

出國報告(出國類別：洽公)

赴大阪瓦斯公司交流 LNG 接收站興建、冷能技術應用等 議題

服務機關：台灣中油股份有限公司
第三接收站專案辦公室
液化天然氣工程處

姓名職稱：李皇章 主任
黃榮裕 副處長
張致豪 工程師
李孟嘉 工程師

派赴國家：日本

出國期間：104 年 12 月 9 日~104 年 12 月 12 日

報告日期：105 年 1 月 8 日

摘 要

本公司為供應台電公司大潭電廠擴建計畫及北部地區之新增用氣需求，提升國內整體供氣穩定及安全，正積極規劃興建第三座液化天然氣接收站，計畫內容包含新建工業專用港外廓防波堤及港埠設施、接收站站址圍堤造地、興建 4 座地上型液化天然氣儲槽及 900 噸/時氣化設施，並興建一條至大潭隔離站約 3.5 公里之 36 吋陸上輸氣管線與現有之陸上輸氣管線銜接。

前期規劃攸關計畫執行能否有效進展，本次出國參訪大阪瓦斯工程顧問及其母公司公司大阪瓦斯，其過去曾分別擔任永安廠冷能發電與台中廠地上式儲槽工程顧問，且於本年度其母公司與本公司簽屬合作備忘錄，內容包括 LNG 產業資訊交流、採購、船運調度、技術合作等項目；渠等在 LNG 儲槽、站區設施及冷能利用之發展技術全球頂尖，吸取經驗作為未來第三接收站建站參考。

目 次

壹、目的	P3
貳、過程與工作內容	P4
參、技術交流重點摘述	P5
肆、心得及建議	P19

壹、目的

本次出國目的為與大阪瓦斯公司交流 LNG 產業技術，包含：

- 1、 LNG 接收站設施規畫、大型儲槽設計方針與施工技術、氣化設施等。
- 2、 包含冷能利用技術研討，冷能發電、空氣分離、冷凍倉儲、冷能 Cascade 利用之技術與設備等
- 3、 LNG 利用推廣，包括 LNG 罐裝、運輸及衛星氣化站(Satellite station)之設置等。
- 4、 泉北接收站觀摩接收站設施與興建中 23 萬 LNG 地上式儲槽及研討儲槽設計新技術，包含冷能利用設備等。

貳、 過程與工作內容

起迄日期	到達地點	詳細工作內容
104/12/09	台北→大阪	啟程
104/12/10	大阪	<p>大阪瓦斯工程公司 LNG 產業技術交流</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 大型儲槽技術研討包含 18 萬公秉及 23 萬公秉建造技術、建造規範討論、材料選用及施工技術等 ● 冷能利用 ● Reloading、衛星接收站、LNG 加氣船及罐裝規劃 ● 大阪瓦斯公司瓦斯研究所參觀
104/12/11	大阪	<p>參觀泉北接收站</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 泉北二廠: 冷能發電設備/複循環發電廠/站區槽區 ● 泉北一廠: #5 LNG Tank(23 萬 KL)/Truck loading ● #5 LNG Tank 之設計及施工簡報與技術交流
104/12/12	大阪→台北	返程

參、技術交流重點摘述

一、大阪瓦斯公司接收站及設施

大阪瓦斯公司共有 3 座 LNG 接收站，分別為 1971 年營運之 Senboku terminal 1(共 4 座 LNG 儲槽)，1977 營運之 Senboku terminal 2(共 18 座 LNG 儲槽)及 1984 營運之 Himeji Terminal(共 8 座 LNG 儲槽)，本次造訪之 Senboku terminal 1 及 terminal 2 廠區現況摘述如下：。

Terminal 1：

- 占地 281,000m²
- LNG 操作量：每年 120 萬噸
- 2 座 277,500kw 天然氣發電廠，共 555,000kw 發電量
- LNG 灌裝場
- LNG 冷能利用設施，包含
2,400 kw natural gas expansion power generation
低溫空氣分離廠
二氧化碳液化(製造乾冰)工廠
低溫脆化設施
高純度甲烷製造廠
供應週遭工廠所需冷能

Terminal 2:

- 占地 733,000m²
- LNG 操作量：每年 550 萬噸
- 2 座 277,000kw 天然氣發電廠，共 554,000kw 發電量
- LNG 冷能利用設施，包含：
1,450kw 及 6,000kw 共 2 座冷能發電設備
低溫空氣分離廠

二、大型 LNG 儲槽技術研討

(一)18 萬公秉全容式地上式儲槽

18 萬公秉全容式地上式儲槽與台中廠液化天然氣廠現有及興建中二期計畫 16 萬公秉儲槽(T-104~T-106)設計上主要差異比較如下表：

項目	儲槽容積	T-104~T-106 儲槽(16 萬公秉)	18 萬公秉儲槽
容積		160,000m ³	180,000m ³
內槽直徑		76m	77.8m
設計液位		35.34m	37.94m
設計壓力		21.6Kpa	21.6Kpa
膝板(Knuckle Plate)厚度		48.1mm	50.0mm
內槽底部第一層殼版厚度		44.7mm	49.5mm
底板保溫層強度		HLB1200	HLB1400
法規引用		內槽：API 620 外槽：EN 14620	內槽：API 620 外槽：EN 14620
備註			地震力設計與 T-104~T-106 標準一致

