

日立酸素株式会社水戸製造所納

500 Nm³/h 全量液酸取り空気分離装置運転実績Operational Performance of 500 Nm³/h Liquid Oxygen Plant高野 勝 志* 市 原 潔*
Masashi Takano Kiyoshi Ichihara

要 旨

近年各方面において液体酸素の需要が増加しており低価格の液酸が要求される現状である。

日立製作所ではこれまでの各種空気分離装置の技術を生かして全量液酸取りプラント（以下 TO-L プラントとよぶ）を完成した。

本プラントは日立酸素株式会社水戸製造所に納入、昭和40年8月順調に営業運転にはいり現在好調に稼働している。

本稿は TO-L プラントについての装置概要、特長および運転実績についての紹介である。

1. 結 言

空気分離装置は1894年 Linde 氏により開発、工業化されたものであるが、わが国においても終戦後全低圧空気分離装置（5 kg/cm²G）の試作研究が始められ、化学工業の需要、製鉄工業の酸素製鋼への切り換えにより急速に大形化されてきた。

日立製作所でも昭和36年6月富士製鉄室蘭製鉄所納10,000 Nm³/h TO プラント、昭和40年6月東海製鉄所納11,000 Nm³/h TO プラントと年々大形化され各方面で好評を得ている。一方酸素使用のたいはんを占める製鉄業界において平炉、転炉の間欠的反復使用に対する分離装置への要望として短時間に装置能力以上の送酸を行ない、酸素需要に余裕のあるときは貯蔵できる方法の開発要請に答え高圧空気（200～150 kg/cm²G）サイクルを併用し分離効率を低下させないで一部液酸取りできる TO-H プラントが開発され、昭和36年5月住友金属小倉製鉄所に納入された3,800 Nm³/h TO-H プラントを1号機として順次その容量も大形化され、昭和40年10月住友金属和歌山製鉄所納10,000 Nm³/h TO-H プラントの出現をみるに至った。一方液酸需要が増加するにつれ全量液酸取りプラントの要求も高まってきている。

今回製作された TO-L プラント1号機はこれまでの TO プラント（全低圧式）、TO-H プラント（高圧サイクル併用）、TO-M プラント（中圧式）の製作技術を総合させたものであり、その運転実績が良好であるので今後に期待されるプラントである。

以下に本プラントの特長を列記する。

- (1) 全量液酸取りに加えて液酸需要に応じその総発生量を変えことなく一部気体酸素として採取できる。
- (2) 液酸取りに加えて液体窒素、気体窒素および液体アルゴンなどが同時に採取でき、しかも高純度である。
- (3) 液貯蔵タンクは真空断熱方式を採用した蒸発率の小さい経済性に富んだものである。
- (4) 空気圧縮機はその容量を100～75%の範囲で連続的にかわられるので生産計画に合わせた電力原単位の良い製品が得られる。
- (5) 寒冷発生源として高効率膨張エンジンと高圧膨張弁を使用しているので起動および再起動時間が非常に短い。
- (6) 制御系統が簡単であり運転が容易である。
- (7) 熱交換器の構造改善などにより装置全体がコンパクトにまとめられている。
- (8) 精留塔関係はアルミ製でアセチレン銅生成などの心配がない。

* 日立製作所日立工場

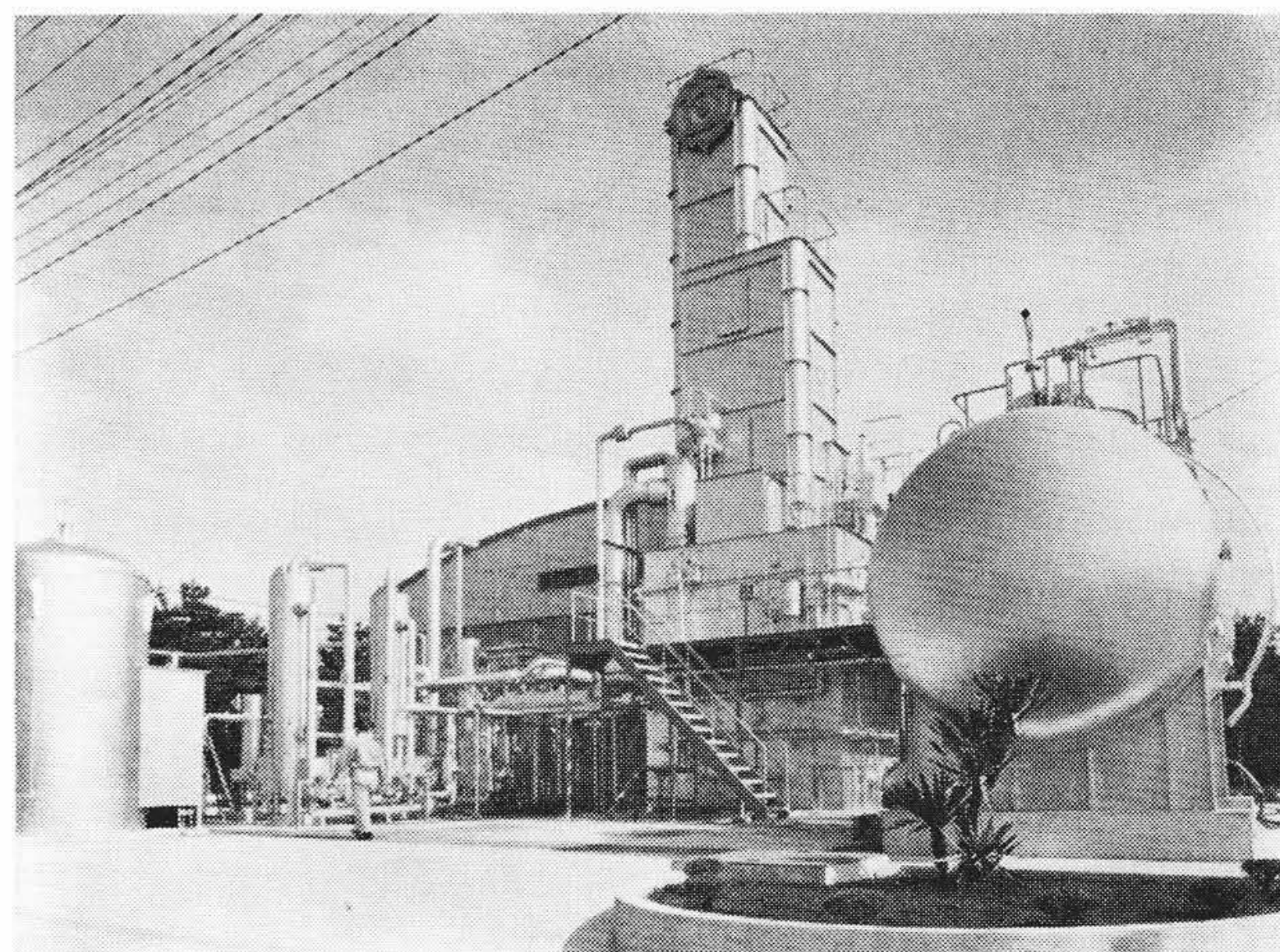


図1 TO-L プラント全景

く安全長期連続運転ができる。

- (9) 屋外プラントで建屋面積が小さくてすむ。

図1は TO-L プラント全景である。

2. 酸素製造設備の体系

生産酸素の供給需要方式は下記の2通りに区分される。

- (1) 製鉄所など大量に酸素を使用する事業所などにあっては自社内にプラントを設備して生産を行ないこれを転炉、平炉などに直送管で供給する方法。

この場合 TO あるいは TO-H プラントが便利である。

- (2) 比較的小容量で遠隔地への酸素供給あるいは間欠的酸素の使用が要求される場合では自家に酸素製造設備を備えるかわりに、

(i) 酸素ポンプ購入による使用

(ii) コールドエバポレータなどの液貯蔵設備をもち酸素メーカより液酸の購入を行なって必要なときだけ気化設備によりガス化して使用する。

などの方法がある。

TO-L プラントは大量の液体酸素を製造しこれを貯蔵しておき、必要に応じて気化送酸またはタンクローリ車で遠隔地への酸素供給を行なうよう計画されたもので酸素メーカには最適のプラントである。図2は日立酸素株式会社水戸製造所の酸素製造設備および販売体系を示したもので同製造所はこれまでの小容量ガス酸素取りプラントに加えて本500 TO-L プラントが設備され生産体制が大きく発展したものである。

