

© 1982 ISIJ



高炉設備技術の最近の進歩

宮 嶋 信 雄*・岩 熊 孝 雄*

The Progress of the Plant Engineering for the Blast Furnace

Nobuo MIYAJIMA and Takao IWAKUMA

1. 緒 言

日本の鉄鋼業は日本経済の発展に伴う基礎資材としての鉄鋼需要の大幅な伸びとともに 1955 年以来目覚ましい成長をとげ粗鋼生産高は飛躍的に増大した。この成長は鉄鋼業の積極的な設備投資による既存製鉄所の近代化と大規模な臨海製鉄所のあいつぐ建設によるものである。

製鉄設備自体も図 1 に示す高炉々容の拡大にみられるように生産量増大と生産コスト低減のために逐次大型化された。しかし戦後一貫して続いてきた高度成長は 1973 年の石油ショックの影響を受けて終了し、1973 年に約 12000 万 t に達した粗鋼生産高は 1975 年以降 10000～11000 万 t で推移している。この低成長下にあつては原燃料のコストプッシュを吸収するコストダウン技術、省資源・省エネルギー技術の開発、設備の長寿命化、製品の高付加価値化等が重要となつている。

2. 高炉設備の変遷

高炉設備の変遷は時代のニーズに対応した形で次の 3 期間に大別できる。

- ①高度成長期 (1955～1970 年)
臨海製鉄所の建設、設備の大型化・近代化
- ②調整期 (1971～1973 年)
公害防止・自動化・省力化技術
- ③低成長期 (1974～)
省エネルギー・省資源・省力化・寿命延長技術

2.1 高炉設備の大型化

高炉設備の大型化は 1964 年の 2000 m³ 高炉の稼動以来顕著になり、1971 年に 4000 m³、1976 年に 5000 m³ 高炉の稼動をみるに至つた。高炉大型化のメリットは生産量の大幅な増加と銑鉄 t 当たりの建設費・生産コストの低減にある。従つて、出銑比と燃料比を向上させながら大型化を行つていく必要があり (図 1 参照)、大型化の実現は高炉操業技術の進歩と設備技術の進歩に負うところが大きい。高炉の大型化を支えてきた技術は下

記のものである。

- ①高炉装入原料の整粒強化と強度の向上
- ②高炉々体の径拡大に対応した炉内反応の解明と対応操業技術の進歩
- ③装入原料の炉内分布制御設備・技術の進歩
- ④炉内状況その他の各種計測機器の進歩
- ⑤設備の信頼性向上と設備保全技術の進歩
- ⑥大型重量設備の製造・建設技術の進歩

これらの技術は高炉の新設改修の度に最新のものが積極的に採用され、稼動結果を次の建設に反映させる繰り返しの短期間に行い長足の進歩を遂げた。

2.2 低成長時代への対応

1973 年の石油ショックによる原燃料価格の高騰により鉄鋼の製造コストが大幅に上昇した。原燃料のほとんどを輸入に頼る日本では石炭、鉱石、石油の価格上昇は直接銑鉄コストにはね返るためこのコストプッシュを吸収する必要が高まつている。従つて、設備の大型化の傾向、改修による高炉の拡張は少なくなつた。

2.2.1 オイルカット操業

重油とコークスの価格差メリットのため大半の高炉で重油吹き込みを中止しコークス 100% 使用のオールコークス操業に転換した。図 1 および 2 に示すごとく 1980 年以降顕著に重油吹き込み量が減少している¹⁾。重油に代わる代替燃料吹き込み技術の開発は鋭意行われており、コークス製造過程で発生するタールの吹き込みの他に最近羽口から微粉炭を直接吹き込む技術²⁾、微粉炭を

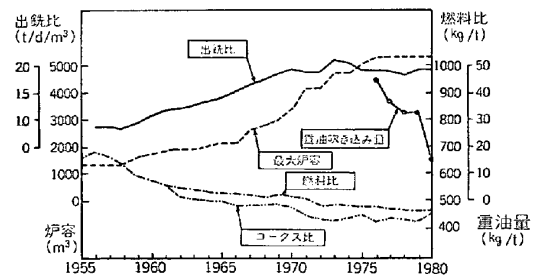


図 1 高炉大型化と出銑比・燃料比の推移¹⁾

昭和 57 年 3 月 15 日受付 (Received Mar. 15, 1982) (依頼解説)

