

ガス圧送ステーション関連機器とエンジニアリング

Equipment and Engineering for Gas Pipeline Booster Stations

エネルギーの問題は、世界的に真剣に論じられる時代となり、原子力、化石燃料、水力及び太陽熱と総合的な開発計画が推進されている。埋蔵されたままの天然ガス、及び従来原油採掘時に随伴して発生し、多くはむだに廃棄されていた天然ガスの有効利用が叫ばれ、ガスを能率よく需要地に送るパイプラインの建設が近年盛んである。

長距離をパイプラインで輸送されるガスは、配管内圧力損失により減圧されるため輸送能力が著しく制限される。このため、パイプライン途中で昇圧し減圧分を補充して輸送能力を高めるガスパイプライン圧送ステーションが設置されるが、本稿では、このエンジニアリング内容とステーションを構成する機器について紹介する^{1),2)}。

青木 昱秀* Aoki Ikuhide

黒澤 優* Kurosawa Masaru

1 緒 言

日立製作所は10MW 2軸ガスタービンで駆動されるパイプライン圧縮機5台を主機とするガスパイプライン圧送ステーション全体の機器を完成し、昭和52年10月ソ連ガス工業省向け出荷した。このステーションはパイプラインガス圧縮機、ガスタービンなどの主機だけでなくスクラバ、配管、バルブ、受電設備、非常用ガスタービン発電設備、ステーションコントロール装置及び計装機器を含めて、全体を日立製作所が取りまとめて納入したものである。したがって、機器間の取合い、性能上のマッチングなどをはじめとして全体的にバランスのとれた計画ができたばかりでなく、計画～設計～製作～運転に至るまで一貫した責任体制をとることができた。

2 エンジニアリング

日立製作所は、パイプラインに関して事業部、関係工場、研究所を結ぶプロジェクト推進体制を整えて、機器の製作だけでなく、パイプライン全体の計画段階から参画して、ステーションの仕様決定、ステーションの建設、運転保守に至る顧客のニーズに応じている。その業務内容とエンジニアリングの分野は多岐にわたるが、その主要なものを次に挙げ説明する。

2.1 ステーション仕様決定

パイプラインの計画は、ガス埋蔵量、採掘計画、需要量の現状調査と将来予測とを行ない、技術的可能性と経済比較を考慮して実行される。これにより、パイプの敷設経路の計画、パイプサイズの決定、パイプライン圧送ステーションの設置位置及び構成機器が決定されるが、日立製作所は初期計画段階からライン全体の最適運転モードを検討して、構成機器、容量、台数、配列及び制御方式の決定に協力している。この段階では、気象条件、地理的条件及び輸送制御を含めて広範囲の条件が検討されるが、パイプライン全体と各ステーションの動特性シミュレーションプログラム、最適運転法プログラムが、制御方式、構成機器の決定に有効に利用される³⁾。

2.2 主機設計諸元の決定

要求されるステーション容量に合わせて、パイプラインガス圧縮機とその駆動機の性能諸元が決められる。パイプラインでは、その駆動エネルギー確保のためガスタービン駆動が有利

である。すなわち、ガスタービンは圧送しているガスそのものを燃料とするため、特別に燃料供給手段、あるいは電力供給ラインが必要とされない。その計画に当たっては、総合的な経済性及び運転制御性を考慮し、標準化されたガスタービンの中から適切な機種を選定し、ステーションを構成する台数及び配列を決定する。

パイプライン圧縮機は、ステーション出入口のガス条件から設計が始められるが、ガスタービンの諸元と合わせ最適な性能を得るために、圧縮機の形式、回転数などが決定される。

2.3 系統計画

ガス圧送ステーションの圧縮機は、その系の特質を考慮し、並列配置あるいは直列配置のいずれかに決定される。流量が多く、比較的流量変動が大きい場合には、小流量で大圧縮比の圧縮機を複数台並列に設置し、流量変動に対し台数制御を行なうことにより、部分流量での効率を高く維持する。一方、パイプラインの流量が比較的少なく、圧縮比が高いような場合には、直列配置が用いられることが多い。この場合、1台

