも廃材活用の拡大化でステップIに比べ34%の廃材活用率向上が得られ，耐火物コスト削減に寄与した。

参考文献

- 1) 三上頼儀 ほか:材料とプロセス .12 753(1999)
- 2) 三上頼儀 ほか:材料とプロセス .14 222(2001)



三上頼儀 Yorihiro MIKAMI
大分製鐵所 製鋼工場 炉材課 課長
大分県大分市大字西ノ州一番地 〒870-0992
TEL:(097)553-2170



高田亮平 Ryohei TAKADA
環境・プロセス研究開発センター
機械技術部 FA 技術グループリーダー



祐成史郎 Shirou SUKENARI
大分製鐵所 製鋼工場 炉材課 マネジャー



原田茂美 Shigemi HARADA
九築工業(株) 大分支店 副支店長



麻生誠二 Seiji ASO
大分製鐵所 製鋼工場 炉材課 マネジャー