

第191研究部会

石炭輸送システムに係る調査研究

報告書

昭和58年3月

社団法人

日本造船研究協会

近年、石油代替エネルギーの開発転換が進められつつあり、なかでも石炭に寄せられる期待は大きい。わが国において石炭輸送コストをいかに低減していくかが大きな課題となっている。石炭の輸送システムの合理化、適正化を図るに当っては種々の個別技術を研究するとともに石炭の需要形態、エネルギーの変換の問題、社会基盤施設の整備、立地環境問題等の将来動向をふまえたトータルシステムの検討を行う必要がある。本調査研究は2カ年計画をもって石炭輸送システムに係る上記の問題点解決の指針を得るため実施するものであるが、本報告書にはその第2年度の成果をとりまとめている。

は し が き

本報告書は、日本船舶振興会昭和57年度補助事業「石炭輸送システム並びに石炭焚船建造促進に関する調査研究」の一部として日本造船研究協会第191研究部会において実施した「石炭輸送システムに係る調査研究」の成果をとりまとめたものである。

本研究部会の委員は次の通りである。

第191研究部会委員名簿（敬称略，五十音順）

| | | | |
|---------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|
| 部会長 | 高垣 節夫（日本エネルギー経済研究所） | | |
| 委員 | 翁 長一彦（船舶技術研究所） | 岡野 芳樹（川崎重工業） | |
| | 小保方 恒雄（三井造船） | 金子 勝（日本立地センター） | |
| | 木村 徹（日本エネルギー経済研究所） | 桑原 憲一（住友重機械工業） | |
| | 小山 健夫（東京大学） | 嶋田 武夫（日本郵船） | |
| | 城野 隆史（日立造船） （前任 村橋達也） | 竹内 元彦（新日本製鉄） | |
| | 竹若 弘一（電源開発） | 根本 定雄（大阪商船三井船舶） | |
| | 播磨 哲夫（三菱重工業） | 牧田 充生（石川島播磨重工業） | |
| | 三木 季雄 | 森川 卓（日本船主協会） | |
| | 山村 礼次郎（石炭技術研究所） | 渡辺 虎年（日本鋼管） | |
| | 関係官庁 | 桜井 正憲（運輸省港湾局） | 土屋 睦夫（運輸省船舶局） |
| | | 寺嶋 潔（運輸省海運局） | 土井 勝二（運輸省海運局） （前任 岩田貞男） |
| | | 西村 隆夫（運輸省港湾局） | 宮本 春樹（運輸省大臣官房） |
| | 討議参加者 | 御池 俊郎（運輸省港湾局） | 岡武 秀雄（三井造船） |
| 熊田 展郎（日本鋼管） | | 小林 秀次（運輸省船舶局） | |
| 小牧 征男（日本船主協会） | | 沢上 道夫（石川島興業） | |
| 塩崎 正孝（運輸省港湾局） | | 茂永 幸彦（日本エネルギー経済研究所） | |
| 杉田 寛治（新日本製鉄） | | 田島 康平（運輸省大臣官房） | |
| 橋口 毅（日本船主協会） | | 平浜 修（住友重機械工業） | |
| 細萱 和敬（日立造船） | | 丸山 研一（運輸省船舶局） | |
| 守 佑一（運輸省船舶局） | | 矢部 哲（運輸省海運局） | |

輸送動向小委員会委員名簿（敬称略，五十音順）

| | | |
|-----|--------------------|---------------------|
| 委員長 | 三木 季雄 | |
| 委員 | 小保方 恒雄（三井造船） | 金子 勝（日本立地センター） |
| | 木村 徹（日本エネルギー経済研究所） | 熊田 展郎（日本鋼管） |
| | 小山 健夫（東京大学） | 茂永 幸彦（日本エネルギー経済研究所） |
| | 播磨 哲夫（三菱重工業） | 牧田 充生（石川島播磨重工業） |
| | 山村 礼次郎（石炭技術研究所） | |

| | | |
|-------|---------------|---------------------------|
| 関係官庁 | 桜井正憲(運輸省港湾局) | 土屋陸夫(運輸省船舶局) |
| | 寺嶋潔(運輸省海運局) | 土井勝二(運輸省海運局) (前任 岩田貞男) |
| | 西村隆夫(運輸省港湾局) | 宮本春樹(運輸省大臣官房) |
| 討議参加者 | 清谷伸彦(運輸省大臣官房) | 佐藤孝夫(運輸省港湾局) |
| | 沢上道夫(石川島興業) | 塩崎正孝(運輸省港湾局) |
| | 丸山研一(運輸省船舶局) | 守佑一(運輸省船舶局) |
| | 矢部哲(運輸省海運局) | |

輸送技術小委員会委員名簿 (敬称略, 五十音順)

| | | |
|-------|-------------------------|---------------------------|
| 委員長 | 小山健夫(東京大学) | |
| 委員 | 翁長一彦(船舶技術研究所) | 岡野芳樹(川崎重工業) |
| | 小保方恒雄(三井造船) | 金子勝(日本立地センター) |
| | 木村徹(日本エネルギー経済研究所) | 熊田展郎(日本鋼管) |
| | 桑原憲一(住友重機械工業) | 嶋田武夫(日本郵船) |
| | 城野隆史(日立造船) (前任 村橋達也) | 竹内元彦(新日本製鉄) |
| | 竹若弘一(電源開発) | 根本定雄(大阪商船三井船舶) |
| | 播磨哲夫(三菱重工業) | 牧田充生(石川島播磨重工業) |
| | 三木季雄 | 森川卓(日本船主協会) |
| 関係官庁 | 桜井正憲(運輸省港湾局) | 土屋陸夫(運輸省船舶局) |
| | 寺嶋潔(運輸省海運局) | 土井勝二(運輸省海運局) (前任 岩田貞男) |
| | 西村隆夫(運輸省港湾局) | 宮本春樹(運輸省大臣官房) |
| 討議参加者 | 荒川和彦(運輸省海運局) | 小林秀次(運輸省船舶局) |
| | 小牧征男(日本船主協会) | 佐藤孝夫(運輸省港湾局) |
| | 塩崎正孝(運輸省港湾局) | 杉田寛治(新日本製鉄) |
| | 竹口順啓(大阪商船三井船舶) | 土居晃和(日本鋼管) |
| | 平浜修(住友重機械工業) | 細萱和敬(日立造船) |
| | 丸山研一(運輸省船舶局) | 守佑一(運輸省船舶局) |
| | 矢部哲(運輸省海運局) | 山根隆行(運輸省港湾局) |

目 次

| | |
|----------------------------|----|
| 1. 船舶技術課題の検討 | 1 |
| ○ ま え が き | 1 |
| 1.1 浅吃水バルクキャリア | 2 |
| 1.1.1 本船計画上の個有前提 | 2 |
| 1.1.2 主 要 目 | 2 |
| 1.1.3 概略一般配置 | 3 |
| 1.1.4 特 徴 | 3 |
| 1.1.5 技術的課題 | 3 |
| 1.2 造粒炭水スラリー専用船 | 3 |
| 1.2.1 本船計画上の前提条件 | 3 |
| 1.2.2 主 要 目 | 6 |
| 1.2.3 概略一般配置図 | 7 |
| 1.2.4 造粒炭水スラリー専用船の特徴 | 7 |
| 1.2.5 技術課題 | 10 |
| 1.3 高濃度水スラリー専用船 | 10 |
| 1.3.1 計画上の前提 | 10 |
| 1.3.2 要 目 表 | 13 |
| 1.3.3 概略一般配置 | 13 |
| 1.3.4 専用船の特徴 | 13 |
| 1.3.5 技術課題の摘出評価 | 15 |
| 1.4 微粉COM専用船 | 15 |
| 1.4.1 概略貨物物性 | 15 |
| 1.4.2 技術検討課題 | 15 |
| 1.5 石炭メタノール専用船 | 16 |
| 1.5.1 概略貨物物性 | 16 |
| 1.5.2 石炭メタノール専用船 | 16 |
| 1.5.3 検 討 課 題 | 17 |
| 1.6 微細粉炭専用船 | 17 |
| 1.6.1 特 徴 | 17 |
| 1.6.2 微細粉炭専用船の技術開発課題 | 18 |

| | |
|---------------------------|----|
| 2. 石炭輸送システムの評価 | 20 |
| 2.1 石炭輸送システムに係る技術要素とコスト評価 | 20 |
| (1) 海上輸送コストの要素と評価 | 20 |
| (2) 内陸輸送コストの要素と評価 | 27 |
| (3) 荷役コストの要素と評価 | 29 |
| 2.2 輸送システムの経済性評価 | 36 |
| 2.2.1 輸送システム概念 | 36 |
| (1) 直送システム | 36 |
| (2) コールセンター経由システム | 36 |
| 2.2.2 輸送システムの経済性評価 | 37 |
| (1) ケース・スタディの前提条件 | 37 |
| (2) ケース・スタディの結果 | 40 |
| (3) 検討と問題点 | 42 |
| 2.3 ま と め | 42 |
| 参 考 文 献 | 43 |
| 3. 石炭灰の大量海上輸送における問題点 | 44 |
| 3.1 ま え が き | 44 |
| 3.2 石炭灰の性状 | 44 |
| 3.3 石炭灰の海上輸送に関連する法的規制 | 44 |
| 3.3.1 石炭灰の海洋処分に関する法的規制 | 44 |
| 3.3.2 環境汚染に対する法的規制について | 45 |
| 3.4 海上輸送形態と問題点 | 45 |
| 3.4.1 灰の処分方法 | 45 |
| 3.4.2 埋立処分用として扱われる灰の状態 | 46 |
| 3.4.3 海上輸送形態と問題点及びその対策 | 46 |
| 3.5 技術上の問題点 | 50 |
| 3.6 あ と が き | 50 |
| 4. 一般炭輸送における船倉腐食問題の検討 | 61 |
| 4.1 船倉腐食の実態調査 | 61 |
| 4.2 船倉腐食の要因 | 61 |
| 4.3 船倉腐食対策の検討 | 62 |
| あ と が き | 66 |

1. 船舶技術課題の検討

ま え が き

一般炭をバルクで積出す大型港湾の数は、既存、建設中および計画を合わせて、受入れられる船のサイズとして100型(10万DWT)以上のものが十数港あり、中に数港200型を超えるものもある。又、国内の受入れ大型港湾は、石炭火力など大口消費企業専用のもので、60型以上の港が十数港あり、中には、100型を超えるものもある。このほかにコールセンターとして、100型以上を受入れられる港が数港数えられる。

この様に両ターミナルが整備されれば、一般炭輸送は、バルクキャリア、殊に大型のバルクキャリアに依存する趨勢ではある。

しかし、これらの港湾が整備されたとしても、その後の一般炭輸入量の増大基調が消滅するとは考えられないので、多額の構築費、長期のアドバンス期間、更には、国内適地の減少等に対処し、一般炭輸送の一翼を担うことを期待出来るものとして、下記の改良又は新規の運搬船を拾いあげ検討を加えてみた。

(1) 浅吃水バルクキャリア

上記の様に60型級の通常バルクキャリアを受入れられる港は比較的数が多いから、ここに100型級の浅吃水バルクキャリアを使用出来れば、かなりの輸入取扱量の増大と輸送費の低減が期待される。これより数は少いが100型級の通常バルクキャリアが入る港に165型級の浅吃水船型を使用することも、同様の効果が期待出来る。そこでこれら、2サイズの浅吃水バルクキャリアについて試設計を行なった。

(2) 造粒炭水スラリー専用船、高濃度水スラリー専用船

通常の石炭水スラリーは、その物性から、積出港において船内脱水を短時間に完了することが難しく、これが海上輸送を阻害する理由の一つであるが、脱水が容易な造粒炭水スラリーおよび、脱水無しですます高濃度石炭水スラリーについて、内外で研究が進行中である。そこでこれらの専用船は、比較的早期の実現が期待出来ると考えられるので試設計を行ない、技術課題を拾いあげて検討を加えた。

港湾からの吃水制限を受けないスラリー船の特徴を活かすため、試設計では船のサイズを大型化して200型とした。

(3) 微粉COM専用船

微粉COMは陸上で諸テストならびに実験船による海上テストを終え、専門運航会社も設立されて、ここ1、2年のうちに国内輸送ではあるが、専用船が就航するいわば実用化段階に入り、検討の余地は少いと考えられるので一般的な検討にとどめた。

(4) 石炭メタノール専用船、微粉炭専用船

石炭メタノール、微粉炭管路輸送は、輸送媒体の調達条件が整うと、これもまた、期待の大きい運搬手段である。現在、着々と物性の改良研究が進んで居り、その推移に伴って貨物々性が変わりつつある様に見受けられるので、一般的な検討に止めてある。

以上、浅吃水バルクキャリア2種、造粒炭水スラリー専用船、高濃度水スラリー専用船各1種、計4種の試設計を行なうに当って、次の様な共通前提を設けた。

(1) 海上輸送距離；片道5,000 s.miles.

(2) 航海速度；満載13kt, バラスト14kt.

(3) 主機種類；ディーゼル

(4) 貨物重量；燃料持高を片道分プラス3日分、コンスタントその他を500tonとし、これらの合計をDWTから差引いて、貨物重量とした。

(5) 乗組員数 ; 18名

更に、原炭物性を次の通りとした。

(1) 比重 ; 1.45

(2) 灰分 ; 20%

(3) 固有水分 ; 5%

(4) 発熱量 ; 6,000 kcal/kg (恒湿低位)

1.1 浅吃水バルクキャリア

1.1.1 本船計画上の個有前提

(1) 貨物物性

原炭 比重 1.45

灰分 20 wt %

固有水分 5 wt %

発熱量 6,000 kcal/kg (恒湿低位)

石炭 (船内での物性)

粒径 - 25 ~ - 50 mm

載貨係数* 48 ft³/LT

付着水分 7 wt %

註) *石炭の載貨係数は、産地により、含水率により異なるが、通常は44~45程度として設計している。

しかし、今回の概念設計では、若干余裕をみて48とした。

(2) 設計条件

浅吃水バルクキャリアの吃水、幅、船速を下表の様に設定した。(56年度報告書図3.15参照)

| | 100型浅吃水船 | 165型浅吃水船 |
|------|----------|----------|
| 制限吃水 | 12.5m | 15.0m |
| // 幅 | 50m | 50m |
| 満載船速 | 13kt | 13kt |

上記100型、165型浅吃水船の制限吃水は、それぞれ60型、100型通常バルクキャリアの吃水には対応している。また、制限幅については、港灣のローダー、アンローダーのアウトリーチの関係から最大限を50mに設定した。

また船の長さには制限はないものとした。

1.1.2 主要目

前記前提条件をベースに100型、165型の浅吃水バルクキャリアの概念設計を行った。

それぞれの主要目を次表に示す。

| | 100型 | 165型 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 長さ(垂線間), Lpp | 258.0m | 300.00m |
| 幅(型), B | 44.0m | 50.0m |
| 深さ(//), D | 19.2m | 25.4m |
| 吃水(//), d | 12.5m | 15.0m |
| 載貨重量 | 100,000t | 163,400t |
| 船倉容積 | 132,400m ³ | 220,800m ³ |
| 主機 | ディーゼル | ディーゼル |
| 連続最大 | 13,100ps×95rpm | 17,400ps× |
| 常用 | 11,140ps×90rpm | 14,790ps× |
| 航海速度(15%シーマージン) | 13kt | 13kt |

1.1.3 概略一般配置

100型及び165型の浅吃水バルクキャリアの一般配置をそれぞれ図1.1.1, 図1.1.2に示す。

1.1.4 特徴

浅吃水の度合をあらわす指数として、船幅と吃水の比(B/d)をとることが多い。この数値は本主要目によれば100型で3.52, 165型で3.33である。 $B/d > 3$ が、浅吃水の範囲に入るといえるが、本要目の程度では特に特異な値でなく技術的に実現可能なものである。

また、船の長さも、浅吃水化の影響を一軸船として無理なく実現できる程度に選定したので、推進馬力的には在来船の3%アップ程度におさまっている。しかし、船価は吃水の浅くなった分だけ来船より平面的($L \times B$)に大型化するので、100型で7.5%, 165型で5%の増となった。

1.1.5 技術的課題

現状の荷役設備のアウトリーチを考えて船幅を50mに制限したが、これを緩和することができるなら更に幅広化をはかることができるので、制限された吃水のもとでも載貨重量を更に増大できる余地はある。従って、幅広化限度向上のための船型開発およびアウトリーチが50mを越えるような荷役設備又は荷役方法の開発は技術課題の一つである。

1.2 造粒炭水スラリー専用船

1.2.1 本船計画上の前提条件

(1) 貨物物性

現在、まだ造粒炭水スラリーは研究段階であり、実用化の域に達していないが、電源開発(株)が重工メーカー、添加剤メーカーと共同で開発中のデータを参考にして、下記の如く造粒炭物性を推定した。

(a) 原炭物性

比重 : 1.45
 灰分 : 20wt%
 固有水分 : 5wt%
 発熱量 : 6,000kcal/kg

SECTION

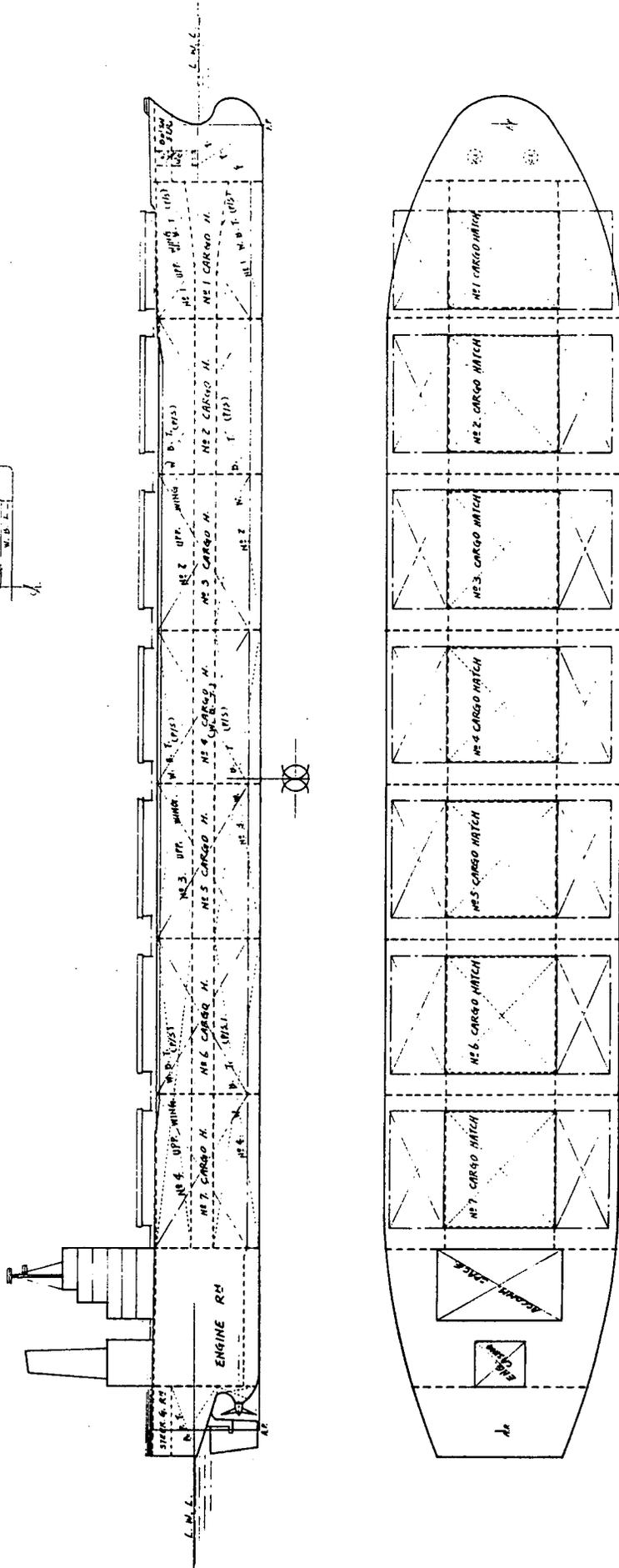


図 1.1.1 100 型浅吃水バルクキャリア一般配置

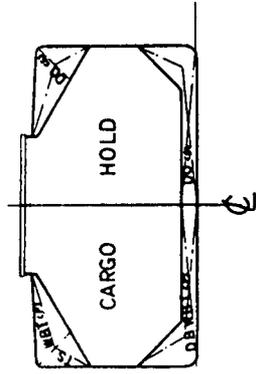
SKETCH

PRINCIPAL DIMENSIONS

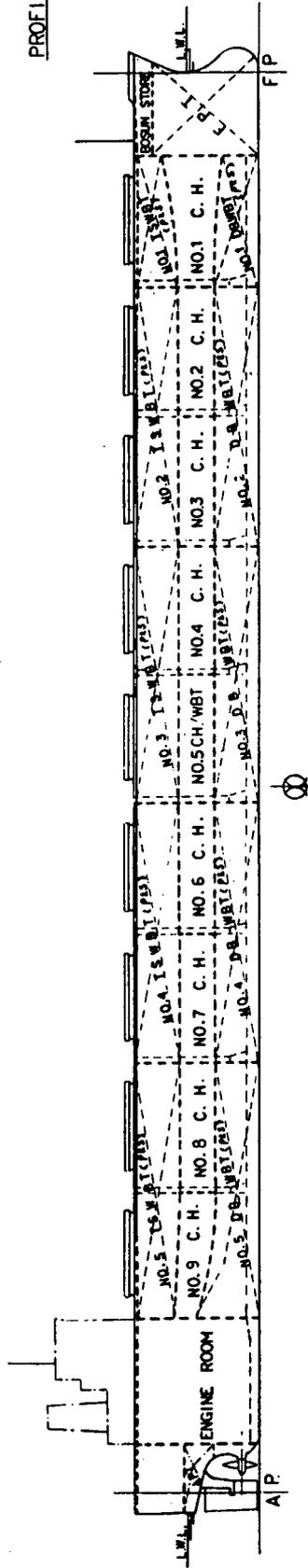
L.O.A. ABT 310.00 m
 L.P.P. 300.00 m
 B.MLD. 50.00 m
 D.MLD. 25.40 m
 ϕ .MLD. 15.00 m

163,400 DWT MOTOR COAL CARRIER

HOLD SECTION



PROFILE



PLAN

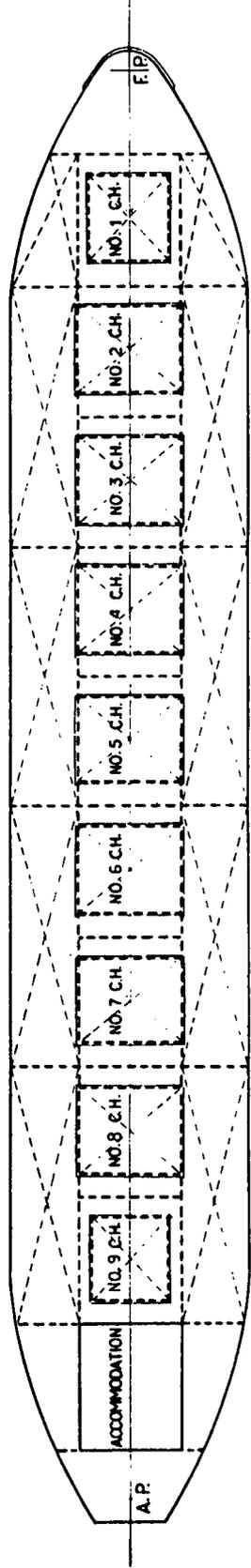


図 1.1.2 165 型浅吃水バルクキャリア一般配置

(b) 造粒炭物性

| | |
|--------|---------------------|
| 比重(真) | : 1.28 |
| 〃(かさ) | : 0.77 |
| 灰分 | : 10wt% |
| 水分 | : 15wt%(固有水分5wt%含む) |
| 油添量 | : 10wt% |
| 発熱量 | : 約6,650kcal/kg |
| 船倉内粉化率 | : 1wt%以下 |
| 粒度分布 | : 平均2mm程度 |
| スラリー濃度 | : 50wt% |

- 造粒炭の比重は製造過程において灰分が除去され、一方重油添加剤が付加されるので、原炭に比較して減少する。灰分10wt%、油添量10wt%をベースに算出した。
- 造粒炭の灰分は原炭の粉碎粒度および原炭中の灰分%とその分散状態に密接に関係するので、簡単には推定出来ない。一般に原炭の灰分が多いほど脱灰が容易であり、今回の原炭は灰分20wt%と比較的多いので脱灰率50%と推定し造粒炭灰分10wt%とした。
- 造粒炭の水分も石炭の性状によって大幅に変化するが、船倉積込時の脱水効率を考慮、付着水分は通常のバルク輸送より多目にとり10%とし固有水分5%を含めて15wt%とした。
- 造粒時に必要な油添量についても石炭の種類、粒度により大幅に変化する。通常の瀝青炭で実験的には条件によっては5%程度も可能との説もあるが、現時点で実用可能な値である10%を想定した。
- 粒度分布については実用段階でどの程度になるか分らぬが実験段階の造粒炭より平均粒径2mm程度と想定した。
- スラリー濃度は実験的は50wt%は可能である。スラリー濃度が大きい方が荷役能率が向上するので望ましいので実用時にも50%程度は充分可能とみて50wt%とした。

1.2.2 主要目

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| 全長 | 312.0m |
| 長さ(垂線間) | 300.0m |
| 幅(型) | 58.0m |
| 深さ(型) | 30.0m |
| 計画満載吃水(型) | 16.6m |
| 載荷重量 | 200,000t |
| 主機 ディーゼル | 6RTA84 1基 |
| 連続 | 19,700ps×73rpm |
| 常用出力 | 16,700ps×69rpm |
| 満載航海速力(常用出力, 15%シーマージン) | 約13kt |
| 貨物艙数 | 9個 合計容積 約284,000m ³ |
| バラスト タンク | 容積 約72,000m ³ |
| バラスト ポンプ | 3,000m ³ /h×35mT. H. 2基 |
| 発電機 | ディーゼル発電機 600kW 4基 |

主荷役装置

| | | |
|---------------|---|-----|
| ジェット再スラリー化装置 | 200 m ³ /h | 18基 |
| 1次スラリーポンプ | 850 m ³ /h × 2 kg/cm ² | 9基 |
| 主スラリーポンプ | 2,600 m ³ /h × 13 kg/cm ² | 3基 |
| 再スラリー化用水ポンプ | 1,800 m ³ /h × 8 kg/cm ² | 2基 |
| 1次スラリーコレクトタンク | | 9基 |
| 主スラリーコレクトタンク | | 1基 |
| 水タンク | | 1基 |

1.2.3 概略一般配置図

図 1.2.1 に概略一般配置図を示す。

1.2.4 造粒炭水スラリー専用船の特徴

造粒炭は貯蔵中、輸送媒体である水と容易に分離し、脱水しやすく、又輸送のための再スラリー化が比較的容易に行なえるという特性を有している。

このため、本船の荷役方式は、スラリー積込後脱水し、この輸送媒体水を陸側へ戻し、船内の残余水をできるだけ少なくして海上輸送し揚荷時は、再び陸側から水を供給し、船内で造粒炭を再スラリー化した後、ポンプにて陸上の貯蔵タンク又はポンドへ送る方式としている。

本研究で計画した造粒炭水スラリー専用船の主なる特徴は次の通りである。

(1) 船型・構造・配置上の特徴

(a) 一般配置図に示すように二重底・二重側壁・二重隔壁構造とすることにより、船倉内面を平滑にし、揚荷時貨物の残留をなくすと共に、船倉底部を払出サンプロに向け傾斜をつけ、スラリーの流れを良くしている。

