

地下岩盤空洞を利用した都市ガス貯蔵の運用・経済性について

OPERABILITY AND ECONOMIC VIABILITY OF CITY GAS STORAGE ROCK CAVERNS

澤 一男*・臼井 岳**・香川尚久***・八田敏行****・

Kazuo Sawa・Takeshi Usui・Naohisa Kagawa・Toshiyuki Hatta,

City gas can be stored at high pressure in caverns excavated in the rock with air-tight material applied to the internal surface of the storage tank. The storage method is expected to be effective in Japan that is not endowed with salt-bearing formations unlike in the Western world. Japan Gas Associations has been studying the techniques for storing city gas in rock caverns since 2000 at the request of the METI of Japan. This paper reports the operational and economic aspects of the past studies. It mainly refers the scale of the cavern assumed for studying operability and applicability, study results and a comparison with competitive storage facilities in Japan.

Keywords : rock, city gas, natural gas, storage, lined

1. はじめに

天然ガスは、埋蔵量が豊富でかつクリーンなエネルギーであることより今後の需要拡大が予測されている。このためパイプラインなどの整備に加えて貯蔵施設の役割が重要となる。都市ガス岩盤貯蔵とは、岩盤を掘削して人工空洞を構築し、貯槽の内面に気密材を施すことで高圧の都市ガス貯蔵を可能にするものである。欧米に分布する岩塩層に恵まれない我が国においては有力な貯蔵方式として期待されている。

(社)日本ガス協会では、経済産業省より委託を受け、平成12年度より都市ガスの岩盤貯蔵技術調査事業を行っている。^{1) 2) 3)}

本稿においては、これまで検討を行った項目の内の運用・経済性の面を中心に報告する。主な内容は、欧米や我が国における天然ガス地下貯蔵の概要、高圧貯蔵方式の特徴、我が国における運用性・適用性検討のため想定したパターンとその検討結果、および競合施設との経済性の比較検討などである。

Keywords : 岩盤、都市ガス、天然ガス、貯蔵、ライニング

* 正会員 (社)日本ガス協会 基盤技術調査プロジェクト部

** 東京ガス(株) 総企画部 技術企画グループ

*** 正会員 大阪ガス(株) 技術部 土木建築技術チーム

**** 正会員 清水建設株式会社 技術研究所 地下技術グループ

2. 天然ガス地下貯蔵の概要⁴⁾

2・1 欧米における地下貯蔵の現状

欧米においては、季節間や週間などの需要変動を吸収し、パイプラインの利用効率を向上させるために大規模な天然ガスの地下貯蔵施設がすでに 500 を超える数となっている（図－1 参照）。天然ガスの地下貯蔵の方式としては、枯渇したガス田や帯水層に貯蔵されているものが多い。また、欧米に多く存在する岩塩層内に空洞をもうけてその気密性を利用して貯蔵する方式もかなりの数に上る。また、廃坑となった石炭坑道に貯蔵する例も 3 例ほどある。⁵⁾

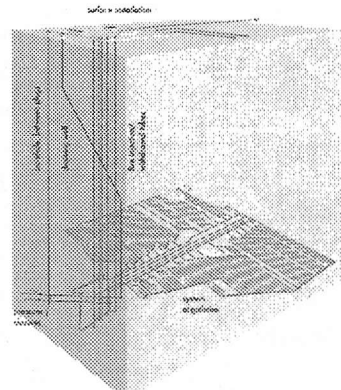
近年、ガス田や高压の岩塩層などの地質構造に恵まれない国において良好な岩盤を掘削した人工の空洞に高压の天然ガスを貯蔵する施設が建設されている。岩盤空洞内に天然ガスを貯蔵するためには、その気密性を保持するため内部をスチールなどでライニングする方式と岩盤や地下水によって気密性を保持する方式がある。

チェコのプラハの近郊において、ノンライニングの空洞での貯蔵基地が 1998 年より稼働中である。その空洞幾何容積は 62 万 m^3 で運用圧力は 1.8～9.5MPa である。将来は 12.5MPa まで昇圧される予定である。地下の貯蔵空洞は、土かぶり 970m に位置し 1.5km 四方に配置されておりその総延長は 4.5km に達する。トンネルの直径は 3.2m 程度である。その鳥瞰図および貯槽の空洞の状況を図－2 に示す。⁶⁾

スウェーデンにおいては、1989 年から 1993 年にかけてゲレングスベルグにおいてライニング方式の実証実験が行われた。この実験では幾何容積 125 m^3 の空洞 3 基の内部をスチールなどでライニングを行いコンセプトを確立した。この実験の鳥瞰図と試験貯槽を図－3 に示す。^{7, 8)} 準備期間を経た後、1998 年よりスウェーデン西部のスカランにおいて、ライニング材をスチールとしたパイロットプラントの建設が進められている。貯槽は内径 35m、高さ 50m、幾何容積 4 万 m^3 の大きさでありその内面は厚さ 12～15mm のスチールで覆われている。最大貯蔵圧力は 20MPa と計画されている。2002 年には完成の予定で工事が進められている。スカランの位置を図－4 に、その構造の概要を図－5 に示す。⁹⁾

