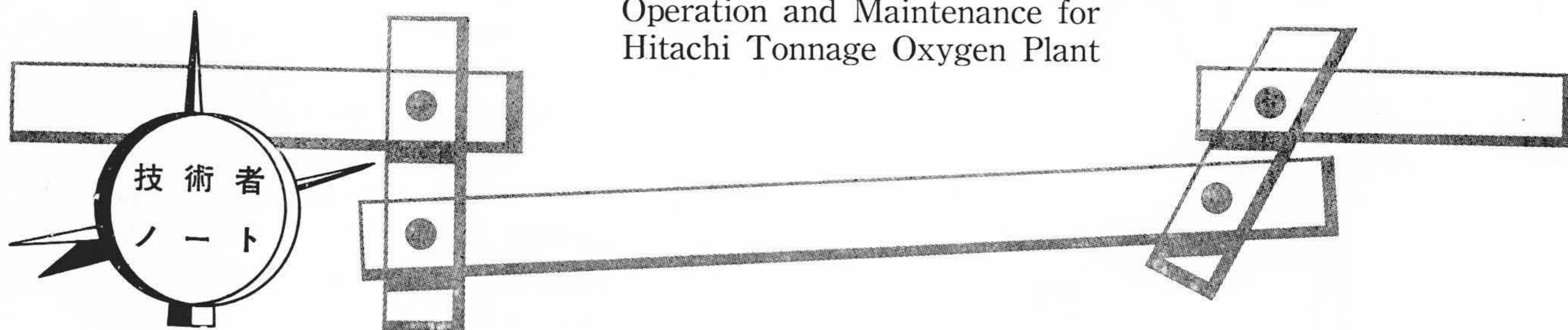


空気分離装置 (TO-プラント) の運転および保守

Operation and Maintenance for
Hitachi Tonnage Oxygen Plant



三 木 実* 五十嵐 慧 夫*
Minoru Miki Akio Igarashi

1. 緒 言

低圧式空気分離装置は化学工業，製鉄工業の酸素需要により1935年ころより大形化され，第2次大戦中に急速に発達進歩した装置である。わが国における大形純低圧式装置は実用化されてから数年にしかならず装置の普及した割合には文献なども少ない。ここにまとめた運転保守に関する説明がお役に立てば幸いである。TO-プラントの名称で製作されている日立純低圧式について説明するがプラントの運転保守であるのでプラントの原理と密接な関係があり，基礎理論を説明したあと理論と関連づけて運転保守を説明する方式をとる。運転保守上必要と思われる主要事項は集めたつもりであるが，空気圧縮機，工業計器など特殊な機器はそれぞれの取扱説明書を参照願いたい。また説明は標準のプラントについて述べるので設置条件，設置装置の特殊性により判断の上適用願いたい。

2. 空気分離装置基本事項

2.1 空気分離装置の原理

空気は21%の酸素ガスと79%の窒素ガスの混合物であって，これを冷却すると圧力により液化温度は異なるが大気圧では -193°C で液化し液体空気となる。すなわち酸素と窒素の混合液になるが，酸素の沸点 -183°C ，窒素の沸点 -195.8°C と差があるので，この差を利用して多孔板精留塔で分離する装置である。実際には純低圧式では $5\text{ kg/cm}^2\text{G}$ に空気を圧縮したものを原料空気としている。

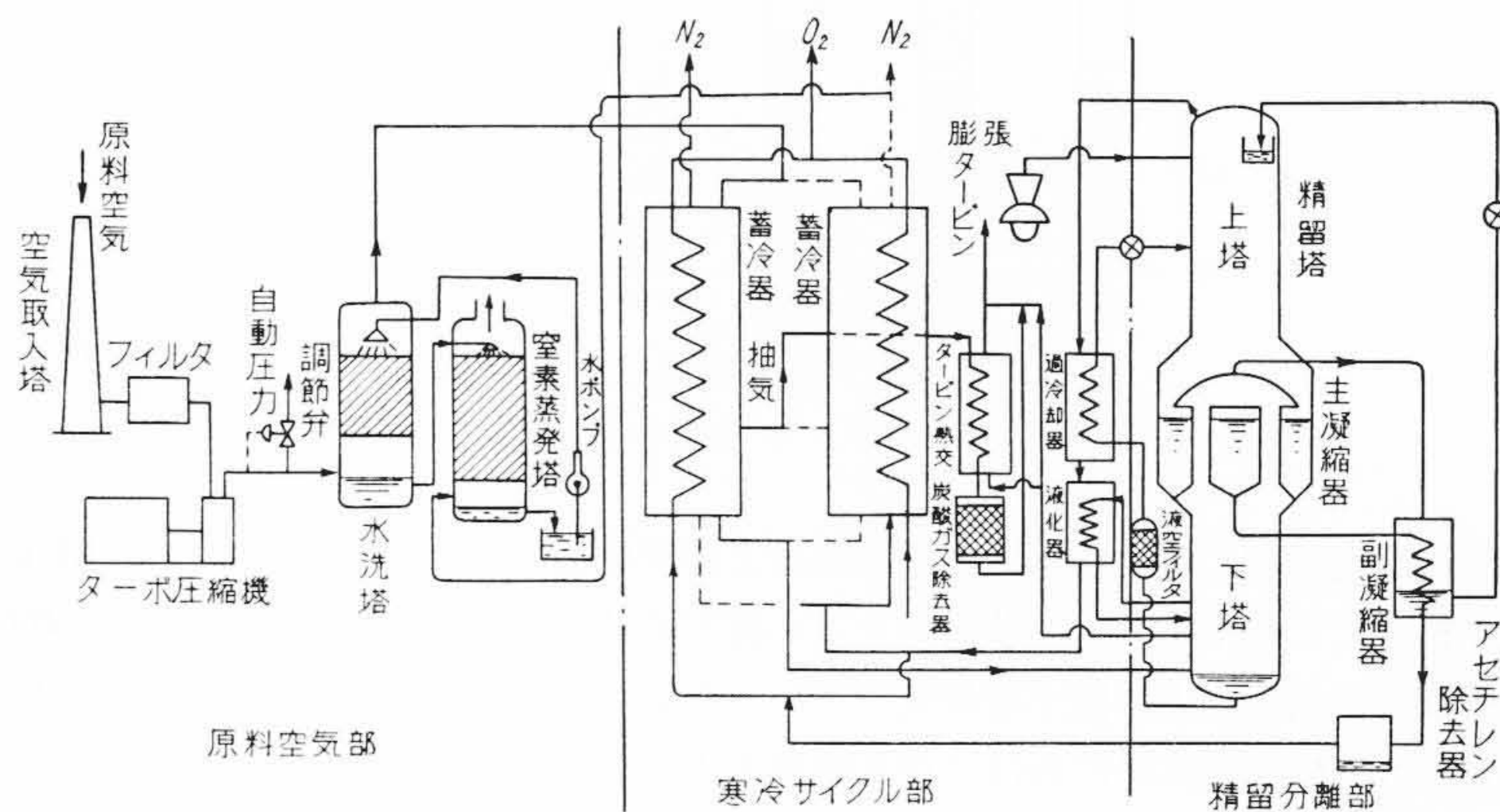
2.2 TO-プラントの概要

TO-プラントのもっとも代表的な主要機器の系統を第1図に示し，また標準プラントの模型全景を第2図に示す。本装置は(A)原料空気部門，(B)寒冷サイクル部門，(C)精留分離部の3部門に大別され，(B)，(C)部分が空気を液化し，液体空気を精留分離する空気分離器として保冷槽内に入れられている。また(B)，(C)は空気の液化温度 -180°C 付近で使用される機器であるので低温強度を考慮して大部分銅製部品を使用しているが，一部ステンレス鋼も使用されている。保冷には軟鋼製の槽の内部に岩綿を保冷材として充てん使用している。

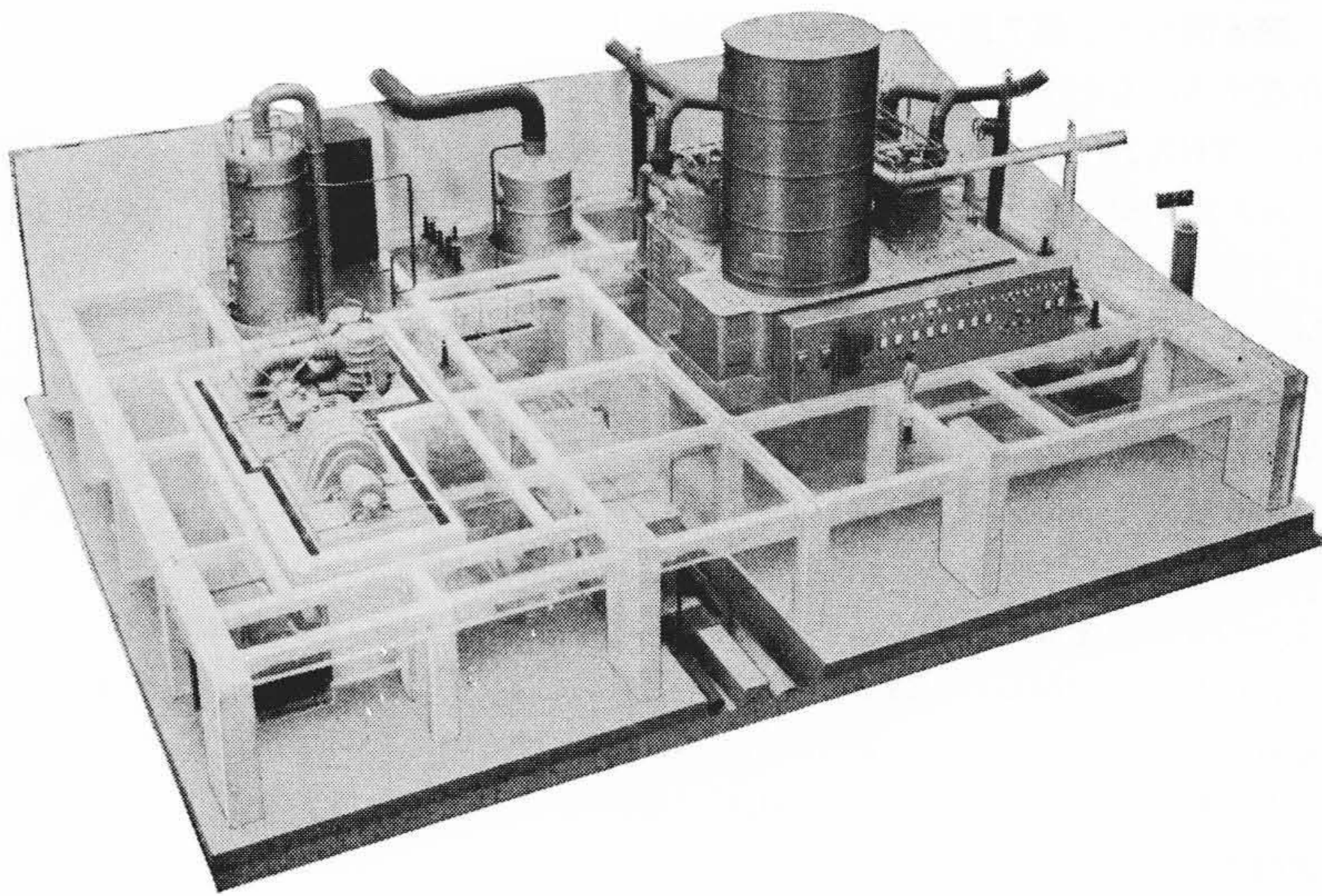
2.2.1 原料空気部門

原料空気部は原料になる空気をろ過装置で除じんしたのち，空気圧縮機で $4.8\sim 5.0\text{ kg/cm}^2\text{G}$ まで圧縮し，水洗冷却塔で冷却して

* 日立製作所日立工場



第1図 TO-プラント標準フローシート



第2図 TO-プラント全景

原料空気として供給する部門である。原料空気部門で注意しなければならないのは下記のような点である。(1)きれいな空気を取り入れること，工場地帯ではダストのほかに炭酸ガス，アセチレンガス，酸分を含んだミストを異常に多量含有していることがあるので注意しなければならない。工場の配置，風向きにより取入口の高さ，位置の決定を慎重に行うことが必要である。空気の質の良否がプラントの運転上の安全度，寿命を決定する最大要素となる。(2)空気中のダスト，酸ミストの除去に細心の注意を払うこと，すなわちコンプレッサ，空気分離器にダストによるたまり，摩耗，酸による腐食を起させないように注意しなければならない。



空気分離装置(TO-プラント)の
運転および保守

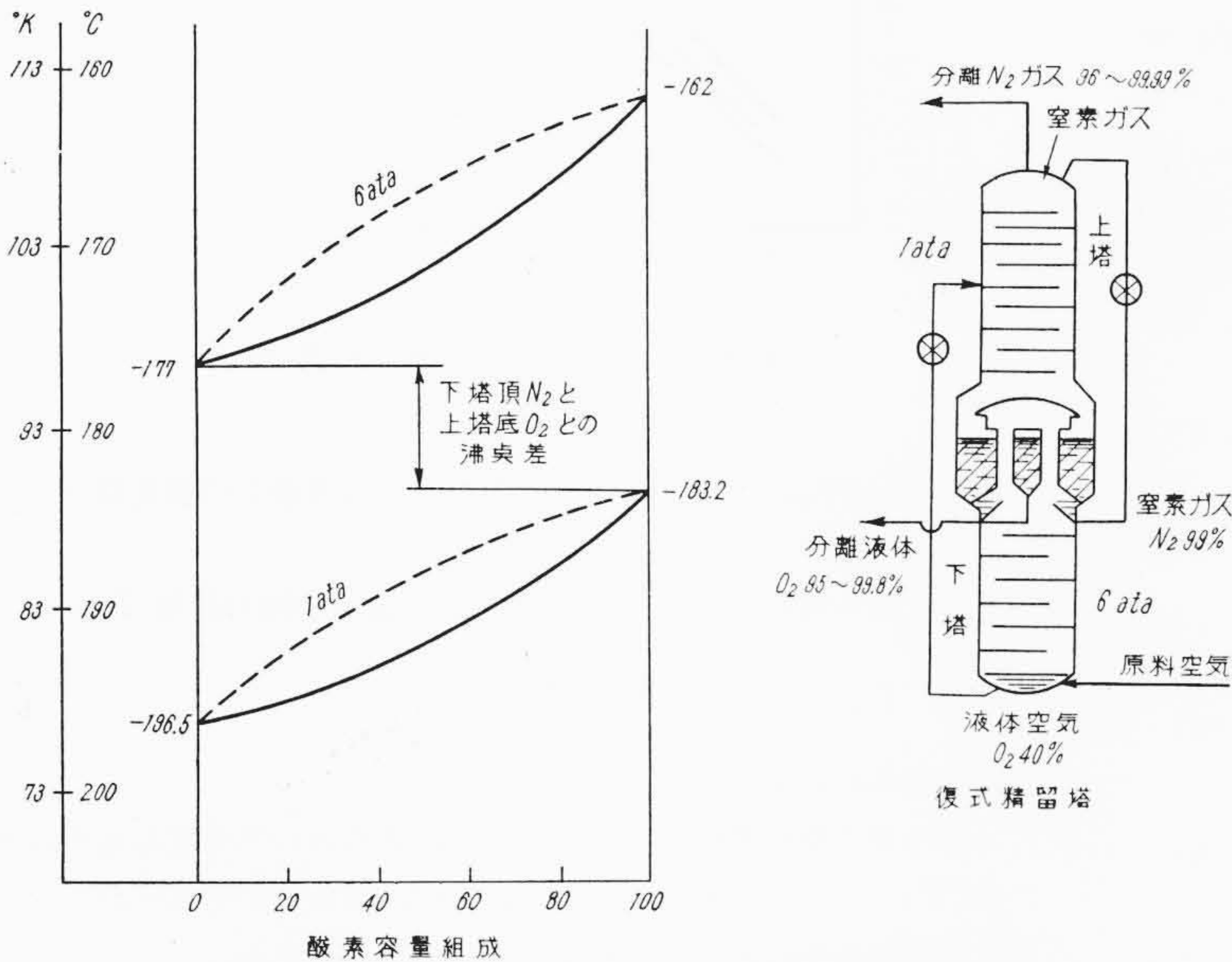
い。(3)効率よく空気を圧縮すること、空気の圧縮は分離器に必要な圧力、風量に吸入圧などを調節し圧縮機を効率よく稼働させて電力原単位の低い原料空気を分離器に供給することが原単位を下げる第一歩である。(4)温度の低い水滴を含みぬ空気を供給すること。水洗冷却塔で空気を入れて水と直接接触させて冷却するが空気の温度が下ると含有水分が減少し蓄冷器の負荷が軽くなるのでできる限り低くすることが望ましい。

2.2.2 寒冷サイクル部門

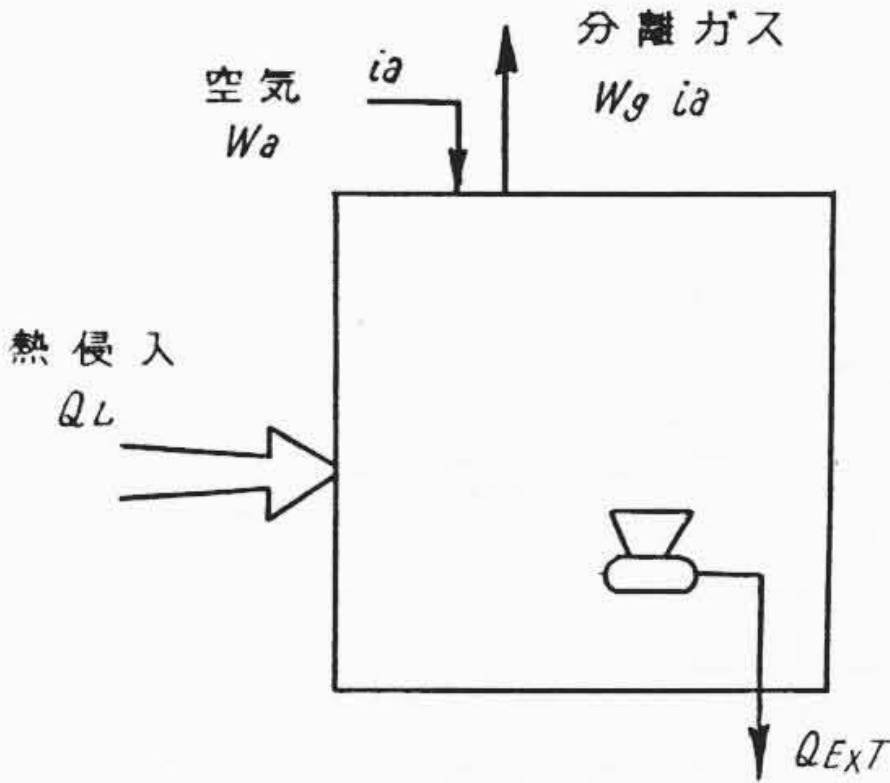
空気分離器は二つの作用部分に分れており、寒冷サイクル部は原料空気を液化させて精留塔に液体空気を原料として供給するとともに、装置全体の低温を保持して熱平衡を保っている。一方精留部は液体空気を酸素、窒素に分離して寒冷サイクル部にもどしている。寒冷サイクル部のおもな作用は次の4項目である。(1)供給された原料空気を蓄冷器で冷却して液体空気にして精留塔に供給する。(2)精留塔で分離された低温の酸素ガス、窒素ガスを常温まで空気と蓄冷器で熱交換させて寒冷回収をして熱損失を防ぐ。分離ガスは常温になって取り出される(3)空気中の水分、 CO_2 酸ガスを蓄冷器で物理的性質を利用することにより捕そくし、装置内にたい積するのを防ぐとともに捕そくした水分、炭酸ガスを分離ガス中に昇華させて放出する。(4)分離品の低温機器への外部より熱侵入、蓄冷器での空気と分離ガスの温端における温度差による熱損失を膨脹タービンにより寒冷発生して補償し、プラントの熱平衡を保つ、寒冷サイクル部中最も重要な機器は蓄冷器と膨脹タービンであるが、これはそれぞれの運転の項で詳述する。

2.2.3 精留部門

おもな機器は精留塔であって原料空気として精留塔に送り込まれた液体空気の酸素と窒素の沸点差を利用して、目皿状の精留皿上で凝縮、蒸発を何段も組合わせて酸素と窒素に分離している。精留塔は複式精留塔を使用しており上塔、下塔に別れている。圧力による沸点の変化を利用して下塔の窒素凝縮器と上塔の酸素蒸発器を組合わせたものである。液体空気は下塔で40%付近の液体空気と99%程度の窒素に粗留して分離され、上塔に供給されて96~99%程度の窒素ガスと95~99.8%の純酸素液に精留分離される。この液体酸素は副凝縮器で熱交換して酸素ガスとなり、分離窒素ガスとともに寒冷サイクル部で熱交換して常温付近まで熱回収されて取り出される。



第3図 空気の液相気相線図および複式精留塔構造図



第4図 装置の熱収支図

2.3 TO-プラントの基本理論

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的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。したがって理論と実際の運転成績は非常に良く一致する。本節で運転上の基礎となる熱平衡と分離効率について必要最小限度の特性を数式で表わし運転説明の骨組としたい。

2.3.1 熱平衡

装置には第4図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以下のとおりである。

$W_a i_a + Q_L = W_g i_g + Q_{Ext} \dots\dots\dots (1)$

$W_a = W_g \dots\dots\dots (2)$

$\therefore W_a (i_a - i_g) + Q_L = Q_{Ext} \dots\dots\dots (3)$

(蓄冷器温端熱損失)+(保冷損失)=(タービン寒冷発生量)
 $\dots\dots\dots (3)'$

- ただし W_a : 分離器に流入する有効空気量 (Nm³/h)
 W_g : 分離されたガスの総量 (Nm³/h)
 i_a : 蓄冷器温端の空気のエンタルピ (kcal/Nm³)
 i_g : 蓄冷器温端のガスのエンタルピ (kcal/Nm³)
 Q_L : 保冷槽を通じて侵入する熱量 (kcal/h)
 Q_{Ext} : 膨脹タービンの断熱膨脹により機械的エネルギーとして放出される熱量 (kcal/h)

上記(3)および(3)'式は分離装置を運転する場合常に念頭におかなければならない重要な関係であって、大形装置になればなるほど保冷損失に対する温端損失の比率が大きくなるので温端損失を小さくするよう注意して運転しなければならない。保冷槽の特性は装置の生れつきで運転によって大きく変わるものではない。以下各損失およびタービン寒冷発生量について項目ごとに説明する。

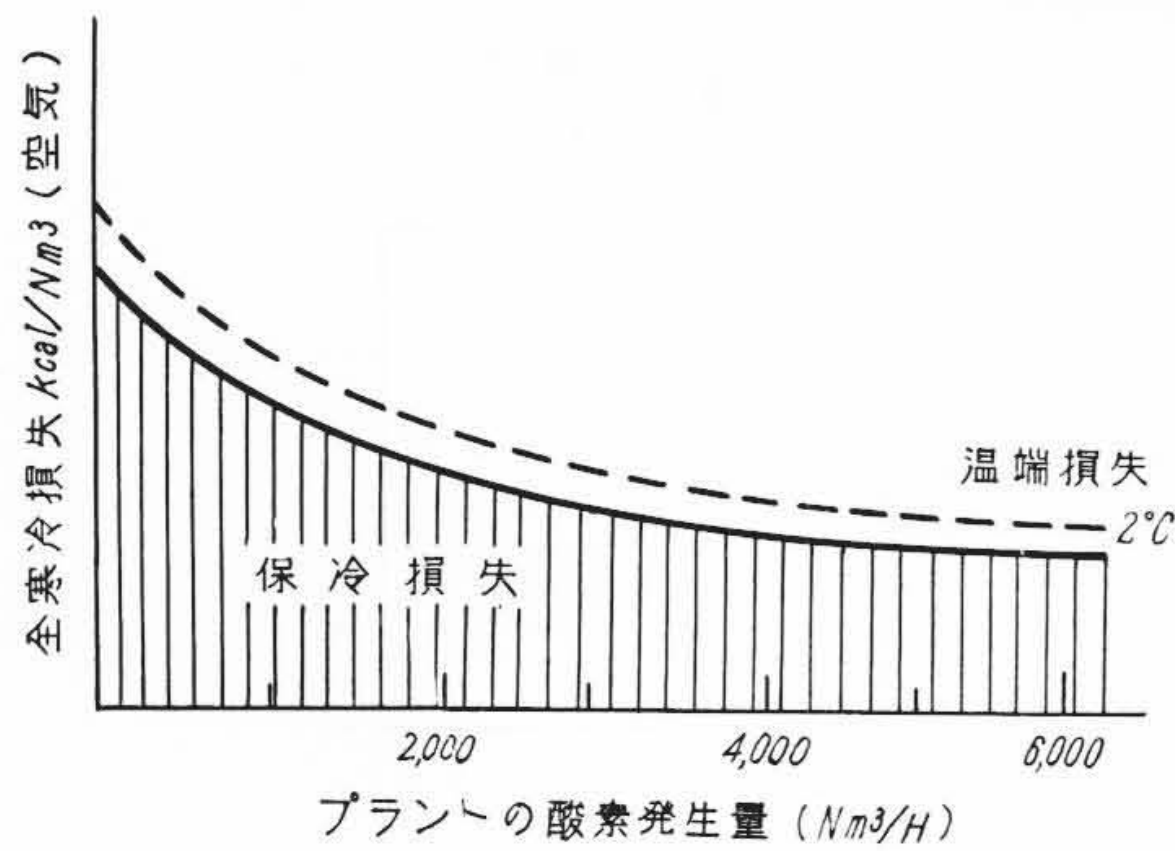
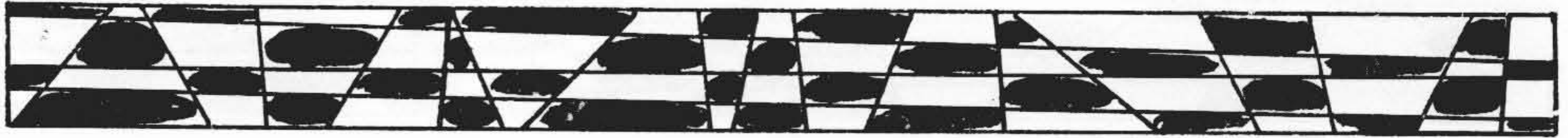
(1) 保冷損失 Q_L

