

コークス炉燃焼室亀裂観察装置の開発

Development of Crack Inspection and Width Measurement System in Coke Oven

芦田耕司/Takashi Ashida・システム事業部 システム研究開発部 計測技術室 参事補

高瀬省二/Shouji Takase・本社 銃鋼技術部 コークスプロジェクト室 参事

佐地孝文/Takafumi Saji・鹿島製鉄所 製銃部 コークス工場 参事補

宮本正和/Masakazu Miyamoto・鹿島製鉄所 制御部 プロコン計測技術室 参事補

要 約

コークス炉の老朽度診断方法の一つとして、炉内のレンガ壁に発生した亀裂の幅、分布等を測定できる装置を開発した。貫通亀裂を対象に燃焼室側から壁面を観察し、得られた画像から亀裂幅を定量化する。鹿島製鉄所のコークス炉での測定結果についても報告する。

Synopsis

In order to prolong the life span of coke oven, this system can detect crack locations on wall-bricks and can measure crack widths. To detect cracks, chamber walls should be observed from heating flues at high temperature.

The recorded image is analyzed quantitatively. Measurements results at Kashima works are reported.

1. 緒 言

コークス炉は主に耐火レンガで構成された構造物である。この炉命は、従来 30 年前後といわれており、稼働後 20 年以上経過すると、老朽化により種々の部位に亀裂等の損傷が現れてくる。

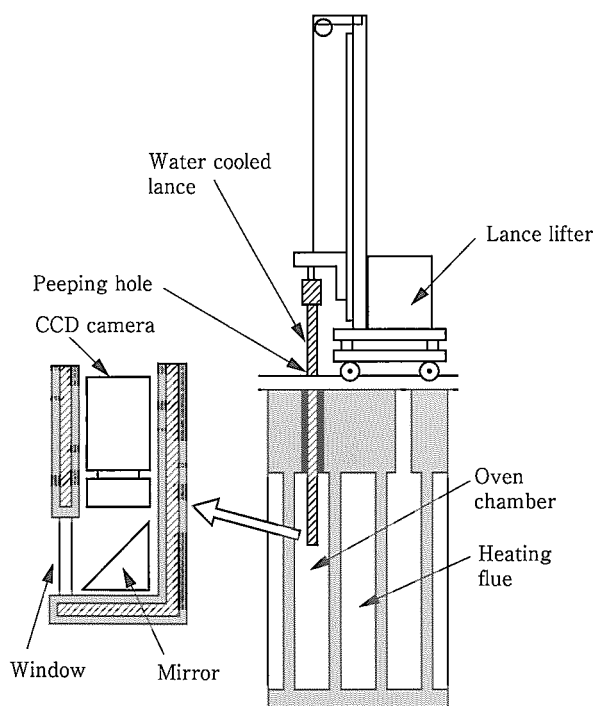
炭化室と燃焼室の間に発生・進展する亀裂は、亀裂幅が大きくなると壁としての拘束力を失い、レンガの脱落などの炉命を制する事態を招く。亀裂の発生は、温度変動の著しい窯口近傍から始まるが、老朽化とともに炉内中央部にも発生する。炉内中央部でレンガの脱落が生じると、補修が不可能なため、操業不可能に陥る。

現在、当社のコークス炉は、稼働後 20 年以上が経過し、徐々に老朽化が進行している。そのため、炉体の状態を的確に把握することが必要である。

そこで当社では、約 10 年前に、レンガ隔壁面の亀裂の幅と位置を定量的に測定できる装置の開発を試み、実用化を果たした¹⁾(第 1 図)。この装置は、観察用のカメラを搭載した水冷ランスを、炉頂部の点検口から燃焼室内部に挿入し、温度の高いレンガ壁面自体からの放射光により壁面観察を行うものである。しかしながら、炉高に比較しランス長が短いために測定範囲が限定されることに加え、装置が大型であるために上昇管等の工場既設の設備と干渉し、挿入可能な燃焼室が全体の 70 %程度に限られるという問題を有し