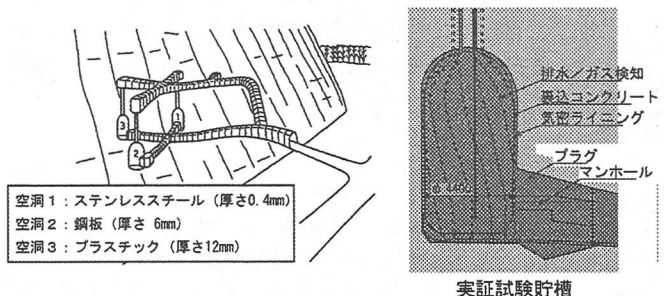
枯渇ガス田	帯水層	岩塩層	廃棄坑道	岩盤貯蔵	
				水封	ライニング
462	74	56	3	チェコ 幾何容積：62万 m^3 運転中 (9.5MPa) 1998～	スウェーデン 幾何容積：4万 m^3 建設中 (20MPa) 1998～2002

図－1 天然ガス地下貯蔵の種類

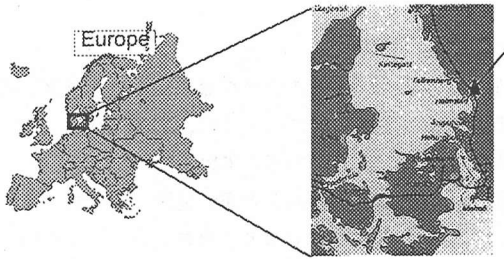


図－2 プラハ近郊における地下貯蔵空洞の鳥瞰図と貯槽断面の写真

（出典：TRANSGAS パンフレットより）



図－3 ゲレングスベルグの実験の鳥瞰図



図－4 SKALLEN の位置図

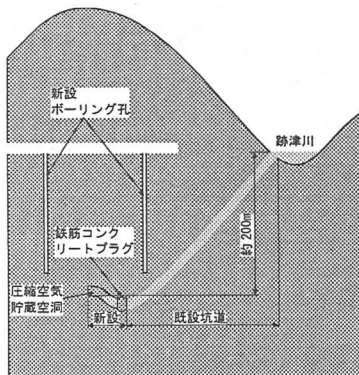
(出典：LRC DEMO AB パンフレットより)

2・2 我が国における高圧気体貯蔵技術の開発

我が国においては、圧縮空気の貯蔵を対象として地下岩盤空洞内での高圧気体貯蔵技術の開発、実証が行われた。新エネルギー財団は、通産省資源エネルギー庁の委託を受け平成 2～12 年度にかけ北海道上砂川にパイロットプラントの建設を行った。貯槽は覆工版によってライニングされ、その内面をゴムシートで覆った耐圧・気密構造となっている。^{10、11)}

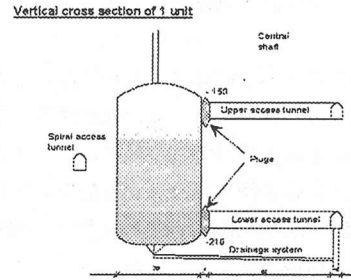
貯蔵の最大圧力は 8 MPa である。パイロットプラントの主な諸元を表－1、地下貯蔵施設の概念図を図－6、ライニング構造の概念を図－7 に示す。

一方、電力中央研究所は昭和 60 年頃より水封方式による圧縮空気貯蔵の調査、検討を行った。平成 8～13 年においては岐阜県神岡鉱山の既存坑道を利用して周辺の地下水圧 2 MPa に相当する 2 MPa の高圧水封貯蔵の実証を行った。その実験の概念図を図－8 に示す¹²⁾



図－8 神岡の実験概念図

(出典：電力中央研究所資料より)

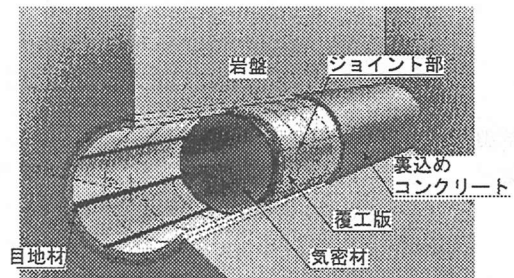


図－5 SKALLEN 地下貯蔵の概念図

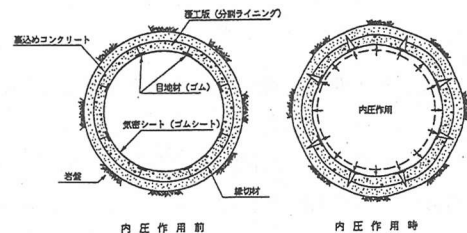
(出典：LRC DEMO AB パンフレットより)

