

## 技術資料

## 呉1高炉における銅ステーブ化

松尾正一\* 東 克成\*\* 安東明信\*\*\*  
 斧 富吉\*\*\*\* 守屋克司\*\*\*\*\* 大石 忠\*\*\*\*\*

## Replacement of Cu-stave at Kure No.1 BF

Shouchi Matsuo, Katsunari Higashi, Akinobu Andou,  
 Tomiyoshi Ono, Katsushi Moriya, Tadashi Ohishi

## Synopsis :

As a countermeasure for damage of stave cooling pipes, we have replaced the iron staves with the copper staves. So far we have completed the replacement of 14 (level S-2), 48 (level S-1), 4 (level S-3), and 48 (level B-2) staves as a whole. Upon the replacement in level S-1, in Nov. 2004, damage of tuyeres occurred many times. We studied this problem and changed the original operating plan. This change led to a better operation.

## 1. 緒言

呉1高炉(5)は平成7年4月20日の火入れ以降丸10年が経過したが、火入れ7年目頃からシャフト部の水冷金物であるステーブの導水路の破損が顕在化してきた。ステーブ導水路の破損により炉体の冷却能力が低下し、ステーブの減肉も促進された。ステーブ冷却能力低下対策として、導水路の破損部位への冷却盤やダミークラウの挿入を実施してきたが、シャフト部からのガス噴出しの発生、シャフト鉄皮への熱負荷の増大により安定操業が阻害されてきた。また、ステーブ破損による炉内浸水の増大と円周バランスの乱れを引き起こし、高炉の安定操業を阻害する原因となった。

このステーブ破損に対する抜本的対策として、平成16年9月より順次ステーブの取替えを実施した。取替えに当たっては、長寿命化を狙い、従来の鑄鉄ステーブから変更し銅ステーブを採用することとした。本報では平成16年11月に実施したS-1ステーブ取替工事、平成17年4月に実施したB-2ステーブ取替工事前後の操業対応

を中心に報告する。

## 2. 銅ステーブ採用に至る経緯

## 2.1 呉1高炉(5)操業状況

Fig.1に呉1高炉(5)の火入れ以降の操業実績を示す。平成7年の火入れ以降出銑比 $\geq 2.2$  (t/m<sup>3</sup>/d)かつ還元材比=500 (kg/t)前後で安定操業を維持し、微粉炭(以下PC)比アップにも積極的に取り組み、平成11年1月には195.1 (kg/t)という呉における月間最高値を記録した。しかし、平成8年からステーブの方位別抜熱量偏差が大きく、特に180°~270°方位の上昇が顕著になっただけでなく、平成11年からは全体レベルの上昇も目立ち始めてきた。また、溶銑[Si]は平成13年頃から不安定になってきた。

## 2.2 シャフト部ステーブ破損状況

2.1節で述べた通り、呉1高炉(5)では火入れ5年目(平成11年)より抜熱量が上昇し、7年目(平成13年)

\*呉製鉄所 製銑部 製銑技術チーム  
 \*\*\*呉製鉄所 製銑部 製銑技術チーム 主任部員  
 \*\*\*\*\*呉製鉄所 製銑部 製銑課 課長

\*\*呉製鉄所 製銑部 製銑技術チーム(現在 ヴァレオエンジンクーリングジャパン(株)勤務)  
 \*\*\*\*呉製鉄所 製銑部 製銑課 高炉総作業長  
 \*\*\*\*\*呉製鉄所 製銑部 部長

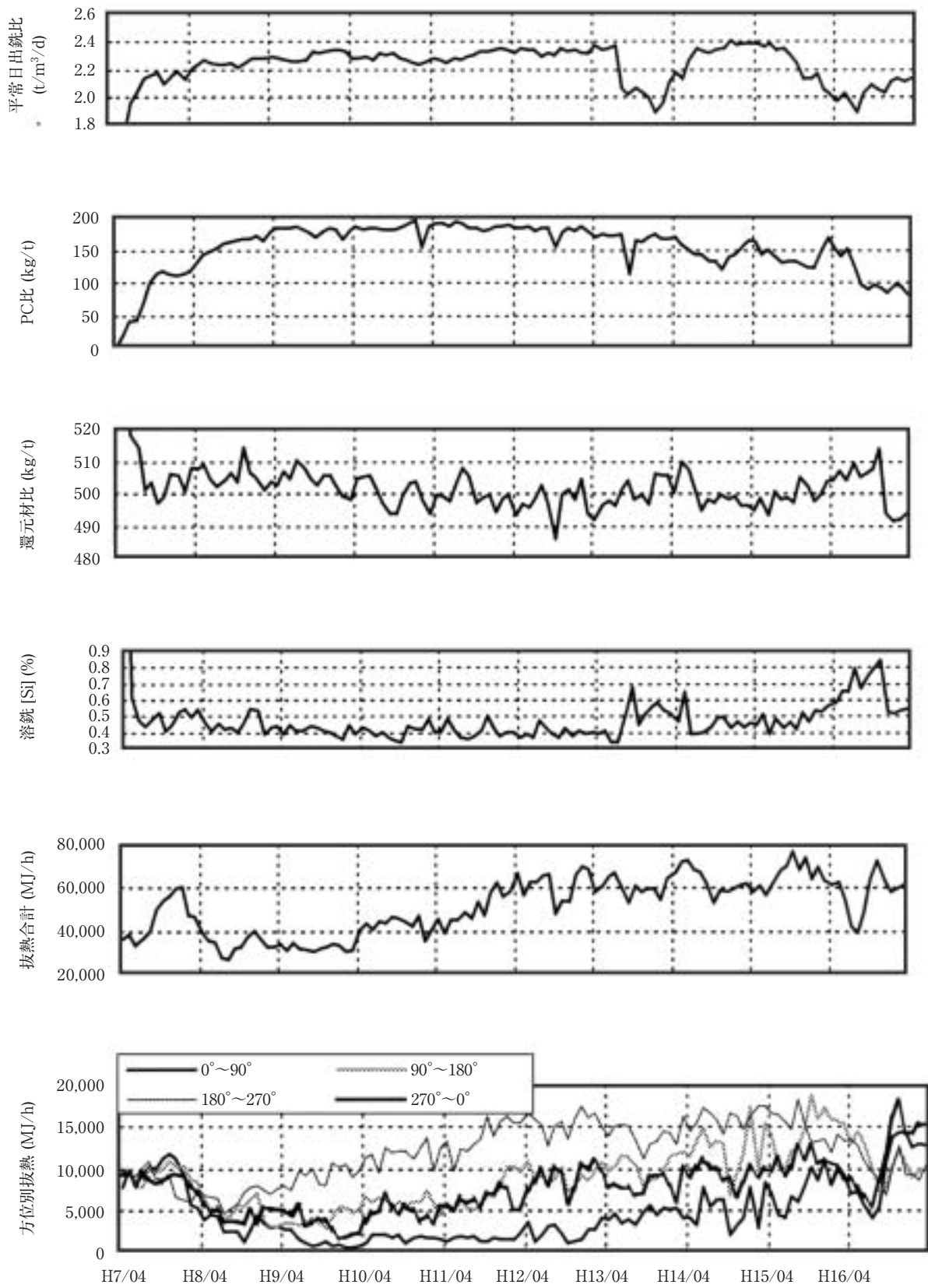


図1 呉1高炉(5)操業実績推移(H7/4~H17/3; 月間値)  
 Fig. 1 Transition of operation at Kure No.1 BF  
 (Apr. 1995-Mar. 2005; monthly data).