3. 液酸設備概要

以下機器の仕様概略を述べる。

- (1) 原料空気ろ過器 1基
 形式 サイコイル油封入密閉式フィルタ
 容量 3,100 m³/h
- (2) 原料空気圧縮機および電動機 1式
 (a) 形式 日立バランス形5段レミプロ圧縮機 (B5D2-IMC)
 風量 3,000 m³/h N.T.P, Dry
 吸込圧力 -300 mmAq
 吐出圧力 Max. 200 kg/cm²G
 (b) 形式 日立 1,000 kW 三相同期電動機 (SB₀D-RD)
 出力 1,000 kW
 電圧 6,000 V
 回転数 375 rpm
- (3) 原料空気脱湿装置 1式
 (a) 冷凍機 日立高速多気筒(HMC)圧縮機
 使用冷媒 フレオン12
 電動機 日立 15 kW 三相誘導電動機
 (b) 脱湿ゲル塔 脱湿性能 出口露点-75℃以下
- (4) 液酸製造装置
 液体酸素発生量 500~350 Nm³/h
 純度 99.8% O₂

気体酸素発生量 0~150 Nm³/h
 純度 99.8% O₂
 液体窒素発生量 0~150 Nm³/h
 純度 99.999% N₂ (10ppm O₂)
 気体窒素発生量 150~0 Nm³/h
 純度 99.999% N₂ (10ppm O₂)
 流体アルゴン発生量 15~0 Nm³/h

- (5) 膨張エンジン
 形式 日立横形単気筒往復動式膨張エンジン
 処理風量 Max. 1,700 Nm³/h
 吸込圧力 200~100 kg/cm²G
 発電機 日立 80 kW 三相誘導発電機 (SO-KK)
- (6) 液貯蔵設備 1式
 (a) 横形真空保冷定置式 30 t 液酸タンク
 (b) 立形真空保冷定置式 5 t 液窒タンク

4. TO-L プラントの系統説明

本プラントのフローシートは図3に示すとおりである。以下各部の機能を説明する。

(1) 原料空気部

原料空気は空気取入口①よりはいり空気ろ過器②で空気中のダストが除去され原料空気圧縮機③で所定の圧力 (Max. 200 kg/cm²G, 常用 180~160 kg/cm²G) まで圧縮される。圧縮過程においていったん中間圧縮段より全量抽気されソーダ塔④により炭酸ガス除去が行なわれる。原料高圧空気は第1油分離器⑤にはいて水分、油分が分離され、高圧予冷器⑥、空気冷却器⑦を通過する間に戻り分離ガスと熱交換およびフレオン冷凍機⑧により冷却され、第2油分離器⑨、ゲル塔⑩によって水分、油分が除去されたのち清浄な原料空気として保冷槽内機器に送られる。

(2) 寒冷サイクル部

原料高圧空気は第1高圧熱交⑪で予冷されゲル塔⑩では水分、油分が完全に吸着除去されて第2高圧熱交⑬、第3高圧熱交⑭を通過する間に精留塔で分離された低温の酸素、窒素と熱交換して約-145℃まで冷却、さらに下塔下部巻込管にて過冷却され高圧膨張弁の自由膨張により約 5 kg/cm²G まで降下したのち下塔に吹き込まれる。

一方ゲル塔⑩出口より一部分岐された高圧空気はクッションタンク⑬を経て膨張エンジン⑭の断熱膨張により寒冷が発生し、油分離器⑮で油分の除去がなされたのち液化器⑯で一部液化された状態で下塔に送られる。

(3) 精留分離部

精留塔⑮に吹込まれた空気は下塔 (5 kg/cm²G) で予備精留され、窒素は上部より上塔環流液としてまた一部はそのまま液窒タンクに、液体空気は下部より抜かれて液空ろ過器⑲でろ過され液空過冷却器⑳で低圧飽和窒素によ

