

東海製鉄株式会社 納 日立全低圧大形再熱式空気分離装置 Hitachi Tonnage Oxygen Plant (Low Pressure Type Using Reheat Cycle)

檀原可人* 鈴木郁郎*
Yoshito Danbara Ikuo Suzuki
五十嵐 隼夫** 田尻明徳**
Akio Igarashi Akinori Tajiri

要 旨

生産合理化によるコストの低廉化は、現産業界において活発に行なわれているが、鉄鋼業界においても高性能超大型設備の計画が進められ、着々と実現の運びとなっている。

本報告は中部工業地帯の中核で、最新鋭銑鋼一貫製鉄所として鉄鋼業界の注目のもとに建設された東海製鉄株式会社に設備された大形再熱方式空気分離装置の計画と運転実績についてまとめたものである。

本プラントは昭和40年4月より現地据付工事が開始され、同年7月に運転にはいって以来、現在まで好調に稼動されており、再熱式空気分離装置の安定性を立証している。

1. 緒 言

東海製鉄株式会社は図1に示すように名古屋南部臨海工業地帯に富士製鉄株式会社と中部財界の協力によって、昭和33年9月に設立された世界最新鋭の銑鋼一貫工場である。

1952年にオーストリアのLinz Donawitz工場で実用化されて以来、鋼の品質向上、製鋼単価低減などの面で製鋼の際の中心となっているLD転炉(純酸素上吹き転炉)の酸素源として設備された本空気分離装置は、製鋼用大形空気分離装置としては初めてのものであ

り、従来の抽気方式に代わり採用された再熱方式で、再熱式蓄冷器のもつ利点を十二分に発揮している。

本空気分離装置は安価な酸素を大量に製造する、いわゆる高性能大形空気分離装置として、下記のねらいのもとに計画、設置されたものである。

- (1) 大形高性能複合圧縮機と高性能空気分離装置の組合せにより酸素発生原単位を低下させる。
- (2) 大形再熱式蓄冷器採用により装置の取扱いおよび保守の簡易化をはかる。
- (3) 酸素需要の減少時には、液体酸素採取運転に切り換えるとともに、自動液体酸素採取、送出の設備を有すること。
- (4) 大幅な増、減量運転ができるようにする。
- (5) 大幅な自動化導入により運転人員を節減する。