* 新日本製鉄(株)設備技術本部 (Plant Engineering & Technology Bureau, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yawatahigashi-ku Kitakyushu 805)

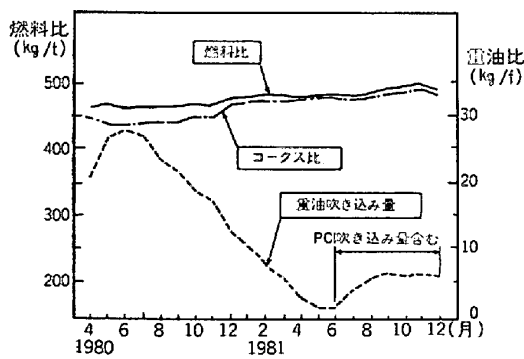


図 2 新日鉄における燃料比の推移

重油とのスラリーにして羽口から直接吹き込む技術³⁾が一部の高炉で採用されている。

2.2.2 設備の長寿命化

高炉設備は炉体の内張りレンガ、冷却装置等の修理のため火入れ後 6~7 年で吹き止めし改修工事を行っている。改修工事は 100 億円を越す費用と 100 日を越す休止期間を必要とするため企業にとって大きな負担となる。設備の寿命を延ばして改修工事の頻度を少なくすることは生産上の機会損失の減少と投資回避のメリットとなる。新日鉄君津 3 高炉は 4000 m³ 高炉として初めて寿命 10 年を達成し累計出鉄量は 3000 万 t を超えている。長寿命化の達成は操業側の炉体保護操業技術の確立に負うところが大きい、設備技術の改良として重要なものは下記のとおりである。

- ①内張りレンガの改良 (材質, レンガ積構造)
- ②炉体冷却設備の改良 (冷却システム, 構造, 材質)
- ③装入装置, 装入分配装置の改良 (分布形状改善, 分布制御技術の向上)
- ④設備の耐久性の向上 (耐熱性, 耐摩耗性, 耐食性)
- ⑤測定機器の改良, 開発と情報活用システムの進歩
- ⑥設備保全技術の向上 (診断技術・補修技術)

2.2.3 省エネルギー設備

製鉄部門のエネルギーバランスを図 3 に示す⁴⁾。本例では全製鉄所購入 1 次エネルギーの約 85% が製鉄部門に投入され、副生ガス約 15% とタール 4% が系外に排出されるため約 65% を製鉄部門で消費する。高炉設備はコークス、重油、送風頭熱を主入熱とする反応炉である。送風空気は熱風炉で高炉・コークスの副生ガスにより 1300°C 前後の高温に加熱され高炉に送られる。この熱風炉では 300~350°C の燃焼廃ガスの頭熱を回収し熱風炉の燃焼用空気およびガスを予熱する廃熱回収設備が実用化されている。

高炉は 1.5~2.5 kgf/cm²G の炉頂圧力で操業されており、高炉ガスはガス清浄設備で除塵され、600~800 mmAq の圧力に減圧されて各種燃料ガスとして使用されている。高炉ガスのもつ圧力エネルギーを回収して発電する炉頂圧発電設備が表 1 に示すごとく現在国内で 30 基が稼動している。

