

LNGの海洋輸送・備蓄一貫システムについて

中央大学 西沢 紹昭
 フジタ工業(株) 田中誠一郎
 (株)開発機構 板子 忠雄
 (株)間組 湊 隆次郎

まえがき

わが国のエネルギー源のほとんどは石油であるが、近年、石油消費に伴う大気汚染などの公害問題がクローズアップされてきており、無公害エネルギーであるLNGの利用が進められてきている。

著者らはLNGの海洋輸送および海洋備蓄について新しい提案を行ない、そのコストスタディーを行なった。その結果、バージによる輸送・備蓄一貫システムが経済的に優れているとの結論を得た。

輸送・備蓄一貫システム

LNGの価格を分析してみると、輸送費の割合が非常に大きくなっている。これは、LNGが低温であるため、タンカーの材料として低温特性のよい高価な金属が必要となり、鋼製タンカーの建造費が通常の石油タンカーにくらべて非常に高くなるためである。とくに、わが国の場合は輸送距離が長くなるためタンカーが数多く必要となり、LNG価格のうち輸送費の占める割合が50%以上となっている。

以上のことから、LNGをより安価に輸入するためには輸送費を低減するのが最も有効な方法であり、その一つの方法として低温特性のよいコンクリート（レジコンクリートを名む）製のバージで輸送してそのまま備蓄し、輸送施設と備蓄施設と兼用することが考えられる。著者らはいくつかの条件を設定し、バージによる輸送・備蓄一貫システムの経済性について検討した。

コストスタディーにおいては、輸送方法として従来からの鋼製タンカーのほかにはアレストレストレジコンクリート（以下、PRCと略す）製バージ、アレストレストコンクリート（以下、PCと略す）製バージ、PRCバージ用ラッシュ船、PCバージ用ラッシュ船をとりあげ、備蓄方法としてPRCバージタンク、PCバージタンクの他にフローティングタンク、地下タンクをとりあげて検討した。

