

第188研究部会

石炭焚船の建造促進のための調査研究

報告書

昭和58年3月

社団法人
日本造船研究協会

世界的に石油代替エネルギーとしての石炭に寄せられる期待は大きいものとなっているが、船用燃料についても例外ではなく、内外船主の石炭だき船への関心が高まりつつある。

これらの動向をふまえて早期に近代的石炭だき船の建造体制を整備する必要があると考えられるので、本研究はストーカ燃焼方式の石炭だき船について技術的・経済的にもっとも効果的な、安全性、船内環境保全、公害防止への対応策を確立することを目的とするものであるが、その第2年度である本年度は石炭の自然発火防止及びガス・炭じん爆発防止に関する特性把握試験と船内設備のあり方のとりまとめ、機関プラントの安全性確保に関する船内設備のあり方のとりまとめと石炭だきボイラの動特性解析プログラムの作成、船内環境保全に関する指針の作成、及び公害防止の観点から海洋・大気環境への影響の評価を実施した。

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188研究部会において実施した「石炭焚船建造促進のための調査研究」の成果をとりまとめたものである。

第188研究部会委員名簿 (敬称略, 五十音順)

部会長	宮 鳴 時 三 (東京商船大学)	
委員	浅 井 孝 雄 (日本郵船)	磯 部 俊 郎 (北海道大学)
	伊 藤 剛 平 (日本造船工業会)	印 南 正 孝 (日本鋼管)
	植 田 靖 夫 (船舶技術研究所)	大 野 隆 司 (大阪商船三井船舶)
	柿 原 実 (三井造船)	城 子 立 夫 (日本海事協会)
	鈴 木 邦 治 (三井造船)	館 野 寛 三 (石川島播磨重工業)
	田 中 勝 夫 (川崎重工業)	出 口 一 彦 (住友重機械工業)
	長 島 孝 一 (日本船用工業会)	福 留 理 夫 (石川島播磨重工業)
	丸 山 忠 (川崎重工業)	三 谷 孝 一 (日立造船)
	山 田 次 敏 (三菱重工業)	柚 木 茂 登 (山下新日本汽船)

第1小委員会委員名簿 (敬称略, 五十音順)

委員長	山 田 次 敏 (三菱重工業)	
委員	青 木 元 雄 (日本郵船)	池 上 英 文 (川崎重工業)
	小 田 仁平次 (石炭技術研究所)	折 戸 博 允 (大阪商船三井船舶)
	菊 地 峻太郎 (三井造船)	城 子 立 夫 (日本海事協会)
	鈴 木 邦 治 (三井造船)	館 野 寛 三 (石川島播磨重工業)
	出 口 一 彦 (住友重機械工業)	土 居 晃 和 (日本鋼管)
	波 江 貞 弘 (船舶技術研究所)	福 留 理 夫 (石川島播磨重工業)
	房 村 信 雄 (早稲田大学)	丸 山 忠 (川崎重工業)
	三 谷 孝 一 (日立造船)	柚 木 茂 登 (山下新日本汽船)

第2小委員会委員名簿 (敬称略, 五十音順)

委員長	福 留 理 夫 (石川島播磨重工業)	
委員	池 上 英 文 (川崎重工業)	大 野 隆 司 (大阪商船三井船舶)
	菊 地 峻太郎 (三井造船)	白 根 哲 博 (日本郵船)
	城 子 立 夫 (日本海事協会)	鈴 木 邦 治 (三井造船)
	高 田 純 (住友重機械工業)	館 野 寛 三 (石川島播磨重工業)
	土 居 晃 和 (日本鋼管)	鍋 田 良 祐 (日立造船)
	波 江 貞 弘 (船舶技術研究所)	菱 川 正 文 (住友重機械工業)
	松 田 正 康 (住友重機械工業)	丸 山 忠 (川崎重工業)
	三 谷 孝 一 (日立造船)	山 田 次 敏 (三菱重工業)

目 次

ま え が き	1
第1編 船舶運航上の安全性確保の研究	2
第1章 石炭の自然発火防止のための調査研究	2
ま え が き	2
1. 石炭の自然発火に関する試験	2
1.1 試験概要	2
1.2 石炭の発熱特性の測定	3
引 用 文 献	4
1.3 中型試験装置による石炭の自然発火試験	5
参 考 文 献	13
1.4 石炭の酸化抑制法及びボイラ排ガスによる酸化抑制試験	14
参 考 文 献	15
1.5 ま と め	19
2. 船内における自然発火の可能性と船内設備のあり方	24
2.1 船内における自然発火の可能性	24
2.2 自然発火防止対策の基本方針	26
2.3 船内設備のあり方	27
あ と が き	28
第2章 石炭のガス・炭じん爆発防止のための調査研究	29
ま え が き	29
1. 石炭のガス・炭じん爆発に関する試験	29
1.1 試 験 概 要	29
1.2 ガス放出速度の測定	30
参 考 文 献	31
1.3 炭じんの爆発性試験	41
1.4 炭じんの爆発威力試験	42
1.5 石炭流送時の静電気発生測定	48
参 考 文 献	51
1.6 ま と め	55
参 考 文 献	63
2. 船内におけるガス・炭じん爆発の可能性と船内設備のあり方	64
2.1 船内におけるガス・炭じん爆発の可能性	64
2.2 爆発防止対策の基本方針	66
2.3 船内設備のあり方	68
あ と が き	70
第3章 ストーカー燃焼方式の機関プラントの安全性確保	71
ま え が き	71

1. ボイラプラント構成	71
1.1 ボイラ構成と信頼性	71
1.2 1缶半方式及び1缶方式のボイラプラント構成に関するアンケート調査	76
1.3 船内設備のあり方	82
引用文献	86
2. 石炭だきボイラの動特性解析と余剰蒸気ダンプシステム	86
2.1 クローズドループ系の解析プログラム	86
2.2 余剰蒸気ダンプシステム系の設計指針	111
あ と が き	114
第2編 船内環境保全のための調査研究	115
第1章 振動・騒音防止	115
まえがき	115
1. 運炭・灰移送方式の相違による船内騒音の違い	115
2. 実船における騒音計測結果	115
2.1 計測方法	116
2.2 計測結果	116
3. 振動・騒音に影響を与える因子と防振・防音対策	116
3.1 防振対策	116
3.2 防音対策	117
あ と が き	118
引用文献	118
第2章 炭じん・石炭灰の拡散防止	
まえがき	124
1. 船内石炭移送・灰処理システムからの炭じん・石炭灰の漏洩防止対策	124
1.1 移送システムの密閉化	124
1.2 排気集じん	124
1.3 内部発じんの抑制	124
1.4 ボイラ室	125
1.5 系統機器の密閉化	125
1.6 そ の 他	126
2. 炭じん・石炭灰の拡散防止対策	126
3. 制御関係機器などの炭じん・石炭灰の侵入防止対策	127
あ と が き	127
参 考 文 献	128
第3章 石炭関連システムの保守・整備	129
まえがき	129
1. 石炭移送システムの保守・整備に関する指針	129

2. 灰移送システムの保守・整備に関する指針	129
あ と が き	129
第4章 石炭関連システムの監視・計測・操作	135
ま え が き	135
1. 陸上ボイラユーザーへのアンケート調査結果	135
1.1 レベル計	135
1.2 温度計	136
1.3 ガス検知計	136
1.4 重量計	136
2. アンケート調査結果の考察	136
2.1 レベル計	136
2.2 温度計	137
2.3 ガス検知計	137
2.4 重量計	137
3. ストーカーだき船の石炭関連システムに適切な監視・計測・ 操作システムおよび計器に関する指針	137
3.1 適切なシステムの指針	137
3.2 適切な計器の指針	139
あ と が き	142
参 考 文 献	142
第3編 公害防止のための調査研究	153
第1章 石炭灰の発生量と分布	153
ま え が き	153
1. アンケート調査結果と考察	153
1.1 クリнка	154
1.2 フライアッシュ	154
2. わが国の石炭需要予測と主要輸入国別輸入量予測	154
2.1 わが国の石炭需要予測	154
2.2 輸入国別毎の石炭輸入量予測	154
3. 石炭灰の発生量と分布量の試算	158
3.1 推定条件	158
3.2 石炭灰の発生量と特定航路内での分布	158
あ と が き	159
参 考 文 献	159
第2章 石炭灰の性状と環境への影響	160
ま え が き	160
1. スプレッドストーカだきボイラから排出される石炭灰の分析結果	160
2. ストーカーだきボイラの石炭灰の化学的性状と環境への影響の考察	160

3. フライアッシュの物理的性状	161
あ と が き	162
引 用 文 献	162
参 考 文 献	162
第3章 環境への影響の総合評価	166
ま え が き	166
1. 海洋環境に対する評価	166
2. 大気環境に対する評価	166
あ と が き	167

ま え が き

昭和56年度に始められた日本造船研究協会第188研究部会(SR188)の「石炭だき船建造促進のための調査研究」は、前年度の報告書でも述べたように、近代的石炭だき船に要求される各種前提条件のうち主として安全性確保、船内環境保全、公害防止への対応策を確立して建造促進に役立たせるために実施しようというものである。

初年度(昭和56年度)は、

- 1) 石炭の自然発火防止およびガス・炭じん、爆発防止に関する資料調査
- 2) 機関プラントの安全性確保に関するアンケートおよび資料調査と石炭だきボイラの動特性解析プログラムの作成
- 3) 船内環境保全に関するアンケートおよび資料調査
- 4) 公害防止に関するアンケートおよび資料調査

を行なったが、本年度(昭和57年度)は、これ等前年度の調査、研究結果を踏まえ、更に一部アンケート調査を加えて、下記の調査、研究、実験を行ない、第188研究部会の昭和57年度報告書としてまとめた。

- 1) 石炭の自然発火防止およびガス・炭じん爆発防止に関する試料炭による特性把握試験と船内設備のあり方のとりまとめ
- 2) 機関プラントの安全性確保に関する船内設備のあり方のとりまとめと石炭だきボイラの動特性解析プログラムの作成および実船特性との比較検討
- 3) 船内環境保全に関する指針の作成
- 4) 公害防止の観点から、海洋および大気環境への影響の評価

本報告中の石炭の自然発火およびガス・炭じん爆発に関する特性把握試験は(社)日本鉱業会に委託し、実施したものである。

なお、本調査研究は当初3カ年計画で初年度(昭和56年度)および本年度(昭和57年度)はストーカーだき船を、最終年度(昭和58年度)は高性能石炭だき船を対象にしておこなうことになっていた。しかし、高性能石炭だき船については運輸省船舶局がすでに実施した調査結果以上の成果をあげることができぬと判断して、この昭和58年度研究は中止することになった。従って本調査研究は本年度にストーカーだき船についてとりまとめたところで終了することになり、本報告書が本研究の最終年度としての報告書となる。

2年間に亘る調査・研究の成果が当初の目的をほぼ達成し得たことは誠に喜ばしいことで、調査に御協力いただいた関係各位に深甚なる感謝の意を表わすと共に、本成果が、近代的石炭だき船の計画および評価に有効に活用され、その建造促進に寄与することを念願するものである。

第1編 船舶運航上の安全性確保の研究

第1章 石炭の自然発火防止のための調査研究

まえがき

昨年度においては、①自然発火現象 ②炭質と自然発火 ③環境条件と自然発火 ④検知方法 ⑤防止原理 ⑥消火法について文献及び各研究者のそれまでの研究成果を基にして基礎調査が行われたが、本年度は、研究対象の目安として選定された炭種を中心に①石炭の発熱特性の測定 ②石炭の自然発火試験（中規模試験） ③石炭のボイラ排気ガスによる酸化抑制試験を行い、その結果を取纏め、昨年度の調査結果をも勘案し、炭質による自然発火に対する安全性の評価基準を作成することを試みた。

さらにこれらの研究成果を基に、船内における自然発火の可能性及び自然発火対策の基本方針について考察し、船内設備のあり方についての設計指針を提示し、設計者の便を計った。

なお、試験は、日本鉱業会内に設けられた「石炭の自然発火、ガス・炭じん爆発に関する調査委員会」に委託し実施したものである。

1. 石炭の自然発火に関する試験

1.1 試験概要

1.1.1 試験項目とその目的

(1) 石炭の発熱特性の測定

石炭の試料（7mg）を炉の中に入れて加熱し、石炭試料の発熱速度と温度の関係を測定し、それより石炭試料の自然発火性のランクを決定しようとする試験である。ただし本試験では環境条件の違いによる発熱状況については解明することができない。

(2) 中型試験装置による石炭の自然発火試験

約160kgの石炭試料を恒温槽の中に入れて容器の中に入れ、その中に空気を通し、試料内の蓄熱速度の変化、最高発熱点の移動、通気量の変化に伴う湿度の状況を測定し、石炭試料の自然発火性を試験する。

(3) 石炭の酸化抑制法及びボイラ排ガスによる酸化抑制試験

電気炉に入れた石炭試料（100g）に、空気と排ガス（O₂：約6%）を通し、石炭試料内を通った空気を分析し、排ガスによる石炭の酸化の抑制状況を比較検討する。これより排ガスによる石炭の自然発火の抑制効果を試験する。

1.1.2 試験担当部所と試験日程

(1) 石炭の発熱特性の測定

室蘭工業大学開発工学科

試験日程

昭和57年9月～11月

(2) 中型試験装置による石炭の自然発火試験

北海道大学工学部資源開発工学科

試験日程

昭和57年5月～11月

(3) 石炭の酸化抑制試験

秋田大学鉱山学部採鉱学科

試験日程

昭和57年10月～12月

1.1.3 選定炭種

試験名称	三池炭	サフコ炭	太平洋炭	エルメロ炭	大同炭
石炭の発熱特性の測定	○	○		○	○
中型試験装置による石炭の自然発火試験		○			
石炭の酸化抑制試験	○	○	○	○	○

1.2 石炭の発熱特性の測定

1.2.1 試験方法

発熱速度曲線はDSC (Differential Scanning Calorimeter) を用い、空気雰囲気と不活性雰囲気との差の曲線として求める。

DSCのブロックダイアグラムを図1.1.1に示したが、石炭試料と基準試料は同一の炉にセットし、同一条件で加熱する。それぞれの試料容器受皿には、温度検出用熱電対と内部ヒータ(熱量

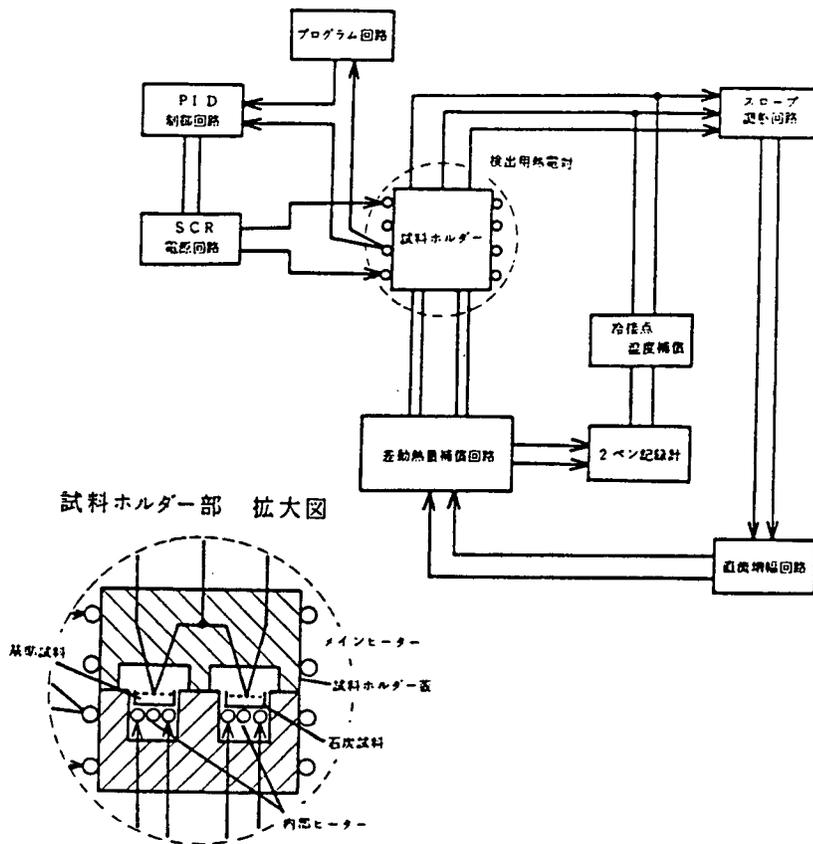


図1.1.1 DSCのブロックダイアグラム

補償ヒータともよばれる)が組込まれている。2つの内部ヒータ電力を等しくしたとき、石炭試料に熱変化がなければ温度差は生じないが、熱変化を起した場合は温度差検出熱電対で温度差が検出され、その差を増巾し差動熱量補償回路によって、温度差がゼロになるように反対側の内部ヒータに電力を加える。記録計には、この時内部ヒータに加えられた電力がmcal/secのエネル

ギーに換算されて記録される。

試験に用いた石炭は提供を受けた三池, Sufco, Ermelo, 大同の4種で, いずれも200kgを4分法によって3kg程度にし, これを粉碎・篩別した。測定試料はこのうちの100~150 meshのもの約300gで, 不活性ガス中に保存した。1回の測定には7~14mgを使用し, 測定温度範囲20~150℃, 昇温速度5℃/min 基準試料としては $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を用いた。

1.2.2 試験結果と考察

発熱速度曲線から主な温度についての発熱速度を記載すると表1.1.1のようである。

表1.1.1 主な温度における発熱速度

炭種 \ 温度, °C	30	60	80	120	150
MIIKE	4.65×10^{-4}	3.72×10^{-3}	8.81×10^{-3}	2.97×10^{-2}	5.81×10^{-2}
SUFECO	1.97×10^{-4}	1.58×10^{-3}	3.74×10^{-3}	1.26×10^{-2}	2.46×10^{-2}
ERMERO	1.22×10^{-4}	9.73×10^{-4}	2.31×10^{-3}	7.78×10^{-3}	1.52×10^{-2}
DAIDOU	8.56×10^{-5}	6.92×10^{-4}	1.64×10^{-3}	5.53×10^{-3}	1.08×10^{-2}

発熱速度 cal/g·sec

これらの発熱速度曲線は次の式で近似される。

$$dH/dt = aT^3 + bT^2 + cT + d \dots\dots\dots (1.1.1)$$

dH/dt : 発熱速度 cal/g·sec

T : 温度 °C

a, b, c, d : 係数

求められた係数値は表1.1.2の通りで, 発熱特性はこの係数値によって表わす。

表1.1.2 各石炭の係数値

試料炭 \ 係数	$a \times 10^7$	$b \times 10^5$	$c \times 10^3$	$d \times 10^3$
三池	1.72	3.18	2.05	28.4
Sufco	0.73	1.70	1.69	25.5
Ermelo	0.45	1.61	1.55	24.0
大同	0.32	1.33	0.45	23.4

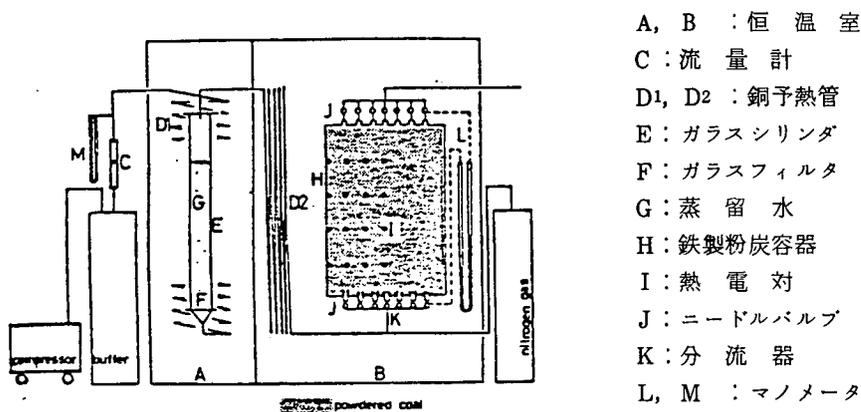
3次項係数aと低次項係数b, c及びdの間には直線関係が成り立つ。これは過去における国内炭の研究結果と同傾向である。従って, 若し過去における国内炭の研究結果を適用出来るものと見做すと, 三池炭は自然発火性類型^{*}のII型であるが, 輸入炭の3種はいずれもIII型と分類される。即ち供試輸入炭は自然発火を起し難いと推定される。

今回は試料炭の元素分析を行っていないので厳密な解析は出来ないが, 文献値^{*}を用いて従来の研究結果と対比すると図1.1.2及び図1.1.3に示すようになる。非常に大まかな云い方をすれば, 自然発火の難易は原子数比H/Cによって目安を得ることが可能であると云えよう。

* 石炭焚船の建造促進のための調査研究報告書, 日本造船研究協会, 57,3 P15, P35

(2) 試験方置

装置の概略は図 1.1.4 に示した。



- A, B : 恒温室
- C : 流量計
- D1, D2 : 銅予熱管
- E : ガラスシリンダ
- F : ガラスフィルタ
- G : 蒸留水
- H : 鉄製粉炭容器
- I : 熱電対
- J : ニードルバルブ
- K : 分流器
- L, M : マノメータ

図 1.1.4 自然発火発生装置

装置の中心となる部分は、厚さ 10 mm のベニヤ板と鉄製アングルで組立てた外箱の内側に厚さ 30 mm の発泡スチロール板を貼った恒温室(A), (B)の中に組込まれている。通気の湿度調節を目的とした恒温室(A)の寸法は、高さ 1.8 m, 幅 0.6 m, 奥行 0.6 m であり、粉炭容器(H)の入っている恒温室(B)は高さ 1.8 m, 幅 1.2 m, 奥行 0.6 m である。両方の恒温室には各々水銀接点、リレー、ヒータ、攪拌機などが組込んであって、別々に任意の温度を保持することができる。粉炭容器(H)は内径 560 mm, 高さ 870 mm の鉄製円筒(ドラムカン)であって、粉炭を均一に充填するためにパイプレータを固定してある。

通気孔は粉炭容器の上下面に図 1.1.5 のような位置に配置した。40~80 mesh に粉碎した

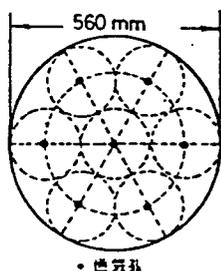


図 1.1.5 通気孔の位置

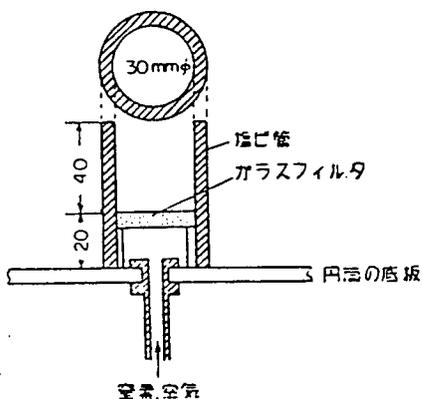
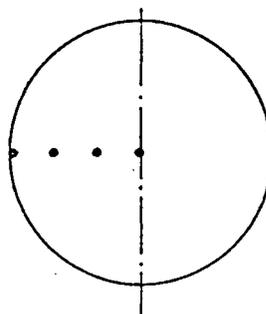


図 1.1.6 通気孔の構造

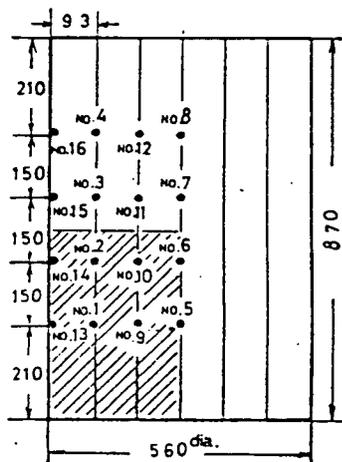


図 1.1.7 粉炭容器内の熱電対の位置

粉炭の堆積体内部へ空気を均一に拡散させるためには各通気孔を図 1.1.6 のような構造とした。また通気孔の出入口にはニードルバルブ(J)をつけ、マノメータ(L)およびフローメータ(C)をみながら、各通気孔に均等に通気が分散することを心掛けた。

粉炭堆積体内部の温度測定には、0.32 mm 径の銅コンスタンタン熱電対(I)と多点型記録計を使用し熱電対先端の配置は図 1.1.7 のとおりである。

空気流量はフローメータ(C)およびマノメータ(M)によって測定した。恒温室(A)内部の予熱管(D1)は内径 8 mm、全長 2.0 m の銅パイプであって、ガラスシリンダ(E)は内径 100 mm、長さ 1 m で、シリンダ下端にはガラスフィルタ(F)を取付けてある。予熱管を通過した空気をガラスフィルタを通してガラスシリンダ内部の蒸留水(G)の中へ噴射することによって、空気は恒温室(A)の設定温度と同じ温度になり、その温度における飽和水蒸気を含むことになる。次に恒温室(B)に入った空気は予熱管(D2)を通過するうちに、その設定温度に等しくなる。したがって、恒温室(A)と(B)の温度に差をつけることによって、粉炭容器中へ送入する空気中の湿度を任意に変えられることになる。

予熱管(D2)も内径 8 mm、長さ 2.0 m の銅パイプである。温度と湿度を調節された空気は、分流器(K)を通して全通気孔から粉炭容器内の粉炭中へ送られる。

(3) 試験手順

粉炭をバイブレータで振動を与えながら粉炭容器に充填する。粉炭容器の上蓋をパッキングと共に固定し、窒素ガスを送る。粉炭容器からの排気をガスクロマトグラフで分析し、容器内の空気が完全に窒素と置換されたことを確認してから、恒温室(A)、(B)を設定温度にして粉炭試料全体が均一温度になるのを待つ。粉炭の熱伝導率がきわめて低いために、粉炭試料全体が均一な温度になるまでに約 5 日間を要する(図 1.1.9 参照)。この窒素雰囲気における粉炭容器内の恒温化過程から粉炭の体積比熱が求まるが、これに関しては後述する。粉炭試料全体が恒温室(B)の設定温度に等しくなった時点で、空気の送入を開始する。排気をガスクロマトグラフで分析し、排気中の酸素濃度が極端に低下せぬ程度に通気量を調節する。粉炭容器内の温度上昇を熱電対で測定・観察し、温度上昇が認められなくなった場合、もしくは 300℃を越す高温が測定された場合には試験を終了する。

1.3.2 試験結果と考察

(1) 試験結果

恒温室(B)の設定温度を 45℃と 60℃の 2 水準として試験を実施した。粉炭容器内中心部(図 1.1.7 に於ける熱電対 No.6 及び No.7)の温度測定結果を図 1.1.8 中に実測値として示す。

図 1.1.8 から明らかなように、設定温度 45℃からの試験では、粉炭中心部の温度が最高 57℃に達したがその後温度上昇が止み、60℃からの試験では空気送入開始後約 150 時間で中心部が 300℃を越え発火に迄至った。

尚、粉炭容器の容積は 21.4 ℓであり、充填した粉炭の重量は約 16.0 kg/試験であった。

通気流量は約 2 ℓ/min から試験を開始し、徐々に増量して発火時には約 20 ℓ/min とした。

通気中の相対湿度は 95%に保った。その理由は炭鉱坑内で多くの自然発火が発生している区域での通気が 95%もしくはそれ以上の相対湿度を含んでいる事実、ならびに乾燥空気を送ると石炭からの水分の離脱が起り、蒸発熱がうばわれることになって、粉炭内部の温度上昇が低減すると考えられることである。

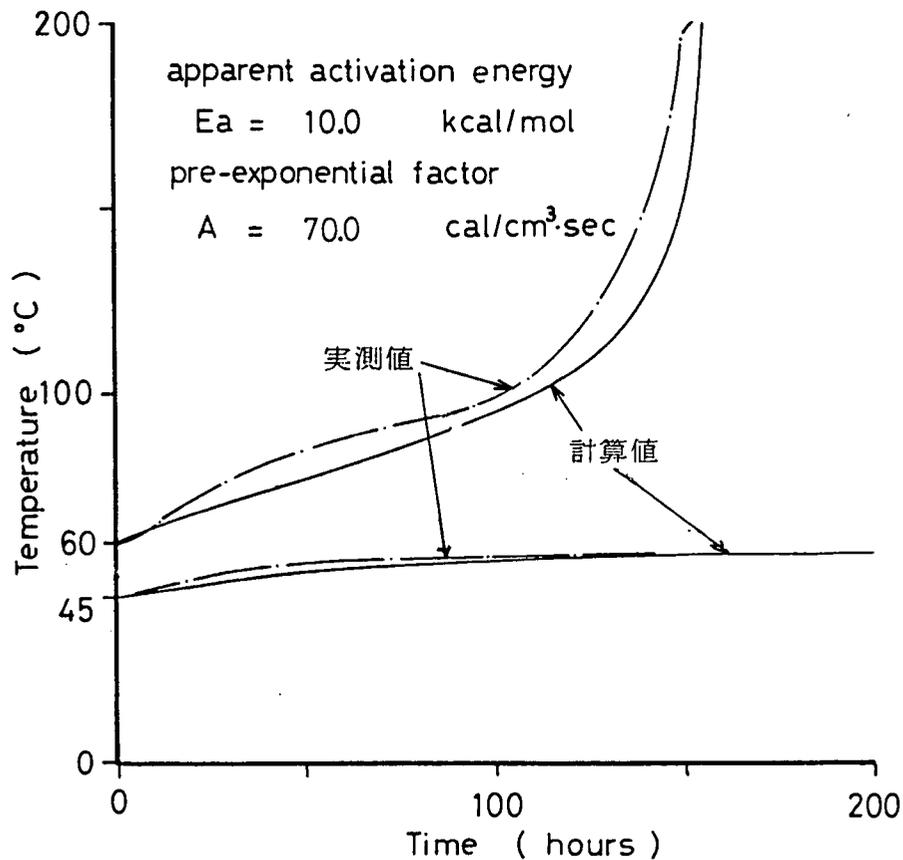


図 1.1.8. 粉炭容器中心部の温度上昇(実測及計算値)

(2) 考 察

① 理論的取扱い

石炭堆積体内部での熱収支、物質収支を考慮した蓄熱過程の理論解析は参考文献にゆずるとして、¹⁾

- i) 石炭組織と空気中の酸素との結合によって発生する熱が根本原因となり、石炭堆積体内部での蓄熱が自然発火を発生させる。
- ii) 特に常温付近では、自然発火はゆっくりとした現象なので、石炭粒子及びそれを取り囲む通気の温度は等しい。
- iii) 石炭と空気中酸素との反応速度は、温度の関数としてアレニウスの式で表現し得る。
- iv) 常温付近での石炭酸化では消費される酸素量は極めて少量であるので、通気による熱移動量及び通気中の酸素濃度の低下も近似的にこれを無視する。

との仮定もしくは近似のもとに、石炭堆積体内部の蓄熱過程を記述する最も単純化した基礎式は(1.1.2)～(1.1.4)式で与えられる。

直角座標では

$$S_m \rho_m \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda e \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + A e^{-\frac{E_a}{RT}} \dots\dots (1.1.2)$$

円筒座標では

$$Sm \rho_m \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_e \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \dots\dots\dots (1.1.3)$$

球座標では

$$Sm \rho_m \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_e \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \dots\dots\dots (1.1.4)$$

ここで x, y, z は直交座標での軸方向の距離を表わし、 r は円筒座標、球座標での半径方向の距離を表わす。

- さらに T : 温度 (K°)
 t : 時間 (sec)
 λ_e : 有効熱伝導率 (cal·cm⁻¹·sec⁻¹·deg⁻¹)
 E_a : 見掛けの活性化エネルギー (cal·mol⁻¹)
 R : 気体定数 (cal·deg⁻¹·mol⁻¹)
 A : 定数 (cal·cm⁻³·sec⁻¹)

であり、また

- S_f : 空気の比熱 (cal·g⁻¹·deg⁻¹)
 S_c : 石炭 " (")
 ρ_f : 空気の密度 (g·cm⁻³)
 ρ_c : 石炭 " (")
 ϵ : 空隙率

として、体積比熱 ($Sm \rho_m$) (cal·cm⁻³·°C⁻¹) は (1.1.5) 式であらわされる。

$$Sm \rho_m = S_f \rho_f \epsilon + S_c \rho_c (1 - \epsilon) \dots\dots\dots (1.1.5)$$

(1.1.2) ~ (1.1.4) 式を解くために必要な定数値は、石炭堆積体の体積比熱 ($Sm \rho_m$)、有効熱伝導率 (λ_e)、定数 (A) および見掛けの活性化エネルギー (E_a) となる。

② 定数値類の見積り

(i) 体積比熱 ($Sm \rho_m$)

粉炭の体積比熱 ($Sm \rho_m$) に関して取り得る値の範囲を検討すると、石炭の比熱 (S_c) に関しては多数の測定がなされ、L.C.MCCABE および C.C. BOLEY²⁾ によってまとめられているが、一般に 0.2 ~ 0.4 (cal·g⁻¹·°C⁻¹) 位の範囲にあるとされている。また石炭の密度 (ρ_c) は置換物質に水またはヘリウムを用いて測定した結果によれば 1.2 ~ 1.5 (g·cm⁻³) 位である³⁾。空気の比熱 (S_f) は 0.24 (cal·g⁻¹·°C⁻¹) 位、密度は湿りの程度にもよるが 1.2×10^{-3} (g·cm⁻³) 位である。(1.1.5) 式に基づき空隙率 (ϵ) をパラメータとして Sufco 炭 (C ≒ 70%) の体積比熱を計算してみると表 1.1.4 のようになる。

表 1.1.4 空隙率 (ϵ) と体積比熱 ($Sm \rho_m$) の関係

ϵ	$Sm \rho_m$ (cal·g ⁻¹ ·°C ⁻¹)
0.3	0.27
0.4	0.23
0.5	0.21
0.6	0.16

実測による見掛け密度は 0.75 g/cm^3 であり、Sufco 炭の比重を 1.5 とすると空隙率 (ϵ) は 0.5 位になるので、体積比熱 ($Sm \rho_m$) の値としては、表 1.1.3 から 0.21 (cal·g⁻¹·°C⁻¹) を

採用した。

(ii) 有効熱伝導率 (λ_e)

次に前述の如く、円筒型粉炭容器に粉炭を充填し、窒素ガスを送入して石炭の酸化反応を
防ぎながら、粉炭全体を均一な温度にする過程から粉炭の有効熱伝導率を求めた。

基礎方程式は

$$S_m \rho_m \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_e \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (1.1.6)$$

で表わされ、ここで

r : 円筒の半径方向の距離 (cm)

z : " 軸方向 " (cm)

である。

円筒型粉炭堆積体の温度が 12℃ (室温) の状態から、表面温度を 60℃ にして一定に保つ
た場合の粉炭堆積体中心部の温度変化の計算結果と実測結果を図 1.1.9 に示す。

(粉炭容器中心部の)

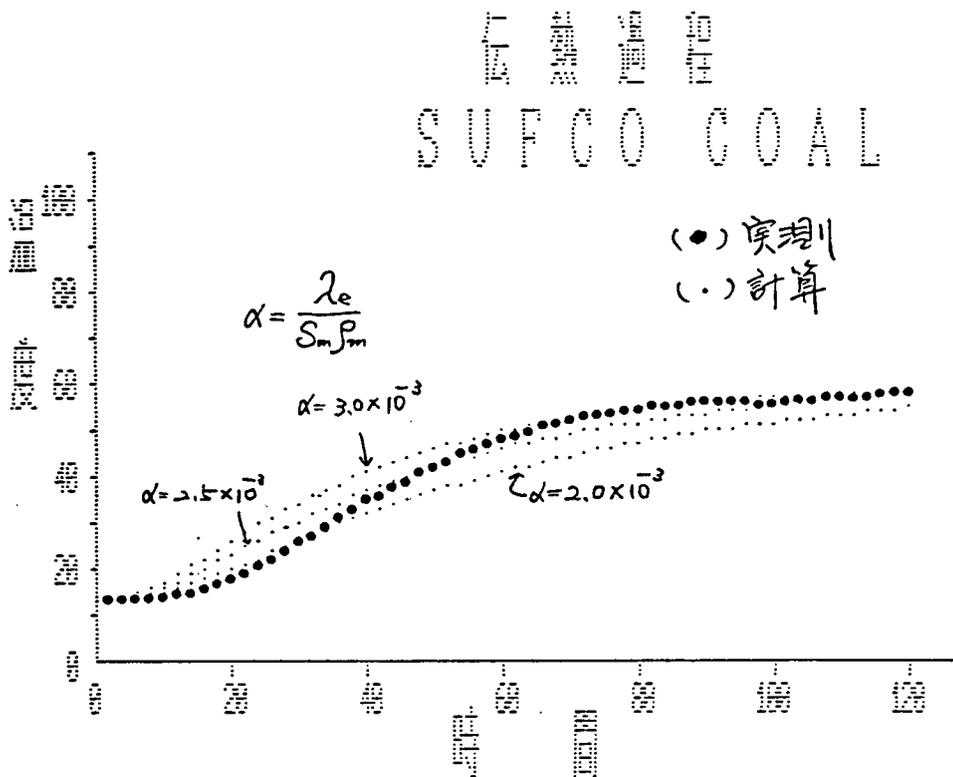


図 1.1.9 温度伝導率 (α) の見積り

上図中の実測値と計算値の比較から、粉炭堆積体の温度伝導率 (α) は約 $2.5 \times 10^{-3} (\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1})$ 、さらに体積比熱 ($S_m \rho_m$) が約 $0.21 (\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1})$ である所から有効熱伝導率 (λ_e) は $5.2 \times 10^{-4} (\text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1})$ 位の値であると考えられる。

(iii) 見掛けの活性化エネルギー (E_a) 及び定数 (A)

次に、これ迄に求めた諸定数を用い、45℃と60℃からの試験結果に比較的良く適合する見掛けの活性化エネルギー (E_a) 及び定数 (A) を、実測値と計算値の残差平方和が最小となるようにして定めた。

その結果によれば

$$E_a \doteq 10,000 \text{ (cal} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

$$A \doteq 70 \text{ (cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{sec}^{-1}\text{)}$$

となり、それら定数を使って実験結果を予測すると図1.1.8中の計算値カーブとなって、当然のことながら、実測値とほぼ近い値を示している。

尚、これらの試験及び計算に用いた境界条件は

$$T_{\text{表面},t} = T_{\text{表面},0} = T_0, \quad t > 0 \quad \dots\dots\dots (1.1.7)$$

(円筒表面の温度は T_0 で一定である)

初期条件は

$$T = T_0, \quad t = 0 \quad \dots\dots\dots (1.1.8)$$

(最初の温度は全体が T_0 で一定である)

と表わされる。

③ 温度の関数としての発熱速度について

温度の関数としての発熱速度 $q(T)$, ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{sec}^{-1}$) は、前節で求めた見掛けの活性化エネルギー (E_a) と定数 (A) を用いて、次式のように表わされる。

$$q(T) = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad \dots\dots\dots (1.1.9)$$

(1.1.9)式により求めた発熱速度を表1.1.5に、また比較のため国内炭のデータを表1.1.6に示す。

表1.1.5 Sufco炭の発熱速度 ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{sec}^{-1}$)

T	20℃	35℃	40℃	50℃	60℃	65℃
q (T)	2×10^6	5×10^6	7×10^6	11×10^6	18×10^6	23×10^6

表1.1.6 国内炭の発熱速度¹⁾

T	20℃	35℃	40℃	50℃	60℃	65℃
常磐	—	38×10^6	—	52×10^6	—	83×10^6
太平洋	—	27×10^6	—	48×10^6	—	120×10^6
大夕張	—	—	—	10×10^6	—	22×10^6

表1.1.5、表1.1.6の比較から、Sufco炭の発熱速度は、我国炭の大夕張炭並みかそれ以下であるといえる。

④ 自然発火に必要な限界炭量について

球座標に関する基礎式(1.1.4)に境界及び初期条件(1.1.7)、(1.1.8)を適用し、種々直径の仮想粉炭積体について数値解を求めると、自然発火に必要な限界炭量が初期温度ごとに求められる。

図1.1.10にその計算結果と、表1.1.7に用いた定数値を示す。

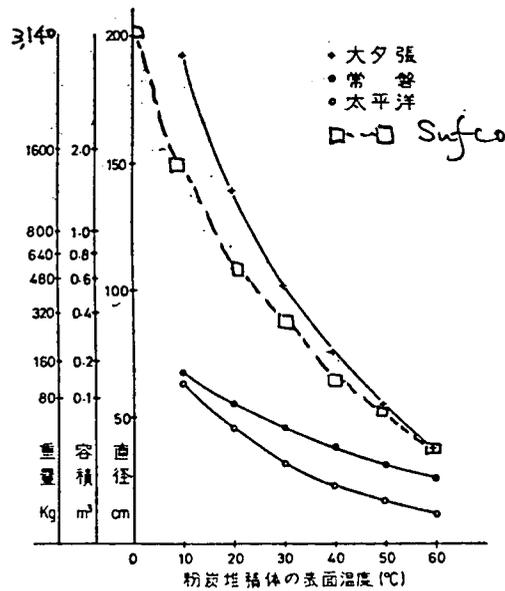


図 1.1.10 表面温度と自然発火し得る粉炭量との関係

表 1.1.7 粉炭の有効熱伝導率 (λ_e), 定数 (A) および見かけの活性化エネルギー (E_a) 測定結果

試料名	λ_e ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}$)	A ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{sec}^{-1}$)	E_a ($\text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$)
常磐	3.0×10^{-4}	2.4×10^{-1}	5.5
太平洋	2.7×10^{-4}	6.0×10^2	10.3
大夕張	2.6×10^{-4}	1.0×10^2	10.3

図 1.1.10 から, Suico 炭は常磐・太平洋といった国内炭に較べて, 石炭としては自然発火しにくい部類に属するものと考えられる。

もっとも, この考えは, 人為的に同一粒度に粉砕した石炭に関してのものであって, 実際の自然発火性には石炭の粉化性や環境が合せて論じなければならないことは勿論である。

⑤ 自然発火迄に必要な時間について

図 1.1.11 に初期温度ごとの自然発火必要限界量で球型モデルを仮想した場合の中心部温度上昇計算結果を示す。

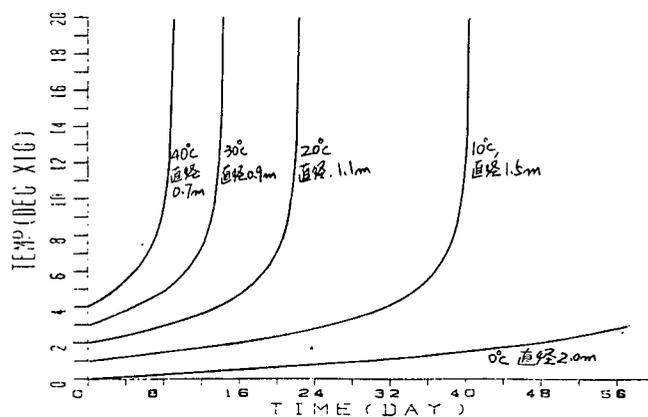


図 1.1.11 Suico 炭の自然発火傾向 (40 ~ 80 mesh)

1.3.3 中型試験の考察

参考のために田代氏による基礎試験の方法と結論について引用する。

(1) 実験方法

粉炭試料内に発生した酸化熱はすべてその内部に蓄積され、熱の逸散は全くないという条件を満たすように製作された図1.1.12のような装置で、60~150 mesh の石炭試料を用い、昇温測定を行っている。

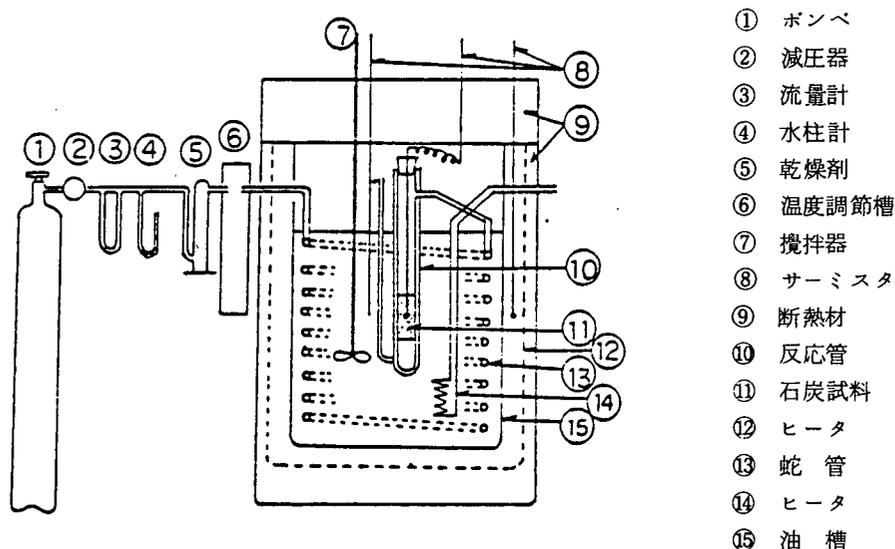


図 1.1.12 蓄熱時間測定装置

(2) 結論

炭種により昇温速度は異っており、初期温度60℃からの実験では、ほぼ2~50時間で140℃を越す急激な温度上昇が得られた。

また、この昇温曲線から、炭種ごとの昇温速度と温度との関係が求められた(後出図1.1.15, 1.1.16, 1.1.17)。

以上のような中型試験と基礎試験では、同一粒度に粉碎した石炭試料については同じ傾向を示すと考えて良い。

したがって、実用的には手間のかからない基礎試験だけで良いものと考えられる。

しかし、この様な基礎及び中間試験によって得られる各炭種の自然発火性は、あくまでも同一粒度(しかもかなり細かい)に粉碎したものについてであって、実際には粒度分布、おかれた環境条件が大きく作用することは言う迄もない。

参 考 文 献

1) 伊木・樋口 日本鉱業会誌

89 [1025], pp455~460, 1973

90 [1033], pp175~180, 1974

90 [1036], pp405~410, 1974

- 2) L.C.MCCABE, C.C. BOLEY; 「Chemistry of Coal Utilization 1」, New York, 1945, Chapter 7
- 3) 黒川真武他「石炭・石炭化学」, 工業化学全書, P 126

1.4 石炭の酸化抑制法及びボイラ排ガスによる酸化抑制試験

1.4.1 自然発火防止に適するガス・薬剤

ガソリン, 油脂類あるいはゴムなどが酸化によって品質を劣化させるのを防止するのに用いられていた有機薬剤を主とする抗酸化剤 (antioxidant) を石炭に使用しようという試みが登場しはじめのは, 手許の文献¹⁾によれば1940年前後からである。

現在までのところ, ただ一度の使用で石炭が酸化するのを完全に抑制しきれぬほどすぐれた薬剤や物質は見いだされていない。対象となる石炭そのものの性質, 堆積の状況, 浸透する空気中の酸素濃度や流速, 雰囲気条件たとえば温度や湿度などを調べて, 慎重に注入, 使用を繰返し, 石炭の酸化反応が臨界速度を越えてしまうことのないようにし, できれば堆積残炭量が燃焼 (反応) 継続するのに必要な最小量以下になるか, より確実なつぎの対策が終了するまで, 石炭の酸化反応の進行を抑えきることによって我慢するしかない。

自然発火過程に複雑に影響する貯炭場での堆積条件や炭層条件などを別にして, 石炭そのものを取上げては極めて不均質で, その物理的, 化学的性質が複雑である。その上, 石炭が空気中の酸素との間で當り反応も, 不均一反応で, 多くの仮定をおいて簡単化された状況下でようやく説明がなされている程度でしかない。

現在までのところ抑制剤の開発研究にあたって, 種々の薬剤や物質を使用し, 石炭の着火温度, 酸化反応過程での酸素消費量, 酸化による生成ガスあるいは反応速度常数などの変化を測定して, 実験的にその効果を確認し, いわゆる試行を繰返して最良のものを見いだそうとしているのが現状である。

これまでの研究や経験から, 石炭の自然発火抑制に利用しうる好ましい性質を数え上げればつぎのようである。

- (1) 石炭表面を強じんな抗酸化性の被膜で被覆でき, 直接空気中の酸素が石炭表面へ到達するのを防ぐ。
- (2) 酸化昇温の過程で, できるだけ低い温度で, たとえば保有する水分を放出したり, 分解や昇華などによって持続時間の長い, 大きな吸熱反応を営み, 雰囲気温度の上昇をおさえるなど反応を促進させる環境のポテンシャルの高まりをおさえる。
- (3) 分解時に, たとえば二酸化炭素などの不燃性ガスを放出し, 反応雰囲気内の酸素濃度を低下せしめる。
- (4) たとえば, 大きな熱容量をもつか雰囲気内の熱伝導率を高めるかして, 酸化による熱の蓄積を妨げる。
- (5) その使用によって石炭の燃焼特性を大きく阻害しない。
- (6) 分解によって人間に有毒なガスの発生がない。

これまで, 実験室的 (一部現場実験をされて効果を挙げたものもある) に使用された抑制剤を大別すると, i) 有機薬剤, ii) 無機薬剤, および iii) 不燃性無機物質などである。

有機薬剤については, 期待された抑制作用は不明確であるが, それを使用して石炭中の H/C, O/C の値, 発熱量, 粘結性などの貯炭時間に伴う変化, 酸素消費量や一酸化炭素生成量への影響, あるいは着火温度上昇効果などが測定された。

波止²⁾等は, 界面活性剤の表面被覆性を利用し, 石炭表面への酸素の接近を妨げることをねらっ

て、石鹼、ニュー・レックス、ラビゾール80及びサランラテックスを用いた実験を行い、サランラテックスの効果が注目されることを述べている。

その後、栗原、田代³⁾等やE.A.C. Chamberlain⁴⁾等も、たとえばダイヤボンTなどが消費酸素量や酸化生成ガス量などの面で抑制効果が期待できることを明らかにしており、大塚等⁵⁾は、最近22種の界面活性剤を使用して、昇温過程下での着火温度、試料炭の温度が100℃から200℃に達するまでの所要時間への影響、石炭による効果のちがい、及び昇温過程での薬剤の挙動などをしらべ、ニューポールPE75やPEG2000などが、石炭の種類(ここでは赤平炭と松島炭)にかかわらず有効な抑制作用をあらわすこと、雰囲気温度が低く、薬剤の濃度が高いほど有効であるあとを示した。

無機薬剤については、A.I. Khri sanofova等¹⁾が石炭を重炭酸カルシウムの飽和溶液で処理し、それまでは1.5~2ヶ月ほどの期間でしかなかった貯炭期間を、12ヶ月以上に伸ばし、その作用は酸化昇温過程での薬剤の分解とそれに伴う炭酸ガスの発生が、石炭表面への酸素の接近を妨げ、酸化による中間生成物の除去を促進することに基因することを明らかにした。

E.A.C. Chamberlain等⁶⁾は、Ammonium Hydrogen Tetraborate、クイ酸ナトリウム、Sodium Pentachlorophenol および塩化カルシウムなどを固形(粉末状)または濃度をかえた水溶液として使用し、特にAmmonium Hydrogen Tetraborate や塩化カルシウムの抑制効果の高いことを述べ、鈴木等⁷⁾は塩化マグネシウム(苦汁)やベントナイト、石灰などを単独または混合して使用すれば、石炭の酸化過程で温度上昇をおさえる効果が高く、抑制剤としてすぐれた効果が期待できることをのべている。大塚等⁸⁾も、炭酸ソーダ、塩化ナトリウム及び塩化マグネシウムを単独に使用した時は、着火温度への影響から塩化マグネシウムが最もすぐれた効果をあらわすこと(この薬剤については海水中から採取した苦汁を常磐炭鉱、磐崎鉱で実際に使用し、極めてすぐれた抑制効果が認められたが、高温分解過程で塩素ガスの発生が認められた)。使用量が多い程効果が大きいこと。石炭の種類によって効果に差のあることなどを明らかにしたほか、単独でも可成りの効果が期待できる2種の薬剤を混合した時の薬剤の相乗効果を期待して行った実験⁹⁾で、塩化マグネシウムと塩化カルシウムを混合した時、最大の相乗効果をあらわし、塩化マグネシウムと硼酸を混用した時が、石炭の種類(磐崎炭、大夕張炭及び大之浦炭)をとわず最も大きな着火温度上昇効果が得られたことなどが報告されている。

不燃性無機物質としては、最も普通には防爆用岩粉、粘土、ベントナイト、フライアッシュあるいはセメントなどが考えられ、水と共に泥水の状態で注入、塗布される材料として、石炭に用いられた時のそれらの混合物の燃焼特性が考察された。¹⁰⁾

これらの物質は、本来不燃性を示し、可成りの量を使用すれば、全体として燃焼性(反応性)が低下するほか、大きな熱容量や熱伝導率の変化を示すようになり、反応熱の蓄積に影響を示すようになる。しかし、その後の石炭の使用に問題をのこす。ベントナイトは可成りの水分を含み、昇温過程でそれを放出して吸熱反応を営むことも確認されており、¹¹⁾その点では使用の方向如何では、いわゆる不燃性無機物質と異った効果も期待できる。

以上抑制剤について概略を述べた。現在の処、実験室的な結果をそのままスケールアップして薬剤の効果を期待することは極めてむずかしい。確実に効果の判定が可能な方法を見いだすと同時に抑制作用そのものについて、さらに研究をして有効なものの開発に努力しなければならない。

参 考 文 献

1) Yohe G.R. : Coal oxidation and antioxidant Test

- 2) 波止, 鈴木: 磐崎坑における坑内自然発火の防止対策に関する研究(第3報), 薬品による自然発火の抑制について, 常磐技報保安篇特輯第2号, 昭和33年4月 P1~12
- 3) K.Kurihara, J.Tashiro: Prevention of spontaneous heating of coal by solution of surface activity agent, International Cong. of Safety in Mines Research, Tokyo, 1969
- 4) E.A.C.Chamberlain, 他: The ambient temperature oxidation of coal in relation to the early detection of spontaneous heating. Part II, The Mining Engineer, vol 132, No152, P387~399
- 5) 大塚, ほか: 石炭の酸化反応に及ぼす界面活性剤の影響, 自然発火抑制のための炭壁注入剤の研究(第1報), 日鉱誌, vol 98, No1135, P939~946
- 6) E.A.C.Chamberlain, 他: 上掲4)
- 7) 波止, 鈴木: 常磐炭鉱における坑内自然発火の防止対策に関する研究(第6報), 薬品塗布による坑内自然発火抑制に関する結果について, 常磐技報保安篇特輯(第4号), 昭和34年9月, P5~11
- 8) 赤尾, 佐藤, 大塚: 二, 三の無機薬剤が石炭の着火温度におよぼす影響について, 日鉱誌, vol 74, No837, P159~163
- 9) 赤尾, 佐藤, 大塚: 石炭の着火温度におよぼす無機混合薬剤の影響, 常磐技報保安篇特輯(第4号), 昭和34年9月, P13~18
- 10) 波止, 鈴木: 常磐炭鉱における自然発火防止対策に関する研究(第8報), 坑内自然発火抑制材料とその混合比について, 常磐技報保安篇特輯, 昭和35年6月, P1~9
- 11) 大塚: 自然発火抑制のための炭壁注入剤の研究 — その抑制作用について — 日鉱誌, vol 78, No889, P511~517

1.4.2 ボイラ排ガスによる石炭の酸化抑制試験

石炭の酸化は, 石炭の表面への酸素の到達と吸着ではじまり, その反応速度は酸素濃度と関係する。したがって含まれる酸素のほとんどが燃焼に使用され, 炭酸ガスや窒素分の多くなっている燃焼排ガスは, その助燃性を失っていて, 石炭を酸化せしめる能力は, 可成り低下しているであろうことは当然考えられる。

これまでも, 例えば炭酸ガスを用いて, 石炭や鉱石の酸化を抑制しようという試みや, 密閉内自然発火の終息のため液体窒素やドライアイスなどの使用も行われて, それなりの効果が評価されている。

今回石炭を燃焼させて得た排ガスを用い, 石炭の酸化反応にどの程度の影響をあたえるかを知り, それが船倉内に堆積される石炭の自然発火抑制に利用可能かどうかの目的を得るための実験を行った。

実験に用いた試料炭は, 三池炭, 太平洋炭, 大同炭, サフコ炭及びエルメロ炭の5種で, その工業分析値は, 表1.1.8の通りである。

表1.1.8

成分名	石炭名	三池	太平洋	大同	サフコ	エルメロ
水分%		1.7	6.0	8.0	10.0	8.0
灰分%		8.8	14.6	10~12	10.1	16.0
揮発分%		41.6	41.4	25.0	38.5	25~32
固定炭素%		47.9	38.0	—	46.5	49~56
発熱量kcal/kg		7,720	6,220	6,800	6,500	6,700

実験には、本研究室でこれまで使用している特定雰囲気下での時間経過に伴う酸素消費量、一酸化炭素及び炭酸ガスの生成量を測定して石炭の酸化反応を観測してきた定温流通反応方式の装置を用いた(図 1.1.13)

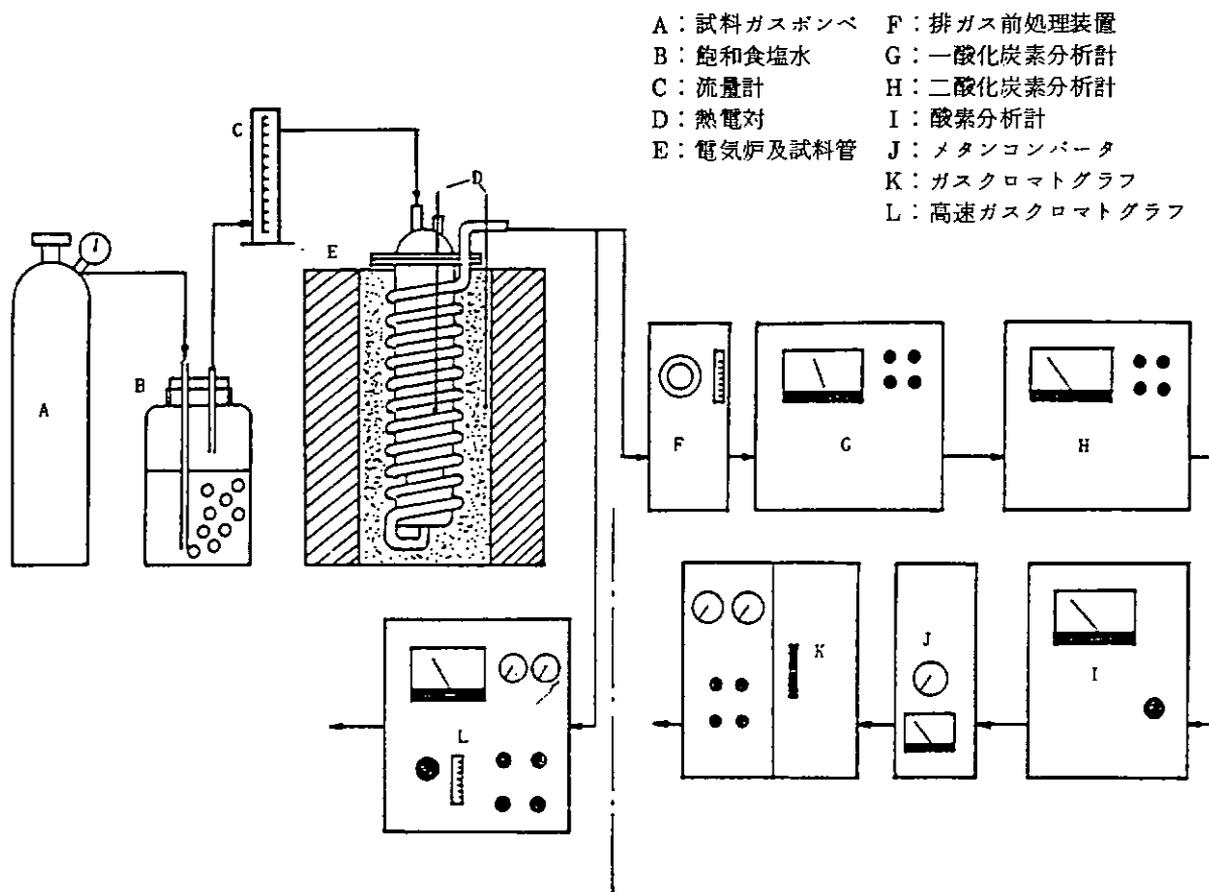


図 1.1.13

燃焼排ガスを直接実験に供することができなかったので、ストーカだきのボイラの排ガスの1例として乾き燃焼ガス容積百分率組成、すなわち

(CO_2 : 13.96%, SO_2 : 0.02%, O_2 : 6.07%, N_2 : 79.95%)

