

変えて、より安定した操業状態の確保を行なうことが強く要請される。

文 献

- 1) 計測部会：鉄と鋼 48 (1962) 14, p.48~66
- 2) 新日鉄八幡：計測部会 (1965) 計 30-1-1
- 3) 堀江他：鉄と鋼 57 (1971) 1, p.125

1.4 高 炉 設 備

1.4.1 概 説

急速に拡大する鉄鋼需要への速応と、恒常化した原料炭供給面での制約は、この10年間、高炉設備に大きな変革を迫った。生産の量的確保は、生産性向上のための、高圧操業の導入と超高圧化および、高酸素富化操業を始めとする操業上の諸手段の実施に加えて、高炉の大型化によつて達成されねばならなかつた。これは併せて、スケールメリットとして、投資効率、敷地利用効率、労働生産性のいずれの面でも、大きな向上を可能にした。大型化は反面、原料性状（特にコークス）の改善と、より高度な操業管理による安定操業、設備の信頼性、耐久性と整備性向上による高稼働率などへの要求を強くし、設備技術の開発を強く促した。

原料炭問題に代表される海外資源依存型の日本鉄鋼業の立地上から来る低燃料比化を主とする溶鉄コストの低減、さらに、省力化、環境保全などのいつそう強化されたニーズにこたえることも必要となつた。

これらに対し、高炉設備は、関連周辺技術の開発と蓄積の上に、理論的検討、モデル実験、実績解析などを通じて、正確な評価を行ないつつ、着実に開発発展され、良く経営の要請にこたえることができた。この期間、各社で既設製鉄所の強化の限界から、新鋭製鉄所を建設したことから、既存設備に制約されることなく、新たな設備の導入を可能としたことも、発展の一つの素地となつた。一部の海外導入技術を除き、その多くが、国産技術の開発を基盤としたことが、大きな特徴であり、ついには、数多くの設備技術輸出を行なうまでに発展した。上述の強いニーズに対し、いかなる対処を行なつたかについては、以下の設備別各論に記す。

1.4.2 高炉本体および関連設備

この期間における高炉本体で特筆すべきこととしては、炉内容積の急速な拡大があげられる。これは、炉本体のみならず、関連設備における各種設備技術の開発があつて、はじめて可能となつたものである。昭和39年当時の 2,000 m³ 級が、43年君津 1 高炉でソ連とならび、44年 3,000 m³ 級で世界最大となり、以後46年 4,000 m³ 級に、48年には 4,617 m³ (福山 5 高炉) と拡大を続け、現在は 5,000 m³ 級も建設の段階にある (図 1.4.1)。

さらに高炉建設の能率化が進められ、エレクトロスラッグ溶接法が41年福山 1 高炉で採用された。

(1) 高炉プロフィール

高炉プロフィールは最近①電子計算機をもちいた化学工学的な炉内解析、②炉内解体による炉内状況の解明な

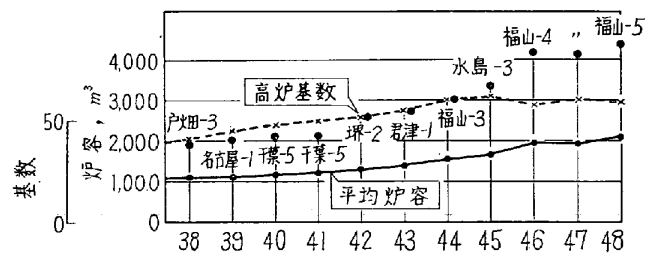


図 1.4.1 高炉内容積と基数の推移(昭和38年~48年)

〔注〕 data は各年末時点のものである。●各年の MAX 炉容を示す。

どを通じ、理論的にも実績解析的にも詳細な検討が加えられている。

内容積の拡大は、原料性状特にコークス性状の制約から、炉高 (H) は制限され、主として直径 (D) 方向に拡大して達成されたため、D/H は次第に増大している。

多量の溶鉄を処理するため、出鉄口は 2~4 本に増加され、反対に高圧操業下における作業上の困難さから、出滓口は 2~0 本と逆に減少している。出鉄口は同一鉄床に 2 本の配置から 2 面ないし 3 面の鉄床にそれぞれ 1 本ずつ設置されるようになった。

(2) 炉体支持構造

炉体支持は、炉頂荷重を 4 本槽で、また炉体上部をシャフト受支柱にて支持する構造が一般的であつたが、①高炉の大型化、②操業圧力の高圧化、③炉前および整備の作業性重視などの要請の下に、徹底した検討が進められ、図 1.4.2 に示される各種の方式が開発されるにいたっている。開発にあたっては、炉体、槽などの構造体としての振動特性が実験研究された。

(3) 炉体ライニング

高炉の寿命に大きな影響をおよぼすライニングについてはレンガの損耗機構解析および炉体冷却方法の進歩、炉型式の変化などにより次のような発展がみられた。

高炉が大型化し出滓を出鉄口から行なう頻度が多くなりスラグに強いカーボンレンガがその高い冷却能とあいまつて炉体寿命の面から炉底に用いられ、その使用範囲も拡大しており、さらにカーボン+グラファイトの炉底も使用されるようになった。カーボンレンガも無煙炭質のものが昭和43年頃 (室蘭 3 高炉) から用いられ、またサイズも大型化の傾向があり、洞岡 4 高炉¹⁾ (46年) では Union Carbide 社製の 6 m 余の長尺物を採用している。炉底のレンガ構成はレンガ内 RI 埋込による損耗度の推測および解体時の実績調査を通じて検討され図 1.4.3 のように種々の方式が実施されている。

朝顔部も薄壁強冷方式として38年室蘭 3 高炉では無煙炭質カーボンレンガを、また小倉 2 高炉 (39年)、千葉 5 高炉 (40年)、川崎 3 高炉 (42年) などでもカーボンレンガが用いられた。

シャフト下部もカーボン沈積のほかアルカリ、Zn による崩壊の解明によりレンガ材質の検討が進み、超高アルミナとか SiC 系レンガが開発されている。

炉型式の変化によりシャフトレンガ受もリングプレート、ステーブ、レンガ受プレートなど種々の型式が開発され、その位置も熱影響および作業性の面からシャフト中部に設置するものも現れた。

