

New Technologies for Prolonging Coke Oven Life



笠岡 玄樹
Shizuki Kasaoka
水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室長(部長補)



安藤 猛
Takeshi Andou
水島製鉄所 製鉄部コ
ークス課長

要旨

コークス炉の炉体長寿命化を図るために、炭化室レンガ損傷防止および環境改善について、いくつかの有効な技術開発を行った。レンガ損傷の主原因となるカーボン付着を防止する技術として、ガラスコーティング法と炉壁クリーナ装置を開発した。ガラスコーティング法は、押出機搭載型吹付装置により、特殊釉薬を炭化室レンガ全表面に数分間でコーティングを行い、カーボン付着抑止効果のあるガラス層（寿命2年以上）を形成する技術である。炉壁クリーナは、コークス押出作業と並行して、ガラス層表面を自動的に圧空クリーニングする装置である。また、コークス押出発塵を低減させる端ブリュー昇温装置、およびコークス炉煙突煤塵を低減させる炉内圧制御装置により、高炉齢コークス炉においても環境汚染防止を図ることができた。

Synopsis:

New technologies were developed to protect coking chamber bricks from damage caused by hard-deposited carbon. A glass coating on the wall bricks and a wall cleaner installed on a pusher ram are used to prevent carbon from being deposited to the wall bricks. Coating can be carried out in a few minutes via a throughwall chamber with a special glaze that is applied by a newly developed spraying device. The glazed layer is automatically cleaned by a high-velocity air blast during coke pushing. The life of the glassy layer is estimated to be over two years. A supplementary burner system at end flues and a pressure control system at goosenecks were also developed to prevent pushing emissions and stack emissions respectively.

1 緒 言

日本国内の稼動中コークス炉の半数以上が既に炉齢25年を超えており、炉体老朽化による生産性低下や環境問題が、将来、より深刻な問題になってくるものと予想されている^{1,2)}。近年、炭化室炉壁の溶射補修技術の進歩³⁻⁵⁾により炉体長寿命化が図られる一方で、炉体の高齢化に伴い炉体損傷が着実に進行している。したがって、炉体補修技術と並行して炉体損傷防止技術についてもその開発が急がれるが、こうした観点からの報告は稀れであり、製造現場での操業管理や炉体管理の強化に議論の焦点がゆだねられているのが現状といえよう。

そこで本報では、炉体損傷防止および炉体老朽化に起因する環境問題について課題を整理するとともに、炉体長寿命化に対する解決手段として、水島製鉄所コークス炉での実用化事例を報告する。

2 炉体長寿命化の課題

2.1 炉寿命

コークス炉の炉寿命の定義を一律に記述するのは難しい。多数の窯が短期間のうちに生産不能に陥ることは想定しにくく、著者らは炉寿命を決定する大きな要因は環境問題にあると考える。炉体損傷と環境汚染は後述するように密接に関連しており、炉体損傷を抑止しつつ環境改善と炉体補修を着実に実行することが炉体延命につながるものとする。

2.2 炉体損傷の原因と課題

炉体の最重要部位は炭化室であり、炉壁レンガ損傷の直接原因として主にコークス押出し時の炉壁への異常横圧が考えられる。実炉では異常横圧によりコークス押出しが不能となる現象を押詰りと称している。西岡ら⁶⁾は炉壁面に10mm以上の障害物が存在すると急激な横圧上昇が生じることをモデル実験で確認し、その原因として実炉では炉壁付着カーボンと炉壁レンガ欠損が考えられるとしている。炉壁付着カーボンは、石炭乾留過程で生成し長期にわたって積層して強固なカーボンとなる。特に、レンガ欠損部は局部加熱となるためカーボンの成長が増大する。実験室レベルの研究では、約