表－1 パイロットプラントの諸元

項 目	諸 元
出力	2,000kw
発電出力	4 時間
圧縮空気充填時間	10 時間
貯蔵方式	変圧方式
気密方式	ゴムライニング方式
貯蔵圧力	4～8MPa
貯蔵空気容量	約 1,600m ³
貯蔵空気温度	50℃以下



図－6 パイロットプラント貯槽鳥瞰図



図－7 パイロットプラント構造概念図

(出典：(財) 新エネルギー財団圧縮空気エネルギー貯蔵発電セミナーテキストより)

3. ライニング式高圧気体貯蔵方式の特徴

岩盤空洞内に気体を貯蔵するためには、その気密性を保持するため内部をスチールなどでライニングする方式と岩盤や地下水によって気密性を保持する方式がある。都市ガスの貯蔵においては、貯蔵されたガスが貯槽周辺の地下水と接触することがないライニング方式が運用面などにおいて適している。

パイプラインの近傍に建設される都市ガス岩盤貯蔵施設は、地下の貯槽と地上の運転施設により構成される。また、地下貯槽は 100m 程度の土被りを必要とするため、地表から貯槽までのアクセストンネルも必要となる。この全体概念を図－9 に示す。

ライニング式方式のコンセプトは以下の通りである。

- ・内圧は、周辺の岩盤で支持する。裏込めコンクリートは内圧を周辺の岩盤へ伝達する。
- ・気密材(ライニング材)で、気密性を保持する。
- ・施工中・内圧開放時は貯槽周辺の地下水を排水し、気密材に外水圧を作用させない。

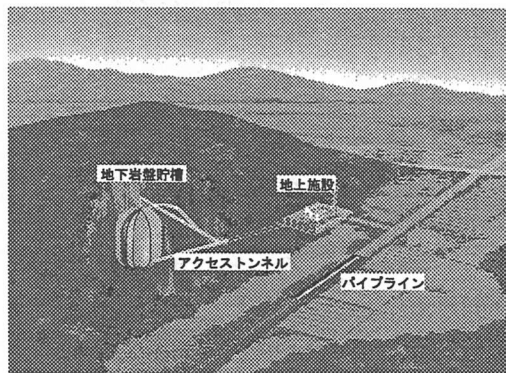
このように、岩盤貯蔵では岩盤の支持力を積極的に利用することを大きな特徴としている。

今後実用化されるまでの主な検討課題としては以下のような項目に整理される。

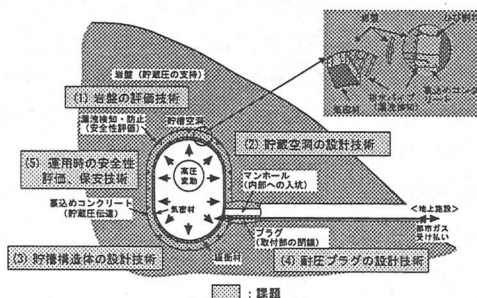
- ・岩盤の評価技術
- ・貯蔵空洞の設計技術
- ・運用時の安全性評価、保安技術
- ・耐圧プラグの設計技術
- ・貯槽構造体の設計技術

岩盤貯蔵は多くの特徴を有すが主なものは以下のとおりである。

- ・立地可能な範囲が広く、事前の地質調査が少ない
- ・払出能力が高い
- ・数多くの受払サイクルが可能である
- ・地下水と接触せず処理を必要としない



図－9 岩盤貯蔵の全体鳥瞰図



図－10 岩盤貯蔵のコンセプトと課題

4. 都市ガス事業における岩盤貯蔵の運用性・適用性

都市ガスの貯蔵施設の目的は、季節による需要変動に対応するもの、日間の需要変動に対応するもの、緊急用の備蓄の3つに大別される。

わが国においては、近傍に大きなガス田が存在しないため LNG による供給方式に経済的合理性が有ったことと、需要地周辺に枯渇ガス田貯蔵・帯水層貯蔵・岩塩層貯蔵を可能とする地質構造に恵まれないため、都市ガスの貯蔵施設としては、現在のところ専ら LNG タンクとガスホルダーによっている。

一般に、ガス貯蔵施設の能力は、貯蔵量 (m³) と払出能力 (m³/h) の2つのパラメーターで表されるが、これらの貯蔵施設の能力と貯蔵目的を表－2 に示す。この表に示されるとおり、臨海部の LNG タンクは輸入

基地となっておりその幾何容積は6万～20万m³で貯蔵量は3500～1億2000万Nm³（標準状態での体積）と大きく季節間貯蔵に対応するものである。払出流量も2～25万m³/hrと大きな能力を有している。これに対しガスホルダーは日間の需要変動に対応し、幾何容積も5000～2万m³と小さく、その貯蔵圧力低いため貯蔵量も10万Nm³程度である。払い出し能力も5000～20000Nm³程度となっている。