かくして、運転実績にも、満足すべき結果が得られ、今後のより超大型空気分離装置の計画、設置に大きな示唆を与えるものである。

2. 近年の酸素製造と製鉄部門における酸素の利用

わが国における近年の酸素生産量は図2に示すとおりで、重化学

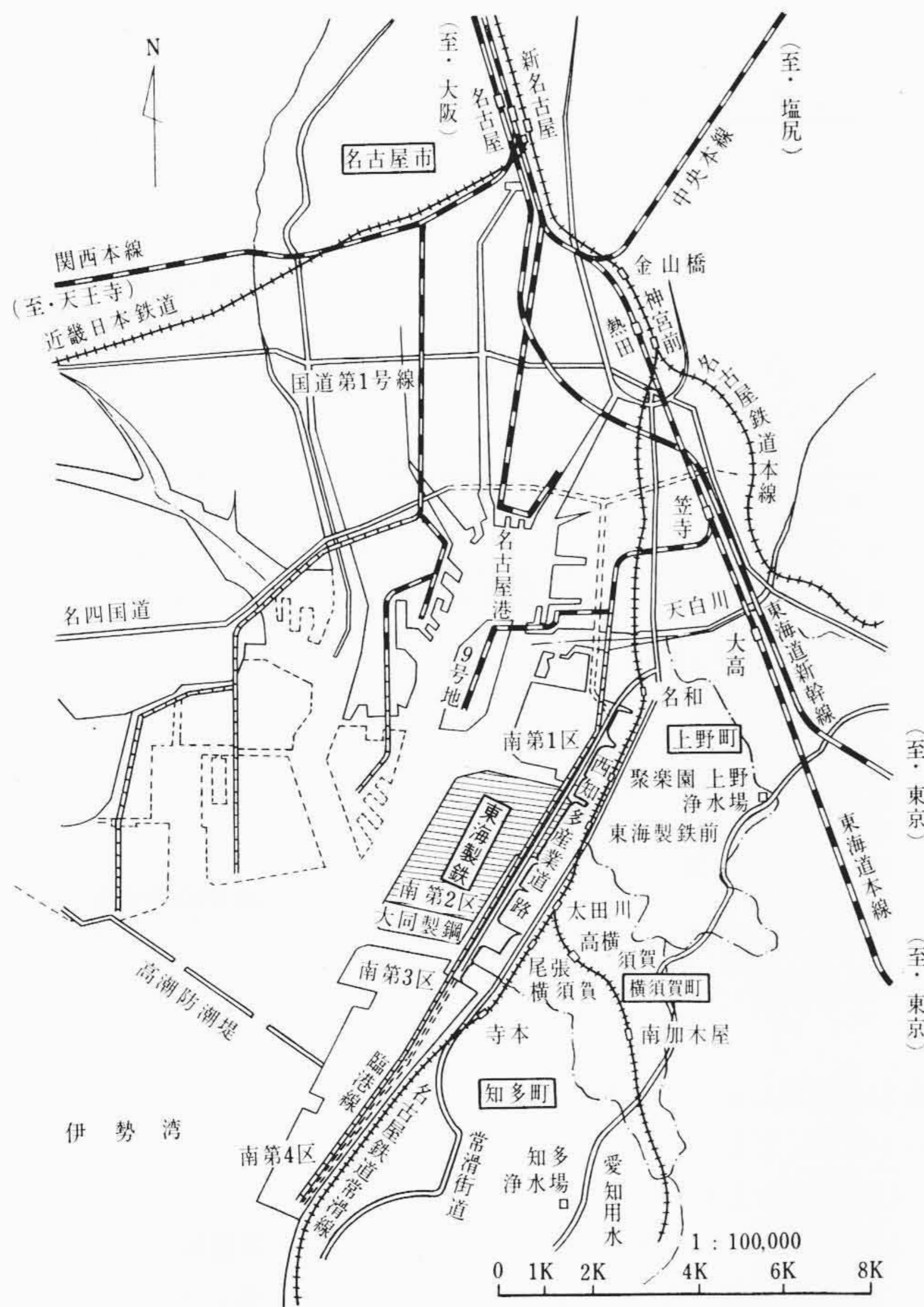


図1 東海製鉄株式会社位置図

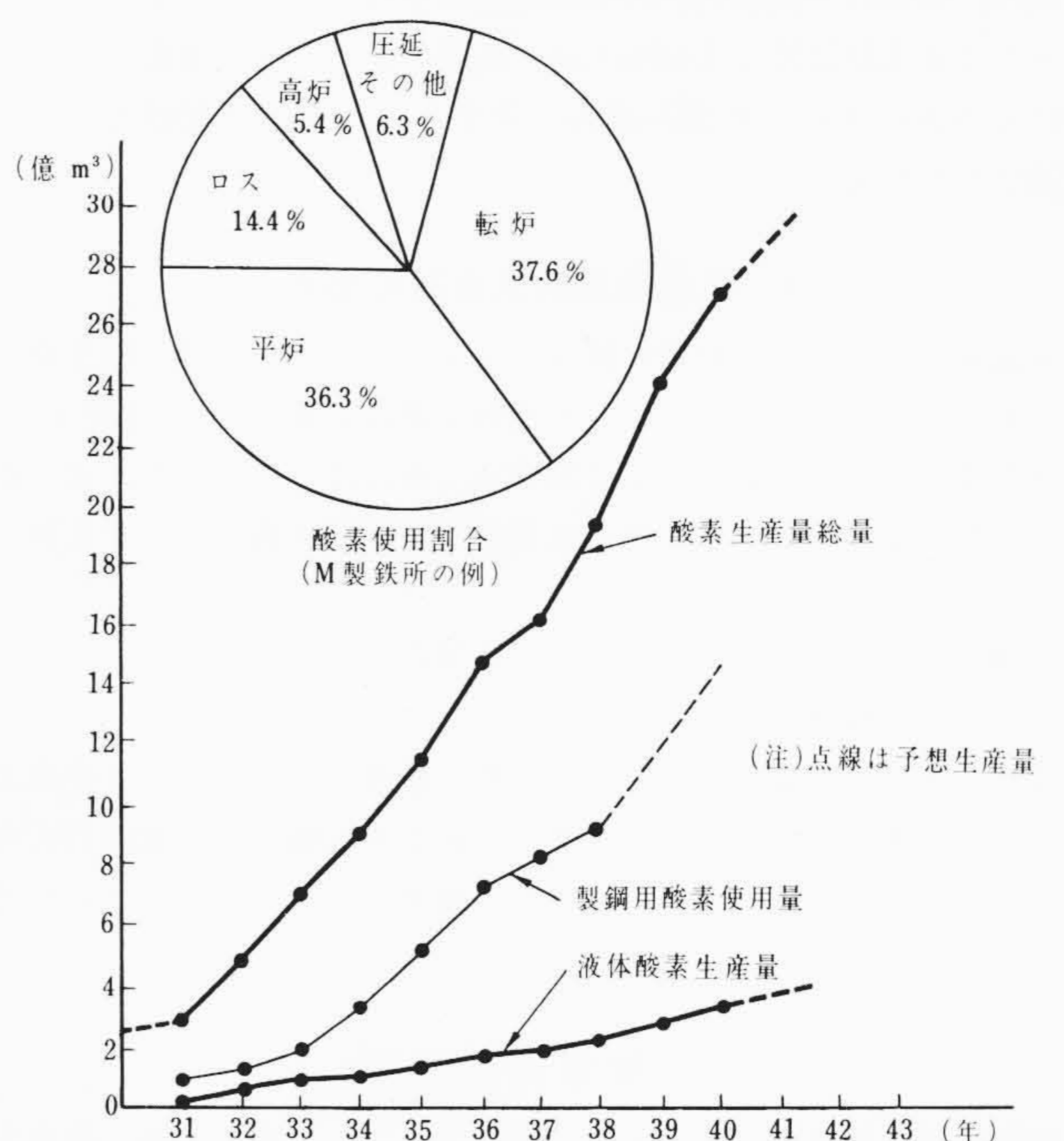


図2 酸素生産量推移図

* 東海製鉄株式会社
** 日立製作所日立工場

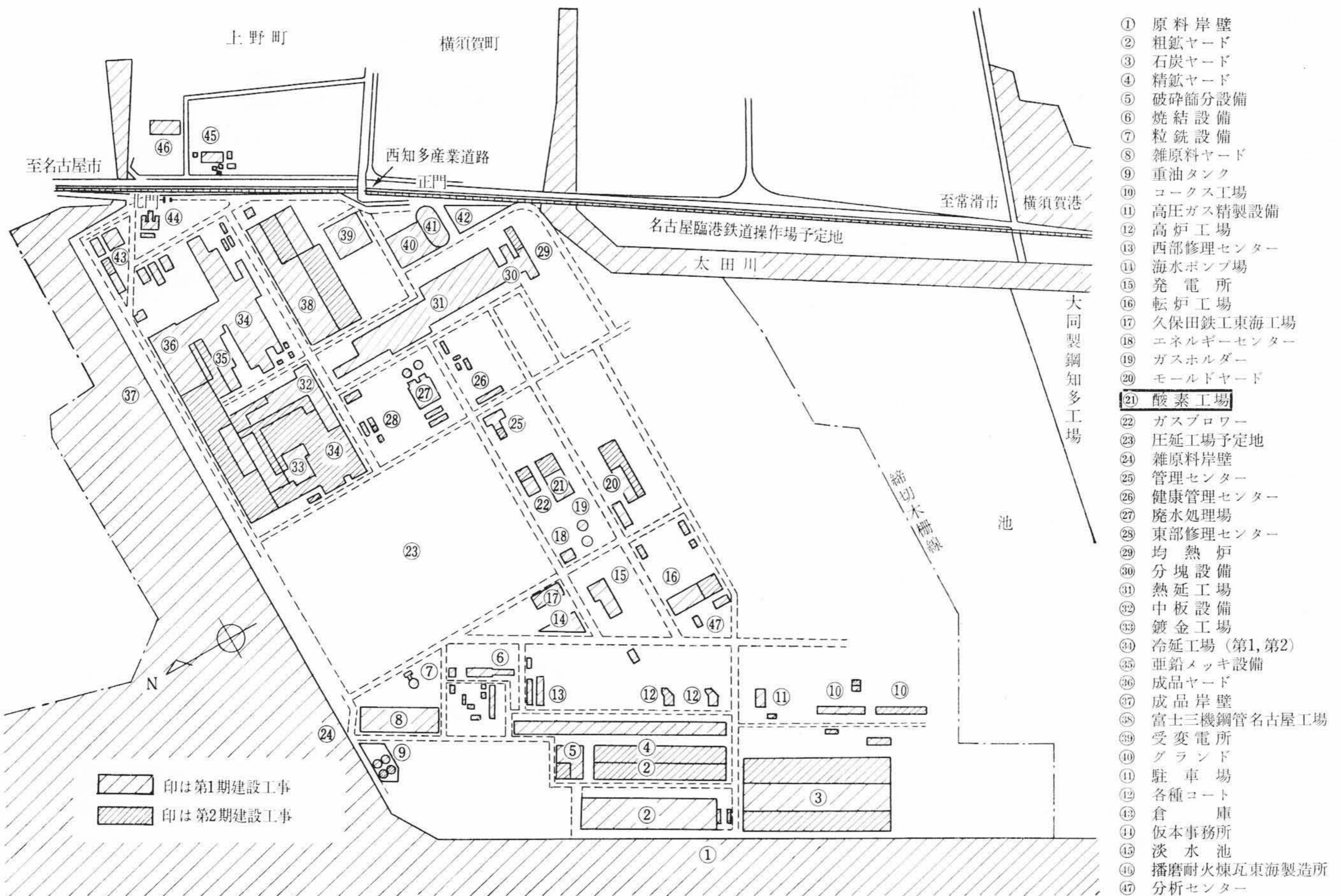


図3 工場配置図

工業の合理化，製鉄工業の大形化のための設備投資が行なわれた昭和31年頃より急速に発展し約10年間で十数倍の生産となり，アメリカ，ソ連に次ぐ世界第3位の西ドイツに迫っている。生産酸素量の50~60%を消費する製鉄部門において，図2中に示すように大半が製鋼に使われている。従来各種製鋼法のうちで平炉による生産量が最も多く，電気炉，転炉が続いたが1957年頃より大容量空気分離装置の発達による酸素原価の低下によりLD転炉の建設が急速に進み，従来の平炉に代わって製鋼法の主流を占めている。今日ではそのうえLD以外のConverter，高炉，送風の酸素富化，圧延におけるスカーフィング(鋼片表面のきずとり)，鋼片の切断などにも使用されている。

3. 東海製鉄株式会社の概要

東海製鉄株式会社の建設は図3に示すように，第1期，第2期工事にわたって行なわれた。第1期建設工事は昭和39年9月完了し，現在第2高炉を中心とする第2期建設工事にはいっている。第1期工事における高炉，転炉工場の主要機器の概要は表1に示すとおりである。

銑鋼一貫工場として操業開始した本製鉄所は

原料→製銑→製鋼→圧延→成品

の流れを大形専門設備による単一品種に量産化され，かつ全生産工程が流れ作業化されている。全部門にわたり大幅な自動制御方式の採用により人員の節減と品質の向上，操業の高効率化がはかられている。

4. 酸素設備概要

酸素工場は製鉄所のほぼ中心に配置され，LD転炉工場へ酸素を供給するとともに，所内の作業用酸素としても一部使用されている。

表1 第1期建設工事高炉転炉設備概要

		設 備 概 要	
高 炉	形 式	鉄柱鉄皮式	全高 85 (m)
	出 銑 量	3,500 (t/day)	(回数 7~9 回)
転 炉	形 式	純酸素上吹転炉	同心非分離式
	出 鋼 量	1基稼動	150 t/回
	能 力		12 万 t/月

表2 酸素工場主要機器仕様

原料空気圧縮機および電動機		電 動 機	
形 式	BMPC-IMB-GH (低圧段軸流方式-高圧段遠心方式)	出 力	6,100 (kW)
風 量	61,600 (m ³ /h) NTP Dry	極 数	2 (P)
吸込圧力	-400 (mmAq)	形 式	TFFB ₃ L-MCRYI
吐出圧力	4.9 (kg/cm ² g)		
関係湿度	85 (%)		
空 気 分 離 装 置			
酸 素 発 生 量	7,200~11,800 (Nm ³ /h)		
酸 素 純 度	99.6 (%)		
液 体 酸 素 発 生 量	600~1,200 (Nm ³ /h)		
	(膨張タービンの運転台数により液体酸素採取量増減可能)		
窒 素 発 生 量	7,200~10,000 (Nm ³ /h)		
窒 素 純 度	99.995 (%)		

表2は酸素工場の主要機器の仕様を，図4は本プラントのフローシートを示したものである。

4.1 計画上の特長

4.1.1 6,100 kW 複合圧縮機による幅広い増減量運転

図5に稼働中の6,100 kW 原料空気複合圧縮機を示す。この圧縮機は，駆動電動機を中心として，増速装置を介して低圧段，高圧段に分かれており，低圧吐出側にインタークーラが設置され，空気は規定の温度，圧力の状態で高圧段に送入されるようにな

