

高炉プロフィールを長期安定化させる炉壁煉瓦 一体型ステーブの開発

論 文
//////////
//////////
//////////

伊藤 史生*・花房 章次*・竹井 良夫*
光安 拓治*・水野 葆祿*²

Development of a Stave Cooler with High Stability of Blast Furnace's Working Profile and without Brick Laying Work

Fumio ITO, Akitsugu HANAFUSA, Yoshio TAKEI,
Takuzi MITSUYASU and Yasuyoshi MIZUNO

Synopsis:

A total of 25 stave-cooled blast furnaces has been put into operation at Nippon Steel Corp. since 1969. NSC has been making to improve the campaign life of each stave-cooled BF to a extent. This paper refers to a new type stave cooler which can eliminate brick laying work. Aimed at reducing both the capital cost and the changing ratio of working profiel in the course of the wear of brick work through a campaign life, this stave was developed. As a result of the finite element method analysis of stave cooler's temperature distribution and thermal stress, it was drawn an inference that 600 mm including 200 mm cast-in brick layer replacing the function of conventional brick wall of 600 mm in thickness would be equivalent in the life of BF's campaign, and that under the high heat flux tapered rib would be useful for supporting cast-in brick.

This stave was put into practical use in the belly and shaft part of Kamaishi No. 1BF and Tobata No. 1BF, and is functioning satisfactorily.

Key words : ironmaking; cooling; refractory; stave cast iron; brick; constraction; profile blast furance.

1. 緒 言

高炉操業の安定化と長寿命化は、高炉設備企画にとって最大の課題である。特に高炉炉命律速部位であるシャフト下部のライニングと冷却システム技術、炉底構造については年々開発・改善がはかられている。

新日鉄は 1969 年名古屋 3 高炉に初めてステーブ冷却技術を採用した。ステーブ冷却技術の採用で炉頂圧力の大幅な上昇が可能となり、名古屋 3 高炉の炉一代出銹比は $2.32 \text{ t/m}^3/\text{d}$ と非常に良好であったが、炉寿命は 5.4 年で当時の平均よりやや短く、また炉末期の整備作業に多大の労力を要した。このため、高炉の寿命延長を考え、ステーブ冷却技術の改善を逐次行ってきた。

新日鉄ではステーブを延べ 25 基の高炉に採用し、現在 7 基が移動中である。この間の技術改善により、ステー

ブ方式の設備信頼性が飛躍的に向上した。高炉の炉寿命も現在では、装入物分布制御を中心とした操業技術の発展等も相俟って、広畑 4 高炉では 16 年が予定されている。

本論文では、ステーブ高炉の操業経験によって得られたデータに基づき、高炉の長寿命化を達成するために実施してきたステーブ冷却技術の改善内容と、高炉炉内プロフィールの安定化をねらい炉壁耐火物とステーブ本体を一体化した新ステーブの開発について述べる。

2. ステーブ冷却技術の改善の経過

2.1 ステーブの使用実績と改善のステップ

新日鉄においてこれまでステーブを採用した高炉 25 基の稼働実績を Table 1 に示す。新日鉄におけるステーブ技術の改善の経過は 4 つの世代に分けて考えることが

平成 3 年 11 月 8 日受付 平成 4 年 4 月 10 日受理 (Received on Nov. 8, 1991; Accepted on Apr. 10, 1992)

* 新日本製鉄(株)設備技術センター (Plant Engineering & Technology Center, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 299-12)

*² 新日本製鉄(株)設備技術センター (現:日本コールオイル(株)) (Plant Engineering & Technology Center, Nippon Steel Corp., Now Nippon Oil Coal Co., Ltd.)

Table 1. Performance data of stave-cooled blast furnace of NSC (Sept. '91).

Generation	BF	Inner volume m ³	Campaign life years	Cumulative production	
				×1 000 t	t/m ³
1st	Nagoya No. 3(1st)	2 924	5.4('69~'74)	13 481	4 611
	Muroran No. 4(2nd)	1 921	5.7('69~'75)	8 088	4 210
	Hirohata No. 4(1st)	2 548	6.1('70~'76)	10 684	4 193
	Nagoya No. 1(2nd)	2 518	6.5('70~'77)	10 169	4 039
	Kukioka No. 4(5th)	1 540	6.8('71~'78)	8 171	5 306
	Oita No. 1(1st)	4 158	6.9('72~'79)	20 545	4 941
	Tobata No. 4(1st)	3 799	5.6('72~'78)	16 258	4 280
2nd	Sakai No. 2(2nd)	2 797	9.4('72~'82)	15 717	5 619
	Nagoya No. 2(2nd)	2 520	6.4('72~'79)	11 113	4 410
	Muroran No. 1(5th)	1 245	9.2('73~'82)	7 466	5 997
	Hirohata No. 3(3rd)	1 691	8.5('74~'82)	7 700	4 554
	Kamaishi No. 2(9th)	1 730	11.1('74~'85)	10 050	5 809
	Nagoya No. 3(2nd)	3 240	9.7('74~'84)	22 126	6 829
	Tobata No. 1(3rd)	4 140	10.4('74~'85)	28 644	6 919
	Muroran No. 4(3rd)	2 290	10.2('75~'85)	16 133	7 045
	Oita No. 2(1st)	5 070	11.8('76~'88)	39 614	7 813
3rd	Hirohata No. 4(2nd)	2 950	14.7('77~)	26 989	9 149
	Tobata No. 4(2nd)	4 250	10.5('78~'88)	30 677	7 218*
	Nagoya No. 1(3rd)	3 890	12.5('79~)	34 993	8 996
	Oita No. 1(2nd)	4 158	12.2('79~)	36 841	8 860
	Nagoya No. 3(3rd)	3 424	6.8('84~)	16 478	4 813
	Muroran No. 2(1st)	2 296	6.2('85~)	9 881	4 304
4th	Kamaishi No. 1(7th)	1 260	3.7('85~'89)	3 104	2 464*
	Tobata No. 1(4th)	4 407	5.8('85~)	15 953	3 620
	Oita No. 2(2nd)	5 245	2.8('88~)	10 798	2 059