炉頂装入装置では上記の炉頂圧で高圧操業を行うため均排圧制御が行われている。均排ガスとして使用する高

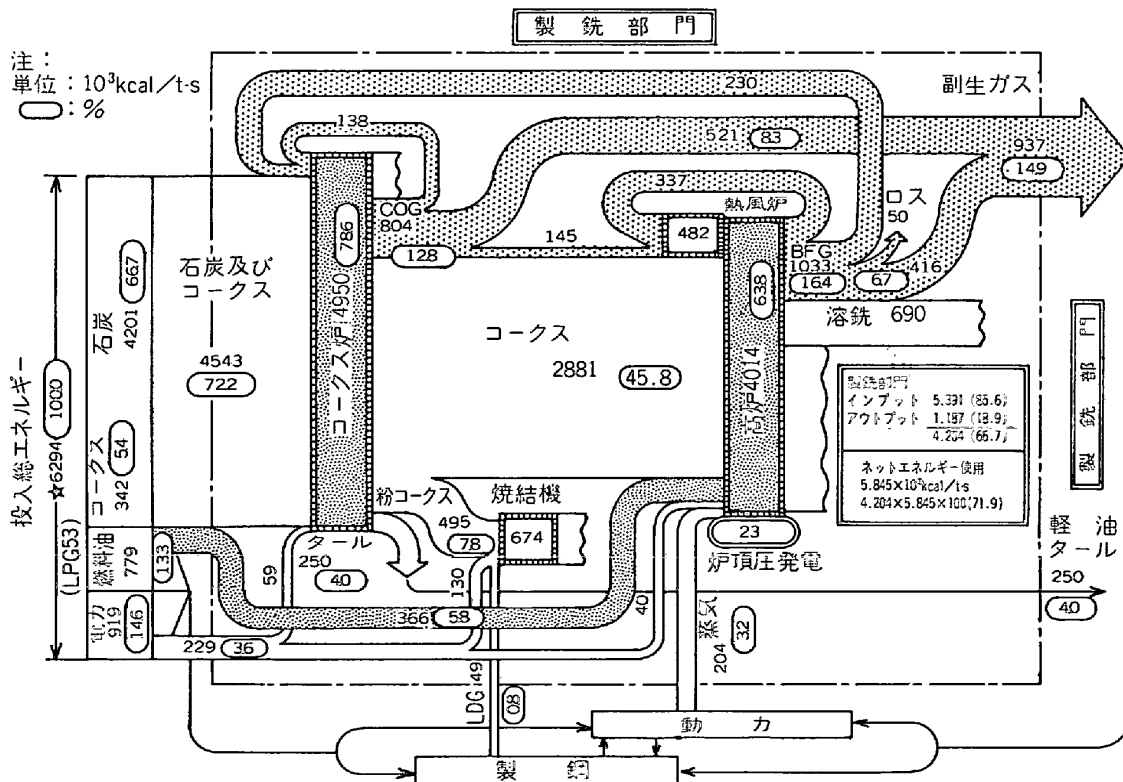


図 3 製鉄部門におけるエネルギー・バランスの一例⁴⁾

炉ガスは従来は排圧時に大気放散していたが、このガスを回収するガス回収設備が一部の高炉に採用され発生高炉ガスの0.6%程度を回収している(図4参照)。

現在開発が進められているものにスラグ顕熱回収技術がある。鉄鉄t当たり約300kg発生するスラグは水砕

表1 TRT設備一覧表(1982年2月現在)
(鉄連動力委員会資料)

TRT 会社名	稼働中			建設中	
	基数	認可出力(MW)	定格出力(MW)	基数	定格出力(MW)
新日本製鉄	10	118.2	128.9	1	8.5
住友金属	6	48.3	60.7	—	—
川崎製鉄	6	44.8	58.9	—	—
日新製鉄	4	46.2	54.0	—	—
神戶製鉄	2	27.0	28.5	1	7.0
新日鐵	2	8.4	13.8	—	—
合計	30	292.9	344.8	2	15.5

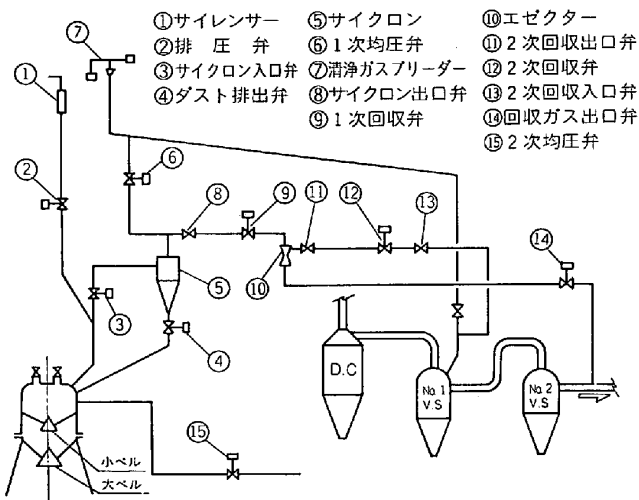


図4 均圧ガス回収設備

やバラスとして活用されているが、スラグの冷却過程でスラグの顕熱を回収するため乾式粒状スラグ製造等の開発が行われている。この他の省エネルギー対策として高炉脱湿送風や大容量の鋳床集塵機の出銑パターンに合わせた回転数制御による消費電力の節減等が行われている。