ていた。

そこで、今回、すべての燃焼室の全レンガ隔壁面の亀裂を、迅速かつ高精度に測定可能な装置の開発を行った。



第 1 図 従来型亀裂観察装置の模式図

Fig.1 Conventional equipment of crack inspection system

本報では、その開発の概要、および鹿島製鉄所での実炉測定状況について報告する。

2. コークス炉の構造と亀裂

コークス炉は、ガスを燃焼させる燃焼室と、石炭を乾留しコークスを生産する炭化室から構成され、燃焼室と炭化室は、レンガ隔壁で仕切られている(第2-1図)。また、燃焼室自体も、炉長方向に多数の小部屋に仕切られている(第2-2図)。

亀裂は、炭化室側から発生・伝播する。一方、レンガ隔壁には、石炭の投入や、コークスの押し出しの際、機械的ストレスが加わるため、亀裂の進行が著しい場合には、レンガの脱落、壁面の段差・陥没・湾曲等を招く。

このような事態を避け炉体の延命化を図るには、適切な補修を行うことが重要であるが、そのためには亀裂の発生状況を正確に把握することが必要となる。

3. 開発目標

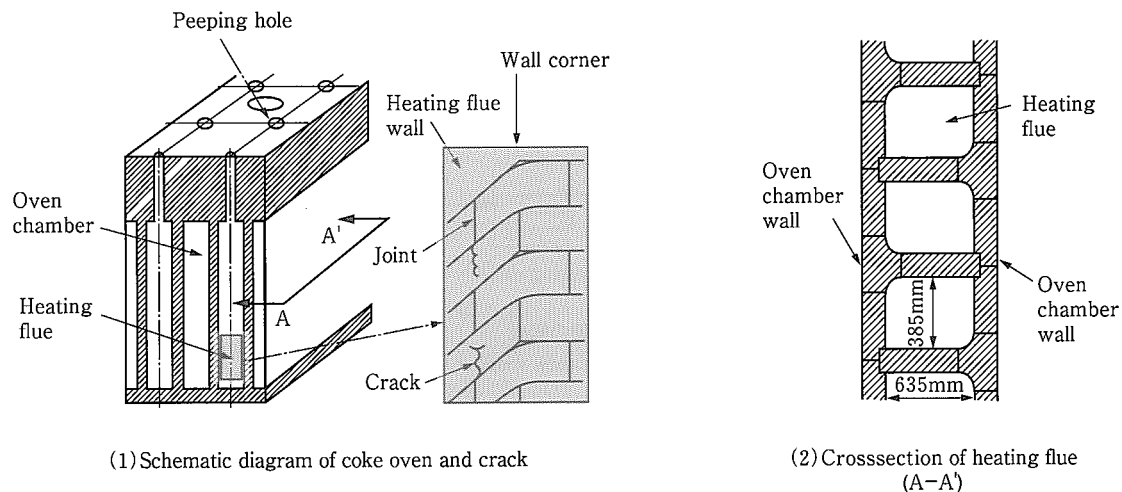
開発を始める際に設定した開発目標を第1表に示す。最

も重要視したのは、小型化、操作性、および精度の3点である。

まず、現状の亀裂観察装置は、水冷ランスを用いた大型装置であるため、前述したような測定範囲が制約を受けるという問題を有す。そこで、今回は水冷ランスを用いない構造とした。具体的には、フランスのCPM社が販売している炉内観察装置をベースに開発を行った。この装置は、耐火物で覆われたカメラを炉内に挿入し観察を行うものであるが、水を循環させて冷却しない点が特長である。カメラを覆った耐火物に水を含浸させ、水が蒸発する際の気化熱により内部の昇温を抑制する方法を採っている。そのため、高温に曝すことが可能な時間は制約を受けるが小型化が図れる。