っている。

低圧段 低圧側は軸流圧縮機で、運転中静翼の一部を可変翼として、高性能を維持した状態で風量の増減が可能である。

高圧段 高圧側はドレン、ダストなどについて十分考慮されている。各段出口にはステージクーラが設置され、インデューサ付きの遠心圧縮機が採用されている。

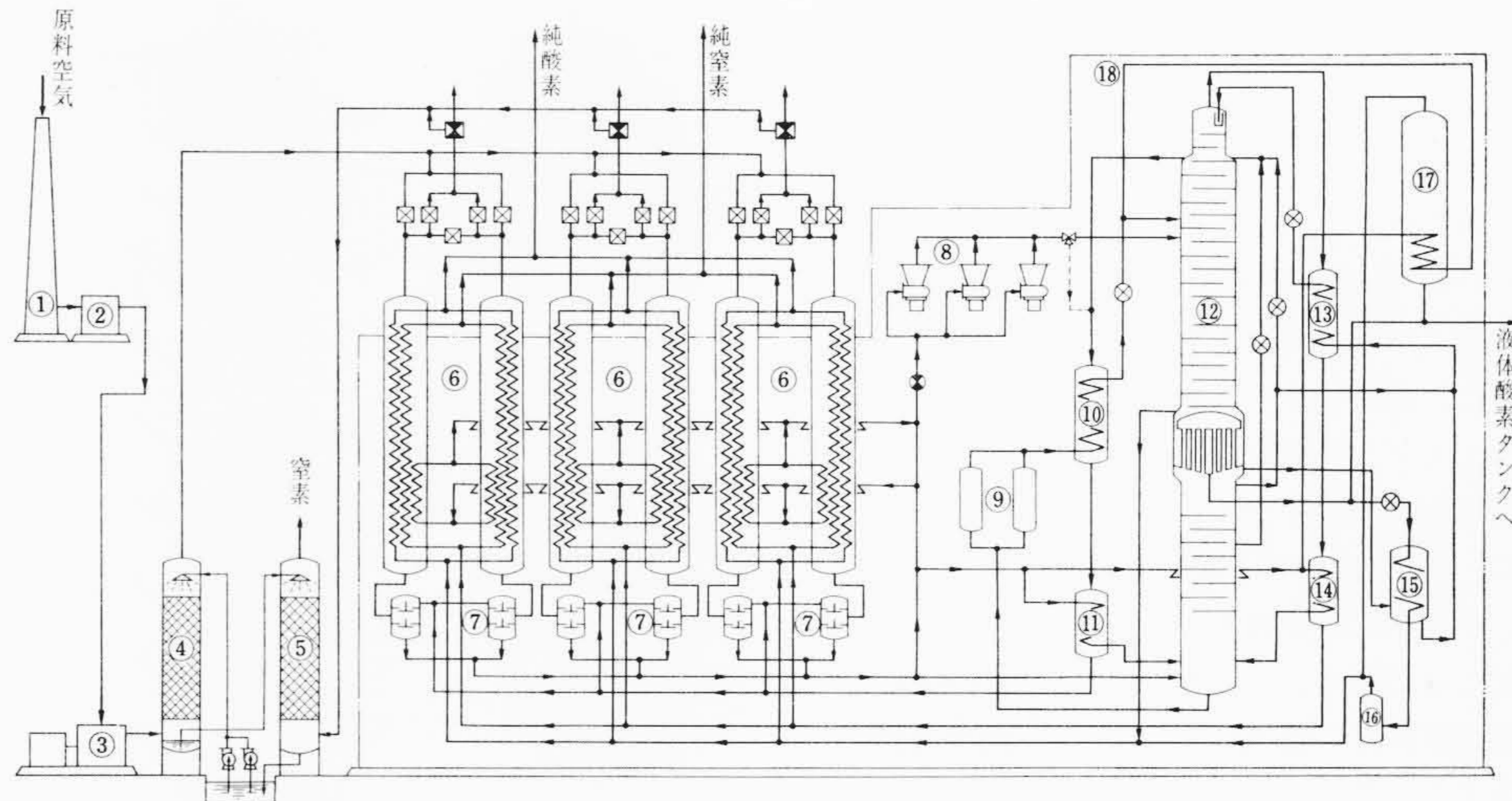
高、低圧段ともマッチングには特に注意して計画され、負荷の変動に対して、常に高性能で運転されるよう考慮されている。

4.1.2 大形再熱式蓄冷器の採用による装置取扱い保守の簡易化

図6に再熱式蓄冷器を使用したフローシートと、中間抽気方式のフローシートを示す。この比較図でわかるように再熱式蓄冷器の採用により、抽気方式に対し、エコライザ、タービン熱交およびタービン熱交回り温度制御装置、CO₂除去器などが不用となり、これらの機器の取扱いの必要がなく、起動操作はもとより平常運転においても装置の取扱いが容易かつ保守も楽である。再熱式蓄冷器の場合、特に有利となる点は1~2日ごとに切換、再生が必要であったCO₂除去器が不要となるため、高度の自動化、遠隔操作化が可能となり、かつ再生の際失われる寒冷の損失もないのでプラントの性能向上に役立っていることである。

4.1.3 自動液体酸素採取、送出回路の設置および作動原理

本装置には図7に示すような液体酸素中間タンクおよび昇圧回路を設け、酸素需要量に応じて膨張タービン2台または3台を並列運転することにより液体酸素の採取を可能としている。液体酸素採取回路は精留塔主凝縮器の液体酸素を0-6弁により液体酸素中間タンクに送入、蓄積する。中間タンクに所定量蓄積すれば、LRSA-1により液面を検出し、レベルスイッチが動作し、A65弁開、0-7弁閉となり（E10弁は事前に開としておく）中間タンク内の高圧空気巻込管の空気によりタンク内の液体酸素の一部をガス化させ、中間タンクの圧力を上昇させることにより、液体酸素タンクの圧力よりも高くなったときに移酸を開始する。



- ① 空気取入口
- ② 空気ろ過器
- ③ 空気圧縮機
- ④ 水洗冷却機
- ⑤ 蒸発冷却器
- ⑥ 蓄冷器
- ⑦ 蓄冷器逆止弁
- ⑧ 膨張タービン
- ⑨ 液空ろ過器
- ⑩ 液空過冷却器
- ⑪ 第一液化器
- ⑫ 精留塔
- ⑬ 液室過冷却器
- ⑭ 第二液化器
- ⑮ 副凝縮器
- ⑯ アセチレン除去器
- ⑰ 液体酸素中間タンク
- ⑱ 保冷槽

