

石炭火力発電所用揚運貯炭システム

Coal Handling and Storage System for Coal-fired Power Station

近年、石油危機により我が国では10年余り中断していた石炭火力発電所の建設計画が再燃してきた。一方、石炭火力発電が全発電量の50～70%を占める欧米の実情を調査した結果、欧米では新設石炭火力発電の燃料をすべて輸入炭に頼らざるを得ない我が国と比べて、立地条件、発電所内での石炭の管理運用方法及び環境規制が大幅に異なり、我が国独自のシステムの開発が必要であることが分かった。

木原和彦* Kazuhiko Kihara

小泉和夫** Kazuo Koizumi

この論文では、欧米の調査結果及び発電所での揚運炭システム計画に必要な前提条件から、今後考えられる屋外貯炭、屋内貯炭など各種方式の比較と開発課題について述べ、これらのシステムを構成する荷役設備に関する日立製作所製品の特長について説明を加える。

1 緒言

我が国の石炭火力発電所の建設は、昭和44年電源開発株式会社磯子火力発電所2号の運開が最後で、その後は石油、原子力などが主流を占めてきた。しかし、近年の石油危機を契機として再び石炭火力発電所の建設計画が活発化し、総出力1,000～3,000MW級の大形発電所が計画されている。一方、英国、西独、米国などは、現在でも全発電量の50～70%を石炭火力発電でまかなっているが、原則として産炭地近くに発電所を建設し、石炭は貨車、バージ、コンベヤで連続的に搬入していること、環境保全に対する規制が我が国ほど厳しく