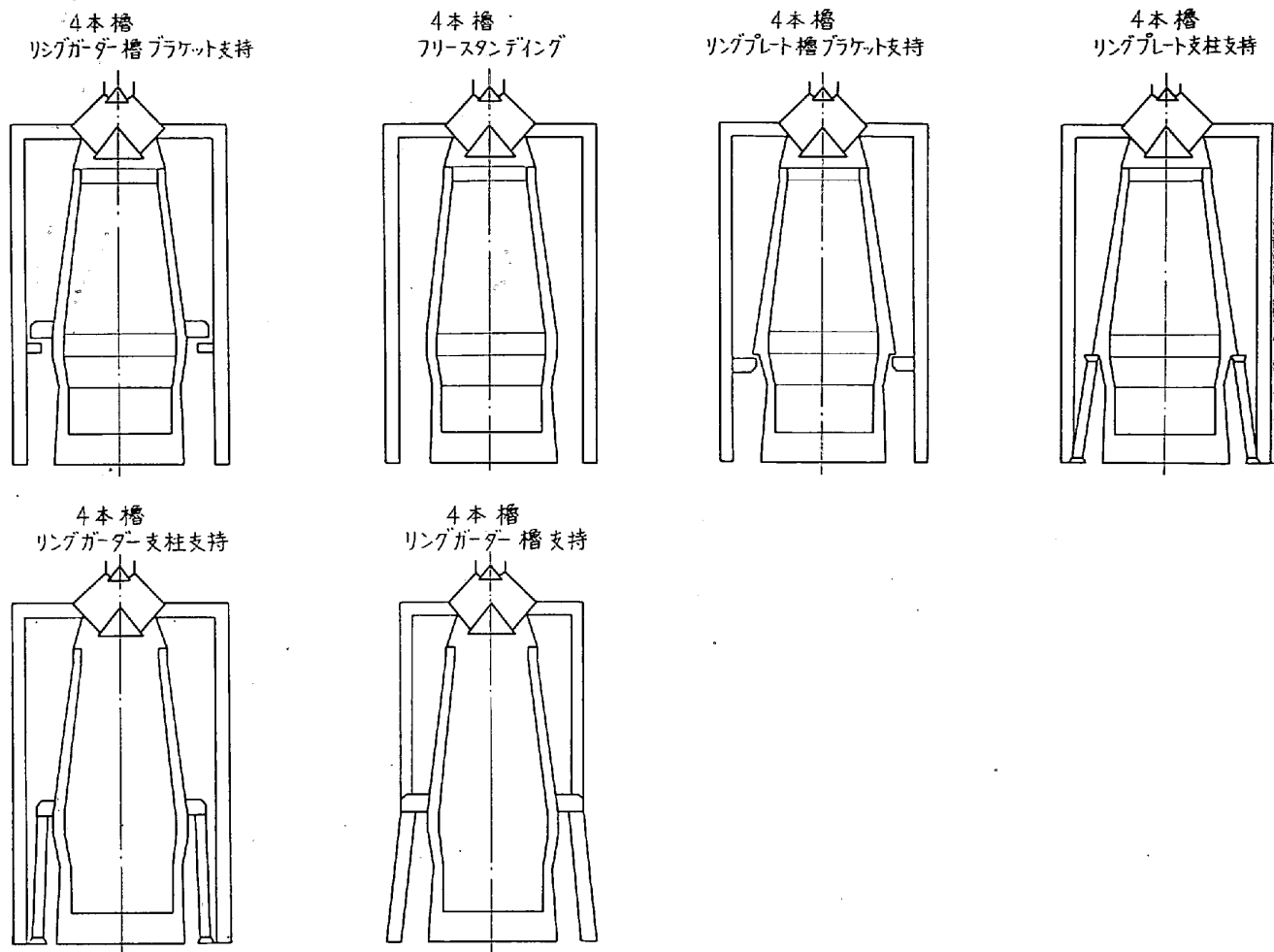
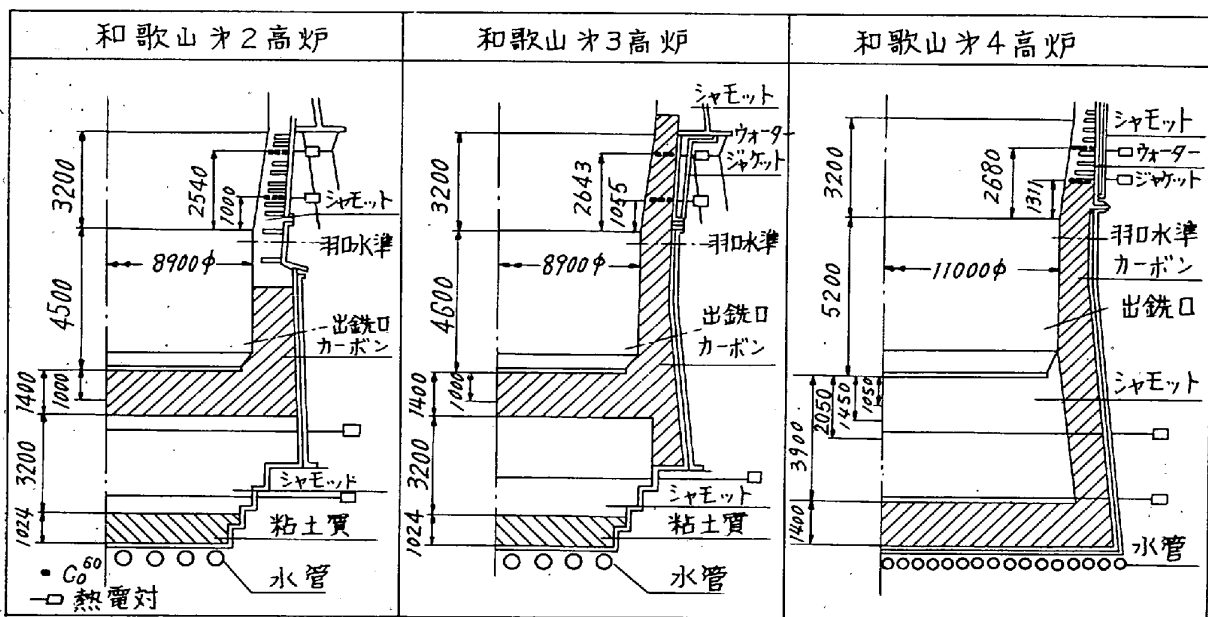


図 1-4-2 高炉炉体支持方式

図 1-4-3 高炉炉底部レンガ積構造
(鉄と鋼 第54年 第8号より)

