

ＬＮＧの海洋輸送。備蓄システムについて

中央大学助教授 西沢 起 昭
石川島播磨重工業(株) 下 村 泰 三
(株) 開発成隣 ○板 子 忠 雄
(株) コルバツフ 人 見 信 之
(株) 関 組 桑 隆 次 郎
フジタ工業 (株) 櫻 村 博

1. はじめに

液化天然ガス(ＬＮＧ)は、クリーンエネルギーとして、また資源導入型の我が国としては、エネルギー源の多源化の一つとして注目され、ＬＮＧの輸入量は、昭和44年の100万トの実績から本年度においては、1600万トに達し、昭和60年度までの計画中のプロジェクトを合わせると3,400万ト/年になる。

さらに現在検討中のプロジェクトを合わせると4,400万ト/年程度となり、先般米政府の目標とされている昭和60年度2200万トは供給面では準備期間に6～7年を要するとしても、可能と考えられる。

このような供給面の見通しに対し、需要面では受け入れ基地の建設、需要の確保などについて、明確な見通しが得られていない状況にあり、従って、ＬＮＧプロジェクトの成否は需要面にあるといっても過言ではない。

概ね、以上のような状況に鑑み、ＬＮＧなど低温液体燃料を安全に輸送、備蓄する一貫システムとして、従来の鋼製ＬＮＧ船一陸上タンクに代わる新しい輸送、備蓄システムであるコンクリート系の輸送施設(セメントコンクリート系、レジンコンクリート系のバージ)―バージによる海洋備蓄システムを対象とした研究の一環である。

2. 研究内容

大規模なＬＮＧ基地に対する陸上立地確保上の問題、大型タンカーが入港できる航路、港湾条件の問題が解決され、大需要量が確保されれば、大規模ＬＮＧ基地に対する輸送、備蓄システムとしては、従来方式である大型ＬＮＧ船一陸上タンク方式が有利となることは過去の研究から明らかとなった。

しかし、近年ＬＮＧ基地等の大規模な用地獲得がますます困難になってきており、大規模の需要地より中小規模の需要地が各所に建造されると予想され、またこのような中小規模のＬＮＧ基地に対しても採算性のとれる輸送、備蓄システムが開発されれば、新たな需要が生じられると予想された。

このような過去の研究成果を前提として、本研究においては、「海洋輸送、備蓄一貫システム」を①外洋の一次輸送システム、②中継基地、③沿海の二次輸送システム、④サテライト基地のサブシステムに分解し、これらサブシステムの数量、規模、種類、利用コストを变量とした多くの有意な組合せ(全体システム)について、一定の条件下にＬＮＧの供給地から最終需要地(サテライト基地)までの輸送、備蓄コストの算出からシステム分析を行ない、最適な全体システムを探索し、同時に各サブシステムの最適な仕様を明らかにすることとした。

①) ＬＮＧ輸送、備蓄一貫システムのパターン選定

過去の研究成果によると大規模なＬＮＧ基地は立地確保が近年ますます困難になっていることから、中、小規模のＬＮＧ基地(サテライト基地)をいくつか想定した時、ＬＮＧの積出基地からサテライト基地までの輸送及び需要地での貯蔵システムは表-1のようにパターン化される。

直送方式とは積出基地からサテライト基地まで同一輸送施設で連続したＬＮＧを直送する方式で、ここでは実現可能性の算出から従来方式であるＬＮＧ船による方法と河川及び沿海域のＬＮＧ輸送に利用されているＰＢＳ(Pusher Barge System)による方法の2種類だけを取り上げた。

中継方式とは、大量の輸送施設で一次輸送を行い中継基地を経由して各地のサテライト基地へ二次輸送を行うものである。

中継基地の立地によって、陸域中継基地と海域中継基地があるが、前者は大規模な中継基地を陸上に建設するといふ立地確保上の大きな問題と、大型のLNG船が入港できる港湾が必要とされる点から適地が限定される。