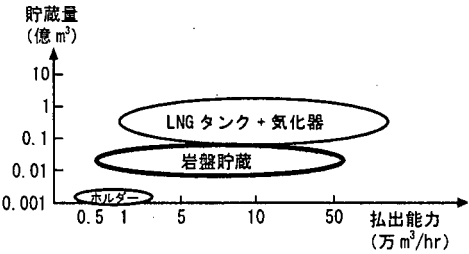
既存施設の能力と岩盤貯蔵施設の能力を図－11に示す。この図に示されるように、岩盤貯蔵施設は貯蔵量、払出流量とも、ガスホルダーの能力を大きくしのぎ、複数基を建設すればLNGタンクに匹敵する能力を持つことがわかる。

従って、岩盤貯蔵施設は、単基で日間貯蔵、緊急備蓄に適用可能性がある他、複数基を建設すれば季節貯蔵にも適用可能性がある。

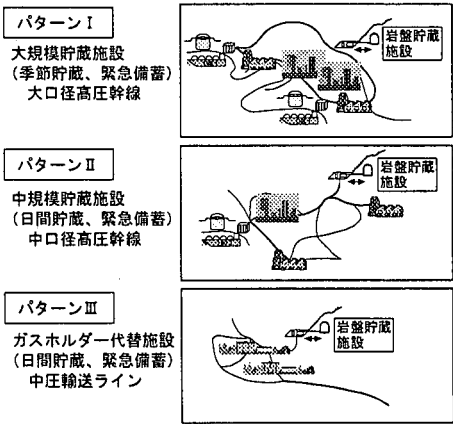
岩盤貯蔵施設はパイプライン近傍に建設され、その払出能力は接続されるパイプラインの能力(ガス流量)により決定される。貯蔵目的とパイプライン能力から岩盤貯蔵の適用を想定すると図－12に示すような3パターン(大規模貯蔵、中規模中継およびガスホルダー代替施設)に類型化される。パターンⅠは、大規模貯蔵施設として季節貯蔵を主な目的とし、大口径の高圧幹線に接続され払出能力も大きい。パターンⅡは、中規模中継施設として、日間貯蔵を主な目的とした中規模のもので中口径高圧幹線へ接続される。パターンⅢは、ガスホルダーの代替施設として日間貯蔵を主な目的とした小規模なもので中圧輸送ラインに接続される。

表－2 日本の都市ガスの貯蔵施設の貯蔵能力例と貯蔵目的

貯 蔵 施 設	貯蔵能力例			貯蔵目的		
	幾何容量 (m ³)	貯蔵量 (万 Nm ³)	払出流量 (m ³ /hr)	季節 貯蔵	日間 貯蔵	緊急 備蓄
LNGタンク(輸入基地)	60,000～ 200,000	3,500～ 12,000	25,000～ 200,000	◎	○	◎
LNGタンク(サライト基地)	10～ 500	0.5～ 30	500～ 10,000	—	○	○
ガスホルダー	5,000～ 20,000	2.5～ 10	5,000～ 20,000	—	◎	○



図－11 各種貯蔵の能力比較



図－12 貯蔵パターン、運用方法

5. 都市ガス岩盤貯蔵の経済性検討

都市ガス岩盤貯蔵の経済性を検討するため、上記の3パターンに従い、モデルケースと検討条件を設定し概念計画を行い建設コスト、運転費用などを算出し、他の競合施設との比較を行った。

5.1 地質条件とモデルケースの設定

上記の3パターンに対応する貯蔵モデルとして、運用条件(最小・最大圧力、払出流量)と単基幾何容積(貯蔵空洞容積)および地質条件から表－3に示す4タイプを基本タイプとして想定した。タイプAは大規模貯蔵となるため花崗岩類等の比較的堅固な硬岩が立地対象となる。タイプBは中規模中継のため広範囲な立地条件が求められるため中硬岩以上を立地対象とした。ガスホルダー代替施設としては、幅広い立地の可能性を検討しておく必要があるため、タイプCでは硬岩をタイプDでは軟岩を想定した。

タイプA,Cは花崗岩類等の火成岩類の硬岩、タイプBは中・古生代の堆積岩類等の中硬岩、タイプDは第三紀の堆積岩類の軟岩と想定し、それぞれの変形係数を10.0, 8.0, 4.0GN/m²と仮定する。参考として、ダム基礎、地下発電所の岩盤評価として我が国でよく用いられる岩盤分類¹²⁾における等級(CH, CM等)を示す。構造検討用の岩盤物性は、上記で設定した変形係数を基に、相当する岩盤等級と物性の関係を参考に表-4のように設定した。