二重側壁内はバラストタンクとし、又二重底内には再スラリー化用ジェット、一次スラリー揚荷装置、及びそれら駆動装置を設置した。

(b) ポンプ室を機関室の前部に設け、ここに主スラリーポンプ、再スラリー化水ポンプ、同駆動装置、主スラリー調整タンク等を配置した。

(2) スラリー荷役装置

スラリー配管系統の概略図を図 1.2.2 に示す。

(a) スラリーの船積はタンカーと同様に陸側ポンプにて一点係留ブイ、ホース、船上シヨアコネクションおよび船上の積込管を通して各船倉に積込むことにより行なわれる。このスラリー積込と平行して各船倉底に設けたフィルターを通し、脱水し、輸送媒体水を船内ポンプにて陸側へ送り返す。

造粒炭の場合、脱水効率は非常に良く、本船の積込終了と殆んど同時に脱水できるので、船舶の出港スケジュールに特に影響はでないと思われる。

(b) 揚荷役時は陸側より供給された輸送媒体水を一旦水タンクに溜め、再スラリー化水ポンプにて各船倉底に2基ずつ設けたジェット再スラリー化装置に水を送り、ここより噴射させたジェット水にて船倉内造粒炭をスラリーとしてサンプロより払出す。スラリーは、一旦各船倉二重底内に設けた一次スラリー調整タンクに溜め、ここより一次スラリーポンプにてポンプ室内に設けた主スラリー調整タンクに移送し、ここで濃度を最終的に平均50wt%に調整した後に、主スラリーポンプにて一点係留ブイを介して陸上の貯蔵タンク又はポンドに揚

$L_{pp} \times B \times D - d = 300.0\text{m} \times 58.0\text{m} \times 30.0\text{m} - 16.6\text{m}$

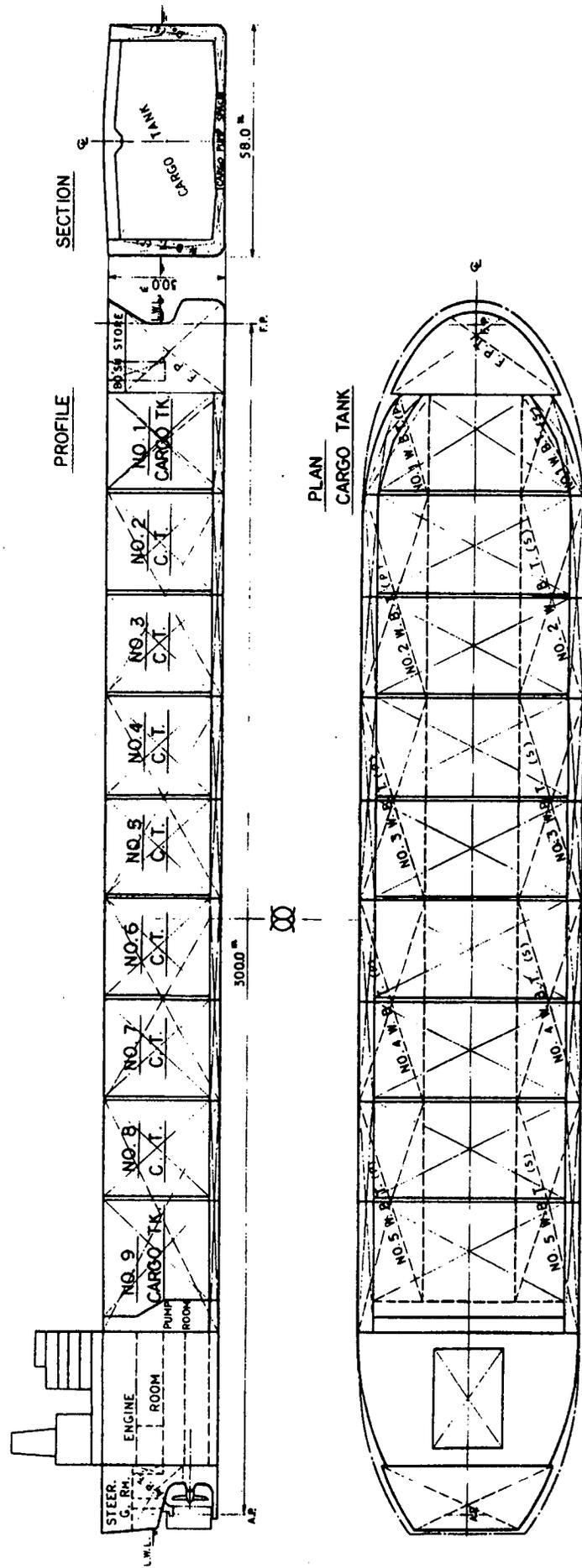


図 1.2.1 200,000 DWT 造粒炭スラリ-専用船

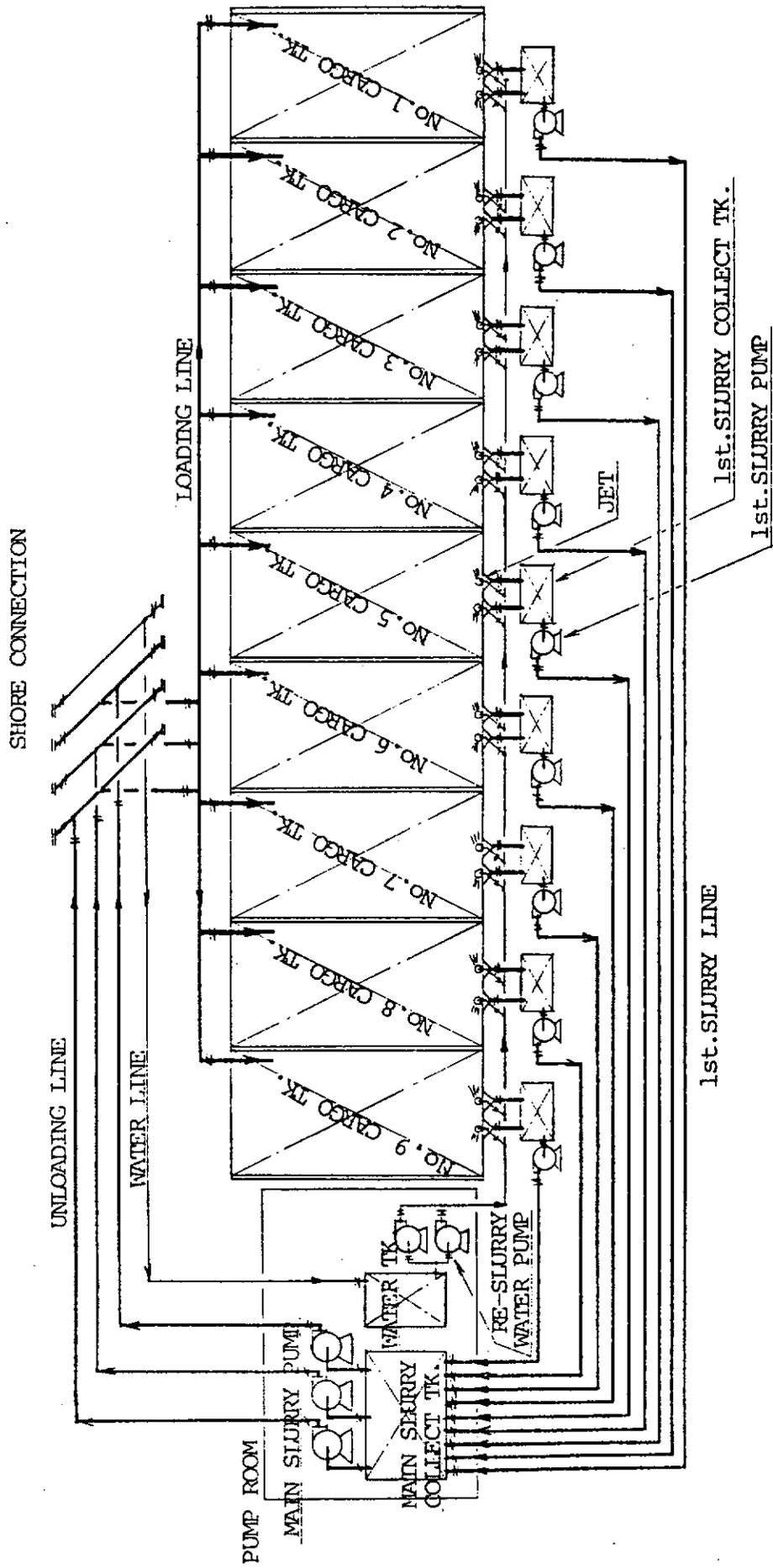


FIG 1.2.2 CARGO PIPING DIAGRAM FOR ACC SLURRY CARRIER

荷する。なお荷役時間は40時間、一点係留ブイの位置は岸から約2km沖合とした。

(3) 通常バルクキャリアとの比較

前述の如く造粒炭水スラリー専用船は通常バルクキャリアに比し船体構造上船側および隔壁が二重構造となったため船型が大きくなり船殻重量が増加したこととスラリー荷役装置が設けられていることにより約33%の船価上昇になるが、一点係留ブイ利用の沖合荷役により吃水のより大きな大型船の利用が可能となり経済性向上が期待出来る。

1.2.5. 技術課題

造粒炭水スラリー輸送船に必要とされる配置、機能、構造を決定するためには、まず輸送対象貨物である造粒炭の仕様と物性が確定される必要がある。

それにより、造粒炭水スラリーの特性を求め、載荷用の荷役装置の仕様、滲水性及び脱水性との関連により貨物倉の排水システム、荷役シーケンスと荷役時間、船体構造強度等が定められる。

また付着水量により実際に運ばれる造粒炭のNETの量も決まる。更に造粒炭の強度との関連で、輸送する造粒炭の破碎、圧密の発生度合が定まり、揚荷役用の再スラリー化装置の仕様、船倉の形状、構造、荷役時間等の決定もされる事になる。

ところで、造粒炭の物性は石炭の種類、製造法、脱灰度、活性剤の種類と添加量等により種々変化するので、対象となる炭種により最適の物性が得られるように製造条件を定める必要があるが、この場合の最適値は、造粒炭輸送、ハンドリング、燃焼の一貫システムとして技術の信頼性と全体システムの経済性の両方から考え決める必要がある。

現在、日本においては電源開発(株)を中心に、重工メーカー、添加剤メーカーの共同研究で造粒炭水スラリーの一貫システムの技術開発が行なわれている。ここでは種々の石炭について造粒炭製造、スラリー製造、ポンプパイプ輸送、船舶の荷役(積込み及び揚荷)及び輸送、貯蔵、燃焼等の各基本要素技術について研究が進められており、この中でそれぞれの炭種に対するスラリー特性、各装置の必要仕様、機能が検討されている。

従って、これにより基本的なシステムの確立と造粒炭の基礎物性の幅が明確になると考えられるので、その後具体的な対象につき詳細な機能を決定する為に必要な研究を行なう事になろう。

1.3 高濃度水スラリー専用船

1.3.1 計画上の前提

(1) 貨物特性を次の通り仮定した。

(a) スラリー比重 1.27

脱灰率20%、即ち原炭中の灰分(20%)のうち20%を高濃度スラリー製造プロセスで脱灰するものとした。又、スラリー化を容易にするための分散剤、製造したスラリーの沈降を最少化する安定剤など添加剤の総量を重量比で石炭の1%とした。

(b) スラリー濃度 70wt%

原炭の表面水分はもちろん、原炭中の固有水分もスラリー中の水側30wt%の中に算入してある。又、添加剤も同じく水側に算入している。従って70wt%は、純固体粒子分の濃度となっている。

(c) 発熱量 4,350kcal/(スラリーkg)。

(d) みかけ粘度 900センチポアーズ(ずり速度30 1/秒にて)。

ビンガム流体であるとし、降伏剪断を250 dyn/cm² ビンガム粘度を100センチポアーズとしてある。
 なお、この粘性値から、パイプ内の抵抗こう配を推定すると、図1.3.1の通りとなり、パイプ口径、パイプ内の流速によるが、例えば口径500mm、流速1.5 m/sとすれば、同図中○印の様に清水の7倍にも達している。

(e) 貨物タンク内の石炭粒子の沈降堆積

安定添加剤の開発が現在進んでおり、定量的には未確定ではあるが、その性能にはかなり期待出来るから、航海中、部分的にスラリーをタンク内で循環させるなど多少の補助手段を加えれば沈降、堆積は防止出来るものとした。

(f) 粒度分布 200メッシュ(74μm)パス 70%以上

バーナーから噴霧し、直接燃焼出来る粒度とした。

(2) 専用船の荷役について、次の様に仮定した。

(a) 積地では、陸上ポンプを用い、一点係留ブイ、海上ホースおよび船上ジョアコネクションを経て船内貨物タンクまで流送して積込みを行ない、荷役時間を40時間とした。

(b) 揚地では、船内設備のポンプを用い、積地と同様、一点係留ブイを経て、陸上の貯蔵タンクまで流送する。
 なお荷役時間を40時間、係留ブイの位置は岸から沖に2Kmとした。

(c) 貨物々性で述べた様に、高粘度であって流動性が悪いので貨物タンクの内面をフラットにし、タンクボトムは吸引口に向かって傾斜をつけ、その必要角度を30°とした。

(d) 管内の流送抵抗が大きいので、ポンプ吸引を可能にする為に、各タンク吸引口直下にポンプを配置することとした。

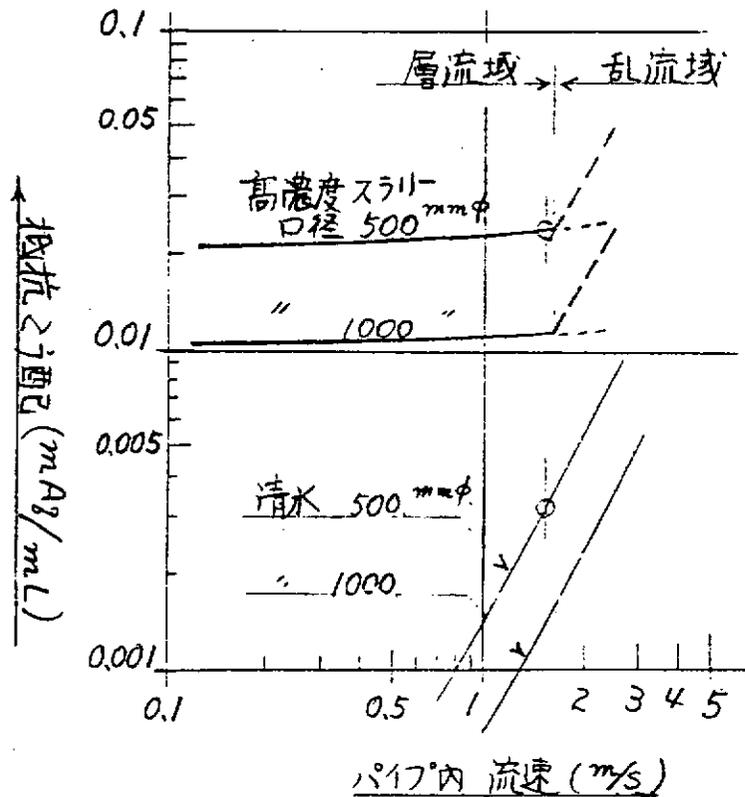
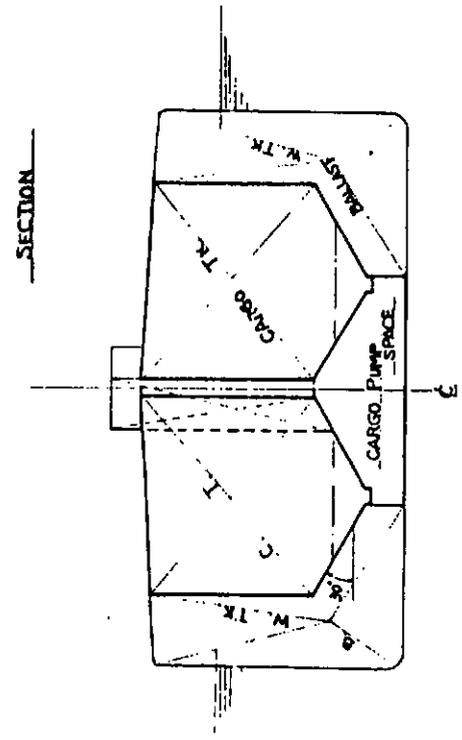
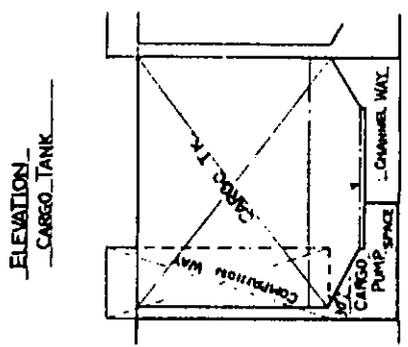
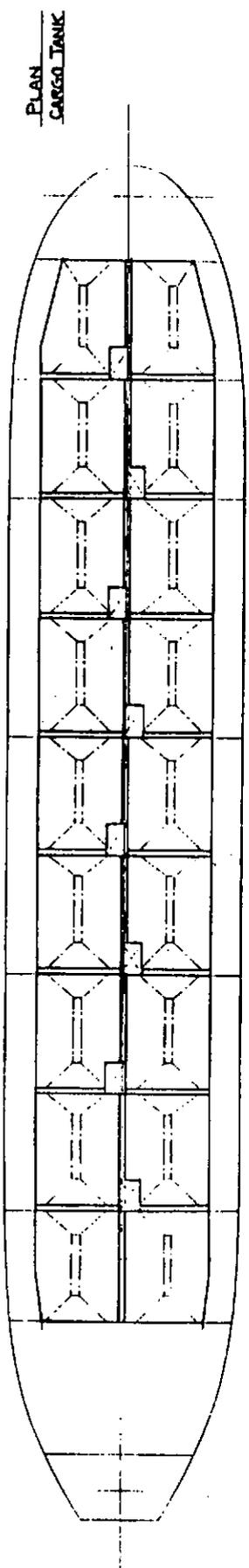
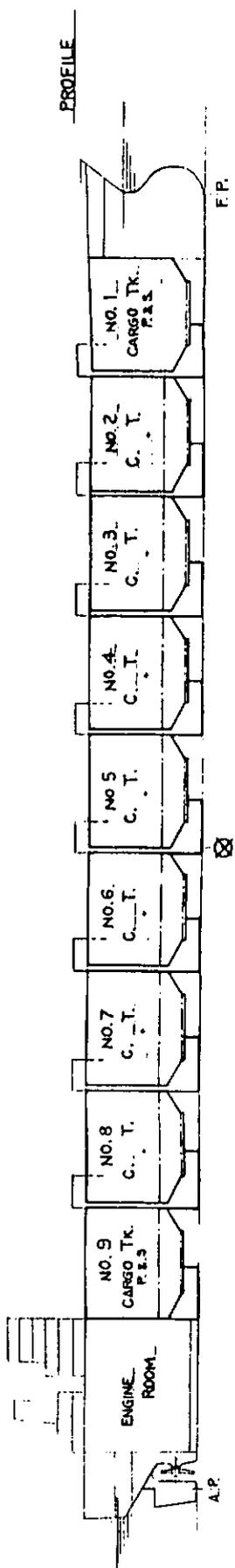


図1.3.1 管内抵抗



200,000 DWT
HIGHLY-LOADED
COAL WATER MIXTURE TANKER

| | | | |
|---------|------|-----|---|
| LENGTH | L.P. | 290 | m |
| BREADTH | | 54 | |
| DEPTH | | 25 | |
| DRAFT | | 19 | |

图 1.3.2 概略一般配置

1.3.2 要 目 表

200型高濃度水スラリー専用船の主要目は次の通りである。

| | | |
|-----------|---------|--|
| 全 長 | | 約305m |
| 長さ(垂線間) | | 290" |
| 幅 (型) | | 54" |
| 深さ(型) | | 25" |
| 計画満載吃水(型) | | 19" |
| 載 貨 重 量 | | 200,000ton |
| 航海速力 計画満載 | | 13kt |
| 主 機 | 種類, 基数 | ディーゼル, 1基 |
| 出 力 | MR | 19,700Bps×73rpm |
| | NR | 16,700"×69" |
| ディーゼル発電機 | | 2,000kW×3基 |
| | | 300"×1" |
| 貨物タンク | 数 | 18 |
| | 合計容積 | 160,000m ³ |
| 主カーゴポンプ | 型式, 台数* | 電動二軸スクリュー, 18台 |
| | 容量×ポンプ圧 | 850m ³ /h×12kgf/cm ² |
| バラストタンク | 容量 | 80,000 m ³ |
| バラストポンプ | 容量, 台数 | 3,500m ³ /h, 2台 |

*同時稼動するポンプは18台中6台とする。

1.3.3 概略一般配置

図1.3.2に示す通りである。

1.3.4 専用船の特徴

- (1) 貨物比重が大きい為に貨物タンク容積が少なくてすみ、いわゆる重量貨物型の運搬船になる。
- (2) 各貨物タンク下に、ポンプ室を設ける必要があること、タンクボトムはポンプ吸入口に向って傾斜をつける必要があることからタンク重心を上昇させる。又高比重であるので自由液面影響も大きい。
これらによる復原性の損失をカバーする為、センターラインバルクヘッドを設け、船幅を増加してある。
- (3) 管内抵抗を低く抑え、所要動力を節約するのが得策であるから、図1.3.1に示す様にパイプ内流速を層流域に保つことが大切で、この為にパイプ口径を大きくとってある。

カーゴラインの概略フローを図1.3.3に示す。

- (4) タンク下部には、スラリーをポンプに供給するために、ポンプ前で十分流動化させる装置が必要である。

図1.3.4に設計例を示す。

- (5) 船価は、これらの特殊な構造、荷役装置を有するため、同一サイズの通常のバルクキャリアに比較して30%以上増加する。

これら増加分の主な構成は、大略、次の通りである。

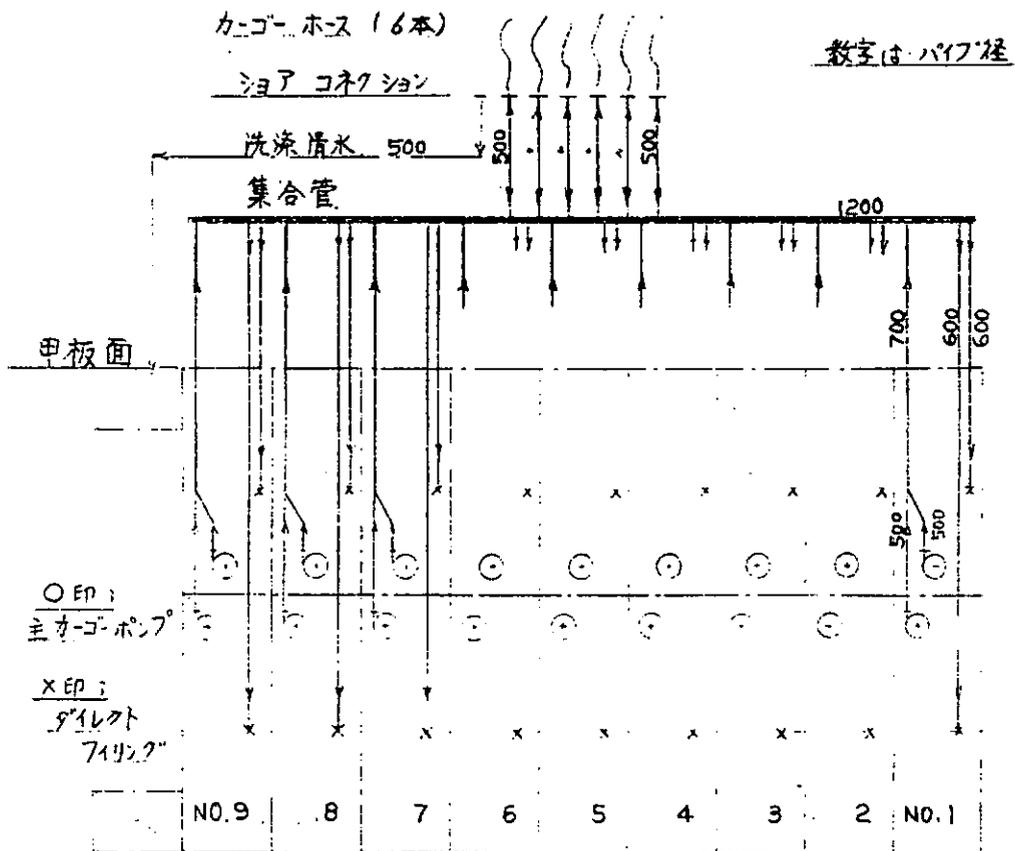


図 1.3.3 主カーゴライン

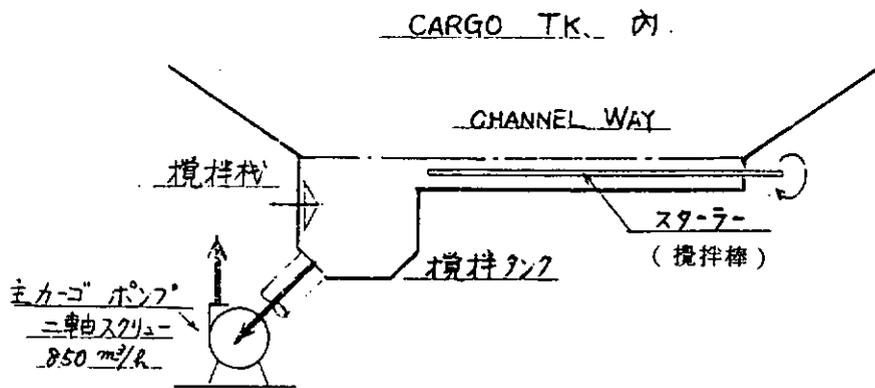


図 1.3.4 カ-ゴ-タンク下部

A. 両部フラットのセンターラインバルクヘッドの設置。

カーゴタンク底部構造形式の傾斜ホッパー化，およびカーゴの高比重によるタンク構造部の全般的な補強などの船殻部分に関するもの。これらは船価増加分の約50%を占める。

B. 大口径パイプラインと，カーゴポンプを含む荷役装置。

これらは同じく20%強を占める。

C. カーゴポンプそのほかの荷役用の動力を供給する船内の発電送電装置。

これらは同じく約20%を占める。

1.3.5 技術課題の抽出評価

(1) 輸送貨物としての高濃度水スラリーの物性値は，前述の通り略々固まりつつあるが，こゝ1，2年の間に国内で行われる予定のパイロット・プラントによって更に確実な物性値が得られようとしている段階である。

船の計画に影響を及ぼす物性のうち最も重要と考えられるものは，スラリーの安定性であろう。既に述べたことであるが，沈降堆積を抑止する安定添加剤の性能に期待してよいと考えられるが，その結果を見守りながら調査，検討を続けてゆく必要はあろう。

(2) 積み，揚げ共船上のショアコネクション部には，一点係留ブイからのホースを結ぶ作業を必要とする。これらの口径が大きいと同時に，本数も多く，実船上の作業のネックになる可能性が大である。即ち特に揚げ地のホースは使用圧力が高いので，厚肉による重さ，厚肉による携みにくさが重なり，取扱いは容易ではない。

又，試設計では原油タンカーの最大級の口径を用いたが，なおかつ本数も多い。可撓性に富み，軽量大口径ホースの開発が寄与する所は大きいと考えられる。

1.4 微粉COM専用船

1.4.1 概略貨物物性

微粉COMは石炭を粉砕した微粉粒(200メッシュ通過80%程度の粒度)を重油と混ぜ，石炭粒子を懸濁状態にしたもので，石炭粒子が重油との比重差により沈降分離するのを防ぐために，安定化剤を添加混合してある。現在日本で実用化されつつある微粉COMは石炭と重油を重量比で約50:50の割合とする事で考えられている。