保冷損失 Q_L として一括して述べたが、実際は外気が保冷材を通して侵入する熱損失 Q_{LC} と寒冷機器よりのガス、液体の保冷槽内への漏れ損失 Q_{LL} に分けられる

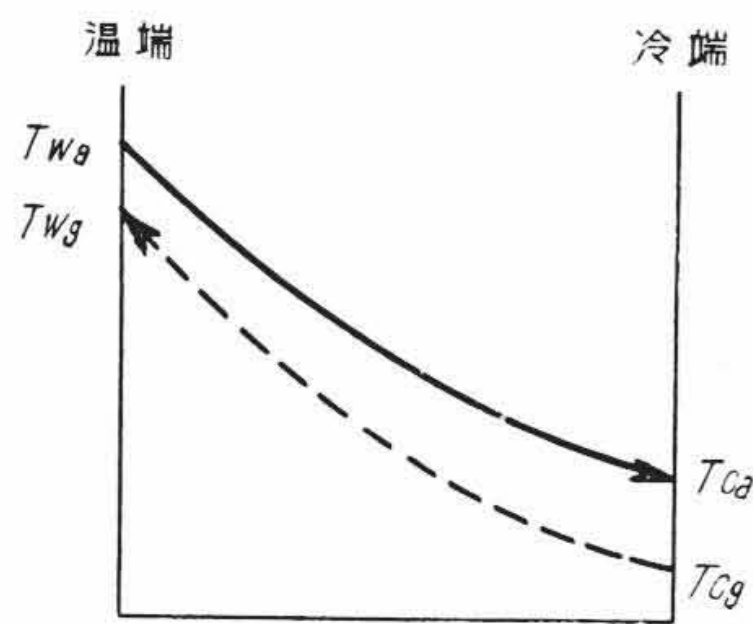
$Q_L = Q_{LC} + Q_{LL} \dots\dots\dots (4)$

保冷損失 (Q_{LC}) は保冷槽の構造、保冷材の材質、保冷材の厚さにより定まるもので一応生まれつきといえる。装置が大形になれば内容積は3乗に比例して大きくなっても表面積は2乗にしか比例して大きくならないので大形装置になるほど空気 1 Nm³/h 当りの保冷損失は少なくなり第5図のような傾向となる。

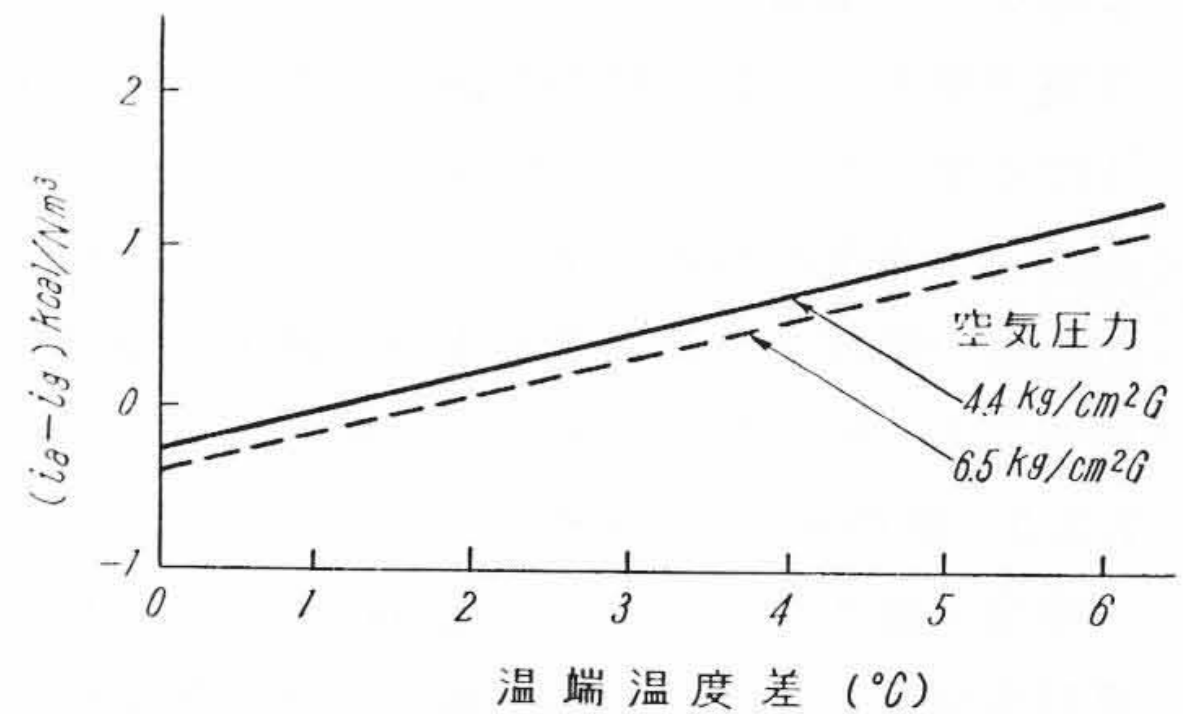
機器より外部への低温ガスまたは液の漏れは絶無を期しているが、実際に長期間の運転中に弁シートの傷などにより漏れを生ずることがある。そこで漏れ損失について考えてみる。飽和温度の低温ガス、液の 1 Nm³ 当りの漏れ損失熱量は下記のような数字になる。



第5図 保冷損失と温端損失の関係



第6図 向流熱交換器



第7図 温端熱損失 (ia-gi)

飽和温度空気..... 62 kcal/Nm³

飽和温度液体空気または酸素... 134 kcal/Nm³

(≒ 118 kcal/l (液体))

(大気圧に *
おいて)

液体酸素は -183°C では $1\text{ Nm}^3/\text{h}$ のガス体が 1.13 l と約 $1/1,000$ の体積になっているので、ガス体の同容積の損失と比較すると約 $2,000$ 倍の熱損失になるので液体の漏れは特に注意してなくすることが必要である。運転中液漏れを生じた場合は保冷損失が大きくなり、熱平衡がくずれて酸素発生量の低下を招くこともあるので短時間の停止をしても徹底的に直すことが必要である。

(2) 温端損失

蓄冷器は周期的に切替使用するが、第6図のような向流形熱交換器と考えることができる。熱交換器であればいかに効率の良い熱交換器でも必ず温端温度差があり、このため温端熱損失を生ずる。温端損失の全保冷損失に占める割合を第5図に参考に記入した。これよりわかるとおり温端損失の全寒冷損失に占める割合は小形プラントでは小さいが、酸素 $2,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ を越えるプラントではしだいに大きくなり、 2°C の温端損失で $15\sim 16\%$ を占めるようになる。

第7図に空気圧をパラメータとして温端温度差による熱損失を示しておく。ここで注意すべき点は温度差が 1°C 以下になると逆に負の熱損失になる点である(すなわち熱の持ち出し)。実際の運転調整法は蓄冷器の章で述べるが、温端損失を小さく保つことが分離装置の運転上もっとも大切である。石材蓄冷器では $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ の温度差が普通である。

(3) タービンの寒冷発生量

タービンは立形輻流式反動タービンであって、 $25,000\sim 37,000\text{ rpm}$ で回転している。高圧空気または窒素はこのタービン内で断熱膨脹するとともに外部に仕事をして温度降下するので、この時のエンタルピ降下を利用してTO-プラントの寒冷源とする。動力用タービンと比較すると動力用タービンはエンタルピ降下を外部仕事にかえて利用しているが、膨脹タービンは外部に仕事をさせてそのエンタルピ降下を利用している点が異なっている。

膨脹タービンの寒冷発生量 (Q_{ExT}) は次式で表わされる。

$$Q_{ExT} = W_{ExT} (i_{T1} - i_{T2}) \text{ kcal/h} \quad (4)$$

ただし

Q_{ExT} : 膨脹タービン寒冷発生量 (kcal/h)

W_{ExT} : 膨脹タービン風量 (Nm^3/h)

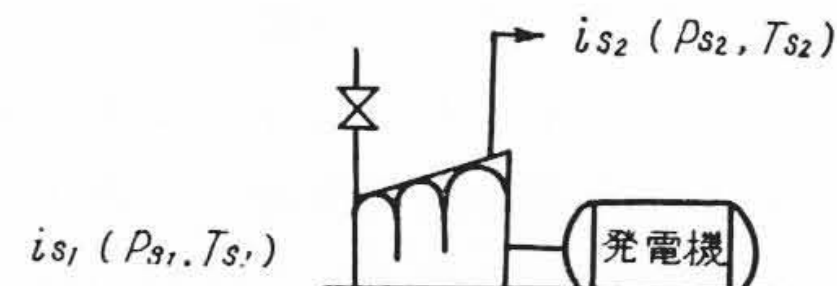
i_{T1} : 膨脹タービン入口ガスエンタルピ (kcal/ Nm^3)

i_{T2} : 膨脹タービン出口ガスエンタルピ (kcal/ Nm^3)

また膨脹タービンの効率 (η_{ExT}) は次式で表わされる。

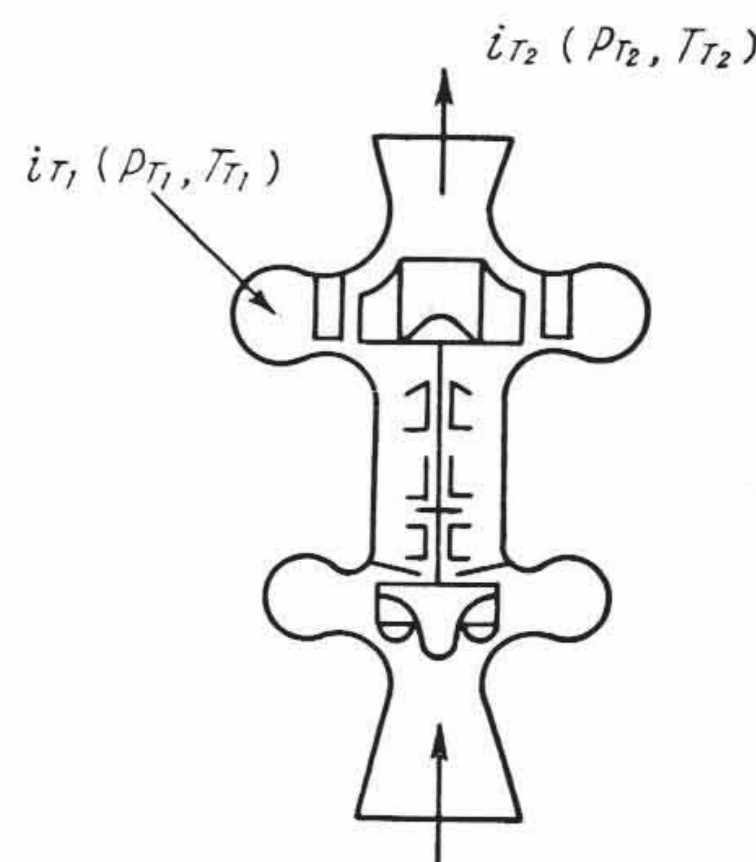
$$\eta_{ExT} = \frac{i_{T1} - i_{T2}}{i_{T1} - i_{T2th}} \quad (5)$$

* 酸素窒素とも飽和温度のエンタルピには多少相違はあるが一般に空気のエンタルピをもって表現する場合が多い。

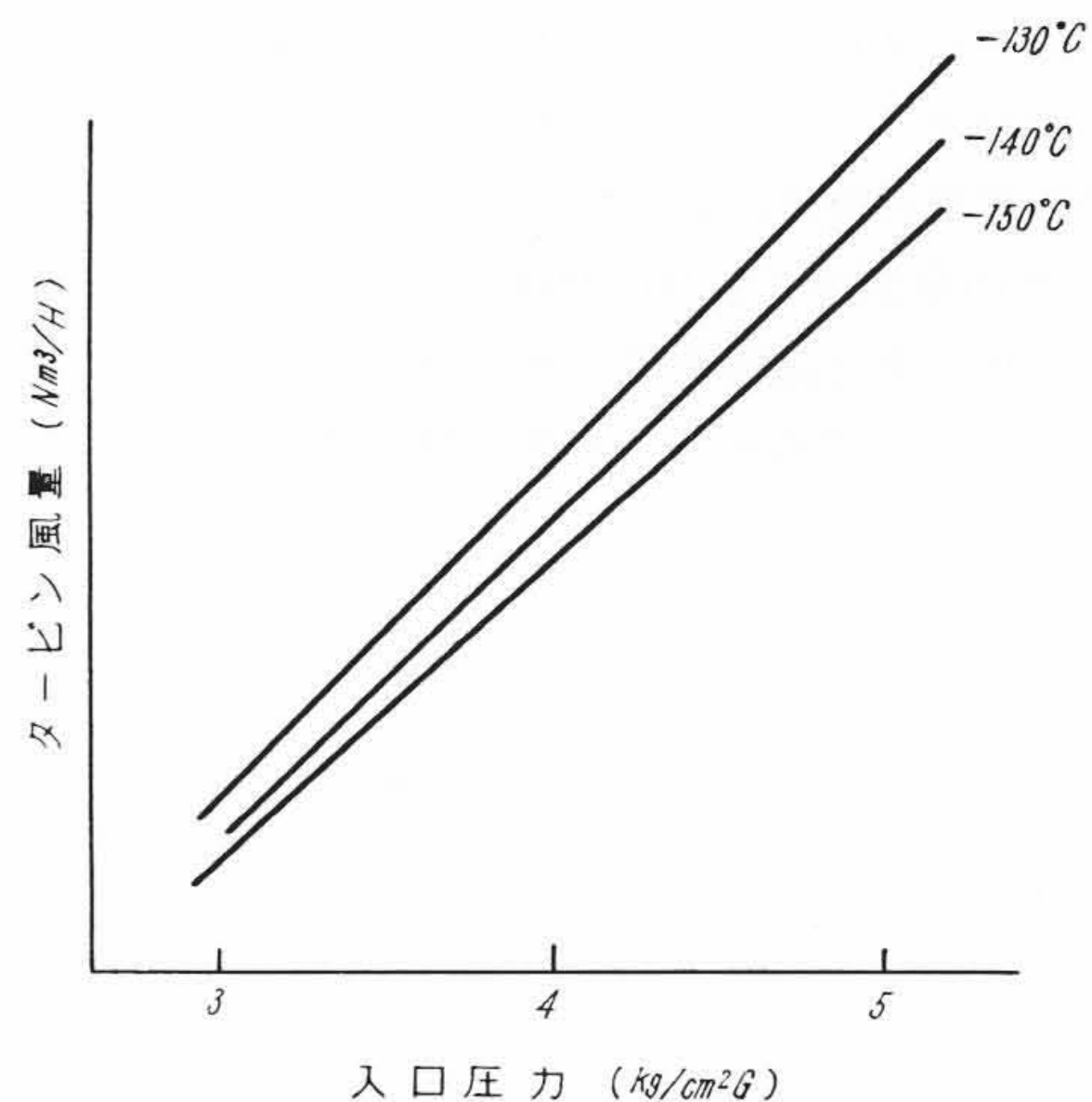


$$\text{蒸気タービン} \left\{ \begin{array}{l} i_{s1} > i_{s2} \\ p_{s1} > p_{s2} \\ T_{s1} > T_{s2} \end{array} \right\}$$

$$\text{膨脹タービン} \left\{ \begin{array}{l} i_{T1} > i_{T2} \\ p_{T1} > p_{T2} \\ T_{T1} > T_{T2} \end{array} \right\}$$



第8図 膨脹タービン



第9図 タービン風量曲線

ただし i_{T2th} : 膨脹タービン出口ガスの理論上の温度降下より求めたエンタルピ

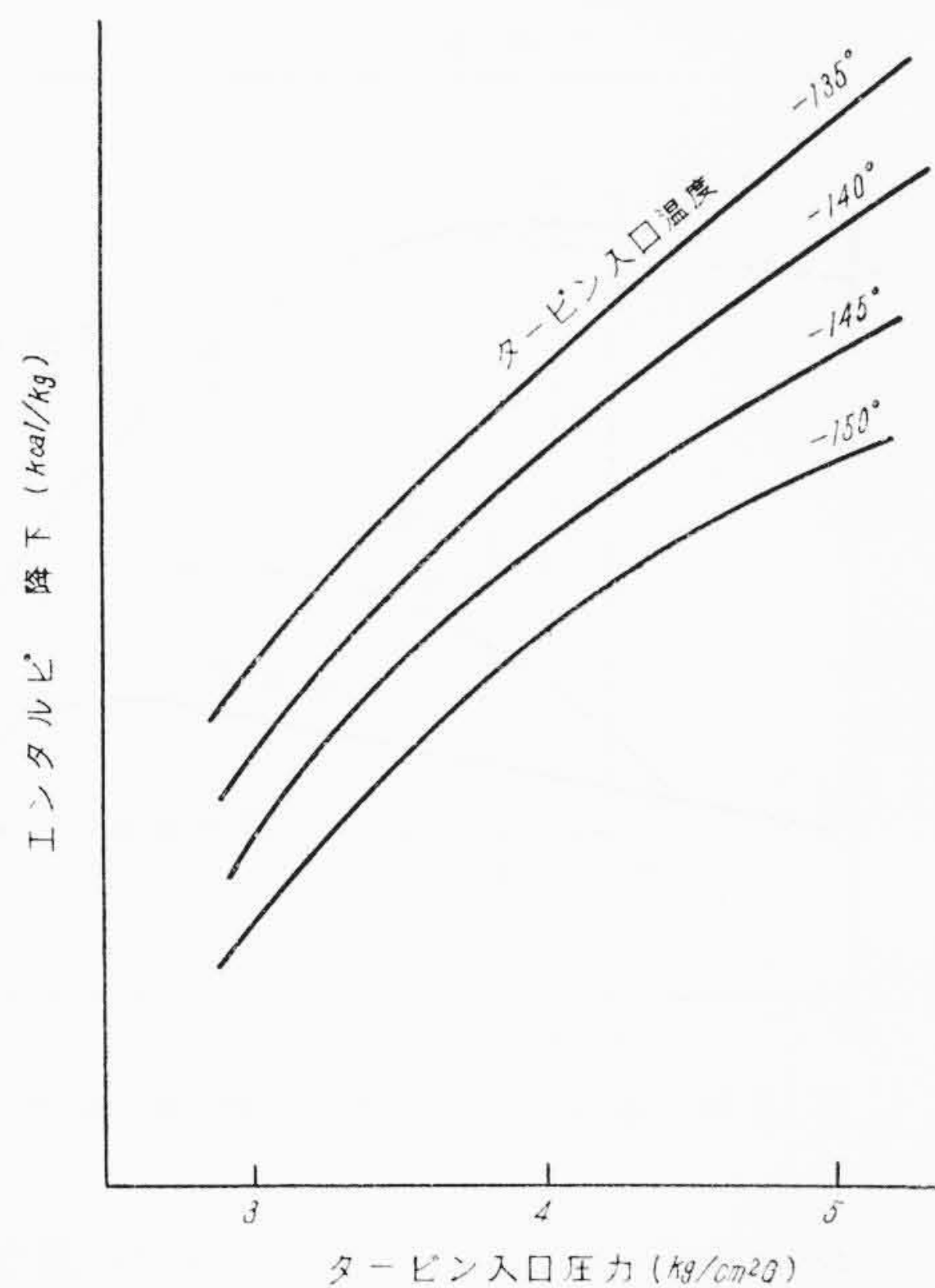
すなわち出口圧力を P_{T2} とすると理論上の出口温度 T_{2th} は、

$$T_{2th} = T_1 \left(\frac{P_{T2}}{P_{T1}} \right)^{\frac{K-1}{K}}$$

なる関係から求められる。

寒冷発生量を変化させたい場合(4)式において可変なものは風量 (W_{ExT}) とエンタルピ降下 ($i_{T1} - i_{T2}$) であるがそれぞれプラントの運転条件によりある程度の制約を受けている。

(a) 風量を変化させるには入口圧力を増加すれば多くなる。



第10図 タービンのエンタルピ降下

その範囲は 3~5 kg/cm²G である。

(b) 入口温度を下げれば風量は若干多くなるがその範囲は -135~-155°C である。

(c) 入口温度を下げればエンタルピ降下は減少する。

入口圧力、入口温度を変化させた時の風量変化を第9図に示す。タービン風量はノズル寸法により定まるが風量は圧力に対し直線的に増加する。エンタルピ降下は使用条件により効率が変わってくるが、かりに $\eta=82\%$ として計算すると第10図のようになる。一般に膨脹タービンの効率は80~85%である。

(b), (c) は入口温度を下げた時寒冷発生量に対して逆方向に作用するが、全体的にみて寒冷発生量を大きくしたい時はまず入口圧力を上げ、次に入口温度を高目に運転すれば良いといえる。タービン回転数は定格値の90%付近以上は効率にあまり大きな影響はないのでこの付近であればよい。

