

日立 TO-M プラント

Hitachi Air Separation Plant of Medium Pressure Type

斎 藤 章*
Shô Saitô

内 容 梗 概

日立製作所は、低圧方式による空気分離装置 (Tonnage Oxygen Plant) を多数製作し各方面で好評を得ているが、本稿では最近開発された TO プラントの変形ともいうことのできる TO-M プラントについて装置の概要、特長および運転実績について述べる。

1. 緒 言

空気分離装置は 1894 年ドイツの Linde 氏により開発され工業化された。開発された当時の空気分離装置は Simple Linde 方式といわれるもので、原料空気の圧力は約 $180 \sim 200 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ という高圧であり、ジュールトムソン効果のみによって装置の寒冷を補う方式であった。

1939 年に Kapitza 氏が高効率の低圧高速タービンを開発して以来、空気分離装置の原料空気圧力は約 $5.0 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ という低圧になり装置も大形化し今日の TO プラント (Tonnage Oxygen Plant) の出現をみたのである。

日立製作所は昭和 31 年に全低圧式空気分離方式の TO プラントの第 1 号機を別府化学株式会社に納入した。その後逐年肥料工業や製鉄工業における需要の増大につれて装置も大形化し、酸素発生容量にて $2,000 \sim 3,000 \text{ Nm}^3/\text{Hr}$ 級より $6,000 \sim 10,000 \text{ Nm}^3/\text{Hr}$ に達し、昭和 39 年にはわが国最大容量の $11,000 \text{ Nm}^3/\text{Hr}$ TO プラントが運転に入った。

このように装置が大形化する反面において、酸素および窒素ガスは、溶接やガス切断、合成繊維製造工程におけるシールガスなどの方面からかなり多様な仕様に基づく酸素および窒素発生装置が要求されるようになり、それらのうちには小容量装置も求められている。TO-M プラントは、これらの要求に合致したプラントとして計画開発されたものである。

TO-M プラントの特長としては、次のような点があげられる。

- (1) 原料空気の圧力は $10 \sim 30 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ である。
- (2) 熱交換器の構造改善などにより全体がコンパクトにまとめられている。
- (3) 制御系統が簡単である。
- (4) 寒冷発生源としては、高効率の輻流反動タービンを用いているため、膨張エンジンを用いた形式のものに比べて装置が簡単となり、連続運転も可能である。
- (5) 原料空気中の炭酸ガス除去にはゲル吸着器を用いているため、ソーダ液洗浄方法に比べ操作が非常に容易である。

(6) 所要原料空気に対する高純度窒素ガスの採取割合が高い。

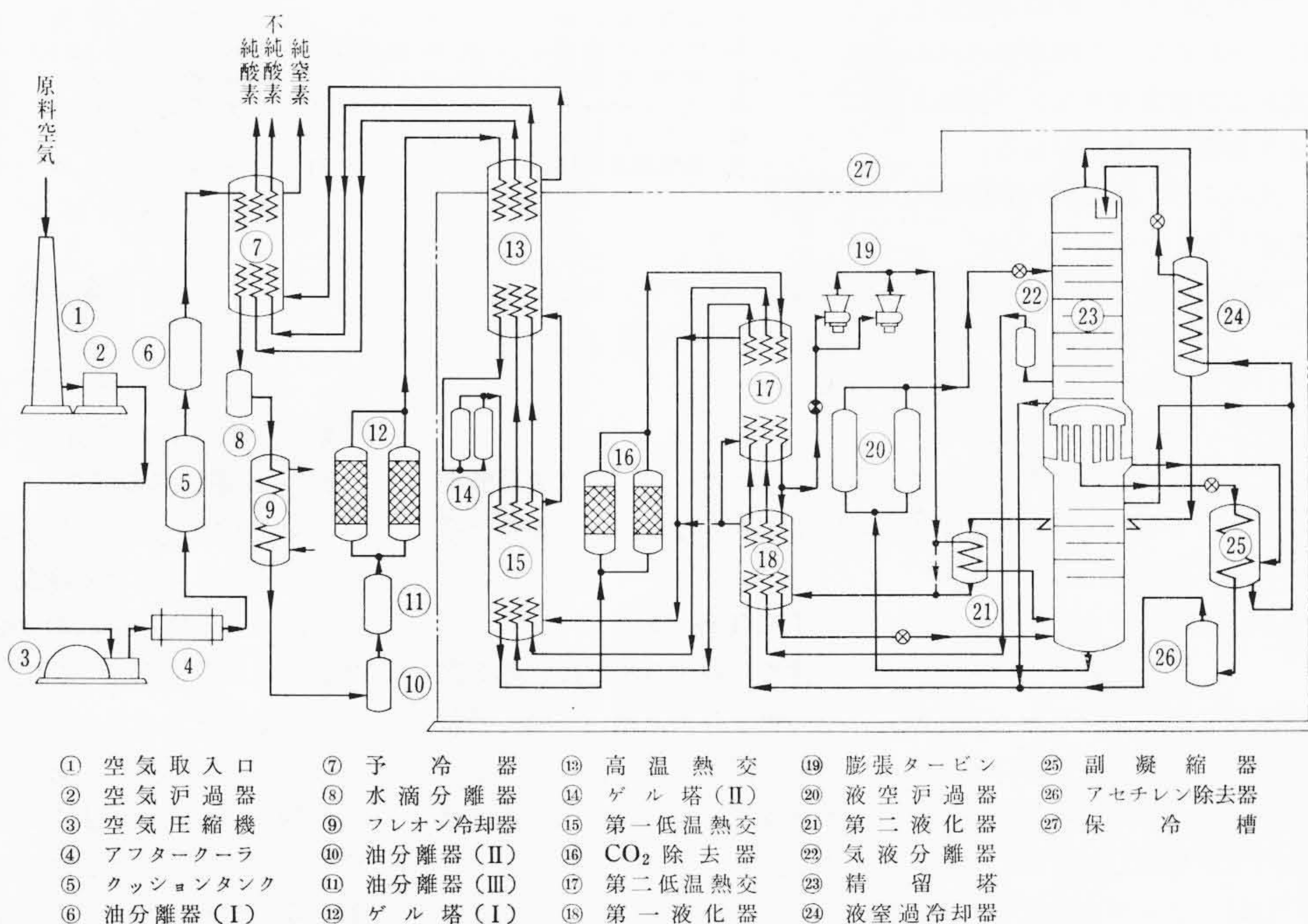
2. 系統図の説明

TO-M プラントの標準系統図を第 1 図に示す。

原料空気は空気取入口①より取り入れられ空気炉過器②で空気中の塵埃(じんあい)を除去したのち、原料空気圧縮機③に入る。原料空気は圧縮機で所定の圧力(約 $10 \sim 30 \text{ kg/cm}^2\text{g}$)に圧縮されたのち、アフタークーラ④で常温にまで冷却されクッションタンク⑤、油分離器⑥を通過して予冷器⑦に入る。予冷器で分離ガスと熱交して予冷されたのち、水滴分離器⑧で水分および油ミストを除去されて冷却器⑨に入り約 5°C まで冷却されたのち、ゲル塔(I)⑫で水分および油ミストが吸着除去されて高温熱交⑬に入る。空気は高温熱交で約 -30°C まで冷却されゲル塔(II)⑭で完全に水分が吸着されて第一低温熱交⑮で約 -130°C まで冷却されて CO_2 除去器⑯で炭酸ガスが吸着除去され第二低温熱交⑰に入る。第二低温熱交で約 -145°C まで冷却された空気の大部分は膨張タービン⑲に入り断熱膨張して温度降下したのち、第二液化器⑳を通過して精留塔㉓下塔に吹き込まれる。

第二低温熱交を出たほかの一部は第一液化器⑱を通過してさらに冷却されたのち、精留塔下塔圧(約 $4.8 \text{ kg/cm}^2\text{g}$)まで膨張して下塔に吹き込まれる。