Note: * The reason for blown out is market condition

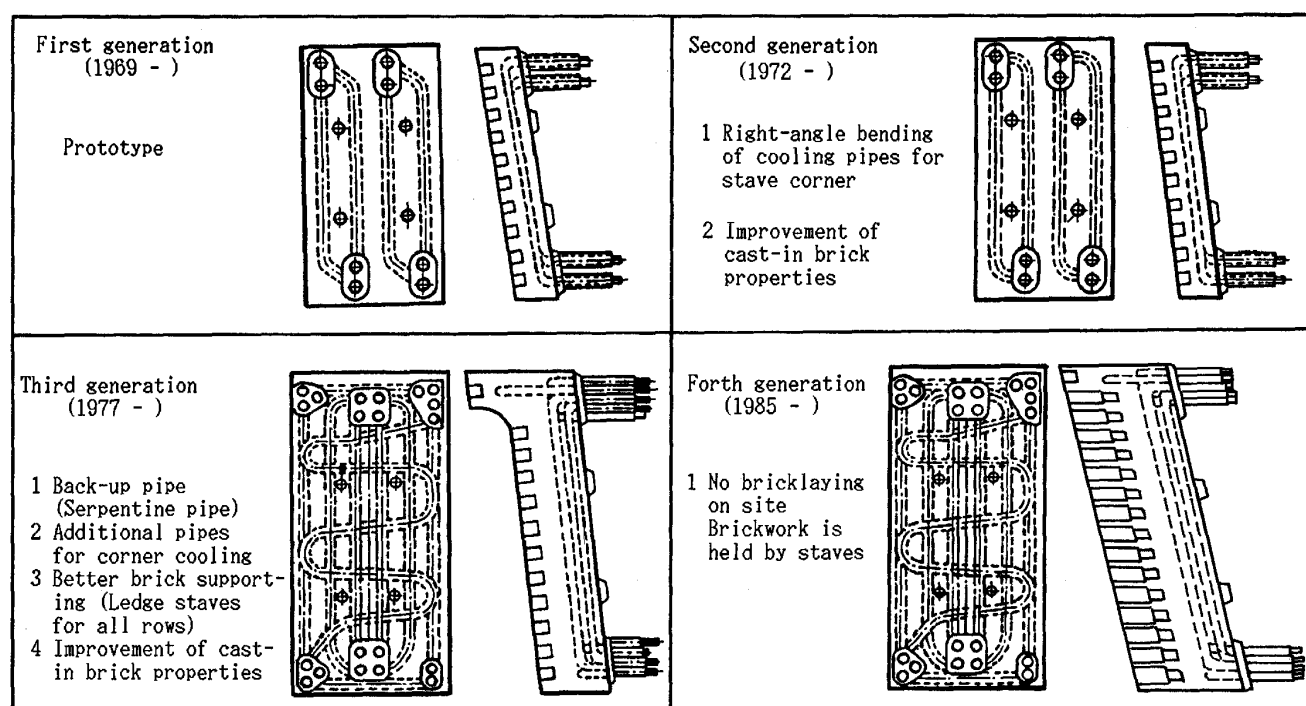


Fig. 1. Main improvement in stave cooling.

でき、その特徴は次のとおりである。すなわち、

(1) 第1世代 (1969~72年)

ソ連オリジナル技術を踏襲し、蒸発冷却を行った時期

(2) 第2世代 (1972~76年)

鑄込みパイプを直角曲げに改善し、強制循環冷却を採用した時期

(3) 第3世代 (1977~85年)

高熱負荷部位のステーブにコーナーパイプ、及び背面蛇管を増設した時期

(4) 第4世代 (1985年~)

壁煉瓦をステーブと一体鑄造した時期

Fig. 1 に各世代のステーブの改善経過を示し、以下に導入当初から第3世代に至る具体的な改善内容を述べる。

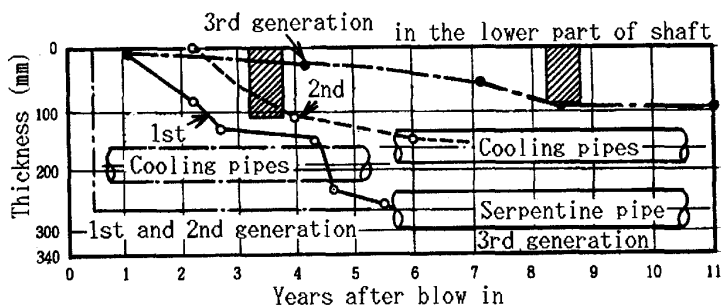


Fig. 2. Estimated wear of stove coolers.