COMは常温に於いては極めて粘度の高い液体のためハンドリング性の面より適当な粘度にする必要があり，液温を70℃程度に保つ事が必要となる。

比重は炭種によって異なるが1.10~1.15が平均的な値と考えられる。

高粘度液体の為荷役の為のポンプは二軸スクリウポンプ等が必要となる。

1.4.2 技術検討課題

COM船の特徴として次の事が考えられる。

(1) 高温，高粘度の液体貨物である。

特にCOM粘度は液温に大きく影響されるので，貨物温度を常に一定に保つ必要性が高い。

(2) COM中の石炭粒子は時間と共に重油と分離沈降し，長時間後には底面の石炭濃度が増加し流動性を失った層を作る事は避けられない。

COMの安定性の度合は，石炭の炭種，重油の物性，添加剤の種類，量等により大きく影響されると共に，COMの製造法，貯蔵法によっても異って来る。

従って実用的なCOMとしては、製造より使用迄の期間に比べ安定性を保てる期間が長い良好なCOMを選択する必要がある。

(3) 更に船舶の輸送においては船の運動により貨物液がその影響をうけ石炭粒子の沈降を促進する可能性がある。

この場合、船倉底部に石炭濃度の高い、従って粘度の高い部分が発生する事になる。

このため、微粉COMの海上輸送を計画する場合には、安定性の高いCOMの製造技術の確立と、適切な炭種と添加剤の選択が重要となる。

また、船の構造、設備としては輸送中に貨物倉中のCOMを常に一定温度に保つ機能と、輸送中に生じ得る貨物倉底部の高粘度COMを揚荷中にスムーズに払い出す機能を備える必要がある。

(4) その他高温、高粘度の液体を扱うための荷役用配管装置、機器の仕様につき特段の考慮が必要とされる。

これ等の技術は実際のプロジェクト毎にCOM物性、製造、貯蔵等の陸上ハンドリングとの整合、海上輸送条件等により検討される必要がある。

1.5 石炭メタノール専用船

1.5.1 概略貨物物性

石炭メタノールスラリーは現在まだ実験段階であり、その性状も流動的要素が多い。いずれにしても、現段階で可能性のあるものは石炭を微粉碎し、メタノールと混ぜ石炭を懸濁状態にしたものである。輸送および貯蔵中その懸濁状態を保つために添加剤を加えて、より高濃な石炭メタノールスラリーが可能であり添加剤を加えない場合の濃度55~60wt%に対し添加剤を加えた場合は約70wt%濃度が実現可能といわれ、その場合は高濃度水スラリーと同様ビンガム流体となる。

又流体の比重は原炭により大きく変わるが、仮に高濃度水スラリーと同じ原炭(即ち比重1.45)を使用するとすれば濃度60wt%で約1.08、濃度70wt%で約1.15となり、ほぼ微粉COMスラリーと同じ程度となる。

1.5.2 石炭メタノール専用船

1.5.1で述べたように石炭メタノールスラリーの性状には不確定要素はあるが、石炭メタノール専用船は次の如くなるであろうと予想される。

スラリーの性状から判断するとタンク形状は

- ・二重底とし、傾斜をつける。
- ・二重殻構造とし、ガーダー・スティフナー等を船倉内に突出させない構造とする。
- ・高濃度スラリータンクと同様、縦隔壁を設け自由液面の動揺による安定性の減少を防止する。

などの考慮が必要であり高濃度スラリータンカーとほぼ同じとなる。

又揚荷装置についてはその流体特性に応じて次のような種々の方式が考えられる。

- (a) 通常のタンカーと同様中央ポンプ室のポンプにより吸引揚荷する。
- (b) 各タンクの底部に高濃度水スラリー船と同様又は類似の払出しポンプおよび攪拌装置を設け吸引揚荷する。
- (c) 各タンク底部に造粒炭スラリー船と同様のジェット式再流動化装置を設け再流動化を促進しながら、各タンク専用のポンプで吸引し、中央ポンプ室のポンプで揚荷する。
- (d) (b)と(c)の中間の方式

しかし現状ではまだどの方式が最適であるか結論が出ていないが、沈殿防止のためタンク内を攪拌する必要があるれば(c)、なければ(a)又は(b)に近いものになると想定される。

1.5.3 検討課題

石炭メタノールスラリーの船舶輸送上の技術的検討課題としては

- (a) 高濃度化による輸送効率の向上。
- (b) 航海中、船倉内で沈澱凝固しない安定的なスラリーを得ること。
- (c) 配管流送に於て安定的な流送特性を持つこと。

である。更に石炭メタノールスラリーは海上輸送単独で成立つものでなく通常積地側の長距離パイプライン輸送が伴うので、

- (d) 長距離パイプライン輸送時の安定的流送特性を持つことも要求される。

上記(a)~(d)は相互に相反する要素もあり、現在最適解を得るための研究が進められているが、炭種の選定、粒種の選定(微粉炭による均質スラリーを目指すか、粗粒炭も一部混入させた擬似均質スラリーとするか)を慎重に行い、しかも、石炭濃度を出来るだけ高くし経済性を上げることが本スラリーの実用化にあたっての課題である。

いずれにせよ現在発電用燃料としてメタノールが利用されていないので石炭メタノールスラリーの利用は数年以上先になると予想されるが、将来メタノールが発電用燃料、自動車用燃料として利用の道が開かれれば、石炭メタノールスラリーのまま燃料として使うか、或は石炭メタノールスラリーを石炭とメタノールに分類して別々に活用するなど、大きな将来性が期待される。

1.6 微細粉炭専用船

1.6.1 特徴

微細粉炭の気体管路輸送を海上輸送も含めた一貫システムとして石炭輸送に用いた例はないが、(財)石炭技術研究所を中心に検討が行われた。(そのシステムフローは前年度報告書の図3.2.2.8に記載されている)

このシステムは、まず、積出地にて、乾燥、微粉砕により湿分1.5%、最大粒径5mmの微細粉炭を調整する。調整された微細粉炭をイナートガス(不活性ガス)をキャリアーガスとして専用船まで管路輸送する。港湾設備としては、岸壁、シーバースのいずれの方式の採用も可能である。揚地では専用船に装備の払い出し装置により、シーバース係留のバージへ送り出し、バージ装備の圧送装置により陸送される。貯炭は、対防爆、防塵の点からサイロとなる。

このシステムのメリットとしては、次の項目が考えられる。

(1) 管路輸送により

- ① シーバースの採用により、港湾設備の簡易化ができる。
- ② 発電所新設の場合、立地条件の緩和となる。
- ③ 騒音が少ない。
- ④ 作業員が少なく済み、自動化が容易となる。

(2) サイロ貯炭により

- ① 貯炭面積を減少できる。
- ② 自然発火、石炭劣化を防止できる。

(3) 全閉システムにより

- ① 天候、その他の外部原因による影響が少ない。
- ② 炭塵公害がない。
- ③ 水処理が不要となる。

(4) 5mm以下に粉碎されていることにより

① 発電所内の微粉碎を軽減できる。

気体管路輸送システムのなかの海上輸送に供される微細粉炭専用船は次の様な特別の機能を有する必要がある。

- (1) 陸側との間の微細粉炭の授受ならびに船倉への分配
- (2) 船倉内への均一積付, 固気分離, 集塵
- (3) イナートガス充填の密閉型の船倉, 集荷装置, 関連装置
- (4) 船倉からの自動払い出し装置, 集荷装置, 揚荷装置, 架橋防止装置

これらの機能を有するために, 通常のパルクキャリアより建造コストは高くなる。

1.6.2 微細粉炭専用船の技術開発課題

気体管路輸送システムは, 前述の様なメリットを有するが, このシステムが実現するためには, 技術の確立と共に, 更に, 経済性の高いものにならなければならない。それには, 大規模なパイロットプラントによる気体管路輸送テストが必要であり, 更に船を中心に見た場合にもいくつかの検討課題がある。

(1) 最適船倉形状の決定

通常の粉炭は, パルクキャリアにより海上輸送されている。貨物比重の大きい鉱石運搬船と異なり, 容積型船舶と云えるパルクキャリアは, 大きな船倉容積が特徴であるが, 微細粉炭の場合, 粉炭に比べて見掛比重が10数%小さく, 必要な容積が増加し, 船型の大型化が必要となる。

また, 船倉からの払い出しのために船底にはホッパーを設けるために容積損失が大きくなることから, 微細粉炭専用船は通常のパルクキャリアに比べて大型となり, 船価増の原因となる。

従って, 船倉の容積効率をできるだけ良くすることにより, 船型の大型化を抑え, 船価の増を抑えることが必要となる。そのためには, 船倉形状, 特に下部ホッパー部の構造を最適化することが, 非常に重要な課題となろう。

(2) 倉内と関連装置の気密性

微細粉炭の場合, 通常の粉炭と比べて, 粉径が小さいため, それだけ石炭の酸化反応が早く自然発火の危険性が大きいことになる。また, 気体管路輸送による一連のハンドリングにおける炭塵爆発の危険性も考慮する必要がある。この自然発火, 炭塵爆発の防止策としてイナートガスによる閉閉式輸送方式が採用されることになる。

微細粉炭専用船の倉内及び関連装置は, 上に述べた理由により, イナートガスを充填した密閉型とし, 航海中も適宜補充する必要がある。しかし, 閉閉の必要スペース, 装置, 機器などが非常に多いため, 気密性の保持に十分な考慮を払わなければならない。

(3) 最適, 定量払い出し装置

微細粉炭の揚荷役は, 本船装備の払い出し装置, 集荷装置及び揚荷装置により, シーバースに係留されたバージへ送り出すことにしている。

まず, 船倉からの払い出しについては, 陸上のサイロにおけると同様, 圧密, 架橋防止法, フラッシング対策等の諸問題があるが, 微細粉炭専用船の場合には, 前記(1)で述べた容積効率の向上との兼合いも考慮する必要がある, それだけ難しいと云える。

さらに, 払い出し装置からバージへの一連の移送装置が円滑に作動することが, メンテナンス, 経済性の面から必要不可欠なことである。

(4) 効率的な固気分離法

微細粉炭とイナーートガスの分離方法として、集中処理方式と分割処理方式が考えられるが、前者は船上に巨大なサイクロンと集塵装置及び分離された微細粉炭を各船倉に移送する装置が必要となる。一方、後者は各船倉に直接吐出し、サイクロンを省略し、小型の集塵装置のみで分離する方式である。

船の設計上から考えると、後者の分割処理方式の方が現実的であろう。しかし、集塵装置の最適化を行い、価格の高い集塵装置のコストダウンを図る必要がある。また、船倉上部に空隙を残さないよう、効率的な分離、積付けを図ることも必要となる。

(5) 管、弁等の摩耗対策

管路輸送では、管、弁などの摩耗対策も重要である。特に、船用の場合には、メンテナンスを十分考慮する必要がある。微細粉炭の性状と摩耗量及び材質との関連性等について十分把握しておく必要がある。

(6) 微細粉炭の流動性と船体動揺による船の安全性

乾燥した微細粉炭は、流動性、噴流性指数ともに高い数値を示し、ハンドリング面では、取扱いやすい粉炭に属することが知られているが、一方海上輸送面では逆に船の安全性を危うくする可能性が出てくることになる。それは、船体動揺により粉体が移動した場合、その移動が動揺を増大する方向に働き、船体の復原力を弱め最悪の場合には、転覆することである。

従って、航海中の微細粉炭の流動と船体運動との関係を把握することは、非常に重要である。

2. 石炭輸送システムの経済評価

石炭の輸送は、山元からユーザーまで大きく3つの輸送部門（輸送体系）から成っている。即ち、山元から積出港までの内陸輸送、船舶による海上輸送及び積出港・荷揚港における荷役部門である。これらの各部門におけるコストの和が、山元からユーザーまでのトータル輸送コストとなるが、本研究部会では、輸送に新技術等を用いた場合の経済評価を、在来のコールチェーンとの比較において行った。新技術としては、最近、一部で取り入れられている浅吃水船技術、石炭を流体化してハンドリング可能な形にしたスラリー輸送技術を想定した。

ここで検討する輸送コストの範囲は、産炭国の山元におけるFORをベースに、わが国の一般炭需要地の港湾における揚荷コストに至るまでのコスト要素である。概念的には、山元における出炭コストと横もちのコストを、またもう一方の端点では需要地における貯炭コスト等も輸送システムに影響されて変化する。さらに、年間総需要の季節的変動をも考慮すると船の運行計画、所要船隻数等についても検討を要するが、ここではFORから荷揚コストまでに限定し、一船・一航海の運航に伴って発生する等カロリー換算石炭トン当たりコストの比較にとどめた。

2.1 石炭輸送システムに係る技術要素とコスト評価

(1) 海上輸送コストの要素と評価

(a) 海上輸送コストの試算

1. 海上輸送コストの分析

海上輸送コストにかかわる主な要素は、船価、船種、載荷重量（＝船型）、船速、燃費、荷役能力、船員数、輸送距離であり、各々の要素は互に次の様な因果関係を持ち、貨物物性、港湾施設などに大きな影響を受ける。

船 価＝ f （船種、載荷重量（＝船型）、船速、荷役能力、船員数）

船 種＝ f （貨物物性）

載荷重量＝ f （貨物物性、貨物量、輸送距離、港湾施設）

燃 費＝ f （船種、載荷重量、船速、荷役能力、輸送距離）

荷役能力＝ f （貨物物性、載荷重量、港湾施設）

海上輸送コストはこれらの要素を費用に転換し、以下の手順により求める事ができる。

まず、船舶の年間総経費を次式により求める。

$$\boxed{\text{総経費}} = \text{運航費} + \text{船舶経費} + \text{資本費} + \text{店費} \cdots (1)$$

$$\text{運航費} = \text{燃料費} + \text{港費} + \text{雑費} \cdots (1)'$$

$$\text{燃料費} = \text{燃料単価} \times (\text{航海中の燃料消費量} + \text{停泊・荷役中の燃料消費量})$$

$$\text{船舶経費} = \text{船員費} + \text{保険費} + \text{修繕費} + \text{船用品費} + \text{潤滑油費} + \text{雑費} \cdots (1)''$$

$$\text{資本費} = f(\text{償却費}, \text{資金}, \text{金利}) \cdots (1)'''$$

$$\text{償却費} = f(\text{船価}, \text{資本回収期間})$$

次に、船舶の石炭年間輸送量を次式により求める。

$$\boxed{\text{年間輸送量}} = \text{載荷重量} \times \text{航海回数} \cdots (2)$$

$$\text{航海回数} = \text{年間稼働日数} / (\text{航海日数} + \text{荷役日数} + \text{出入港・沖待ち日数}) \cdots (2)'$$

$$\text{航海日数} = \text{輸送距離}(\text{往復}) / \frac{1}{2}(\text{満載時船速} + \text{バラスト航海時船速}) \cdots (2)''$$

$$\text{荷役日数} = \text{載荷重量} / \text{平均荷役能力} \cdots (2)'''$$

（積・揚合計）

以上の結果を用いて、海上輸送コストは次式により求める事ができる。

$$\boxed{\text{海上輸送コスト}} = \text{総経費} / \text{年間輸送量} \cdots (3)$$

2. 対象船舶と試算に用いたデータ及び条件

主な石炭輸送システムの海上輸送コストを比較する為に、各海上輸送システム毎の輸送コストを試算した。試算に用いた船舶を表2.1に示す。

表2.1 対象船舶

| 輸送システム | バルク輸送システム | | | | | 水スラリー輸送システム | |
|--------|------------------|-----|-----|------------------|-----|-------------|-----------|
| | 在来型バルクキャリア | | | 浅吃水型バルクキャリア | | 造粒炭水スラリー船 | 高濃度水スラリー船 |
| 船種 | 60 | 100 | 200 | 100 | 165 | 200 | 200 |
| 船型 | 60 | 100 | 200 | 100 | 165 | 200 | 200 |
| (備考) | 37次計画造船により建造した船舶 | | | 輸送技術小委員会で試設計した船舶 | | | |

又、試算に用いたデータ及び条件を表2.2に示す。

表2.2 試算に用いたデータ及び条件

| 項目 | データ及び条件 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|--|------|------|------|------|------------|----|----|---|----|-------------|---|----|----|---|-----------|---|---|---|----|-----------|---|---|---|----|--|
| 船価 | 在来型バルクキャリア…37次計画造船の船価を参考とした値 浅吃水型バルクキャリア 造粒炭及び高濃度水スラリー船 } …試設計にて得た値 | 図2.1に船種別、船型別の船価を、60型の在来型バルクキャリアを100とした指数で示す。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃料消費量 | 在来型バルクキャリア…37次計画造船のデータを参考とした値 浅吃水型バルクキャリア 造粒炭及び高濃度水スラリー船 } …試設計にて得た値 | 燃料単価 A重油…330ドル/トン C重油…200ドル/トン ドル換算レート 230円/ドル | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 荷役日数及び出入港、沖待ち日数(合計) | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>型60</th> <th>型100</th> <th>型165</th> <th>型200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>在来型バルクキャリア</td> <td>4日</td> <td>6日</td> <td>—</td> <td>9日</td> </tr> <tr> <td>浅吃水型バルクキャリア</td> <td>—</td> <td>6日</td> <td>7日</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>造粒炭水スラリー船</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>5日</td> </tr> <tr> <td>高濃度水スラリー船</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>5日</td> </tr> </tbody> </table> | | 型60 | 型100 | 型165 | 型200 | 在来型バルクキャリア | 4日 | 6日 | — | 9日 | 浅吃水型バルクキャリア | — | 6日 | 7日 | — | 造粒炭水スラリー船 | — | — | — | 5日 | 高濃度水スラリー船 | — | — | — | 5日 | バルクキャリアは主要積出港、揚荷港の荷役設備の能力(将来の計画も含めて)をベースに実績を加味して決めた。 スラリー船は試設計にて計画した荷役日数の値をベースに決めた。 |
| | 型60 | 型100 | 型165 | 型200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 在来型バルクキャリア | 4日 | 6日 | — | 9日 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 浅吃水型バルクキャリア | — | 6日 | 7日 | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 造粒炭水スラリー船 | — | — | — | 5日 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 高濃度水スラリー船 | — | — | — | 5日 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 船速 | 満載航海時 13ノット バラスト航海時…14ノット | 全船種、全船型共同じ。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 資金調達、償還、金利 | 37次計画造船ベース | 建造資金は、日本開発銀行、市中銀行よりの融資金及び自己資金とする。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 保険費 | 海運中核6社ベース | 日本郵船、大阪商船三井船舶、川崎汽船、ジャパンライン、山下新日本汽船、昭和海運の6社 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 船員費 | 外航労務協会ベース | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 修繕費 船用品費 | 船主協会ベース | 船協海運年報を参考とした。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. 算出結果

船種別、船型別、輸送距離別の海上輸送コストを図 2.2 に示す、本図は 60 型の在来型バルクキャリアで輸送距離（片航）が 4,000 海里の場合を 100 として、指数にて表示したものである。

また、輸送距離（片航）4,000 海里の場合の海上輸送コストと、さらにこれを輸送対象貨物の発熱量で換算した場合の輸送コストを、60 型の在来型バルクを 100 として指数化したものを表 2.3 に示す。

表 2.3 船種別・船型別海上輸送コスト

| 船種 | 在来型バルクキャリア | | | 浅吃水型バルクキャリア | | 造粒炭水スラリー船 | 高濃度水スラリー船 |
|------------------|------------|------|------|-------------|------|-----------|-----------|
| | 60型 | 100型 | 200型 | 100型 | 165型 | 200型 | 200型 |
| 海上輸送コスト | 100 | 79 | 64 | 84 | 67 | 71 | 70 |
| 発熱量換算の場合の海上輸送コスト | 100 | 79 | 64 | 84 | 67 | 65 | 97 |

（海上輸送距離（片航）4,000 海里の場合）

（注）発熱量は次の値とした。

原炭 : 6,000 kcal/kg
 造粒炭 : 6,600 kcal/kg
 高濃度水スラリー : 4,350 kcal/kg

(b) 海上輸送コストの評価

1. 船型の大型化の影響

海上輸送コストを算出する式(3)の分子（総経費）と分母（年間輸送量）の、船型の大型化に伴うそれぞれの上昇割合を、在来型バルクキャリアを例にとり比較すると、表 2.4 の様になる。

表 2.4 船型の大型化に伴う総経費と輸送量の上昇割合

| 船型（在来型バルクキャリア） | 60型 | 100型 | 200型 |
|----------------|-----|------|------|
| 総経費 A | 100 | 124 | 184 |
| 年間輸送量 B | 100 | 157 | 286 |
| B/A | 1 | 1.27 | 1.55 |

（海上輸送距離（片航）4,000 海里の場合）

表 2.4 より明らかな様に、海上輸送距離及び船速を一定とした場合には、船型の大型化に伴う総経費の上昇割合に比し、年間輸送量の上昇割合が大きい為、船型の大型化は海上輸送コスト低減の大きな要因となる事が分る。

2. 浅吃水船による大型化のメリット

港灣の水深が 14 m 及び 17 m の場合について、浅吃水船の採用による船型の大型化のメリットを比較すると表 2.5 の様になる。

表 2.5 浅吃水船による大型化のメリット

| 水深 (m) | 14 | | 17 | |
|---------|-----|-------|------|------|
| | 在来型 | 浅吃水型 | 在来型 | 浅吃水型 |
| 船型 | 60型 | 100型 | 100型 | 165型 |
| 総経費 A | 100 | 131.5 | 100 | 135 |
| 年間輸送量 B | 100 | 157 | 100 | 159 |
| B / A | 1 | 1.19 | 1 | 1.18 |
| A / B | 1 | 0.84 | 1 | 0.85 |

(海上輸送距離(片航)4,000海里の場合)

表 2.5 より明らかな様に、試設計した浅吃水型バルクキャリアは在来型バルクキャリアに比し、輸送コストを約 15% 低減できる事が分る。

但し、同じ 100 型について比較すると、在来型の 100 型を 2 港場として運航した場合には、浅吃水型の 100 型に比べて輸送コストはほとんど同じである事が、別の試算により確認された。これは主として、在来型船の 2 港場運航に起因する年間航海数の減少、従って年間輸送量の減少が輸送コストに及ぼす影響と、浅吃水型船の船価が大きい事による輸送コストへの影響とが、ほぼ同じ程度(100 型の在来船を 1 港場として運航した場合をベースとして)になる為と考えられる。

3. 総経費の構成比

総経費に占める運航費、船舶経費、店費、資本費の割合と、燃料費及び船員費の占める割合を表 2.6 に示す。

表 2.6 総経費の構成比 (%)

| 船種 | 在来型バルクキャリア | | | 浅吃水型バルクキャリア | | 造粒炭水スラリー船 | 高濃度水スラリー船 |
|-------|------------|------|------|-------------|------|-----------|-----------|
| | 60型 | 100型 | 200型 | 100型 | 165型 | 200型 | 200型 |
| 燃料費 | 22.6 | 21.9 | 20.9 | 21.5 | 21.3 | 17.9 | 18.2 |
| その他 | 6.4 | 7.1 | 7.0 | 6.7 | 6.9 | 6.8 | 6.4 |
| 運航費 | 29.0 | 29.0 | 27.9 | 28.2 | 28.2 | 24.7 | 24.6 |
| 船員費 | 14.0 | 11.3 | 7.6 | 10.7 | 8.4 | 6.1 | 6.2 |
| その他 | 11.0 | 11.3 | 11.8 | 11.4 | 11.6 | 13.4 | 13.4 |
| 船費・店費 | 25.0 | 22.6 | 19.4 | 22.1 | 20.0 | 19.5 | 19.6 |
| 資本費 | 46.0 | 48.4 | 52.7 | 49.7 | 51.8 | 55.8 | 55.8 |
| 総経費 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

(海上輸送距離(片航)4,000海里の場合)

表 2.6 より明らかな様に、船型が大きくなる程資本費の占める割合は大きくなり、逆に燃料費、船員費の占める割合は小さくなる。特に、船員費は旧来の船に比し、輸送コストに占める割合が小さくなっており、また大型船になる程大幅に低減している。これは、船型の大小にかかわらず、船員数を一定の少人数(18名)とした為である。実際 3 次計画造船で建造された船の大半は大幅な省エネが計られたばかりでなく、少人数で運航できるよう様々な省人化実験船として船員 18 名で運航されている。

4. 船価の影響

船価の海上輸送コストに及ぼす影響について概略検討すると次の様になる。

諸費用を更に分析すると次の関係にある。

$$(\text{保険料} + \text{修繕費} + \text{店費}) = K \times \text{資本費} \dots (4)$$

ここでKは次の値となる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{バルクキャリア} \dots K = 0.185 \\ \text{水スラリー船} \dots K = 0.21 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{平均} \\ \rightarrow K = 0.2 \end{array}$$

従って、資本費にこれらの3費用を加えた経費分(すなわち、資本費の1.2倍)が船価の影響を受ける。言い換えれば、これらの経費分が総経費に占める割合分だけ、船価が海上輸送コストに影響を与える事になる。影響の度合いを表2.7に示す。

表2.7 船価が海上輸送コストに及ぼす影響 (%)

| 船種 | 在来型バルクキャリア | | | 浅吃水型バルクキャリア | | 造粒炭水スラリー船 | 高濃度水スラリー船 |
|----------------|------------|-------|-------|-------------|-------|-----------|-----------|
| | 60型 | 100型 | 200型 | 100型 | 165型 | 200型 | 200型 |
| 船価の占める割合 | 5.5.2 | 5.8.1 | 6.3.2 | 5.9.6 | 6.2.2 | 6.7.0 | 6.7.0 |
| 船価の上下(±10%)の影響 | ± 5.5 | ± 5.8 | ± 6.3 | ± 5.9 | ± 6.2 | ± 6.7 | ± 6.7 |

(海上輸送距離(片航)4,000海里の場合)

5. 燃料費の影響

次に運航費の約7.5%を占める燃料費が、海上輸送コストに及ぼす影響について概略検討すると次の如くなる。

燃料費は前述した如く、燃料単価×燃料消費量の式で求められる。航海中の燃料消費量は船速、輸送距離、海象条件により大きく影響される。また、スラリー船のみの問題であるが、荷役中の燃料消費量は、ポンプ能力、言葉を変えて言えばスラリーの物性、揚荷量、ポンピング距離及び配管径に大きく影響される。

航海中の燃料消費量は、船舶の推進機関である主機関の出力に比例して増減する。この主機関の出力は、一般に載荷重量を一定にした場合には船速の3乗に比例するので、結局、燃料消費量は船速の影響を大きく受ける事になる。例えば、船速を10%増減した場合には、燃料消費量は約3.3%増減する。増速した場合、燃料費が増加することにより総経費が増加するが、同時に航海数が増加する為、年間の総輸送量も増加する。従って、燃料単価が廉価の場合には増速した方が、逆に高価の場合には減速した方が輸送コストが低くなる。37次計画造船で建造された船舶の大半は過去に建造された船舶に比べて、2~3ノット減速した船速を計画船速としている。

一方、燃料単価(含むドル換算レート)の変動は大きく、これらの変動もまた輸送コストに大きく影響する。特に、燃料単価は年々上昇傾向にあり、これが年々輸送コストが上昇する大きな要因となっている。

輸送距離(片航)を4,000海里及び8,000海里とした場合の、燃料費が総経費に占める割合は表2.8に示す通りである。

表2.8より明らかな様に、燃料費が総経費に占める割合は、海上輸送距離(片航)4,000海里の場合には、1.8~2.2%で平均2.0%である。従って、燃料単価又はドル換算レート(円換算の場合)が10%上下した場合には、輸送コストは2%上下する事になる。