を参照して、人工的に

CO_2 : 13%, O_2 : 6%, N_2 : 81%

このほか O_2 : 20.6%, N_2 : 79.4% の人工空気でも実験を行い結果の検討に利用しようとした。

実験はできるだけ低い雰囲気温度で実施しようとし、40℃と60℃を予定したが、予備実験の結果、40℃では設定した反応条件への、準備は比較的容易に行われたが、結果を得るまで、いかえれば目的とした CO や CO_2 などの酸化生成ガスが高い精度で測定可能な濃度に達するまで、極めて長い時間を要し、限られた時間内での予定の回数を実験することが不可能となったので、やむを得ず雰囲気温度を60℃と80℃に設定した。

石炭は、予め粉砕して、10~20 mesh の粒度にそろえ、それぞれの実験に100gずつ用いた。流されたガスの量は、その種類や条件をとわず $200 \text{ cc}/\text{min}$ の割であった。

石炭を反応管につめ窒素雰囲気下で電気炉で常温から規定の温度まで10時間ほどの時間をかけてゆっくりと上昇させた。それぞれの温度に達したあと数時間そのままにして、それぞれのガスに

切換え、12時間ずつ観測をした。

切換え直後から生成される一酸化炭素と炭酸ガスの濃度を、それぞれ専用の分析計で分析し、高速ガスクロでチェックした。

一酸化炭素は、使用されたガス中に含まれていなかったのと、その生成量が微量であったので、PPM濃度で測られたが、炭酸ガスは人工空気を用いた時にはPPM濃度ではかられ、排ガスを用いた時にはppm値で測定された。

1.4.3 試験結果と考察

得られた結果は表1.1.9に一括して示した。

表1.1.9

石炭	流通ガス 酸化生成ガス 雰囲気温度	湿り人工空気 ()内は相対湿度		湿り排ガス ()内は相対湿度		乾き排ガス	
		CO(p.p.m)	CO ₂ (p.p.m)	CO(p.p.m)	CO ₂ (%)	CO(p.p.m)	CO ₂ (%)
三池	60℃	(49.5%) 1.3	-	(52.5%) 4.1	(52.5%) 12.7	4.4	13.3
	80℃	-	-	(67.1%) 4.2	(67.1%) 13.4	6.2	13.2
太平洋	60℃	(60.8%) 6.2	-	(49.6%) 4.6	(49.6%) 13.0	7.4	13.2
	80℃	-	-	(56.3%) 17.6	(56.3%) 13.3	24.4	13.3
大同	60℃	(47.6%) 3.2	-	(55.7%) 6.5	(55.7%) 13.4	7.9	13.1
	80℃	-	-	(50.9%) 13.5	(50.9%) 13.4	18.6	13.1
サフコ	60℃	(48.9%) 10.2	-	(73.9%) 6.3	(73.9%) 13.3	6.1	13.3
	80℃	-	-	(54.9%) 12.1	(54.9%) 13.5	26.9	13.0
エルメロ	60℃	(52.5%) 2.7	-	(58.2%) 5.0	(58.2%) 12.7	6.6	13.2
	80℃	-	-	(60.0%) 9.2	(60.0%) 13.2	14.8	13.2

表1.1.9における湿り人工空気、湿り排ガスとは、実験にあたってガス中に含まれる水分の影響を考慮し、加湿された人工空気、または燃焼排ガスのことである。

提供された湿り燃焼ガス容積百分率は、

(CO₂: 12.88%, H₂O: 7.74%, SO₂: 0.02%, O₂: 5.60%, N₂: 73.73%)

であったが、本研究室には加湿、定湿装置を持ちあわず、流される排ガスに常に一定の水分を保持させることができなかつた。そのため湿り人工空気や湿り排ガスを得るため、さきにあげた乾き燃焼ガス容積百分率組成を基準にして調整した人工排ガスと人工空気を飽和食塩水を入れた大きな容器のポリエチレンびんを通過させた。その結果は表中の相対湿度として示してある。絶対水分量で示す方が厳密と思われるが、要因量の測定が間に合わなかつたので計算できなかつた。

表中に示した数値のうち、湿り人工空気を用いた時の炭酸ガス濃度はエルメロ炭の場合、切換え後3時間30分で、60PPMほどの濃度に達し、それ以後実験が終了するまでの間55PPMから62PPMの間で変動し、ほとんど一定で推移したが、大同炭のように切換え直後3時間ほどで、最大値74PPMに達し、以後次第に減少して全く測定されなかつたものや、サフコ炭のように切換え後8時間ほど経過して漸く測定可能となり、実験終了時まで次第にその濃度を増して110PPMに達したものなどがあり、同様に酸化生成ガスと考えられる一酸化炭素にくらべて極めて複雑な挙

動を示した。

これに対して、検出された一酸化炭素は人工空気の時も燃焼排ガスの時も、切換え後3時間30分ほど経過すると、石炭やガスの種類および条件によって、その値に大小はあるが、一定と思われる値を中心にばらつき、実験終了まで続く。それで今回は切換え後3時間30分後から実験終了までの値の平均値を計算して表に示した。

湿り排ガスと乾き排ガスを使用した時も、同様の理由で平均値である。

流された排ガスの組成・湿り度のいかに問わず、いずれの場合も一酸化炭素が検出された。したがって、どの場合も酸化の能力を完全に失っているとは考えられない。サフコ炭をのぞいて、同じ雰囲気温度では湿り排ガスに比べて乾き排ガスの方が、その差は極めて微量であるが一酸化炭素濃度が高くなっている。このことは相対湿度で信頼性は十分とはいえないが、湿った状態で排ガスを使用する方が抑制能力が大きいといえる。

同じ相対湿度をあたえることができなかつたので、確からしさは低くなるが、排ガスは湿っていても乾いていても雰囲気温度の方が酸化反応抑制を考えると、より重要な要因となり、高いほど一酸化炭素濃度を高める。

湿り排ガスの時、温度によって顕著に一酸化炭素濃度が変わり、反応性が大きくなると考えられるのは、太平洋炭で、大同炭、サフコ炭がこれについている。乾き排ガスの場合は、サフコ炭で4.4倍、太平洋炭で3.2倍となり、それぞれ絶対濃度も27 PPMと25 PPMとなる。大同炭やエルメロ炭がこれに続く増加高を示すが、絶対量は20 PPMを超えていない。

これまでの結果から、実験に供した5種の石炭のうち最も安定していて排ガス雰囲気内で十分安全であろうと思われるのが三池炭であり、太平洋炭とサフコ炭が最も危険である。

総括的に述べれば、雰囲気温度が60℃以下の時は、湿り人工空気でも、湿り排ガスでも、酸化反応の結果と考えられる一酸化炭素が検出されるが、その絶対値は10 PPMを超えることがほとんどなく、実験誤差範囲と考えられ、両者の異差は認められなかつた。つまり酸素が6%程度では石炭の酸化に及ぼす影響に差がないことになる。80℃を超えると湿った排ガスでも乾いた排ガスの状態でも検出される一酸化炭素の量が高くなり、60℃の場合の4倍を超え、湿った状態の2倍を超えるものが認められ、その絶対値も30 PPMに近くなる等酸化反応の展開を考慮しなければならなくなる。すなわち、温度が高くなると酸素濃度が6%ほどの燃焼排ガスでも酸化能力を無視できなくなる。

結局6%程度の酸素の排ガスでは、石炭の酸化抑制にはあまり効果がなく、さらに酸素濃度の低い排ガスが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) たとえば、：銅精鉱の自然発熱性およびその防止方法：日鉱誌，氷上 vol 58，No 687，P 438～457

1.5 ま と め

1.5.1 選定炭種の試験データのまとめと危険性の判定

(1) 選定炭種の試験データのまとめ

1.2の石炭の発熱特性の測定における発熱速度曲線は、(1.1.1)式で示され、実測によって求められた係数值、表1.1.2の係数を用い、(1.1.1)式によって求められた発熱速度は、図1.1.14に示すような結果を得た。

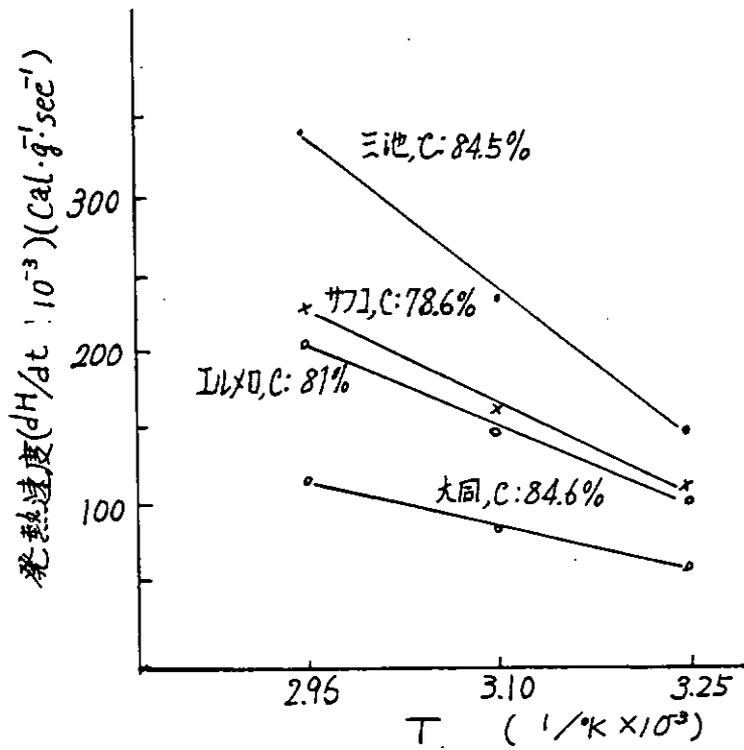


図1.1.14 各種炭の温度と発熱速度の関係

また 1.3 図 1.1.1 2 の試験装置による石炭の自然発火試験の結果及びそれに類似の試験結果から得られた各種炭の温度と昇温速度の関係は図 1.1.15 となる。

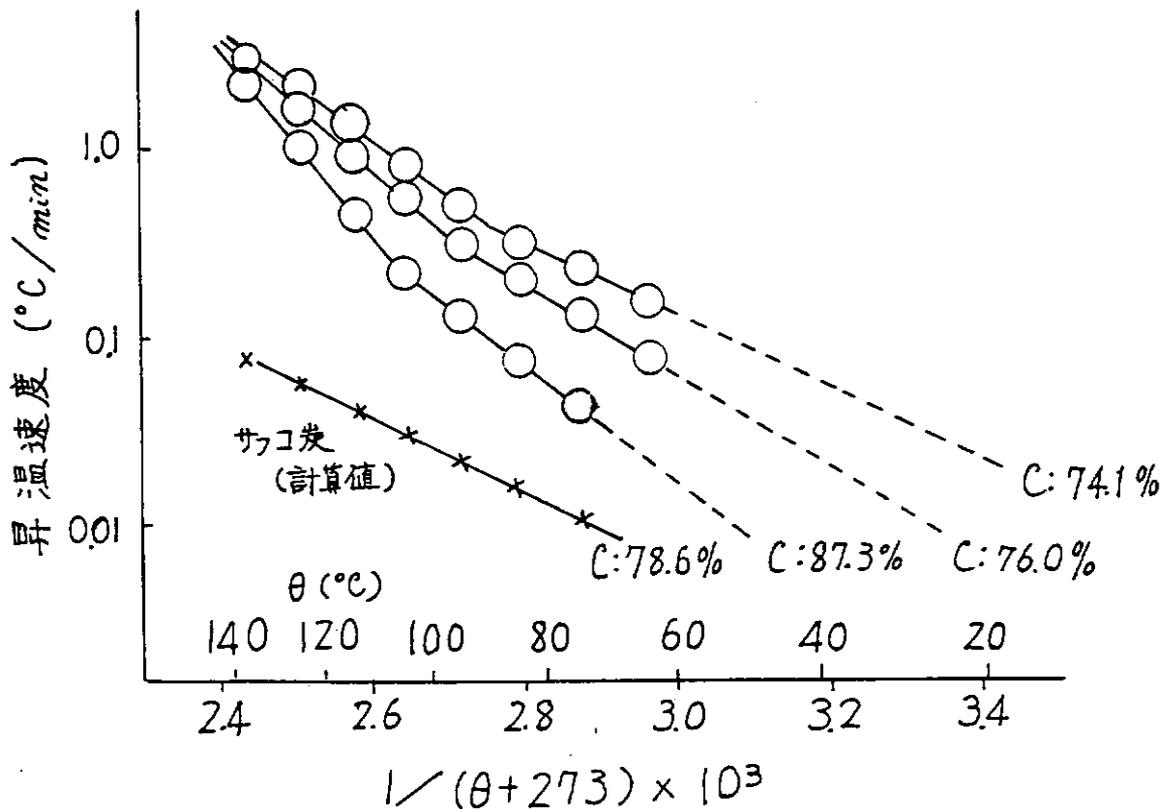


図 1.1.15 各種炭の温度と昇温速度の関係

これらの図より炭化度と発熱速度及び昇温速度との関係は認めにくいようである。

(2) 自然発火所要時間の推定法

(a) 乾燥試料炭の温度時間曲線

1.3の試験結果及びその考察から、石炭化度の異なる11炭種、太平洋炭、本岐炭、高松炭、美唄炭、砂川(B)炭、赤平炭、芦別炭、歌志内(A)炭、豊里炭、歌志内(B)炭及び大夕張炭とSufco炭についての温度時間曲線を図1.1.16に示す。

しかし、自然発火性を評価するには、さらに粒度、粉碎性及び通気等を考慮する必要がある。

(b) 湿潤試料炭の温度時間曲線

藤田炭、高松炭及び三池炭の水分含有量に変化したときの温度時間曲線を図1.1.17に示す。
この図のグラフの数字は、酸素の送入開始時における石炭の水分含有量(固有水分ではない)

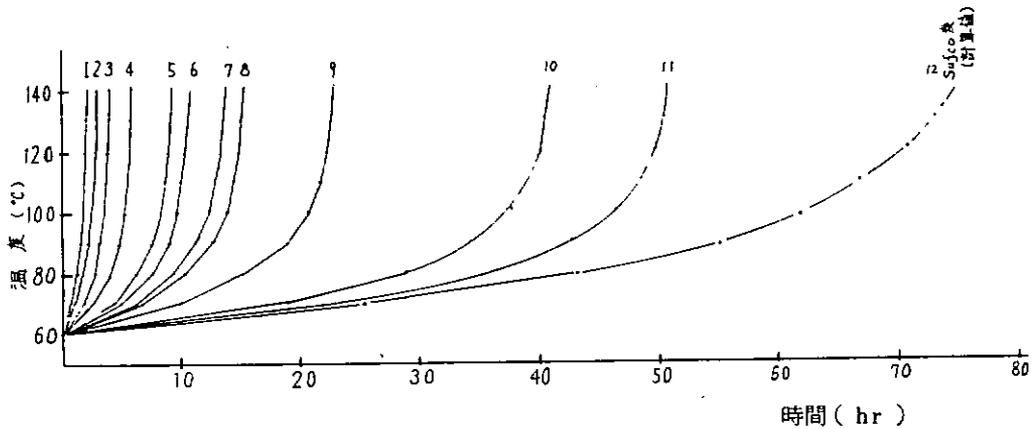


図1.1.16 乾燥試料の温度時間曲線
(断熱状態の乾燥炭, O₂気流中)

自然発火性	番号	炭種名	炭素含有量(C%)
しやすい ↑ ↓ にくい	1	太平洋炭	74.1
	2	本岐炭	74.9
	3	高松炭	76.0
	4	美唄炭	78.3
	5	砂川炭(B)	81.2
	6	赤平炭	82.1
	7	芦別炭	83.6
	8	歌志内炭(A)	84.3
	9	豊里炭	84.3
	10	歌志内炭(B)	86.5
	11	大夕張炭	87.3
	12	Sufco炭	78.6

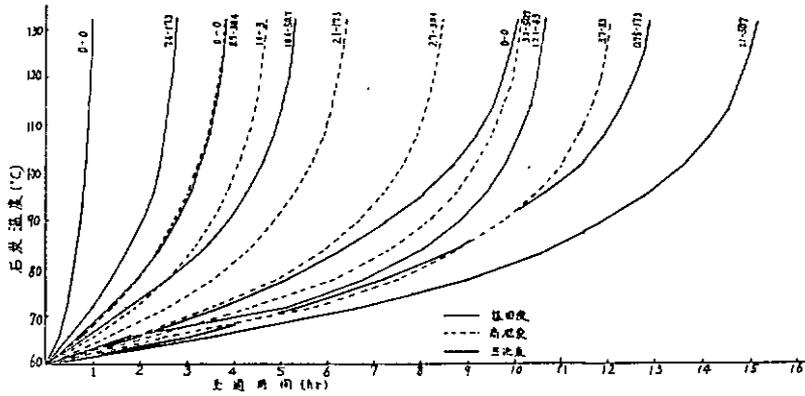


図1.1.17 湿潤試料の温度時間曲線
(水分含有量は石炭の固有水分を蒸発させた)

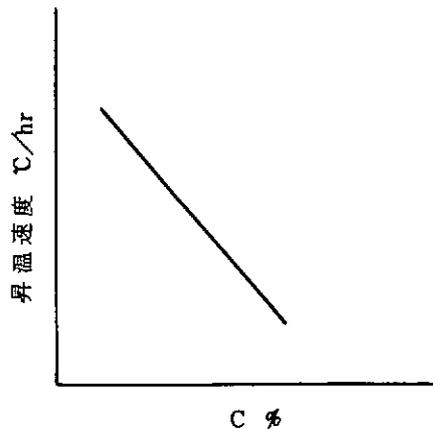
と送入した窒素および酸素の絶対湿度 (g/m^3) である。例えば図で藤田炭の最も右端の曲線の 1 2.1 - 8 3.0 という数字は、試料に毎分 4 0 CC のある湿度をもった窒素を 1 8 時間試料に通し、石炭の水分含有量を 1 2.1 % まで減少させ、送入している窒素を、同流量、同湿度の酸素に切り替える。この送入した窒素及び酸素の湿度が 8 3 g/m^3 を意味する。したがって 0 - 0 は、水分含有量 0 の乾燥石炭に湿度 0 の乾燥窒素、乾燥酸素を送入した場合である。

いずれの炭種においても、乾燥炭に乾燥酸素を送入した場合が最も短時間で昇温しており、湿度は昇温をおくらせる傾向のあることが示されている。

しかし乾燥炭に湿潤空気を送ると発熱が促進されるとの考えもあり、今後の研究が必要である。とにかく図 1.1.16 のデータを使用して考察を進めることは、最も危険な条件下において判断をしていることになる。

(3) 酸化昇温特性の推定について

石炭の炭化度 (炭素含有量) から、下図のような関係を見出し、C (%) から酸化昇温特性を



推定することを目指したが、図 1.1.14 のアレニウスプロットで明らかなように、選定 4 炭種に限っても、その炭素含有量 C (%) と発熱速度 dH/dt の間には、一定した傾向が認められず、上図の様な関係を見出すことはできなかった。

今回の試験結果のみからいえば、炭素含有量から酸化昇温特性を推定することはできないと結論される。

1.5.2 安全性評価基準

下記の項目につき、自然発火が起り易いか否かの判定の目安となる指標または数値は、次のように考えられている。

- (1) 固有水分：一般に固有水分と自然発火の関係は、揮発分や酸素含有と自然発火との関係とほとんど同じ傾向と考えてよく、固有水分が多い石炭（若い炭）は自然発火し易いとして差支えない。ただし固有水分が1～3%程度のものに自然発火するものがある。
- (2) 固定炭素：一般に固定炭素量の低い石炭程、酸化昇温速度が速いという傾向をもっている。
- (3) 揮発分：一般に揮発分が3.6～3.7%程度までは、揮発分含有量に比例して酸素吸収量が増加する。それ以上になると、この関係は不規則になるが、酸素吸収量が著しく減少するという事ではない。
- (4) 酸素含有量：一般に酸素含有量が9～10%までは、酸素含有量に比例して酸素吸収量が増加する。それ以上になると、この関係は不規則になるが、酸素吸収量が著しく減少するという事ではない。
- (5) 硫黄含有量：一般にバイライトの型で含有している硫黄は、石炭の発熱を促進する。特に2%を超える石炭に対しては慎重に取扱う必要がある。ただしバイライトは、石炭の発熱に対して2次的な役割を果しているに過ぎないから、バイライトが少くとも自然発火し得る。
- (6) 採炭後の経過日数：石炭の新し面が空気にさらされて後5～10日目まで、酸素吸収量が著しく早い。これは、石炭を新たに積換えた後10日目位までに発熱することが多いことを意味する。採炭後は80～120日の石炭に自然発火が多いとされている。
- (7) 石炭の破碎性：石炭の酸素吸収速度は粒度が小さくなるにつれて速くなり、0.5mm程度になると最大値を示し、それより小さくなくても変らない。それゆえ一般には石炭の破碎性と酸素吸収速度は関係があり、破碎性が高くなる程自然発火しやすいといえる。
- (8) その他：外的要因としては、環境の温度、湿度、酸素、濃度及び石炭の堆積状態に関係する。温度や酸素濃度が高い程自然発火しやすく、湿度については、石炭の湿分と大気の湿度の差と微妙な関係をもっている。また堆積状態については、内部への酸素（空気）の流入を防止する程度、及び堆積量が自然発火に関係し、前者は酸素の流入を防げば防ぐ程自然発火しにくくなり、後者は堆積量が増加する程自然発火の危険が増加するといえる。

1.5.3 自然発火防止原理

(1) 自然発火の早期発見

自然発火の早期発見のためには、石炭中の温度を測定する方法と、石炭の温度が上昇するにつれて発生する微量ガス成分（特にCO）を測定する方法がある。これらの測定は連続的に行うことが重要で、必要なセンサー等は既に開発されている。両者を併用すれば、より確かな自然発火の早期発見が期待できよう。

さらに人間の五感により、臭気、石炭の発汗あるいは異常な乾燥、水蒸気の発生等を発見した場合には、自然発火の疑いをもって精査する必要がある。

(2) 貯炭方法

貯炭ホッパ内部、輸送パイプ中及び石炭を抜き出す装置内部等は、石炭が付着しないあるいは

は溜らない構造とし、もし石炭が付着あるいは溜れば、すみやかに取り除く。

貯炭ホッパ内部は可能な限り突起部や障害となるような設備は設けず、またホッパのそばに高温体となるものを設置しない。

貯炭ホッパ等に石炭に投入する場合、できるだけ低い位置から石炭を流し込み、粉炭と塊炭（同じ粒度では細かいものと比較的粗いもの）が偏積して、一定箇所には塊炭（粗いもの）が集まるものを避ける。使用石炭は、混炭したものを避け、貯炭する時木片、なわ屑及びぼう切れ等異物が混入しないようにする。可能であれば、貯炭ホッパ、ビン等の内部は、不活性ガスあるいは酸欠ガス等の雰囲気とする。

貯炭に酸化抑制剤を撒布する方法も自然発火の抑制としては有効であるが、装置の材質と薬材の関係を調査して使用しなければならない。

(3) 消火方法

発熱し初めた時、あるいは温度が上昇した石炭を冷却するために扇風機等により強制通風をしてはならない。丁度ふいごの様に発火を促進することになる。

一度止めた設備の内部は清掃して残存した石炭を除去し、再運転は、特に自然発熱をしているところがないか否か確認後でなければ行なってはならない。赤熱した石炭に急に空気を送ると爆発することがあるからさげねばならない。

水により消火する場合には、短時間に大量の水を使用する。少量の水ではかえって逆効果になることがある。水のかわりに、10倍程度に薄めた海水を使用することは効果がある。

不活性ガスにより発熱した石炭の貯炭ホッパを密封することは効果のある消火法である。ホッパの上部から不活性ガスを注入する場合は、CO₂あるいはドライアイスを使用するのが好ましい。

2. 船内における自然発火の可能性と船内設備のあり方

2.1 船内における自然発火の可能性

自然発火現象は、石炭の内的要因（石炭の物理的性質、化学的性質）と貯炭の外的要因（貯炭の雰囲気、堆積状態）が関与するが、実際の貯炭では、前者よりも後者による要因の方が大きく影響する。

従って、自然発火防止のためには、貯炭の管理が非常に重要となる。

以下、船用における石炭の内的要因及び外的要因から自然発火の可能性を考察する。

2.1.1 石炭の内的要因

一般には若い石炭、即ち炭化度が低い石炭は、酸化崩壊し易く発火し易い。

又、これが乾湿の繰り返しを受けると一層崩壊し易くなり、最も発火し易い状態となるので注意を要する。

なお、瀝青炭においても固有水分を多く含んでいる石炭は一般には発火しにくいとされているが、固有水分と空気中の水分との差が大きいと自然発火しやすいので注意を要する。

この様に、石炭の基本性状と酸化崩壊性の間には、相関々係が見い出せるので、設計前に使用される石炭の基本性状を調査し、その炭質に適した対策が設計に反映することができるので、炭質に起因する自然発火の可能性は非常に少ない。

2.1.2 貯炭の外的要因

船用の貯炭・運炭系統は図1.1.18に示す通り、一般には、石炭は陸上より船内コールバンカーに揚炭され、空気式又はコンベア式の運炭装置により、デーリーサービスホッパに移送されてから、ボイラに給炭される。

この行程において、自然発火の可能性が考えられるのが、貯炭行程である。

船内での貯炭は、密閉槽貯炭法であり、酸素の供給が陸上の野積に比べて、少なく、石炭は酸化しにくい。しかし一方、一旦酸化して発熱すると空気の流通が悪いため、放熱しにくく、昇温が速く又、空気漏洩箇所があると周囲から空気を吸引し、発火に到り易いことも考えられる。

コールバンカー内の自然発火しやすい箇所として、次の様な所が考えられるので、設計及び取扱い管理には充分注意する必要がある。

- (1) 貯炭表面から0～2 mの深さ
- (2) 払出口底部
(払出口弁から空気侵入による煙突効果あり)
- (3) 粒度の偏析部
(山と山との中間部及び側壁部)
- (4) 壁面近傍
(水滴や酸素が侵入し易い。汚れやタール分により粉炭固着も多い)
- (5) 滞留し易いコーナ部
- (6) 払出し運炭ラインの故障により、石炭が長期滞留した場合のその部分
- (7) 受熱又は乾燥化し易い部分
(壁面近傍に発熱源が配置されているような場合)

石炭だき船の一例

75,000 DWT. Bauxite Carrier
 Main turbine 19,000ps × 1基
 Main Boiler (ストーカだき) 35 t/h × 2基
 (evap.)

一航海 11日
 石炭粒度 最大粒径 32mm
 19mm以下のものが95%であること
 7mm以下のものが50%をこえないこと
 表面湿度 10%以下(通常5～6%)

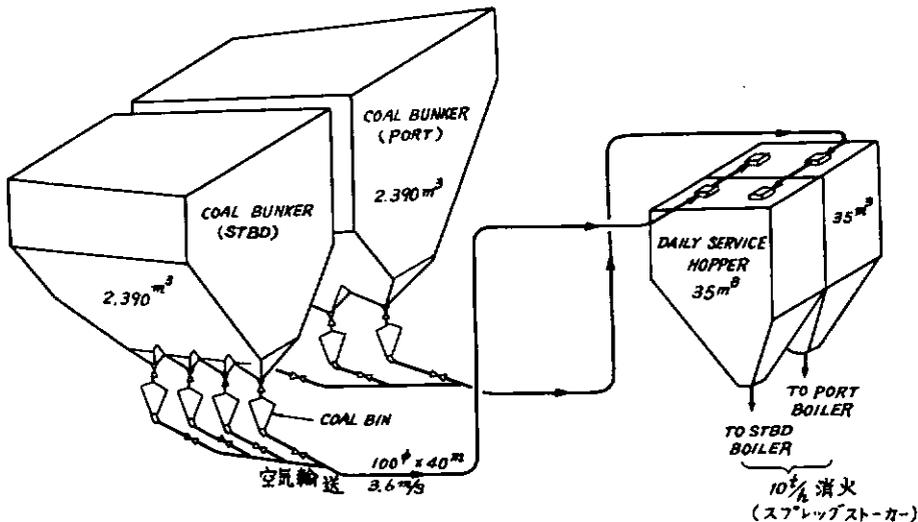


図 1.1.18 PNEUMATIC COAL TRANSFER SYSTEM

2.2 自然発火防止対策の基本方針

船内への石炭の積込み、及び貯炭、運炭における石炭の取扱い上、特に自然発火防止の面から注意すべき項目は、①事前準備 ②昇温抑制対策 ③状態監視 ④冷却・消火対策 ⑤その他安全対策、等である。

これらにつき、基本的な考え方を述べる。

2.2.1 事前準備

- (1) 設計前に、使用される石炭の化学的及び物理的性状を分析し、自然発火し易いかどうかを把握し、装置の設計に反映させること。
- (2) 異常に乾燥している石炭は積込まないこと。
この場合は撒水等により水分を適当に含ませること。
- (3) 積込み時に偏析しないように、積込み方法及び積込み装置を配慮のこと。
- (4) 石炭中の異物は除去すること。
異物が混入していると、払出し不良や、局部滞留の原因となる。

2.2.2 船内での昇温抑制

(1) 通気抑制

酸化速度は酸素濃度にほぼ比例するので、通気抑制をすることは、自然発火防止には有効な手段である。

従って、バンカー底部の払出し口からの漏風を最小限とし、バンカー各部の気密性を良くする必要がある。

(2) 滞留防止

バンカーは密閉されているため、一部の滞留でも蓄熱性は高いので、定期的に完全に払出されるようなオペレーションシステムとし、又、それに適したバンカータンク構造とする必要がある。

(3) 優先払出し

各部の昇温状況に応じて、対応できる様なバンカータンク構造とする。

これは、また偏析を防止することとなる。

(4) 不活性ガスシール装置

昇温抑制効果は大きいですが、経済性及び不活性雰囲気での作業性等に問題があり、通常の炭質であれば、この装置は設ける必要はないと思われる。

しかし、極端に自然発火の危険性の高い石炭を比較的長期間貯炭するような条件下では、ボイラの排ガスをこれに利用するようなことも検討する必要がある。

2.2.3 状態監視

(1) 温度検知

石炭の温度は自然発火現象の予知には、最も重要なファクタであるので、温度検出端はできる限り、広い範囲にわたって設けることが望ましい。

(2) 自然発火に至るまでの酸化に伴う発生ガス（主としてCO）の量は極めて少ないが、出来れば検知することが望ましい。

2.2.4 冷却・消火対策

(1) 散水

冷却・消火の面で効果があり、バンカータンクには散水装置を設けることが望ましい。

この場合、ドレン排出にも充分配慮する必要がある。

機関室内のデーリーホッパタンク内では石炭が長期に亘って滞留することはないので、自然発火の可能性も少なく、又、散水時他機械類への影響が大きいので、散水装置は設ける必要はない。

かろう。

(2) CO₂ 注入

消火には有効であり、できる限りバンカータンクおよびデーリーホッパタンクにはCO₂ 注入装置を設けることが望ましい。

2.2.5 その他安全対策

自然発火の可能性のある個所には、可燃材は使用するべきではなからう。

一般には鋼材構造で充分であらう。

2.3 船内設備のあり方

石炭運搬装置が、空気式でもコンベヤ式でも、装置内での石炭の滞留時間が短く、放熱し易い環境にあるので、自然発火の可能性は非常に少ないので、対策は不要である。

以下、バンカータンク及びデーリーホッパタンクについての自然発火防止のための設計指針を示す。

	バンカータンク	デーリーホッパタンク	備 考
構 造 面	<p>(1) 積込み口 複数個設け、それぞれ順次使用して石炭を万偏無く積込む方式が、又は移送式積込み装置により、偏析が起らぬようにする。※</p> <p>(2) 壁面及びホッパ部 石炭が附着しないように平滑な面とし、かつブリッジ現象が起らぬ形状とする。 構造によっては、ホッパ部にパイプレータを設けることが望ましい。 タンク内面には可燃材は使用しないこと。</p> <p>(3) 払出し口 払出し口の締切りバルブは気密性を有し、優先払出しができるよう複数個の払出し口を設けることが望ましい。</p>	<p>(1) 同 左</p> <p>(2) 同 左</p> <p>(3) 払出し口の締切りバルブは特に気密性は必要なく個数は1個でよい。※</p>	<p>※ 偏析防止は、スプレッドストーカの燃焼を均一にするためにも必要。</p> <p>※通常航海中は石炭の滞留時間も短く、絶えず皿動しているため発火の可能性は少ない</p>
設 備 面	<p>(1) 散水装置 水分供給、冷却、消火用として設けること。</p> <p>(2) CO₂ 放出装置 消火用として設ける。</p> <p>(3) 温度監視装置 温度検出端の配置は取付け上の問題があり、壁面に添って数個所、上中、下段程度とならう。</p>	<p>(1) 設けない。</p> <p>(2) 同 左</p> <p>(3) 1個所設ける。※</p>	<p>※自然発火の昇温検知というよりむしろタンク外からの異常加熱の検知の意味が強い。</p>
管 理 面	<p>(1) 完全払出しシステム 完全払出しができるようなシーケンスコントロールをするが、オペレーションスケジュールに従って操作できるものとする。</p> <p>(2) 昇温監視 逐次各部貯炭温度を監視し、トレンドとして把握できるような装置を設ける。 その温度レベルに応じて対処すること。</p>	<p>(1) 同 左</p> <p>(2) 同 左</p>	

あ と が き

昨年度は、文献調査を主体にして、石炭の自然発火現象に関する理論的アプローチを行ったが、本年度は中規模試験を含めた基礎試験を行い、より一層充実したデータを得ることができた。

又、この結果を体形化し、“石炭の自然発火に関する安全性の評価基準”および“船内設備のあり方（設計指針）”を考察した。

これらは実務設計者にとっても有益な設計指針となると思われる。今後は、これらをベースとして、各社で設計マニュアル等に展開して、本試験研究の成果を実務に反映していただければ幸甚である。

なお、本章においては、自然発火のみを対象として設計指針を考察したが、実設計においては、この他に、ガス・炭じん爆発、石炭・灰の閉塞、石炭・灰による管・機器の摩耗等の問題をも総合的に配慮する必要がある。

第2章 石炭のガス・炭じん爆発防止のための調査研究

まえがき

56年度においては、石炭のガス・炭じん爆発についての基礎調査を行い、主として文献及び担当した各研究者の研究成果を基に、爆発性、着火源、爆発防止対策等に関する基本的事項をまとめた。

一方、ガス・炭じん爆発の危険性は、炭種の違いによって大きく異なるので、今後、燃料炭として使用されると考えられる炭種については、それぞれの関連データを整備しておく事が望ましい。そこで、本年度においては、まず研究対象の目安として選定された炭種を中心に、爆発に関する数種の試験を行って危険性を判定する為の各種のデータをまとめ、その結果を基に設計段階で使用できる様な安全性の評価基準を作成し、合わせて、爆発防止対策の基本方針を明らかにした。さらに、これらの結果及び昨年度の研究成果を基に、ガス・炭じん爆発の面から船内設備のあり方を考察し、具体的な対策を設計指針としてまとめた。

なお、上記の試験は、日本鉱業会内に設けられた「石炭の自然発火、ガス・炭じん爆発に関する調査委員会」に委託し、実施したものである。

1. 石炭のガス・炭じん爆発に関する試験

1.1 試験概要

1.1.1 試験項目とその目的

(1) ガス放出速度の測定

石炭試料のメタンガス吸着量とメタンガス放出速度を実験によって確認し、石炭だき船のコールパンカーなどにおける石炭からのガス放出量推定の資料とする。

(2) 炭じんの爆発性試験

(3) 炭じんの爆発威力試験

両試験を通じて、試料石炭に炭じん爆発の危険性があるかどうか、試料石炭が炭じん爆発を起したらその爆圧、爆圧上昇速度などはどうなるかの2点を明らかにし、かつ、この結果と従来の炭じんの爆発性に関する研究データの比較検討を行い、石炭だき船における炭じん爆発防止の資料とする。

(4) 石炭流送時の静電気発生測定

石炭のパイプ流送時の帯電性を明らかにし、必要な帯電防止対策を検討し、石炭だき船の運炭装置等において石炭流送による静電気に基づくガス・炭じん爆発防止の資料とする。

1.1.2 試験担当部所と試験日程

(1) ガス放出速度の測定

試験担当部所：九州大学生産科学研究所

試験日程：57年7～8月に入手石炭試料について予備試験を行い、9～11月に本実験を行い、結果の解析を行い報告をまとめた。

(2) 炭じん爆発限界濃度、爆圧、爆圧上昇速度の測定

(3) 炭じんの爆発性に影響する灰分、揮発分、酸素濃度、初期圧力等の測定

試験担当部所：東北大学工学部資源工学科

試験日程：57年7～8月に研究計画を立て入手石炭試料について試験試料調整準備を行い、9～10月試験試料調整、10～11月本実験ならびに結果の解析を行い報告をまとめた。

(4) 石炭流送時の静電気発生測定

試験担当部所：工業技術院公害資源研究所資源第4部

試験日程：57年7～8月に研究計画を立て入手石炭試料について試験試料の調整準備を行い、

9～10月試験試料調整，10～11月本実験ならびに結果の解析を行い報告をまとめた。

1.1.3 選定炭種

試料入手の可能性ならびに試験の種類と規模に応じて，次の炭種を選定して試験した。

石炭種別	試験 (1)	試験 (2)・(3)	試験 (4)
三池炭	○		○
太平洋炭	○		
Ermelo	○		
Coal Valley	○		
Sufco	○	○	
大同炭	○		

1.2 ガス放出速度の測定

1.2.1 試験方法

ガス放出速度の測定は容積法によった。すなわち，湧出ガスによる密閉容器内のガス圧上昇を測定してガス量を求める方法である。図1.2.1にみるように，試料容器と放出容器を用意し，試料を封入した試料容器は真空吸引後，任意のガス圧下において飽和吸着させる。次に，希望する放出ガス圧（本試験では1気圧）になるように放出容器内のガス圧を調整した後バルブを開いて試料容器と放出容器とを連通させて容器内のガス圧の上昇速度を圧力センサーを用いて記録する。測定容器は恒温水槽に入れて任意温度に保った。温度の変化のガス放出への影響は，船倉中，温度上昇の場合が主であろうと考え，ある温度下でのガス放出終了後温度をあげ，再び放出ガスの増加量を測定した。

1.2.2 試験結果と考察

入手済の試料炭は，国内炭2種，外国炭4種であって，概略の粒度構成は表1.2.1に示す通りである。

(1) ガス等温吸着曲線

石炭からのガス放出速度は，主にガス吸着量，炭質および試料サイズに関する^{1,2)}。

基本となるガス吸着量は，図1.2.2のようになった。これは-200 meshに粉碎した試料を，25℃下で等温吸着させたものである。試料の酸化が進んでいるためか，吸着量は少ないようである。これらの吸着等温線は次のLangmuirの式で表わされる。

$$V_p = V_{p\infty} \frac{KcP}{1 + KcP} \quad (1.2.1)$$

ここに V_p : ガス圧Pにおける吸着量

P : 絶対圧

$V_{p\infty} Kc$: 常数 (ガスの性質，温度，吸着媒の表面により変る)

(2) ガス放出速度

石炭の性質の違いをみるために，-200 mesh 試料を用い，25℃ 5 atmで飽和吸着させた後，約1 atmで解放し，ガス放出速度を測定した。その結果を下記(1.2.2)式²⁾で近似したものを，図1.2.3-1～1.2.3-6に示す。また，(1.2.2)式中の係数を表1.2.2に示す。

$$V = V_{\infty} [1 - \exp(-L t^{\beta})] \quad (1.2.2)$$

ここに V : 時間tまでの放出ガス量

V_{∞} : t→∞までの放出ガス量 (吸着圧と解放圧との差に相当する吸着ガス量)

t : 放出開始からの時間

L, β : 係数

ここで V_{∞} は -200 mesh 試料を用いて実測した値を基準とし、粒度係数 L および炭種係数 β は V を実測した結果を用いて計算する。²⁾

表 1.2.2 に示した結果によれば大同炭の L が他の試料に比して大きく、また、各試料の β は後述する粗粒試料の平均値 0.33 に比して 0.37 ~ 0.42 とかなり大きい。しかし、実験値と計算値はよく一致し、従来の日本炭と同様な取扱いができるものと考えられる。

次に、試料を < 24 mesh, 24 mesh - 6 mesh, > 6 mesh の 3 つに大別し、各々につき同様に 25℃ において 5 atm 吸着、1 atm 解放させてガス放出速度を測定した。図 1.2.4 - 1 ~ 1.2.4 - 4 および表 1.2.3 - 1 ~ 1.2.3 - 4 に結果を示す(三池, 太平洋炭は未測定)。また、大同と Sufco 炭については、25℃, 30 atm 吸着、1 atm 解放の測定を行った。図 1.2.5 - 1, 1.2.5 - 2 および表 1.2.4 にその結果を示す。

係数 β については、-200 mesh の場合より小さくなり、全試料とも 0.33 と考えてよいようである。試料サイズと係数 L との関係を図 1.2.6 に示す。5 atm 吸着、1 atm 解放の Sufco 炭以外は、-200 mesh と他の粒径との間で傾向が異なっている。

30 atm 吸着の場合は 2 試料だけでさらに測定が必要ではあるが、粒度構成が大まかである点などを考えると、係数 L と粒径 d とはおおむね両対数グラフ上で直線関係にあると考えてよいであろう。

求められた L, β を用いて、各試料炭の包蔵ガスの 90%, 95% をそれぞれ放出するのに要する日数を計算したのが表 1.2.5 である。長期にわたるガス湧出源は当然、粒径の大きい炭となる。全体としてみた場合、大同炭がやや放出速度が大きいけれども、それ程大きな差はないので、設計の上では Coal Valley 炭を基準として考えればよいのではなかろうか。その際、粒径 3 mm から 20 mm を考え、L = 0.015, $\beta = 0.33$ を与えて計算すると、図 1.2.7 のガス放出曲線となる。

(3) 温度および低気圧の影響

温度が高くなると、ガス吸着量は小さくなる。すなわち、 V_{∞} が小さくなる。しかし、放出途中において温度が上昇すると可能吸着量は減少し、始めから上昇温度であった場合より、その時点でのガス放出量は大きくなる。

次に、低気圧の影響であるが、ガス放出初期であれば内部ガス圧との関係からあまり差はないが、ある程度時間が経過すると内部ガス圧が降下しており、気圧低下により若干のガス圧勾配の増加のためにガス放出量が増加する。図 1.2.8 はその影響をみたもので、最初から 50℃, 25℃ と温度一定にて吸、脱着させ、途中において約 0.2 atm 下げた場合の放出量の変化を示している。10% 弱の増加となっている。しかし、船倉ではむしろ、粒子間の間隙に充満している自由ガスの気圧差による流動の方を重視すべきである。

参 考 文 献

- 1) Airey, E.M.: Gas emission from broken coal. An experimental and theoretical investigation.
Int.J.of Rock Mech.and Mining Sci.
vol 5, p 475~494 (1968)
- 2) 大牟田・後藤: 石炭層からのガス湧出機構について

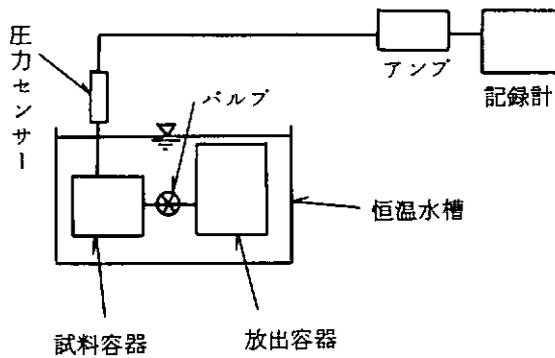


図1.2.1 測定装置

表1.2.1 試料炭の粒度構成

炭名	サイズ +6 mesh >3.327mm	6~24 mesh 3.327~0.701mm	-24mesh <0.701mm
太平洋	49.8	43.8	6.4
三井三池	32.0	45.0	23.0
大同	77.1	14.0	8.9
Sufco	46.6	35.0	18.4
Coal Valley	81.8	17.2	1.0
Ermelo	55.8	32.9	11.3

表1.2.2 $V = V_{\infty} \{ 1 - \exp(-Lt^{\beta}) \}$
における V_{∞} 、 L 、 β の変化
(5 atm → 1 atm -200 mesh)

	$V_{\infty} (\% / g)$	L	β
サフコ炭	1.610	0.112	0.42
コールバレー炭	2.206	0.112	0.38
エルメロ炭	2.097	0.111	0.385
大同炭	2.534	0.200	0.39
三井三池炭	1.871	0.111	0.40
太平洋炭	2.234	0.111	0.371

表1.2.3-2 コールバレー炭
(5 atm → 1 atm)

	$V_{\infty} (\% / g)$	L	β
-24 mesh	2.206	0.066	0.32
6-24 mesh	2.206	0.036	0.33
+6 mesh	2.206	0.026	0.36

表1.2.3-1 サフコ炭における粒度別L、 β の変化
(5 atm → 1 atm)

	$V_{\infty} (\% / g)$	L	β
-24 mesh	1.610	0.065	0.34
6-24 mesh	1.610	0.046	0.33
+6 mesh	1.610	0.037	0.32

表1.2.3-3 エルメロ炭 (5 atm → 1 atm)

	$V_{\infty} (\% / g)$	L	β
-24 mesh	2.097	0.073	0.31
6-24 mesh	2.097	0.035	0.33
+6 mesh	2.097	0.017	0.32

表1.2.3-4 大同炭 (5 atm → 1 atm)

	$V_{\infty} (\% / g)$	L	β
-24 mesh	2.534	0.095	0.34
6-24 mesh	2.534	0.050	0.30
+6 mesh	2.534	0.037	0.31

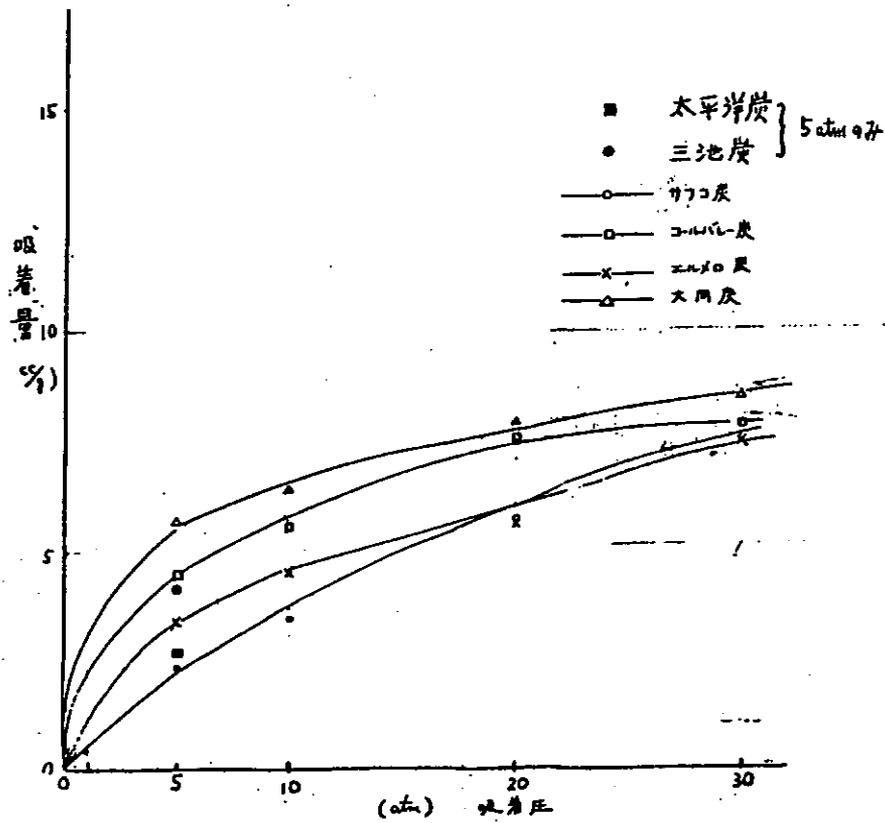


図1.2.2 ガス吸着曲線 (-200 mesh, 25°C)

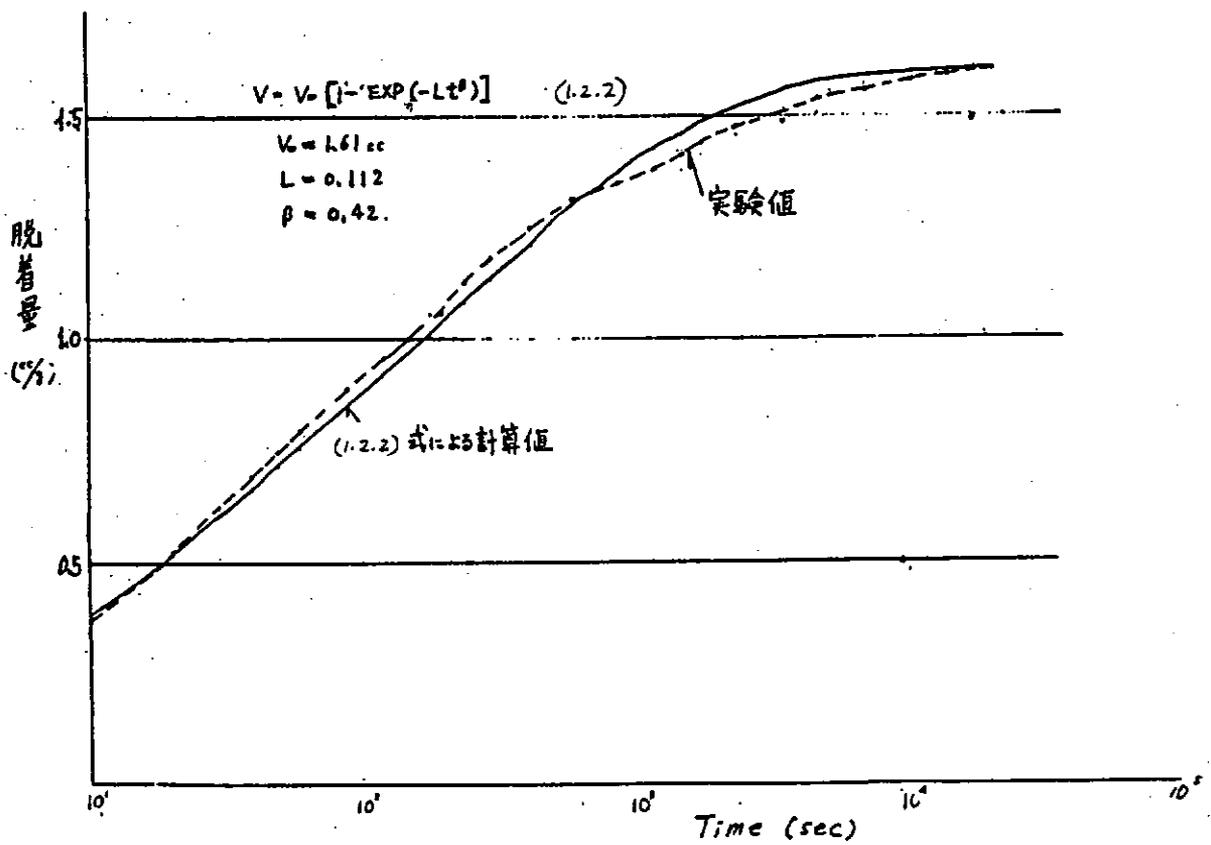


図1.2.3 1 Sufco炭の放出曲線 (-200 mesh, 25°C, 5 atm → 1 atm)

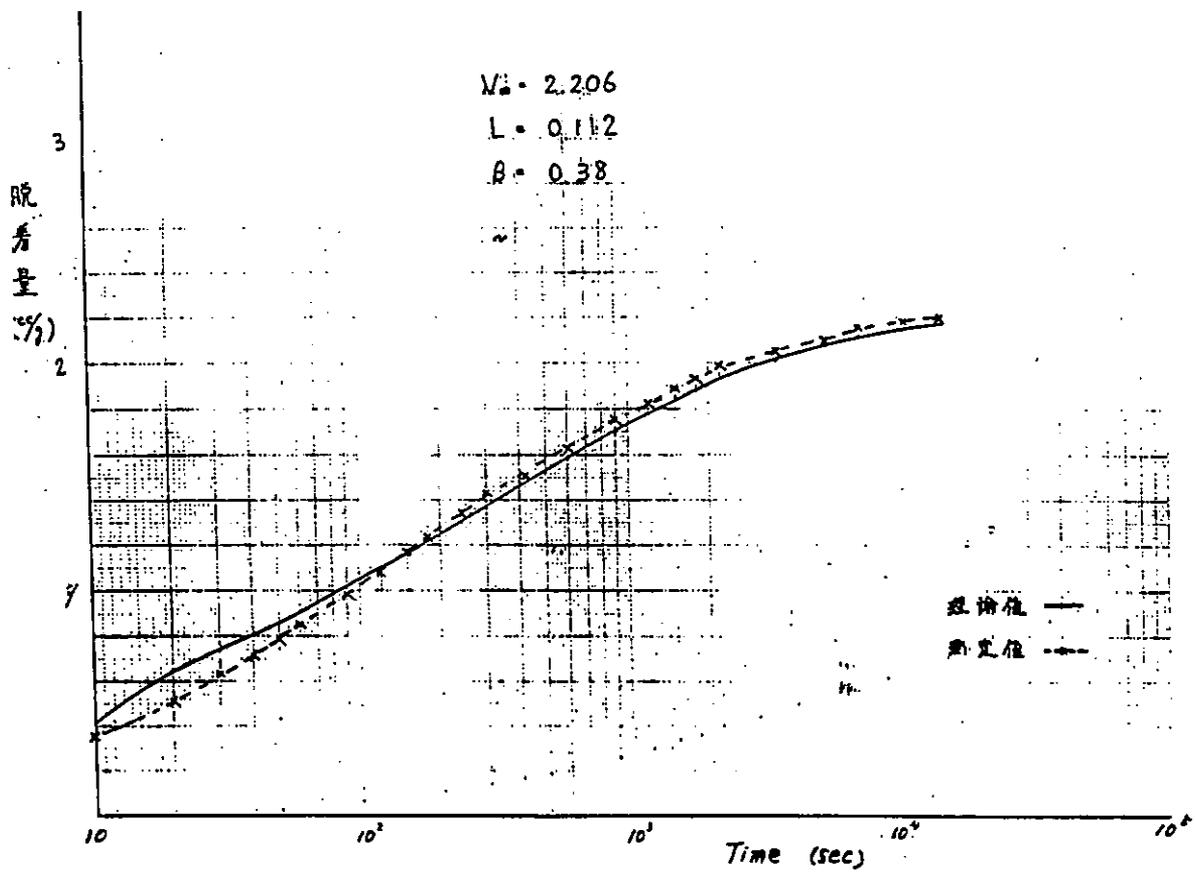


図1.2.3-2 コールバレー炭 (-200 mesh)

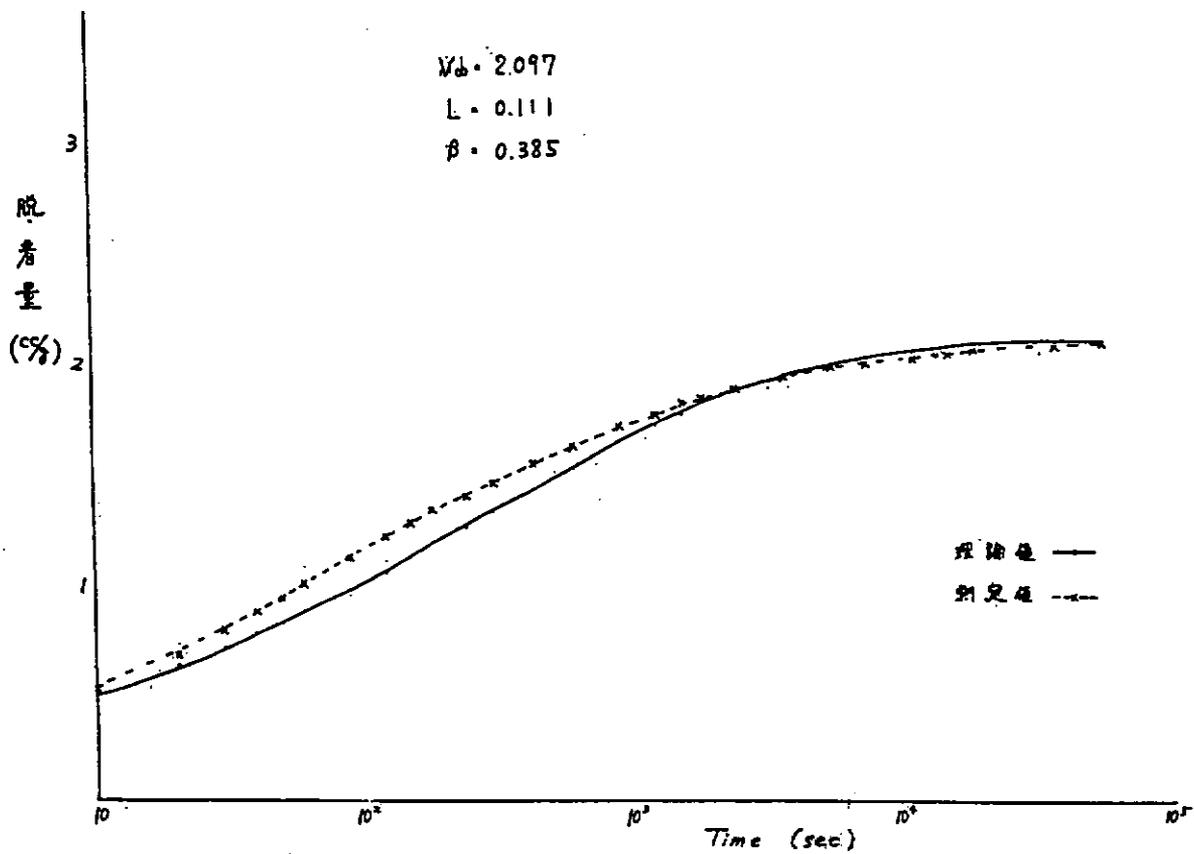


図1.2.3-3 エルメロ炭 (-200 mesh)