彙整說明：

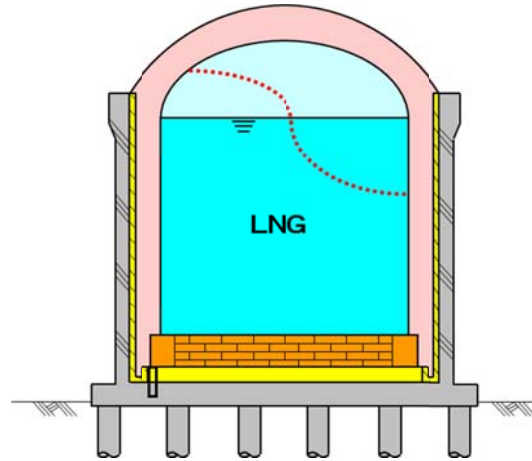
1. 16 萬公秉增加至 18 萬公秉可加大儲槽內徑或增加儲槽高度，內槽設計壓力維持既有設計標準 0.22kg/cm²，依據 API 620 規定 9% NI 鋼使用厚度限制須小於 50mm，考量 Knuckle Plate 設計厚度及 0.3mm 加工裕度須控制在其規定標準下，初步規劃最適內徑由 76m 增加至 77.8m，儲存 LNG 液體高度由 35.34m 增加至 37.94m。
2. 配合儲存液體高度增加及耐震設計要求，18 萬公秉內槽第一層殼板 (1st course shell plate) 厚度由 44.7mm 增加至 49.5mm。
3. 因儲存 LNG 液體液位高度改變，18 萬公秉底板絕熱層強度須由 HLB1200 增加至 HLB1400。
4. 日本境內，自 2000 年以來已有 17 座 18 萬公秉以上儲槽建設實績。
5. 儲槽容積由 16 萬公秉增加至 18 萬公秉，每座 18 萬公秉儲槽洩收 8 次約可增加 16 萬公秉 capacity，對於接收站備載容量及週轉天數有相當助益。

(二)23 萬公秉儲槽建造技術研討

大阪瓦斯公司於 Senboku terminal 1 汰除使用 40 年之久之 4 萬 5 千公秉雙殼金屬槽，原地興建 23 萬公秉全容式(full containment) 液化天然氣儲槽，與現有台中液化天然氣廠儲槽形式相同，具有高安全性、土地有效利用性及經濟性等特性，說明如下：

- 高安全性：

LNG 完全儲存於內槽中，Knuckle plate 強度設計已考量當地震發生時內存 LNG 產生 sloshing 現象，不致產生破壞，即使內槽萬一發生洩漏現象，亦可由外槽鋼板及預力混凝土阻隔，提升安全等級。



- 土地有效利用：

因本身為雙層全容式儲槽及預力混凝土外牆設計，與傳統設計方式須於外牆周圍另施作防液堤(dike)，大幅提高土地利用效率。

- 經濟性：

大阪瓦斯汰舊之 2 座 4 萬 5 千公秉儲槽，原地興建 23 萬公秉全容式(full containment) 液化天然氣儲槽，為日本境內首次拆除地上式 LNG 儲槽案例，該案建造特點可重點歸納為 3 項：

1. 為目前全世界最大地上式 LNG 儲槽
2. 內槽材料採用新開發之 7%Ni 鋼

過去 50 年來 LNG 儲槽內槽均使用 9%Ni 鋼材質，Ni 屬稀有金屬，其價格波動影響整體建造成本甚鉅，隨著新建儲槽容積加大影響更大，為此大阪瓦斯公司與新日鐵住友鋼鐵研發成功之 7%

Ni-TMCP (Thermo-mechanical Controlled Process)技術，將 γ grain size 平均由 $22 \mu\text{m}$ 降至 $8 \mu\text{m}$ ，使材料為結構更完整，強度部分則增加 austenite 含量，以符合 9% Ni 鋼機械性值要求，第一次應用於新建之 23 萬公秉地上式儲槽內槽鋼板設計。

3. 第一次採用滑模(Slipforming)技術於 LNG 儲槽預力混凝土外牆(PC wall)之建造，PC wall(外徑 90.8m，高度 43.6m，厚度 0.8m)開始施