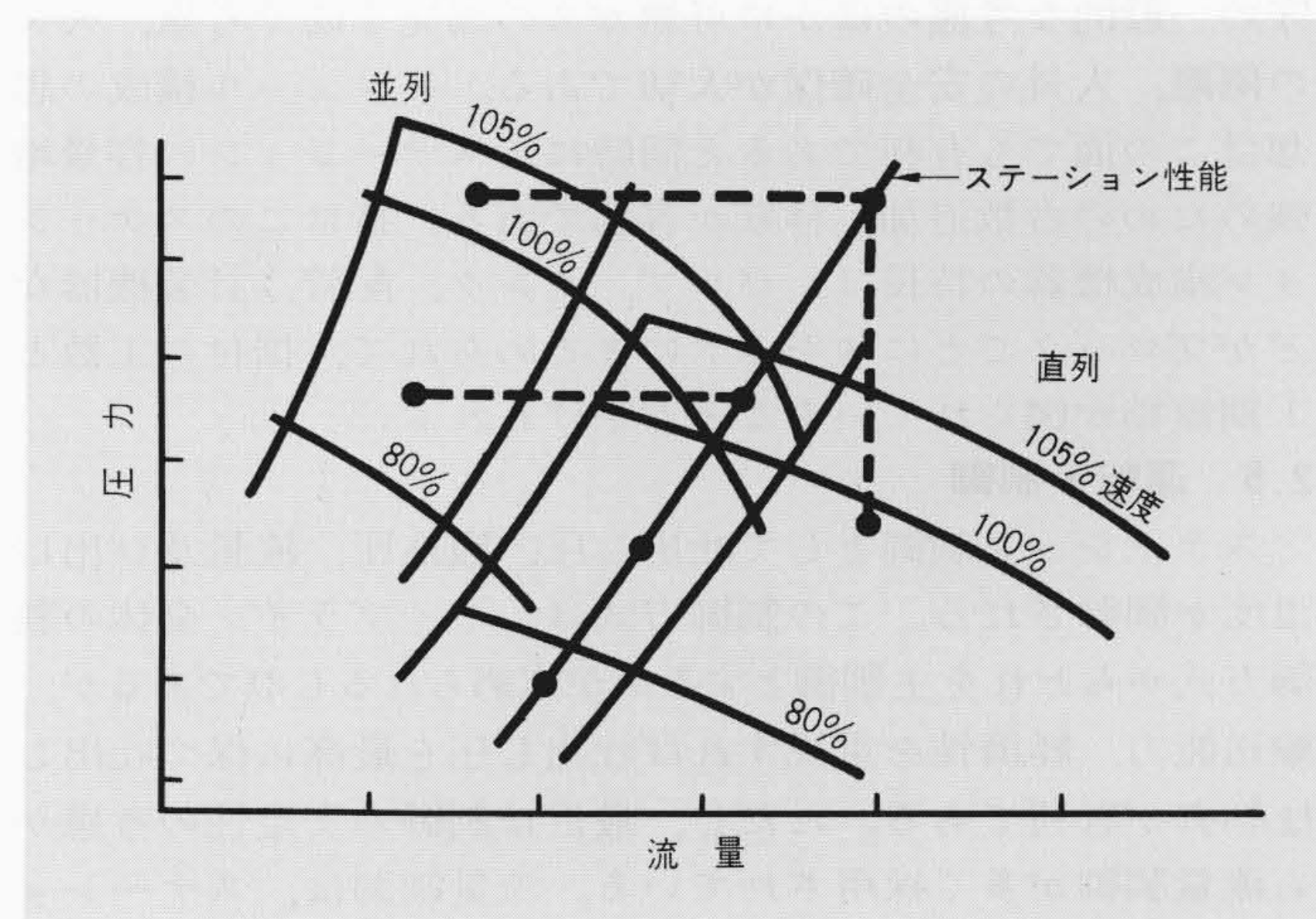


図1 2台ステーションの直列、並列配置の単機性能比較
2台並列配列の場合には、単機の性能は高圧縮比、小流量となるため、1台で2台分の流量は流せない。

* 日立製作所火力技術本部

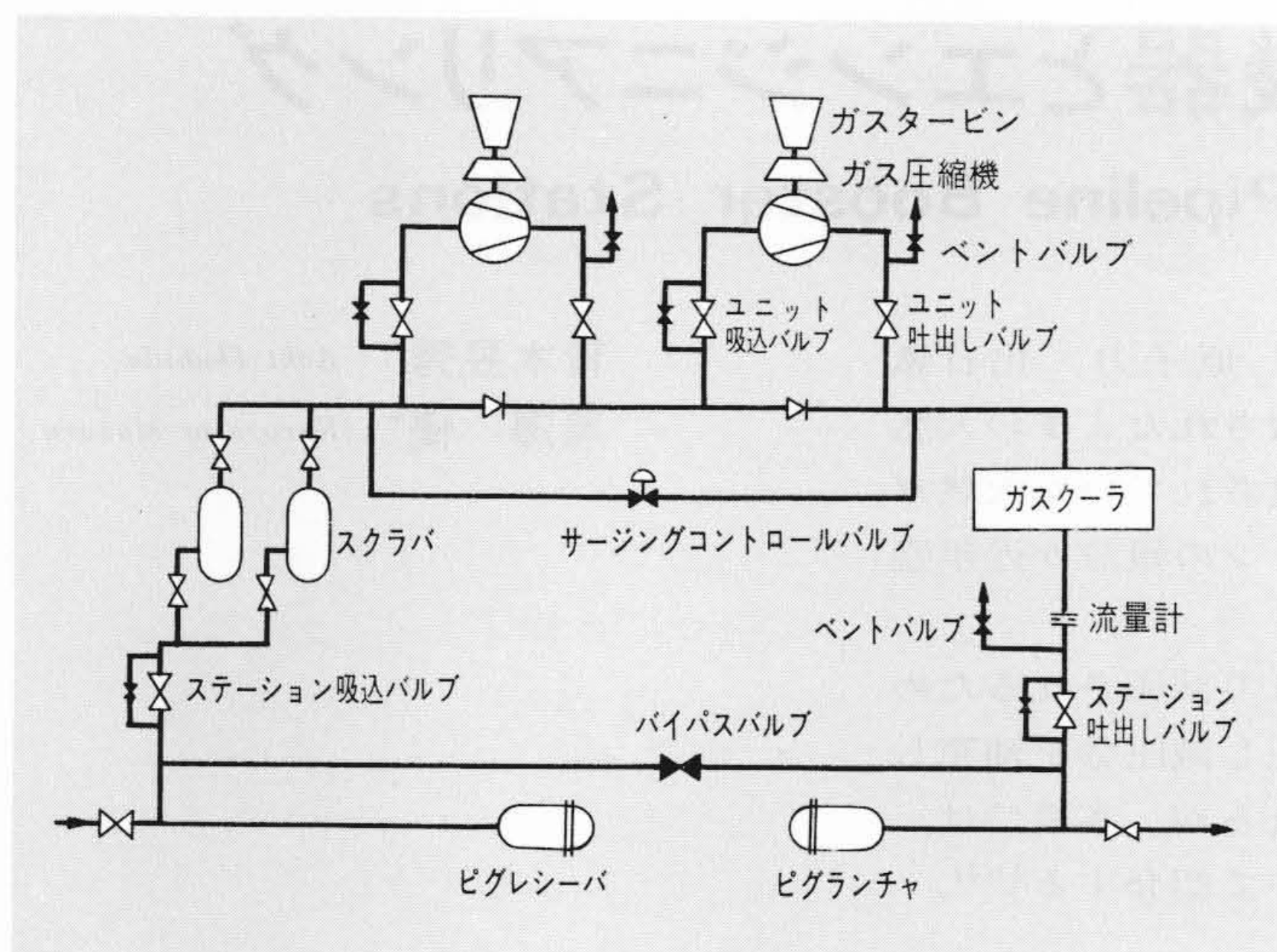


図2 直列配列ステーションの系統例 ガス圧縮機は、低圧、高圧の2段となる。

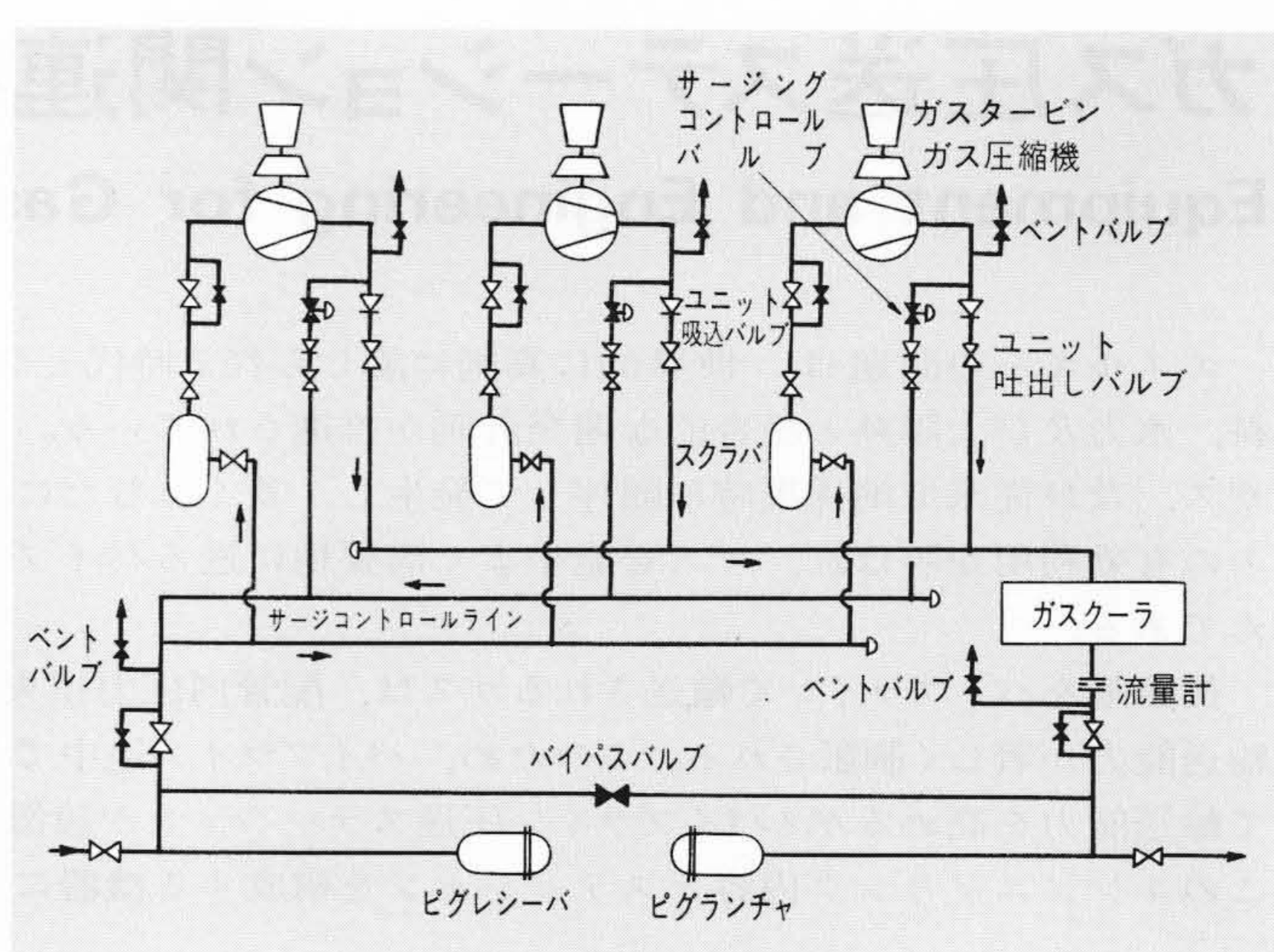


図3 並列配列ステーションの系統例 同一性能のガス圧縮機が吸入、吐出しヘッド間に配列される。