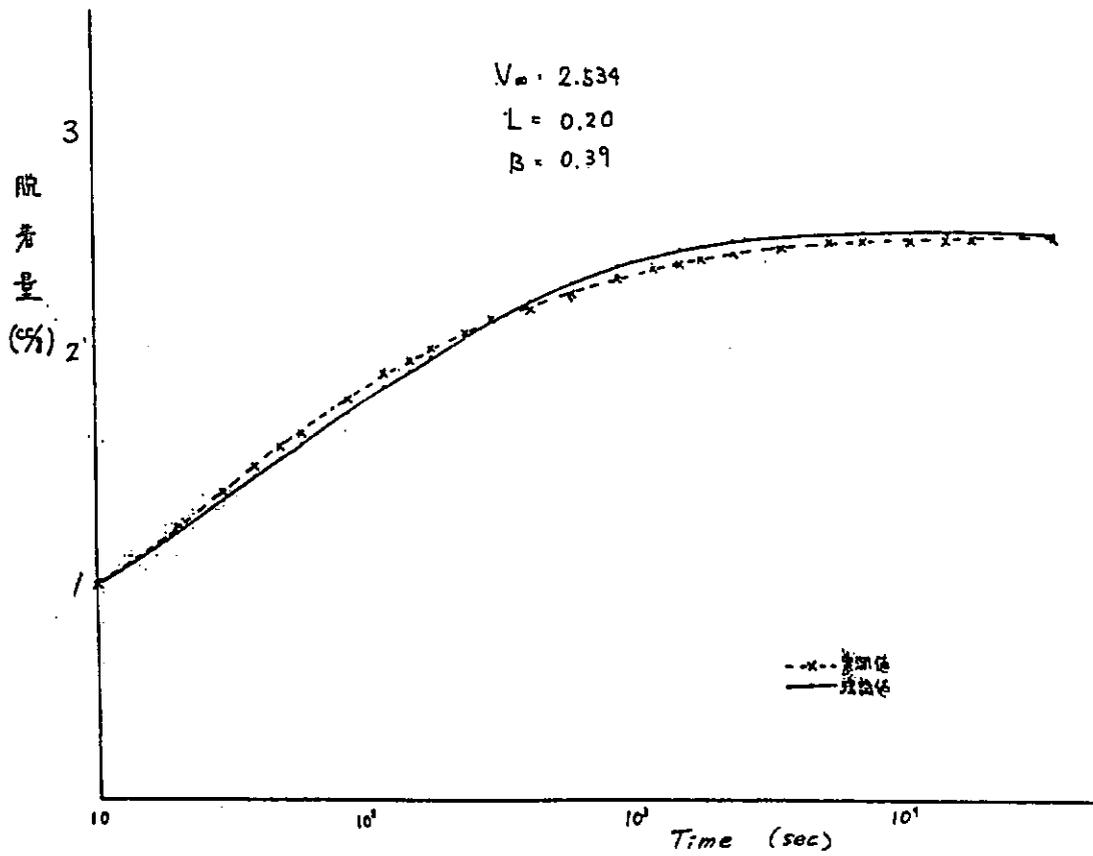


图1.2.3-4 大同炭(-200 mesh)

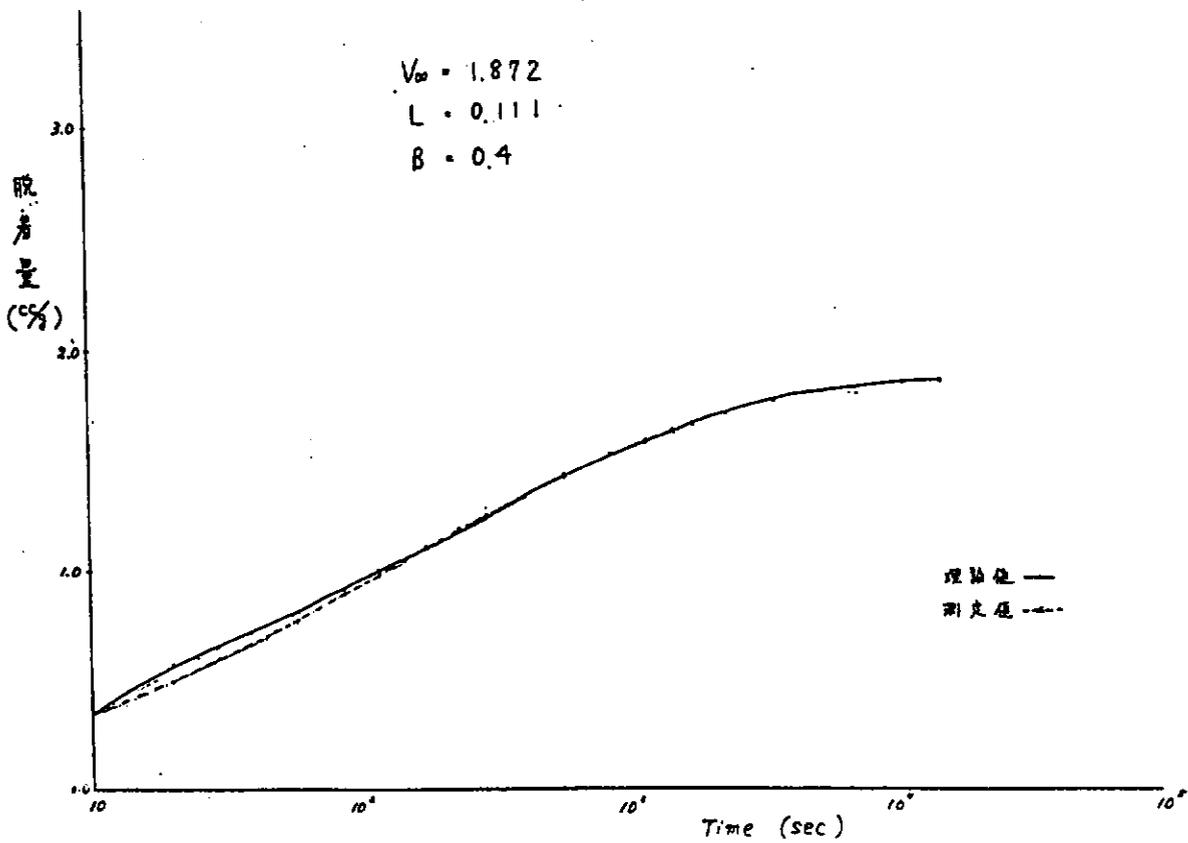


图1.2.3-5 三井·三池炭(-200 mesh)

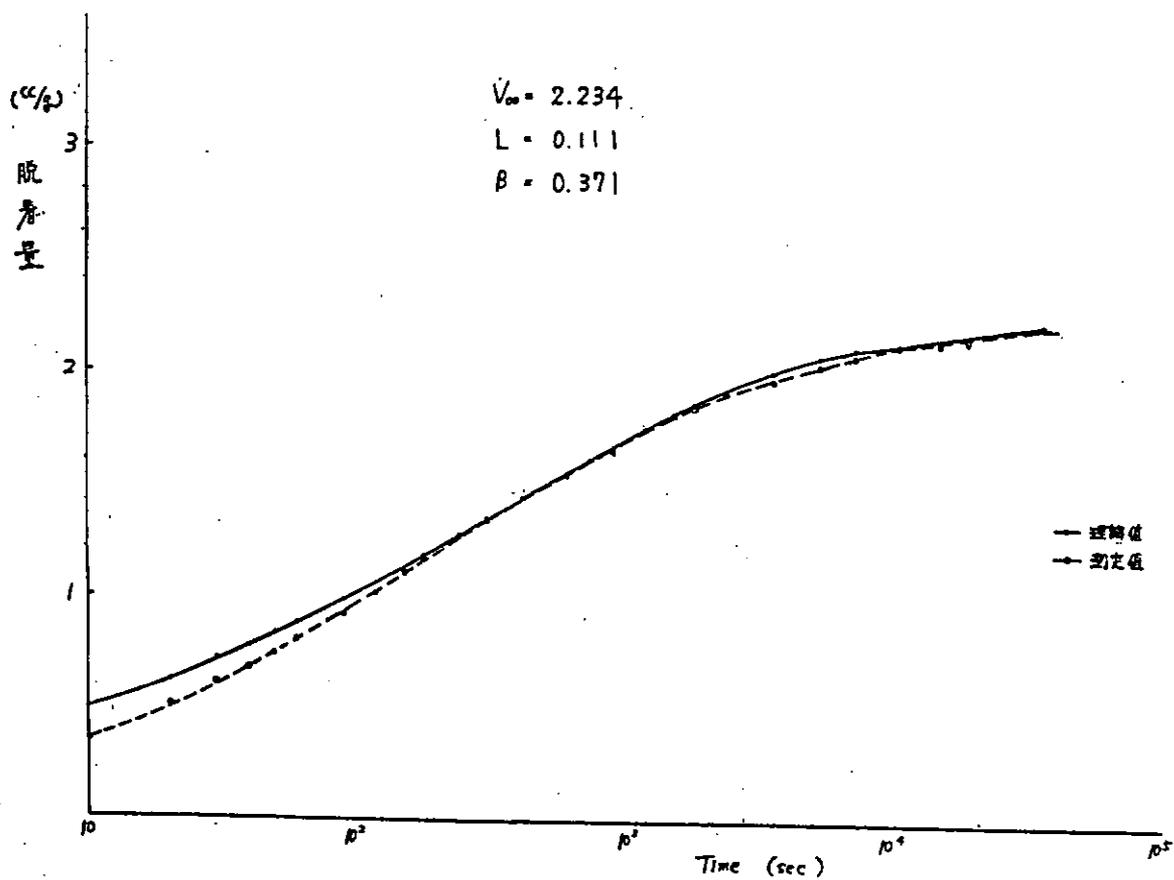


图1.2.3-6 太平洋炭 (-200 mesh)

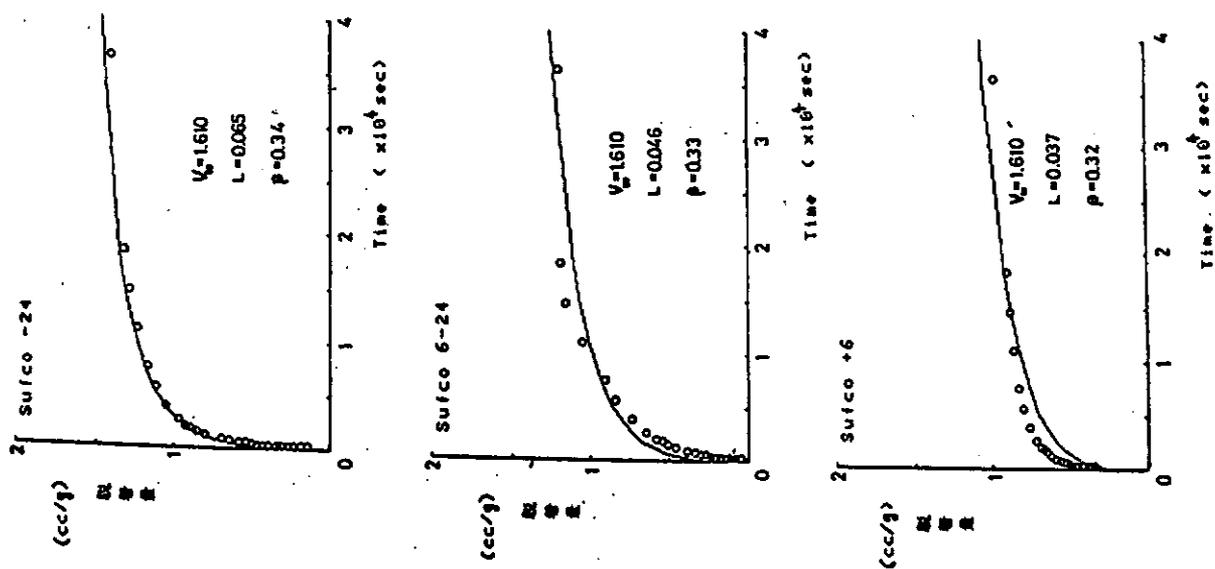
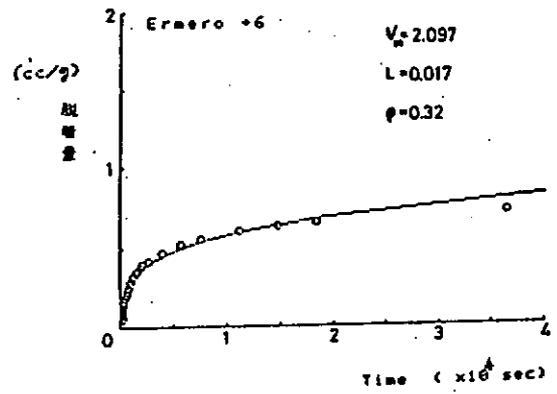
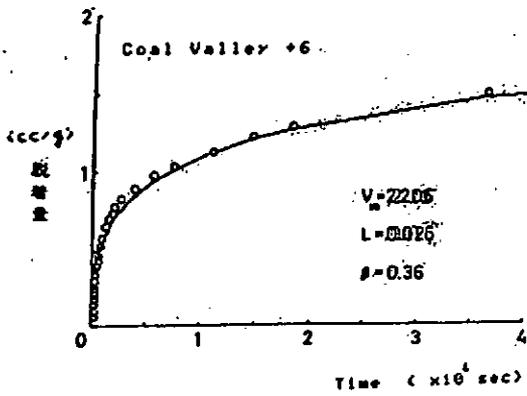
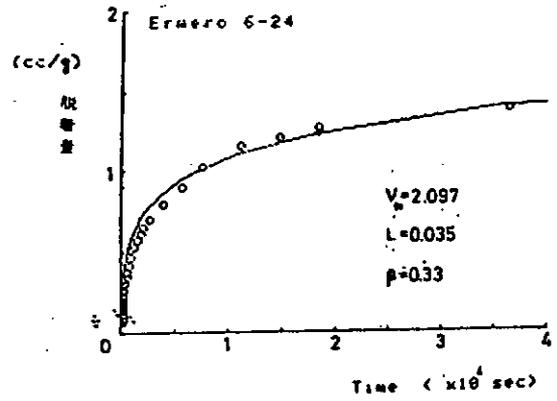
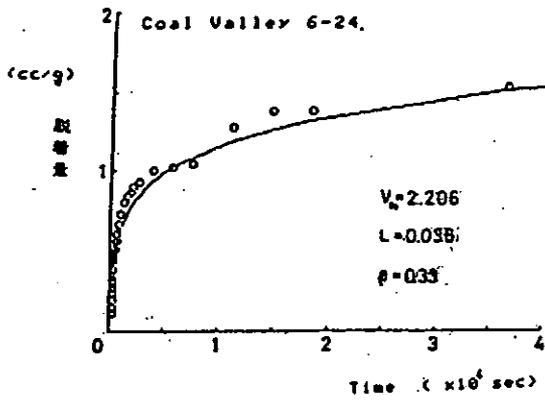
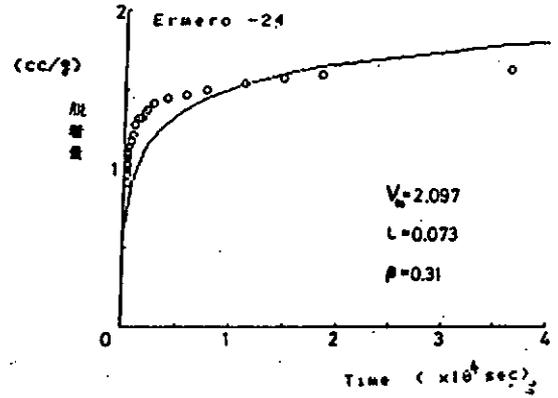
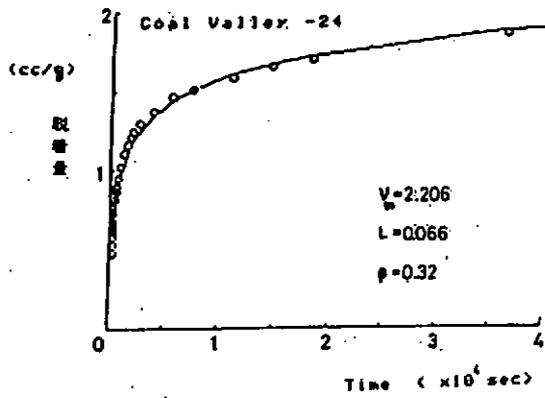


图1.2.4-1



☒ 1.2.4-2

☒ 1.2.4-3

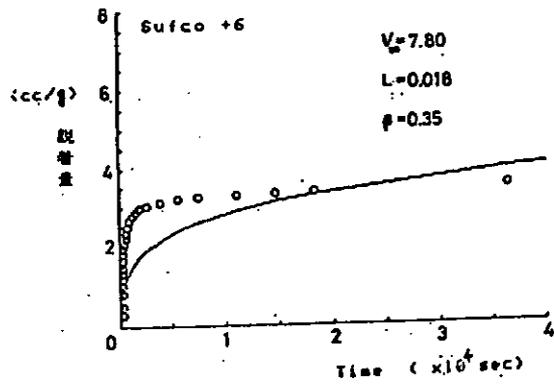
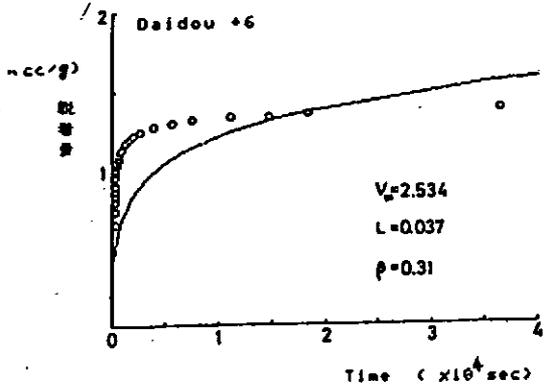
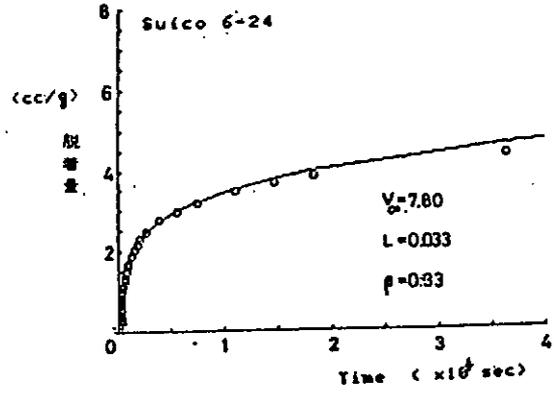
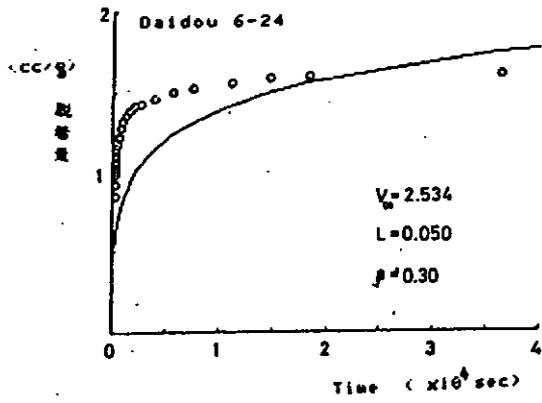
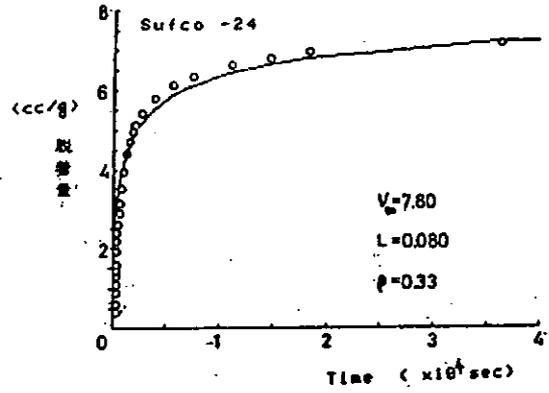
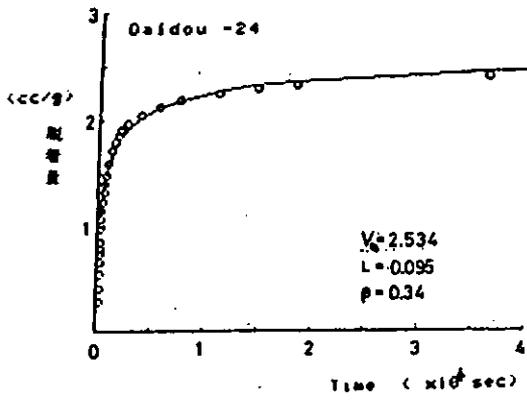


图 1.2.4-4

图 1.2.5-1

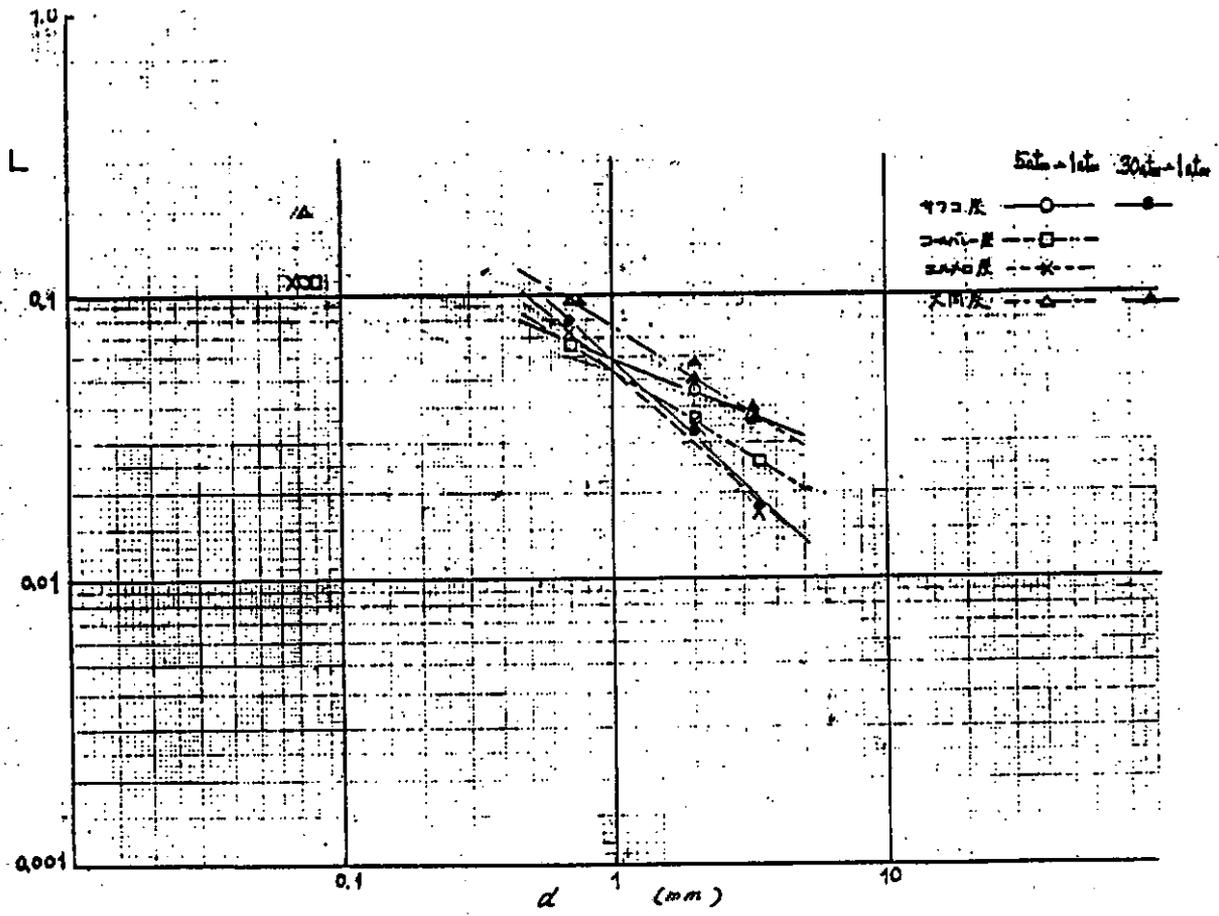


図1.2.6 粒径と係数Lとの関係

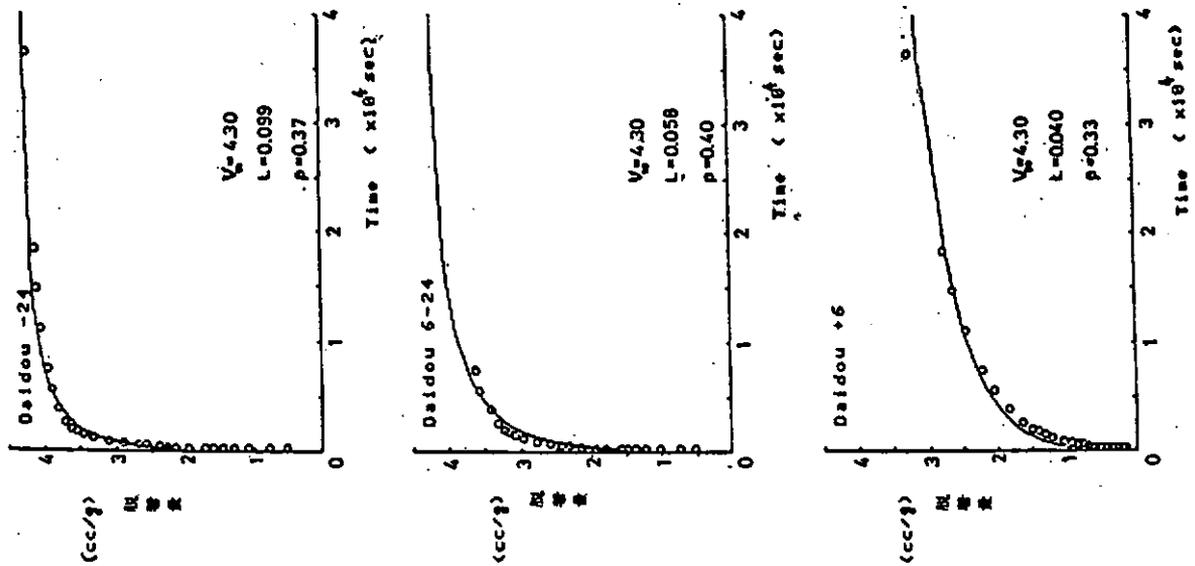


図1.2.5-2

$$\left(\frac{V}{V_{\infty}} = 1 - \text{EXP}(-Lt^{\beta}), L = 0.015, \beta = 0.33\right)$$

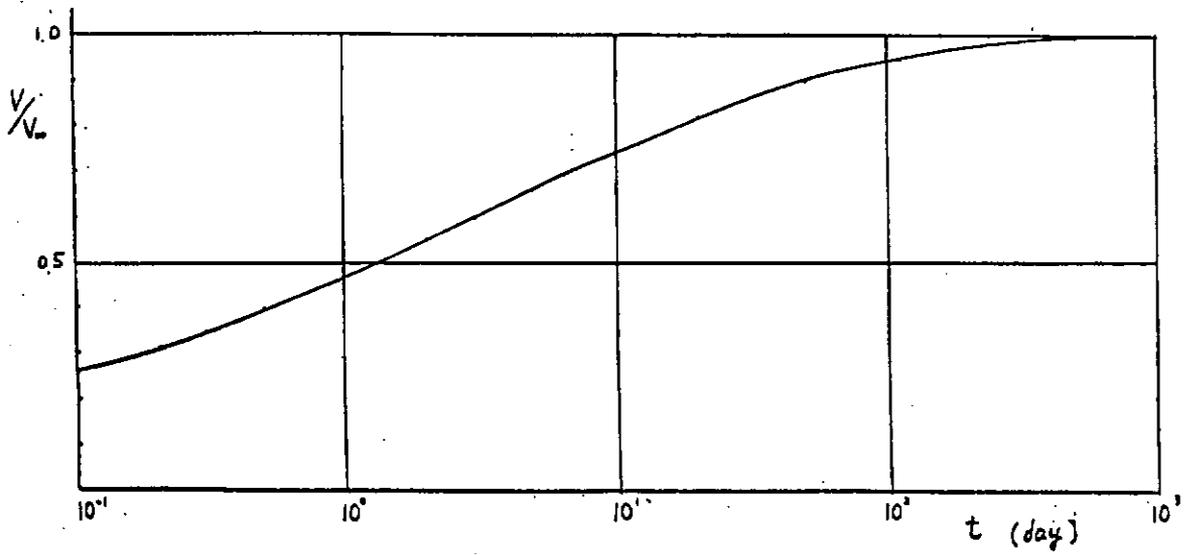


図1.2.7 ガス放出曲線

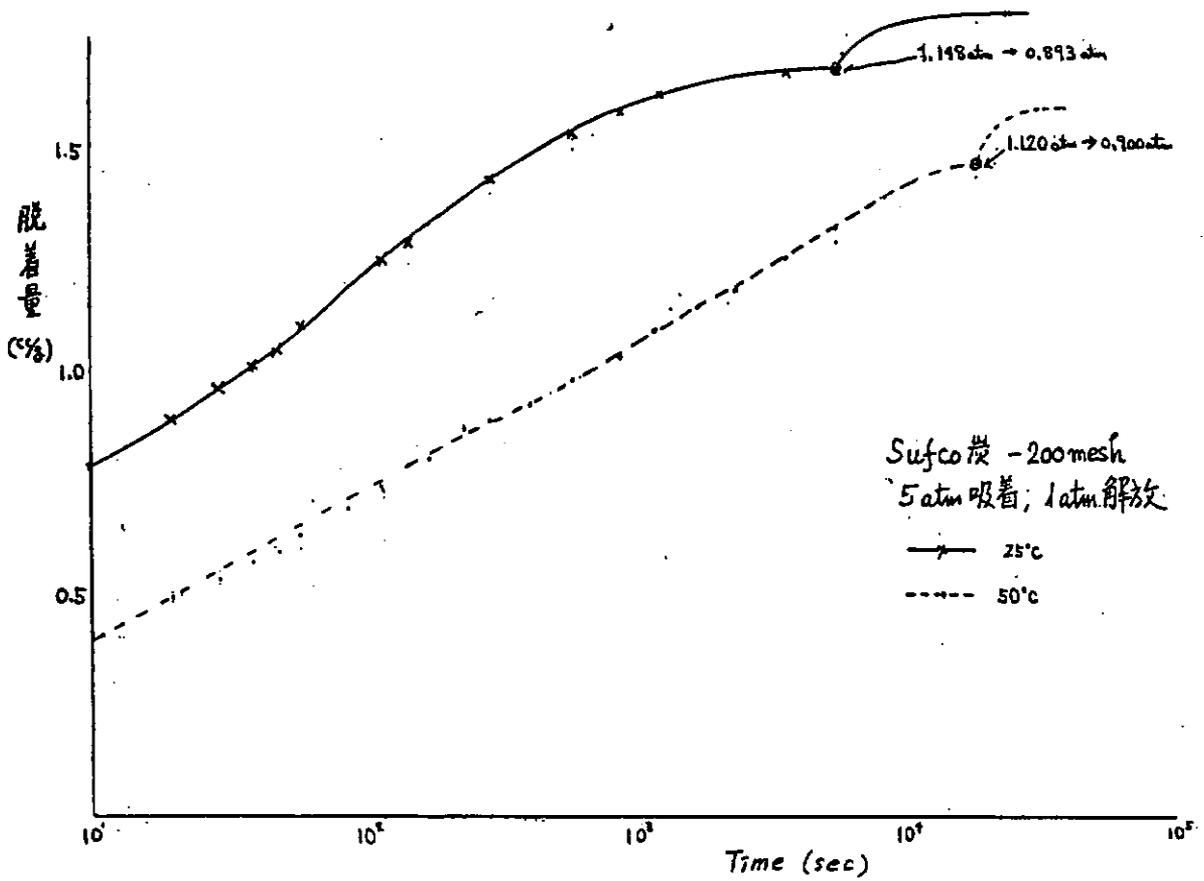


図1.2.8 解放圧の中途変化によるガス脱着量の変化

表 1.2.4 吸着圧 (5atm及び30atm)によるL, β の

① サフコ炭

変化

	L		β	
	5atm	30atm	5atm	30atm
-24 mesh	0.065	0.080	0.34	0.33
6-24 mesh	0.046	0.033	0.33	0.33
+6 mesh	0.037	0.018	0.32	0.35

表 1.2.5 90%, 95%放出に要する時間

90%脱着する時間

(day)

	-24mesh	6-24 mesh	+6 mesh
サフコ炭	0.42	1.63	4.67
コールバレー炭	0.77	3.44	9.21
エルメロ炭	0.26	3.74	53.12
大同炭	0.14	4.05	7.09

② 大同炭

95%脱着する時間

(day)

	L		β	
	5atm	30atm	5atm	30atm
-24 mesh	0.095	0.099	0.34	0.37
6-24 mesh	0.050	0.058	0.30	0.40
+6 mesh	0.037	0.040	0.31	0.33

	-24mesh	6-24 mesh	+6 mesh
サフコ炭	0.90	3.63	10.64
コールバレー炭	1.74	7.63	20.21
エルメロ炭	0.59	8.31	120.89
大同炭	0.30	9.74	16.57

1.3 炭じんの爆発性試験

1.3.1 実験の方法と実験試料

実験には(i)篩落方式粉じん爆発実験装置及び(ii)容器回転方式密閉型粉じん爆発実験装置を用いた。これらの装置の概要を図1.2.9及び1.2.10に示す。(i)はアクリル樹脂製円筒型爆発実験容器の上部に炭じん試料を入れた直径6in.の篩を置き、この篩に打撃・振動を与えて篩内の炭じん試料を落下させ、容器内に炭じん雲を形成させる方式のもので、主として爆発下限界濃度付近の比較的低濃度の粉じん雲を対象とした実験を行う装置である。(ii)は比較的高濃度の粉じん雲の作成を目的としたもので、また密閉型であるので爆発発生圧力等の測定ができる。

実験試料にはSufco炭を粉砕し、湿式で分級したものを用いた。工業分析値を表1.2.6に示す。なお試料炭じんの水分は実験時において1%以下になるように乾燥して用いた。

1.3.2 実験結果と考察

(1) 爆発下限界濃度

着火源として、放電エネルギー1.000mJ以上(火花放電持続時間5msecに固定)。容量火花放電を用いた場合のSufco炭の爆発下限界濃度の測定結果を表1.2.7に示す。爆発下限界濃度はわずかながら着火源の大きさの影響を受ける。本実験で用いた着火源は最大級の電氣的火花放電を想定したもので、またマッチ程度の裸火による場合も本実験で得られた値とほぼ同程度の値であると考えられる。

本実験で得られた値は、 $V \approx 40\%$ として従来の研究結果から推定される値とほぼ一致する。

(2) 爆発上限界濃度

着火源として0.05gの硝化綿(これはマッチ程度の裸火に相当)を用いた場合のSufco炭の爆発上限界濃度を表1.2.8に示す。これらの値も従来の結果より推定される値とほぼ一致する。

(3) 爆発限界酸素濃度

着火源として0.05gの硝化綿を用い、空気を窒素で希釈して酸素濃度を減じた場合のSufco

炭の爆発限界酸素濃度 $O_{2,L}$ を表 1.2.9 に掲げる。マッチの裸火程度の着火源を用いた場合の炭じんの爆発限界酸素濃度は一般に 15% 前後と考えられているが、電気炉で着火させた場合には酸素濃度 10% 程度でも着火するとの報告があるので注意を要する。

(4) 最小着火エネルギー

最小着火エネルギーは炭じん雲濃度の影響を受けて変化するが、炭じん雲濃度がおよそ 200 g/m^3 以上 350 g/m^3 以下ではほぼ一定となり最小値をとる。表 1.2.10 に、放電のエネルギー強度が時間とともに変化しない形の火花放電発生装置を用いて測定した最小着火エネルギーの値を示す。この装置により発生する放電火花の着火能は大で、従ってこれにより得られた着火エネルギーは従来の装置により得られた値よりもかなり小さなものとなる。270~400 mesh の Sufco 炭の最小着火エネルギーは装置使用上の制限により測定できなかったが、10 mJ 程度もしくはそれ以下と推定される。

1.3.3 炭じんの爆発性評価

一般に炭じんの爆発性は高揮発分の炭じんほど大である。従って対象となる石炭のうち最も揮発分の高いものについて十分な対策がなされれば他の石炭についても十分であると考えられる。このため本実験では最も揮発分の大の外国炭である Sufco 炭を試料として用いた。

炭じんの爆発性については、K-10 炭（ソ連）、First Maja 炭（ポーランド）、Russel Fork 炭（アメリカ）、Liddell 炭（オーストラリア）、大同炭（中国）及び奔別炭、幌内炭（揮発分は 20~45%）等を用いてすでに研究が行われており、本実験で得られた Sufco 炭の結果は従来の結果と一致するものと考えてよい。また、今回実験を行わなかった他の石炭についても従来得られている成果が適用できるものとして以下検討を進める。

従来の研究結果から爆発性と工業分析による揮発分との関係を見るとおよそ次のようである。

揮 発 分	爆 発 性
10% 以上	極めて小
10 ~ 20%	小
20 ~ 30%	中
30% 以上	大

揮発分が 10% 以下の石炭はメタンガスなどの可燃性ガスや爆発性の大の粉じんが共存しなければ爆発しないものと考えてよい。揮発分 10~20% の石炭は火花放電のような比較的弱い着火源で着火、爆発させるのは極めて困難である。揮発分が 30% 以上の石炭については本実験で Sufco 炭について得られた特性値を安全基準として考えるべきであろう。

炭じんの粒度に関しては、本実験の結果にもみられるように、150 mesh（約 $100 \mu\text{m}$ ）を境にして爆発性が大きく変化することが多い。また微細な炭じんほど浮遊しやすいので微粉の発生は極力さけるようにしなければならない。

酸素濃度の減少はそれに相応して爆発上限濃度を低下させるので、特に高濃度域が問題となるような場合には、可能な限り酸素濃度減少の方策を実施することが望ましい。ただし酸素濃度を減少させても爆発下限濃度はあまり変化しないので、低濃度域が対象である場合には酸素濃度を爆発限界酸素濃度以下にまで減少させなければ効果は少ない。

1.4 炭じんの爆発威力試験

1.4.1 実験の方法と実験試料

実験は、容器回転方式密閉型粉じん爆発実験装置を用い、0.05gの硝化綿を着火源として用いて行った。実験試料はSufco炭である。

1.4.2 実験結果と考察

(1) 最大爆発発生圧力

空气中、大気圧下におけるSufco炭の最大爆発発生圧力 $P_{m.0}$ の測定結果を表1.2.1.1に示す。これらの値は、 $V \approx 40\%$ として従来の研究結果から推定される値とほぼ一致する。

図1.2.1.1に最大爆発発生圧力 P_m に及ぼす酸素濃度の影響を示す。図中の曲線は炭じん、プラスチック粉末、金属粉末等について得られた従来の結果で、本実験の結果もこの曲線にのると考えてよい。この図の意味することは、 $(O_2 - O_{2.L}) / (O_{2.AIR} - O_{2.L})$ を0.25にまで減少させても P_m は $P_{m.0}$ の7割にしか減少しないということである。270~400 meshのSufco炭を例にとって実数値で説明すると、酸素濃度を21%（空気）から16%（爆発限界酸素濃度は14.5%）にまで減少させても爆発が発生すると、その時の最大爆発発生圧力は空气中の4.15 kg/cm²から2.9 kg/cm²にまでしか減少しないということである。従って、たとえ不活性ガスにより酸素濃度を減じる手段が講じてあっても、酸素濃度が爆発限界酸素濃度以上であって、もし爆発が起これば、その時の発生圧力は酸素濃度を減じていない空气中におけると同程度の圧力になると考えるべきであろう。

図1.2.1.2に最大爆発発生圧力 P_m に及ぼす初圧 P_i の影響を示す。図中の曲線は同じく炭じん、プラスチック粉末、農産物粉末、金属粉末等に対して求められたもので、本実験の結果と一致する。この関係は $0.25 \leq P_i \leq 2.1 \text{ kg/cm}^2$ の範囲において

$$\frac{P_m}{P_{m.0}} = \left(\frac{P_i}{P_a} \right)^{1.31}$$

と表わせる。 $(P_a: \text{大気圧})$ この式からわかるように、初圧を減少させると P_m は P_i の減少に比例した以上の減少となる。逆に加圧状態では P_i の増加に比例した以上の圧力の発生となる。したがって安全の観点からは管路気体輸送の場合などにおいては吸引方式が望ましい。

(2) 最大並びに平均圧力上昇速度

最大並びに平均圧力上昇速度 $(dP/dt)_m$ 、 $(dP/dt)_a$ は最大爆発発生圧力 P_m とともに、耐圧容器の設計や圧力放散設備（Vent）の設計などにおいて重要な値であり、かつまた爆発の激しさを示す指標としても用いられる。

図1.2.1.3に、最大及び平均圧力上昇速度 $(dP/dt)_m$ 、 $(dP/dt)_a$ と無次元最大発生圧力 (P_m/P_i) との関係を示す。図中の線は従来の研究により得られているもので、本実験の結果もこれによく一致している。特に、図中□印で示す酸素濃度を变化させた場合については従来研究が行われてなく、従って本実験の結果初めて従来の成果が酸素濃度を減少させた場合についても成り立つことが明らかになった。

なお、初圧変化については0.5~1.5気圧の範囲で試験し、酸素濃度については21%から14.5%の範囲で試験した。

1.4.3 炭じんの爆発性並びに爆発威力に関する実験のまとめ

以上Sufco炭の爆発性並びに爆発威力についての実験結果について述べ、従来の成果との比較検討を行った。その結果良い一致をみた。このことはSufco炭が爆発性という観点からみて特殊な石炭ではないことを意味している。他の石炭については実験を行わない限り正確なことは言えないが、特に特殊なものがあるようにも思われない。従って少くとも大まかな推定は従来の方法によって可能と思われる。

ただし、灰分の多い石炭も対象となっているようなので、灰分の影響について少し述べておこう。

通常実験に使用する石炭には多少なりとも灰分が含まれている。この灰分は石炭が破碎されるとき生成した炭じんと分離され、生成した炭じん中の灰分は原炭中のそれとは異なった値となることが多い。従って安全側をとるならば、灰分の多い石炭といえども無灰無水状態での爆発特性値を考えるべきである。

実装置の安全性評価については昨年度の報告書で述べたので重複はさけるが、以上述べた爆発性の大小の他に、当該石炭に含まれる微粉炭量や水分、さらにはホッパ投入時の発じん性等についても考慮する必要がある。

表 1.2.6 Sufco 炭の工業分析結果（無水ベース）

粒 度 [mesh]	揮 発 分 [%]	灰 分 [%]	固 定 炭 素 [%]
100 ~ 150	40.31	6.96	52.73
150 ~ 200	40.99	6.83	52.18
200 ~ 270	41.19	7.40	51.41
270 ~ 400	40.22	8.03	51.75

表 1.2.7 爆発下限界濃度の測定結果

粒 度 [mesh]	爆 発 下 限 界 濃 度 [g/m ³]
100 ~ 150	153.5
150 ~ 200	66.6
200 ~ 270	58.7
270 ~ 400	42.6

表 1.2.8 爆発上限界濃度の測定結果

粒 度 [mesh]	爆 発 上 限 界 濃 度 [g/m ³]
100 ~ 150	1,000
150 ~ 200	1,700
200 ~ 270	2,000
270 ~ 400	2,500

表 1.2.9 爆発限界酸素濃度の測定結果

粒 度 [mesh]	爆発限界酸素濃度, O ₂ -L [%]
100 ~ 150	18
150 ~ 200	17
200 ~ 270	16
270 ~ 400	14.5

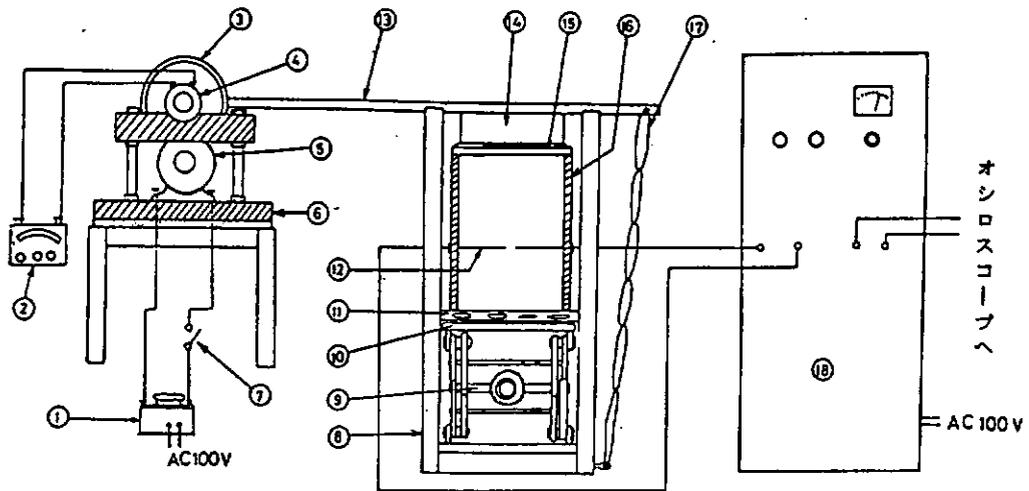
表 1.2.10 最小着火エネルギーの測定結果

粒 度 [mesh]	濃 度 [g/m ³]	最小着火エネルギー [mJ]
100 ~ 150	220	270
150 ~ 200	260	105
200 ~ 270	190	55.9
270 ~ 400	210	— (註)

(註) 16.7 mJ で爆発を生じた。16.7 mJ は最小着火エネルギーよりもかなり大きなエネルギーである。

表 1.2.11 最大発生圧力

粒 度 [mesh]	最大発生圧力 P _{m.o} [kg/cm ²]
270 ~ 400	4.15
200 ~ 270	3.9
150 ~ 200	3.45
100 ~ 150	3.1



- | | | | |
|------------|--------------|------------|-------------|
| 1 コントローラー | 2 回転計 (メーター) | 3 減速歯車 | 4 回転計 (発電機) |
| 5 小型モーター | 6 モーター固定台 | 7 モータースイッチ | 8 爆発容器固定台 |
| 9 サポートジャッキ | 10 底板 | 11 爆発容器固定板 | 12 電極 |
| 13 フルイ打撃棒 | 14 フルイ | 15 クッション | 16 爆発実験容器 |
| 17 ゴム | 18 放電火花発生装置 | | |

図 1.2.9 篩落下方式粉じん爆発実験装置

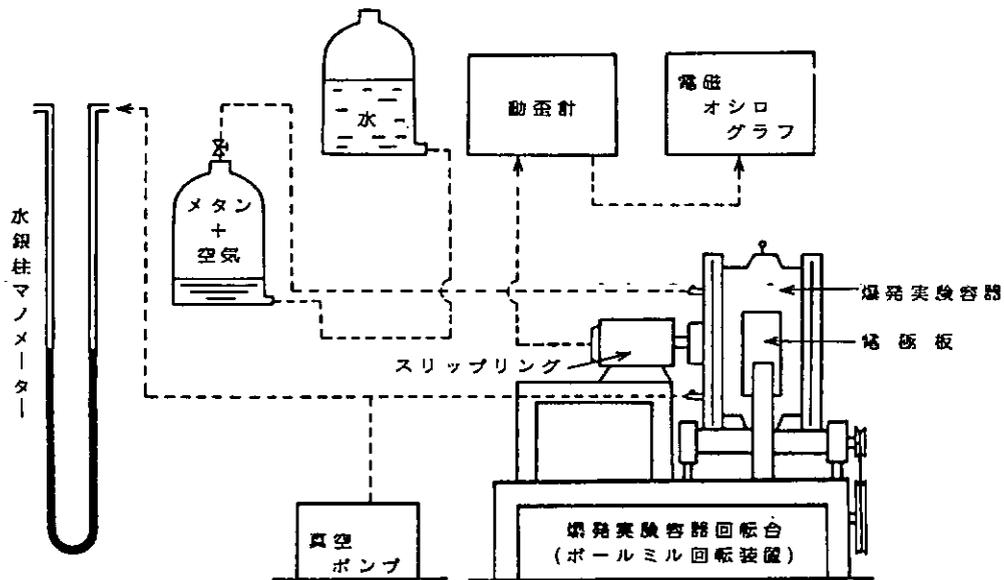


図 1.2.10 容器回転方式密閉型粉じん爆発実験装置

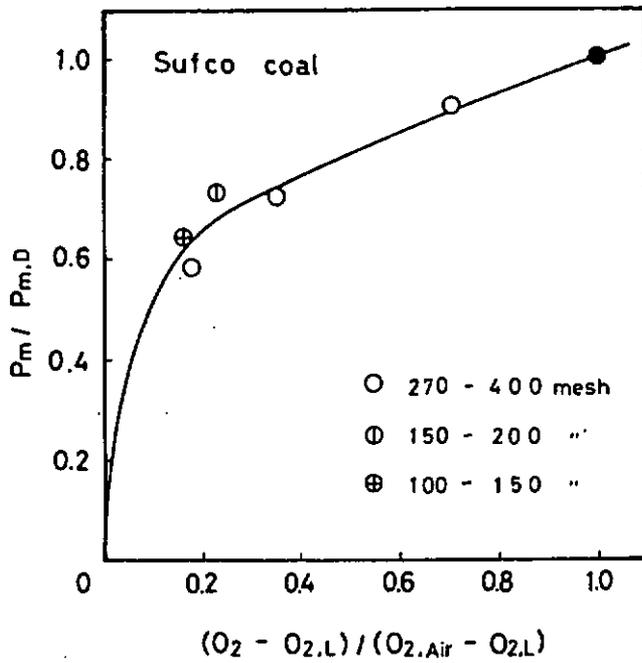


図 1.2.1.1 最大爆発発生圧力に及ぼす酸素濃度の影響

$P_{m,0}$: 空气中 ($O_2 = O_2 \cdot AIR$) における最大爆発発生圧力

P_m : 酸素濃度が $O_2\%$ の場合の最大爆発発生圧力

O_2 : 酸素濃度

$O_{2,L}$: 爆発限界酸素濃度

$O_2 \cdot AIR$: 空气中の酸素濃度 (= 21%)

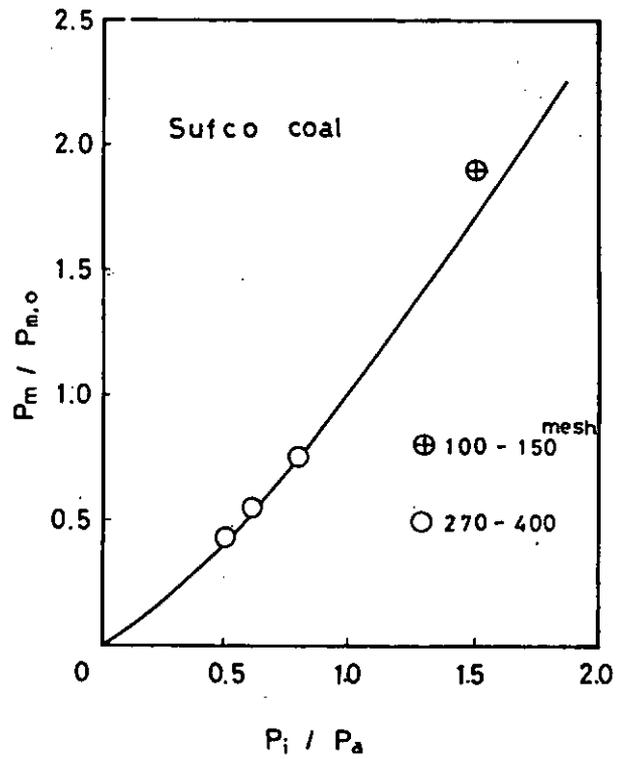


図 1.2.1.2 最大爆発発生圧力に及ぼす初期圧力の影響

P_i : 爆発前の容器内圧力 (絶対圧)

P_a : 大気圧 (1 atm)

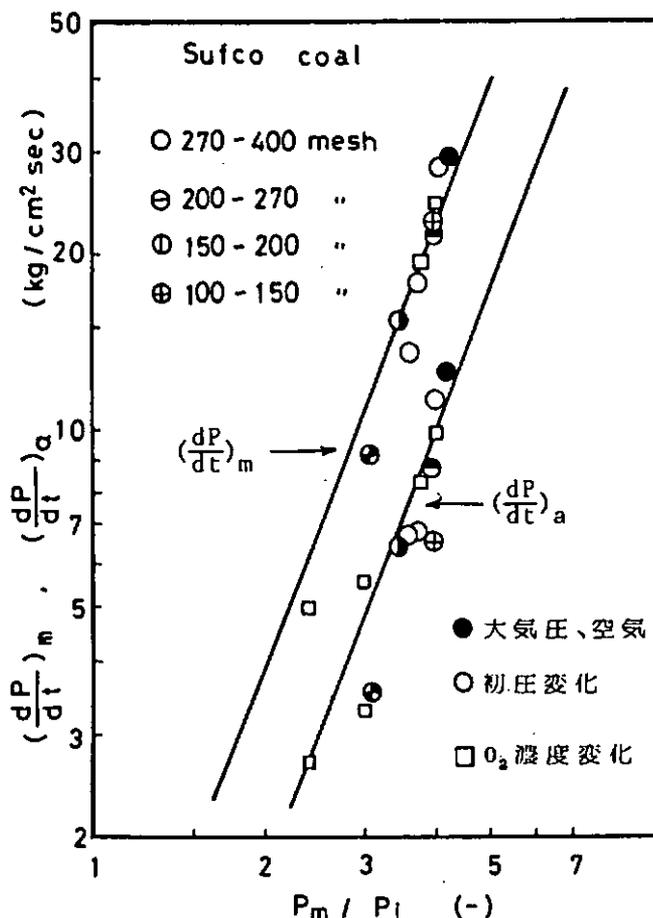


図1.2.13 最大圧力上昇速度 $(dP/dt)_m$ 及び平均圧力上昇速度 $(dP/dt)_a$ と無次元最大爆発発生圧力 (P_m/P_i) との関係

1.5 石炭流送時の静電気発生測定

1.5.1 試験方法

試験は強制荷電による帯電と流動による帯電とについて行った。

強制荷電による帯電は予備試験として、また、石炭自体の集電性を調べるものとして行った。試験装置は図1.2.14に示すとおりである。内径2.8mmのアクリルパイプに放電針を1cm間隔で21個設けた長さ20cmのコロナ放電極2本を対向させた荷電部において、フィーダより濃度が50~250g/m³、流速5m/sで供給された炭じんに±8kV、5~11μAの電力でコロナ放電によって荷電し、ファラデイケージに捕集した炭じんの電流を振動容量型電流計によって測定した。

つぎに、流動帯電量測定には図1.2.15に示す試験装置を使用した。50mmφ×2.4mの鉄製パイプの導入部を通る空気にフィーダによって炭じんを連続供給し、長さ5.3mの両端をテフロンによって絶縁された測定部を通し、集じん機、ファンを経て排出する。測定部の後部のパイプにはバタフライ弁を有するバイパスが設けられて流速を変えられるようになっている。

フィーダは2段ホップ及びスクレーバよりなるオートフィーダで、落下量は30~600g/mである。炭じん量はフィーダの回転数と落下量との関係をあらかじめ求めておくが、その関係は直線である。回転数はプーリの回転数を光電式のデジタルタコメータで測定した。流速はピトー管及びデジタルピトー管によって測定した。炭じん量は30~400g/m³、流速は8~43m/sの範囲の何点かに変化させた。発生静電圧は500V/1kVレンジの静電電圧計によ

て、回路の静電容量はLCRメータによって測定した。

試料は三池炭を全量200メッシュ以下となるよう粉碎して使用した。炭じん試料の電気抵抗は標準測定装置は定まっていないが、現在、一応標準的となっている構造寸法の電極を用いて測定したところ、見掛けの体積固有抵抗は $2.3 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ であった。

1.5.2 試験結果と考察

強制荷電による試験結果は図1.2.16に示すようであった。図は炭じん濃度と荷電による帯電電流との関係を示している。図において、正負の荷電に対する帯電傾向にはほぼ同じで、各々の場合、ある濃度のところで若干異なる値を示しているが、全体としては放物線状の曲線となっている。すなわち、荷電をしたとき、最も帯電量の多い炭じん濃度が存在するが、これには濃度の他に流速の影響もあると思われる。しかし、一応、本試験において十分に荷電ができた流速における電流の最高値は約 $7 \times 10^{-8} \text{ A}$ であった。荷電には本試験の方法では放電電極が絶縁破壊を生ずる直前の電圧を印加し、電流としては正で $5 \times 10^{-6} \text{ A}$ であった。なお、炭じんが落下流電するパイプは接地の有無に拘らず炭じんの帯電量には殆ど変化がなかった。

つぎに、流動帯電試験の結果を図1.2.17に示す。図は炭じん濃度とパイプの帯電エネルギーとの関係を示している。図より、各流速において、ほぼ定った曲線関係がみられる。高濃度範囲のデータがえられなかったが、強制帯電及び 8.3 m/s の結果から推測すると、炭じん濃度が 400 g/m^3 程度では帯電エネルギーは小さくなると思われる。これは「第188研究部会、石炭焚船の建造促進のための調査研究報告書」(昭和56年度)における70頁の記述とも一致する。

帯電エネルギーとしては、図1.2.17における 2.29 m/s 及び 38 m/s の値から推測すればこの流速及び濃度範囲においてはメタンの着火エネルギーである 0.28 mJ 以上のエネルギーが発生する可能性があると思われた。なお、電圧としては最高約 900 V 、極性は負であった。従って、炭じんは正に帯電している。

また、パイプの静電容量は 550 pF であった。

以上より、炭じん-空気混合気を鉄製パイプ中に流送された場合、絶縁されたパイプに発生帯電する静電気エネルギーは、流速及び流送濃度の条件によっては、メタン着火エネルギー以上となることがあると思われる。従って、その場合の流送炭じんのもつエネルギーも同様である。炭種による影響は他の条件による方がはるかに大きいので、余り考える必要はないと思われる。

パイプを接地した場合は発生した静電荷は直ちに緩和される。しかし、この場合でも流送された炭じんはメタン着火に必要なエネルギーをもっている。なお、炭じんの水分が大きい場合は、帯電の緩和は速くなり、帯電量は減少すると考えられる。

他の実験によれば、塊粒状、含湿炭の管路内移送装置の開発に関する実験において、 20 m/s 程度の流送速度では発生静電量は危険な量であったが、低速高濃度方式とした場合は石炭に帯電する静電気量は極めて低くなり、静電気問題は無くなったと云われている。本装置の流送速度は 400 m/min である。¹⁾

1.5.3 炭じんの静電帯電性について

(1) 炭種について

各種の物質の静電気発生帯電の差は帯電列で考える方法がある。即ち、帯電列で近い物質間には発生が少ないと考える。しかし、実際には、そのようなことが余りない。それは物質の表面の状態が付着などで物質そのものと違ってしまっているからであると云われている程、発生要因は微妙である。

それで、発生帯電の大小を物質の電気抵抗で表わそうとする考えがあるが、これは発生ではなく、電荷緩和の難易を云っているものであり、発生の度合そのものについてのことは判らない。

石炭について言えば、粉体の電気抵抗は測定法が定まっておらず、炭じんのそれも測定者によって値が異なるが、調べた範囲では $10^{12} \sim 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ で、本試験で測定した値は $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ であった。これらはすべて高帯電性物体の領域にあり、炭種による差を示すことはできない。

また、静電荷の緩和には表面の導電性だけを増せばよく、体積導電によることは殆どないと云われている。即ち、炭じん粒子では固有水分よりも付着水分の方が重要である。

以上から、炭種による差を考えるよりも、石炭がおかれた状態にすべての石炭がほぼ同様に依存すると考える方がよい。

(2) 炭じんと塊粉炭との関係

本試験を行うに当って説明したが、装置上、塊炭流送は不可能なので、炭じんのみについて行った。

炭じんのみと塊炭のある場合とでは結果は異なると思われる。

しかし、前報告のP.71の記述のとおり、粒子の小さい程帯電し易いこと、塊と粉の空気輸送では、電荷の発生が少なくなっていることを等から、実際の状態と思われる塊と粉の混合では、粉じんのみの場合より安全側にあるとみれるので、対策の適用はできると考えた。

(3) 湿度

一般に、雰囲気相対湿度が大になると帯電し難くなると云われていて、70%が急激に帯電しなくなる点の目安となっている。これは雰囲気や粉体よりの電荷の漏れ経路の導電性がよくなるためであり、従って、相対湿度の高いことは静電気に対してはよい結果をもたらす。ただし、温度が上昇して湿度が低下するには注意を要するが、炭じんの付着水分が大であれば、雰囲気中に蒸発するので、雰囲気相対湿度、炭じんの付着水分は帯電防止に重要な要素となる。

