
コークス炉壁診断システム

Diagnostic System of Coke Oven Wall

矢崎 雄大(Takehiro Yazaki) 鈴木 健司(Kenji Suzuki) 月原 裕二(Yuji Tsukihara)

要旨：

コークス炉炭化室全域の炉壁状態を点検するための炉壁診断システムを開発した。本システムは、高温炭化室内にカメラを挿入して炉壁全体を自動的に撮影する装置と、撮影した映像から画像処理により炉壁の損傷診断を行う装置から構成される。加えてデータベース、インタラクティブなユーザインターフェースも備えている。このため従来の目視点検ではできなかった炉壁全域における老朽化の正確かつ定量的な評価が可能となり、より適切な炉体補修や操業対応が行えるようになった。

Synopsis：

The authors have developed a diagnostic system of coke oven walls. This system consists of two major parts; once is to gather pictures inside the coke oven by a moving CCD camera system, and the other is to detect wall defects by the picture recognition method and to store inspected results as a database. To this system the authors have applied their image processor, and developed their original database system and user interface for a convenient and easy operation. This system enables them to estimate the condition and durability of the coke oven more accurately than previously.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Diagnostic System of Coke Oven Wall



矢崎 雄大

Takehiro Yazaki

川鉄情報システム(株)
FAエンジニアリング事
業部 FAシステム部



鈴木 健司

Kenji Suzuki

川鉄情報システム(株)
基盤システム事業部
メディアシステム部



月原 裕二

Yuji Tsukihara

水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室

要旨

コークス炉炭化室全域の炉壁状態を点検するための炉壁診断システムを開発した。本システムは、高温炭化室内にカメラを挿入して炉壁全体を自動的に撮影する装置と、撮影した映像から画像処理により炉壁の損傷診断を行う装置から構成される。加えてデータベース、インタラクティブなユーザーインターフェースも備えている。このため従来の目視点検ではできなかった炉壁全域における老朽化の正確かつ定量的な評価が可能となり、より適切な炉体補修や操業対応が行えるようになった。

Synopsis:

The authors have developed a diagnostic system of coke oven walls. This system consists of two major parts; one is to gather pictures inside the coke oven by a moving CCD camera system, and the other is to detect wall defects by the picture recognition method and to store inspected results as a database. To this system the authors have applied their image processor, and developed their original database system and user interface for a convenient and easy operation. This system enables them to estimate the condition and durability of the coke oven more accurately than previously.

1 緒 言

コークス炉の炉齢は一般に30~35年といわれているが、川崎製鉄でも稼働25年を超える頃より、炉体特に炭化室壁の劣化損傷が目立ち始めている。損傷が軽微であれば補修により容易に補修することができるが、程度がひどくなれば補修費用の増大もさることながら、場合によっては補修不能となる場合が考えられる。コークス炉寿命を決定する最大要因は炭化室の炉壁劣化であると言われており、損傷の早期発見、早期補修が、コークス炉延命対策に対する最も有効な手段であると考えられる。

近年、炉体補修については、溶射補修法等の技術の向上とその普及に目覚ましいものがある。一方、高温炉内の診断については専門職による炉外からの目視点検に頼っており、損傷部位の早期発見と診断を行うには限界があった。そこで、この問題を解決するため、次のハードウェアとソフトウェアから構成されるコークス炉壁診断システムを開発した。

- (1) コークス炉炭化室内にカメラを挿入し、自動的に炉壁全域を撮影する炭化室観察装置
- (2) 上記で得られた画像を、データベース化して炉壁の状態を定量評価する炉壁画像認識処理部

本報では、本システムの構成および画像処理アルゴリズムについて

述べる。

2 設備概要

本設備の概要を Fig. 1 に示す。本設備は炭化室壁を撮影する画像入力部と、撮影した映像から炉壁状態を診断、ファイリングする画像認識部とから構成されている。

2.1 炭化室観察装置 (炉壁画像入力部)

炭化室観察装置の開発にあたっては、約1000°Cの高温炭化室内での運用となるため、装置構造や冷却機能についての検討には最も多くの時間を費やした。また装置の運用でも以下の点に留意して設計、製作を行った。