よりステーブ破損が連続し始めた (Fig. 2)。ステーブの減肉も併せて進行し、その対策として非定形耐火物の

硬質圧入を従来の高炉と同様に推進してきたが、8年目 (平成14年) にはシャフト中部～炉腹にかけてス

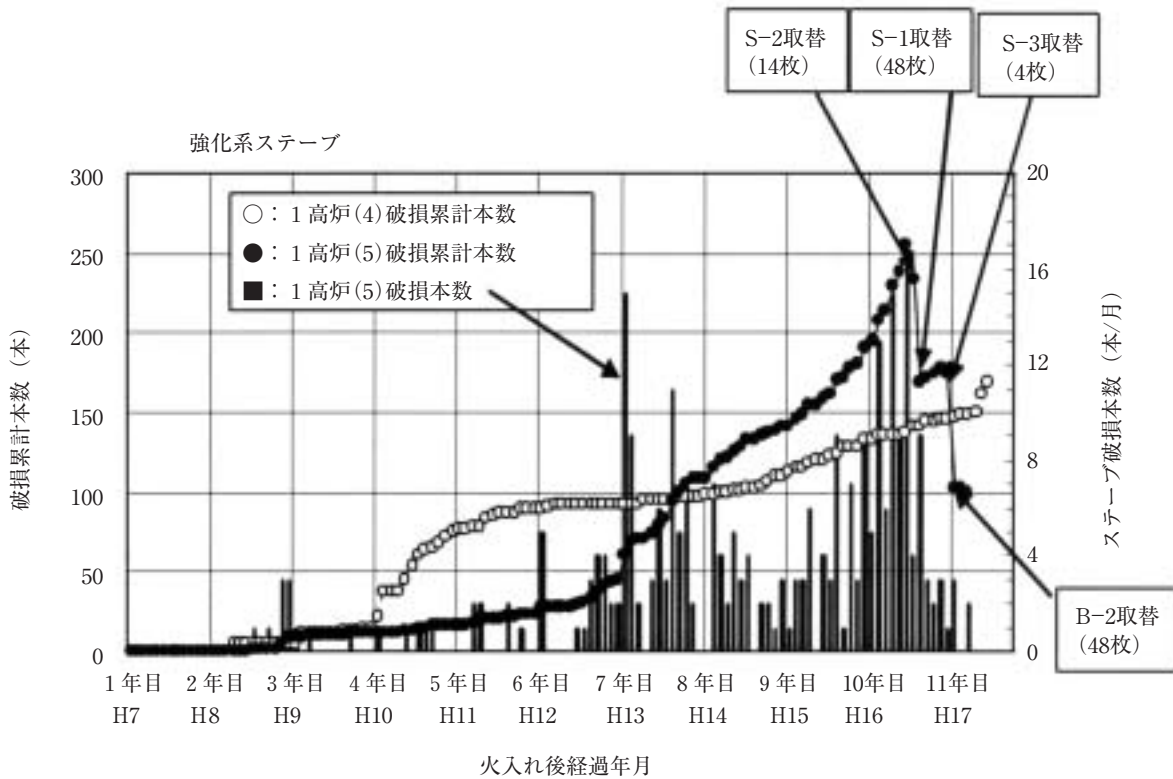
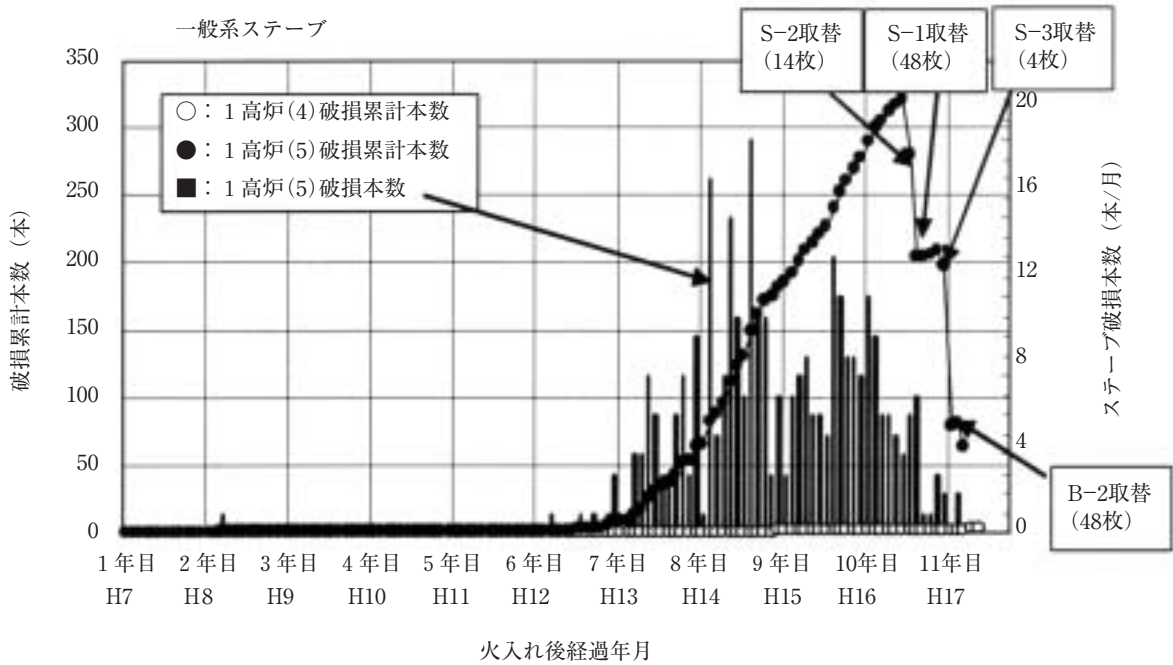
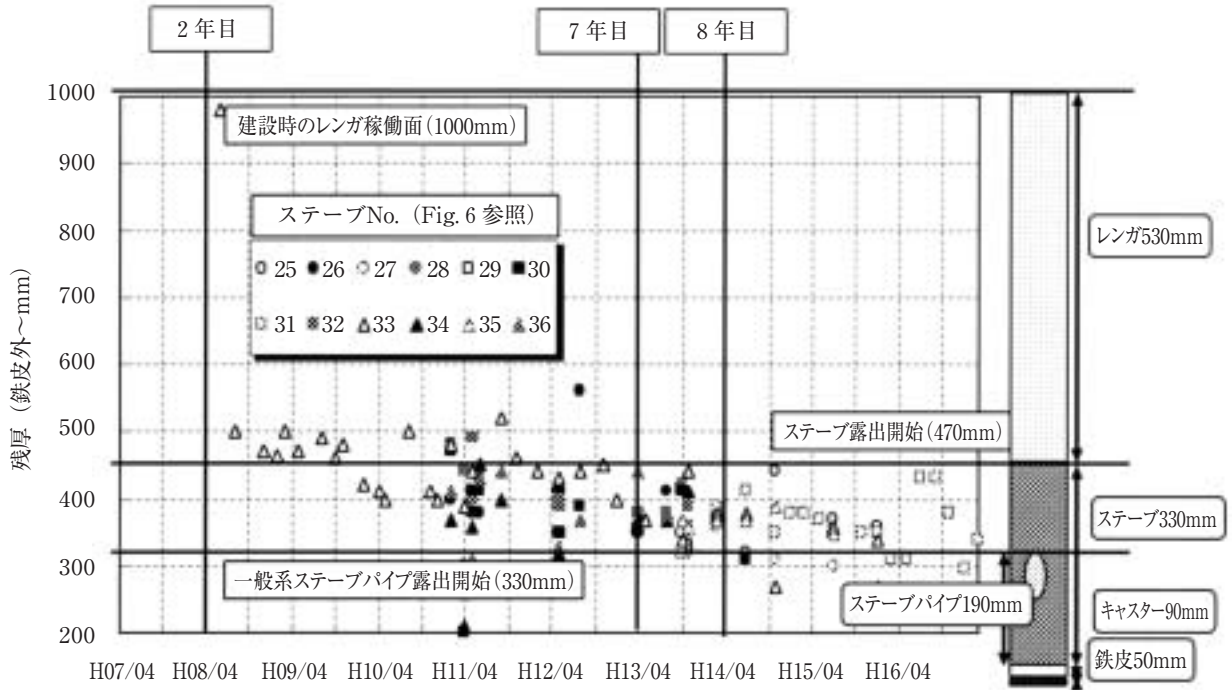


図2 1高炉(5)ステーブ破損累計と1高炉(4)との比較(火入れ以降(H7/4~H17/3))  
 Fig. 2 Number of damaged staves since blown-in at Kure No.1 BF (5) and comparison with those at Kure No.1 BF (4).