従って、高温高湿は静電気にとっては極めて有利な条件で、本試験でも、パイプの帯電エネルギーは小さくなるであろうと推測される。

(4) パイプと炭じんの帯電と接地

(a) 接地の意義

静電気では、接地できる物体の電気抵抗は $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下と云われている。これは静電的に導体であるからで、このような物質が帯電すると、例えば、突起部分に電荷が集中して放電を起すことがある。

従って、導体の帯電は危険であるが、接地によって電位の上昇を防ぐことができる。その反対に、不導体の帯電電荷は1個所に集まり難く、接地の効果もなく、例えば、接地した金網を通して炭じんを接地するなどの方法はむしろ衝突による帯電を起して危険である。

従って、接地とは静電気の発生を防止することではなく、導電性物体と大地とを電氣的に接続してその電位を大地とほぼ同電位にすることであり、接地する意味を十分に理解しなければならない。

(b) 炭じんの帯電除去

液体でも粉体でも、流送の場合に接地して帯電電荷を緩和できるのはパイプだけであり、流送物は帯電している。そのために時折可燃性液体のタンクの検尺などで、液面よりの放電で爆発を起しているのである。

このような液体や粉体の静電荷の除去は困難である。

従って、(1)、(3)で述べたとおり、炭じんの場合は、付着水分や雰囲気相対湿度を大にして

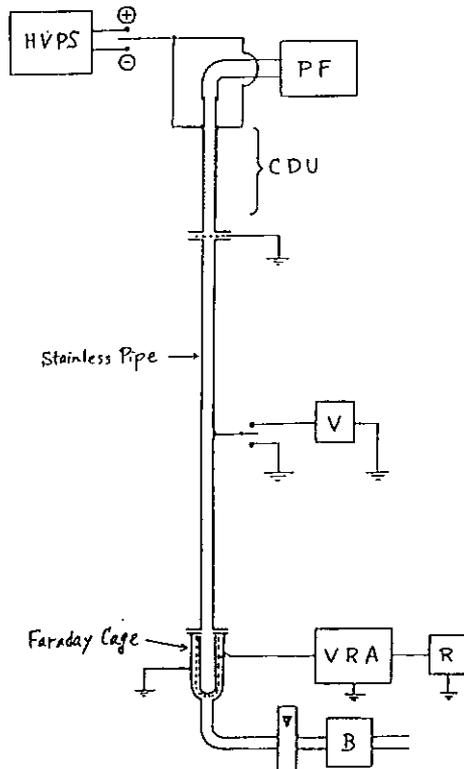
漏れ経路の導電性をよくしてやることが大切である。

なお、厳密に云うならば、静置時間を考えることである。静置時間とは、静電気の発生が終了してから次の発生が始まるまでの時間を云う。即ち、輸送により帯電した石炭をホッパにある時間入れてホッパ壁面への漏れに必要な時間をおくことである。この時間は帯電量、雰囲気湿度、石炭の付着水分に依存することは当然である。

従って、ここまで考慮するか否かは他の諸条件と共に検討すればよい。

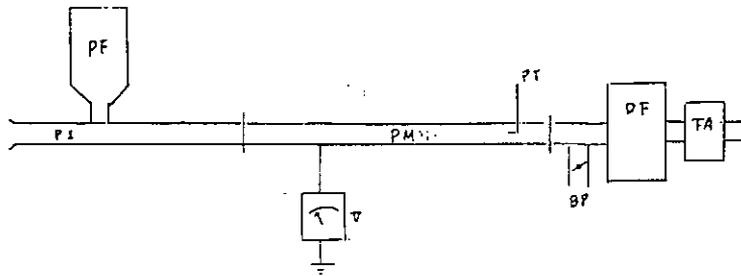
参 考 文 献

- 1) 中山浩男：塊粒状、含湿炭の管路内移送装置について、1982 全国炭技術会講演集



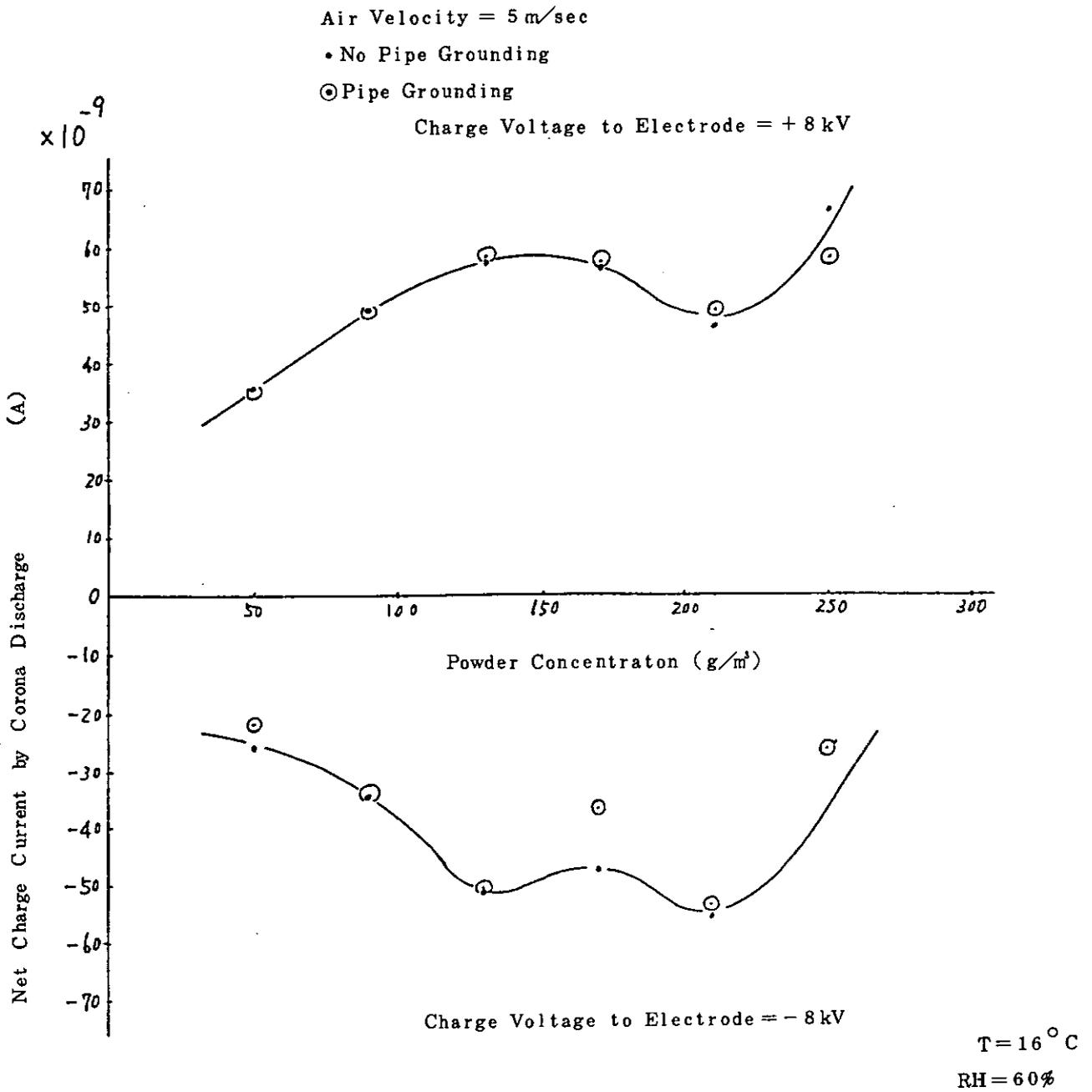
HVPS = High Voltage Power Supply
PF = Powder Feeder
CDU = Corona Discharge Unit
V = Volt Meter
VRA = Vibrating Reed Ammeter
R = Recorder
B = Blower

図1.2.14 Experimental Apparatus

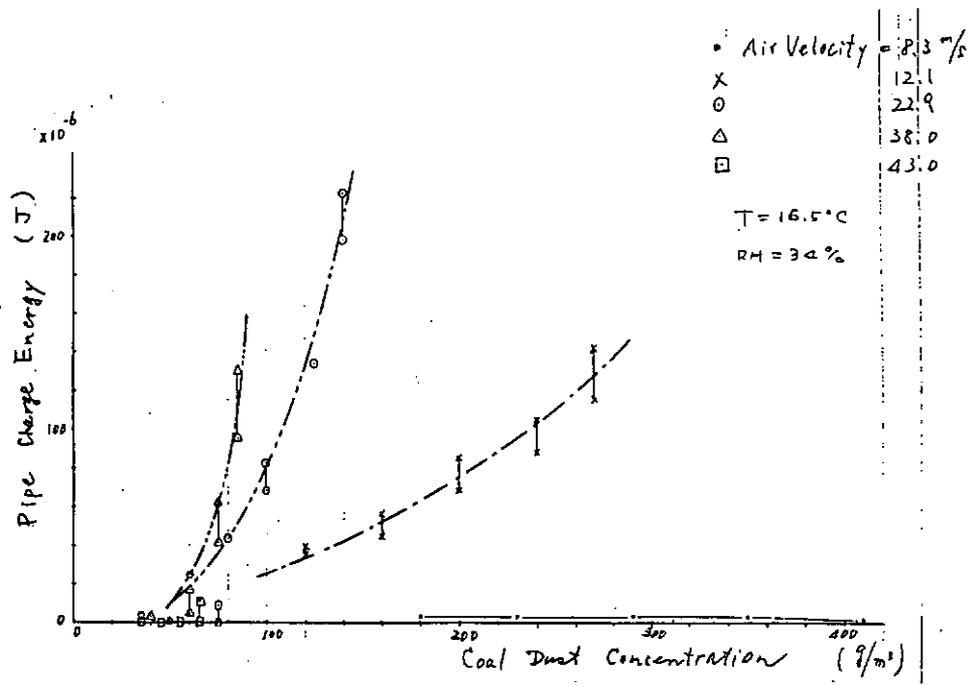


- PI : Pipe(Inlet Section)
- PF : Powder Feeder
- PM : Pipe(Measuring Section)
- DF : Dust Filter
- FA : Fan
- BP : Bypass
- V : Voltmeter
- PT : Pitot Tube

☒ 1.2.1 5 Experimental Apparatus



⊠ 1.2.16 Effect of Coal Powder Concentration on Net Charge Current by Corona Discharge during Pneumatic Transportation



☒ 1.2.1 7 Charge Energy

1.6 ま と め

1.6.1 選定炭種の試験データのまとめと危険性の判定

(1) ガス放出速度に関する試験

- 200 mesh に粉碎した6種の試料炭を、25℃のもとで5~30気圧の範囲でメタンを等温吸着させた結果、吸着等温線はLangmuirの式で表わせることがわかった。試料の酸化が進んでいるためか、吸着量は少なく、5気圧で2.36~5.70 cc/g、30気圧で7.3~8.4 cc/gであった。

- 200 mesh 試料を用い25℃、5気圧でメタンを飽和吸着させたのち1気圧で解放し、ガス放出速度を測定した。これらの実測値は、日本炭の従来の研究結果にもとづく実験式による計算値とよく一致することがわかった。

実験結果にもとづいて求められた各炭種に関する粒度計数 L と炭種係数 M を用いて、各試料炭の包蔵ガスの90%および95%を放出するのに要する日数を計算した結果によると、一般に粒度が大きいほど長時間を要し、また、炭種による較差があるが、設計の上ではCoal Valley炭を基準として考えればよい。この場合、粒径3~20 mmの試料についてのガス放出曲線を示し、包蔵ガスがどのような経過でガスを放出してゆくかを明らかにした。

(2) 炭じんの爆発性に関する試験

Sufco炭について4群の粒度別に、爆発下限界濃度、爆発上限界濃度、爆発限界酸素濃度および最小着火エネルギーを測定した。

この結果によれば、最も危険な270~400 meshの粒度範囲についてみると、爆発範囲は42.6~2500 g/m³、爆発限界酸素濃度は14.5% O₂であった。最小着火エネルギーについては、200~270 mesh 試料では5.9 mJであったが、270~400 mesh 試料については10 mJ以下と推定されるが装置の関係で確認できなかった。

これらの結果は、従来国内炭および海外炭について得られた研究結果と等しい傾向を示し、従来の研究結果ならびに対策が適用しうるものであると判断され、かつ、炭じんの爆発性は主としてその揮発分の多少によって評価することができる。

(3) 炭じんの爆発威力に関する試験

Sufco炭について最大爆発発生圧力、最大ならびに平均圧力上昇速度を試験した。

最大爆発発生圧力は、揮発分が40%程度の炭じんに関する従来の研究結果から推定される値とほぼ一致することがわかった。また、最大爆発発生圧力に及ぼす酸素濃度の影響および初圧の影響に関する試験の結果についても、従来の炭じんその他の粉じんについて研究された結果とよく一致することがわかった。

最大ならびに平均圧力上昇速度の試験結果も、従来の研究結果とよく一致した傾向を示すことがわかった。

これらの試験結果から、Sufco炭は炭じんの爆発性という観点からみて特殊な石炭ではないことがわかった。他の石炭試料についても、爆発性に関して特殊なものがあるとは考えられず、従来の一般的な考え方を適用できるものと判断される。

(4) 石炭流送時の静電気発生に関する試験

三池炭について、種々の流速濃度および流送速度で発生する静電気を計測した。この結果、炭じん-空気混合気を鉄パイプ中に流送させた場合、絶縁されたパイプに発生帯電する静電気エネルギーは、メタンの着火エネルギー以上であることがわかった。ただし、パイプを接地すれば静電荷は直ちに緩和されるが、この場合でも流送された炭じんはメタン着火に必要なエネルギーを有していることは注意を要する。

この試験は1種類の石炭について行われただけであるが、石炭は高帯電性物体であり炭種による帯電性の差を示すことはむずかしく、炭種による差よりも石炭のおかれた環境条件による影響のほうが遙かに大きい。また、この試験は200 mesh以下の炭じんについて行っているが粒度の粗い粉体の帯電性は低く塊粉炭の空気輸送時の電荷発生は少なく粉じんのみの場合より安全側にあると考えられる。塊粒炭の低速高濃度流速では石炭の帯電量は極度に低くなり、静電気問題はなくなることが示されている。

1.6.2 安全性評価基準

火災・爆発に関連した安全性の評価法は、各国のいくつかの組織で使われ、あるいは提案されている。¹⁾代表的なものとして、アメリカ鉱山局、全米防火協会、ドイツ材料試験所、イギリス兵器研究開発研究所、オランダ技術研究所などがあり、わが国では消防法で化学的危険物を6種に分類して指定数量を定めるなどを行っている。

輸送中の危険物の評価法としては、危険物貨物の鉄道輸送に関する国際規則、政府間海上協議組織による国際海上危険物規則、アメリカ沿岸警備隊の方法などがある。

これらの方法は広範囲にわたる化学的危険物の安全性評価には有意義であると考えられるが、船舶のコール・パンカーに貯えられる石炭のガス・炭じん爆発に関する安全性評価にはほとんど適用できない。

次にガス爆発および炭じん爆発に関する安全性評価について各別に検討しよう。

(1) ガス爆発に関する安全性評価

ここで問題になるガス爆発とはメタンの爆発であり、炭じん爆発に関して炭じんの爆発性が問題になるような意味では、メタンそのものの爆発性は安全性評価の対象にはならない。問題はメタン発生源としての石炭の物性である。石炭のガス包蔵量、吸着性あるいは排出速度等に関する基礎研究はかなり行われているが、採掘後の石炭をパンカーなどに入れた場合に、内部にメタンが停滞することに関する安全性評価に関する研究は見当たらない。

昭和40～41年にかけて船舶整備公団が行った『石炭専用船の防爆対策に関する研究』でも、数次にわたる実船ホールド内のメタン計測および模型船倉実験を重ねたにも拘らず、炭種などに応じたガス爆発に関する安全性評価方法については言及しなかった。²⁾この研究では、炭種、炭量によってガス濃度には差があるが、ホールド内には必ずメタンが停滞するので、適当な方法で常時メタン濃度を少なくとも爆発下限界濃度の $\frac{1}{3}$ 、すなわち約1.5%以下にしておくことが必要であるとしている。

メタンガス爆発に関する安全性評価のための考慮すべき主なパラメータをあげれば次のとおりである。

(a) 石炭の物性

ガス包蔵量	多いほど危険
ガス放出速度	早いほど危険
放出ガス組成	メタンのほか重炭化水素を多く含むものは危険。
粒度	細かいものほどガス放出速度が早くなる。

(b) 外的条件

経過時間	採掘直後から10日位の間急速に発生し、その後は緩やかに減衰する。
気温	温度が高いほど発生しやすい
大気圧	気圧が急激に低下するとき多量に発生しやすい。

対象炭を採掘する炭鉱において、排気中のメタン濃度から出炭トン当りのメタン量 ($\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{t}$) がわかれば、メタンガス爆発の安全性を推定しやすい。日本の炭鉱では少ない所

で $10 \text{ m}^3/\text{min.t}$ 、多い所では $30 \sim 80 \text{ m}^3/\text{min.t}$ である。

(2) 炭じん爆発に関する安全性評価

粉じん爆発に関する安全性評価、あるいは粉じんの爆発危険性を何等かの形で表わし、これにより、危険等級別に分類して安全対策の基礎とする方法が各方面で行われている。その主な方法をあげれば次のとおりである。

(a) 実測結果に基づく危険等級

① アメリカ鉱山局の爆発指数³⁾

アメリカ鉱山局 (U. S. Bureau of mines) は、ペンシルバニア州ピッツバーグ市付近で産出する瀝青炭の 200 メッシュ以下の炭じんの爆発性を標準として次の指数を定めている。

$$\text{着火感度} = \frac{\text{(標準炭じんの) 最小着火エネルギー} \times \text{爆発下限濃度} \times \text{着火温度}}{\text{(試料粉じんの) 最小着火エネルギー} \times \text{爆発下限濃度} \times \text{着火温度}}$$

$$\text{爆発強度} = \frac{\text{(試料粉じんの) 最大爆圧} \times \text{最大圧力上昇速度}}{\text{(標準炭じんの) 最大爆圧} \times \text{最大圧力上昇速度}}$$

$$\text{爆発指数} = \text{着火感度} \times \text{爆発強度}$$

なお、標準炭じんの工業分析値は水分 1.8%、揮発分 36.4%、固定炭素 54.7%、灰分 7.1%、Hartmann 型の爆発試験装置で試験したときの標準的爆発特性は、着火温度 610°C 、最小着火エネルギー 60 mJ 、爆発下限 55 g/m^3 、着火防止限界酸素濃度 16% であり、着火感度および爆発強度はいずれも 1、したがって爆発指数も 1 とする。

爆発指数の評価基準は表 1.2.1 2 のようである。

表 1.2.1 2 爆発指数の評価基準

爆発の程度	着火感度	爆発強度	爆発指数
弱い	< 0.2	< 0.5	< 0.1
中位	$0.2 \sim 1.0$	$0.5 \sim 1.0$	$0.1 \sim 1.0$
強い	$1.0 \sim 5.0$	$1.0 \sim 2.0$	$1.0 \sim 10$
極めて強い	> 5.0	> 2.0	> 10

この方法によれば、爆発指数はジルコニウム粉の 218 から鉄粉の < 0.1 などと物質により非常に広範囲にわたり、数値的に粉じんの爆発危険性を比較することができ、実用的である。

② ソ連の危険等級⁴⁾

ソ連では粉じんの爆発下限濃度に応じて次の 4 段階に分類しているという。

1 級 爆発下限濃度 15 g/m^3 以下のもの

例：硫黄 (2.3 g/m^3)、ナフタリン (2.5 g/m^3)、樹脂 (5.0 g/m^3)、ビート糖 (8.9 g/m^3)、小麦粉 (10.1 g/m^3)、ビート (10.1 g/m^3)

- 2級 爆発下限濃度 16～65 g/m³
 例：穀粉（30.2～63 g/m³）、茶（32.8 g/m³）、じゃがいも澱粉（40.3 g/m³）、
 アルミニウム（53.0 g/m³）
- 3級 爆発下限濃度 65 g/m³以上で、堆積状態の発火温度が250℃以下のもの。
 例：タバコ粉末
- 4級 爆発下限濃度 65 g/m³以上で、堆積状態の発火温度が250℃以上のもの。
 例：おが屑粉末
- これらのうち、1級と2級の粉じんを危険な爆発性粉じんとし、3級と4級を可燃性粉じんとしている。

③ 西ドイツの危険等級⁵⁾

西ドイツでは爆発指数6以上の粉じんを爆発性のある粉じんとしている。この爆発指数は $\times 10^{-3} \text{ atm}^2/\text{sec}^2$ で示され、爆発圧力上昇速度の最高と平均の積で計算される。

④ イギリス火災研究所の危険等級⁴⁾

粉じんを(a)実験で発火し、火炎伝ばするグループ、(b)実験では火炎が伝ばしないグループの2群に分け、さらに次のように級別に分ける。

- 1級：発火に必要な熱源が小さく、直ちに発火し火炎が伝ばする粉じん。
 2級：容易に発火するが、より大きな発火源を必要とする粉じん。
 3級：実験では発火しない粉じん。

1級はグループ(a)、2級および3級はグループ(b)に属するものとされている。

⑤ アメリカ・ダウ社の危険等級⁶⁾

ダウ社では表1.2.13のような危険等級づけを行っている。

表1.2.13 ダウ社の粉じん危険等級

危険性	最大爆圧上昇速度 (kg/cm ² /sec)	ベント比 (1/30 m ² /m ³)	粒度 (μm)	タイラー標準篩 通過 (メッシュ)
非常に弱い	3.5以上	0.5～1	175以上	60～80
弱い	3.5～9.1	2～3	150～175	80～100
中程度	9.1～14.0	3～4	100～150	100～150
強い	14.0～18.2	4～5	75～100	150～200
非常に強い	18.2以上	5以上	75以下	200以上

この方法は、最大爆圧上昇速度の大きさによって危険性を分類し、それぞれの場合に適した爆圧放散に必要なベント比（開放面積／装置容積）⁷⁾を示し、かつ、そのような最大爆圧上昇速度を生ずるおそれのある粉じんの粒度を示している。

⑥ 日本の産業安全研究所の粉じん分類⁸⁾

労働省産業安全研究所では、粉じんを爆燃性粉じん（空気中の酸素が少ない雰囲気中または二酸化炭素中でも着火し、浮遊状態では激しい爆発を生ずる金属粉）と、可燃性粉じん（空気中の酸素と発熱反応を起こして爆発する粉じんをいい、導電性のものと、非導電性のものがある）に分け、発火度（着火温度）に応じて表1.2.14のように分類している。

表1.2.14 粉じんの分類例

粉じん 発火度	爆燃性粉じん	可燃性粉じん	
		導電性のもの	非導電性のもの
11	マグネシウム, アルミニウム, アルミニウムブロンズ	亜鉛, チタン, コークス, カーボンブラック	小麦, とうもろこし, 砂糖, ゴム, 染料, ポリエチレン, フェノール樹脂
12	アルミニウム(含脂)	鉄, 石炭	ココア, リグニン, 米ぬか
13			硫黄

- ① 表は、工場その他の事業場で多く取扱われる代表的な粉じんについて、発火度による粉じんの分類例を示したものである。
- ② 可燃性粉じんのうち特に導電性のものを区別したのは、導電性の可燃性粉じんは電気設備に絶縁劣化、短絡などの悪影響を与えるので、粉じんの防爆構造の選定上の便宜を考慮したためである。
- なお、発火度の分類は表1.2.15のようである。

表1.2.15 発火度の分類

発火度	発火温度
11	270℃を超えるもの
12	200℃を超え270℃以下のもの
13	150℃を超え200℃以下のもの

備考 粉じんの発火度を定めるに当っては、空气中に浮遊した状態の発火温度とたい積状態の発火温度(くすぶり温度)のいずれか低い方の値を採用するものとする。

石炭類の発火度を12(200℃を超え270℃)としているのは、たい積状態のくすぶり温度をとっているため、粉じん雲の状態における発火温度は485~680℃程度である。(表1.2.16参照)

表1.2.16 炭素系粉じんの発火度

粉じんの種類	粉じんの名称	発火度	高温表面におけるたい積粉(厚さ5mm)の発火温度℃	雲状粉じんの発火温度℃	爆発下限界濃度 g/Nm ³	粉じん平均粒径ミクロン	危険性分類
炭素系	泥炭(たい積品)	12	260	450		60~90	可導
	褐炭(未熟亜炭)	12	260	—	49~68	2~3	"
	褐炭(練炭屑)	12	230	485		3~5	"
	れきせい炭	12	235	595	41~57	5~10	"
	ガス炭	12	225	580	35~48	5~10	"
	コークス用石炭	11	280	610	33~45	5~10	"
	貧石炭	11	285	680	34~45	5~7	"
	無煙炭	11	>430	>600		100~150	"
	木炭(硬質)	11	340	595	39~52	1~2	"
	泥炭コークス	11	360	615	40~54	1~2	"
	褐炭コークス	12	235			4~5	"
	石炭コークス	11	430	>750	37~50	4~5	"

(b) 工業分析値に基づく危険等級の推定

前述した各方法は、いずれも何らかの実測結果を評価基準に対比して、危険等級を判定し、これによって安全性を評価するので、それなりに正確な評価が可能であるが、評価基準制定時と同等の試験条件で厳密な試験を行わない限り、それぞれの評価基準は使用できない。

炭じんの工業分析値に基づいて爆発の危険性を推定することができれば極めて便利であるが、この種の方法はほとんど発表されていないが、純炭中の揮発分比に基づく方法を一例として述べよう。

日本の石炭50種について、200メツシュ以下の炭じんをHartmann型爆発容器で試験し、爆発を抑制するに必要な不燃性物質量と純炭中の揮発分比の関係を調べた結果によると、次のような関係が認められる。⁹⁾

$$N' = \frac{V' - 10}{V'} \times 100 \quad (1.2.3)$$

$$N = N' - (M + A) \quad (1.2.4)$$

ただし、 $V' = \frac{V}{V + F} \times 100$

V : 炭じんの揮発分

F : " 固定炭素

M : " 水分

A : " 灰分

N' : 炭じん爆発抑制に必要な不燃性物質率

N : 爆発指数

この方法では、炭じん爆発抑制に必要な添加不燃性物質量の多少によって爆発等級を表わしている。すなわち、添加すべき不燃性物質量が多量に必要なものは、それだけ爆発し易く、抑

制し難いことを意味し、爆発指数が大きいことは危険等級が高いことを意味している。この場合の評価基準は経験的に表 1.2.17 のようである。

表 1.2.17 爆発危険度評価基準

N	評 価	等 級
70以上	非 常 に 危 険	1
50以上70未満	危 険	2
30以上50未満	や や 危 険	3
30未満	危 険 少 な い	4

今年度の試験研究に選定された炭種についての自然発火、ガスの吸着および排出、爆発性に関する研究結果によれば、試料炭固有の特性はあるものの、従来国内炭について研究され、蓄積された知見で考えられる範囲の性状を示すものであることがわかった。したがって、ここに示した工業分析値に基づく危険等級の推定法を、研究対象の海外炭に適用することは無意義ではないと考えられる。

研究対象炭の工業分析値に基づいてこの方法で爆発危険度を評価すれば表 1.2.18 のとおりである。

表 1.2.18 研究対象炭の炭じん爆発危険等級

	M	A	V	F	V'	N'	N	等 級
Warkworth	2.8	1 2.4	3 3.0	5 1.8	3 8.9	7 4.3	5 9.1	2
Blair Athol	7.5	8.2	2 7.6	5 6.7	3 2.7	6 9.4	5 3.7	2
Birds Rocks	2.0	1 8.5	2 5.1	5 3.3	3 2.0	6 8.8	4 8.3	3
Witbank	2.5	1 6.0	2 3.5	5 7.0	2 9.2	6 5.8	4 7.3	3
Ermelo	3.0	1 6.0	2 8.5	5 2.5	3 5.2	7 1.6	5 2.6	2
Mercoal	8.2	7.1	3 5.1	4 9.8	4 1.3	7 5.8	6 0.5	2
Coal Valley	8.0	1 0.5	3 4.2	4 7.3	4 2.0	7 6.2	5 7.7	2
Sufco	9.5	9.5	3 6.0	4 5.0	4 4.4	7 7.7	5 8.5	2
Sunnyside	4.5	5.8	3 8.5	5 1.2	4 2.9	7 6.7	6 6.4	2
Beatrice	2.9	5.0	2 1.5	7 3.4	2 2.7	5 5.9	4 8.0	3
大 同	3.9	5.1	3 2.7	5 8.3	3 5.9	7 2.1	6 3.1	2
准 北	2.0	2 0.1	2 4.9	5 3.0	3 2.0	6 8.8	4 6.7	3
三 池	1.7	3.6	4 2.7	5 2.0	4 5.1	7 7.8	7 2.5	1
大 平 洋	5.5	5.0	4 8.2	4 1.3	5 3.9	8 1.4	7 0.9	1

(3) ガス・炭じんが共存した場合の総合的安全性評価

石炭のガス放出性に関して、工業分析値等から安全性を評価する基準は確立されていない。正確には石炭試料のガス放出速度、吸着量あるいは少なくとも炭鉱のガス発生量の計測結果に基づいて判定すべきである。しかし一般的には灰分や水分が少ない良質の瀝青炭、特に揮発分の多いものはガス包蔵量が多く、長期にわたってガスを放出しやすい。

炭じん爆発に関しても、正確には爆発性の試験結果を何らかの評価基準にもとづいて安全性を確かめるべきである。これも工業分析値にもとづいて判定するとすれば、前述のように灰分や水分が少なく揮発分の多いものが危険等級が高いという傾向がある。さらに同様の工業分析値を有する石炭でも粉碎性に富んでいるものは、積込、運搬などの取扱時に粉化して微細炭じんを生成しやすいので、危険性がさらに大になる。また、ガス放出が減衰してほとんどガスが出なくなった石炭でも粉化すると再びガスを放出するようになる傾向がある。

これらを総合すると、水分や灰分が少なく、揮発分の多い瀝青炭で、粉化性の高いものが、ガス・炭じん爆発の総合的危険性が大であるといえる。

1.6.3 爆発防止原理と諸パラメータの影響

56年度の調査研究及び本年度の諸試験の結果から明らかのように、ガス・炭じん爆発発生の基本条件は以下のようである。

- ① 爆発範囲のガス又は炭じん雲が存在又は形成されること。
- ② 適当な温度とエネルギーを有する着火源が存在または形成されること。
- ③ 十分な酸素が存在すること。

上記の3条件がそろった時ガス・炭じんが発生し、その強度は種々の条件によって左右される。

(1) ガス爆発

メタンの爆発限界および着火感度は、気温、湿度、圧力、着火源の種類・温度、酸素濃度、不活性ガスの存在等の因子によって影響されるが、一般環境内の普通の変動範囲内では、これら各因子の影響は、著しいものでないことが確認されており、船舶内でも同様と考えられる。

したがって、ガス爆発については他の因子の影響はあまり考慮する必要はなく、爆発防止原理は上記3条件の1つまたは幾つかを安全限界以下にコントロールすることにある。

(2) 炭じん爆発

炭じん爆発については、非常に多くのパラメータがその爆発性に影響する。これらのパラメータの影響を簡単にまとめてみると次のようである。

表 1.2.19 炭じんの爆発性に影響を及ぼすパラメータ

	因子の条件	影響度
化学的組成	揮発分 → 高い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 着火温度 → 低い ・ 爆圧・圧力上昇速度 → 大きい
	灰分 → 少ない	<ul style="list-style-type: none"> ・ 爆発し易い ・ 爆圧 → 大きい
炭じんの状態	粒度 → 小さい	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最小着火エネルギー → 少ない ・ 爆発下限濃度 → 低い ・ 爆圧・圧力上昇速度 → 大きい
	粒子形状 → 不定形	<ul style="list-style-type: none"> ・ 爆発し易い
	表面状態 → 活性が大	<ul style="list-style-type: none"> ・ 爆発し易い
	浮遊性 → 大きい	<ul style="list-style-type: none"> ・ 爆発し易い

	因子の条件	影響度
炭 じ ん の 状 態	水分 → 少ない	<ul style="list-style-type: none"> • 浮遊性 → 大きい • 着火に有効なエネルギー → 多い • 最小着火エネルギー → 少ない • 爆発下限濃度 → 低い • 炭じん雰囲気 → 雰囲気乾燥により活性的となる。 • 帯電性 → 増大する • 粉碎性 → 増大する • 爆圧・圧力上昇速度 → 大きい
	ガス包蔵量 → 多い	• 爆発しやすい
	新鮮度 → 新しい	• 爆発しやすい
環 境 条 件	酸素濃度 → 高い	<ul style="list-style-type: none"> • 着火温度 → 低い • 最小着火エネルギー → 少ない • 下限濃度 → 低い • 上限濃度 → 高い } 爆発範囲が拡大 <ul style="list-style-type: none"> • 爆圧・圧力上昇速度 → 大きい
	雰囲気温度 → 高い	<ul style="list-style-type: none"> • 爆発に必要な最小酸素濃度 → 低い • 炭じんの状態 → 乾燥して流動しやすくなり、炭じん雲を形成しやすい。
	初圧 高い	• 爆圧・圧力上昇速度 → 大きい
	共存する可燃性ガス濃度 → 高い	• 下限濃度 → 低い
	着火源の温度 → 高い 着火源の表面積 → 大きい	<ul style="list-style-type: none"> • 下限濃度 → 低い • 着火しやすい

この様に炭じん爆発の場合には、非常に多くの因子が爆発性に影響するため、場合によっては前述の3条件が満たされても爆発しないか、あるいは一部で着火を生じても爆発の伝ばに至らないこともある。しかしながら、炭じん状態がどのようであろうとも、前述の3条件が満たされない限り爆発することはないので、炭じん爆発についてもその爆発防止原理は前記3条件の1つまたは幾つかを安全限界以下にコントロールすることにある。なお、この表は炭じん爆発の危険度を増大するおそれのあるインパクトを列記したものであり、この逆のインパクトを与えればそれだけ危険度は減少することになる。

参 考 文 献

- 1) 疋田 強：火災・爆発危険性の測定法 日刊工業新聞社(1977)229
- 2) 船舶整備公団：石炭専用船の防爆対策に関する研究 第1集(1966)、第2集(1967)
- 3) M. Jacobson et al: Explosibility of Dusts used in the Plastics Industry U. S. B. Rep. of Inv, 5971(1962)
- 4) 内藤道夫、松田東栄：粉じん爆発の危険性とその防止対策 産業安全研究所技術資料(1972)23

- 5) N.Helwig : Die Explosionseigenschaften von Kohlenstaub verschiedener Flöze, Glückauf-Forsch.-H.27 (1966) 283
- 6) 1) - 152
- 7) 日本造船研究協会 : 第188研究部会・石炭焚船の建造促進のための調査研究報告書 (1982) 86
- 8) 産業安全研究所 : 工場電気設備防爆指針 (粉じん防爆1982) 4
- 9) 房村信雄 : 炭塵爆発 白亜書房 (1952) 4
- 10) 7) - 35

2. 船内におけるガス・炭じん爆発の可能性と船内設備のあり方

2.1 船内におけるガス・炭じん爆発の可能性

船内におけるガス・炭じん爆発の可能性を考える場合には、船内の石炭ハンドリング行程での外的な要因と、石炭自身の内的な要因について考える必要がある。

2.1.1 外的な要因

外的な要因を知る為には、船内における石炭の流れの行程を調べ、各々の状況を十分に把握する必要がある。大まかに考えれば、石炭の流れは、バンカー→運炭装置→デリーホッパー→給炭装置→ボイラとなるので、以下ボイラを除く各行程における実状と問題点を考察する。

(1) バンカー

バンカーへの石炭の搬入方法としては、炭車による重力式、グラブ、コンベア等による機械式、空気を搬送媒体とした空気輸送式等があるが、いずれの場合も石炭はバンカー上部から投入される。この場合石炭は原則として、すでにその船のストーカだきボイラの計画条件に合った粒度に調整されていると考えて良い。従って搬入される石炭は、ある粒度分布を持った粉炭+塊炭の状態であり、これがバンカー上部から投入される事によりバンカー内で大量の炭じんが舞い上る事は十分想像できる。この炭じんの発生状態は、石炭の粉碎性、燃料比等の炭種による特性、粒度分布、表面水分等の石炭の状態、落下高さ、搬入速度等の搬入条件等により影響されるが、大気中でもあり、十分な酸素が存在するので着火源等の条件がそろえば爆発する可能性はある。しかし、一般には着火源が存在する状況ではないので、どちらかと言えば、この石炭搬入行程での炭じん爆発の危険性はあまりないと考えられる。ただ、着火源の一つになり得る静電気の帯電を防ぐ様な対策は考えておく必要がある。

メタンガスについては、石炭は搬入される前に、すでにある程度細かく粉碎されているので、粉碎前に石炭の表面近くに存在していたガスはほとんど大気中に放散されてしまっている。しかし、搬入中には、さらに石炭が粉碎されるので、内部に存在する新しいガスが大量に放出される可能性がある。ただ、このガスはバンカーへの搬入行程では、大気中に放散されていくので、爆発の可能性はほとんどない。

次に船の航行時について考える。

バンカー内の石炭は、自重によって圧密状態にあるので、これが船体の動揺でくずれて炭じん雲を発生する可能性は、余程大きな動揺でもない限りまずあり得ない。従って、航海中におけるバンカー内においては、炭じんのみによる爆発はないと考えられる。

一方、メタンガスについては、前述したように搬入時の粉碎によって新たなガスが発生すると考えられるので、これが密閉されたバンカー内に徐々に蓄積されていく。密閉区画内におけるガスの分布状態については、56年度の調査によると次の様である。

1. 一般に、発生したガスはバンカー内の上方部、例えば通風装置、マンホール等の中で濃度大となる。

2. メタン濃度は、出航後30～40時間程度一定の割合で増加する。

3. 石炭内部では、表面からの深さと共に濃度が増加し、深さ2～3mで爆発限度に達する。

ただ、これらは、一定期間石炭の動きがない石炭専用船の船倉内の状況であるので、石炭だき船のバンカー内の様に石炭が毎日消費されて一定量ずつ減少していく場合には、多少この傾向と異なるところがあるかも知れない。

このバンカー内のメタンガスは、強制的に換気を行う事により濃度を大幅に低下させることができる。しかしこの場合、積載された石炭の内部には、メタン濃度が低下せず逆に増加する場所があるので注意しなければならない。これは通風を行う事によってバンカー内の圧力が減じる為、新たに石炭内のガスが放出する為である。

この様に航行中、密閉されたバンカー内においてはメタンガスの発生、蓄積があり、これが爆発範囲内の濃度になれば、着火源の存在によってガス爆発が起こる。さらにこれが引き金となってバンカー内の炭じんを舞い上げ、より強大なガス・炭じん爆発が誘発される可能性もある。ただ、どれくらいの時間で危険な濃度になるかは、その石炭のガス放出量や放出速度、石炭の積載量、バンカー内の空間容積等によって左右されるので、濃度変化を監視しながら、必要に応じて対処していく必要がある。

又、バンカー内の着火源としては、密閉状態である事も考慮すると、主として自然発火等による加熱が考えられる。

(2) 運炭装置

石炭の移送方法には種々あるが、ここでは、システムが単純である事、船内での保守性にすぐれている事、さらに防じん性、低騒音、配置設計の柔軟性等の利点から最も一般的と考えられるデンスフェイズ方式を対象とする。

この方式では、まずバンカ下端の石炭供給弁が開く事によって、一定量の石炭がホッパー内に投入される。次にこの石炭は圧縮空気によりパイプ中をデーリーホップまで移送されるが、バンカー底部の塊炭群の隙間には爆発下限界以上のメタンが存在している可能性があるため、このガスがホッパー内に蓄積し、さらにパイプ内へも流送されていく事が考えられる。従って、この工程においても条件によってはガス爆発の危険が存在する。

また、石炭がホッパー内に重力により落下する際には炭じん雲を発生する可能性がある。さらに、石炭がパイプ内を移送される際、石炭の挙動は完全なプラグフローではなく、石炭粒間の吹き抜け空気により一種の浮遊化を伴う為、炭じん雲が強制的に発生させられる可能性がある。しかもパイプ内は加圧の状態にあるので、爆発しやすい状態にあり、又発生すればその威力は強大となる。運炭装置内での着火源としては、混入した異物による衝撃火花や静電気が考えられる。

(3) デーリーホップ

デーリーホップは、連続給炭の為のいわばバッファの様なもので、その必要容積はバンカーからデーリーホップへ石炭を移送する運炭装置の運転間隔や信頼性との関連で決定されるが、実際的には6時間程度の容量となる。

デーリーホップ内においても、バンカーと同様に上部にメタンガスの滞留する状態が十分考えられる。これは前述した様にバンカの低部の石炭間にたまっていたものが移送されてきたものであり、一度に移送される量としてはわずかなものである。しかしながらデーリーホップ内へは次々と石炭が送られてくるので、少しずつメタンガスは上部にたまっていき、やがては爆発限界内の濃度になる可能性もある。

また、石炭は加圧の状態で送られてくるので、これがデーリーホップ内に投入される時、内部の炭じんが強制的に舞い上げられ、爆発を生ずるのに十分な濃度の炭じん雲が形成される事が十

分想像できる。

デーリーホッパ内での着火源としては、静電気、異物による衝撃火花、異常加熱等が考えられる。

又、空気移送方式では、最終段階において固・気分離が必要である。デーリーホッパには、この為の装置としてサイクロン又はバグフィルタが設けられるが、この個所は、比表面積を増して活性になった極微粉が集まってくる所であるので爆発危険性が非常に大きく、十分な注意が必要である。この場合、着火源としては、静電気と考えられる。

(4) 給炭装置

デーリーホッパを出た石炭は、コールゲート、給炭管、石炭分配器等からなる給炭システムによりボイラの給炭器まで移送される。

一般にこのシステム内においては、石炭が常に満たされており、これが常時移動しているためガスや炭じんの発生はまず考えられず、又、着火源もないと考えられるので、爆発の危険性はないであろう。

2.1.2 内的な要因

ガス爆発に最も大きく関与する石炭の内的要因としては、ガス包蔵量であろう。単純に考えればガス包蔵量の多い炭種ほど爆発の可能性は大きいと考えがちであるが、実際には、石炭が採掘されてからバンカー内に搬入されるまでの時間経過に影響され、さらにガスの放出速度も炭種によって異なるので、これらの点を考慮して爆発の可能性を判断する必要がある。しかしながら一般的に考えれば、バンカーを密閉している限りは、石炭から湧出するガスは、たとえ少量づつでも徐々に内部の空間にたまってゆき、やがては爆発範囲内の濃度になる可能性がある。

炭じん爆発に最も大きく関与する要因は揮発分であり、その含有量が10%を超えると爆発の可能性が出てくる。これから考えると、今回研究対象の目安として選定された炭種はいずれも揮発分が20%以上であり、爆発の可能性をもっていると言える。

その他の内的要因としては、水分、灰分、粉碎性、浮遊性、石炭の表面状態等が挙げられるが、上述の2要因からみると2次的なものとなろう。これらの影響については、1.6.3を参照されたい。

2.2 船内におけるガス・炭じん爆発防止対策の基本方針

1.6.3で述べられた爆発防止原理から、船内での爆発を防止する為には、以下のような基本方針に基づき対策を行う必要がある。

(1) 濃度管理

ガスの濃度を爆発可能な範囲内に入らない様管理する。具体的には濃度を適宜計測して監視を行い、危険範囲（下限値）に近づいたら濃度を下げる為の対策を行う事になる。船舶においては、バンカーやデーリーホッパでの管理は可能であるが、運炭システムや給炭システム内での管理は非常に困難である。

バンカーやデーリーホッパ内におけるメタンガスの濃度は換気装置によってコントロールできるが、この場合、前述した様に換気を行う事によってバンカー内の気圧が下がり、石炭内部に蓄積されているガスの一部が新たに湧出してくる事に注意する必要がある。又、新鮮空気を送る事により、自然発火発生の一つの条件を与える事にもなるので、その後の管理は爆発、自然発火の両面から引き続いて行う必要がある。

また、ガスは、低気圧通過時や環境温度上昇時（例えば熱帯通過時）には、通常時よりも発生量が増えるので注意しなければならない。

炭じん濃度については、そのコントロールはまず不可能であり、他の要因に対しての対策を行う必

要がある。炭じんの場合は、まず第一に炭じん雲を発生させない事を考えるべきで、水分等による浮遊性のコントロールを行う事も必要である。例えば、水分2%増で炭じん発生率を $\frac{1}{10}$ にできるという試験データが出ている。また搬入速度を小さくする事によっても、炭じん発生率を抑える事が可能である。

(2) 着火源の除去

着火源としては、主として次のものが考えられる。

- ① 自然発火
- ② 異物による衝撃火花
- ③ 異常加熱
- ④ 静電気

これらの着火源が確実に除去できれば、他のどんな条件が成立しようとも、絶対爆発は生じないわけであるが、実際には完全に除去する事は困難である。

①については、第1章で述べられているので参照のこと。

②については、異物は一般に石炭を船に積み込む前に完全に除去されている事が前提条件であるが、実際には混入する可能性も考えられるので、給炭システムにおいては、この異物のボイラ内への侵入を防ぐ為に磁気分離器を設ける場合がある。

③については、石炭の流れの行程において、周辺機器による加熱状態が生じない様な配置とする事、またシステム内で熱が蓄積しない様な構造とする事を考える必要があり、これは計画の段階である程度可能である。

④については、主に移送管やバグフィルタで問題になるが、静電気の発生状況は1.5で明らかにされた様に、石炭の流量、流速によって異なる。従って、デーリーホップの容量との関係も考慮して、爆発を生ずるに足る十分な静電気を発生しない様に、流量、流速、管径、配管等の設計を行う必要がある。又、一般に、静電気の滞留を防止する為には、装置を接地すれば十分と考えがちであるが、この場合、装置内の炭じんが帯びている電荷はほとんどそのまま残っている事に注意しなければならない。この電荷を完全になくす為には、炭じんの付着水分を増加したり、雰囲気相対湿度を高める事によって、電荷の漏れ経路の導電性を良くし、炭じんの表面から接地をしている装置へ電荷が移動していく様にしてやる必要がある。この場合、装置の使用材質としては、電気伝導度の低いものは避けなければならない。

(3) 酸素濃度管理

爆発を発生する為に最少限必要な酸素濃度（爆発限界酸素濃度）として紹介されている一例は、メタン-空気混合の場合、約12%（鉱山保安ハンドブックによる）、炭じんの場合、約16%（Bureau of Mine（米国）による）である。従って、酸素濃度をこの値より小さくできればよいが、この場合、他の因子（例えば、着火源温度、着火エネルギー等）の影響により上記の酸素濃度より低い濃度で爆発を発生する事も有り得るのでかなり低い濃度にしないと危険である。

具体的には、タンカーで行っている様に、酸素濃度の低い主ボイラの排ガスをバンカーやデーリーホップ内に送り込んでやる方法が考えられ、これは自然発火防止の面からも、有効な対策である。但し、石炭だきボイラの排ガスの酸素濃度は重油だきボイラのものに比べてそれほど低くはならないのでこの点を十分に検討しておく必要がある。

(4) 着火雰囲気抑制

炭じんの場合には、この他に1.6.3で述べたいくつかの影響因子により、着火雰囲気抑制のコントロールを行い、爆発の可能性を小さくしたり、その威力を小さくする事が可能である。

実現可能性のある例としては、次の対策が考えられる。

① 炭じん状態のコントロール

コントロールできる因子として実際的なものは水分であろう。先に述べた様に、水分を増加する事は、浮遊性の抑制、帯電性の減少、下限濃度の上昇、最小発火エネルギー等の増大等爆発性を弱める面から多くの利点をもっており、非常に有効な対策の一つとして考えられる。

具体的な方法としては、バンカーやデーリーホッパ内の炭じん雲中に水を噴霧する事であるが、この場合、乾燥した石炭中に湿分を加える事は、その量によっては自然発火を発生させる条件にもなりうるので、この点十分な注意が必要である。

② 環境条件のコントロール

前述した酸素濃度のコントロール以外で可能なものとして、環境温度を上げない様にする対策が考えられる。

(5) 構造上の考慮

バンカーやデーリーホッパ内には、メタンガスの滞留しやすい上部の部分的空間や、炭じんの蓄積しやすい棚や骨等を設けない様にする事が必要である。同様の事を配管の設計においても考慮する必要がある。

(6) 使用炭の性状に応じた対策の実施

爆発危険性の度合は、使用炭の性状によって異なると考えられる。すなわち、使用する石炭が爆発しやすい性質をもつものかどうか、又、爆発した場合、その強さがどのくらいのものかによって安全対策の度合が異なる。もちろんどんな石炭に対しても二重、三重の完全な対策が立てられれば問題ないが、これは種々の条件によって不可能な場合が多い。従って、使用炭の危険性の度合をある程度の精度でもって判断する事により、適当な安全率をもった範囲内でそれぞれに適した対策を立てる事ができれば理想的である。これにより、安全性をも十分に考慮した経済的な設計ができる事になる。

1.6.2においては、将来石炭だき船の燃料炭として使用可能性がある14銘柄についてのガス・炭じん爆発の危険性を1,2,3,4の4つの等級に分類する事を試みた。この場合、等級1と2、又は2と3では対策にそれほど差はないかも知れないが、例えば等級1と3では十分検討する事によっては対策の程度に差をつける事も可能と思われる。例えば非常に危険である等級1では、濃度、着火源、酸素濃度、温度等すべての影響する因子をコントロールする必要があるが、やや危険である等級3では、例えば濃度だけ十分にコントロールすればよいという様な方針が立てられるわけである。

2.3 船内設備のあり方

以上の考察をもとに、ガス・炭じん爆発防止の面からの船内設備のあり方を、次表のような形で設計指針としてまとめた。

	バンカー	運炭装置	デーリーホッパ	その他
構造面	(1) ホッパ形状は円錐型が望ましい。角錐型の場合には斜面の勾配を十分にとる。(石炭の滞留防止) 又、ホッパ部の傾斜角の制限がある時は、ホッパ部にすべり度の大きい材料を用いる等の対策を施す。	(1) 出来る限り、直管とし、屈曲部や絞り部を極力減らす。(ガス・炭じんの滞留防止、静電気の発生防止) (2) 最適な流速・流速に見合った管径とする。(静電気の発生防止)	バンカーに同じ	(1) 給炭装置も配管は極力直管とする事が望ましい。(ガス・炭じんの滞留防止) (2) 各部に使用する材質は導電性の良いものを使用するのが望ましい。

	バンカー	運炭装置	デーリーホッパ	その他
	<p>(2) 部分的に甲板上に突き出た構造としない。 (ガス滞留防止)</p> <p>(3) 防撓材, ブラケット等はすべてバンカー外に設け, 内面を平滑にする。 (炭じんの滞留防止)</p>			
設備面	<p>(1) 内部天井部にガス濃度計を適当数設置するのが望ましい。 (ガス濃度監視)</p> <p>(2) バイブレータ等を設置する。 (架橋現象の解除)</p> <p>(3) 接地する。 (静電気の滞留防止)</p> <p>(4) 換気装置を設置する。 (メタンガスの発生濃度に応じて使用)</p> <p>(5) 水噴霧装置を設置する。 (着火雰囲気抑制)</p> <p>(6) 炭質によりボイラ排ガスの注入を考慮する。 (酸素雰囲気抑制)</p> <p>(7) 放爆口を設置する。 (爆発発生時の被害軽減)</p>	<p>(1) 接地する。 (静電気の滞留防止)</p> <p>(2) 炭質により, ボイラ排ガスの搬送気体への利用を考慮する。 (酸素雰囲気抑制)</p>	<p>(1)~(8) バンカーに同じ</p> <p>(9) バグフィルタ, サイクロンを接地する。あるいは, 導電性フィルタを使用する。 (静電気の滞留防止)</p>	<p>ガスや炭じんの漏洩する危険性をもつ個所には火源となる様な装置をおかない様にする。</p>
管理面	<p>(1) 必要に応じてガス濃度の監視を行う。特に石炭搬入後2~3日, 天候悪化時(低気圧通過時)及び環境温度上昇時には, その変化に十分注意する。</p> <p>(2) 着火源の一つと考えられる自然発火防止の面から, タンク内の温度及び一酸化炭素の変化に注意する。</p> <p>(3) 水噴霧等のコントロールにより, 炭じん雲の発生を防ぐ。</p>	<p>(1) 流量, 流速等の変動が起らない様, 装置の作動を十分監視する。 (静電気発生防止)</p>	<p>(1)~(3) バンカーに同じ</p> <p>(4) バグフィルタ, サイクロン内での微粉炭の蓄積を防止する為, 払落し装置の点検を適宜行う。</p>	<p>(1) 石炭の付着水分や, 雰囲気相対湿度を高める。 (接地対策の効果向上)</p>

あ と が き

2年間にわたる試験・研究により、ガス・炭じん爆発の基礎調査を行い、この成果をもとにして、実船へ適用できる爆発防止対策の為の設計指針をまとめる事ができた。

爆発の危険性は、使用する石炭の性状によって大きく影響を受けるので、理想的には、最も爆発危険度の低い炭種を燃料炭として使用できればよいが、現実には、その船の就航航路において入手できる炭種に限られてしまう事が多い。従って、各船毎に燃料として使用する石炭の爆発危険性を十分検討して、それぞれ最適な爆発防止対策を立てなければならない。この危険性の判定の為には、石炭毎に爆発試験を行って、個々の詳細なデータをまとめておく必要があるが、57年度の試験においては、時間的、費用的な面からの制約により、選定炭種のうち数種のものについてのデータしか得られず、試験を行えなかったその他の炭種については、その成分データと、従来の実績データ及び今回試験を行った炭種のデータとの比較により判定せざるを得なかった。

従って、今後燃料炭として使用する可能性の大きい炭種については、個々に試験を行うより、信頼できるデータをまとめていく必要がある。

最後に本章で述べた対策は、ガス・炭じん爆発の防止の面からのものであり、自然発火防止の面からみると、好ましくない点もあるので、実施に当っては、総合的に十分検討して具体的な対策を決めていく必要がある事を付記しておく。

第3章 ストーカ燃焼方式の機関プラントの安全性確保

まえがき

昨年度 ボイラプラント構成については、①2缶方式のときの各社試設計船のアンケート調査、②船級協会規則の調査、③石炭だきボイラの損傷例などの調査を行った。

また石炭だきボイラの動特性解析と余剰蒸気ダンプシステムについては、ボイラの制御系を除いたオープンループとしてのプログラムの作成とその確認計算を行い、また制御装置の一部として、重要な役割をもつと考えられる余剰蒸気ダンプシステムに関するアンケート調査とその解析を行った。

これに引き続き、本年度はボイラプラントの構成については、①1缶半方式、1缶方式の各社試設計船のアンケート調査を行い、②ボイラ構成（2缶方式、1缶半方式、1缶方式）と信頼性に関し、(1) NVルールの1缶方式と信頼性解析の解説と(2)過去の船用油だきボイラの実績データをもとに、2缶方式、1缶半方式、1缶方式の各方式の信頼性比較を試みた。

さらにこれらの研究成果をもとに、(1)ボイラ数と補助油だき容量、(2)ボイラ故障時の補助推進設備、(3)給炭及び灰処理システムの二重性の範囲について考察し、これらに関する船内設備のあり方についての設計指針を作成し設計者の便をはかった。

次に石炭だきボイラの動特性解析については、ボイラ運転のために必要な制御系を含めたクローズドシステムのプログラムを作成し、その計算結果と現状稼動しているストーカ燃焼方式ボイラの実缶特性比較に考察を加えた。

また自動余剰蒸気ダンプシステムに関しては、前年度のアンケート調査結果の考察に、計算結果による定量的な考察を加味した上で、船内設備のあり方についての設計指針を提示し、設計者の便を計った。

1. ボイラプラント構成

1.1 ボイラ構成と信頼性

各ボイラ構成（2缶方式、1缶半方式、1缶方式）に対する信頼性を比較するために、ここではNVルールにみられる1缶方式と信頼性解析の解説を行い、非常用推進設備をもたない場合の1缶方式の可能性について考察した。次に船用油だきボイラの故障データをもとに各ボイラ構成に対する信頼性比較を試みた。

1.1.1 NVルールの1缶方式と信頼性解析の解説

NVではCHAPTER 1. MACHINERY AND SYSTEMS DESIGN, GENERAL SEC. 3. DESIGN PRINCIPLES, C 400. Reliability and Availabilityのcritical reliability に対する要求を満たした場合には1缶方式の採用が特別に認められることになる。ここでは critical reliability に対する要求と、これを証明するのに必要な作業の概要を以下に述べる。

C 400は「冗長性を要求されない機器」であり、その401には“Critical reliability”として下記の要求がされている。

「a single component あるいはgroup of components が冗長性をなしに機能を果たす場合、その component 又はgroup of components は5年間で0.95以上の expected critical reliability を有すること。またその計算結果が75%以上の信頼レベル (confidence level) で有効なことを証明すること。」

ここで、critical reliability とは対象とする期間中に critical failure を起さない確率であり、critical failure とは要求される機能の喪失又は重大な機能低下を伴う故障で、船上修復不能とみられるものをいっている。

対象期間中の信頼度 $R(t)$ は $e^{-\lambda t}$ で示される。したがって5年間での信頼度が0.95である場合の故障率 λ は $1.03 \times 10^{-2} / \text{yr}$ あるいは $1.17 \times 10^{-6} / \text{hr}$ となる。

$1 \times 10^{-6} / \text{hr}$ オーダーの故障率は一般にかなり「こわれにくいもの」の故障率で「熱交換器伝熱管の破損」と同程度の数値である。

また1974～79年のNK船級船のボイラの第1級損傷（自航不能）及び第2級損傷（船舶が減速運航の状態）の損傷数から計算された故障率 $\lambda = 0.6 \sim 0.7 \times 10^{-6}$ を比較するとかなり近い故障率のように思われるが、スプレッド、グレート等の可動部分をもつがけでなく、アッシュカット等の可能性もある石炭だきボイラで実績データがない現時点で故障率の絶対値を算出することは難しいといえよう。

次にNVの要求を満たす信頼性解析を実施する場合の必要作業と問題点を記す。

代表的な必要作業としては、failure made and effect analysis (FMEA) の実施、fault tree の作成、信頼性データの収集、決定、計算コードによる信頼度の算出及び計算結果の評価などであろう。

これらの作業の内、問題となるのは故障率データの収集、決定及び計算結果の評価である。他の作業はFMEAに信頼性データの記載を含む場合を除きいずれもある程度機械的に実施可能なものである。

ここでいう「計算結果の評価」はNV要求の「計算結果が75%以上の信頼レベルで有効なことの証明」であり、最終的には故障率その他の信頼性データの有効性に帰結される。

したがって前記2点の問題点はいずれも故障率等のデータの信頼性の問題であるといえ、これは石炭だき船に限らず一般の信頼性解析でも常に問題となるところである。

特に現時点では船用ストーカボイラの運転実績がないため、陸上ボイラから類推するとしても有意なデータは少ないと思われるので計算結果の有効性を証明するのは実際上不可能と考えられる。

NVでは同じくSEC.3のC204項で「十分なデータがなく数値計算が行えない場合には定性的な故障解析でも承認が与えられる可能性がある」と述べているがこれは重要度の低い機器又はシステムの場合であり、主ボイラのような重要機器に対してはその可能性はほとんどないと考えるのが妥当であろう。

以上より、1桁方式の採用を信頼性解析を実施することによって決めるということは現時点においては実際上難しいと考えた方がよいと思われる。

1.1.2 ボイラ構成と信頼性比較

(1) 信頼性の尺度

信頼性の評価基準として使用されているものとして、MTBF、MTTR、アベイラビリティがあり、これらが有効と思われる。

(a) MTBF (Mean Time Between Failure)

機器やシステムの相隣る故障の動作時間の平均値であり平均故障間隔と呼ばれ、故障の起りにくさを示す。使用実績からMTBFを求める場合は総動作時間をその間の総故障数で割り求める。その逆数を故障率 (λ) とい次式で表わされる。