3. 高炉設備技術の最近の進歩

3.1 装入装置

装入装置の代表的な形式は図5の通りで、ベル式とベルレス式の2種に大別される。装入装置の重要な課題は装入原料の炉内偏析の防止である。ベル式では大ベルから落下する装入原料を図6の補助分配装置の反撥板に当たって半径方向の落下位置の制御を行つている。ベル式の課題は円周バランスと半径方向の粒度分布の改善である。ベルレス式は1974年に新日鉄広畑3高炉に採用されて以来新日鉄名古屋1高炉、川鉄千葉6高炉の大型高炉にも採用されて良好な操業成績を挙げている。この方式は炉内旋回シュートの調整により円周方向、半径方向のバランス、粒度分布の積極的な制御が可能であり今後の発展が期待されており、操業に最適なベルレス式の運転制御方式の開発が進められている。

炉内の分布形状の測定は分布改善や分布制御のために重要である。最近では半径方向にプローブを挿入し重錘をおろして半径方向の数点の装入物レベルを測定するプロフィールメータが開発されて使用されている。さらに最近レーザ式のプロフィールメータが開発されて実用化されようとしている(図7参照)。この方式では精度±30mmで迅速に測定することができ、測定範囲も炉内を広範囲にカバーできるものである。

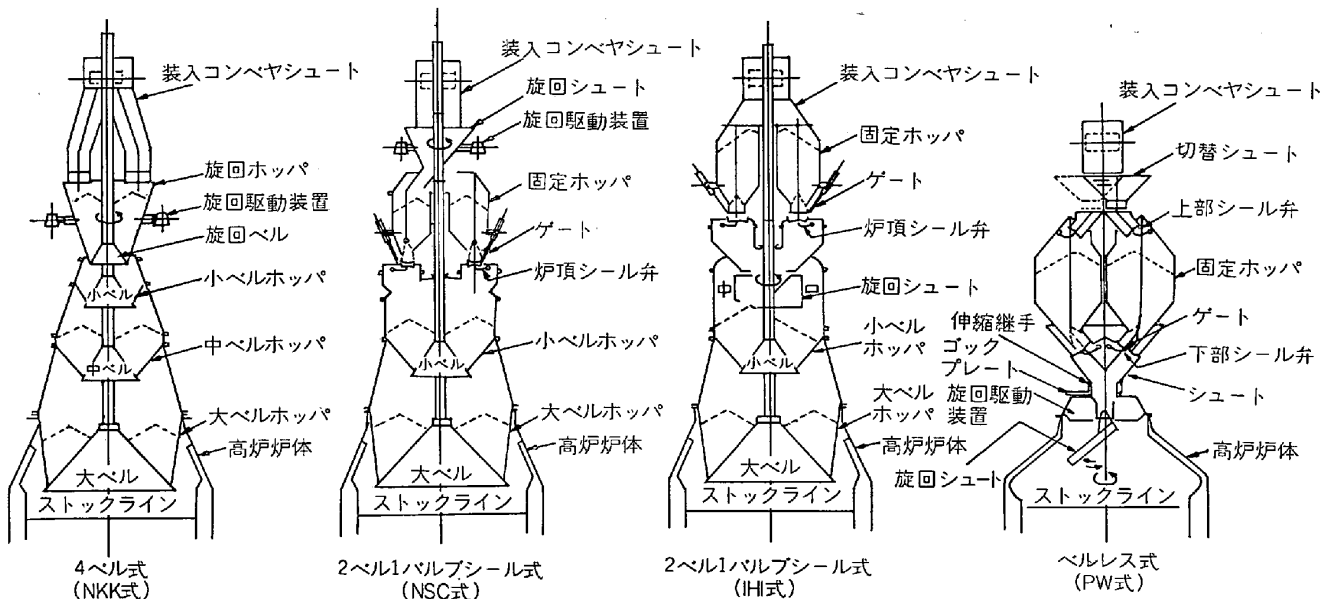


図5 装入装置の形式

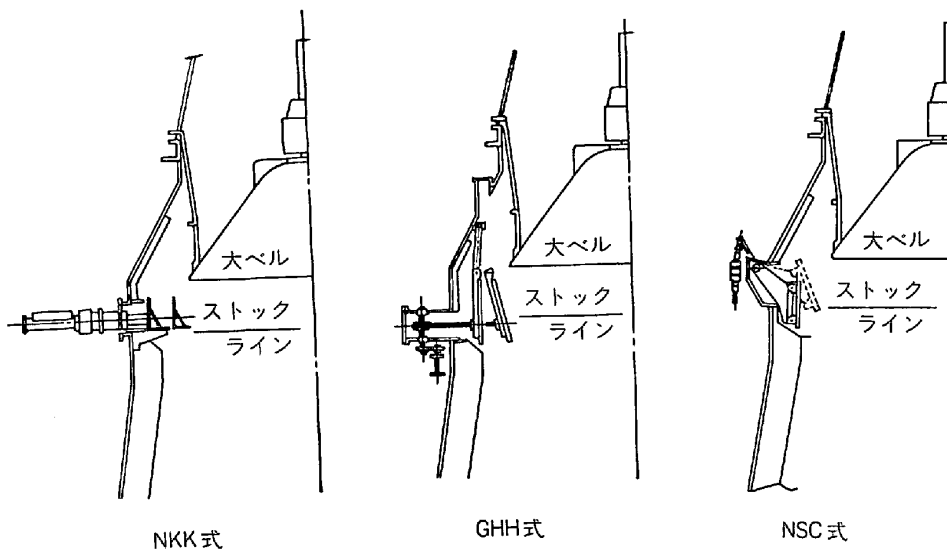


図 6 補助分配装置⁵⁾

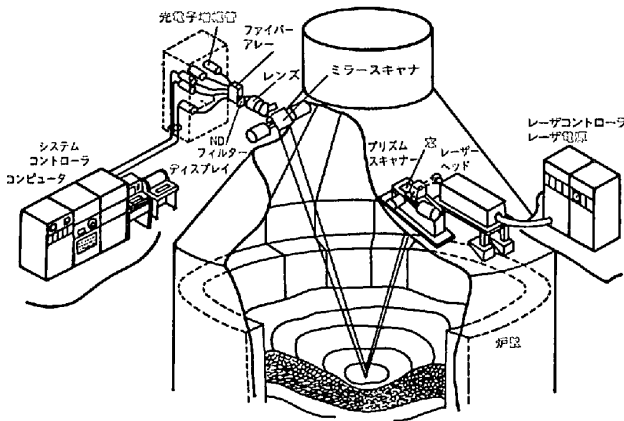


図 7 レーザ方式プロフィールメータ