表-3 想定タイプと岩盤

タイプ	最小・最大圧力 (MPa)	払出流量 (万m ³ /hr)	単基盤何 容積 万m ³	想定岩盤	物性値の設定 (変形係数) GN/m ²	岩盤等級 (符号)	貯槽寸法 (m)	
							高さ	内径
A	5~20	40以上	2	硬岩 (花崗岩類等の火成岩類)	10.0	C _H 級中上	41.9	28.0
B	5~12	10~20	1	中硬岩 (中・古生代の堆積岩類等)	8.0	C _M 級中	33.3	22.2
C	1~9	5前後	0.5	硬岩 (花崗岩類等の火成岩類)	10.0	C _H 級中上	26.3	17.7
D	1~9	5前後	0.5	軟岩 (第三紀の堆積岩類等)	4.0	C _M 級中	26.3	17.7

表-4 構造検討用の岩盤物性

タイプ	健全部					ゆるみ部					除荷 変形係数	クリープ 率
	単位体積 質量	初期載荷 変形係数	ポアソン 比	粘着力	内部摩 擦角	初期載荷 変形係数	ポアソン 比	粘着力	内部摩 擦角			
	(kg/m³)	(GN/m²)		(MN/m²)	(°)	(GN/m²)		(MN/m²)	(°)	(GN/m²)		
A	2.650	10.0	0.3	4.0	50.0	4.0	0.4	1.50	40.0	8.7	0.22	
B	2.600	8.0	0.3	3.0	45.0	3.2	0.4	1.30	38.0	7.1	0.20	
C	2.650	10.0	0.3	4.0	50.0	4.0	0.4	1.50	40.0	9.3	0.10	
D	2.550	4.0	0.3	1.5	40.0	1.6	0.4	0.80	33.0	3.3	0.35	

5.2 検討の基本条件

構造などの検討の際に基本となる主な条件は以下のとおり設定した。

- ・耐用年数：50年
- ・繰り返し回数：最大 10、000回(1年200回×50年)
- ・内圧開放：10年に1回(計5回)
ガスホルダーに準拠したが、今後健全性のモニタリングなどにより、内圧開放を前提としないことも考えられる。
- ・ガス流入温度：15, 30, 70℃の3ケース
- ・運転パターン：払出時間：5時間、受入時間：12時間、払出後待機時間：3時間、
受入後待機時間：4時間
- ・地質・地形：地質条件は5.1に示した、地形は丘陵地帯と想定した

5.3 地上施設の計画

岩盤貯蔵の主要な地上設備は、貯槽内に蓄圧するための圧縮機、圧縮ガスの冷却設備および貯槽からガスに導管に払い出すときの減圧及び加温装置により構成される。圧縮機は運転条件の変化に対して運転の追従性に優れているレシプロ型を採用した。蓄圧時は、ガスの冷却と払出し時のガスの加温を効率的にできるように冷水塔と蓄熱槽のラインを設置した。また、貯槽圧より導管圧が高い場合は、圧縮機を運転して導管へ払出すラインも設置した。

5.4 貯槽の設計、施工計画

貯槽の形状はサイロ型とトンネル型で検討を行った。サイロ型においては頂部、底部とも半球状の形状とした。各タイプの直径と高さはAタイプでは42m, 14m、Bタイプでは33m, 11m、C,Dタイプでは26m, 9mとなった。トンネル型は円形断面とした。A,Bタイプの内空の直径は10m、C,Dタイプでは5mとした。