下塔に吹き込まれた空気は、予備精留されて空気よりやや酸素純



第1図 標準 TO-M プラント 系統図

* 日立製作所日立工場

度の高い液体空気および窒素に分離される。

液体空気は液体として下塔下部にたまったのち、液空炉過器 ⑳ を通って、アセチレンおよび炭化水素が除去されて精留塔上塔に導かれる。

窒素は下塔上部より一部はガスで取り出され副凝縮器 ㉕ で液化したのち、液体で取り出された窒素と合流して液室過冷却器 ㉔ に入り過冷却されたのち上塔に吹き込まれる。

精留塔上塔に吹き込まれた液体空気および窒素は所定の純度まで精留される。

製品酸素は上塔下部より液体で取り出され副凝縮器 ㉕ でガス化したのちアセチレン除去器 ㉖ を通って液化器 ㉑ に入り、さらに第二低温熱交 ㉑、第一低温熱交 ㉑、高温熱交 ㉑ および予冷器 ㉑ を通って常温にまで温度回復したのち製品ガスとなる。

製品窒素は、上塔下部より取り出され液室過冷却器 ㉔、第二液化器 ㉑ を通ったのち第一液化器 ㉑ に入り、さらに第二低温熱交 ㉑、第一低温熱交 ㉑、高温熱交 ㉑ および予冷器 ㉑ を通って常温にまで温度回復したのち製品ガスとなる。

不純酸素は上塔中部より取り出され気液分離器 ㉑ を通って第一液化器 ㉑ に入り、さらに第二低温熱交 ㉑、第一低温熱交 ㉑、高温熱交 ㉑ および予冷器 ㉑ を通って常温にまで温度回復したのち外部に放出される。

2.1 種々な系統図

TO-M プラントの系統図としては、上記に記した標準形のほか、酸素および窒素ガスなどの使用目的により各種の系統図がある。

次にこれら数種類の系統図について述べる。

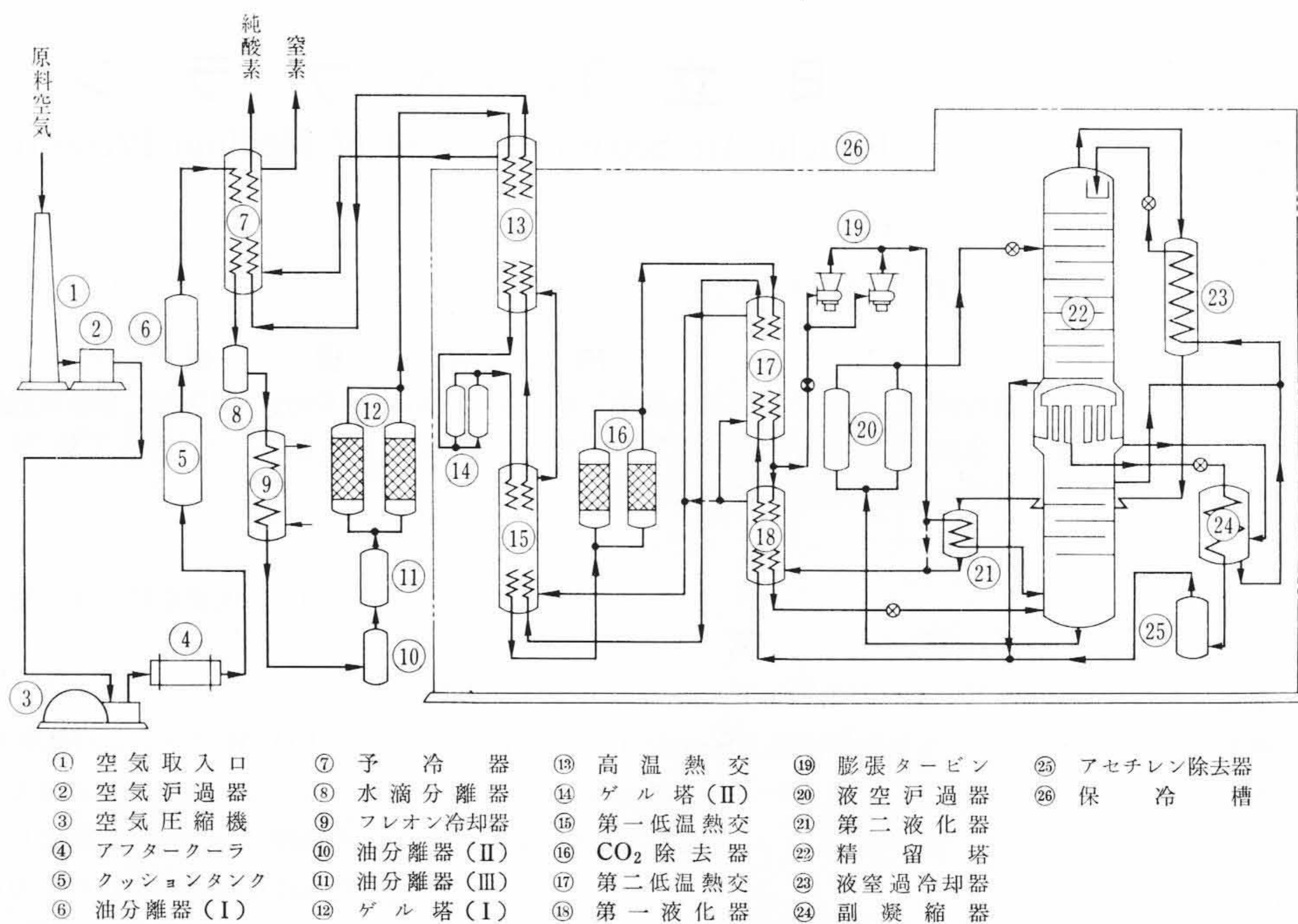
(a) 多量の高純度窒素を採取する TO-M プラント
系統図は第 1 図に示した標準系統図が適している。

(b) 酸素ガスのみを採取する TO-M プラント
系統図を第 2 図に示す。

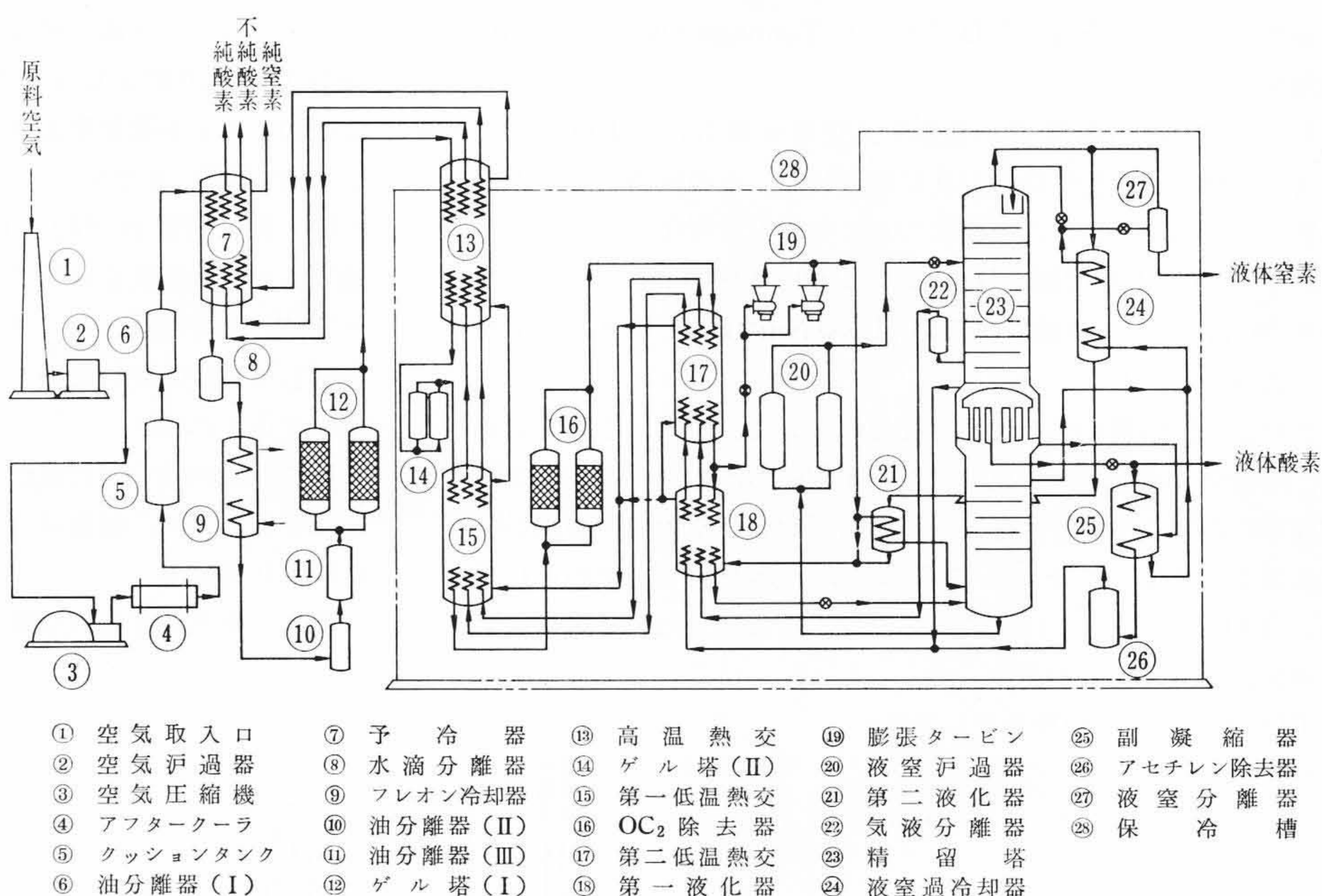
酸素ガスのみを採取するため、分離ガスとしては製品酸素ガスおよび不純窒素ガスの回路のみとなり非常に簡単な系統図となる。