Table 2. Chemical compositions and mechanical properties of material of stove proper.

	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Resistance to thermal shock	Thermal conductivity at 673 K (W/mK)
FCH	147	0	30~40 times	40~46
FCD	392	20	600 times	29~35

FCH: C=3.3~3.5 Si=1.7~1.8%
 FCD: C=3.4~4.0 Si=1.5~2.5%

2.2 冷却システムの改善

当初の蒸発自然循環冷却方式¹⁾では、炉の熱負荷の状況によっては一部のパイプに流量アンバランスを生じ、循環水量も不安定になることが観察された。この現象は実験的にも確かめられ²⁾、円周方向で、経時的に熱負荷変動の多い状態では信頼性に欠けることが判明した。対策としてドラムからの下降管路にポンプを設置した温水強制循環方式が1973年より採用された。更に炉底煉瓦の側壁温度低下対策も考慮して1975年より冷純水強制循環方式³⁾に移行して現在に至っている。

2.3 ステーブ本体の改善

第1世代の高炉の稼働中の調査及び吹止後のステーブの損耗状況調査⁴⁾から、ステーブ本体の強化、特にコーナー部の冷却強化の必要性が認識された。本体強化はステーブ母材の材質変更、冷却パイプの増強によって行われた。

母材材質は導入時低クロム鋳鉄（以下FCHと記す）であったが、コーナー部母材の脱落現象から母材の割れの発生が原因と推定されたので、割れに強いダクタイル鋳鉄（以下FCDと記す）の使用を検討した。Table 2に両者材質と機械的性質の比較を示す。繰り返し熱疲労テストの結果でもFCDが優れており、1971年洞岡4高炉で一部試用され、その後標準材質とした。

一方冷却パイプの増強はFig. 1に示したように、第2世代ではコーナー部の冷却強化のためパイプ曲げ角度を大きく（通称直角曲げ）した。第3世代ではコーナー冷却用パイプ⁴⁾、背面蛇管設置により冷却能を積極的に強化するとともに、ステーブ単体内に6本のパイプを配置して目地数を減らす措置がとられた。また、第2世代

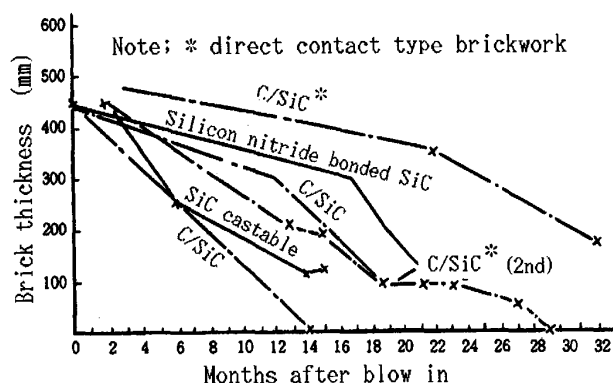


Fig. 3. Lining wear in the lower part of shaft.

から第3世代への移行時、背面蛇管の設置によりステーブ厚さは270 mmから340 mmに増した。

今までに述べた冷却システム、ステーブ本体の改善によって、Fig. 2に示すようにステーブの損耗速度が低下した。ステーブの損耗が冷却パイプより炉内側で停滞するようになり、従来問題となった冷却パイプの破損も減少し、高炉鉄皮亀裂は皆無となった。第3世代ステーブを採用した広畑4高炉は炉寿命16年以上が予定されている。

2.4 耐火物の改善

ステーブ・リブ内鑄込み煉瓦は、当初シャモット質であったが、高炉朝顔部に耐スラグ性を重視しハイアルミナ質、更にシャフト部に耐アルカリ性に着目し純アルミナ質を採用し、1977年より炭硅煉瓦とした。

ステーブ炉内側の煉瓦積み用耐火物も当初シャモット質であったが、耐アルカリ性、熱衝撃性、高熱負荷部では熱伝導性を重視した改善を行った。その結果、高熱負荷部では黒鉛炭硅煉瓦を1974年より採用している。しかし、ステーブ冷却方式が基本的に持っている煉瓦支持力の不安定さゆえに耐火物の寿命は、煉瓦の材質の違いで大きな差異が認められず、Fig. 3に示すように高熱負荷部では1~3年の寿命であった。

3. 第4世代ステーブの開発

3.1 開発の経緯

第4世代ステーブは高炉の稼働中のプロフィールの安定化をねらい開発した。高炉の炉体侵食にともなうプロフィールの変化は高炉操業に影響を与える。ステーブ冷却方式の場合、炉内側の煉瓦積みの厚さは500~600mmあるが、高熱負荷部では比較的早期に侵食を受け、侵食の遅いシャフト中・上部に比して断面積が急激に拡大し、壁側での混合層形成⁵⁾⁶⁾を引き起こす。また炉壁の不等損耗による円周バランス悪化もおおおうにして生じる。これらにより炉内ガス分布の変化や炉下部不活性の問題が発生することになる。この問題を解決するためには、炉壁煉瓦を薄くして侵食を受けても断面積が急激に拡大せず、かつ薄壁にしても高炉の寿命を損なわない炉壁構造とすることが必要となる。