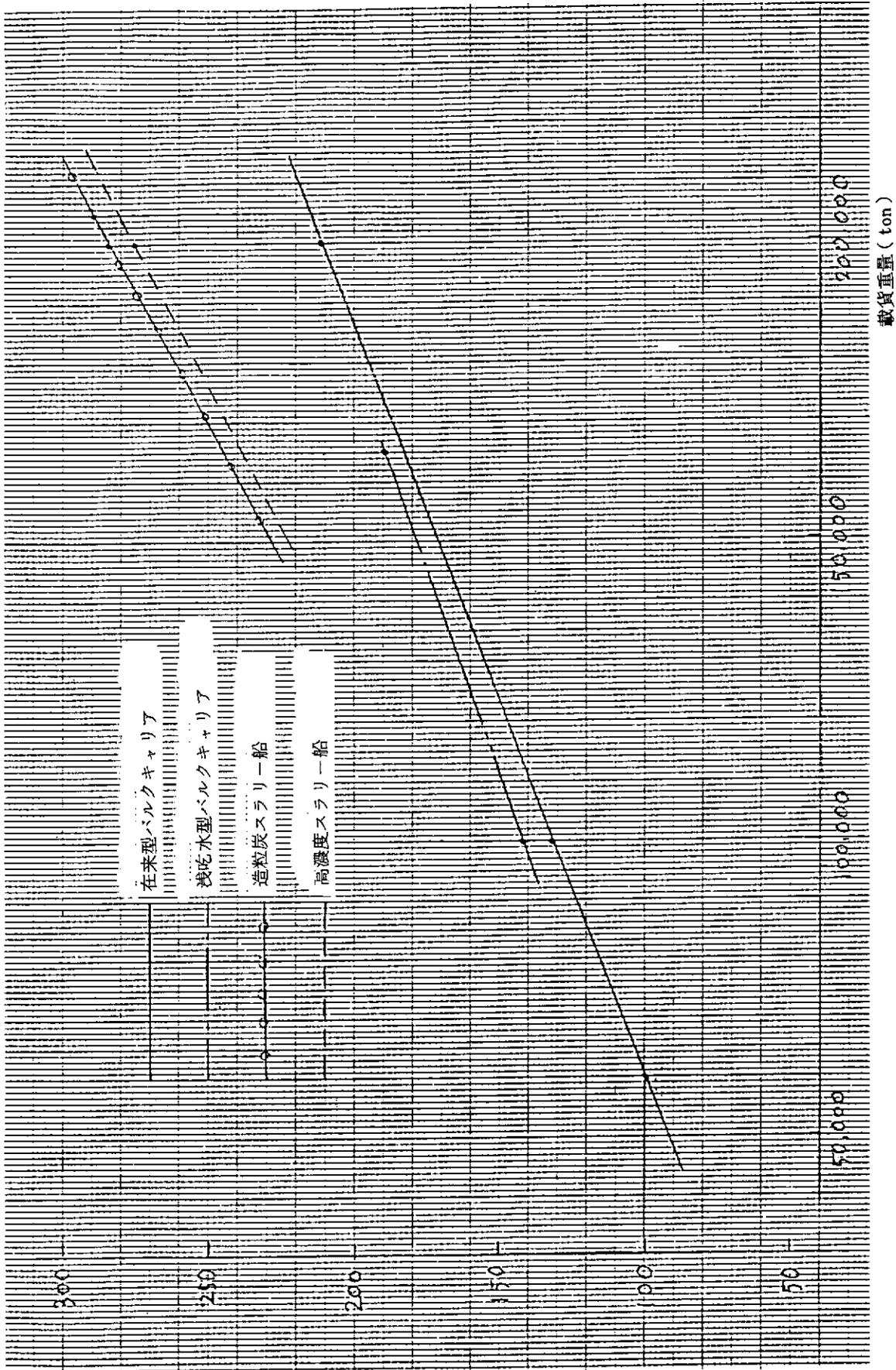


図 2.1 船種、船型別総船価比較表

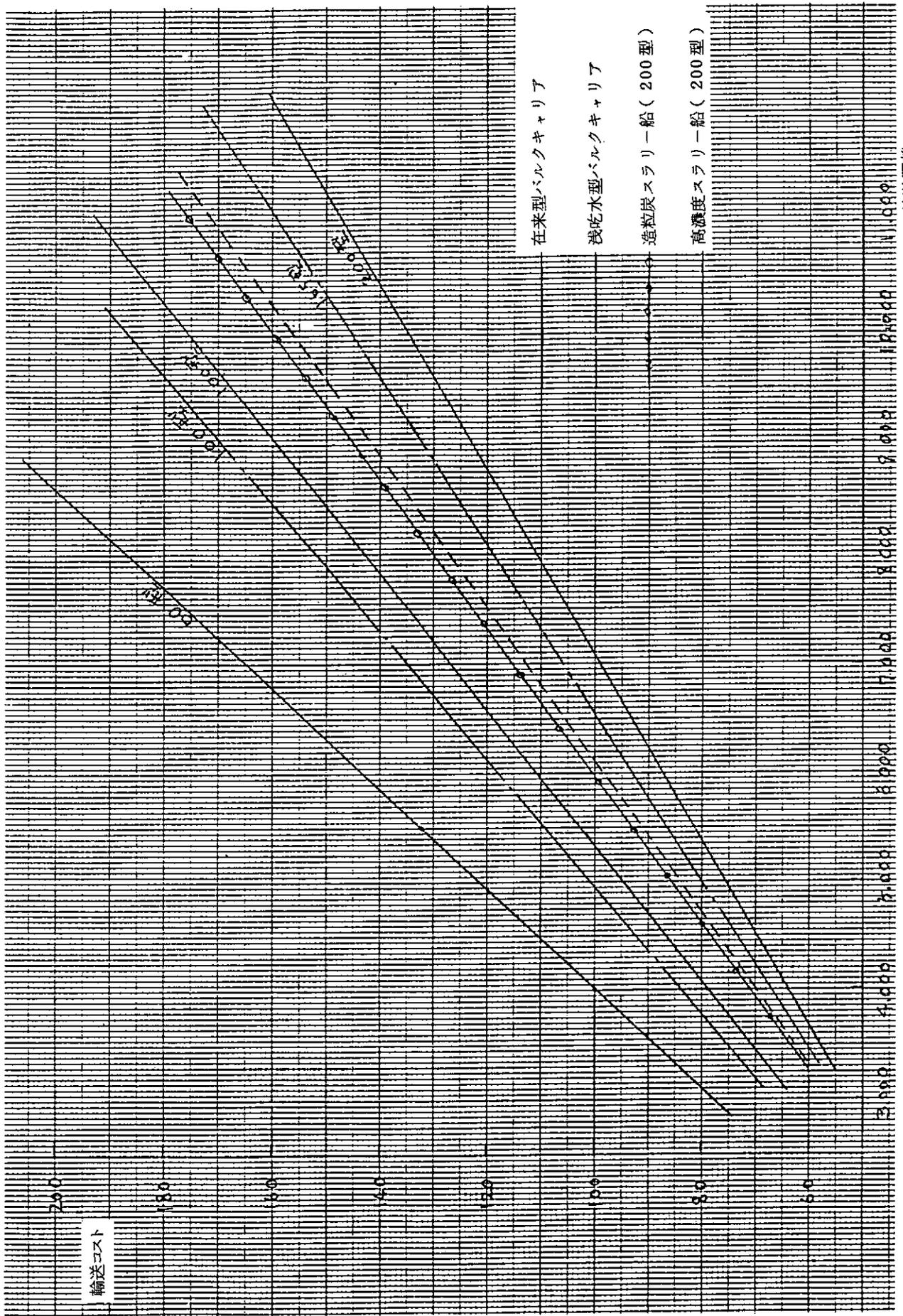


図 2.2 船種, 船型別輸送コスト比較表

表 2.8 燃料費が総経費に占める割合 (%)

| 船 型 | 在来型バルクキャリア | | | 浅吃水型バルクキャリア | | 造粒炭水ス ラリー船 | 高濃度水ス ラリー船 |
|---------|------------|------|------|-------------|------|---------------|---------------|
| | 60型 | 100型 | 200型 | 100型 | 165型 | 200型 | 200型 |
| 4,000海里 | 2.26 | 2.19 | 2.09 | 2.15 | 2.13 | 17.9 | 18.2 |
| 8,000海里 | 2.43 | 2.39 | 2.33 | 2.34 | 2.35 | 19.3 | 19.7 |

(2) 内陸輸送コストの要素と評価

産炭国における内陸輸送技術は、鉄道輸送(ユニット・トレイン方式)とパイプライン輸送の2つにはほぼ限定されているが、技術的にやや異質のものであるため、個別に検討することとする。

(a) 鉄道輸送(ユニット・トレイン方式)

鉄道輸送のコスト構成要素としてはつぎのようなものがある。

- 資本費(建設費, 設備費, 減価償却費, 金利)
- 運転経費(人件費, 動力費, 付帯経費, 保守費)
- その他経費(積卸費, 環境対策費)

これらから鉄道輸送経費→は次式によって算出される。

$$\text{鉄道輸送経費} = \text{資本費} + \text{運転経費} + \text{その他経費} \dots (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{資本費} = f(\text{初期投資額, 減価償却費, 金利}) \dots (5)' \\ \text{運転経費} = \text{人件費} + \text{動力費} + \text{保守費} + \text{付帯経費} \dots (5)'' \\ \text{その他経費} = \text{積卸費} + \text{環境対策費} + \text{雑費} \dots (5)''' \end{array} \right.$$

一方、鉄道の年間総輸送量は次式によって求められる。

$$\text{輸送時間} = \text{輸送距離} / \text{平均速度} \dots (6)$$

$$\text{列車回転数} = 365 \times 24 \times \text{稼働率} / (\text{輸送時間} + \text{積卸時間}) \dots (7)$$

$$\text{ロット・サイズ} = \text{連結車輛数} \times 1 \text{ 輛の積載量} \dots (8)$$

$$\text{列車本数} = \text{保有車輛台数} / \text{連結車輛数} \dots (9)$$

$$\text{年間総輸送量} = \text{列車本数} \times \text{列車回転数} \times \text{ロット・サイズ} \dots (10)$$

以上から鉄道輸送コストは次式によって求められる。

$$\text{鉄道輸送コスト} = \text{鉄道輸送経費} / \text{年間総輸送量} \dots (11)$$

鉄道輸送コストの実態は図 2.9 のとおりであり、主要産炭国における将来の推移予測はインフラの新設を加味して表 2.10 のようになっている。

表 2.9 ユニット・トレインの運賃率

単位: ¢

| 距離: 1,000マイル以上 | | 距離: 1,000~700マイル | |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| 車輛: 鉄道所有 | 車輛: 荷主所有 | 車輛: 鉄道所有 | 車輛: 荷主所有 |
| 1.058~1.075 (18) | 0.730~0.736 (11) | 0.877~0.881 (12) | 0.817 (6) |

(): サンプル数

出 所: 文献 (1)

表 2.10 主要石炭輸出国（日本向け）における鉄道輸送コストの推移比較
（単位：\$/t）

| 区分 国名 | 1979 | | 1985 | 1990 | 2000 | 港湾から産炭 地間の距離 |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 既設 | 新設 | 新設 | 新設 | 新設 | |
| A オーストラリア (\emptyset /t·km) | 6.60 (2.20) | 11.00 (3.67) | 15.90 (5.30) | 21.30 (7.10) | 38.60 (12.87) | 300Km |
| B カナダ (\emptyset /t·km) | 11.90 (0.99) | 16.80 (1.40) | 24.28 (2.02) | 32.53 (2.71) | 58.95 (4.91) | 1200Km |
| C アメリカ (\emptyset /t·km) | 10.70 (0.71) | 13.50 (0.90) | 19.50 (1.30) | 26.12 (1.74) | 47.33 (3.16) | 1500Km |
| D 南アフリカ (\emptyset /t·km) | 5.66 (1.13) | 8.77 (1.75) | 12.68 (2.54) | 16.99 (3.40) | 30.19 (6.16) | 500Km |

（注）カナダ、アメリカ、南アフリカの料金コストの上昇はオーストラリアの上昇に比例させている。
出所：文献(1)

(b) パイプライン輸送

パイプライン輸送のコスト構成要素としては、つぎのようなものがある。

- 資本費（建設費、設備費、減価償却費、金利）……………(12)
- 運転経費（人件費、動力費、前処理費、保守費、付帯経費、環境対策費）………(13)

パイプライン輸送の年間経費はつぎの式によって求められる。

$$\text{年間経費} = \text{資本費} + \text{運転経費}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{資本費} = f(\text{初期投資額, 減価償却費, 金利}) \dots\dots\dots(14) \\ \text{運転経費} = \text{人件費} + \text{動力費} + \text{前処理費} + \text{保守費} + \text{環境対策費} + \text{付帯経費} \dots\dots\dots(15) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{動力費} = f(\text{口径, 圧力, 流速, 粘度}) \dots\dots\dots(15)' \\ \text{前処理費} = f(\text{粒度, 濃度, 造粒, 添加剤}) + \text{用水費} \dots\dots\dots(15)'' \end{array} \right.$$

一方、パイプライン輸送の年間輸送量はつぎの式によって求められる。

$$\text{単位時間当りの輸送量} = \pi \times (\text{口径}/2)^2 \times \text{平均流速} \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{年間輸送量} = \text{単位時間当りの輸送量} \times 365 \times 24 \times \text{稼働率} \dots\dots\dots(17)$$

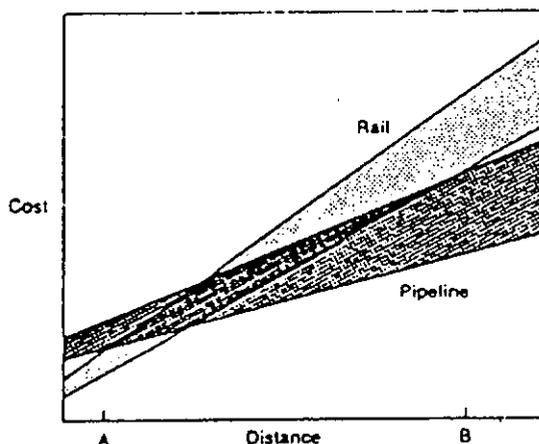
それ故、パイプライン輸送コストは次式によって算出される。

$$\text{パイプライン輸送コスト} = \text{年間輸送経費} / \text{年間輸送量} \dots\dots\dots(18)$$

石炭のパイプライン輸送はアメリカで実用化されているものの、基礎的なデータさえ整備されていないのが現実である。しかし、長距離・大量輸送手段として多くのメリットをもち、輸送コスト面でもインフレに強い面をもっているため、今後増えてくる輸送手段であると考えられる。

パイプライン輸送と鉄道輸送とを輸送距離で比較したのが図 2.3 で輸送距離が長くなるほど、パイプライン輸送のコストが相対的に安くなることを示している。

図 2.3 は輸送コスト比較が定性的であるが、より定量的に表現したのが図 2.4 である。これを見ると輸送距離が 300km のところで、パイプライン輸送が約 8 円/t·km、鉄道輸送が約 20 円/t·km、コンベア輸送が約 20 円/t·km、



出所：「Office of Technology Assessment」

図 2.3 ユニット・トレインとスラリー・パイプラインのコスト比較

22円/t・kmとなっており、パイプライン輸送の有利性を示している。また図2.5はパイプライン輸送がインフレに対して強いことを示している。

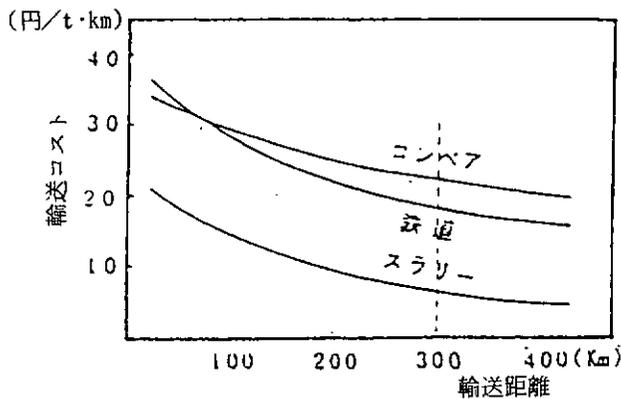


図2.4 トン・キロメートル当り輸送コスト
出所：文献(1)

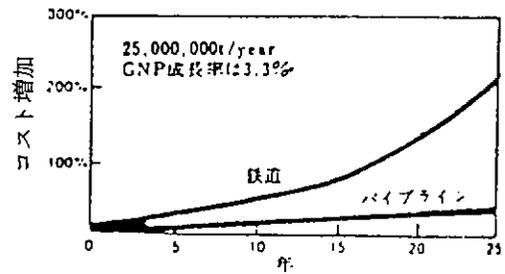


図2.5 価格上昇率。石炭の鉄道輸送およびスラリーパイプライン輸送に対するインフレの影響

出所：文献(1)

パイプライン輸送のコストをパイプラインの長さと同年輸送量との関係で示したのが図2.6である。

また文献(3)によると、年間輸送量1000万トン、輸送距離→1650km、口径26インチ、スラリー濃度50重量%、スラリー流速1.88m/秒を想定して、輸送コストをトン当り3,473円と算出している。

(3) 荷役コストの要素と評価

海外一般炭の輸送システム全体における荷役作業の分担範囲は極めて広く、技術的にも多岐にわたっている。また港湾そのものや貯蔵・混炭機能をもつコール・センターについても荷役技術あるいは施設として位置付けられる。

それ故、ここでは直接石炭のハンドリングにかかわる部分のコストと港湾コスト→、および今後その建設が多くなるものと想定されるコール・センターコストの3つに分けて検討してみる。

(a) ハンドリングのコスト

石炭を直接取り扱うハンドリング技術では、取り扱う石炭の性状によって技術・方法が異なってくる。

石炭の性状がバルクの場合には、積み込みがローダー、荷卸しがアンローダー、移動がベルト・コンベアというのが1つの図式といえよう。そこでアンローダーの能力と設備費(1977年価格を1980年価格に補正)の関係を図2.7に、またベルト・コンベアの能力と設備費(補正值)の関係を図2.8に示した。

石炭の性状がスラリー状の場合、輸送システムのどの段階で脱水処理を行い、もとのバルク状にもどすのか、あるいは高濃度スラリーのように脱水処理をしないで、そのまま燃料として使用するのか、などによって種々のヴァリエーションが想定される。スラリー状を保っている間はその特質を活かしたパイプライン輸送が行なわ

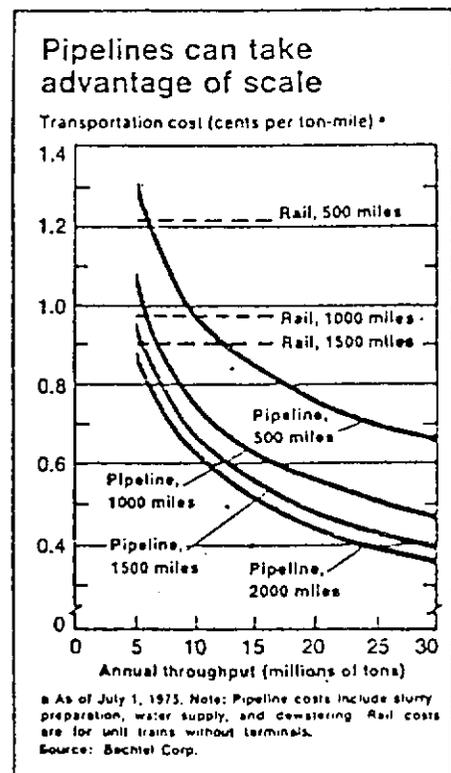


図2.6

出所：Bechtel Corp.

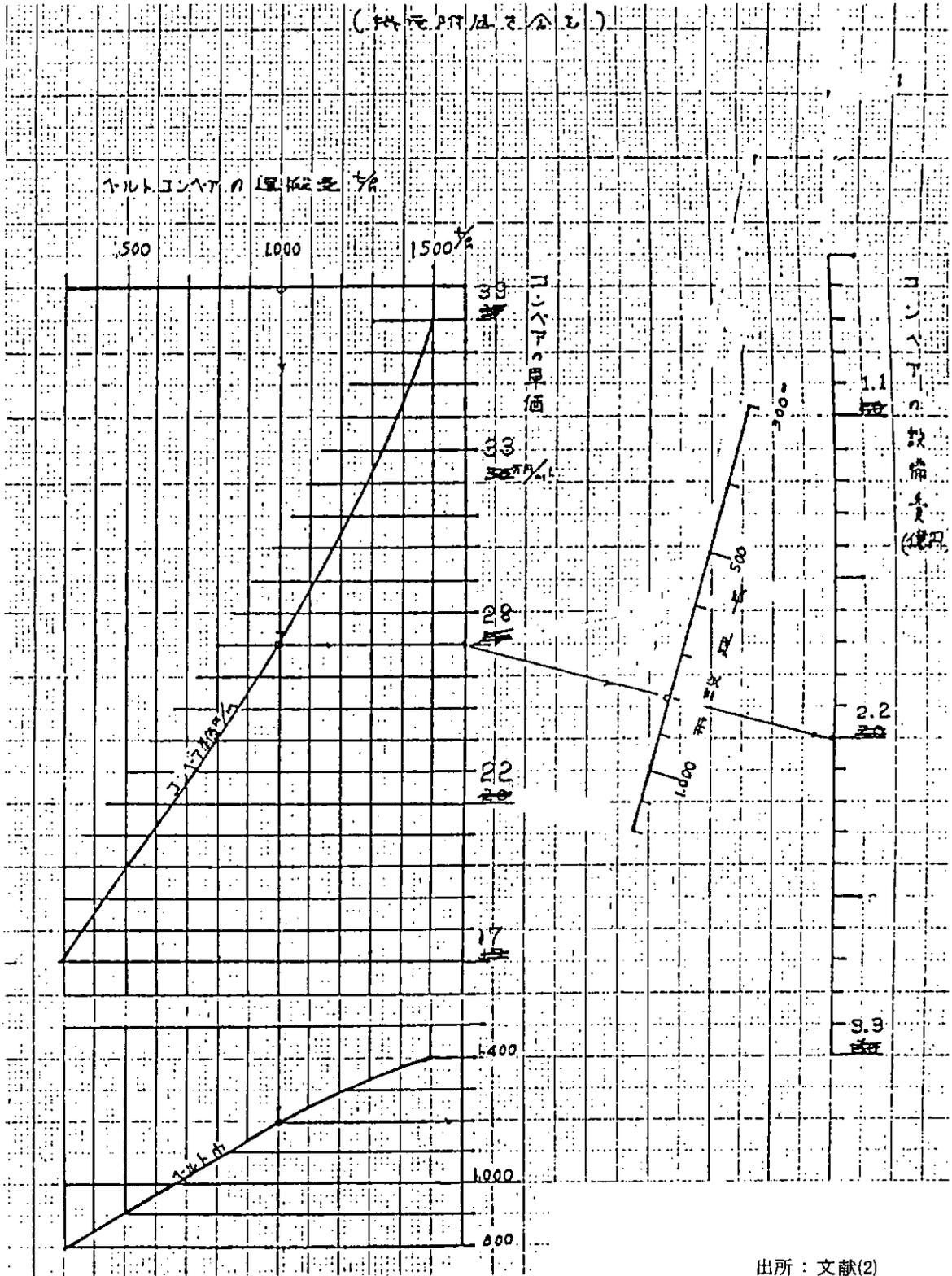


図 2.8 ベルトコンベアの運搬能力～ベルト幅～設備費 (1980年時)
(石炭)

れ、バルク状にもどってからは従来のバルク・ハンドリングとなる。

スラリーのパイプライン輸送による荷役では、着棧バースは必要ではなく、沖合の一点係留ブイから荷卸しができるため、大型船による海上輸送が可能となるメリットがあり、海上輸送コストの低減や港湾の新設・増改設の投資の節約が可能となる。その反面、一点係留ブイの新設、パイプラインの布設、脱水処理を行なう場合には脱水設備の新設とその操業コストなどが必要となってくる。

文献(3)によると、年間取扱い量500万トンのスラリー揚地システムのコストをトン当たり平均1,268円と評価しているが、これには脱水処理コストが含まれているため、脱水処理に係るコスト要素を除いて試算すると、荷揚のコストとしては725円/トンになる。

(b) 港湾コスト

港湾コストとは船が入港してから出港するまでのすべての経費を総称するが、その内容を大きく分けると以下のような式で表現される。

港湾コスト＝船舶に係る費用＋（既設港湾施設の荷役に係る費用＋港湾施設追加投資に係る費用）

本稿では“船舶に係る費用”は海上輸送コストのなかに含まれるので、ここでは除外することとし、また“既設港湾施設の荷役に係る費用”は基本型（60型）を基準コストとしているので既知のものとしている。従って、ここでは“港湾施設追加投資に係る費用”を港湾コストと仮称することとした。

港湾コストは大きく分けて着棧バースの場合と沖合1点係留ブイの場合とがある。

着棧バースの場合、取り扱う石炭の性状はバルク状のものが主体となり、ハンドリング設備もバルク用のものとなる。この場合のコスト構成要素としては、つぎのようなものが考えられる。

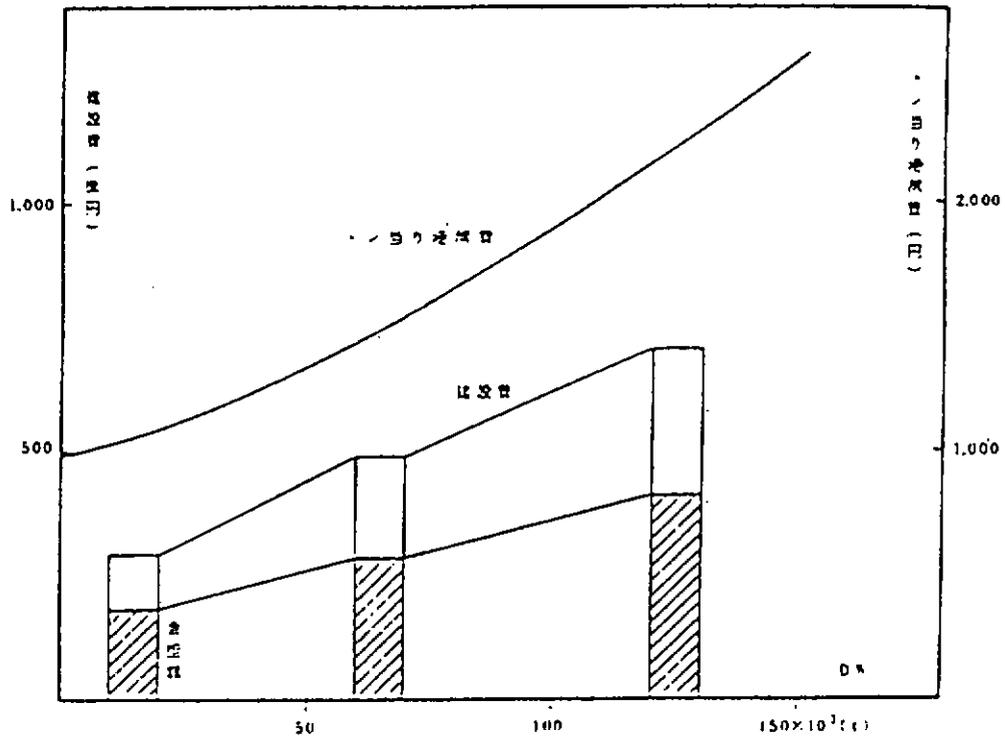
- 立地条件（気象，海象，地盤，水深，潮流，景観，後背地，内陸輸送条件など）
- 資本費（建設工事費，減価償却費，金利）
- 操業費（保守費，人件費，動力費，安全対策費，付帯経費）

それ故、着棧バースの港湾コストはつぎのようになる。

港湾コスト（着棧）＝F {（立地条件），（資本費），（操業費）}………(19)

この式は資本費の減価償却費（償却年限と償却方式の関数）と通常の操業費の和に、立地条件に起因するある係数を乗じたものが港湾コスト（着棧）になることを示している。

因に入港可能な最大船型と港湾建設費，港湾コストの関係を図2.9に示した。



出所：文献(1)