貯槽の構造検討のフローを
図-13に示す。

B タイプの計画概要図を図-14に示す。

掘削およびライニング構築の施工の概要を図-15に示す。

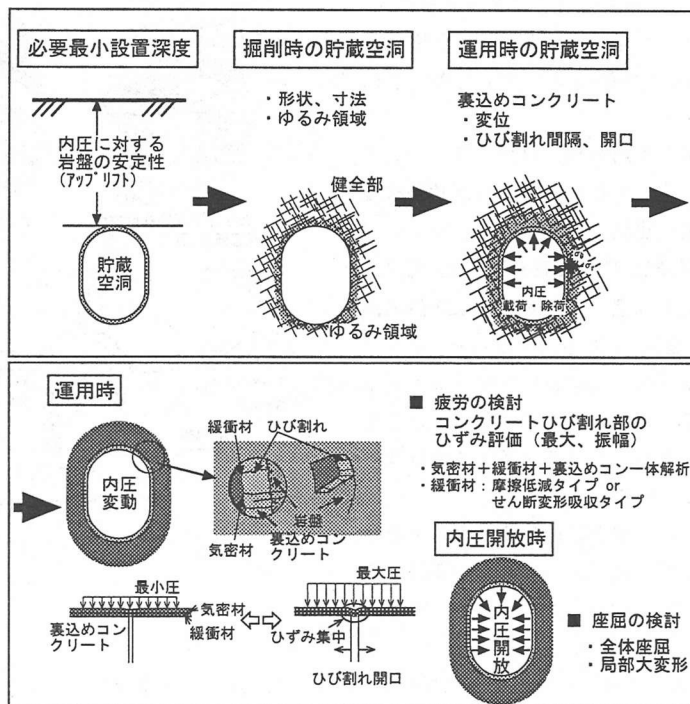


図-13 貯槽の構造検討の概要

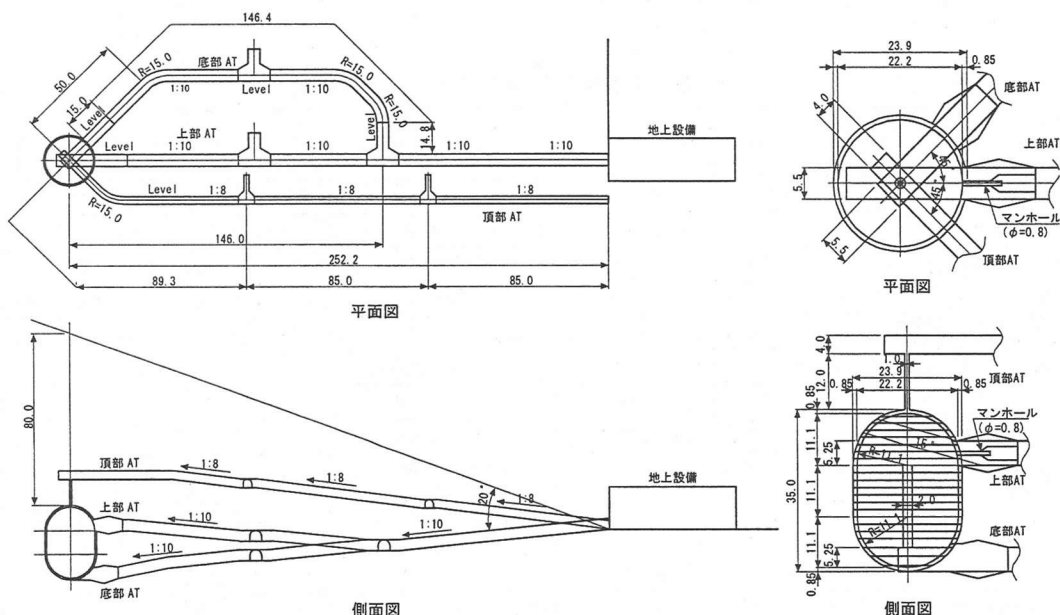


図-14 岩盤貯蔵施設構造図概要

5.5 岩盤貯蔵のコスト試算結果

サイロ型の地下貯槽(地上施設を除く)の構築概算コストを表-5に示す。

主な検討結果は以下の通りである。

・A, B, C, D 各タイプの地下貯蔵施設の全体建設コストはサイロ型で 483 億円, 322 億円, 232 億円, 262 億円、トンネル型で 526 億円, 320 億円, 228 億円, 246 億円となった。サイロ型とトンネル型を比較すると A タイプではサイロ型が高くなっているが、それ以外の B, C, D タイプではほぼ同等となった。

・また、地下貯槽の建設コストをその幾何容積で除した貯槽の建設単価は、24 万円/m³, 32 万円/m³, 46 万円/m³, 52 万円/m³となった。

・A, B, C, D 各タイプの地下貯槽の建設コストにおいて、アクセストンネルに要する費用は、56 億円, 43 億円, 34 億円, 45 億円となった。これはそれぞれの全体建設コストの 12%, 13%, 14%, 17%となっている。貯槽の建設コストに占めるアクセストンネルの占める割合が大きく、地形条件でコストが変動することには注意を要する。