ないことなど我が国とは条件が異なり、諸外国の既存システムをそのまま採用することには無理があり、我が国の立地環境条件に適した方式を独自に開発する必要がある。

2 技術課題

石炭火力発電所を建設するに当たっては、次のような課題を満足する必要がある(図1参照)。

- (1) 環境保全を十分配慮したシステムであること。
- (2) 敷地面積を縮小できるシステムであること。

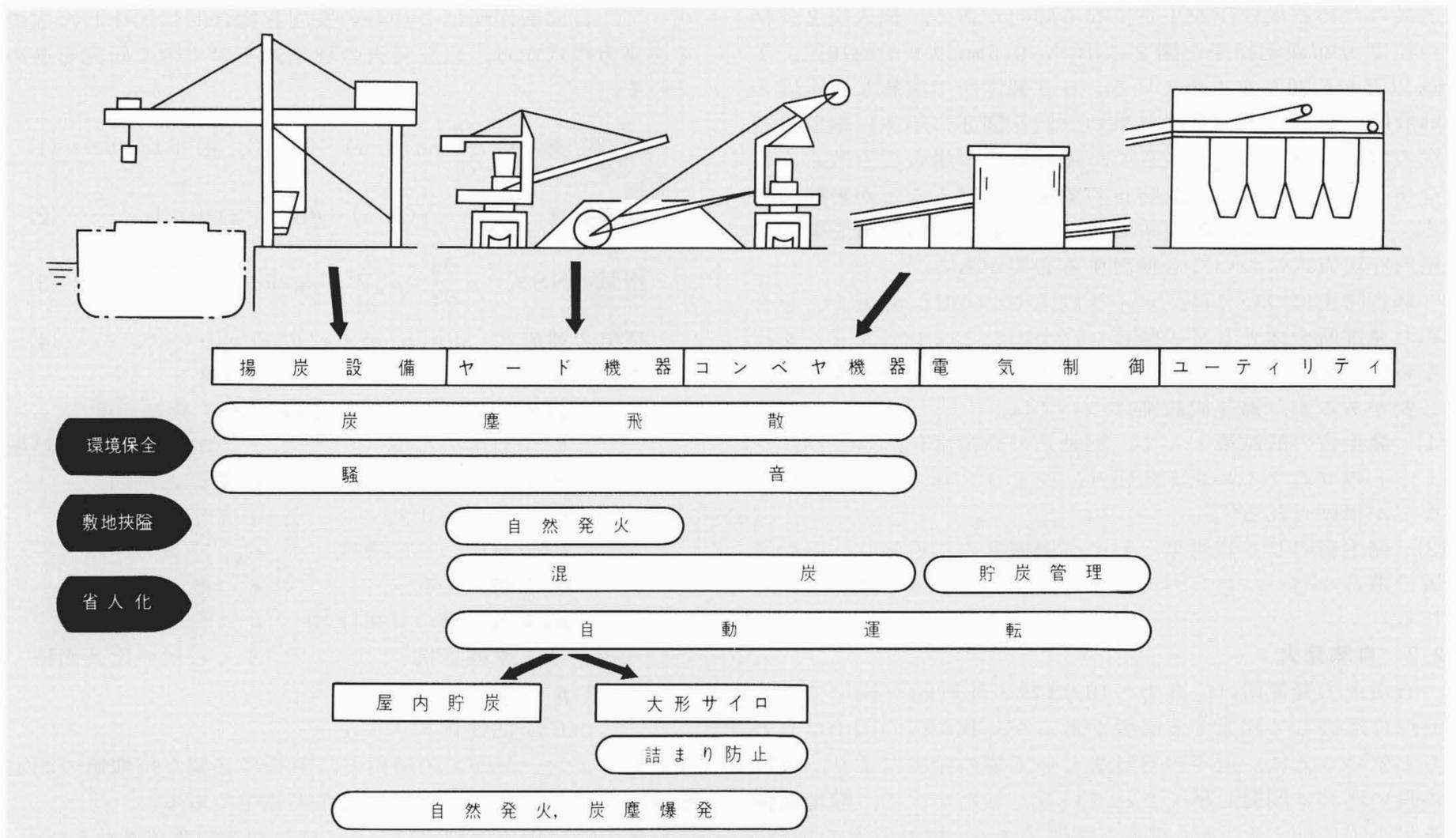


図1 発電所における技術課題 我が国の石炭火力発電所は、三つの大きな課題を抱えており、今後は屋内貯炭方式が考えられる。

* 日立製作所笠戸工場 ** 日立製作所機電事業本部

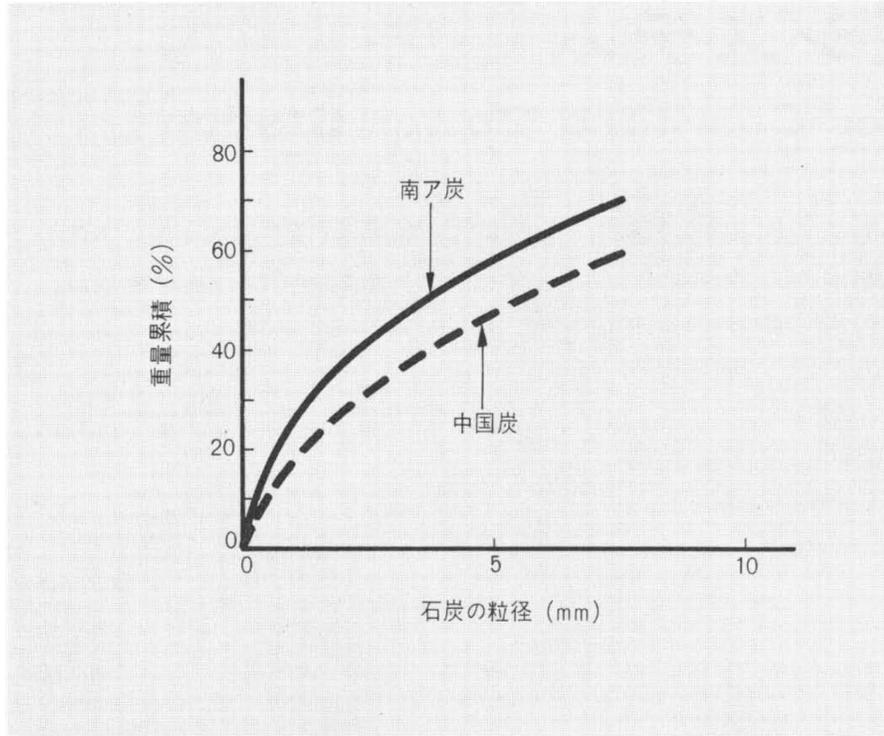


図2 輸入炭の粒度分布 南ア炭(実線), 中国炭(点線)の粒度分布を示す。1 mm以下が約20%, 5 mm以下が約50%を占めている。

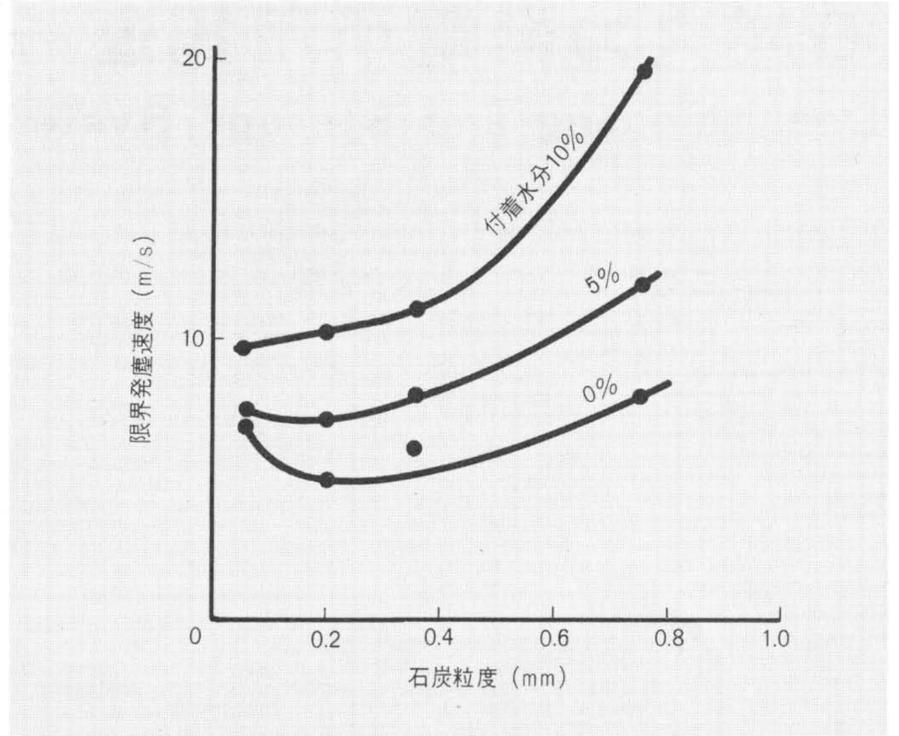


図3 石炭飛散開始風速 各粒径の飛散開始風速を示す。風速は地上10 mでの風速に換算した値を示す。

(3) 運転, 保守を含めた省人化システムであること。
したがって, 立地条件によっては, ドーム方式, サイロ方式などの屋内貯炭についても検討する必要がある。

2.1 環境保全対策

環境保全に関しては, 炭塵飛散防止と騒音防止が主要課題である。輸入炭の場合, 輸送費が購入価格の70%程度を占めるため石炭は山元で選炭し, できるだけ灰分, 硫黄分を除去した良質な状態で輸入するほうが得策である。したがって, 選炭のため石炭粒径が小さくなる傾向がある。輸入炭2銘柄の粒度分布測定結果を図2に示す。0.5mm以下が約10%, 1mm以下が約20%を占めている。日立製作所で実施した炭塵の飛散開始風速の風洞実験結果の一例を図3に示す。飛散は石炭の付着水分の影響が大きく, 屋外貯炭の場合でも散水を行なうことにより炭塵飛散防止の効果を挙げることが可能である。しかし完全な防塵対策としては, 敷地狭隘対策を兼ねて屋内貯炭方式についても検討する必要がある。