表 2 世界の大型高炉 (1981年6月現在)⁶⁾

国名	製鉄所	炉号	炉床径		炉内容積 (m ³)	火入れ年 月
			m	順位		
日本	新日鉄大分	2	14.8	1	5070	1976.10
日本	住金鹿島	3	15.0	2	5050	1976.9
日本	リポイ	4	14.7	3	5026	1974.12
日本	新日鉄君津	4	14.0	4	4930	1975.10
日本	新日鉄管福山	5	14.4	5	4617	1973.11
イギリス	BSCレドカル	3	14.0	6	4573	1979.10
フランス	ユジノール・ダンケル	4	14.0	7	4526	1973.4
日本	川鉄千原	4	14.1	8	4500	1977.6
日本	神戸加古川	3	14.2	8	4500	1978.2
オランダ	エッセル・アイムイデン	7	13.0	10	4363	1972.11
日本	日本鋼管山畑	4	13.2	11	4288	1978.2
日本	新日鉄大戸	4	13.8	12	4250	1978.7
日本	新日鉄分畑	1	14.0	13	4158	1979.8
日本	新日鉄大戸	1	13.4	14	4140	1975.3
イタリア	イタリア・シッセン・タルン	1	14.0	15	4128	1974.11
西ドイツ	シュベル・AG	1	14.0	16	*4084	1973.2
日本	新日鉄君津	3	13.4	17	4063	1971.9
日本	日本鋼管津島	1	13.5	18	4052	1976.11
日本	新日鉄扇島	2	13.5	18	4052	1979.7
日本	新日鉄名古屋	1	13.0	20	3890	1979.3