- (1) 効率良く観察を行うため、1回の炉内挿入(往復)で左右両側の炭化室壁を観察可能とする。
- (2) 炉内観察に必要な装置オペレーションは極力自動化し、オペレータの負荷を最小限に抑える。
- (3) 装置動作に異常が発生した場合にも、炉体(炭化室レンガ)や操業への支障を生じない安全機構を持たせる。

Fig. 1より本装置は、水冷式観察ブーム、内部にCCDカメラを搭載した水冷式プローブ、ケーブルペーヤ、冷却装置、およびVTRから構成されている。以下に本装置の特徴的な事項について簡単に紹介する。

* 平成6年5月11日原稿受付

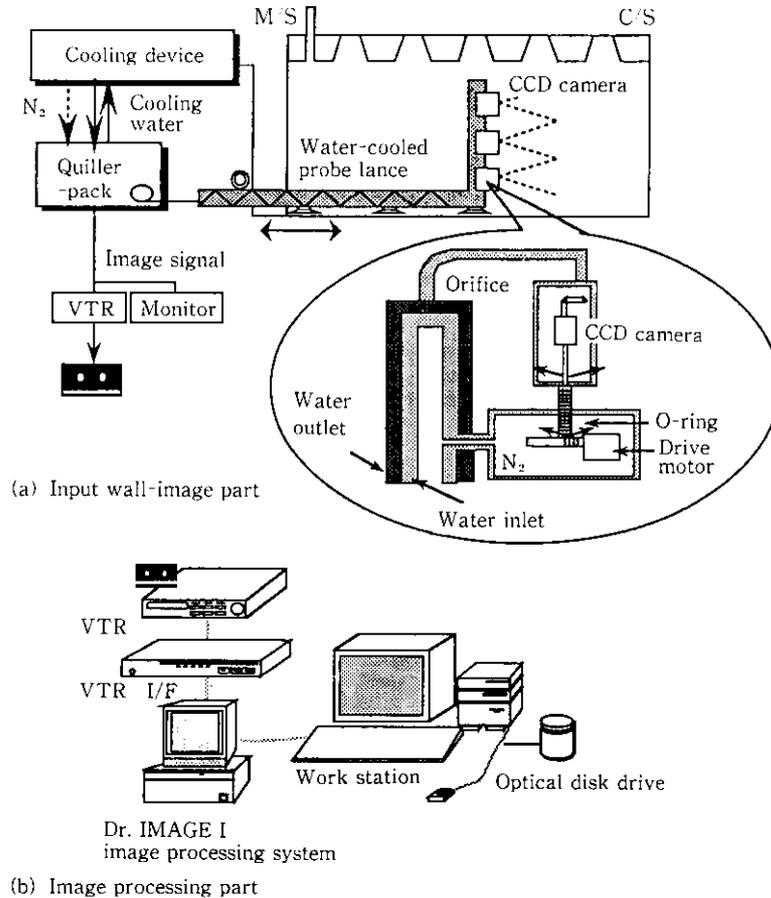


Fig. 1 Hardware configuration

2.1.1 ランス構造と冷却機構

ランスは全長が約 19 m で、その内の約 16 m が高温炭化室内に挿入される。この時、ランスの自重によるたわみを防止するため L 字型の構造とした。プローブランス内部は 3 重管構造となっており、一番内側をプローブの配線とプローブ先端のガラス部分を冷却するための窒素、その外側を入りの冷却水、一番外側を戻りの冷却水が流れている。またプローブには冷却水量の分配を調節するためのオリフィスを設けており、プローブ温度は常に 50℃ 以下に均等に冷却することが可能である。

2.1.2 カメラ首振り機構

1 回の挿入（往復）で左右両側の炉壁を撮影するため、カメラに首振り機構を設けた。挿入時には一方の炉壁を撮影し、引き出し時には他方の炉壁を撮影することにより効率良く壁面を観察できる。Fig. 1 に首振り機構を示す。首振り部分への冷却水は O リングシールを有する摺動部を介して供給される。上部の円筒内にカメラが収納されており、円筒部が回転する機構となっている。

