

転炉築炉ロボットシステムの開発

Development of a Robot System for Converter Relining

伊藤 泰則^{*(1)} 倉橋 基文^{*(2)}
Yasunori ITOU Motofumi KURAHASHI

抄 録

製鋼分野において、転炉の築炉作業は、多くの人員と時間を必要とする。近年熟練したれんが工が減少し、築炉に必要な人員を集めることが困難になってきている。これらの問題を解決するため転炉築炉ロボットシステムを開発し、実機化した。このシステムは2台の知能化されたロボットと自動れんが搬送装置で構成されている。ロボットは視覚機能と柔軟性をもつハンドを使って熟練工と同じようにれんがを積み上げることができる。自動れんが搬送装置は、ローラーコンベアとリフターを持ち、パレットに載ったれんがをロボットがハンドリングしやすい位置に搬送する。このシステムによって転炉築炉作業の大幅な省力と作業環境改善が可能となった。

Abstract

In steelmaking plants, the relining work of converters requires plenty of manpower and time. Recently, the number of expert brick workers has decreased, and it has been difficult to get together the necessary number of workers for the converter relining. To solve these problems, a robot system has been developed and realized for the converter relining. The system consists of two intelligent robots and an automatic brick conveying machine. With visual function and flexibly controlled hands, the robot enables to heap up bricks in the same manner as expert workers do. The automatic brick conveying machine consists of roller conveyers and a cage lifter that convey bricks on palettes to the suitable position for the robot to easily handle. This robot system has enabled to save much labor for the converter relining.

1. 緒 言

製鉄業においては主たる生産ラインの自動化、省力化に積極的に取り組み、国際的競争力を高めてきた。しかしながら、設備メンテナンス業務等付帯作業の自動化は作業の多様性、複雑さもあり遅々として進まないのが現状である。加えて製鉄業のみならず、産業界のあらゆる分野で人手不足は深刻な問題となっており、産業構造の基盤をも揺るがしかねない事態となっている。このような状況を打ち破るため、著者らはこれまで蓄えてきたロボットを始めとするファクトリーオートメーション (FA) 技術を様々な付帯作業に適用し省力化の努力を続けている。

本稿では転炉の築炉作業を自動化した例を紹介する。

2. 転炉築炉作業の現状と問題点

製鋼分野において、転炉築炉作業は、多くの人員と時間が必要な作業である。しかし、近年多くの作業員が悪環境作業を嫌うため熟練した築炉工が減少し、作業員確保が困難になってきている。

転炉の内壁には、溶鋼の高温から炉体鉄皮を保護するため耐熱性のれんがが敷設されている。しかし、炉内の温度が極めて高くなるのでれんがの損傷は激しく、一定の期間で新しいれんがを積み直している。通常の場合、図1にあるウェア (消耗) れんが部分のみを交換する。

この作業を行うため、図2のように炉体上部の開口部から昇降機

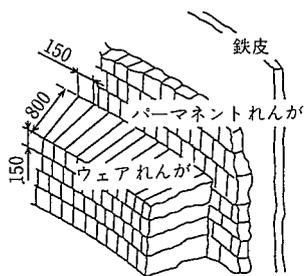


図1 転炉耐火れんが構造

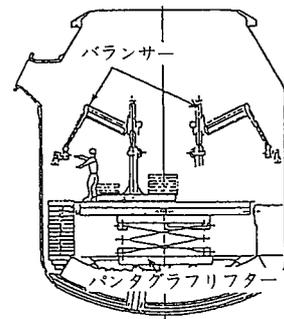


図2 これまでの耐火れんが積み作業

^{*(1)} 名古屋製鐵所 設備部 掛長

^{*(2)} 技術開発本部 設備技術センター 機械技術部 部長

能つきの作業足場（油圧パンタグラフリフター等）を装入する。れんがはパレットに載せられ、クレーンで炉内に搬入される。作業者はこのれんがを人手によって炉壁に積み込んでいく。転炉用耐火れんが（ウェアれんが）は目地モルタルを用いない空目地で積まれる。れんが同士摩擦によって抜け落ちを防止しているため、すき間なくれんがを積み込むことが必要である。築炉効率アップのため図3のような二重スパイラル形状にれんがを積むことがある。