出所：鉄鋼連盟

- 注：1. 炉内容積は出鉄口下端からストックラインまでの間の内容積。
 * 印のみ羽口中心からストックラインまでの間の内容積。
 2. ティッセン・AGは77年4月にATHから社名を変更。
 3. 現在稼働中のものを掲載。

3.2 高炉々体設備

3.2.1 高炉内容積

高炉内容積は高生産性の達成のために1970年代前半に大型高炉の新設が相つぎ、表2に示すごとく世界の大型高炉の大半が日本にあり、1982年1月現在国内で4000m³以上の高炉が7基稼働している。大型化の課題は炉径、炉高の増大にともなう操業上の問題の克服であり特に炉径拡大にともなう課題が多い。主要な課題は①装入物の炉径方向の分布制御、②羽口部の炉中心部の活性化、③溶銑滓の円滑な抽出等である。

3.2.2 高炉々内計測機器

炉内状態の測定は高炉操業にとって炉内反応挙動の把握のために重要であり図8に示す計測機器が配置されている。これらで得られた情報をプロセスコンピュータで処理して①操業、設備の異常の早期発見、②操業状態の適正化を行つている。

3.2.3 炉体冷却設備

炉体冷却設備は高炉の寿命を支配する最重要設備であ

り冷却機能の強化を中心とした改善が逐次行われている。冷却設備の機能は鉄皮、内張りレンガを冷却することによりその寿命を延長することと、内張りレンガを支持することである。内張りレンガの損耗後は炉内高温ガスに直接さらされるため高温と急激な温度変化に耐えることが要求される。代表的な方式は鋼製冷却盤による冷却(図9)と鑄鉄製ステーブによる冷却(図10)である。冷却盤方式では次のような改善が行われている。

- ①冷却水流路のパス数増加(4パスから6パスへ)による流速の増大
- ②気泡滞留を少なくする冷却水流路の採用
- ③冷却盤外表面への金属コーティングによる耐溶損性の向上

④鉄皮との取り付け部のガスシール性の強化

ステープ方式は 1967 年の技術導入以来、冷却機能の強化と耐久性向上の改善が行われ新日鉄の実績では初期のステープ高炉の寿命は 6~7 年であったが、現在稼動

中の高炉では寿命を 10 年に延ばすことが可能になりつつある。ステープ方式の主要な改善事項を以下に示す。

①冷却システムの改善

- 1) 強制冷純水循環システムの採用
- 2) 内張りれんがが支持突起部用冷却パイプの本体系パイプとの別系統化
- 3) 炉底部ステープとシャフト部ステープの別系統化

②ステープ単体機能の改善

- 1) コーナ部の冷却強化
- 2) 冷却パイプピッチの短縮による冷却強化
- 3) ステープ母材の耐熱性の向上 (FCD の採用)
- 4) 埋め込みれんがの材質改善
- 5) 内張りれんがが支持用突起の増設とレイアウト改善