2.1.3 運転自動化

炉壁の撮影に必要なオペレータの負荷を軽減するため、プローブランスの自動運転化を図っている。押出機の走行やプローブの窯芯合わせはオペレータの操作を必要とするが、以降は自動運転スタートボタンを押すことにより一連の動作が実行され、炉壁画像を自動的に VTR テープに録画できるようになっている。

2.1.4 安全機構

安全対策として、特に冷却系の異常に備え、プローブ内温度、冷却水（あるいは N₂）圧力、撮影時間等にインターロックを設けた。

また装置の焼損や冷却水洩れによる炉壁損傷を防止するため、異常発生時には撮影を中断し、自動的にプローブランスを炭化室から引き出す機構となっている。さらに停電時に備え、ディーゼル発電機と電動ウインチを設置しており、速やかにプローブランスを引き戻すことができる。

2.2 炉壁損傷認識部（画像処理）

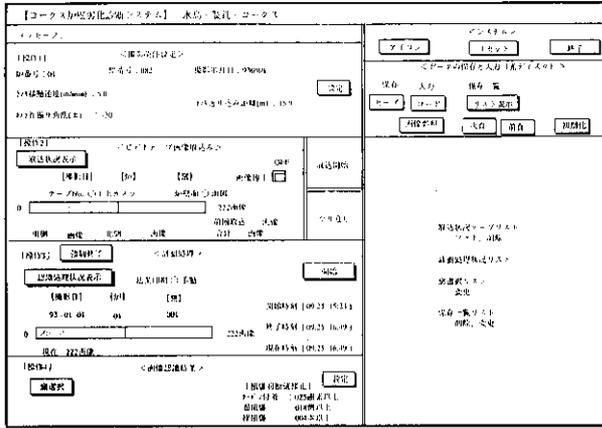
炉壁画像認識処理部は、ワークステーション、画像処理装置（当社製品：画像博士 I）、VTR、VTR I/F、光磁気ディスクより構成されている。ユーザインターフェースを用いて、まず VTR テープより録画した炉壁画像をワークステーション上のハードディスクにデジタル画像として取り込む。そして画像処理装置および本画像処理アルゴリズムを用いて炉壁状態の判定に必要な判定値を求め、求めた判定値より炉壁状態を判定し、結果を表示、さらに光磁気ディスクに結果と炉壁画像を保存して、データベース化する構成となっている。

2.2.1 ソフトウェア構成

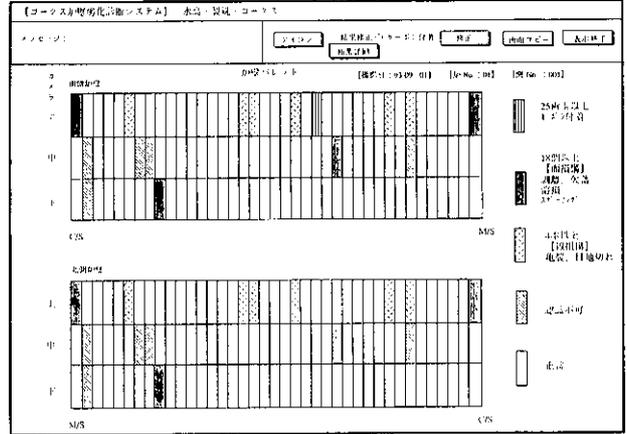
本システムにおけるソフトウェアは炉壁画像認識処理部に限られている。前章の炉壁画像入力部より得る炉壁画像（VTR テープ）を用いて、VTR からの画像入力、画像処理、結果判定、結果表示、結果および画像のデータベース化を行う。なおこれらはすべてワークステーション上のユーザインターフェース（Fig. 2 に示すウインドウ）を用いて操作する。以下に各処理の概要を示す。