また、現状の装置は、操作性が悪く、一つの燃焼室の測定に要する時間が20分と長時間必要となる。そこで、一つの燃焼室の測定を1分以内に行うことを目標とした。

また、亀裂幅の測定精度として $\pm 1\text{mm}$ を目標とした。具体的には、観察装置のレンズ光学系の改善、亀裂幅算出方法を改善することで、目標を達成することを目指した。



第2図 コークス炉の構造と亀裂
Fig.2 Structure of coke oven

第1表 従来装置の仕様と開発目標

Table 1 Specifications of conventional and developed equipment

	Conventional method		Specifications of developed equipment
	Sumitomo	CPM ²⁾	
Cooling method	Water circulation	Vaporized heat of water	Vaporized heat of water
Max. temperature	1 200°C	1 200°C	1 200°C
Outer probe size	$\phi 75\text{mm}$	$\phi 70\text{mm}$	$\phi 60\text{mm}$
Field of view	20°	90°	58°
Accuracy	$\pm 1\text{mm}$	Only observation	$\pm 1\text{mm}$
Time required for inspection	20min/Flue	2min/Flue	1min/Flue

4. 開発内容

4-1 装置構成

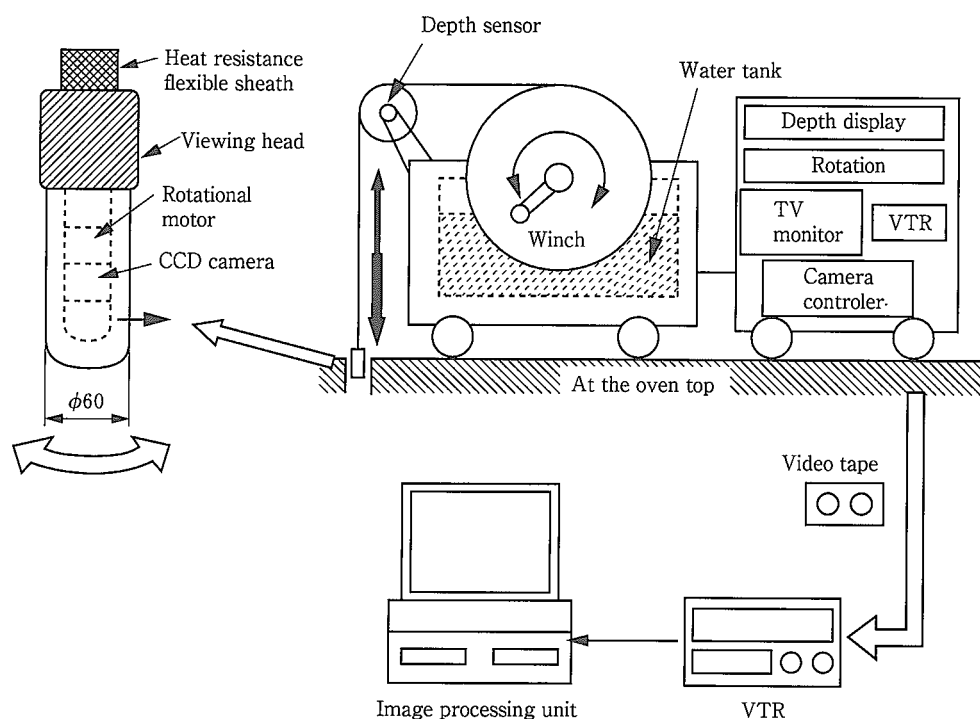
第3図に試作装置の基本構成を示す。測定は、炉上での燃焼室壁面の撮像、および画像の記録と、オフライン画像処理装置による記録画像の解析の2工程からなる。炉上とオフライン装置間の画像情報の受け渡しは、ビデオテープを介して行われる。