が停止しても、流量の低減が並列配置に比べ少ない特質がある。例えば、2台で構成されるステーションの場合には、直列配置のほうが、点検、保守などにより1台が停止した場合にも並列配置よりも、流せる流量が一般的に多い（図1参照）。更に、ユニットの追加起動、停止時にもユニット前後の差圧が無いために、サージング回避の上からの規制もなく運転が容易である。

3台以上のステーションの場合には、1台が停止しても低圧力比では全ガス量を残りの台数で処理が可能であり、全ユニットの運転条件を同じにできるので並列配列が採用される例が多い。この場合には全く同じユニットで構成できるため、互換性の上からも有利である。図2、3に、直列と並列の系統の一例を示す。

2.4 配置計画

ステーション全体の配置と1モジュール（1台のガスタービン・パイプラインガス圧縮機とそれに付随する補機を含めた単位を称する）の配置を図4、5に示す。

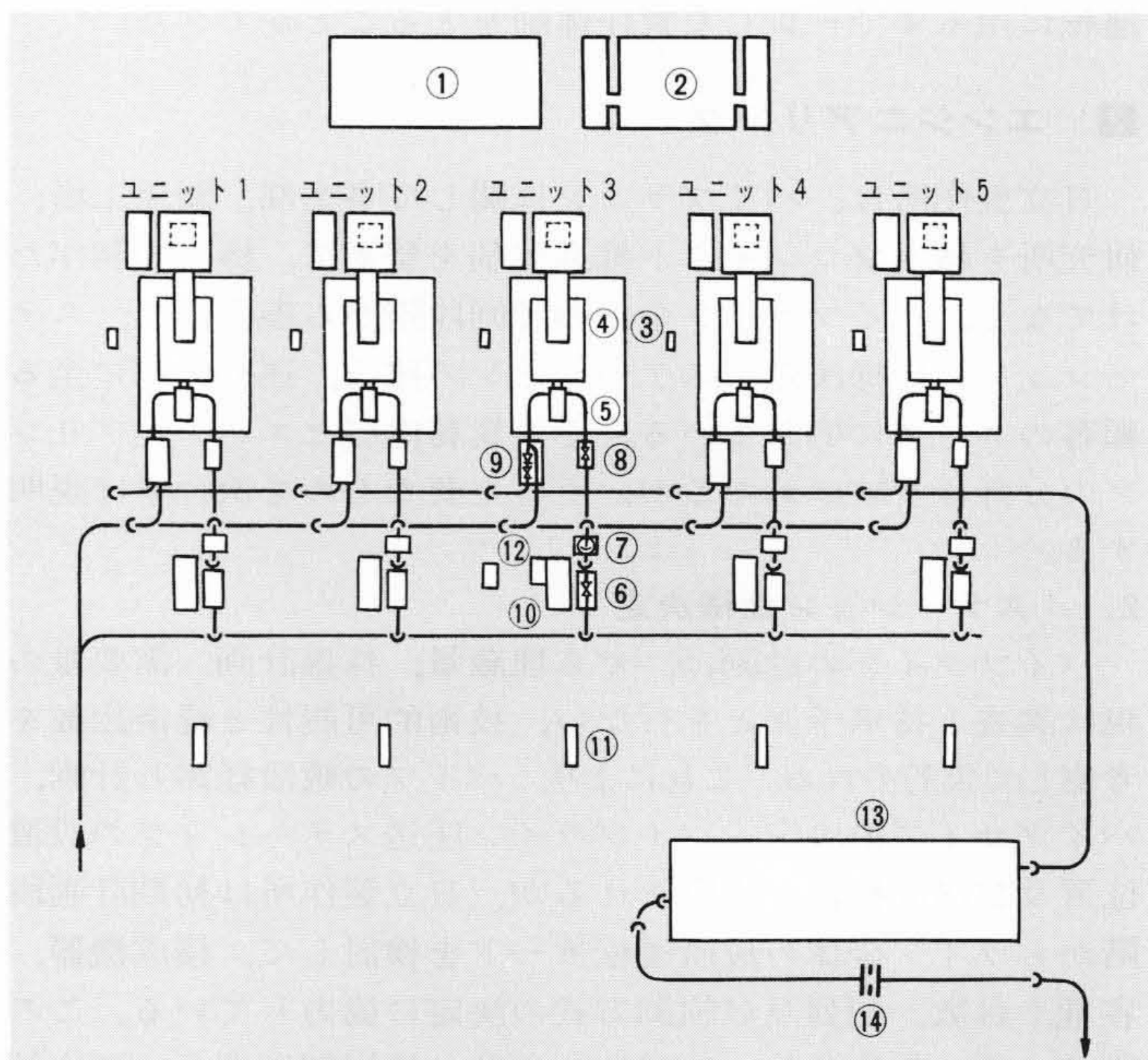
全体配置計画に当たっては、機器搬入、据付、運転及び保守の一般的な考慮のほか、可燃ガスの爆発を防ぐ考慮、火災の隔離、人員の安全確保が大切である。モジュール構成の思想はこの面でも有利であると同時に、ステーションの容量増強のための台数追加、移転が容易である。特にこのステーション構成機器の特長は、バルブ、タンク、配管、計装機器などがブロックごとにスキッドにまとめられて、据付の工数と工期短縮が図られていることが挙げられる。