第3世代ステーブの実績 (Fig. 2,3) では、高熱負荷部で炉壁煉瓦の損耗速度が20~40mm/月であるのに対し、ステーブ母材の損耗速度は約1.5mm/月にすぎず1/10以下であった。そこで、炉壁煉瓦の壁厚を減らし、薄くなって煉瓦の寿命が短縮する分をステーブ本体の厚さを増して補うことを考えた。また、ステーブと壁煉瓦を一体铸造とすることで炉壁の煉瓦構造の安定をはかるとともに、あわせて建設工事の簡素化による工期短縮をはかることも狙いとした。

設計条件としては、炉壁煉瓦とステーブ本体の総合寿命は第3世代ステーブと同等とする前提に立ち、焼成煉瓦をステーブ本体と一体に鑄込む構造とした。本構造において、従来の炉壁煉瓦を鑄ぐるみ煉瓦と呼ぶ。鑄ぐるみ煉瓦は、火入れ昇温時のステーブ本体への熱衝撃をさけるためにも有効である。更に炉内に突き出した煉瓦受け支持ステーブ (以下Γステーブと記す) によって、炉内上昇ガス流れが阻止され炉壁から遠ざけられて、Γステーブ直上のステーブ目地部を保護する効果があると考え、従来どおりΓステーブを残し、その突き出し長さは鑄ぐるみ煉瓦厚さ相当とした。

以下に、ステーブ本体の肉厚増の検討、及び鑄ぐるみ煉瓦支持方法の検討について詳細に述べる。

3.2 ステーブ肉厚増の検討

3.2.1 ステーブ母材の損耗機構

過去のステーブ解体調査から損耗機構を、下記のように推定した。炉腹部以上のステーブでは、Photo. 1に示すように、炉内側の表面 (FCH; 20mm, FCD; 5mm) にマトリックス中の黒鉛部が消失し、酸化を受けた劣化層が観察される。この過程は次のように考えられる。

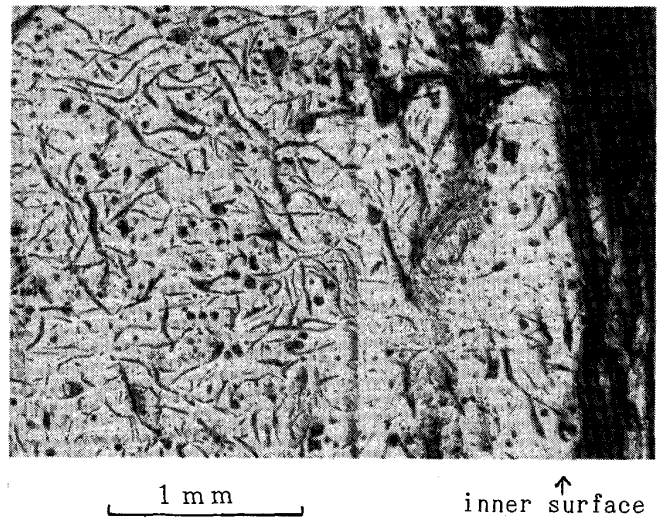


Photo. 1. Microphotography of inner surface of stove cooler Nagoya No. 3 B.F. used.

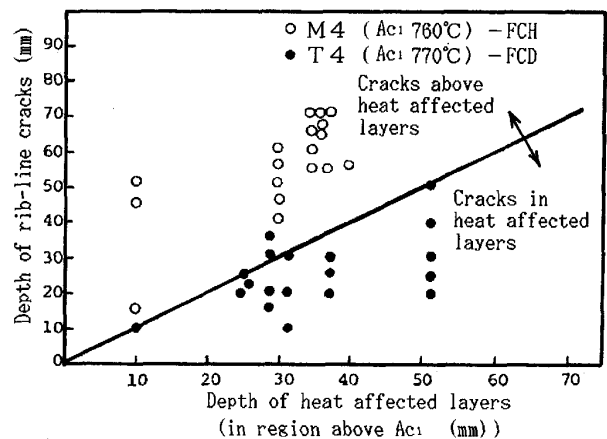
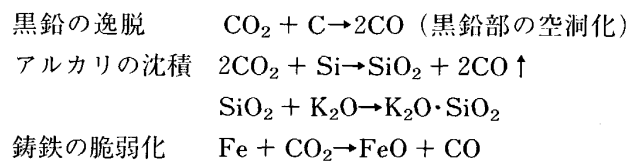


Fig. 4. Relationship between depth of heat affected layers and depth of rib-line cracks.