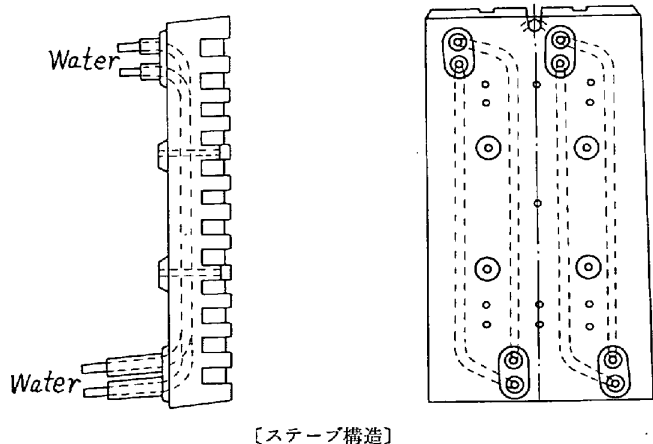
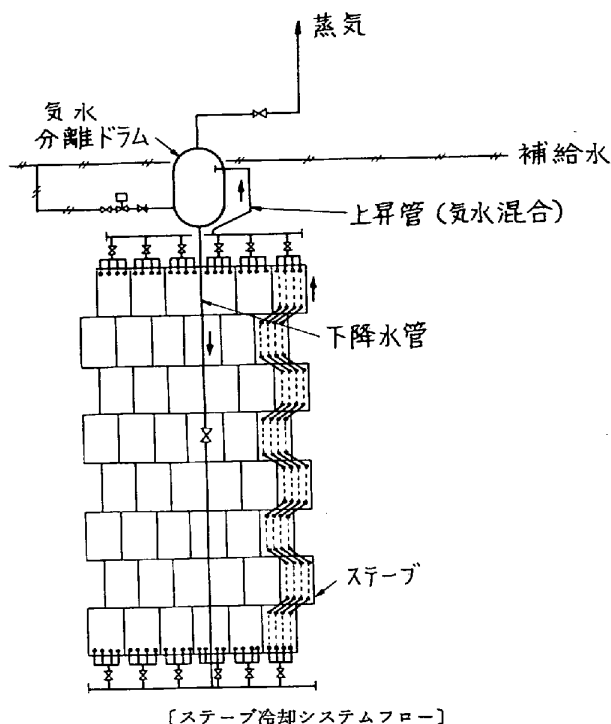


図 1.4.4 スチーブ蒸発冷却システム

(4) 炉体冷却

炉体冷却の面では大きな進歩がみられた。すなわち昭和43年千葉3高炉で熱水冷却が採用され蒸発冷却が一般的に検討されはじめた。やがてライニング冷却の均一性に優れるスチーブが注目され、スチーブによる蒸発冷却技術をソ連より導入し、44年名古屋3高炉で羽ロマンテルより上の部分に採用され、続いて室蘭4高炉では炉床からシャフトまで図1.4.4のようにすべてスチーブ蒸発冷却が採用されるにいたった。蒸発冷却は冷却能の面で従来の冷却盤方式よりはるかにすぐれており、さらに作業環境、ランニングコスト、排水処理などの面でも著しい改善をもたらした。昭和49年7月現在日本には水冷却も含め27基のスチーブ冷却高炉が存在する(表1.4.1)。

炉底下面の冷却は炉底基礎コンクリートの保護を目的として昭和36年頃から空冷方式が採用されたが、さらに炉底板下を強制水冷し炉底レンガも熱伝導性の高いもの

表 1.4.1 S49.7E 全国各社スチーブ採用高炉一覧表
(スチーブ採用率 27/58 基)

	火入年月	内容積	スチーブ使用範囲				型式
			シャフト	ペリイ	ボッシュ	炉床	
新鉄	洞前-4	46.10.16	1,540				ソ連(蒸発)
	戸畑-4	47.7.1	3,799				"
	室蘭-1	48.9.28	1,245				"
	室蘭-4	44.8.3	1,921				"
	広畑-3	49.5.17	1,691				"
	広畑-4	45.6.18	2,548				"
	名鉄屋-1	45.12.17	2,518				"
	名鉄屋-2	47.12.1	2,520				"
	名鉄屋-3	44.4.5	2,924				"
	堺-2	47.11.9	2,797				"
鋼管	大分-1	47.4.19	4,158				"
	福山-3	44.7.25	3,016				NKK(水)
	福山-4	46.4.28	4,197				"
川鉄	福山-5	48.11.8	4,617				"
	千葉-2	45.8.26	1,395				IHI(水)
	千葉-3	48.7.17	1,845				ソ連(蒸発)
	千葉-4	47.8.25	1,839				川鉄(蒸発)
	千葉-5	46.6.2	2,584				ソ連(蒸発)
	水島-2	48.11.16	2,857				川鉄(水)
	水島-3	45.10.14	3,363				ソ連(水)
住金	水島-4	48.4.25	4,323				"
	和歌山-1	46.8.5	1,633				IHI(水)
	和歌山-3	47.11.25	2,150				IHI(水)
神鋼	和歌山-4	49.2.14	2,610				ソ連(蒸発)
	鹿島-2	48.3.20	4,080				"
	加古川-1	45.8.7	2,843				IHI(水)
	加古川-2	48.1.29	3,850				ソ連(蒸発)

を用い、溶銹による炉底侵蝕を積極的に防止しようという方法が世界にさきがけて採用されるようになった。

(5) 炉頂装入設備

ここ10年間におけるわが国の高炉炉頂装入設備の発展は世界をリードしているといつても過言ではない。

すなわち炉頂の高圧化、超高圧化によるガスリーク防止の面、高炉大型化による装入原料の多量輸送の必要性から、ベルトコンベア装入の普遍化と、それに伴う装入スケジュールの変化および炉内装入物分布の面などから種々のオリジナルな炉頂装入設備が開発され、実用化されている(図1.4.5)。

高圧操業導入の当初はスリーベル方式が導入されたが昭和40年になると2ベル1バルブ固定シュート式が開発され(室蘭2高炉)、鶴見2高炉ではMcKee式と異なる巡回シュートの採用がおこなわれており、42年には広畑3高炉で2ベル1バルブ、シュート内挿非連続巡回方式が、43年には君津1高炉で2ベル1バルブ、シュート外挿連続巡回方式が、そして44年には現在広く用いられている2ベル1バルブ、シュート内挿連続巡回方式が室蘭4高炉に採用された。いつぼう4ベル式も44年福山3高炉で用いられ、福山5高炉でも採用されている。これらはすべてわが国のオリジナルなものとして発展した。

48年には、このほか Paul Wurth ベル式装入設備が加古川2高炉に導入され、さらに Paul Wurth ベルレス式装入設備が、室蘭1高炉(48年)および広畑3高炉(49年)に導入された。