2.5 運転・制御

ステーション制御として吐出し圧、吸込圧、流量及び出口温度が制御される。この制御方式は、パイプライン全体の制御方式からどれを主制御とするかが定められるものであるが、輸送能力、経済性を重視すれば吐出し圧を最高に保つ吐出し圧制御が有利である。ただし、最近は制御の安定性の考慮から流量制御が多く採用されている。流量制御は、ステーションの起動・停止、ユニットの自動追加起動・停止時の特性を考慮すると、吐出し圧制御時の極端な回転数変化と比較して安定した制御が得られる。いずれを採用するかは両者の特徴を比較して決定されるが、ライン全体の制御方式に合わせて、ステーション内の機器に対して出力変化率、回転数変化率の制限、サージングコントロールの特性などに十分な検討と対

策が必要である。

なお可燃ガスを取り扱うステーションであることから、爆発に至る事故原因と移行過程は熟考を要し、異常状態をいち早く検出して警報を発すると同時に、安全に停止させる非常停止に対する慎重な検討が必要である。すなわち、制御用電源の喪失、操作ガス圧の低下時にも確実な安全操作を確保しておくことが不可欠である。



No.	名 称	No.	名 称
①	電気室 受変電装置 非常用発電機 モータコントロールセンター	⑦	スクラバ
②	制 御 室	⑧	吸込バルブスキッド
③	タービン・ガス圧縮機室	⑨	吐出しバルブスキッド
④	ガスタービン	⑩	燃料処理装置
⑤	ガス圧縮機	⑪	ガスヒータ
⑥	スクラバ入口バルブスキッド	⑫	ドライヤスキッド
		⑬	ガスアフタークーラ
		⑭	流量計