このため、このパターンは

検討対象から除外した。海域中継方式の場合、一次輸送方法としては直送式の場合と同様の理由でLNG船とPBSの2種を取り上げた。さらに、この場合二次輸送方式としては、実現可能性と利用適性の点からPBSのみを検討対象とした。

無中継方式とは、何隻かのバージを集めた船団で一次輸送を行ない、中継基地を必要とせずいくつかのサテライト基地にバージを転搬送し、サテライト基地ではバージを貯蔵施設として使用するシステムである。

このシステムは、船団の組み方によってBTS(Barge Train System)無中継、BIS(Barge Integrator System)無中継方式が考えられる。BTS無中継システムとは、バージを2〜4隻連結し、プッシュャーで押航する方法であるが、バージ連結部の構造、BOGの有効処理等、技術開発課題が多い。BIS無中継システムとは、バージ4〜6隻を母船に浮遊状態のまま集集し、そのまま航行する方法である。

以上のように、輸送備蓄一貫システムとして、直送一2種、中継一2種、無中継一2種の6種のパターンを検討対象として選定した。

(2) LNG輸送、備蓄一貫システムの要素設計

① 要素設計の前提条件

現在、日本に輸入ないし、輸入計画されているLNGプロジェクトの供給地及び将来輸入対象となり得るガスの田の両方を基に輸送距離を大まかに分類すると、

5,500哩：中国(渤海湾、黄海、東支那海)、マクート(オリグ湾)

3,000哩：インドネシア、マレーシア、ブルネイ、アラブス、オーストラリア、

6,500哩：アブダビ、イラン、サウジアラビア、

となる。

LNGの一次輸送コストは輸送距離に比例し、特に、中近東のような6,000哩以上の輸送距離になると、大容量(2.5万m³級)で、船速の速いLNG船で輸送の方が有利となることはいうまでもない。

従って、ここでは、本課題の開発目標であるLNGの「海洋輸送、備蓄一貫システム」が有利に適合すると思われる3,000哩程度の中距離を対象として、前記6種の輸送備蓄一貫システムのサテライト基地(要素)の仕様を検討す

表-1 LNG輸送・備蓄システムのパターン

	一次輸送	中継基地 (備蓄形態)	二次輸送	サテライト基地		ケース
				貯蔵形態	利用システム	
直送方式	LNGT			陸域タンク	ペーパライザー	利用プラント A ₁
	PBS			バージタンク	ペーパライザー	利用プラント A ₂
中継方式	LNGT	陸域中継基地 (陸域タンク)				利用プラント B ₀
			PBS	バージタンク	ペーパライザー	利用プラント
	LNGT	海域中継基地 (海域タンク)	BOGライン			利用プラント B ₁
			PBS	バージタンク	ペーパライザー	利用プラント
無中継方式	PBS	海域中継基地 (バージタンク)	BOGライン			利用プラント B ₂
			PBS	バージタンク	ペーパライザー	利用プラント
無中継方式	BTS		お手玉輸送	バージタンク	ペーパライザー	利用プラント C ₁
	BIS (LASH)		お手玉輸送	バージタンク	ペーパライザー	利用プラント C ₂
			PBS			

LNGT:LNGタンカー、PBS:Pusher Barge System、BTS:Barge Train System、BIS:Barge Integrator System、LASH:Lighter Aboard SHIP、BOG:Boil off Gas