作至完成時間僅需 20 天，較傳統工法約需 9 個月時間大幅縮短，惟須使用大量預埋鍵及確保精度。



• 計劃排程及工序

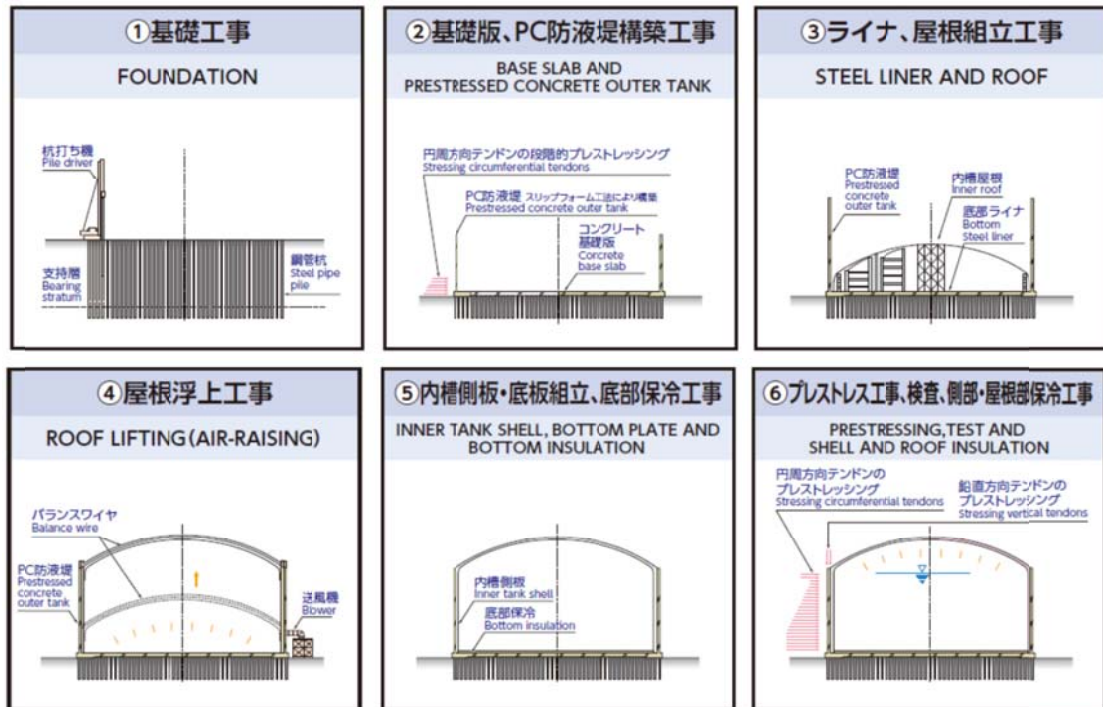
整體計畫自 2012 年 7 月地盤改良工作開始，至 2015 年 11 月完成，全程計約 41 個月，計畫排程如下：

年度	2012	2013	2014	2015
全部計畫	◆現場開工			◆完工
拆除工作			
準備工作	■			
基礎及防液堤施工	■			
儲槽本體施工		■		
配管施工			■	
儀電、公用、消防等系統施工			■	

建造工序

建造工序與本公司目前執行中之 L10101 台中廠二期計畫液化天然氣儲

槽統包工程大致相同。

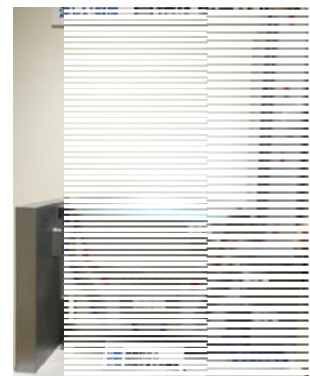


三、Cool-Kitchen「涼廚」介紹

「涼廚」係指能實現廚房成為一個舒適環境的廚房機器，舊有的廚房機器表面所產生的熱及燃燒產生之熱氣會使溫度上升，而「涼廚」因為設置空氣斷熱層得以切斷輻射熱源並同時集中排氣而防止燃燒排出之熱氣擴散至廚房內，如此即可有效的抑制廚房內的溫度上升，示意如下：

因機器表面溫度低，即使烹調食物掉出也不會造成燒焦，

「涼廚」器具非常容易清潔。為了工作人員而設計可讓廚房舒適的「涼廚」能夠削減廚房機器所產生熱源，使工作環境得以更舒適貼切，與舊式廚房相比得以減少 30% 的空調能源，在節省電力方面能有所貢獻。

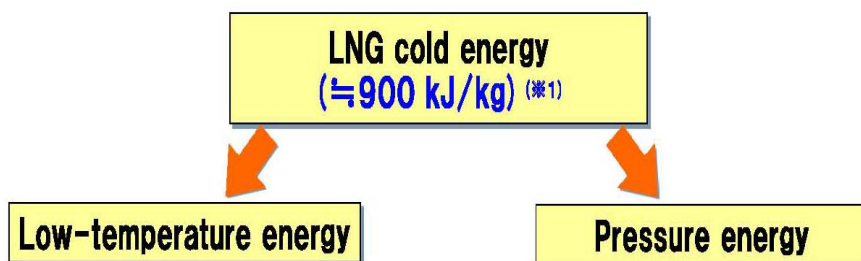


四、冷能利用

LNG 在一大氣壓下，以約 -160°C 之超低溫液態存在，易於儲存及運輸。每 1 公斤 LNG 約含 900kj 之冷能，在氣化過程冷能如不加以利用，使用海水加熱，直接排放，十分浪費。大阪瓦斯公司在 LNG 冷能利用方面，擁有豐富的操作經

驗與實績，可做為本公司未來規劃「第三座液化天然氣投資計畫」冷能利用之寶貴參考資料。

LNG 冷能可分為溫度能與壓力能，溫度能為 LNG(-160°C)與常溫之差異，壓力能來自於 LNG 液態體積為氣態之 1/600，壓力能通常用於將天然氣送至客戶端。



*1) LNG cold energy varies depending on LNG components and pressure.

日本為全球最大之 LNG 進口國家，日本對回收 LNG 冷能再利用非常重視，其中尤以大阪瓦斯公司(OGC)更積極致力冷能回收利用之技術發展，自 1977 年開始利用 LNG 冷能於空氣分離至今，為日本甚至全球冷能利用最成功之 LNG 進口業者，日本冷能利用情形如下表。