* 平成9年2月18日原稿受付

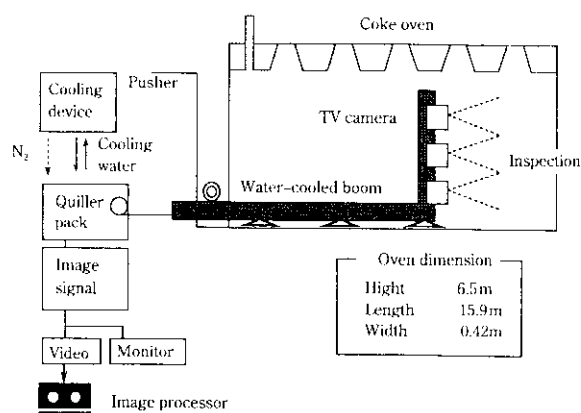


Fig. 1 Oven wall video-inspection system

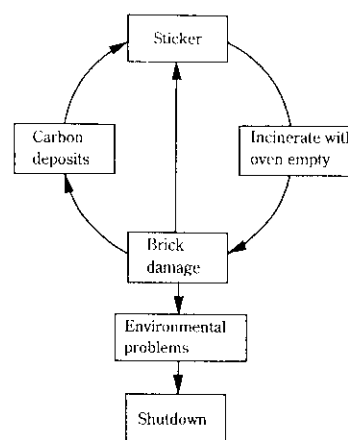


Fig. 2 Vicious circle for shortening coke oven life

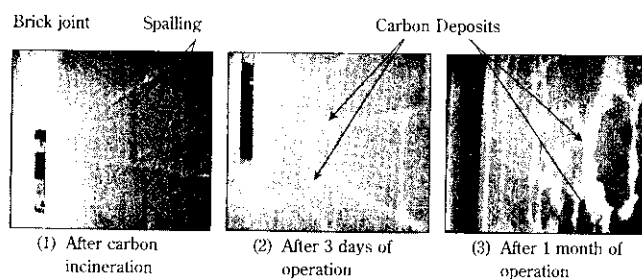


Photo 1 Carbon deposits on the oven wall

0.2 mm/d のカーボン成長速度と推定されているが⁷⁾、例えばレンガ欠損深さ 15 mm の部位では成長速度が 1.1 倍になるという計算例⁸⁾も報告されている。

炉壁面の損傷およびカーボン付着状況を観察するために開発された Fig. 1 に示す診断装置⁹⁾により、カーボン成長を撮影した例を Photo 1 に示す。画像解析結果では、レンガ欠損部位を中心にカーボン付着が始まり、1 ヶ月後には 10~20 mm までカーボンが成長しているものと推定された。また、Photo 1 にみられるようにカーボンは局所的に分布しており、押詰りの原因となることも容易に推測される。押詰りが発生すると横圧の増大だけでなく、コークス掻き出し処置によっても炉壁損傷を引き起こす。すなわち、炉壁付着カーボン、押詰り、炉体損傷は Fig. 2 に示すように相互に関連し合い、悪循環を形成すると考えられる。

付着カーボンを除去するために、一般に空窯焼きが行われるが、これは炭化室を空の状態とし、長時間の自然通風によりカーボンを焼却するものである。空窯焼きの期間は生産停止となるが、最大の欠点は、カーボン付着のない部位ではレンガの冷却が著しく、レンガの目地切れや損傷が発生することにある。この欠点を緩和する方法として、大容量送風機を用いた強制通風方式^{9,10)}によりカーボン焼却時間を短縮する方法が開発されている。しかし、付着カーボンだけを選択的に焼却することは依然として難しく、目地切れや空窯焼きを完全になくすことはできないと考える。

こうした炉体損傷が進行すると、炭化室内温度分布のばらつきが増大することにより乾留不良部位が生じ、コークス押出し時の発塵増加となる。またレンガ目地切れ部では、発生ガスが燃焼室へリークし不完全燃焼となり、発生したススが蓄熱室などに堆積するだけでなく、煙突からの黒煙発生を引き起こし環境汚染を招く。したがって、炉体長寿命化の最も重要な課題は、Fig. 2 の悪循環を断ち切ることにあるといえる。

3 カーボン付着防止技術

炭化室炉壁のケイ石レンガ表面を短時間でガラス状にコーティングする技術、およびコークス押出し作業ごとにコーティング面を自動的にクリーニングする技術により、炉壁へのカーボン付着を防止することができたので以下に述べる。

3.1 ガラスコーティング法

陶磁器表面の釉は、釉薬塗布後に焼成して得られる硬いガラス層であり、ガスや液体に対して不透性である¹¹⁾。しかし、コークス炉炭化室では、冷間での刷毛塗りや焼成温度の微妙なコントロールが不可能であることから、(1) 熱間吹付塗布が可能でかつ通常の炉壁温度域で短時間でガラス層が形成される薬剤の開発 (2) 高温下で炉壁面を短時間で吹付施工する装置の開発が必要である。