先端部に CCD カメラを内蔵したケーブルが、回転ドラムに巻き取られている。このドラムを手動回転させることで、

カメラを燃焼室内部に挿入することができる。ケーブルおよびカメラの周囲は、水の吸収性を有する耐火物で覆われている。測定時には、あらかじめ耐火物に水を吸収させておき、水が蒸発する際の放熱により、カメラの温度上昇を抑制する(第4図)。

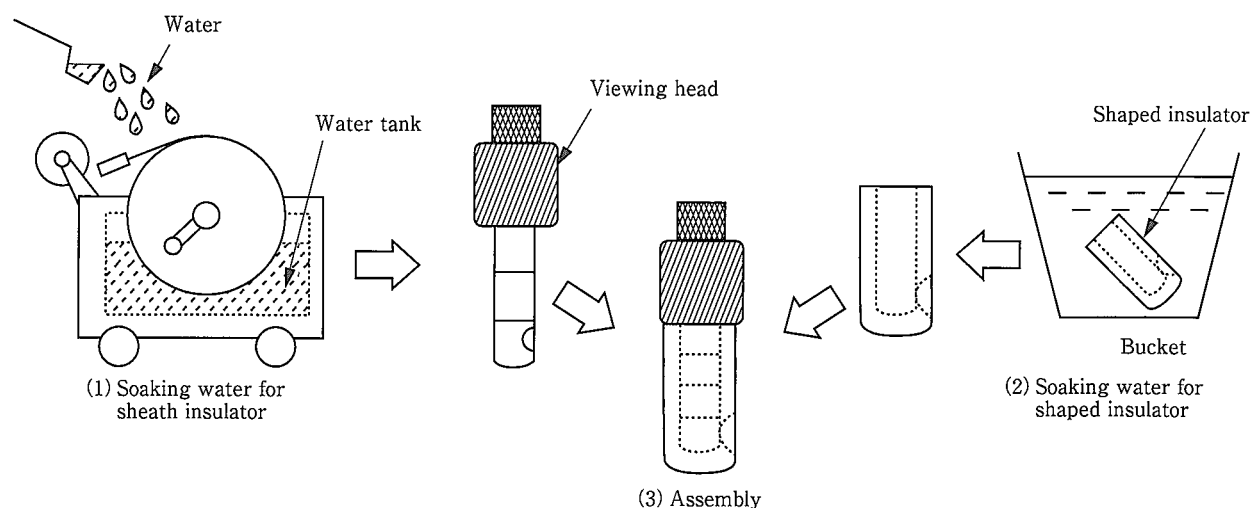
4-2 操作性

前項で示した冷却方法を採用するために、高温燃焼室内部にカメラを挿入することができる時間は限られる。迅速かつ最小限の挿入回数で観察を行うために、ケーブルの先端に



第3図 亀裂観察装置の構成

Fig.3 Developed crack inspection system



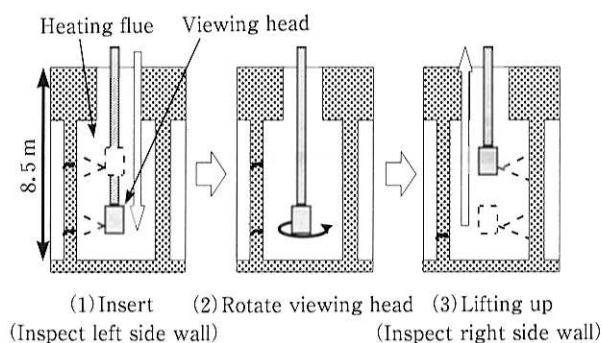
第4図 冷却方法

Fig.4 Cooling method for CCD camera and cable

内蔵されたカメラを回転させ、観察方向を変えられる機能を持たせた。本機能により、一つの燃焼室を1回のカメラ挿入で1分以内に測定することが可能となった(第5図)。

また、図示した方法で、1分以内に測定するには、カメラを移動させながら測定するため、カメラの露光時間を短時間(<1/250 秒)にする必要がある。一方、燃焼室の内壁レンガ温度は炉高方向で変化する。本装置は高温壁面からの自発光を撮像するため、撮像する位置によって、カメラの受光量が増減する。

