

# 燃料ガスの輸送と貯蔵

## Transmission and Storage of Fuel Gas

住友 宏\*

Hiroshi Sumitomo

### 1. はじめに

都市ガスを始めとする燃料ガスの輸送および貯蔵技術は、需要家数および需要家の密度等によって、その方法が大きく異なってくる。一般に、需要家の規模がある程度以上になると、都市ガスで利用されているように、ガス工場で原料から燃料ガスを製造（あるいは発生）させ、導管を利用して需要家まで供給する方式が採用される。一方、需要家の規模、密度が小さい場合には、プロパンボンベによる供給に見られるように原料を需要家まで輸送し、そこでガスを発生させる方式が利用されている。

ここでは、前者の、燃料ガスを集中して製造し導管を用いて供給する方式について、都市ガスを例にとり、その輸送および貯蔵技術の概略を紹介する。

### 2. 都市ガスの輸送と貯蔵のシステム

#### 2.1 輸送システム

ガス工場で製造されたガスは、導管を利用して需要家まで輸送される。ガスの輸送方式は、導管内を流れるガスの圧力から、低圧輸送、中圧輸送、高圧輸送に分類される。

##### (1) 低圧輸送

低圧輸送は、ガス工場から直接需要家までガス機器の使用圧力（通常数百ミリ水柱の圧力）でガスを輸送する方式である。この方式では輸送用の導管から直接需要家にガスを供給できるため、複雑な輸送設備を必要としない。しかしながら、ガスの輸送量が多い場合や長延長を輸送する場合には、大口径の導管が必要となるため工事費が増加する。このため、低圧輸送は小規模の需要に対応するのに適した輸送方式である。

##### (2) 中圧輸送

中圧輸送は、ガス工場から中圧（ $1 \text{ Kg/cm}^2\text{G}$ 以上 $10$

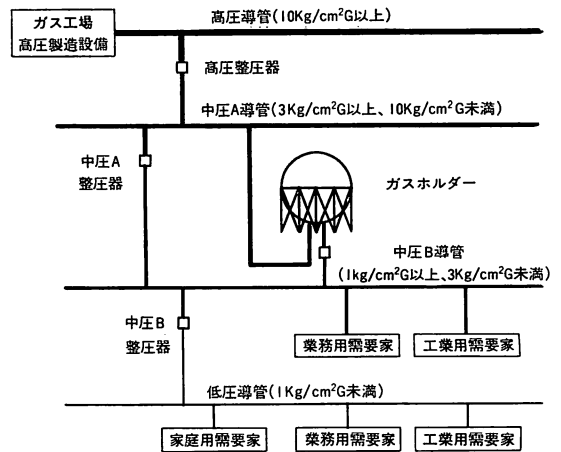


図-1 高圧輸送方式の一例

$\text{Kg/cm}^2\text{G}$ 未満の圧力）でガスを送出し、整圧器を用いて低圧に圧力を落とし需要家まで輸送する方式で、工場から中圧 B（ $1 \text{ Kg/cm}^2\text{G}$ 以上  $3 \text{ Kg/cm}^2\text{G}$  未満の圧力）で送出し低圧に整圧する方式と工場から中圧 A（ $3 \text{ Kg/cm}^2\text{G}$ 以上  $10 \text{ Kg/cm}^2\text{G}$  未満の圧力）で送出し、中圧 B に整圧したのち、さらに低圧まで整圧する方式がある。中圧輸送は輸送量が多い場合、あるいは輸送距離が長い場合には、低圧輸送に比べて導管の工事費が割安になるため、都市内のガスの輸送に適している。