2.3.2 プラントの効率

(1) 精留塔の分離効率

精留塔の分離効率(σ_c)は精留塔の使用法により一概にいけないが、ここでは精留塔で処理した空気に含まれた酸素量に対する分離された酸素量と定義する。

$$\text{精留塔分離効率} = \frac{\text{分離された酸素量}}{\text{精留塔に供給された原料空気量に含まれる酸素量}} \dots (6)$$

$$\sigma_c = \frac{W_0 \times \psi}{W_R \times 0.21} \dots (6)'$$

ここに W_0 : 分離酸素量

ψ : 酸素ガスの酸素純度

W_R : 精留塔処理空気量

次に分離酸素純度と精留塔分離効率の関係を検討してみる。精留塔上塔に入る酸素量と分離されて出てくるガスの含有酸素量について物質収支の式を立てると

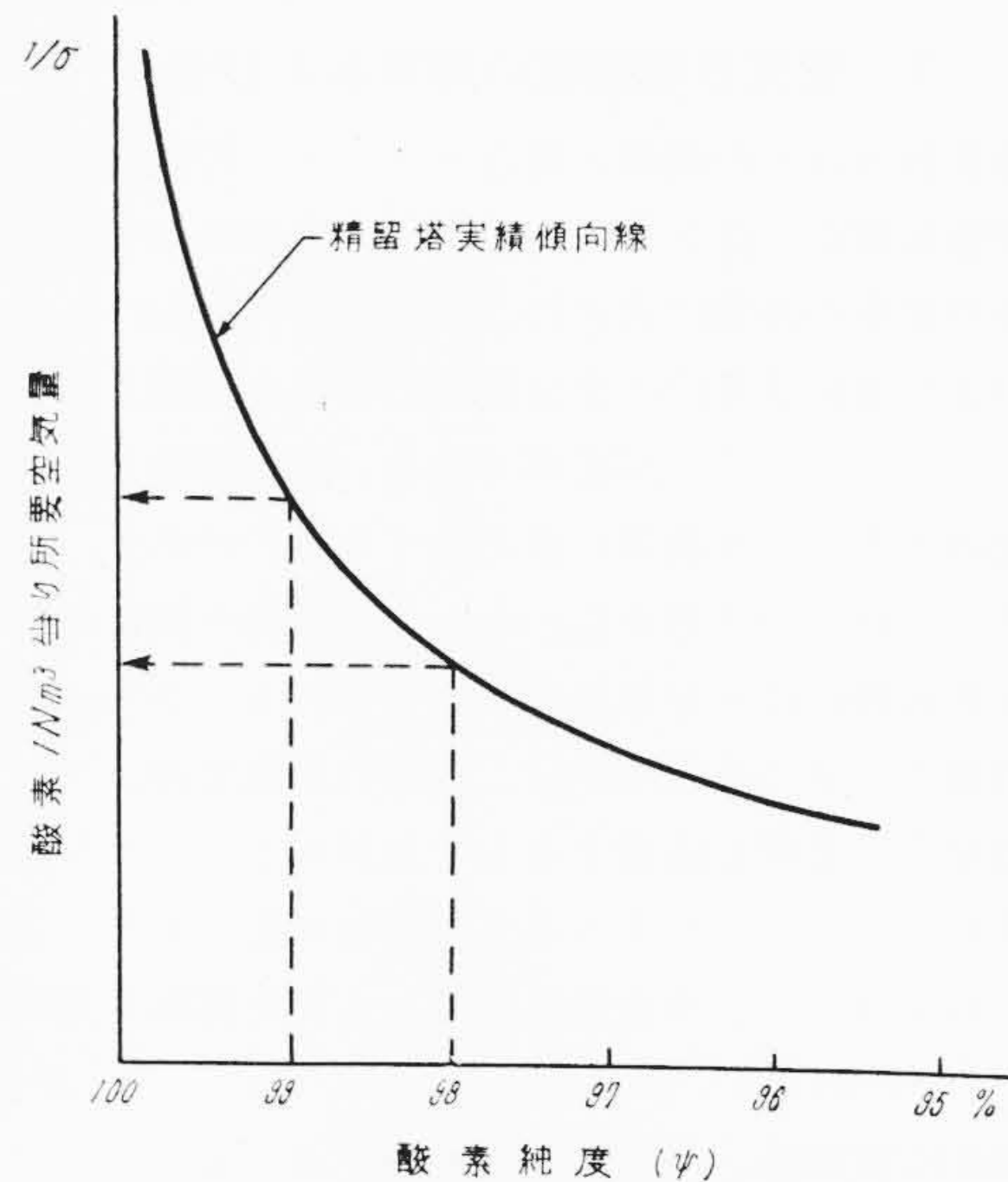
$$0.21 W_R = \omega (W_R - W_0) + \psi W_0 \quad \text{より}$$

$$0.21 W_R = \omega W_R (1 - \sigma_a) + \psi W_0 \dots (7)$$

ここに W_0 : 分離酸素量

W_R : 精留塔処理空気量

σ_a : air ratio (分離酸素量/精留塔処理空気量)



第11図 分離酸素純度と必要空気量

$$\left[\sigma_a = \frac{W_0}{W_R}, (6)' \text{式より } \sigma_c = \frac{\psi}{0.21} \sigma_a \approx \frac{\sigma_a}{0.21} (\psi = 0.98 \sim 0.996 \approx 1) \right]$$

ω : 精留塔を出る N_2 ガスの酸素純度

ψ : 精留塔を出る O_2 ガスの酸素純度

(7)式を変形して W_R を消去すると、

$$\sigma_a = \frac{0.21 - \omega}{\psi - \omega} \dots (8)$$

精留塔より出る N_2 の酸素純度 ω は ψ に比べて微少であるので一般的にいて酸素純度 ψ を高くとれば酸素 1 Nm³/h 当りに必要な原料空気量が多くなる。この関係を図示すれば第11図のとおりになる。

(2) 分離器の分離効率

TO-プラントでは寒冷発生に膨脹タービンが使用され、原料空気中の一部がこれに使用されるので全量精留塔に入るわけではない。また窒素タービンなどの使用によっても若干異なるので分離器の分離効率は下記のように定義している。

$$\text{分離器分離効率} = \frac{\text{分離された酸素量}}{\text{分離器に供給された酸素量}} \dots (9)$$

(3) 酸素原単位

酸素の製造単価を示すのに酸素原単位が使用されている。この定義は次のとおりである。

$$\text{酸素電力原単位} = \frac{\text{プラントの所要動力}}{\text{プラントの分離酸素量}} \text{ kW/Nm}^3 O_2 \dots (10)$$

上記(9)式を正確に検討するには次式のように分ける必要がある。

$$\text{酸素電力原単位} = \frac{\text{原料空気 1 Nm}^3/\text{h 当りの所要動力}}{\text{原料空気 1 Nm}^3/\text{h より分離した酸素量}} \dots (11)$$

(10)式の分母は分離器の分離効率であって、これについては前項で検討したので省略する。分離効率が高くなれば分母は大きくなるので原単位は下る。分子は圧縮機に分離器より要求される圧力と圧縮機の効率で定まるものである。所要圧力は膨脹タービン効率のよくなった今日の全低圧式分離器では精留塔下塔所要圧により決まる。したがって効率のよい圧縮機を使用してなるべく低い圧力で運転すれば(11)式の分子は小さくなり原単位が下ることがわかる。



3. 空気分離装置の運転および保守

空気分離装置はほかの機械と異なりメーカーの設計、製作技術と使用者の運転技術が一体となって始めて十分機能を発揮できる装置で運転技術の比重が非常に大きい。したがって運転にあたる運転管理者および運転員各位に十分装置の特性を理解して適切な運転方法をとっていただくことが必要である。連続運転可能期間についても運転法の可否により数倍の差が生ずるものであり、また運転中の一時停止にも細心の注意を払わないと再起動不能になる場合があるから停止再起動には十分な注意が必要である。さらに定常運転においても取扱不注意で乾燥不完全、装置の局部急冷、アセチレン蓄積放置を行なうと装置を破損するおそれがある。しかしながら一度十分習熟すればプラントを1～2人で運転可能であり、注意して運転すれば一日中ほとんど手を触れなくとも安定運転が連続できる装置であるから、完全に早く操作を習熟していただくことが望ましい。以下各機器互に説明し、運転保守の要点を述べる。

3.1 原料空気部門

3.1.1 空気取入口および空気ろ過器

空気分離装置の寿命を長くし、運転を安全に行うための最も大切な基礎事項は清浄な空気を取入れることであって、このために最大限の努力を払って計画し設置場所を決定すべきである。空気取入塔を設置するにあたって考慮しなければならないことは下記のとおりである。

(1) ダストの少ない清浄な空気を取入れること

ダストが多いと圧縮機の効率低下、配管機器の摩耗、ダストのたい積を生ずるので除じんすることが必要である。(a)空気取入塔を高くして(30～60m)高空の清浄な空気を取入れるとか、風向きにより2箇所取入塔を立てておき切替などのくふうをする。(b)どうしてもダストの多い場合は、それぞれのダストの大きさ、性状に適したフィルタを用いて除じんすることが必要である。一般に使用されているフィルタで80～92%まで除じできるとされている。

(2) 酸ミスト、腐食性ガスのない空気を取入れること

化学工場付近では種々の酸性ガス、ミスト、または腐食性ガスが存在する場合が多く、圧縮機、インタークーラなどの腐食を生ずるのでこのような場合には水洗などの手段を構ずるなどそれぞれの場合に応じた対策が必要である。

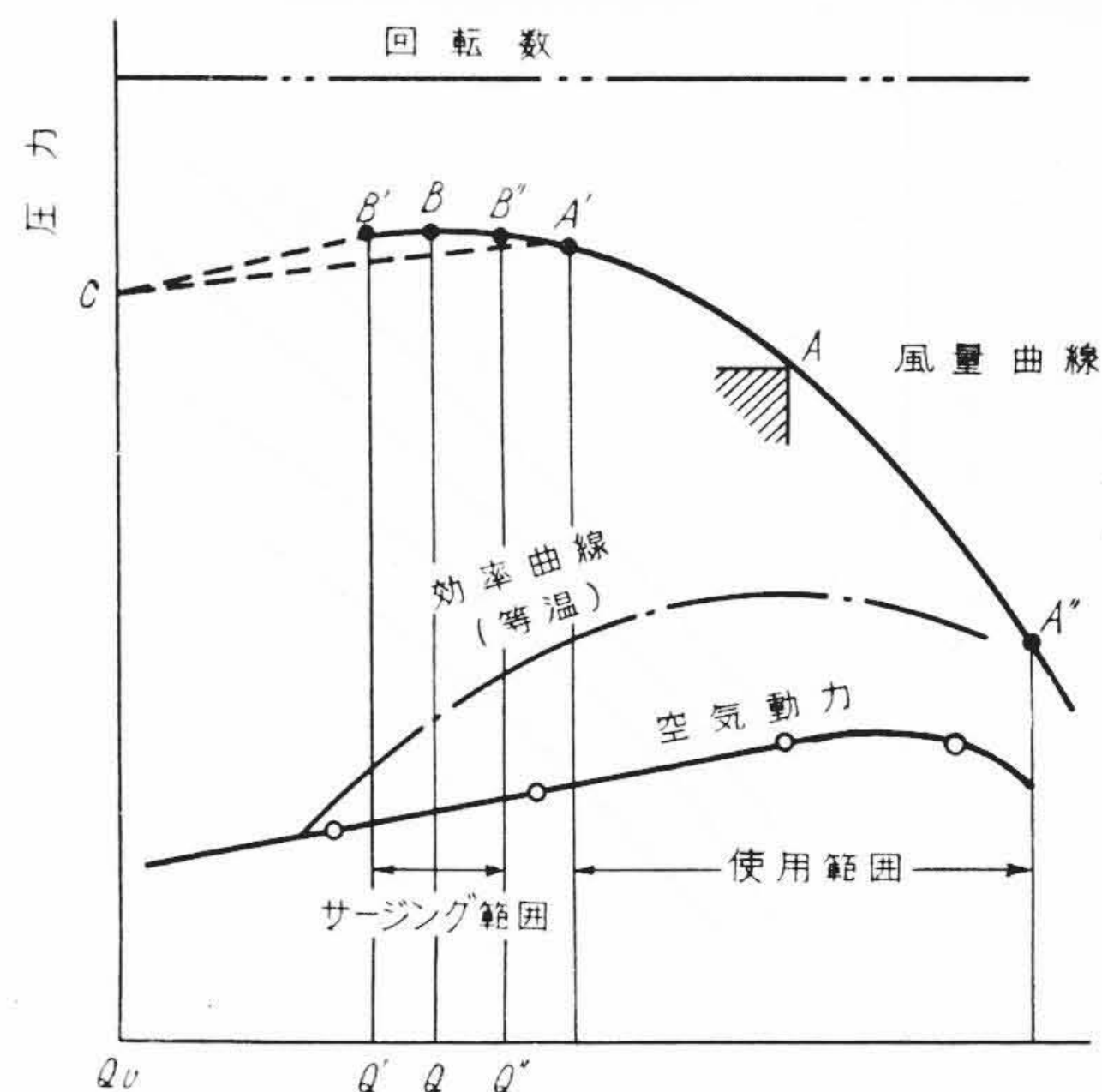
(3) アセチレンガス、炭化水素の含有量の少ない空気を取入れること

アセチレンおよび炭化水素は分離器中で精留塔酸素液中に蓄積され、ある一定限度を越すとショックなどにより爆発を誘起する。そこで安全に運転するためにはできる限り上記ガスを含まない場所より空気を採取することが分離器防爆対策の第一歩である。

空気ろ過器はダストの量、ダストの大きさにより適、不適があるので選択には十分設置場所の条件を調査の上決定すべきである。また運転管理上からは点検整備がとかく忘れがちで、十分性能を発揮できない状態で運転されている場合が多い。この種のフィルタは3箇月に一度程度は点検整備することが必要であるから据付け当初より点検整備しやすい位置におくことを考慮すべきである。

3.1.2 空気圧縮機

空気圧縮機の種類は回転式と往復式と大別されているが、日立製作所としては往復動式、回転遠心式、軸流式と別けている。これらの圧縮機は各形式の構造上の制約、特性より適当な風量、



第12図 遠心圧縮機の標準特性

風圧の範囲はおのずから定まっています。プラントに適当なものが使用される。ここでは各形式の圧縮機の取扱、運転方法は取扱説明書にしたがっていただくものとし、もっとも一般的な遠心式圧縮機について分離器運転に必要な事項を述べる。遠心式は、①その特性曲線が分離器に適しており、かなりの風量、風圧を変化させた広い範囲で使用できる。②往復動式のように空気に油などの混入の恐れがない。これは分離器の防爆上かけがいのない有利な点である。③一台で大容量のものができ、往復動式に比べて設備、運転費、保守費の点で有利になる、などの特長をもっている。

(1) 遠心圧縮機の特長曲線および効率

遠心圧縮機の標準特性を第12図に示す。A'-A''が常用範囲であって、風量が過少になったB点ではサージング現象を起し不安定になる。効率はJIS B8320 (1954) によりインタークーラ付多段圧縮機では一般に次式に示すとおり等温圧縮効率で定義されている。

$$\text{等温効率} = \frac{L_{is}}{L_s} \dots \dots \dots (12)$$

ここに L_s : 圧縮機の駆動動力 (kW)

L_{is} : 等温圧縮の場合の理論空気動力

$$L_{is} = \frac{P_s Q_s}{6,120} \log \left(\frac{P_d}{P_s} \right) = \frac{P_s Q_s}{2,658} \log_{10} \left(\frac{P_d}{P_s} \right) \text{ kW} \dots (13)$$

ここに P_s : 吸込空気の絶対圧力 (kg/m²)

注: 大気圧補正が必要である。

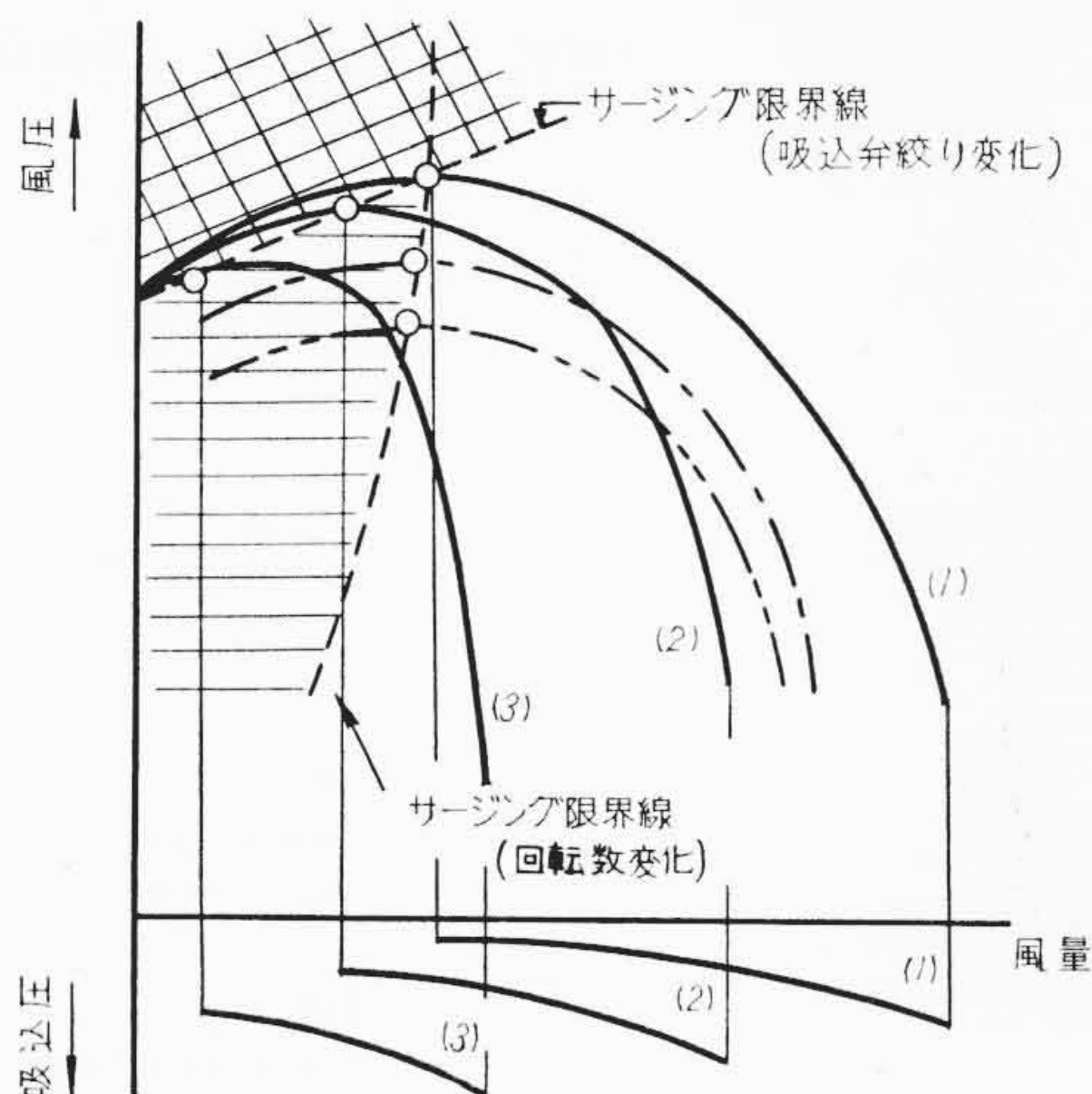
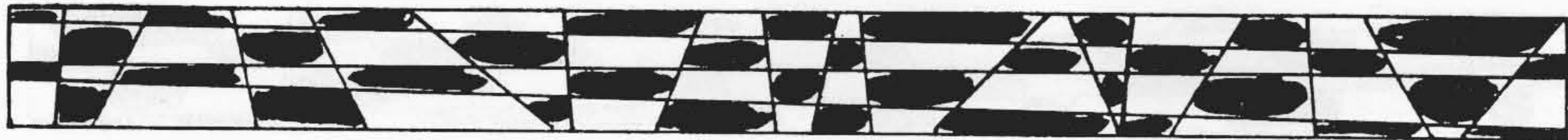
Q_s : 吸込状態に換算した空気量 (m³/min)

P_d : 吐出絶対圧力 (kg/m²)

(13)式より所要動力は風量に比例し、圧力には $\log \left(\frac{P_d}{P_s} \right)$ の比で比例することがわかる。空気分離器の原単位を下げるためには所要圧力、風量をできる限り低い電力消費量で送らなければならない。このため分離器の仕様に応じ特性の良くマッチした圧縮機を使用する必要がある。

(2) 圧縮機の風量調整とサージング

圧縮機の風量、風圧は気温が変動すると変化するので夏季にちようどの圧縮機は冬季は風量、風圧が大きくなるので適当な所要量に押える必要がある。このためには吸込弁を絞る吸込圧を下げ調整する方法と圧縮機回転数を下げる方法が考えられるが、一般には吸込弁を絞る方法が用いられる(上記二方式の風量-風圧の変化を第13図に示す)。なお、遠心圧縮機では風量調整にはサージングを注意しなければ異音とともに振動を起し機械を破損さ



第13図 サージング現象

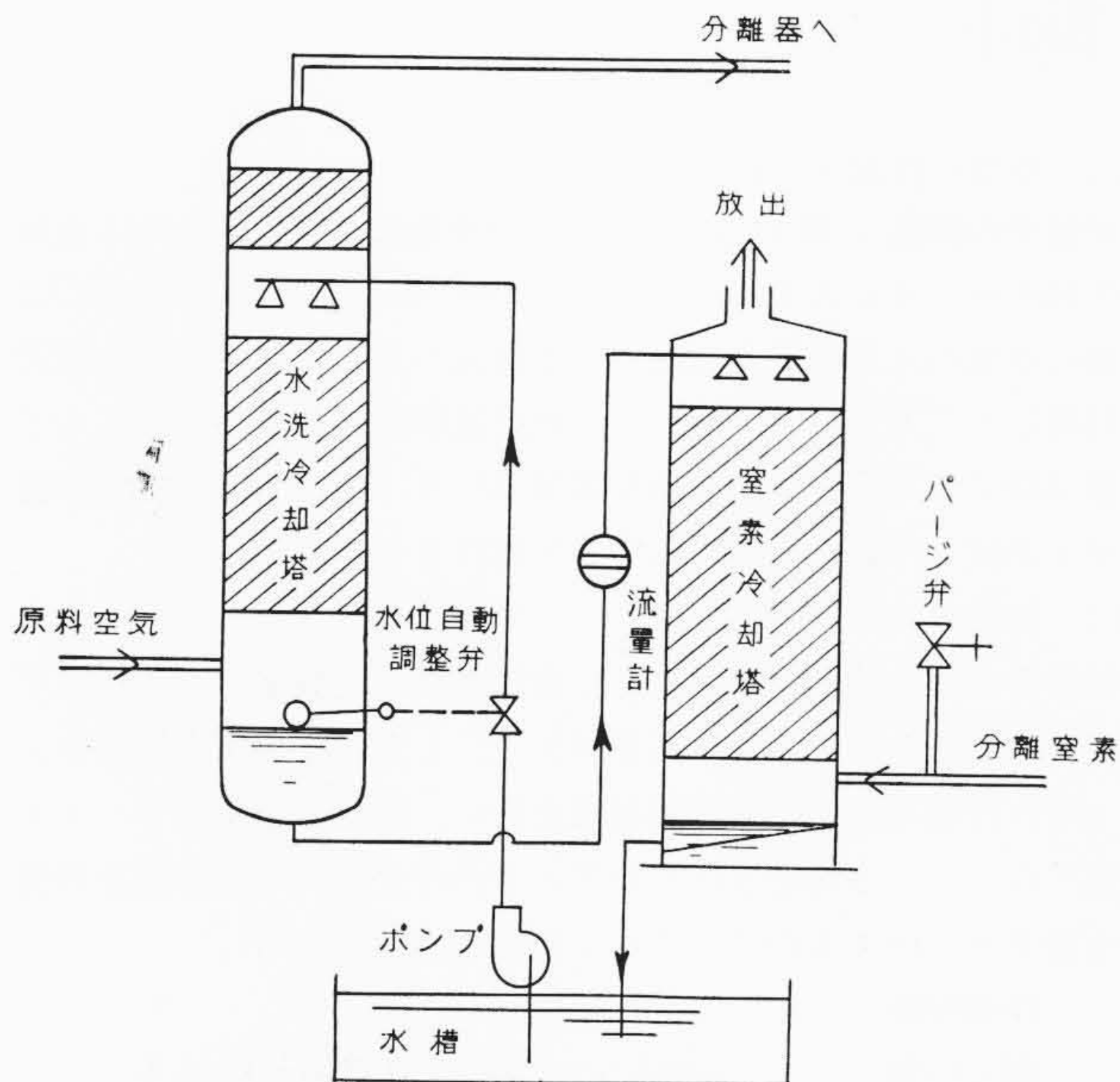
せるおそれがある。このため風量調整時にはサージング点の位置を考え使用風圧、吸込絞りを選択しなければならない。第13図に絞込弁を絞った場合、回転数を変化した場合の風量-風圧曲線の変化、サージング点の変化を参考に示す。一度サージング現象を起した場合の対策は空気を吐出管より一部放出し、使用風量を Q'' より大きくしてやれば脱出させることができる。

(3) 振動およびメタル温度

振動は全振幅で0.015 mm以下が望ましい。0.03 mmを越えるときは停止して原因を調査することが必要である。メタル温度上昇は給油温度 $+30^{\circ}\text{C}$ までよいが、絶対温度はホワイトメタルの場合 70°C 以下に押えるべきである。また高速度軸受は軸が油膜に浮んで回転するので特殊な形状を持ち、かつオイルホワール、オイルホイップ止めがつけてあるので据付け指導員の指示にしたがって保守することが必要である。

3.1.3 水洗塔および窒素蒸発器

圧縮機で圧縮され 100°C 付近で出てくる空気を冷却し、なるべく低い温度にして飽和水蒸気として原料空気が蓄冷器に持ち込む水量を少なくして蓄冷器にかかる荷を軽くするものが水洗塔である。これはまたダストおよび水溶性のガスを水で除去する効果もある。標準のフローシートを第14図に示す。水洗塔は水を直接