ることにした。

その他の要素設計の前提条件は、過去の研究成果及び現状調査資料を基に以下のよう設定した。

・一次輸送量(揚荷量): 100万[㌧]/年, 200万[㌧]/年, 400万[㌧]/年

・二次輸送量(サテライト基地需要量): 50万[㌧]/年以下

・二次輸送距離: 200哩以下

・一次及び二次輸送容量、輸送速度: 右表参照

・オイルオフ率: 0.25 %/日

・保冷用死量率(漏路): 0.35 %/日

・積地確泊日数: 1.5 ~ 2 日

・揚地確泊日数: 1 ~ 1.5 日

・年間稼働日数

L N G T : 335 日/年

バージ : 345 日/年

ブツシマ、母船: 350 日/年

システム	一 次 輸 送		二 次 輸 送	
	容量 (万 [㌧])	速度 (Kt)	容量 (万 [㌧])	速度 (Kt)
L N G T 直 送	7.5	19	—	—
P B S 直 送	4	10	—	—
L N G T - P B S 中 継	12.5	19	1, 2, 4	7
P B S - P B S 中 継	6, 10	7	2	7
B T S 無 中 継 (2 万 [㌧] ×4)	8	6	—	—
B I S 無 中 継 (15 万 [㌧] ×4)	6	15	* 2	7

* 母船の吃水が大きいため二次輸送は P B S で行うものとした。

尚、荒天等による稼働日数はいずれも15日/年として、上記稼働日数から差引いた。

また、サテライト基地、中継基地における備蓄パターン(需要推移パターン)は、サテライト基地の需要の季節変動、基地の定期補修等を考慮して定めた。

② 要素設計

要素設計に当っては、表-1に示した7つのパターンの中から陸域中継システムを除いた6つのパターンについて、それぞれの分析モデルに基づいて分析し、全体システムを構成するサブシステム(要素)の諸元を決定した。

(3) L N G T 輸送、備蓄一貫システムの経済分析評価

経済分析評価では、前述の6種のパターンについて、要素設計で決定されたサブシステムの建設費と過去の研究成果及び現状調査資料を基に推定し、各パターン別に L N G T の輸送、備蓄経費を算出した。

算定結果を図-1、図-2に要約したが、本研究「L N G T の海洋輸送、備蓄一貫システム」の中の主たる研究課題である「輸送備蓄施設と材料、構造、機能の面から実施可能な範囲で、技術的に革新的なものとした場合でも、在来技術による一次輸送—L N G T 船、陸域貯蔵」といった、在来の直送方式と経済的に立ち打ちできる全体システムは、「L N G T - P B S 中継方式」だけのようである。

尚、L N G T - P B S 中継システムについては、中継基地(20万[㌧])及びバージ(2万[㌧])の建設費が施設の基本設計において、それぞれ300億~340億円、38億~50億円と幅を持って積算されたので、スロウケースについて、全体システムの建設費及び輸送、備蓄経費を算出した。

また、上記の結論(図-1、図-2)をさらに詳細に確認するため、経済的に有利と思われる L N G T 直送システム、L N G T - P B S 中継システムについて、サテライト基地の仕様(数量、規模)及び二次輸送システムの仕様(バージの規模、二次輸送距離)を変えて、全体システムの建設費及びこれに係る L N G T の輸送、備蓄経費を算出し、図-3 ~ 図-7

に要約したが、サテライト基地の規模が小さく、数が多くなると、L N G T - P B S 中継システムが有利となる。

また、サテライト基地の規模が25万[㌧]/年~50万[㌧]/年の範囲では、バージの容量は1.5万[㌧]~2万[㌧]が有利となる。

サテライト基地需容量：50万t/年・基地
二次輸送距離：50哩と100哩のサテライト基地が同数存在
LNGT-PBS中継システムにおけるケース1、ケース2の分析

年間揚荷量(万t/年)	100	200	400	100	200	400
載荷容量(万m³)	2	2	2	15	20	30
建造費	バージ建造費	バージ建造費	バージ建造費	中継基地の建造費	中継基地の建造費	中継基地の建造費
ケース1	50億円/隻	50億円/隻	50億円/隻	280億円	340億円	450億円
ケース2	38億円/隻	38億円/隻	38億円/隻	250億円	300億円	400億円