騒音防止については, ボイラ設備やタービン建屋などを含めた発電所全体としての騒音レベルのシミュレーションを行ない¹⁾, 騒音マップにより周辺条件に適合する対策を行なう必要があるが, 揚運炭設備については,

- (1) 発生音の低減策として, 駆動系の高精度化, ホッパ, シュートのゴムライニング内張り, ショックレスガードの採用などが挙げられる²⁾。
- (2) 発生音のしゃ音対策として, 機械室の二重張り, 駆動装置の消音カバー, コンベヤのギャラリー内設置などが挙げられる。

2.2 自然発火

石炭火力発電所は, 5万~10万t級の外航船が接岸できる港湾に近接して建設する必要があるが, 我が国の国土はもともと狭いうえに, 近年の目覚ましい工業の発展により, 条件の良い港湾は開発し尽くされている。したがって, 敷地面積を最小限に抑えることも重要な課題である。屋外貯炭の場合, 貯炭場面積を減らすには, 従来7m程度であった積山高さを高くする必要がある。更に炭塵防止を兼ねて, 貯炭場面積が $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ となる屋内貯炭方式も有効な手段である。この場合, 自然発火予防が重要である。

自然発火の原理は, 石炭が空気との接触により酸化作用を起こし酸化熱を発生するが, 石炭は熱伝導率及び比熱が小さいため, 発熱量が放熱量を上回って徐々に蓄熱されて発火に至るものである。酸化作用及びこれを促進させる要因としては, 石炭自身がつ固有のもの(炭化度, 揮発分など)と, 粒度, 表面水分, 温度, 換気速度, 時間などの貯炭条件があり, 各要因の影響については多くの研究が行なわれているが^{3)~6)}, すべての要因を加味した総合的なものは見当たらない。したがって, 日立製作所はこれらの要因を総合的に加味した次の4連立方程式から, 自然発火の理論式を導くべく研究を進めている。

$$\text{熱収支 } C_s \frac{\partial \theta}{\partial t} = q(\theta, x) - \text{div}(C_g, u) + k_s \Delta \theta \dots\dots(1)$$

$$\text{酸素収支 } \frac{\partial \theta}{\partial t} = -r(\theta, x) - \text{div}(u, x) + \epsilon \Delta x \dots\dots(2)$$

$$\text{空気のNS式 } \rho \frac{\partial u}{\partial t} = \mu_a \nabla^2 u - \text{grad } p - \rho g \dots\dots(3)$$

$$\text{空気の連続式 } \text{div}(\rho, u) + r(\theta, x) = 0 \dots\dots(4)$$

- ここに $r(\theta, x) = k e^{-\frac{\theta}{T}} S x$: 酸素消費速度
 $q(\theta, x) = \gamma \cdot r(\theta, x) = \gamma k e^{-\frac{\theta}{T}} S x$: 発熱速度
 θ : 石炭の温度 γ : 酸化による発熱量
 x : 酸素濃度 t : 経過時間
 C_s : 石炭の比熱 u : 空気対流速度
 k_s : 石炭の熱伝導率 C_g : 空気の比熱
 ρ : 空気密度 ϵ : 酸素拡散係数
 μ_a : 石炭層の見掛けの摩擦抵抗 k : 発熱速度定数
 p : 空気圧力 S : 石炭の比表面積
 E : 活性化エネルギー

このシミュレーションの解析と, 解析に必要な特性値の測定を研究課題として取り上げ, 現在実施中である。

石炭の酸化作用は高温になるに従い急激に促進されるため, 一般的に40~50°Cが警戒温度, 70~80°Cが危険温度とされており⁷⁾, 上記解析結果に基づき, 酸素の供給を断つこと, あるいは冷却対策を施せば理論的には十分であるが, 石炭の粒度や空気の偏析が生じて局部的に昇温する場合があります, 検温

システムによる内部温度の監視と昇温時のリサイクル回路を配慮しておくことが必要である。

3 海外における発電所揚運炭設備の現状

現在、米国、英国及び西独では、2,000～3,000MW（石炭消費量年間450～700万tf）の大形石炭火力発電所が多数稼動しており、現状を十分認識するため日立製作所は4回にわたって米国12箇所、西独5箇所、英、仏各1箇所合計19箇所の発電所の調査を行なった。これらの国々では、原則として国内炭を使用し産炭地の近くに発電所を建設しており、石炭はコンベヤ、貨車及びバースで搬入し、バンカへ直送する場合が多い。したがって貯炭場も常用と非常用とに分け、常用積山は1台のスタッカリクレーマ兼用機で荷役し、非常用積山は転圧による自然発火防止を兼ねて、ブルドーザ及びキャリオールスクレーパで積付け、払出しを行なうのが一般的であり、単純なシステムとなっている。図4に一例として、ギャビン発電所（米国）のレイアウトを示す。ただし、多種の輸入炭に頼る発電所（仏：リハーベ、西独：ウイルヘルムスハーヘン）や、性状が大幅に異なる石炭を混炭して使用する発電所（西独：ショルベン）では、いったん貯炭場に積付け、混炭してバンカへ送る必要があるため、スタッカ、リクレーマを配置し、ヤード機械の自動運転方式を採用して省人化を図っていることは我が国の条件と類似しており、参考になる点である。