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \dots\dots\dots (1.3.1)$$

(b) MTTR (Mean Time To Repair)

故障が発生したのち修理に要した時間の平均値であり平均修復時間と呼ばれ、修理のしやすさを表わしている。その逆数を修復率 (μ) とい次式で表わされる。

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \dots\dots\dots (1.3.2)$$

(c) アベイラビリティ (Availability)

機器やシステムなどがある特定の瞬間に機能を維持している確率であり、いわば利用率又は稼働率といえよう。

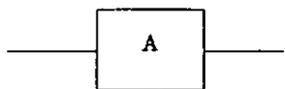
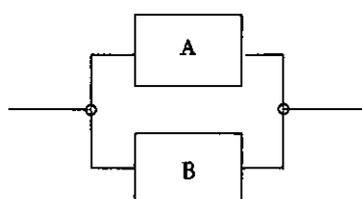
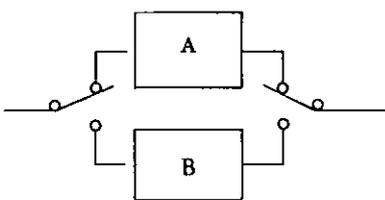
一般に次式で求められる。

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \dots\dots\dots (1.3.3)$$

(2) ボイラ構成と信頼性の比較例

推進プラントやボイラプラントのように多くの機械や部品で構成されているシステムでは修理を考えないわけにはいかない。故障してから修理を行う事後保全を行う場合のアベイラビリティは表 1.3.1 に示すように基本システムは式 (1.3.3) と同じであるが、並列や待機のシステムのアベイラビリティは式 (1.3.3) と同じにならず故障率、修復率、修理員の人員などによって異ってくる。

表 1.3.1 システム構成とアベイラビリティ (修理系)

システ ムの 構成	アベイラビリティ
基本 	$\frac{\mu}{\mu + \lambda} \dots\dots (1.3.4)$
並列 	$\frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} \dots\dots (1.3.5)$
一 台 機 	$\frac{2\mu^2 + 2\lambda\mu}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} \dots\dots (1.3.6)$

備 考

1. 故障したら直ちに修理を行う。(修理員数は制限なし)
2. 一台待機のボイラ B は A と同じ λ (故障率) μ (修復率) をもつものとする。
3. 待機しているボイラの起動性の信頼性は 1 とした。

ここで並列の場合のアベイラビリティ式 (1.3.5) は 2 缶方式の場合に対応し 50% の能力のボイラ A 及び B が機能を果しているアベイラビリティを示している。

ところが1台待機のアベイラビリティ式(1.3.6)は常時100%の能力をもつボイラAが運転されており、100%の能力をもつボイラBが待機している場合のアベイラビリティである。

しかし、実際の1缶半方式の場合、待機しているボイラB(補助ボイラ)の能力は約30%でありこの場合のアベイラビリティは次のように考えることができる。

即ち、ボイラA(主ボイラ)の稼働しているアベイラビリティは基本のアベイラビリティ式(1.2.4)で表わされる。

また一方ボイラA(主ボイラ)が故障しボイラB(補助ボイラ)に切り換わるアベイラビリティは1台待機のアベイラビリティ式(1.3.6)から基本のアベイラビリティ(1.3.4)の差であり、その能力が主ボイラに対し α %とすると、次式で示される。

$$\alpha \times \left(\frac{2\mu^2 + 2\lambda\mu}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} - \frac{\mu}{\mu + \lambda} \right) \dots\dots\dots (1.3.7)$$

したがってボイラA(主ボイラ)が100%の能力をもち、待機しているボイラB(補助ボイラ)が主ボイラに対し α %の能力をもつ場合のアベイラビリティは

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \alpha \left(\frac{2\mu^2 + 2\lambda\mu}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + 1} - \frac{\mu}{\mu + \lambda} \right)$$

$$= \alpha \frac{2\mu^2 + 2\lambda\mu}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + 1} + (1 - \alpha) \frac{\mu}{\mu + \lambda} \dots\dots\dots (1.3.8)$$

で示される。

1缶方式は前述の如く非常用推進設備をもつことが前提であり、補助ボイラの代わりに非常用推進設備をもつ場合を示す。1缶方式の場合主ボイラに対し α %の非常用推進設備の能力をもつ場合と考えればアベイラビリティは同じく式(1.3.8)で求められる。

ここで油だきボイラのMTBF及びMTTRはタービン油送船6隻について約4.5年間の事故追跡調査の結果²⁾を利用して、表1.3.2のように求めた。

表1.3.2 油だきボイラのMTBF及びMTTR

事故種類	事故時間(H)	件数(件)	MTBF(H) (=1/ λ)	MTTR(H) (=1/ μ)
停止事故	77.9	4	34,150	19.5
減速事故	190.0	13	—	—
総減速事故 (停止+減速)	267.9	17	8,035	15.8

(主機運転時間 136.6 × 10³H)

この油だきボイラのMTBF及びMTTRから、石炭だきのそれらを仮定し、石炭だき2缶方式 石炭だき1缶半方式(1缶方式)に対し停止事故を起していない確率即ち機能を果しているアベイラビリティ及び停止を含む総減速事故を起していない確率即ち機能を果しているアベイラビリティを求めてみる。

計算に当り石炭だきボイラのMTBFは、油だきボイラにはないスプレッダ、グレート等の可動部分をもつため、多少悪くなると思われるので、表1.3.3に示すように仮定し計算を行った。

表 1.3.3 油だき及び石炭だきボイラのMTBF/MTTR(例)

事故の種類	油だきボイラの MTBF/MTTR(H)	石炭だきボイラの MTBF/MTTR(H)	
		ケース I	ケース II
停止事故	35,000/20	10,000/20	5,000/20
総減速事故 (含停止事故)	8,000/15	3,000/15	

2缶方式の場合の油だきボイラ及び石炭だきボイラのアベイラビリティの計算例を表1.3.4に示す。

また1缶半方式(1缶方式)の補助ボイラ(非常用推進設備)の主ボイラに対する能力 α を約30%とした場合の、アベイラビリティの計算例を表1.3.5に示す。

これから、この程度のMTBFと仮定すれば、ボイラが機能を果している確率即ちアベイラビリティの順序は油だき2缶方式、石炭だき2缶方式、油だき1缶半方式(1缶方式)、石炭だき1缶半方式(1缶方式)であることがわかる。

またボイラが総減速事故(含停止事故)で故障している時間は年間約8600Hに対し油だきボイラ2缶方式の場合で2分程度に対し石炭だき2缶方式で約13分、油だき1缶半方式(1缶方式)で約12H、石炭だき1缶半方式(1缶方式)で約30Hとなっている。(表1.3.4、1.3.5*印のアベイラビリティから算出した。)

表 1.3.4 2缶方式のアベイラビリティ計算例

ボイラ構成	事故の種類	アベイラビリティ A	アンアベイラビリティ 1 - A
油だき 2缶方式	停止事故	0.9999996	0.0000004
	総減速事故	0.9999964	* 0.0000036
石炭だき 2缶方式	停止事故	ケース I 0.9999960	0.0000040
		ケース II 0.9999841	0.0000159
	総減速事故	0.9999752	* 0.0000248

$$(\text{計算式 } A = \frac{\lambda^2 + 2\lambda\mu}{\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2})$$

表 1.3.5 1 缶半方式又は 1 缶方式のオペラビリティ計算例

ボイラ構成	事故の種類	オペラビリティ A	アンオペラビリティ 1 - A
油 だ き 1 缶半方式 (1 缶方式)	停 止 事 故	0.9 9 9 5 9 9 9	0.0 0 0 4 0 0 1
	総減速事故	0.9 9 8 6 8 8 5	* 0.0 0 1 3 1 1 5
石 炭 だ き 1 缶半方式 (1 缶方式)	停 止 事 故	ケース I 0.9 9 8 6 0 2 1	0.0 0 1 4 9 7 9
		ケース II 0.9 9 7 2 0 8 7	0.0 0 2 7 9 1 3
	総減速事故	0.9 9 6 5 1 3 5	* 0.0 0 3 4 8 6 5

$$\text{計算式} \left(A = \alpha \frac{2\mu^2 + 2\lambda\mu}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + 1} + (1-\alpha) \frac{\mu}{\mu + \lambda} \right)$$

$\alpha = 0.3$

1.2 1 缶半方式及び 1 缶方式のボイラプラント構成に関するアンケート調査

1.2.1 アンケートの目的

昨年度のアンケートの結果は各社で計画されている試設計船が 2 缶方式を対象になされたものであったため、本年度は 1 缶半方式及び 1 缶方式を対象にしアンケート調査を行った。

1.2.2 アンケート調査

アンケート調査の要約を以下にのべる。

(1) ボイラ構成、1 缶半方式の場合の補助油だき容量と主ボイラ故障時の補助推進設備

1 缶半方式の場合の主ボイラの型式、補助ボイラの型式及び容量及び非常推進方法に関するアンケート結果は次のとおりであった。

(a) 主ボイラの型式

1. 石炭専焼方式	6 社
2. 補助重油燃焼装置付	1 社

石炭専焼方式を採用したところが多く補助ボイラがあるため炉内修理が可能であり、また、補助重油燃焼装置を付属することによる複雑さをさけるためというのが、採用理由であった。

また補助重油燃焼装置付石炭だきボイラを採用しているところは、港内公害規制が強化された場合に油だきに切替えるという配慮から採用されている。

(b) 補助ボイラの型式と容量

1. 重油専焼	6社
2. 補助重油燃焼装置付石炭だき	1社

(石炭だき容量30%
主/補助ボイラ蒸発量比
70 : 30)

重油専焼方式補助ボイラを採用したところが多く、補助ボイラの容量としては非常用推進出力相当もしくは最大蒸発量の30%程度というのが多かった。また、補助重油装置は石炭だき補助ボイラを採用したところは通常主ボイラ70%及び補助ボイラ30%の両缶を石炭だきで航走し、石炭設備故障時補助重油燃焼装置に切換え、1缶半方式の場合の初期コスト増を押える配慮から採用されている。

(c) 主ボイラ故障時の推進方法

非常推進方法	重油だき補助ボイラに切換え航走	1社
	石炭/重油だき補助ボイラのみで航走	1社
非常推進出力及び速力	舵のきく程度の安全操船出力	7社
非常推進時の航続距離	最寄港まで	7社

主ボイラ故障時の推進方法は石炭/重油だき補助ボイラを設けた1社を除き重油だき補助ボイラ以外の推進設備をもつ場合と考えアンケート調査を行った。

また非常推進出力は舵のきく程度の安全操船出力また非常推進時の航続距離は最寄港までという各社同じアンケート結果であった。

(2) ボイラ構成、1缶方式の場合の主ボイラの型式と主ボイラ故障時の非常推進設備

1缶方式とは主ボイラ1缶のみであり主ボイラ故障時の非常用推進設備として補助ボイラ以外の推進設備をもつ場合と考えアンケート調査を行った。

1缶方式のときの主ボイラの型式及び非常用推進システムに関するアンケート結果は次の通りであった。

(a) 主ボイラ型式

石炭専焼ボイラ	1社
補助重油燃焼装置付石炭だきボイラ	6社

補助重油燃焼装置付石炭だきボイラを採用している理由は石炭専焼でもよいが石炭設備故障時対策又は港内公害規制対策であるというのが大半であった。

補助重油燃焼装置の容量としては非常用推進出力又はMCR出力の30%~50%がアンケート結果であった。

(b) 非常用推進システムの概要

各社共にオーストラリア Bulkship 社で採用されているタービン減速歯車に非常推進用のモータを装備し主ボイラ故障時には、ディーゼル発電機からの電源で駆動するというシステムであった。

なお、モータの装備位置が減速歯車ではなく、高圧タービン側に装備する例もあった。

(c) 主ボイラ故障時の推進方法及び能力

1 主ボイラ石炭関連設備のみ故障した場合	補助重油燃焼装置に切換え航走する。	6社
主ボイラが使用不能の場合	ディーゼル発電機によりモータで航走する。	
2 主ボイラが使用不能の場合	ディーゼル発電機2台によりモータで航走する。	1社

非常推進時の速力及び航続距離は各社共に舵のきく程度の安全操船速力で最寄港までという結果であった。

(3) 給炭システムの二重性の範囲

(a) 移送方式

空気搬送方式デンスフェイズ	6社
機械式コンベア	1社

移送方式採用の理由は2缶方式の場合と同様の考え方であり、設備容量が各社毎に表1.3.6に示すように異っている。

表1.1.3.6 1缶半方式(1缶方式)の場合の給炭システムの設備容量

会社名	石炭庫の数	デンスユニットの数 (個数/1ライン)	ライン数	容量(蒸発量/1ライン)	デリーサーピストホッパ 数×容量	コンプレッサ 数×容量	備考
D	1	1ケ/1ライン	最小 4(2)	MCE/1ライン	2×12H分	2×100%	
A	1	2ケ/1ライン	2	MCE/1ライン	2×12H分	2×100%	
B	1	2ケ/1ライン	4	MCE/1ライン	2×6H分	2×100%	
F	2	4ケ/1ライン	2	80%MCE/1ライン	2×6H分	2×100%	
G	1	3ケ/1ライン	4	MCE/1ライン	1×24H分	2×100%	
C	2	4ケ/1ライン	4	NOR/1ライン	2×12H分	3×50%	
E	2	機械式コンベア	コンベア	6×NOR/1ライン	1×18H分	-	機械式コンベア

(4) 灰処理システムの二重性の範囲

(a) 移送方式

2缶方式の場合と同様アンケート結果は次の通りであり

ボトムアッシュ — ウエット — 水スラリージェットポンプ フライアッシュ — ドライ — 空気	真空吸引 — 3社 圧送式 — 1社
ボトムアッシュ } フライアッシュ }	ドライ — 空気 — 真空吸引 3社

2種の移送方式に分かれている。それぞれの採用理由は2缶方式の理由と同様と考えられる。

(b) 設備容量

(i) ボトムアッシュ

ボトムアッシュがウエットシステムでありフライアッシュと異なる場合の設備容量のアンケート結果は、次の通りで各社共通している。

ジェットポンプの数/1ライン		船内移送 ラインの数	海水ポンプ 数 × 容量	貯蔵タンク 数 × 容量	
船内移送用	船外排出				
1ヶ/1ライン	1ヶ/1ライン	1ライン	2×100%	1×停泊中及び沿岸航海中の発生量に余裕をみる。	4社

(ii) フライアッシュの設備容量は表 1.3.7 に示すように各社毎に少しづつ異っている。

表 1.3.7 1 缶半方式 (1 缶方式) の場合のフライアッシュシステム設備容量

会社名	灰の種類	エダクタ数/1ライン		船内移送 ライン数	フライアッシュ貯蔵 タンク容量	海水ポンプ	備考
		船内移送	船外排出				
A	フライアッシュ	1ケ/1ライン	船内移送用 と共用	1ライン	停泊中及び沿岸航海 中に発生する灰量に 余裕をみる	2×100%	
B	フライアッシュ	1ケ/1ライン (圧送プロア)	1ケ/1ライン (エダクタ)	2ライン	"	2×100% (プロア)	
C	フライアッシュ	1ケ/1ライン	船内移送用 と共用	1ライン	"	2×100%	
D	フライアッシュ ボトムアッシュ 共通	1ケ/1ライン	船内移送用 と共用	1ライン	MECの3日分ボト ムアッシュと共通の もの1ケ	1×100%	
E	フライアッシュ	1ケ/1ライン	不明	1ライン	MECの5日分 ボトム 各1ケ フライ	不明	系統図 なし
F	フライアッシュ ボトムアッシュ 共通	1ケ/1ライン (真空ファン 2台/2サイロ)	1ケ/1ライン (エダクタ 1台)	1ライン	Aに同じ ボトム 各1ケ フライ	2×100%	
G	フライアッシュ ボトムアッシュ 共通	1ケ/1ライン (2台のエダクタで共用)	1ケ/1ライン	1ライン	Aに同じ ボトムアッシュと共 通のもの1ケ	2×100%	

1.3 船内設備のあり方

56年度と57年度のアンケート調査、船級協会規則調査、ボイラ構成（2缶、1缶半、1缶方式）と信頼性比較調査の結果をもとに、各テーマ毎に船内設備のあり方についての指針を述べる。

1.3.1 ボイラ数と補助油だき容量のあり方

補助油だき容量は一般的には1缶半方式の場合の補助ボイラの容量を指すが主ボイラに補助重油燃焼装置付石炭だきボイラを採用する場合についてもその容量の目安を表1.3.8「ボイラ構成と補助油だき容量のあり方」に加えた。

1.3.2 主ボイラ故障時の非常推進設備のあり方

表1.3.9に示すように主ボイラ型式により非常推進方法も異なり、常用及び非常用の合計設備能力が大きくなるほど初期コストが増えるので、1.1ボイラ構成と信頼性でのべたように、信頼性の差と初期コストの増加を勘案しボイラ構成を選択する必要がある。

1.3.3 給炭及び灰処理システムの二重性の範囲のあり方

給炭及び灰処理システムを計画する際、どの程度の二重性をもたせるかについてのアンケート調査及び船級協会規則調査結果をもとに最小の二重性の範囲の目安を各システム代表的なものについて表1.3.10、表1.3.11に示した。これらの最小の二重性の範囲に加えてどの程度の二重性をもたせるかは56年度のアンケート結果にあるような信頼性確保のための留意事項を考慮し計画する必要がある。

表 1.3.8 ボイラ構成と補助油だき容量

ボイラ構成	主ボイラ型式		補助ボイラ	備考
	石炭専焼ボイラ	重油燃焼装置付石炭だきボイラ		
2缶方式	—	港内公害規制対策を主目的に設けられるものであり沿岸航行速力をベースに容量は決定される。	—	主ボイラの重油燃焼装置は石炭関連設備故障時に油だきに切換えて使用する用途もある。
1缶半方式	—	同上	ルール要求により7ノット又は安全操船速力で最寄港までの航行する能力が目安となる	補助ボイラは石炭だきも考えられるが一般的には油だきであろう。
1缶方式	—	同上		非常用推進設備としてはディーゼル発電機によるモータで航走する等が考えられる。

表 1.3.9 ボイラ構成と非常推進設備のあり方

ボイラ構成	主ボイラ型式	ボイラ故障時の非常推進方法	常用及び非常用 合計設備能力(例)	設備能力比 (例)	備 考
2 缶 方 式	1. 石炭専焼ボイラ	1. 残った1缶で航走	2 × 50% (石炭だき)	1 0 0	
	2. 重油燃焼装置付 石炭だきボイラ	1. 残った1缶を石炭だきで航走 2. 重油燃焼に切換え航走	2 × 50% (石炭だき) 2 × (30%) (油だき)	1 6 0	
1 缶 半 方 式	1. 石炭専焼ボイラ	1. 補助油又は石炭だきボイラで航走	主 1 × 100% (石炭だき) 補助 1 × 30% (油だき)	1 3 0	
	2. 重油燃焼装置付 石炭だきボイラ	1. 補助油又は石炭だきボイラで航走 2. 重油燃焼に切換え航走	主 1 × 100% (石炭だき) 補助 1 × 30% (石炭だき) 主 1 × 30% (油だき)	1 6 0	主ボイラ1 × 70% (石炭) 補助ボイラ1 × 30% (石炭) とし及び補助ボイラを 常用し、主ボイラに重油 燃焼装置付(30%)とす ること可能。
1 缶 方 式	1. 石炭専焼ボイラ	1. 電気推進その他による航走	主 1 × 100% (石炭だき) + 30%出力(電気推進)	1 3 0	
	2. 重油燃焼装置付 石炭だきボイラ	1. 電気推進その他による航走 2. 重油燃焼に切換え航走	主 1 × 100% (石炭だき) + 30%出力(電気推進) 主 1 × 30% (油だき)	1 6 0	

表 1.3.10 ポイラ構成と給炭システムの最小の二重性の範囲のあり方（空気搬送デンスフェイズ方式）

ポイラ構成	石炭庫の数	デンスユニットの数 個数/1ライン	ライン数	ライン容量 (蒸気量/1ライン)	デーリーサービス ホッパの数	コンプレッサ 数×容量	備考
2缶方式 (石炭専焼)	(1ケ) 2ケ/2缶	2ケ/1ライン	2ライン/2缶	2缶NOR分/1ライン	1ケ/2缶	2×1000φ	
1缶半方式 (1缶方式)	(1ケ) 2ケ/1缶	2ケ/ライン	2ライン/1缶	1缶NOR分/1ライン	1ケ/1缶	2×1000φ	

備考 1) 主ポイラの型式は、いづれも石炭専焼ポイラとする。

2) 主ポイラが補助重油燃焼付石炭だきポイラの場合は、石炭庫の数は1ケとすることができる。

3) 機械式コンベア方式の場合は、メインテナンス時間を十分とれるようライン容量を増す事あり。

表 1.3.11 ボイラ構成と灰処理システムの最小の二重性の範囲のあり方（船内移送方式）

ボイラ構成	移送方式	エダクタ/ジェットポンプ数		船内移送ライン数	貯蔵タンクの数	海水ポンプ数×容量
		船内移送	船外排出			
2 缶方式 及 1 缶半方式 (1 缶方式)	ボトム(ウエット)フライ(ドライ)方式 ボトムアッシュ-ウエット-水スラリー-ジェットポンプ	1ケ/1ライン (1台ジェットポンプ)	1ケ/1ライン (1台ジェットポンプ)	1ライン	ボトムアッシュ 1ケ	2×100%
	フライアッシュ-ドライ-空気-真空吸引	1ケ/1ライン (1台エダクタ)	船内移送用 のエダクタ 共用	1ライン	フライアッシュ 1ケ	
	ボトムフライ共(ドライ)方式 ボトムアッシュ } フライアッシュ } -ドライ-空気-真空吸引	1ケ/1ライン (2台のエダクタを共用)	1ケ/1ライン	1ライン	ボトムアッシュ フライアッシュ 共通1ケ	2×100%

備考 1) 灰処理システムはボイラ構成にかかわらず、動的機器（海水ポンプ）のみ二重性（2×100%）をもたせ、他の静的機器（エダクタ、ジェットポンプ等）は1重（1×100%/1ライン）でよい。

2) ウエットのボトムアッシュを搬送するジェットポンプは機能上アッシュホッパーの近く配置するためのアッシュホッパー毎に設置する必要がある。

引用文献

1) 市田 嵩：保全性工学入門（1968）

2) 橋本, 石塚：信頼性からみたタンカーの運航実績の統計的解析と考察

日本船用機関学会誌（1971. vol. No. 10）

2. 石炭だきボイラの動特性解析と余剰蒸気ダンプシステム

ストーカ燃焼方式による石炭だきボイラの制御方式は、陸上ボイラではすでにほぼ確立された技術と言えるが、これが船用ボイラに対してもそのまま応用可能であるかどうかは石炭だき船を実用化する上での重大関心事である。

本研究はその技術確立の基礎となる船用ストーカ燃焼方式石炭だきボイラの動特性解析をコンピュータシミュレーションプログラムにより行ない問題点の抽出と、その対策を考察したものである。

2.1 クローズド・ループ系の解析プログラム

本年度は、昨年度に作成したオープンループ系プログラムに新たにボイラ制御システム、余剰蒸気ダンプ制御、過熱器出口、安全弁及び主タービン負荷変化要素を付加して、石炭だきボイラをクローズドシステムとして構成しプログラムを作成した。

2.1.1 インプット・アウトプットデータ

昭和56年度報告書の表1.3.1 a～1.3.1 c及び表1.3.2に示すオープンループ系プログラムのインプット・アウトプットデータに加えてクローズドループ系として下記要素を追加した。

(1) インプットデータ

ボイラ制御システムを構成する各発信器、制御器及び操作端類について、時定数、積分時間などの各種定数を、又余剰蒸気ダンプ弁及び過熱器出口安全弁について容量、吹出圧力を、それぞれ初期値データとしてインプットする。

又、主タービン負荷はタービン流入蒸気量の時間的変化としてインプットする。

これらを表1.3.12 a及び1.3.12 bに示す。

(2) アウトプットデータ

ボイラの動特性として、次の諸量の変化をアウトプットするものとし、単位を付して表1.3.13に示す。

余剰蒸気ダンプ流量 : G_{11}

過熱器出口安全弁吹出量 : G_{12}

タービン流入蒸気量 : G_T

インプット/アウトプット一覧及び記号対応表(追加)

表 1.3.12 a インプットデータ定数系(初期値データ)

記号	単位	内容
AFO	%	空気流量発信器 出力信号初期値
AFCO	"	空気流量制御器 出力信号初期値
DLO	"	ドラム水位発信器 出力信号初期値
DLCO	"	ドラム水位制御器 出力信号初期値
FDO	"	炉内圧力発信器 出力信号初期値
FDCO	"	炉内圧力制御器 出力信号初期値
G110	kg/s	余剰蒸気ダンプ弁容量
G120	"	過熱器出口安全弁吹出量
GT	"	タービン流入蒸気量
KADD 1		水位制御系加算器加算係数
KCFMR		石炭量計器信号からプロセス量への変換係数
KCOAIR		空気制御系閥数変換器係数
KCVDL		給水量計器信号からプロセス量への変換係数
KCVPD		ダンプ蒸気量信号 " "
KCVST		過熱蒸気温度 " " "
KDR 1		主蒸気圧力制御系微分リレー微分ゲイン
KDR 2		炉内圧力 " " "
KDR 3		過熱蒸気温度 " " "
KDST		過熱蒸気温度制御器微分ゲイン
KFDF		空気流量計器信号からプロセス量への変換係数
KIDF		燃焼ガス量 " " "
KTRAF		空気流量プロセス量から計器信号への変換係数
KTRDL		ドラム水位 " " "
KTRFD		炉内圧力 " " "
KTRPM		過熱蒸気圧力 " " "
KTRSF		蒸気流量 " " "
KTRST		過熱蒸気温度プロセス量から計器信号への変換係数
LARSET		空気制御系比率設定器係数
LRANAF	kg/h	空気流量制御器/発信器レンジ下限値
LRANDL	mm	ドラム水位制御器 " "
LRANFD	mmAq	炉内圧力 " " "
LRANPM	kg/cm ² G	主蒸気圧力 " " "
LRANST	℃	過熱蒸気温度制御器/発信器レンジ下限値
PBAF	%	空気流量制御器比例帯巾
PBDL	"	ドラム水位 " "
PBFD	"	炉内圧力 " "
PBPD	"	ダンプ蒸気流量制御器比例帯巾
PBPM	"	主蒸気圧力 " "

PBST	%	過熱蒸気温度制御器比例帯巾
RANGAF		空気流量制御器/発信器レンジ
RANGDL		ドラム水位 " " "
RANGFD		炉内圧力 " " "
RANGPM		主蒸気圧力 " " "
RANGSF		蒸気流量発信器レンジ
RANGST		過熱蒸気温度制御器/発信器レンジ
SETDL	mm	ドラム水位設定値
SETFD	mmAq	炉内圧力設定値
SETPD	kg/cm ² G	ダンプ蒸気圧力設定値
SETPM	"	主蒸気圧力設定値
SETST	℃	過熱蒸気温度設定値
SETSVH	kg/cm ² G	過熱器出口安全弁吹出し圧力
SETSVL	"	" " 吹止まり圧力
TADD1	sec	水位制御系加算器一次遅れ時定数
TCFDR	"	石炭スプレッドドライブユニット一次遅れ時定数
TCFMRA	"	" " 駆動モータ二次遅れ時定数
TCFMRB	"	" " " " "
TCVDL	"	ボイラ給水流量制御弁一次遅れ時定数
TCVPD	"	ダンプ蒸気流量 " " "
TCVST	"	過熱蒸気温度 " " "
TDR1	"	主蒸気圧力制御系微分リレー微分時間
TDR2	"	炉内圧力 " " "
TDR3	"	過熱蒸気温度 " " "
TDST	"	過熱蒸気温度制御器微分時間
TFDF	"	押込通風機一次遅れ時定数
TFDFOR	"	押込通風機インレットペーン駆動ユニット一次遅れ時間
TIAF	"	空気流量制御器積分時間
TIDF	"	誘引通風機一次遅れ時定数
TIDFDR	"	誘引通風機インレットペーン駆動ユニット一次遅れ時間
TIDL	"	ドラム水位制御器積分時間
TIFD	"	炉内圧力 " "
TIPD	"	ダンプ蒸気圧力 " "
TIPM	"	主蒸気圧力 " "
TIST	"	過熱蒸気温度 " "
TTRAF	"	空気流量発信器一次遅れ時定数
TTRDL	"	ドラム水位 " " "
TTRFD	"	炉内圧力 " " "
TTRPM	"	主蒸気圧力 " " "
TTRSF	"	蒸気流量 " " "
TTRST	sec	過熱蒸気温度発信器一次遅れ時定数

表 1.3.12 b インプットデータ変数系

記号	単位	内 容
AF	%	空気流量測定信号（発信器出力信号）
AF1	"	" "
AF2	"	" "
AFC	"	" 制御信号（制御器出力信号）
AFC1	"	" "
DL	"	ドラム水位測定信号（発信器出力信号）
DLC	"	" 制御信号（制御器出力信号）
DLC1	"	" "
FD	"	炉内圧力測定信号（発信器出力信号）
FDC	"	" 制御信号（制御器出力信号）
FDC1	"	" "
FDC2	"	" "
PM	"	主蒸気圧力測定信号（発信器出力信号）
PMC	"	" 制御信号（制御器出力信号）
PMC 1	"	" "
PMC 2	"	" "
PMC 3	"	" "
PDC	"	ダンプ蒸気流量制御信号（制御器出力信号）
SF	"	蒸気流量測定信号（発信器出力信号）
ST	"	過熱蒸気温度測定信号（発信器出力信号）
STC	"	" 制御信号（制御器出力信号）
STC1	"	" "

表 1.3.13 アウトプットデータ

記号	単位	内 容
G11	kg/h	余剰蒸気ダンプ流量
G12	"	過熱器出口安全弁吹出量
GT	"	タービン流入蒸気量

2.1.2 ボイラ制御システムの構成

ボイラ制御システムは、主蒸気圧力制御（燃料制御）、空気流量制御、炉内圧制御、過熱蒸気温度制御、給水制御および余剰蒸気ダンプ制御より構成される。

図 1.3.1 にボイラ制御システム系統図を

図 1.3.2 にボイラ制御システムダイアグラムを示す。

2.1.3 ボイラ制御システムのモデル化

制御システムを構成する各種機器の特性をラプラス変換表示の伝達関数で表現した。

これらの伝達関係を図 1.3.2 のボイラ制御システムダイアグラムに従って結合して図 1.3.3 a および図 1.3.3 b のボイラ制御システムブロック線図を作成した。

制御システム内の信号は、すべて 0～100 % で表現されている。プロセス量から制御信号への

変換は、主蒸気圧力発信器や蒸気流量発信器等の各種発信器で行ない、又、制御信号からプロセス量への変換は、各制御系の最終ブロックでのみ行うものとした。

各種操作端は、制御信号増加で、プロセス量が増加する機能とした。実プラント上はフェイル・セーフの見地からこの逆の制御信号増加により、プロセス量減少の場合もあるがシミュレーション上問題はないので、本モデル化では制御信号増加でプロセス量が増加する機能で統一した。

又、発信器以外の計器については、その入力回路の時定数、応答の遅れは無視した。

図 1.3.3 a および図 1.3.3 b に示すボイラ制御システムブロック線図を IBM 社の C S M P - III (Continuous System Modeling Program - III) デジタル シミュレーションランゲージを使用してプログラム化した。

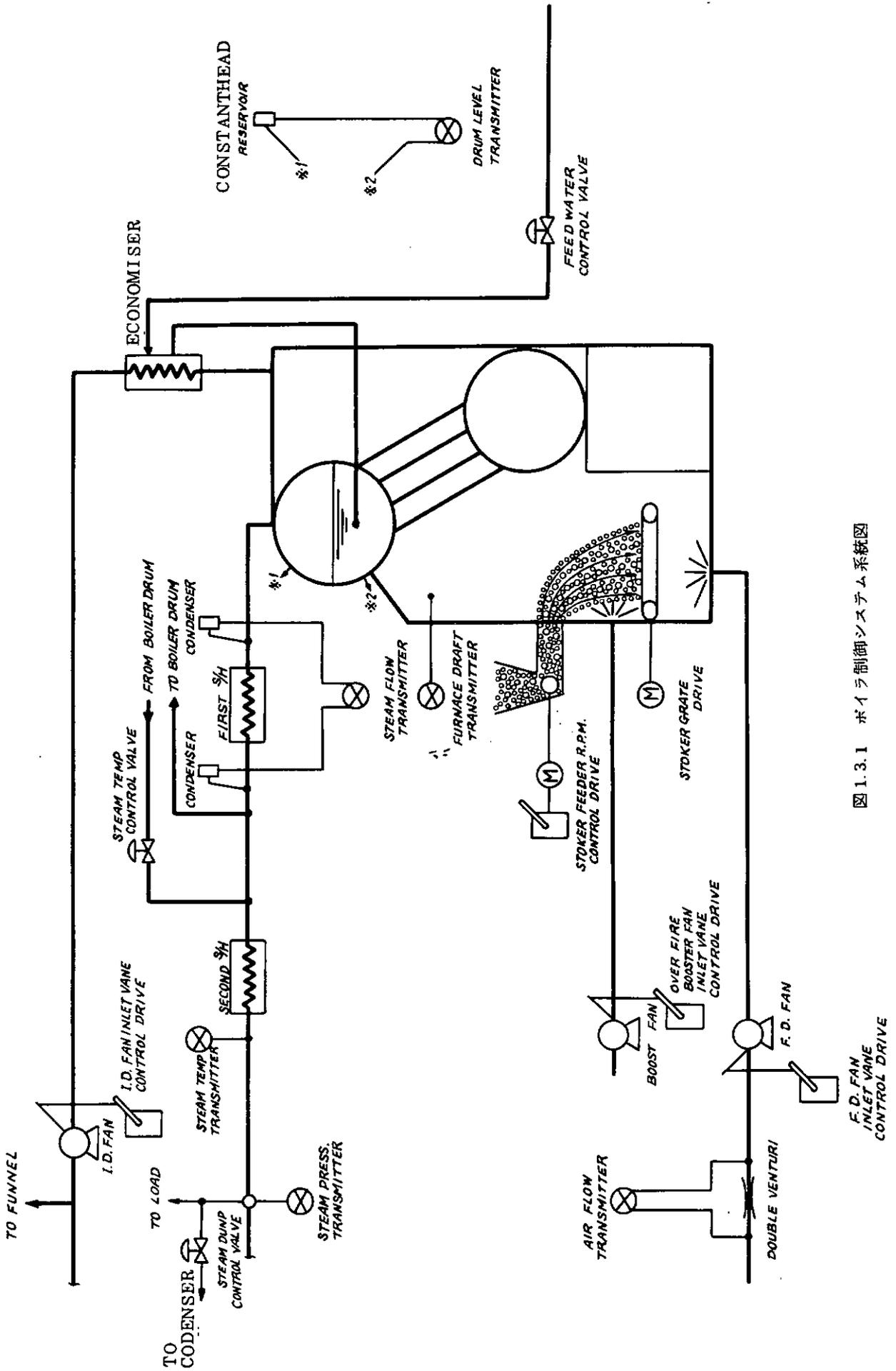


図 1.3.1 ボイラ制御システム系統図

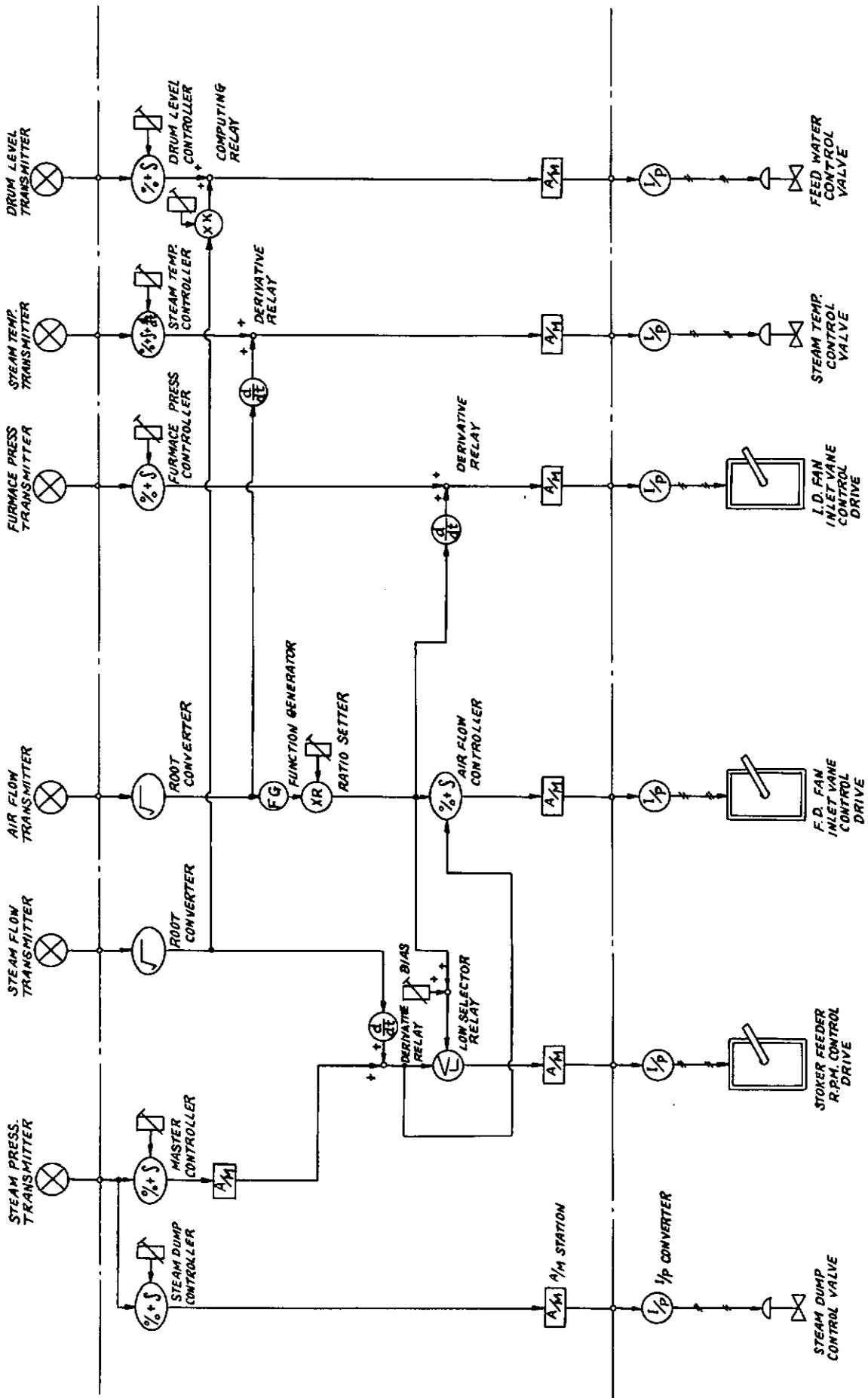


図 1.3.2 ボイラ制御システムダイヤグラム

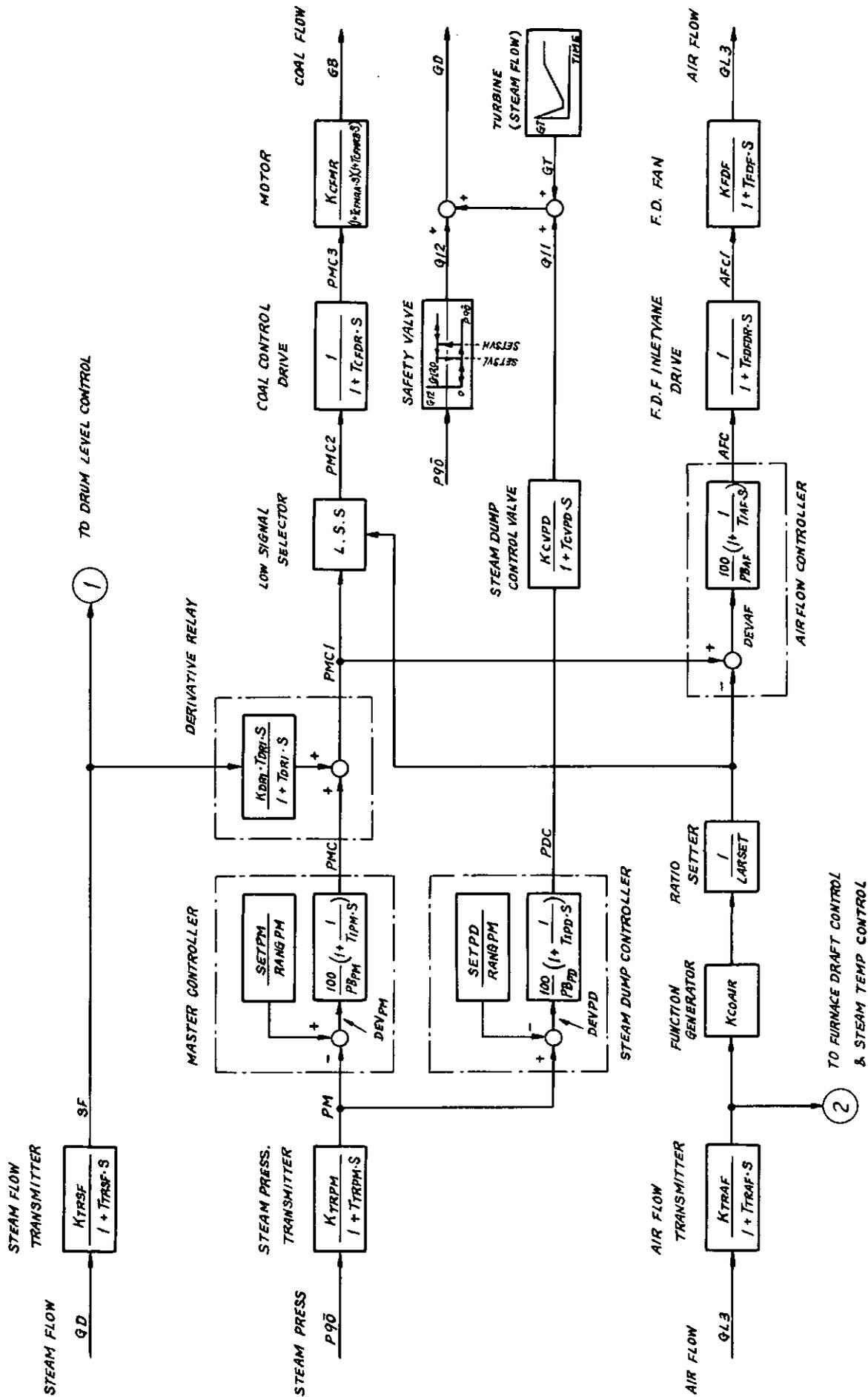


図 1.3.3 a ボイラ制御システムブロック線図

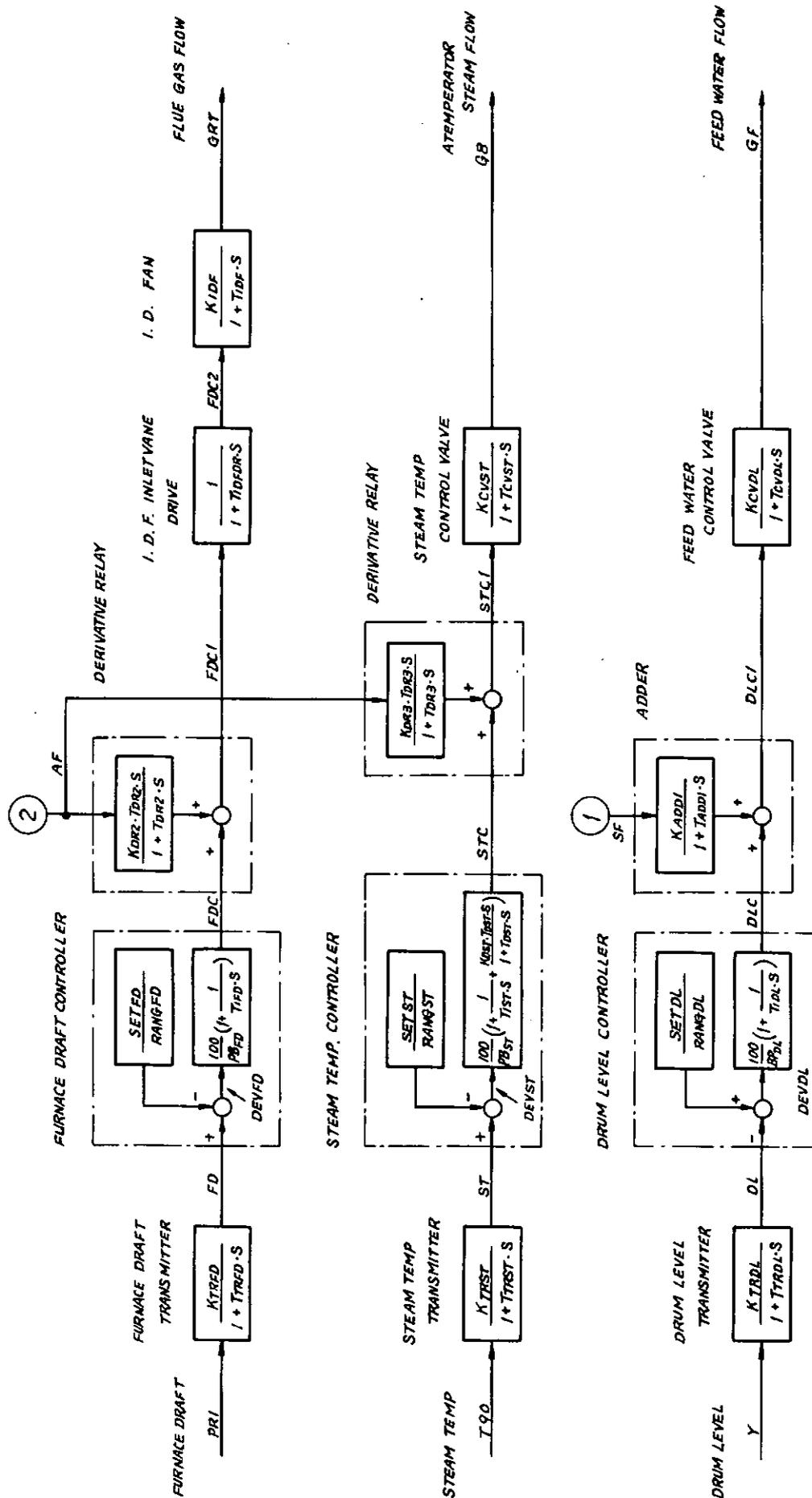


図 1.3.3 b ボイラ制御システムブロック線図

2.1.4 計算結果及び考察

クラッシュストップ・アスターンおよびアヘッド時の負荷変化を想定してシミュレーション計算を行ない、結果を石炭だきボイラ及び油だきボイラの実缶特性と比較した。

(1) 石炭だきボイラの実缶特性とシミュレーション結果の比較

図1.3.4及び図1.3.9に示す負荷変化を想定してそれぞれプログラム確認計算を行ない、その結果を図1.3.5から図1.3.8及び図1.3.10から図1.3.13に示す。尚容易にシミュレーションプログラムの実効性確認ができるように、図1.3.4及び図1.3.9に示す負荷変化は、最近就航した石炭だき船の海上公試運転におけるクラッシュストップ・アスターンおよびアヘッド時の負荷変化とほぼ同じになるようにした。

この計算に用いたボイラ並びに石炭の仕様は、昭和56年度報告書中の表1.3.3及び表1.3.4に示すものであり、また過熱器出口蒸気圧力の60.9 kg/cm²G設定に対し余剰蒸気ダンプ弁の作動圧力は62.5 kg/cm²G、過熱器出口安全弁吹出圧力/吹止り圧力は、64.0/61.4 kg/cm²Gにそれぞれ設定して計算した。

余剰蒸気ダンプ弁の容量は、実缶特性データから推定される容量即ち、ボイラの最大蒸発量の60%とほぼ同じになるように設定し、又過熱器出口安全弁の容量は船級規則で許容される最小吹出量を採用し、ボイラ最大蒸発量の25%に設定して計算を試みた。

図1.3.14および図1.3.15にM社提供による最近就航した石炭だき船の海上公試運転におけるクラッシュストップ・アスターンおよびアヘッド時の石炭だきボイラの実缶特性を示す。

計算モデル化にあたっての仮定に加えて、ボイラの形式、容量、寸法や制御方式の違いを考慮すると、シミュレーション結果は傾向において実缶特性と一致し、大きな差はないものと判断した。特にクラッシュ・ストップ・アスターン時の蒸気圧力及び余剰蒸気ダンプ量の特性的について実缶データとシミュレーション結果に差がみられるが、これは、ダンプ弁先行作動の採用など、余剰蒸気ダンプ制御方式の違いによるものと思われる。

又、シミュレーション結果では、100%から10%までの負荷変化に対し、蒸気圧力変動の上限は、実缶データとほぼ同じ割合であるが圧力が静定するのに長い時間を必要としている。これに対しては、圧力変動の下限が増加する傾向とはなるが、燃焼制御系のゲイン及び積分時間を調整することにより、また余剰蒸気ダンプ弁の先行作動及び過熱器出口安全弁の吹出容量アップを図ることにより、実缶なみの静定時間に短縮可能と思われる。

CRUSH STOP ASTERN

P90: 新造船艉出口压力 Kg/m^2 -----○

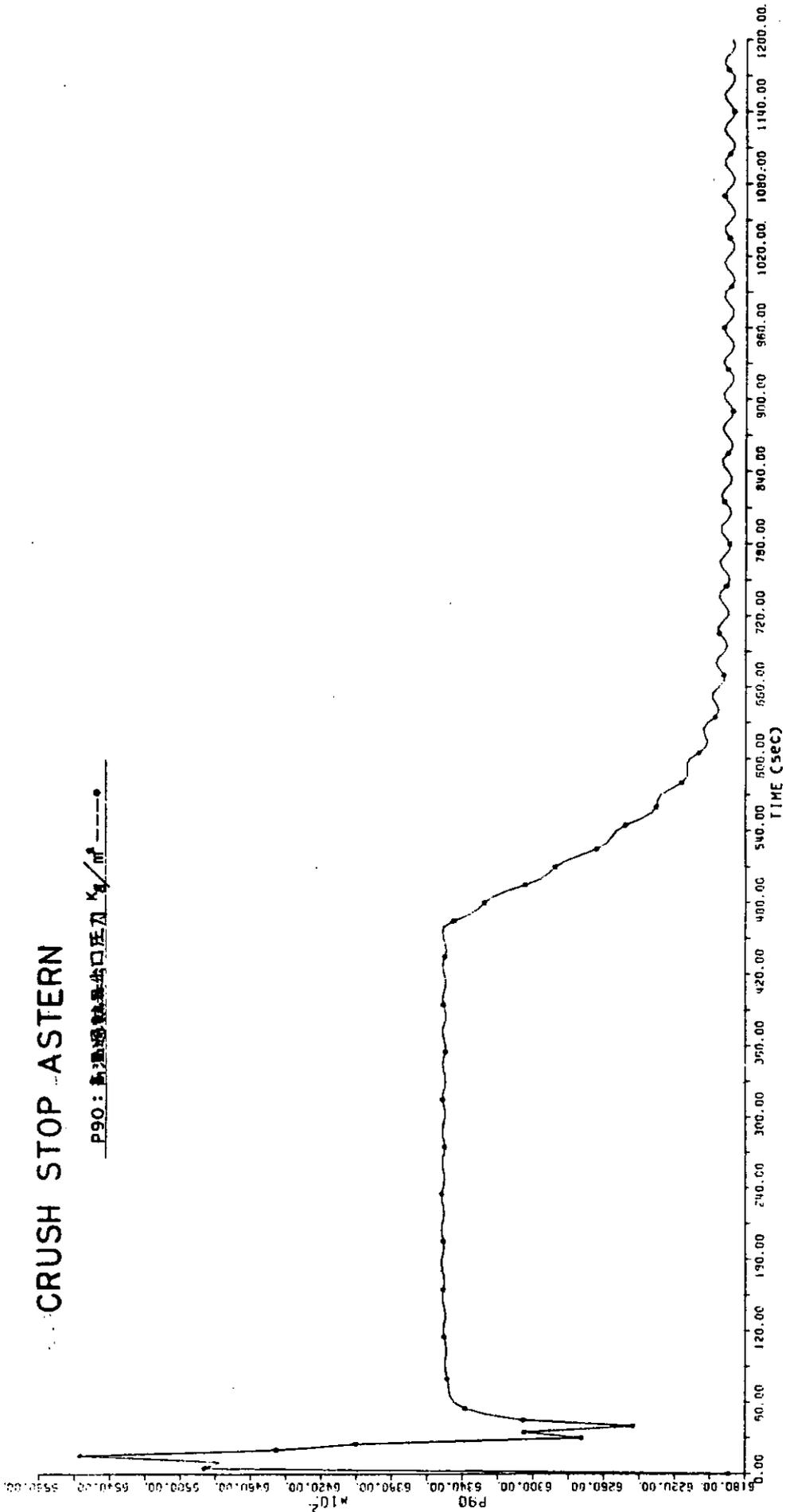


图 1.3.5

CRUSH STOP ASTERN

T90: 氣阻通氣器出口溫度 °C

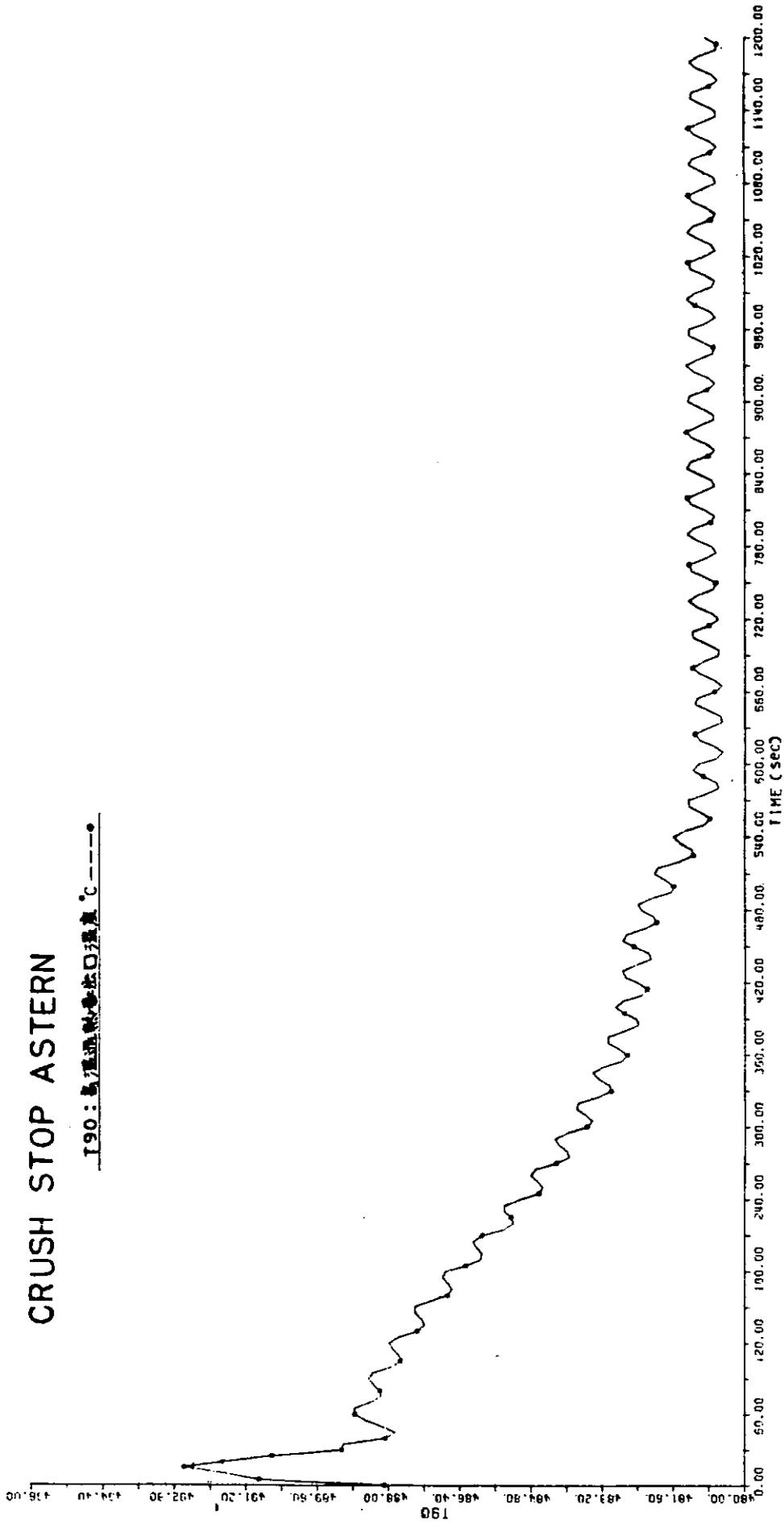


圖 1.3.6

CRUSH STOP ASTERN

G11: ダンジク流量 K/s ---○---

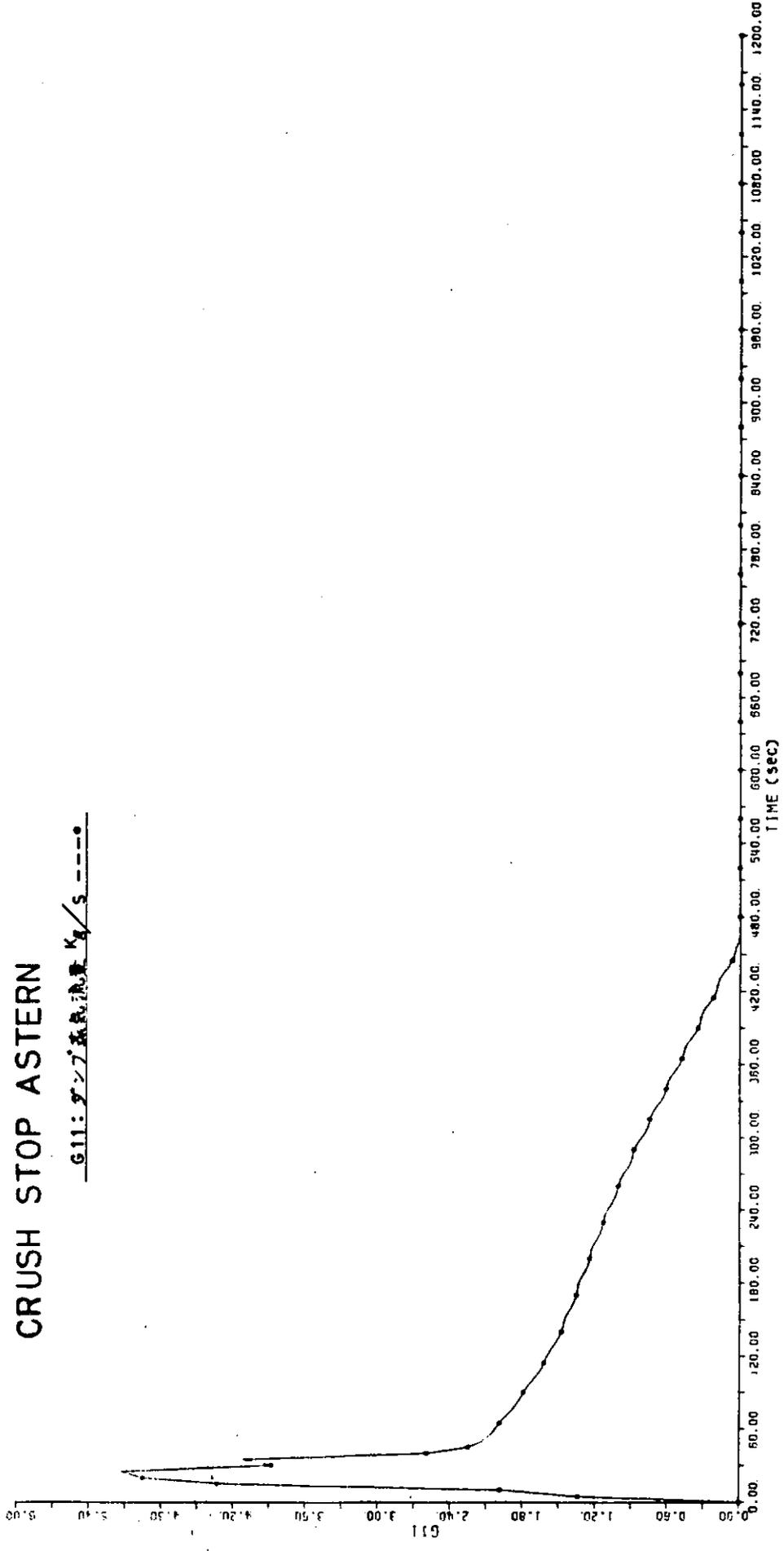
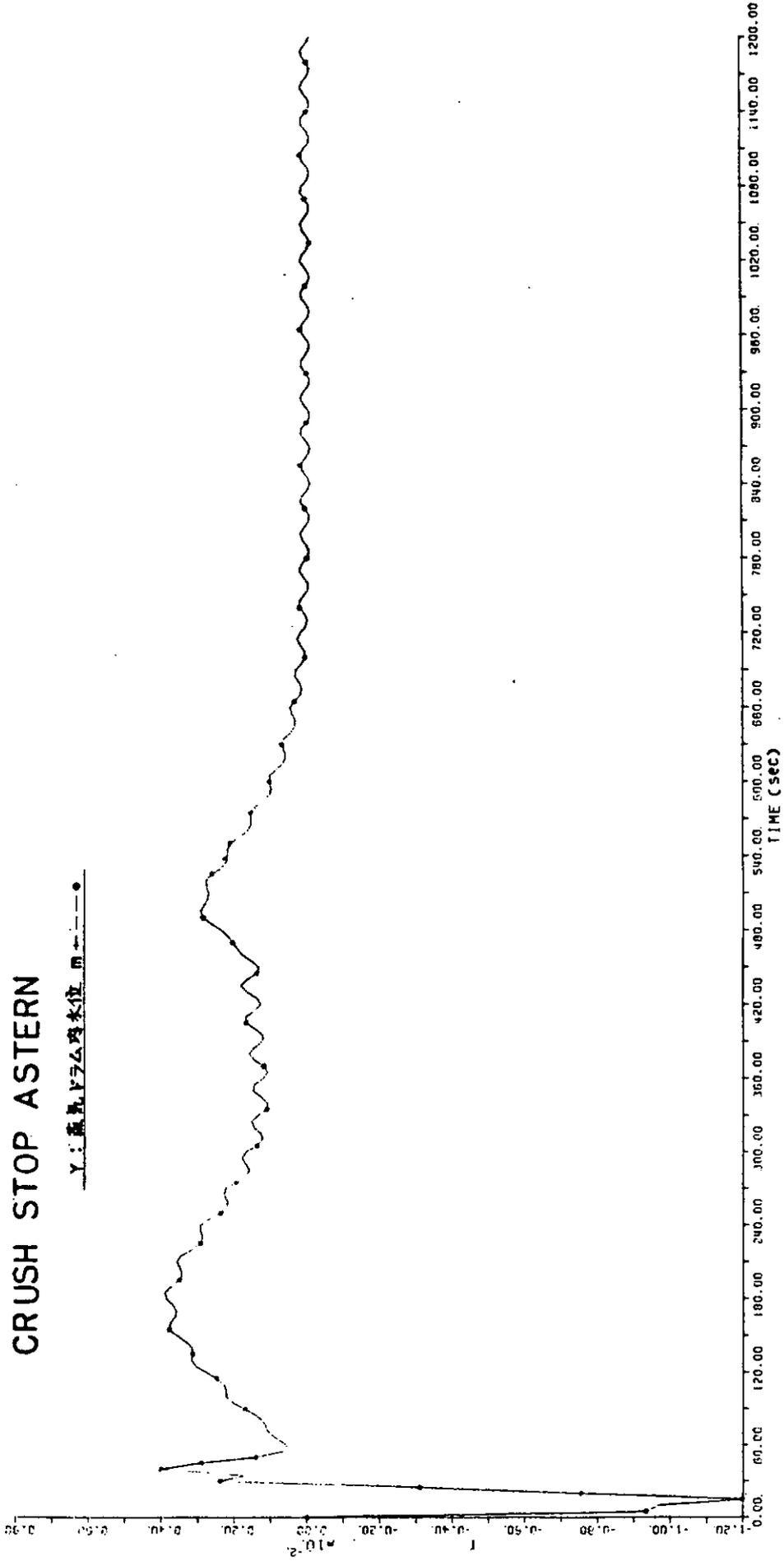