(c) 製品ガスの一部を液体で採取する TO-M プラント
製品酸素および窒素を一部液体で採取する場合には第 3 図のようになる。液体酸素採取の場合には、精留塔の主凝縮器部より外部に取り出せばよい。液体窒素の場合には精留塔下塔から上塔に導かれる液体窒素の一部を液室分離器 ㉑ を通して外部に取り出せばよい。

(d) アルゴン採取のできる TO-M プラント
アルゴンを採取する場合は、酸素および窒素採取の TO-M



第2図 酸素ガスのみ採取 TO-M プラント 系統図



第3図 液酸液室採取 TO-M プラント 系統図

プラントに第 4 図のような機器を追加すればよい。

3. TO-M プラントの特長

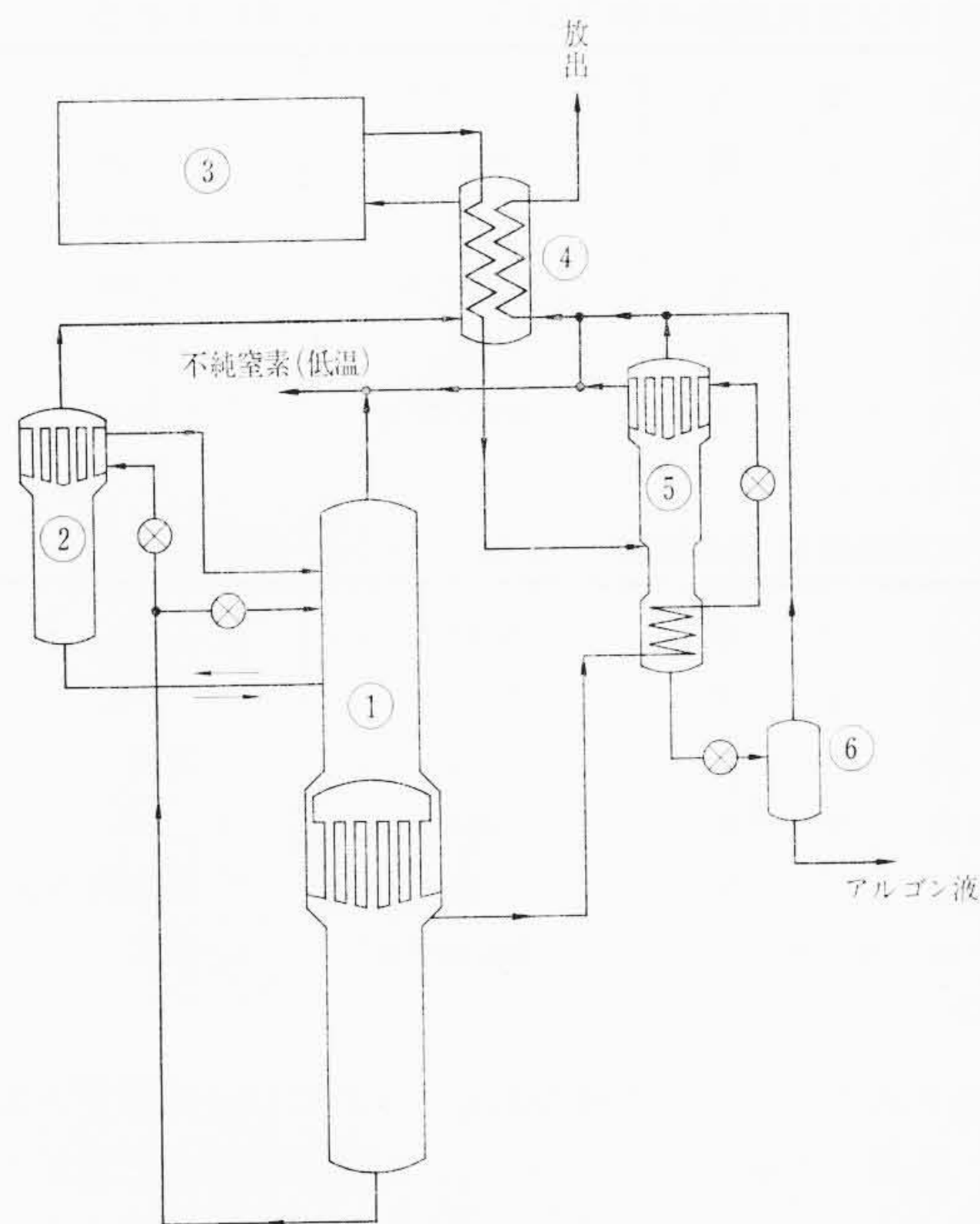
構成要素および運転操作を通して本装置の特長を述べる。

3.1 炭酸ガスの除去

TO-M プラントの構成機器のうち、炭酸ガス除去の役目を果たしているのは炭酸ガス除去器である。

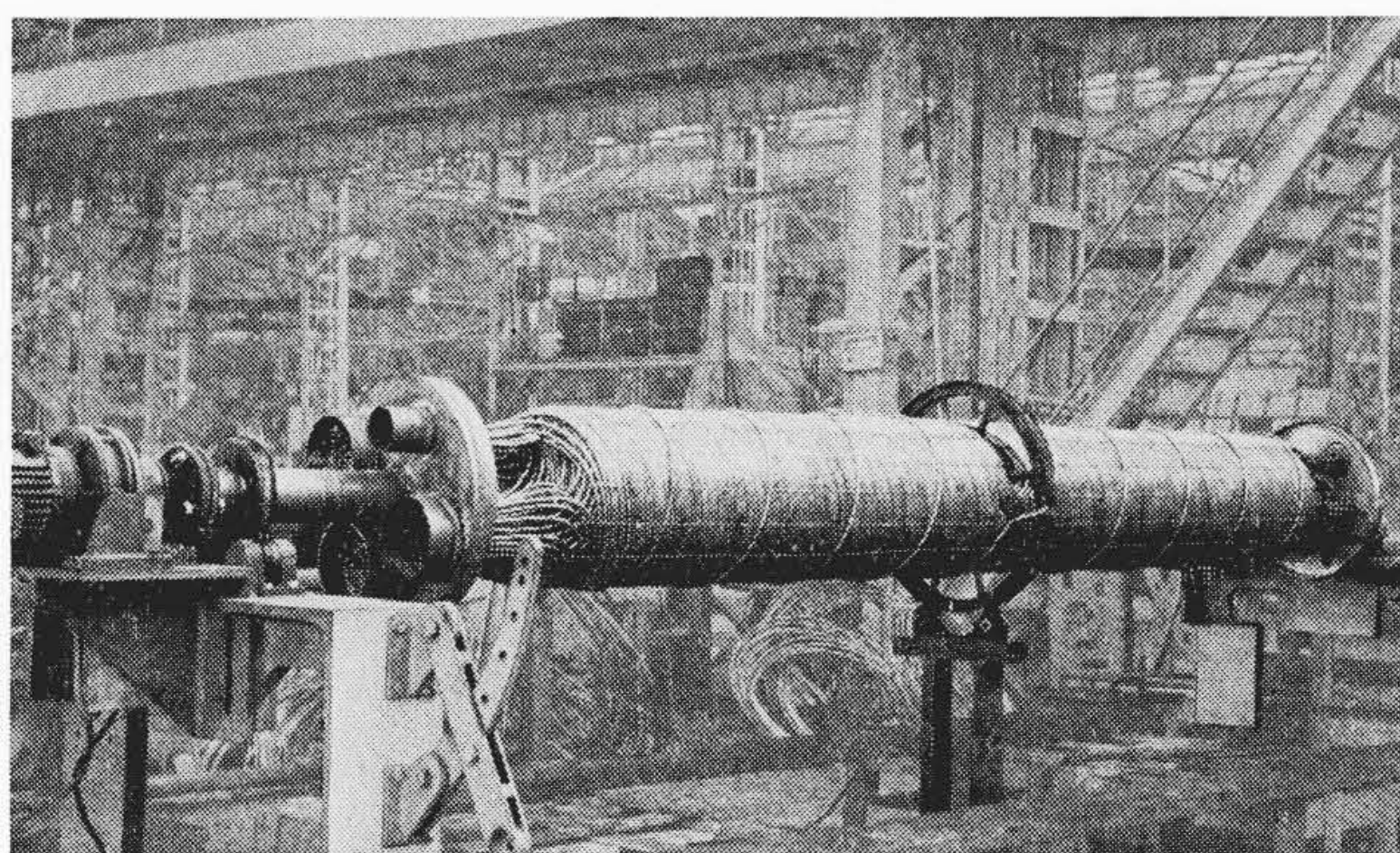
炭酸ガスは空気中に約 300 ppm 含まれており、除去が不完全の場合には熱交換器および配管をつまらせ、熱交換性能を低下させプラントを停止させるような事態を生ぜしめる。したがって炭酸ガスの除去は完全に行なう必要がある。