高炉の大型化が主として直径方向の拡大によつて行なわれた結果、ベルに覆われる炉頂部の面積が増大し、炉頂部での良好な分布の維持形成が難しくなってきたこと、また積極的に炉頂分布を制御し、高炉能率の向上をはかるといふ目的から、可変スロートアーマーが導入されるにいたった(43年君津1高炉、44年呉1高炉)。そのほとんどは、アーマーを傾動させる GHH 式と新日鉄式であるが、アーマーを水平移動させる日本鋼管式も福山で用いられている。Paul Wurth ベルレス装入設備は、分布制御を炉内巡回シュートの傾動によつて行なうもので

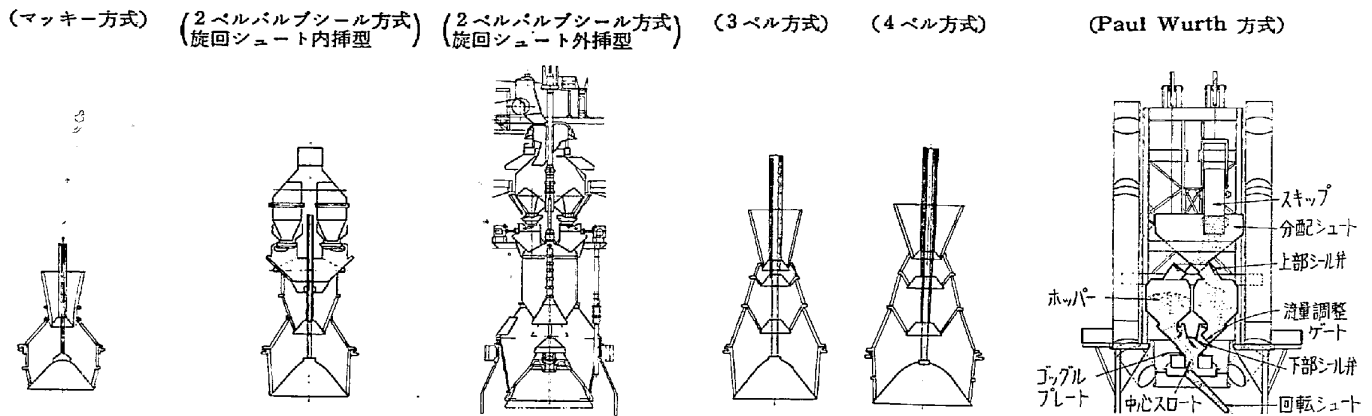


図 1.4.5 炉 頂 装 入 装 置

(Journal of the Iron and Steel Institute September 1973 及 PW 社カタログより)

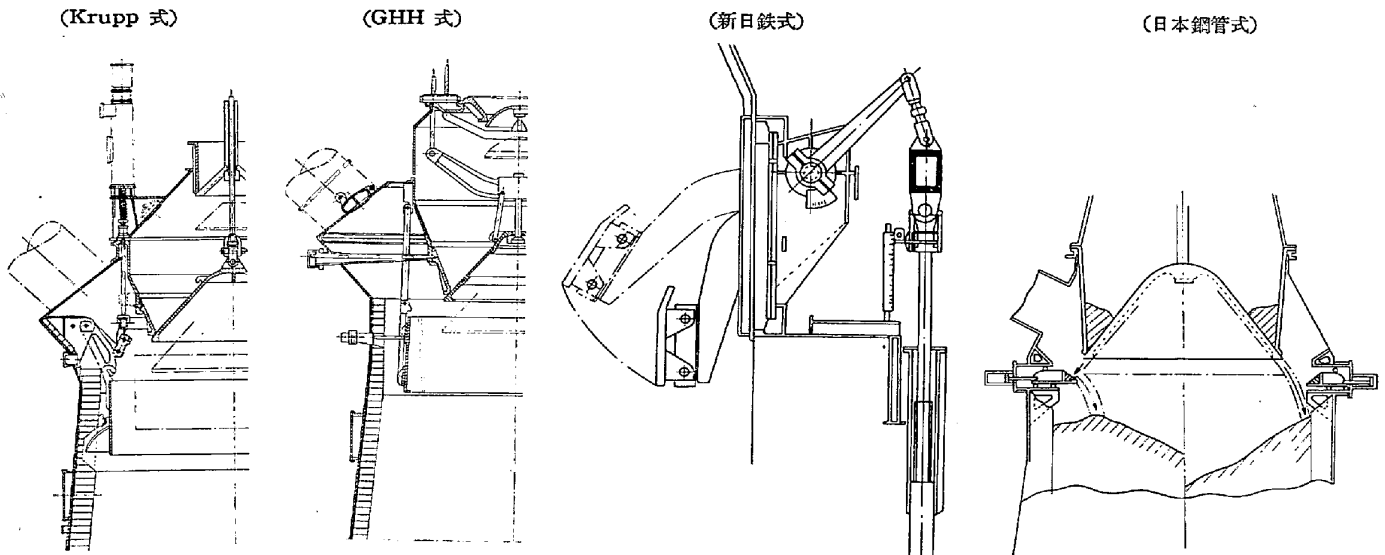


図 1.4.6 炉頂装入物分布制御設備

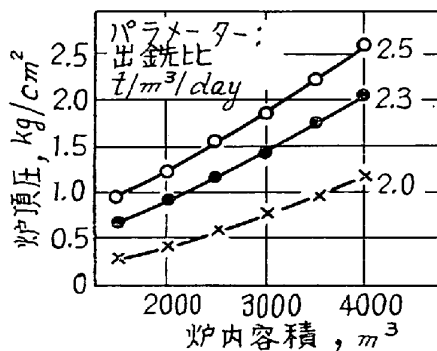


図 1.4.7 炉内容積と炉頂圧力

(Journal of the Iron and Steel Institute September 1973 より)

あり、分布制御の自由度は著しく拡大したが操業面とあわせてなお研究段階にあるといえよう (図 1.4.6)。

(6) 高圧操業設備

高圧操業は昭和37年頃の導入当時は①燃料比の低下と②出鉄比の調整範囲が拡大できることなどが大きなメリットとして採用されてきたが、高炉の大型化に伴ない燃

料の燃焼量を維持しその生産性のメリットを発揮させるために炉内通気抵抗の面から必然的に炉頂圧力は上昇している (図 1.4.7)。

炉頂圧力の最高は導入当時 $1 kg/cm^2$ 程度であつたが42年には $1.5 kg/cm^2$ (名古屋2高炉), 43年には $2.5 kg/cm^2$ (名古屋3高炉) が採用され現在の大型炉はいずれも $2 kg/cm^2$ 以上の高圧操業が可能である。