第14図 水洗塔および窒素蒸発塔

接触させることにより非常に効率よく少量の水で冷却しているのであるが、一方次の点に運転上注意しなければならない。

- (1) 指定水量以下に水量を押えフラッディング現象を起さぬよう注意する(蓄冷器に水の持込を起し、氷結して抵抗増大するため連続運転不能になる。これは長期連続運転の上からは致命傷となるので十分注意しなければならない)。
- (2) 充てん物の沈降に注意して適時補充し、ラシヒリングが踊って割れることがないように注意する。
- (3) シャワーの目つまりにより水分分布が不均一となり、冷却効果が下ることがある。この場合はシャワーを掃除するとともに水中にゴミ、異物などが入らないよう対策することが必要である。
- (4) 水位調節弁の作動を常に良好に保つよう点検を行うとともに水位警報装置の作動を定期的に確認しておくこと。窒素蒸発塔は水洗塔で高温になった冷却水を分離器より放出される不純窒素の乾燥状態なのを利用して蒸発潜熱を水より奪うことにより冷却するものである。

3.2 寒冷サイクル部

寒冷サイクル部は2.2の概要に原理を述べたので、各機器について特性および保守上の要点を述べる。

3.2.1 蓄冷器

蓄冷器は寒冷サイクル部における最も重要な機器で2基1組となっており次の2種の重要な作用をしている。

(a) 熱交換器としての作用

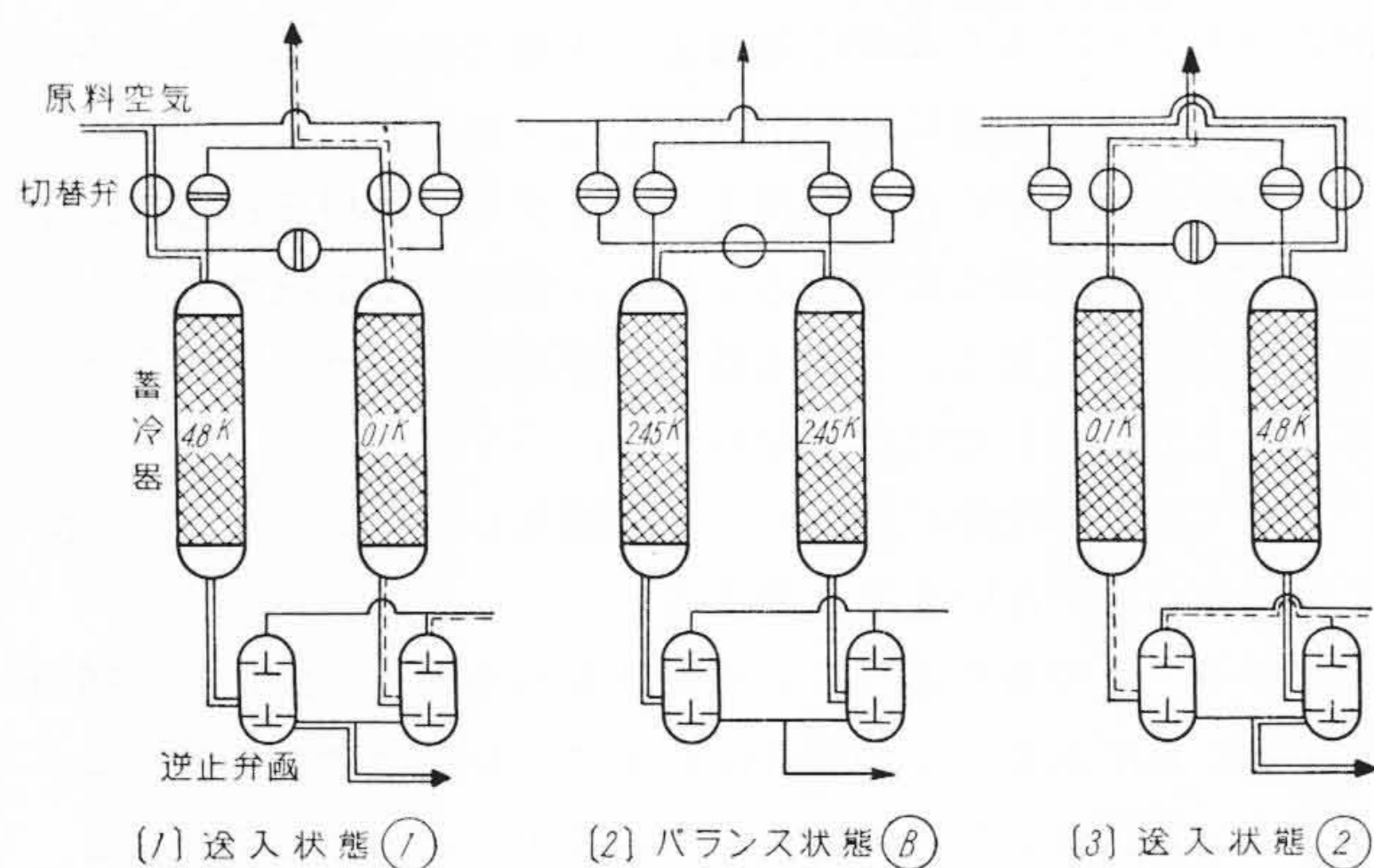
蓄冷器は再生式対向流熱交換器であって、一般の熱交換器と異なり伝熱管により熱交換するのではなく、熱容量の大きな物体を充てんしてこれを2本1組として切替え使用するものであるが、温端温度差が小さくその優秀性が認められてから寒冷回収方法として広く使用されるようになった。TO-プラントでは約 $5\text{ kg/cm}^2\text{G}$ に圧縮された常温の原料空気をその圧力における飽和温度(-174°C)まで冷却すると同時に精留塔で分離された低温の製品ガスを常温まで温度回復させる機能をもっている。

(b) 空気中の水分、炭酸ガスの除去作用

蓄冷器は2基1組になっており、1定周期(5~15分ごと)に切替え使用される。原料空気は蓄冷器中で蓄冷体に接触し、冷却される過程において含まれている水分および炭酸ガスをそれぞれの飽和温度(水分は $0\sim-60^{\circ}\text{C}$ 、炭酸ガス $-130\sim-160^{\circ}\text{C}$)で折出させ、蓄冷体の表面に付着物として残すことにより水分および炭酸ガスを除去する。また、この付着物は1周期ごとに蓄冷器を通して外に出る分離ガスによって昇華蒸発させられて外部に排出される。高压の空気分離装置のように、送入前に水分および炭酸ガスを冷却したり、また化学的に除去する必要のないのが蓄冷器の特長である。したがってプラントの運転において温端損失が小さく、また蓄冷器にたい積物による抵抗がつかぬよう蓄冷器の空気およびガス比率の平衡をとって運転することおよび蓄冷器を均一にバランスを取ることが要点であって運転の良否は蓄冷器の平衡の取り方いかんにかかっているといって過言でない。

(1) 蓄冷器切替装置

切替装置は電氣的な切替制御装置と、この指令により作動する空気圧作動式切替弁より構成されている。蓄冷器の切替えは切替ごとに蓄冷器内の高压空気を放出することは空気の放出損失を大きくさせるので、その半量を回収している。蓄冷器の出口側には高压逆止弁、低压逆止弁があって切替時に作動して切替を可能ならしめている。なお切替装置を停止した時は⑧のようになり、原料空気を止め、分離ガスを放出して装置の安全を保つようになっている(第15図)。



第15図 蓄冷器切替順序

ここで注意しなければならないのは、切替装置はプラントの神経系統であって一般の自動制御装置とは異なり、故障すれば手動運転は不可能である。したがって制御装置は信頼度の高い装置を使用しているが、運転保守においても十分な手入れを行い、故障を起さぬよう注意しなければならぬ。

(a) 切替弁制御装置

切替弁制御装置は電気式であって、ドラムにカムをセットしたタイムリレーをモータにより回転させ、これにより切替時間の指令を出すとともに切替弁の開閉指示を行っている。詳細は納品ごとの制御系統図によっていただくことにし、ここに制御装置系統図(第16図)を示す。

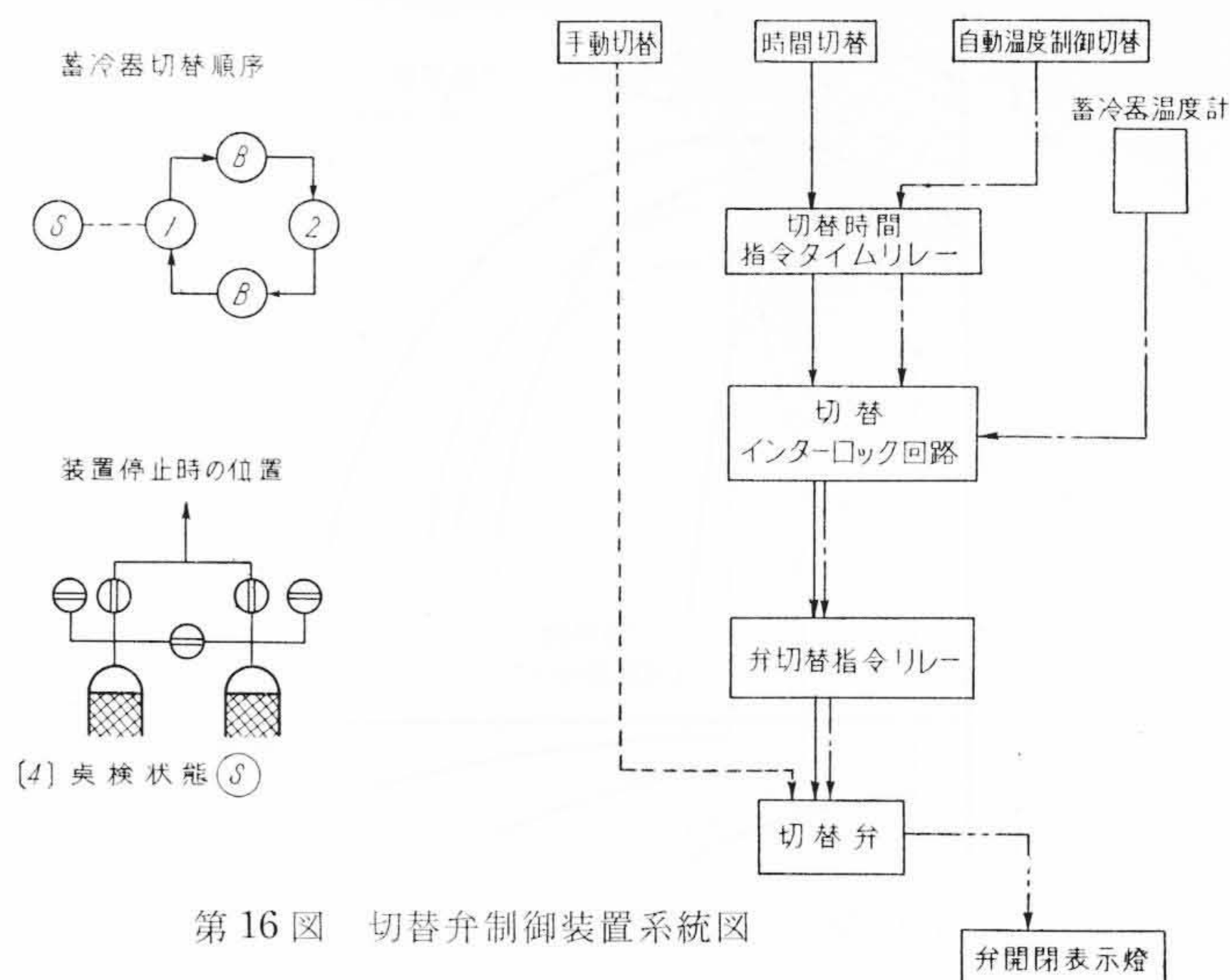
操作盤上のノッチで切替方式を選択するとともに、切替時間はタイムリレー箱のセット目盛により変更することができる。切替方式は下記の種類によっている。

- (i) 手動 正面盤の切替え初めのボタンを押すことにより時間、温度に関係なく切替えることができる。
- (ii) 時間 5～15分にセット可能であるが、時間指令リレーのドラムがまわり時間ごとに指示が出て切替わる。
- (iii) 自動温度制御切替 切替時間のくる前に蓄冷器温度が設定温度以上になると切替る。温度上昇しなかった時は時間がくれば時間で切替る。

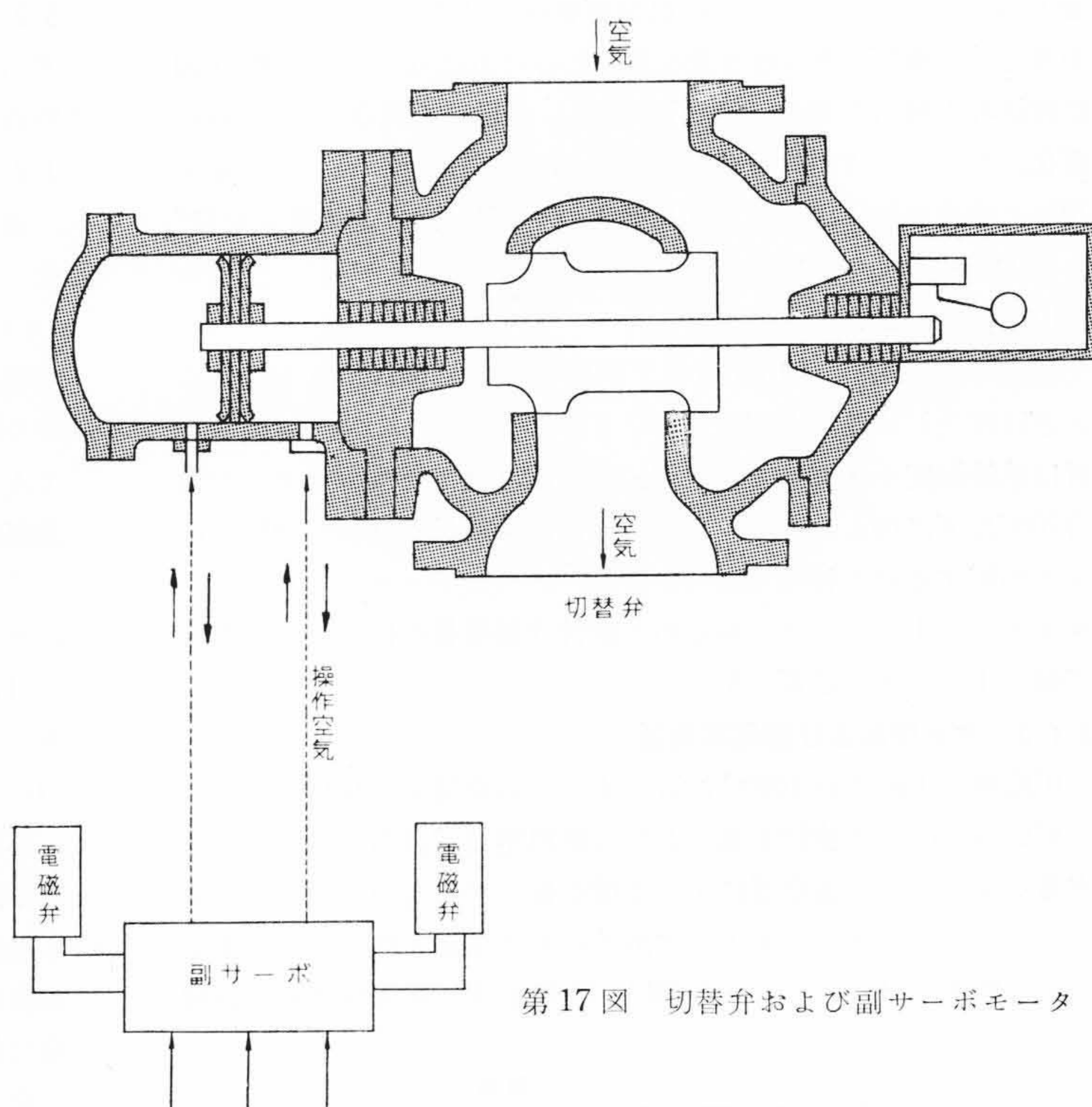
(b) 制御装置の保守

下記の点に注意する要がある。

- (i) 据付けは周囲温度40℃以下の振動、ダストの少ないところに設置することが望ましい。
- (ii) 接触器はDC100Vに対し、80～110%の範囲で正常な動作をする。電圧が変化した時はトランスのタップを変更すればよい。
- (iii) 制御回路は多数の接点により構成されているので、ダストを注意して除去することが必要である。
- (iv) 無段変速機は回転中でなければ変速してはならない。油は2,000時間ごとに取替える。使用油は冬には#90タービン油、夏には140#タービン油が最適である。
- (v) リレーのマイクロスイッチのワイブは2.5m/m、カムコンのワイブは3m/m、余裕1m/mになるよう取付ける。接触器のワイブは3m/mである。



第16図 切替弁制御装置系統図



第17図 切替弁および副サーボモータ

(c) 空気圧作動式自動切替弁

切替弁の構造を第17図に示す。切替弁体を駆動するのに空気圧作動のサーボピストンがあり、このサーボピストンの形式には片側に空気の入るものと両側に入る形式がある。そのほか本形式を利用した三方切替弁、タービン危急遮断弁があるが、ほとんど取扱は同じである。作動指令を電氣的に受けてその後は第16図に示す系統で作動力を増幅して弁を動作させる。

(d) 切替弁の保守

切替弁の作動時間、許容漏えい量は概略下記数字をこえれば不具合いであるとして調整が必要である。しかし、実用上切替弁シートもれは蓄冷器の気密放置試験を行い、据付け当時のデータより悪くなっているかどうかを目安とすればよい(この時逆止弁洩れも含まれて出るのでいずれか判別の必要がある)。

作動時間 1 s 以下

漏えい量 (弁インチ径×1/10)²Nm³/h 以下

切替弁作動不良時の故障点検方法は次の順序で行う。

- (i) 正面盤の操作を点検して、スナップスイッチで作動点検してリレー関係でないかどうか点検する(動作すればそれ以前の指令回路の故障である)。
- (ii) 切替弁電磁弁のノップを直接手で押して手動で弁を直接動かす。動けば弁の機械的な部分に異常はない(電磁弁の故障であるから分解点検する)。
- (iii) 作動しなければ副サーボピストンを分解点検する。
- (iv) 主サーボまで作動空気が入るにもかかわらず作動不良の時は弁棒グランドをゆるめ、シリコングリースを給油する。

(2) 蓄冷器の運転および保守

3.2.1 において述べたとおり、蓄冷器の作用は熱交換器としての作用と空気中の水分、炭酸ガスの除去作用の2種に大別できるので、おのおのについて管理上の基礎事項を述べる。

(a) 熱交換器としての蓄冷器の運転保守

2.3.1 に述べたとおり蓄冷器は向流形熱交換器の一種と考えることができる。したがって必ず温端温度差ができて(第6図参照)温端損失を生ずるが、これはできるだけ小さく保たなければならない。

蓄冷器のヒートバランスをとる上において可変なものを第18図で検討してみると、

- (i) 原料空気は分離器で分離されて全量蓄冷器を通して出るので蓄冷器温端においては等量である。

$$W_{wa} = W_{wg}$$

- (ii) 蓄冷器下端においては抽気量 W_{ia} の多少により若干変るが、抽気温度、量は運転中ほぼ一定に保たれるので下端の流量比もほぼ一定である。

$$\frac{W_{ca}}{W_{cg}} \div \text{一定}$$

(ただし W_{ia} により若干変る)

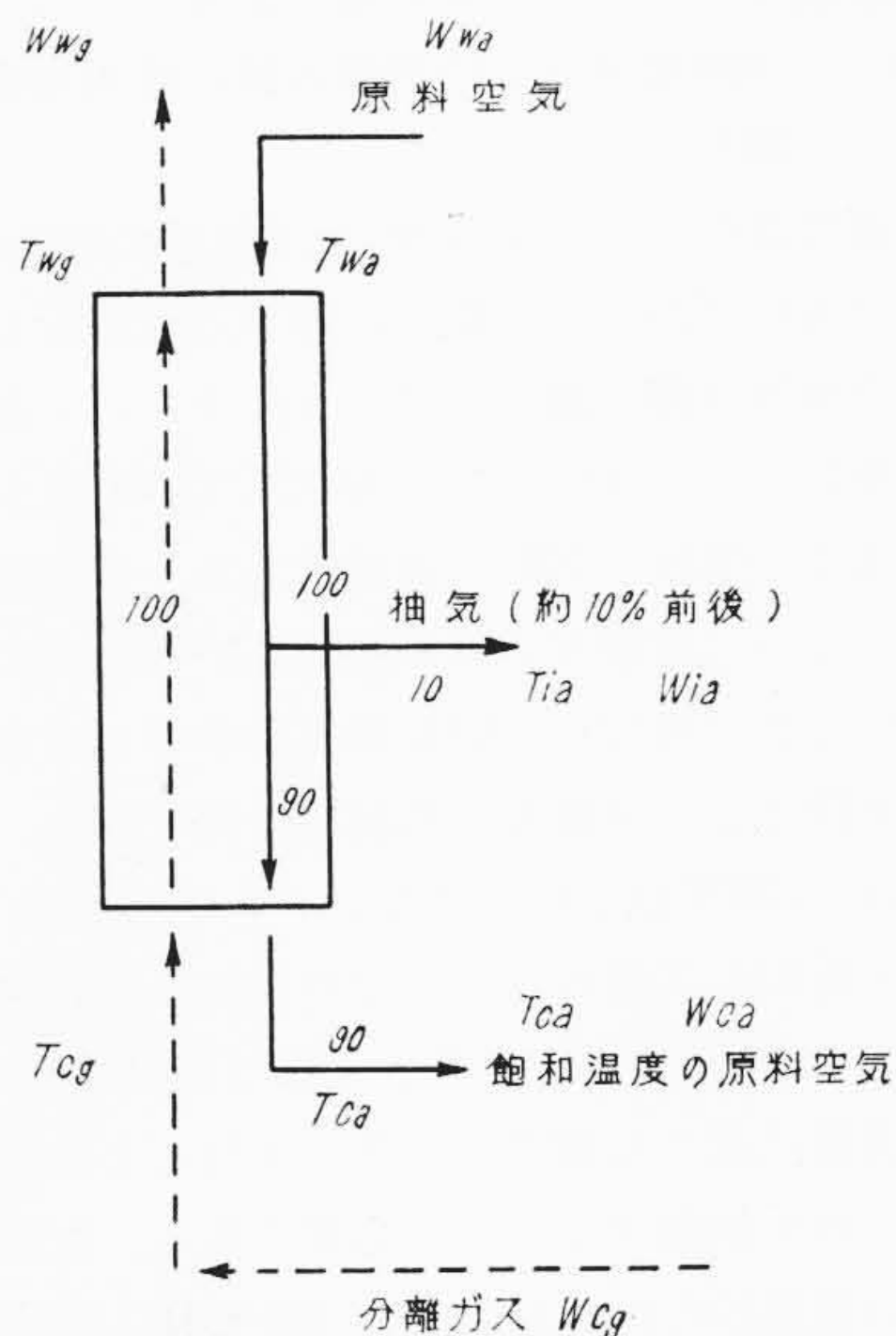
- (iii) 温端空気温度は水洗塔冷却水水温により定まる温度で一定である。

$$T_{wa} \quad \text{一定}$$

- (iv) 温端ガス温度 T_{wg} は蓄冷器の設計と分離もどりガス温度 T_{cg} により定まる温度である。

$$T_{wg} \quad T_{cg} \text{ により定まる温度}$$

- (v) 下端空気温度は原料空気の圧力により定まる飽和温度であって、運転状態により自然に定まる温度である。



第18図 熱交換器としての蓄冷器

$$T_{ca} \quad \text{一定}$$

したがってプラントとしての制約はあるが、自由に変更できるものは分離ガス温度のみである。

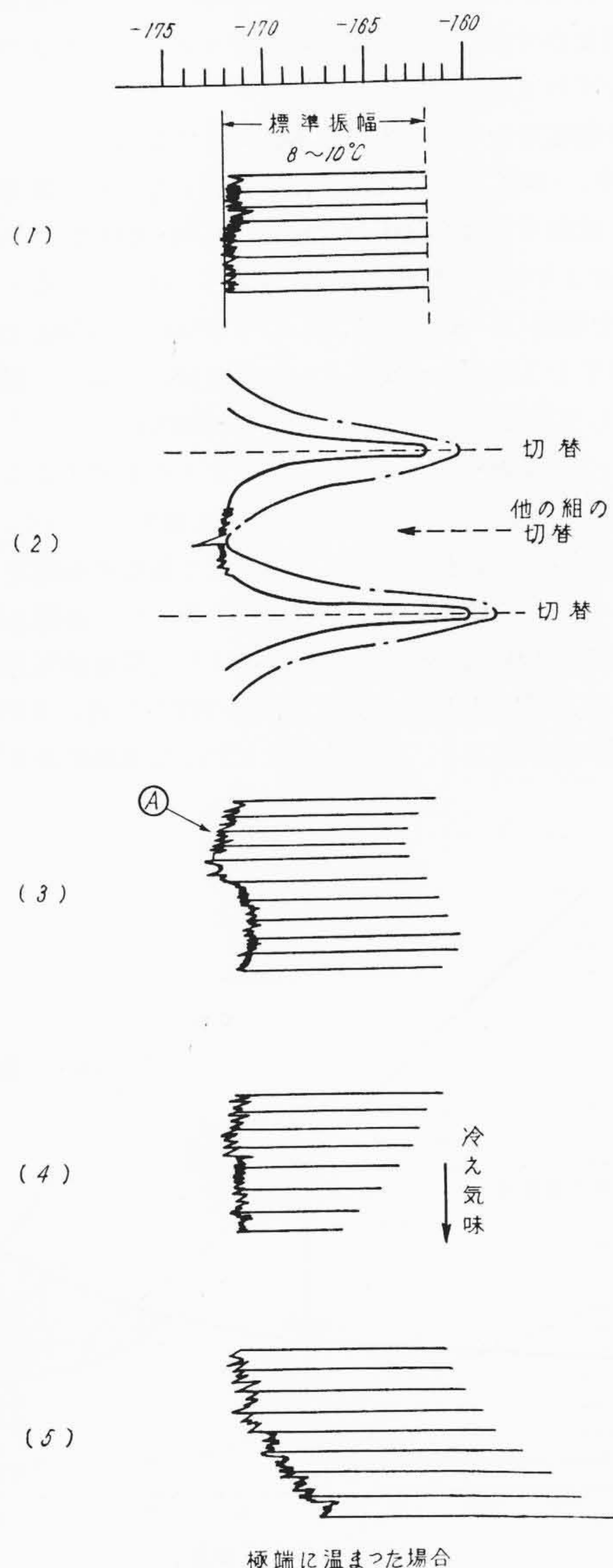
蓄冷器の温度バランスをとる基本は

- (i) もどりガス温度(主としてもどり不純窒素温度)を過冷却器、液化器の熱交換量を調整することにより3~4°C低い温度(一般に-176°C~-177°C)で常にもどるように保つことである(基本)。
- (ii) 次に抽気量を設計値付近で増減することにより蓄冷器下部の空気、ガスの流量比を変化させて、下端空気の切替周期間の温度振幅を10~15分切替周期で、8~10°Cになるように保つことである(補正)。