炭酸ガス除去の方法として一般に用いられているのはソーダ液洗浄法である。この場合にはソーダ液洗浄に必要なソーダ塔、ソーダ液循環のためのソーダ循環ポンプ、ソーダ液調合のためのソーダ液調合槽、調合槽よりソーダ塔に液を注入するための補給ポンプとい



① 精留塔 ④ アルゴン熱交換器
② 粗アルゴン塔 ⑤ 精製アルゴン塔
③ アルゴン精製装置 ⑥ アルゴン液分離器

第4図 アルゴン採取用系統図



第6図 ハンプソン形熱交換器

った機器が必要である。またカセイソーダを必要とし、一定周期ごとにソーダ液の注入をするといった操作を必要とする。

このように多数の機器を必要とし、しかも運転操作の複雑なソーダ液洗浄方式に対して TO-M プラントではゲル充填の炭酸ガス除去器を用いている。したがって機器自体は非常に簡単である。この場合一定周期ごとに切換再生する必要があるが、再生に必要な加熱装置は水分除去のためのゲル塔の再生に使用する加熱装置と共用することができるために特別の機器を必要としない。

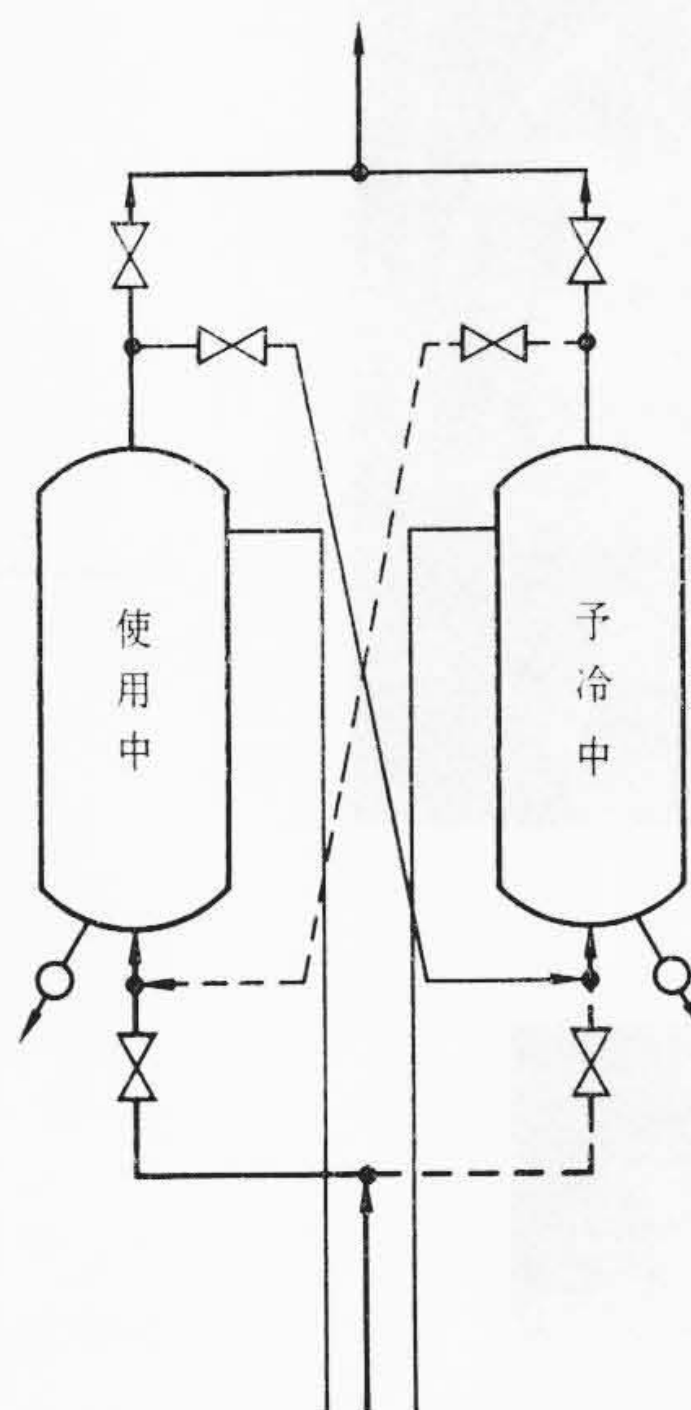
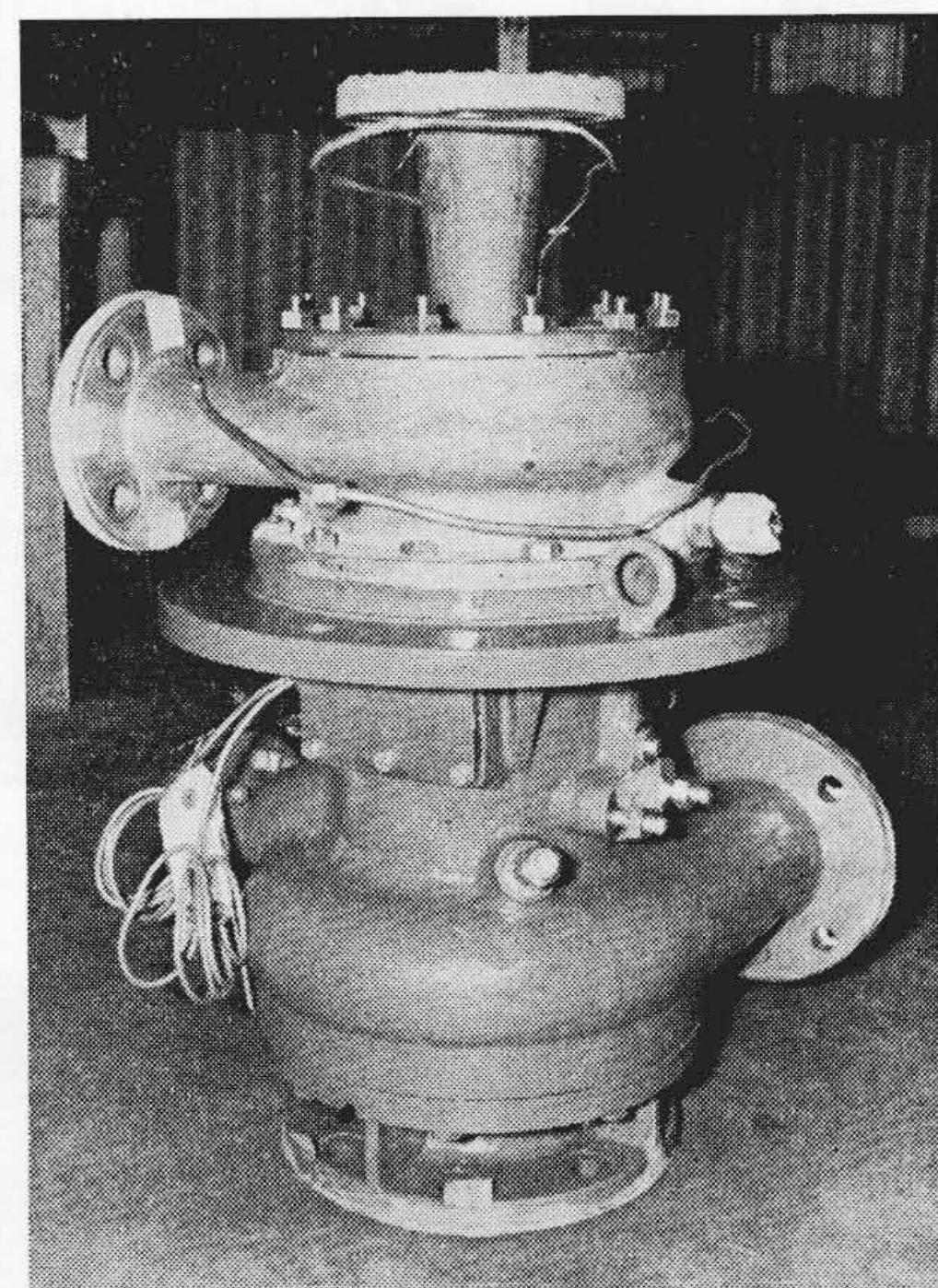
ゲル再生時にはゲル塔自体の温度を定常時の温度(約 -130°C)から約 170°C まであげる必要が生ずる。したがってゲルの再生および予冷時には熱損失が一時的に大きくなる。しかしこの場合には第5図に示すような方法(日立特許、申請中)にて予冷を行なっているため再生予冷時の熱損失量をきわめて少なくすることができる。