米国では現在150基以上の大形サイロが、発電所、炭坑及び製鉄所を中心に実用化されている⁸⁾。図5はカンバランド発電所の実例を示すもので、容量1万5,000sh tnのサイロ3基をコンベヤラインに組み込み省人化を主目的とし、防塵対策も兼ねている。サイロ出口の詰まりに対しては、圧縮空気噴射式詰まり防止装置が1970年ごろから実用化されている⁹⁾。

省人化についても、表1の従業員の推移から分かるようにシステムの単純化と機械の自動化を図っていることがうかが



図5 発電所に設置されているサイロ 1972年、米国カンバランド発電所（出力2,600MW）に建設された石炭用サイロを示すもので、容量は1基当たり15,000 sh tnである。

表1 省人化による従業員推移 米国の発電所もシステムの単純化自動化により、省人化を図っている。

発電所	A	B	C
発電容量	2,550 MW	2,600 MW	2,200 MW
運開	1962～1968	1974, 1975	1976, 1977
全従業員数	500人	330人	160人
運炭関係者数	150人	50人	21人

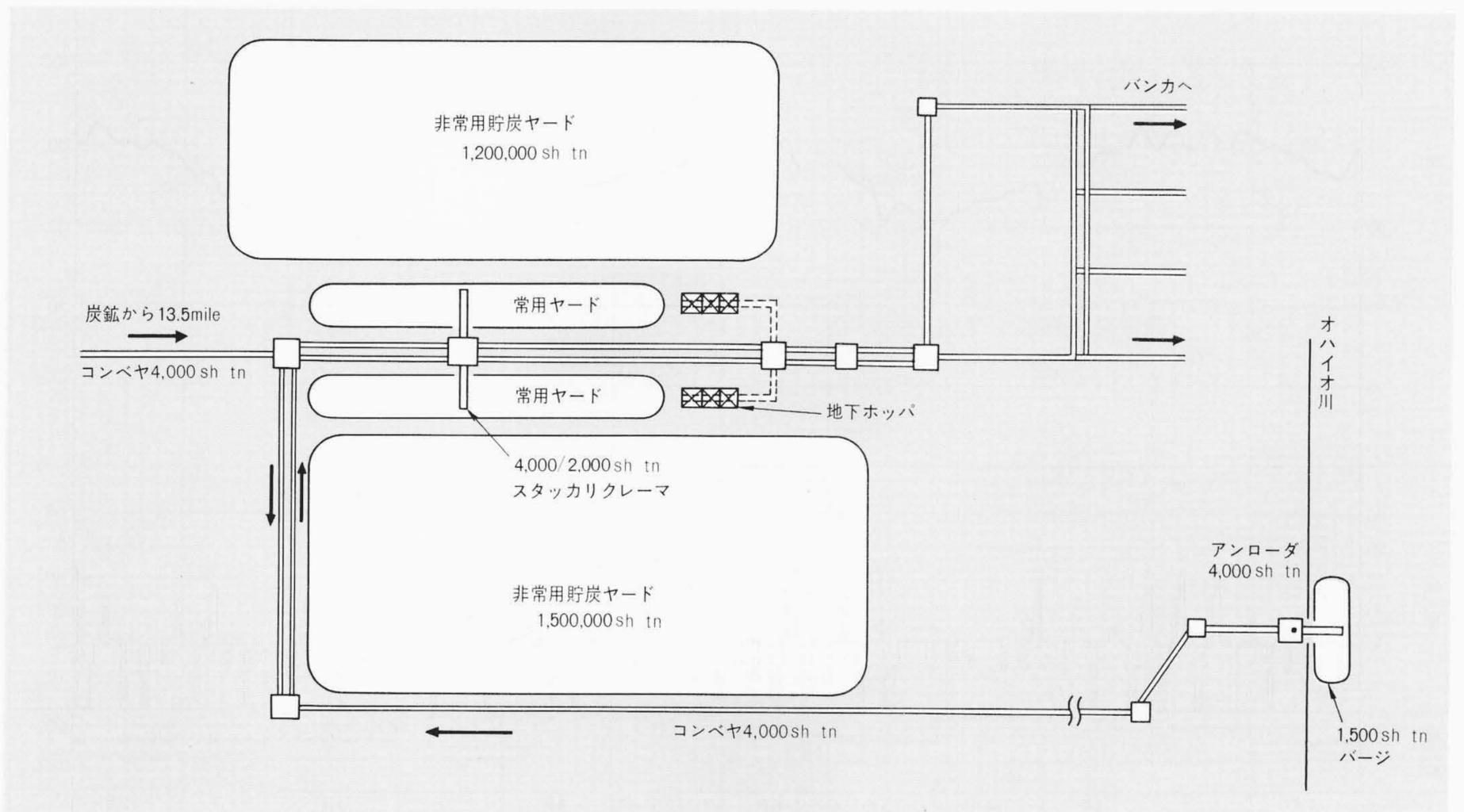


図4 ギャビン発電所(米国)運炭設備 石炭はバースとコンベヤで搬入され、大部分はバンカへ直送される。

える。

炭塵飛散に関しては、現状は環境規制も我が国ほど厳しくなく、一部の発電所で散水を行なっている程度であるが、ピニルポリマ(英国:NCB社)、プラスチックポリマ(米国:ペンシルバニア電気会社)を長期貯炭用積山に散布し、炭塵飛散を防止する研究が進められており、炭塵防止の解決策の一方法として今後研究すべき課題である。