図4 ステーション全体配置の一例 5台のガスタービン駆動ガス圧縮機の並列ステーションの一例を示す。

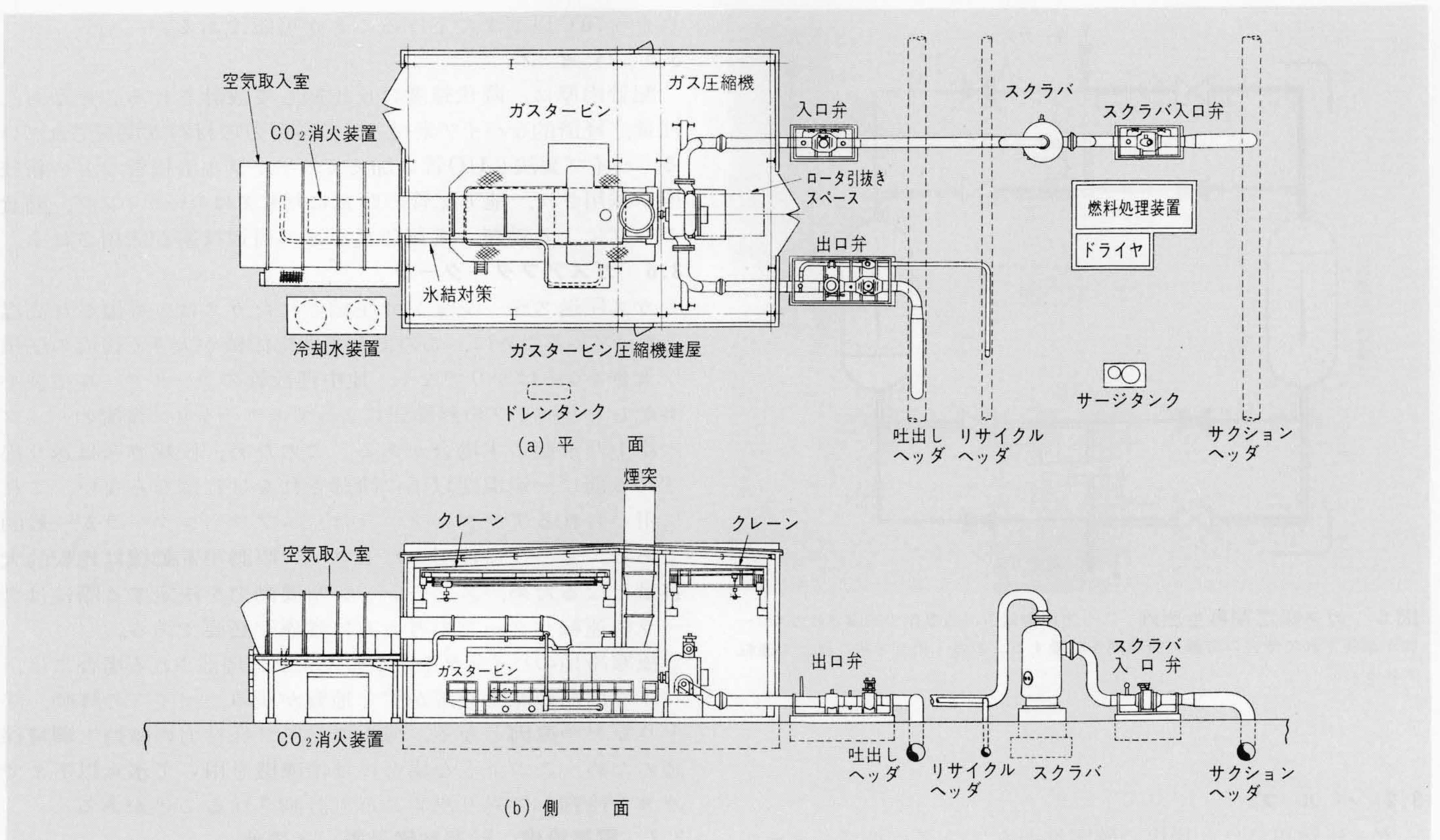


図5 ガスタービン、ガス圧縮機の1モジュール(単位)配置 ガスタービン、ガス圧縮機と付随する補機を組み合わせて1単位を構成する。このようなモジュールが、ステーション容量に合った台数だけ設置される。

ステーションは無人運転されることも多く、ステーション間距離も長いことから、長大なパイプラインの場合には集中コントロールセンターが設けられる。センターでは各ステーションの運転状態をマイクロウェーブその他の通信手段で把握して、更に各ステーションの運転を制御する。この場合には、機器の運転状態のほかにも気象条件、ステーションへの人の出入りなど、安全上の状態も監視される。

3 ステーション内補機

ステーションは、主機であるガスタービン、パイプライン圧縮機とそれに付属する装置のほかに主輸送ガスのパイプ、バルブ、ガス処理装置、制御機器、電気機器などによって構成される。これらの機器については、ステーションに設置されるための条件に対して特別に考慮すべき点が多い。

(1) 防爆

ステーション内は、防爆範囲に入る領域が広く電気機器はもちろん、他にも衝撃、静電気による火花の出ない構造が要求され、室内の換気とガス検知システムには十分な検討が必要である。

(2) 取り扱うガス性状に関するもの

ガスには硫化水素など腐食性の強い成分を含むものがあり、使用する材質に制限を受ける。残留応力の処理を含めて、応力腐食割れによる事故回避から熱処理、溶接法及び塗装にも特別な考慮を要する。

ガスはその成分によって条件は異なるが、種々の相変態を行なうため、液化点、水分の露点、圧縮係数などを十分に把握して管内の閉塞、氷結などに対してガスの除湿、加熱処理、あるいは機器の保温、加熱、ドレン排出などの対策が必要である。既設のパイプラインの事故原因となっているもの

の一つに、「水和物」がある。「水和物」は水とガスの包接化合物であり、その性質は湿った雪に似ているが、この堆積によってパイプの閉塞を引き起こすことがある。高圧下では 0°C 以上で発生する場合が多いために、閉塞すると致命的となる計装用機器や検出配管には、ガスの乾燥、加熱などの対策検討が大切である。

(3) 環境

パイプラインは山野河川を越えて長距離を結び敷設されるものであり、ガス圧送ステーションも居住区から相当に離れた場所に建設される。更に、無人で運転されるものが多く、事故は爆発という重大な事態に至る可能性もあるため、設置される機器には十分な信頼性が要求される。特に、屋外設置機器には周囲の気象条件により風雪、降雨、高低温及び塵埃に対して耐え得るように構造、材質及び塗装に工夫がおり、場合によってはカバー、保温などの保護が必要である。

極寒地のパイプラインの現地溶接には、周囲の悪条件にもかかわらず低温靱性と強度の確保はもとより、ガス中に含まれる硫化水素による腐食抵抗性も備えるため、ニッケルの含有量、硬度の制限も加えられる。日立製作所は、工場と研究所が主体となり要求に十分応じ得る溶接法を確立した。