3.2 水および油ミストの除去

この目的のために設置されている機器は、油分離器、水滴分離器、ゲル塔などである。

(1) 水分の除去

水分の除去については、水滴分離器、ゲル塔を効果的に用いている。特にゲル塔の使用は、ゲルの吸着特性を十分に検討して水分の不完全除去による事故を生ぜしめないようにしている。予冷

第5図 CO₂除去器予冷方法

第7図 TO-Mプラント用膨脹タービン

器および冷却器はゲル塔(I)の吸着効果をあげるためであるだけ原料空気温度を下げるような考えのもとに取り付けられているものである。ゲル塔(I)のほかにゲル塔(II)が取り付けられている(日立特許、特267214)。このようにゲル塔を二つに分けて使用しているため、従来一般に用いられていた熱交換器を2基並列に設置して切換使用するという方式に比べ単純化され、運転操作、コストなどについてすぐれている。

(2) 油ミストの除去

油ミストは、これが装置内にはいった場合に水分や炭酸ガスの場合と同様に熱交換器および配管をつまらせ熱交換性能の低下、プラントの停止といった事故を生ぜしめるばかりでなく、爆発の原因ともなる。したがって油ミストの除去はきわめて重要な問題であり、油分離器を二重三重に使用し、ゲル塔により最終的に吸着除去するという方式をとっている。

3.3 熱交換器

主要熱交換器としては、高温熱交、第一低温熱交、第二低温熱交および第一液化器である。

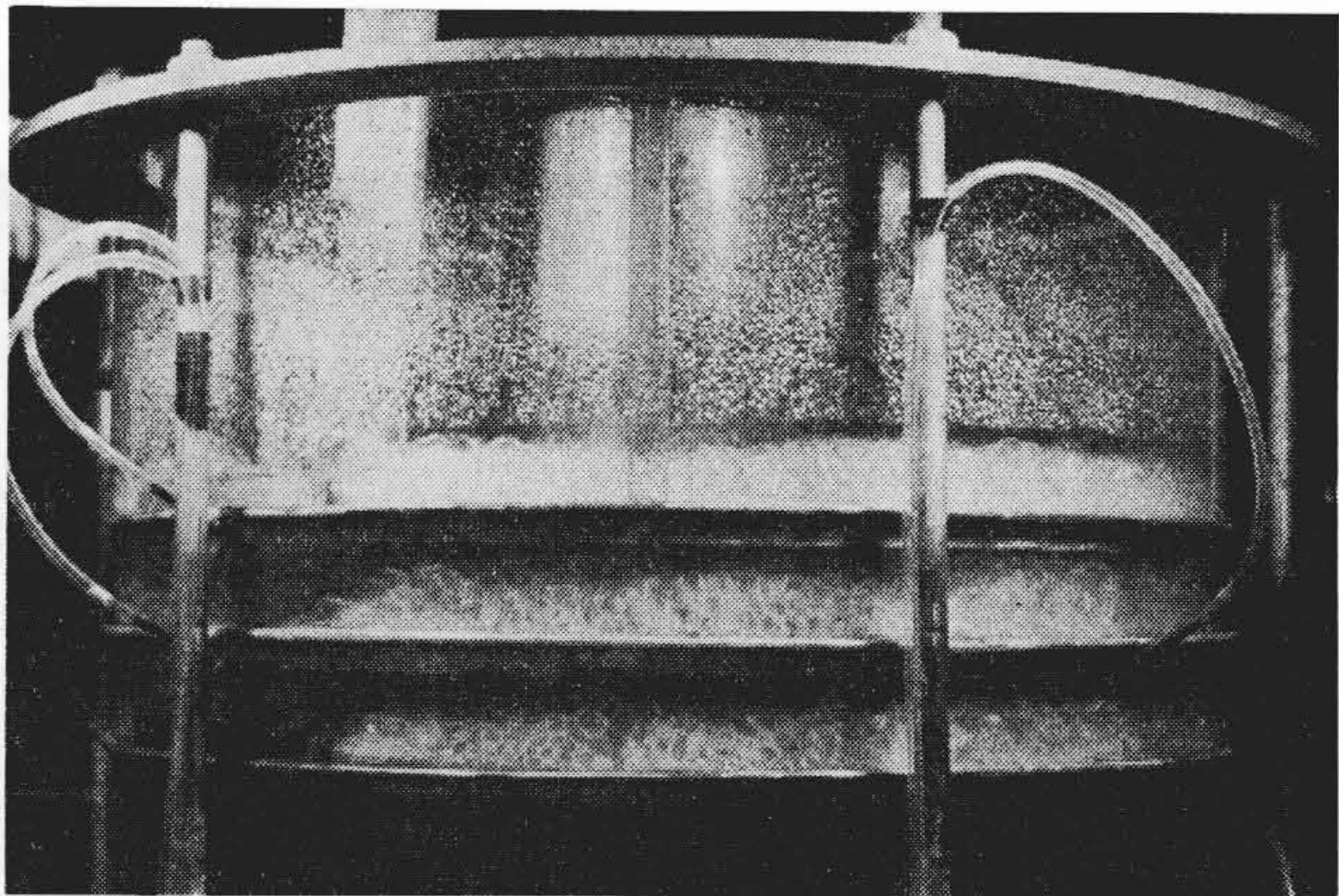
これらの役目は、原料空気を低温にまで冷却して精留塔に導くと同時に、分離ガスを常温にまで温度回復させることにある。