図 2.9 港湾建設費およびトン当り港湾費

現在の港湾で、石炭を取り扱ふと考えられるところでもケース・スタディで取りあげた最大船型(200型)が着岸可能なところは少ない。そこで現在の着岸最大船型を各港湾ごとに仮定したうえで、そこを200型着岸可能となるまで拡張・改竣工事を行なった場合、港湾コストがどのくらい増加するかについて、以下のような方法で試算を行なった。もとより港湾の新設、拡張・改竣工事は立地条件・社会的・経済的制約条件などのために一律に論じることは極めて困難であるが、ケース・スタディの評価の一助として、多くの前提条件をもうけて、あえて試算を行なった。それ故、現実的でないとの謗りはまねがれないものとも考えられる。

港湾の新設、拡張・改竣工事に係る経費の構成要素は大きく分けて、つぎの2つと考えられる。

$$\text{港湾建設費} = \text{外かく施設建設費} + \text{着岸荷役設備工事費} \cdots (20)$$

外かく施設建設費には用地そのものの取得、防波・防潮堤の建設、泊地の浚渫とその土砂の廃棄、漁業権補償などに要する経費が含まれるが、これらは港湾の立地条件や社会的・経済的制約条件によって一意的に決めることが困難なため、ここでは取りあげないこととした。一方、着岸荷役設備工事費には水路の浚渫とその土砂の廃棄、岸橋および取付岸橋の建設、各種荷役機械設備の設置、安全・補給・係船などに係る設備の設置などに要する経費が含まれる。これらのうち、ここでは水路の浚渫、岸橋の建設、荷役機械設備のうちのベルト・コンベアの3つについてのみ取りあげている。

〔前提条件〕

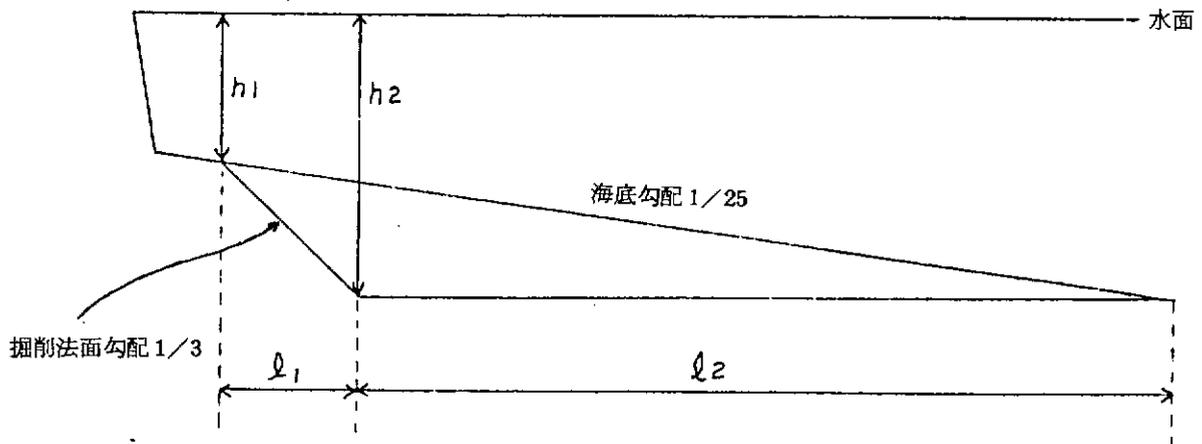
- 1) 現在の最大着岸可能船型を100型、60型、30型、10型と仮定し、それぞれを100型、200型着岸可能とする場合を想定して試算を行なう。
- 2) 船型および岸橋に関する諸元を次表のように仮定した。水深は着岸船型の最大吃水の1m増とし、平均水路幅は(岸橋長+船長の2倍)とした。

注* (最大吃水の1.1倍プラス余裕水深と定められているが、ここでは単純化のため1m増とみなした。)

| 諸元 船型(型) | 船長 (m) | 水深 (m) | 水路幅 (m) | 栈橋長 (m) | 栈橋幅 (m) | 栈橋面積 (㎡) |
|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| 200 | 300 | 19 | 1,150 | 550 | 52 | 28,600 |
| 100 (A) | 260 | 16 | 920 | 400 | 36 | 14,400 |
| 60 (B) | 230 | 13 | 760 | 300 | 30 | 9,000 |
| 30 (C) | 180 | 10 | 600 | 240 | 25 | 6,000 |
| 10 (D) | 140 | 8 | 480 | 200 | 19 | 3,800 |

3) 栈橋およびベルト・コンベアは既設のものに、不足分のみ増設することとした。

4) 浚渫土量の算出は下図に従って、次の算式で行なった。



$$h = h_2 - h_1 \quad h_1 : \text{現状の水深}, h_2 : \text{増深後の水深}$$

$$l_1 = 3 \cdot h \quad l_2 = 22 \cdot h$$

$$\text{断面積 } S = l_2 \cdot h / 2 = 11 \cdot h^2$$

$$\text{浚渫土量 } V = S \times (\text{水路幅})$$

5) この試算の基本的な考え方は文献(2)に従った。

(拡張工事諸元の試算結果)

以上のような前提条件に従って、7つのケースについて試算を行ない、60型着栈可能港を100型着栈可能港とする場合を100として各諸元を指数化すると、下表のようになった。

(単位: 無名数)

| 現状(型) | 拡張(型) | 水深 | 栈橋長 | 栈橋面積 | 浚渫断面積 | 浚渫土量 | ベルト・コンベア | 工事費 |
|-------|-------|-----|-----|------|-------|-------|----------|-----|
| 100 | 200 | 100 | 150 | 263 | 100 | 125 | 150 | 258 |
| 60 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 200 | 200 | 250 | 363 | 400 | 500 | 250 | 368 |
| 30 | 100 | 200 | 160 | 156 | 400 | 400 | 160 | 165 |
| | 200 | 300 | 310 | 419 | 900 | 1,125 | 310 | 439 |
| 10 | 100 | 267 | 200 | 196 | 711 | 711 | 200 | 213 |
| | 200 | 367 | 350 | 459 | 1,344 | 1,681 | 350 | 497 |

〔港湾コスト増加分の試算結果〕

拡張工事の試算結果から、港湾コスト分への試算はつぎのよう
うにして行なった。すなわち、工事費は金利7%の借入金と
とし、据置10年後20年均等分割返済とし、減価償却は50
年均等償却（ベルト・コンベアは6年償却だが、金額が少ない
ので省略した）とした。また年間の石炭取扱い量を500万ト
ンと仮定したうえで、石炭1トン当りの港湾コスト増加分を試
算し、60型着棧可能港を100型着棧可能港とする場合を
100として指数化すると、右表のようになった。

| 現 状 (型) | 拡 張 (型) | 増 加 分 (指 数) |
|---------------|---------------|-------------------------|
| 100 | 200 | 257 |
| 60 | 100 | 100 |
| | 200 | 366 |
| 30 | 100 | 164 |
| | 200 | 438 |
| 10 | 100 | 213 |
| | 200 | 495 |

一方、沖合1点係留ブイの場合、パイプライン輸送を前提としているため、取り扱う石炭の性状はスラリー状
のものでなければならない。それ故、脱水処理や排水処理が必要ならば、そうした一連の設備をもっていなけれ
ばならない。この場合のコスト構成要素としては、つぎのようなものが考えられる。

- 立地条件（気象、海象、地盤、水深、潮流、後背地、内陸輸送条件など）
- 資本費（建設工事費、減価償却費、金利）
- 操業費（人件費、保守費、動力費、安全対策費、付帯経費）

それ故、沖合1点係留ブイの港湾コストはつぎのようになる。

$$\text{港湾コスト(係留ブイ)} = F \{ (\text{立地条件}), \rightarrow (\text{資本費}), (\text{操業費}) \} \dots\dots\dots (21)$$

表 2.11 海外一般炭荷揚コスト試算表

| 規模 千 DWT | 100万kWh (10,450t/d) | | | | 200万kWh (2,0250t/d) | | | | 300万kWh (30,440t/d) | | | |
|----------------|---------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|----------------|
| | 荷揚時間 h×サイクル | バース 基数 | 投資額 (億円) | 荷揚 コスト (円/t) | 荷揚時間 h×サイクル | バース 基数 | 投資額 (億円) | 荷揚 コスト (円/t) | 荷揚時間 h×サイクル | バース 基数 | 投資額 (億円) | 荷揚コスト (円/t) |
| 3 | 16 | 2 | 23.9 | 233 | 16 | 4 | 47.4 | 202 | 16 | 5 | 58.6 | 173 |
| 5 | 16 | 1 | 17.1 | 202 | 16 | 2 | 32.9 | 169 | 16 | 3 | 49.6 | 160 |
| 8 | 16 | 1 | 24.9 | 237 | 16 | 2 | 44.6 | 203 | 16 | 2 | 47.9 | 157 |
| 10 | 18 | 2 | 50.5 | 342 | 18 | 2 | 50.0 | 202 | 18 | 3 | 73.9 | 191 |
| 30 | 28 | 1 | 48.7 | 331 | 28 | 1 | 48.7 | 198 | 18 | 1 | 54.0 | 163 |
| 50 | 60 | 1 | 64.5 | 388 | 48 | 1 | 66.9 | 233 | 28 | 1 | 73.8 | 190 |
| 80 | 80 | 1 | 92.2 | 499 | 68 | 1 | 93.9 | 287 | 48 | 1 | 99.0 | 222 |
| 100 | 100 | 1 | 109.2 | 567 | 88 | 1 | 99.4 | 318 | 60 | 1 | 115.8 | 244 |
| 150 | 100 | 1 | 152.0 | 746 | 100 | 1 | 152.0 | 405 | 88 | 1 | 154.2 | 296 |

注：投資額、荷揚コストは昭和52年の試算値を経済要覧（経済企画庁調査局編 昭和57年版）のデフレーター
1.1045(125.8/113.9)を用いて昭和55年の試算値を求めた。

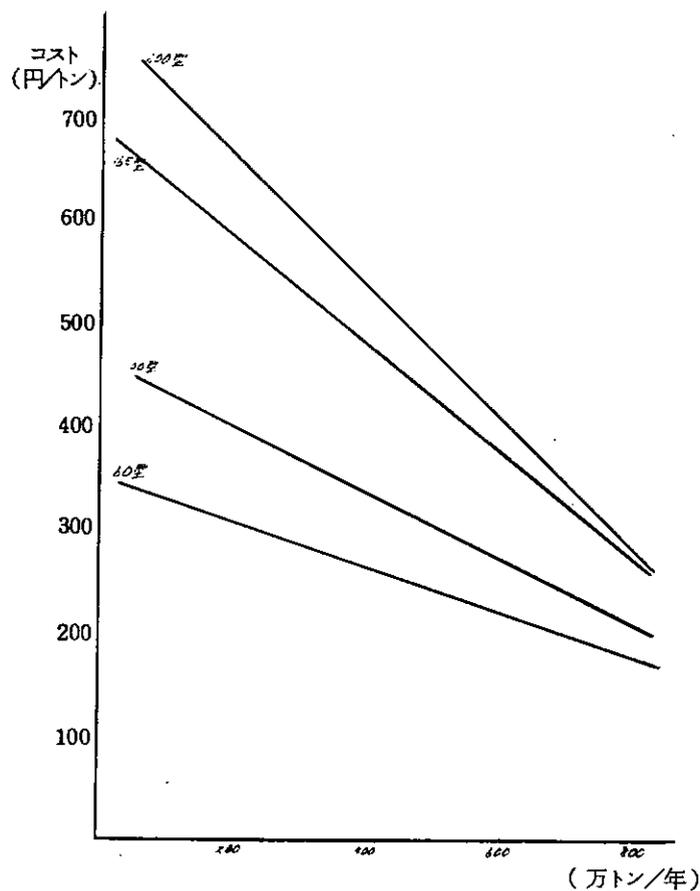


図 2.10 船型別取扱量別荷揚コスト (円/トン)

2.2 輸送システムの経済性評価

2.2.1 輸送システムの概念

海外一般炭をわが国まで輸送してくるシステムを全体としてとらえ、システムの構成要素を明らかにし、その成り立つ条件を検討する。

(1) 直送システム

直送システムは図 2.11 に示したように、産炭国から直接最終需要家の揚地港まで海上輸送を行ない、そこで荷揚げし、消費されるものである。図 2.11 にブロックで示したのが直送システムのシステム構成要素である。

直送システムの成り立つ条件としては、つぎのようなものが考えられる。

- 1ヶ所の需要量が大きいこと。
- 大型船が着棧できる専用バースをもっていること。



図 2.11 直送システムの構成要素

(2) コール・センター経由システム

コール・センター経由システムは図 2.12 に示したように、直送システムとは異なり、直接最終需要地に海上輸送されるのではなく、適当な場所に立地するコール・センターまで産炭国から大型船で海上輸送されてきて、

荷揚される。しかるのちに再び中小型船に積みかえて、中小口需要地の近くの港まで2次輸送（海上）される。この2次輸送は大部分が海上輸送であるが、極く少量の場合にはトラック輸送や鉄道輸送の場合もありうる。

コール・センター経由システムは、こうした中継機能のみではなく、前述したように安定供給のための備蓄機能や混炭による成分調整機能をも兼ね備えたシステムである。

このコール・センター 経由システムが成り立つための条件としては、つぎのようなものがある。

- 中小口需要地を適当な距離範囲に確保できること。
- コール・センターが十分な能力をもって立地できること。
- 良港があって大型船が直接着棧できること。
- 2次輸送が効率的に行なえること。

ただし、コール・センター 経由システムの経済性についてはすでに既往の調査があるため、この調査においてはコール・センター 経由システムの場合は除き直送方式についてのみ、船舶技術とのかかわりでいくつかの輸送体系を想定して経済性評価をおこなった。

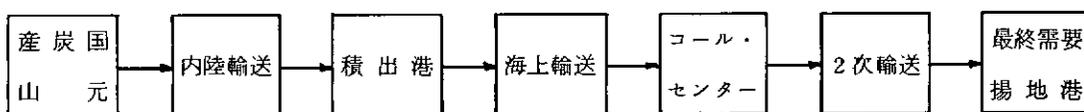


図 2.12 コール・センター経由システムのシステム構成要素

2.2.2 輸送システムの経済性評価

海外一般炭の輸送システムの経済性評価を行なうに先立って、2000年における輸入割合を明らかにし、経済性評価のための2つのケース条件を設定する。調査あるいは試算した数値を外そうしてケース・スタディの結果を算出し、その結果を検討し問題点を抽出する。

(1) ケース・スタディの前提条件

ケース・スタディの前提条件となる2000年における海外一般炭の輸入割合と輸入量は専門機関および当委員会の予測によると表2.12のとおりである。

また、2000年における各地域別の推計需要量は表2.13のとおりである。

表 2.12 日本における一般炭の国別輸入量（2000年）
（単位：％，百万トン）

| 産炭国 | 輸入比率 | 輸入量 |
|-----|------|------|
| A | 40 | 22.1 |
| B | 25 | 13.8 |
| C | 15 | 8.3 |
| D | 10 | 5.5 |
| E | 2.5 | 1.4 |
| F | 5 | 2.7 |
| その他 | 2.5 | 1.4 |
| 計 | 100 | 55.2 |

表 2.13 地域別推計需要量
（2000年）
（単位：百万トン）

| 需要地 | 需要量 |
|-----|------|
| A | 3.9 |
| B | 7.6 |
| C | 4.5 |
| D | 5.6 |
| E | 2.7 |
| F | 4.0 |
| G | 12.0 |
| H | 2.6 |
| I | 12.3 |
| 計 | 55.2 |

(a) ケース・スタディの設定と前提条件

「2000年における国内一般炭需要量(表2.12)を満たすために、表2.11に示した産炭国別輸入量を直送システムで輸入した場合、産炭国のFOBから積上げて日本全体としての輸送コストを比較して、船型を異にするバルクキャリアと浅吃水船の輸送コストへの影響を計測する。ただし、取り扱う石炭の性状はバルク状のものとする」

〔前提条件〕

- 1) 産炭国からの海上輸送距離は表2.14のとおりである。
- 2) 荷揚コストは表2.11および図2.10のとおりである。
- 3) 現在の港湾別最大着積船型を表2.15のように想定し、それ以上の船型で運ぶ場合には別途試算した港湾コスト増加分を加算するものとした。

表2.14 主要港湾間航路距離

(単位:海里)

| 輸出港 輸入港 | E | D | A | C | B | F |
|------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | 470 | 1,460 | 4,160 | 4,040 | 4,540 | 8,250 |
| B | 495 | 1,210 | 4,210 | 4,240 | 4,730 | 7,860 |
| C | 555 | 1,560 | 3,950 | 4,010 | 4,490 | 8,040 |
| D | 905 | 1,330 | 3,650 | 4,330 | 4,850 | 7,740 |
| E | 980 | 1,200 | 3,710 | 4,460 | 4,980 | 7,640 |
| F | 800 | 1,010 | 3,710 | 4,540 | 5,120 | 7,540 |
| G | 885 | 1,100 | 3,800 | 4,630 | 5,210 | 7,630 |
| H | 650 | 870 | 3,750 | 4,710 | 5,290 | 7,430 |
| I | 675 | 730 | 3,680 | 4,820 | 5,310 | 7,320 |

表2.15 最大着積船型の想定値

(単位:千DWT)

| 需 要 地 | 最 大 船 型 |
|-------|---------|
| A | 100 |
| B | 30 |
| C | 30 |
| D | 60 |
| E | 60 |
| F | 60 |
| G | 200 |
| H | 10 |
| I | 150 |

4) 輸送量の決定

輸送量の最適解を求めるのであれが、LP (Linear Programming = 線形計画法) の輸送計画手法を用いて

$$\text{供給量} = \sum x_{ij} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{需要量} = \sum x_{ij} \quad \text{但し } x_{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (25)$$

の制約条件のもとで総輸送経費を求める式は

$$\text{総輸送経費} = \sum \alpha_{ij} \times \sum x_{ij} \quad \dots\dots\dots (26)$$

によって、最適な輸送量 x_{ij} を求める必要がある。

しかし、今回のケース・スタディでは同じくLPの輸送計画手法のうち、MOD I法を用いて実行可能基底(注1)解を求め、それぞれの場合の輸送量とした。その結果を表2.16に示す。(注2)

表2.16 直送の場合の輸送量

(単位:百万トン)

| 供給 需要 | E | D | A | C | B | F | 計 |
|----------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|
| A | 1.4 | | | 0.9 | 1.5 | | 3.8 |
| B | | | | | 4.4 | | 4.4 |
| C | | | | 7.4 | | | 7.4 |
| D | | | 5.5 | | | | 5.5 |
| E | | | 2.6 | | | | 2.6 |
| F | | | 3.9 | | | | 3.9 |
| G | | | 1.1 | | 7.9 | 2.7 | 11.7 |
| H | | | 2.5 | | | | 2.5 |
| I | | 5.5 | 6.5 | | | | 12.0 |
| 計 | 1.4 | 5.5 | 22.1 | 8.3 | 13.8 | 2.7 | 53.8 |

「2000年におけるバルク輸送とスラリー輸送(造粒炭スラリー、高濃度スラリー)をとりあげ、産炭国を2ヶ国に特定したうえで、両輸送システムのコスト比較を行なう」

〔前提条件〕

- 1) 産炭国AおよびBとする。
- 2) 両国との海上輸送距離はそれぞれ4800, 1260海里とした。
- 3) 年間輸送量は70万kWh.2基からなる石炭専焼火力発電所を想定して、350万トンとした。
- 4) 輸送システムは同一揚地への直送システムとした。

(注1) MOD I法 (Modified Distribution Methodの略で輸送問題などでよくみられる係数行列が特殊な形をしているものの最適割当ての方法)

(注2) 実行可能基底解 (LPモデルについて、制約条件式の数と同じ数の解をもつ場合の解をいう)

- 5) 荷揚コストは、バルクの場合には先のケース・スタディの値を用い、スラリーの場合に文献(3)より類推して1,270円/トンを用いることとした。
- 6) スラリーについて含油率(10%)、含水率(30%)から、それぞれエネルギー換算、重量換算を行なった。
- 7) 脱水処理コストは200円/トンとした。
- 8) スラリーの場合の内陸パイプライン輸送距離はAの場合に1500km、Bの場合に750kmとした。
- 9) 内陸輸送コストについては、ユニット・トレインは表2.9より、2.4円/トン・kmとし、パイプラインは文献(3)より6円/トン・kmとした。
- 10) 産炭国における積出しコストについては、文献(3)よりバルクの場合929円/トン、スラリーの場合634円/トンとした。

(2) ケース・スタディの結果

(a) 直送の場合

産炭国から5種類のバルク・キャリアで各需要地に実行可能基底解の輸送量を直送した場合、60型の総輸送経費を100とした指数比較とコスト構成要素の比較は表2.17のようになった。

表2.17 直送ケースのコスト比較とコスト構成比率 (単位:無名%)

| 船型 | 指数 | O F | 荷揚 | 港湾 |
|-----------|-----|------|------|-----|
| 在来型 60(型) | 100 | 91.0 | 8.4 | 0.6 |
| 〃 100 | 84 | 85.7 | 12.6 | 1.6 |
| 〃 200 | 80 | 73.4 | 20.1 | 6.5 |
| 浅吃水型 100 | 87 | 86.7 | 12.6 | 0.7 |
| 〃 165 | 77 | 78.8 | 19.4 | 1.8 |

この結果をみると、在来型バルクキャリアの60型にくらべて100型では約16%、200型では約20%、浅吃水型の100型では約13%、同じく165型では約23%の割合で総輸送経費が低くなっている。その内訳をみると、船型が大きくなるにつれてOF(OCEAN FREIGHT)が低くなるが、荷揚コストは高くなる。しかし、荷揚コストの増加率よりもOFの低減率のほうが大きくなっている。また港湾コストについても大型船型になると高くなるのは当然であるが、ここでは浅吃水型のメリットが大きくあらわれており、在来型の60型と浅吃水型の100型、在来型の100型と浅吃水型の165型がほぼ等しくなっており、ともに約65%のコスト低減効果をもっているといえる。この結果、浅吃水型165型の総輸送経費が最も低くなったのであり、今後、浅吃水型船の技術開発によって、石炭輸送専用船として使用されるなら、石炭輸送コスト・ダウンに大きな効果を発揮するものと考えられる。

(b) 産炭国Aの場合

ケース・スタディの産炭国Aの場合について、前提条件に従って試算した結果を在来型バルクキャリア60型を100とする総輸送経費の指数比較および輸送量1トン当りのコストのコスト構成要素の比率は表2.18のとおりである。

表2.18 スラリー輸送・バルク輸送の比較（Aの場合）

（単位：無名 %）

| 船型 (型) | 指数 | 内陸輸送 | 積出 | O F | 荷揚 | 港湾 | 脱水 |
|-------------|---------|------|------|------|-----|-----|-----|
| 在来型 60 | 100/100 | 44.6 | 11.5 | 38.5 | 5.4 | — | — |
| 〃 100 | 92/92 | 48.5 | 12.5 | 32.4 | 5.9 | 0.8 | — |
| 〃 200 | 88/88 | 50.5 | 13.0 | 27.4 | 6.1 | 2.9 | — |
| 浅吃水型 100 | 93/93 | 47.8 | 12.3 | 34.0 | 5.8 | — | — |
| 〃 165 | 87/87 | 51.1 | 13.2 | 28.8 | 6.2 | 0.8 | — |
| 造粒炭スラリー 200 | 167/152 | 66.7 | 4.7 | 16.2 | 9.4 | 1.5 | 1.5 |
| 高濃度スラリー 200 | 166/229 | 67.1 | 4.7 | 15.7 | 9.5 | 1.5 | 1.5 |

注：O F = OCEAN FREIGHT

注：指数欄の上段は輸送量1トン当りのコスト指数，下段は総輸送経費指数を示す。

この結果をみると、内陸輸送コストの占める割合がともに高いが、ユニット・トレイン方式のほうが単価が低い。O Fの低減分とともに総輸送経費を低くしている。内陸パイプラインは単価が高いうえに、→O F、荷揚コスト、港湾コスト、脱水コストなども高くそれだけ高くなっている。総輸送経費でみると、いずれのバルクキャリアでも、それほど大きな差はみられないが、スラリー船とは比較的大きな差がみられる。これは内陸輸送コストの差によるものもあるが、造粒炭スラリーの場合は添加重油のエネルギー換算によって、輸送量が他の場合にくらべ約91%となっており、この効果が大きく影響されている。ここでは加算されていないが、添加重油のコストやスラリー調製コストなどを正確に評価できて加味した場合、これほど大きな差がえられるかどうかは今後の検討が必要であろう。

(c) 産炭国Bの場合

ケース・スタディの産炭国Bの場合について、前提条件に従って試算した結果、在来型バルクキャリア60型を100とする総輸送経費の指数比較およびコスト構成要素の比率をまとめると表2.19のようになった。

表2.19 スラリー輸送・バルク輸送の比較（Bの場合）

（単位：無名 %）

| 船型 (型) | 指数 | 内陸輸送 | 積出 | O F | 荷揚 | 港湾 | 脱水 |
|-------------|---------|------|------|------|------|-----|-----|
| 在来型 60 | 100/100 | 42.2 | 21.8 | 25.8 | 10.2 | — | — |
| 〃 100 | 98/98 | 43.2 | 22.3 | 22.6 | 10.5 | 1.3 | — |
| 〃 200 | 99/99 | 42.6 | 22.0 | 20.3 | 10.3 | 4.8 | — |
| 浅吃水型 100 | 98/98 | 43.2 | 22.3 | 24.1 | 10.5 | — | — |
| 〃 165 | 95/95 | 44.3 | 22.9 | 20.7 | 10.8 | 1.4 | — |
| 造粒炭スラリー 200 | 178/162 | 59.1 | 8.3 | 10.5 | 16.7 | 2.7 | 2.6 |
| 高濃度スラリー 200 | 179/245 | 59.0 | 8.3 | 10.8 | 16.6 | 2.7 | 2.6 |

注：指数欄の左側は輸送量1トン当りのコスト指数，右側は総輸送経費指数を示す。

この結果をみるとバルクキャリアでは船型による総輸送経費の差はあまりみられない。これはOFの比率が小さいため、船型の大型化によるメリットが大きくあらわれなかったためである。またAの場合と同じように内陸輸送コストの占める割合が大きく、他の変動要因の変化はOFのわずかな相異と200型における港湾コストの増加分くらいである。

スラリー輸送では、パイプライン輸送の単価が高いため、構成比は高くなっているが、その分OF、荷揚コスト、港湾コスト、脱水処理コストなどは加算されており、高濃度スラリーでは約2.5倍の総輸送経費になっている。高濃度スラリーの場合、含水率の関係から所定量の約1.38倍の量を輸送しなければならないが、これは水スラリーの特質ともいえよう。一方、造粒炭スラリーでは、Aの場合に述べたようなメリットと問題点もっている。

産炭国A、Bを仮定してバルクとスラリーの総輸送経費およびコスト要因の構成比率について、ケース・スタディを行なったが、ここではスラリーのほうが不利なような結果となっている。しかし、これは1つのケース・スタディの結果であって、バルク輸送に関しては技術体系もほぼ確立され、実績にもとづくデータも多く整備されているのに対して、スラリー輸送に関しては技術的にも開発途上にあり実績も石炭に関しては少なく、公開されているデータも極めて限定されている。こうした事実から今後、スラリー輸送に関する技術開発の促進と実績の積み重ね、それに伴うデータの体系化などが望まれる次第である。

(3) 検討と問題点

2つのケース・スタディを通じて、以下、若干の検討を行ない、問題点を明らかにしておく。

(a) バルク状石炭の輸送

従来から行なわれているバルク状石炭の輸送システムにも各種の技術開発や改善・工夫が行なわれているが、今回主要な技術要素の1つとして取りあげた浅吃水型バルクキャリアは予想以上に大きな効果を示した。それは港湾の新設や改浚工事の経済的・社会的な制約条件の大きさを反映したものといえるが、今後の石炭輸入への増加を考えるなら、是非、技術の開発と確立、実用化へと強力に推進する必要があると考えられる。