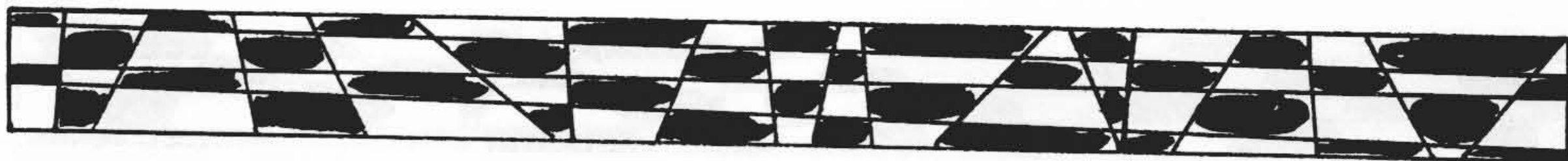
(注意) 抽気温度は抽気量を増せば、蓄冷器下部のガスに対する空気比が小さくなるため低温になる。よく間違えて考える人があるので注意されたい。

(b) 蓄冷器の下端空気温度記録計の見方および判断方法

- (i) 下端の温度振幅は第19図のような記録になって記録紙上に表われてくるが、蓄冷器切替えの一周期を拡大して示すと下図(2)のようになっており、大部分の時は飽和温度まで冷却され、さらに一部は液化していることを示している。蓄冷器が



第19図 蓄冷器下端空気の温度記録



温まり気味になるとこの飽和温度に停滞している部分が少なくなり、一点鎖線で示すような形を取り始めるとともに振幅が大きくなる（実線においてほかの組の切替時に記録が下っているのは切替時下塔への空気主管圧が下るために飽和温度が下った影響を示している）。

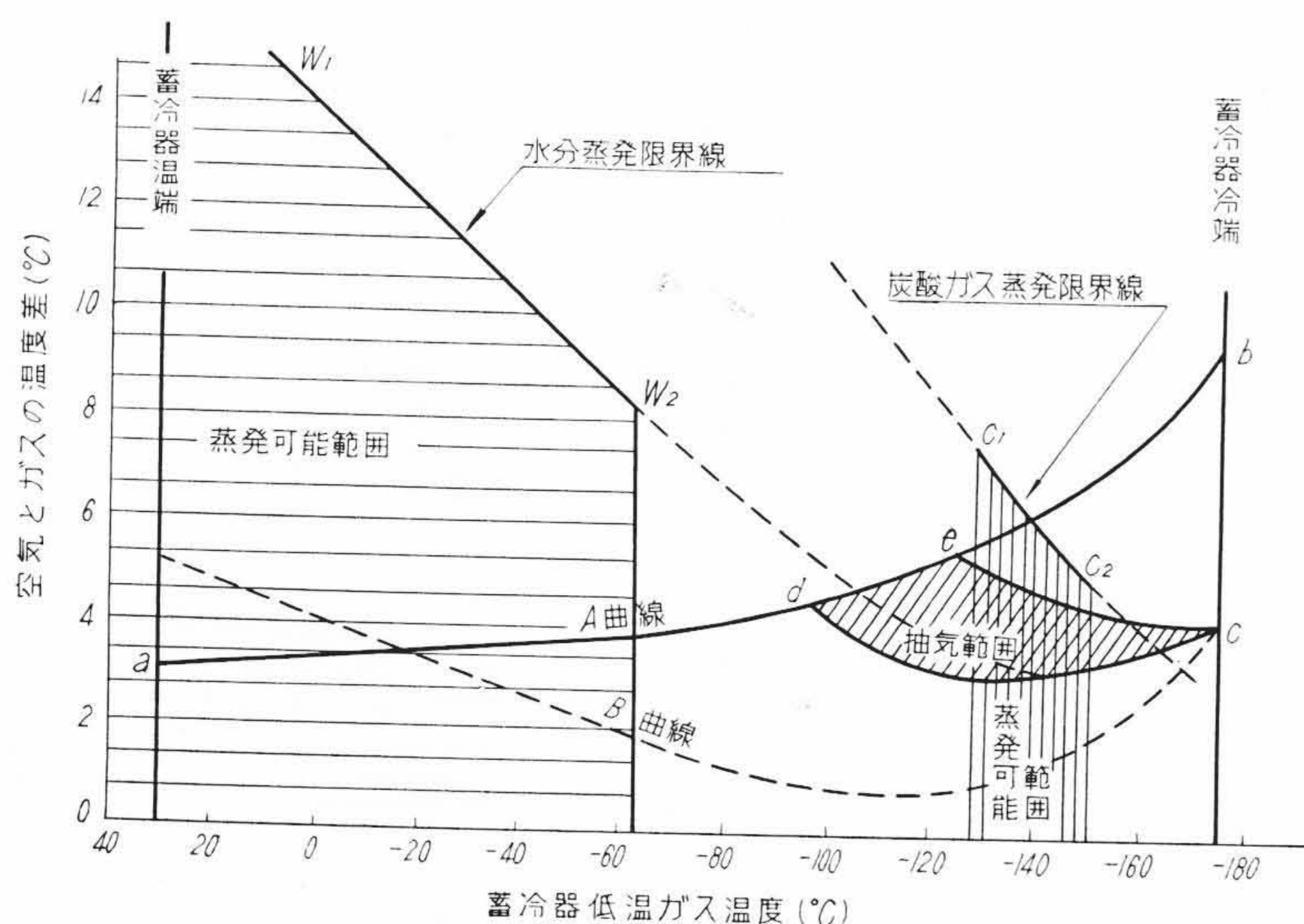
(ii) 蓄冷器の冷え傾向、温まり傾向は温度振幅により判断すべきであって飽和温度部分で判断すべきではない。たとえば(3)の④部が下ったからといって冷え気味になったのではなくこれは原料空気圧力が下ったことによる飽和温度の変化を示しているのである。温度振幅が一定であれば変化ないものと考えべきである。(4)に冷え気味になった例を示す。温まり気味の場合は反対になる。(5)に極端に温まり温度上昇した場合を示す。

(c) 空気中の水分、炭酸ガス除去装置としての蓄冷器の理論

空気中の水分と炭酸ガスは蓄冷器の蓄冷体と接触して冷却される間に水、炭酸ガスをそれぞれの飽和蒸気圧が低下するので蓄冷体表面に析出して除去され、蓄冷器下端ではほとんど両方を含まない状態となる。次の乾燥寒冷ガスが流れる周期においてガス中に含まれて昇華して除去される。この時完全に昇華されるにはもどりガスのほうが低圧であって、含有量（蒸気圧）が大きくなる点は有利であるが、蓄冷器内の温度が各部において空気より低いことは不利な点であってこの限界温度差があり、これより温度差が小さくしなければならない。

この限界温度差を示したものが第20図である。

水分は $W_2 - 60^\circ\text{C}$ 以下ではほとんど存在しないので限界線を鎖線とした。炭酸ガスは空気中の含有量が $0.03 \sim 0.06\%$ であるので -130°C 付近より初めて析出し始め -150°C でほとんどなくなるので、この間を実線 $C_1 - C_2$ で示した。いま空気圧を $5.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{abs}$ 、もどりガス圧を $1.0\text{kg}/\text{cm}^2\text{abs}$ として等量流した場合、温端温度差を 3°C として計算すると冷端の温度差は 9.6°C になり、この曲線 A は C_1 、 C_2 と -140°C 以下で交わり炭酸ガスの蓄積することを示している。これを防ぐために中間抽気方式を採用しており、この方法により蓄冷器の冷端温度差を 4°C に押えて温度差曲線を $a d c$ ないし $a e c$ として $C_1 C_2$ と交わらないようにして蓄積を防いでいる（抽気量は約10%前後）。上記対策のほか温端抽気方法があるが、これは冷端を 4°C に押えて蓄冷器中間温度差を 0.8°C 程度の実現可能な値にすると、温端抽気差4.5%、温端温度差 5°C とな



第20図 蓄冷器熱交温度差曲線

り、温端損失の大きい点、抽気量が微量で制御しにくく、また抽気量のわずかな変動で大きく温端温度差が変動する点で中間抽気より劣っている。

(d) 除去装置としての蓄冷器の運転保守

熱交換器および除去装置として計画されたとおりの温度バランス、流量バランスで運転しておれば蓄冷器に水分、炭酸ガスなどのたい積を生ずることなく何年も続けて運転可能であって、このバランスを上手に安定に保持して行くことがTO-プラント長期連続運転を続けて行く上で最も大切なことである。蓄冷器のバランスは一度設定すると自動的に安定に保持されて行くがバランスの設定、補正は細心の注意をもって行うことが必要である。実際には一度設定すれば変動を監視するだけで1日中ほとんどさわる必要はない。しかしながら長期間の運転中には下記の理由により抵抗増大をきたすこともある。

(i) 抽気量の過少

(ii) もどりガス温度の不適當（低温すぎて空気、ガスの温度差が過大となり蒸発不完全になる）

(iii) 蓄冷器間の流量分配不良（ある特定蓄冷器の流量バランスがくずれ抵抗増大を生ずる）

(iv) 誤操作および切替制御装置故障による切替時間不平衡によって空気流入時間に対してもどりガス時間が少なくなった場合

上記抵抗増大現象は早期に発見すれば回復可能であって、早期発見のための管理として蓄冷器のもどりガス流出時の抵抗を1日1回程度測定記録しておくことが必要である（もどりガス流量により変動するので関連させて判断することが必要であり、また測定時間を切替時間中の一定時に定めておくことも必要である）。蓄冷器全抵抗を管理すればよいのであるが抽気点上部、下部と分けて記録しておけば水分による抵抗増大か、炭酸ガスによる抵抗増大か判断できて便利である。抵抗値は蓄冷器の設計により若干異なるので、おのおの取扱説明書によらねたい。万一抵抗増大した場合は原因となった不良操作を改善するとともに、少し戻りガス温度を上昇気味に保てば回復するが、早急に回復するものではなく1～2箇月に渡って根気よく努力することが必要である（逆にたい積も誤操作以外急に起ることはない）。一般に流量のバランスを保ち、抽気量を若干過大にし、もどりガス温度を高めにするればよい。ある特定の蓄冷器の場合はその蓄冷器だけ流入空気量を減少させることも有効である。

(e) 中間抽気および再熱回路の使用法（ CO_2 除去器を含む）

蓄冷器の中間抽気温度、量は前章の理由により温度、量はおのづからある範囲に定まる性質をもっている。この抽気は第1図に示すようにタービン熱交換器で熱交換し、 -130°C まで冷却されて CO_2 除去器に入る。抽気は $-90 \sim -120^\circ\text{C}$ 前後であるから水分は除去されているが、炭酸ガスは存在しているのでこれを析出温度付近まで冷却し、 CO_2 除去器中のシリカゲルに吸着させ除去して分離器の低温部に送り込む。この吸着の場合 -135°C 以下に下げないことが必要で、過度に下げると析出して雪のようになり目詰りを起すことがある（このときは温度を上昇させれば回復する）。また CO_2 除去器は充てん量により3～4日ごとに定期的に切替え、再生加温することが必要である。なお CO_2 除去能力の監視のため出口温度を $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 液の中に入れ、白濁しないことを常時監視することが必要である。炭酸



空気分離装置(TO-プラント)の
運転および保守

ガスを除去された空気はタービン入口で低温空気と混合されてタービン入口温度を $-140\sim-150^{\circ}\text{C}$ に保持させている。したがって抽気量はタービン入口温度の要求より若干増減させることはあるが、蓄冷器中間抽気の本来の定義を逸脱してはならない。再熱回路は水分、炭酸ガスを除去された空気を巻込管により再熱して引出したものである。熱的には中間抽気とまったく同様に考えてよい。除去器としては温度関係において中間抽気と同一関係をもつが、蓄冷器下部の空気、ガス流量比において無関係である。再熱回路は酸素単独採取または酸素および少量の窒素取りの時に使用される。酸素と同量あるいはそれ以上の高純窒素取りになると水分、炭酸ガスの再蒸発に必要なもどりガス量が不足するので再熱方式の採用は不可能である。再熱方式の最大の特長は、方式上炭酸ガス除去器などの必要がなく、フローシートが簡単になるとともに運転上日常作業として切替えを必要とする機器が液空フィルタのみとなり、運転操作が非常に楽になることである。

(f) 蓄冷器充てん石材の補充

蓄冷器の充てん石材は使用中沈降するので、6箇月に1回充てんを一時停止の機会をみて行う必要がある。特に据付け当初は10日、20日、1箇月と順次期間を延長しながら補充充てんが必要である。過度に沈降すると蓄冷器切替時石材の跳躍により巻込管を傷つけたり石材破損を起すおそれがある。

3.2.2 膨張タービン

(1) 原理および構造

第二次大戦直前ソ連の Kapitza により低圧、高効率の立形輻流反動膨張タービンが開発され、初めて全低圧式大量酸素製造装置の製作が可能となった最も重要な機器である。原理および熱的特

性は TO-プラント 基礎理論で述べたので省略し、構造を説明する。構造は第21図のとおりであって立軸の上部にタービンランナがついており、下部に放射状直線翼をもったブレーキ扇車をもっていて大気を吸込ませ、圧縮機として働かせることによりブレーキファンとして作用させている。タービンの制動は空気制動方式を利用し、回転数が上昇すれば自動的にブレーキファンの仕事量が増し、回転数をおさえ安全である点が大きな特長である。回転数は軸に切欠をつくり、電気的に周波数を測定して検出している。回転数は $16,000\sim 38,000\text{ rpm}$ の範囲を採用している。メタルは上部メタル、下部メタル、スラストメタルをもっている。軸受はホワイトメタルを用い強制潤滑である。

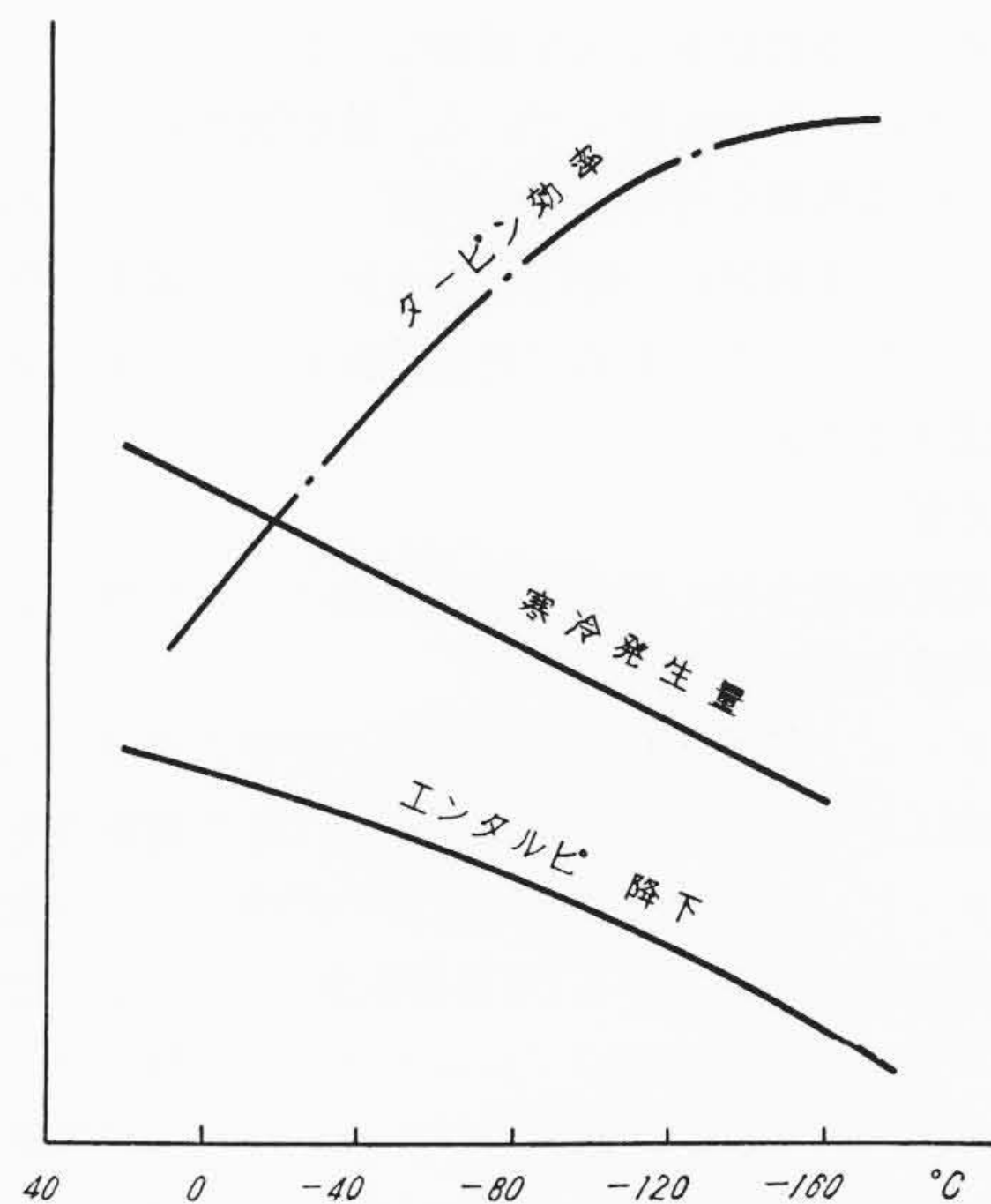
(2) 特性および運転上の要点

タービンの入口温度、回転数一定で入口圧力を変化させた特性を第22図に示し、入口圧力、回転数一定で入口温度を変化させた時の特性を第23図に示す。上記特性より運転上の要点は下記のようになる。

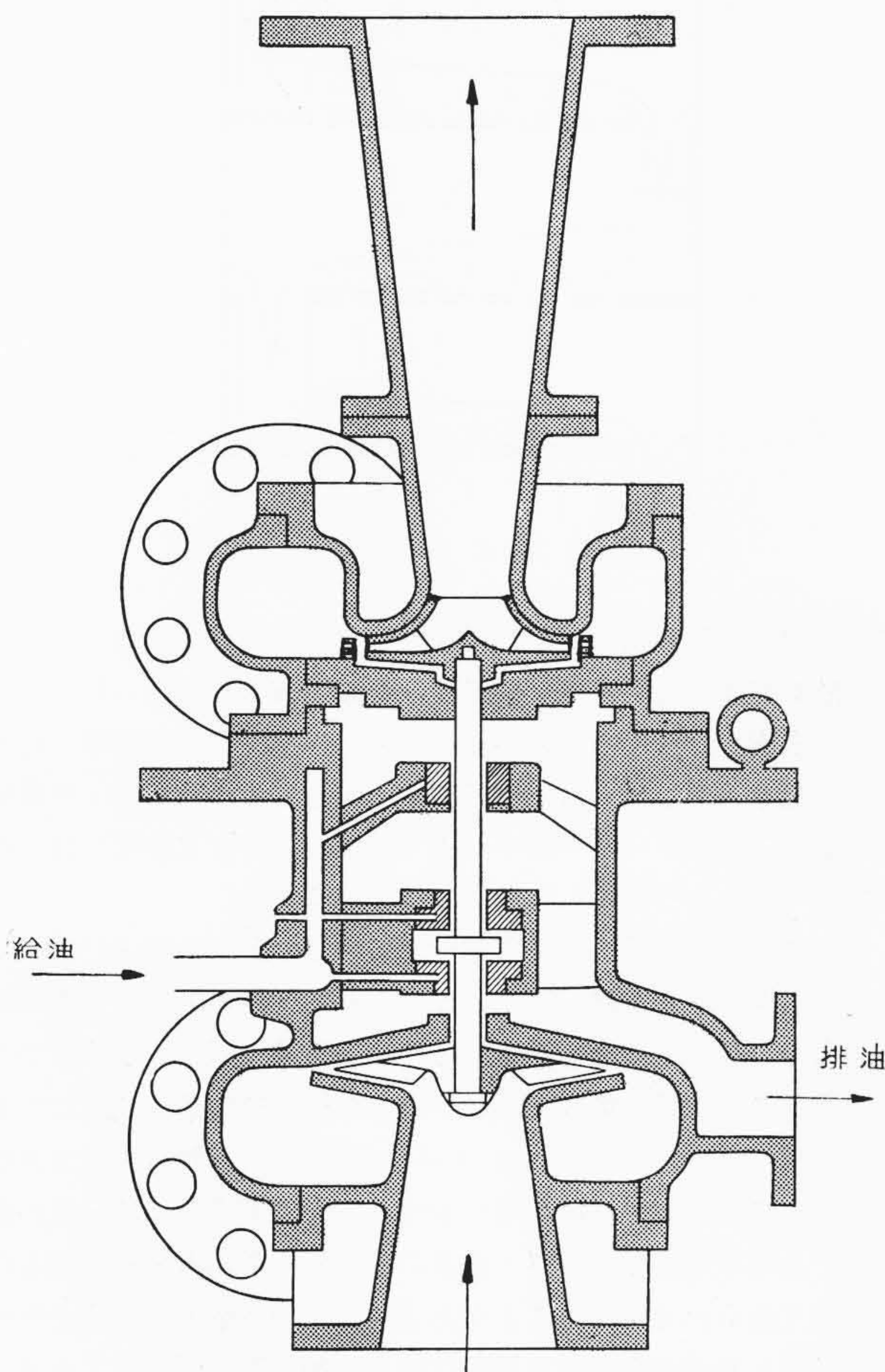
(a) 寒冷量を必要とする場合

- (i) 入口圧力をなるべく高く上げる（風量および温度降下が大となる）。
- (ii) 入口温度を高目にする（ η_i は下がるが全寒冷量では有利）。
- (iii) 回転数は定格付近に保つ（回転数を特に高くしても定格点付近では有利にはならない）。