熱交換器の形式として、ハンプソン形およびアルミプレート形熱交換器を用いている。したがって機器自体が非常にコンパクトにできる。

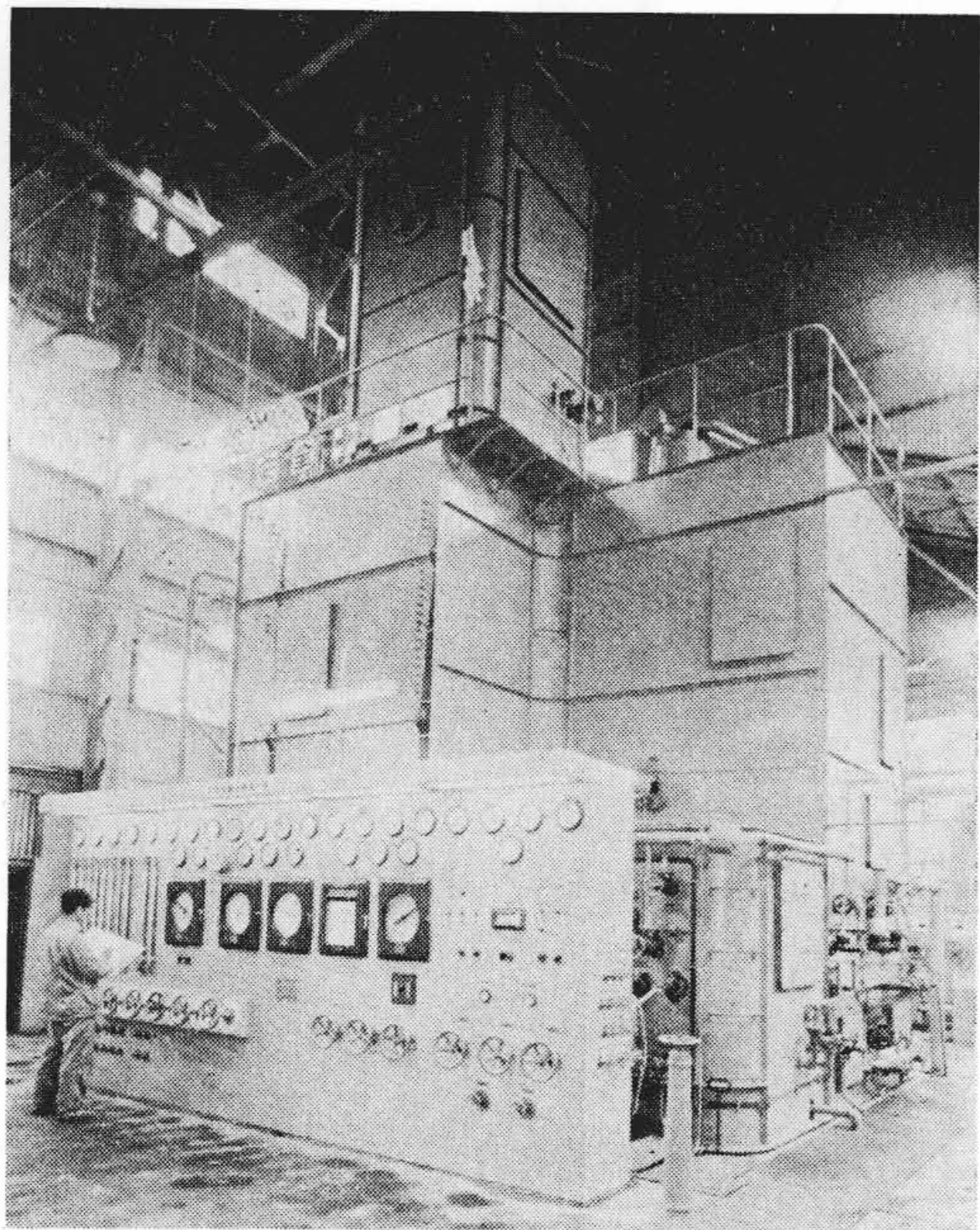
次に重要な特長は、多量の高純度製品ガスを採取できることである。TO-Mプラントの熱交換器は、熱交換という性能のみを行なわせるようになっており、水分および炭酸ガスの除去は別個にそれぞれの除去器を用いている。したがって製品ガスの採取可能限界は精留塔の分離性能のみによって左右される。このために、TO-M

第1表 TO-Mプラント用中圧膨脹タービン運転実績値

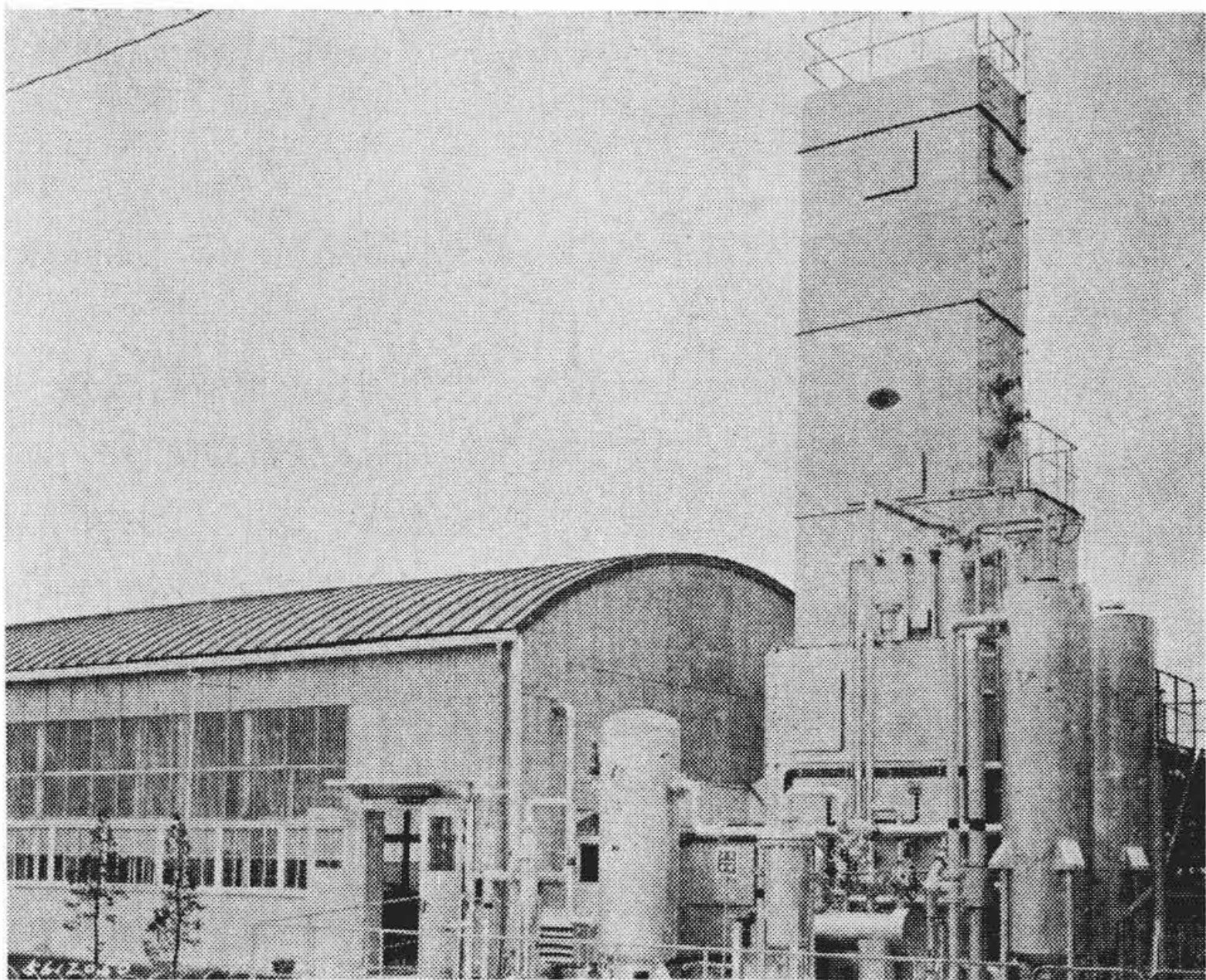
処 理 風 量	Nm ³ /h	1,320
入 口 圧 力	kg/cm ² g	13.25
入 口 温 度	℃	-139
出 口 圧 力	kg/cm ² g	4.85
エ ン タ ル ピ ー 効 率	%	82.8