テープのパイプが露出するところまで残厚が小さくなった (Fig. 3)。

【S-1 (シャフト下部) 180°~270°方位】



【B-2 (炉腹部) 180°~270°方位】

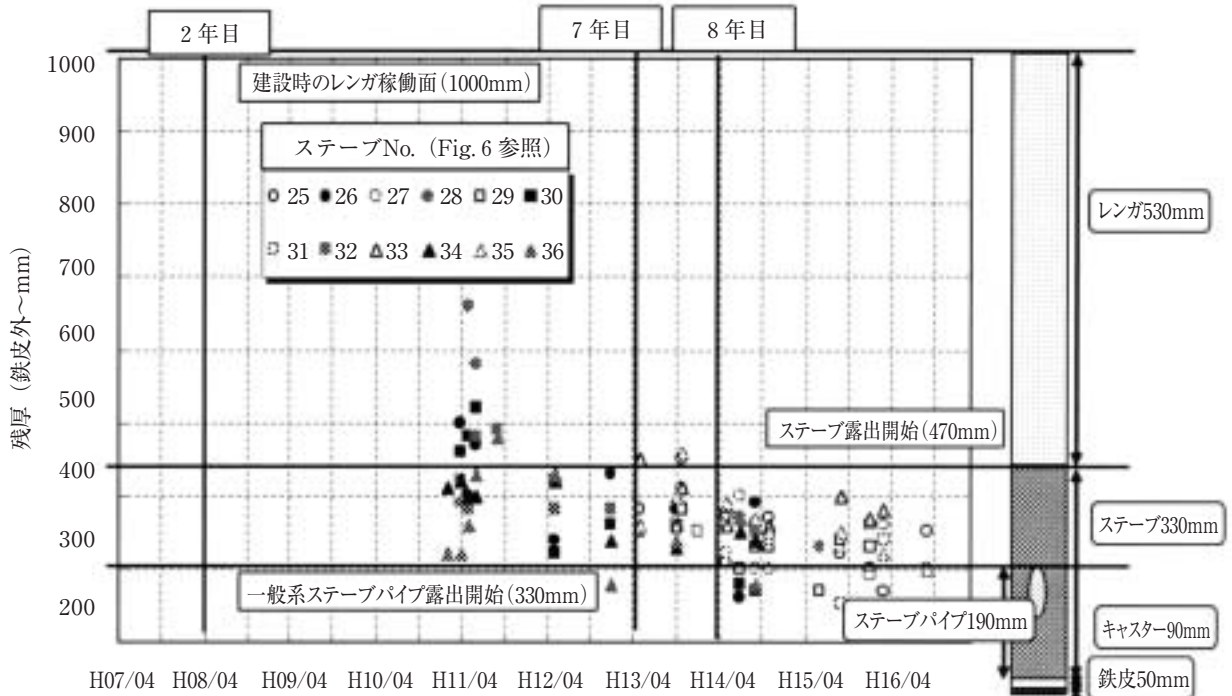


図3 1高炉(5)ステープ残厚推移図(H7/4~H17/3)

Fig. 3 Transition of the thickness of staves at Kure No.1 BF (Apr.1995-Mar.2005).

### 2.3 ステーブ破損のメカニズム

ステーブ破損は溶銑による炉内の高温雰囲気・磨耗により進行する。ただし、1高炉(5)は火入れからの高PC比操業やステーブ形状が異なることもあり、これまでの高炉と比較して一般系ステーブ破損スピードが速いと推察された (Fig. 4)。

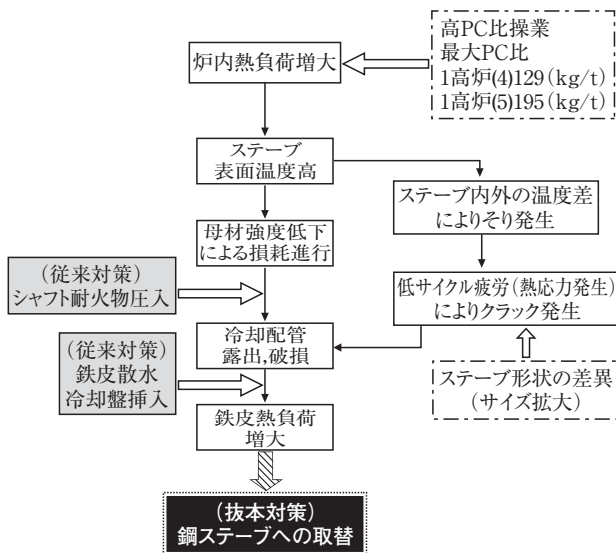


図4. ステーブ冷却配管破損の推定メカニズムと対策  
Fig. 4 Possible mechanisms of the break-down of stove cooling pipes.

### 2.4 銅ステーブ採用理由

従来、高炉用のステーブとしては铸铁製のものが高く用いられていたが、铸铁は熱伝導度が小さく冷却能力が低いため、熱負荷がかかるとステーブ本体に大きな熱応力が発生して配管の破損が発生しやすいとされている。

そこで、直近では熱伝導性に優れた銅製のステーブが急速に普及し、現在では国内約半数の高炉で銅ステーブが採用されている。銅ステーブは熱伝導度が大きいため熱応力が発生しにくく、冷却能力が铸铁ステーブと比較し大幅に優れている。これによりシャフト部の冷却能力が向上し、表面に安定した保護層（セルフライニング層）が形成され、高炉の20年以上の寿命延長が期待できる。

そこで、呉1高炉においても、ステーブ破損の激しいシャフト下部～炉腹部 (S-2, S-1, B-2) について全てのステーブ (各段48枚×3段=計144枚) を铸铁製から銅製に取り替えることとした。

## 3. ステーブ取替工事概要

### 3.1 ステーブ取替休風工程

1高炉(5)では、炉体冷却能力低下対策として、一般系ステーブ破損箇所には冷却盤、強化系ステーブ破損箇所にはダミークーラーの設置を推進してきた (Fig. 5)。

2.2節で述べた通り、冷却盤、ダミークーラーの設置

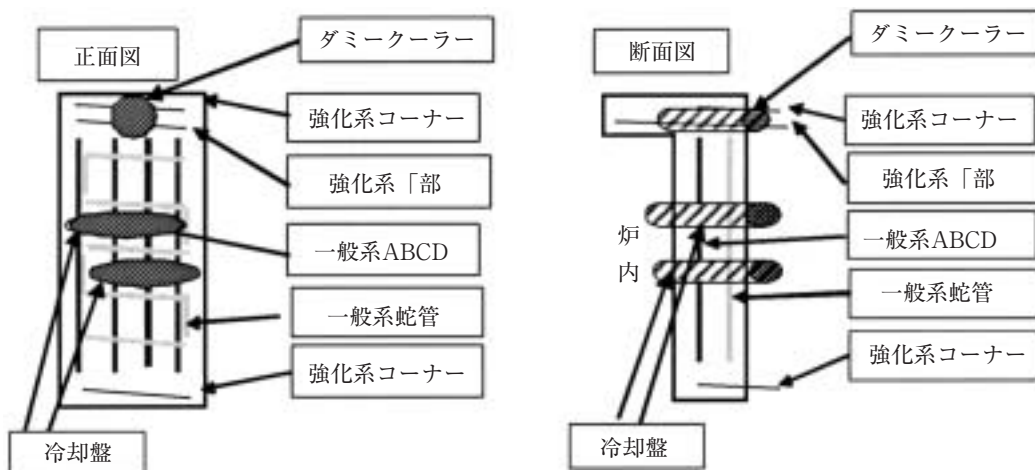


図5 冷却盤、ダミークーラー設置箇所の模式図

Fig. 5 Schematic representation of the places where cooling plates and dummy coolers were installed.

表1 ステーブ取替休風工程

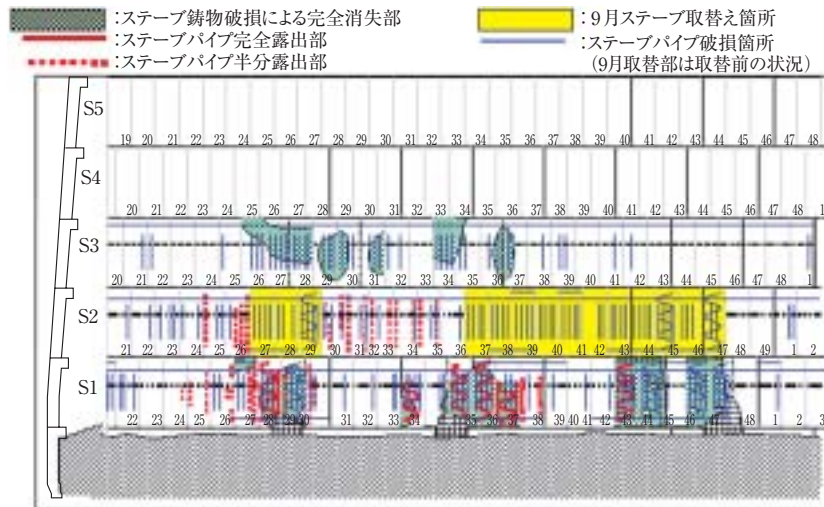
Table 1 Schedule of stopping operation for stave replacement