これらの輸送・備蓄方法の模式図を図-1に示す。

輸送コスト

輸送距離として4000 km, 8000 km, 12,000 kmの3ケースを想定し、輸送コストは次式で計算した。

$$\text{輸送コスト} = \frac{\text{年間輸送経費}}{\text{年間揚荷量}}$$

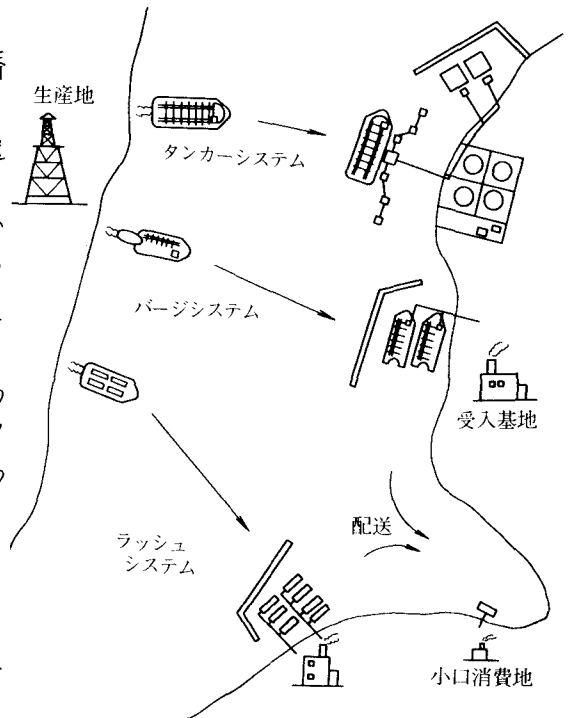


図-1 輸送・備蓄方法模式図

ただし

年間輸送経費＝直接船費＋間接船費＋運航費

直接船費＝船員費＋修繕費＋保険料

間接船費＝減価償却費＋金利

運航費＝燃料費＋港費

年間揚荷量＝一航海揚荷量×年間航海数

一航海揚荷量＝積載積荷量－ボイルオフ量（積載往復換算）

航海状況の一覧を表－１に、輸送経費の一覧を表－２に、各経費の設定条件を表－３に示す。

輸 送 距 離			km		4,000		8,000		12,000				
			海 理		2,160		4,320		6,480				
輸 送 方 法	構 造 材 料	積 載 容 量 (万m³)	航 海 速 度 (kt)	停 泊 日 数 (日)	一 所 航 海 あ た り 日 数 (日)	年 間 航 海 数 (回)	一 所 航 海 あ た り 日 数 (日)	年 間 航 海 数 (回)	一 シ ス テ ム あ た り 年 間 揚 荷 量 (万m³)	一 所 航 海 あ た り 日 数 (日)	年 間 航 海 数 (回)	一 シ ス テ ム あ た り 年 間 揚 荷 量 (万m³)	
タンカー	鋼	5	18	4	14	22.5	108	24	13.1	60.8	34	9.3	41.8
		10				216	122			83.5			
		20				431	243			167			
バ ー ジ	PRC	1	12	1	16	19.7	18.8	31	10.2	9.3	46	6.8	5.9
		5				93.8	46.3			29.3			
	10	188				92.5	58.6						
	PC	5	9	21	15.0	70.3	41	7.7	33.8	61	5.2	21.2	
ラッシュ船	PRC	5	15	2	14	22.5	108	26	12.1	55.8	38	8.3	36.8
		10				216	112			73.5			
		PC				5	108			55.8		36.8	

- 注 1) 一航海あたり所要日数＝輸送距離×2
航海速度
- 2) 年間航海数＝年間稼働日数(315日)
一航海あたり所要日数
- 3) システムあたり年間揚荷量＝[積載容量×(1－ボイルオフ量×一航海あたり所要日数)]×年間航海数

表－１ 航海状況一覧

表－２ 輸送経費一覧

輸送方法		タンカー			バ ー ジ			ラッシュ船		
構造材料		鋼			PRC			PC		
積載容量(万m³)		5	10	20	1	5	10	5	10	5
1システムの総建造費(億円)		180	280	350	17	52	89	59	76	138
年間輸送経費(億円)	直接船費	船員費 1.3 3.6 2.7	船修繕費 1.5 5.6 4.2	燃料費 2.0 7.0 5.3	0.8 0.3 0.3	1.0 1.0 0.8	1.3 1.8 1.3	1.0 1.2 0.9	1.3 1.5 1.1	1.5 2.8 2.1
	間接船費	減価償却費 8.1 18.0	減価償却費 12.6 28.0	減価償却費 15.8 35.0	0.8 1.7 0.4	2.3 5.2 0.7	4.0 8.9 0.10	2.7 5.9 0.07	3.4 7.6 0.07	6.2 13.8 0.10
	運航費	燃料費 1.4 0.07	燃料費 2.1 0.10	燃料費 2.8 0.13	0.4 0.04 0.07	0.8 0.07 0.10	1.3 0.9 0.07	0.9 0.07 0.07	1.4 0.07 0.10	2.1 0.10 0.10
	合計	35.1	54.0	67.9	4.3	11.1	18.6	12.5	16.3	28.5
備考		注 1) 合計は港費を含んでいない								

項目	設定条件
直接船費	船員費 500万円/人・年、船員数は下表のように設定
	修繕費 建造費の2.0%/年
	保険料 建造費の1.5%/年
間接船費	減価償却 20年定額償却、残存価値10%
	金利 年10%
運航費	燃料費 2.1億円/年(10万m³ LNG タンカー)より下表のように設定
	港費 1千万円/航海(10万m³ LNG タンカー)より下表のように設定
備考	
輸送方法	タンカー、ラッシュ船
積載容量(万m³)	5 10 20
船員数(人)	25 30 40
燃料費(億円/年)	1.4 2.1 2.8
港費(千万円/航海)	0.7 1.0 1.3