3.1.1 コーティング薬剤

上記条件を満たす薬剤性状の一例を Table 1 に示す。Fig. 3 はコ

Table 1 Glaze characteristics and content

Density	(g/cm ³)	1.5	Sodium silicate
Viscosity	(Pa·s)	0.13	Sodium phosphate
			Sodium borate
Melting point of glazed layer	(°C)	> 1500	Alkaline earth metal compounds

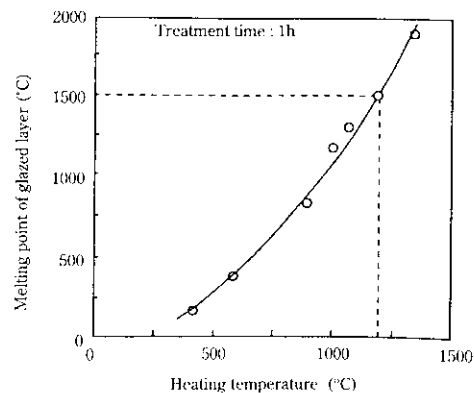


Fig. 3 Relationship between the melting point of the glazed layer and the temperatures of heat treatment

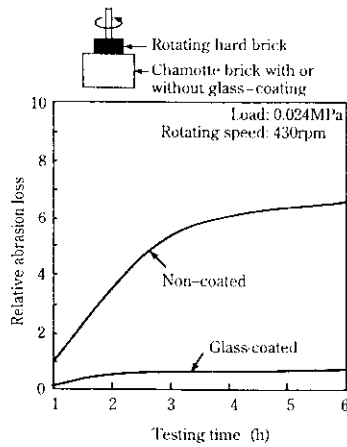


Fig. 4 Comparison of the abrasion loss between non-coated and glass-coated bricks

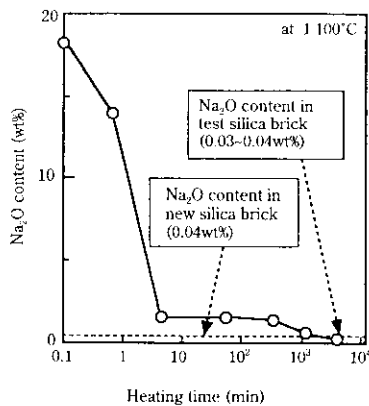


Fig. 5 Na_2O content in the glass coating layer

ーティング後1h 経過時点の熱処理温度と形成されたガラス層の融点の関係を示すが、通常のコークス炉炭化室の炉壁表面温度である 1200°C で融点 1500°C のガラス層が形成されることがわかる。**Fig. 4** はガラス層の摩耗量を、シャモットレンガを用いた回転試験により比較した結果を示すが、コーティングにより耐摩耗性が著しく向上していることがわかる。また、薬剤成分中に含まれるNa成分のケイ石レンガへの残留量を測定した結果を**Fig. 5**に示す。十数時間後にはケイ石レンガ中の Na_2O 濃度以下となっており、ケイ石レンガへの影響はないといえる。

3.1.2 コーティング装置

上記薬剤を炭化室炉壁に吹付けるために開発された装置を**Fig. 6**に示す。吹付装置は3重管水冷ランスを既設の押出機に搭載したものである。炉壁単位面積当たりの吹付量は形成されるガラス層の均一性に影響する。そこでランス走行速度を可変として、炉壁単位面積当たりの吹付量を変化させて実炉実験を行った。その結果を**Fig. 7**に示すが、吹付量 $1\ell/\text{m}^2$ 以下ではガラス層にムラが生じ、吹付量 $1.5\ell/\text{m}^2$ 以上ではダレが生じるとともにリバウンドロスが増大することから、吹付量は $1.0\sim 1.5\ell/\text{m}^2$ の範囲が最適であることがわかった。この時のガラス層の厚みは $10\sim 13\mu\text{m}$ である。

炭化室炉壁両面(200m^2)の吹付作業時間は3minであり、薬剤消費量は $200\sim 300\ell/\text{窯}$ である。本装置には、リバウンドをランス下部に受け炉内に残留させない機能、吹付後にランス内の薬剤を自動的に回収する機能、停電時の非常引き戻し機能などを有し万全を期