図4 空気分離装置配管系統図

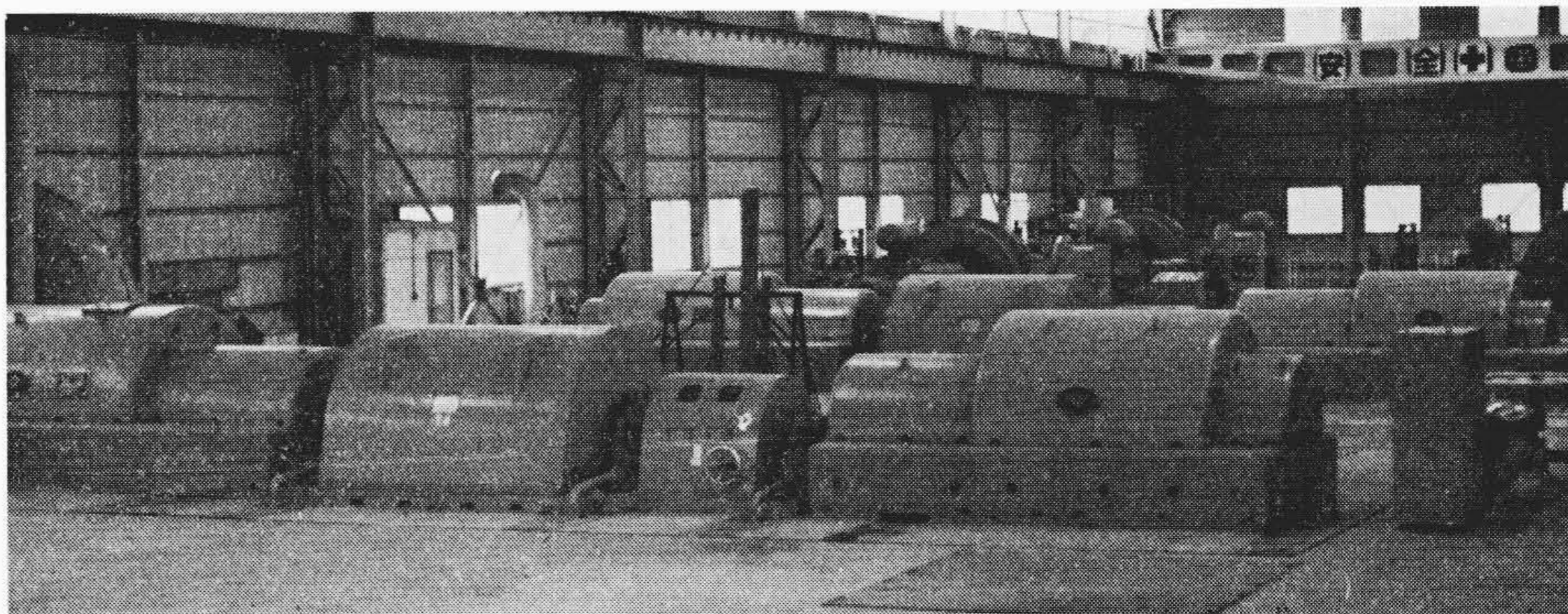


図5 稼働中の複合形原料空気圧縮機

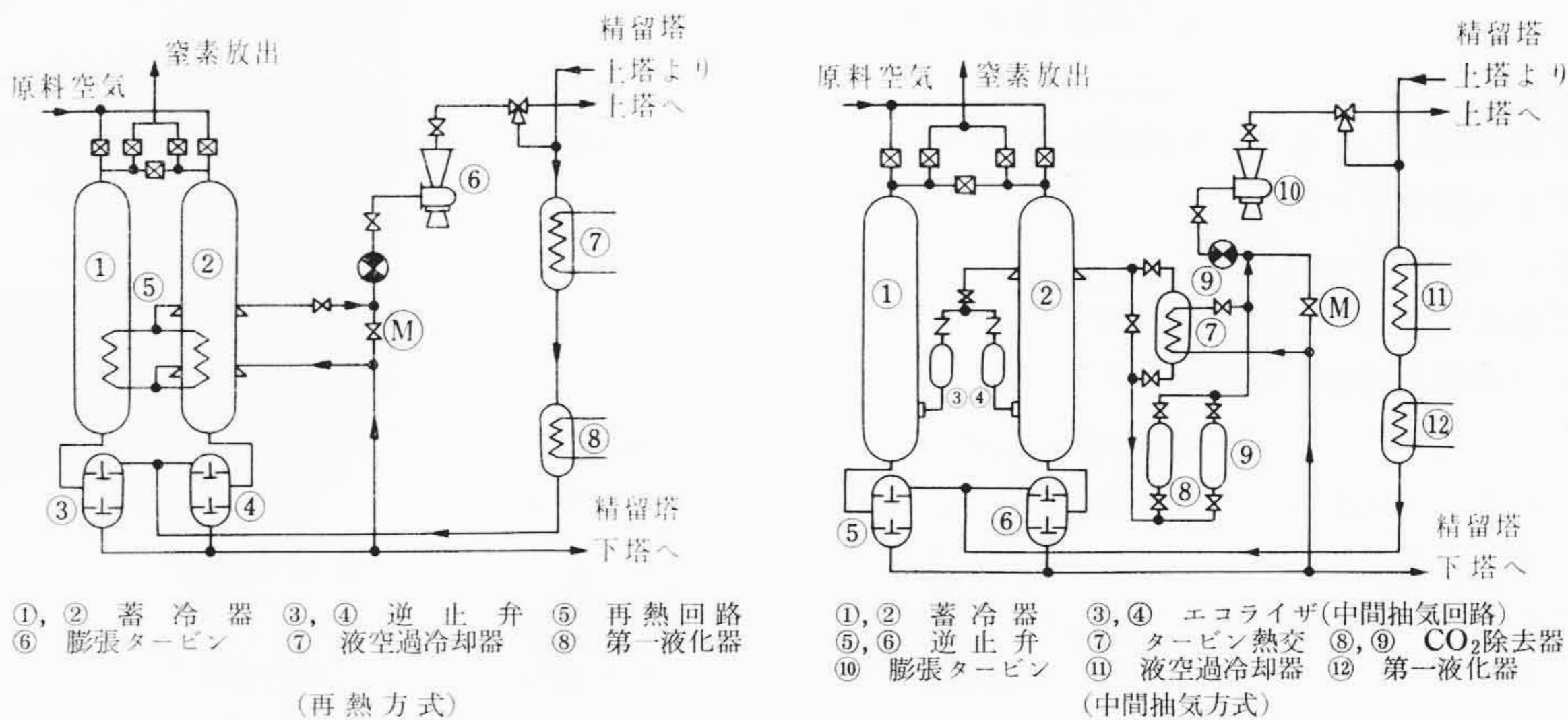


図6 再熱方式および中間抽気方式の系統比較図

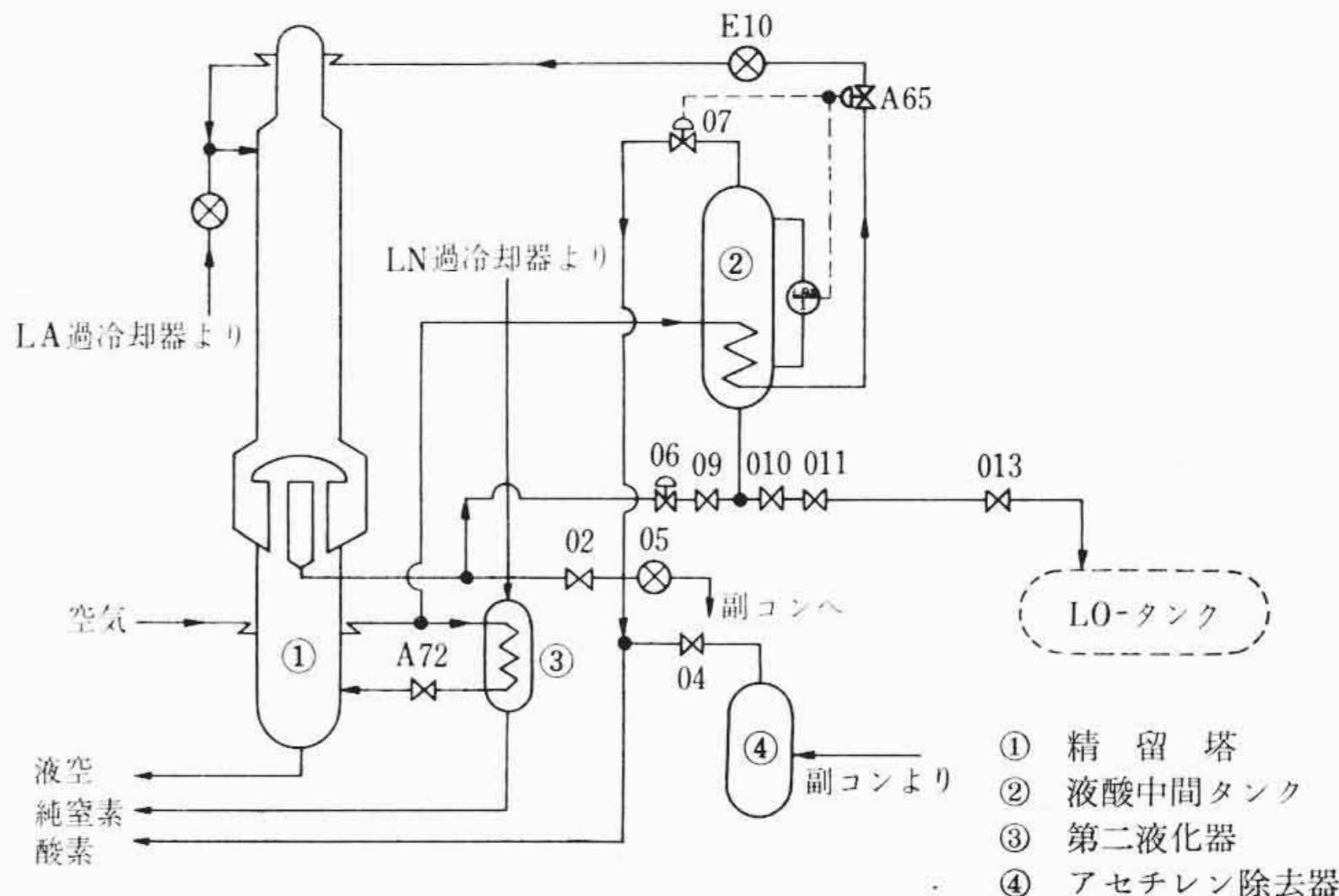


図7 自動液体酸素採取移酸系統説明図

LRSA-1の下限レベルに下ったときにレベルスイッチが作動して移酸が完了し、次の蓄積にはいりこの状態の繰返しが行なわれる。なおこの実作動の状況は図8に示すとおり良好な制御を行なっている。