この工法は、

- (1) 1周毎のすき間調整が要らない
 - (2) 積み込む場所が2箇所あるので速く積める
- という特長をもつ。

以上の築炉作業の大きな問題点の一つは、作業環境が著しく悪いことである。転炉という閉鎖的空間で耐火物をハンドリングするため常に粉じん悩まされる。

加えて、近年れんが積み替えサイクル延長のためれんがの長尺化が進んでいる。図4のような1個当り50kgを越すものも多い。従って重量物のハンドリング作業が主体の重筋作業である。また、本作業は3～4か月に1度のピーク性の高い作業であることも、作業員確

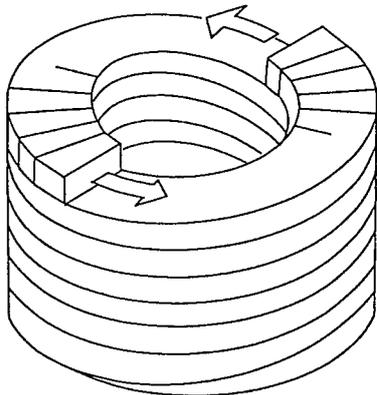


図3 二重スパイラル築炉工法

保を困難にしている一因となっている。

従来、これらの問題を解決するため、局所排風装置や、図2にあるバランスと呼ばれる簡単な揚重機（ハンドクレーン）を用いる例もあるが、本質的な改善に至っていない。

3. 本築炉システムの概要

これまでれんが搬送の自動化を目的として、築炉タワーと呼ばれる装置が使われてきた。この設備は、内部にれんがを一つずつ搬送するチェーンコンベア、もしくは螺旋形状のスライダールール（滑り板）と作業台を備えている。その構造は一体型で、全高20mを越える大型の設備である。これを炉口より炉内へ装入して使用する。よって転炉上部とその周辺に、タワーを設置、搬送するための大きな空間が必要である。ところが、タワー設備出現以前に建設された古い転炉工場や、計画前にタワー設置計画のなかった工場への適用は非常に困難である。そしてこの設備では、積み込み作業自体は人手に頼るので、炉内における悪環境作業の排除は不可能である。

そこで、転炉上部にスペースのない転炉工場のため、新しいタイプの築炉システムを考案した。それは、図5に示すように転炉炉底部を分割分離構造とし、できた開口部より築炉機材を装入したり、れんがを搬送する設備構成である。加えて作業デッキに築炉用ロボットを設置し、炉内におけるれんが積み込み作業の自動化を実現した。本システムは大きく四つのブロックに分割されている。