特殊な例として、1971年に建設されたモハーブ発電所(790 MW×2, 米国ネバダ州)では、442km離れた炭坑(アリゾナ州)からブラックメサパイプラインによるスラリ輸送を行ない、従来の貨車輸送に比べて輸送費の低減を図るとともに、炭塵防止の効果を挙げている点が注目される¹⁰⁾。

一般的に言えることは、貨車、バージ、コンベヤで連続的に石炭を入荷し、混炭を行なわないため、入荷した石炭の大部分をバンカへ直送できる点、大形外航船での間欠入荷に頼り、混炭を必要とする我が国の場合とは大きな相違がある。

4 システム計画

火力発電所での運炭システムの最も重要な役割は、ボイラの稼動に支障をきたさないよう石炭を安定してバンカに送り込むことであり、前提条件として、(1)高信頼性、(2)省人化(機械の自動化、保守の自動化及び帳票作成の自動化)、(3)環境保全(炭塵防止、騒音防止及び海水汚染防止)などを加味した上で、石炭の取扱い量、取扱銘柄、配船計画、混炭条件、作業時間、石炭の消費計画などを入力条件とし、石炭船の待ち時間、各機械の利用率、貯炭量の変化などを評価基準として、コンピュータシミュレーションを行ない、最適システム、各機械の最適容量及び必要貯炭場容量の決定を行なう必要が

ある。

図6に、一例として貯炭量変化のコンピュータシミュレーション結果を示す。

4.1 各種貯炭方式の比較

貯炭設備は種々な方式が考えられるが、実用性のある方式としては、現在次の3方式が考えられる。

(1) 屋外貯炭方式(野積ヤード方式)

銘柄別にスタッカで貯炭し、混炭条件に合わせてリクレーマで払い出す方式で、自動化が容易な橋形リクレーマの採用が望ましい。本方式の場合には、炭塵飛散などの環境保全対策を配慮する必要がある。

(2) 屋内貯炭方式(ドーム方式)

建屋天井のコンベヤで積付けを行ない、スクレーパ又はリクレーマで払い出す方式で、建屋は円形が一般的であるが、長方形の建屋も可能である。欧州では、セメント工場、肥料工場などの化学工場の原料貯蔵用として実績がある。

(3) 屋内貯炭方式(サイロ方式)

上方のコンベヤで積付けを行ない、下方から自重を利用して払出しを行なう。異種の石炭を混合して貯炭することは、自然発火の面からも好ましくないため、銘柄数、船舶の容量から、1基当たりの容量及び基数を決めることが必要である。

今後の我が国での石炭火力発電所の平均的容量と考えられる2,000MW級(貯炭容量60万tf)の場合の各方式の模型写真を図7に示す。

各方式は、それぞれ表2に示すような特長をもっており、現時点で一方式に限定することは困難である。各建設予定地の環境及び立地条件に最も適した方式を採用することが必要である。