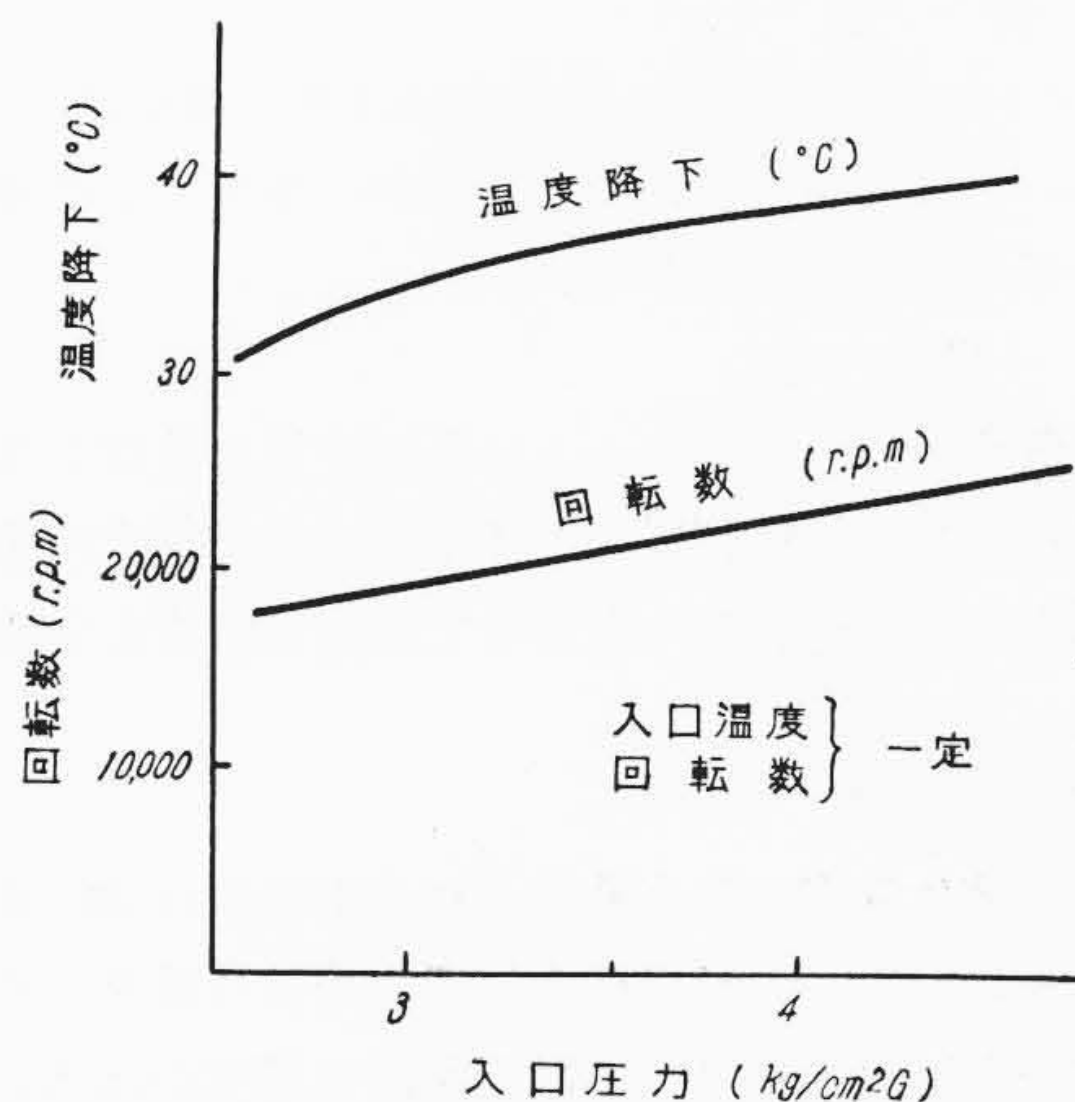
(b) 寒冷量を必要としない場合



第22図 タービン入口圧力変化特性



第21図 タービン構造図



第23図 タービン入口温度変化特性



- (i) 入口圧力を下げる
- (ii) 入口温度を設計温度付近とする（なるべく効率よく運転するため）。
- (iii) 回転数は定格付近になよう保つ（なるべく効率よく運転するため）。

運転上の注意事項

- (a) 起動時併列運転している時回転数がわずかに異なるとなりを生ずるが回転数を合わせればとまる。
- (b) プラント冷却時、タービン風量が不要になり絞る時は2台とも入口圧が等しくなるように絞ることが望ましい。一台のみ極端に絞り、長時間運転するとブレーキファン圧力がアンバランスになり、一方のチェック弁を押えてブレーキ室の温度が異常上昇することがあるので注意を要する。
- (c) タービン入口圧力を大きく絞った時、定格回転数に保つためブレーキエア出口弁を極端に絞ると、サージング現象を起すことがあるので振動、音に注意すること。
- (d) 10,000rpm 付近に危険回転数があるので起動、停止時はスムーズに通過させ、この付近での運転を避けること。
- (e) ブレーキエア吸込圧力が極端に下ると軸受室の油がブレーキ室側に吸出されることがある。吸込空気フィルタの抵抗に注意するとともに紙など吸込まさないよう注意すること。
- (f) 起動、停止時前後20分ほど給油すること。
- (g) メタル温度は60°C以下に押えること。

(3) 給油装置および安全装置

給油装置は強制給油方式を採用しており、タービン軸受には1.2 kg/cm²Gの給油を行っている。使用潤滑油はスピンドル#60である。給油装置を含めて安全装置として下記のものを設備してあるので3～4箇月に一度は作動点検を行い確実に作動することを確認しておくべきである（危急遮断弁のみは1～2箇月に一度作動確認すること）。

安全装置

- (a) 高圧油槽を持ち停電により給油ポンプが停止しても1～2分継続給油可能である。
- (b) タービン軸受入口弁と軸受間の配管に油圧リレーを設置し、給油圧が0.9 kg/cm²G以下になれば危急遮断弁を閉弁する。
- (c) タービンが過速すれば回転計の指標により自動的に検出され、危急遮断弁が閉弁する（定格回転数の5% upに設定する）。
- (d) タービン軸に直結にブレーキファンが取り付けられており、回転数が上ればそれだけ制動力が大きくなり、自動的な制限作用をしている。また電気的動力回収方式などとは異なり、ブレーキ側の故障による過速度現象は起るおそれがない。

3.3 精留部

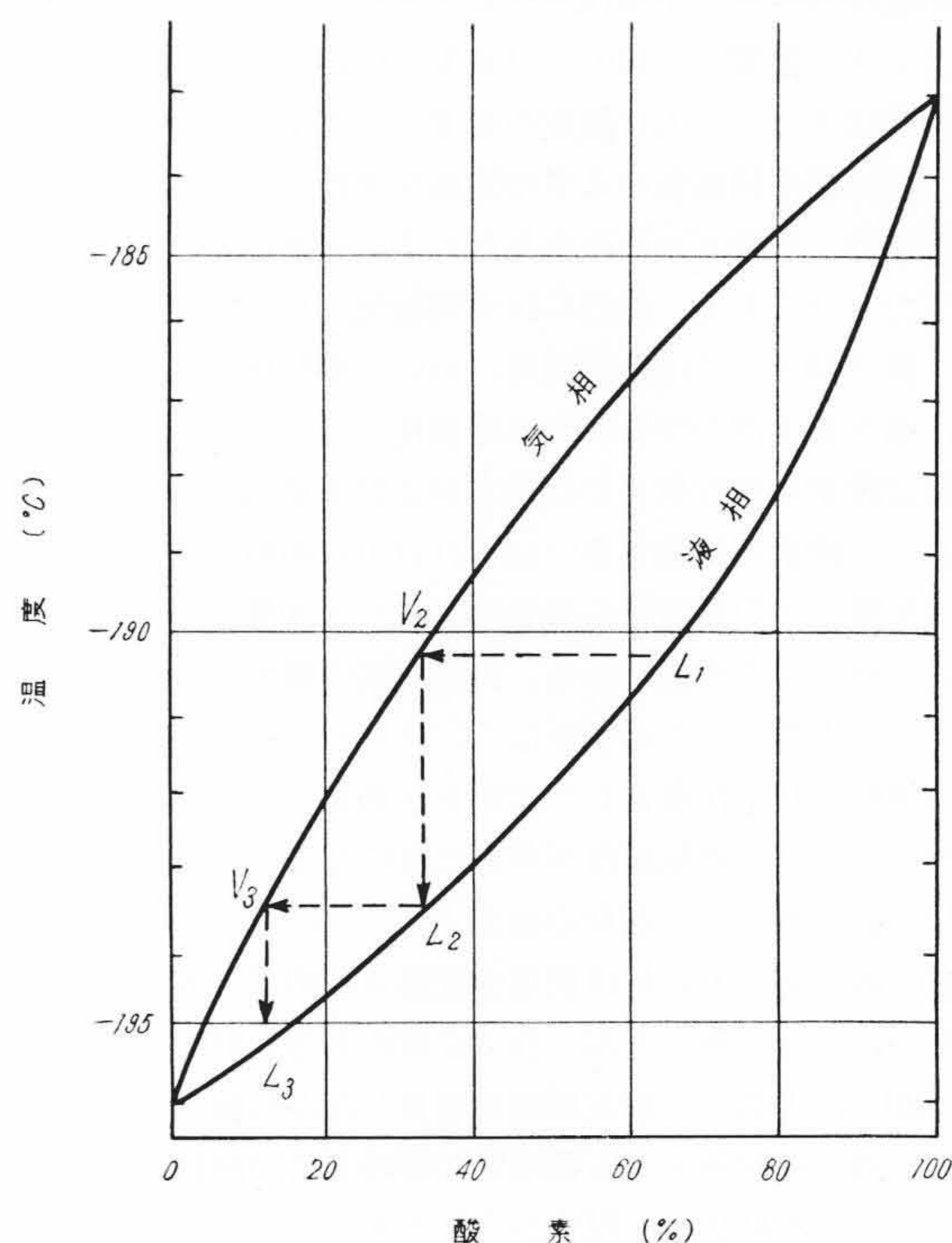
TO-プラントに使用されている精留塔は複式精留塔であって、この精留塔については文献も多いので、簡単に原理および運転操作上の考え方と防爆対策を述べておく。

3.3.1 精留塔

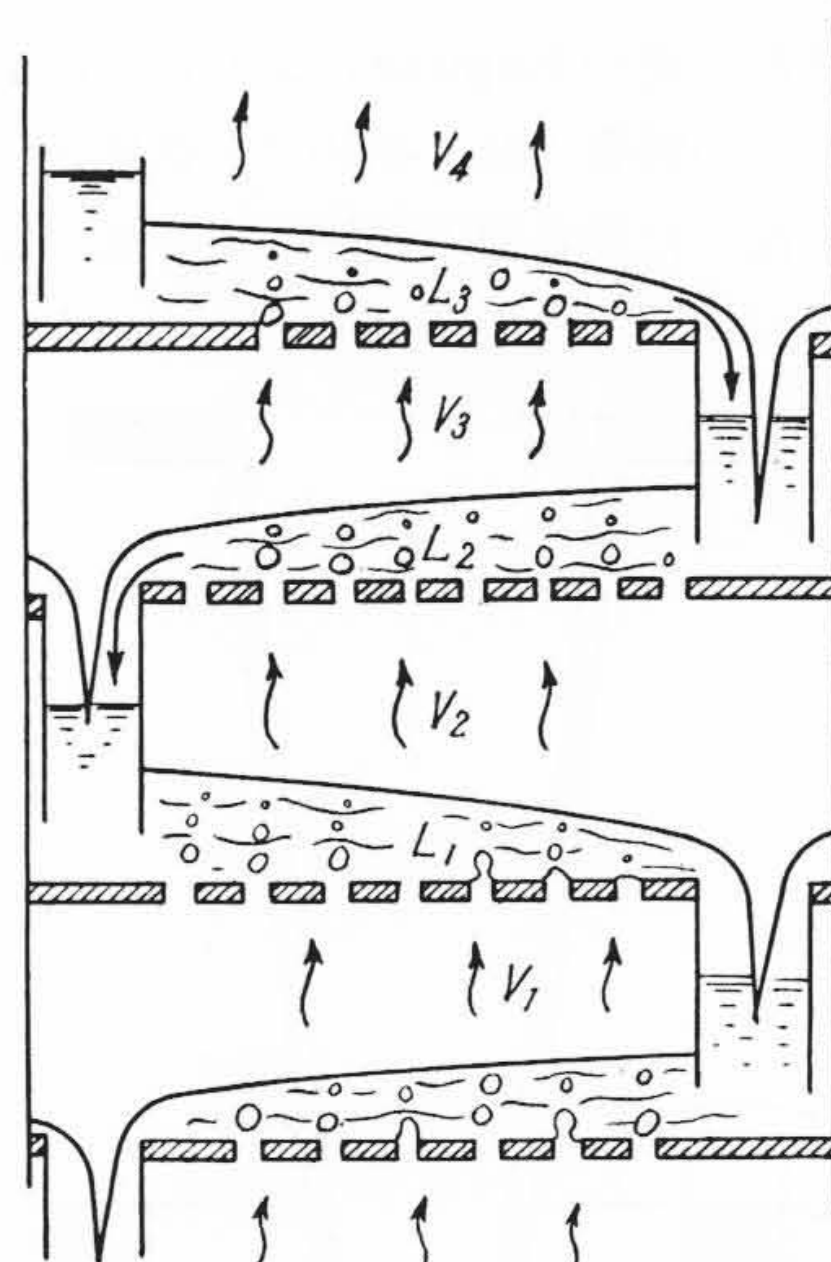
2.2.3 に概要をのべてあるように原料空気が液体空気となって精留塔に供給される。精留塔は液体窒素、液体酸素の沸点差を利用して何回も蒸発凝縮を繰り返させて酸素と窒素を分離して取り出す装置である。

(1) 精留塔の原理

液体窒素と液体酸素の混合液の2相平衡線図は第24図に示すとおりである。いまL₁の酸素純度の混合液より蒸発した蒸気は低沸点の窒素を多く含んだV₂の酸素純度の蒸気が出る。これを凝縮させるとL₂で液になり、このL₂の液を蒸発させるとV₃の



第24図 大気圧におけるO₂-N₂混合液の平衡関係

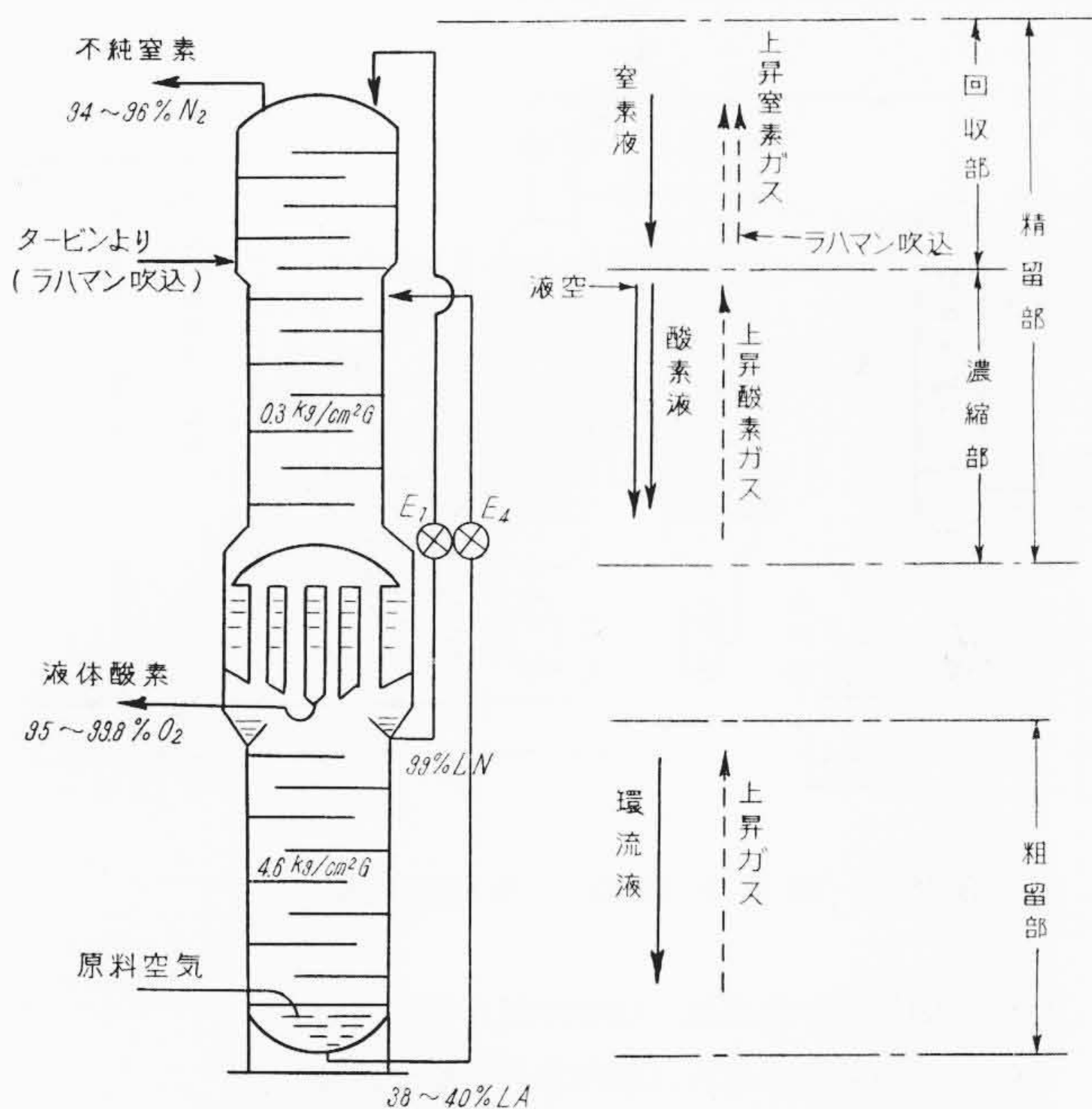


第25図 目皿式精留塔原理図

酸素純度の蒸気が出る。このようにして蒸発、凝縮を繰り返させると酸素純度の低い蒸気（窒素純度の高いガス）が得られるので酸素と窒素を分離することができる。これを実際の精留塔で行わせる状況を説明したものが第25図である。すなわちV₁の蒸気は目皿板の孔よりL₁の液の中に入り、上段ほど窒素純度が高いため低温であるから凝縮して液化しL₁液になる。

この潜熱によりL₁液は蒸発を起しV₂の蒸気を出す。V₂はV₁と同様の経過を繰り返すことにより精留塔の上部ほど窒素純度が高くなり、下部ほど酸素純度の高い酸素と窒素を分離できる。実際の精留塔は第3図に示すような複式精留塔を使用しており、下塔で粗留を行ったのち、上塔で精留を行い、製品分離ガスを取り出している。複式精留塔における特長は下塔の還流液用の凝縮器と上塔の蒸発器を酸素、窒素の圧力による沸点変化を巧みに利用して組合わせていることであって、この下塔頂の窒素と下塔頂の酸素との沸点温度差の関係は同じく第3図に図示してある。

(2) 精留塔の特性および運転調整



第26図 精留塔逆転操作図

(a) 下塔の運転

精留塔の運転は第26図にみられるとおり下塔運転が定まれば上塔の状態は大体定まってしまうので、下塔を適正に運転することが調整の基本となる。下塔においては第26図の精留部に示すとおり還流液と上昇ガスが対向流接触して精留されていると考えてよい。すなわちこの流量比により液空、液室の純度が変わる。たとえば還流液を減少させると（ E_1 弁より多量に窒素流を引き抜くとか主凝縮器の窒素凝縮量を減少させる）液体空気の純度はよくなるが、下塔頂窒素の純度は低下する。液体空気38～40%、液体窒素99%以上が下塔調整目標で下塔の分離効率がよければおのおの純度がさらによくなることもある。運転上は液体空気の純度をなるべく高くして上塔に原料液として供給してやることが望ましい。

(b) 上塔の運転

(i) 酸素純度

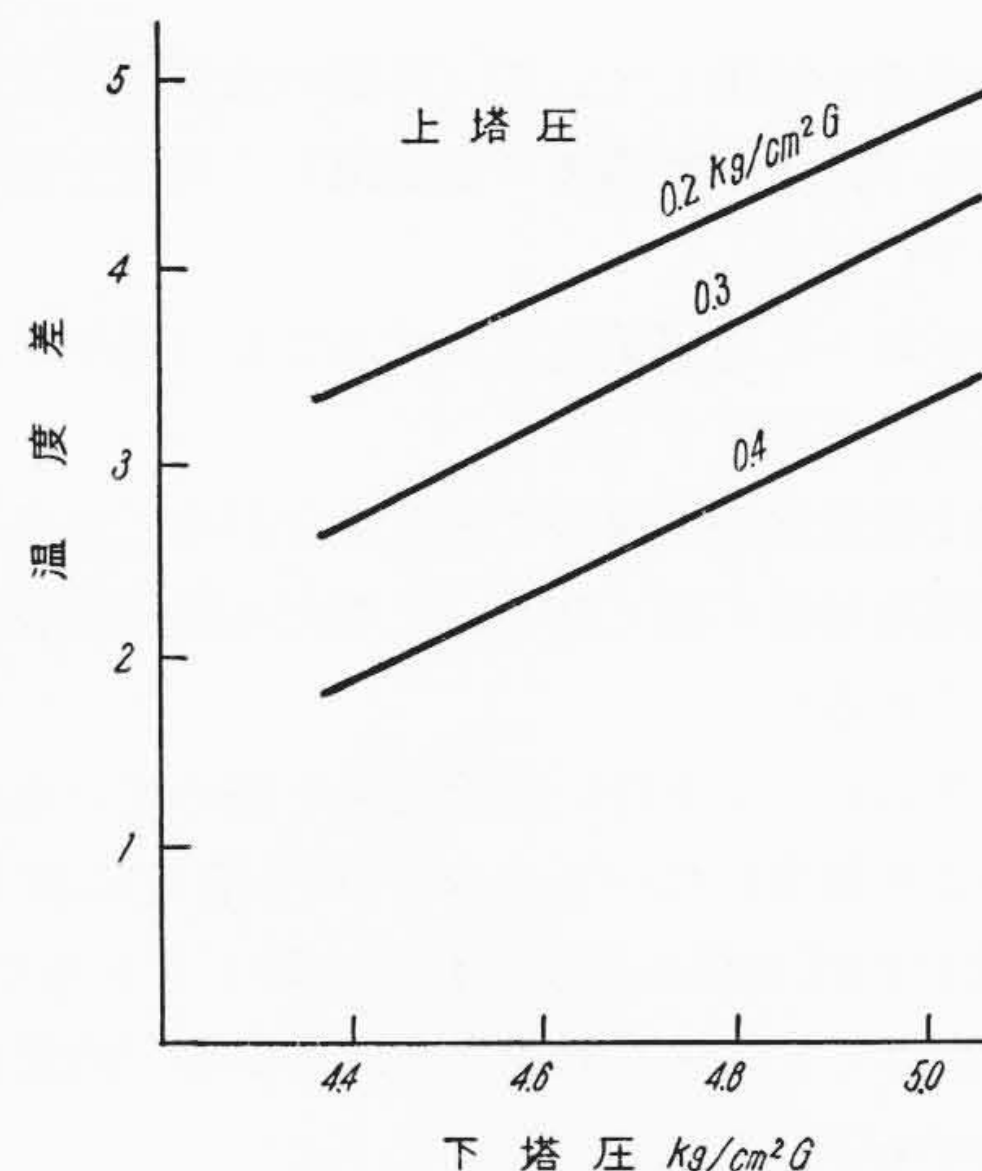
酸素純度を決定するのは上塔濃縮部であるが、上塔濃縮部は上昇ガスに対して液の多い部分であって、気液の比率を大きく変化させることは困難である。液体酸素純度を上げるためには酸素純度の高い原料液体空気を供給することであるが、気液の比率を変更させる方法として、(イ)酸素引抜き量を減少し、下塔圧を上げてその分だけ上昇ガスを増加させる方法、(ロ)原料空気量を増加して供給液体空気を増加し、酸素送出量は前のままとすれば(イ)と同様上昇酸素ガスの比が多くなり、酸素純度をより高くすることができる。この2方法がある。

(ii) 精留塔の分離効率

精留塔塔上部は酸素回収段であって、不純窒素中に含まれる酸素が損失となり、これにより分離効率が定まってしまう。したがって不純窒素純度が最も高くなるように運転すればよいのであるが、この部分は液に対してガスの比率の大きな部分であって、可変なのは還流量の窒素液の量と純度である。下塔調整と関連するが、不純窒素純度は94～97%の範囲でできるだけ高く保つべきである。