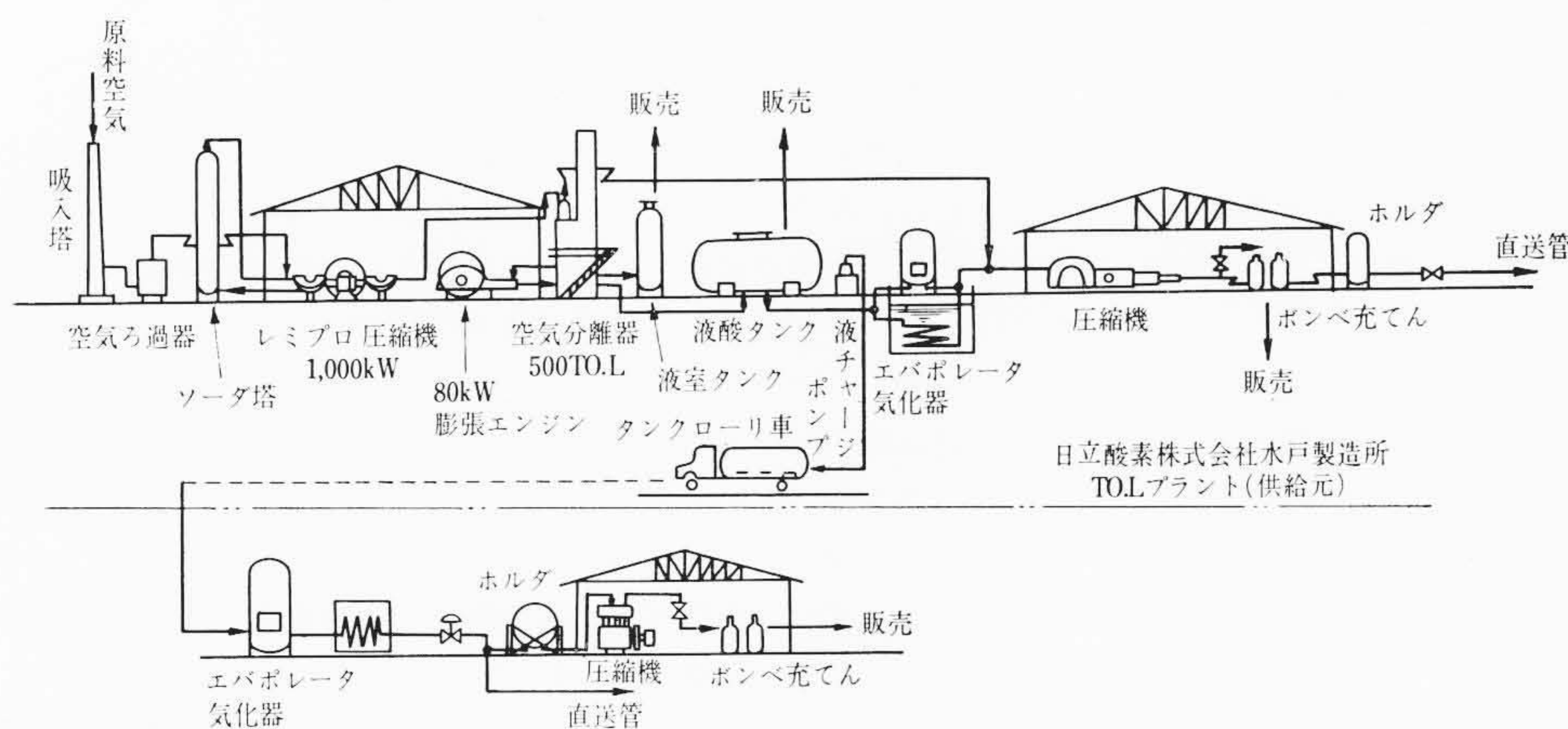


図2 日立酸素株式会社水戸製造所納酸素供給系統図

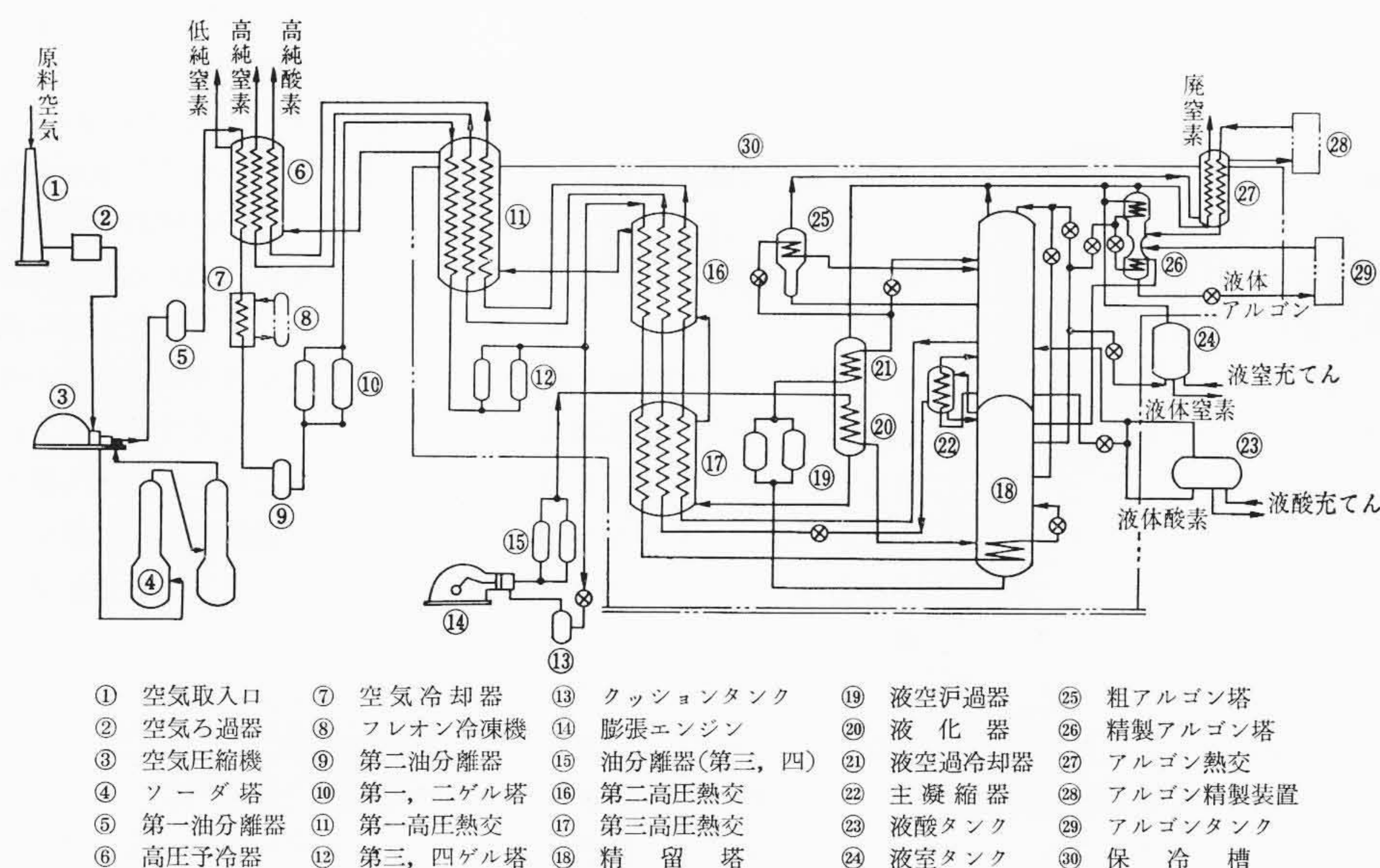


図3 TO-L プラントフローシート

り過冷却されさらに精留されるために上塔(0.3 kg/cm²G)に送られる。上塔で所定純度まで精留分離されたのち不純窒素は上塔頂部よりでて液空過冷却器、第3～第1 高压熱交管外を通る間に温度回復し、高压予冷器を通して大気中に放出される。一部ガス状態で採取するときは気体酸素は上塔下部ガス部より、気体窒素は主凝縮器頂部(下塔側)より取り出され、それぞれ高压熱交および高压予冷器管内で温度回復して圧送設備に送られる。

(4) 液貯蔵部

定置式の液酸タンク②③液窒タンク④が主要機器で精留塔で分離された液体酸素は上塔下部より抜かれて液酸タンクに、液体窒素は下塔上部より抜かれ約0.3kg/cm²Gに圧力降下されたのち液窒タンクに貯蔵され、必要に応じてそれぞれタンクより取り出される。

(5) 圧送および液販売設備

気体で抜かれた酸素、窒素は圧縮機によりポンペに充てんされ販売される。液貯蔵タンクの液体酸素、液体窒素はそれぞれ液酸、液窒ポンプによりタンクローリ車に移されて遠隔地へ輸送される。

5. 設備計画上的特長

日立製作所が従来行ってきた種々の液取り方式はいずれも液取り専用としてではなく製品ガス需要減少時のプラント経済運転の面から採られた方法である。

- (1) TO-H プラントにおいて膨張エンジンを付属設備して高压系統の一部を膨張エンジンに導いて断熱膨張させ寒冷発生機能を強化し、これにより生じた余剰寒冷分に相当する液体酸素を主凝縮器より抜き液酸タンクに貯蔵する。
- (2) TO プラントにおいて常用膨張タービンに加えて予備膨張タービンをさらに運転することにより余剰寒冷分だけたまる液酸を主凝縮器より直接抽出する。
- (3) TO プラントで分離された水分および炭酸ガスのないガスを別設液化装置により液化してこれを取り出し貯蔵する。

これらの方法に対し本 TO-L プラントのように初めから製品を液状で採取する方法があるが、今回製作された TO-L プラントは理論上最も効率よく液取りできるよう計画、設計されたもので下記に述べる特長をもっている。

(1) 高压サイクルによる寒冷発生

大量液酸取りによる熱損失を補うため高压空気を用いた膨張エンジンおよび高压膨張弁によるジュールトムソン効果の二つの寒冷発生源をもっている。

(2) 需要に応じた運転

- (i) 液酸に余裕があるときは総発生量を変えないまま一部気酸として採取でき、運転の変更は高压空気圧力を変えることにより簡単かつすみやかに調整できる。
- (ii) 発生量を相対的に減量したいとき、原料空気圧縮機を運転したままで付加弁を操作することにより空気量を100～75%の範囲で連続的に変えることができるので需要に応じ効率よく運転できる。

(3) 本プラントの特長点

(i) フレオン冷凍機と脱湿

従来のこの種プラントにおいては冷凍機は冷媒蒸発温度をできるだけ低下させ寒冷発生の一助とすることを目的としているが、本プラントの場合寒冷発生は膨張エンジンに集中的に付加させ、冷凍機は単に水分の除去を目的としゲル塔の安定運転を図り水分のプラント内侵入によるトラブルを防止することを主体としている。

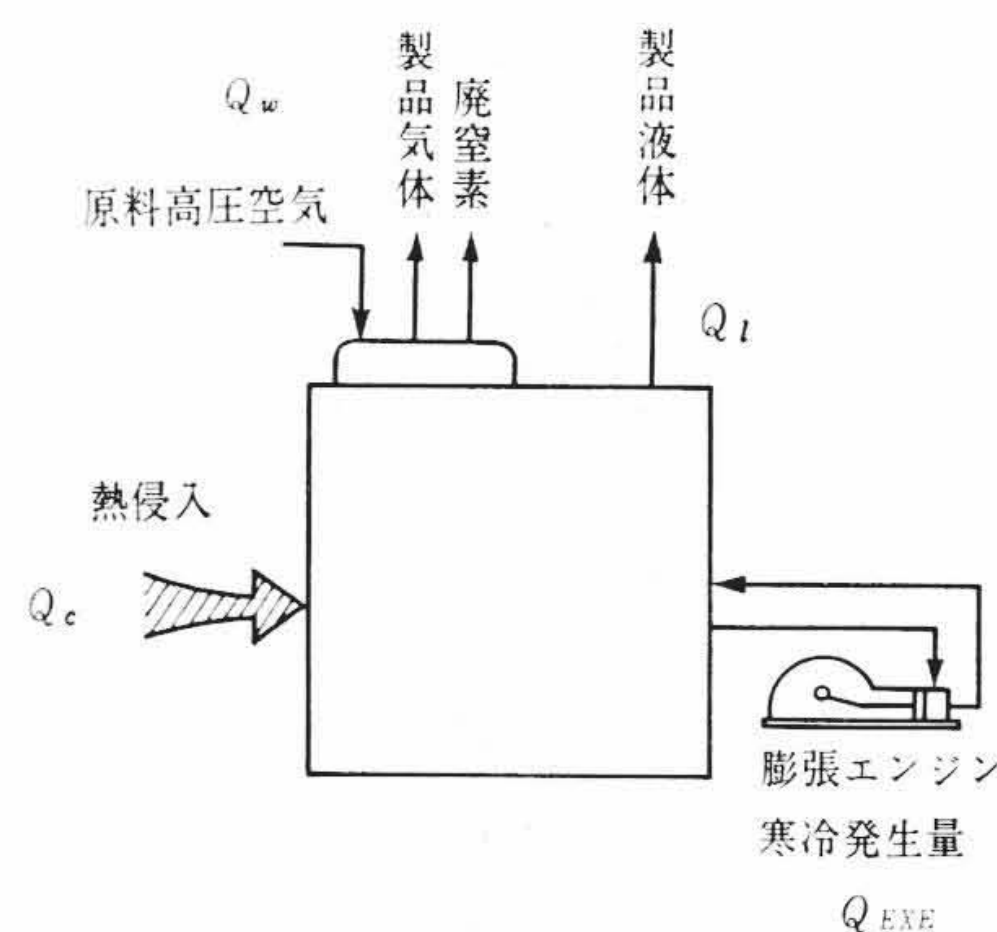


図4 装置の熱収支図

(ii) アルゴン採取設備

粗アルゴン塔、精製アルゴン装置、アルゴン液化器が設備され酸素発生量を減少させることなく液アルゴン採取ができるように設備されている。

(iii) ヘリウム抜き

主凝縮器において伝熱性能を阻害するヘリウムは主凝縮器頂部より製品ガス窒素とともに抽出される構造をとっているためヘリウムの蓄積が生ぜずヘリウムパージによる寒冷損失がない。