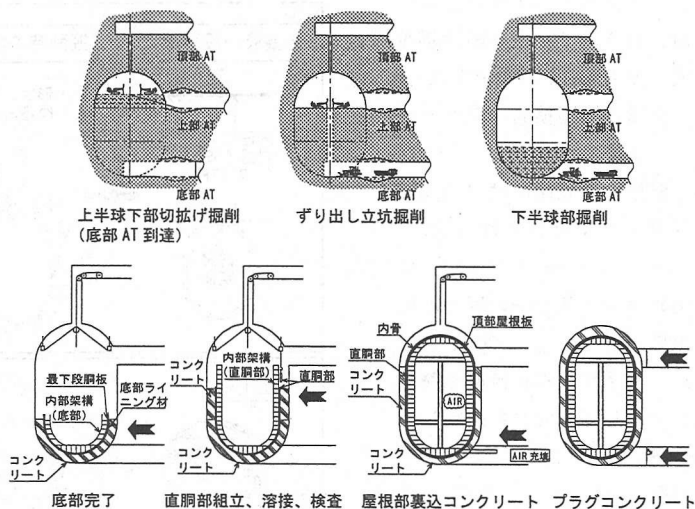


図-15 主な施工手順

表-5 サイロ型地下貯蔵施設コスト算出表

サイロタイプ			A			B			C			D		
			2万m ³ ・発破・半球			1万m ³ ・発破・半球			0.5万m ³ ・発破・半球			0.5万m ³ ・機械・半球		
分類	項目	単位	数量	単価	工事金額	数量	単価	工事金額	数量	単価	工事金額	数量	単価	工事金額
直接工事費・仮設費込	仮設費	式	1.0		364,166	1.0		276,048	1.0		239,358	1.0		250,594
	用地造成工事	m ²	2,220.0	13.8	30,636	2,220.0	13.8	30,636	2,220.0	13.8	30,636	2,220.0	13.8	30,636
	頂設アクセストンネル掘削工事	m	373.4	418.3	156,190	268.2	418.3	112,186	212.3	418.3	88,803	277.0	488.2	135,240
	上部・底部アクセストンネル掘削工事	m	572.5	462.1	264,539	437.3	462.1	202,066	337.8	462.1	156,089	402.4	502.3	202,116
	サイロ型貯槽掘削工事	m ³	23,347.1	15.4	359,185	11,968.3	15.9	190,680	6,280.1	15.3	96,038	6,280.1	16.5	103,711
	立坑工	m	18.0	661.1	11,900	12.0	900.0	10,800	10.0	1,060	10,600	10.0	950.0	9,500
	ライニング工(緩衝材工含む)	式	1.0		2,185,000	1.0		1,398,000	1.0		948,000	1.0		1,070,000
	裏込めコンクリート	m ³	2,683.9	41.1	110,425	1,708.4	41.1	70,290	1,091.4	41.1	44,904	1,091.4	41.1	44,904
	耐圧プラグ・マンホール(上部・底部)	式	1.0		180,621	1.0		155,093	1.0		135,807	1.0		134,978
	掘削土運搬	m ³	49,837.4	0.6	30,120	30,325.9	0.6	19,113	20,478.6	0.6	12,945	23,214.8	0.6	14,675
経費	小計				3,692,780			2,464,912			1,763,180			1,996,354
	現場管理費	式	1.0		796,902	1.0		531,928	1.0		381,729	1.0		430,813
	一般管理費	式	1.0		340,318	1.0		227,160	1.0		170,091	1.0		188,834
	小計				1,137,220			759,088			551,820			619,647
			工事価格		4,830,000	工事価格		3,224,000	工事価格		2,315,000	工事価格		2,616,000

金額は千円単位・税抜き価格表示

地上施設の概算コスト試算結果を表-6に示す。コストは設備費と運転費に分けて算出した。設備費は50年間の費用であることよりイニシャルの費用の他に、回転機類は1回、計装関係は3回のリプレースのための費用を含んでいる。検討の主な結果としては、タイプAにおいて顕著であるが、電力費が大きな割合を占めており今後の検討を必要であると考えられる。

表-6 地上施設のコスト試算結果

			タイプA	タイプB	タイプC、D
1. 設備費	イニシャル費	機械設備	3,170,000	618,500	891,100
		配管設備	1,396,000	350,000	363,000
		電機計装設備	1,460,000	525,000	682,000
	小計		6,026,000	1,493,500	1,936,100
	リプレース費	機械設備	2,500,000	500,000	820,000
		電機計装設備	1,125,000	450,000	621,000
	小計		3,625,000	950,000	1,441,000
	設備費合計		9,651,000	2,443,500	3,377,100
2. 運転費	人件費		2,000,000	2,000,000	2,000,000
	修繕費		3,013,000	747,000	969,000
	電力費		15,555,000	2,595,000	4,190,000
	運転費合計		20,568,000	5,342,000	7,159,000
総合計			30,219,000	7,786,000	10,537,000

5.6 競合施設との経済性の比較

岩盤貯蔵との競合施設としては、ガス再液化設備、サテライト施設、ガスホルダー、導管などがあげられる。比較は、貯蔵施設と運転施設を含む全体の建設コストに50年間の維持・運転コストを合計した総合コストで比較した。岩盤貯蔵施設においては、地下貯槽は50年間メンテナンスフリーであるので、建設費として地下貯槽のイニシャルコストと地上設備のイニシャルコストならびにリプレース費を、また運転費として地上設備の50年分の費用を見込んだ。

A、C、Dの各タイプにおいては、その規模や運用の条件が他の競合施設と異なり比較が難しいものもあるため、Bタイプのサイロ型岩盤貯蔵の結果を他の競合施設（ガス再液化施設、サテライト施設、ガスホルダー、導管）と比較した結果を表-7に示す。図-16にその結果をグラフ化したものを示す。ここにおいて、想定した規模は、貯蔵ガス量70万 m^3N 、払出能力14万 $\text{m}^3\text{N/h}$ 、受入能力6万 $\text{m}^3\text{N/h}$ 程度である。