4.1.4 既設プラントとの連絡運転可能

図9に示す運転監視盤により原料空気系統は、既設プラントとの連絡運転を可能としており、制御装置の適正な計画により、運転上に互換性をもたせている。

4.1.5 集中制御と運転の自動化

原料空気圧縮機および分離装置本体の各部には下記のように自動化、および遠隔操作を採用し、図10に示すような中央制御室よりの集中監視制御を可能としている。

すなわち

- (1) 圧縮機の自動起動
- (2) 水洗冷却設備の自動化
- (3) 精留塔調節弁の自動化、および遠隔操作化
- (4) 膨張タービン運転の自動化
- (5) 加熱装置系統運転の自動化、遠隔操作化

(6) 液体酸素採取、および送出運転の自動化

などであり、これらの有効な操作により、起動、停止、および日常の運転監視が簡易化されている。

このほか、原料空気圧縮機の幅広い増減量運転に対し、プラント側は十分これに追随して高性能を維持し、70%を下回る減量運転と、7~10%までの増量運転の実績を得ている。

5. 据付および試験運転

大形屋外式プラントの据付は、昭和40年4月に着工し、据付期間が梅雨期にかかるという悪条件下にもかかわらず計画どおり同年7月より試運転にはいった。

5.1 本体据付工事

工事の実績概要を図11に示す。本プラント据付については大形塔長の機器の運搬、大口径配管などの有効な設置計画、屋外作業における外気条件変化による各種据付工事の進展調整、雨、強風に対する防水、防風処置などの問題があったが、それぞれ熟達した作業者と適切な指導により、すべてに対して予定どおり完了することができた。図12は据付終末の本プラントの状況を示したものであるが、大形クレーン、クレーン車の有効配置により整然と工事を進行することができた。

5.2 試 運 転

試運転ならびに性能試験としては定格試験のほか、増、減量試験

据付工程の概要

日数	1ヶ月		2ヶ月		3ヶ月		4ヶ月		5ヶ月	
	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
架台設定	[Progress bar]									
保冷槽組立			[Progress bar]							
機器据付配管	[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]			
気密テスト							[Progress bar]			
外部関係	[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]			
電気計装関係	[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]			
圧縮機関係	[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]		[Progress bar]			
総合試運転							[Progress bar]			