6. TO-L プラントの理論と特性

空気分離装置の最も大きな特長は純然たる熱力学的装置であって化学変化はまったくなく、物理的性質だけを利用して分離していることである。本節では運転上の基礎となる熱平衡について必要最小限度の特性を数式で表わして説明するとともに経済的運転法および本 TO-L プラント計画上からの運転の制限などについて述べる。

(1) 熱平衡

装置には図4のとおり熱平衡が成立している。

この図について熱平衡式は次式のとおりである。

$$Q_i = Q_{exe} + Q_w - Q_c \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 Q_i : 液取り量(液体酸素+液体窒素)に相当する寒冷量 [kcal/h]

Q_{exe} : 膨張エンジンの断熱膨張による寒冷発生量 [kcal/h]

Q_w : 熱交換器出入口におけるガスの圧力および温度差による寒冷発生量 [kcal/h]

Q_c : 保冷槽表面から侵入する保冷損失 [kcal/h]

(1)式は分離器を運転する場合常に念願におかなければならない関係であって、保冷損失 Q_c は常にほぼ一定ゆえ液取り量は膨張エンジン寒冷発生量と高压空気圧力が主要因子である温端寒冷発生量によりきまることが示す。液取りプラントにおいては特に低温の液を抜きだす関係上液引抜量に関係して戻り不純窒素量が多少変化するから熱交温端部における温度差を少なくするとともに液抽出に見合った寒冷を補ってやらねばならない。すなわち原料空気圧縮機の吐出圧を上げることにより高压膨張弁の自由膨張による寒冷発生量の増加と以下に述べる膨張エンジン寒冷発生量を増してやることである。

$$Q_{exe} = W_{exe} \times \Delta i_{exe} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 Q_{exe} : 膨張エンジン寒冷発生量 [kcal/h]

W_{exe} : 膨張エンジン処理風量 [Nm³/h]

Δi_{exe} : 膨張エンジンエンタルピー降下 [kcal/Nm³]