第 8 図 精 留 塔 実 験 装 置



第 9 図 日 本 合 成 株 式 会 社 納 TO-M プ ラ ン ト



第 10 図 日 立 酸 素 株 式 会 社 納 TO-M プ ラ ン ト

プラントでは高純度窒素を多量に採取することができる。

3.4 寒 冷 発 生 源

TO-M プラントの寒冷発生源としては膨張タービンを用いている。

従来、このような形式の空気分離装置の寒冷発生源としては膨張

第 2 表 日 本 合 成 株 式 会 社 納 TO-M プ ラ ン ト 運 転 実 績 値

原 料 空 気 量	Nm ² /h	1,873
酸 素 発 生 量	Nm ² /h	300
純 度	%	99.8
窒 素 発 生 量	Nm ³ /h	1,500
純 度	%	98.1
圧 縮 機 吐 出 圧 力	kg/cm ² g	14.8

第 3 表 日 立 酸 素 株 式 会 社 納 TO-M プ ラ ン ト 運 転 実 績 値

原 料 空 気 量	Nm ³ /h	1,526
酸 素 発 生 量	Nm ³ /h	270
純 度	%	99.8
窒 素 発 生 量	Nm ³ /h	116
純 度	%	99.99% 以上
圧 縮 機 吐 出 圧 力	kg/cm ² g	13.2

エンジンが使用されているのが普通である。それは (a) 処理ガス量が少ないため、外部への漏れの少ないこと、(b) 原料空気圧力が入口圧力 10~30 kg/cm²g から約 5.0 kg/cm²g までの膨張比が小さいなどのためである。しかし、膨張エンジンは、機器自体も非常に大きく、設置場所も広くなり機器自体よりの熱損失による効率低下も無視できない。

TO-M プラントの寒冷発生源としては、非常にコンパクトな膨張タービンを採用し、しかも高効率を達成している。また長期連続運転も可能である。

TO プラント用膨張タービンは圧力約 5.0 kg/cm²g から 0.3 kg/cm²g まで膨張させ処理風量も多いのに対して、TO-M プラント用の膨張タービンは圧力約 15 kg/cm²g から 5.0 kg/cm²g まで膨張させなければならず、処理風量も非常に少ないため特別な考慮を加える必要があった。

タービン形式としては、一般的には衝動タービンと反動タービンの二つの形式があるが、われわれは TO-M プラント用として反動タービンを採用した。またエンタルピー効率も 80% 以上を得ている。

3.5 精 留 塔

精留塔の形式としては目皿塔が用いられており、TO-M プラントの精留塔としては、処理ガスおよび液量が少ないためにその精留効果をあげるため、その構造に特別の考慮がはらわれている。