炉頂圧力の上昇は、設備面ではガスリーク防止の目的から既述のように炉頂装入設備にパルプ方式の開発をみ、ステープの導入あるいは冷却盤ガスシール方法の改善、その他にもガス清浄設備、マッドガンなどの新たな設備技術の開発に波及した。

炉頂圧力の上昇に伴ないセプタム弁での騒音も増大する傾向にあり、環境面から44年頃よりセプタム弁の後にサイレンサーが設置されるようになり、さらにはガス本管のラッキングも行なわれるようになった。サイレンサーは当初グラスウールによる吸音板内蔵のものが多かつたが、最近はこのに加えて消音多孔管が内蔵されるようになった。いつばうセプタム弁による騒音の対策として図 1.4.8 のようにセプタム弁を用いず、リングスリットエレメントを上下に移動し、ガス通過スリットの面積を

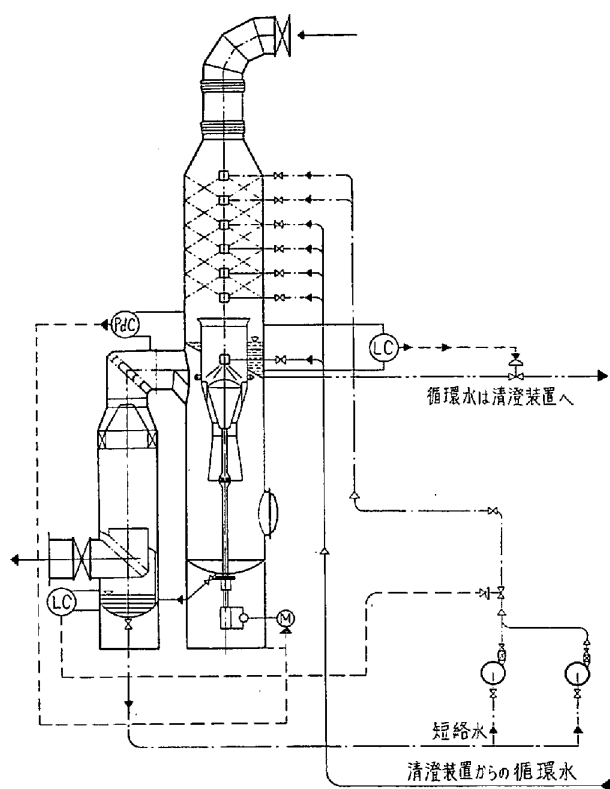
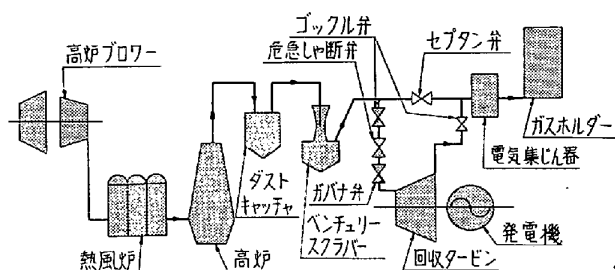


図 1-4-8 リングスリットスクラバー

図 1-4-9 炉頂圧力回収タービン系統図
(川重カタログより)

変化させてガス清浄とともに炉頂ガス圧力も制御し、ガスの渦流の少ないリングスリットスクラバーも最近導入されはじめている。

また炉頂圧力が次第に上昇傾向にあり炉頂ガス量も高炉の大型化に伴ない大量になるにつれて、ガスの持つ圧力をエネルギーとして回収するメリットが注目されるようになり、昭和49年水島2高炉には炉頂圧力回収のための膨張タービンが初めて採用された。(図 1-4-9)。

(7) ガス清浄設備

ガス清浄設備は昭和37年頃高圧操業が採用されてからは炉頂ガスのエネルギーを利用したベンチュリースクラバー、あるいはオリフィススクラバーが一般に用いられ、さらに湿式電気集塵機がバックアップとして設置されていたが、高炉用大型ベンチュリーの実機による解析が進みモデル実験の成果とあいまつて40年室蘭2高炉に初めて国産オリジナルの2段ベンチュリーが採用された。オリフィススクラバー+電気集塵機、あるいはベンチュリー

ースクラバー+電気集塵機にウェッジスクラバーも加わり、いずれも清浄後のガス中の含塵量は 10 mg/Nm^3 以下で平均 5 mg/Nm^3 程度である。さらに既述のように炉頂圧力制御設備の騒音対策とガス清浄設備面のメリットからリングスリットスクラバーも導入されはじめた。

いつぼうガス清浄設備の排水は環境上廃棄が規制されるようになり、現在はほとんどの設備が排水循環のクローズド処理方式を採用している。しかしこのような排水循環を採用することによつて水温が上昇し、したがってガス中のミストの量が増大する傾向にあり高温熱風炉の耐火物への影響もあらわれはじめ、その対策としてガスの冷却あるいは衝突による大型のミストセパレータが開発され設置されはじめた。

1-4-3 送風設備および熱風炉

(1) 送風設備

この期間の送風設備は高炉の大型化および炉頂圧力の上昇に伴ない大風量、高圧力比すなわち高出力化と高効率化の方向にありいちだんと飛躍をとげた。

すなわち先ず軸流タイプの普及があげられ、とくに大容量高圧力比の要請に最も効率よくしかもコンパクトに応ずることができるようになった。また昭和38年東田1高炉の使用にはじまる高炉用送風機の静翼可変による送風制御は送風機の高効率範囲の拡大を可能とし、これは昭和41年頃から採用された電動機駆動による高炉送風を容易にした。蒸気タービン駆動による大型のものでは38,000 kW が名古屋3高炉(43年)に設置されている。

いつぼう高炉の高効率化のために、複合送風が必須となり高純度あるいは低純度の O_2 を送風本管に吹込む設備がほとんどの高炉に設置された。また送風空気脱湿装置が49年広畑4高炉に初めて採用された。