(2)式に示すように膨張エンジン寒冷発生量は処理風量および

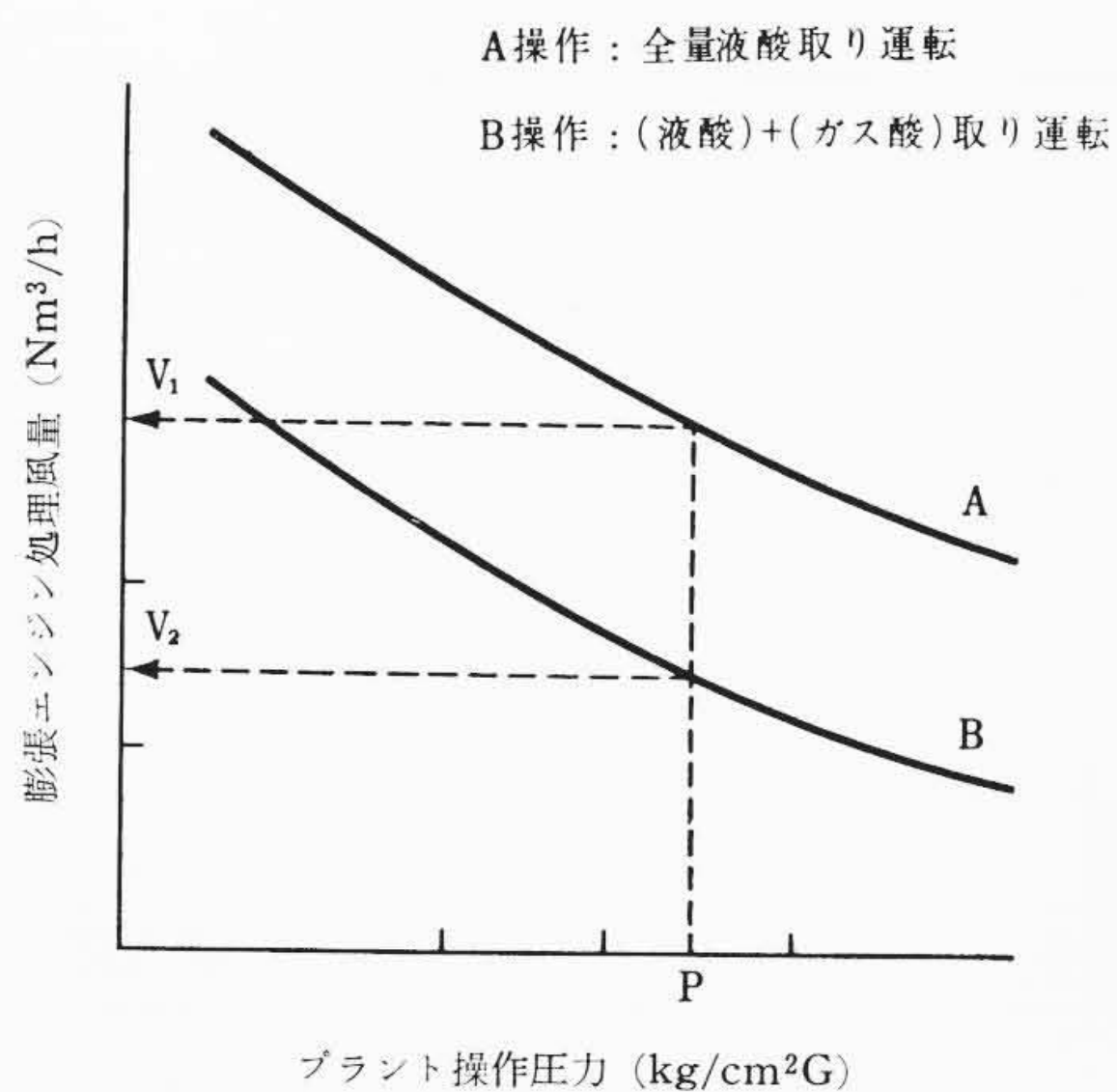


図5 プラント寒冷バランス図

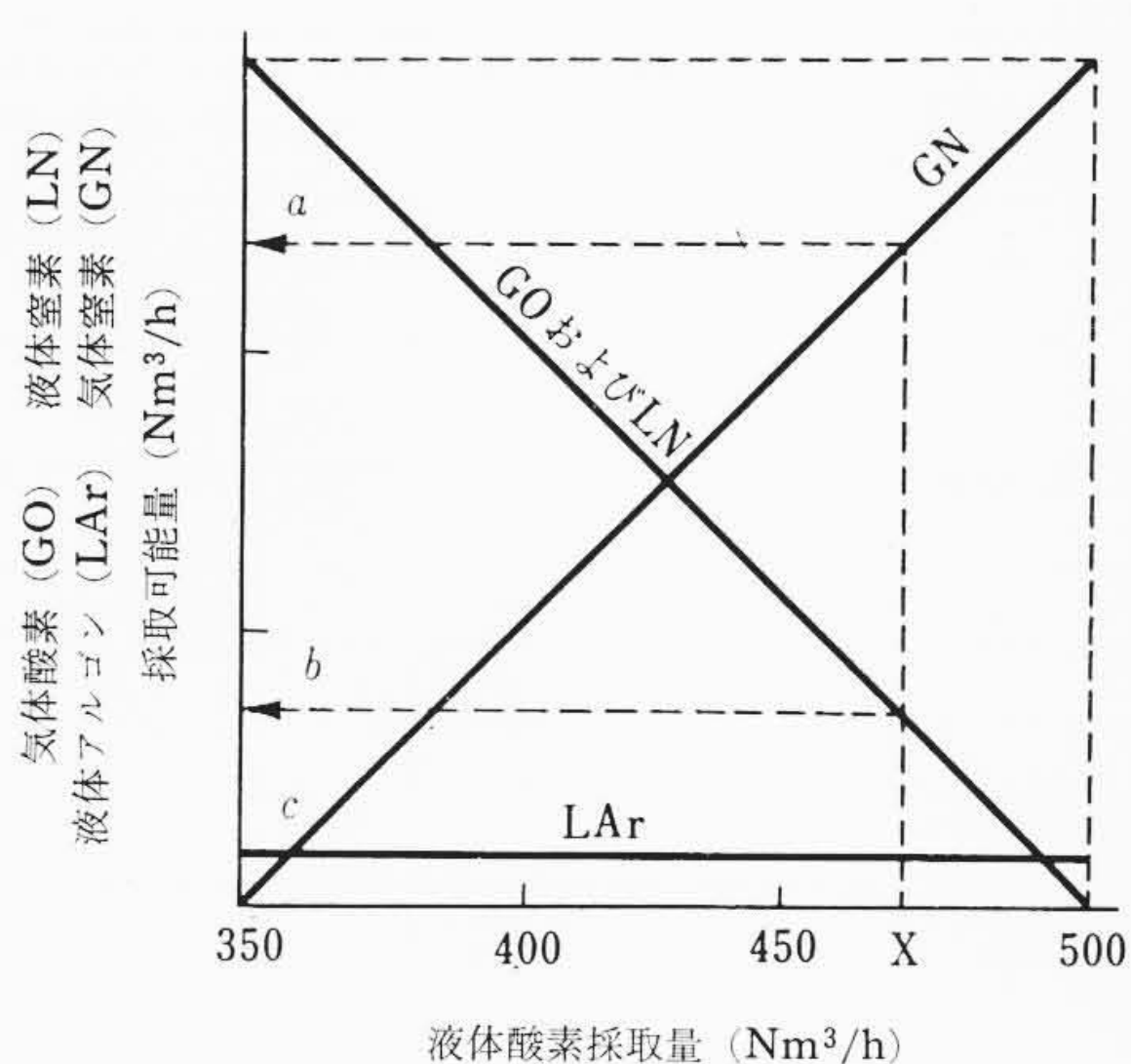


図6 製品採取可能量

エンタルピー降下の積で表わされ、エンジン入口圧力を上げることにより寒冷発生量を増すことができる。図5にこの関係を示すとプラント操作圧がPの場合、装置の寒冷バランスを保つために必要な膨張エンジン風量は運転Aの場合は V_1 であり、運転Bの場合は V_2 となるのである。

(2) 製品ガスの振り分け (液およびガスを同時採取する場合)

本プラントは3項(4)に示す性能を発揮する装置である。製品は図6に示すように連続的に液量、ガス量を可変でき、この範囲内では任意の運転が可能であるよう熱バランス、精留塔バランスが考慮され計画されている。図は液体酸素Xなる運転を選定すれば気体窒素a、液体窒素b、気体酸素b、液体アルゴンc採取が可能であることを示している。運転上バランスをとる方法としてまずガス採取a、bを行ない寒冷バランスを取りながら液採取X、Cに移りさらに余剰寒冷分をエンジン入口圧力、空気圧縮機吐出圧力の順に減らしていくのが望ましい。また精留塔はいかなる運転組合せにおいてもその能力を十分発揮している。

7. 据付けおよび試運転

本プラントは昭和40年3月末より据付工事を開始、6月初旬にはほぼ据付作業完了して試運転準備にはいった。6月28日プラント起動し各種の性能試験を終わり7月15日より営業運転にはいり以後順調に稼動中である。図7は据付けから営業運転までの実績工程である。