図11 工事工程表

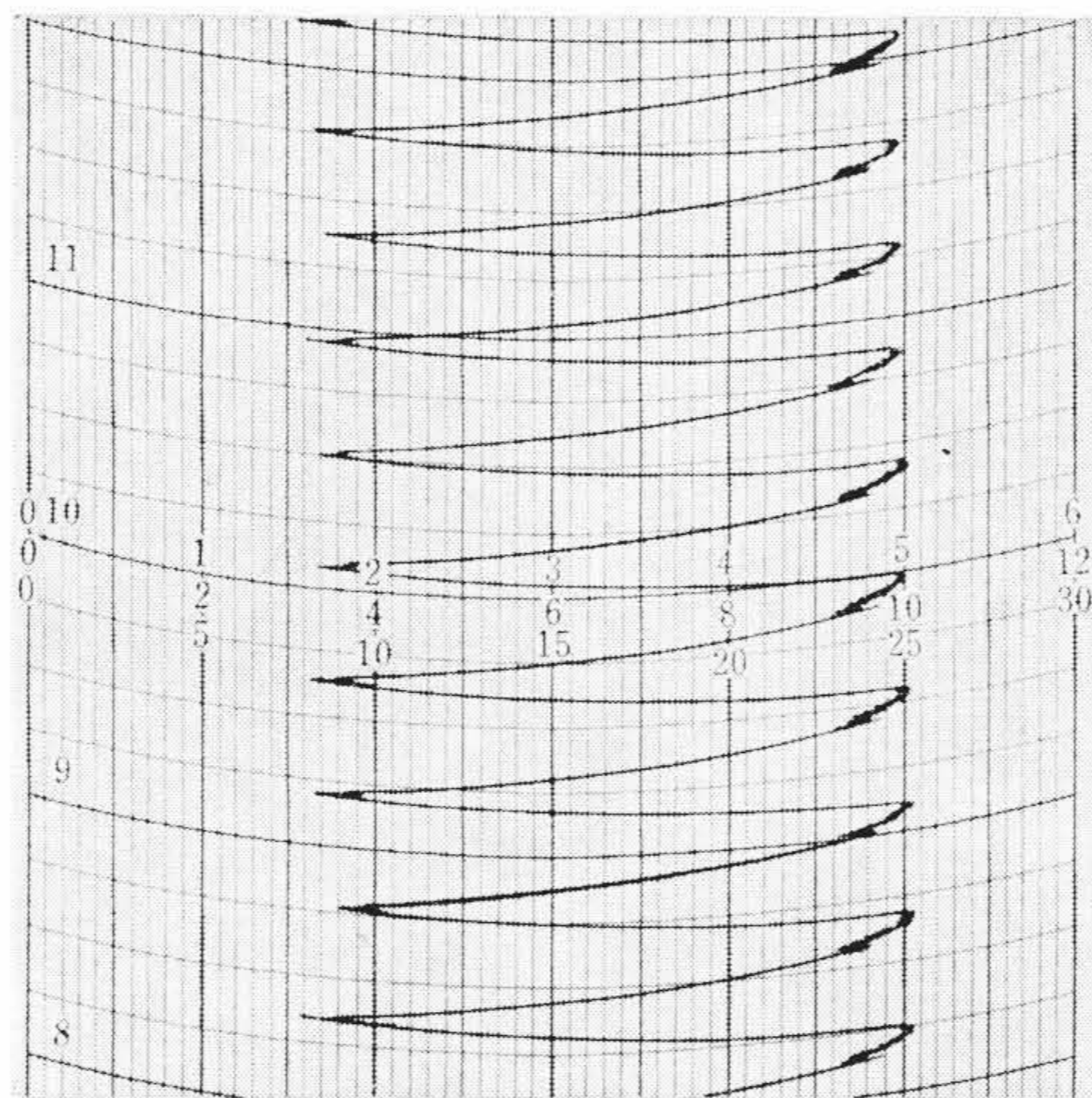


図8 自動液酸採取-移酸運転記録

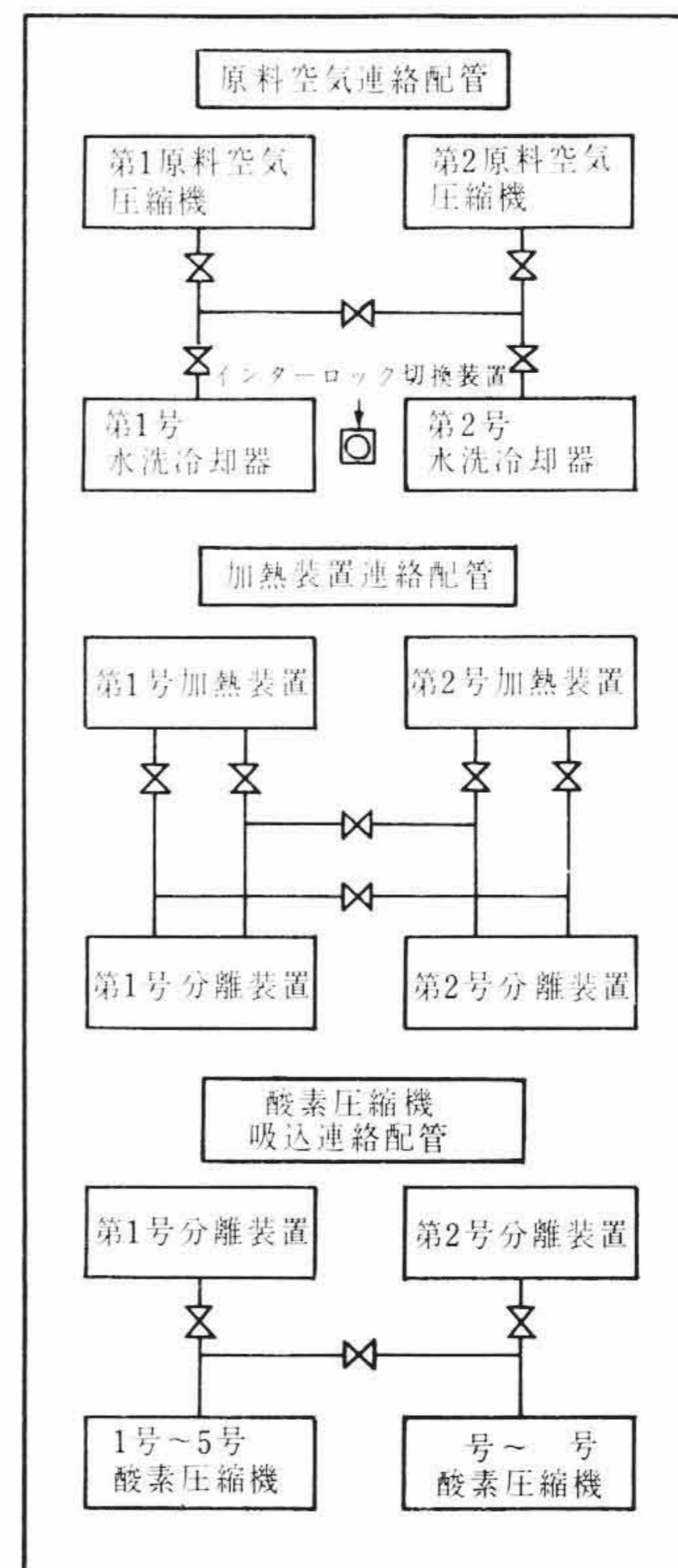


図9 既設、新設、設備相互連絡運転盤配置図

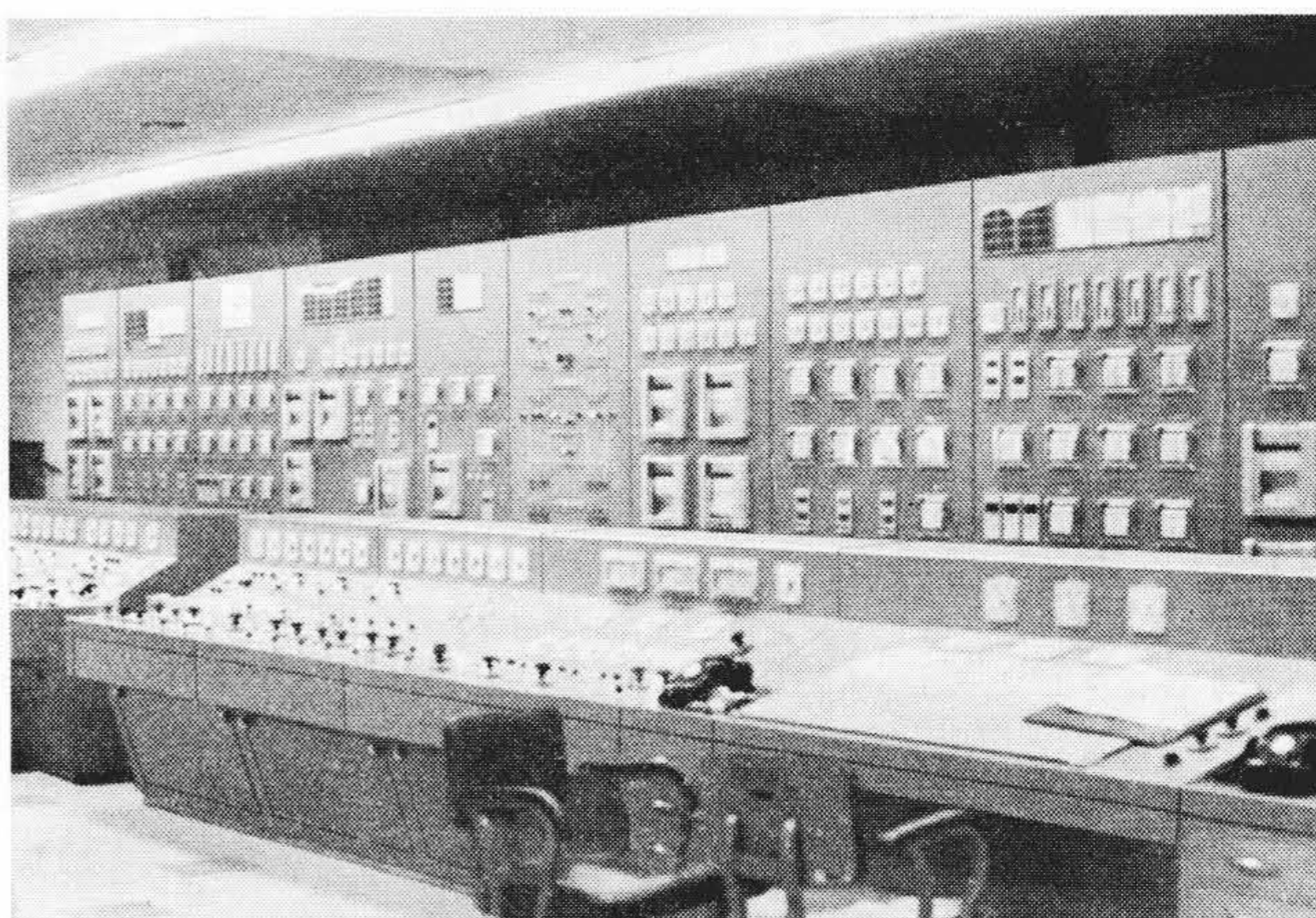


図10 中央運転制御室

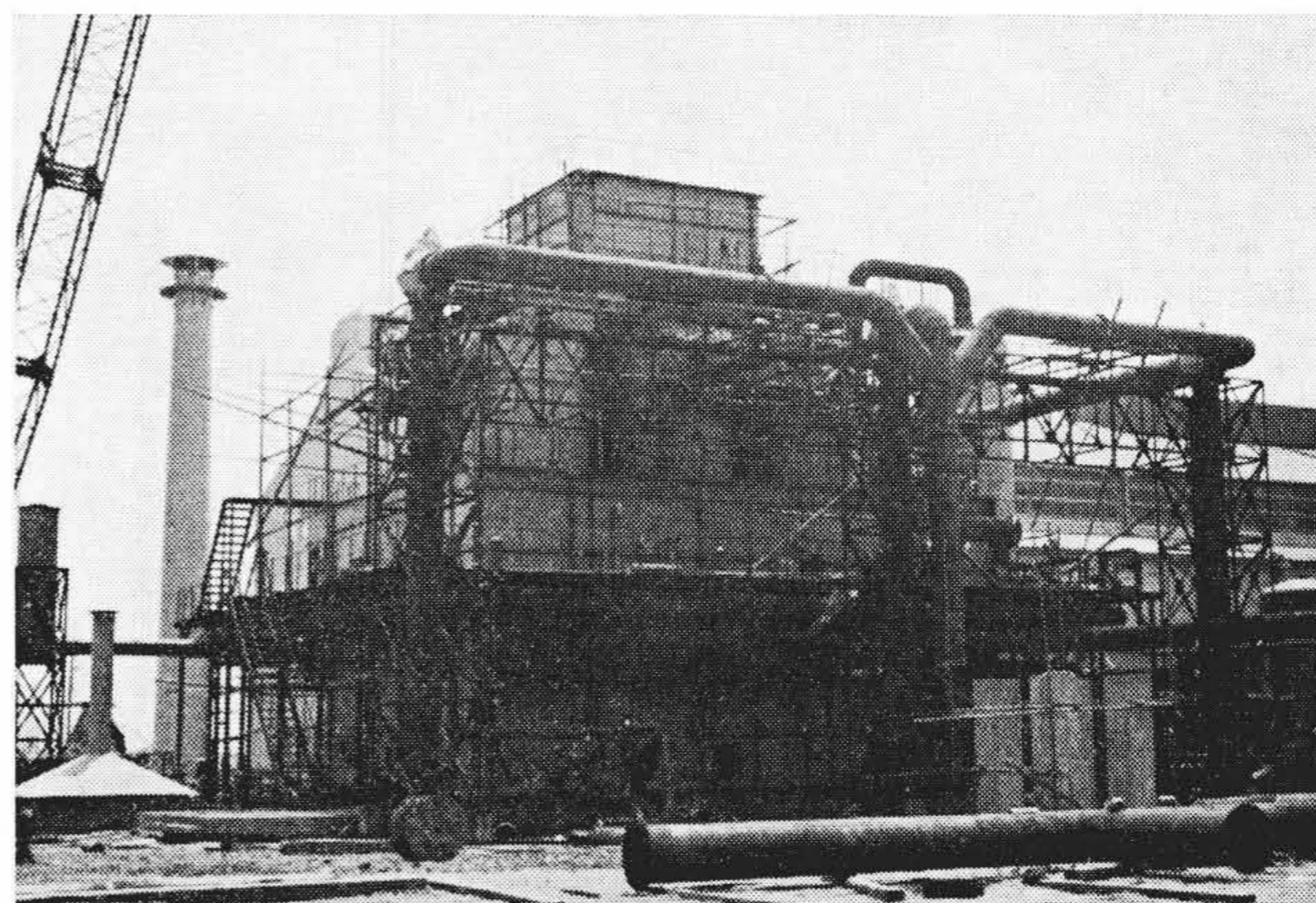


図12 据付工事終末の空気分離装置

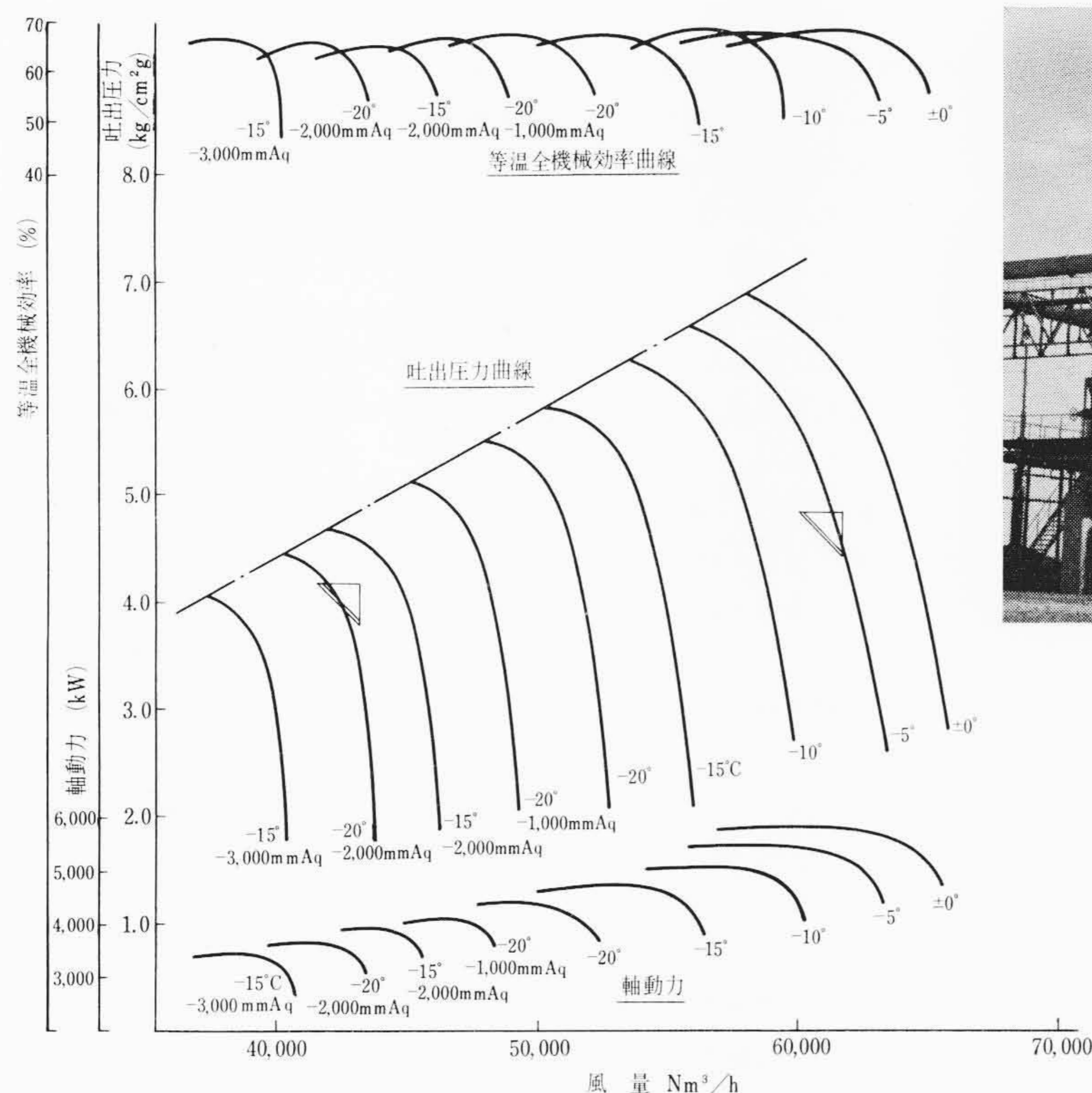


図13 複合原料空気圧縮機特性図

および液体酸素採取試験が施工され、良好な成果が得られた。次にそれぞれの性能試験の結果について述べる。

5.2.1 6,100 kW 複合圧縮機特性試験