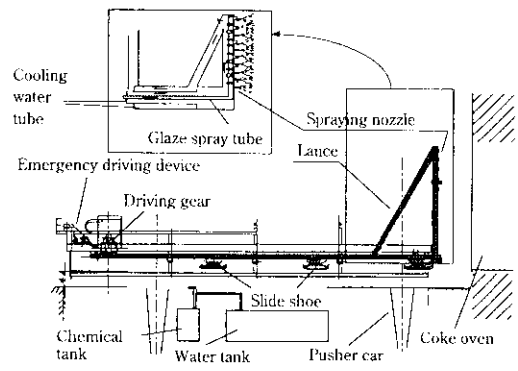


Fig. 6 Spraying equipment

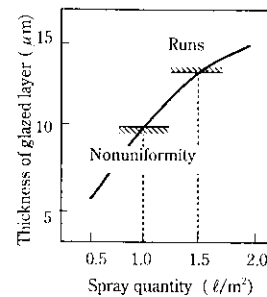


Fig. 7 Optimum amount of sprayed glaze for glass coating

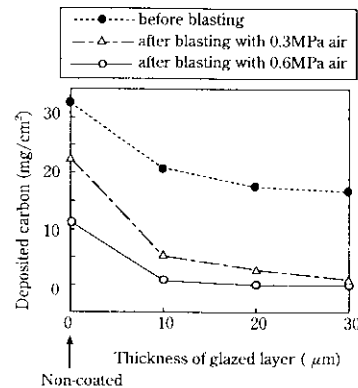


Fig. 8 Effect of the glass coating on carbon deposits before and after blasting air

している。

3.1.3 コーティング効果

実炉におけるカーボン付着防止効果を確認するために、炭化室内にテストピースレンガを挿入し、乾留1サイクル(17h)後にレンガを回収し調査を行った。回収したレンガのカーボン付着量を**Fig. 8**に示す。ガラス層厚0はコーティングなしを示し、それ以外は所定のガラス層厚となるように薬剤吹付量を調整したものである。また、回収したレンガ表面に圧空を10cmの距離から約5s噴射した結果も示す。コーティング効果は、圧空噴射なしでみると、カーボン付着量が50~60%まで低減しているが、圧空噴射後と比較すると、0.3MPa圧空では5~10%まで低減し、0.6MPa圧空ではカーボン付着量は0となった。回収レンガの0.6MPa圧空噴射後の顕微鏡断面を**Photo 2**に示すが、コーティングなしではレンガ内部にカーボンが根状に侵入しているのに対し、ガラス層表面には

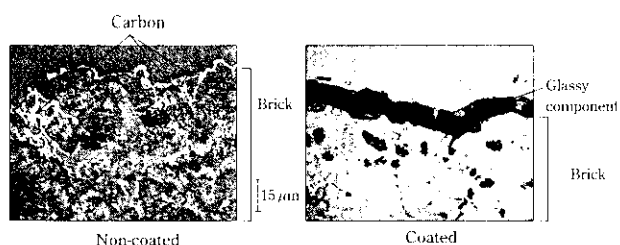


Photo 2 Polarization microphotograph of the cross section of the surface of test bricks

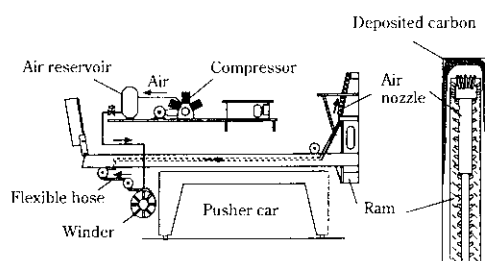


Fig. 9 Coke oven wall cleaner

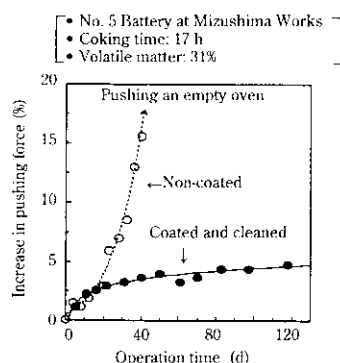


Fig. 10 Effect of the glass coating and wall cleaner on coke pushing force

カーボン認められない。以上のことからガラスコーティングの効果は、カーボンが付着しても表面のみに弱く付着している状態であり、0.6 MPa 圧空で完全にクリーニングできることがわかった。

3.2 炉壁クリーナ

圧空によるガラス層クリーニングを行う装置を Fig. 9 に示す。本装置は、既設の押出機ラムにエアノズルを装備し、クリーニング作業がコークス押出し作業と並行して行えるようになっている。主仕様は圧力 0.6 MPa、流速 340 m/s、流量 30 Nm³/窯の高速空気噴射が炉壁全面に行えるようになっている。