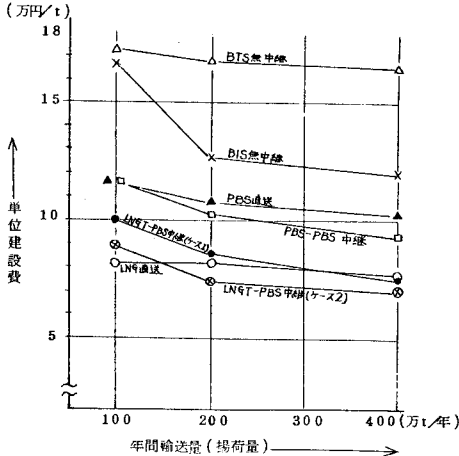


図1-1 LNG輸送・備蓄システムの建設費

サテライト基地需容量：50万t/年・基地
二次輸送距離：50哩と100哩のサテライト基地が同数存在

LNGT-PBS中継システムにおけるケース1、ケース2の仕分け

年間揚荷量(万t/年)	100	200	400	100	200	400
載荷容量(万m³)	2	2	2	15	20	30
建造費	バージ建造費	バージ建造費	バージ建造費	中継基地の建造費	中継基地の建造費	中継基地の建造費
ケース1	50億円/隻	50億円/隻	50億円/隻	280億円	340億円	450億円
ケース2	38億円/隻	38億円/隻	38億円/隻	250億円	300億円	400億円

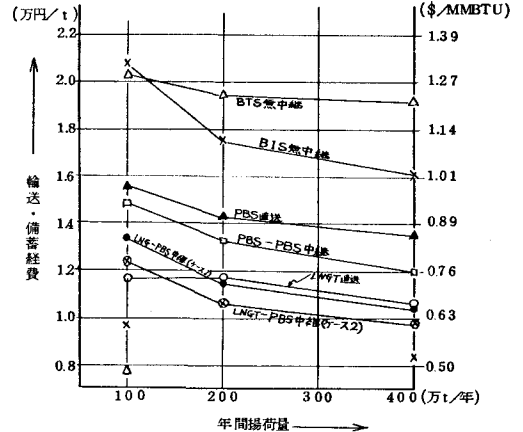


図1-2 輸送・備蓄経費

3. まとめ

経済比較によれば、LNGT-PBS中継システムとLNGT直送システムは年間揚荷量200～400万t/年程度の規模では、建設費(6.9万円/t～8.5万円/t)、輸送・備蓄経費(0.97万円/t～1.2万円/t)とも、他の4つのシステムに比べると、かなり安価である。

技術的な課題としては、LNGT直送システムは本研究の場合、サテライト基地における貯蔵容量を少なく済ませるためにLNG中継による多港荷揚げ方式を採用したが、この方式では、タンクの液面が半載状態で航行する場合には、スロッシング荷重に耐える構造にする必要があり、また空載タンクと満載タンクという状態で航行する場合にはトリムを考慮したバラストタンクを持ち、かつ液圧を考慮した構造にする必要がある。

LNGT-PBS中継システムの技術的な課題としては、海洋での中継システムが今日までに例がないということがあげられるが、近年、ジャワ沖50マイルで実稼働プラインによるPSコンクリート製のLPGプラントバージが運転を開始した実績もあり、可能と考えられる。しかし、立地条件によっては、保留方式、荷役方式等に技術開発課題があるであろう。

二次輸送距離：50哩と100哩の基地が同数存在

LNGT-PBS中継システムにおけるケース1、ケース2の仕分け

載荷容量(万m³)	2	1.5	2.0
建造費	バージ建造費	バージ建造費	中継基地建造費
ケース1	50億円/隻	40億円/隻	340億円
ケース2	38億円/隻	30億円/隻	300億円