		平成16年度												
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実績及び計画			●		●		●	★	★		●		★	
			73.5H		25H		24H	55H	73.3H		30H		40H	
			炉口マンホール改造						S2-48枚			S3-4枚		
									S2-48枚					
		平成17年度												
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実績及び計画		★		☆			○		☆					
		78.6H		37H			16H		71.5H					
		B2-48枚			S3-6枚			S2-34枚						

【凡例】 ○：準備休風（計画） ●：準備休風（実績）  
 ☆：ステーブ取替休風（計画） ★：ステーブ取替休風（実績）

推進により、抜熱の上昇を食い止められたが、ステーブの破損を抑えられなかったため、平成16年5月より銅ステーブ取替の事前工事に着手し、同年9月より順次取替を実施した。工程の実績および今後の計画をTable 1に示す。また、S-2取替休風時の炉内目視確認結果より、S-3ステーブにも鑄物が完全に消失した部位があったため、このレベルでも10枚を取替えることにした (Fig. 6)。

3.2 ステーブ取替工事概要



平成16年9月銅ステーブ化(S-2) S-3のうち損耗が激しいステーブ (平成17年3月に銅ステーブ化)

図6 1高炉(5)ステーブ損耗状況(H16.9.29；S-2ステーブ取替休風時撮影)  
 Fig. 6 The situation of stave lost at Kure No.1 BF (Photographed on Sep. 29, 2004；in replacing staves (level S-2)).

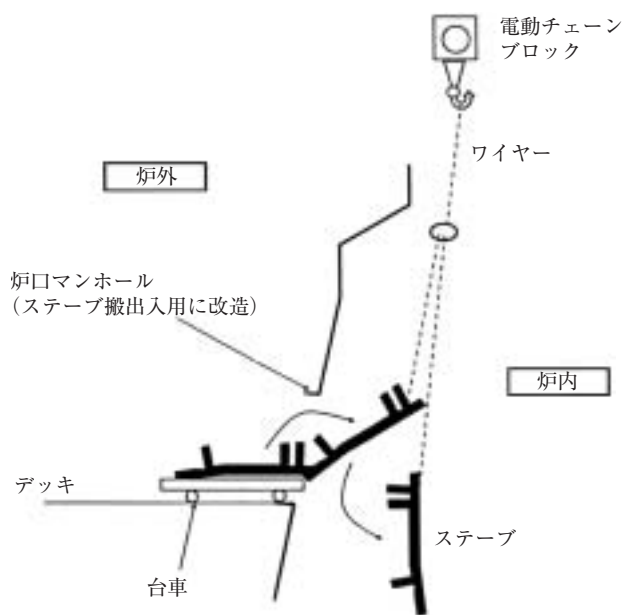


図7 ステーブ搬入方法の模式図

Fig. 7 Schematic representation of the method of replacing staves.

Fig. 7にステーブ搬入方法の模式図を示す。炉口に設置したマンホールから既設鋳鉄ステーブを炉外へ搬出し、銅ステーブを搬入した。炉内でのステーブの吊り上げ、吊り下げは炉頂に設置した電動チェーンブロックにて実施した。ステーブを交換する床では既設ステーブの解体、既設ステーブ搬出時のワイヤー取り、新設銅ステーブの取り込み、据付、冷却水系統のつなぎこみ、ステーブ背面への圧入を実施した。

#### 4. S-1 ステーブ取替前後の操業実績

##### 4.1 操業設計の考え方

操業設計の考え方をTable 2に示す。

本休風の特徴は①70時間以上の長時間休風、②SL-21mまでの減尺を実施することである。これまでの呉における休風時間の実績は最長で50時間程度であり、休風時の熱補償は還元材比を最大1000 (kg/t) (通常操業時は約500 (kg/t)) とすることで対応した。また、減尺により炉内装入物の堆積面高さの低下に伴い炉内装入物の荷重が低下するため、吹き抜けの起こりやすい条件と

表2 S-1ステーブ取替休風時の操業設計の考え方

Table 2 Points of operation during level S-1 shutdown for stave replacement

分類	項目	実施内容	備考
I. クリーニング 操業	1. 期間	実施しない (シャフト状態不良のため)	炉芯クリーニングを目的とした1日間のオールコークス操業は実施
II. 減尺前減鉦	1. コークス比 2. 送風流量 3. 送風湿度 4. 送風温度	C/R=510kg/t→600kg/t→700kg/t→800kg/t→ブランク (5ch) 装入コークス比, 指尺に応じ減風 投入水素10kg/tを維持できるレベルに設定 下限1150℃	急激な鉦石/コークス層厚比変動の抑制 荷下がり異常の抑制 長時間休風対応で熱風炉熱付け操炉を実施していることを考慮
III. 事前休風	1. 事前休風 2. 休風時間 3. 工事内容	事前休風入り時 最終SL-6.5 9.5Hr (炉頂着火実施) 炉体N 2 吹込みノズル取付け, 破損ステーブ処置, 冷却盤取り外し	
IV. 減尺操業	1. 減尺 2. 減尺時間 3. 炉頂圧 4. 炉頂温度制御 5. 送風湿度 6. 送風温度	ステーブ取替休風入り時 最終SL-21.0m 17時間 高目維持 (原則280KPa) 炉頂散水により炉頂温度 = 380 ± 10℃で制御 炉熱回復狙いかつ減尺深度大時の炉頂水素低減対応で低め維持 炉熱回復狙いで高め維持	2高炉 (4) 吹卸し実績ベース 2高炉 (4) 吹卸し実績ベース
V. ステーブ 取替休風	1. 休風時間 2. 工事内容	71時間30分 S-1 ステーブ取替 48枚	送風後の立上げを円滑に行うため, 可能な限りステーブを回収
VI. 立上げ操業	3. 休風中装入 1. 送風流量 2. 装入物 3. 装入	休風中に原料装入開始し, SL-15mまで埋め戻す 復帰まで37時間 ブランク (13ch)→コークス比=1000kg/t (SL-6mまで) →800kg/t(埋め戻し完了まで) →700kg/t (以下各10ch毎) →600kg/t →550kg/t→510kg/t SL-6mまで連続装入後, 荷下がり確認し, -1mまで復帰	立上げ送風諸元早期回復のため 立上げ時より (ブランクも含め), 装入物分布は通常操業時に戻し装入実施 (炉壁流化による炉熱低下予防)