そこで、受光量の変化に応じて、露光時間を 1/250 秒以下の範囲で自動調整が可能のように CCD カメラの設定を行った。



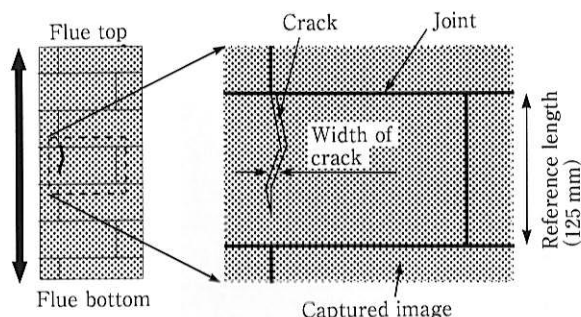
第5図 壁面観察手順

Fig.5 Procedure of crack inspection

4-3 亀裂幅算出方法

亀裂幅を求めるためには、カメラがどの程度の範囲を撮像しているかあらかじめ判っている必要がある。カメラと壁面までの距離が常時一定であれば、撮像範囲を既知とすることができる。しかし、レンガ隔壁自体が傾いている場合がありうるために、壁面とカメラの間の距離を一定に維持することは実際には不可能である。

そこで、視野の中の2本の水平目地の間隔を利用した。レンガ1枚の高さは、既知(125 mm)であるので、レンガ1枚の高さである水平目地の間隔を基本単位とすることができる(第6図)。



第6図 亀裂幅算出方法

Fig.6 Calculation method of crack width

4-4 測定精度

写真1は、格子模様を試作装置で撮像した画像であるが、周辺部の直線が湾曲していることが判る。そのため、亀裂幅算出に前述の方法を適用すると、目標とする精度が得られないことが判った。

これは、広い範囲を撮像するためにレンズの画角を広げたことに起因しており、レンズの歪曲収差と呼ばれるレンズ自体のもつ欠点である。

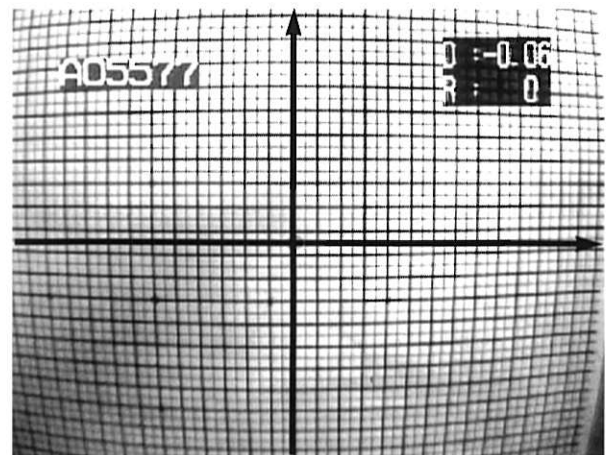
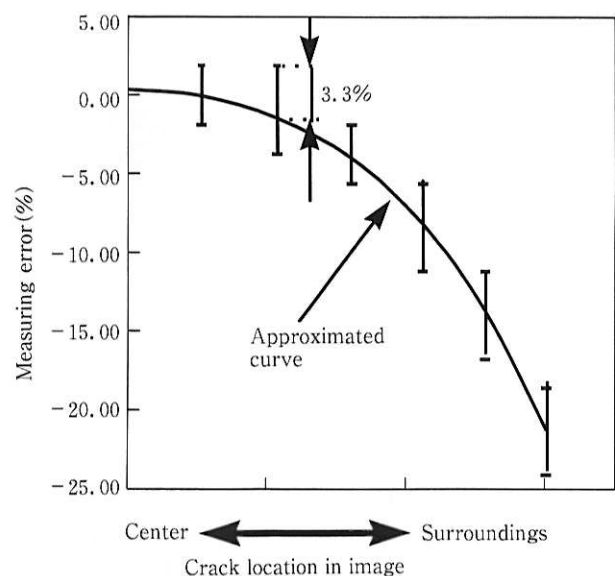