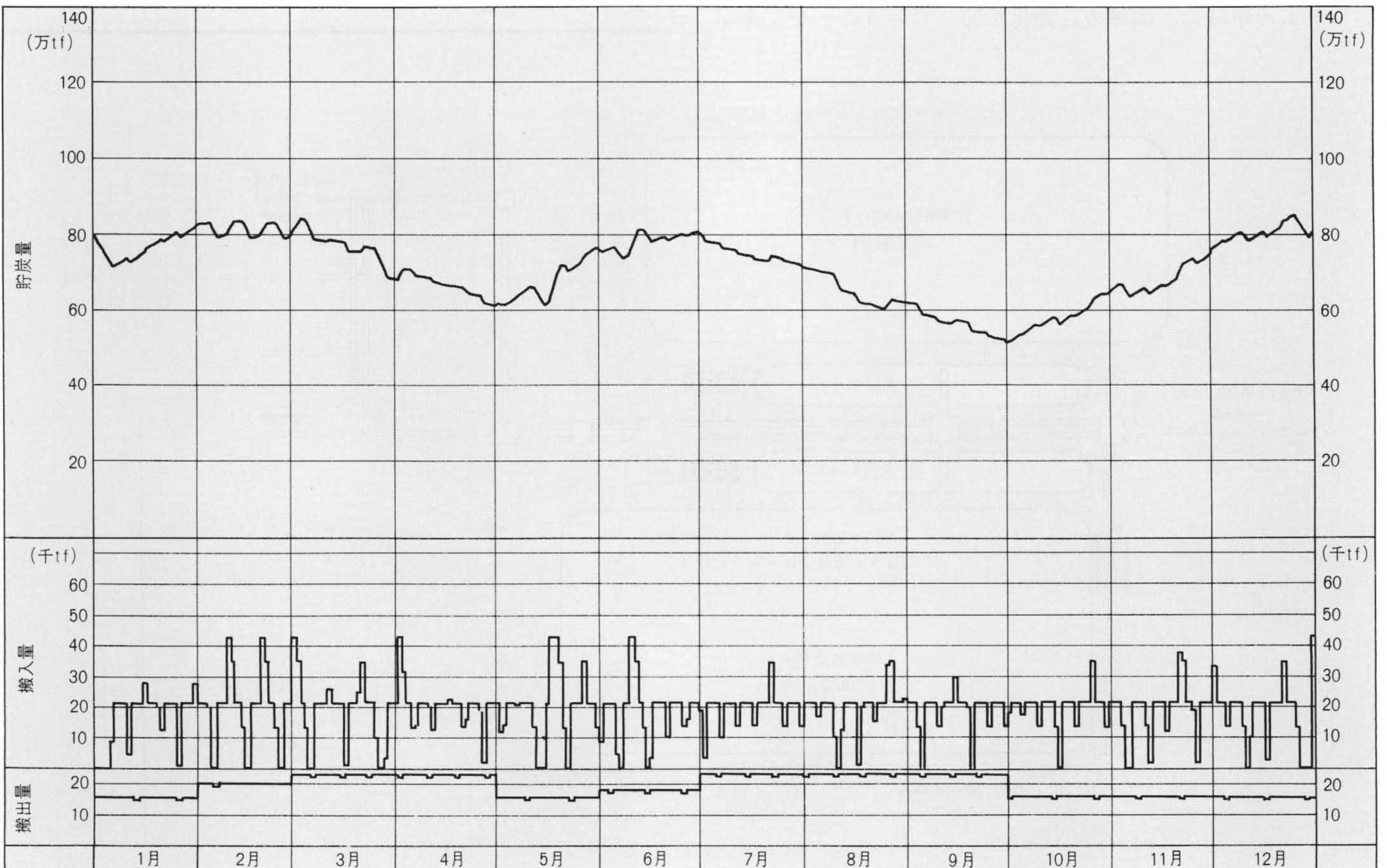


図6 貯炭量推移シミュレーション結果 貯炭量変化のシミュレーション結果から、必要貯炭場容量の検討を行なう。

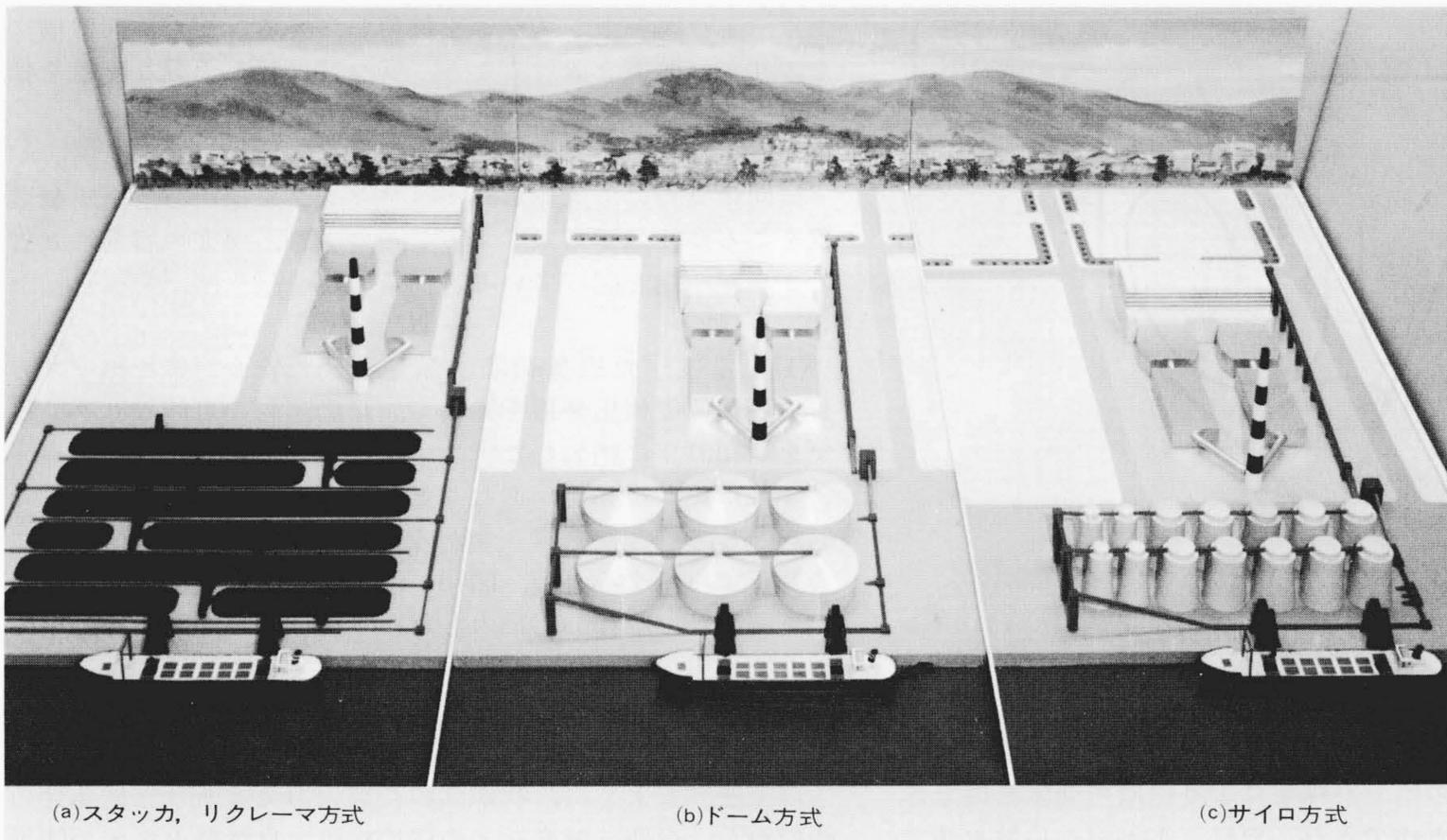


図7 各種貯炭方式比較 写真に示すように屋内貯炭の場合[(a), (b)], 敷地面積は大幅に減少する。

表2 各種貯炭方式比較 各方式ともそれぞれ特長をもち、環境立地条件により方式を決定すべきである。

項目	方式	屋内貯炭方式	
		ドーム方式	サイロ方式
実績	屋外貯炭方式 (リクレーマ, スタッカ)	大	小
運用性	銘柄別貯炭	容易	ドーム数で制限
	受入れ	任意	同上*
	払出し	同上	先入後出
	混炭	可能	可能
環境・防災	炭塵防止	やや困難	容易
	騒音防止	同上	同上
	炭塵爆発	なし	要監視
	自然発火	要監視	同上
	その他	天候の影響あり	——
貯炭場面積		大(100)	中(50)
基礎荷重		小	大
建設費		同上	同上