図 1.3.7

CRUSH STOP ASTERN

Y: 蘇島Y746碎氷位 用



☒ 1.3.8

CRUSH STOP AHEAD

GI: タービン流入蒸気量 Kg/s -----○

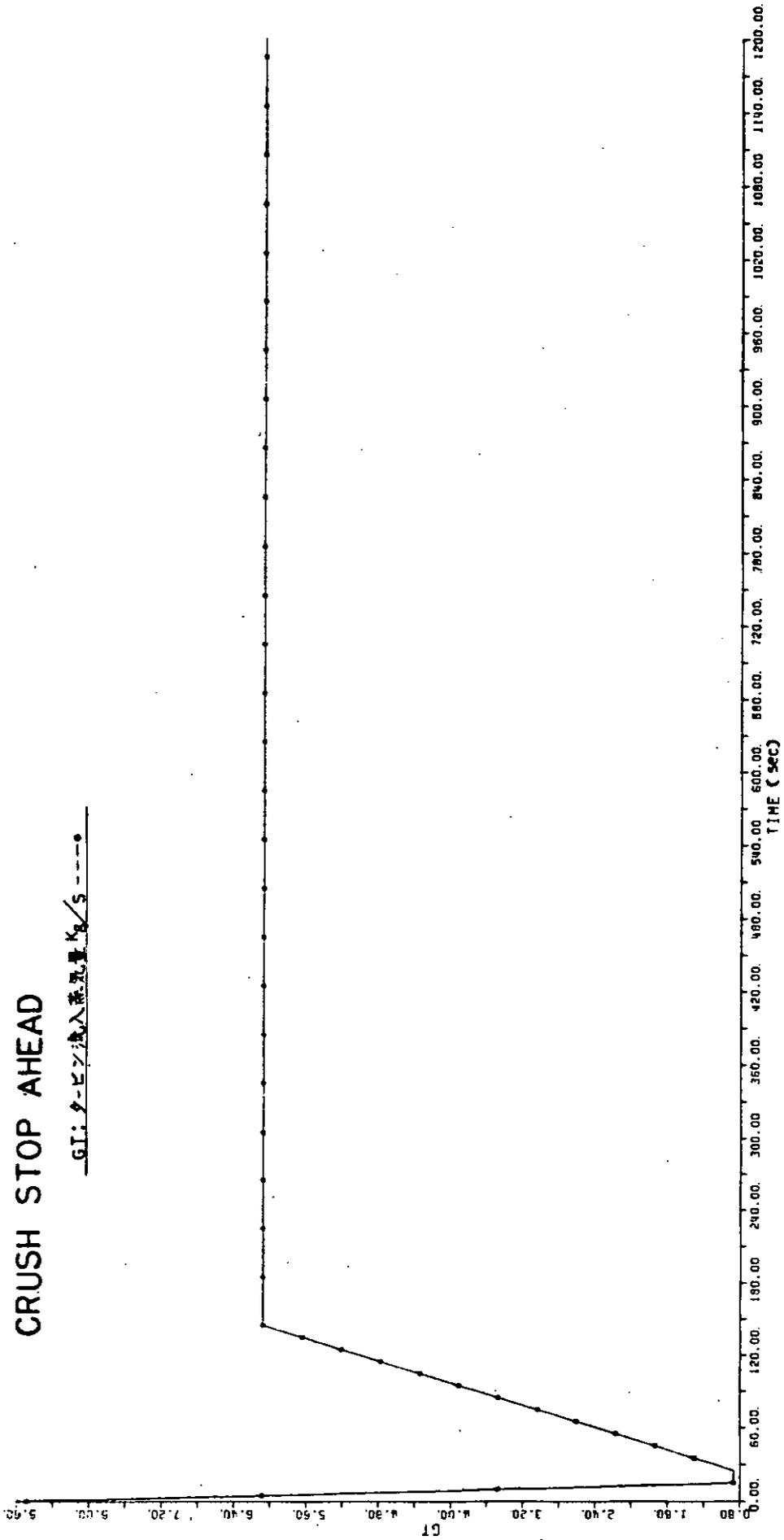


図 1.3.9

CRUSH STOP AHEAD

P90: 高壓邊界出口壓力 K_g/m^2 -----○

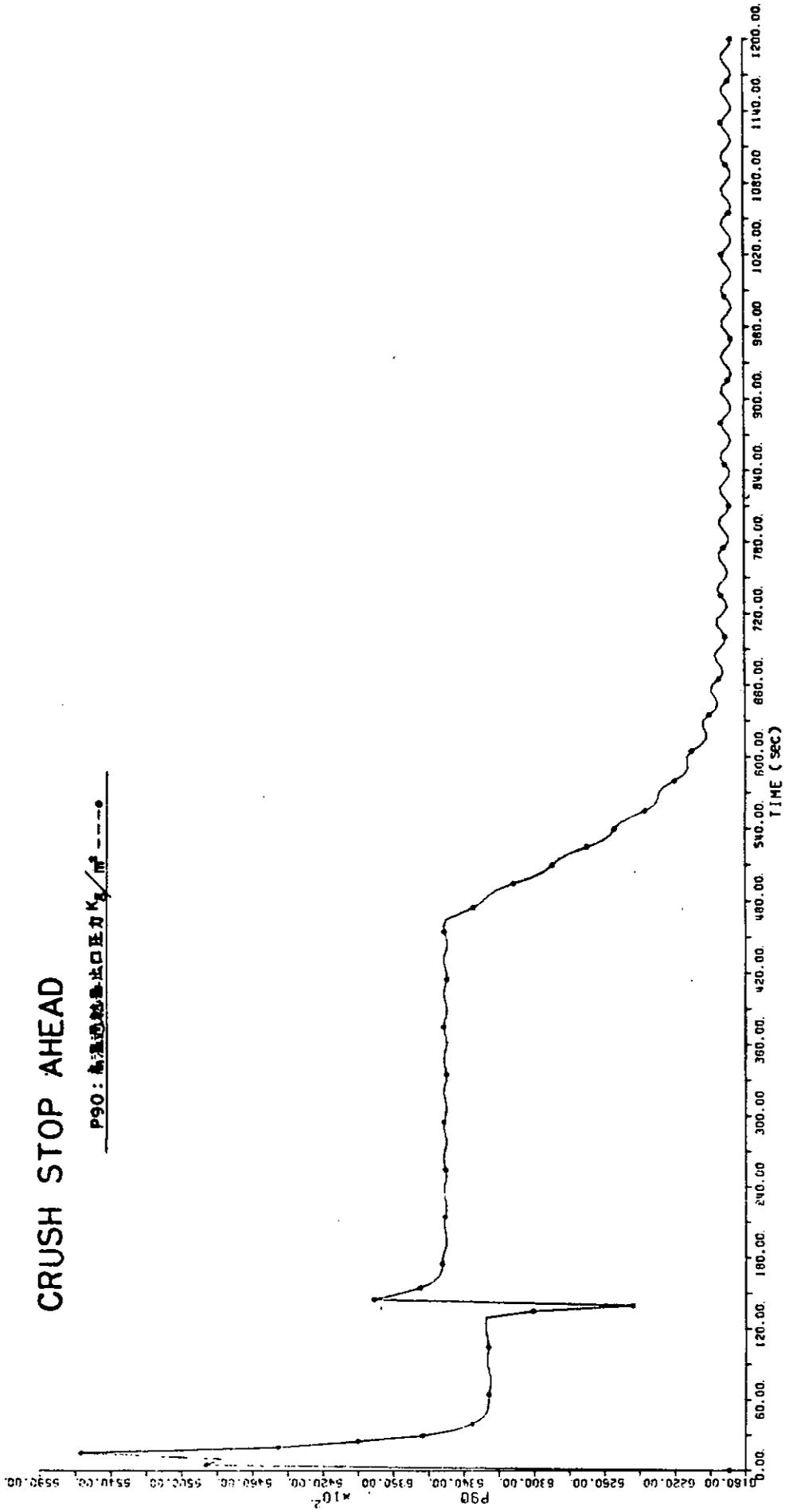


图 1.3.10

CRUSH STOP AHEAD

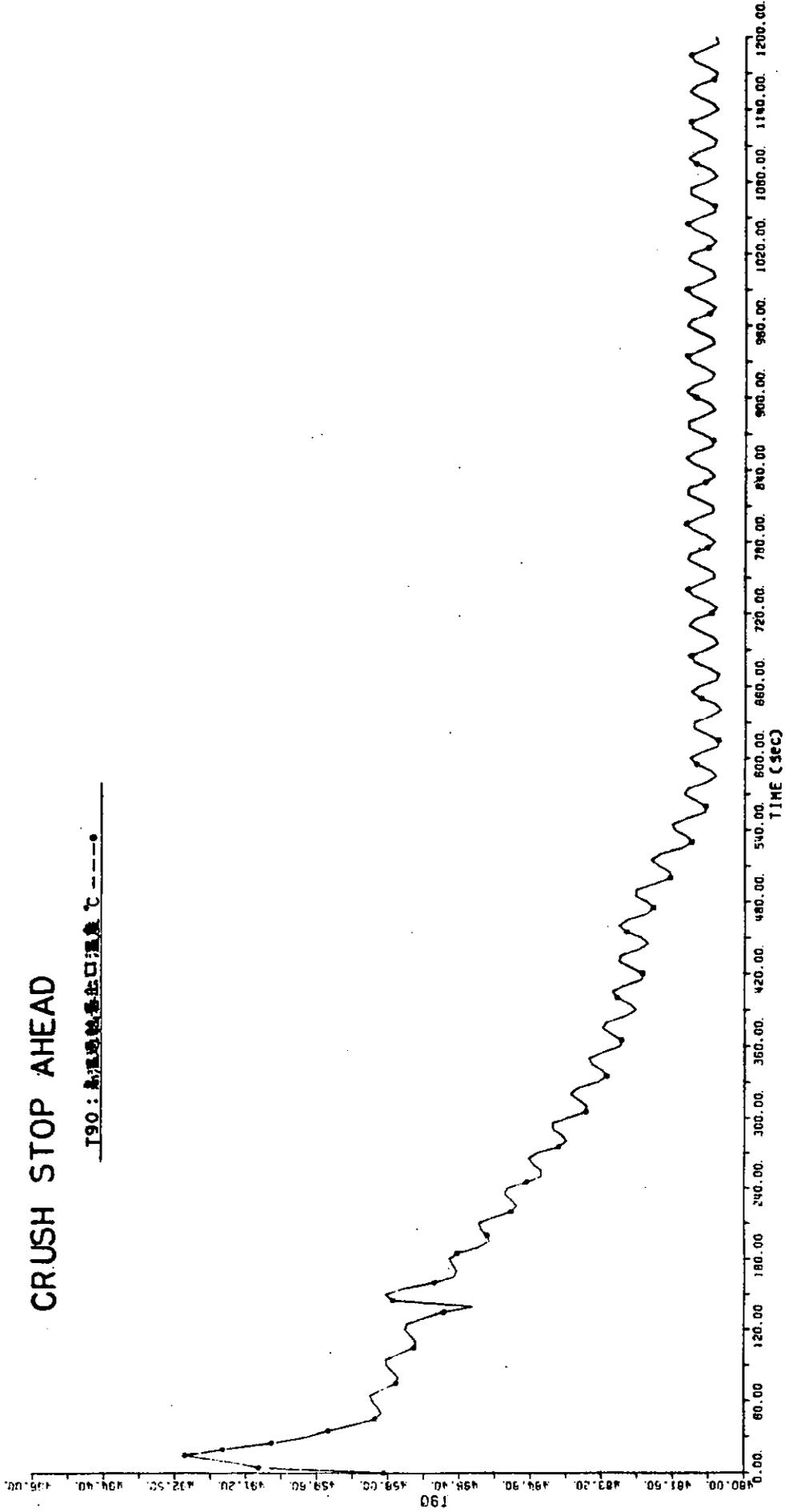


図 1.3.11

CRUSH STOP AHEAD

G11: $\frac{\text{ブレイク流量} K_0}{s}$ -----●-----

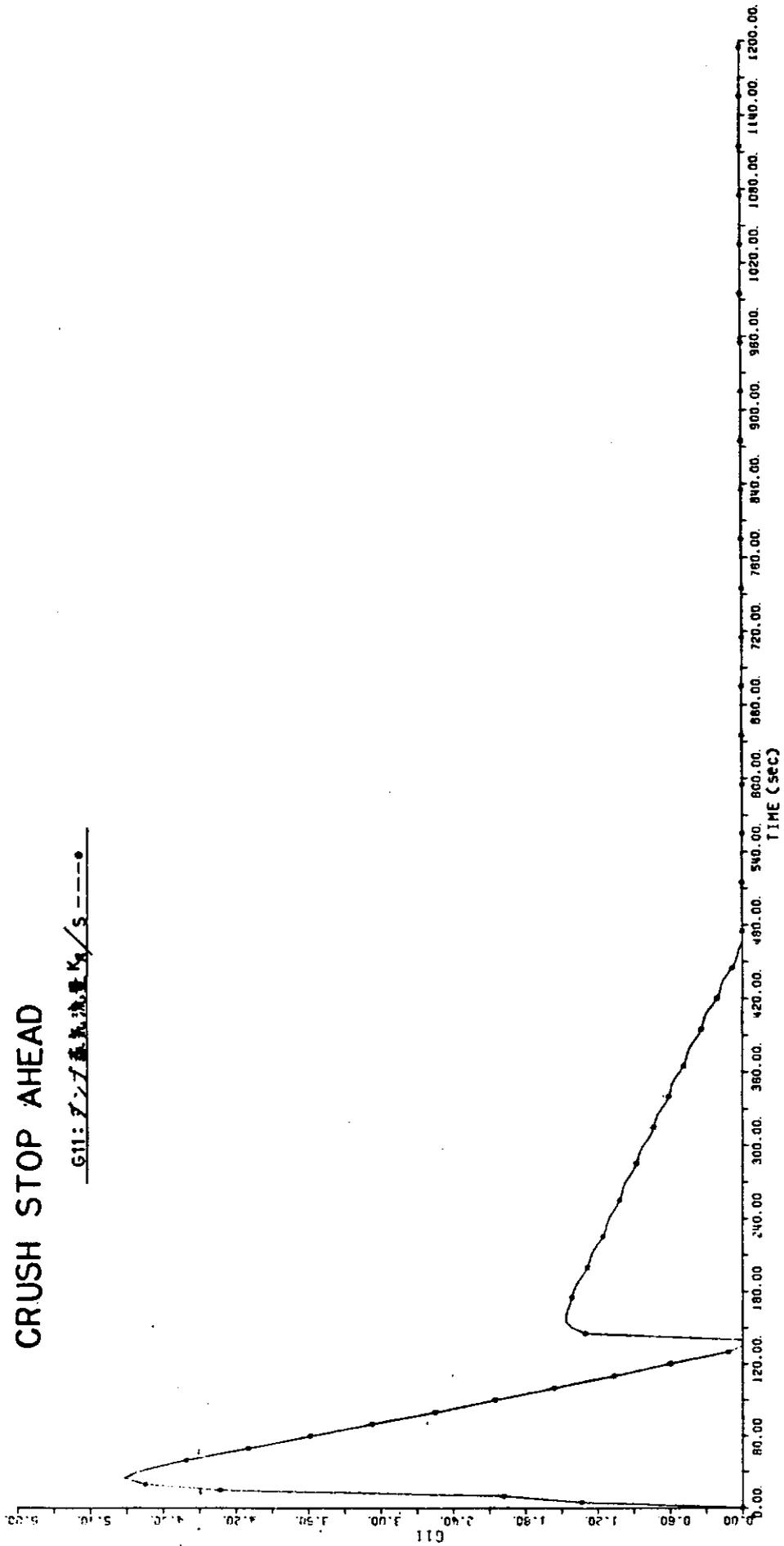
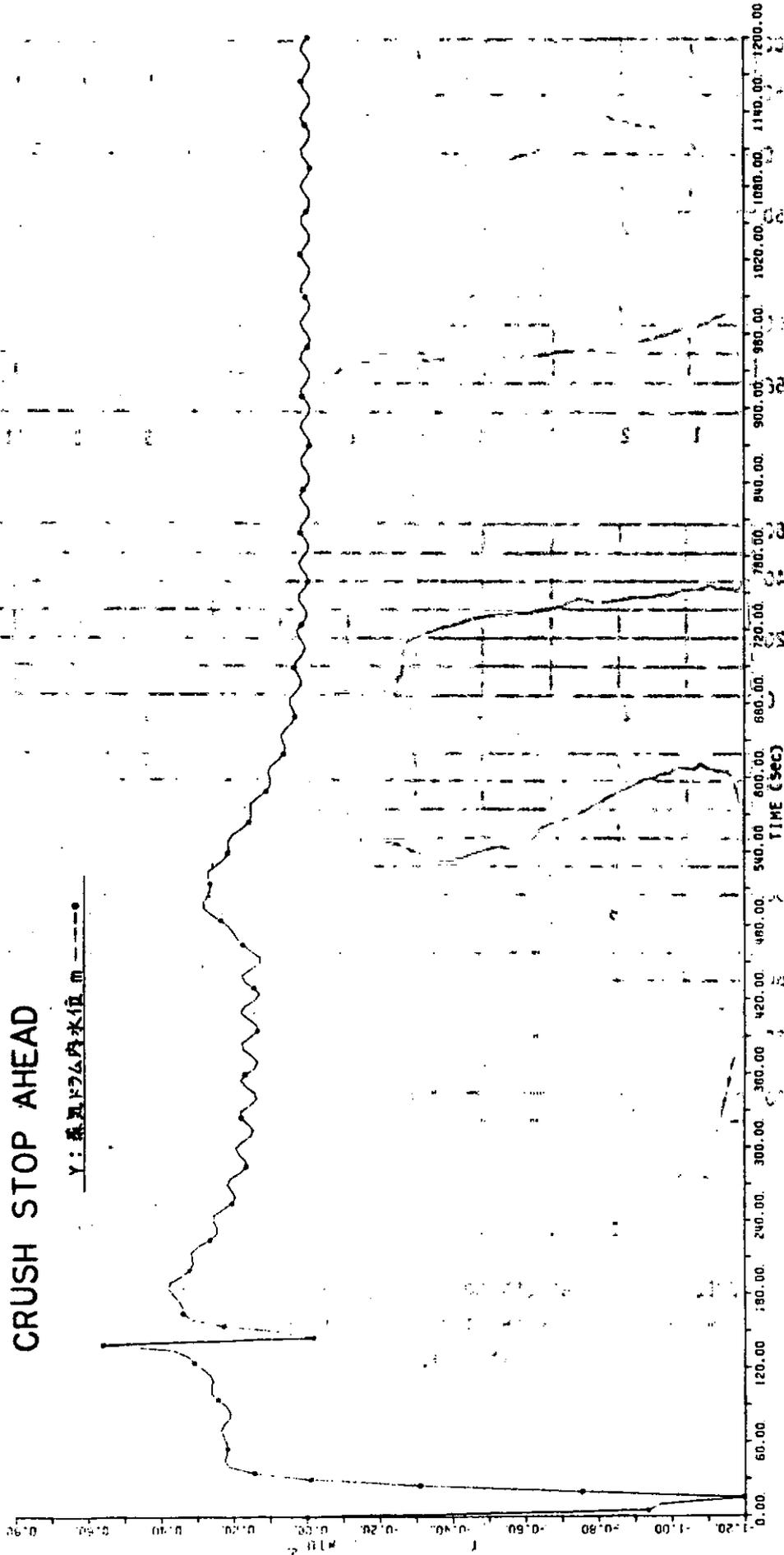


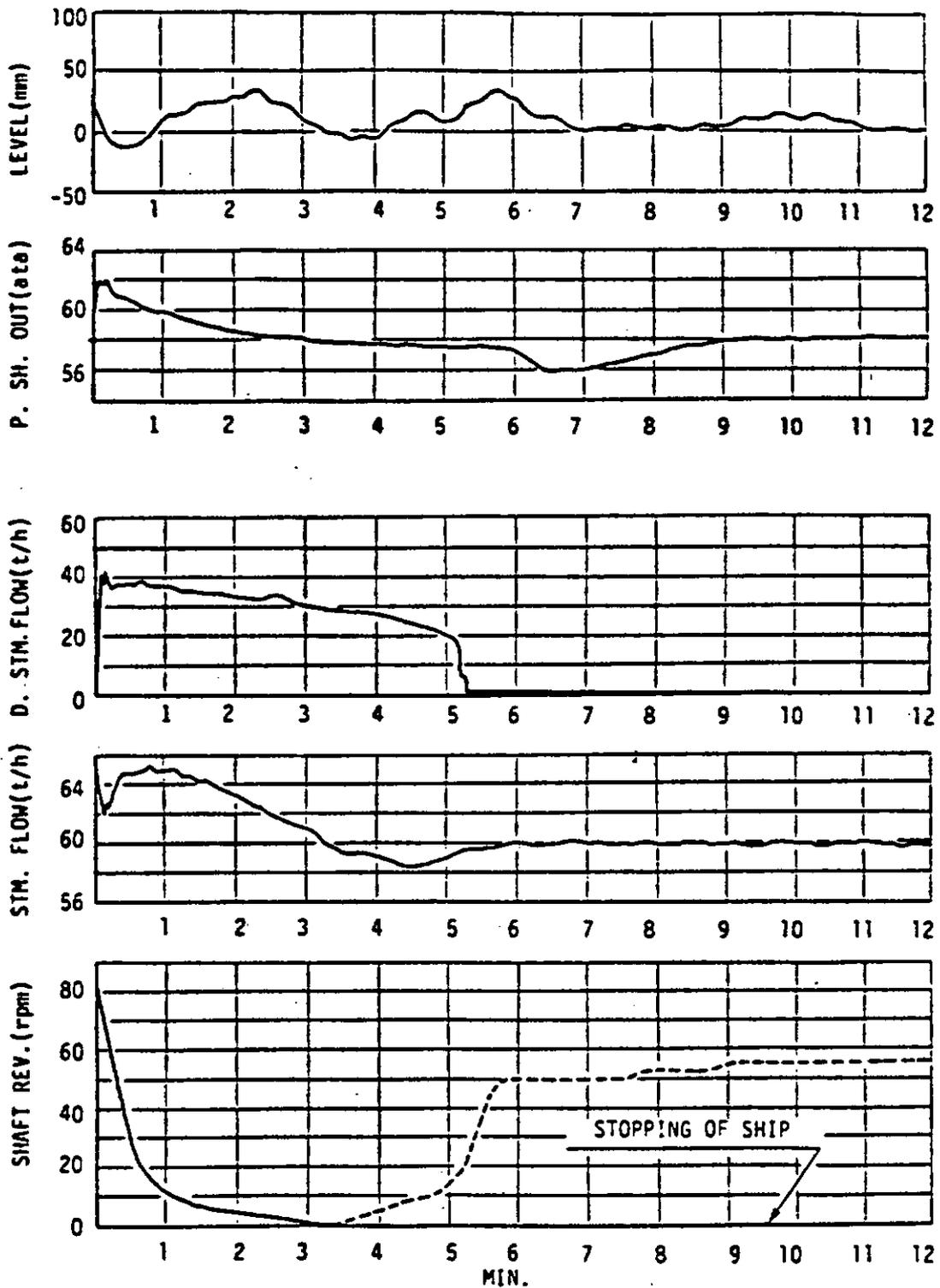
図 1.3.12

CRUSH STOP AHEAD

Y: 暴風F774内水位 m ---●---



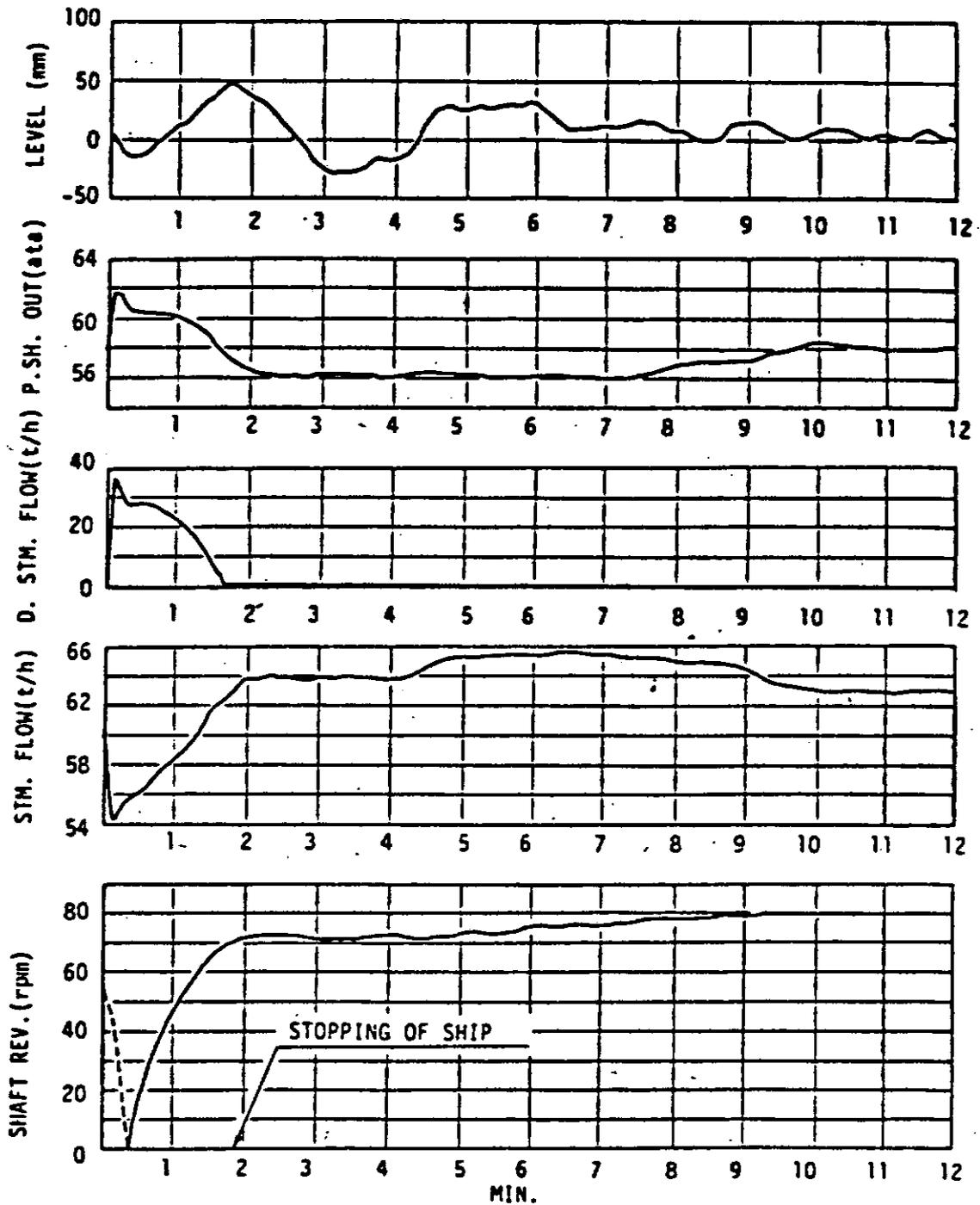
1.3(13) μ D 21.4 EGOM (FAP)



LEVEL : BOILER DRUM LEVEL (mm)
 P. SH. OUT : SUPERHEATED STEAM OUTLET PRESSURE (ata)
 D. STM. FLOW : DUMP STEAM FLOW (t/h)
 STM. FLOW : SUPERHEATED STEAM FLOW (t/h)
 SHAFT REV. : PROPELLER SHAFT REVOLUTION (rpm)

DYNAMIC RESPONSE OF CRUSH STOP ASTERN TEST
IN CASE OF COAL FIRED BOILER

☒ 1.3.14



LEVEL : BOILER DRUM LEVEL (mm)
 P. SH. OUT : SUPERHEATED STEAM OUTLET PRESSURE (ata)
 D. STM. FLOW : DUMP STEAM FLOW (t/h)
 STM. FLOW : SUPERHEATED STEAM FLOW (t/h)
 SHAFT REV. : PROPELLER SHAFT REVOLUTION (rpm)

DYNAMIC RESPONSE OF CRUSH STOP AHEAD TEST
 IN CASE OF COAL FIRED BOILER

⊠ 1.3.15

(2) 油だきボイラの実働特性とシミュレーション結果の比較

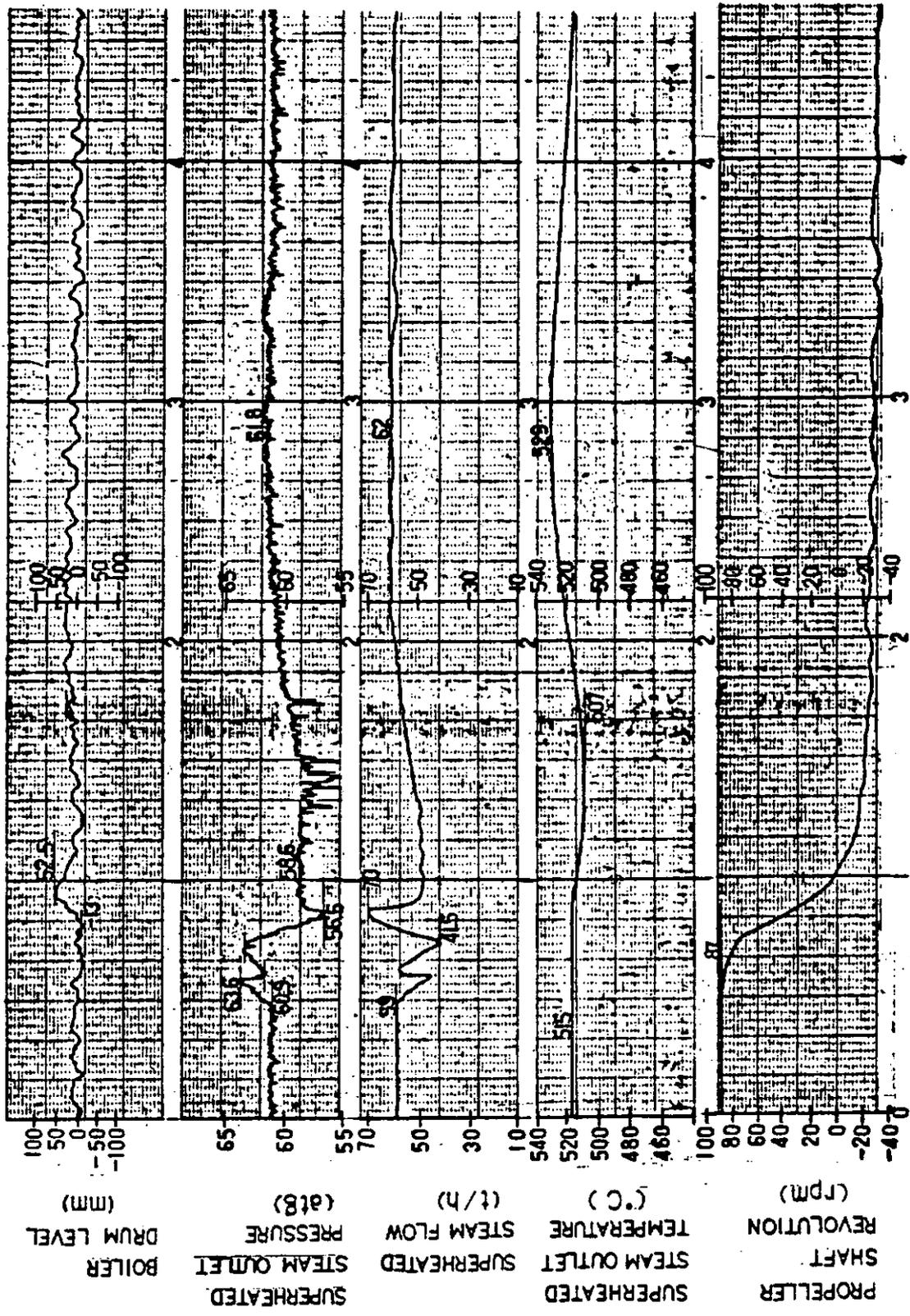
次にクラッシュストップ・アスターン時を想定したシミュレーション結果(図1.3.5～図1.3.8)と油だきボイラの実働特性との比較を試みた。図1.3.4に示すタービン負荷変化は、従来の油だきボイラ搭載のタービン船におけるクラッシュストップ・アスターン時の負荷変化と同じものである。

図1.3.16に海上公試運転におけるクラッシュストップ・アスターン時のボイラ実働特性を示す。本ケースの油だきボイラの要目は蒸発量(最大/常用負荷時)82/58 T/H 蒸気条件(過熱器出口)61.8 kg/cm²G×515℃であり、形状および寸法は計算対象とした石炭だきボイラ(31 T/H×61.0 kg/cm²G×490℃)とほぼ同じである。

油だきボイラの場合、その制御範囲は約10～100%であり、更にバーナ本数制御を採用することにより、制御範囲を拡大できるのに対し、石炭だきボイラ制御範囲は、約30～100%以下である。石炭だきボイラにおいて負荷が急激に変動した時には給炭量および燃焼用空気を加減することのみによって蒸気圧力を一定範囲に制御することは困難であり、余剰蒸気ダンプシステムは欠くべからざるものであるが、このような配慮をしてもなお油だきボイラに比較すると負荷変動に対する蒸気圧力応答性が劣ることは避けられないと思われる。

これは一般に石炭だきボイラの火炉容積は同一蒸発量の油だきボイラに比べて約60%増(高さ×巾×奥行:1.3×1.05×1.15)となることからボイラ時定数が増加すること、又重油燃焼と比較してストーカだき石炭燃焼の場合、燃焼時定数が大きくなることに起因するものであろう。

水位および蒸気温度応答については、計算モデル化にあたっての仮定を考慮すれば、大きな差は、油だきボイラとの間にはなかった。



□ 1.3.16 DYNAMIC RESPONSE OF CRUSH STOP ASTERN TEST
 IN CASE OF OIL FIRED BOILER

(3) 過熱蒸気圧力応答性の比較

ここで特に重要視される過熱蒸気圧力応答について各ケースの結果をまとめて比較してみると表 1.3.14 の通りとなる。

表 1.3.14

負 荷 変 化	ケ ー ス	蒸気圧力変動巾	静定時間	ダンプ 弁容量
<p>CRUSH STOP ASTERN:</p>	石炭だきボイラ 実測	57 atg +6.5% -3.5%	10 min	約 60%
	石炭だきボイラ シミュレーション 結果	60.9 atg +6% -0%	15 min	60%
<p>CRUSH STOP ASTERN:</p>	石炭だきボイラ 実測	57 atg +6% -3.5%	11 min	約 60%
	石炭だきボイラ シミュレーション 結果	60.9 atg +6% -0%	15 min	60%
<p>CRUSH STOP ASTERN:</p>	油だきボイラ 実測	61.8 atg +3% -8%	2.5 min	-
	石炭だきボイラ シミュレーション 結果	60.9 atg +6% -0%	15 min	60%

油だきボイラの場合その制御範囲の広いこと、及び応答性の速いこともあって、圧力変動巾は、大体過熱器出口安全弁の吹出/吹止り圧力の範囲内におさまるのに対し、石炭だきボイラの場合は、前述の通り油だきボイラに比べて応答性が劣ることから、圧力変動の上限は一般的に高くなるを得ないだろう。

シミュレーション結果では、蒸気圧力変動の上限は実缶データとほぼ同じ割合であるが、圧力変動下限は小さく、圧力の静定時間が長くなっている。圧力変動巾の下限は、静定時間とも関連するので燃焼制御系の積分時間を短くするなどの初期値データの変更により圧力変動の下限を増加させて、逆に静定時間を短縮させることが可能である。更に計算モデル化にあたっての仮定条件や制御方式の差も、実缶との差を発生させている大きな要因と考えられるので、余剰ダンプ弁の先行作動の採用等、制御方式の見直しと共に計算モデルについて更に検討改良を加えることが今後の課題と思われる。

ストーカ燃焼方式の石炭だき船運航に関しては、上記シミュレーション結果と実缶特性から、余剰蒸気ダンプ制御システムを設置することにより、急激な負荷変動時においても、安全運航上支障はないといえよう。又ストーカ燃焼方式の石炭だきボイラの圧力変動巾は設定値に対して +8% から -5%、又圧力静定時間は 10 分から 15 分が一つの目安の値となる。

2.2 余剰蒸気ダンプシステム系の設計指針

2.2.1 減圧および減温装置

余剰蒸気ダンプシステムをストーカ燃焼方式の船用石炭だき主ボイラの自動制御要素の1つとして付加する目的は、主ボイラが通常負荷から低負荷域に移行する際に、自動燃焼制御装置の追従遅れによって発生する余剰蒸気を復水処理するものである。これは、緊急脱圧設備として装備される船用石炭だき主ボイラの安全弁が従来の油だき主ボイラにおける常識の範囲を越えて頻繁に作動するのを防止することになる。その予想される作動形態からみて、ダンプシステムは自動燃焼制御装置とほぼ同等のくり返し作動に対する信頼性が要求されるシステムである。

(1) ダンプ弁

くり返し作動に対する信頼性を確保するには、システムの構成要素を必要最少の数とし、でき得る限り簡単なシステムを実現することが重要である。その意味から、ダンプシステムのダンプ弁は開閉作動とその中間開度保持による圧力制御作動を1個の弁で実現できる機能を持つことが望ましい。

このため、主ボイラの負荷が通常負荷から、短時間で低負荷域に移行し、主蒸気圧力が過度に上昇してダンプシステムの作動設定圧力に達したとき、ダンプ弁は一旦全開し、一定時間経過後に中間開度による圧力制御に移行するシーケンス制御が必要となる。

また、復水器保護のため、ダンプ弁下流側の二次圧力には、一定の上限値を設定することが望ましく、常態ではダンプ弁上流側の一次圧力を制御目標値とし、復水器内圧が異常に上昇した場合は二次圧力制限を優先制御するような組み合わせ制御機能を付加するのが望ましい。

(2) 減温装置

復水器で受入可能なダンプ蒸気の温度上限値からみて、主ボイラ内部緩熱器のみで許容される温度域に減温することはできないので、ダンプシステムは外部緩熱器のみによる単段減温方式を採用する方がシステム構成は簡単となり、船内配置上の自由度も高くなる。

ただし、ダンプ用外部緩熱器と、他の目的に使用される外部緩熱器、例えば、低圧タービンによる非常航走用外部緩熱器などと兼用とする場合には、減温装置の温度制御可能範囲に十分意を用いることが必要である。

また、ダンプ弁を瞬時全開とし、定時間後圧力制御に移行する制御とする関係上、減温給水の先行制御で、過度的な復水器入口蒸気の温度過上昇を防止する対策が必要となる。

減圧弁と減温装置の配列は、ダンプ弁先行、減温装置後置が一般的である。この装置の下流二次側では、蒸気の体積流量が著しく増大するため、船内配置上はできる限り復水器に近い場所に設置した方が二次側配管を短かくできる。しかし、減温装置の二次側は減温効果を確保するため、一定の配管長さを必要とするので配管の検討をする初期計画段階でこの二次側配管の導設空間を十分配慮しておくことが必要である。

(3) 圧力検出点

圧力検出点はできる限り過熱器出口直後とする必要がある。蒸気ドラムに直接設置される安全弁の場合、吹出しによるドラム内部抵抗はほとんど零に等しく、管台による抵抗も小さいので、一次側圧損による安全弁のハンチング発生の懸念はほとんどない。

しかし、ダンプ弁の場合は、過熱器および圧力検出点に至るまでの一次側配管による圧損は無視できなくなる。

圧力検出点に至るまでの配管が長い場合には、ダンプ弁作動と同時に配管内には新規の圧力損失が発生する。

この圧力損失の値がダンプ弁で設定している閉弁圧力の値を越えると、作動中のダンプ弁は過熱器出口の実際の圧力降下を待たずに即刻閉弁する。したがってダンプ弁は一次側の圧力回復とまりつき状の流体脈動とによって再び全開し、すぐまた逆作動をする。ダンプ弁の作動範囲は燃焼制御装置設定圧力と安全弁設定圧力の中間であり、これらの設定圧力に対する偏差余裕を $0.5 \sim 1 \text{ kg/cm}^2$ とすると、ダンプ弁の実際の作動範囲圧力は約 1 kg/cm^2 と非常に小さいのでこの点に関する十分な注意が必要となる。これを回避するためにはダンプ弁作動時における圧力検出点の位置、そこに至るまでの管系の圧損などについて弁メーカーに十分な情報を与えてダンプ弁の計画を進めることが肝要である。

減圧、減温装置の二次側配管は、装置の作動に際して過大な熱衝撃が発生しないよう、十分なフレキシビリティをもった配管とし、暖管および連続蒸気ドレン処理を考慮する必要がある。

2.2.2 復水器

余剰蒸気ダンプシステムはマニユバリング域でかなり頻繁に作動する他、通常航海時においても全く予告なしに作動を要請されるから、余剰蒸気を処理する復水器としては、常に冷却海水が確保されている主復水器を用いるのが最も簡単なシステム構成となる。

ダンプ蒸気管を主復水器まで導設することが、配置上困難な場合には、別置のダンプ復水器、あるいは兼用の復水器をこの目的にあてることになるが、この場合には、予告なしに作動を要請されるダンプシステムに対して、自動的に冷却海水を循環させるポンプが必要となる。

復水器で受入れ可能な流速レベルとエンタルピレベル、即ち許容圧力と許容温度は復水器の構造、ダンプ蒸気導入部の位置および管材質などにより左右されるので復水器メーカーとの十分な協議が必要となる。

ダンプ蒸気を受入れ圧力と温度が設定されたら、復水器に対して

- (1) ダンプ蒸気受入管台の許容反力
- (2) 低圧タービンケーシングに対する熱膨脹による影響
- (3) 冷却管表面温度
- (4) ダンプ蒸気流入による管束の共振防止

などのチェックが必要となる。

2.2.3 システム構成

ダンプシステムの全体構成に関しては、主ボイラの負荷低下による安全弁の作動頻度と吹出し継続時間を油だきボイラのそれと同程度にするという定量的な配慮と、構成要素の熱応力、熱衝撃および騒音とそれに付随する振動の発生予防に十分な配慮をすることが必要である。

また、蒸気タービン推進システム全体のプラント構成との整合性にも意を用いるべきである。例えばダンプ蒸気の減温を内部緩熱器と外部緩熱器で二段減温するようなダンプシステムにおいては、ダンプ弁作動時に内部緩熱器出口蒸気温度が一時的に低下する。内部緩熱蒸気を補機タービン駆動に使用しているプラントの場合、このダンプ弁作動による一時的な内部緩熱蒸気温度の低下が補機タービンに悪影響を与えないよう、予め配慮しておくことが必要である。

構成要素の熱応力、熱衝撃および騒音とそれに付随する振動の発生予防に対する配慮は、その許容レベルをどの程度に設定するかが重要であり、その許容レベルに応じて暖管、ドレン処理、配管の適正なフレキシビリティ、低騒音弁の採用および遮音装置などを必要に応じて設置することになる。

減温装置の給水源を何に求めるかはシステムの全体構成の中で初期段階で決定されるべきであるが、従来の外部緩熱器で使用実績の最も多い、主給水ポンプ枝管による給水が最も考え易い方法と

思われる。

制御および計装に関しては従来から船舶で多数の使用実績がある空気式調節計および調節弁で十分、目的に応じられると考えられる。

ダンプシステムはその必要上、自動作動となるが予め予想される主タービンの負荷低下に対して、人為的にダンプシステムを作動させる場合もあるものと考えて機関部制御室から遠隔作動もできるように設備しておくことが望まれる。

警報関係は、復水器の保護を目的として設置されるべきであり、ダンプシステムに異常が発生した場合には、異常の程度に応じてダンプ弁の強制閉止を行わせ、最終的な緊急脱圧は安全弁の作動に頼ることになる。

以上の考察をまとめて重要な点を設計指針としてまとめれば次のようになる。

	ダンプ弁	減温装置	復水器	その他
構造面	(1)内弁構造 漏洩を少なくすることから単座形式 (2)保守・低騒音 マルチポートゲージ弁 (3)駆動装置 空気式ダイヤフラム、ピストン電動いずれも可、メーカーの見解による。	内部および外部緩熱器の組合せ、外部緩熱器いずれの場合も従来の技術応用で特に問題なし。	(1)低圧タービンケーシング復水器胴、管束に対する衝撃緩和を考慮する。 構造によっては復水器内部に拡散内管または邪魔板を設ける。 (2)管束の共鳴振動防止	(1)配管 熱応力を考慮した適正なアンカーポイント配置とフレキシビリティ確保
設備面	(1)遠隔制御 自動制御とともに制御室から遠隔開閉押釦を設置 (2)シーケンス制御 作動設定圧力で一旦全開し、一定時間後に通常の圧力制御に移行する。 (3)先行信号 蒸気圧に加え、操縦ハンドル位置などの先行信号を加入させる。	(1)給水先行制御 復水器の温度過上昇防止のため減圧弁作動に先行して注水開始	(1)復水器保護装置 必要に応じ、ダンプ弁非常閉弁または警報 (a)復水器内圧過上昇 (b)減温給水圧力低下またはノンフロー (c)復水器入口蒸気温度過上昇 (d)復水器ホットウエル水位異常上昇	(1)システム容量 マニューバリング時の最大出力から主タービン停止しても安全弁が作動しない容量 (2)暖管、ドレン連続処理 二次側配管の熱衝撃緩和

2.2.4 今後の検討課題

クローズド・ループ系プログラムによる石炭だきボイラの動特性シミュレーションの結果、余剰蒸気ダンプ制御システムを設置することによって、クラッシュストップ・アスターン/アヘッド時などの急激な負荷変動に十分対処可能であり、石炭だき船の安全運航そのものには、支障がないことがわかった。

しかし、プラントエンジニアリングの上から、石炭だきボイラの負荷変動に対する応答性を更に

向上させることが必要であり、下記項目が今後の検討課題としてあげられよう。

1) 余剰蒸気ダンプ弁のシーケンス制御

余剰蒸気ダンプ弁は作動設定圧力に達した時、一旦全開し、一定時間経過後に中間開度による圧力制御に移行するようなシーケンス制御の採用が望ましい。

2) 余剰蒸気ダンプ弁の先行作動

ブリッジ・ハンドルの位置信号等を先行要素として活用し、余剰蒸気ダンプ弁を先行作動させて急激な負荷変動時の蒸気圧力過上昇を防止し蒸気圧力変動巾を少なくすることにより、ストーカ燃焼負荷の変化を少なくし、安定した燃焼を継続させることが望ましい。

3) 過熱蒸気出口安全弁の吹出量

余剰蒸気ダンプ弁の先行作動に関連して決定されるべきであるが、最大蒸発量の25%の安全弁吹出量は従来の油だきボイラ安全弁吹出量に比べて過少であったと思われるので、これ以上の場合も確認してみる必要がある。

4) 石炭粒度分布のストーカ燃焼へ与える影響

現解析プログラムでは、石炭粒度分布を、浮遊燃焼の割合を求める目安として使用しているが、石炭粒度は浮遊燃焼の割合ばかりでなく、グレート上燃焼速度も支配する可能性が大きいので、今後は石炭粒度もインプットデータとして考慮することにより、ストーカ燃焼計算モデルについて検討改良を加える必要があろう。

あ と が き

昨年度はボイラ数と補助油だき容量、ボイラ故障時の非常推進設備、給炭及び灰処理システムの二重性範囲に対する各社試設計船のアンケート調査及び過去の陸上ボイラの損傷例調査を行ってストーカ燃焼方式の機関プラントのあり方について調査するとともにストーカ燃焼方式の動特性を解析するためのオープンループ系シミュレーションプログラムを作成して、この確認計算を行った。

本年度はプラント構成に関する追加のアンケート調査及び船級協会規則の調査を行うとともに、各種プラント構成に対する信頼性の比較解析を行い、また油だきボイラの故障実績との比較を行った。更に、動特性を解析するために、ボイラ制御装置を含めたクローズドループ系シミュレーションプログラムを作成して、確認計算を行い、油だきボイラの動特性との比較からストーカ燃焼方式の機関プラントにおいては余剰蒸気ダンプシステムがプラントの安全性確保の面から必要かつ有効なものであることを裏付けた。

この結果を体系化し、“ストーカ燃焼方式の機関プラントにおける船内設備のあり方”および“余剰蒸気ダンプシステム系の設計指針”を考察した。

これらは、各社でボイラプラントを計画する際、実務設計者にとっても有益な設計指針となると思われる。今後は、これらをベースとして推進プラントの信頼性を向上させるためにこれらの設備の冗長性をもたせるべき範囲についてさらに陸上での実績及び船用の実績データ等を加えていき、各社で設計マニュアルなどに展開して、本調査研究の成果を実務に反映していただければ幸甚である。

第2編 船内環境保全の研究

第1章 振動騒音防止

まえがき

石炭だき船における運炭灰移送関連機器の振動騒音については、56年度の報告書においてアンケート調査ならびに実地調査を実施し、振動騒音データの蒐集を行ない、またそれらのデータをもとに、空気輸送方式の運炭灰移送設備を有する機関部プラントの騒音予測を行なった。

ここでは、更に発展させ、運炭灰移送方式の相違による船内騒音の違いの予測、実船での振動、騒音計測ならびに振動騒音の予防対策について述べる。

1. 運炭・灰移送方式の相違による船内騒音の違い

56年度報告書において、空気輸送による運炭・灰移送設備を有する機関部プラントの騒音予測を行ない、何ら問題となるような騒音はないことが確認されたが、ここでは同一の手法を用いて、運炭・灰移送を機械式コンベア（フローコンベア）にした場合の予想を行なう。具体的には石炭とボトムアッシュの輸送をフローコンベアとし、フライアッシュの輸送を空気輸送（真空）とした場合の予想を行なう。

利用した式は56年度報告書と同様、点音源は、

$$\text{SPL} = \text{PWL} + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \dots\dots\dots (2.1.1)$$

を使用し、線音源については、

$$\text{SPL} = \text{PWL} + 10 \log \left\{ \frac{Q}{4\pi r} \left(\tan^{-1} \frac{x_2}{r} - \tan^{-1} \frac{x_1}{r} \right) + \frac{4L}{R} \right\} \dots\dots\dots (2.1.2)$$

を使用した。ここで、

- r : 音源からの距離又は線音源上へおろした垂線の足までの距離 (m)
- PWL : 機器の発する音のパワーレベル (dB)
- Q : 指向係数
- R : 室定数 (m²)
- x₁ : 垂線の足から線音源の端までの距離 (m)
- x₂ : 同 上 (m)
- L : 線音源の長さ (m)

である。また各機器類の配置は56年度報告書のそれと同一とした。

使用したデータを表2.1.1に、また結果を図2.1.1に示す。

結果は、機関室内の代表的位置において81.4 dB(A)、居住区において40～55 dB(A)とかなり小さく、問題となるような値にならない。

これを空気輸送の場合と比較すると、通常状態ではほとんど同じであるが、空気輸送の場合に瞬時に発する音（デンスペッセルから発するエアブロー音）が機械式の場合には発生しないという相違がある。

即ち、輸送形態による騒音の相違はほとんど認められないといえる。

2. 実船における騒音計測結果

M社において建造した石炭だき船の振動・騒音計測を、運炭装置稼動時に機関室内及び居住区内各部において実施したのでここで紹介する。

2.1 計測方法

(1) 機器稼働状態

コールコンベア空気圧縮機(3台):稼働
機関室通風機(6台):50%稼働
ボイラスペース排気ファン(2台):50%稼働
その他の機器は停止状態

(2) 計測機器

データレコーダ	1台
精密騒音計	1台
加速度ピックアップ	1個
チャージアンプ	1台
簡易振動計	1台

2.2 計測結果

騒音の計測結果を表2.1.2に、振動の計測結果を表2.1.3に、またそれぞれの概略計測位置を図2.1.2に、更に表2.1.4に対象船の主要目を示す。

騒音についてみると、運炭管近傍、空気圧縮機、コールビン近傍において予想以上の騒音が計測されているが、他の場所、特に居住区においては、ほとんど問題となるような騒音は計測されておらず、先の騒音予想結果と一致した結論となっている。

また振動については、運炭管、ターミナルボックス等に高いレベルの加速度が計測されている。しかしこれらのピーク周波数は数kHzとかなり高く、いわゆる音響域振動と称されるものであり、問題となるような振動は計測されていない。

3. 振動騒音に影響を与える因子と防振・防音対策

3.1 防振対策

石炭だき船の運炭・灰移送設備で振動が問題となるのは、主にパイプブレータ等振動そのものを基本機能としているものが多く、振動そのものを止めることはできない。従って防振対策としては、振動の他に伝播するのを防ぐ方法が唯一の方法となる。

この振動伝播防止対策の基本的方法は、ばねによる支持または防振ゴムによる支持である。

図2.1.3は簡単な振動モデルの振動伝達率をばねの場合と防振ゴムの場合について示したものである。この図からわかるように、防振ゴムの伝達率は起振周波数と固有振動数の比(ω/ω_n)に対して40 dB/decadeで減少してゆくのに対し、ばねの場合には、ある周波数以上になるとサージング現象(伝達率が急激に上がる一種の共振現象)が発生するようになり、また伝達率も20 dB/decadeの周波数特性となることがわかる。このため、対象とする振動周波数が高い場合には防振ゴムによる支持が望ましいといえる。一方、対象とする振動周波数が低い場合には、両者の伝達率はあまり相違なく、その場合には、経年劣化の点で問題のある防振ゴムよりもばねの方が望ましいといえる。

従って、パイプブレータ等のように振動周波数の低いものに対しては、ばねによる支持を行ない、 ω/ω_n を $\sqrt{2}$ 以上(2~3程度)として伝達率を1以下とすればよい。

尚、更に高周波の音響域振動については、振動の問題として扱うのではなく、騒音の問題として防音対策を施すことで対処すればよい。

3.2 防音対策

石炭だき船の運炭・灰移送設備で騒音が問題となるのは、空気輸送の場合には、空気の流れ音に関連する機器、機械式輸送の場合にはコンベアに関するものが挙げられる。これらの騒音に対しては次のような対策が有効となる。

3.2.1 噴出気流音対策（エアブロー音）

噴出気流音は噴出速度の8乗に比例するため、最も有効な方法は噴出速度を下げることである。

次に有効な方法は消音器を取りつける方法である。消音器は、空気通路の曲り、分岐、開口端反射、急拡大、急縮小及び気柱振動の共鳴現象のもつ減音効果を利用したもので、周波数特性を正確に把握すれば極めて有効な手段となり得、消音器の防音効果は10～20 dB程度となる。

3.2.2 運炭管内音の対策

運炭管内の音は石炭が管壁あるいは石炭同士で衝突する音と、空気流による騒音が混り合ったものである。前者の衝突音は石炭の速度エネルギー（速度の2乗に比例）に関係し、また空気音はその形態によって、

1. 偏位騒音（媒質の圧縮作用によるもので音の強さは速度の4乗に比例する。）
2. 圧力騒音（物体と乱流との衝撃によるもので音の強さは速度の6乗に比例する。）
3. 乱流騒音（乱流によって発生する騒音で音の強さは速度の8乗に比例する。）

のように分類される。従ってどの場合も、最も有効な方法は移送速度を押えることである。しかし、空気輸送の場合には、移送速度は任意に選べるといった性質のものでないだけにこの対策は条件が合わないときもある。