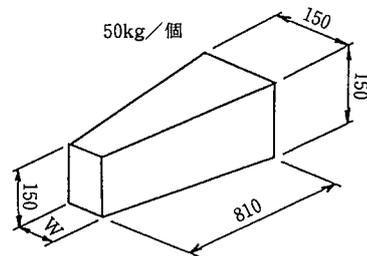


図4 転炉消耗耐火れんが

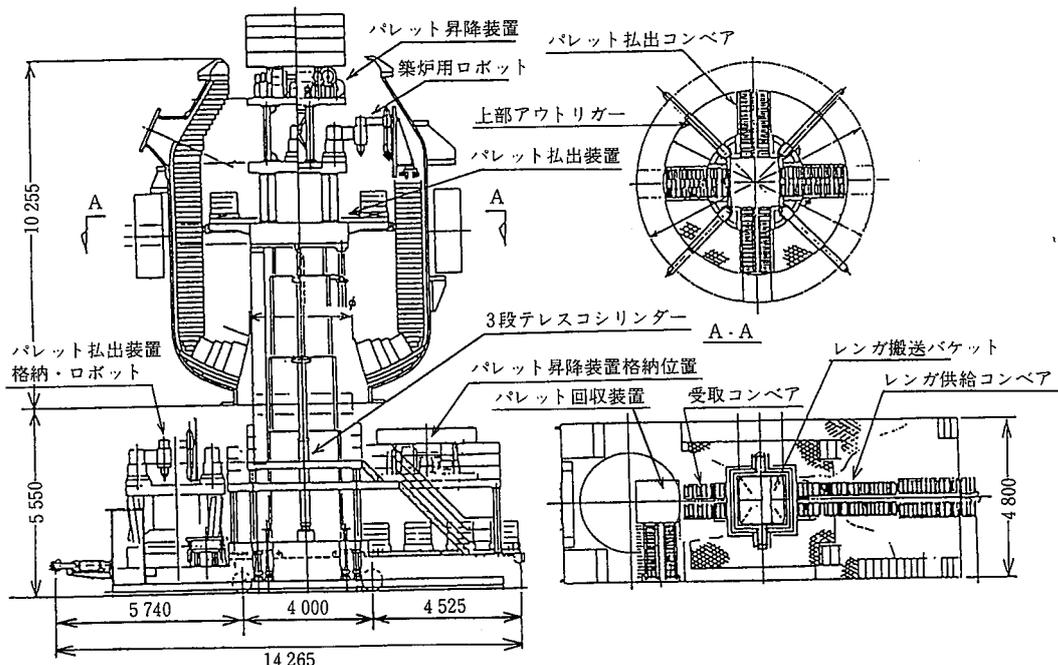


図5 築炉システム全体図

- (1)れんが搬送用のリフター装置を内蔵し油圧シリンダー2本によって伸縮する昇降ガイド
- (2)折り畳み式のれんが払出しコンベアと築炉ロボット2台を搭載した築炉ユニット
- (3)れんが搬送リフター駆動用のウィンチユニット
- (4)上記装置や制御盤を搭載するタワー台車である。タワー台車上の各ユニットはディーゼル機関車によってけん引され炉下まで運ばれる。そこでそれらは炉上クレーンを使って組み立てられる。以下に本築炉タワーと築炉ロボットの技術的特徴について述べる。

3.1 築炉タワー

3.1.1 れんが搬送機能

本築炉タワーによるれんがの搬送について述べる。

- (1)パレット上に積載されたれんがをタワー台車端部の受入れローラーコンベアにフォークリフトによって装入する。
- (2)パレット上のれんがは昇降ガイド内部に設置されたリフター装置に送り込まれる。
- (3)次にリフター装置によってロボットの設置された払出しデッキまで上昇する。
- (4)このリフターには、旋回テーブルがついていて、パレットをロボットのつかみ易い4方向の位置に払い出すことができる。以上のれんが搬送動作を、装置各所に取り付けられたセンサーと制御用コンピューターによって、自動的に行うことができる。

3.1.2 昇降機能

ロボットの要求により、築炉ユニットを任意の位置に自動的に昇降させることができるので、ロボットがれんがを積み込むのに最適な高さをロボットに与えることが可能である。2本の昇降用油圧シリンダーは各タストローク検出センサーを備えている。コントローラーは、動作中の二つのシリンダーのストロークに不ぞろいが発生して昇降ガイドが傾かないように、常にセンサーの情報を基に、リアルタイムで油圧流量を制御している。その結果二つのシリンダーのストローク差は常に1mm以下である。

3.2 築炉ロボット

れんが積載自動化のため専用のロボットを開発した。このロボットは、転炉内部を作業エリアとするための広大な動作領域とれんが積載の効率化をはかるための大可搬重量をもつように、著者ら自身によって設計、製作された。図6に示す通り動作軸数4軸、水平多関節型、最大リーチ3850mm、可搬重量300kgの大型ロボットである。このロボットは炉底開口部より築炉ユニットの一部として装入する必要がある。そこで動作軸のレイアウト、アーム動作角度を最適に設計することで、コンパクトに収納できる構造とした。

このロボットを図7のように2台配置することで、ロボットを築炉ユニット内で移動させることなく作業エリアをカバーできる。ま

た2台のロボットが同時にれんがを積み込むことができるので、築炉速度の向上を図ることができた。

3.2.1 築炉用柔軟性制御ハンド

熟練れんが工並の築炉品質を確保するため、図8に示すれんが積載用の専用ハンドを開発した。このハンドの特徴は、れんがをすき間なく積み込むために、れんが工が、れんがを押し込んで積むように最適な押し付け力をれんがに与えられることである。ハンド最下面に取り付けられた三つのゴム製バキュームパッドによって、吸引吸着された三つのれんがは、各々直動ベアリングとエアシリンダー等によってフレキシブルに把持される。この柔軟性自由度は全部で7自由度あり、空気圧により柔軟度を制御することができる。このハンドによって同時につかんだ三つのれんがすべてをすき間なく積み込むことができる。