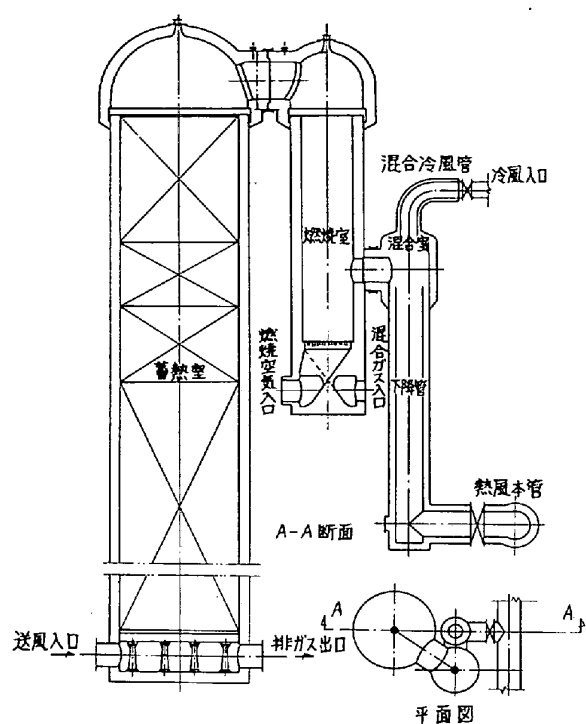
(2) 熱風炉設備

送風温度の向上のためには、レンガ材質と熱風炉構造の両面で大幅な変革が必要であつた。高温における荷重軟化に強い珪石レンガが高アルミナに代つて採用されたこと、および仕切壁を有さず構造的に安定な外燃式熱風炉の採用がそれである。両者の組合せにより、 $1,300^\circ\text{C}$ 以上の高温送風が可能になった。これらの外燃式熱風炉は、ほとんど Koppers 式あるいは Martin & Pagenstecher 式を基本とするものである(図 1-4-10)。

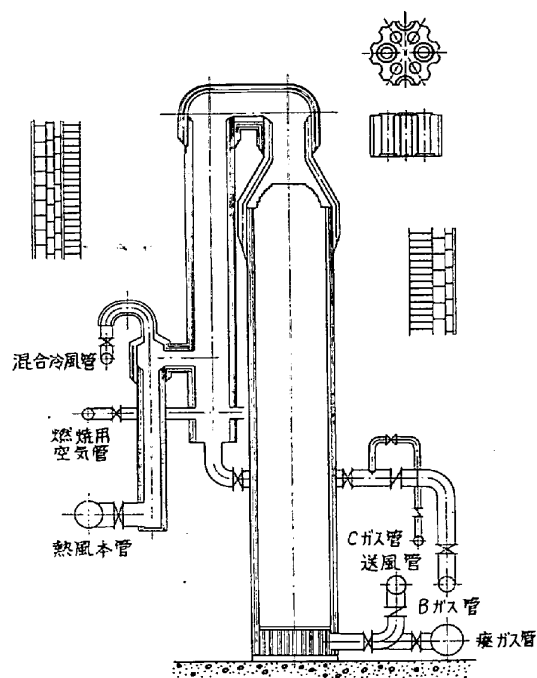
高温の燃焼ガスをうる目的から、高カロリーガスの富化が不可欠になるとともに、燃料ガスあるいは燃焼用空気の予熱装置も開発された。室蘭1高炉(48年)では、熱風炉排ガス顕熱をメタリックフィン式熱交換機(ユングストローム)によつて回収している。

また熱風炉4基によるスタガードパラレル送風が40年千葉5高炉に採用されてから、その有効性が認められ、45年頃からは改修高炉で熱風炉を増設するケースがふえている。

しかし、送風温度の上昇に伴なつて新たな問題も生じてきた。すなわち、とくにドーム部であるが、燃焼ガス中の NO_x その他腐食成分による鉄皮の亀裂がみられるようになったことで、対策として、現在は燃焼排ガスの露点以上に鉄皮を保温すること、あるいは鉄皮鋼材の選択、溶接ストレスの排除、鉄皮ライニングの採用などが



(Koppers 式熱風炉)



(Martin & Pagenstecher 式熱風炉)

図 1・4・10 高温熱風炉の型式

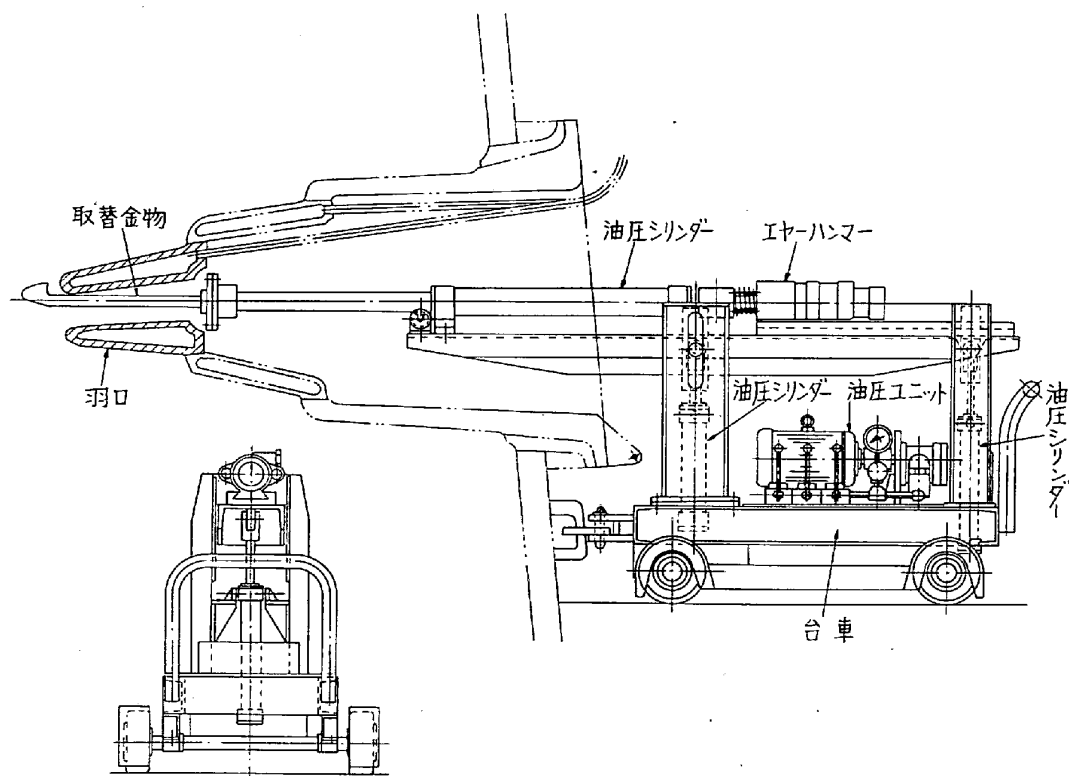


図 1・4・11 羽口取替機 (新日鉄大分の例)