なることが懸念された。また、吹き抜けを防止するために送風量を調整する必要があり、指尺レベルに応じた送風量となるように設定した<sup>1)</sup>。

### 4.2 減尺作業実績

S-1 ステーブ取替前の減尺作業実績を Fig. 8 に示す。

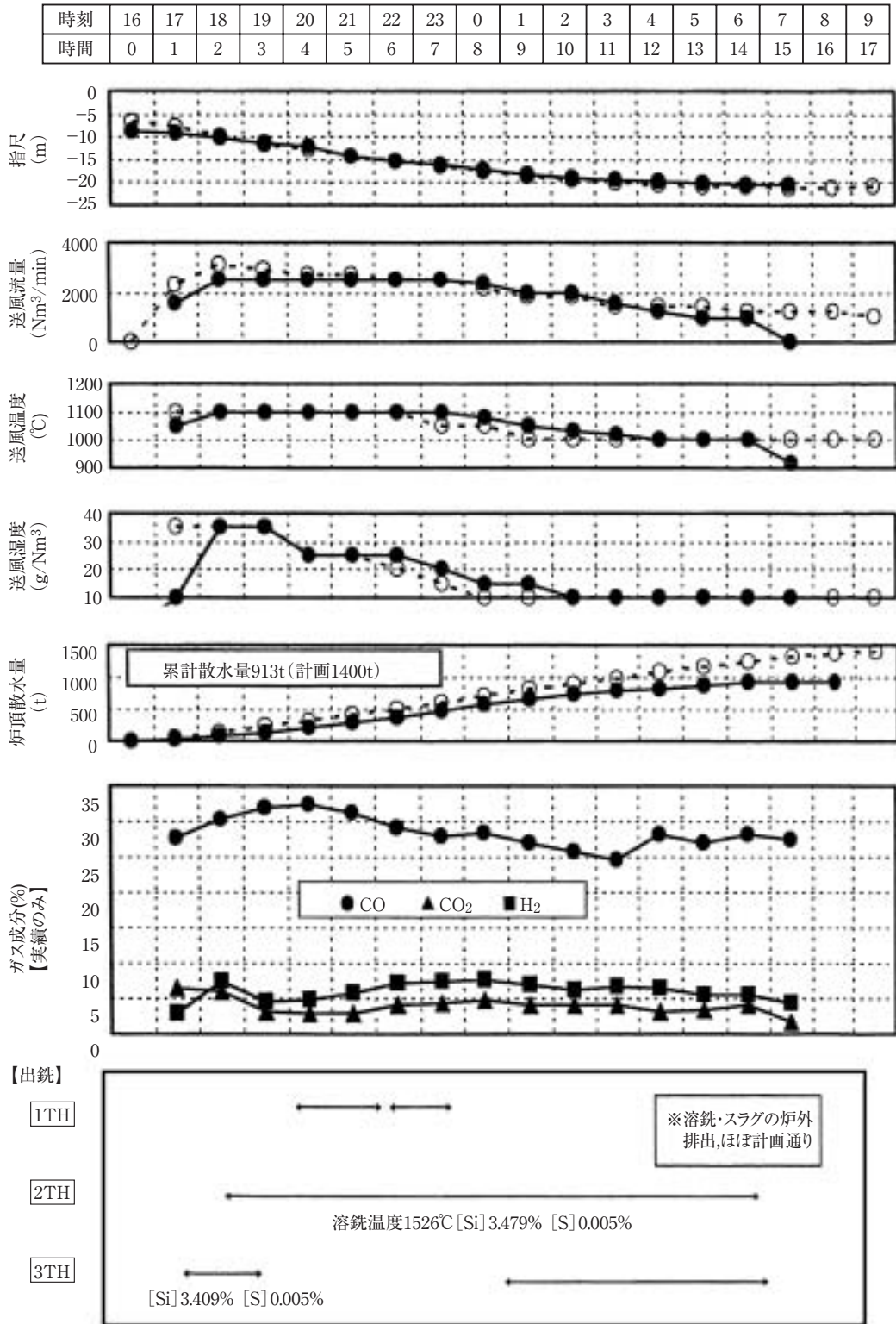


図8 S-1ステーブ取替前作業実績 (○, - - : 計画, ●, — : 実績)  
Fig. 8 Results of operation before the stove replacement (level S-1).



減尺操業は計画 17時間（11/15 16：30～11/16 9：30 SL-21.0m）に対し、実績15時間5分（11/15 16：20～11/16 7：25 SL-20.6m）となった。送風1時間30分後から羽口前でのスラグ沸きが見られ、引き続き羽口溶損が連続した（計13本）。これに対して羽口冷却水を調整し、減尺操業を継続してほぼ計画通りの位置まで装入物を低

下させることができた。

4.3 立上操業実績

S-1 ステーブ取替休風の立上操業実績を Fig. 9 に示す。休風時間は計画71時間30分（11/16 9：30～11/19 9：00）に対し、実績73時間20分（11/16 7：25～11/19

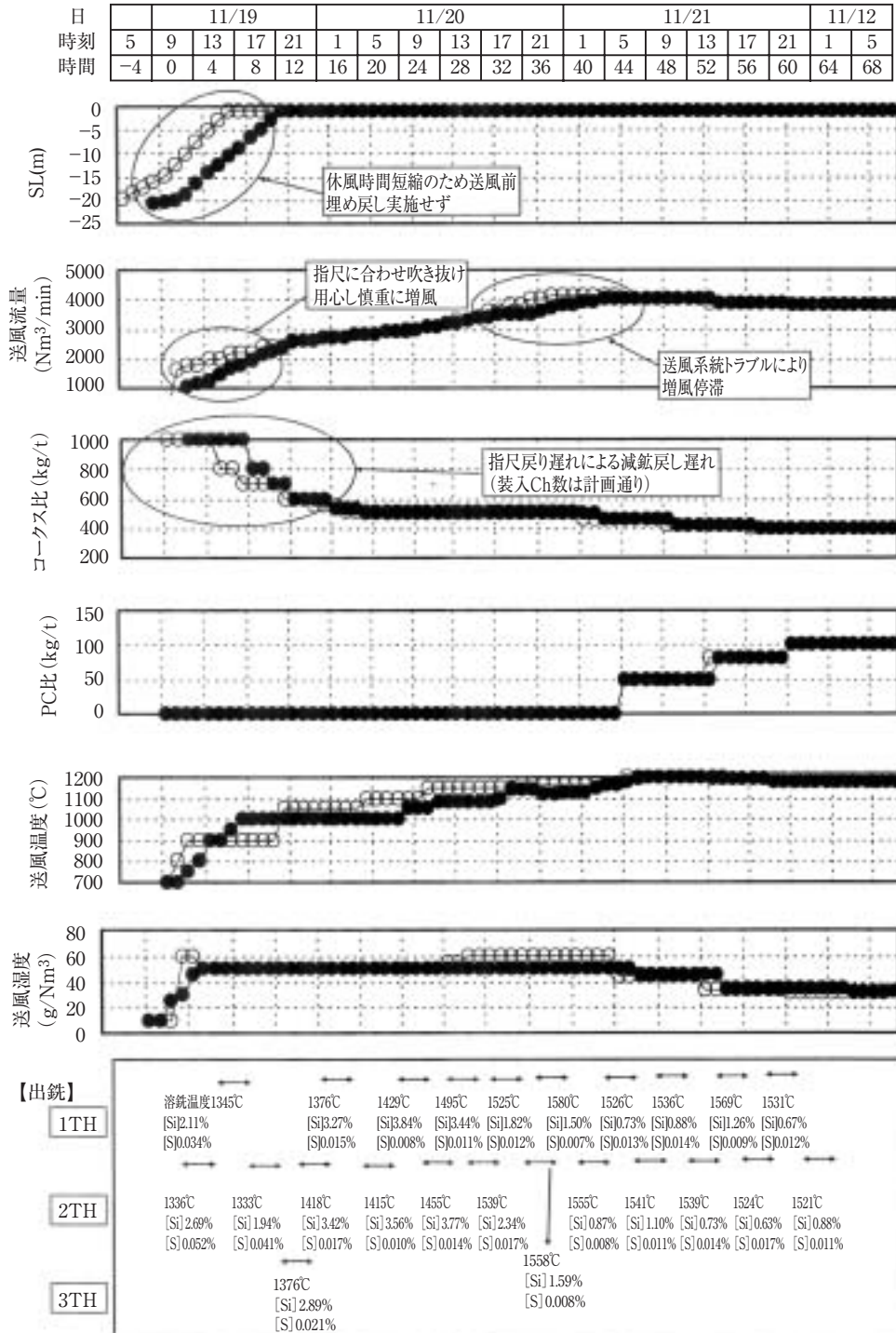


図9 S-1ステーブ取替立上操業実績 (○, - - : 計画, ●, — : 実績)  
 Fig. 9 Results of operation after the stove replacement (level S-1).

8:45)であった。休風前の羽口破損多発による炉内浸水により立ち上げが心配されたが、送風後の羽口破損、棚、吹き抜け等のトラブルも無くほぼ計画通りに順調な立ち上げが実施できた。

テーパー取替後、一時抜熱量が大きく変動したが、取替10日後からは60,000 (MJ/h) 前後で安定して推移している。溶銑[Si]等炉況の安定度を示す指標も安定しており、出銑量増とコークス比減を実施してきている。