(c) 上塔圧と下塔圧の関係

精留塔の主凝縮器の伝熱面積構造が定まり、液体酸素が規定量蓄積されて運転上の伝熱面積が定まると、膨脹弁より液のみ下塔



第27図 主凝縮器圧力温度状態図

より上塔に送っている場合、下塔圧は上塔圧により定まってしまう。すなわち主凝縮器の温度差が2.5℃で原料空気中の液体空気として入った以外の気体部分が全部凝縮して液化できるとすれば、上塔圧に対して2.5℃の温度差の取れる下塔圧におのずからきまるということである（もちろん膨脹弁を開き気体で下塔より原料空気を上塔に送れば下塔圧はもっと下げることができる）。

この圧力温度関係を第27図に示す。TO-プラントの原単位を低くするためには、圧縮機出口圧を下げることは有効であるのでできるだけ上塔圧を低く保ち、下塔圧が低くて運転できるようにすることが必要である。上塔圧のわずかな低下により下塔圧が大幅に下がることに注意すべきである。

3.3.2 精留部におけるアセチレン、炭化水素の濃縮防止対策

アセチレンおよび炭化水素による爆発防止対策は4章に詳述するのでそちらにゆずり、ここでは精留塔の液体酸素中に濃縮するアセチレンおよび炭化水素を少なくするように考えて設備されている機器について説明する。

(1) 液空フィルタによるアセチレンの吸着除去

第1図に示すとおり下塔より上塔に液体空気を送る配管途中に液空フィルタをおいて、ゲルを内部に充てんし、液体空気中に含まれて上塔に行くアセチレン、炭化水素を吸着除去させて主凝縮器液体酸素のアセチレン濃縮量を減少させている。この吸着作用はかなり有効で、主凝縮器中のアセチレンの量を減少させることができる。ただし液空フィルタは2～3日ごとに切替えて再生加温を行う必要がある。

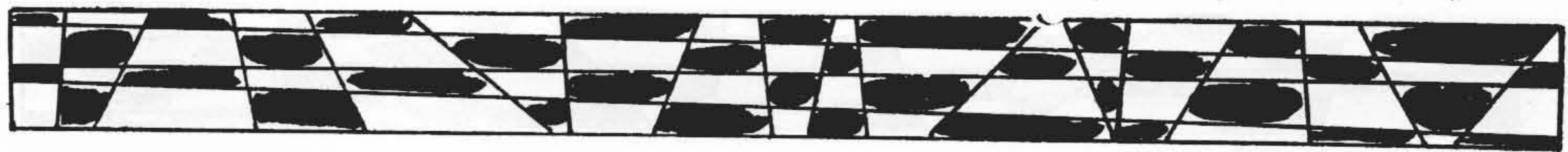
(2) 副凝縮器方式採用による主凝縮器アセチレン濃縮防止

第1図に示すとおり精留塔は液体酸素だめ（主凝縮器）より液体酸素を抜き出し、副凝縮器で気化させて酸素ガスとして送り出している。主凝縮器上部の気体酸素を製品ガスとして取り出し、主凝縮器の液酸はアセチレン濃縮したままの旧形に比べると液体酸素の循環、置換が行われるので、濃縮度が小さくなり、したがってアセチレン含有量が少なくなっている。この方式はプラントを安全に運転できることを示し、非常に防爆上有効である。副凝縮器管内で液体がガス化させられるので、アセチレンなどが管内で付着して固着しているものと考えられるので、1箇月に1回以上加温して加温除去を行う必要がある。

3.4 保 冷 槽

3.4.1 保 冷 槽

寒冷部、精留部の低温機器がこの保冷槽に入っており、外気温との熱遮断のため岩綿が充てんされている。熱遮断効果を高めるため下記の考慮が払われているので保守上注意を払われない。



(1) 構気密造を採用している（外気の水分の侵入を防ぐとともに下部より寒冷ガスが漏出して対流を起すことを防いでいる）。

(2) 岩綿を均一に規定量充てんすること（過不足ともに熱遮断効果が低下する）。

(3) 岩綿は乾燥状態に保つこと（水分が多くなると氷結を起し保冷効果が悪くなる。このため岩綿乾燥装置を設置してある）。

(4) ヘリウムシールを行い保冷効果を高めている。精留塔下塔より取出したヘリウムを保冷槽内に吹込み、プラス圧に内圧を保ち湿気の侵入を防ぐとともに、熱伝導率を小さくして保冷効果を上げている（内圧を水柱5~10m/m以下に保つこと）。

3.4.2 安全装置

保冷槽はかなりの表面積をもっているので、わずかな内圧でも変形の恐れがある。このため次の安全装置が設置してあるので、運転保守上注意して管理されたい。

- (1) 水封安全器（水柱100m/mで水封が破れる）
- (2) 保冷槽保用破裂板（水柱200~250mmで作動する）
- (3) 呼吸孔 大きな内容積をもつ保冷槽は内部の温度変化により呼吸する。このため呼吸孔が設けてあり、シリカゲルを通して乾燥空気が出入するように考慮が払われている。

3.5 プラントの運転

3.5.1 プラントの全起動

プラントの全起動は使用条件にもよるが、多くの場合顧客の運転方針により定まり、半年~1年半ごとに1回行われる程度である。ここに中間抽気方式の標準TO-プラントについて起動順序、注意事項を簡条書に述べる。

(1) 起動準備

- (a) プラントの付属機器（圧縮機、水ポンプなど）の異常の有無確認
- (b) 運転用工業計器の整備、調整
- (c) 安全弁、インターロックの作動確認
- (d) 分離器の加温乾燥 空気を低温で取扱うため内部に水分が残っていれば機器の破損、弁の作動不良、機器配管の抵抗増大となって運転の障害となり、最悪の場合は運転不能になる。したがって加温乾燥は細心の注意を払うことが必要である。詳細は3.6.3に述べる。
- (e) 石材、ゲルの追加充てん

(2) 冷却第一段階（蓄冷器の冷却）

蓄冷器を膨張タービンで急速冷却し、蓄冷器の下端温度を早く下げて空気中の水分、炭酸ガスを除去されるようにすることが第一段階の目標である。

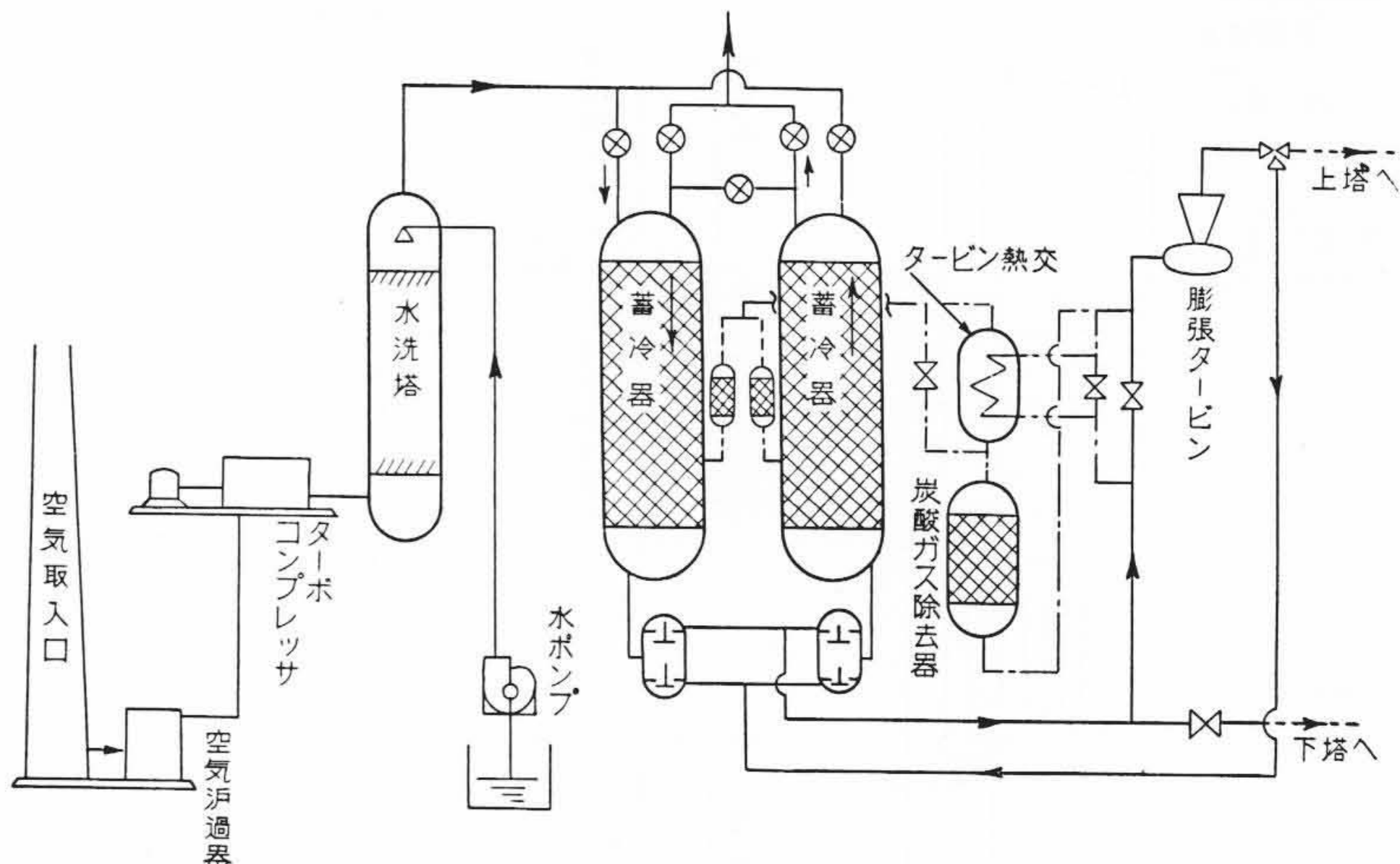
(a) 起動第一段階（原料空気部門）

- (i) 空気ろ過器起動
- (ii) 空気圧縮機起動（空気圧昇圧5 kg/cm²）
- (iii) 水洗塔起動（水量設定、水位確認、出口空気温度の整定確認）
- (iv) 空気配管のドレンブロー

(b) 起動第二段階（寒冷サイクル部）

第28図に示す回路で蓄冷器を重点冷却する。蓄冷器の下端温度が下り、流入空気が飽和点に達し、蓄冷器が整定すれば第一段階は完了である。

- (i) 起動回路の準備（膨張タービン入口弁、精留塔下塔吹込弁全閉）



第28図 装置起動時の冷却回路

- (ii) 切替弁作動確認（切替時間5分に設定）

- (iii) 蓄冷器空気送入（蓄冷器切替動作確認）

給油状況確認後、膨張タービン起動、蓄冷器冷却のため設置タービンの全数を全力運転する。

- (iv) 中間抽気開始（タービン入口温度が-130℃になったら開始）

抽気は蓄冷器下端の温度を急速に下げるとタービン入口温度を-140~-150℃付近に保ち、有効に作用させるため行うので起動段階では多目に抽気したほうが良い。

以上の処理をすると蓄冷器の下端の振幅が8~10℃となり、抽気温度も-100~-110℃に下ってくるからその点で整定させる。

(注) タービン熱交、およびCO₂除去器の使用法

- (i) 抽気温度が0℃より-60℃となり、水分がなくなるまではイコライザーバイパス、タービン熱交バイパスを通して氷による詰りを防ぎ、水分はCO₂除去器のゲルで吸着除去する。
- (ii) 抽気温度が-60℃になればタービン熱交を通して低温空気で冷却し、CO₂除去器入口温度を-125~-135℃の範囲に保つようにして炭酸ガスを吸着させる。整定すればイコライザーもバイパスをやめ正常状態にする。

(注意事項)

- (i) 起動時はCO₂除去器を整定後なるべく早く切替えて+120℃まで加温して水分除去加温を行うこと。
- (ii) CO₂除去器は切替後放置したり、誤操作により温度を-120℃以上に上げると吸着していた炭酸ガスを放出し、タービンノズルのつまりを生ずることがあるので注意すること。

(3) 冷却第二段階（精留部冷却、液酸蓄積）

寒冷サイクル部が整定し、蓄冷器が過冷却になり始めたらその余剰寒冷を利用して精留塔を冷却する。精留塔が冷却され液酸が主凝縮器に規定量蓄積されれば第二段階完了である。この時最も重要なことは蓄冷器へのもどりガス温度を-178℃に押えて蓄冷器の下端温度を一定に保つことである。急に精留塔を冷却しようとして、もどりガス温度を上げ流入空気温度が上がるようなことがないよう、常にもどりガス温度を目安として余力で冷却するよう注意することが必要である。万一上った時は冷却を中止して整定後ふたたび徐々に冷却に入るべきである。次の順序で冷却する（第1図参照）。

- (i) 下塔吹込み、上塔へ液空弁で送出する。



- (ii) 下塔冷却, 液室弁を開く
 - (iii) 主凝縮器, ガス冷却, 副凝縮器弁を開く
 - (iv) 下塔液空発生, ドライアイスが無くなるまで液体空気をブローする。
 - (v) 上塔液空送り上塔冷却(主凝縮器ガス冷却中止), ラハマン吹込開始, 液化器を有効に使用するとともに液空弁を全開し過冷却器でもどり窒素ガス温度と熱交させ, 原料空気を液化させるとともにもどりガス温度を上昇させる(ただしもどり窒素温度 -178°C 一定に保持のこと)。
 - (vi) 液酸蓄積 上塔に差圧がつくとともに主凝縮器に液酸が蓄積し始める。液酸が澄むまでブローを行い, その後蓄積に入る。1時間100 mm程度の割合に蓄積して行くのが普通である。
 - (vii) アセチレン, CmHn 分析 液酸中のアセチレン, CmHn は液酸蓄積時はひん度を多くして2~3回分析し含有量が多い時は送酸を早めに始めて液酸の置換を行うべきである。
 - (viii) 送酸 液酸が800 mmをこえると蓄積傾向を維持する程度に送酸を開始してよい。液酸の規定液面より10%ほど多い目に蓄積してから, タービンを順次止めて常用タービンのみとする。
- (注)(イ) 精留塔冷却が終り, 液体酸素蓄積に入るとき液がたまり始めるまでの間, 蓄冷器が過冷却気味になったりして苦しむが過冷却器, 液化器を最大限に利用して液体空気を作り, 上塔に供給するとともに, もどり窒素ガス温度を -178°C 付近に保ち蓄冷器のバランスを保つことが大切である。
- (ロ) 液酸蓄積時, 下塔を $4.2\sim 4.3\text{ kg/cm}^2$ に保ち90~95%の純度の液酸をためる方がその後の純度調整が楽でよい。
 - (ハ) 調節弁は液体用であるから, ガス流通時は思い切って開き精留塔調整に入ってから徐々に絞って調整に入ればよい。
- (4) 精留塔調整
- (a) 寒冷サイクル部の再調整と安定化
- 液酸蓄積が終り, タービンを常用タービンに切替えると寒冷サイクル部は定常運転とまったく同一状態であるから, 蓄冷器の温度関係抽気関係を再調整して計画値にもって行くとともに, 安定化させ精留塔部を乱さないようにする。蓄冷器切替時間は蓄冷器の安定に伴い順次切替時間を長くして行き3~4日で10~15分までもってゆく。
- (b) 精留塔調整
- (i) 下塔圧を計画値付近にもって行き, 液空純度を規定の範囲, 液体窒素は98~99%になるよう下塔の精留をもって行く。膨脹弁は液空, 液室弁共液だけを送るよう注意する(液空液面は計画値付近に一定に保つようにする)。精留塔は下塔が調整されれば自然上塔は定まってしまうものであるから, 下塔の調整を完全にすることが最も大切である。
 - (ii) 上塔は下塔の運転により定まるものであるが液酸, 不純放出窒素出口純度を測定して下塔の運転を上塔の運転に有利なように修正する。
 - (iii) 精留塔の分離効率は上塔より出る不純窒素ガスの含有する酸素量により定まるから不純窒素ガスの窒素純度になるべく高くなるように調整する。
 - (iv) 液酸純度は原料液の液空の酸素純度, 主凝縮器より上塔を上昇するガス量に影響されるので純度の高い液体空気を供給すること。主凝縮器に規定の液面まで液体酸素を蓄積するとともに適当な下塔圧上塔圧になるよう調整することが必要である。
- (注意) 1. 寒冷の偏在について

タービン一台で整定運転している時, 主凝縮器, 液体酸素が減少しても必ずしも寒冷不足ではない。精留塔上塔差圧が増加して液が皿に乗っている場合, 蓄冷器下端温度振幅が減少している場合に寒冷不足ではない。この場合は調整してやればふたたび液酸がたまり始める。寒冷の過不足は10時間程度のオーダーで表われてくるのが普通である。寒冷の過不足の場合次の点検を行い対策すればよい。

(i) 膨脹タービンの仕事の過少

- (イ) 誤った運転(入口温度低くすぎる。低回転数による効率低下)
- (ロ) ノズルにドライアイス付着(風量減少)
- (ハ) ノズル摩耗による効率低下
- (ii) 蓄冷器を含む熱交換器が冷却中でないか
- (iii) 蓄冷器の温端損失が大きくなっていないか
- (iv) 精留塔フラッテングしていないか
- (v) 機器の気密不良(液, ガスの漏出)

(注意) 2. 精留塔分離効率について

精留塔分離効率の良否は酸素純度が仕様で運転している場合は放出不純窒素純度の良否で判断される。不純窒素純度を1%上げるとは下記計算のように風量が多いため酸素収率に大きくひびいてくるので精留塔管理上少しでも純度が上るよう管理することが大切である。

(例) 2,000 Nm^3/h TO-プラントについて

空気量 11,600 Nm^3/h 酸素純度 98%

(a) 不純窒素純度94%の時の酸素分離量 $x\text{ Nm}^3/\text{h}$

$$11,600 \times 0.21 = x \times 0.98 + (11,600 - x) \times 0.06$$

$$x = 1,890\text{ Nm}^3/\text{h}$$

(b) 不純窒素純度95%の時の酸素分離量 $x'\text{ Nm}^3/\text{h}$

$$11,600 \times 0.21 = x' \times 0.98 + (11,600 - x') \times 0.05$$

$$x' = 2,000\text{ Nm}^3/\text{h}$$

すなわち不純窒素純度を1%上げて運転することにより O_2 110 Nm^3/h の分離量の増加になる。

3.5.2 停止および再起動

(1) 非常停止

(a) 原因が判明せぬ故障の突発, (b) 装置が危険にさらされた場合(切替弁, 逆止弁などの故障により上塔圧異常上昇など), (c) 運転員が危険を感じる場合は装置を非常停止しなければならぬ。

非常停止基本動作

- (a) 切替弁ノッチ点検
- (b) タービン入口弁閉
- (c) 液酸送出弁閉
- (d) 圧縮機空気の放出(吐出空気圧は $4\text{ kg/cm}^2\text{G}$ 以上に保つ)

(2) 一時停止

2時間以内の停止を一時停止と考える。下記の順序で停止する。

- (a) 圧縮機空気放出
- (b) 蓄冷器空気入口弁閉
- (c) 液酸送出弁閉
- (d) 切替弁制御装置は圧縮機を回し, 短時間のときは時間切替えにしておく。蓄冷器の温度アンバランスを生じないように注意すべきで, 大きなアンバランスを生ずると再起動不能になる。

(3) 長期停止

2時間以上40時間までの長時間停止の場合は一時停止のほかに次の操作を行うべきである。

- (a) 圧縮機停止, 水洗塔水ポンプ停止



- (b) 切替弁を点検の位置におく
- (c) タービン加温 (給油装置停止)
- (d) 精留塔は液空膨脹弁のみ開き他の弁は閉じる
- (e) 主凝縮器液体酸素中のアセチレン含有量を10時間ごとに測定し、規定値以下なることを確認する。
- (f) 液空フィルタなど液空液酸のたまっているところの液を放出する (アセチレンの濃縮による事故防止のため)。
- (g) 炭酸ガス除去器の出入口弁を閉じてブロー弁を開き、再蒸発炭酸ガスは外部に放出するようにする。

(4) 全 停 止

精留塔主凝縮器の液体酸素を放出し装置を全加温する。

(注意事項) 機器および配管に液体をためたま前後弁を止じると、内部の液が徐々に気化して内圧が高くなり (体積が約800倍になる)、機器の破裂を起すおそれがあるので装置として安全弁、リリース弁を設置してあるがこの点を十分注意することが必要である。

(5) 再 起 動

プラントの起動の順序をそのまま行えば良いのであるが、装置が冷えているので短時間でもとの状態になる。しかし次の点注意して操作することが必要である。

(a) 寒冷サイクル部を最初に安定させること

短時間停止の場合は蓄冷器の空気送入側の時間記録をして停止し、再起動時その続きとして空気を送入するなどの細心の注意をして蓄冷器にアンバランスを生じないように注意するとともに、生じたアンバランスはできるだけ早く修正する。蓄冷器の下端を早く規定の状態にもって行き、水分、炭酸ガスの除去が正常に行われるようにする。

(b) 精留塔の下塔加圧は徐々に行うこと

プラント起動時下塔加圧は徐々に行うことが大切である。上塔主凝縮部にたまっている液酸は、一部上塔下部目皿板まで浸している。急激に下塔に加圧すると液体酸素の急沸騰のため皿を傷つけるおそれがある。

(c) 精留塔液酸の取扱

長時間停止して起動する場合、アセチレン、炭化水素を分析して規定値以上になっていれば全量放出してから起動し、再蓄積することが防爆上安全である。

3.5.3 装 置 加 温

加温はプラント起動前の装置内水分除去乾燥加温と、運転中の機器単独加温、装置停止時の全機器を常温まで温度上昇させる加温の3種類があるが基本的には同一であるのでまとめて述べる。

(1) 加温乾燥空気

プラントによりルーツブロワで送られる方式もあるが、5 kg/cm²G まで圧縮された高圧空気を利用するのがドレンが除去されているので、乾燥器の寿命が長く最も有効である。乾燥用空気はゲル塔で露点-30°C以上まで水分を除去されているのでこれを加熱器で+60°Cまで加熱して用いる。

(注意事項)

(a) ゲル塔出口空気が完全に水分除去されていることをゲル塔のぞき窓の変色または露点計により加温中点検し、能力が低下してくれば早目に切替えることが必要である。

(b) 加温空気は+60°C以下に押えることが必要である。過度に温度を上昇させて加温すると配管などのパラフィン処理されたパッキンのパラフィンがゆるみ漏れを生ずるおそれがある。

(c) ゲルの再生

再生空気を150°Cに加温して再生する。水分が持出されている間は水の沸点の100°C以下であるが、水分が抜け切れると再生用空気温度が100°Cより上り始める+120°Cになった時をもって再生完了とする。

(2) 乾 燥 加 温

加温空気を12時間以上流す方向を変えて万遍なく乾燥加温する。主凝縮器、副凝縮器は露点部で入口乾燥空気と同一露点になったことを確認して終了とすることが必要である。

(3) 定常運転時の加温 (機器の再生加温)

(a) 炭酸ガス除去器および液空フィルタ

炭酸ガス吸着器と液空フィルタは運転中、定期的再生加温が必要である。定常時は炭酸ガスの常圧気化温度-78°C、アセチレン常圧気化温度-82°C以上にすれば昇華して除去されるが出口温度-30°C程度まで加温しなければならない。

起動時の水分吸着に使用したときおよび定常時においても4回に1度は水分除去のため+120°Cまで水分除去加温することが必要である。

(b) 副凝縮器およびアセチレン除去器

副凝縮器およびアセチレン除去器は熱交換器管壁および器壁に付着しているアセチレンおよびドライアイスを除去するため必ず1月に1回加温除去することが必要である。加温には一般に乾燥加温空気を使用しているが、加温乾燥窒素が得られれば、これを使用するのがもっとも望ましい。加温は液空フィルタと同様-30°Cでよいが、一般にはプラス側まで加温するのが普通である。

(4) 装置停止時の全加温

各機器の液空、液酸を機器外に放出する。加温はゲルを通した乾燥空気を大気温度のまま入れて加温し始め、徐々に加熱器の温度を高めて60°Cにもって行き、機器に急激な熱的変動を与えないようにする。加温は中断することなく一気に加温することが必要で、中断すると機器の温度が再び下り、水分の再氷結による機器破損を起すおそれがある。機器のブロー温度が気温プラス20°Cにより2時間たてば加温を完了してよい。ただし再起動のときは短期間の場合を除き(2)の加温乾燥を再度行う必要がある。