材質劣化の主要因は母材に侵入した CO_2 であり、 CO_2 と黒鉛の反応は $709^\circ C$ で開始し、温度上昇とともに促進される。一方、リップ先端等ステーブ表面には大小の熱応力によるクラックが観察されている。調査によると Fig. 4 に示すように、クラックの深さは FCD 材の場合、 Ac_1 変態点 ($770^\circ C$) 以上の熱影響を受けた範囲にとどまっている。更に、解体調査とオフラインでの熱履歴シミュレート試験での組織比較から、ステーブ残存部の熱変質層の最高履歴温度は $900^\circ C$ 以上であることが判明した。

以上の結果から、母材の損耗は温度支配要素が強く、

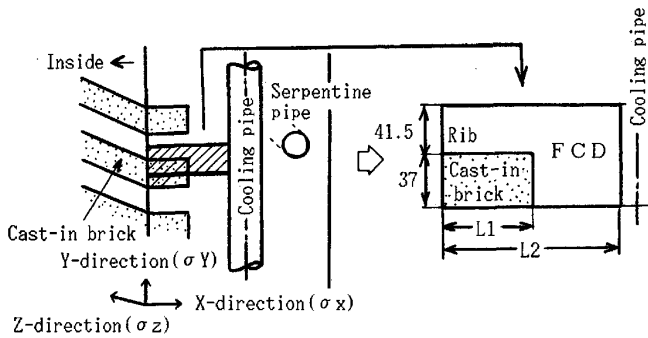


Fig. 5. Heat transfer model (FEM).

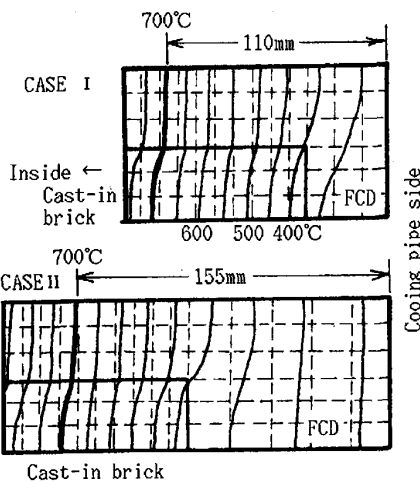


Fig. 6. Temperature distribution in stave cooler.

Table 3. Calculation condition for FEM model.

	Thermal conductivity W/(mK)	Specific heat J/(kg·K)
FCD	46~23*	550~710*
C/SiC	7~3*	1050~1260*
FCD	Young's modulus 9.8~17.7×10 ⁴ N/mm ² *	
FCD	Poisson's ratio 0.3	
Total heat transfer coefficient between cooling water and FCD 240 W/(m ² ·K)		

Note: * Depends on temperature

今回の検討では、700°C以下では母材材質は健全であり、かつ900°Cまで母材は充分構造上機能すると考えた。

3.2.2 ステーブ母材内の温度分布推定

有限要素法によりステーブ母材厚増によるステーブ母材内の温度分布及び応力分布変化の推定を行った。採用したモデルは非定常2次元平面歪モデルであり、Fig. 5に示す。解析対象は、鑄ぐるみ煉瓦脱落后の鑄込み煉瓦とリブを含む炉内と冷却パイプ間の領域である。境界条件として、温度条件はx方向は加熱、y・z方向は断熱とし、応力条件はx方向は自由、y・z方向は拘束条件とした。熱負荷パターンは実炉測定値をもとに、67~251 MJ/m²hの150 minのステップ応答に近似したパターン

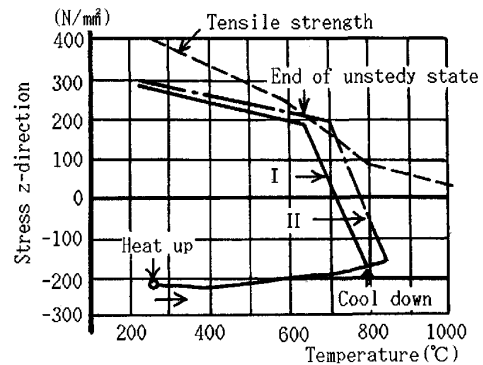


Fig. 7. Temperature and stress of Z-direction on unsteady state.

とした。その他計算条件をTable 3に示す。第3世代(ケース I (L1 = 90, L2 = 130 mm, 全厚 = 340 mm))と、鑄込み煉瓦は同じで肉厚を60 mmアップした第4世代(ケース II (L1 = 90, L2 = 190 mm, 全厚 = 400 mm))の2ケースを検討した。

計算結果をFig. 6に示す。冷却パイプから700°Cラインまでの長さは、ケース Iで110 mm、ケース IIで155 mmとなり、肉厚60 mmアップにより炉内側へ45 mm押し出され、母材温度の低下が期待できる結果となった。但し、先端部の700°C以上の範囲は若干増加している。この45 mmは、第3世代の母材の損耗速度1.5 mm/月で換算すると約2.5年に相当する。これは炉内側の従来の炉壁煉瓦壁厚を600 mm(寿命3年)から鑄ぐるみ煉瓦厚200 mm(期待寿命1年)に薄くすることによる寿命短縮2年分を補い、炉代寿命を第3世代並みに出来ると考えた。

3.2.3 熱応力の検討

母材厚の増加が熱応力面で問題とならないか、前節のモデルにて検討した。計算結果は、FCDのリブ先端部に発生する応力の絶対値がx方向は10 N/mm²以下、y方向は100 N/mm²以下であるのに対し、z方向はFig. 7に経時変化を示すように300 N/mm²の値を示す。z方向応力が最大値を示すことは、リブ直角方向のクラックが多いステーブ解体調査の知見とよく一致している。ケース I, IIとも非定常状態終了直前で応力と温度が最も厳しい状況となる。第3世代のケース Iではこの時の温度における母材の引張り強さをこえないが、肉厚増としたケース IIの場合、母材の引張り強さを超えるので、表面クラックが入り易いことが懸念される。しかし母材寿命に影響する要素は繰返し熱疲労であり、Fig. 8に計算結果の歪-応力線図とFCDの熱疲労特性を示すが、ケース IIはIより歪振幅(Δε)が増大するこ