③計測監視システムの改善

- 1) 温度・流量の計測強化
- 2) 冷却パイプ破損検知機器、システムの改善

3.2.4 高炉鉄皮

高炉鉄皮は内張りれんがの損耗や冷却装置の機能低下

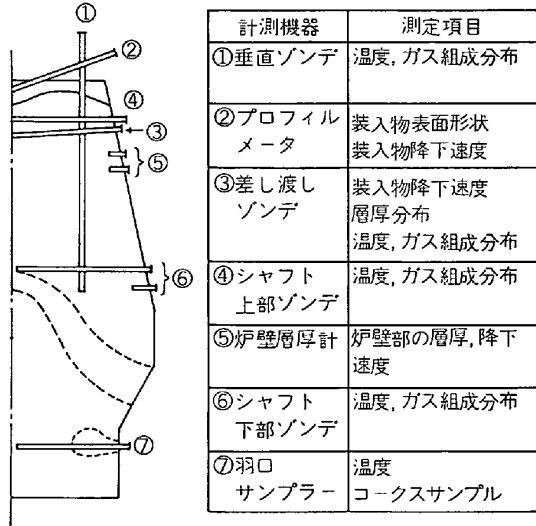


図 8 高炉々内測定用機器

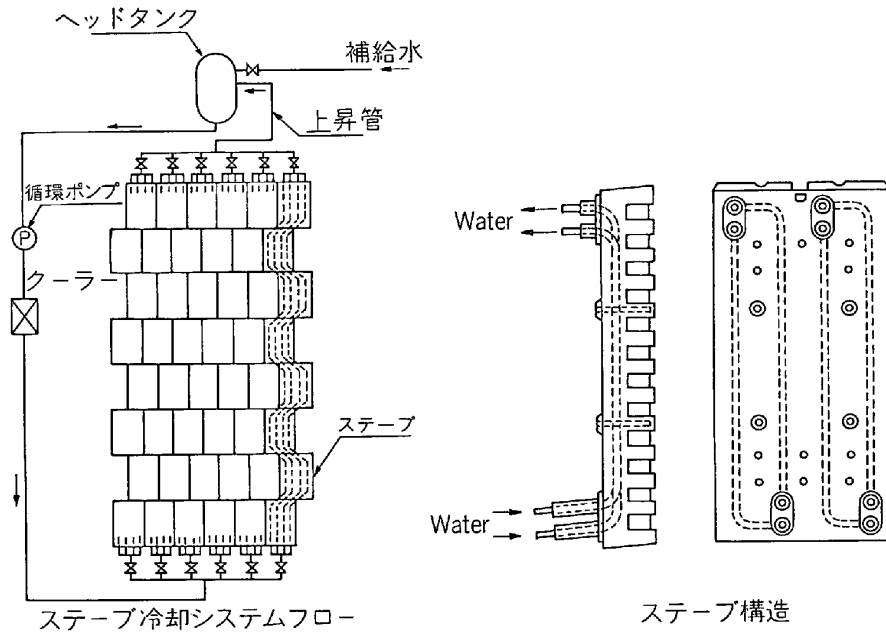


図 9 ステープ冷却システム

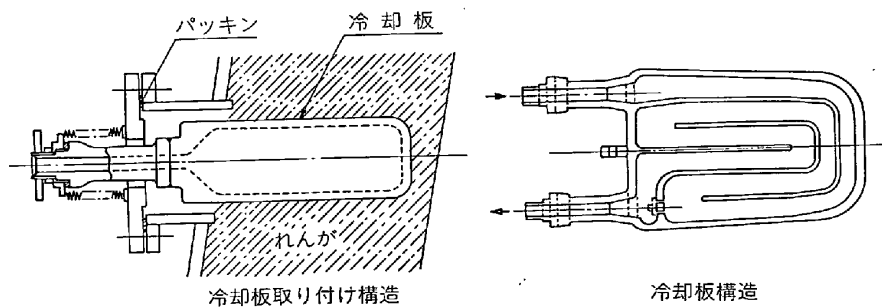


図 10 冷却板システム

後炉内からの高熱負荷にさらされることがある。このような場合ホットスポットの発生やクラックが発生し高炉操業に影響する。クラックの防止のため外部からの鉄皮散水、小型冷却盤の挿入などで鉄皮を保護するがこれらの冷却機能には限界がありクラックを完全には防止できない。このため鉄皮の耐クラック性を向上させるためにカーボン量が低く靱性値が高い材料がシャフト下部を中心とした高熱負荷部に採用されている。