注：* 銘柄別貯炭のため貯炭量によっては制限を受ける。

5 日立揚運炭設備の特長

5.1 大容量アンローダ²⁾

アンローダは石炭の陸揚設備として大容量化、高能率化と同時に環境保全対策も重要な課題であり、日立製作所では次のような機構を開発し、実用化している。

(1) ショックレスガーダ

アンローダは海側カンチガーダと主ガーダの接続部にレール継目ができ、トロリ通過時大きなショックを生じ、グラブバケットからの荷こぼれと騒音の原因となっていた。この改善策として、**図8**に示すように海側カンチガーダを回転ヒンジから張り出し、レール継目位置をホッパ中心から陸側とし

た。このため、通常作業時にはトロリがレール継目を通過せず、ショックの減少、バケットからの荷こぼれ防止、騒音低減及び運転者の疲労軽減が可能となった。本構造を採用したアンローダは4台が好調に稼動中であり、更に2台を建設中である。

(2) 二重構造式防塵ホッパ

ホッパ部からの発塵防止は、従来から散水方式、集塵機方式など種々の方式が採用されてきたが、粉塵の発生を少なく

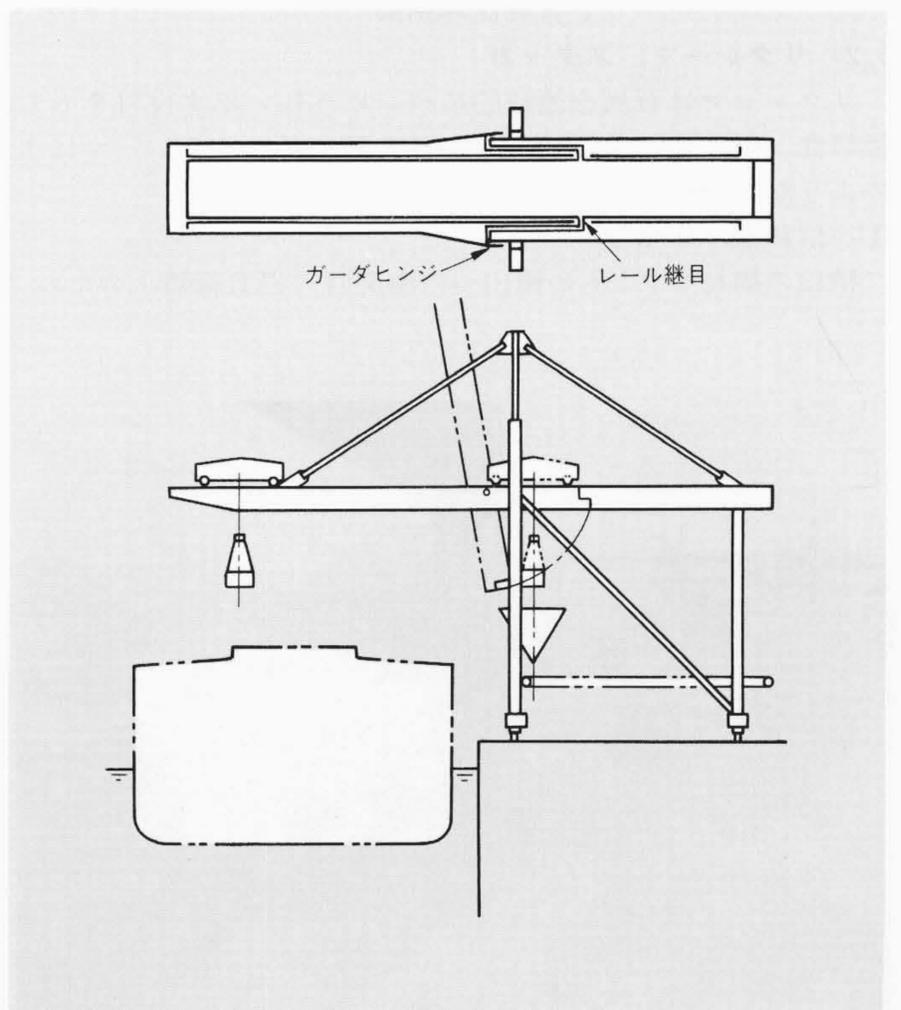


図8 ショックレス形アンローダ ショックレス形では、荷役中トロリがレール継目を通過せず、移動中のショックや振動が大幅に減少する。

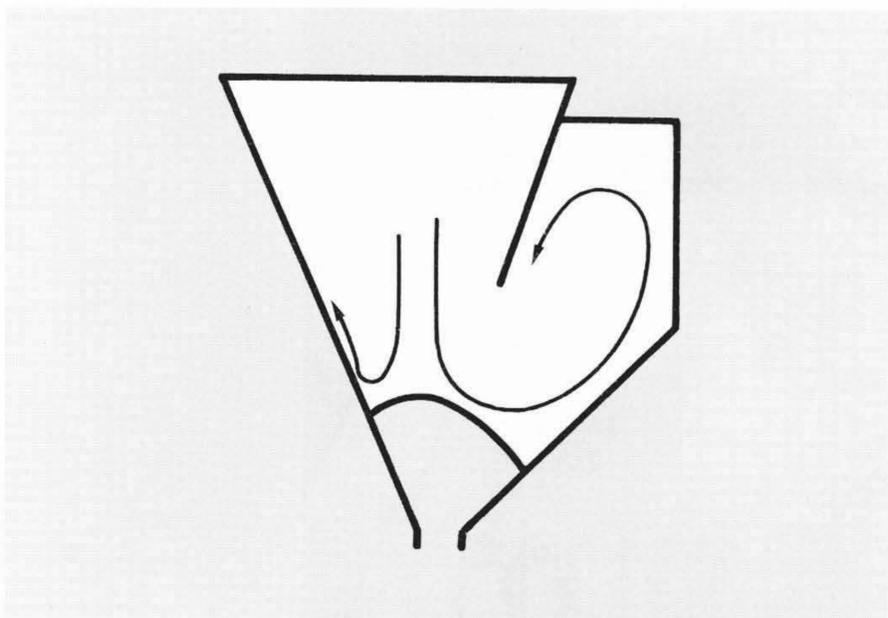


図9 二重構造式防塵ホッパ 集塵装置，散水装置の助けを借りることなく，ホッパ構造だけで粉塵の発生を従来形の30%に抑えることができる。

する方法として開発したのが，図9に示す二重構造式防塵ホッパである。本構造のホッパ採用により粉塵の発生を従来形の30%に低減することができた。更に，本ホッパに散水装置を組み合わせて防塵効果を挙げることができる。

散水装置はトロッコ横行と連動して，石炭をホッパへ投入時だけ散水し，散水時間，散水量の調整が可能なシステムである。

(3) 自動運転

通常，アンローダの運転室は船倉内を監視するために船舶のハッチ口の上方に移動する。したがって大形船になるほど運転室からホッパが遠ざかり，ホッパ上でのバケットの自動振れ止め制御及び自動運転が操作性向上のためにも不可欠である。このため，次のようなシステムを適用している。

- (a) プログラム方式によるホッパ上自動振れ止め停止システム
- (b) 自動負荷平衡制御及び速度平衡制御
- (c) グラブバケット自動沈み制御

5.2 リクレーマ，スタッカ

リクレーマは石炭を連続的にバンカへ払い出す役目をもち信頼性，保守性が重要であり，日立製作所のリクレーマは次のような特長をもっている。

(1) 信頼性，安全性

積山の崩れやブームの積山への衝突時の過負荷防止のため，



図10 橋形リクレーマ 橋形リクレーマの採用により，自動化及びブレンディングが容易となった。

フロートウェイトシステムを採用している。また旋回機構にもスリップ装置を設けるなど，安全性に対し十分な配慮を払っている。

(2) 保守性

旋回体支持にも大形ボールベアリングを採用し，全駆動装置をころがり軸受方式とすることにより，保守の容易性と省エネルギー化を図っている。

(3) 自動化