(b) スラリー状石炭の輸送

ケース・スタディ2では内陸輸送をも含めて、スラリー状石炭の輸送システムを検討した。スラリー状石炭といっても種々のものがあり、実用化されているものは極く限られたもので、他の残りは試験段階、あるいは実験段階にあるものである。そのため技術体系そのものが未だ確立されていないくらいが強く、かつ公開されているデータも極めて少ないようである。たとえば各種スラリー状石炭の調製コストや添加剤・安定剤の種類やコスト評価といったものは見られなかった。

石炭のバルクとしての短所を補うに有効な手段であるスラリー状石炭のパイプライン輸送技術は1日も早く確立され、実用に供されなければならないと考えられる。

2.3 まとめ

本章では現状の石炭輸送システム、あるいは現在技術開発中の将来における石炭輸送システムの一部について、主として経済性の観点から分析・調査を行なった。

前半では、石炭輸送システムを構成しているシステム要素をできるだけ細かく分析し、システム構成要素間に存在する因果関係を検討したうえで、それらが石炭輸送システムのコスト構成要因として、どのように位置付けられるかを明らかにした。

その結果、石炭輸送システムを大きな3つのサブシステム、すなわち海上輸送システム、内陸輸送システム・荷役

システムとに分類したうえで、個々の技術要素についてコスト構成要因間の因果関係式を導きだした。抽象的な概念式のものもあるが、大胆な仮定や捨象の導入、技術小委の協力などによって、かなり現実的な関係式やグラフ解のえられたものもできあがった。ここで得られた具体的な数値は、そのまま後半のケース・スタディの算出に用いられている。

後半では、前半におけるコスト構成要因の分析結果をうけて、より現実的かつ具体的な形でのケース・スタディを2つのケースについて行なった。

先ず最初のケース・スタディでは、2000年のわが国における海外一般炭の需給関係をベースとして、新しい技術要素として浅吃水型バルクキャリアを導入し、バルク状石炭の輸送システムについての経済的評価を行なった。その結果、浅吃水165型による直送システムのケースが最も輸送コスト指数は小さくなった。また、港湾建設または改竣工事の経済的・社会的制約条件のため、浅吃水船の効果が明らかにされ、今後、同技術の開発・実用化が極めて重要な課題となるものと考えられる。

ついで2つ目のケース・スタディでは、スラリー状石炭の輸送システムの経済性の比較・検討を行なった。ここで取りあげたスラリー状石炭は造粒炭スラリーと高濃度スラリーであり、内陸輸送距離の異なった2つの産炭国を想定したうえで、従来のバルク状石炭の輸送コストとの比較を行なった。その結果、造粒炭スラリーの輸送コストが2つの産炭国とも高く評価され、高濃度スラリーの輸送コストもかなり良く評価された。しかし、造粒炭スラリーの場合には10%添加重油を仮定し、エネルギー換算で輸送重量を減らして試算しているにもかかわらず、添加重油のコスト要因が具体的に加味されておらず、また高濃度スラリーでは含水率の関係で約40%多くの輸送重量となっているが、スラリー調製コストや添加剤・安定剤のコスト評価、沖合ブイ・脱水設備などの建設コストの捨象など、ケース・スタディ設定に多少の問題点を残している。

しかし、石炭のスラリー化技術、またスラリー状石炭の輸送技術は、今後の石炭輸送システムおよびその経済性を検討するうえで、極めて重要な要素技術であるとともに、石炭輸送システムのトータル・システム化への手段となるものと考えられる。

〔参考文献〕

- (1) 石炭輸送システムに係る調査研究報告書(昭和57年3月, 社団法人日本造船研究協会)
- (2) 石炭専焼火力発電所規模別の港湾施設基本計画と建設費(昭和52年, 財団法人日本立地センター)
- (3) 固体のパイプライン輸送システムの多目的利用に関する調査研究報告書(昭和56年7月, 社団法人日本機械工業連合会, 社団法人日本産業機械工業会)
- (4) 実務家のためのOR技法とコンピュータ(大前義次監修, 電気通信協会)
- (5) 産炭国インフラコスト推移(財団法人日本エネルギー経済研究所内部資料)

3. 石炭灰の大量海上輸送における問題点

3.1 ま え が き

石炭火力発電所の増設及び既設火力発電所や陸上プラントの石炭への燃料転換促進に伴い、そこから排出される石炭灰は、今後ますます増大するものと予想される。

かかる状況から近い将来、現状の灰捨場のみでは消化できなくなると予想され、新たに大規模な灰の処分場所が必要となってくる。

ここでは、その処分場所として、立地的にも充分可能性のある海岸埋立地を想定し、そこまで石炭灰を船舶により大量に海上輸送する場合の問題点について検討を行なうものとする。

3.2 石炭灰の性状

ここでは主として、我国の石炭火力の主力をなす微粉炭燃焼ボイラから出てくる石炭灰（以後灰と称す）の種類と性状について述べる。

微粉炭燃焼ボイラから排出される灰の種類としては、表 3.2.1 に示すように、ファーネス底部に落ちるクリンカアッシュと燃焼ガスとともに随伴され、電気集じん器で捕集されるフライアッシュの二種類に大別される。

フライアッシュのうち、粒径が大きく、電気集じん器に至る前のエコノマイザ、エヤヒータに落下する灰をシンダーアッシュと称し、電気集じん器で捕集されるフライアッシュと区別する場合もある。

全灰発生量の約 15～20% を占めるクリンカアッシュは、ボイラ下部に配置されるクリンカホップに溶融塊状となって落下するが、ホップ内にはられた水により、急冷破碎される。ホップからの排出に際しては、クラッシャにより粉碎され、通常粒径は 10mm 程度以下となり、水とともに処理される。

残りの約 80～85% を占めるフライアッシュは幅広い粒度分布（図 3.2.1）を示し、平均粒径は 20 μ 程度であり、クリンカアッシュと異なり乾式処理されるのが普通である。

なお、クリンカアッシュ及びフライアッシュの発生割合は、表 3.2.2 に示すように、燃焼方式によって異っている。灰の成分は表 3.2.3 の例に示すように、国内炭、国外炭等の産地によって異っている。

微粉炭燃焼ボイラから排出される灰は、高温の熱にさらされているため、安定物質と考えられる。また表 3.2.4 石炭灰溶出試験結果の例に示すように、埋立処分の判定基準を超える有害物質の溶出はないと考えられている。

3.3 石炭灰の海上輸送に関連する法的規制

石炭灰を産業廃棄物として取り扱い場合の石炭灰の海上輸送に関連する法的規制、すなわち、石炭灰の海洋での処分に対する法的規制と石炭灰の船舶への積み降し作業時に起りうる予想される環境汚染（石炭灰の海上への落ちこぼれによる海洋汚染、大気中への飛散による大気汚染）に対する法的規制について述べる。

尚、各法的規制についての考察又は対策については、次項「3.4 海上輸送形態と問題点」で述べるものとする。

3.3.1 石炭灰の海洋処分に関する法的規制

石炭灰の海洋での処分方法としては後でも述べるが、海洋投入処分と埋立処分に分けられる。これらの処分に関連する法律として、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」があり、次に述べる条件下においてのみ海洋での処分が認められている。

尚、上記法律は以下それぞれ「海洋汚染防止法」「廃棄物処理法」と呼ぶものとする。

「海洋汚染防止法」によると、船舶からの廃棄物の排出は「廃棄物処理法」において海洋を投入処分の場所とすることができるものと定めた廃棄物で、

- ① 政令で定める排出海域及び排出方法に関する基準（注1）に従って排出されるもの
- ② 「公有水面埋立法」によって規制される場所又は「廃棄物処理法」において廃棄物の処理場所として設けられる場所に、政令で定める排出方法に関する基準（注2）に従って排出されるもの

に関して認められている。

前者が海洋投入処分に、後者が埋立処分に関連する法的規制である。

「廃棄物処理法」で定める海洋投入処分及び埋立処分可能な廃棄物として燃えがら（熱しゃく減量15%以下のもの）及びばいじんがあり、石炭灰のうち、クリンカアッシュは前者、フライアッシュは後者に該当する。ただし有害物質を含むものについては原則として禁止されており、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令」で各処分に係る判定基準（表3.3.2, 3.3.3）を定めているが、前項3.2で述べた石炭灰の溶出試験結果（表3.2.4）から判る様に、石炭灰からは各処分に係る判定基準を超える有害物質の溶出はなく、石炭灰は海洋処分及び埋立処分可能な廃棄物として取り扱われると考えられる。

尚、一般的には以上のように考えられるが、石炭の性状は産炭地によって千差万別であり、論理的にはケースバイケースで注意が必要であることは言うまでもない。

注1) 燃えがら及びばいじんについての排出海域及び排出方法に関する基準を表3.3.1に示す。

注2) 燃えがら及びばいじんの船舶からの埋立処分基準を図式化したものを図3.3.1に示す。

石炭灰の埋立処分方法としては、この図の埋立場所1に示す方法となる。

3.3.2 環境汚染に対する法的規制について

石炭灰の積み降り作業時に起りうる予想される石炭灰の海上への落ちこぼれを規制している法律に「港則法」があり、その規制は次の通りである。

散乱する恐れのある物（石炭灰も対象となりうる）を船舶に積込む者は、水面に脱落するのを防ぐため必要な措置をしなければならない。（第24条2項より抜粋）

一方、石炭灰の飛散を規制する法律としては、適用されそうなものに「大気汚染防止法」がある。本法では、大気中に排出される排出物に含まれる「ばいじん」の量について許容限度を定めており、「ばいじん」に石炭灰（フライアッシュ）が該当すると考えられるが、本法で規制しているのは、あくまでも工場又は事業場に設置される施設から発生する「ばいじん」のことであり、石炭灰の積み降り作業時に起りうる石炭灰の飛散は、規制の対象にならないと考えられる。

他に、粉じんさらされる労働者の健康障害を防止する目的で定められた規則として、「粉じん障害防止規則…労働省令第18号」があるが、粉じんの発生量についての具体的な規制値はない。

以上より、石炭灰の積み降り作業時に起りうる石炭灰の飛散については、現在のところ具体的な規制値をもった法的規制はないと考えられるが、環境保全のための対策は十分考慮しておく必要がある。

その対策については、次項「3.4 海上輸送形態と問題点」で述べるものとする。

3.4 海上輸送形態と問題点

3.4.1 灰の処分方法

灰の処分は表3.4.1に示す様に、海洋投入処分と埋立処分に大別される。

海洋投入処分を行なう場合には、前項 3.3 で述べた様に、「海洋汚染防止法」及び「廃棄物処理法」により排出方法が規制されており、次の様な問題がある。

- ① 「海洋汚染防止法」では、排出場所は B 海域と限定されているが、B 海域は公海上であるため、そこでの廃棄物の投棄行為は国際世論の批判が心配であること。
- ② 又同法では、粉末のままでの排出が禁止されているので、フライアッシュ等は固形化等の対策が必要となること。
- ③ 「廃棄物処理法」では、廃棄物の処分方法として海洋投入処分より埋立処分を優先させるとの条文があること。一方、埋立処分については、現在も行なわれている処分方法であり、前項 3.3 の図 3.3.1 に示す埋立処分基準に従って行なわれている。

以上より判断すると、灰の海洋での処分方法としては、埋立処分を考えるのが妥当であり、灰の大量海上輸送形態を検討する上での前提とする。

3.4.2 埋立処分用として扱われる灰の状態

現在、発電所で行なわれている灰の処理形態を図 3.4.1 に示す。

この図では、上半分がフライアッシュ、下半分がクリンカアッシュの処理形態を示している。フライアッシュの内、埋立処分されるものは粉塵防止のため、ダストレスアンローダーで加湿した後、船積みされている。クリンカアッシュも前項 3.2 で述べた様に、灰処理の過程で、クリンカホッパ内の水により急冷破砕されたあと、水とともに搬送されるため、湿った状態で船積みされている。

すなわち、埋立処分用の石炭灰は全て湿った状態で扱われているのが現状である。

以上より、クリンカアッシュについては、湿った状態で船積みされるものとして海上輸送形態の検討を行ない、フライアッシュについては、ダストレスアンローダーを通さず、乾いたままの状態でも船積みできるので、ここでは湿った灰と乾いた灰の両ケースについて検討を行なうものとする。

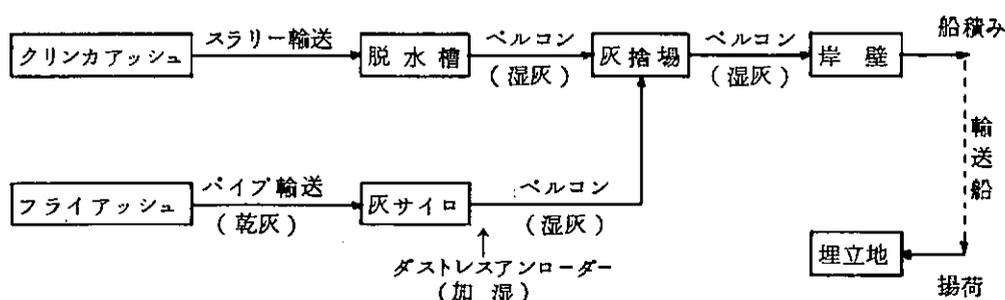
3.4.3 海上輸送形態と問題点及びその対策

前述の様に、船積みされる石炭灰の状態には、乾状、湿状の 2 通りがあり、灰の状態によって海上輸送形態、すなわち、船積み方法、輸送船の種類、揚荷方法が異なる。

従って、ここでは、乾状、湿状両ケースにおける石炭灰の大量海上輸送形態について検討し、その問題点について述べるものとする。

(1) 湿灰（湿った状態の石炭灰）の輸送形態

対象となる灰は、クリンカアッシュ及びダストレスアンローダーにて加湿処理されたフライアッシュである。埋立地までの湿灰の輸送システムの一例を下図に示す。



湿灰では通常バルク輸送が可能となり、船積から揚荷までの海上輸送形態としては次表のケース1からケース4に示す様な形態が考えられる。

バルク輸送の他に船積、揚荷をスラリーで行なう方式もあり、次表のケース5、6に示す様な形態が考えられる。

湿灰の海上輸送形態

| | 方式 | 船積み方法 | 輸送船の種類 | 揚荷方法 |
|------|---------|-------------|---------------------------------|-------------------|
| ケース1 | 通常バルク方式 | シップローダー | ギアレスバルクキャリア (荷役設備のないバルクキャリア) | シップアンローダー |
| ケース2 | | シップローダー | セルフアンローディングバルクキャリア | 自船のアンローダーで行なう |
| ケース3 | | シップローダー | 船底開閉式バルクキャリア | 埋立地へ乗り入れ船底扉より直接排出 |
| ケース4 | | 自船の荷役装置で行なう | ギアードバルクキャリア (荷役設備のあるバルクキャリア) | 自船の荷役装置で行なう |
| ケース5 | スラリー方式 | シップローダー | バルクキャリア (スラリー化設備付) | パイプ揚荷 |
| ケース6 | | スラリー化装置 | スラリー運搬船 (船上脱水/再スラリー化設備付) | パイプ揚荷 |

注) シップローダー及びシップアンローダーの一例を図3.4.2, 3.4.3に示す。

ギアレスバルクキャリア、ギアードバルクキャリア及びセルフアンローディングバルクキャリアの一例を図3.4.4に示す。

船底開閉式バルクキャリアの船底扉の型式を図3.4.5に示す。

スラリー揚荷システム概念図を図3.4.6に示す。

次に各輸送形態の特徴と問題点及びその対策について述べる。

ケース1について;

シップローダー、シップアンローダーとも港湾荷役装置として数多くの実績があり、荷役能力の大きなものもあるので、灰の大量海上輸送におけるローディング、アンローディングの手段として適していると思われる。ただし、荷役作業中に起りうると予想される灰の海上への脱落、及び飛散等の環境問題については前項3.3で述べた様に、法的規制又は環境保全の目的から何らかの対策を講じる必要がある。

シップローダーについては、大容量のものは通常ベルトコンベアによる連続式であるので、灰の海上への脱落はまず心配ないが、飛散防止対策として次の様な対策が必要となる。

- ① 積込み前に灰に散水する。
- ② 移送用ベルトコンベアに防風、防塵カバーを設ける。
- ③ ローダーの先端にテレスコピックシュートを設ける。
- ④ ローダーのベルトコンベアに防風、防塵カバーを設ける。

シップアンローダーについては図 3.4.3 に示す様に、クラブバケット方式と連続式があるが、本システムでは、環境問題に対する対策が講じ易い連続式の採用が好ましい。その対策としては、バケットエレベーター式の場合は、エレベーター及びコンベアに防風、防塵カバーを設ける等が考えられ、クラブバケット方式を採用する場合には、環境問題に対する対策として次の方法が考えられる。

- ① 飛散防止のために揚荷前に灰に散水する。
- ② クラブから灰が脱落しない様にクラブ形状を改善する。
- ③ 本船と岸壁との隙間に脱落防止のためのシートを張る。

ケース 2 について；

セルフアンローディング船の特徴は、ホールド底部がホッパー形状をなし、ホッパー底部の開口から灰を重力にて開口の下に設けられたベルトコンベア上に排出した後、ベルトコンベアにより船の長手方向に水平搬送され、さらに暴露甲板へベルトコンベア又はバケットエレベーターにより搬送された後、ブームコンベア等により船外へ直接揚られることにある。

又、上記セルフアンローディング装置は、揚荷能力の大容量化が可能であり、五大湖に就航しているセルフアンローディング船の中には 10,000 t/h の揚荷能力を有するものもある。

本輸送形態は以上の様な特徴を有していることから、ケース 1（ギアレスバルクキャリア）と比較した場合、次の様な利点がある。

- ① 揚荷能力の大容量化が可能のため、揚荷時間の短縮化が計られる。
- ② 揚荷作業での省力化が計られる。
- ③ 揚荷作業中の灰の海上への脱落及び飛散等の環境問題に対する対策を講じ易い。

その対策としては、ブームコンベアをカバーで覆い、その先端にはテレスコピックシュートを設ける、ことなどが考えられる。

しかしその反面、船内にセルフアンローディング装置を設置するためのスペースが必要となるため、ホールド容積が少なくなるという欠点も有している。

ケース 3 について；

本形態は現在、埋立用土砂運搬船に用いられている方法であり、船底扉を開いて埋立区域内で直接灰を排出できるところに特徴がある。

しかし、埋立区域において船の出入口を開いておくことと退潮時に内部水が流出するので、流水防止の必要がある場合には、ロック式水門を設ける必要があること、大量輸送を考慮すると、輸送船も大型化するので、埋立区域内での操船が難しくなること、埋立が進んで水深が船の喫水以下になると進入不可能となるので、埋立地にアンローダーを併設する必要があること、など問題点も多い。

尚、輸送中に起りうると予想される船底扉からの灰のもれについては、灰のもれそのものに対する法的規制は行われていないが、関連する法規である海洋汚染防止法の主旨から判断し、船底扉は極力灰がもれない構造にすべきであると考えられる。

その対策としては、次の方法が考えられる。

- ① 船底扉を二重とする。
- ② 船底扉を比較的水密性が優れているコニカルバルブ方式とする（図 3.4.5 参照）。

ケース4について；

輸送船に装備できる荷役装置（デッキクレーン、ガントリークレーン等）の荷役能力には限界があり、陸上に設置されるシップローダー、シップアンローダー又はセルフアンローダー船に装備されるアンローダー装置の荷役能力と比較すると、かなり小さなものとなり、大量の灰を扱う場合、ローディング、アンローディングに時間がかかり、運航サイクルの面で不利となる。

本ケースでは、一般にグラブ荷役となるが、グラブ荷役は荷役作業中に灰の海上への脱落や飛散等の環境問題が生じやすく、ケース1のグラブバケット方式、シップアンローダーにおける場合と同様の環境保全対策が必要となる。

スラリー方式（ケース5，6）について；

ケース5では、船積みは通常バルク方式と同じシップローダーにて行ない、揚荷は本船に設けてあるスラリー化装置により水を加えて灰をスラリー化し、スラリーポンプにて揚荷される。（図3.4.6参照）

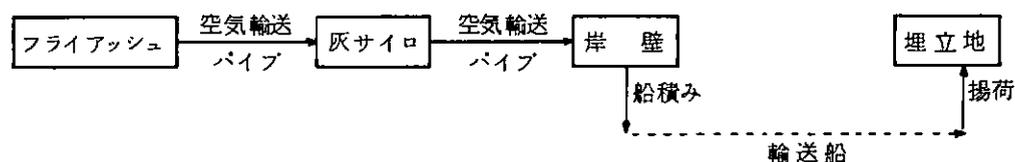
ケース6では、船積み前に陸上側に設けられたスラリー化装置で灰のスラリー化を行ない、船積みはパイプで行なう。船倉に積まれたスラリーは、本船の脱水装置により直ちに脱水される。揚荷は本船にて再スラリー化を行ない、パイプで行なう。

以上より、スラリー方式では、船積み、揚荷は水を媒体としたパイプ輸送が可能となるため、荷役作業中の灰の海上への脱落や飛散等による環境汚染問題は起りにくい。

一方、大量の水を輸送媒体とするため、空気輸送方式程ではないにしても、荷役動力の消費量が大きく、輸送効率も悪い、末端で分離された水の処理（排水処理）を要する等の問題があるが、大量輸送方式としては、灰と水との分離が容易であるため、オープン方式の水スラリーによる船積み、揚荷システムは検討すべき方式であると思われる。

(2) 乾灰（乾燥した状態の石炭灰）の輸送形態

対象となる灰は、フライアッシュであり、埋立地までの輸送システムの一例を下図に示す。



輸送形態としては粉塵対策を考慮すると、船積み、揚荷は空気を媒体としたパイプ輸送で行ない、輸送船は大容量のタンクを有した専用船となる。

空気輸送方式には大別して、デンスフェーズ方式とリーンフェーズ方式がある。デンスフェーズ方式は一種のプラグフローであり、高圧空気により搬送物をプラグ状にして圧送するものであり、リーンフェーズ方式は低圧ではあるが、大量の空気により搬送物を浮遊流動化させて圧送あるいは真空輸送するものである。

次に本輸送形態での問題点を述べる。

荷役時に発生する大量の粉塵を処理するために大容量のダストコレクターを本船上及び揚荷地へ設ける必要があり、関連装置が大がかりなものとなる。

空気輸送装置は他の荷役装置と比べて大きな動力が必要となる。パイプ内面の摩耗が大きい。

乾灰状態で埋立地に排出すると、粉塵が飛散して大気を汚染する恐れがあり、作業環境が悪化するので、排出に当っては、その時点で加湿して飛散を防止するか、海水中に圧入する等の手段を講じる必要がある。

以上の様な問題点を考慮すると、乾式灰輸送はあくまで有効利用灰の場合の輸送手段と考えるべきであり、埋立を対象とする場合には、輸送の前段階で加湿してクリンカアッシュと一緒に輸送する湿灰式灰輸送の方が望ましいと思われる。

以上述べた各輸送形態を総合的に判断すると、灰の大量海上輸送形態としては、

- ① 灰の取り扱いが容易である
- ② 荷役能力が比較的大きい
- ③ 荷役動力の消費量が比較的小さい
- ④ 環境問題に対する対策が講じやすい

等の利点を有する湿灰状態でのバルク輸送方式のケース1又はケース2が適していると思われる。

この外に、環境汚染問題が起りにくい、荷役が容易である、等の利点を有するスラリー方式（中でもケース5）も捨てがたい輸送形態であると思われる。

3.5 技術上の問題点

前項3.4において灰の大量海上輸送と問題点について述べたが、その問題点としては、灰の積込み、揚荷作業中に発生する海上への脱落や飛散等の環境汚染に関する問題にしぼられる。

その環境汚染問題に対する対応策は、前項3.4で述べた様に、既存の技術の応用で十分対処できるものであると考える。

以上より、灰の大量海上輸送における技術上の基本的問題は特になくと思われる。

今後の検討事項として強いてあげるとすれば次の様な事項が考えられる。

- ① セルフアンローディング船におけるホッパー内での灰の流動性の確認と最適ホッパー形状の検討。
- ② スラリー方式における湿灰の再スラリー化とホールド形状の検討及び摩耗と材質、板厚との関係。

3.6 あとがき

以上、石炭灰の大量海上輸送における問題点について述べてきたが、その問題点に対する対応策については、技術上特に今後の検討を要する様な基本的事項は見当らず、既存の技術の応用で十分対処できるものであると考える。

今後の課題としては、前項3.4で述べた海上輸送形態について各ケース毎に、積込み岸壁や揚荷地である埋立地の荷役設備等の関連設備を含めた総合的な輸送システムのコストを算出して比較検討を行い、技術面及び環境汚染問題も考慮して、最適な輸送形態を見出す必要がある。

[引用文献]

1. 石炭輸送システムに係る調査研究
（56年度報告書）
日本造船研究協会
第191研究部会
2. 石炭火力発電所灰処理センター集中灰捨場立地予備
調査報告書
日本立地センター

表 3.2.1 微粉炭燃焼ボイラーの灰分布

| アッシュホッパ | 灰分布(%) | 灰の種類 |
|-----------|--------|----------|
| クリンカホッパ | 15～20 | クリンカアッシュ |
| エコノマイザホッパ | 2～5 | シンダーアッシュ |
| エヤヒータホッパ | 1～5 | シンダーアッシュ |
| 電気集じん器ホッパ | 82～70 | フライアッシュ |

表 3.2.3 石炭灰の成分

| 成分 | 炭種 | |
|---|-------|-------|
| | 国内炭 | 外国炭 |
| シリカ SiO ₂ (%) | 50～55 | 40～75 |
| アルミニウム Al ₂ O ₃ (%) | 25～30 | 15～35 |
| 鉄 Fe ₂ O ₃ (%) | 4～7 | 2～20 |
| カルシウム CaO (%) | 4～7 | 1～10 |
| マグネシウム MgO (%) | 1～2 | 1～3 |
| カリウム K ₂ O (%) | 0～1 | 1～4 |
| ナトリウム Na ₂ O (%) | 1～2 | 1～2 |

出所：清水，わが国の石炭火力発電所における灰処理の現状，公害と対策 Vol.16 No.1

表 3.2.2 燃焼方式と排出灰の発生割合

| ボイラー形式 | クリンカアッシュ % | フライアッシュ % |
|-------------|------------|-----------|
| 微粉炭燃焼 | 15～20 | 85～80 |
| 大型ストーカー燃焼 | 75～85 | 25～15 |
| サイクロンファーン燃焼 | 85～90 | 15～10 |
| スラグタップ燃焼 | 45～50 | 55～50 |
| 流動床燃焼 | 0 | 100 |

表 3.2.4 石炭灰溶出試験結果表

(単位：mg/l)

| 項目 | 有害な産業廃棄物にかかわる判定基準 (昭和48年総理府令第5号) | 磯子火力発電所 | 高砂火力発電所 | 竹原火力発電所 | 若松火力発電所 |
|--------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| 総水銀 | 0.005 | N.D | N.D | N.D | N.D |
| アルキル水銀 | 検出されないこと | N.D | N.D | N.D | N.D |
| カドミウム | 0.3 | N.D | N.D | N.D | N.D |
| 鉛 | 3.0 | 0.71 | 0.3 | 0.01 | N.D |
| 有機リン | 1.0 | N.D | N.D | N.D | N.D |
| 六価クロム | 1.5 | 0.08 | 0.19 | 0.20 | N.D |
| ヒ素 | 1.5 | N.D | N.D | N.D | 0.014 |
| シアン | 1.0 | N.D | N.D | N.D | N.D |
| 分析者 | | 神奈川県薬剤師会 公害衛生試験所 | 大平化学工業(株) 高砂技術センター | 中国環境分析 センター | 九州工業技術協会 |
| 分析年月日 | | 昭和52年 4月21日 | 昭和52年 8月22日 | 昭和52年 9月30日 | 昭和52年 9月29日 |