2.2.2 VTR からの画像入力

操作ウインドウ上より VTR テープの録画内容の設定（炉番、撮



(a) Operation window



(b) Results window

Fig. 2 User interface

影日、入力方法) 後、ワークステーション上のハードディスクに取り込むことができる。

2.2.3 画像処理

操作ウィンドウ上より取り込んだ画像について、本画像処理アルゴリズムを用いて後述の炉壁状態の判定に必要な判定値(カーボン面積、線損傷本数、面損傷個数)を求める。

2.2.4 結果判定

画像処理によって求めた判定値と操作ウィンドウ上で設定する判定基準値とを比較して炉壁状態を判定する。

2.2.5 結果表示

結果判定により得られた炉壁状態を、炉壁全体をイメージした結果表示ウィンドウ上に表示される。表示された結果については、修正、印刷(炉壁イメージとして印刷)することができる。

2.2.6 データベース化

炉壁状態の判定結果と炉壁画像を光磁気ディスクに保存し、後から参照することができる。

3 画像処理アルゴリズム

3.1 炉壁状態の分類

本システムによって得られる炉壁画像を Photo 1 に示す。炉壁画像はレンガ面と目地から構成されており、炉壁状態として正常、

カーボン付着、目地切れ、亀裂、溶損、補修跡、スポーリング、剝離、欠損、その他の計 10 種類のカテゴリに分類できる。

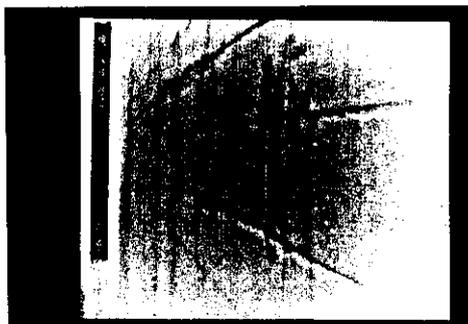
しかし炉壁画像は本来 3 次元空間上での状態を 2 次元に投影したものであり、2 次元空間で見た場合上記 10 種類のカテゴリにクラスタされていないため、これらを分類することは画像処理を行う上で難しい。

そこで本システムアルゴリズムでは、比較的特徴分類が明確な、正常、カーボン付着、目地切れ/亀裂の線損傷、溶損/スポーリング/剝離/欠損の面損傷、その他の計 5 種類に分類することとした。

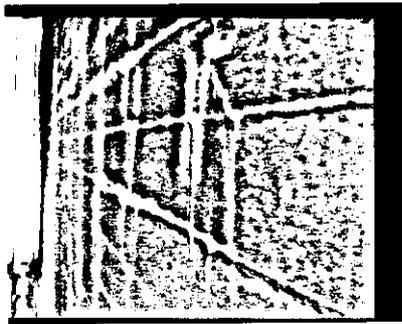
3.2 画像処理手法

画像処理手法として、一般的にはパターン認識による手法、テクスチャー解析の手法^{1,2)}、全体の濃度分布等の背景データより認識対象の存在を間接的に特定する手法等がある。コークスが炉壁面の画像は、以下の特徴があるため、本アルゴリズムでは全体の濃度分布を用いた背景データより認識対象の存在を間接的に特定する手法を採用し、まず濃度分布の異なる目地部分とレンガ面とを基本的に分け、その各々の濃度分布の特徴により炉壁状態の特定を行った。

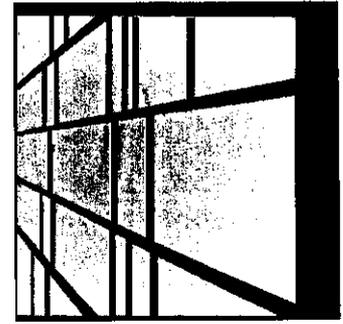
- (1) 損傷は特定の形状をしてない。
- (2) テクスチャーによる特徴空間上では、十分分離されない。
- (3) 目地とレンガ面とでは濃度範囲が異なる。
- (4) 強いシェーディングがある以外は様であるため、シェーデ