3.3 実操業結果

Fig. 10 に付着カーボン成長によるコークス押出負荷の増加率を追跡調査した結果を示す。コーティング後 20 日頃までは、ガラスコーティングの有無による差はないが、それ以降コーティングなしの窯では急激に押出負荷が増大するのに対し、コーティング窯では押出負荷の上昇が非常に小さくなっている。コーティングなしの窯では一旦カーボンが形成されると、その部位を中心にカーボン付着

量が急増し強固なカーボンが形成されるのに対し、コーティング窯では、こうした強固なカーボン形成を抑制しているものと推定される。ガラスコーティング層の寿命は、コーティング後 2 年経過の炉壁においてもガラス層の光沢が認められ、かつ、カーボン付着や押出負荷の急上昇が認められないことから、2 年以上の寿命と推定している。

4 環境汚染防止技術

コークス炉の環境問題は多岐にわたるが、ここでは主として炉体老朽化に起因する窯内の乾留不良による環境汚染を防止する技術について述べる。

4.1 端フリー昇温装置

端フリーは大気側と接しており中央部フリーと比べると温度が低く、かつ、炉蓋脱着による大気冷却の繰り返しにより窯口部レンガの損傷が起こりやすい。老朽炉では端フリーレンガ損傷が進行しフリー温度の低下がさらに大きくなるため、コークス押出し時に未乾留の窯口コークスによる発塵や押詰りを招く。したがって、設定炉温を上げる処置をとることになるが、中央部では逆に過熱傾向となるため限界がある。

上記問題を解決する手段として、端フリー部を独立に加熱するバーナを燃焼室下部に設置すれば、Fig. 11 に示すようにガス流量 5 Nm³/h 程度で約 150°C の昇温が可能であることがわかる。水島製鉄所では全コークス炉に Fig. 12 に示す端フリー昇温装置¹²⁾を導入し、端フリー部の温度回復 (Fig. 13) を図ってきた。その結果、窯口コークスの TL₆⁴⁰⁰ 強度で +10%、25 mm 以上のコークス歩

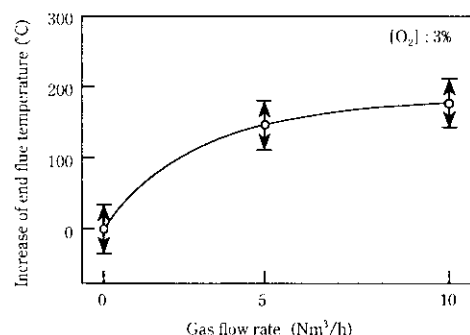


Fig. 11 Relation between increase of the end flue temperature and the gas flow rate

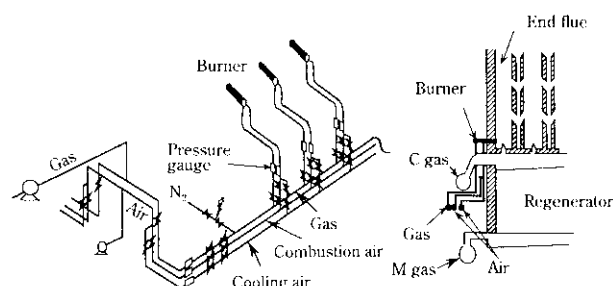


Fig. 12 Supplementary end flue burner system

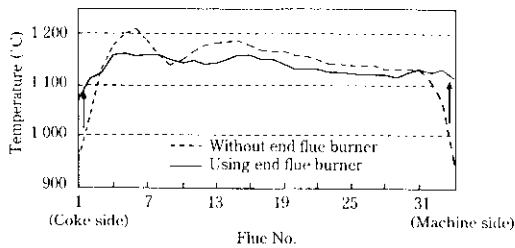


Fig. 13 Comparison of the cross-wall temperature before and after using the end flue burner

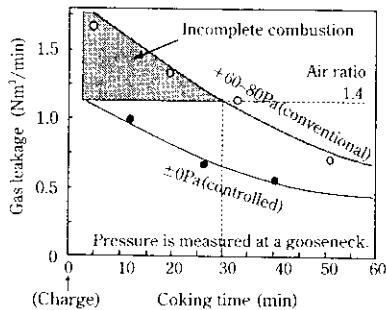


Fig. 14 Raw gas leakage from the coking chamber to the heating flue

止りで+16%の向上が認められ、窯口コークスの乾留不良が改善されるとともに押出し時の発塵も解消した。

4.2 炉内圧制御装置

炉体の経年変化による炉体膨張は、乾留サイクルの温度変化に基づく膨張が支配的であり、レンガ目地にカーボンが充填され、漸次炉体が膨張していくものと推定されている⁹⁾。このカーボン目地が切れると炭化室から燃焼室へ発生ガスがリークし、種々の問題を起こす。Fig. 14 に目地切れ窯の廃気弁部での排ガス分析からリークガス量を求めた例を示す。図中○で示すように、装入完了直後で