4.4 工事前後の操業変化

Fig.10にS-1ステーブ取替前後の操業推移を示す。ス

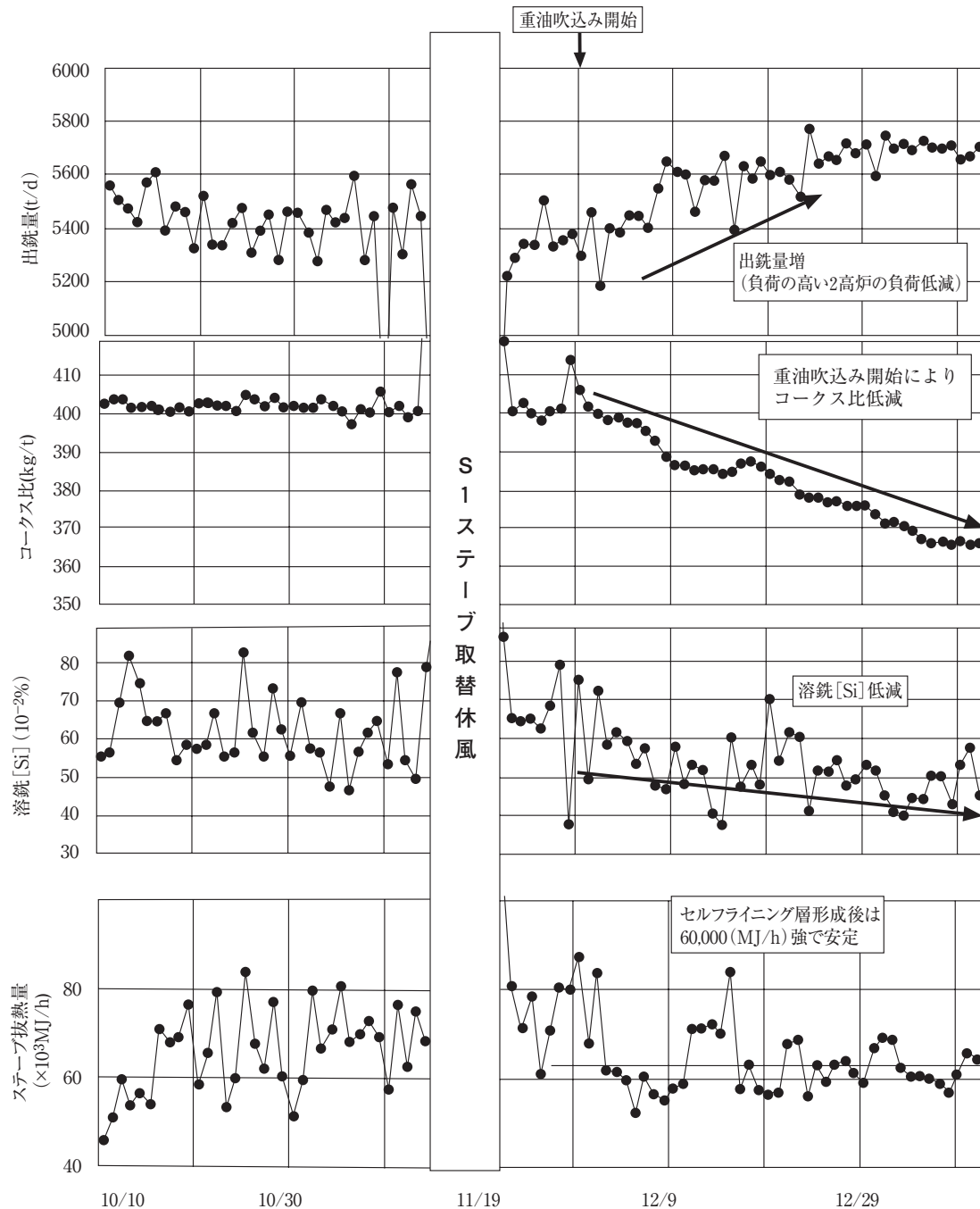


図10 S-1ステーブ取替前後の操業推移(H16/10/10~H17/1/8)

Fig.10 Transition of operation before and after the stave replacement (level S-1) (Oct.10, 2004-Jan.8, 2005).

### 5. B-2 ステーブ取替前後の操業実績

#### 5.1 操業計画の変更点

S-1 ステーブ取替前の減尺操業中に羽口破損が続発したことを受け、破損の原因を考察し (Fig.11), その対策をB-2 ステーブ取替計画に織り込んだ (Table 3)。

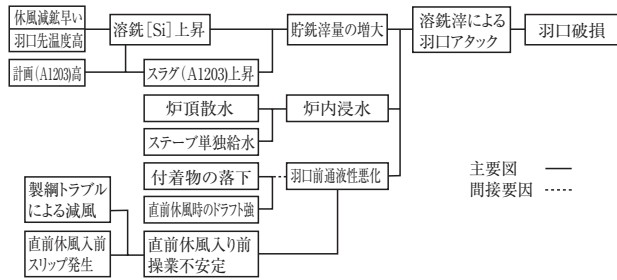


図11 羽口破損発生原因推定フロー

Fig.11 Flow to determine the causes of the tuyere break-down.

表3 B-2ステーブ取替休風操業計画での変更点

Table 3 Changes of operation plan for stove replacement

No.	変更点	目的	備考
1	事前休風の 不実施 炉頂散水ノ ズル改善	・事前休風のための熱補償による溶銑[Si]上昇→貯銑滓量増大の防止	・必要な工事を取替前の予定休風で実施
2	休風減縮の 変更 樋カバーの 改造	・事前休風実施による羽口前状況悪化の防止 ・散水ノズルの流量バランスを調整→ノズル対面の炉壁への水流の直撃を抑制 (炉内浸水の抑制)	・中心部水量過多を抑制
3		・最大減縮 (コークス比800 (kg/t) 装入量を低減し休風前溶銑[Si]上昇を抑制 →貯銑滓量増大の抑制	・休風前の溶銑温度目標溶銑[Si]目標を設定し、休風前に確実に着熱する
4		・減尺時の空吹きを確実に実施し、出銑滓を促進	・空吹き時アタックされる部位に定型耐火物使用

これまでは、減尺操業中の炉頂温度上昇を抑制するための炉頂散水ノズルの変更や、ガス爆発を防ぐための窒素吹込み孔開孔のために事前休風が必要であったが、Table 4 に示すようにその前の予定休風で実施しても問題ないと判断されたため、今回は事前休風を実施しなかった。

平成16年11月のS-1ステーブ取替休風入り操業では、最大減縮の装入量が多く[Si]=3.5%まで上昇し、貯銑滓量が上昇した (直前休風入り時：貯銑量210t, 貯滓量90t, ステーブ取替休風入り時：貯銑量30t, 貯滓量100t)。今回の

表4 事前休風で実施していた減尺設備関連工事

Table 4 Constructions for lowering of sounding level performed in the preparing step

No.	事前休風工事件名	従来の考え方	今回事前休風無しの根拠
1	炉頂散水ノズルの 変更	詰りや溶損の恐れがあるため減尺直前で変更実施	1.5ヶ月間炉内に設置したノズルの詰り・溶損なし→ノズルの耐久性からは3ヶ月休風で設置してもB2取替休風まで問題なし (流量測定によりノズル状態の定期確認実施)
2	シャフト気体吹込孔の開孔※1	詰りの恐れがあるため減尺直前で開孔	事前に開孔した吹込み孔は1.5ヶ月詰りなし→1.5ヶ月前に開孔すればB2取替休風まで問題なし (ハーজন2流量にて監視)

※1：破損ステーブの通水を窒素バージに切替可能なバルブも併せて設置 (一般系は銅ステーブがあるので実施せず)

休風では従来より最大減縮の装入量を低減することにより[Si]上昇を抑制し、出銑滓の促進を狙った (Table 5)。

S-1 ステーブ取替減尺操業時の空吹きにより、樋カバーに穴あきが発生した対策として定型耐火物の使用により強度を増したカバーを使用した (Fig.12)。

表5 B-2ステーブ取替休風操業計画での変更点

Table 5 Plans of ore decreasing rate during replacing staves (level B-2) and comparison with past results

実施時期	最大コークス比 (kg/t)	休風時間 (h)	溶銑温度 (°C)		溶銑[Si](%)
			休風入り	送風後初回	
平成16年5月	800×17ch	73.5	1557	1332	2.48
平成16年9月 (S2取替休風)	800×33ch (ブランク4ch)	55.0	1511	1321	3.49
平成16年11月 (S1取替休風)	800×47ch (ブランク4ch)	73.3	1526	1336	3.48
平成17年4月 (B2取替休風)	800×5ch (ブランク5ch)	79.0	≥1550 (目標)	≥1300 (目標)	≥2.00 (目標)

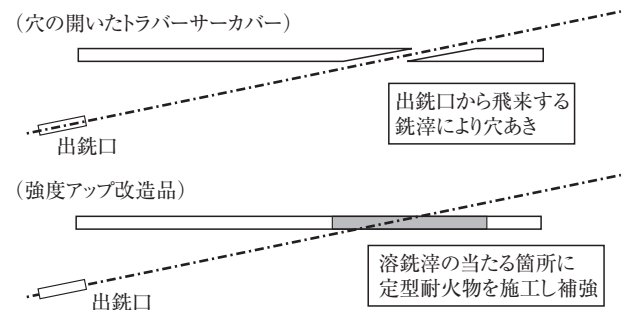


図12 樋カバーの改造イメージ図

Fig.12 Schematic diagram of remodeling the of gutter covers.