##### (3) 高圧輸送

首都圏、近畿圏等のガスの需要密度の高い地区では、図-1に示すようにガス工場から高圧（ $10 \text{ Kg/cm}^2\text{G}$ 以上の圧力）で送出し、高圧整圧器で中圧 A に整圧し、中圧 A 整圧器で中圧 B に整圧、中圧 B 整圧器で低圧に整圧し需要家にガスを供給する高圧輸送方式が採用されている。高圧輸送ではガス工場から一般の需要家までの間に4種類の導管ネットワークがあり、輸送方式は複雑になるが、大都市圏のように複数の都市をまたがってガスを輸送する場合には、製造設備の集約および導管工事費の削減といったメリットがある。

\*大阪ガス(株)供給管理部計画チーム係長  
〒541 大阪市東区平野町5-1

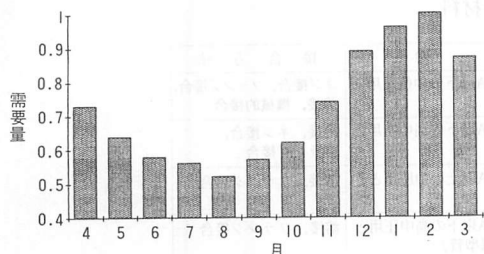


図-2 月別のガス需要量の例 (最大需要月を1.0とする)

## 2.2 貯蔵システム

ガスを貯蔵するための設備としてガスホルダーがある。ガスは圧縮性の流体なので高い圧力でガスを輸送する場合、導管自体の容積である程度までのガス量を貯蔵することができる。しかしながら、一般にガスの需要量は、図-2に示すように季節によって大きく変動する他、後に示す図-5のように一日のうちでも時間帯によって大きく変動する。このため、ガスホルダーを利用して、製造設備および導管の容積で対応できない需要の時間的な変動を補完している。また、ガスホルダーを需要地点の近傍に設置しておくで夜間の需要量の少ない時間帯にガスホルダーにガスの受入れを行い、需要量の多い時間帯にガスを払い出すため、輸送用導管の負荷量を平準化することができる。さらに、工事等によって輸送用導管の使用が制約される場合にも、供給の信頼性を確保することができる。

## 3. 輸送技術

### 3.1 導管の設備計画

ガスの需要が発生するとまず、その需要に対応するための導管の設備計画を検討することが必要となる。検討の対象としては、想定された需要量に対応するために必要な導管の圧力、口径、敷設ルート等がある。

定常状態のガスの流れの場合、ガスの輸送量、圧力、延長、導管の口径、およびガスの比重の間には次の関係があることが知られている。

$$Q = K \cdot \sqrt{\frac{(P_a^2 - P_b^2) \cdot D^5}{S \cdot L}}$$

ここで、 $Q$  : a点からb点に流れるガスの流量( $m^3/h$ ),  
 $P_a$  : a点からのガスの送出圧力( $Kg/cm^2 Abs$ ),  
 $P_b$  : b点におけるガスの到達圧力( $Kg/cm^2 Abs$ ),  
 $D$  : 導管の口径(cm),  
 $L$  : a点とb点間の距離(m),  
 $S$  : ガスの比重(空気=1.0),  
 $K$  : 定数

である。

上式から明らかなようにガスの輸送量は、送出圧力の二乗と到達圧力の二乗の差の平方根および口径の2.5乗に比例する。従って、送出圧力を高く取り、導管の口径を大きくすればガスの輸送量を増やすことができる。

導管の敷設ルートは、埋設環境、施工の難易度、工事費用、工期、ならびに需要開発効果等を考慮した上で選定される。一般にガス導管は、道路に埋設されるが、小河川、水路等を横断する場合には、下越しあるいは橋梁添架等が行われる。また、河川の幅が広い場合や海を横断する場合には、単独橋や単独トンネルを利用して配管されたり、海底に直接敷設される場合もある。