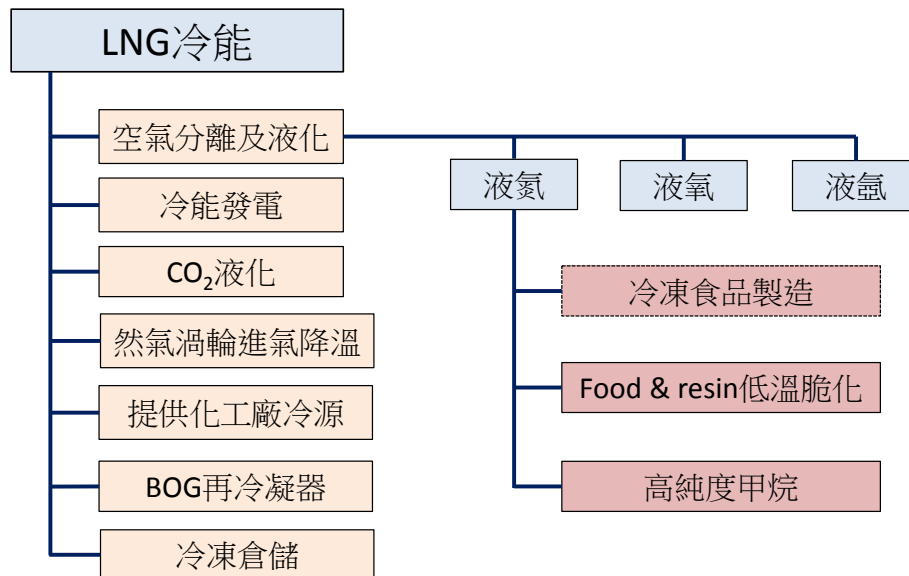
設備	溫度層(°C)	LNG 數量 (t/h)	OGC 百分比
冷能發電	-120 ~ -40	1,100	45%
空氣分離及液化	-150	300	30%
BOG Re-condenser	-120	200	50%
CO2 液化	-55	20	50%
冷凍倉儲	-60 ~ -20	10	0%

大阪瓦斯公司在開發 LNG 冷能利用甚早，其發展歷史如下：

1970	77	空氣分離(已汰換)
	79	冷能發電(Propane Rankine)
1980	80	CO2 液化
	82	冷能發電(Propane Rankine + Direct Expansion)
	83	空氣分離 (No.1)
	87	提供化工廠冷源
	87	冷能發電(Freon Rankine)
1990	89	冷能發電(Direct Expansion)
	93	空氣分離 (No.2)
	97	BOG 再液化系統
2000	00	冷能發電(Direct Expansion)

	04	燃氣發電進氣降溫(Cooling of Intake Air for Gas Turbine)
	04	CO ₂ 液化(No.2)
	05	提供化工廠冷源
	10	提供化工廠冷源