(注) N.D (検出限界以下)を示す。

[出所：電源開発(株)，石炭灰の利用について]

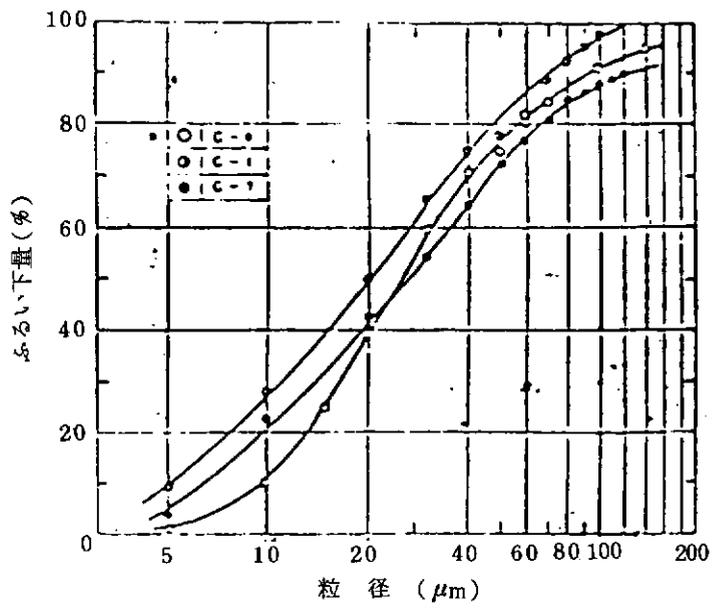


図3.2.1 フライアッシュの粒度分布
(微粉炭燃焼の場合)

表 3.3.1 排出海域及び排出方法に関する基準
(海洋汚染防止法施行令より)

| | |
|------------|---|
| 廃棄物 | 燃えがら、ばいじん |
| 排出海域に関する基準 | B 海域 |
| 排出方法に関する基準 | 集中型排出方法（イからハまでに掲げる要件に適合する排出方法をいう。）により排出すること。 イ. 比重 1.2 以上の状態にして排出すること。 ロ. 粉末のまま排出しないこと。 ハ. 当該船舶の航行中に排出しないこと。 |

この表において「B 海域」とは、次に掲げる海域をいう。

イ 北緯四十二度東経百四十七度の点、北緯四十一度四十分東経百四十七度の点、北緯四十五度五十分東経百四十五度三十分の点、北緯三十八度東経百四十五度三十分の点、北緯三十八度東経百四十五度の点、北緯四十一度東経百四十五度の点及び北緯四十二度東経百四十七度の点を順次結んだ線によって囲まれた海域

ロ 北緯三十四度五十分東経百四十四度の点、北緯三十四度二十分東経百四十四度の点、北緯三十二度東経百四十一度の点、北緯三十二度三十分東経百四十一度の点及び北緯三十四度五十分東経百四十四度の点を順次結んだ線によって囲まれた海域

ハ 北緯三十度三十分東経百二十九度の点、北緯三十度五十分東経百二十九度の点、北緯三十度五十分東経百三十五度の点、北緯二十九度五十分東経百三十二度の点、北緯二十九度三十分東経百三十二度の点、北緯三十一度十五分東経百三十五度の点及び北緯三十度三十分東経百三十九度の点を順次結んだ線によって囲まれた海域

ニ 北緯二十四度の線、東経百二十八度二十分の線、北緯二十四度の線及び東経百二十八度の線によって囲まれた海域

ホ 北緯三十六度二十四分東経百三十一度三十五分の点、北緯三十六度八分東経百三十一度二十一分の点、北緯三十六度十四分東経百三十一度一分の点、北緯三十六度三十分東経百三十一度二十五分の点及び北緯三十六度二十四分東経百三十一度二十五分の点を順次結んだ線によって囲まれた海域

ヘ 北緯四十三度三十分東経百三十八度三十五分の点、北緯四十度二十分東経百三十七度十五分の点、北緯四十度二十分東経百三十六度五十三分の点、北緯四十度二十六分東経百三十六度四十七分の点、北緯四十三度三十分東経百三十八度五十分の点及び北緯四十三度三十分東経百三十八度三十五分の点を順次結んだ線によって囲まれた海域

表 3.3.2 海洋投入処分に係る判定基準
(金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令より)

| 第一欄 | 第二欄 |
|----------------|----------------------------|
| 一 アルキル水銀化合物 | アルキル水銀化合物につき検出されないこと。 |
| 二 水銀又はその化合物 | 検液一リットルにつき水銀〇・〇〇五ミリグラム以下 |
| 三 カドミウム又はその化合物 | 検液一リットルにつきカドミウム〇・一ミリグラム以下 |
| 四 鉛又はその化合物 | 検液一リットルにつき鉛一ミリグラム以下 |
| 五 有機りん化合物 | 検液一リットルにつき有機りん化合物一ミリグラム以下 |
| 六 六価クロム化合物 | 検液一リットルにつき六価クロム〇・五ミリグラム以下 |
| 七 ひ素又はその化合物 | 検液一リットルにつきひ素〇・五ミリグラム以下 |
| 八 シアン化合物 | 検液一リットルにつきシアン一ミリグラム以下 |
| 九 PCB | 検液一リットルにつき PCB 〇・〇三ミリグラム以下 |
| 十 銅又はその化合物 | 検液一リットルにつき銅三ミリグラム以下 |
| 十一 亜鉛又はその化合物 | 検液一リットルにつき亜鉛五ミリグラム以下 |
| 十二 ふっ化物 | 検液一リットルにつきふっ素十五ミリグラム以下 |

表 3.3.3 埋立て処分に係る判定基準

(金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令より)

| 八 | 七 | 六 | 五 | 四 | 三 | 二 | 一 | 有害物質の種類 | 許容限度 |
|-----|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|---|
| PCB | シアン化合物 | 化合物 ひ素又はその化合物 | 六価クロム化合物 | 有機りん化合物 | 鉛又はその化合物 | カドミウム又はその化合物 | 水銀又はその化合物 | アルキル水銀化合物 | アルキル水銀化合物につき検出されないこと。 検液一リットルにつき水銀〇・〇〇三ミリグラム以下 |
| | 検液一リットルにつきシアン一ミリグラム以下 | 検液一リットルにつきひ素一・五ミリグラム以下 | 検液一リットルにつき六価クロム一・五ミリグラム以下 | 検液一リットルにつき有機りん化合物一ミリグラム以下 | 検液一リットルにつき鉛三ミリグラム以下 | 検液一リットルにつきカドミウム〇・三ミリグラム以下 | 検液一リットルにつき水銀〇・〇〇三ミリグラム以下 | | |
| | 検液一リットルにつきPCB〇・〇〇三ミリグラム以下 | | | | | | | | |

表 3.3.4 排出される水に含まれる有害物質の許容値

(排出基準を定める総理府令より)

| 有害物質の種類 | 許容限度 |
|---|-----------------------|
| カドミウム及びその化合物 | 一リットルにつきカドミウム〇・一ミリグラム |
| シアン化合物 | 一リットルにつきシアン一ミリグラム |
| 有機燐化合物(パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及びEPNに限る。) | 一リットルにつき一ミリグラム |
| 鉛及びその化合物 | 一リットルにつき鉛一ミリグラム |
| 六価クロム化合物 | 一リットルにつき六価クロム〇・五ミリグラム |
| 砒素及びその化合物 | 一リットルにつき砒素〇・五ミリグラム |
| 水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物 | 一リットルにつき水銀〇・〇〇五ミリグラム |
| アルキル水銀化合物 | 検出されないこと。 |
| PCB | 一リットルにつき〇・〇〇三ミリグラム |

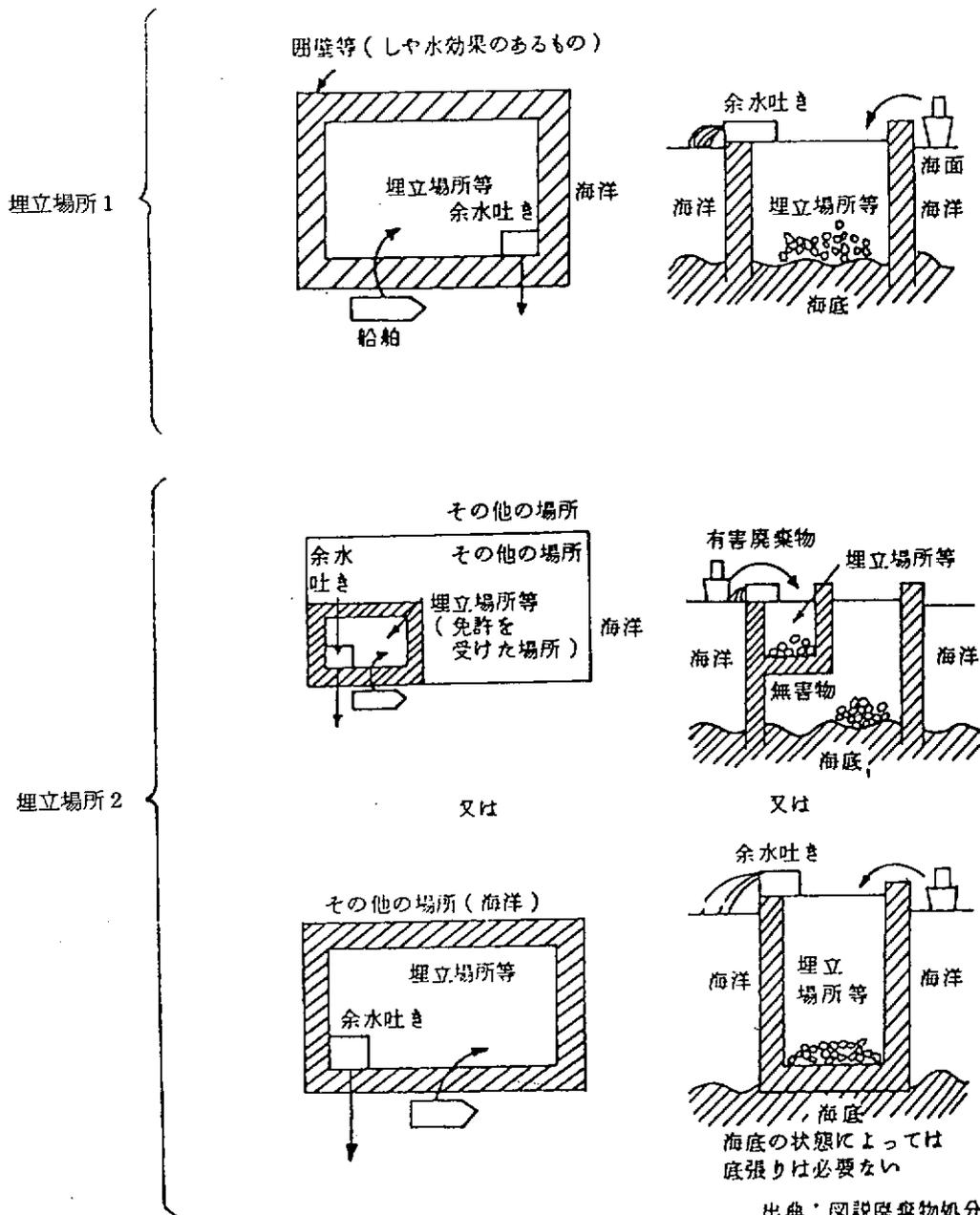
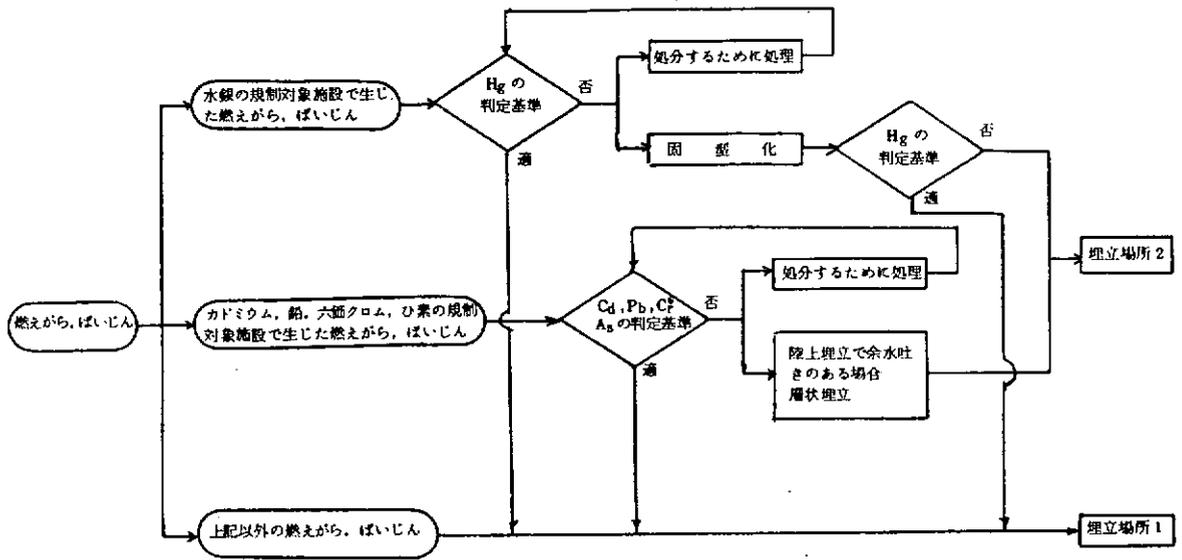
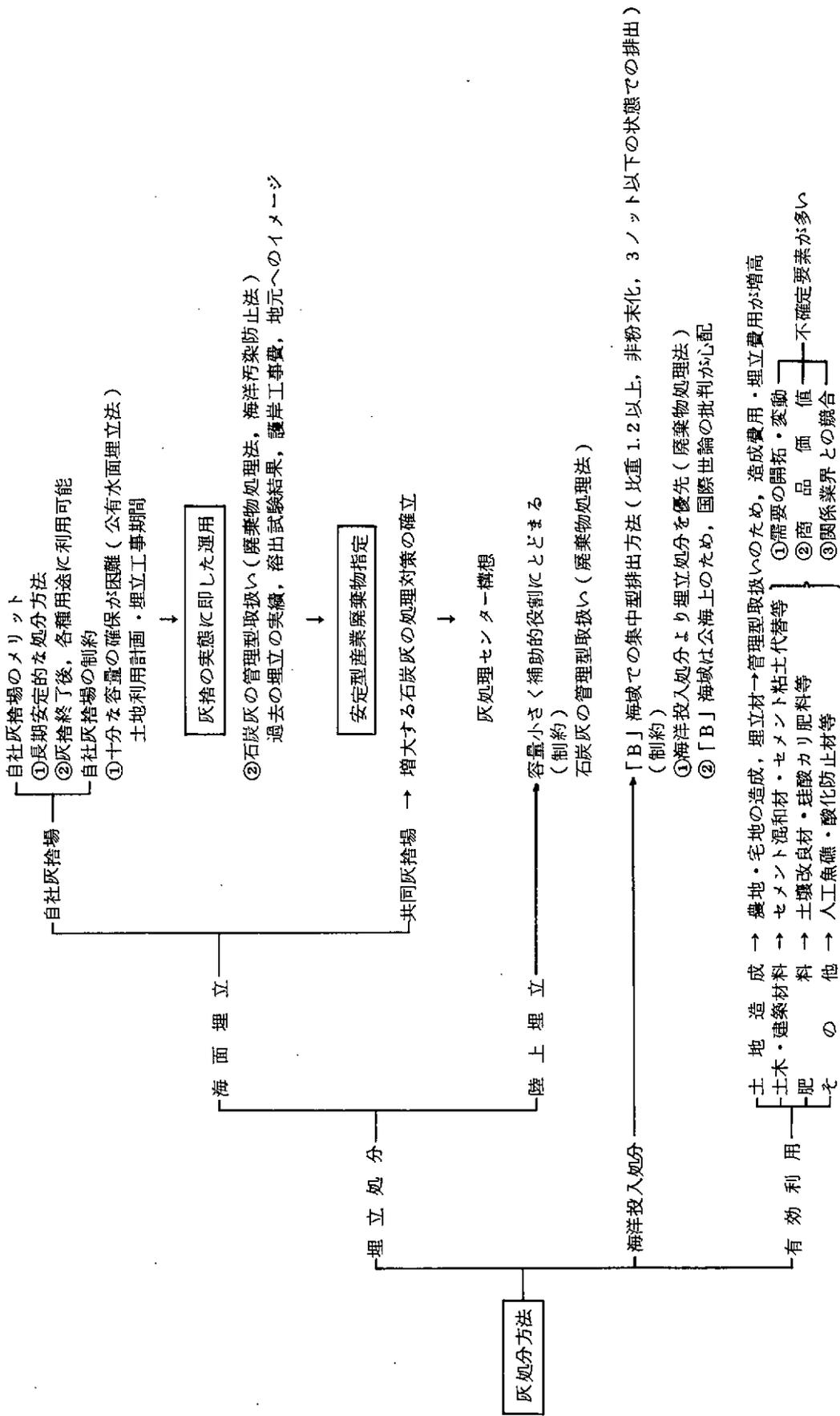


図 3.3.1 「燃えがら」および「ばいじん」の船舶からの埋立て処分基準

表 3.4.1 灰の処分と問題点



(出所：猪口 石炭利用研究セミナー612)

- ① エコノマイザホップバ
 ② 高温電気集じん機ホップバ
 ③ 灰処理ブロワ
 ④ NUVAファイナダ (圧力輸送機)
 ⑤ 排気ファン
 ⑥ 分級器
 ⑦ 細粉捕集サイクロン
 ⑧ 分級ファン
 ⑨ 原粉サイロ
 ⑩ 粗粉サイロ
 ⑪ 細粉サイロ
 ⑫ ダストレスアローローダ
 ⑬ ダンプトラック
 ⑭ 灰輸送ブロワ
 ⑮ バグファイルダ
 ⑯ 排気ファン
 ⑰ ストックサイロ
 ⑱ プレンディングサイロ
 ⑲ サイクロンセパレータ
 ⑳ バグファイルダ
 ㉑ エヤースライダ
 ㉒ パケットエレベータ
 ㉓ 船積エヤースライダ
 ㉔ テレスコピックシュート
 ㉕ フライアッシュ運搬船
 ㉖ サイロリニューダイヤ
 ㉗ プレンディングユニット
 ㉘ クリンカホップバ
 ㉙ クリンカクラッシャ
 ㉚ ジェットバルジョンポンプ
 ㉛ 脱水槽
 ㉜ 灰沈殿池
 ㉝ 灰処理ポンプ
 ㉞ クリンカホップバ冷却ポンプ
 ㉟ スラリーポンプ
 ㊱ 灰置場
 ㊲ リクレーマ
 ㊳ ベルトコンベヤ
 ㊴ シップローダ
 ㊵ テレスコピックシュート
 ㊶ 灰運搬船
 (主として埋立用)

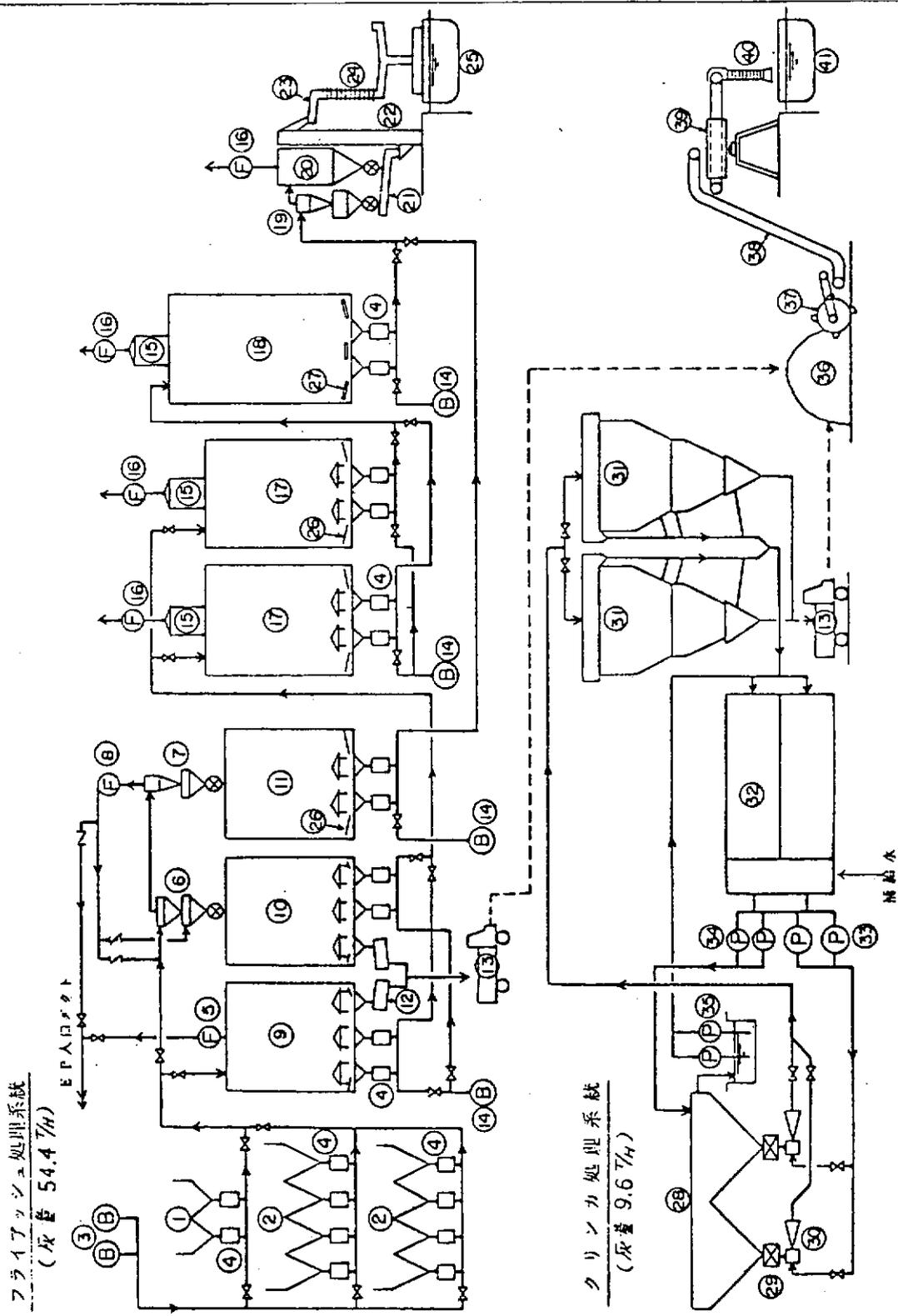
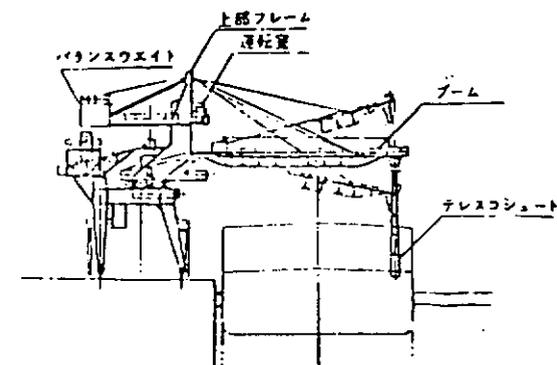
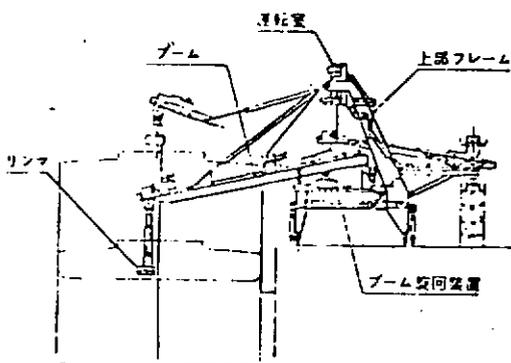


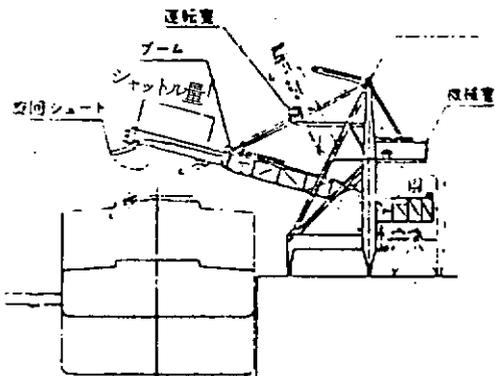
図 3.4.1 発電所における灰処理形態



走行起伏旋回式シップロータ(上部フレーム旋回式)



走行起伏旋回式シップロータ(ブーム旋回式)

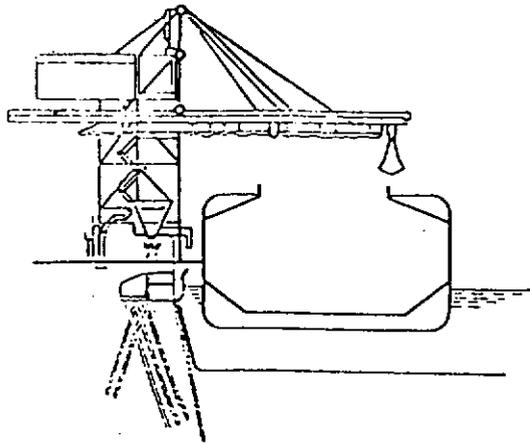


走行起伏シャトル式シップロータ

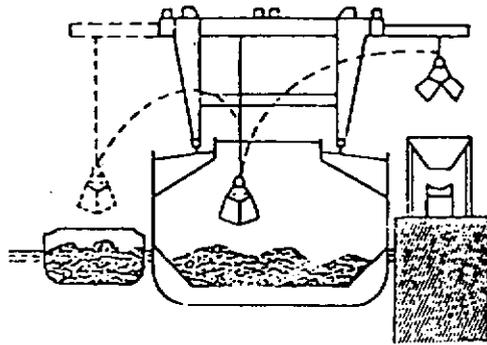
図 3.4.2 シップロータ概略図

| 形 式 | | 概 略 図 |
|------------------|----------------------------------|----------------------|
| グラブ バケツ ト式 | 橋形 クレーン 式 | グラブトロリ式 |
| | ローブ トロリ式 | ローブトロリ式 |
| | 引込 クレーン 式 (ダブル リンク式) | 引込クレーン式 (ダブルリンク式) |
| 連 続 式 | バケツ エレベータ 式 | バケツエレベータ式 |
| | バケツ ホイール 式 | バケツホイール式 |

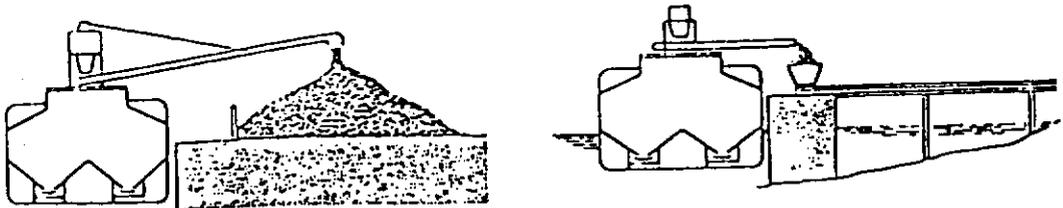
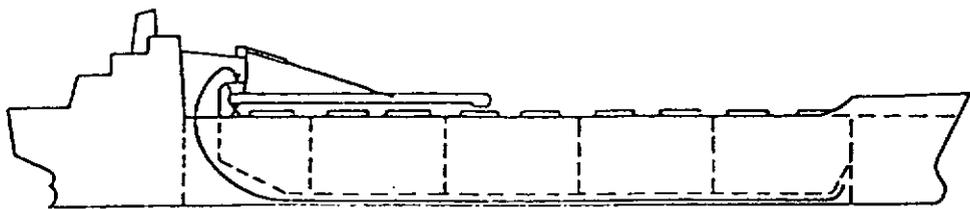
図 3.4.3 シッブアンローダー概略図