一度、道路等に埋設されたガス導管は、口径変更等のための入替が容易に行えないため、主要な導管の設備計画は、十分な検討を行った上で選定されている。

### 3.2 ガスの送出方法

ガス工場で高圧の製造設備を利用してガスが製造されている場合には、製造されたガスの圧力を利用して直接、高圧導管にガスを送出することができる他、整流器を利用して中圧導管にガスを送出することもできる。一方、低圧のガス製造設備等を利用して必要な送出圧力が確保できない場合には、圧送機を用いて送出するガスの圧力を昇圧する場合もある。圧送機には、往復式圧送機と遠心式圧送機があり、前者は低圧から高圧までの広い範囲で利用され、後者は一般に低圧で大容量の場合に利用されている。

### 3.3 導管の材料と接合方法

導管の設置される環境は、土中から架空部に至るため、導管材料およびその接合方法は、それぞれの環境に応じて安全かつ確実にガスが輸送できるものでなければならない。導管の材料については、法律（ガス事業法）で規定されており、主として導管の最高使用圧力を考慮して、材料が選定される。現在、鋼管、鋳鉄管、ポリエチレン管が広く使用されており、表1にその詳細を示す。

導管の接合方法は、導管の最高使用圧力、材料、用途等に応じて溶接、フランジ接合、機械接合、ネジ接合、融着等の方法が利用されている。導管の接合部分において、第一に要求される性能は、気密性である。導管には、地盤の不等沈下、温度変化等により、外部から大きな力がかかる場合もあるため、接合部分については可とう性、伸縮性についても十分な検討がなされている。

表1 導管の主要材料

材 料 名	用 途	接 合 方 法
日本工業規格 (JIS G 3452) 配管用炭素鋼鋼管	SGP 主として400 A以下の中低圧用として使用	ネジ接合、フランジ接合、溶接、機械的接合
日本工業規格 (JIS G 3454) 圧力配管用炭素鋼鋼管	STPG38、STPG42 主として350 A以下の高中圧用として使用	溶接、ネジ接合、フランジ接合
日本工業規格 (JIS G 3457) 配管用アーク溶接炭素鋼鋼管	STPY41 主として400 A以上の中圧用として使用	溶接、フランジ接合
日本工業規格 (JIS G 3456) 高温配管用炭素鋼鋼管	STPT38、STPT42 主として500 A以下の高中圧用として使用 (異型管)	溶接、フランジ接合
アメリカ石油協会規格 (API 5L) ラインパイプ	X42, X52, X60, X65 主として400 A以上の高中圧用として使用	溶接、フランジ接合
日本工業規格 (JIS G 5502) 球状黒鉛鋳鉄品	FCD40, FCD45 主として100 A以上の中低圧用として使用	機械的接合、ガス型接合
日本工業規格 (JIS G 5501) ねずみ鋳鉄品	FC25 主として100 A以上の中低圧用として使用 (異型管)	機械的接合、ガス型接合
日本工業規格 (JIS G 5702) 黒心可鍛鋳鉄品	FCMB28 主として80 A以下のネジ接合および機械接合の継手部分に使用	
日本工業規格 (JIS K 6774) 都市ガス用ポリエチレン管	主として100 A以下の低圧用として使用	融着、機械的接合
日本工業規格 (JIS K 6775) 都市ガス用ポリエチレン管継手		

### 3.4 導管の配管設計

導管の敷設される場所は、道路等の土中に埋設される部分 (一般埋設部) と橋梁に添架される部分のように埋設されずに支持、拘束される部分 (特殊部) に大きく分けることができる。一般埋設部には、ガスの内圧、土圧および車両の重量による荷重の三種類によって生ずる応力が許容応力を越えないような管厚を持った導管を敷設する必要がある。通常、配管に利用されている導管は、十分な機械的強度をもった材料および接合方法が使用されているので、一般埋設部の導管については、道路等が掘削されたときに損傷を受けにくい位置に敷設すれば問題ない。

特殊部の設計では、主荷重としてガスの内圧、自重、土圧および車両の重量による荷重が考慮され、従荷重として風荷重、雪荷重、温度変化荷重、地震荷重が考慮される。これらの荷重によって発生する応力が許容応力を越えないような配管の設計を行う必要がある。特殊部の応力吸収方法としては、曲り管 (ベンド) と直管を組合せて可とう性配管をつくり伸縮を吸収する方法 (ループ配管) および伸縮継手を利用する方法が広く利用されている。