一般 LNG 冷能利用系統可以下圖表示：



以下就冷能應用於冷能發電、空氣液化及分離、CO₂ 液化、冷能儲存、低溫倉儲進行說明：

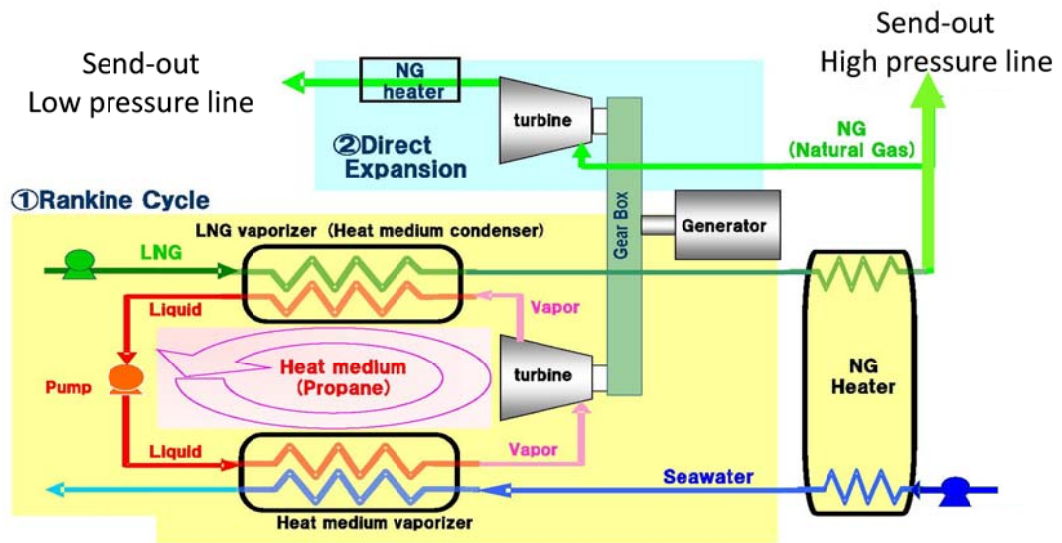
1. 冷能發電

冷能發電設備除了可當 LNG 氣化器功能外，亦有助操作之穩定，其發電供自己使用或出售創造利潤。

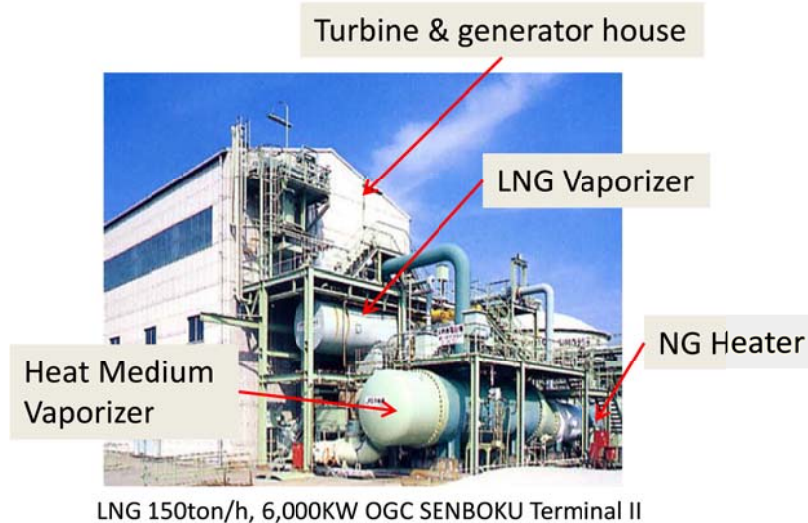
冷能發電系統，依其設計流程有三種：

- 1). 朗肯循環系統(Rankine Cycle System)：利用低溫有效之媒介流體，作 Rankine Cycle 方式。
- 2). 直接膨脹系統(Direct Expansion System)：利用壓力有效能之直接膨脹方式。
- 3). Combined System (Rankine + DE)：是利用上述兩種系統合併方式，為最有效益的設計。

冷能發電系統示意圖如下：



大阪瓦斯公司冷能發電的設備及其產能整理如下表所示：



Terminal	Commissioning Yr	Capacity, kW	LNG, t/h
Senboku 2	1979	1,400	60
Senboku 2	1982	6,000	150
Himeji	1987	2,800	120
Senboku 1	1989	2,400	83
Himeji	2000	1,500	80

2. 空氣液化及分離

空氣液化及分離產生液態氧、液態氮、液態氫，具有高度的經濟價值，大阪瓦斯公司目前操作營運中的空氣液化及分離之產能如下表所示：



Plant No. 1



Plant No. 2

	Commissioning Yr	液氧/液氮/液氫	LNG, t/h
Plant No. 1 (Senboku 2)	1983	7,500 Nm ³ /h 7,500 Nm ³ /h 200 Nm ³ /h	40
Plant No. 2 (Senboku 1)	1993	6,500 Nm ³ /h 15,000 Nm ³ /h 440 Nm ³ /h	50

3. 二氧化碳液化

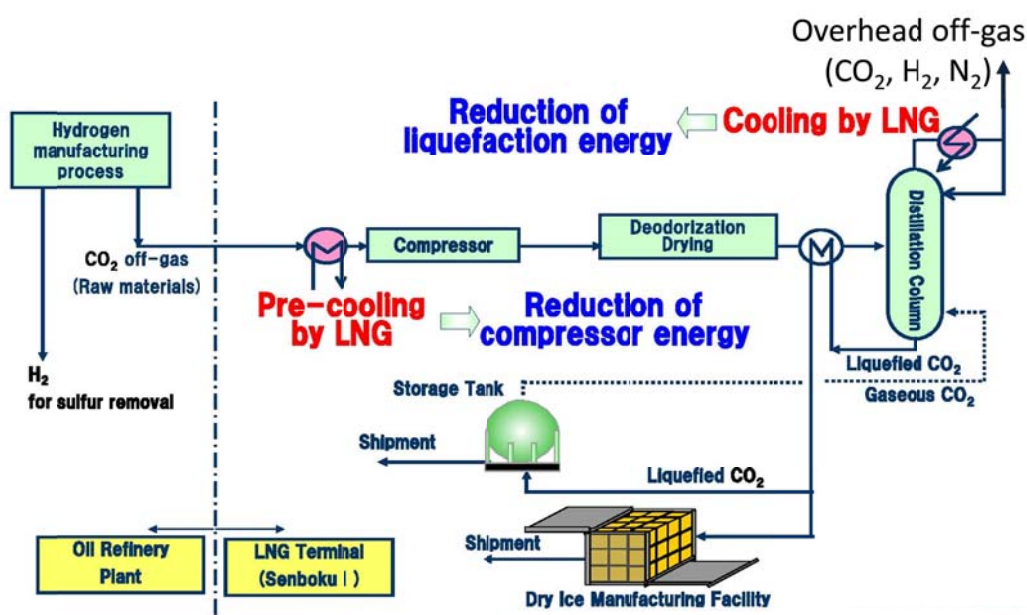
為了解決溫室效應，造成全球暖化的問題，聯合國制定了氣候變化框架公約，控制二氧化碳等溫室氣體的排放量，防止地球的溫度上升。

大阪瓦斯公司的發電設備，因為其排放煙道廢氣中的 CO₂ 含量不高且含有腐蝕氣體需先處理清除，處理成本高，獲利及效益皆不大的情形下，皆採直接排放，並未利用冷能做 CO₂ 液化回收處理。