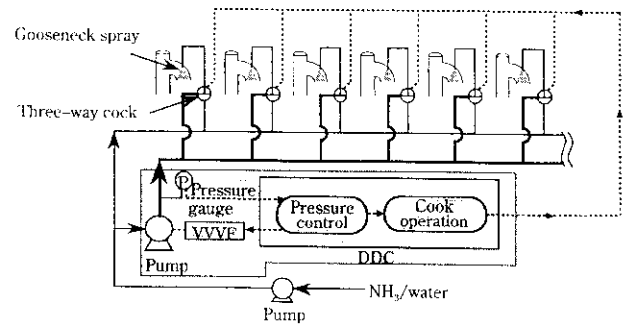


Fig. 15 Gooseneck pressure control system

1.7 Nm³/min のリークガスがあり、空気比 1.4 としても約 30 min は不完全燃焼となっていることがわかる。これに対し上昇管バンド部の安水スプレー量を調節し、圧力を通常の+60~+80 Pa から±0 Pa とすれば不完全燃焼が抑止できることがわかる (Fig. 14 の●)。実機化に際しては、簡単な改造規模とすべく以下の改造を行った。既設の高圧安水ポンプを回転数制御とし、制御対象窯数と回転数の関係をあらかじめ求めてプログラム化した。窯番号、圧力、時間を任意に設定可能とし、ポンプの回転数とスプレー安水の3方コック切替えを自動制御するシーケンスとした。装置の概要を Fig. 15 に示す。本装置の導入により、不完全燃焼の発生率を大幅に低減させることができた。

5 結 言

コークス炉の炉体長寿命化対策として開発された (1) ガラスコーティング法 (2) 炉壁クリーナ (3) 端フリー昇温装置 (4) 炉内圧制御装置について述べた。実炉への適用の結果、炉体損傷の主要因とされていた押詰りや空窯焼きを完全になくすることができるとともに環境改善が図れた。特にガラスコーティング法は、炉壁レンガがタールやガスなどに直接さらされることなくすることによる寿命延長効果も期待できるものとする。また、副次的効果として操業の安定化およびエネルギーロスの低減により、石炭 1 t (dry base) 当たり 84 MJ の省エネルギーも達成した。

参 考 文 献

- 1) 滝沢 譲: CAMP-ISIJ, **78**(1992), 969-976
- 2) 西岡邦彦: 日本エネルギー学会誌, **75**(1996)10, 899-907
- 3) 平嶋敬資, 津田秀行, 上野治幸, 松尾大洋: CAMP-ISIJ, **1**(1988), 1017
- 4) 沼沢 誠, 大高松男, 伊藤英邦, 真忠達明, 中村義久, 山崎隆雄, 成田雄司, 大谷 進: CAMP-ISIJ, **4**(1991), 154
- 5) 内田哲郎, 後藤 毅, 平松輝雄, 渡辺誠治: CAMP-ISIJ, **5**(1992), 99
- 6) 西岡邦彦, 植田 宏, 小川真資, 吉田周平: コークスサーキュラー, **35**(1986)1, 21-28
- 7) 永田真資, 西岡邦彦, 吉田周平: 鉄と鋼, **69**(1983), 42
- 8) Y. Tsukihara, K. Hashimoto, M. Hamaki, and S. Kasaoka: "Development of Chamber Wall Observation at Coke Oven", 52nd Ironmaking Conf. Proc., 52(1993), 173-177
- 9) 松尾大洋, 中川洋治, 紫原康孝, 中崎昭和: 鉄と鋼, **73**(1987), 55
- 10) 富山博次, 吉田周平, 渡辺幹夫, 数内一明: CAMP-ISIJ, **4**(1991), 1112
- 11) 窯業協会編: 「窯業工学ハンドブック」, (1973), 1198-1207, [技報堂]
- 12) M. Yamazaki, S. Kasaoka, K. Hashimoto, and Y. Tsukihara: "Development and Application of Technique for Improved Temperature Distribution in Coke Ovens", ABM 24(1993), 77-94