図13に特性試験の結果を示す。前述のように、形式の異なる(高圧段遠心式、低圧段軸流式)圧縮機の組合せの場合、プラントの操業状態により圧力、流量が変化するとき、圧縮機は常にマッチングに問題なく、良好な特性を発揮しなければならないが、その総合特性は図13に示すとおりである。計画点における特性は表3のとおりで優秀な結果を得ることができた。

5.2.2 空気分離装置試運転、性能試験

図14に稼動中の空気分離装置を示す。試運転は昭和40年7月

表3 6,100 kW 原料空気圧縮機計画点特性

項目	性能試験結果
風量	61,600 (Nm³/h)
吐出圧力	4.9 (kg/cm²g)
等温全機械効率	68 (%)
軸動力	5,850 (kW)

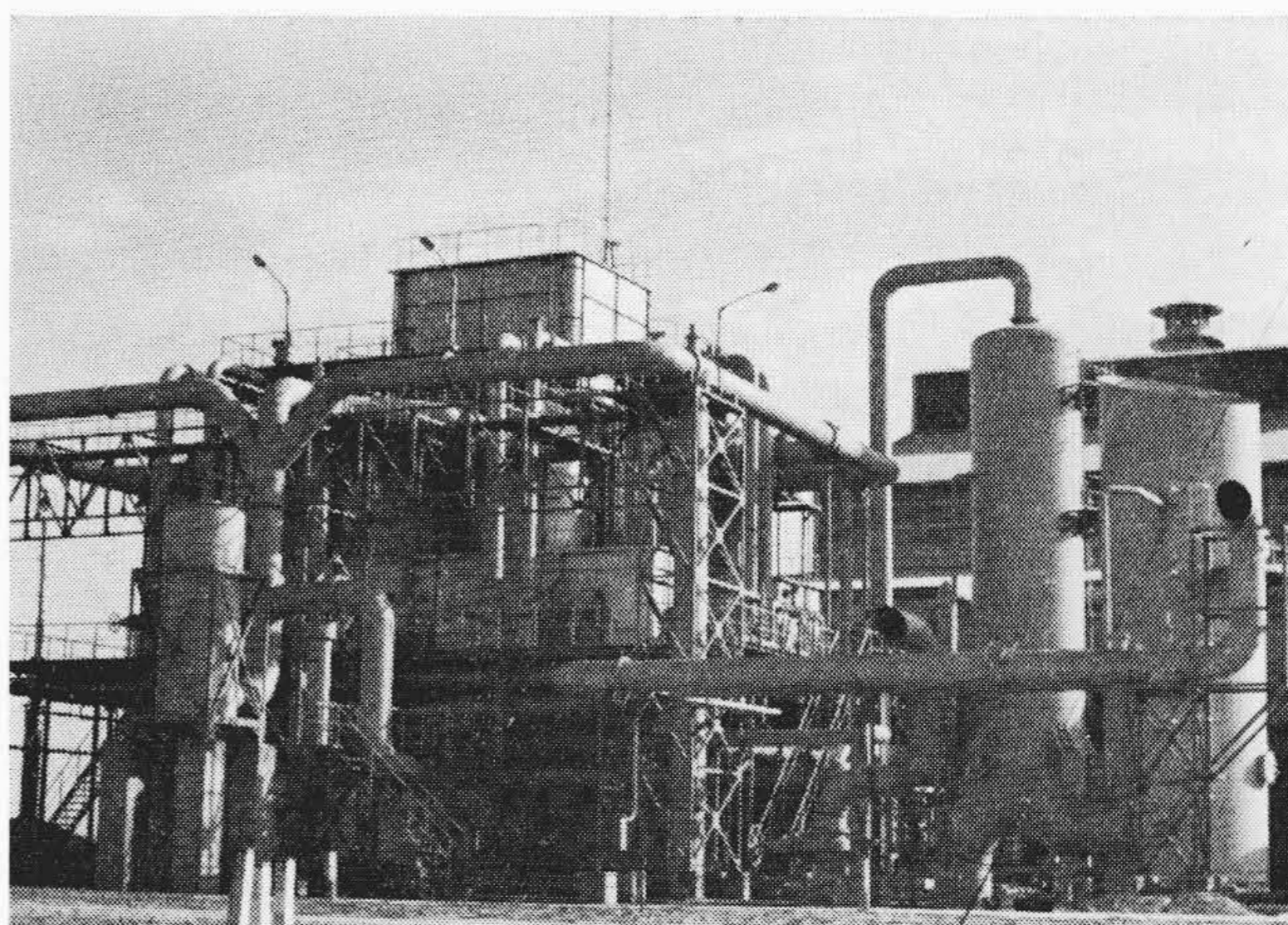


図14 稼動中の空気分離装置

より開始し、種々の項目に対し、長時間にわたって性能試験が実施された。結果は十分満足できるものであり、各負荷に対して安定した値を示し、運転、取扱い、保守などあらゆる点で良好なプラントであることが立証された。次にプラント起動より送酸に至る試運転経過について述べる。