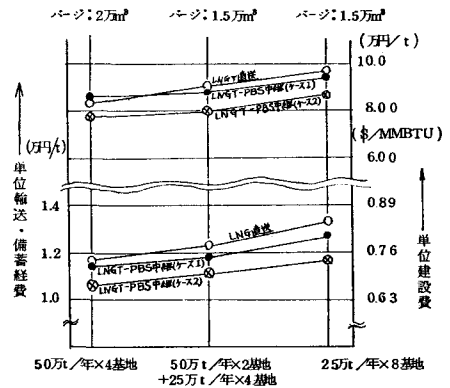


図3 サテライト基地の仕様による建設費及び輸送・備蓄経費

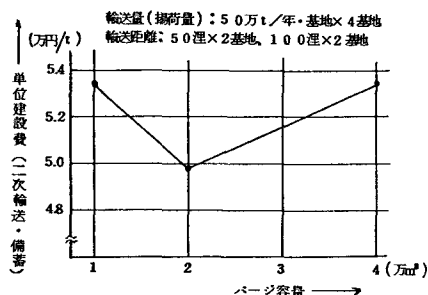


図-4 タンクバージ容量—二次輸送・貯蔵に係わる建設費

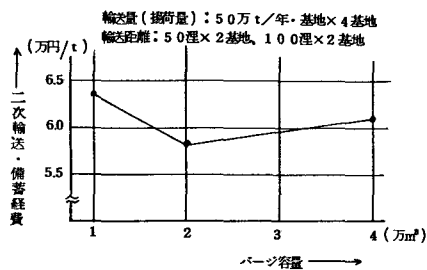


図-5 タンクバージ容量—二次輸送・貯蔵経費

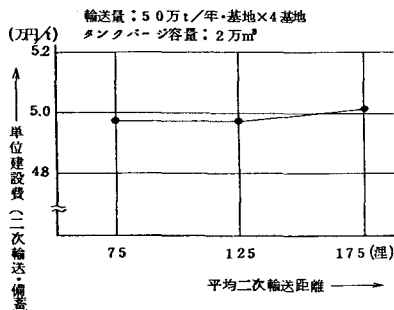


図-6 平均二次輸送距離—二次輸送・備蓄に係わる建設費

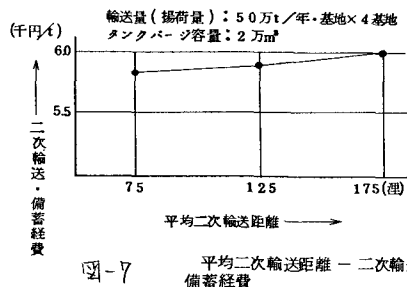


図-7 平均二次輸送距離—二次輸送・備蓄経費

またバージによるLNGの輸送に関しては、2～3の実績もあり、特に、沿海を輸送する二次輸送に関しては、ボイルオフガスの有効処理という技術課題を除いては、あまり問題はなideあろう。

サテライト基地におけるバージによる貯蔵ということに関しては、防災上からの制約となる立地条件を充分考慮する必要があるであろう。

またサテライト基地におけるバージの保留、保留方法はバース式と締切堤式を想定したが、経済的には両者に大差がないことから、各方式に通ずる立地条件が選定要因となるであろう。

LNGT-PBS中継システムの特長としては、

① 比較的小さな需要基地(200t/年～600t/年)がいくつか存在する場合でも大需要地(100万t/年以上)のように、一次輸送において輸送効率のよい大型LNG船(12万m³級以上)を使用できる。

② 需要地における貯蔵容量は、①需要パターン(需要の季節変動)、②需要基地の定期補修形態(プラントのダウンタイム日数及び定期補修時の稼働率)、③LNG船の載荷容量、④LNG船の入港間隔(LNGの年当り航海数)等によって、左右されるが、中継方式においては、中継基地の備蓄タンクが各サテライト基地における①および②に基因する貯蔵容量のピークおよびオフピークを均すことができ、全貯蔵容量(中継基地の備蓄容量+サテライト基地の貯蔵容量)は、直送方式における全貯蔵容量(サテライト基地の貯蔵容量)よりも少くすることができ、貯蔵用地も少なくてすむ。

尚、経済計算にあたっては、種々の条件設定に基づいて算出したものであるから、相互比較に際しては、問題は少ないが、全額そのものの絶対値は参考にとどめらる。

また、図-8にはLNGT-PBS中継システムの主要施設であるREC製LNGバージの一般配置図を参考に示した。

(社)日本海洋開発産業
協会をはじめこの研究の御
指導、御協力をいただいた
諸兄に本紙をかりて謝意を
表します。