3.2.5 炉体れんが積

高炉の内張りれんがは高炉の寿命、安定操業を支配するため炉内の熱的条件、反応条件に対して耐久性向上の研究開発が進められている。特に重要なのは炉底湯溜部と炉腹・シャフト下部の高熱負荷部のれんが積である。炉底湯溜部は溶銑、Zn、アルカリの侵入によるれんがの損耗、溶銑流による摩耗があるためこれに耐えるれんが材質、れんが積構造が採用されている。れんが積構造はカーボンれんがとハイアルミナれんがの組み合わせが多い。カーボンれんがは耐食性を向上させるため気孔の細孔化、マトリックスへの Al_2O_3 添加による耐食性向上等が行われている。

炉腹シャフト下部は溶融装入物、ガス流、Zn、アルカリの侵食をうけるためれんが損耗が激しい。この部のれんがは高純度ハイアルミナれんが、黒鉛炭珪れんがが使用されてきたが、最近では Si_3N_4 結合の炭珪れんがの使用が増加している。れんが材質の改善とともにれんが支持構造の改善が重要で炉体冷却設備と組み合わせた支持構造の安定化が図られている。

シャフト部の内張りれんがの損耗部に対する吹き付け補修方法として図 11 に示す吹き付け機を使用した方法が開発され、炉代の後半期の寿命延長策として効果を発揮している。

3.3 熱風炉設備

熱風炉設備は珪石れんがを使用した高温熱風炉が広く採用され $1300\sim 1350^\circ C$ の高温送風で燃料比低減に大きく貢献している。高温熱風炉では新しい問題として鉄皮の応力腐食割れ (SCC) が発生した。SCC の原因はドーム温度の上昇にともなうサーマル NO_x の発生量が増加し鉄皮内面で露点以下に冷却されて凝縮し硝酸塩を発生して鉄皮を腐食させると考えられている。対策としては鉄皮温度を露点以上に保持する保温が行われている。

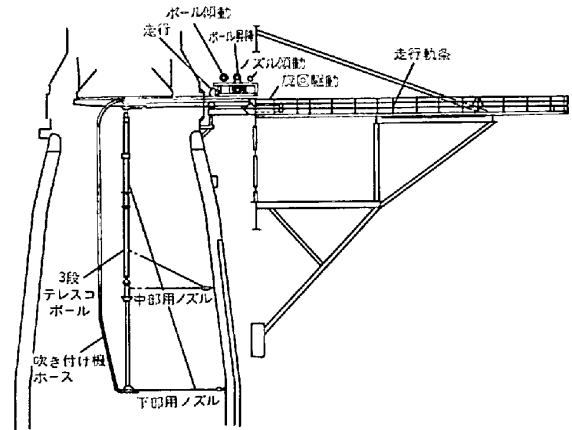


図 11 シャフト吹き付け補修機

る。熱風炉新設の場合は SCC に強い材料として低 Cr を含有した低炭素鋼が使用されている例もある。

4. 結 言

高炉設備技術の今後の課題は省エネルギー・低コスト化への対応技術の研究開発、炉内状況、反応挙動、溶銑滓の挙動等を把握する測定機器の研究開発、設備寿命をさらに延ばす対策の開発等であろう。高炉設備は改修を機会に装備を新しくするが、採用する技術は最新のものが要求される。最新技術はその高炉が稼働を続ける将来にわたり最新のものが要求される。高炉操業技術の炉 1 代にともない未知の領域を明らかにするため設備技術への期待は大きい。なお、本稿では紙面の都合で割愛したが、保全技術、改修・建設工事技術の進歩もめざましく高炉の安定操業、長寿命化、新設備の具現化、改修工期の短縮に果たしている役割は大きい。

文 献

- 1) 中村直人：製銑技術の最近の進歩 (第 59・60 回西山記念技術講座) (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 1
- 2) 川辺正行, 竹村頼二, 和栗真次郎, 梶原豊太, 馬場昌喜, 石川 泰, 長谷川 晟, 南 昭三: 鉄と鋼, 68 (1982), A17
- 3) 矢部茂慶, 小島正光, 宮崎富夫, 東海林泰夫, 倉重一郎, 射場 毅: 鉄と鋼, 68 (1982), A9
- 4) 中西成美: 鉄鋼界 (昭 55. 9)
- 5) 製鉄機械総覧 (1980 年版) [重工業新聞社]
- 6) 鉄鋼統計要覧 (1982 年版) (新日本製鉄(株)編)