表－３ 各経費の設定条件

以上のように求めた輸送コストと積載容量の関係を図-2に、輸送コストと輸送距離の関係を図-3に、輸送距離と単位輸送距離あたり輸送コストの関係を図-4に示す。

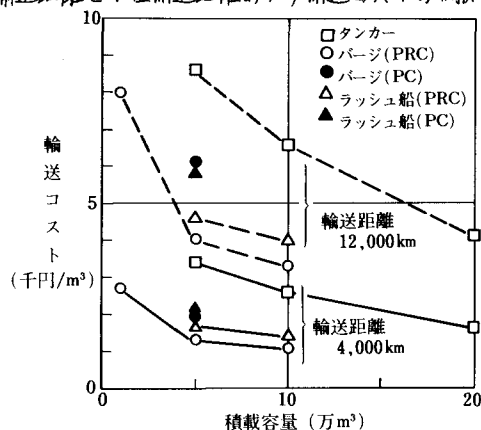


図-2 輸送コストと積載容量

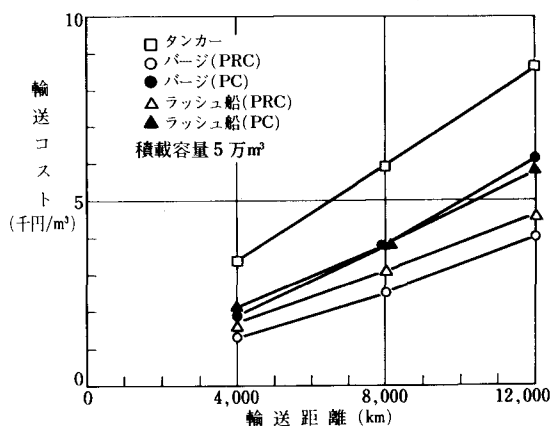


図-3 輸送コストと輸送距離

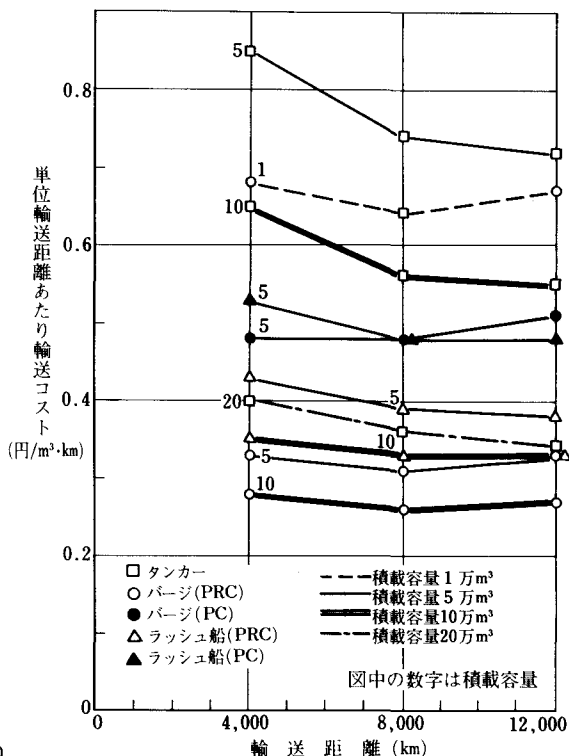


図-4 輸送距離と単位輸送距離あたり輸送コスト

図-2, 3, 4から次のことがわかった。

- ① 各輸送方法とも、積載容量が大きくなるほど輸送コストが安くなる傾向がみられ、タンカーにおいて特に顕著である。
- ② 同積載容量で比較すると、PRCバージの輸送コストが最も安く、ついでPRC用ラッシュ船が安く、鋼製タンカーはバージの約2倍である。
- ③ PCバージとPRCバージを比較すると、PRCバージのほうが若干輸送コストが安くなり、輸送距離が長くなるほどその差が大きくなる。また、ラッシュ船についても同様である。
- ④ 鋼製タンカーの単位輸送距離あたり輸送コストは輸送距離が長くなるほど安くなる傾向にあるが、各バージ、各ラッシュ船は8000km以上になると横ばいもしくは高くなる傾向にある。

備蓄コスト

年間輸送量としては100万セ、500万セ、1000万セの3ケースを想定し、備蓄コストは供給基地、受入れ基地の統コストで考え、次式で計算した。

$$\text{備蓄コスト} = \frac{\text{年間備蓄経費}}{\text{年間輸送量}}$$

ただし

$$\text{年間備蓄経費} = \text{減価償却費} + \text{金利} + \text{修繕費}$$

備蓄施設の建設費、各経費の一覧を表-3に、備蓄容量と備蓄コストの関係を図-5に、輸送量と備蓄コストの関係を図-6に示す。

図-5、6から次のことがわかった。

- ① 地下タンクの備蓄コストは非常に安く、PRCバージタンクの約 $\frac{1}{4}$ 、フローティングタンクの約 $\frac{1}{3}$ である。
- ② バージタンクおよびフローティングタンクの備蓄コストは、単位備蓄容量が大きくなるほど安くなる傾向にあるが、地下タンクはあまり変化がない。

表-3 備蓄施設の建設費、各経費一覧

備蓄方法	構造材料	備蓄容量 (万 m^3)	建設費 (億円)	備蓄経費 (億円)				
				減価償却費	金利	修繕費	合計	
バージタンク	PRC	1	10	0.45	1.00	0.20	1.65	
		5	41	1.85	4.10	0.82	6.77	
		10	72	3.24	7.20	1.44	11.88	
	PC	5	48	2.16	4.80	0.96	7.92	
		1.25	12	0.54	1.20	0.24	1.98	
		2.5	23	1.04	2.30	0.46	3.80	
ラッシュ・船送用	PC	1.25	14	0.63	1.40	0.28	2.31	
		1.25	14	0.63	1.40	0.28	2.31	
地下タンク	PRC	5	10	0.45	1.00	0.20	1.65	
		10	19	0.86	1.90	0.38	3.14	
フローティングタンク	PRC	5	31	1.40	3.10	0.62	5.12	
		10	54	2.43	5.40	1.08	8.91	