(a) Original image



(b) Binary image



(c) Extraction of planimetric damage

Photo 1 Coke oven wall image

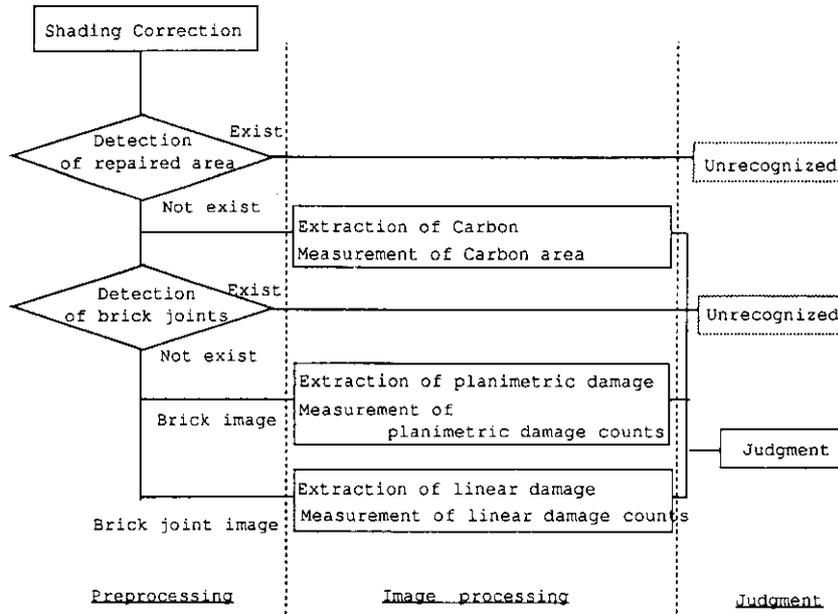


Fig. 3 Flow of the Image processing

イング補正を行った後はレンガ面、目地それぞれ一定範囲の濃度となる。

全体の画像処理フローを Fig. 3 に示す。処理全体は、前処理の部分（シェーディング補正、目地部／レンガ面の抽出、補修跡検出）、画像特徴値の計算（損傷部抽出、損傷部箇所算出）、結果判定の三つの部分に分かれる。最後の結果判定では、求めたカーボン面積、面損傷個数、および線損傷本数を用いて結果の判定を行う。以下に主要な画像処理方法について簡単に述べる。

3.2.1 目地部とレンガ面の分離

本アルゴリズムでは、以下の手順で目地部とレンガ面を分離し、各々個別に判定値（カーボン面積、線損傷本数、面損傷個数）を求める。

(1) 目地候補部の抽出

目地とレンガ面は、それぞれ画像全体の特定濃度範囲内にあるため、本アルゴリズムでは濃度平均値を変数とする1次式に近似して（最小2乗法）実験的にしきい値を求めた。またカーボンが付着しているものについては、濃度範囲が異なるため、カーボンの有無により区別して以下のしきい値を算出し、2値化処理により Photo 1 のような2値画像を得る。

$$\begin{aligned}
 \text{カーボン有} \quad & \text{しきい値 } 1 = m \times 0.6 - 48 \\
 & \text{しきい値 } 2 = m \quad \dots\dots\dots (1) \\
 \text{カーボン無} \quad & \text{しきい値 } 1 = m \\
 & \text{しきい値 } 2 = m - 20 \quad \dots\dots\dots (2) \\
 & m : \text{濃度平均値}
 \end{aligned}$$

(2) 横目地検出

Fig. 4 からわかるように、画像内で横目地は平行線であるため、これを遠近法で見た場合ある一点（消失点）に集中する。本アルゴリズムはこの消失点を利用した。すなわち一定中心角の三角形を消失点のまわりに回転させ、この三角形内の濃度分布が一定の条件を満たした時、そこに目地があると判断する。この目地としての最適位置検出にはパターンマッチング手法を用いている。