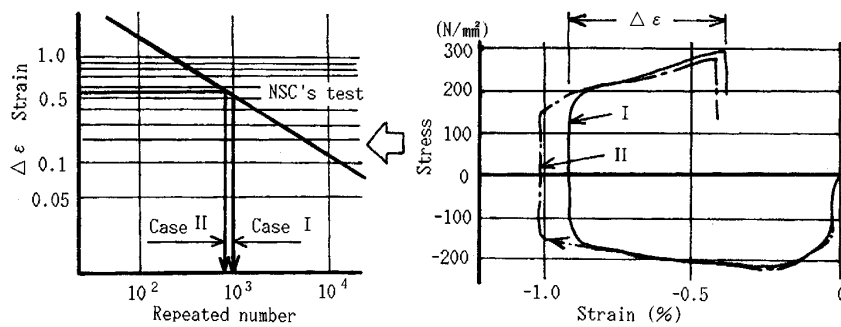


Fig. 8. Character of FCD's thermal fatigue.

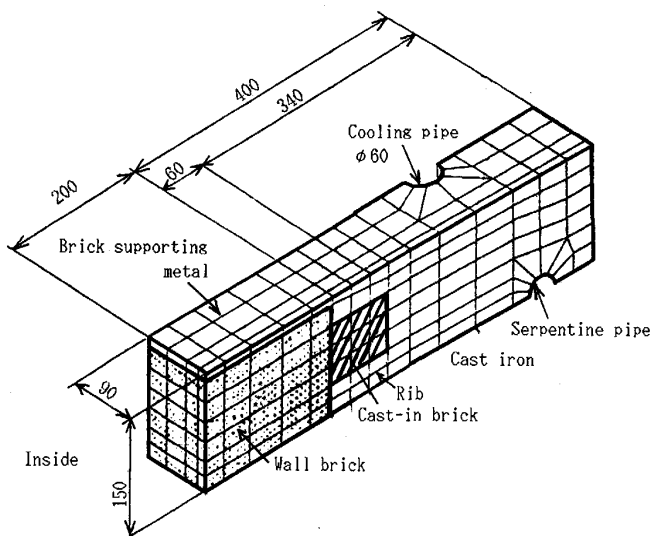


Fig. 9. Heat transfer model of 4th generation stave cooler.

となるが、繰返し数から判断すれば、100回/Life程度の差であり、決定的な要因とはならない。

従って、解体調査結果で、 A_{c1} 変態温度域内でクラックが止まっている事実から、母材温度の低い範囲が広いケース II の第4世代ステーブの条件が有利と考えられた。

3.3 鑄ぐるみ煉瓦支持方法の検討

3.3.1 薄リブによる支持構造

長さ 200 mm、厚さ 100 mm の鑄ぐるみ煉瓦を安定支持するにはリブのピッチは煉瓦 3 段が限度と考えた。一方、煉瓦 1 段ごとのリブ設置は煉瓦の拘束割れと炉内面鑄物面積の拡大による伝熱量過多が懸念される。従って炉内温度条件に応じて低熱負荷部には 2 段ピッチを、高熱負荷部には 3 段ピッチを選定した。

リブの肉厚は伝熱量を極力下げるため薄肉化をはかった。また、煉瓦支持上有利なテーパ付(根元 20 mm、先端 40 mm)形状とした。

煉瓦形状はリブ形状に合わせたテーパ付とし、煉瓦支持効果向上策としての嵌合構造の採用は、亀裂発生の

Table 4. Calculation condition for FEM model.

		Thermal conductivity W/(mK)	Specific heat J/(kg·K)
FCD		46~23*	550~710*
Brick	C/SiC	7~3*	1050~1260*
	Fireclay	1~2*	840~1040*
	Hi alumina	1~2*	840~1250*
Total heat transfer coefficient			
between cooling water and FCD		210 W/(m ² ·K)	
between FCD and atmosphere		2 W/(m ² ·K)	
between stave and inner gas		230 W/(m ² ·K)	

Note: * Depends on temperature

原因となるので見送った。

3.3.2 鑄ぐるみ煉瓦支持部の温度分布推定

鑄ぐるみ部の温度推定を、有限要素法により行った。Fig. 9 に採用した 3 次元定常熱伝導計算モデルを示す。本モデルは、鑄ぐるみ煉瓦が健全な時の第 4 世代ステーブを炉半径方向に切り出したものである。検討ケースはシャフト下部と中上部に分けた。ステーブ材質は FCD であるが、鑄ぐるみ煉瓦と鑄込み煉瓦は、シャフト下部は黒鉛炭硅煉瓦、中上部はハイアルミナ煉瓦とシャモット煉瓦とした。炉内温度は、シャフト下部が 1200°C、中上部で 1000°C を仮定し、それぞれ薄リブテーパ有り(根元 20~先端 40 mm)と無し(フラット厚 20 mm)で検討した。その他計算条件を Table 4 に示す。なお、薄リブ厚さによる薄リブ先端温度への影響も別途検討したが、温度の差異はわずかであることを確認した。