(1) 原料空気圧縮機の試運転

本圧縮機は5月初めに据付け開始し約1ヶ月後に試運転にはいり6月8日行なった性能試験では図8のような満足すべき結果が

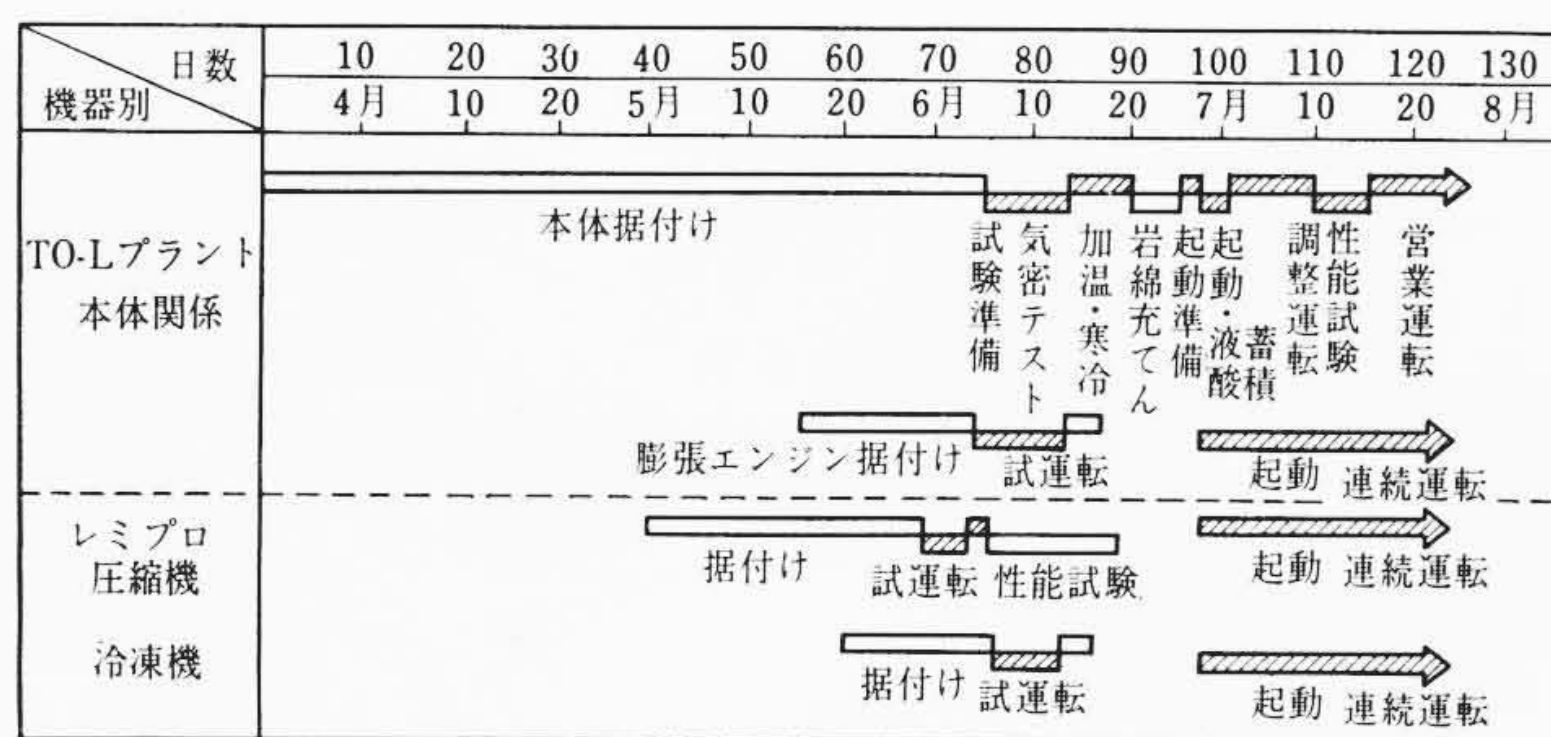


図7 プラント据付および試運転実績工程

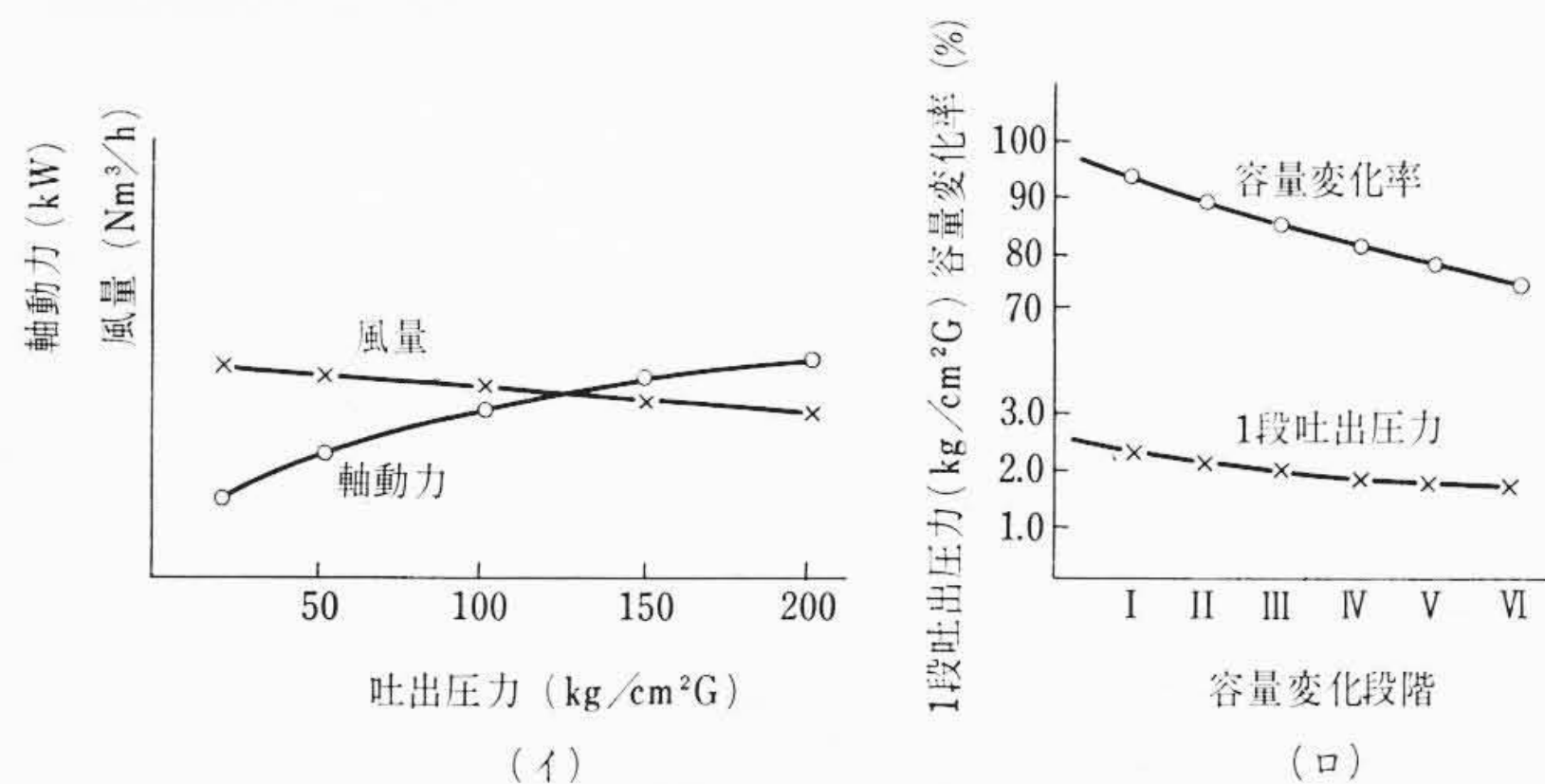


図8 原料空気圧縮機性能特性曲線

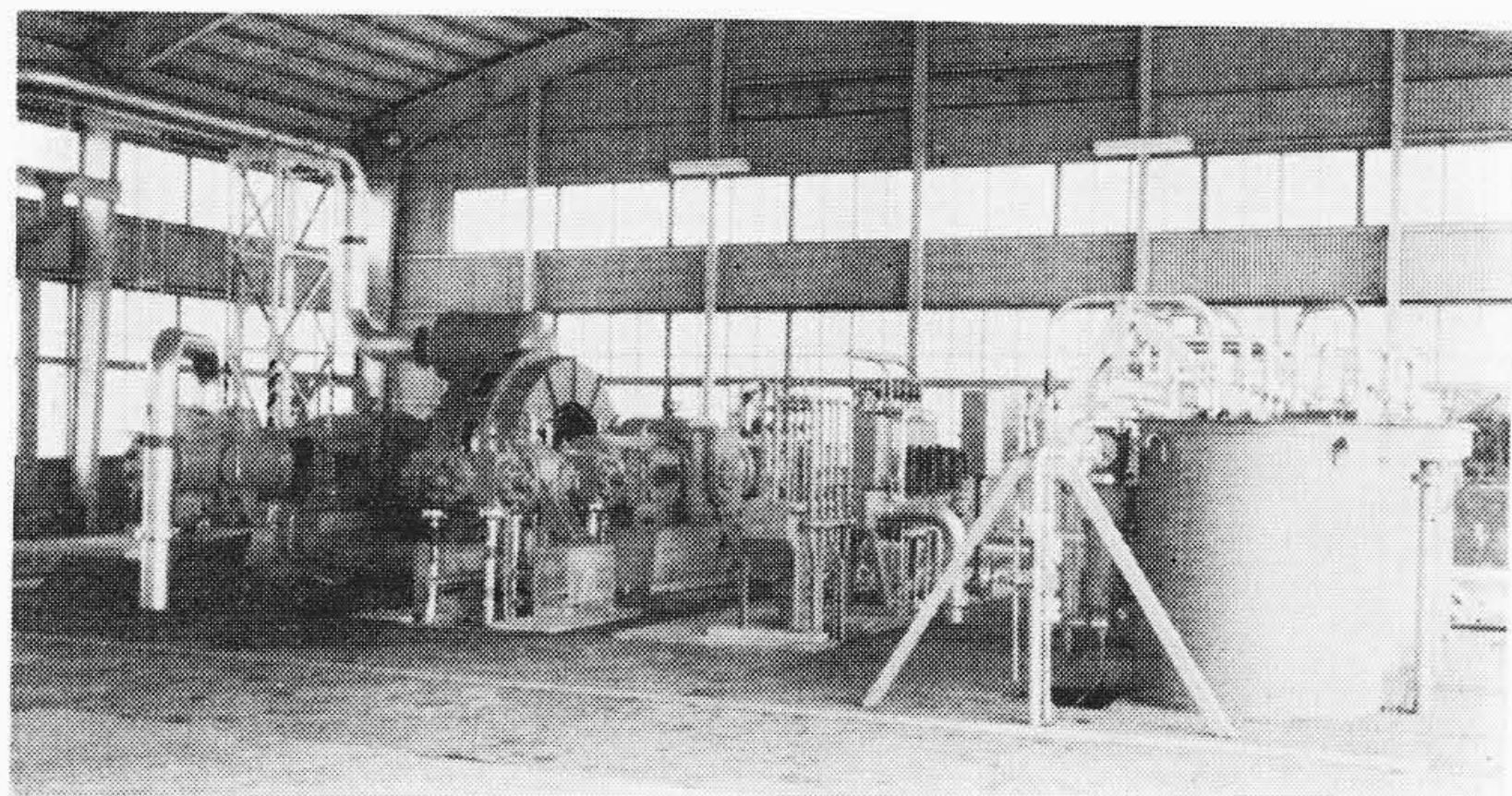


図9 原料空気圧縮機

得られた。図9は圧縮機の外観である。本圧縮機の特長は初段の付加弁を調整することによりその容量を100~75%の広範囲にわたり効率を低下させないで減量できる点にある。

(2) 膨張エンジンの試運転

図10に示す膨張エンジンは5月中旬に据付け開始、6月よりオイルフラッシング、各部ギャップ調整にはいり無負荷連続運転に続いて圧縮機試運転と並行して昇圧連続運転が行なわれ、各部に異常が無いことが確認された。本機はTO-Lプラントの心臓部でもありその性能はプラント全体に大きな影響を与えるので運転はきわめて慎重に行なわれ満足すべき結果が得られた。