(1)項に述べた過負荷防上策を含めた安全対策をベースとし，各種位置検出装置を備えて，自動運転が可能なりクレーマを昭和51年に納入した¹²⁾。

今後は更に自動化が進むことが予想され，自動化に適した形式として橋形リクレーマが考えられる。日立製作所ではこの要求に対処するため，図10に示す自動運転式橋形リクレーマを開発し，昭和53年納入した。本機は現在順調に稼動中である¹³⁾。

6 結 言

以上述べたように，我が国の石炭火力発電所は立地条件の制約から，炭塵，騒音などの環境対策，自然発火などの防災対策，敷地面積縮小策及び省人化に関し，我が国特有の研究開発すべき課題をもっている。

日立製作所はこれらの問題に関し，長年研究を進めてきており，最近でもベトナム国カンファ港石炭積出設備，中華人民共和国・北崙山鉱石中継港設備など，エンジニアリングを含めたプラントでの納入実績をもっており，これらの経験を生かして発電所の運炭設備計画に取り組んでいる。

更に日立グループ関連各社は，石炭の陸揚げから灰処理，水処理に至るまで発電所全システムを供給できる体制にあり，トータルシステムのなかで，揚運貯炭システムがいかにあるべきかについて検討できる利点をもっており，この特長を生かして，より良い発電所揚運貯炭システムを開発すべく努力してゆく考えである。電力会社関係各位の御指導をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 下出，外：火力発電所の騒音予測上の問題点とその対策，日立評論，60，359～364 (昭53-5)
- 2) 中村，外：大容量アンローダの最近の進歩，日立評論，58，361～364 (昭51-5)
- 3) E. A. Sondreal et al. : Laboratory Determination of Factors Affecting Storage of North Dakota Lignite, Bureau of Mines April 1974
- 4) 星沢，外：石炭の低温化による発熱量低下に関する研究，電力中央研究所，研究報告 1971-3
- 5) 伊木，外：石炭の堆積体内部における蓄熱過程ならびに自然発火し得る粉炭量の計算，日本鉱業会誌/90，1033('74-3)
- 6) 美浦：石炭の風化および貯炭，燃料協会誌，第58巻，第622号 (1979)
- 7) 鈴木：石炭，火力原子力発電，Oct. 1976
- 8) Coal Technology '79 Conference Papers Vol. 1 (1979-11)
- 9) One solution to the dead coal storage problem, COAL MINING & PROCESSING Feb. 1972
- 10) 欧米石炭利用施設調査団報告書，資源協会，昭54-3
- 11) P. M. Barkhordar, et al. : GAS OIL AND COAL SLURRY PIPELINES, Energy Technology Economics Program Report No. 3 July 1977
- 12) 木原，外：ヤード荷役設備，日立評論，58，365～370(昭51-5)
- 13) 横川，外：原料ヤードにおけるブレンディングシステム，日立評論，60，673～678 (昭53-9)