行なわれている。

1.4.4 炉 前 設 備

炉前設備としてこの期間に特筆すべきことは、鑄床集塵設備が完備されたことである。すなわち42年頃までは排煙ファンを用いて鑄床外に浮遊グラファイトその他を排出していたが、次いでロータクロン、アマークロンなどを用いて集塵するようになり46年頃からは電気集塵機あるいは、ろ布の耐熱性向上によりバグフィルターも用いられ、集塵機の排出空気中の含塵量は 10 mg/Nm^3 以下になつている。

羽口関係では羽口破損機構の解明が進み、はじめは冷却水の高圧化や羽口表面の耐火物による被覆が、次に冷却水の高流速化が45年頃から採用されはじめた。さらに羽口を分割し羽口先端部を高流速にした親子羽口も開発され現在用いられている。酸素アトマイズ大型バーナーによる重油多量吹込設備が47年頃2高炉で採用された。羽口の取替装置は42年頃2高炉で吊下式取替装置が採用されその後は各高炉で吊下方式あるいはワゴン方式が開発され用いられており、それに対応して羽口部直管と曲管をセットとし、送風支管部には膨張管方式の継手を設けるなど多くの改善が積み重ねられている。また高温高圧酸素富化送風に対応して直管、送風支管系の接続部

の水冷化が行なわれ、羽口内耐火物リングも採用されてきた(図1.4.11)。

樋関係は出鉄口の増加とその多方向化に伴なつて樋修理の面から溶銑大樋の分割方式あるいは一括取替方式が用いられ、そのために鑄床起重機も従来の5t級から50t~100t級へと大幅に増強された。そのなかで昭和42年頃2高炉で採用した円形走行30t起重機はユニークなものである。いつぼう大樋のトラバース交換方式も行なわれている。

樋の切替作業の機械化は従来も試みられていたが150~600tと大型トーピードカーが開発されるにしたがつて、傾注樋あるいは傾注鍋がほとんどの高炉で用いられるようになっており、電極あるいは道床上のロードセルによる溶銑レベル計の開発とあわせて樋切替作業は大幅に省力化された。

スラグの大量処理方法として、スラグピットが39年頃から採用されはじめた。スラグ処理方式は、スラグの利用技術も含めて、鑄床設備との組合せにおいて、今後さらに研究されるべき分野であろう(図1.4.12)。

いつぼう出鉄速度の増大に伴ない、出鉄口マッドおよび樋材料の開発も目ざましいものがあり、通銑7万t以上の樋材料もみられる。マッドガンの押出力の増大が要請され、従来の電動機駆動にかわり、強力な設備的にシ

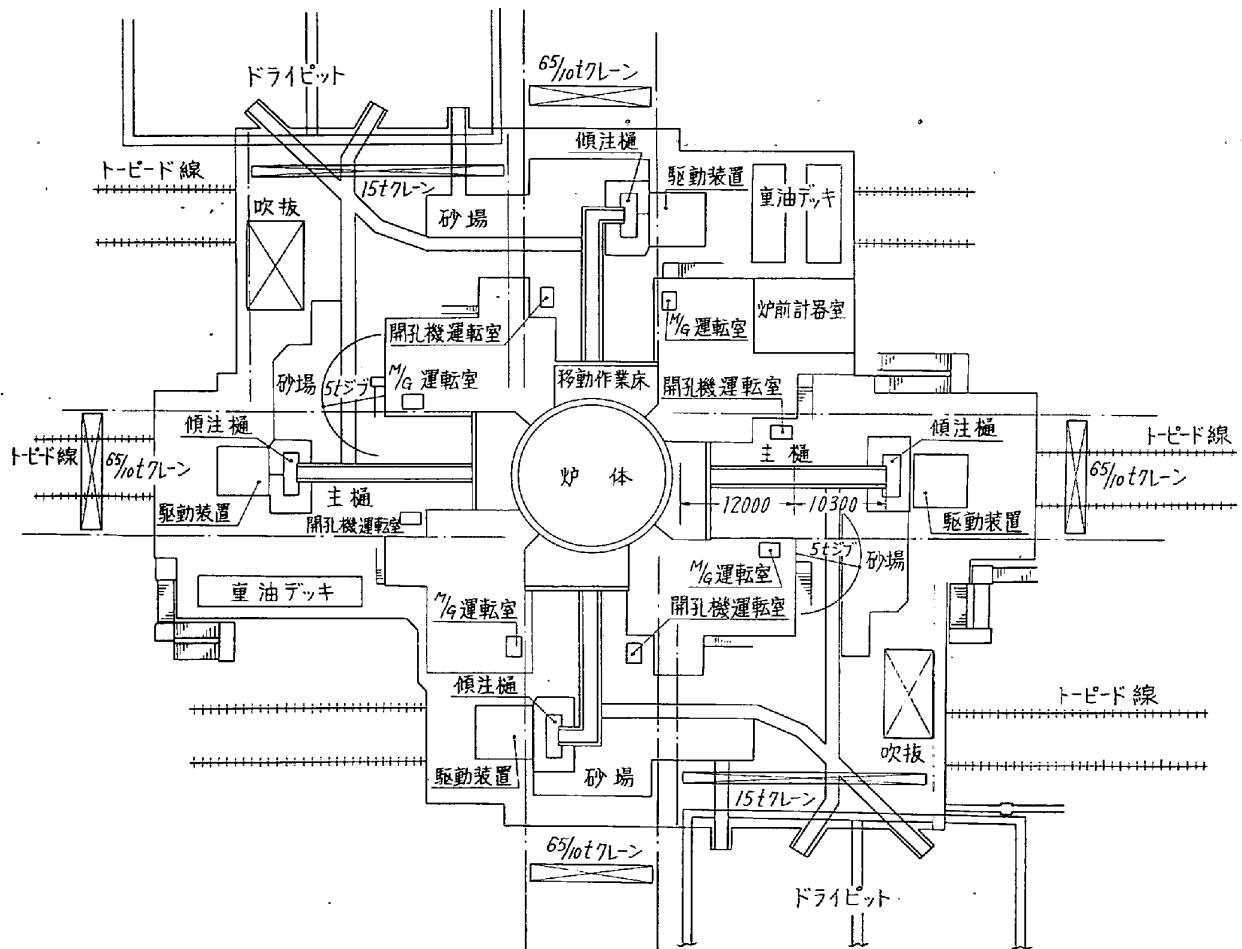


図1.4.12 鑄床配置の一例(鹿島-2BF)

(製鉄部会資料より)