第 8 図は精留塔開発のための実験装置である。

3.6 運 転 操 作 お よ び 保 守

TO-M プラントは小容量プラントとして開発されたため、運転操作および保守の簡易化に特に考慮がはらわれている。

(1) 予冷装置が簡単である。

予冷装置としてはアフタークーラであり、シエルアンドチューブ形熱交換器が採用されている。

(2) 熱交換器の管理が容易である。

熱交換器としてはハンプソン形およびアルミプレート形のため、機器はコンパクトになり、特別な制御機構を必要とせず、単なる弁操作のみで管理できる。

(3) 制御装置が少ない

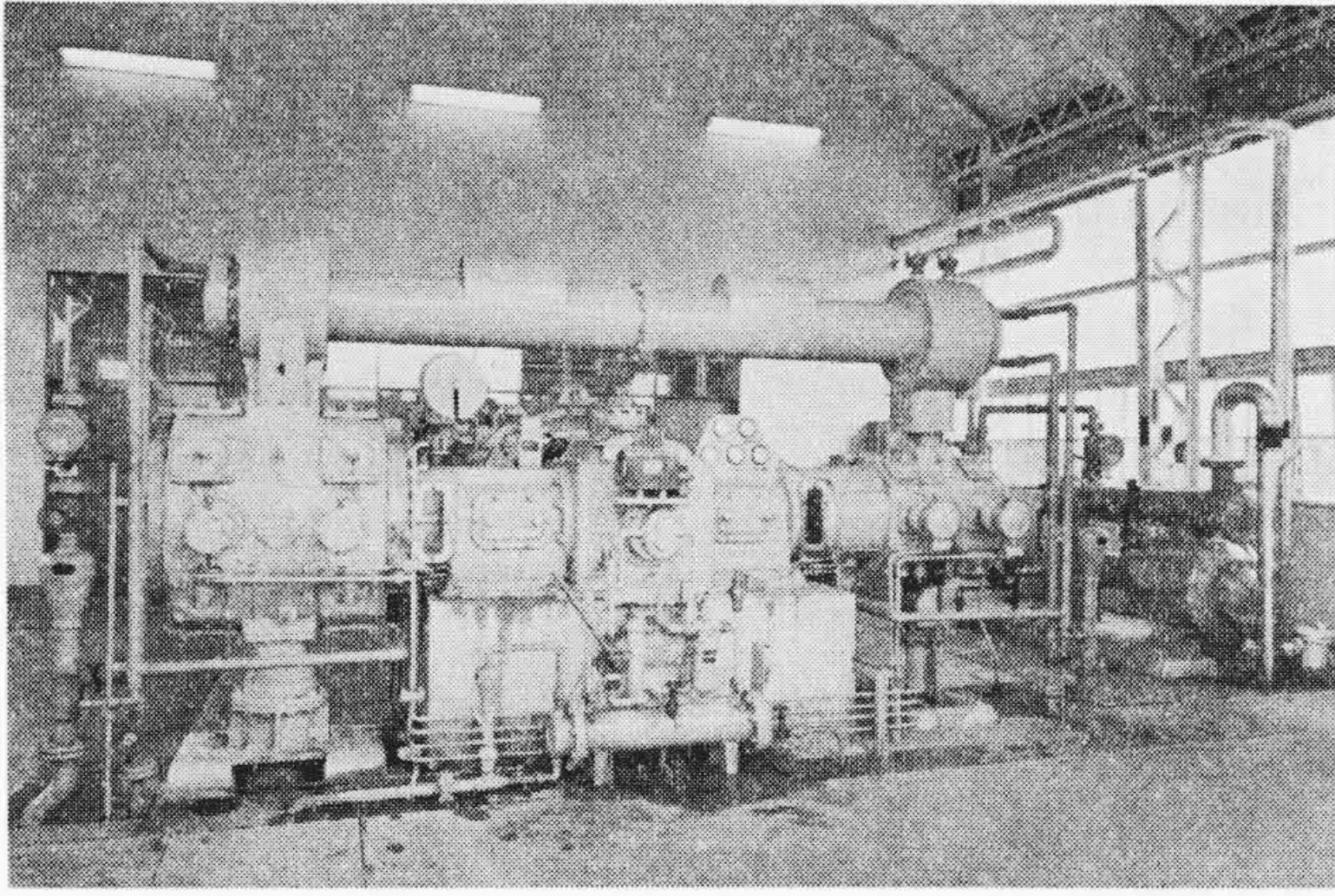
機器自体の制御装置をほとんど必要としない。

(4) 弁類の数が少ない

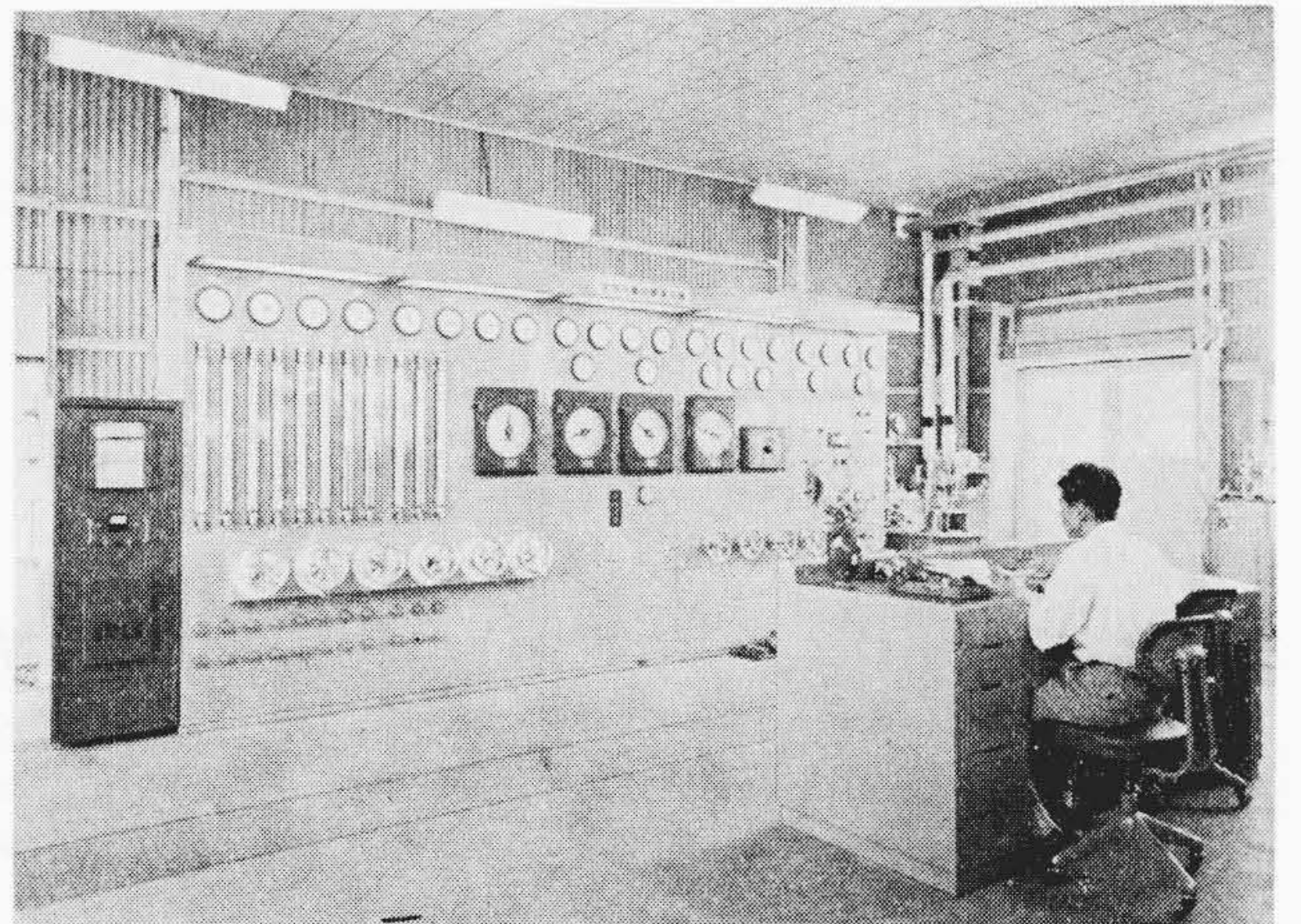
弁類の数を少なくしているため、運転操作が簡単である。

(5) 起動操作が容易である

起動時は、膨張タービンにて約 15 kg/cm²g の圧力から大気圧まで膨張させることができるため、多量の寒冷発生が得られ、起動時間が短くなる。



第 11 図 TO-M プラント用バランス形原料空気圧縮機



第 12 図 TO-M プラント用操作盤

4. TO-M プラントの運転実績

TO-M プラントはこれまで述べたような特色をもったものであり、すでに納入されたプラントも現在まで好調裡に稼動されている。したがって、これら既納プラントにつき、その運転実績および特長をのべる。

4.1 日本合成化学工業株式会社納 TO-M プラント

これは昭和 36 年 8 月に納入されたプラントである。

系統図としては、標準系統図(第 1 図)に近いものであり、多量の酸素および窒素ガスを採取できるプラントである。

本プラントの特長として次の点をあげることができる。

- (1) 酸素純度は 99.8 % という高純度である
- (2) 窒素ガスの採取量が原料空気量に比べて非常に多い。したがってプラントから出てくる放出ガスが少なく分離効率がきわめてよい。

4.2 日立酸素株式会社納 TO-M プラント

これは昭和 36 年 12 月に納入されたプラントである。

系統図は標準系統図に近いものである。

本プラントの特長として次の点があげられる。

- (1) 高純度酸素、窒素ガスを同時に採取できる。
- (2) 粗アルゴンも採取可能である。
- (3) 屋外式プラントである。

4.3 日本レーヨン株式会社納 TO-M プラント

これは昭和 37 年 10 月に納入されたプラントである。

系統図は標準系統図に近いものである。

第 4 表 日本レーヨン株式会社納
TO-M プラント運転実績値

原 料 空 気 量	Nm ³ /h	1,550
酸 素 発 生 量	Nm ³ /h	198
純 度	%	99.76
窒 素 発 生 量	Nm ³ /h	1,108
純 度	%	99.99% 以上
圧 縮 機 吐 出 圧 力	kg/cm ² g	14.0

本プラントの特長として次の点があげられる。

- (1) 高純度の酸素ガスを採取できる。
- (2) 窒素ガスは 99.999 % という高純度であり、しかも 1,000 Nm³/Hr という原料空気量に比べて非常に多量に採取できる。
- (3) 屋外式プラントである。

5. 結 言

以上 TO-M プラントにつき、その概要、特長および運転実績について述べた。

TO-M プラントは、小形空気分離装置として開発されたものであるが、特長の項でも述べたように多量の高純度窒素採取用プラントとして最適のものであり、今後は小形装置として、また窒素採取用プラントとして多方面に使用されるものとする。

Vol. 25

日立造船技報

No. 3

目 次

- ・耐キャビテーション・エロージョン性に及ぼす金属の諸性質
- ・低放射性廃液の自動選別装置の試作(第 1 報)
- ・波形炉筒および鏡板接合部の強さ(第 4 報完)
——波形炉筒をもつボイラ各部の応力——
- ・コンデンサスクープの性能について

- ・原油燃焼の前処理法(第 2 報)
——中間プラントによるウェート原油処理試験——
- ・漁船の伴流係数推定法
- ・マイハック指圧計の許容範囲について
- ・平歯車精度測定の一考察

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60