(1) 試運転、プラント起動→送酸

起動操作は再熱蓄冷器の特長を利用して行なわれ、各冷却段階においてまったく不具合なく進展し、予定の時間よりも早く送酸にはいることができた。

操作手順は次のとおりである。

- (a) 原料空気圧縮機起動、プラント空気送入
- (b) 蓄冷器、膨張タービン、運転開始
- (c) 再熱回路適正使用、(寒冷サイクル部整定)
- (d) 精留塔系統冷却開始、液体空気発生、液体酸素発生
- (e) 精留塔主凝縮器部液体酸素蓄積操作、および純度調整
- (f) 送酸開始、液体酸素蓄積完了
- (g) 規定量送酸、プラント運転調整
- (h) 運転整定、起動操作完了、定常運転

以上の操作を適正な判断によって、自動操作、遠隔操作させ、起動から定常運転にはいることができた。

(2) プラントの性能運転

表4にプラントの性能試験結果の一覧表を示す。試験の結果はすべて計画値を上まわり、満足できるものであった。本プラントに採用された数々の特長も、その特性を十分発揮し、性能の向上に大いに寄与することができた。よって酸素発生電力原単位も0.5kW/Nm³O₂を下回り0.4kW/Nm³O₂の時代にはいったといえる。

表4 性能試験結果一覧表

大別	項目	定格試験結果		増量試験結果		減量試験結果		液体酸素採取試験結果の一例	
		計画値	実測値	計画値	実測値	計画値	実測値	計画値	実測値
空気圧縮機	原料空気量 (Nm³/h Dry)	61,600	61,600	66,000	64,700	43,200	42,330	61,600	61,370
	吐出圧力 (kg/cm²g)	4.9	4.8	5.07±0.1	4.96	4.25±0.1	4.1	4.9	4.6
	吸込圧力 (mmAq)	-400	-510	—	-400	—	-2,600	—	-460
	吸込温度 (°C)	30	9.0	16	11.0	30	21.8	30	9.3
空気分離装置	酸素発生量 (Nm³/h)	11,000	11,300	11,800	12,000	7,200	7,200	5,600	5,840
	液体酸素発生量 (Nm³/h)	—	—	—	—	—	—	1,200	1,630
	窒素発生量 (Nm³/h)	10,000	10,290	10,700	10,870	7,200	6,940	10,000	10,070
	酸素純度 (%)	99.6	99.67	99.6	99.65	99.6	99.74	99.6	99.72
	窒素純度 (%)	99.995	99.9984	99.995	99.9975	99.995	99.9975	99.995	99.9968

(3) 定格および増量試験について

表4のように、定格、および増量試験については、各保証項目について良好な結果を収めた。特に

- (a) 酸素発生電力原単位が0.5kW/Nm³O₂を切る事ができた。
 - (b) 増量運転でもプラントの分離性能は変わらない。
- などは注目すべき事柄であろうと考える。

(4) 減量試験について

減量試験は70%まで減量して実施した。結果は、表4に示すとおりであるが、減量特性を考慮した原料空気圧縮機の低圧段軸流圧縮機可変静翼の調整により、原料空気を約68.5%まで絞ることができ、しかもその状態でサージングに対して余裕のあることを示した。プラント本体側も減量点における分離効果、原単位とも良好な値で、安定した運転が維持できた。

(5) 液体酸素採取運転

膨張タービンを2台、3台運転し、その寒冷により液体酸素を採取する方式は特長の項で述べたが、試験結果は表4のとおりで非常に良好な結果を得た。なお図8に示したように本自動液体酸素採取回路の動作状況はきわめて良好であり、中間タンクより送出した回数により、液体酸素の採取量が算出される。液体酸素採取量は、膨張タービン2台、3台運転時とも予定値を2割以上上回り、酸素純度、動力原単位もすべて満足できるものであった。

6. 超大形空気分離装置の成果

以上述べたように、数々の特長を備えたわが国最大容量の本再熱式空気分離装置は、予定どおりの工期内に作業を完了した。

6.1 大形複合圧縮機の完成

低圧側の軸流圧縮機の可変静翼の調整により大幅な増、減量できたことは、製鉄所としての経済的な生産計画に大きく寄与するとともに、空気分離装置の計画に新しい分野を開いたものといえる。

6.2 大形再熱蓄冷器の完成

従来の中間抽気方式に対し、大形再熱蓄冷器の採用は、運転操作、運転管理を大幅に容易にした。同時に1年以上にわたる運転実績で水分、炭酸ガスの除去作用に全く問題のないことが立証され、今後は本蓄冷器が超大形時代の主役になるものと考えられる。

6.3 自動液体酸素採取および送出回路の開発完成

本方式はもっともシンプルな方法により、良い効果を上げるもの

として期待されていたが、その特色を十分に発揮したことは今後の酸素工場の液体酸素採取計画に新しい構造を与えたものである。

6.4 運転操作の自動化、遠隔操作化について

本空気分離装置に設置された自動および遠隔操作の各機構は、再熱式蓄冷器の採用とあいまって、それぞれ目的にかなった動作をした。なお空気分離装置の自動運転については古くから検討され、多様に採用されてきたが、空気分離装置のように自己安定性のあるプラントには必要最少限にとどめるべきであろうと思われ、むやみに自動および遠隔操作を行なうことはプラントの性格上一考を要する。

6.5 その他

本プラントは図14のように、完全屋外のうえ、日立独自の2重保冷形保冷槽を採用し、なんら問題もなく稼動に至らしめたことは将来の超大形屋外空気分離装置の計画に対し大きな成果であった。ただし屋外形プラントを採用するか否かは定期点検、保守などの便宜を考慮のうえ決定すべきであり、積雪地、あるいは空気汚染度の激しい地区においては、プラントの寿命について比較検討すべきであろう。

7. 結 言

中部工業地帯の中核ともいべき東海製鉄株式会社の新鋭設備の一部が名古屋南部臨海工業地帯に設置され、営業運転を開始した。本設備にはわが国最大容量の空気分離装置が設置され、重要な役割を演じているので、計画、運転実績について述べた。運転実績はきわめて良好で、高性能で稼動していることは新鋭製鉄所の発展に大いに貢献するものと考えられる。本酸素設備の完成により、得られた経験を今後十分に反映させるとともに、さらに

- (1) 高性能大形空気圧縮機の開発
- (2) 多様な操業の可能な空気分離装置への発展
- (3) 有効な自動化の採用による日常運転の簡易化

などを検討し、より高性能で取り扱いやすい空気分離装置の開発に努力していきたいと考えている。終わりに本酸素設備の計画、据付、試運転を通じて絶えずご指導、ご援助をいただいた東海製鉄株式会社の関係者各位、および日立製作所の関係者に心から敬意を表する次第である。

表5 日立全低圧式空気分離装置(TOプラント)定期点検一覧表

分類	機器名	点検項目	点 検 周 期					点 検 内 容	備 考	
			10日	20日	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月			1個年
VII	弁 類	4. タービン出口三方弁 5. 主コン液酸弁 6. ブロー弁					○	○	4. 弁シートの漏れ 5. 弁シートの漏れ 6. 弁シートの漏れ	
VIII	保 冷 槽	1. 水封安全器 2. 呼吸孔 3. 岩綿補充				○	○	○	1. 水面点検、詰り 2. 充てん物の点検、内圧の点検 3. 着霜部、上塔上部	内圧は 10~20 mmAq 以下
IX	蒸発冷却塔	1. 充てん物 2. スプレー 3. ストレーナ 4. 抵抗 5. フローメータ			○	○	○	○	1. 沈降の補充、内部点検 2. 目孔掃除 3. 掃除点検 4. 抵抗増加の有無点検 5. 分解掃除点検	
	乾燥加温装置	1. 温水加熱器 2. ゲル塔 3. 再生加熱器 4. フローメータ 5. 温度制御装置					○	○	1. 水入替(3ヶ月が標準)腐蝕点検 2. 充てん物の点検補充、逆止弁点検(6ヶ月ごと) 3. 安全弁、内部点検、気密、トラップ・ストレーナ 4. 分解掃除点検 5. 作動点検、接点点検	電熱ヒータは絶縁内部点検および端子の増締め
	運転操作盤	1. 圧力計 2. 流量計					◎	○	1. 指示較正、配管漏れ 2. 発振器零点チェック、配管の漏れ	工業計器単独の保守点検は、別途計器取扱