Fig. 10 に計算結果を示す。シャフト下部と中上部とも薄リブにテーパをつけることによる温度上昇は 20°C 程度であり、煉瓦脱落防止をはかる上からテーパ付とすることにした。次に薄リブ内温度分布について見ると、シャフト下部では母材が構造上充分機能すると考えられる 900°C ラインが薄リブ長の約 1/2 にある。従って、炉内温度が 1200°C の定常状態においても、薄リブが消失することなく鑄ぐるみ煉瓦の長さの半分は支持できると推定した。薄リブ先端温度はシャフト下部では 1050°C、シャフト中・上部では 750~800°C であった。

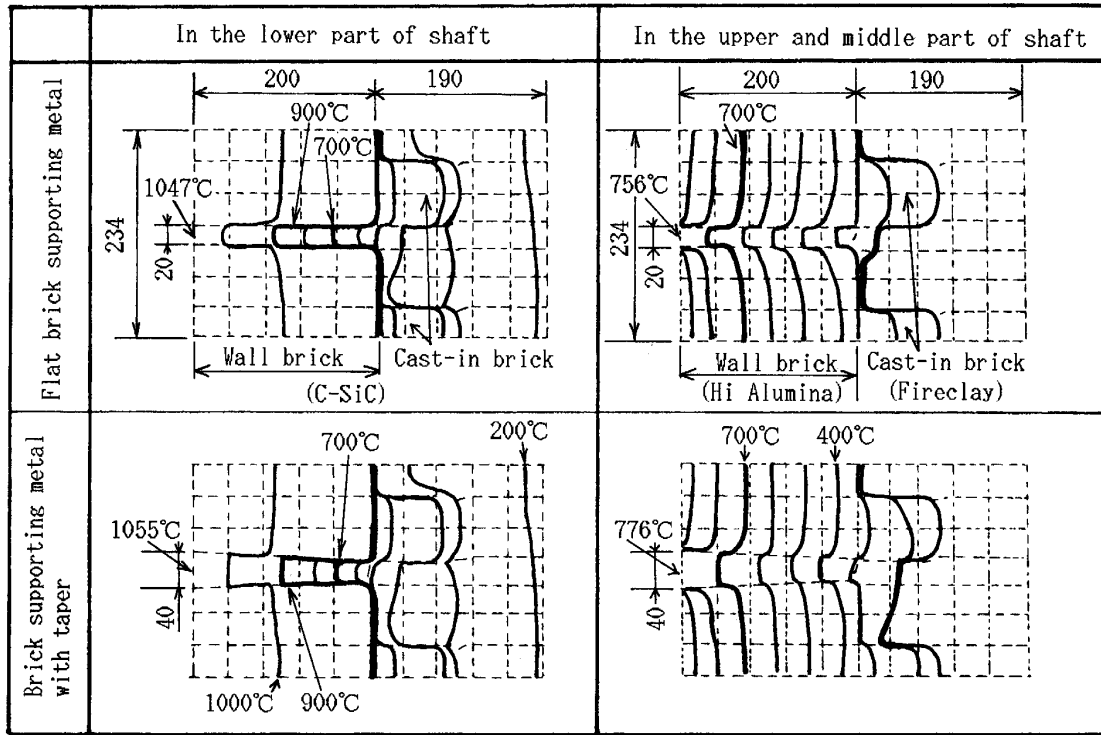


Fig. 10. Temperature distribution of brick supporting metal.

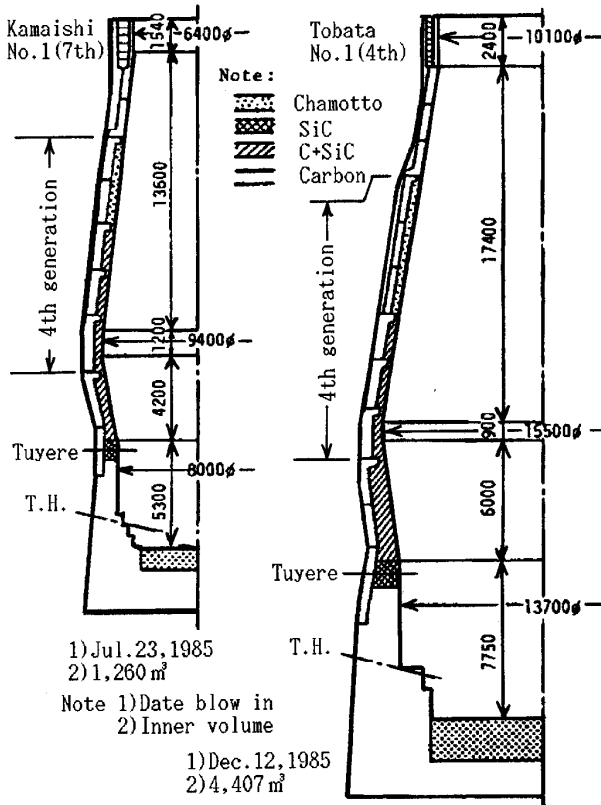


Fig. 11. Characteristic design of Kamaishi No. 1 B.F. and Tobata No. 1 B.F..