大阪瓦斯公司之 CO₂ 液化工場的原料來源為隔鄰化工廠製程含 CO₂ 濃度高達 90%之廢氣，下表為大阪瓦斯公司泉北工廠，LCO₂ 液化工場產能：

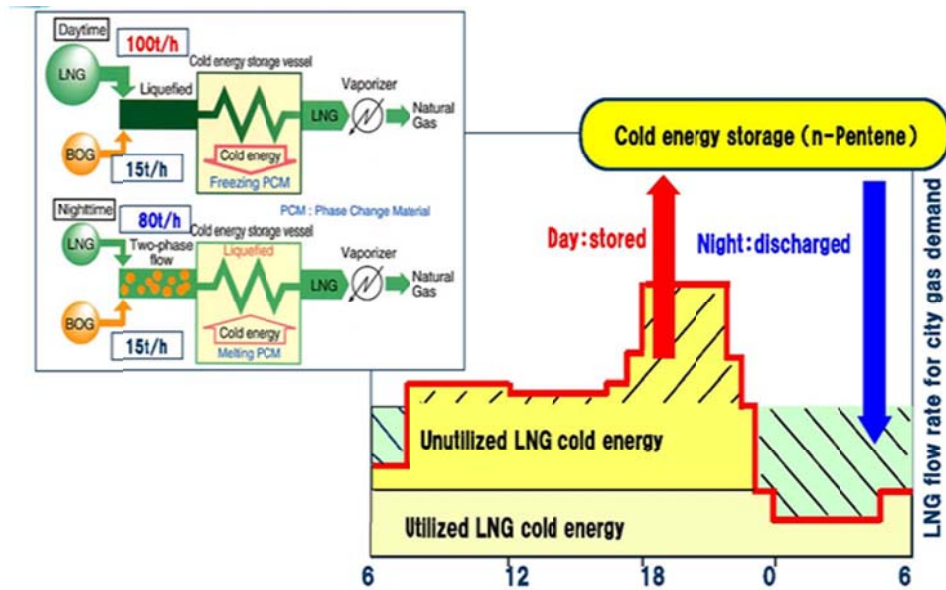
	Commissioning Yr	Liquefied CO ₂ /Dry Ice	LNG, t/h
Plant No. 1 (Senboku I)	1980	140 ton/day -	5.0
Plant No. 2 (Senboku I)	2004	120 ton/day 48 ton/day	8.5

CO₂ 液化流程如下：



4. 冷能儲存

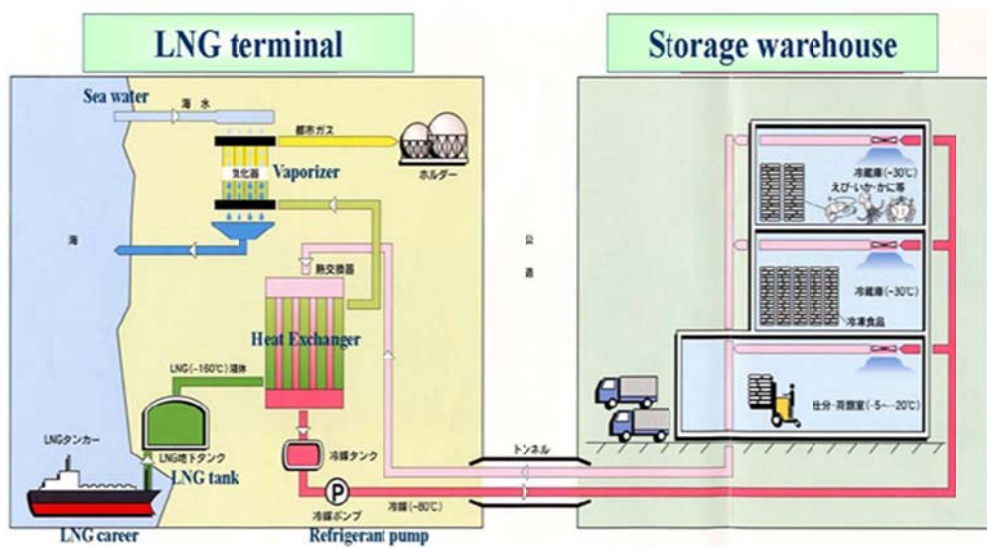
天然氣用氣需求，通常隨著季節溫度變化而改變，白天與晚上因客戶不同，用氣量也會有差異，白天的用氣量通常高於夜間，為充分利用冷能並穩定冷能之供應，在尖峰用氣時利用相變材料介質(Phase Chang Material)將多餘冷能儲存，俟夜間離峰時釋放，示意如下圖所示：



5. 低溫倉儲:

低溫倉儲利用 LNG 冷能，做為冷凍倉儲的冷源，由於不需電力帶動冷凍壓縮機，可節省用電成本。

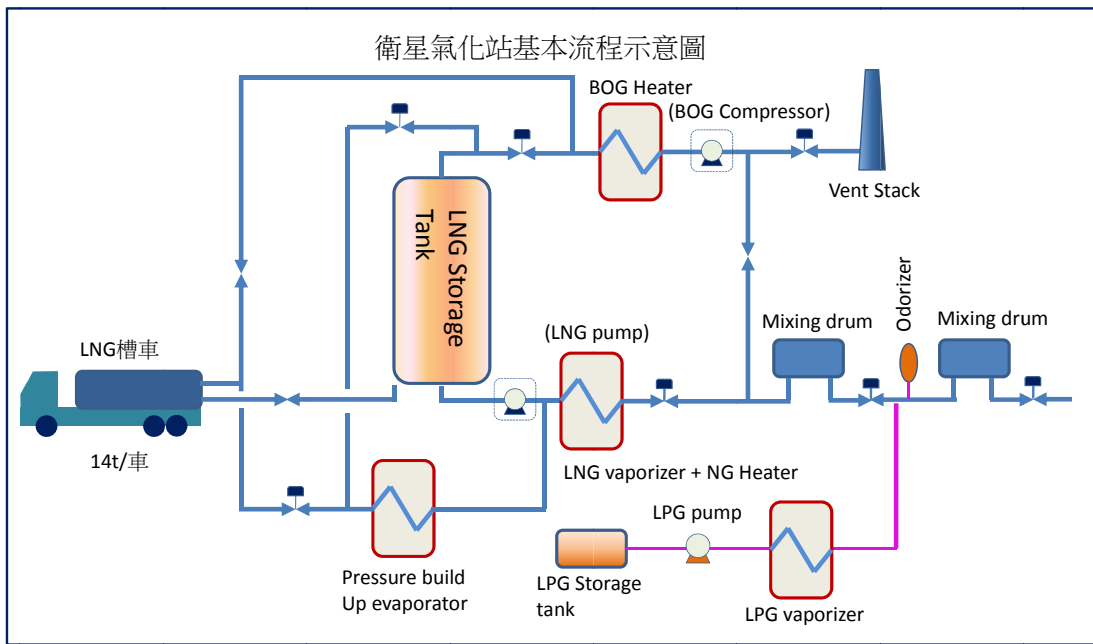
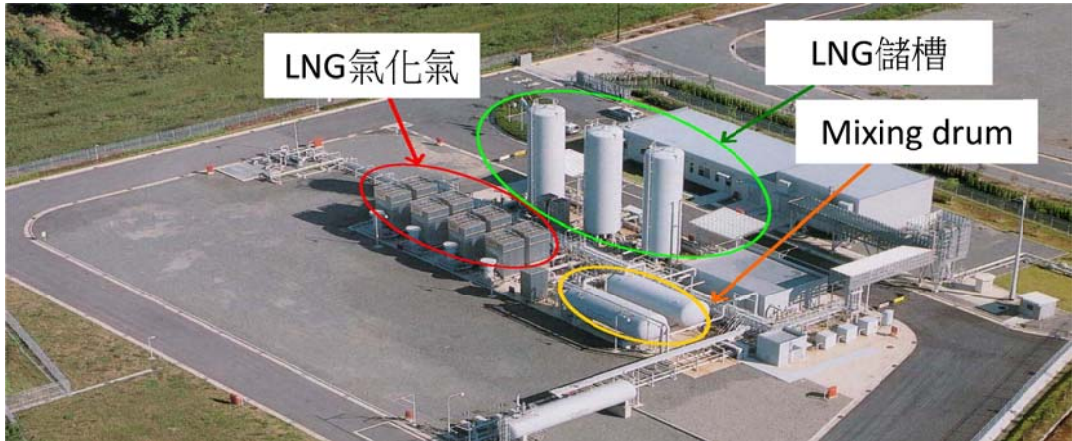
下圖是冷凍倉儲的流程示意圖:



五、LNG 衛星站與槽車儲運作業

為推廣天然氣使用，大阪瓦斯公司於全國輸氣管線為到達區域鄉鎮、工業區等，共設置 47 座衛星氣化站(Satellite Station)，並視距離遠近採槽車(200km)、火車及小型 LNG 載用，後者適合離島或較長距離之補給。

衛星站重要設備及基本流程示意圖如下所示：



衛星站 LNG 補給方式主要為槽車、火車及船運，如下圖：

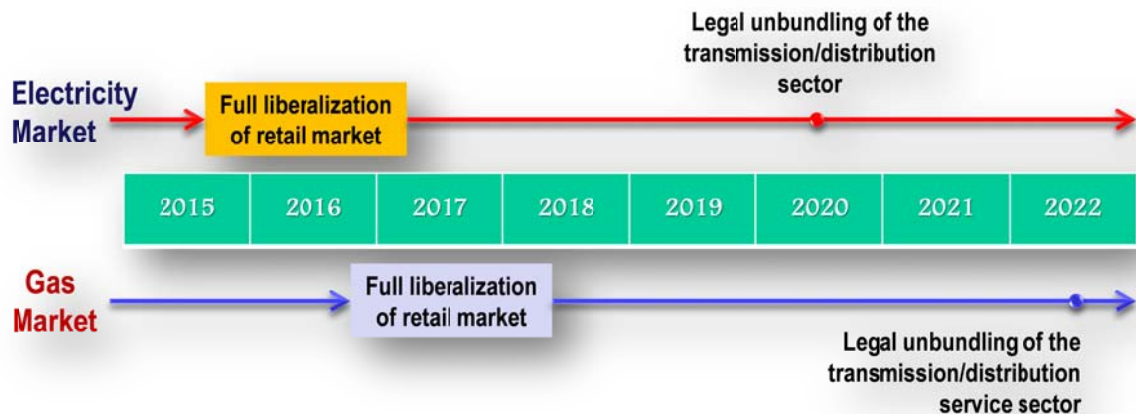




LNG Coastal Tanker

六、日本天然氣事業自由化

依據日本政府之規劃，日本國內電力及天然氣市場將朝自由化方向改革，並已具體訂出市場改革時間表，在電力市場方面，預定於 2016 年零售市場全面自由化，2020 年輸配電業務分拆獨立營運。而在天然氣市場方面，預定於 2017 年零售市場全面自由化，到 2022 年輸配氣系統切割獨立營運。