(3) プラントの運転実績

試運転および性能試験の結果、下記の成果があげられた。

(i) 分離効率のすぐれた精留塔

表1は運転実績性能を示したものであるが優秀な性能を発揮している。

特に液体窒素純度は予定値10 ppm.O₂に対して1~2 ppm.O₂と非常に高純度の製品をうることができた。

(ii) 起動時間が短い

図11はプラント停止時間に対する所要起動時間であるが非常に短時間で再起動ができた。またプラント全加温状態より起動した場合も12時間程度で定格送酸可能であった。

(iii) 製品採取量の可変が容易である。

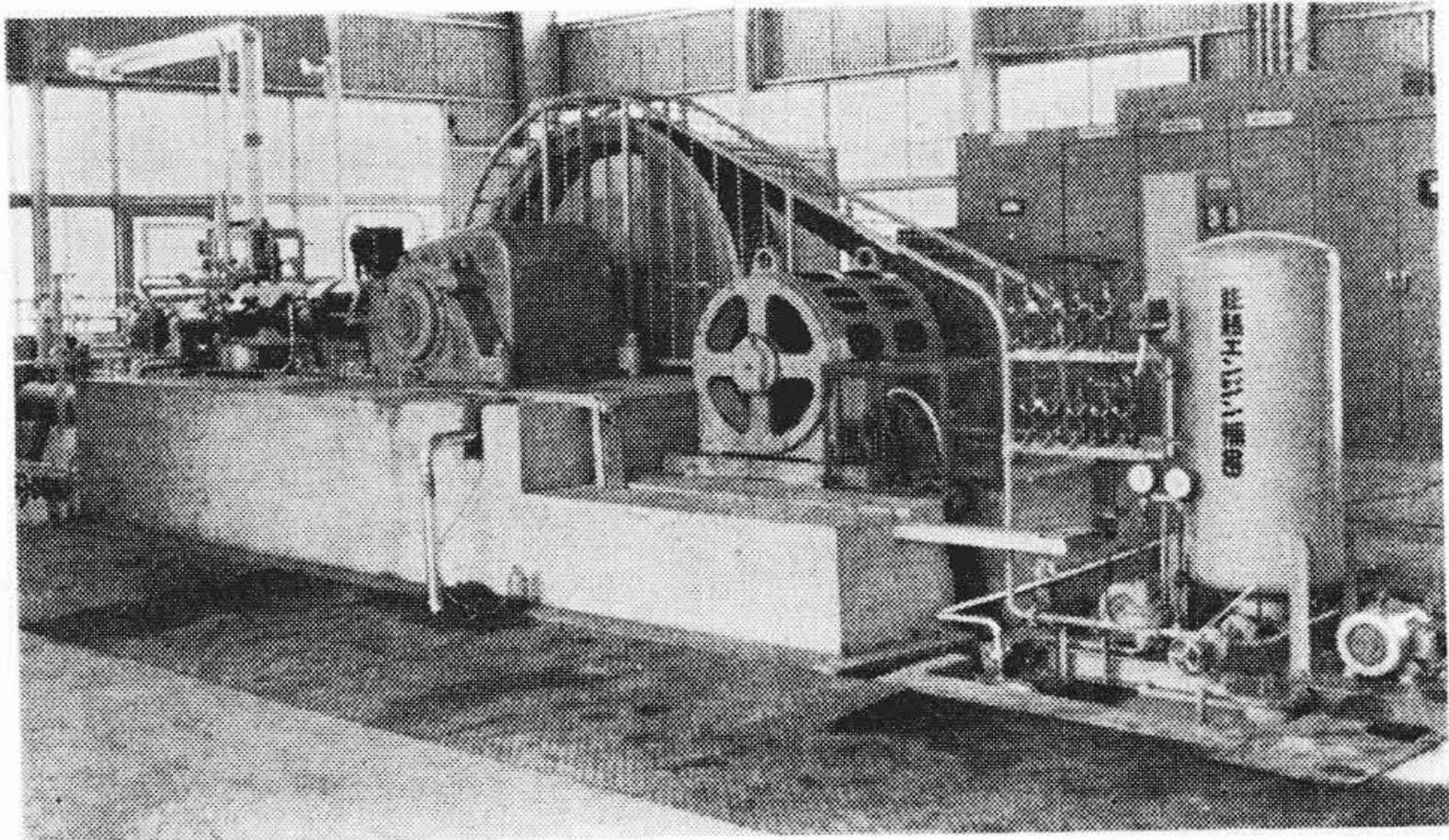
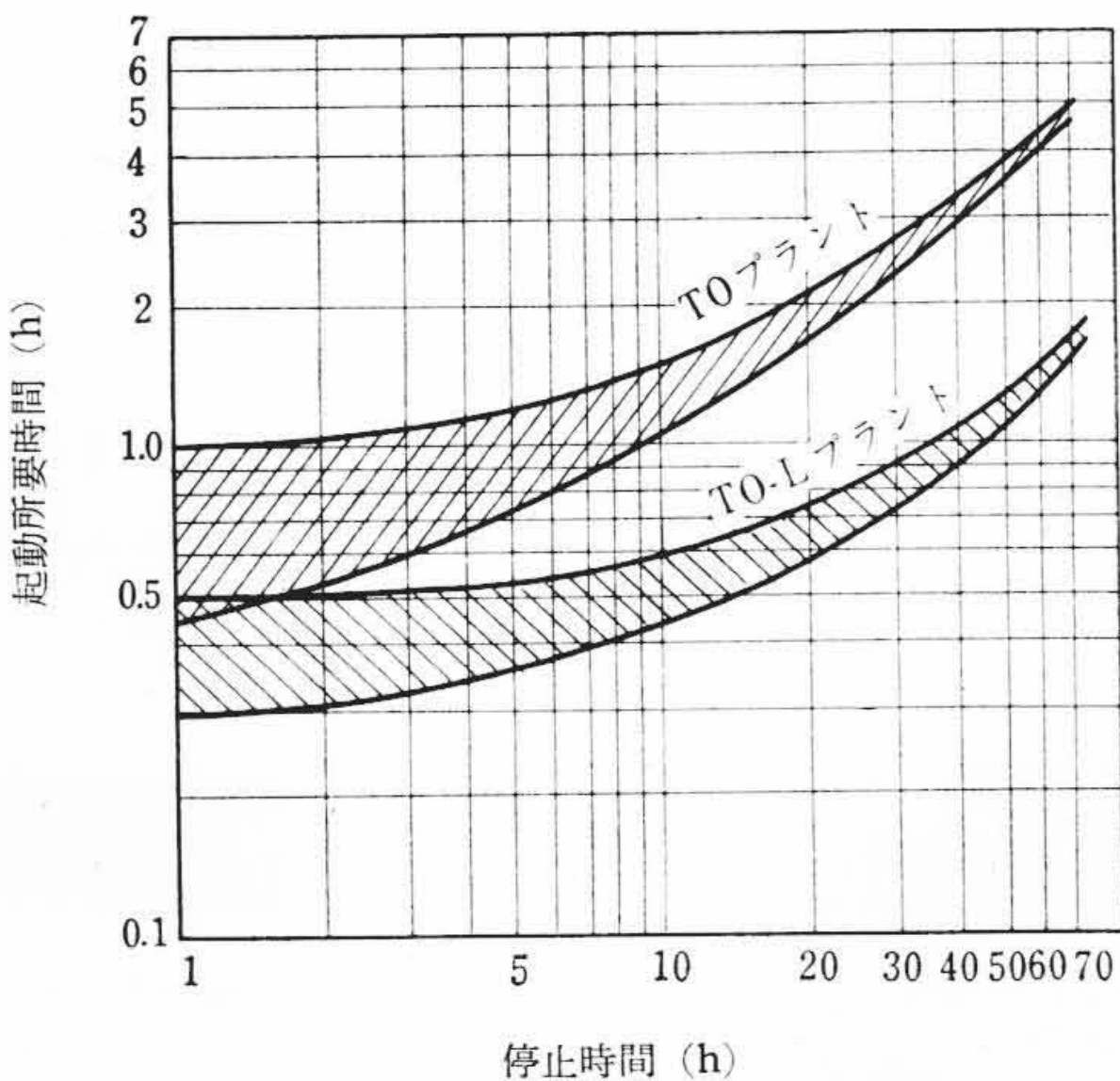