さらに信頼性を高めるため、最初に最も一致度（強度）が高

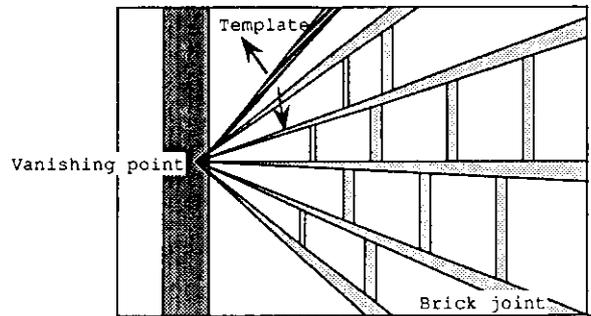


Fig. 4 Extraction of brick joints

く、一定のしきい値を超える横目地を1本求め、他は設計情報に基づき、これとの相対角度が一定範囲内で目地を検出する。本アルゴリズムでは目地の強度の2次微分値を評価した。また最初の1本目がしきい値を超えない場合は認識不可とした。

(3) 縦目地検出

基本的には横目地と同じである。ただし消失点が無いため、横目地間と奥行きを考慮したパターンマッチングを行った。

3.2.2 判定値の計算

本画像処理アルゴリズムでは、直接炉壁状態の判定は行わず、炉壁状態を判定するのに必要な以下の3種類の判定値を求める。これらの判定値は操作ウィンドウ上で人によって判定基準値を設け判定するようになっている。

(1) カーボン面積

カーボンは、画像全体の濃度分布（濃度分散）自体に大きな影響は及ぼさない。しかし特定濃度への集中により濃度分布に偏りを生じる。そこで(3)式によりこの偏りを算出し、一定しきい値より大きい時、カーボン付着の可能性ありと判定し、カーボン面積を算出する。しきい値は平均濃度の影響を受け、平均濃度が高い場合には低めに、低い場合には高めに設定する必要がある。そこで平均濃度に基準を設け、二通りのしきい値

を平均濃度に応じて使い分けた。またこの部分については、正常部分や微小な白点部ノイズも含まれているため、カーボン面積よりこれらの部分を取り除く必要がある。カーボン領域を抽出する濃度レベルについては、実験データより求めた。

$$\text{偏り} = (\text{max} - m) / (m - \text{min}) \dots\dots\dots (3)$$

max : 最大濃度

min : 最小濃度

m : 濃度平均値

(2) 線損傷本数

線損傷には、目地切れと亀裂がある。目地切れについては、各目地ごとに濃度分布を調べると、目地切れを起こしている目地は濃度分散値が大きい。この特性を利用し、ある濃度分散のしきい値を超えたものの本数を線損傷本数として算出する。亀裂については、目地を抽出する際のパターンマッチングにおいて、設計情報から本来目地でない部分で一致度が高かった場合その本数を算出する。

(3) 面損傷個数

レンガ面濃度分布をみると、レンガ面にみられる面損傷部分は分布の両端に現われる。しかしこの範囲には、面損傷の他に微小ノイズも含まれている。面損傷は微小ノイズに比べ面積が大きいので、微粒子除去により面損傷部分のみを抽出し、損傷

個数を算出した。なおしきい値は実験より分布の分散値×2とし、Photo 1 の面損傷部検出画像を得ることができた。

4 結 言

コークス炉炭化室内の炉壁検査において、従来の目視による点検での問題点を解決すべく以下の特徴を備えた、コークス炉壁診断システムを開発した。

- (1) 炉壁画像入力装置を開発し、高温炭化室内へカメラを挿入することにより、炉壁全体の点検が実現可能となった。さらに本装置については簡単、効率かつ安全に撮影できるよう製作した。
- (2) 炉壁損傷認識部の開発により、撮影した画像から自動的に炉壁状態を認識することができ、損傷状況が正確かつ早期に得られるようになった。さらに結果および炉壁画像をデータベース化することによって老朽化の評価、予測を行うことができるようになった。
- (3) 炉壁状態を認識するための画像処理アルゴリズムを開発することにより、炉壁状態を定量的に評価できるようになった。
- (4) 自動画像入力、自動認識システムを開発したことによって、従来の目視点検と比較し、作業負荷軽減がはかれた。

参 考 文 献

1) 田村秀行: 「コンピュータ画像処理入門」, (1985), 134-153, [総研出版]
 2) A. Rosenfeld, A. C. Kak: 「デジタル画像処理」, (1978), 57-65, [近代科学社]