写真1 画像の歪み例

Photo 1 Example of skewed image

歪みを定量化し、亀裂が写る位置により、どの程度の誤差が生じるかを検討した。その結果を第7図に示す。横軸は、亀裂が写った位置、縦軸は、誤差を示す。亀裂が画像の周辺部にある場合、約20%の誤差を生じることが判る。そこで、誤差の近似曲線を用いて補正を行うことを試み、20%の誤差を3%以内に抑制できることを確認した。

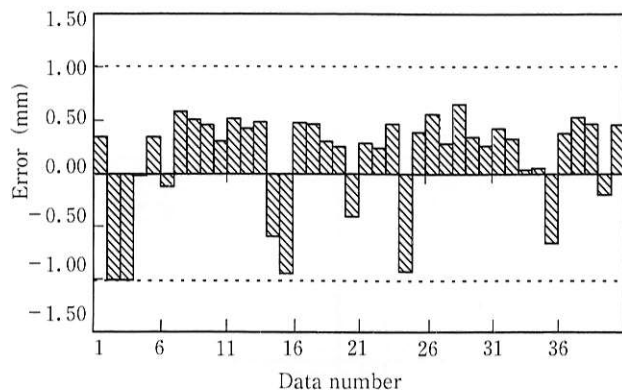


第7図 レンズ歪みによる測定誤差

Fig.7 Measuring error caused by lens skew

技術報文

このような方法で亀裂幅の算出を行い、その測定精度を評価した。電気炉内にレンガ壁面を設け、この壁面に作った模擬亀裂の幅を測定することにより、目標精度 ± 1 mmを確保できることを確認した(第8図)。



第8図 測定精度試験結果

Fig.8 Measuring error in hot condition

4-5 耐熱性

実際のコークス炉の燃焼室に挿入し、カメラヘッド内部の温度変化を観察した。

その結果、挿入前のカメラヘッド内部温度が40℃以下であれば、燃焼室温度が1250℃の場合でも、壁面観察に必要な1分間の炉内への滞留が可能であることを確認できた。

5. 試験装置構成

写真2が、試作装置の外観写真である。先端が耐火物で覆われたカメラヘッドで、耐火物のケーブルが回転ドラムに巻き取られている。ドラムの下半分は、タンク中の水に浸されている。