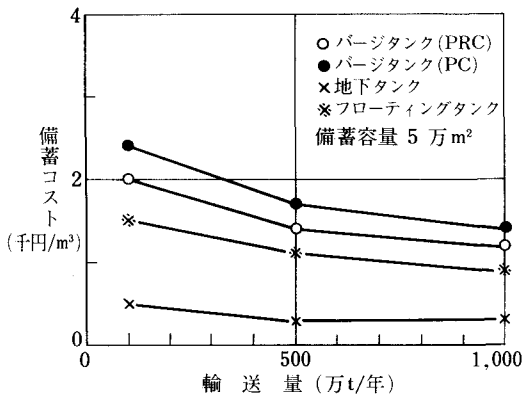


図-6 輸送量と備蓄コスト

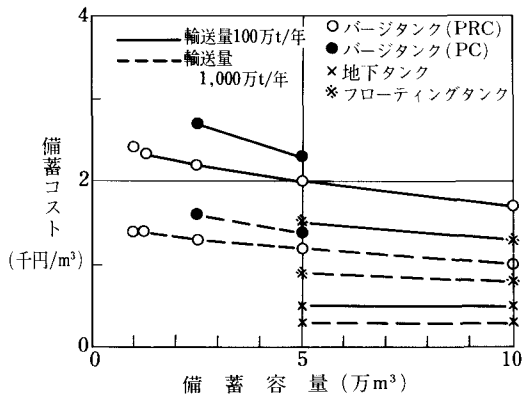


図-5 備蓄容量と備蓄コスト

輸送・備蓄方法		輸送距離 (km)	輸送量 (万t/年)			4,000			8,000			12,000		
			100	500	1,000	100	500	1,000	100	500	1,000	100	500	1,000
タンカー	地下タンク	5	3.9	3.7	3.7	6.4	6.2	6.2	9.1	8.9	8.9			
		10	3.1	2.9	2.9	5.0	4.8	4.8	7.1	6.9	6.9			
		20	2.1	1.9	1.9	3.4	3.2	3.2	4.6	4.4	4.4			
	フローティングタンク	5	4.9	4.5	4.3	7.4	7.0	6.8	10.1	9.7	9.5			
		10	3.9	3.5	3.4	5.8	5.4	5.3	7.9	7.5	7.4			
		20	2.9	2.5	2.4	4.2	3.8	3.7	5.4	5.0	4.9			
バージ	PRC	5	5.1	4.5	4.1	7.5	6.9	6.5	10.4	9.8	9.4			
		10	3.3	2.7	2.5	4.5	3.9	3.7	6.0	5.4	5.2			
		20	2.8	2.4	2.1	3.8	3.4	3.1	5.0	4.6	4.3			
	PC	5	4.2	3.6	3.3	6.1	5.5	5.2	8.4	7.8	7.5			
		10	3.4	3.1	2.7	4.8	4.5	4.2	6.9	6.3	6.0			
		20	2.7	2.4	2.1	3.8	3.4	3.1	5.0	4.6	4.3			
ラッシュ・船	PRC	5	4.0	3.4	3.1	5.4	4.8	4.5	6.9	6.3	6.0			
		10	3.6	3.0	2.7	4.8	4.2	3.9	6.2	5.6	5.3			
		20	2.7	2.4	2.1	3.8	3.4	3.1	5.0	4.6	4.3			
	PC	5	4.8	4.1	3.7	6.5	5.8	5.4	8.5	7.8	7.4			
		10	3.4	3.1	2.7	4.8	4.5	4.2	6.9	6.3	6.0			
		20	2.7	2.4	2.1	3.8	3.4	3.1	5.0	4.6	4.3			

表-4 輸送・備蓄トータルコスト一覧

(単位: 千円/ m^3)

輸送・備蓄トータルコスト

鋼製タンカーと地下タンク、フローティングタンクと組合せ、各バージ、各ラッシュ船と輸送・備蓄兼用とした場合の輸送・備蓄トータルコストの一覧を表-4に、容量と輸送・備蓄トータルコストの関係を図-7に、輸送距離と輸送・備蓄トータルコストの関係を図-8、9に示す。