3.4 第4世代ステーブ熱負荷試験

第4世代ステーブの鑄造試験及び熱負荷試験を実施した。鑄造試験では、薄リブによる煉瓦支持方式の製作の可能性と、鑄物組織の健全性を確認した。熱負荷試験では、鑄造試験で製作したステーブを使用し、1200°Cまで昇温後、500°Cまでの冷却・再加熱の繰返し試験を行い、高温状態における鑄物及び煉瓦の挙動、耐熱衝撃性を調査し、リブの変形や亀裂がなく、煉瓦の亀裂もないことを確認した。同時に各部温度測定をおこない、温度測定結果と伝熱計算モデルとがほぼ一致することを確認した⁷⁾。以上により第4世代ステーブの実機化開発は完了した。

3.5 高炉改修への適用

第4世代ステーブの高炉改修への適用は、Fig. 11に示す1985年の釜石1高炉、戸畑1高炉よりおこなわれた。高炉の炉内プロフィールの設計にあたっては、鑄ぐるみ煉瓦損耗後の高炉高さ方向のプロフィールの平滑性に留意した。特に、Γステーブの配置は、プロフィールの平滑性とステーブ寿命確保の両面から検討し決定した。

4. 開発技術の評価

釜石1高炉は1985年7月火入れ、89年3月生産調整のため吹止をした。また戸畑1高炉は1985年12月火入れで、現在順調に稼働中である。両高炉のステーブの

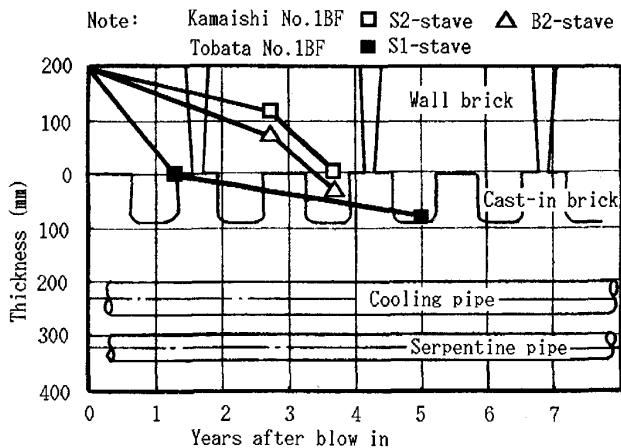


Fig. 12. Estimated wear of stave cooler.

損耗推移を Fig. 12 に示す。図中のプロットは炉壁ボーリング結果である。

釜石 1 高炉のデータから铸ぐるみ煉瓦は B2 から S2 レベルの高熱負荷部で約 3 年残存したと考えられる。吹止後の解体調査によれば、S2 レベルより上部は铸ぐるみ煉瓦が残存し、S4 レベルでは元厚の 1/4 の約 50 mm 残存していた。また铸ぐるみ煉瓦が残存していた部位の薄リブは、残存煉瓦よりも更に炉内に突き出した形で残存していた。一方、戸畑 1 高炉の高熱負荷部の铸ぐるみ煉瓦は 15 ヶ月で脱落した。これは期待寿命の 1 年をこえるものであったが、铸ぐるみ煉瓦の残存期間を極力伸ばすことは高炉の長寿命化につながると考え、その後の大分 2 高炉改修では煉瓦支持強化のため高熱負荷部及びシャフト上・中部とも薄リブを 1 段ピッチに変更した。铸造時の工夫で煉瓦の拘束割れに対処した。薄リブ増設により伝熱量増加の問題があるが、铸ぐるみ煉瓦支持強化を優先させた。

戸畑 1 高炉のステーブの母材損耗はリブ底近くまで進んでいるが、その速度は約 1.5 mm/月となっており、

第 3 世代ステーブと同様である。今後の推移をみる必要はあるが、母材残存厚が減少するに従い冷却効果が高まることから、当初期待した寿命が達成できると考えられる。

5. 結 言

新日鉄ではステーブ技術の改善を強力に進め高炉の長寿命化を達成してきた。この技術をベースに、炉体寿命を損なうことなく炉体プロフィールの安定化と改修工期短縮を狙いとする薄壁铸ぐるみステーブ（第 4 世代ステーブ）を開発した。

開発にあたっては、豊富なステーブデータをベースに有限要素法を駆使した温度分布推定と熱応力解析による設計を行った。また、実機大ステーブを製作し熱負荷テストを実施して、製造及び機能の確認を行った。

釜石 1 高炉と戸畑 1 高炉の改修時に本ステーブを採用し、その後の経過観察と解体調査により満足すべき成果が確認された。

本ステーブは、その後大分 2 高炉改修で改善・採用され、さらに 2 基の高炉で採用を計画中であり、高炉の改修工期短縮、操業安定化、及び長寿命化への効果が期待されている。

文 献

- 1) 鉄鋼技術の進歩編集委員会編: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 489
- 2) 長谷川 晟, 石川 泰, 竹井良夫: 第 10 回 McMaster Symposium, Hamilton, Canada (1982)
- 3) 宮嶋信雄, 岩熊孝雄: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2099
- 4) 山本崇夫: 第 116・117 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1987), p. 141
- 5) 一田守政, H. Biauxser: 鉄と鋼, 69 (1983), S61
- 6) 稲垣憲利, 徳永正昭, 野宮好堯, 松田正義: 鉄と鋼, 67 (1981), S23
- 7) 山本崇夫, 水野葆祿, 松倉慎一郎, 諸富正秋: 鉄と鋼, 72 (1986), S922