ギアレス・バルク・キャリア



ギアド・バルク・キャリア



セルフアンローディング・バルク・キャリア

図 3.4.4 ギアレス・バルクキャリア
ギアド・バルクキャリア
セルフアンローディング・バルク・キャリア概略図

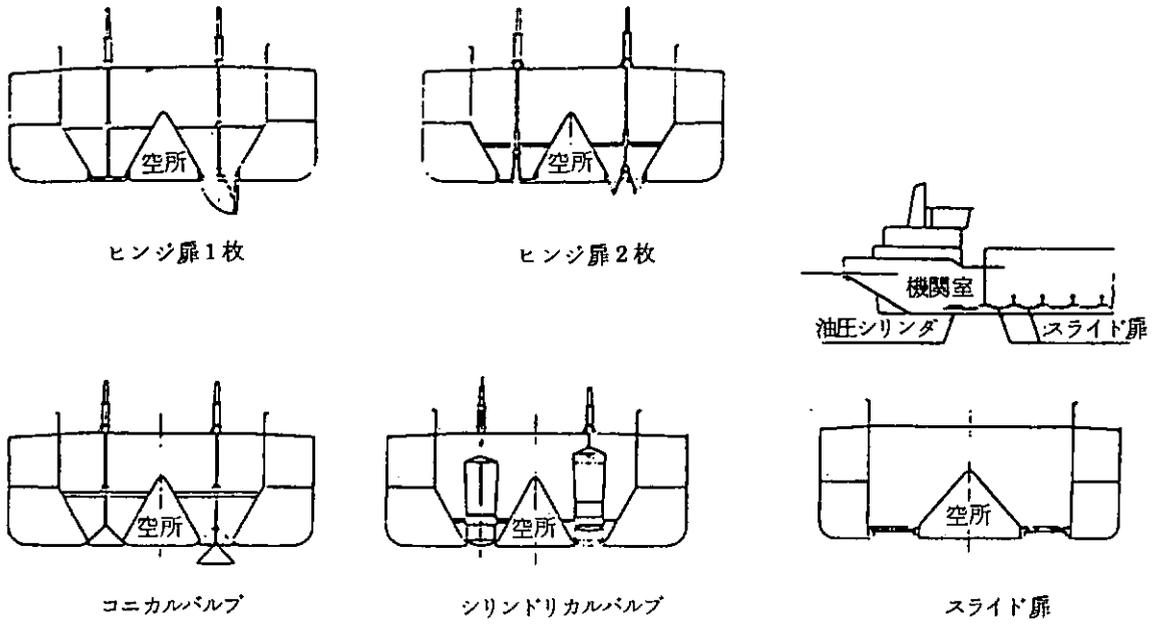
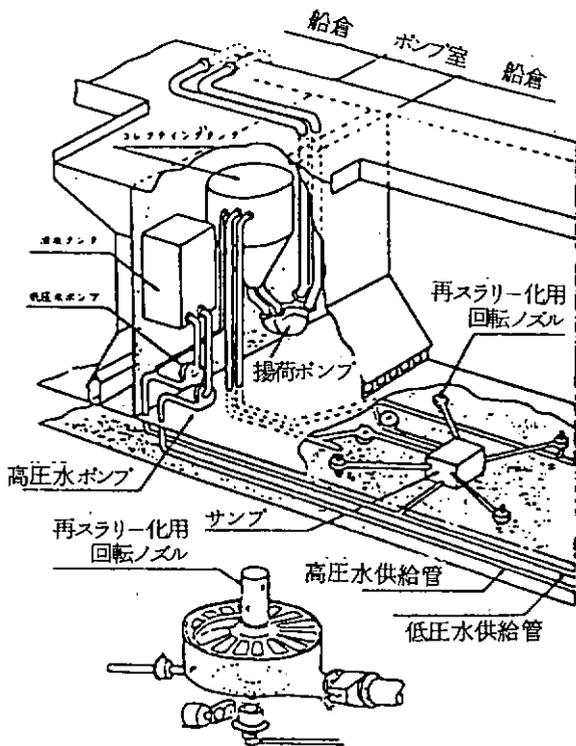
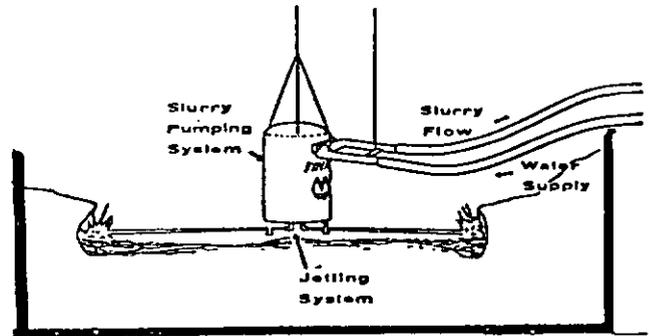


図 3.4.5 船底開閉式バルクキャリア船底扉の型式



固定式スラリー揚荷システム



ポータブル式スラリー揚荷システム

図 3.4.6 スラリー揚荷システム概念図

4. 一般炭輸送における船倉腐食問題の検討

船舶の積載貨物による倉内腐食の問題は大変古い問題であると共に、また新しい課題でもある。これは船舶全体（特に船体外板や海洋構造物の防食対策）の腐食の問題と同様であって、単に船体構造部材に接する貨物や海水の特性で定まるものではなく、それらが接触するときの周辺の物理化学的条件や時間的経緯等が関係する。すなわち、腐食を問題とする時に常にその環境要因が重視されるのはこの故である。

石炭輸送における船倉の腐食問題もその例外ではなく、約半世紀前までは船舶燃料の主体は石炭であり、コールバンカーの corrosion margin は5mmとされていた、との話もある。現在の corrosion margin の値から見てもこれは相当高い値と思われるが、現在の石炭の炭質との差は勿論、船の使用限界年齢に対する考え方が全く異なっていることを考えれば、あまり参考になる数値とは思われない。まして、一般炭を対象とし、バンカーと異なり、満載と空倉とが一航海ごとに生じる環境条件や、エポキシ系を主とする塗装技術の進歩を考えれば、改めて船倉腐食の問題を検討する必要がある。

以上のような観点から、一般炭輸送に関連すると思われる船倉腐食について実態調査の資料を整理すると共に、船倉腐食の対策について検討を行った。

4.1 船倉腐食の実態調査

一般炭輸送のバルクキャリアについて、腐食の実態に関する調査例は極めて少ない。場合によっては著しい腐食が生じた例もあるが、一般的な実情を把握する目的から、船舶全般の腐食実態調査¹⁾の中より、関連すると思われる資料を収集整理した。

図 4.1 は、船舶全体の損傷件数を腐食、一般的原因（強度の不足、あるいは原因不明等）、振動及びその他の原因に分類したときの船齢別累積件数であり、図 4.2 は腐食衰耗による損傷件数を船体部位別に分類したものである。調査した対象船舶数と船齢の関係が偏っているおそれがあり、また 1 件と数えた損傷の程度が大小広範囲にわたるため誤解を避ける意味で、縦軸は数値化せず示してある。しかしこれらの図から、腐食は船齢 5～6 年頃から発生し始め、船齢 15 年頃からは損傷原因の過半を占めることが明らかであり、また貨物倉の腐食は全体の 55% を占めるようになる。

船の種類別に、船齢 15 年間の累積腐食損傷件数を示したものが図 4.3 であり、15 年以下の平均腐食損傷件数を示したものが図 4.4 である。少なくともバルクキャリアと鉱石専用船は、腐食が著しいといえる。

バルクキャリアとオアキャリアに共通する腐食損傷の特色として、貨物倉内（特に骨材部材）が著しく、これは、鉱石や石炭の貨物による機械的な荷重で倉内塗装が損傷を受けやすいためと考えられる。また、上甲板上の腐食も大きく、やはり鉱石や石炭が荷役中に散らばり、海水と混じて腐食を促進するためと思われる。

4.2 船倉腐食の要因

腐食については、前述のとおり環境要因が大きく作用する。

石炭、特に一般炭の輸送船々倉に関しては、石炭中に含まれる硫黄分が大きな腐食要因になると推定される。大気中であっても硫黄酸化物の存在が大きな腐食促進要因となるが、これはバルク、粉体貨物であっても同様である。

硫黄を含むバルク貨物として、硫化精鉱（非鉄金属鉱石）があり、IMO のばら積貨物小委員会及び危険物小委員会²⁾でその腐食性が指摘されたことがある。これに関する研究結果²⁾は表 4.1、4.2 のとおりであって、硫化鉱石中の鋼材（SS41）の腐食量は類似環境の砂中のそれより著しく大きく、この差は硫黄分によるためと推定される。ま

た周囲温度が高く、海水が混入した場合には、特に腐食が進むことが認められる。

鋼材の腐食電流と電位を、純水中、海水中（3%食塩水中）及び過酸化水素添加の各条件の下で計測し、腐食量（計算値）を求めたもの³⁾を表4.3に示すが、海水中では純水の約30倍の腐食速度となり、さらにH₂O₂を混入すると約75倍に促進される。海水の影響は明らかに塩素イオンの作用であり、また、H₂O₂は酸素を放出して酸化作用を促すためである。

したがって、硫黄分と海水とが共存すると著しく腐食を早めるが、さらに酸素の影響も無視できない。鋼材の浸漬試験において海水中に繰返し浸漬を行い、水中時間と空気中時間の比を変えると腐食速度は変化し、両者の比がほぼ等しい時が最も腐食速度が大きい（図4.5）⁴⁾。これは、鋼材表面が濡れた状態で大気中の酸素の影響を受けるためであり、海洋構造物の飛沫帯が最も腐食すること（図4.6）⁵⁾と同じ理由による。また、温度の影響も大きく、言う迄もなく高温な程腐食は大きい（図4.7）。これらの実験はバラストタンクの腐食を想定し、鋼材自体にも繰返し応力を与えているため、かなり厳しい条件とはいえ実態に近いものであり、年間1～2.5mmの腐食量が観測されており、いわば異常腐食の状態を再現したものである。

硫黄を含む石炭バルクの船倉においても、石炭が積載されるのは1回おきの航海であることが予想されるため、バラストタンクと同様の条件となる。従って、石炭と大気とに交互接触させるかH₂O₂の混入を行い、応力の附加、温度調節等の下で実験を実施すれば、実態に近い異常腐食を再現させることも可能と考えられる。

4.3 船倉腐食対策の検討

石炭船の船倉腐食対策は、前記の実態調査と腐食要因とから定性的な対策の方針が導き出される。

すなわち、バルク貨物による損傷に充分耐えるような強固な塗装を施すこと、海水の混入を極力避けること、特に高温になりやすい部位の防食に留意すること、等である。空倉時は石炭の粉末を残さないようよく清掃し乾燥させることも重要であろう。将来の気体管路輸送においては、倉内にイナートガスを充填することも予想されるが、これは防食上からも好ましい。

腐食対策上の中心は塗装であるが、塗膜の劣化度は鋼材の腐食量と密接な関係があり、また膜厚の効果も大きい。図4.8、4.9は、タールエポキシ塗装と裸の鋼材の同条件下で海岸曝露試験した結果⁶⁾である。腐食量が500mg/cdを超えると急速に塗膜が劣化すると認められるが、この辺が一般の場合の船齢5～6年に相当する処かもしれない。従って、塗膜状態の点検を充分に行い、適切な補修を行うことが重要であろう。

さらに具体的な腐食対策は、前述のような腐食促進試験方法の開発、塗装材料の研究、実態調査の実施等により進めるべきであろう。

[参考文献]

- 1) 大八木正広他、船体構造部材の腐食・衰耗による損傷調査 NK研究所 昭和57年度研究発表会前刷集(57.11)
- 2) 精鉱の海上輸送における安全対策に関する総合研究成果報告書 科学技術庁(54.3)
- 3) 佐野隆一、船舶用防食塗料、色材54-10(1981)
- 4) 翁長一彦他、繰返し浸漬による鋼材の腐食について 船研報告13-2(51.3)
- 5) 渡辺常安、耐候性鋼・耐海水性鋼とその適用の現状、造学誌627(56.9)
- 6) 久野忠一他、海洋環境における鋼材の各種防食塗装システムの性能、川崎製鉄技報13-2(56.)

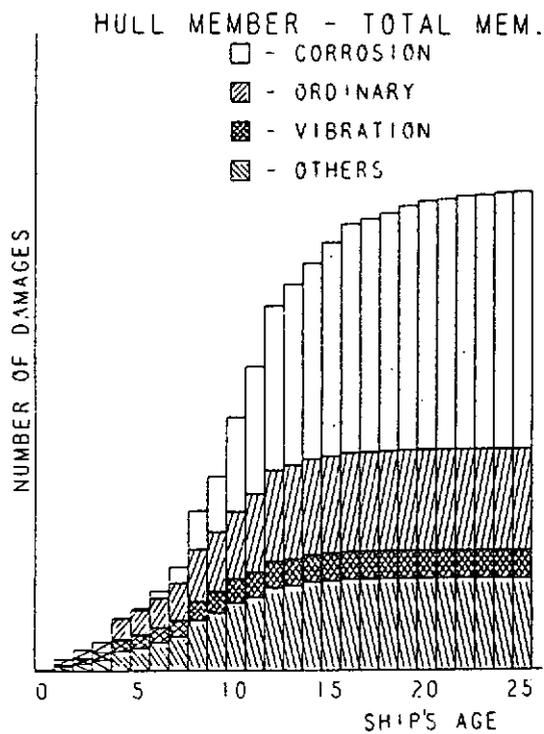


図 4.1 損傷発生件数

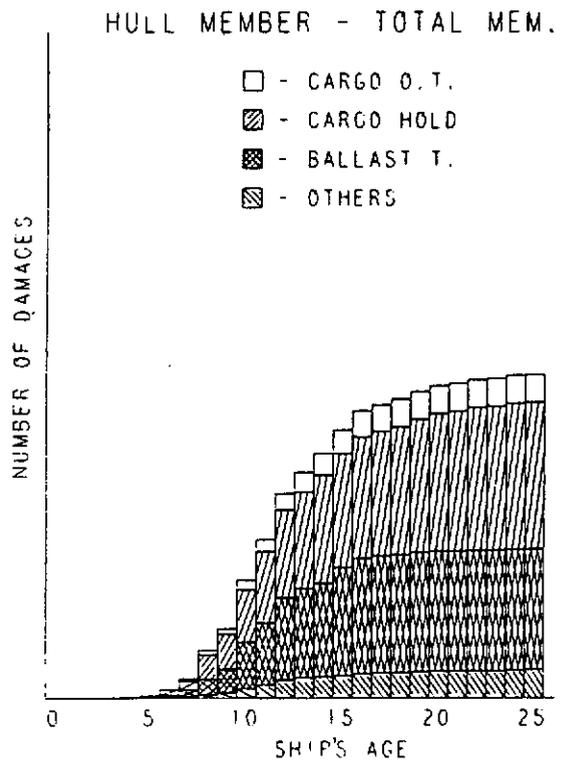


図 4.2 腐食発生件数

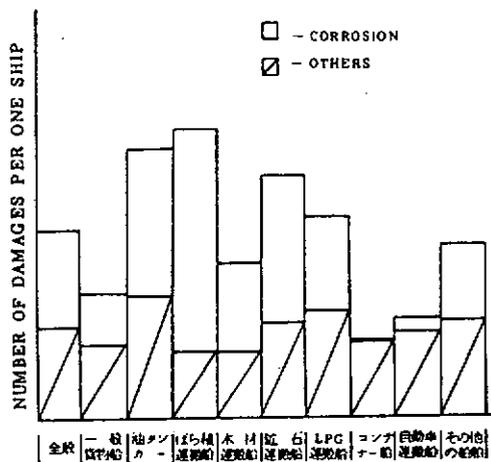


図 4.3 各船種別船舶の損傷のある船一隻当りの15年間の累積損傷数

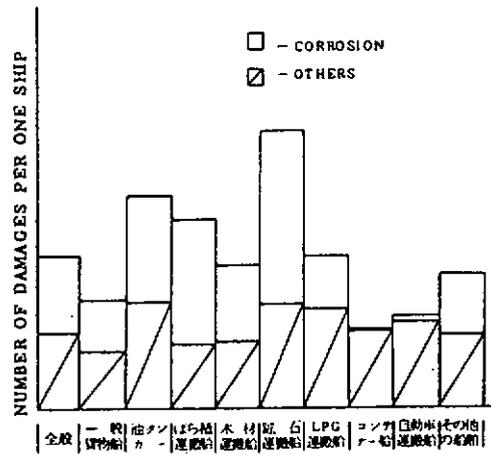


図 4.4 各船種別船舶の船令15年以下の損傷のある船の一隻当りの平均損傷数

表4.1 Results of corrosion test

| Concentrate | Temp. °C | Depth cm | Initial Moisture % | Corrosion Rate mm/year | Test Period day |
|-----------------------------|----------|----------|--------------------|------------------------|-----------------|
| Musoshi Cu (アフリカ) | 40 | 8 | 6.3 | 1.1 | 15~30 |
| | " | " | 12.6 | 1.25 | " |
| | " | " | 12.0 | 1.56 | " |
| | " | 10 | 7.3 | 1.64 | 18 |
| | " | 5 | " | 1.07 | " |
| Kuga (国産) Fe | 40 | 10 | 10.6 | 1.1 | 18 |
| | " | 5 | " | 1.0 | " |
| Bougainville Cu (ニューギニア) | 40 | 10 | 6.8 | 1.08 | 18 |
| | " | 5 | " | 1.06 | " |
| Gibraltar Cu (北米) | 40 | 10 | 7.6 | 1.6 | 18 |
| | " | 5 | " | 1.1 | " |
| Huanzala Zn (南米) | 40 | 10 | 7.9 | 0.4 | 18 |
| | " | 5 | " | 0.3 | " |
| Sand | 40 | 10 | 6.8 | 0.71 | 19 |
| | " | 5 | " | 0.30 | " |

表4.2 Results of corrosion test

| Concentrate | Temp. °C | Depth cm | Initial Moisture % | Corrosion Rate mm/year | Test Period day |
|-------------|----------|----------|--------------------|------------------------|-----------------|
| Musoshi Cu | 40 | 10 | — | 1.7 | 11 |
| | 37 | 20 | — | 1.55 | " |
| | 36 | 30 | — | 1.05 | " |
| Kuga Fe | 34 | 10 | — | 2.3 | 11 |
| | 32 | 20 | — | 1.5 | " |
| | 29.5 | 30 | — | 1.0 | " |

表4.3 NaClおよびH₂O₂添加水溶液中での鋼板腐食

| 溶 液 | 自然電位 | 腐食電流 | 腐食速度(計算値) |
|--|--------|----------------------|-----------|
| ① dist H ₂ O | -550mV | 8 μA/cm ² | 148mg/yr |
| ② 3%NaCl | -540 | 232 " | 4670 " |
| ③ 3%H ₂ O ₂ | -65 | 32 " | 593 " |
| ④ 3%NaCl・3%H ₂ O ₂ | -150 | 600 " | 11120 " |

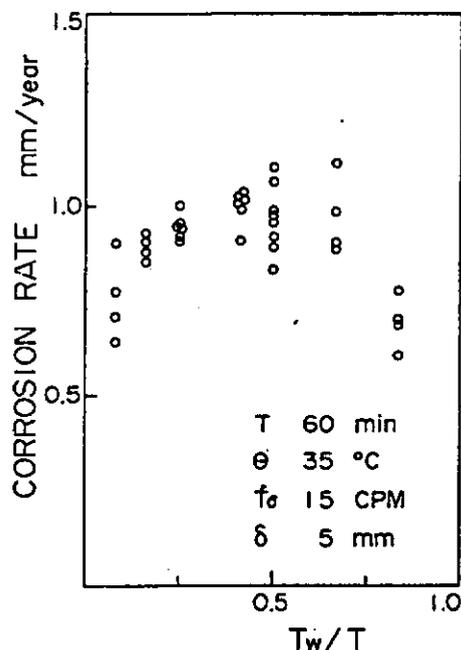


図4.5 Effect of Immersion Ratio on Corrosion

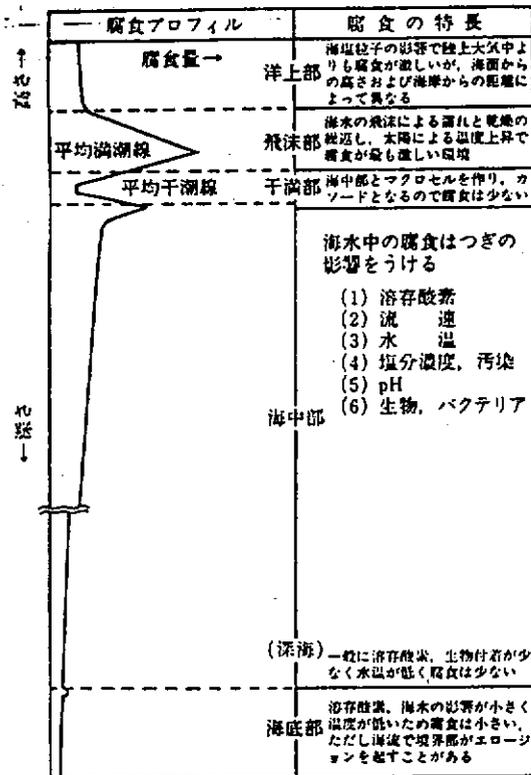


図 4.6 海洋構造物の腐食形態と特徴

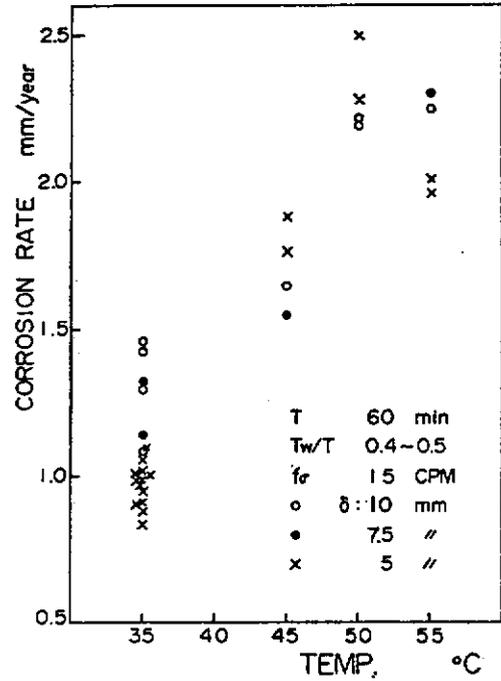


図 4.7 Effect of Temperature on Corrosion

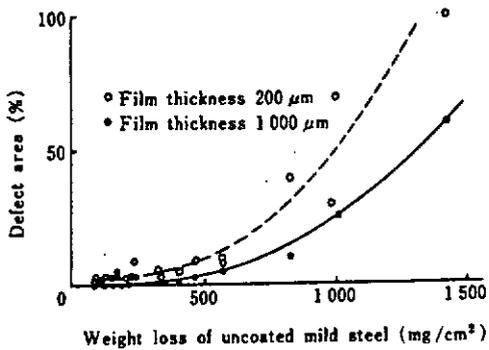


図 4.8 Relation between defect area of coal-tar epoxy applied on shot blasted mild steel and weight loss of uncoated mild steel

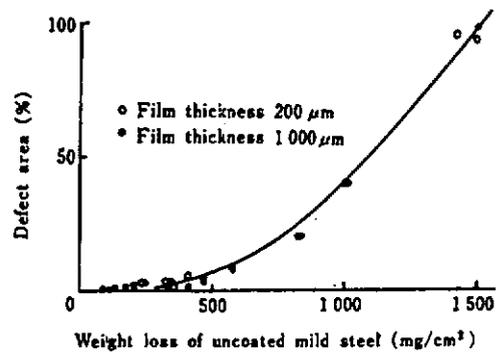


図 4.9 Relation between defect area of coal-tar epoxy applied on hand tool cleaned mild steel and weight loss of uncoated mild steel

あ と が き

今回の石炭輸送システムの調査研究の結果、石炭の新輸送技術の可能性及びそれらがコールチェーンの経済性に及ぼす影響について以下の結論を得ることができた。

まず、石炭の新輸送技術については、主として海上輸送技術に注目し、大型の浅吃水船及び水スラリー船について検討を試みた結果、浅吃水船は荷役施設からの制約が最も大きく、これがより開発されればさらに大型の浅吃水船も技術的に可能であることが所見された。現状でも幅50mまでは許容され、試設計により技術的に強度等は特に問題の無いことが確認された。しかしながら、このように大型の浅吃水船は、操船性、燃費等については未だ未知な部分も有り、今後の検討が待たれる。一方、水スラリー船については、石炭スラリー輸送という全く未知の技術領域であるため、かなりの仮定あるいは想定のもとに検討を進めざるを得なかった。中でも、スラリーの物性については現在も研究段階に有り、スラリー船の設計もこれにより大きく左右されることが予想されるが、今回の試設計においては、スラリー輸送における船舶の受け持つ役割を大きめに想定（実際には、スラリーへの添加剤等により、船舶にとってはスラリーの物性はよりイージーなものになる可能性も大きい）した結果、スラリーの物性が船舶にとってかなりのシビア・サイドでも、スラリー船が技術的に可能であることが結論づけられた。

一方、それらの新輸送技術がコールチェーンのトータルとしての経済性にどのような影響をもたらすかについて、ケース・スタディを含めた検討を行った結果、大型の浅吃水船を利用した輸送が最も経済的であることが判明した。この経済評価は、165型の浅吃水船、造粒炭水スラリー船、高濃度水スラリー船を新輸送手段として用い、技術的検討において求められた試設計から船価等を算出し、現状のインフラストラクチャー（鉄道等は既存）を前提とし、それにスラリー等のためのパイプライン建設費等を加算して、山元から日本の港湾荷揚げまでのトータルコストを比較したものである。浅吃水船の場合は、新たな港湾改造費用、パイプライン建設費用等が不要であり、しかも一回に大量の石炭が輸送できるメリットが重なって、かなり経済的に有利であるとの結論になった。造粒炭及び高濃度の水スラリー輸送の評価においては、パイプライン建設費、スラリー化及び脱水化のプラントコスト、さらには、港湾改造費用等、現状では正確に把握しえない部分が多く、海外の文献等を参考としての経済評価にとどまったが、在来のシステムと比較して経済的に多少問題のあることがわかった。しかしながら、本研究の過程で明らかになったスラリー輸送の定性的なメリット、即ち、陸上輸送における低公害性、石炭灰の処理が不要である、等が今後大きく影響してくれば、多少経済的に不利であっても、実現の可能性は充分あるものと考えられる。従って、スラリー輸送については、今後とも長期的に検討を進めていく必要があるものと思われる。また、輸送技術面では、スラリーの物性が大きな鍵をにぎっており、それが決まることにより、様々な技術的対応は比較的容易に可能であると思われ、現状ではスラリーの物性決定待ちの感が強い。

その他、石炭灰の大量海上輸送の問題、バルクキャリアの一般炭による船倉腐食の問題等について、現状の把握や問題点の抽出が行われ、中、長期的観点にたつて、今後検討を進めていく必要が有ることが指摘された。

現在、石油価格の低化等、エネルギー情勢は変化に富み、極めて見通しの立てにくい状況にあり、石炭もそれらの流れの中で、将来の需要見通し等が頻りに修正されざるを得ない状態にあるが、時期の早晩は多少あっても、必ず重要なエネルギー資源として石油をサポートする時代の到来することは、多くの意見の一致を見るところである。即ち、年間数千万トンの石炭を海外から輸入する時代が必ず訪れるものと考えられるのである。そのために、今から大量輸送に耐え得る新輸送技術を検討し、問題点等を正確に認識し、一つ一つ着実に解決していくことが是非とも必要である。

本調査が、そのような過程の1ステップとして活用されれば幸いである。