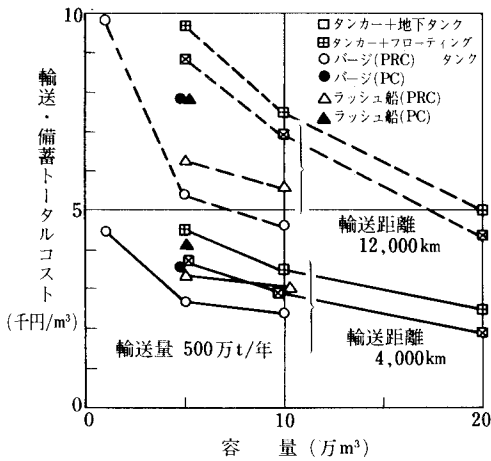


図-7 容量と輸送・備蓄トータルコスト

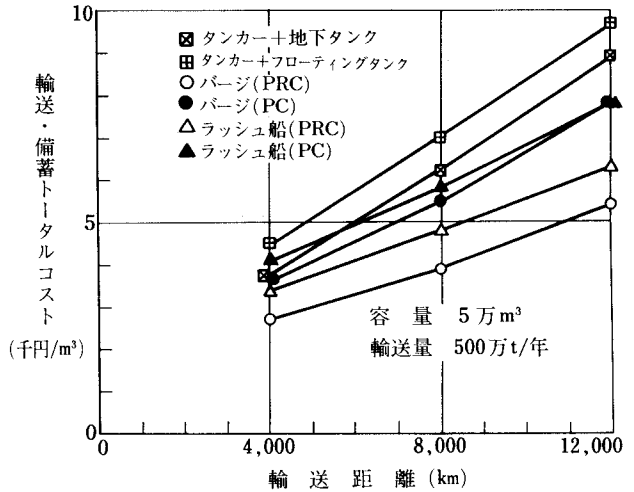


図-8 輸送距離と輸送・備蓄トータルコスト

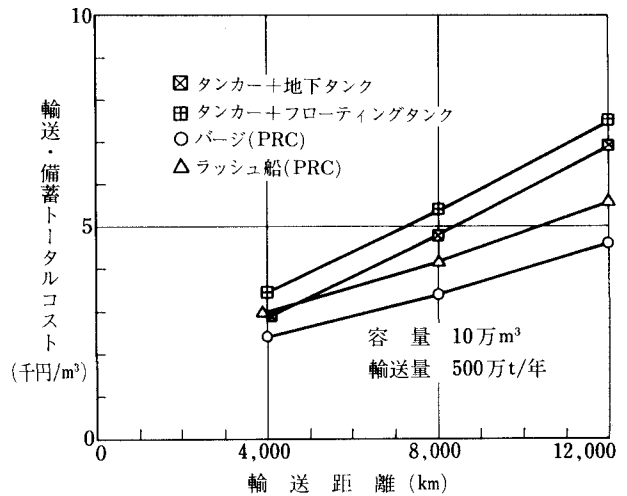


図-9 輸送距離と輸送・備蓄トータルコスト

図-7, 8, 9から次のことがわかった。

- ① 同容量で比較すると、PRCバージシステムの輸送・備蓄トータルコストは鋼製タンカーとフローティングタンクのシステムより3～4割、タンカーと地下タンクのシステムより2～3割安い。
- ② PRCラッシュシステムの輸送・備蓄トータルコストはPRCバージシステムより2～3割高くなり、輸送距離、4000kmの場合は鋼製タンカーと地下タンクのシステムと同程度である。
- ③ 10万m³ PRCバージシステムの輸送・備蓄トータルコストと20万m³鋼製タンカーを使用したシステムと比較すると、地下タンクと組み合わせた場合はタンカーシステムの方が安く、フローティングタンクと組み合せ

た場合はバージシステムのほうが安い。

まとめ

わが国では、狭い国土を有効に利用するため海域の利用が叫ばれており、石油の海洋備蓄も検討されている。石油の海洋備蓄では、油水置換を行って浮力の影響を小さくしているが、LNGは極低温であるため適当なバラストがないので浮力が問題となる。したがって、LNGの海洋備蓄ではフローティングタンク、バージタンクなどの浮上構造物が主となると考えられる。

備蓄を海洋に限定すると、10万 m^3 PRCバージシステムは最も経済的であり、20万 t 鋼製タンカーシステムより1割、10万 t 鋼製タンカーシステムより3~4割輸送・備蓄トータルコストが安い。

以上のように、バージによる輸送・備蓄一貫システムは経済的に十分成立するものであり、海域利用のうえからも今後大いに期待されるシステムであることがわかる。

あとがき

この研究は、(社)日本海洋開発産業協会の「低温エネルギーの海洋輸送、備蓄一貫システムの研究」として日本小型自動車振興会から補助金を受けて行なったものの一部である。