3.2.2 無教示自動築炉の制御方法

このロボットの制御上の特徴を述べる。通常の産業用ロボットはいくつかの教示点(ティーチングポイント)間を繰り返し動作するだけある(ティーチングプレイバック方式)。しかし、このロボットの場合、れんがを積み込む作業点が全て異なる。積みみれんがが位置約2000箇所を事前に教示することは不可能である。そこで最初に積み込む位置のみを教示し、実際に積み込んだ位置を計測、記憶して次の積み込み位置を自己演算する動作制御を開発した。これによりティーチングなし動作を実現できた。加えてれんが寸法誤差の集積防止も可能となった。

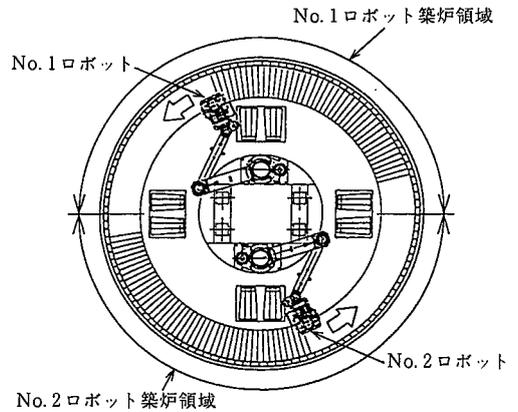


図7 ロボット配置図

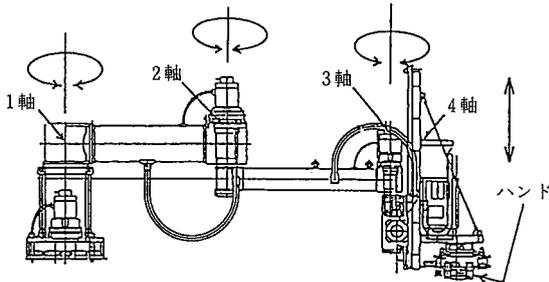


図6 築炉ロボット

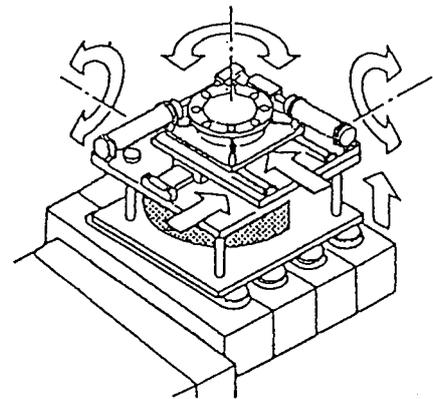


図8 築炉用ロボットハンド

3.2.3 ロボットビジョン

れんがは築炉タワーによって定位置に払い出されるので、れんがをつかみ上げる動作は通常のティーチングプレイバック方式で可能である。しかし、れんがが搬送中に木製パレット上で滑るなど供給精度は必ずしも高くはない。ある程度の供給誤差(±50mm)はハンドのもつ機能で吸収できる。それ以上の供給精度に不良があったとき、ロボットは、ハンド下面に取り付けた二つのテレビカメラからのれんが映像を画像処理して、れんが位置を検出する。そのデータをもとにして、れんがの上まで自ら移動することができる。このロボットビジョンにより、±100mmまでの範囲でロボットは、れんがの供給誤差に対応できる。

4. 導入効果

本築炉システムを稼働させるのに必要な要員は、れんが搬送監視のため台車上に1名、ロボットの動作監視のため上部デッキに2名、そしてフォークリフト運転等、パレットハンドリングに若干の作業員を配置するだけでよい。熟練したれんが工が必要なくなり、大幅な省力が可能になっただけでなく、劣悪な環境下での作業が排除さ

れた意義は非常に大きい。

5. 結 言

転炉築炉作業の自動化のため以下の設備や制御方法を開発した。

(1) 炉上スペースのない転炉工場のため炉底開口部から装入する新タイプの築炉タワーを開発した。

(2) れんが積み作業を自動化するため築炉ロボットを開発した。

1) 築炉用柔軟性制御ハンド

2) 無教示自動築炉の制御方法

3) ロボットビジョン

以上の設備、方案の開発によってこれまで困難であった築炉作業の自動化が可能となった。

本稿で紹介した各種のFA化技術は、単純な繰返し作業しかできなかった産業用ロボットを知能化し、複雑な設備メンテナンス作業への適用が可能であることを明らかにした。今後も、より多様で複雑な、そして環境の悪い作業を自動化するための技術を研究、開発して行く所存である。