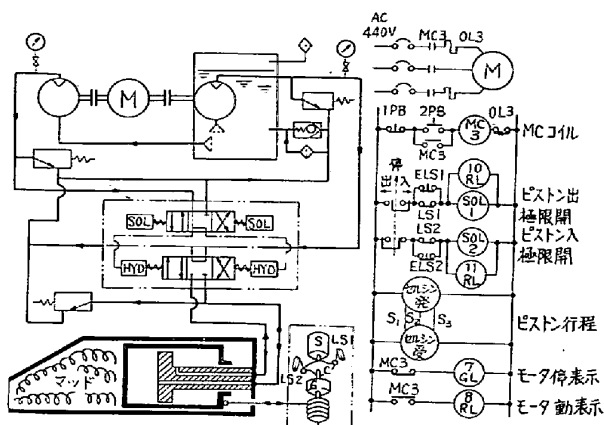


図 1.4.13 油圧駆動マッドガン
(三菱重工技報 Vol.6 No.5 より)

ンプルな油圧駆動方式が採用されるようになった(図1.4.13)。出銑口の開孔も作業性が重視され、強力な回転打撃による一本切り開孔も行なわれている。

1.4.5 総 括

以上各設備関係の概要について述べたが、この10年間は、生産性、作業性、整備性も含めて大型化に対する著しい発展の期間であったといえる。今後も、より長期間の実績を通じて評価し、改善が進められるとともに、原料条件、省エネルギーなどの資源問題からくるニーズと、環境改善などの、いつそう強まった要請にこたえ、操業

と設備の両面から新たな評価と開発が進められ、発展してゆくもの考える。

1.5 高炉によらない製鉄法

1.5.1 直接製鉄

(1) 緒 言

高炉をとりまく環境条件の変化に伴って、すなわち原料炭の不足、コークス炉、焼結操業に伴う環境汚染の問題、そのための設備投資、公害対策費を含めたROI(Return on Investment)の低下など種々の制約条件の下で、直接製鉄に対する要請はこの10年で著しく強まってきた。また今後も発展途上国、天然ガスなどの資源国を中心に発展すると思われるが、特に電炉装入原料であるスクラップの需給事情が引続き悪化してくることも予想されよう。高炉法優位のわが国においても海外技術協力その他の色々な形で直接製鉄法を検討していくことになると思われる。また高温ガス冷却炉の冷却材であるHeガス顕熱を用いて原子力エネルギーを製鉄に導入するプロジェクトの一環としても直接製鉄は大いに研究されよう。

さてわが国では直接製鉄は立地上また量産体制上の制約から、後述のごとくかなり目的が限定された形で実現されている。しかし海外では西独Korf社のMidrex法、Thyssen社のPurofer法が開発されており、また同様なシャフト炉による海綿鉄の製造は米Armco社および

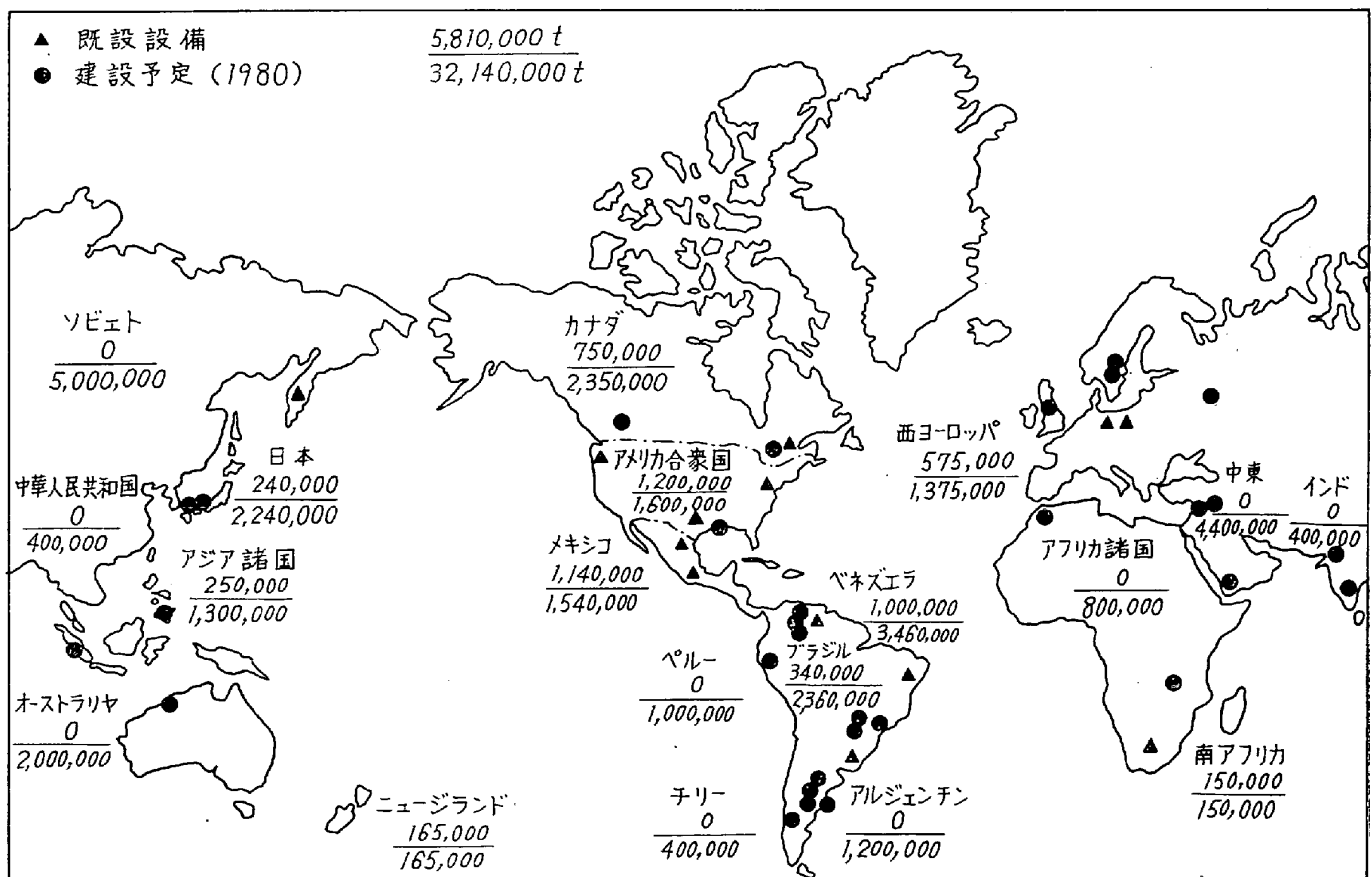


図 1.5.1 世界の直接製鉄設備