5.2 減尺操業実績

B-2 ステープ取替前の減尺操業実績をFig.13に示す。減尺操業は計画24時間（4/18 7:00~4/19 7:00; SL-22.5m）に対し、実績21時間25分（4/18 7:00~4/19

4:25; SL-22.8m）となった。休風入り時の着熱，溶銑[Si]の低減をTable 5に示した目標に近い水準まで達成でき，かつ炉内貯銑滓は炉外に完全に排出し，設備面等全て問題なく順調に減尺操業を実施することができた。

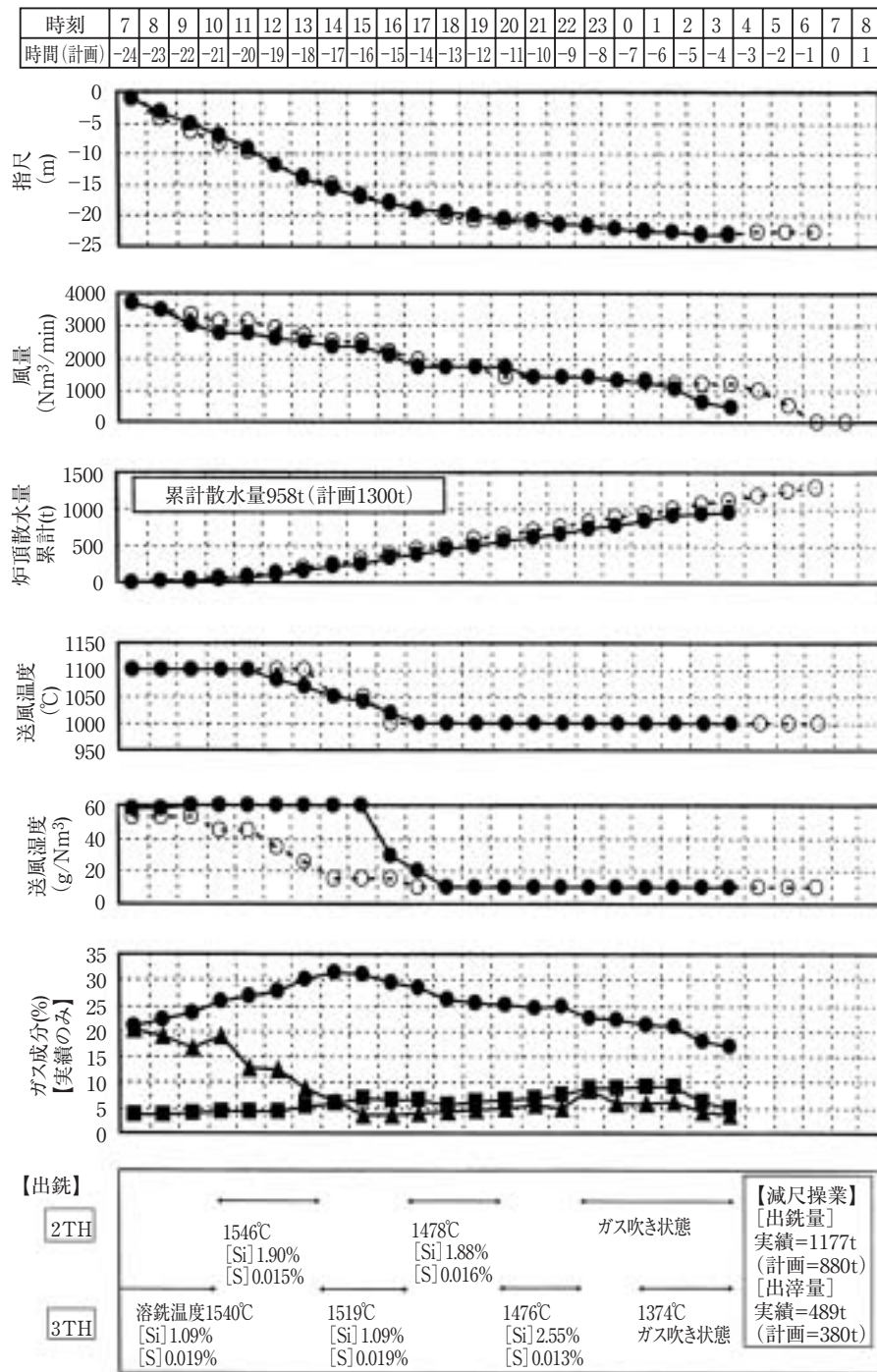


図13 B-2 ステープ取替前減尺操業実績 (○, - - : 計画, ●, — : 実績)  
 Fig.13 Results of operation before the stove replacement (level B-2).

5.3 立上作業実績

B-2 ステーブ取替休風立上実績をFig.14に示す。休風時間は計画79時間（4/19 7:00～4/22 14:00）に対し実績は78時間35分（4/19 4:25～4/22 11:00）であった。送風圧変動、装入物異常降下も無く非常に順調な立

上作業を実施できた。送風流量，PC戻しアクションも計画通り実施でき，炉熱は十分あったため送風温度・湿度戻しは当初より遅らせた。

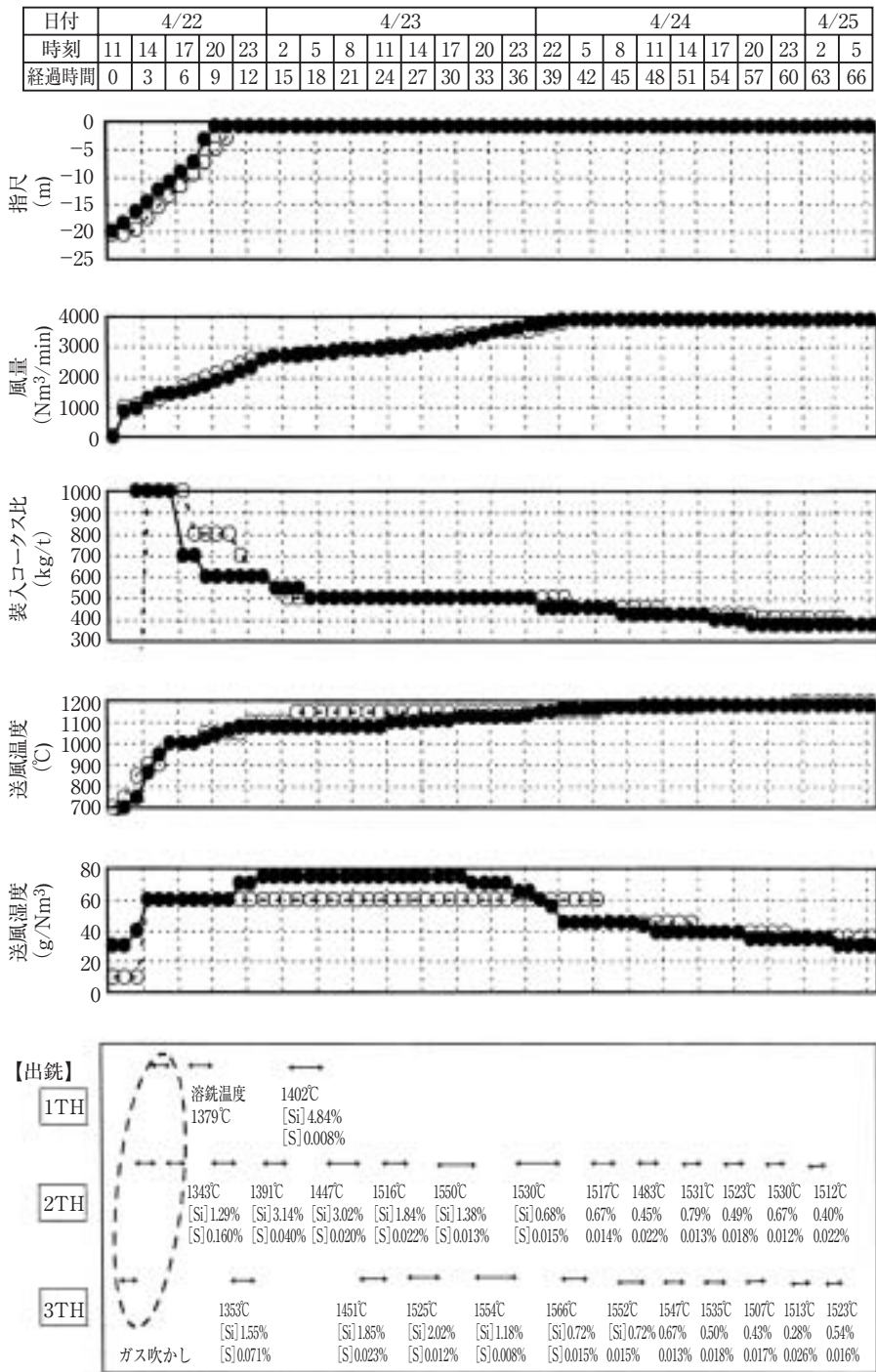


図14 B-2 ステーブ取替休風立上作業実績 (○, - - - : 計画, ●, — : 実績)  
 Fig.14 Results of operation after the stave replacement (level B-2).