競合施設との概算コストを比較すると、幾何容積1万 m^3 のBタイプの岩盤貯蔵施設の建設と50年運用の合計概算コストは115億円となり、競合するガス再液化施設、LNGローリー受け入れ施設のコストに比較してほぼ1/5、ガスホルダーのコストに比較して約1/3となっており、経済的に有利であることが明らかになった。

表-7 タイプBのコスト比較

Bタイプ	設備費 (リプレース含む) (億円)	運転費 (50年間) (億円)	合計 (億円)
サイロ型岩盤貯蔵	60	55	115
ガス再液化施設	190~240	320~330	510~570
サテライト施設	160~170	380	540~550
ガスホルダー	170	210	380
導管 (HP400A、40km)	200	114	314

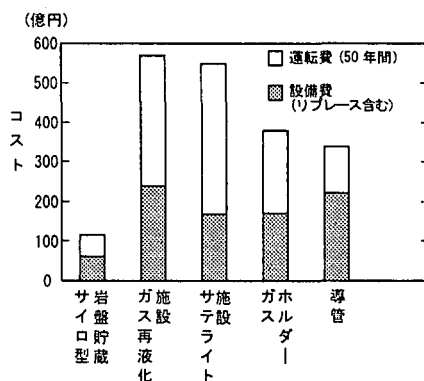


図-16 競合施設との比較図

6. おわりに

欧米においては、エネルギー構成に占める天然ガスの割合は20～30%と大きく、生産地と消費地を結ぶパイプライン網は広く普及している。また、需要変動や生産調整などを目的として多くの地下貯蔵基地が建設されている。一方、我が国においては、エネルギー構成に占める天然ガスの割合は11%であり、その供給はLNGによる供給方式が中心となっており、貯蔵施設としてはLNGタンクとガスホルダーによっている。今後天然ガスの需要の拡大に応じ、パイプラインの普及とともに新たな貯蔵施設が必要となってくることが予測される。

岩盤貯蔵は、岩盤の持つ支持力を積極的に活用した構造であり他の競合施設と比較し建設コストが安く経済的であるほか、払出能力が高いことなど多くの運用面の特徴を有している。

(社)日本ガス協会では、経済産業省より委託を受け、平成12年度より都市ガス岩盤貯蔵技術の調査を行ってきた。今後は、岩盤貯蔵の実用化に向け、パイロットプラントにより技術の検証を行うとともに基幹の整備を行う必要がある。

7. 参考文献

- 1) 澤一男・臼井岳・丹羽悦夫・香川尚久・梅田良人・石塚与志雄：都市ガスの岩盤貯蔵技術調査研究，(社)日本ガス協会第49回通常総会都市ガスシンポジウム発表要旨集，pp.31-32，2001.
- 2) 澤一男・臼井岳・丹羽悦夫・香川尚久・梅田良人・石塚与志雄：都市ガスの岩盤貯蔵技術調査に関する研究，(社)日本ガス協会第50回通常総会都市ガスシンポジウム発表要旨集，2002.
- 3) 澤一男・臼井岳・丹羽悦夫・香川尚久・梅田良人・石塚与志雄：都市ガス岩盤貯蔵の運用性と技術開発について，土木学会第57回年次学術講演会概要集，2002.
- 4) 八田敏行：天然ガス地下貯蔵の現状と課題，(社)日本高圧力技術協会圧力技術の将来展望，2001.
- 5) 石油公団天然ガス地下貯蔵検討委員会編：天然ガス地下貯蔵システム、石油公団パンフレット、pp.7-9、
- 6) PLYNOPROJECT: PLYNOPROJECTPRAHA, PLYNOPROJECT パンフレット，1996
- 7) 八田敏行：スウェーデンにおける高圧ガス地下貯蔵実験、第3回圧縮空気エネルギー貯蔵発電セミナー、pp.1-20
- 8) J. Jonasson, R. Sturk and H. Stille: Storage of Gas in Lined Shallow Rock Caverns-Conclusions Based Results from Grangesberg Test Plant, Workshop "Natural Gas Rock Cavern Storage", Czech Gas & Oil Association, Prague
- 9) LRC DEMO AB: Lined Rock Cavern パンフレット、LRC DEMO AB
- 10) 土田正義・石畑徹: CAES-G/T 発電パイロットの現況、第8回圧縮空気エネルギー貯蔵発電セミナー、pp.23-42
- 11) 合田佳弘・大西肇昭・石島洋二・吉本義隆・福田和寛：上砂川 CAES-G/T パイロットプラント地下貯槽の気密試験結果、第11回岩の力学国内シンポジウム2002、
- 12) 中川加明一郎・志田原巧・末永弘・八田敏行：無覆工地下空洞の水封貯蔵機能に関する現場実験、第8回地下空間シンポジウム（投稿中）
- 13) 吉中龍之進・桜井春輔・菊地宏吉：岩盤分類とその適用，株式会社土木工学社，1989.