3.1 スクラバ

パイプライン圧縮機に吸い込まれる輸送ガスからインペラ、シャフトの摩耗、シールオイルの汚れなどの原因となる塵埃、スケール、水分などの液滴を取り除く目的でスクラバが設置される。バッフルを用い流速を落として重力分離するもの、遠心分離を利用するもの、フィルタを用いて汜過するもの及びそれらを組み合わせたものなど種々の形式があるが、分離効率、圧損の大小、保守の難易、部分流量での性能比較を行ないその採用機種が決定される。

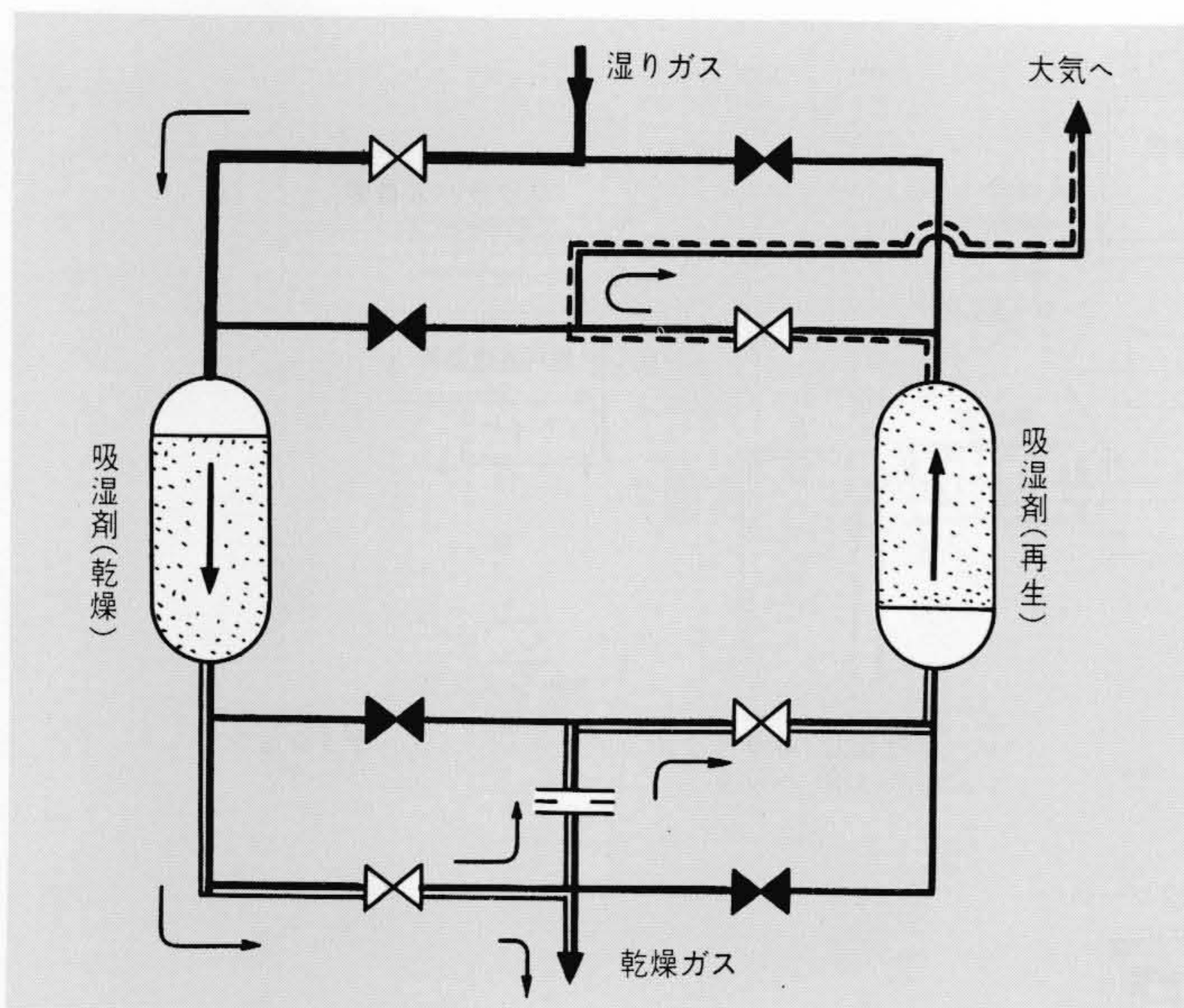


図6 ガス吸湿剤再生原理 一方の容器中の吸湿剤で除湿されガスの一部が減圧されて他方の容器の吸湿剤を乾燥する。乾燥・再生を繰り返して運転される。

3.2 バルブ

ガス圧送用には、操作の確実性からプラグバルブ、ボールバルブが広く用いられる。

バルブは、万一火災に合った場合でもガスを完全にシールするものでなくてはならない。このため、たとえ軟質のシールパッキンが焼失しても、金属シールが密着する「メタルタッチ」と称する構造が採用されている。更に、不完全なシールを補うものとしてシーリンググリスを注入して、完全シールを確保する構造となっている。