(抜取直後)

(付着粉除去後)

図15 炉頂散水ノズル (約1ヶ月炉内で使用)

Fig.15 One of the water-sprinkling nozzle sets at the top of Kure No.1 BF (used for about one month therein).

## 5.4 操業計画の変更点の実績評価

### 5.4.1 炉頂散水ノズルの目視確認

休風入り後に抜き取った散水ノズルの写真をFig.15に示す。炉内から抜き出したノズルは付着粉が認められたが、ノズルの孔への詰りはなかった。また、付着粉除去後にノズルプラグを点検しても磨耗や溶損は認められなかった。

### 5.4.2 樋カバーの改造

5.1節で述べた通り、S-1ステーブ取替減尺操業時に樋カバーに穴あきが発生した対策として定形耐火物の使用により強度を増したカバーを使用した。結果、定形耐火物の非施工部に穴あきが発生したが、据付位置をずらして銑滓の飛散を抑えられた (Fig.16)。

## 6. 長時間休風における操業設計の考え方

銅ステーブへの取替の際には、長時間の休風と取替に必要なレベルまでの大幅な減尺が必要となる。長時

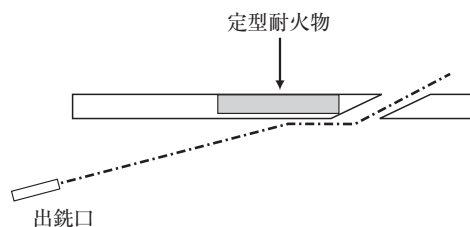


図16 定形耐火物施工箇所と銑滓飛散状況

Fig.16 The position where a fireproof material was filled and the situation of splashing iron and slag.

間休風に伴う炉熱低下を補うため、減鋳量も通常の休風より多めに設定しなければならないが、過剰な減鋳は溶銑 [Si] 上昇を招くため、適切な減鋳量を設定する必要があることを5章で述べた。さらに、立上時は減鋳により炉内装入物の荷重が通常よりも軽くなっていることを考慮しながら送風流量を戻さねばならない。そこで今までの長時間休風前後の操業実績を踏まえた考え方を述べる。

### 6.1 休風時間と溶銑温度低下

休風中には炉熱が低下するが、立上時に低下し過ぎてスラグの凝固が開始 ( $\leq 1,300$  (°C)) してはならない。そこで、ステーブ取替提案時には過去の長時間休風時の溶銑温度低下実績から、休風前に十分炉熱を確保したうえで休風できる時間は77時間までと推定したが、平成16年11月のS-1ステーブ取替時の実績から80時間程度なら休風できると考え、平成17年4月のB-2ステーブ取替時には79時間30分で計画した (Fig.17)。平成16年11月以降は、休風時間に対する溶銑温度の低下速度 (Fig.17上の傾きに相当) が小さくなっているが、これはステーブ取替を進めてきた結果、配管の破損したステーブから炉内への浸水量が減ったからではないかと推定できる。言い換えると、炉内浸水量が減ったことにより最大減鋳量を抑えても問題にはならない。今後の操業計画立案時には、その時点におけるステーブの破損状況を勘案したうえで減鋳量の設定を行うことが重要である。

### 6.2 立上時の送風流量の戻し方

休風立上操業の際、コークス比が高い場合は装入物の荷重が軽く炉内圧損が増えると吹抜けが発生するため、

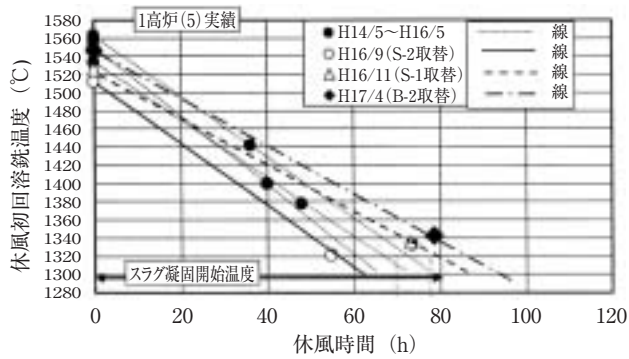


図17 1高炉(5) 休風時間と溶銑温度低下の関係 (H14/5～H17/4実績)

Fig.17 Relationship between the time of stopping operation and the decrement the hot metal temperature (May.2002-Apr.2005; results).

送風流量に限界がある。そこで減銼を戻す過程で炉内平均のコークス比を管理し、送風流量の戻しを行う必要がある (Fig.18)。

## 7. 結 言

呉1高炉(5)では、ステーブ導水路破損に対する抜本的対策として、鑄鉄ステーブから銅ステーブへの取替を開始し、これまでS-2×14枚、S-1×48枚(全数)、S-3×4枚、B-2×48枚(全数)の取替を完了した。平成16年11月のS-1ステーブ取替前には羽口破損が連続発生したが、その反省を踏まえ平成17年4月のB-2ステーブ取替時には計画の見直しを行うことで、非常に順調な作業を実施できた。

最後に、今回の銅ステーブ取替において取替休風前の減尺操業、取替工事および休風後の立上操業に際し、多大なる御協力を頂いた(株)住金鋼鉄和歌山 製銑部殿、住金プラント(株)殿を始めとする関係者の皆様方に心より御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 羽田野道春, 栗田興一, 山岡秀行, 横井 毅: 鉄と鋼, 68 (1982), 2377

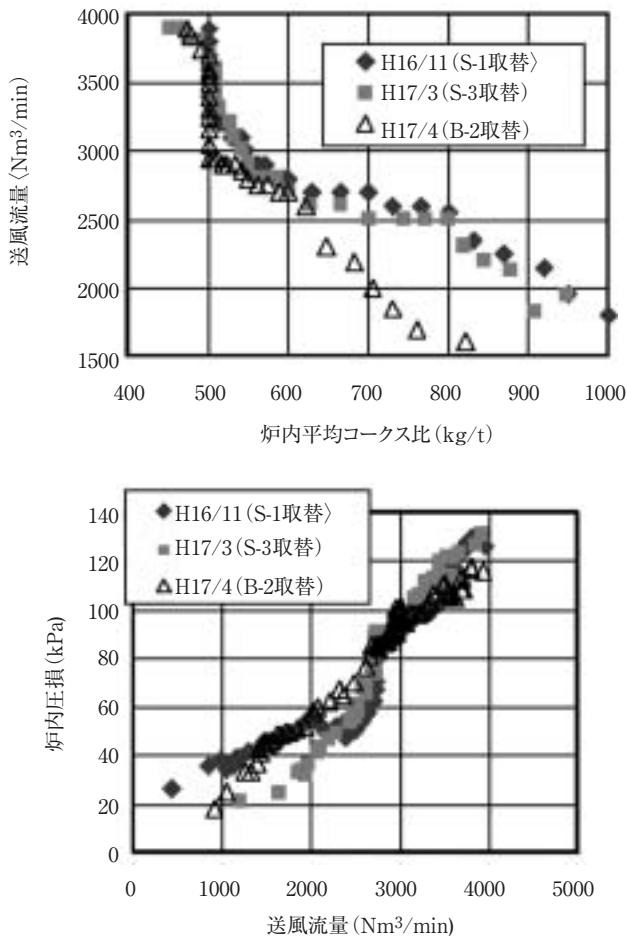


図18 1高炉(5)立上時の送風流量の戻し(H16/11～H17/4実績)

Fig.18 Transition of the recovering blast volume in Kure No.1 BF after the stove replacement (Nov.2004-Apr.2005; results).