図10 膨張エンジン



- (1) 小停止後再起動に要する時間 (上図)
(2) 初期起動および全加温後の送酸
までに要する時間 10時間程度

図11 起動所要時間

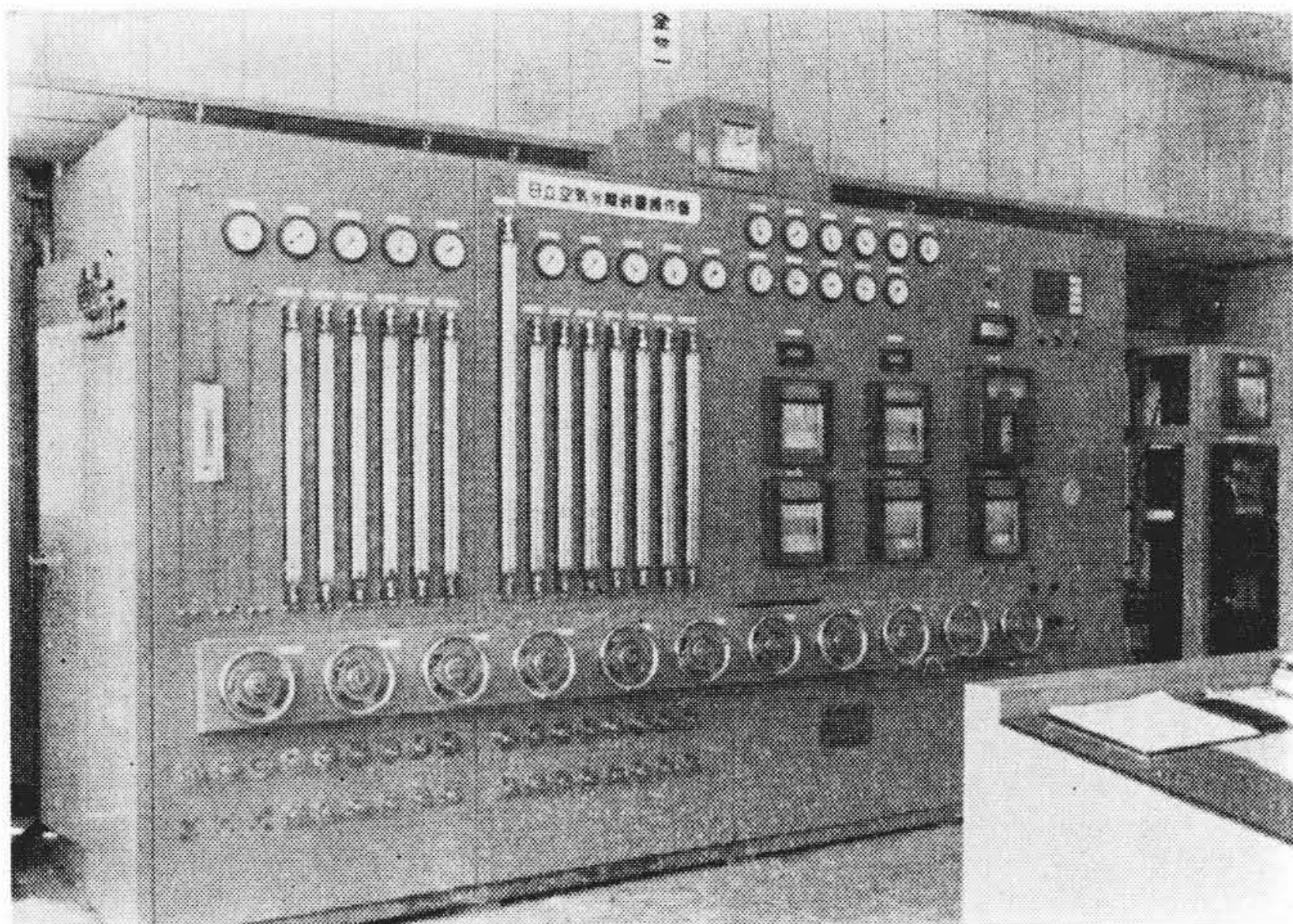


図12 運転室 (正面操作盤)

図6に示す製品採取量の振り分けを変える操作は1時間前後で可能であり、しかもプラントの安定を乱さずに容易に操作できる。

(iv) 蒸発量の少ない液貯蔵タンク

液酸、液窒とも自然蒸発量は1%/day以下で蒸発による損失が少なく十分な保存能力を発揮している。またこれまでの運転でアセチレン、炭化水素などの蓄積は見られなかった。

8. プラントの稼動状況

前述のとおりプラントは昭和40年8月より営業運転にはいり、現

表1 500 TO-L プラント性能

	計 画 値	実 測 値 (代 表 例)	
		(I)	(II)
酸素発生量	500~350 Nm ³ /h (液体) 0~150 Nm ³ /h (気体)	524 Nm ³ /h (液体)	350 Nm ³ /h (液体) 160 Nm ³ /h (気体)
酸素純度	99.8% O ₂	99.8% O ₂	99.82% O ₂
窒素発生量	150~0 Nm ³ /h (気体) 0~150 Nm ³ /h (液体)	152 Nm ³ /h (気体)	10 Nm ³ /h (気体) 140 Nm ³ /h (液体)
窒素純度	99.999% (10ppm. O ₂)	99.9997% (2ppm. O ₂)	99.9998% N ₂ (1ppm. O ₂)

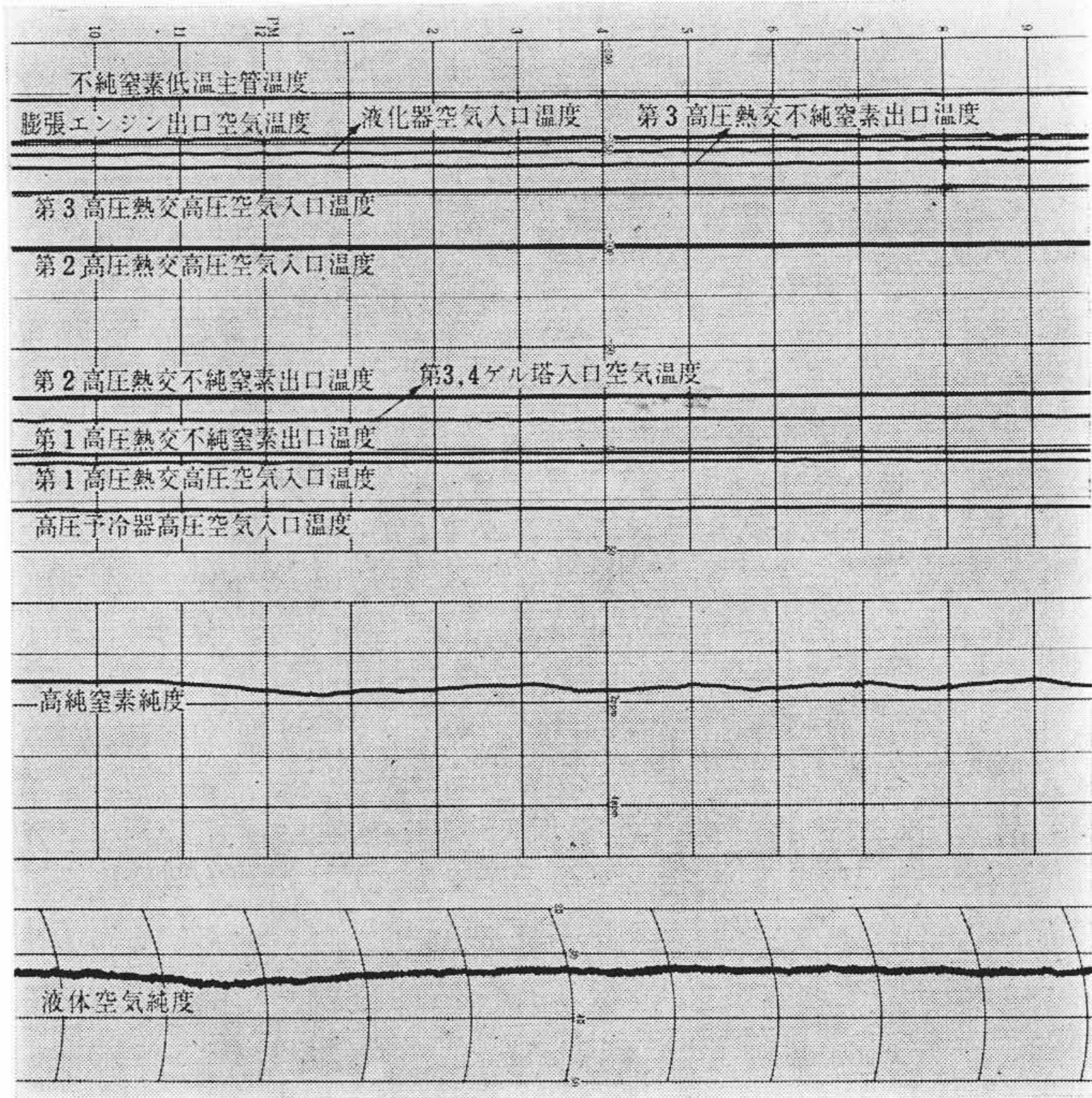


図13 プラント運転データ

在まで約8ヶ月を経過している。この間の性能および運転過程をまとめてみると次のとおりである。プラントは全量液酸取り (500 Nm³/h, 99.8% O₂) に計画されているが都合により一部気酸取り運転 (液体酸素 350 Nm³/h, 気体酸素 150 Nm³/h, 液体窒素 140 Nm³/h, 気体窒素 10 Nm³/h) を継続してきたが現在まで順調に運転されている。

図12は水戸製造所の運転室 (正面操作盤) である。

(1) プラントの安定運転状況

図13にプラント運転データの一例を示す。記録紙に示されたように各部の温度、純度などきわめて安定しておりすぐれた性能を示している。特に窒素純度は予定値 10 ppm. O₂ に対し 1~2 ppm. O₂ の高純度が維持されている。

(2) 運 転 状 況

本プラントは再起動安定所要時間が非常に短いことから酸素需要に応じ休日はほとんど停止するという間欠運転を続けてきたにもかかわらず性能低下は現在まで認められていない。

9. 結 言

以上、日立酸素株式会社水戸製造所における 500 Nm³/h TO-L プラントの紹介と運転実績について述べた。本プラントは日立製作所における全量液酸取りプラント1号機であるが、今回の試運転およびその後の経過においても計画値を上回る性能が得られており、この種プラントに対する設計、製作および運転技術が確立したといえる。終わりに本プラント製作、据付および試運転にあたりご指導、ご協力いただいた日立酸素株式会社をはじめとする関係者各位に対し敬意を表する次第である。