### 3.5 整圧器

整圧器は、高圧から中圧 A、中圧 A から中圧 B または低圧、中圧 B から低圧にガスの圧力を調整するためのものであり、二次側圧力を信号源とし、一次側圧力または二次側圧力を駆動源として作動する自力式圧力調整弁である。整圧器の機能は、一次側圧力の変動および二次側の負荷流量の変化に関係なく、二次側

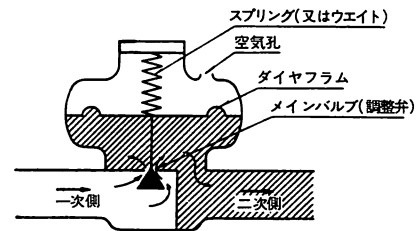


図-3 直動式整圧器の構造例 1)

圧力を所定の圧力 (この圧力を設定圧力と呼ぶ) に保つことである。

整圧器には、直動式のものと同パイロット式のものがあり、パイロット式のものには、駆動圧力が增大すると開度が減少する型式のもの (アンローディング型) と駆動圧力が增大すると開度が增大する型式のもの (ローディング型) がある。直動式整圧器とパイロット式整圧器を比較した場合、前者は動特性に優れ、後者は静特性に優れている。このため、小流量で二次側の流量の変動が大きい場合には、直動式整圧器が利用され、その他の場合には、パイロット式整圧器が利用されることが多い。図-3に直動式整圧器の構造例を示す。

整圧器の基本的な作動原理を直動式整圧器を例に解説すると以下のようになる。まず、二次側圧力が設定圧力に等しくなっている場合には、ダイヤフラムにかかる二次側圧力とスプリングの力が釣り合っているためメインバルブは動かず、メインバルブを経由して一定量のガスが二次側へ流れる。

次に、二次側の需要量が減少すると二次側の圧力が

設定圧力以上に上昇しようとする。このため、ダイヤフラムにかかる力がスプリングの力に打ち勝ちダイヤフラムを上方に動かし、ダイヤフラムに直結したメインバルブをも上方に移動させる。これに伴いメインバルブを通過して二次側に流れるガス量も減少し、二次側圧力は設定圧力にまで低下する。

逆に、二次側の需要量が増加すると二次側の圧力が設定圧力以下に低下しようとするため、ダイヤフラムおよびメインバルブが下方に移動する。これに伴いメインバルブを通過して二次側に流れるガス量も増加し、二次側圧力は設定圧力に回復される。

#### 4. 貯蔵技術と供給管理

都市ガスの貯蔵を考える場合、その最大の特色は、ガスの貯蔵が主として一日の需要量の変動に対応するために行われているという点である。これは、需要量の季節変動に対する備蓄としては、ガスの製造原料となるLNG、LPG、石炭等の備蓄で対応でき、原料備蓄の方がガス状態で備蓄より経済的であることによる。(天然ガスの場合、LNGの状態では貯蔵すると体積は、ガスの状態の1/600となる。)このため、ガスの貯蔵は一日の需要量および製造設備の稼働状況と密接な関係がある。

##### 4.1 貯蔵技術

ガスの貯蔵設備としては前述したようにガスホルダーが一般的に利用されている。ガスホルダーには、主として中圧で利用される球形ガスホルダーの他、低圧で利用される有水式ガスホルダーおよび無水式ガスホルダーがある。ここでは、都市ガス用のホルダーとして広く利用されている球形ガスホルダーの概要を紹介する。