面對日本天然氣市場全面自由化的衝擊，大阪瓦斯公司的因應策略是，逐漸發展成全面性能源公司，針對不同客戶需求提供能源及節能措施服務，並藉此建立競爭優勢。

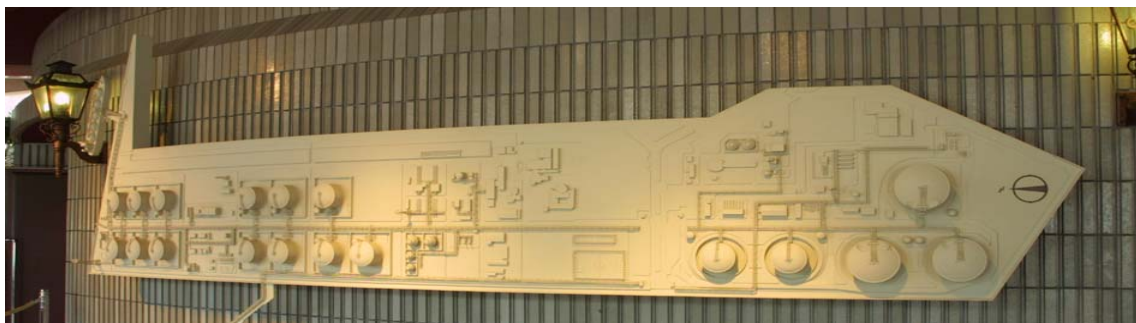
七、參訪科學博物館

參觀大阪瓦斯公司科學博物館，其利用模型製作、影片及動畫播放等展示來說明「天然氣的生產過程」、「環保節能」，可開放學生戶外教學及民眾參觀，是最好的敦親睦鄰活動，也是提供教育的最佳教材，可供本公司借鏡與學習。

科學館吉祥物：



天然氣接收站的模型：



熱氣球模型：



開放學生戶外教學：



肆、心得與建議

- 一、日本地上液化天然氣儲槽興建容積已逐步提升至 18 甚至 23 萬公秉，本公司目前興建中之台中液化天然氣儲槽容積仍為 16 萬公秉，日本與台灣同為 LNG 進口國家，且由於 LNG 在初級能源供應之占比很高，日本為穩定及安全供應天然氣，對儲槽容量非常重視，且由於可供興建儲槽用地供給有限，因此在儲槽興建上逐漸朝向大型化發展。台灣由於核四封存、穩健減核及節能減碳之能源政策，可預見將來進口天然氣需求將逐年增加，LNG 占初級能源供應比例將逐年增加，為確保 LNG 之充分穩定供應及安全，政府已核定由本公司負責興建及營運第三座液化天然氣接收站，本公司並已規劃第一階段將興建 4 座 LNG 儲槽。另方面政府能源主管機關能源局也意識到儲槽容量對天然氣穩定供應之重要性，並已著手研議修訂天然氣事業法有關儲槽容量天數之規定，未來擬由目前 15 天往上增加。鑑此，由於國內可供興建 LNG 儲槽之用地有限，且受社會民情接受度影響，通常必須填海造地取得用地，增加興建成本，因此，新建儲槽逐步大型化，應該值得進一步評估研議。
- 二、大阪瓦斯公司目前興建 23 萬公秉儲槽內槽以 7% Ni-TMCP 取代 9% Ni 鋼，由於稀有金屬 Ni 含量減少下，有效降低儲槽建造成本，提升整體計畫效益，7% Ni-TMCP 與 9%Ni 鋼因交貨期相當，因此建造工期不變，但建造成本約可減少 10 %左右，然目前除日本外尚無商業運轉實績，且因內含特殊專利製程，可供應此項材料僅日本新日鐵、住友鋼鐵公司，因此，能否採行，尚待國際標準規範認證及更多成功使用實績驗證。
- 三、日本儲槽興建標準係採該國 JGA Code，而我國目前核准指定適用標準內槽為 API620、外槽為 EN14620，API620 規定 9%NI 鋼加工厚度需小於 50mm，依現行我國地震力標準設計出之鋼板厚度，依據大阪瓦斯工程公司初步評估，興建 18 萬公秉儲槽應屬可行，因此，建議盡速就興建大型 LNG 儲槽可行性及法規引用適用性，進行完整評估，以作為未來本公司新建地上式儲槽參考。
- 四、LNG 冷能利用於冷能發電、空氣液化及分離、CO₂ 液化、冷能儲存、低溫倉儲等，已證明技術成熟可行，國內漁業署並正積極推動利用 LNG 氣化後之冷排水於冷水性養殖，鑒於第三座液化天然氣接收站計畫推廣冷能利用，行政院國發會已正式納入審查意見。因此，第三座液化天然氣投資計畫，冷能利用部分將一併

納入站區規劃，專案辦公室將邀請本公司相關單位包括天然事業部、研究所、工程單位等先期研議評估，並委託具經驗及專業顧問公司進行規劃及基本設計，以期提升 LNG 冷能利用，為公司創造利潤、提升社會形象。

- 五、基於推廣國內天然氣市場並藉此降低 CO2 排放，不論是供應管線無法到達之偏遠地方、工業區，或是配合政府節能減碳推動 LNG 車的政策，LNG 衛星站勢必成為本公司營運的新商機之一，有關 LNG 衛星站設置、LNG 槽車或以小型 LNG 船運輸，日本大阪瓦斯已有豐富經驗，本公司天然氣事業部並已納入其未來營運發戰策略。建議未來第三座液化天然氣投資計畫，可評估規畫設置灌裝場、小型 LNG 船 Re-loading 碼頭，以配合推廣國內天然氣使用，並發展 LNG 轉運業務。
- 六、大阪瓦斯公司設立科學博物館具有寓教於樂的功能，未來第三座液化天然氣投資計畫規劃時，建議亦可興建科博物以宣傳本公司致力於環保的努力以達到敦親睦鄰及回饋地方的效益。
- 七、日本天然氣及電力市場將全面自由化，2022 年前天然氣輸配氣系統須獨立營運，推動全面代輸，國內同樣面臨台電公司天然氣代輸儲的要求，準此，日本推動市場自由化及代輸制度，值得本公司進一步蒐集相關資料進行研析，作為本公司研訂代輸機制之參考，另大阪瓦斯公司面對此一經營環境變革，其所提出之因應策略也值得本公司持續觀察及學習。