全加温は24時間程度かかるのが普通で、蓄冷器を加温する場合は36時間以上かかる。

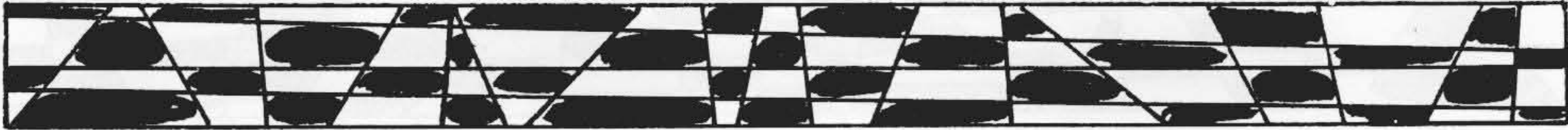
4. 空気分離装置の防爆対策

空気分離装置の防爆対策は、空気中に存在するアセチレンおよび炭化水素の除去およびその処理を有効に行うことである。

空気中にはアセチレンが普通0.03ppm、一般工業地帯では1 ppm、特に多い地域では2~6 ppm 存在すると言われる。大気より原料空気とともに装置内に侵入したアセチレンおよび炭化水素は液体空気、液体酸素の生成とともに、液中に溶存または浮遊している。液体酸素がガス化する際、アセチレンおよび炭化水素は含有量が多い場合ガス化せず、液中に残り、濃縮蓄積の現象が起る。アセチレン爆発はオゾン説、静電気説反応性の強い物質の生成、機械的衝撃説などがあるが明確ではない。アセチレンの濃度が高くなると爆発の危険が多いことが判明しているため、高圧ガス取締り法で許容量が規定されている。TO-プラントでは第1図に示すとおり副凝縮器を設置することにより主凝縮器の液体酸素の置換を行い、アセチレンの蓄積を防止し、装置の安全を計っている。

4.1 アセチレンおよび炭化水素の濃度

高圧ガス取締り法では、液体酸素中のアセチレンおよび炭化水素の濃度を1日1回以上測定し、その量が次の量以内であることを規



定している。

- (1) 警戒限界
- 液酸 5 l 中 アセチレン 3 mg
- 液酸 5 l 中 炭化水素 200 mg
- (2) 停止限界
- 液酸 5 l 中 アセチレン 5 mg
- 液酸 5 l 中 炭化水素 500 mg

警戒限界では、タービンの寒冷発生量を増やし、液体酸素を増量し、適量放出または送酸量を増し、液酸の置換を計る。

停止限界になった場合は爆発の可能性が大きいので、送酸を停止し、主凝縮器の液体酸素を全量ブローして再蓄積を行う。

4.2 副凝縮器の液酸洗浄、加温

副凝縮器内で、酸素は液体より気体に気化する。このとき液相部ではアセチレン、炭化水素は液酸のみ気化するから濃縮状態になり、さらに気化部分では管壁に析出して付着する。したがって定期的に主凝縮器より液体酸素を一時に多く流して、洗浄し付着物を装置外へ放出しなければならない。また一月一回以上副凝縮器およびアセチレン除去器の加温を行い、付着したドライアイス、炭化水素、アセチレンを気化放出させる。

4.3 アセチレン除去器の液酸分析およびブローひん度

一日一回以上副凝縮器およびアセチレン除去器を洗浄し、アセチレン除去器にたまったアセチレンおよび炭化水素の量が、法規で定

めた量以下になるように洗浄回数を定めることが必要である。アセチレンおよび炭化水素の濃度が高い液のブローは、弁の急激な操作によりショックで爆発を起すことがあるから、弁操作は弁の正面にたたないなどの注意が必要である。

4.4 液空汙過器の使用

精留塔、主凝縮器に蓄積されるアセチレンの量を減らすため、原料空気を液化し、液体空気として精留塔に供給される。供給配管の途中に液空汙過器を設けこれにゲルを充てんし、アセチレンを選択吸着している。この汙過器は2基設けて3～4日で切替え使用されている。これの再生はゲルの再生と同様の操作を行う。

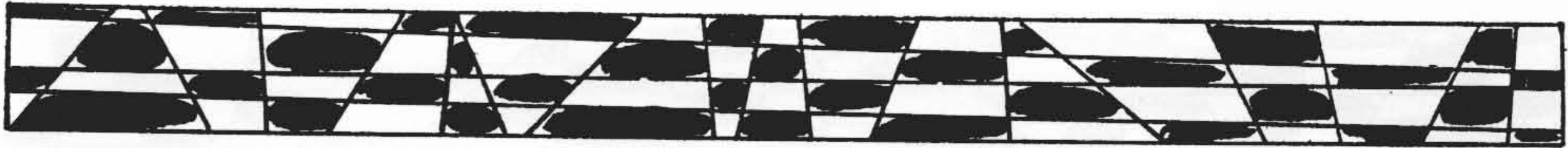
5. 結 言

TO-プラントの運転保守について運転上必要な原理および運転の考え方を述べたが、何分単独機器と異なりプラントであるので細部については不十分なところもあると思われる。細部は個々の機器の取扱説明書によっていただきたいと思うが、プラント全体の考え方については十分説明したつもりである。プラントの稼働率は運転保守の適正化により高率に保つことができ、したがって本ノートを活用していただけたら筆者の望外の喜びとするところである。なおご参考までに末尾に定期点検一覧表、給油一覧表を添付する。

付表1 TO-プラント 定期点検 一覧表

本表は (1) 酸素発生量 4,500Nm³/h 程度の標準形分離装置についてまとめた。使用プラントそれぞれの特殊性により不要部分、不足部分については削除あるいは追加願いたい。
(2) 表中の◎印は特に重要な部分であるから必ず点検願いたい。
(3) 点検期間は目安であるから前後してもさしつかえない。
(4) 3～6箇月目の点検項目で装置を停止しなければ点検できないものもあるが、予定期日の前後の短時日の停止を利用して点検願いたい。点検は短時間ででき、作業上には支障を来さないものと思う。
(5) 1年ごとの点検は定期修理を利用して実施されたい。
以上のとおり本表を利用し保守、点検を行えばTO-プラントは長期運転にその能力を十分発揮しうる状態を保持できるものと思う。

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ヶ年		
Ⅰ	空気取入口		1. ス ト レ ー ナ 2. 吸 入 塔 下 部			○			○	1. ストレーナが目詰りさび点検 2. 吸入塔下部のドレンダスト類除去	
	前置冷却器		1. 水 槽 2. ポ ン プ 3. ス ト レ ー ナ 4. 断 水 リ レ ー 5. フ ロ ー メ ー タ 6. ス プ レ ー 7. 充 て ん 分			○		○ ○ ◎ ○ ◎ ○	1. 水槽内の掃除 2. 点検および掃除，フート弁点検 3. ストレーナ点検および掃除 4. 作動試験 5. 分解掃除 6. 目孔掃除 7. 再充てんおよび汚水の程度によって洗浄		
	空 気 汙 過 器	A F 式	1. タ イ マ 2. ス ク リ ー ン 3. 洗 浄 油 4. マットフィルタ					○ ○	1. 作動，停止時間のチェック接点の点検 2. 作動，さび，除じん，空気漏れの点検 3. 油の漏れ，油面，除じん 4. 空気漏れ，さび，マットの取替え	点検周期は使用状態による。 マット取替え周期は使用状態によります。 点検周期は使用状態による。	
		バ グ 式	1. ノ ズ ル 2. 動 作 3. バグの状態					○ ○ ○	1. ノズルの詰り，錆発生，配管空気漏れ 2. 動作チェック，作動部の除じん 3. 破れ，汚れ，たるみ		
	水洗冷却器		1. 水 槽 2. ポ ン プ 3. ス ト レ ー ナ 4. 水 位 加 熱 弁 5. ス プ レ ー 6. 充 て ん 物 7. 水 位 警 報 器			○	◎ ◎ ◎	○ ○ ○ ◎	1. 水槽内の掃除 2. 掃除，内部点検，フート弁点検 3. 掃除点検 4. 分解掃除点検，作動点検 5. 掃除点検 6. 沈降状態，汚れ，抵抗 7. 警報作動点検，作動液面の確認，腐食掃除		
Ⅱ	空 気 圧 縮 機		1. 性能チェック 2. モ ー タ 3. モーター冷却器 4. 起 動 抵 抗 器 5. ラ ン ナ 掃 除 6. メ タ ル 点 検 7. インタクーラ 8. 振 動 9. 潤 滑 油 系 統 10. 油 フィ ル タ 11. 保 安 装 置					◎ ○ ○ ◎ ◎ ◎ ○ ○ ○ ○ ◎	1. 2. コイル面付着物の掃除，刷子ギャップ，メタルの点検 3. フィルタ冷却管の掃除，ダンパーの作動 4. NaOH の濃度，液の汚れ，駆動装置点検 5. 腐蝕の有無．リベットのゆるみ 6. 7. 気密および掃除 8. 9. 冷却効果，油冷却器および油槽の除じん，油交換ポンプ 10. フィルタの掃除 11. 作動点検．セット	メタルとギャップは年一度 点検周期は使用状態による 点検周期は使用状態による 点検周期は使用状態による ターボの場合振動は全振幅 0.03m/m以下 油交換は6箇月に1度を標準とする。	



分 類	機 器 名	点 検 項 目	点 検 周 期						点 検 内 容	備 考
			10日	20日	1箇月	3箇月	6箇月	1箇年		
		12. シリンダ内部およびバルブ 13. アンローダ			○				12. 異状摩耗点検 フレーム内の油は2箇月に1度取替え 13. 作動およびセット圧力点検	往復動の場合 (各種割ピン, ロックナット 回り止め座金など1箇月 1回点検)
Ⅲ	空 気 主 管	1. 温 度 リ レ ー 2. 空気自動放出弁 3. 水 滴 分 離 器 4. 油 分 離 器 5. 弁グランドおよびバルブ				○		○	1. 作動および目盛点検 2. 圧力SWソレノイド弁, 弁ストローク作動圧の点検 3. 腐食および抵抗 4. エレメント点検, 抵抗, 押え 5. グランド部の漏れ, 目盛り指示, 弁シート漏れ	
	切 替 弁 制 御 装 置	1. タ イ マ 2. 減 速 機 3. 配線端子増締 4. カム板の増締 5. 軸 受 部 6. 切 替 ノ ッ チ 7. 接 触 器 箱 8. 整 流 装 置				○ ◎		◎ ○ ○ ○	1. 指示時間の確認 2. 油の交換油面, 禁漏油 (M)ー(G r) カップリングゆるみ 3. 端子板の掃除, 増締 4. 増締, 掃除 5. 注油掃除 6. 各切替の動作点検 7. 掃除, 接触子点検 8. 掃 除	油交換周期は3箇月ごと (試運転時は500時間が標準)
	切 替 弁 (三 方 切 換 弁)	1. 弁 シ ー ト 2. 配 管 の 空 気 3. 電 磁 弁 4. 主 サ ー ボ 5. 副 サ ー ボ 6. 作 動 時 間 7. 作動空気圧保安装置 8. 作動空気フィルタ					○ ◎ ◎ ◎ ○ ◎	○	1. シート, グランドの漏り, 特に三方切換弁の場合にはゴムシート点検のこと 2. 作動空気配管漏り, 掃除 3. シート漏り, 掃除 4. 分解点検, 掃除, 注油 5. 分解点検, 掃除, 注油 6. 弁開閉所要時間, ニードル弁回り止のゆるみ 7. 作動点検 8. 掃 除	
Ⅳ	蓄 冷 器	1. 気 密 2. 抵 抗 3. 充 て ん 物 4. 逆 止 弁	◎					○ ◎	1. 本体の気密およびさび, ゆるみ点検 2. 上部, 下部および全体抵抗 3. 破損, 沈降の点検および補充 4. 内部点検, 掃除, 気密, 増締め	不純窒素放出時に測定 アルミリボンは腐食点検
	エコライザ	1. 充 て ん 物 2. 抽 気 逆 止 弁 3. 抽気逆止弁ヒータ						○ ○	1. 破損, 沈降の補充 2. 動作, 弁シート点検 3. ヒータ導通, ターミナル増締め過熱の有無	
	CO ₂ 除去器	1. 充 填 物						○	1. 破損, 沈降の点検および補充	
Ⅴ	膨 脹 タービン	1. 内 部 2. 軸受および軸 3. ブレーキ部分 4. ブレーキ配管 5. フ ィ ル タ						◎ ○ ◎ ◎ ○	1. ノズル, ランナ摩耗点検, 取付部増締め 2. 内部掃除, 軸受点検, 温度, 回転計 3. ブロワ, ブレーキ室内部点検 4. 金鋼の状態, 逆止弁の分解点検, 制動弁点検 5. 掃除点検	メタル温度測定は月1度 (サーモカップル被覆を溶かさぬよう保守)
	タービン 給油装置	1. フィルタおよびストレーナ 2. ポ ン プ 3. モ ー タ 4. 油 槽 5. 逆止弁および弁 6. 冷 却 装 置				○		○ ○ ○ ○	1. 掃除点検 2. レリーフ弁セット圧力の確認, 停電時給油能力 3. カップリング心内部掃除, 絶縁抵抗 4. 掃除点検 5. 漏れ点検 6. クーラの掃除	
	安全装置	1. 油 圧 リ レ ー 2. 回 転 計 3. 危 急 遮 断 弁			◎ ◎ ◎				1. 作動点検, 配線点検および増締め 2. 作動確認 3. 作動確認, サーボ空気配管の漏れ	回転計指標を下げて作動させる
Ⅵ	精 留 塔	1. 下 塔 2. 上 塔 3. 主 コ ン 4. 安 全 装 置						○ ○ ◎ ◎	1. 洗浄(四塩化炭素(CCl ₄))計器配管に液が残らぬよう注意 2. 洗浄(四塩化炭素(CCl ₄))計器配管に液が残らぬよう注意 3. 洗浄(四塩化炭素(CCl ₄))気密点検 4. 安全弁上塔圧力SW作動圧の確認	往復圧縮機の場合は6箇月ごと(ただし状況により短縮の必要なことあり) 気密点検は機会あるごとに行う
	液 空 フ ィ ル タ	1. フィルタの取替え 2. 充 て ん 物						○ ○	1. 点検した状態によって取替える 2. 破壊点検補充	
	副 コ ン	1. 加 温 2. 洗 浄 3. 安 全 弁			◎			◎	1. 管内, 外ドライアイス除去 2. 洗浄(四塩化炭素(CCl ₄)) 3. セット圧力の点検	精留塔と同時に行う
	アセチレン 除 去 器	1. 洗 浄 2. 安 全 弁						◎	1. 洗浄(四塩化炭素(CCl ₄)) 2. セット圧力の点検	
	レリーフ弁	1. 作 動 圧 力						○	1. 作動圧力のチェック	
Ⅶ	弁 類	1. 機器の切換弁 2. タービン出入口弁 3. 加 熱 弁 4. タービン出口三方弁 5. 主コン液酸弁 6. プ ロ ー 弁						○ ◎ ○ ○ ○ ○	1. 弁シートの漏れ 2. 弁シートの漏れ 3. 弁シートの漏れ 4. 弁シートの漏れ 5. 弁シートの漏れ 6. 弁シートの漏れ	

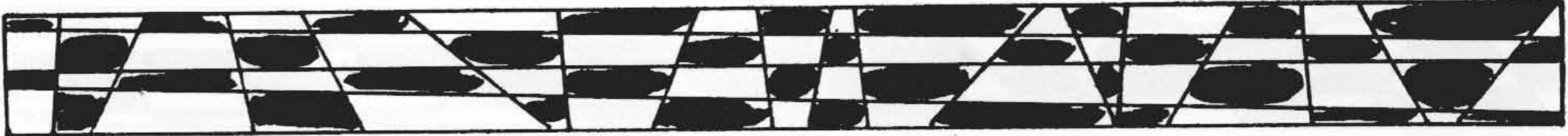


空気分離装置(TO-プラント)の
運転および保守

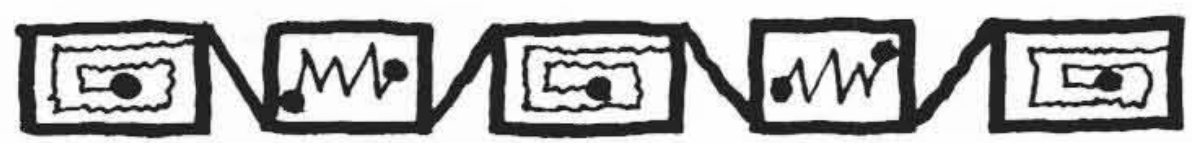
分類	機器名	点検項目	点検周期						点検内容	備考
			10日	20日	1箇月	3箇月	6箇月	1箇年		
Ⅶ	保冷槽	1. 水封安全器 2. 呼吸孔 3. 岩綿補充				○	○	○	1. 水面点検, 詰り 2. 充てん物の点検, 内圧の点検 3. 着霜部, 上塔上部	内圧は10~20mmAq. 以下
Ⅸ	蒸発冷却塔	1. 充てん物 2. スプレー 3. ストレーナ 4. 抵抗 5. フローメータ			○	○	○		1. 沈降の補充, 内部点検 2. 目孔掃除 3. 掃除点検 4. 抵抗増加の有無点検 5. 分解掃除点検	
	乾燥加温装置	1. 温水加熱器 2. ゲル塔 3. 再生加熱器 4. フローメータ 5. 温度制御装置					○	○	1. 水入替(3箇月が標準)腐食点検 2. 充てん物の点検補充, 逆止弁点検(6箇月ごと) 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 3. 温度計 4. 純度計 5. 膨脹弁 6. ハンプソン差圧計 7. 盤裏配管および配管					◎	○	1. 指示較正, 配管漏れ 2. 発振器零点チェック, 配管の漏れ 3. 配線の増締め, チェック点の確認 4. 指示較正, 配管漏れ, 警報装置点検 5. 弁取付部, スピンドル継手部 6. 0点, 液の入替え(1年ごと), 配管漏れ 7. 掃除, 配管の増締め	工業計器単独の保守点検は, 別途計器取扱説明書により行ってください。
	消音器	1. 取付ゆるみ						○	1.	
	放酸塔	1. 掃除						○	1. 内部点検	
Ⅹ	インタロック	1. DC電源喪失 2. ターボ吸込圧異常低下 3. ターボ冷却水断水 4. ターボおよびモータ軸受温度上昇 5. ターボ油圧低下 6. モータ温度上昇 7. 水洗塔水位異常上昇 8. 水洗塔空気圧低下 9. 上塔圧異常上昇 10. 圧縮機吐出温度上昇 11. 酸素送出圧負圧 12. 酸素送出圧異常上昇 13. 酸圧機停止				◎	◎		1. ターボ停止, 電気回路作動点検 2. ターボ停止, 電気回路作動点検 3. ターボ停止, 電気回路作動点検 4. ターボ停止, 電気回路作動点検 5. ターボ停止, 電気回路作動点検 6. ターボ停止, 電気回路作動点検 7. ターボ停止, 電気回路作動点検 8. 水ポンプ停止, 電気回路作動点検 9. ターボ停止(0.6~0.8kg/cm ²)点検 10. ターボ停止(0.6~0.8kg/cm ²)点検 11. 酸素送出弁放出に切替(0mmAq.)点検 12. 酸素送出弁放出に切替(350mmAq.)点検 13. 放出に切替, 点検	(注) 本項は一覧表としてまとめているので二重になっているものもあります。
	警報	1. ターボ油圧低下 2. アフタクーラ異常温度上昇 3. 水洗塔水位上昇 4. 水洗塔水位低下 5. 水洗塔出口空気温度上昇 6. 分析計純度低下 7. 前置冷却器断水					○	○	1. 警報, 電気回路作動点検(0.9kg/cm ²) 2. 警報, 電気回路作動点検(0.9kg/cm ²) 3. (ターボ圧縮機停止の場合もある) 4. (ターボ圧縮機停止の場合もある) 5. (ターボ圧縮機停止の場合もある)(40℃) 6. (ターボ圧縮機停止の場合もある) 7. (ターボ圧縮機停止の場合もある)	

付表2 TO-プラント潤滑油給油周期一覧表

機器名	注油部	給油周期				油の種類	給油取替量	備考
		1箇月	3箇月	6箇月	1年			
前置冷却器 ポンプ	モータメタル		◎			平軸受はモータオイルベアリングは250#ファイバグリース	給油	
	ポンプメタル		◎			グリース タービン油#90~140	給油	
空気 ろ過 器	A A F	フィルタ油 モータメタル 減速ギヤ その他摺動部		◎		ビスコサイン #90~140タービン油 モビール #30	不定量給油 給油 全量取替 給油	油だめの中に沈殿しているダストを除去 2月互に油量が不足する その補充
	ハ グ フ イ ル タ	ルーツプロワメタル モータメタル 減速機 チェーン ブローリングしゅう動部		◎		モビール #30 #90タービン油 モビール #30 グリースカップにはシリコングリースを使用のこと	給油 給油 給油 給油	ベアリングはファイバグリースギヤケース#140タービン油
ターボ圧縮機 およびモータ	モータメタル		◎			#90タービン油	給油	ターボ圧縮機の潤滑油と同一油圧配管になっている
	ブラシあげ装置用				◎	#90タービン油	給油	
	モータメタル 起動抵抗器用				◎	#90タービン油	給油	



機 器 名	注 油 部	給 油 周 期				油 の 種 類	給油取替量	備 考
		1 箇月	3 箇月	6 箇月	1 年			
	モーターメタル ギヤカップリング 圧縮機 メタルおよびギヤ 油ポンプモーターメタル				◎	シェルアルベニヤ No.2 グリース 高級石けんグリース 110 ダイナモ油 #90 タービン油 #90 タービン油	全量取替 半量取替	据付当初3箇月位の間は適 当な時期に取替える
往復動圧縮機 およびモータ	モーターメタル メンメタル大メタル 小メタルクロスしゅう動部 シリンダ関係 クランク関係		◎ ◎ ◎ ◎			#90 タービン油 #160, 120 マシン油 ダフニCS-85 3号コンプレッサ油 250 デイゼルエンジン油 #30 モビール油	給油 給油 全量取替 全量取替	据付当初は2〜3箇月およ びピストンリングを取替え た場合は指定量の1.5倍給 油
水洗塔ポンプ	モーターメタル ポンプメタル		◎ ◎			平軸受はモータオイルまたはタービ ン#90 ベアリングは250#ファイバグ リース, グリース タービン油#90〜140	給油 給油	
切替弁および 危急遮断弁	副サーボ 主サーボ グラインド				◎ ◎ ◎	シリコングリース グリース シリコングリース	全量取替 全量取替 全量取替	
切替弁制御 装置	リングコーン減速機 歯車 カム軸受 ウォーム減速機		◎ ◎ ◎ ◎			#90 タービン油 スピンドル油 スピンドル油 グリース	全量取替 給油 給油	最初500時間, その後は 2,000 時間ごと 必要最少限度に止め, 油で 汚さぬように注意してくだ さい
計器類	機 械 部 分	◎ ◎				時計油 シリコンオイル	給油 給油	計器取替説明書による機械 部分のみ スライド抵抗の掃除
膨脹タービン	給油装置			◎		#60 スピンドル	半年半量取替	



特 許 の 紹 介



特 許 第 268829 号

寺 田 進・橋 本 哲 夫

サ ン ド ポ ン プ の 吸 砂 管 操 作 装 置

この装置は、操作が簡便でよく沈砂(泥)池の砂を吸い上げることができるようにしたもので、つぎの5部分からできている。

- 1 沈砂池のふたの上に回転可能にとりつけた支持台
- 2 支持台の小穴およびふたの穴をとおして沈砂池内につき出させた昇降わく
- 3 昇降わくに昇降運動と揺動運動とを同時に与える機構
- 4 支持台に回転運動を与える機構
- 5 昇降わくにとりつけた吸砂管

ハンドル17の操作により歯車14を回すと、昇降わく11は吸砂管8をかかえたまま昇降する。それと同時に歯車15を経て扇形歯車16が回され、昇降わく11をかかえた揺動わく18が揺動させられる。がって、鉛直線と吸砂管8との間の傾き θ が変えられる。吸砂した管8は前記のように操作させられるのであるが、支持台21の Δ 21bからのつき出し長さLとその傾き θ との関係が常につき合っ

て、吸砂管の吸込端8aが池底2にはほぼ接近するよう各歯車の歯数をきめておく。

一方ハンドル19によりウォーム20を回すと、ウォーム歯車21aを介して支持台21が固定台10上を回される。

この装置によれば、サンドポンプ7を運転しておき、ハンドル17と19とを一人の運転手が順に動かすだけで、内部を見ることができない沈砂池1の底の沈砂を短時間中によく平らな掘り跡になるように吸い上げることができる。(富 田)