球形ガスホルダーは、図-4に示すような形態をしており、鋼材を所要の形状にプレス加工したものを溶接し球形に組立て、赤道部に取り付けた円筒形の支柱で支えている。支柱は、球体の自重、風荷重、地震荷重等に対して安全であるよう設計され、支柱間にタイロッド等の斜材があり、水平方向の力を基礎に伝達している。ホルダーの付属設備としては、ガスの出入管、ドレーン抜き、圧力計、温度計、安全弁および点検作業用の歩廊、階段、マンホール等が設けられている。導管とホルダーの連絡部分には、温度および圧力の変化による球形自体の膨張収縮ならびに外力による球体の変形に対応するため、導管の伸縮を吸収するための措置(ループ配管、伸縮継手)が施される。

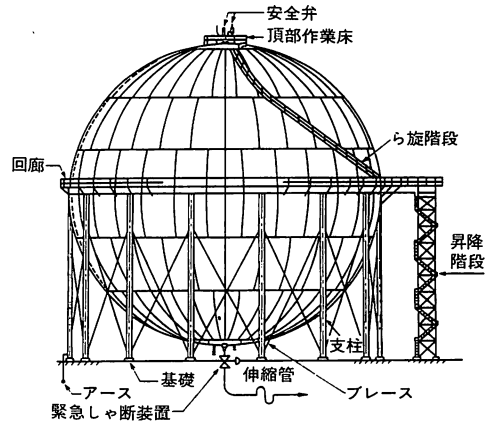


図-4 球形ガスホルダー

球形ホルダーを他のタイプのホルダーと比較した場合、単位貯蔵量当りの敷地面積が少ない、ガスの送出にホルダー内の圧力を利用できる等のメリットがある。

球形ホルダーは、通常、中圧A導管からガスを受入れ、中圧Bラインへガスを送出する形態で運用される。受入れにあたっては、流量制御弁(Flow Control Valve: FCV)を用いて単位時間当たり一定量ずつのガスをホルダー内に貯蔵してゆき、ホルダー内のガスの送出にあたっては、整圧器を用いて一定の圧力でガスを払い出す場合が多い。

##### 4.2 供給管理

需要家へ安定した供給を確保するため、ガス製造設備、ガスホルダー、整圧器を安全かつ効率的に運用、管理することを供給管理という。ガスの輸送および貯蔵といった観点から供給管理を考えた場合、刻々変化する需要量を予測し、ガスの製造量、導管網の圧力および貯蔵量を適切に管理することが重要となる。

###### (1) 需要量の予測

ガスの需要量は様々な要因により、日々刻々変化する。例えば、図-2に示したように季節によって大きな変動を示すと共に、平日と休日によっても需要量は変化する。また、一日を通じてみれば一般に夕方が需要量のピークとなり、深夜には極めて少ない需要量となる。さらに、需要量は天候によっても変化し、特に冬期においては気温の影響を大きく受ける。

毎日の供給管理にあたっては、一日の需要量、ピーク時間、およびピーク時間における送出量を予測することが必要である。一般には、過去のガスの送出実績をもとに当日の気温、曜日等を考慮して送出量を予測する。送出量の定量的な予測方法としては、以下のような気温を用いた一次回帰式が利用される場合がある。

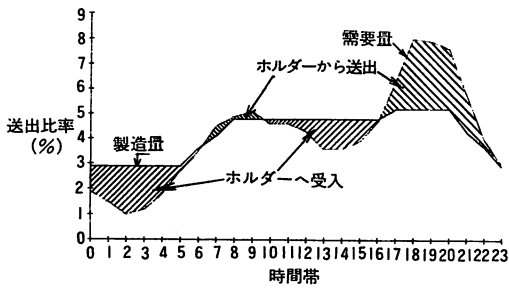


図-5 製造量と需要量の関係

$$Q = b - a \cdot T$$

ここで、 $Q$ は一日の送出量を表し、 $a$  および  $b$  は最小二乗法等の手法によって求まる係数である ( $a, b > 0$ )。また、 $T$  は実感気温と呼ばれ、当日の予想気温と前日の実績気温で定まるもので、