その他の対策としては、吸音材を管に取りつける方法あるいは管全体を遮へいする方法があるが防音効果は5～10 dB程度期待できる。

3.2.3 コンベアの騒音対策

ベルトコンベアの発する騒音の原因は、ローラとゴムとの間の接触音であると言われている。

図 2.1.4 は、比較的真円度の良好な（0.3 mmと0.7 mm）ベルトコンベアの速度と騒音の関係を示したものであるが、騒音がベルトコンベアの速度によってかなり違うのがわかる。すなわち騒音対策の基本はローラの実円度を高めた上で、速度を許容範囲内でできるだけ低く押さえることといえる。

次に防音対策として考えられるのは遮へいである。ここで遮へい対策について詳述すると、音がある材料を通過する際、透過損失TLは、

$$TL = 18 \log (f \cdot m) - 44$$

で与えられる。ここで、 f ：周波数

m ：材料の面密度（ kg/m^2 ）

即ち、遮へい効果は、面密度を上げる（重量を2倍とすれば約5 dBの効果増）ことによってより効果を発揮する。ただし、遮へいにはコインシデンス効果（材料の一種の共振現象で、遮へい材によって決定されるある周波数域において透過損失が著しく減少する現象）がつきものであり、この点は充分注意する必要がある。尚表 2.1.5 に各材料のコインシデンス周波数を示す。

尚遮へいによる防音効果は10 dB程度期待できる。

3.2.4 ホッパシュート部の騒音対策

ホッパシュート部に対する有効な対策としては、石炭のあたる部分にゴムライニングを施工する方法、材料として制振材を使用する方法、あるいは外面にダンピング材を貼る方法がある。

防音効果は、施工のでき具合に左右される要素が強いが数 dB～10 dB程度である。

あ と が き

石炭だき船における運炭・灰移送関連機器の振動騒音について、前回 56 年度版報告書の結果を踏まえ、運炭・灰移送システムの相違による騒音の違い、実船における振動騒音計測、ならびに防振・防音対策について調査し、次のような結果を得た。

- (1) 運送形態による騒音の相違は僅かであり、空気輸送でも機械式輸送でも騒音が問題となることはない。
- (2) 実船における振動・騒音の計測結果から、機器近傍において比較的レベルの高い振動・騒音が計測されたが、居室まで影響する騒音はなく、また振動も音響域振動が計測されただけで船全体あるいは居室等を揺らす低周波域振動は発生しない。
- (3) 防振対策としては、ばねや防振ゴムによる支持が有効であるが、周波数の高い振動については防振ゴムによる支持が望ましい。
- (4) 防音対策の最も有効な手段は輸送速度を押さえることであるが、その他に、消音器の設置、遮へい、吸音材・消振材の使用等が有効である。

引 用 文 献

1. 日本音響材料協会編“騒音対策ハンドブック”技報堂、P. 173～P. 464
2. 日本鉱業会編“新ベルトコンベアの計画と管理”日垂書房 P. 521～P. 532
3. 日本造船研究協会“第 156 研究部会 船内騒音に関する調査研究報告書”昭和 52 年 3 月

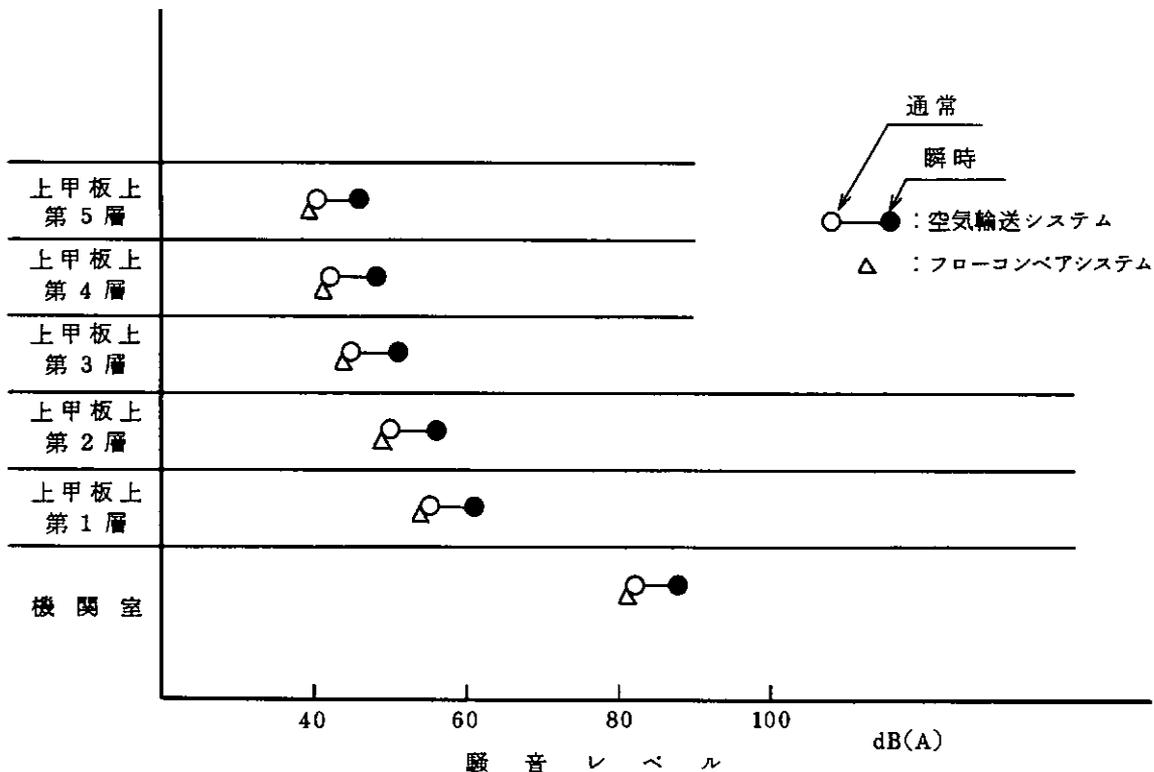


図 2.1.1 輸送システムの相違による騒音レベルの違い

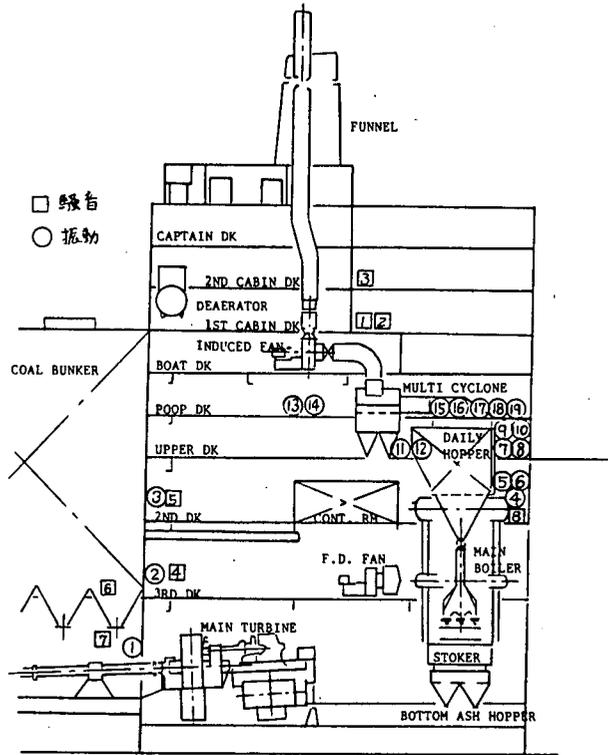


図 2.1.2 振動・騒音計測箇所

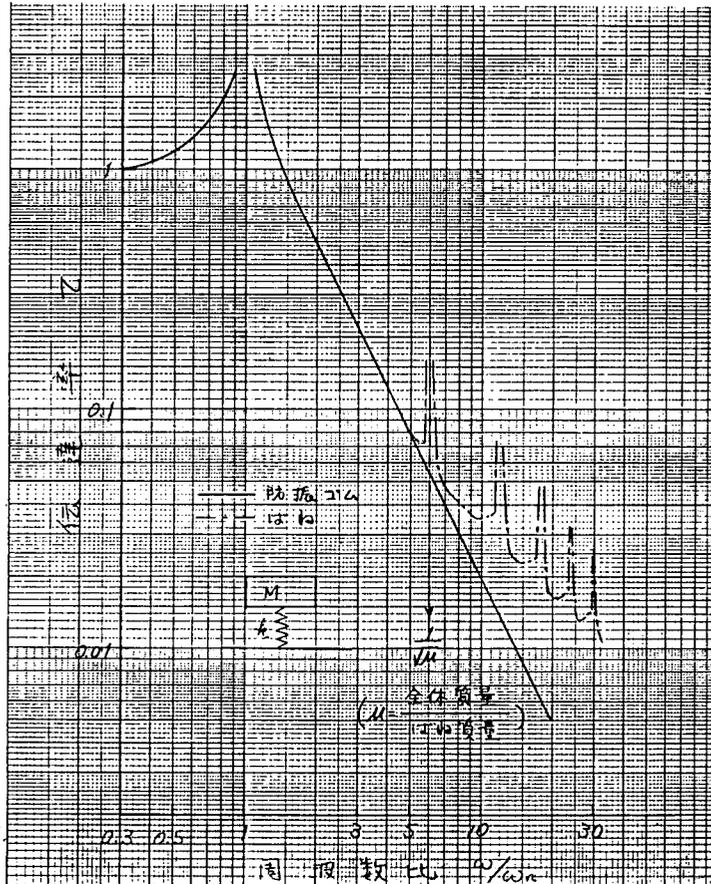


図 2.1.3 伝達率の周波数特性

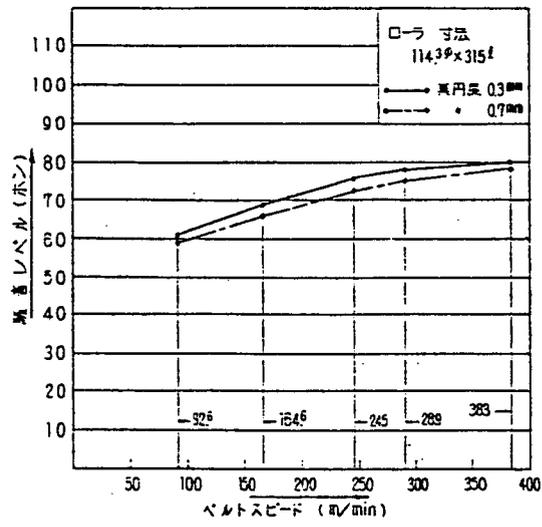


図 2.1.4 ベルトスピードと騒音レベル

表 2.1.1 機械式コンベヤの場合の騒音予測

単位: dB(A)

機 器 名	測定 SPL	推定 PWL	船内 推定 SPL	Q	x_1	x_2	L	r	代表点の騒音		備考	
									SPL/set	SPL		
点 音 源	バンカーの下エアハンマ	90	98	93	4				26	66.9	69.9	
	バンカー下パイプレータ付 シュート	89	97	92	4				26	65.9	68.9	
	トリッパ	94	102	94	2				18	71.0	74.0	
	デーリーホッパエアハンマ	90	98	87	1				17	65.8	68.7	
	コールゲート	82	90	79	1				16	57.9	60.9	
	クリンカクラッシャ	85	93	82	1				18	60.4	63.4	
	ボトムアッシュ用 バケットフィーダ	85	93	85	2				18	62.0	65.0	
	真空ポンプ	90	98	87	1				12	67.3	67.3	
	フライアッシュ用空気弁	95	103	95	2				14	73.5	76.5	
	マルチサイクロン	70	78	70	2				15	48.1	51.1	
	フライアッシュサイクロン	70	78	70	2				20	46.5	49.5	
	エゼクタ	90	98	90	2				24	65.7	65.7	
高圧水ポンプ	90	98	90	2				17	67.3	67.3		
線 音 源	石炭輸送用コンベア	80	85	80	2	20	24	4	13	58.4	61.4	
	"	80	85	80	2	-10	10	20	28	65.0	68.0	
	"	80	85	80	2	15	20	5	14	60.0	63.0	
	ボトムアッシュ 輸送用コンベア	80	85	80	2	15	20	5	13	60.1	63.1	
	"	80	85	80	2	-10	10	20	28	65.0	68.0	
	"	80	85	80	2	13	20	7	20	60.8	63.8	
	フライアッシュ輸送ライン (真空輸送)	70	75	70	2	10	20	10	12	53.8	56.8	
	"	70	75	70	2	7	11	4	28	47.9	50.9	
	"	70	75	70	2	13	20	7	20	50.8	53.8	
	灰船外排出ライン	75	80	75	2	15	20	5	18	54.5	54.5	
									合計音	81.4		

(備考) 測定 SPL : アンケート調査から割り出した騒音レベル
 推定 PWL : アンケート調査から推定したパワーレベル
 船内推定 SPL : 船内に搭載した時の機器近傍 (1 m) の騒音レベル

表 2.1.2 実船における騒音計測結果

(番号は図 2.1.2 の場所を示す。)

場 所	暗 騒 音	計 測 値
① ボートデッキ(ギャレィ)	44 dB(A)	60 dB(A)以下
② " (サルーン)	47 dB(A)	53 dB(A)以下
③ 1st キャンビンデッキ(居室)	38 dB(A)	43 dB(A)以下
④ 機関室 運炭管近傍 (1)		98 dB(A)
⑤ " " (2)		89 dB(A)
⑥ 機関室 空気圧縮機		98 dB(A)
⑦ " コールビン		97.5 dB(A)
⑧ " デーリーホッパ		86 dB(A)

表 2.1.3 実船における振動計測結果

(番号は図 2.1.2 の場所を示す。)

場 所	加速度(0 dB = 10 ⁻³ gal)	ピーク周波数(Hz)
① 運 炭 管	103 dB	2 ~ 8 k
② "	81.5 dB	3 ~ 8 k
③ "	78 dB	0.4 ~ 0.5k
④ デーリーホッパ	93 dB	0.5 ~ 0.6k
⑤ シ ー ト	84.5 dB	0.3k, 3k
⑥ ホ ッ パ	78 dB	0.5k
⑦ デッキ(防振支持下側)	80 dB	2.5k
⑧ デッキ(防振支持上側)	67.5 dB	2 ~ 6k
⑨ デ ッ キ	85 dB	2.5k
⑩ 上甲板機関室前壁	67.5 dB	2.5k
⑪ "	96 dB	2 k
⑫ デ ッ キ	65.5 dB	2 k
⑬ 運 炭 管	119 dB	6.3k
⑭ 運炭管支持台	92 dB	3 ~ 8k
⑮ ターミナルボックス	121 dB	3 k
⑯ ホ ッ パ 上 部	63 dB	0.6k
⑰ ターミナルボックス(水平方向)	130 dB	3 k
⑱ 壁	83 dB	2.5k
⑲ ラブチャーハッチ	77 dB	0.6k

(備考) dB → gal の換算式: gal = 10⁻³ · 10 ^{$\frac{dB}{20}$}

表2.1.4 計測対象船の主要目

項 目	仕 様
船 種	75,000載貨重量トンボーキサイト運搬船
長 さ	248 m
幅	35.55 m
深 さ	18.3 m
喫 水	12.2 m
主 機	蒸気タービン
出 力	19,000 ps × 80 rpm
ボ イ ラ	2-35 T/H (石炭だき)
運 炭 ラ イ ン	空 気 圧 送
灰 移 送 ラ イ ン	
フライアッシュ	真 空 移 送
ボトムアッシュ	#

表2.1.5 材料のコインシデンス周波数

材 料	周 波 数 (Hz)
鋼 板 (1t)	12.3 k
鉛 板 (1t)	53.8 k
ガ ラ ス (3t)	4 k
石綿スレート (12t)	1.9 k
鉄筋コンクリート (100t)	0.21 k
合 板 (6t)	3.3 k

第2章 炭じん・石炭灰の拡散防止

まえがき

昨年度は石炭、石炭灰の各種船内移送システムから漏洩する可能性のある炭じん、石炭灰についてアンケートおよび実地調査により、その漏洩状況について調査した。

本年度は、昨年度の調査結果をもとに、炭じん、石炭灰の漏洩防止対策を検討し、さらに漏洩が生じた場合の拡散防止および制御関係機器などへの炭じん、石炭灰の侵入防止対策を検討して、船内環境を良好に保全するための指針とする。

1 船内石炭移送、灰処理システムからの炭じん、石炭灰の漏洩防止対策

1.1 移送システムの密閉化

本調査研究にて対象とした各種システムのうち石炭移送におけるデンスフェイズ空気輸送方式、灰処理システムにおける真空移送、空気圧送、スラリー方式は本来密閉方式であり、正常に作動しているかぎりにおいては、漏洩の問題は生じないはずである。

一方、メカニカル方式の石炭移送については、陸上の例に多くみられるように、必ずしも完全密閉方式が一般的とは見えないが、しかし、船用としての特殊性を考慮するならば、メカニカル方式を採用する場合にも、完全密閉方式を第1に考えるべきと思われる。

その場合には、全ての継手面、軸貫通部、摺動部、乗継点などを完全にシールして、船内石炭移送システム全体をダストタイトにし、炭じんの漏洩を防止する。

1.2 排気集じん

メカニカル方式において、もし完全密閉方式を期しがたく、系統要部をダストタイトケーシングで囲う場合には、供給口ホッパからコンベアへの落し口、コンベアの乗継点、コンベアからデーリーバンカーへの落し口など内部発じんの多い箇所を中心にベントファン、バグフィルタを使用して、排気集じんすることが望ましい。

排気集じんの詳細については参考文献1)および2)を参照されたいが、石炭移送コンベアのような場合には、制御風速(炭じんの捕捉点における適正な吸込風速)は約 1 m/s 、また、搬送速度(排気ダクト内のまさつ、渦流などにもとづく圧力損失ひいては排気ファンの所要動力を過度に増大させず、一方、炭じんをダクト内に堆積させて排風量が過少とにならないための適正な排気ダクト内気流速度)は $15\sim 25\text{ m/s}$ が適当である。

尚、バグフィルタなどの排気清浄装置より下流のダクトでは炭じんを搬送する必要がないので、風速を 10 m/s 程度に小さくするのが普通であり、また、除じん装置はダストボックスに設けた扉にゴムパッキンなどの裏打ちをする等、空気が洩れないよう気密にし、またダクトと除じん装置との接続部は振動を伝えない構造とするのが望ましい。

1.3 内部発じんの抑制

メカニカル方式の場合ケーシングの密閉化あるいは排気集じんにより、炭じんの外部への漏洩を防止するのは勿論であるが、一方、ケーシング内部での発じん量自体をできるだけ抑えることも必要である。

これには、

- 1) コンベアの移送速度をできるだけ下げる。

- 2) 必要により水噴霧をする。
 - 3) デーリーバンカーの如きタンクにおいてはその内部の気体空間をできるだけ小さくする。
 - 4) コンベアの乗継部などにおける自由落下距離はできるだけ短かくする。
- などの考慮が必要である。

コンベアの移送速度と発じん量の関係については直接それを示すデータは見あたらないが、陸上における石炭野積パイルに関して、風速と炭じん飛散率の関係が調べられており、これによれば、風速と飛散率はほぼ比例するようであるが、いずれにしろ船用の石炭移送コンベアの場合には発じん量が大きな問題となる程の高速でコンベアを計画する必要は生じないと思われる。

一方、水噴霧についても、陸上の石炭ハンドリングヤードにおいて炭じん飛散防止による環境対策の一環として調査研究されている。炭じんが飛散しやすいかどうかは炭種、粒度分布、石炭表面湿分にもよるが、また山元における選炭の有無にも影響される。一般に選炭された石炭の微粒子は凝沈、脱水処理を経て、表面湿分が10%以上となり、微粒子同志が凝集し、大きな粒子を形成することと、選炭過程でなんらかの界面活性剤が使用されることが多いため、石炭自体が親水性となって、飛散の問題は比較的少ない。

これに対し、未選炭および選炭後ドライヤ処理された石炭の微粒子は、表面湿分の低下および石炭自身が撥水性となり飛散しやすくなる。

これらのことから、陸上の石炭ヤードではアンローダホッパ部、ヤード入口コンベアシュート部、貯炭場、払出コンベアシュート部で散水することにより炭じん飛散抑制が行われている。

尚、散水と水噴霧とはともに水をまいて粉じんを抑制することではあるが、散水というと、比較的大きな水滴または水流束を意味し、噴霧の場合には比較的細かな水滴を対象物に衝突付着せしめることにより、粉じんを抑制することを言う。船用の場合には、ケーシングを設けることは必須であり、水噴霧はケーシング内での発じんをできるだけ抑えて漏洩防止をはかる程の意味であるから、やるとしても、水噴霧程度にとどめるべきと思われる。

水噴霧箇所としては、発じんを抑えようとする落し口そのものでの噴霧は粒子が凝集されるに要する時間の関係で、効果はほとんどなく、またコンベア上での噴霧も効果がうすい。むしろ、落し口に達するコンベアの入口シュート部での噴霧が効果的である。

噴霧量としては、炭種、粒度分布、噴霧前の表面湿分にもよるが、噴霧により0.5%程度の表面湿分増加が得られれば、かなりの発じん抑制効果があるものと考えられる。

1.4 ボイラ室

ボイラ室の装備については、機関室全体装置にもよるが、石炭移送、灰処理系統を充分ダストタイトにすることを第1義として、ボイラ室として特別な仕切りは設ける必要がないようにすべきと考えられる。但し、石炭移送、灰処理装置などのオーバーホール時の機関室への炭じん、灰じん拡散防止に対し、特別な要求がある場合には、ボイラ室あるいは特にオーバーホールの機会が多いと思われる部分を別区画とすることを検討すべきと考えられる。

1.5 系統機器の密閉化

以上は、石炭移送、灰処理系統をマクロ的に見た場合の炭じん、石炭灰の漏洩防止対策について述べたが、一方、系統内の各機器からの漏洩防止にも充分注意すべきである。基本的に各機器を密閉構造にすることは勿論であるが、特に各機器の回転軸封部、摺動部についてはシールを充分に行ない、またそのシール部を適正にメンテナンスすることが重要である。

また、パイプレーティングフィーダの如き、振動をその基本性能とするものにおいては、付属するフレキシブルジョイントの耐久性についても充分留意し、破損による炭じん漏洩を防止する必要がある。同時に、振動による接合部の緩みから炭じん漏洩が生じないよう緩み止め対策をしておく必要がある。

コールシュート・デンスフェイズ石炭移送配管曲がり部、灰移送配管曲がり部、サイクロンセパレータなど摩耗、腐食による穿孔がおこりやすい機器については、炭じん・石炭灰漏洩防止の観点からもその適正な保守が要求される。

1.6 そ の 他

本調査研究期間中に、M社において実際に建造された石炭だき船において、経験されたこととして、船内移送系統からの炭じん・石炭灰の漏洩は系統をダストタイトにしたことにより、なかったが、石炭だきボイラは通常ボイラ内部が若干の負圧になるように制御されているにもかかわらず、制御の過渡期に瞬間的にはあるが、内圧が正となり、若干の灰がボイラケーシングより漏洩したことがあった由で、この点、今後の課題として留意する必要がある。

2. 炭じん・石炭灰の拡散防止対策

1に述べた如く、各種の炭じん・石炭灰漏洩防止対策を施しても、機器の点検・分解修繕時にはある程度の炭じん・石炭灰が機関室内に出ることが避けられない。

このような場合には、漏洩がおこった時点でなるべく早く漏洩炭じん・石炭灰を処理することが肝要である。特に炭じんの場合にはそれが堆積して厚い層になるまで放置せず、早目に処理することが炭じん爆発防止の観点からも必要である。

漏洩炭じん・石炭灰の処理方法としては、

- 1) ほうきとちりとり又はぬれ雑巾による方法
- 2) 水洗による方法
- 3) 真空掃除機による方法

などが考えられる。

どの方法をとるかは、漏洩する炭じん・石炭灰の量にもよるが、石炭移送・灰処理系統をダストタイトにすること、および、使用炭が塊炭であることを考えればもっとも現実的な方法は、原始的ではあるが、ほうきとちりとりまたはぬれ雑巾による方法であり、これで大部分の場合は処理可能と考えられる。

水洗による方法は簡便ではあるが、水洗水が不必要な箇所を汚さないような対策を施しておくこと、および、水洗水がビルジセパレータの性能劣化をひきおこさないように配慮が必要であり、この点、今後解決すべき課題と思われる。

真空掃除機による方法も考えられるが、この方法を採用する場合には炭じんを取扱う場合、その爆発性に注意する必要がある。一般の産業用真空掃除機は使えない。

一方、2～3のメーカーから炭じん清掃にも使用できる真空掃除機が発表されているが、その爆発防止対策としては以下のような項目が考えられる。

- モータ、コントロールパネル類は、炭じん防爆形であること
- フィルタは導電性フィルタを使用し、アースをとること
- 吸込ホースは静電気帯電を起こさないものとし、アースをとること
- ブロワ吐出温度高温時の保護装置
- モータ内部温度上昇時の保護装置

- ・ ブロワ異常振動保護装置
- ・ フィルタバッグ内火災発生時用散水装置
- ・ 集じんホッパ内爆発発生時電源・空気遮断装置
- ・ 爆圧放散孔の装備
- ・ 本体の清掃ホース接続口に高熱爆風の逆噴出防止用逆止弁の装備

米国の某メーカーによれば、この種の真空掃除機は石炭火力発電所などの炭じん清掃用としてかなり使用されており、また5隻の五大湖船にも搭載され、タコナイトペレット、石炭、炭じん、セメントの清掃用として使用されているとのことである。

真空掃除機を石炭だき船の機関室内の清掃用として装備する場合には、装置自身はかなり大きくなること、爆発対策形といえども、異物吸引などにより万一爆発がおこった場合には、爆風を大気放出しなければならないこと、を考慮し、装置本体は固定装備して、清掃主管を炭じん・石炭灰の漏洩がおこりそうな機器周辺に配置し、枝管に吸口およびホースを接続して清掃が行えるようにすべきであろう。

尚、真空式灰処理装置を採用する場合には灰移送配管の数ヶ所に枝管および盲フランジをもうけて、清掃ホースおよび吸口が接続できるようにしておき、灰漏洩の場合に、灰移送主管を利用して、清掃ができるようにしておくべきである。

3. 制御関係機器などの炭じん・石炭灰の侵入防止対策

石炭だき船の機関室雰囲気を考える時、制御関係機器などへの炭じん・石炭灰の侵入が、問題となる可能性がある。参考文献3)は工場電気設備の粉じん防爆を扱ったものであり、粉じん防爆そのものは、本章の主題ではないが、粉じんの機器への侵入防止という観点から参考になる。

詳細については参考文献を参照されたいが、粉じんの機器への侵入防止対策として、

- ・ 機器を全閉構造として、接合面の奥行を一定値以上にするか、または、接合面に一定値以上の奥行のパッキンを使用して、粉じんが容器内部に侵入しないようにする。
- ・ 配線は防じん性を有する金属管工事または、ケーブル工事によるものとし、外部導線の端子箱への引込みは金属管工事の場合には、電線管ねじ結合方式とし、ねじ部に液状ガスケット、グリースなどを用いて密閉性を確保するよう配慮する。ケーブル工事の場合には引込み方式として、パッキン式または固着式を採用する。
- ・ 防じん性を保持する必要がある部分のねじ類には、緩止めを施し、必要に応じ、容易にふたまたはカバーを開くことができないように錠締めを施す。
- ・ 端子箱から電気機器本体への導線引込みにはスタッド式、パッキン式、固着式、プッシング式、またはクランプ引込方式による。
- ・ 操作軸など、使用中動く容器貫通部分の接合軸はパッキン接合による。また押ボタン式操作軸はパッキンの替りに表面に丈夫な防じんカバーを設ける。
- ・ 回転軸の容器貫通部分の接合面はパッキン接合または密封軸受による。

などの項目があり、制御関係機器などの計画時、参考とすべきと思われる。

あ と が き

昨年度および本年度の調査研究を通じて、石炭だき船における石炭移送、灰処理系統内で、炭じん、石炭灰の漏洩がおこりうる箇所を把握し、漏洩防止対策、漏洩がおこった場合の拡散防止対策を検討した。これらが船内石炭、灰移送系統の計画にあたって、船内環境保全の観点からいささかでも役立てば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) 局所排気装置の標準設計と保守管理—基礎編
中央労働災害防止協会
- 2) 局所排気装置フード—応用編
中央労働災害防止協会
- 3) 工場電気設備防爆指針（粉じん防爆）
労働省産業安全研究所

第3章 石炭関連システムの保守・整備

まえがき

昭和56年度に石炭移送システムとしては空気圧送によるデンスフェイズ式とコンベアによるメカニカル方式について、また灰移送システムとしては真空吸引によるドライ真空方式と水スラリーによるスラリー輸送方式についてそれぞれ保守・整備に関するアンケート調査を造船会社、関連機器メーカーおよびユーザーを対象に実施するとともに、陸上用ストーカだき石炭ボイラの運転状況の実地調査を実施した。本年度はこれをもとに各システムの構成機器に対する保守・整備に関する指針を作成した。

1. 石炭移送システムの保守・整備に関する指針

石炭移送システムの範囲はメインバンカーからボイラ付スプレッダ入口（スプレッダ本体は含まず）までとする。

図2.3.1にデンスフェイズ式およびメカニカル方式を構成する機器についてシステム固有の機器と各システム兼用機器を区別しまとめた。

表2.3.1にデンスフェイズ式の構成機器に対する点検頻度と内容および交換部品に関する保守・整備を指針としてまとめた。表2.3.2にメカニカル方式に関するものを指針としてまとめた。なお表2.3.2のメカニカル方式においてはデンスフェイズ式との兼用機器については省略している。

指針としては、各構成機器の形式別に、点検内容と主たる交換部品について点検頻度、交換原因、および所要時間をまとめた。また、材料および予備品の数量も指針として記載した。

指針作成に当たってのアンケート結果の集約は、次の要領にて行った。

点検内容、および頻度：ユーザー側の回答を経験結果として重視した。

部 品：船内にて交換可能な主要部品のみを記載した。

材 料：摩耗の点を考慮して材料を記載した。

予備品数：船内予備として常備する部品に限定して記載した。

2. 灰移送システムの保守・整備に関する指針

灰移送システムの範囲はボイラ下クリンカホッパおよび集じん機ホッパ下部（ホッパは含まず）からアッシュサイロまたは船外排出までとする。

図2.3.2にドライ真空方式とスラリー輸送方式に対するシステム特有構成機器と兼用機器についてまとめた。

表2.3.3にドライ真空方式における構成機器の点検頻度と内容および交換部品についての保守・整備を指針としてまとめた。表2.3.4にスラリー輸送方式に関するものを指針としてまとめた。

指針の形式およびアンケート結果の集約については、石炭移送システムと同様の要領にて行った。

あ と が き

アンケート調査および実地調査の結果をもとに、石炭だき船における石炭関連システムとしての石炭移送システムおよび灰移送システムの保守・整備に関する指針を作成した。アンケート集約結果によると、石炭および灰の移送システムに関する点検内容としては、主として摩耗および腐食である。従って本指針においても、摩耗および腐食が重点的な点検項目となっている。本指針は一般的なガイドラインとしてまとめたもので実際の運用に当たっては、個々の構成機器メーカーの経験をもとに詳細に検討する必要がある。

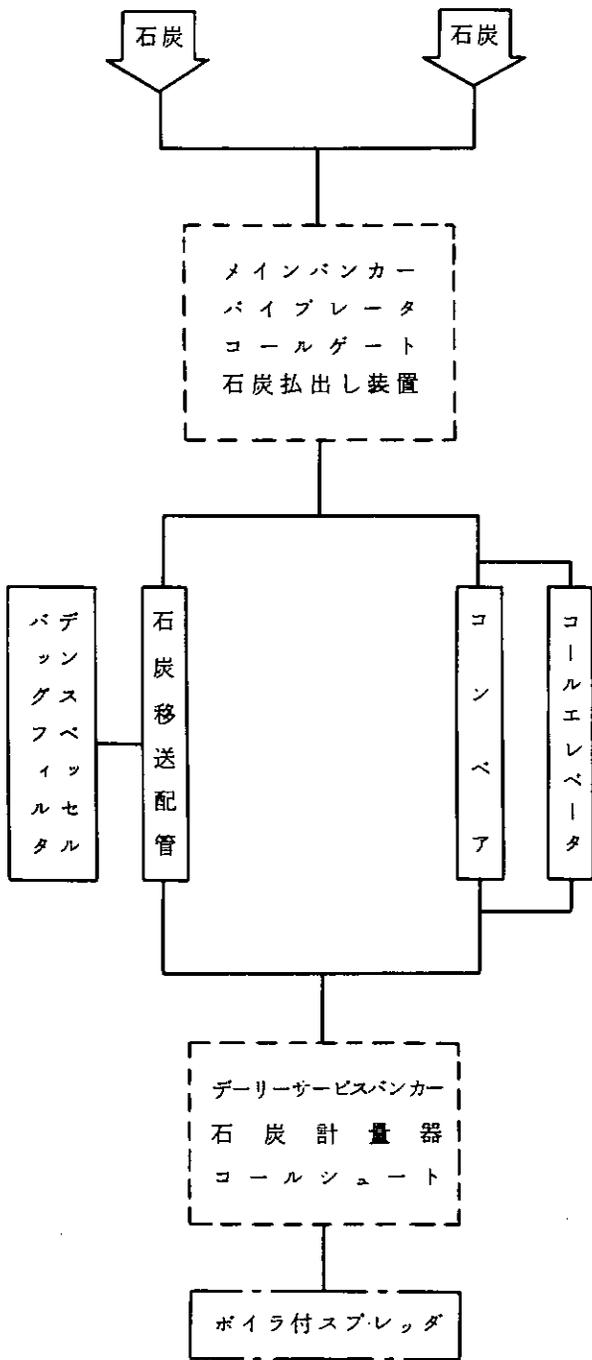
なお、実船の運航もはじまり、本指針についても今後これらの実績を加味して適宜見直す必要がある。

デンスフェイズ式

メカニカル方式

ドライ真空方式

スラリー輸送方式



- システム特有機器
- システム兼用機器
- 対象外機器

図 2.3.1 石炭移送システム構成機器

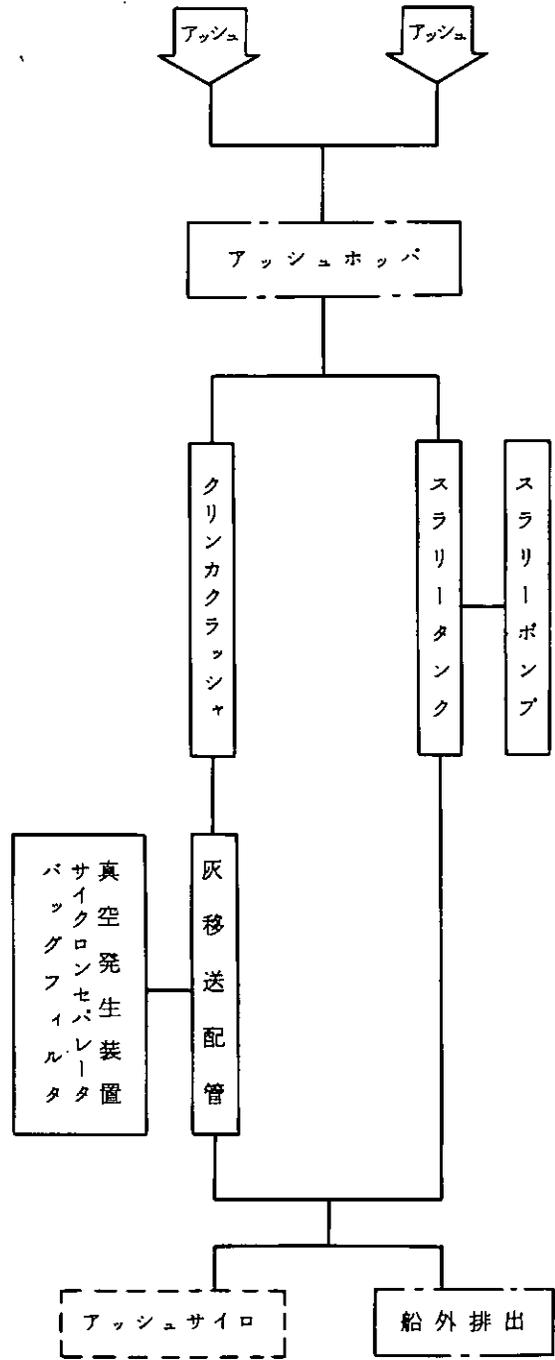


図 2.3.2 灰移送システム構成機器

表2.3.1 石炭移送システム保守・整備指針 (デンスフェイズ式)

No	構成機器	形式	計画		点検		部品			用品			備考	
			耐用年数	面体	頻度	内容	部品名	材料	交換原因	耐用年数	交換所要時間	予備品数		
1	メインパンカー	ステンレスライニング 鋼板	10年		定検毎	摩耗, 腐食							*	
2	バイブレータ	機械式 エアショットガン式	5年		定検毎	摩耗, 作動	ベアリング ノズル		摩耗 摩耗腐食	2年 2年	2HR 1HR	各種1個 100%	*	
3	コールゲート	スライドゲート	5年		中検毎	摩耗, 腐食, 作動	ゲートプレート 駆動部		摩耗腐食 摩耗	2~5年 4~5年	3HR 3HR		*	
4	石炭払出し装置	パイプレーティング ファイナ	5年		定検毎	ゆるみ, 異常音	トラフライナ		摩耗	2年	2~4HR			
		中検毎			摩耗 腐食 作動	コンベアチェーン スプロケット	2~4年			4~8HR				
		1回/月				スクリュュー	1~2年 2~3年			2~4HR	各種1個			
		中検~ 定検毎			摩耗, 腐食	ベアリング								
5	デリーサー・ペシバンカー	ステンレスライニング 鋼板	10年		中検~ 定検毎	摩耗, 腐食			摩耗	1~2年		1組		
6	石炭計量器	連続式	5年		1回/月~ 中検毎	作動, 摩耗, 腐食 秤量精度	ベレルト ベアリング チェーン		摩耗 摩耗腐食	1~2年 2~3年	2~8HR	各種1個	*	
7	コールシュート	ステンレス鋼板製	10年		中検毎	摩耗, 腐食							*	
8	デンスベッセル		10年		1回/3ヶ月~ 1回/6ヶ月	腐食, 摩耗, 作動	バルブ パッキン類		摩耗腐食 摩耗		1~3HR	100%		
9	石炭移送配管	パイプ ベンドピース	5年 2年		中検毎	摩耗, 腐食			軟鋼				**	
10	パッグフイルタ	バルブ類	5年		1回/3ヶ月~ 中検毎	摩耗, 腐食, 作動			鉄鋼					
		テトロン又はポリ エステルエレメント	10年		中検毎	つまり, 作動, 摩耗	フイメント		つまり		10分~ 1HR	100%		

* デンスフェイズ式とメカニカル方式において兼用される機器。

** 石炭移送パイプおよびベンドピースについては摩耗時, 船内にて当板で補修することも可能である。

表2.3.2 石炭移送システム保守・整備指針(メカニカル方式)

化	構成機器	形式	計画面体 耐用年数	点検		部			品			備考
				頻度	内容	部品名	材料	交換原因	耐用年数	交換所要時間	予備品数	
1	コンベア	平ベルト	5年	1~2回/月	摩耗, 腐食, 蛇行	ベルト		摩耗	5年	8~10HR		
		ドラッグチェイン	5年	1回/月	摩耗, 腐食	駆動チェイン チェイン スプロケット		摩耗	2~4年 2年	1~2HR 4~8HR		
2	コールエレベータ	バケットエレベータ	5年	中検毎	摩耗, 腐食	チェイン バケット		摩耗	2~5年 5年	6~10HR		

表2.3.3 灰移送システム保守・整備指針（ドライ真空方式）

No	構成機器	形式	計画本耐用年数	点検		部品				備考			
				頻度	内容	部品名	材料	交換原因	耐用年数		交換所要時間	予備品数	
1	クリンカクラッシュャ	ロールタイプ	5年	中検毎	摩耗, 作動, 腐食	歯 シャフト		摩耗	2年	6~8HR 2HR			
2	灰移送配管	パイプ	5年	1回/年	摩耗, 腐食		耐摩耗鋼						**
		バンドピース	2年				耐摩耗鋼						
		エアインテークバルブ	5年				耐摩耗鋼						
		スィッチバルブ	5年				鋼						
		パキュームブレーカ	5年				鋼						
3	サイクロンセパレータ	マルチサイクロン 単数サイクロン	5年	中検毎	摩耗, つまり, 付着 摩	内高, 外高, サイドベーン パッキン類 内高, 外高, ライニング材		摩耗	1~4年 1年	30分~ 1HR 2~5HR 1HR 6~8HR	100%		
4	バッグフイリタ	テトロン, ポリエステル ナイロン, フィルタ	10年	2回/月	つまり, 作動	ファイメント		つまり	2年	3~4HR	100%		
5	真空発生装置	ハイドロパクター		中検毎	摩耗, 腐食, 作動	ノズル		摩耗	1年	1HR			
		ナッシュポンプ		2回/月	作動, 摩耗	ロータ, コーン		摩耗	1年				
6	アッシュサイロ	鋼板製	10年	中検~ 定検毎	摩耗, 腐食								*

* ドライ真空方式とスラリー輸送方式において兼用される機器。

** 灰移送パイプについては摩耗時、船内にて当板で補修することも可能である。

表 2.3.4 灰移送システム保守・整備指針（スラリ－輸送方式）

No	構成機器	形式	計画面 本耐用年数	点		検		部				品	備考
				頻度	内容	容	部品名	材料	交換原因	耐用年数	交換所要時間		
1	スラリ－ポンプ	ジェットポンプ		中検毎	摩耗，腐食	腐食	ノズル，スロート		摩耗，腐食	1年	2HR		
2	スラリ－ターク	鋼板製	10年	中定検毎	腐食，摩耗								
3	アッシュサイロ	鋼板製	10年	中定検毎	摩耗，腐食								*

* スラリ－輸送方式とドライ真空方式において兼用される機器。

第4章 石炭関連システムの監視・計測・操作

まえがき

昭和56年度の調査結果は主にメーカー、造船会社およびボイラユーザーに対するアンケート結果に基づいておこなわれ、1) レベル 2) 温度 3) ガス(一酸化炭素およびメタンガス) 4) 石炭重量について、採用可能な方式とその問題点を明らかにした。

本年度は、更に、近代的な石炭だき陸上ボイラプラントを使用または計画していると考えられるユーザーに対して、アンケートを実施し、その結果も加味して、ストーカだき船の石炭関連システムの監視・計測・操作方式およびシステムの検討と指針について述べる。

1. 陸上ボイラユーザーへのアンケート調査結果

近代的なボイラプラントを最近稼動開始又は採用を計画している国内の電力会社4社およびセメント会社2社より回答をもらった。プラントの内容および回答内容は表2.4.1から表2.4.5にまとめた。尚、表2.4.1中の各社ボイラは全て微粉炭だきである。

1.1 レベル計

1.1.1 石炭貯蔵庫またはサイロ

6社のうち1社のみ装備している。陸上の場合、屋外貯炭場を持つケースが多く、特に最近新設されたプラントは貯炭場を確保しているためと思われる。

採用型式は重錘サウンディング式で、連続監視しており石炭の積込み時は巻き上げて石炭の衝突を避けている。

可能測定高さが大きく、精度が高いことを採用理由としている。

但し、現在プラントが計画中なので、実績は出ていない。

1.1.2 給炭用デーリーホッパ

6社中4社が装備している。内訳は超音波式が3社、重錘サウンディング式が2社、音叉式が1社であった。内1社は超音波式または重錘サウンディング式で連続監視すると同時に、他の方式を併用し、レベルスイッチとして使用している。測定点数は2~3点が多い。トラブルとしてはサウンディングテープの切損が出ている。超音波式のトラブル例は出ていない。

1.1.3 ボトムアッシュホッパ

装備しているのは1社のみであった。湿式オーバーフローシステムを採用しているので不要との回答が1社あった。又定期的に監視、処理しているので特別に設けていないという回答もあった。

採用機種は差圧式であるが採用した理由は明確でない。

許容温度が最大60℃は低いと思うが、ボトムアッシュのシステムが不明なので、断言は出来ない。

1.1.4 フライアッシュホッパ

全社共装備している。

重錘サウンディング式3社、静電容量式2社および回転翼式1社である。点数は1点が多い。上部に装備しているのが4社、側壁に装備しているのが2社である。実績が少ないが、回転翼式のシャフトシール部に灰が侵入し、回転不能となった例がある。6社中4社は制御あるいはアラーム用としてON/OFF式で考えている。

1.2 温度計

1.2.1 石炭貯蔵庫またはサイロ

1社のみ装備することを計画している。方式は熱電対式で、貯蔵庫の側面およびホッパ下部へ30cm程、挿入している。衝突による破損防止のために保護筒内に設けている。

1.2.2 給炭用デーリーホッパ

1社のみ装備しているがこれは超音波レベル計の温度補償用の付属品なので、積極的に設けている所は無い。

1.2.3 ボトムアッシュホッパ

全社装備していない。

1.2.4 フライアッシュホッパ

全社装備していない。

1.3 ガス検知計

1社のみ装備することを計画中である。回答によるとかなり規模が大きく、石炭サイロ内上、下部とホッパ外側の下部ホッパ室の合計6点から吸引し、CO、CH₄、O₂を計測することになっている。

1.4 重量計

5社が装備しているとの回答があった。各社、様々な場所に設けており、その内1社は合計3箇所、他の1社は2箇所に設けている。方式は全てコンベア式で、メーカーも特定の数社に絞られている。精度が±0.5%FS以内と安定しており、トラブルの例も無いとのことである。

2. アンケート調査結果の考察

2.1 レベル計

方式は石炭用としては超音波式および重錘サウンディング式が、石炭灰用としては重錘サウンディング式が主に使用されている。

共通して重錘サウンディング式が良く使用されており、その理由としては精度が高い（S社の場合、30m深さ時±10cm）および測定レンジが大きい（最大70m）ことをあげている。給炭用デーリーホッパには2種類以上の方式を併用しており、その内1種類は高位レベルスイッチ用として使用しているケースがあり、1社はレベル指示として超音波式と重錘サウンディング式を二重装備し、更に高位レベルアーム用に静電容量式を設けている。

石炭貯蔵庫、ボトムアッシュホッパには各社殆ど設けていないのは、前者は野積みの貯炭場が多いからであり、後者は湿式が多い上、毎日定期的に排出移送するので、必要が無いからであると考えられる。

フライアッシュホッパには全社何らかのレベル計を設けているのは興味深い。石炭やボトムアッシュに比較し、装備が容易であるからと考えられる。重錘サウンディング式の他に静電容量式、回転翼式も使用されている。

点数については、ホッパの容量によって当然かわり、今回のアンケートでも石炭庫は多点計測している例が多い。

取付方法は石炭用の場合、石炭との衝突防止を考察して、上部に設置している。超音波式、巻き上げ可能な重錘サウンディング式が採用されている理由として、衝突防止が可能であることもあげることができる。フライアッシュホッパの場合は、衝突の問題は無いので、側壁に設けている例もあり、方式も重錘サウンディング式以外のものを使用している例もある。

防爆対策としては、石炭用は本質安全を適用している例が多い。

トラブル例はまだ実際の使用時間が短いので、余り出ておらず、これをそのまま嚥呑みすることでは出来ないが、サウンディングテープの切損や回転翼式の軸のシール部への灰の侵入等、既に予想している例もでている。

2.2 温度計

積極的な理由で設けているのは、石炭庫用に熱電対式を設けた1社のみである。目的が自然発火の早期検知なので、貯蔵期間の短い給炭用デリーホッパには必要がないので設けてないと思われる。ボトムアッシュ、フライアッシュホッパについても前者は、湿式を採用している所が多い。後者は陸上の場合、ホッパ容量が大きいので、温度が十分に低下してから払い出し、更に船用と違って、広い所に設けられるので、周囲への放熱が可能であるので、温度管理が厳しくないからと予想される。

石炭庫に設けることを計画しているC社の場合、側壁から30 cmの箇所で、自然発火の恐れのある所へ1サイロ当り8個の熱電対を挿入する計画である。石炭の衝突による損傷防止のため、保護筒内に熱電対をおさめて保護している。

尚、給炭用デリーホッパー内に設けた超音波レベル計に付属の温度計は測温抵抗体で、ホッパ上部より2 mの所迄、上から下げて計測している。

2.3 ガス検知計

図2.4.1にC社が計画中のシステムと同じと考えられる例を示す。本図では、ホッパ上部4点、中央部4点、ホッパ室2点の合計12点/サイロの CH_4 、 CO 、 O_2 が計測可能となっており、同時にサイロ内12点の温度も加えてスキヤニング方式によるガス、温度の常時計測および監視の集中管理をおこなっている。各種ガスはポンプで吸引し集塵器通過の後、各検知器におくられる。計測方式としては、 CO 、 CH_4 は赤外線式、 O_2 はジルコニア式を採用している。本システムは船用としても採用可能であり、参考になる。

2.4 重量計

陸上の場合、コンベア式の実績が長く、前年度に見学した石炭だきプラントでも、20～30年前に装備したものを、相変わらず使用しており、精度も変わらないとのこと、メーカーも現在のそれと殆ど同じである。

従って各メーカー共コンベア式の経験が豊富で信頼性も高いので、これ以外の方式が、開発されていない様子である。勿論、最新のものは、精度、信頼性が高いロードセルを使用した電子式で遠隔指示や記録の容易になっているものもある。

船用の場合は、船の動揺による影響があるので、対策を考える必要がある。

3. ストーカだき船の石炭関連システムに適切な監視・計測・操作システムおよび計器に関する指針

56年度と57年度の調査結果に基づき、近代的石炭だき船に適切なシステムおよび計器に関する指針について述べる。

3.1 適切なシステムの指針

図2.4.2に石炭関連システムに必要な監視・計測・操作箇所と項目を示す。その他に石炭関連システム特有のものもあるが、それらはそのつど検討するものとし、ここでは述べない。

3.1.1 石炭貯蔵庫

(a) 温度監視

貯蔵庫の場合、石炭の滞留期間が長く、自然発火発生の可能性があるため、自然発火の早期検知に有効な温度計を装備し、連続監視する。検出端は自然発火の発生し易い、表面から0～2 m 深さ、払出底部、粒度の偏析部、滞留しやすいコーナ部等、出来るだけ広い範囲に設けるのが好ましいが、実際には貯蔵庫の構造上、壁面に沿って数箇所、上、中、下部程度となる。

尚、石炭の温度上昇特性は炭種や粒度分布等によって変わることがあるので、アラーム温度の設定や温度計選定時は充分にこれらを調査しておく必要がある。

LR, NV, NKが石炭庫の深さおよび位置の異なる所の温度計測を要求している。

(b) ガス監視

(1) CO 計

CO 監視は、温度と同様、自然発火の検知に有効であるが、自然発火時のCO増加は、非常に短時間におこり、濃度の絶対量は小さいので、実際に装備する場合は、計器の選定に注意し、連続監視する必要がある。従ってCO計は、自然発火しやすい炭種で、かつ、航海日数が長い場合等、自然発火の発生が予測される時に、温度計の補助的監視装置として、装備するのが適当である。

(2) メタンガス計

炭種によっては、積込時に石炭が粉碎されやすくメタンガスが発生する可能性があるが、その時には内部天井部に適当数設置し、濃度変化を連続監視するのが有効である。

(c) レベル監視

航海中の貯蔵庫のレベル監視は殆ど必要がなく、必要な時はハッチ開口部より監視することで充分であり、広い貯蔵庫のレベル監視は多数のレベル計を必要とし、余り実際的ではない。

しかし、オーストラリアANL向およびBULKSHIPS向石炭だき船のように、積込み方式に空気移送式を採用している場合には、石炭庫の落し込み近くに高位レベル計を装備し、移送装置の自動停止や異常運転検知用として使用する場合がある。

3.1.2 給炭ホッパー

(a) レベル監視

石炭移送装置は通常、自動化されるが、その異常によりホッパーレベルが低位となり、船の運航に支障をきたしたり、高レベルで石炭が機関室内に飛散するのを防ぐため、各々にレベルアラームを設ける。一般には高位/低位アラーム間に更に移送装置の自動発停用レベルスイッチを設ける場合が多い。

各ルール共、何らかのレベルアラーム装備を要求している。

(b) 温度監視

給炭ホッパーは石炭の貯蔵期間が通常6時間～12時間分程度と少ないので滞留期間からの自然発火の危険は無いが、配置場所がボイラ前面で、温度が高い区画になる場合には、外部からの熱による異常加熱とそれによる自然発火を検知するために、温度計を装備する。

(c) ガス監視

CO計は通常は自然発火の危険性が無いので装備しない。

メタンガス計は貯蔵庫底部の石炭間にたまったものが移送されたり、ホッパー上部で粉碎した時に発生する可能性があるため、炭種やホッパー形状により、メタンガスが発生しやすいかつ滞留しやすい場合には装備する。

NKはメタンガスの滞留の恐れがある箇所には検知装置を設けるように要求している。

(d) 重量計

燃料消費量の保証の仕方によって必要ない場合があるが、一般には海上運転時での燃費計測用にボイラ入口に設ける。

3.1.3 アッシュホッパ

(a) レベル監視

灰移送装置は通常自動化されるが、その異常によるトラブルを防止するために高位アラームをクリンカおよびフライアッシュホッパに設ける。高位アラームは、異常時にホッパが高レベルに達した後の復旧が大変なので早期予知の目的で装備する。低位アラームは排ガスを吸引してしまい危険があるので、設けるのが好ましい。

そのレベルの設定位置は、出来るだけ高温の灰を移送することがないように選定する必要がある。更に上記アラーム間に移送装置の自動発停用レベルスイッチを設ける場合が多い。

灰貯蔵庫のレベル監視は特に必要ないが、自動化のグレードによって決定することとする。

NV、NKが高位アラームをクリンカホッパおよびフライアッシュホッパに装備するよう要求している。

尚、今回の調査で、クリンカ処理システムとして一部の造船会社が湿式とすることを検討しているが、この場合は陸上で採用しているように常時オーバーフローシステムとすれば、レベル指示やコントロールは省略可能と考えられる。

(b) その他

移送装置の形式によっては、ホッパのレベル計や移送装置の異常により、高温の灰が移送装置内へ入った場合の対策として、装置内の高温アラームや貯蔵庫内の高温アラームも必要となる場合もあるので、移送装置の形式によってそのつど、検討する必要がある。

尚、NKは上記移送装置内の高温アラームをNVは給炭管の高温アラームを要求している。

3.2 適当な計器の指針

表 2.4.6 に石炭関連システムの監視・計測・操作に適当な計器の概要を一欄表にまとめた。

以下に順を追って詳細について述べる。

3.2.1 石炭貯蔵庫

(a) 温度計

前年度に赤外線式および熱電対式を検討したが、前者の場合計器そのものも現状では適当ではなく、更にこの方式では表面温度しか計測出来ないので、使用するには不十分である。従って適当な方式としては、熱電対式と測温抵抗体方式があげられる。その中でも陸上で石炭に使用した実績があり、強度的にも優れている熱電対式が最適といえる。

取付け場所および取付け方法は、今回のアンケート調査結果でも貯蔵庫側壁から挿入する方法を考えており、あるメーカーは上部よりパイプを貯蔵庫底部迄吊り下げ、固定し、そのパイプ内部に熱電対を挿入する方法をリコメンドしている。一般に自然発火は石炭表面部より、ある距離だけ内側に入った熱の滞留しやすく逃げにくい箇所が発生するので、その付近を計測する必要がある。従って取付け方法も貯蔵庫の形状や寸法に依存するが、本研究の対象となっている13万載貨重量トンばら積貨物船で航路を日本-オーストラリアとした場合、貯蔵庫寸法は概略巾40M、長さ20M、深さ20M程度であり、内部には仕切り板等のパイプを支持するものは無い。そのため、固定可能なハッチオープニング外周金物で上部を支持し、貯蔵庫底部迄パイプを下げることになる。

具体的方法としては、

本質安全防爆型があり粘着物も開発されている。取り付け位置はホッパ天井部の場合石炭投入口付近で、安息角を考慮して設定高さを決める必要がある。石炭庫下部に取り付ける時は、側壁に付けることになるが、石炭積込み時、直接石炭が当たるのを防ぐ為、カバーを設けたり、直接当たらない場所に付ける必要がある。

回転翼式は、国内メーカーでも検討が進められており、シャフト保護管式や保護カバー1体式等もある。回転軸部についても二重シール方式の対策があるが、粉炭が多い時には4～5ヶ月毎に定検する必要がある。

連続計測用としては、静電容量式、重錘サウンディング式および超音波式が使用出来る。陸上では作動が確実で、コンパクトな重錘サウンディング式が多用されており、エアージ機構やテープクリーナも装備されている。船用の場合、船の動揺や振動の影響を受けやすく、誤差も出るので、最適とはいえない。又、今年度のアンケート結果でもテープの切損や近接スイッチ調整不良の例もあるので、定期的な点検、保守が必要である。静電容量式のガイドパイプや電極は衝撃に強い材料を選択する必要がある。

超音波式は高価であるが、無接触式なので、摩耗が無く、面倒な保守が殆ど不要であり、ホッパ頂部に取り付けるので、投入時に直接衝撃を受けることが避けられるので最適といえる。

以上の検討より、ホッパ内部のレベル計としては、天井部中央に超音波式を設け、レベルを常時監視し、移送装置の発停および警報用として、天井部石炭投入口付近および側壁に回転翼式を設ける例を図2.4.4に示す。ホッパからの流動が不具合で、ホッパ内でブリッジ現象やラットホール現象が発生した場合でも、上記配置にすれば大体の状況が把握可能と考えられる。

(b) 石炭重量計

現状では船用として適当なものは無い。今回のアンケート結果からもわかるように陸上で、使用実績も多く、信頼性、精度が優れているコンベア式重量計も船の動揺によるベルトの蛇行や石炭の片ずれ等により精度が悪くなる。精度としては燃費保証をどの様にするかとの関連もあるが、1～2%以下におさえる必要があろう。コンベア式でも動揺の影響を受けにくい、ベルト下部に検出装置があり、計量機架台が不要なタイプの方が適当である。この計測結果を船の動揺（傾斜および周期）を別途計測し補正することによって所定の精度を得られる可能性もあるが、より詳細な検討が必要である。その他、給炭ホッパ下部に2個の計量用小型ホッパを設け、切替えて使用することによって計量するホッパスケール式は船の動揺の影響を少なくできると考えられるので、今後、配置上の制約も考慮して船用として最適なシステムを開発する必要がある。

3.2.3 アッシュホッパ

(a) レベル計

アッシュホッパの場合、常時計測の必要がないので、警報用(ON/OFF式)のみ検討する。方式としては給炭ホッパ同様、回転翼式および静電容量式が適当である。その他にフライアッシュには音叉式も使用可能である。重錘サウンディング式もアッシュ貯蔵タンクの上部に取付け可能である。

ストーカだきボイラの場合のクリンカ(ボトムアッシュ)は炭種にもよるが一般に微粉炭だきよりも細かくサラサラしているので、特に衝撃防止用カバーは必要ない。

BULKSHIPS向石炭だきバルクキャリアでもクリンカホッパ内に回転翼式を装備している。回転翼式はアッシュ移送装置にも多用されており陸上での実績も多い。

回転翼式、静電容量式共、耐熱型がありボイラ過熱部およびエコマイザ下部ホッパ等の高温ガスにさらされる恐れのある場合は、特殊仕様で約1,000℃まで製作可能である。回転翼式をフライアッシュに使用する場合は、翼が灰中に埋没しても回転してしまうことがあるので、プロ