バルブアクチュエータは電動機、空気、あるいはガス圧を用いてバルブ開閉を行なうものがあるが、設置される場所、操作性、信頼性、バルブとの組合せなどから最適なものが選ばれ採用される。非常時に確実な操作を要求されるバルブアクチュエータには操作ガスの補助タンクを備え、操作ガス圧がなんらかの原因で一定値以下となった場合には、自動的に非常時のバルブ状態（例えばステーション出入口バルブは閉止、ベントバルブは開放）に操作される機能を備えている。

3.3 燃料ガス処理装置

この装置は、ガスタービンの燃料ガス、起動タービン用の作動ガスの要求条件に合うようにガス圧力、温度を調整する装置であり、セパレータ、減圧弁、サージタンクなどから構成される。減圧による温度降下の補充分も考慮して、減圧前にガスヒータが設置される。このヒータは、処理するガスの一部を燃焼させて熱源とし、水を中間媒体とする間接ヒータである。燃料処理装置を通ったガスの一部は、非常用発電ガスタービンの燃料、建屋暖房用ボイラの燃料にも用いられる。

3.4 ガス除湿装置

バルブ操作、計装制御用に使用されるガスは、結露、氷結などによる不具合を防ぐために、ガス除湿装置を通して乾燥させ、露点を環境温度の最低値以下まで下げる。図6はその一例を示すものであるが、乾燥剤であるモレキュラシーブの再生原理を示している。二つの系統をもち、一方の乾燥剤で乾燥されたガスで他方の湿った乾燥剤を再生させるものであり、再生に熱を使用しないため火災安全上の特長も備えている。乾燥、再生サイクルの切換タイマの設定によって、露

点を -70°C 以下まで下げることが可能である。

3.5 パイプ

配管肉厚は、降伏強度に反比例して設計されることから、軽量、経済的なパイプ素材として高耐力の材料が開発されている。パイプ製法もUO管に加えてスパイラル溶接管などの新技術が採用され、地下配管の腐食に対してはコーティング、防食テープによる被覆、電気防食などの周辺技術が活用される。

3.6 ガスアフタークーラ

ガス圧送ステーションで圧縮されたガスは、昇温され高温となっているために、このままでは比体積が大きく後流の圧損が大きくなるばかりでなく、地中埋設管のコーラール塗装を溶かしたりパイプの熱膨張によってステーション後流のパイプの浮上りを起こす場合がある。このため、圧縮ガスは送り出される前に一定温度以下に冷却されなければならない。これに用いられるアフタークーラは、エアフィンクーラが一般的である。クーラに使用されるファン駆動用電動機は比較的大容量となるため、ステーション所要動力を決定する際にはクーラの運転パターンの考え方に考慮が必要である。

極寒冷地のパイプラインで永久凍土に埋設される場合には、パイプ周囲の凍土を溶かすと地盤が緩み、パイプの移動、浮上りなどの原因となる。凍土のパイプ保持力の維持と環境保護のため、このような場合には冷凍機を用いて氷点以下までガスを冷却して送り出すことも計画されることがある。

3.7 電気設備、計装制御装置、その他

外電を受けられるステーションには受変電設備が設置され、更に継電気、非常用発電機など適宜な装置が据え付けられる。非常用発電機はガスタービン、ガスエンジンなどが多く用いられるが、非常時には短時間で電力需要に応じられるよう常時ウォームアップの状態におかれるよう潤滑系の加熱を連続して行なうとともに、定期的な試験運転を行なっている。

制御装置としては、ガスタービン、ガス圧縮機のユニット制御パネルとステーション制御パネル、各補機に付設されるドレン制御、水位制御、温度制御、圧力制御などのローカル制御機器が挙げられる。圧力トランスミッタ、圧力スイッチ、流量計、温度計などの計器類とともに、使用条件に合った機種選定と十分な信頼性確認の上設置されなければならない。

4 結 言

ガスパイプライン圧送ステーションは、その設置される場所の地理的条件、規模、ガス需要供給の相関関係などによって、その構成内容も使用される機器の形式にも大きな相違がある。ここに紹介したものはその一例に過ぎない。本稿によってステーションの概容とエンジニアリングの概念を把握された上で、現存のステーションにも多くの相違点があること、また今後計画されるステーションには幾多の応用、改良が加えられるものであることなどを理解されたい。

日立製作所は、上述のように総合的なエンジニアリングと製作能力を備え、パイプライン業務の実行に当たり今後の改善・改良をも含めて前向きな体制を整えている。

参考文献

- 1) 安田：ガスパイプライン用ブースターステーション，産業機械，No. 325，107（昭52-10）
- 2) 久保田ほか1名：天然ガスパイプラインブースターステーション，日立評論，60，199（昭53-3）
- 3) 油井ほか2名：ガスパイプラインシステムの計画と制御，日本機械学会誌，80，708，1133（昭52-11）