$$T = (w_1 \cdot T_1 + w_2 \cdot T_2) / (w_1 + w_2)$$

によって与えられる。ただし、 $T_1$ は前日の平均気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T_2$ は当日の予想気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $w_1, w_2$ は、重み係数である。 $w_1, w_2$ の値はモデルにより異なるが、例えば  $w_1 = 0.5, w_2 = 1.0$  といった値が採用される。このモデルからも明らかのように、送出量は、需要家の実感気温によって大きく変わることが知られており、二日以上連続して寒い日が続くと需要量が大幅に伸びる傾向がある。

## (2) 製造量および貯蔵量の管理

ガスの製造設備では、需要量に応じた量を製造すればよいが、現実には設備の能力、効率、操業上の特性等の関係で時間毎の需要量に完全に対応してガスを製造することは不可能である。このため、図-5に示すように製造量が需要量を上回る深夜の時間帯等にホルダーにガスを受入れておき、需要量が製造量を上回るピークの時間帯等にホルダーからガスを送出し、需要量の変化に対応するとともに、製造設備の運転を平準化している。

一日の製造貯蔵計画は、需要予測に基づき行われるが、現実には時間当りの正確な需要予測は難しい。このため、ガスの製造および貯蔵は1~2時間おきに実績を把握し、予測に修正を加えながら行われている。

## (3) 輸送圧力の管理

ガスの輸送圧力が通常の運用圧力より異常に低下したり上昇したりすると整圧器の作動不良等のトラブルの原因となる。このため、ガス工場からの送出圧力および整圧器の二次側圧力の管理には、十分、注意を払う必要がある。

日常の輸送圧力の管理では、ガス工場および主要導管の整圧器、バルブステーション等には、テレメータが取り付けられ、リアルタイムでの圧力監視が行われている。また、輸送上重要な整圧器およびガスホルダーでは、テレコントロールにより、整圧器の設定圧力の変更、バルブの開閉が行われている。これらの輸送圧力の管理は、製造量および貯蔵量の管理とあわせてコントロールセンターで行われている。

このほか、新規需要が発生した場合の対応あるいは工事等により導管を切断した場合の輸送状況を検討するため、コンピュータを利用して導管網の圧力および流量をシミュレートする手法（導管網解析）も開発され利用されている。

## 5. おわりに

都市ガスの輸送および貯蔵技術は、天然ガスの導入と需要構造の変化により、徐々にではあるが、質的に変化してきている。

従来の石炭あるいはLPGを原料とした都市ガスの場合、1 m<sup>3</sup>当りの発熱量は4,000~7,000Kcalであったが、天然ガスの場合、11,000Kcal程度の発熱量が得られる。従って、同じ量の需要に対応するのに必要なガス量は、天然ガスの場合、従来の約半分で良いことになり、導管および貯蔵設備の負荷は大幅に軽減されてきている。

一方、都市ガスの需要構造は従来の家庭用中心から業務用、工業用の分野へもシフトしつつある。特に近年、コージェネレーション等の、従来より高いインプット圧力を要求する需要形態が普及しつつあり、需要家サイドのニーズは、従来の「量」だけのものから「量と圧力」に変化しつつある。この傾向は輸送量を平準化するのに寄与している反面、負荷量の地域的集中あるいは24時間連続使用といった形で、より一層の安定供給をガス事業者に求めている。

本格的な複合エネルギー時代の到来を受けて、都市ガスの輸送および貯蔵技術は、従来からの「量を輸送する」技術から、「量および圧力を安定して輸送する」技術に移行しつつあると言えよう。

## 参考文献

- (1) (社)日本ガス協会；都市ガス工業概要 I (実務編) (1981)
- (2) (社)日本ガス協会；ガス事業便覧 昭和62年版 (1987)
- (3) 資源エネルギー庁公益事業部ガス保安課監修；ガス工作物技術基準の解説 (1988)、ぎょうせい