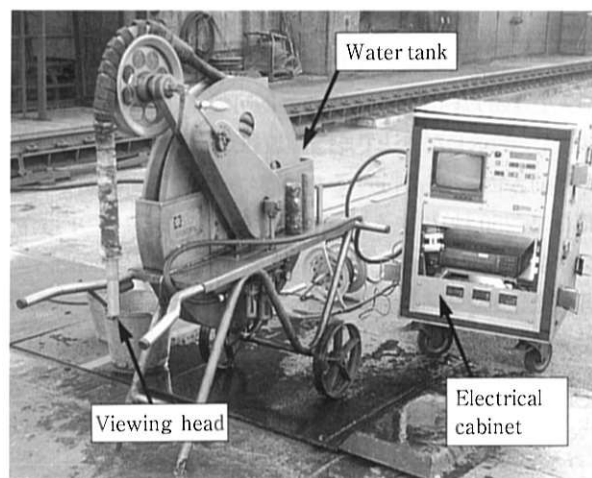


写真2 試作装置の外観

Photo 2 Photograph of developed system

6. 実炉測定結果

6-1 亀裂画像

開発した装置を用いて、当社鹿島製鉄所のコークス炉で実炉測定を行った。採取された亀裂画像の一例を写真3に示す。上下に走る目地に沿って亀裂が発生していることが判る。

6-2 亀裂幅測定結果

鹿島製鉄所のコークス炉の亀裂分布状況を測定した結果を第9図に示す。

従来の装置では、工場の既存設備と干渉するため、窯口近傍の燃焼室(燃焼室番号1～5、および25～30に相当)の測定は不可能であった。

亀裂はマシンサイドからコークスサイドの燃焼室レンガ隔壁のほぼ全数に確認された。窯口近傍の燃焼室の亀裂幅

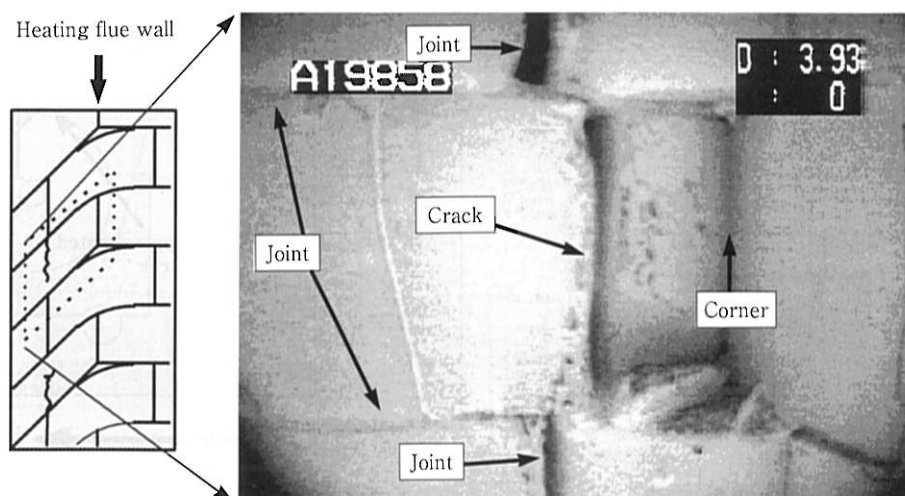
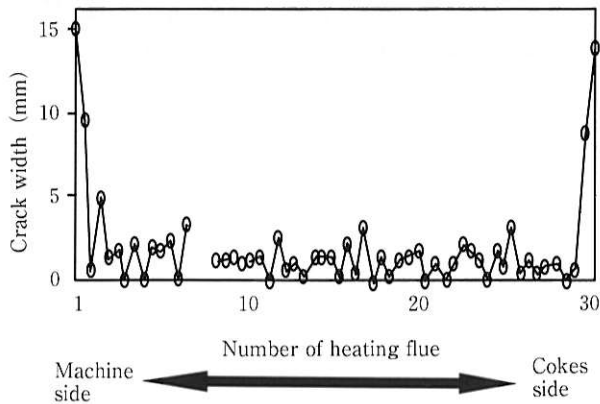


写真3 亀裂画像の一例

Photo 3 Example of crack image captured on coke oven flue wall



第9図 亀裂の分布状況

Fig.9 Distribution of crack location

が、極端に大きいことが判る。この結果は、温度変化が著しい場所に亀裂の進行が顕著であるという、従来から推定されていたことを裏付けている。

7. 結 言

コークス炉燃焼室内壁のすべての亀裂を高精度でかつ容易に測定可能な装置を開発し、実炉適用上、必要な性能を得られることを確認した。今後は、当社コークス炉全炉団の測定を実施し、炉寿命推定精度向上を図るとともに、適切な補修による炉命延長に結びつけていく予定である。



芦田耕司/Takashi Ashida

システム事業部 システム研究開発部
計測技術室 参事補

(問合せ先：06(489)5772)

参考文献

1) 酒井俊彦ら：鉄と鋼，**73**(1987)，S 807

2) CPM 社 Videofil specification sheet (Centre de Pyrolyse de Marienau, France)