(1) ハッチオープニング外周位置より、貯蔵庫底部まで耐摩耗性および耐食性の優れた材料の保護管を下げ固定する。その内部にはあらかじめ数本の熱電対を挿入し、異なる高さに固定しておく。熱電対の固定方法としては、(イ)単に管内面にスプリングでおさえつけるやり方(図2.4.3(a))と(ロ)スプリングでおさえつけると同時に、測定位置にあけた管の小穴に熱電対をはめこむやり方(図2.4.3(b))がある。(ロ)の方法は(イ)に比較して、取付け位置の温度を直接検知できるが、管が長い場合、熱電対を小穴にセットするのが面倒である。

(2) 保護管に挿入された熱電対を貯蔵庫及び下部ホップ側壁から内部へ差し込み固定する。石炭積込時の石炭の衝突に耐えるように保護管の材料及び構造と取付け位置及び方法を検討する必要があるが、側壁から20～30cm程度の長さならば対策可能であろう。しかし差し込まれた温度計が、石炭の流動を阻害する場合もあるので、取付け位置及び方法はこの面からも十分に検討する必要がある。

(b) ガス検知計

(1) CO計

前年度の検討通り、赤外線方式および定電位電解式が自然発火の検知用として適当である。炭鉱坑内の坑内空気、特に排気気流中のCO濃度の測定用としては一般に前者が使用されているようであるが、直線性や安定性に優れているという性能面での利点がある反面、高価・大型であるとともに保守点検が難しい等の欠点があり、船用として必ずしも適当とはいえない。

一方、定電位電解式についても電解液の補充が必要、センサーの保守が面倒、電源喪失後の復帰に時間がかかる等の問題があるが現在、炭鉱坑内用として、前者と比較して小型軽量かつ安価で、保守点検が容易な定電位電解式CO計が開発され実用化試験が行われているので⁽¹⁾その結果に注目したい。

貯蔵庫上部数点よりポンプ吸引し、次に述べるメタンガスや給炭ホップのCO、メタンガスと共に、中央監視制御にて連続的に計測・監視するのが好ましい。

(2) メタンガス計

前年度の調査結果より、各々一長一短はあるが(a)赤外線吸収式 (b)接触燃焼式 (c)熱伝導度式の3方式が採用可能である。それぞれ石炭に使用した実績はあるが、(a)の場合は、CO計の場合と同様、装置が複雑で大型化しており、かつ高価であるので船用として最適とはいえない。接触燃焼式はメーカー各社がリコメンドしており、船用の実績も多く、トラブルが少なく、保守メンテナンスが容易等で船用向きである。

熱伝導度式は最近、本質安全防爆型のサーミスタ素子を用いたものが多く、実用化されており、坑内での使用実績からみても長時間の使用および必要精度の点から適当であり、貯蔵庫内の天井部にセンサーを設け、計測部は直接、監視盤に接続するか、距離があれば信号搬送によって監視盤に送信可能である。船用として考えた場合、周囲温度の変化によって誤差が生じやすいという欠点があるがメーカー各社も改善策を研究中なので問題はなくなると考えられる。

3.2.2 給炭ホップ

温度計およびCO計、メタンガス計については貯蔵庫の場合と同様である。温度計の場合、貯蔵庫の寸法、特に巾と長さが小さくなり、上部にカバーがつくので、上部からの取付けが容易である。流動を阻害しないような配置の検討が一層必要となる。

(a) レベル計

警報用(ON/OFF式)としては、回転翼式および静電容量式が適当である。特に回転翼式は、外国の空気移送装置メーカーも多用しており、陸上での実績が多い。ANL向およびBULKSHIPS向石炭だきバルクキャリアでも多数使用されている。静電容量式も陸上での使用実績が多数あり、

ベラ径を大きくしたり、トルクを適当な値に調節する必要がある。回転軸部のシールも石炭灰が入り込まないように、二重シールにする等の対策と保守点検が必要である。重錘サウンディング方式の時は重錘が埋没してしまうことがあるので重錘の形状等に対策が必要である。

あ と が き

前年度は、ボイラユーザーとしてストーカだきボイラユーザーを選び、アンケート調査をおこなったが、今年度は電力会社およびセメント会社の中で最新設備を有するユーザーにおこない、近代的石炭だき船の計画の参考とすることが出来た。一方、近代的石炭だきバルクキャリアの第1船が就航し、引続き3隻が日本およびイタリアの造船所で建造中である。それらの船の石炭関連システムの計装の内容や実績も参考にしなかったが、実績が充分でないので、あくまでも各種データから客観的な判断に基づいて検討および指針を述べている。

今年度の調査は、陸上プラントの実績が主体であるので、これをもって近代的石炭だき船に要求される機関室無人化を完全に達成できるとはいえないが、今後の船会社、メーカー、船級協会、造船所の努力により、必ずやそれにふさわしい監視・計測・操作システムが確立されると思われる。

本研究の成果がその際いささかでも参考にできれば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) 伊藤他：集中監視用 CO 測定器の開発とその実用試験 56年度全地下資会

表 2.4.1 アンケート先及び発電プラントの主要目

アンケート先	運転開始 年 月	発電量及 び 台 数	ボイラ型式 蒸発量, 台数	蒸発条件	石炭消費量 (TON/DAY)	ボトムアッ シュ蒸生量 (TON/DAY)	フライアッ シュ蒸生量 (TON/DAY)	備 考
A 電力会社	S 55.10	350 ^{MW} × 1	B & W 単胴放射型 再熱式循環ボイラ 1,100 ^T /H × 1	169 ^{ATA} × 566 ^{°C}	(計画) 湿 炭 約 2,316	(計画) 約 86	(計画) 約 408	
B 電力会社	#1 S 34.11 #2 S 35.11 #3 S 37.6	175 ^{MW} × 1	B & W 単胴放射型 590/535 ^T /H × 3	169 ^{ATA} × 566 ^{°C}	2010	70	385	唯一の石炭火力で、近代的 とはいえないが、S55 より石炭だき増工事、石炭 専焼化工事を進めており、 本内容はこの工事により更 新、新設されたもの
C 電力会社	石炭転換後 #1 S 58.7(予) #2 S 59.1(定)	#1 156 ^{MW} × 1 #2 250 ^{MW} × 1	#1 三菱 CE コント ローサーキュレー ション 520 ^T /H × 1 #2 IHI-FWSR 単胴自然循環 840 ^T /H × 1	170 ^{ATA} × 566 ^{°C} /538	#1 1,460 #2 2,300	49 77	245 386	
D 電力会社	#1 S 56.1 #2 S 56.6	500 ^{MW} × 2	再熱単胴式スルザ 貫流型 1,640 ^T /H × 2	255 ^{ATA} × 543 ^{°C}	8,300	280	1,130	
E 化学会社	石炭改造後 S 56.2	30 ^{MW} × 1	三菱 CE 水管式単 胴放射自然循環型 140 ^T /H × 1	133 ^{ATA} × 543 ^{°C}	377	4	48	S43.7 重油専焼ボイラとし て建設されたものを改造し た。
F 化学会社	S 57.10 (予定)	116 ^{MW} × 1	IHI-FW 自然循環型 410 ^T /H × 1	1475 ^{ATA} × 541 ^{°C}	1,080	23	130	

表 2.4.2 アンケータ回答結果 - レベル計 (1/2)

装 場 所	アンケータ先	型 式	ON / OFF 又は 連続	点 数 及び 位 置	この型式を選んだ理由	取付方法	衝突防止対策	炭じん、粉じりによるトラブル防止策	防爆対策	防塵対策	測定範囲 (m)	測定精度 (±m)	許 容 圧 力 (kg/cm ²)	許 容 温 度 (°C)	今迄のトラブルと 解 決 法
石炭貯蔵庫又はサイロ	C電力会社	重錘サウンディング	連続 (受入中はOFF)	4点 / サイロ	測定レンジ大 精度高	上	なし、但し積込時は巻上	なし、但し計器本体はサイロ外に設置	本 安	-	33.5	± 1/100	大気圧	-20 ~ 60	計画中につき実施なし
	その他	なし又は記載なし													
給炭用デホッパ	C電力会社	超音波	連続	4点 / ホッパ	可動部なし 連続測定可	上	なし、超音波のため不要	なし、但し計器本体はサイロ外設置	本 安	-	10		大気圧	-20 ~ 80	計画中につき実施なし
	D電力会社	*超音波及び重錘サウンディング	ON / OFF	各1点 / ホッパ山の中心より2M 側面、20M深さ	耐久性 保守性 精度	上から	なし	パッキン等により防塵対策	本安及び安増	-	0~20	±0.1	±0.03	-20 ~ 60	サウンディングテープ切直し交換した。 *更に高レベルスイッチとして静電容量式1個をホッパ上部に設けている。
	E化学会社	超音波及び音叉 (レベルSw)	連続 ON / OFF	1点 (0~12m) 2点 (10.5m)	実績あり 超音波は可動部なし	上部から			本 安	ig ₄	超音波 (0~11 12m)		±0.03 10	-20~80 -20~120	なし
	F化学会社	重錘サウンディング	ON / OFF	6点 深さ 11m	価格、大きさ、パルス出力付、測定スピード安 全性	上		石炭投入口の反対に検出位置設置	重錘用テープ クリーナ付	非防爆		0~11	±0.1	2	-20 ~ 60
その他		なし													

表 2.4.2 アンケータ回答結果—レベル計(2/2)

表 場 所	ア ン ケ ー ト 先	型 式	ON/ OFF 又は 連 続	点 数 及 び 位 置	この型式を 選んだ理由	取付方法	衝突防 止対策	炭じん、粉じ んによるトラ ブル防止策	防 爆 対 策	防 塵 対 策	測 定 範 囲 (μ m)	測 定 精 度 (\pm mm)	許 容 圧 力 (kg/cm ²)	許 容 温 度 ($^{\circ}$ C)	今 迄 の ト ラ ブ ル と 決 め 方	
ボ ト ム ア ッ ジ ュ ホ ッ パ	E化学会社	*該当計装 機器なし													*湿式でVホトム型と して常時オナーバフロさ せている。	
	F化学会社	差圧式	連 続	1点 2.5 ^m 深	メーカー推奨	側 壁	—	—	非 防 爆		0 / 2.5 ^m	\pm 0.2% FS	10	-20 / 60	使用期間が短い為、ト ラブルに至らず。	
	そ の 他	なし														
フ ラ イ ア ッ ジ ュ ホ ッ パ	A電力会社	静電容量	連 続	1点	プラントメー カの推奨	上から 吊下げ	—	ローリー車搬 出のため粉じん 発生なし	なし	—	0 / 6.1	—	—	200	なし	
	B電力会社	重錘サウン ディング	ON/ OFF	1点	測定精度が 高い	上から	なし	カバー取付	なし	エアバ ージ 付	0 / 10	\pm 0.2	2	-20 / 60	なし ホッパは定期的処理 することとしレベル計は なし。灰処理フライング シューサイロに装備	
	C電力会社	重錘サウン ディング	連 続	1点/ サイロ	測定レンジ 大、粉炭舞 上影響少	上		なし、但し計 器本体はサイ ロ外設置		—	仕様 未定	全 左	全 左	全 左	計画中につき実績なし。	
	D電力会社	静電容量	ON/ OFF	1点/ ホッパ 側壁より 500 ^{mm} 深さ	経済性 安全性(非 放射線)	側 壁	なし	標準品	非 防 爆			—	—	—	400	電機絶縁部のひびわれ、 交換のみメーカー検査中
	E化学会社	回転翼 (パドル式)	ON/ OFF	5点上部 より1 ^m 間隔	実績	側 壁	—	—	—	一 般	—	—	—	2	70	シャアのシール部にアッ ジュー侵入し、回転可能と なる。対策エアバージ なる。対策エアバージ
	F化学会社	重錘サウン ディング	ON/ OFF	1点 7 ^m 深	メーカー推奨	上	なし	エアバージ	非 防 爆			0~7	\pm 10 ^{cm}	2	-20 / 60	使用期間が短く、トラブ ルに至らず

表 2.4.3 アンケート回答結果 - 温度計

装備場所	アンケート先	型式	ON/OFF 又は 連	点数及 び位置	この型式を 選んだ理由	取 方 法	衝突防止 策	炭じん粉 じんによる トラブ ル防止策	爆 防 策	防 策	測 範 圍 ($^{\circ}\text{C}$)	測 精 度 ($\pm\%$)	定 度 度 (kg/cm^2)	容 力 許 圧 (kg/cm^2)	今迄のト ラブルと 解決法
石炭貯蔵庫 又は サイロ	C電力会社	熱電対	連 統	8点/サイロ 側面約30 ^{cm}	酸化しやすいと思 われる点を極力多 数測定するため	側壁 ホッパ 下部	保護筒付	全 左	耐 圧		-20 / 100	0.75級	大気圧		計画中に つき実績 なし
	そ の 他	なし又 は記載 なし													
給炭用 デ-リーホッパ	D電力会社	測 温 抵 抗 体	連 統	1点 バンカー内部 天井下2m	超音波レベル計の 付属品	上から	なし	なし	非 防 爆		-20 / 50	0.5%	-		
	そ の 他	なし又 は記載 なし													

表 2.4.4 アンケート回答結果ーガス検知計

アンケート先	装備場所	計測ガス	計測方式	ON/OFF 又は 連続	数 点 及 位 置	この型式を 選んだ理由	取 方 法	衝突防 止対策	炭じん、粉じ んによるトラ ブル防止策	爆 発 防 対 策	許 容 温 度 (°C)	測 定 範 圍	測 精 度	今迄のトラ ブルと解決 方 法
C電力会社	サイロ内	CO CH ₄ O ₂	赤外線式 シムコニア式	ON OFF	6点 サイロ	信頼性及び 測定精度上 優れている	上部及 び下部 ホッパ 室	検出口 を石炭 と衝突 しない 所に取 付ける	フィルタ 設置 (エアパー ジ付)	非防爆	MAX 40	CO:0~ 150 PPM CH ₄ : 0~5% O ₂ : 0~25%	±2% FS	計画中につ き実施なし
そ の 他	なし又は 記載なし													

表 2.4.5 アンケータ回答結果 - 重量計

アンケート先	装備場所	計測方式	この型式を選んだ理由	炭じん及び粉じん対策	センサの防爆グレード	測定範囲 (t/h)	測定精度 (t/h)	今迄のトラブルと解決方法
A 電力会社	石炭バンカから微粉炭機入口部	コンベア式	プラントメーカーの推奨及び当社での実績	密閉型	-	0~40.6	0.5%以内FS	有 メーカーにて対処
B 電力会社	揚炭機	コンベア式	計量精度が優れている	防塵型	非防爆	0~350T/H(2台) 0~700T/H(2台)	±0.5%FS	なし
	電磁フィーダ後流	コンベア式	全上	全上	全上	0~400T/H(8台)	全上	なし
C 電力会社	ミル入口	ベルトフイーダ付ホッパー式	全上 経時的な精度の狂い小	全上	全上	0~20T/H(18台)	全上	なし
	受入ライン	コンベア式	移送ラインに組込可	あり	本質安全	1200	± $\frac{1}{200}$ FS	計画中につき実 績なし
D 電力会社	払出ライン	コンベア式	高精度連続測定可	あり	全上	500	全上	全上
	屋内コンベアライン	コンベア式	耐久性 保守性 精度	ケース内に収納	安増	800	秤量25kg の±0.2%	なし
E 化学会社	記載なし							
F 化学会社	ミル室	コンベア式	メーカー推奨品	密閉容器に内蔵	非防爆	2~19	± $\frac{1}{200}$ FS	使用期間が短い 為、トラブル迄 に至らず

表 2.4.6 ストローカだき船の石炭関連システムに適当な計器および方式の概要

計器	適当な方式	評 価	取 付 方 法	該当する装備場所
温 度 計	熱電対式 測温抵抗式	陸上の石炭に使用した実績があり強度的に優れている熱電対式が最適といえる。	石炭の積込時の衝突に耐える様保護筒に入れて側壁から差し込む。保護筒にレベルをかえて挿入したものを上部より下げ底部で固定する。	石炭貯蔵庫 給炭ホッパ
	一酸化炭素	赤外線式の実績は多く、性能も優れているが、高価、大型であり、保守点検も複雑である。定電位電解式は小型軽便安価だが、保守点検が必要である。容易な型式の開発が進められている。	貯蔵庫上部に装備し、ポンプにて吸引するのが望ましい。	全 上
ガス検知計	赤外線式 定電位電解式	メーカー各社は接触燃焼式をリコメンドしており、船用の実績も多く、信頼性もあり、保守メンテナンスも容易。	全 上	全 上
	接触燃焼式 熱伝導度式	熱伝導度式はセンサーの寿命が長く、坑内での実績もあり精度も適当。周囲温度による誤差発生を防止できれば採用可能		
レベル計	回転翼式 静電容量式	回転翼式は陸上での実績多い(欧米)。石炭の衝突による破損防止対策、軸シールからのリーク防止対策をもった型式もある。静電式も陸上での実績が多く、採用可能。	上部及び側壁に取り付ける。 石炭の衝突する所は保護カバーを付ける。ホッパ等内での石炭の流動を阻害せぬよう注意すること。	給炭ホッパ
	連 統	重錘サウンデンディング式 超音波式	静電容量式は上部より底部まで吊り付ける。その他の方式は上部天井に取り付ける。	全 上
重 量 計	ON/OFF	回転翼式、静電容量式共耐熱型あり。どちらにも使用実績多い。回転翼式はシール対策として二重シールやエアパージ付がある。音叉式はフライアイアッシュに採用可。重錘サウンデンディング式は船の動揺、振動対策が必要	取付場所によっては耐熱型、耐摩耗型が必要。上部又は側壁に取り付ける。	アッシュホッパ 灰貯蔵ホッパ
	ON/OFF	現状では船用として適当なものはない。コンベア式は動揺によって蛇行や片ずれが起る恐れあり。小型ホッパ式は配置が許せば採用の可能性あり。	-	給炭ホッパ出口から ストローカ入口迄の間

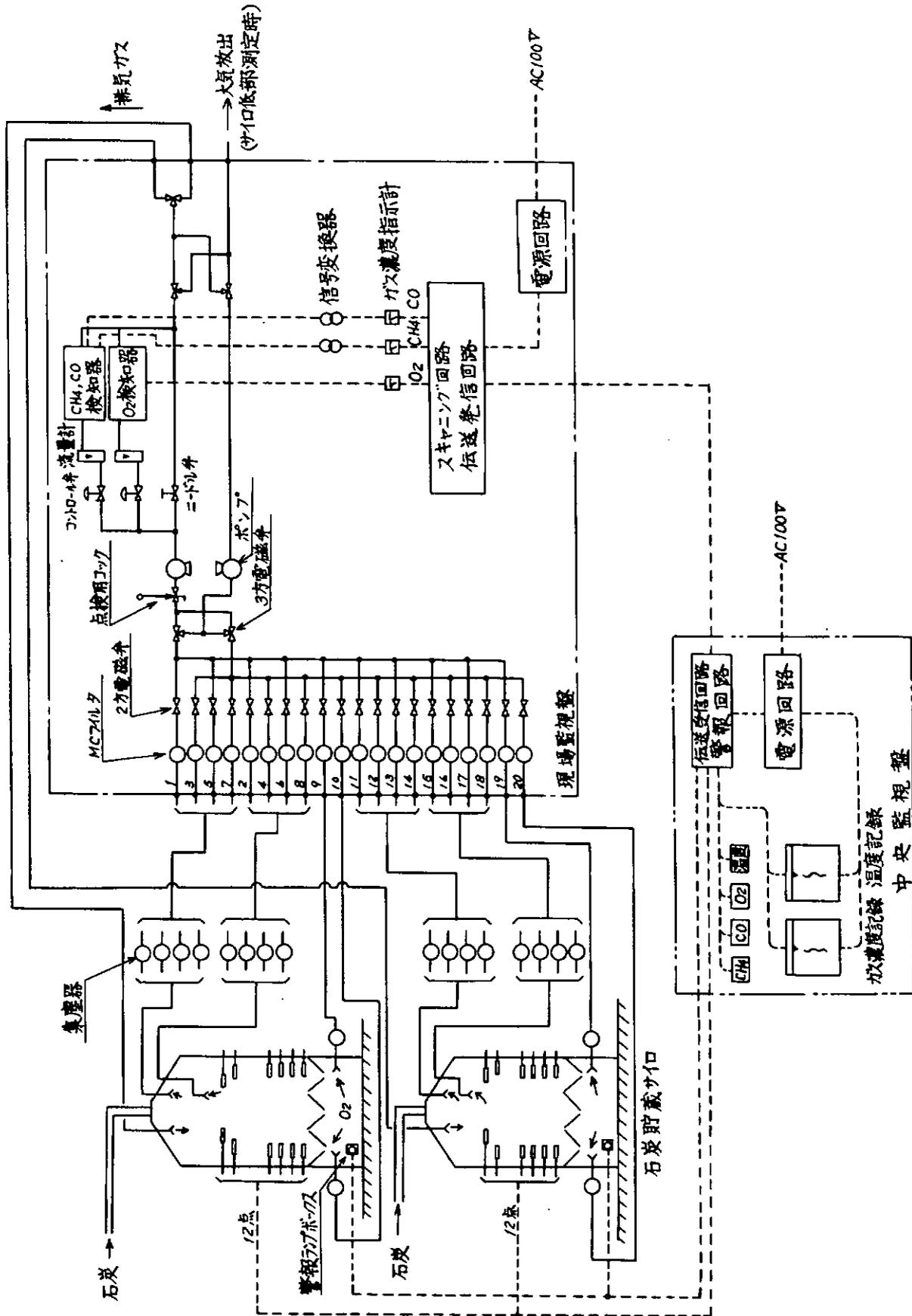


図 2.4.1 CH₄、CO、O₂ 集中管理システム例

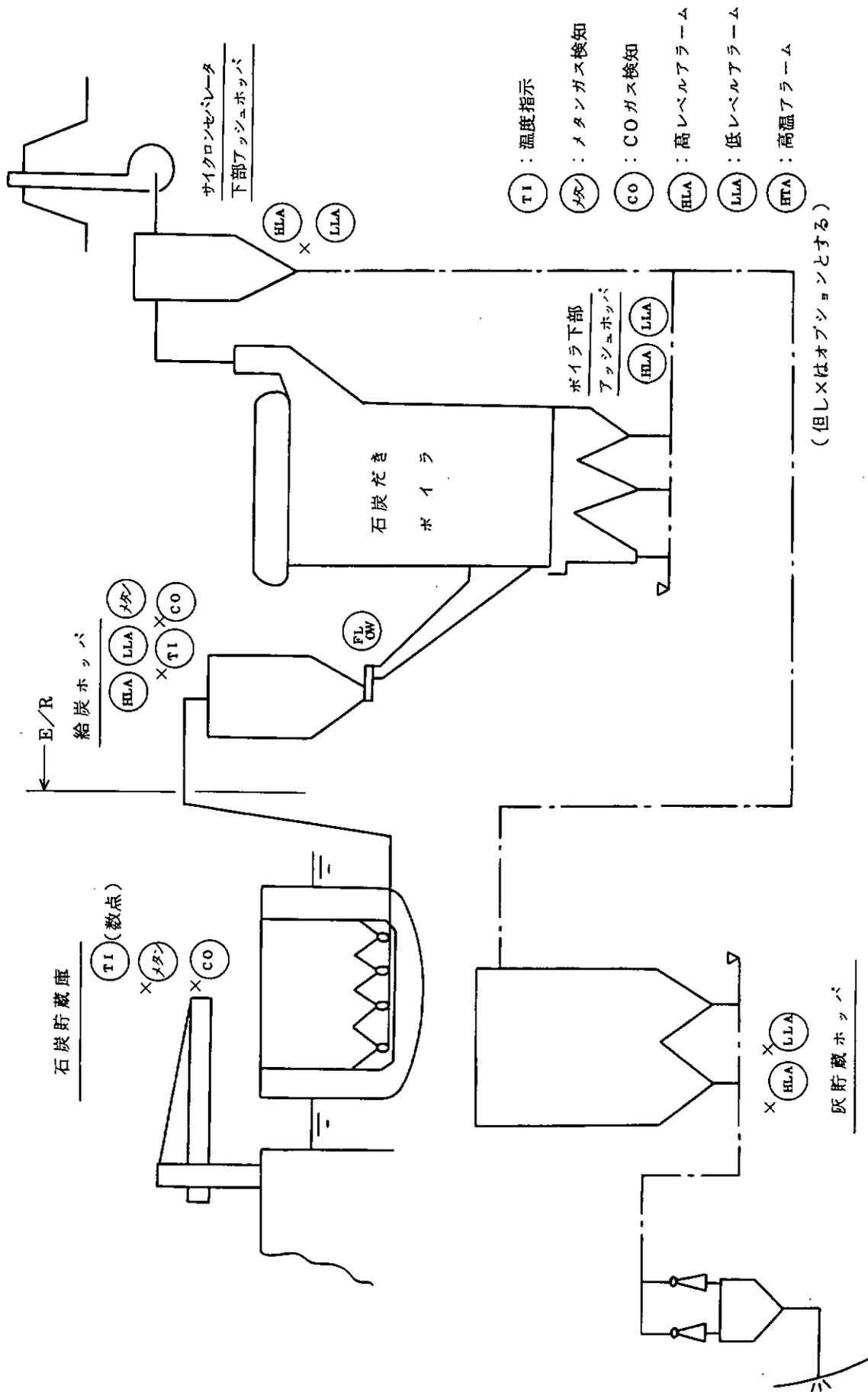


図 2.4.2 ストーカーカダキ船の石炭関連システムの監視・計測・操作システム

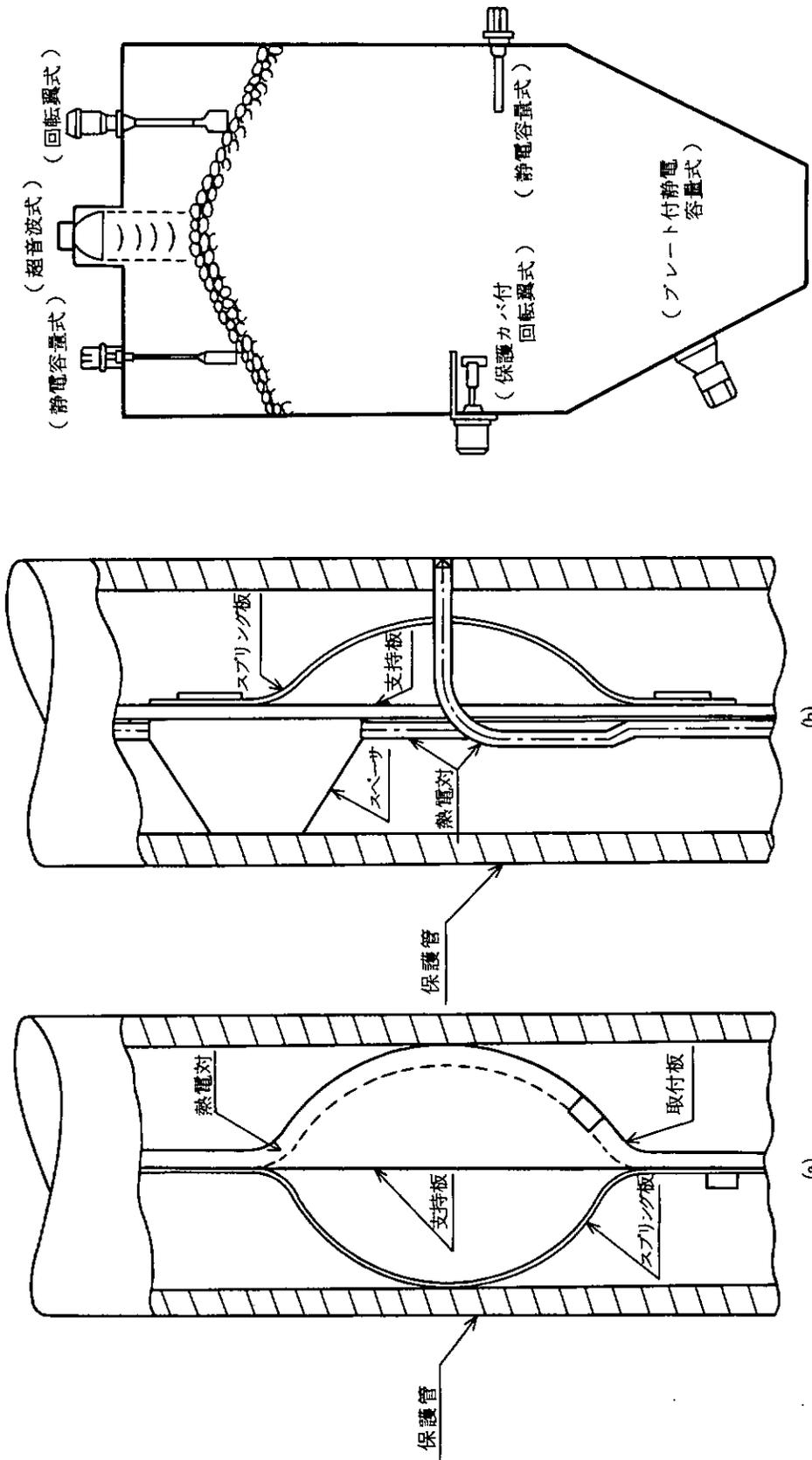


図 2.4.4 各種レベル計取付例

図 2.4.3 シース型熱電対取付要領例

第 3 編 公害防止のための調査研究

第 1 章 石炭灰の発生量と分布

ま え が き

昭和 5 6 年度の調査により、本 SR に参加している造船会社 7 社の各社試設計船（135 載貨重量トンバ
ルクキャリアでストーカだきボイラ 2 缶搭載）に関するアンケートをおこない、各社の設計上のクリンカお
よびフライアッシュの発生割合およびマージンが明らかになった。本年度は更に国内陸上用ストーカだきボ
イラユーザーに対し、アンケート調査をおこない確認すると共に、石炭だき船が将来、普及した時の特定航路
上の石炭排出量の予測をおこなった。

1. アンケート調査結果と考察

現在、国内で陸上用ストーカだきボイラを使用しているユーザー 3 社にクリンカ（ボトムアッシュ）とフ
ライアッシュの発生量に関するアンケート調査を行った。その結果を表 3.1.1 にまとめた。

表 3.1.1 石炭灰の発生量と発生割合の陸上用ストーカだきボイラに対するアンケート結果

会 社 名		H 熱 供 給 公 社	N 製 紙	D 製 紙
計 面	ボイラ型式、ストーカ型式	水管式単胴型温水ボイラ スプレッドストーカ	水管式 2 胴型、連続排 出型スプレッドストーカ	2 胴曲管放射型 密閉式ルーバストーカ
	蒸 気 条 件	温水出口温度 最 高 220℃	48 ^k ×450℃	65 ^k ×450℃
	ボイラ最大蒸発量	温水ボイラ 2.5 Gcal/h	52 t/h	140t/h(35t/h×4)
	“ 常用蒸発量	-	45 t/h	120t/h(30t/h×4)
	ボイラ効率	82%	85%	80%
	運転開始年月	S 46. 10	S 32. 10	S 36. 3
現 在 の 使 用 状 態	蒸 気 条 件	-	42 ^k ×420℃	63 ^k ×434℃
	ボイラ蒸発量	2.5 Gcal/h	25~30 t/h	103 t/h
	使用炭産地	北炭幌内	中郷, カリマンタン, イルクーツク (国内)(インドネシア) (ソ連)	幌内, 釧路, 美流渡
	高位発熱量(乾ベース)	6,580 kcal/kg	5,400 kcal/kg	6,250 kcal/kg
	石炭消費量 OR 石炭灰発生量	石炭灰 9,300 t (56年度)		石炭 300 t/d
	使用炭灰分	15.9%	10~20%	16~21%
	ボトムアッシュ発生量	(82%)*	718t/MONTH (891%)	約 60t/d (965%)
	フライアッシュ発生量	(9%)*	84t/MONTH (109%)	約 2t/d (35%)
	そ の 他 (煤じんとして煙突より排出)	規制値以下	規制値以下	規制値以下
	*) 残りの 9% は未燃分 が多く含まれるのでシ ンダリカバリ装置を設 けて再燃焼させる。			

今回のアンケート結果から、ストーカだきボイラから発生する石炭灰の中でクリンカ（ボトムアッシュ）の占める割合が予想以上に高いことがわかった。前年度研究結果も考慮して、次の割合が妥当であると考えられる。尚、ここで述べている割合は重量ベースであり、実際の石炭貯蔵庫、デリーサービスホップ等の設計ではかさ比重を用いて容積ベースに変換する必要がある。

1.1 クリンカ

今回のアンケート結果でも3社間で相当バラツキがあるが、D製紙のストーカはスプレッド式でなく、ルーパ式なので、当然クリンカの量が多くなることは予想できる。従ってH社およびN社のみをみると、82%、89.1%となる。前年度の結果では、75～85%の範囲が殆どを占めていたので、今回の実際のボイラの結果を考慮して85%とする。また、石炭灰関連装置の設計にあたっては炭種や粒径分布によって変わることから、更に、その10%をマージンとして加え、約95%程度とするのが妥当と思われる。

1.2 フライアッシュ

石炭灰はクリンカ、フライアッシュおよびばいじんとしてボイラ煙路より船外へ排出されるものに分類される。従って残りの15%はフライアッシュとばいじんの合計であるが、ばいじん量が、規制値以下というだけで絶対量が明確でないので、前年度同様、これはフライアッシュに含めて15%とする。石炭灰関連装置の設計にあたっては、クリンカと同じ変動巾を考え、マージンとして約70%を加え、25%程度とするのが妥当であろう。

以上で述べた割合は、陸上の結果をベースとして求めたものであるが、実際の適用にあたっては、使用炭の粉砕性、粒度分布等によって変わることもあるので、そのつど、調査の上設計する必要がある。

2. わが国の石炭需要予測と主要輸入国別輸入量予測

本検討を始めるにあたり、最近の内外の石炭需要予測に関する各種資料により、日本の石炭需要予測と輸入国別毎の石炭輸入量について調査、検討した。

2.1 わが国の石炭需要予測

わが国の1980年の実績と将来の各種石炭の需要を現在発行されている主要機関の資料よりまとめたのが表3.1.2である。

現在、石炭の需要は世界経済の停滞を反映して減少しており、我が国においても、電力の需要の低下、鉄鋼不況による一般炭、原料炭の需要の低減があるが、今回の予測には考慮していない。参考にした資料は(a)長期エネルギー需給見通し、(b)通関統計、(c)日本鉄鋼連盟資料、(d)WOCOL、(e)SR191報告書である。

2.2 輸入国別毎の石炭輸入量予測

SR191資料によると海外一般炭の日本への国別輸入量と各国の対日輸出可能量は表3.1.3のように推定される。

表3.1.2および表3.1.3の結果より、1985年および1990年の輸入国別一般炭および原料炭の輸入予測は表3.1.4のようになる。

表 3. 1. 2 我が国の石炭需要予測

(単位：万トン)

年度 炭種	1980年(実績)				1985年				1990年				2000年			
	エネルギー 通し ('82.4)	通 計	日本鉄鋼 連盟資料 ('81.8)	エネ調整 定見通し ('79.8)	WOCOL ('80.5)	SR191 資料 ('82.2)	日本鉄鋼 連盟資料 ('81.8)	エネ調整 通し ('82.4)	WOCOL ('80.5)	SR191 資料 ('82.2)	日本鉄鋼 連盟資料 ('81.8)	エネ調整 通し ('82.4)	WOCOL ('80.5)	SR191 資料 ('82.2)		
国内炭 (うち一般炭)	1,810 (1,311)			2,000	2,000			1,800 ~2,000 (1,300)	2,000			2,000				
海外炭	7,430	7,307		10,100	7,900 ~8,400			13,300 ~13,500	10,100 ~11,200			13,200 ~15,800				
原料炭	(6,611)	6,470	鉄鋼用 6,045	7,900	7,300 ~7,600			(8,000) (~8,200)	7,700 ~7,900	鉄鋼用 7,420		7,900 ~8,500				
一般炭	(711)	723		2,200	600 ~700	2,463		(5,300)	2,400 ~3,300			5,300 ~7,300	6,230	9,180		
無煙炭	(108)	114		-				-								
一般炭 (国内・海外 一般炭及び 無煙炭)	2,130						6,600									
合計	9,240			12,100				15,300	12,100 ~13,200		20,000	15,200 ~17,800				
備考																

表 3.1.3 海外一般炭の国別輸入量と対日輸出可能量

(単位：100万トン)

	1985		1990		2000	
	輸入量	可能量	輸入量	可能量	輸入量	可能量
オーストラリア	14.8	18~22 (1)	30.2	28~34 (1)	36.7	30~48 (2)
アメリカ	1.8	7~10 (3)	10.3	10~20 (3)	23.0	22~43 (3)
カナダ	3.2	3 (4)	7.4	7 (4)	13.8	16 (4)
中国	3.3	4 (5)	11.2	6~10 (5)	9.2	20~28 (5)
ソ連	0.3	2 (6)	0.6	1~2 (6)	2.3	4~10 (6)
南ア	1.0	4~5 (7)	2.0	6~7 (7)	4.5	8~10 (7)
その他	0.2		0.6		2.3	
合計	24.6		62.3		91.8	

(注) (1) Financial Times ('81-10-3)

(2) ICETF の40%とする。

(3) WOCOL の3分の1とする。

(4) ICETF の3分の2とする。

(5) ICETF の5分の4とする。

(6) ICETF による。

(7) ICETF の10分の1とする。

ICETF : DOE "Report of the Interagency Coal Export Task Force" 1981年1月

表 3.1.4 海外炭の国別輸入量

(単位：万トン)

輸入国	1980年(実績)		1985年		1990年		
	一般炭	原料炭	一般炭	原料炭	一般炭	原料炭	
オーストラリア	452	2649 (2448)	1480	3410 (46%)	2570	3320 (41%)	
アメリカ	64	2067 (1994)	180	1260 (17%)	880	1860 (23%)	
カナダ	60	1121 (1042)	320	1630 (22%)	630	1620 (20%)	
中国	74	96 (74)	330	150 (2%)	950	160 (2%)	
その他	73	537 (487)	153	970	270	1140	
合計	723	6470 (6045)	2463	7420	5300	8100	
出典その他	通関統計 ()内は日本鉄鋼連盟資料による 鉄鋼用を示す。		SR191資料 (エネ研)		SR191資料 (エネ研)ベースでエネ調査通 しの合計を比例 配分した。		輸入国別の割合は、日 本鉄鋼連盟資料 ('81.8)による。 合計はエネ調査通 し('82.4)による。

3. 石炭灰の発生量と分布量の試算

前項で調査した結果に基づき、石炭だき船より排出される石炭灰の発生量と分布を下記条件にて推定する。

3.1 推定条件

- (1) 対象年度は需要予測可能範囲で、石炭だき船の普及する可能性が高い1990年とする。
- (2) 対象炭は日本が輸入する一般炭および原料炭とする。
- (3) 対象航路は輸入量の多い日本とオーストラリア、アメリカ、カナダ、中国とする。
- (4) 石炭に含まれる灰分は一率15%と仮定する。
- (5) 船型は一般炭は5~7万載貨重量トンおよび10~13万載貨重量トンの2船型で、原料炭は10~15万載貨重量トンで主として輸送されると予想されるが、ここでは一率13万載貨重量トンと仮定する。
- (6) 船速は往復航平均で15ノットとする。

3.2 石炭灰の発生量と特定航路内での分布

- (1) 3.1の条件で、各対象航路における石炭輸送量と航続距離は次のようになる。

輸 入 先	1990年原料炭、 一般炭輸入量合計	航 続 距 離 (片道)	単位距離当りの 石 炭 輸 送 量
オーストラリア	5,890 ^{万トン}	3,600 SM	1.64 ^{万トン/SM}
アメリカ(西海岸)	2,740	4,750	0.58
カナダ(西海岸)	2,250	4,800	0.47
中 国	1,110	920	1.21

- (2) 上記結果より、最も単位距離当りの石炭輸送量の多い、即ち石炭灰の分布密度が高くなる日本-オーストラリア間について石炭灰の発生量と分布量を試算してみると次の様になる。尚1隻あたりのカーゴトンは12万5千トンとして計算した。

石炭消費量 : 約170トン1日(高位発熱量6,390kcal/kgベース)

航 路 : 日本-オーストラリア

航続距離(往復) : $3,600 \text{ SM} \times 2 = 7,200 \text{ SM}$

荷役日数 : 積地、揚地共3日とする

年間稼働日数 : 340日

1航海に要する日数 : $\frac{7,200}{15 \times 24} + 6 = 26$ 日

年間航海日数 : $\frac{340}{26} = 13.1$ 航海

必要石炭運搬船隻数 : $\frac{5,890}{12.5 \times 13.1} = 36$ 隻

石炭灰発生量:

- ① 必要石炭運搬船を全て石炭だきとする場合

$$170 \times 340 \times 36 \times 0.15 = 312,120 \text{ トン/年}$$

- ② 全 上 40%を石炭だきとする場合

$$312,120 \text{ トン/年} \times 0.40 = 124,850 \text{ トン/年}$$

今、上記航路での運航巾を約7SMとし、そこを通航する石炭だき船から排出される石炭灰が全て14SM巾の海底に堆積したと仮定した時、石炭灰の上記海底での堆積する厚さは次のようになる。尚、石炭灰の真比重はクリンカ、フライアッシュ共に2.0とする。

$$\textcircled{1} \quad \frac{312,120}{2.0 \times (3600 \times 1852) \times (14 \times 1852)} = 0.9 \times 10^{-6} \text{ m/年} = 0.9 \mu\text{m/年}$$

同様にして $\textcircled{2}$ 0.36 $\mu\text{m/年}$ となる。

上記結果より石炭灰の堆積高さは非常に小さいといえる。又、今回は、分布巾を14SMと仮定したが、実際には海流や潮流の影響等によってかなり広範囲に分布されると思われる。更に現状では1990年に全石炭運搬船が石炭だき船になる可能性は少なく、予想として、その40%が石炭だき船になったとしても、海洋全体からみると、そこから排出される石炭灰の量は微々たるものといえる。日本-オーストラリア以外の航路でも当然同様のことが適用出来る。

あ と が き

前年度のクリンカとフライアッシュの発生割合に関する調査は、各社のボイラ設計の計画値をベースにしており、その結果もかなりバラツキがあり、1つの値に設定するのは難しい点があったが今回の実動ボイラの調査により、かなりハッキリと把握出来たと思われる。日本国内でもスプレッド式ストーカは、現在、殆ど使用されておらず、今回のアンケート結果は非常に貴重なデータと考えられる。更に、今年度の調査では、かなり大雑把な分布の試算を行なったが、この種の試みは今回が初めてであり、石炭だき船の安全性を示す指針として、充分その目的を果たしていると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本造船研究協会“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57年3月
- 2) 運輸省船舶局関連工業課 船舶への石炭の利用について 昭和55年3月
- 3) 通産省大臣官房調査統計部 鉄鋼統計月報
- 4) 海外炭問題懇談会 海外炭問題懇談会中間報告 昭和56年8月

第2章 石炭灰の性状と環境への影響

まえがき

昭和56年度は、我が国の代表的研究機関にアンケートを依頼し、現在、発電用微粉炭だきボイラに使用されている内外の一般炭の石炭灰の性状分析結果を入手し、我が国の陸上での規制値と比較し、いずれも規制値以下であることを確認した。今年度は実際のストーカだきボイラの石炭灰を入手、分析し次の点について調査し、環境への影響について検討する。

- 1) 前年度の石炭灰は、実際のボイラから排出されたものでなく、実験用の電気炉で石炭を灰化したものである。従ってストーカだきボイラの石炭灰は電気炉で灰化したものと性状は同じといえるか調査する。
- 2) ストーカだきボイラの場合、クリンカの発生割合が高いので、クリンカの性状分析が必要である。

1. スプレッドストーカだきボイラから排出される石炭灰の分析結果

(a) 石炭および石炭灰の入手

我が国で現在、スプレッドストーカだきボイラを実際に運転している所は非常に数が少ないが、その中からサンプルの入手が容易な下記1社に依頼した。

会社名：N製紙会社

ボイラ型式：水管式2胴型ボイラ×1缶

蒸発量：最大52 t/h（経済蒸発量45 t/h）

サンプリング実施時の蒸発量は25 t/h

蒸発条件：48 kg/cm² × 460℃

運転開始：昭和32年

使用炭：北海道、ソ連、インドネシア、オーストラリア

サンプリングに当っては、JIS M8811（石炭類及びコークス数のサンプリング方法並びに全水分・湿分測定方法）に準じておこなった。

(b) 石炭および石炭灰分析要領

① 分析委託会社

三井鉱山株式会社

② 分析用試料

- | | |
|---------------------------------|--------|
| 1) 使用石炭 | 約10 kg |
| 2) ストーカだきボイラから発生したクリンカ（ボトムアッシュ） | 約1 kg |
| 3) 全上フライアッシュ | 約1 kg |
| 4) 実験用電気炉で石炭を灰化したもの | |

③ 分析項目及び分析・試験方法

表3.2.1により行なう。環境規制物質の分析法には数種類の方法があるが、ここでは委託会社の採用方法に従った。

(c) 分析結果

分析結果を表3.2.2に示す。

2. ストーカだきボイラの石炭灰の化学的性状と環境への影響の考察

表3.2.2より、電気炉で灰化した石炭灰、クリンカおよびフライアッシュの性状は石炭中の元素の種類と量及び燃焼温度に大体依存しているといえる。即ち、石炭中の元素は①非揮発性②揮発性かつ凝縮性および③揮発性の3つの性質に分類出来る。①の元素はクリンカ、フライアッシュ中に残留し、フライアッ

シュでの凝縮はない。②の元素は炉内で一度は揮発するがフライアッシュ中に凝縮吸着する。最後の③の元素は揮発してガスとなって放出する。①の元素にはSi, Al, K, Ca, Mg, Fe が②の元素にはS, As, Pb, Cd が③の元素にはCl, Hg が該当する。

上記性質は今回のクリンカとフライアッシュの分析結果に当てはめてみると①の元素を含む灰の成分 (SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , CaO)は両者大体同じ含有率で、特に一方が他方に多いということはない。②の性質を持つ元素を含む成分 (SO_3)はその性質通り、フライアッシュに多量に含まれている。

同様に上記傾向は環境規制物質についてもより顕著に当てはまる。特に鉛およびその化合物とヒ素およびその化合物でその傾向が強い。鉛 (Pb) の気化温度が約 600°C なので、一度ボイラの燃焼室内で気化したものが、ボイラ出口付近でフライアッシュに凝縮吸着したことにより、フライアッシュ中の含有率が高くなっている。同様のことがヒ素 (As) およびその化合物についてもいえる。

電気炉で灰化された石炭灰の場合、クリンカおよびフライアッシュとの相違は燃焼温度である。電気炉での灰化は JIS により、約 60 分で 500°C に加熱し、その後徐々に 30～60 分かけて 815°C とし、その温度を保持することになっているので、実際のボイラに比較して、燃焼温度がかなり低いことになる。又、電気炉の場合、炉の開口部が狭いため、一度揮発した元素が抜け切らず、再び凝縮する事が予想される。この影響が SO_3 に出ており、電気炉での含有率が非常に高くなっている。

以上、定性的であるが、3種類の石炭灰の性状及び灰中の含有状態における環境規制物質の分析結果の相違を説明できる。

わが国の法律で規制されるのは前年度の調査で示したように溶出状態の各成分の含有率であるが、今回の分析結果でも、殆ど検出されず、全く問題がないことがわかった。

3. フライアッシュの物理的性状

現在就航中或いは建造中の ANL 向、BULKSHIPS 向け等の石炭だき船は、石炭灰の再利用は考慮しておらず、通常は船外に排出する計画になっているが、陸上で再利用されているフライアッシュを船用でも再利用する場合を考慮して物理的性状について調査した。表 3.2.3 は微粉炭だきボイラから排出するフライアッシュ、シダアッシュ、クリンカの灰の組成および物理的性質の比較を示す。表 3.2.4 は各国におけるフライアッシュの試験結果の一例を示す。

微粉炭だきボイラではフライアッシュの排出割合が多いので積極的に再利用の研究が進められており、ストーカだき船の場合にも、それらの研究成果を利用することが出来る。

(a) 比重

フライアッシュの真比重は表 3.2.3, 表 3.2.4 から $2.10 \sim 2.40$ となっている。当然のことながら Fe_2O_3 の含有量の多いものほど比重は大きくなる。

(b) 比表面積

フライアッシュの比表面積は石炭の産出国によって著しい差がある。日本の石炭は一般に灰分と揮発分が多く、また、粘結性が弱い。従って、これを微粉炭として燃焼すると炭あるいは燃焼ガスの内部で自己爆発し、個々の粒子が細分される傾向がある。これがため、粉末度が細かく炭素量も少ないフライアッシュが採取できるのではないかと考えられる。諸外国の石炭は日本の石炭に比べて、粘結性が強く、揮発分の少ないものが多く、燃焼しても、上記のような細分化が起りがたいので、アッシュに含まれる微粉の割合が少なくなるのではないかと考えられる。ストーカだきボイラについても傾向としては同じ事がいえよう。

(c) 粒径

フライアッシュの粒形は、大部分は球であるが、球が連結された形で存在するものもある。フライ

アッシュ粒の大半は密実な球状粒子であるが、比較的大粒の粒子には内部に空隙を有するものもある。大粒の粒子には中空球状で開口部が認められるものもあるが、その内部に微小な球状粒子が魚卵状に進入している場合もある。又、若干の貝殻状その他不規則な形状の粒子が混入されている場合もある。内部に空隙を有する気孔性の粒子や不規則な形の粒子が混入されている割合は、フライアッシュによって異なるが、日本のある市販フライアッシュでは、気孔性粒子が約12%、粗粒フライアッシュでは約20%含まれている。いずれにしても大部分の粒が球状となっていることがフライアッシュの著しい特徴であって、これ自身は水で練っても硬化する性質はないが、水の存在において、水酸化ナトリウムと化合する性質をもちその結果、不溶性かつ硬化するシリカ質化合物を多量生成する傾向が強い。上記特長を生かして陸上ではフライアッシュセメント、セメント製造用原料、土壌改良材、人工骨材、建築用ブロック、その他断熱材、魚礁等の多方面に利用され更に用途開発が積極的に進められている。

あ と が き

今回の調査および分析によりストーカだきボイラのクリンカ、フライアッシュの性状を知ることができた。ストーカだきボイラの石炭灰の分析結果は我が国では殆ど無く、ボイラ自体も現在陸上用として稼働しているものは非常に少ない。その点からも、今回の分析結果は非常に貴重なデータである。

また、通常石炭灰の分析は専門の研究機関でJISに従って電気炉で分析されるが、今回の分析結果から電気炉の分析値と実際のボイラで発生するクリンカ、フライアッシュとの定性的比較が出来た。

更に今回の調査より、ストーカだきボイラから発生する石炭灰はいずれも環境基準以下であることが判明した。

引 用 文 献

- (1) 日本産業機械工業会：石炭灰の有効利用システムの研究開発Ⅰ S.55.3

参 考 文 献

- (2) 建設産業調査会：廃棄物の処理・再利用 S.48.2

表 3.2.1 分析項目および分析・試験方法

試料	分析項目	分析・試験方法		
石 炭	乾炭高位発熱量(恒湿ベース)	JIS M-8814		
	工業分析(恒湿ベース)	JIS M-8812		
	元素分析(無水ベース)	JIS M-8813		
各種石炭灰	成分分析(無水ベース)	JIS M-8815		
	熔融性試験	JIS M-8801		
	環境規制物質の 分析 (含有及び溶出 状態)	アルキル水銀化合物	「産 業 検 定 方 法 に 含 ま れ る 有 害 物 の (環境庁告示13号)	ガスクロマトグラフ法
		水銀またはその化合物		原子吸光光度法
		カドミウムまたはその化合物		全 上
		鉛またはその化合物		全 上
		有機りん化合物		n-ヘキサン抽出- ガスクロマトグラフ法
		6価クロム化合物		吸 光 光 度 法
		ひ素またはその化合物		全 上
		シアン化合物		全 上

表 3.2.2 石炭及び石炭灰性状調査表

分析用石炭及び石炭灰		N製紙(株)使用炭(中郷(国内), カリマンタン(インドネシア), イルクー ツク(ソ連)各75・15・10 程度に混ぜたもの)及び石炭灰				
種 類		石 炭				
石 炭	乾炭高位発熱量	kcal/kg	5,400(恒湿ベース)			
	工業 分析	固有水分	%	12.8	} (恒湿 ベース)	
		灰 分	"	11.3		
		揮 発 分	"	36.2		
		固定炭素	"	39.7		
	元 素 分 析	炭 素	wt %	64.5	} (無水 ベース)	
		水 素	"	5.2		
		窒 素	"	1.2		
		酸 素	"	15.5		
		灰 分	"	13.0		
		硫 黄	"	0.6		
	燃 料 比	-	1.1			
	石 炭 灰	種 類	-	電気炉にて焼成灰化	実動ボイラのクリンカ	実動ボイラのフライアッシュ
灰 の 成 分		SiO ₂	%	57.6	57.1	55.4
		Al ₂ O ₃	"	21.27	24.33	21.37
		Fe ₂ O ₃	"	6.22	6.11	9.03
		Na ₂ O	"	0.29	0.24	0.35
		K ₂ O	"	1.86	2.09	1.83
		CaO	"	4.35	4.77	5.58
		MgO	"	1.19	1.61	1.83
		SO ₃	"	3.49	0.26	0.72
		TiO ₂	"	0.80	1.06	0.86
P ₂ O ₅		"	0.30	0.32	0.33	
溶 融 温 度	℃	①1,330 ②>1,450	①1,260 ③1,440 ②1,370	①1,250 ②>1,450		
備 考		①軟化点(初期軟化) ②融 点(半球軟化)	③溶流点(溶流)			

表 3.2.3 各種アッシュの分析例⁽²⁾

		フライアッシュ			シンダーアッシュ			クリンカアッシュ		
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
強熱減量		112	206	067	226	306	183	148	174	196
化学 分 析 (%)	SiO ₂	55.58	58.36	52.08	55.86	63.71	48.24	59.49	61.50	58.19
	Al ₂ O ₃	28.30	30.10	26.04	26.03	30.77	20.46	—	—	—
	Fe ₂ O ₃	4.81	6.23	3.96	5.13	6.70	4.38	6.24	7.35	5.64
	CaO	4.99	6.75	3.56	5.35	6.91	3.91	5.82	6.59	4.35
	MgO	1.74	2.04	1.26	1.99	3.01	1.04	—	—	—
	SO ₃	0.44	0.88	0.16	0.47	0.59	0.36	0.21	0.30	0.18
	NaCl	—	—	—	0.58	0.70	0.39	1.09	1.64	0.69
物理的 性質	比重	2.19	2.23	2.10	2.03	2.06	1.95	1.90	2.01	1.73
	表面積 (cm ² /g)	3637	4560	3150	1600	2060	1320	—	—	—
	44 μフルイ残分 (%)	94	285	20	380	420	170	939	997	970
	88 μフルイ残分 (%)	—	—	—	79	112	25	918	924	890

表3.2.4 各国におけるフライアッシュの試験結果の一例

国名	試料の数	化学成分 (%)										SiO ₂ /Al ₂ O ₃	比重	比表面積 (cm ² /g)
		強熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	計			
日本	平均値	0.73	57.96	25.86	4.31	3.98	1.58	0.34	1.49	2.15	98.40	3.83	2.14	3090
	最大値	1.23	63.27	28.35	5.90	6.74	2.09	0.81	2.36	3.15	99.27	4.31	2.23	4150
	最小値	0.06	53.41	22.88	2.82	1.04	1.00	0.02	0.88	1.73	97.48	3.47	1.96	1220
米国	平均値	7.83	44.11	20.81	17.49	4.75	1.12	1.19	0.73	1.97	99.73	3.71	2.40	3673
	最大値	1.80	51.9	28.3	31.3	12.0	1.4	2.8	2.10	2.98	100.55	5.76	2.69	4795
	最小値	1.0	32.7	14.6	8.5	1.11	0.7	0.3	0.22	1.28	97.94	2.93	2.14	2430
英国	平均値	3.86	46.16	26.99	10.44	3.06	1.96	1.59	0.90	3.26	98.22	2.92	2.10	5180
	最大値	11.70	50.70	34.10	13.50	7.70	2.90	6.80	1.90	4.20	102.90	3.19	2.33	8100
	最小値	0.60	41.40	23.90	6.40	1.70	1.40	0.60	0.20	1.80	96.10	2.52	1.90	2500
フランス	平均値	3.72	48.45	25.89	8.07	5.95	2.36	1.01	0.64	3.94	100.3	3.38	-	-
	最大値	15.15	54.05	33.40	15.30	38.75	4.45	7.00	0.85	6.00	-	7.38	-	-
	最小値	0.30	29.90	10.80	5.80	1.48	1.10	0.10	0.15	0.70	-	2.58	-	-
西ドイツ	平均値	9.65	41.13	21.39	13.93	5.06	1.85	0.77	-	-	96.78	2.88	-	-
	最大値	20.10	49.54	29.35	20.88	11.81	4.26	2.10	-	-	98.35	3.57	-	-
	最小値	1.48	34.10	21.06	8.37	2.18	0.75	0.12	-	-	94.33	2.59	-	-
ソ連	平均値	-	55.08	25.97	7.83	5.08	1.81	1.63	-	-	97.40	3.70	-	-
	最大値	-	62.08	37.15	12.01	10.62	2.90	3.78	-	-	-	5.09	-	-
	最小値	-	47.90	20.71	3.08	1.10	0.28	0.20	-	-	-	2.20	-	-

出典：セメントコンクリートNo.267セメント協会発行

第3章 環境への影響の総合評価

まえがき

昭和56年度および今年度の一連の公害防止のための調査によって近代的石炭だき船に要求される国内外の規則、基準と石炭だき船が将来普及した時の石炭灰の発生量と特定航路での分布の試算、更に第一世代として今回の研究で取り上げているストーカだきボイラから発生する石炭灰の性状と環境への影響が個々に明らかになった。

本章ではこれらの結果を総合的に検討し、環境への影響の総合評価をおこなう。

1. 海洋環境に対する評価

現在、造船会社各社が計画中の石炭だき船は海洋汚染防止対策として、陸岸からある程度離れば、石炭灰の海洋への排出は可能であるという考えに立ち、ある程度の日数分（船舶が外洋に出るまで）の石炭灰を貯蔵できる貯蔵タンクを有している。この計画に対する海洋環境に対する評価をおこなう。

以上の様に現在の内外各国の規制上からは石炭だき船からの石炭灰の排出は、殆ど問題はないと考えられる。従来からの石炭灰の廃棄における一つの懸念事項は、有害物質またはその化合物が海中に溶出して、水質をはじめ土壌や魚貝類を汚染する可能性の有無である。しかし、これまでの本研究ならびに陸上で幾つかの石炭灰の溶出試験においても、定められた基準以上に有害物質が溶出することはなく、従って海洋環境上、特に問題になることは無いようである。事実、既に多くの陸上火力発電所で、石炭灰の埋立てや再利用等をおこなってきている。

ちなみに本編第2章で1990年における我が国の海外炭の輸入量を予測し、その輸送に必要な石炭運搬船の全て又はその一部が石炭だき船となった場合を想定し、単位海里当りの輸送量の最も多い、日本-オーストラリア間航路での排出される石炭灰の試算を行い、海底における堆積量を算出してみた。その結果によると幾分、現実性が高いと考えられる必要石炭運搬船の40%が石炭だき船になった場合、発生する石炭灰が全て海底に堆積した時の厚さは約0.36 μm /年である。更に発生する石炭灰が全て海中で希釈された時には、この航路の平均水深を4,000mとすると、濃度は約 0.9×10^{-4} ppmとなり、海流や潮流の影響を考慮に入れなくても、非常に微々たるものであることがわかった。

2. 大気環境に対する評価

石炭だき船のストーカだきボイラから発生するフライアッシュが集塵器（通常はマルチサイクロンを装備）で捕捉されず排ガスと共に大気中に放出された場合のばい煙を規制すると考えられる。我が国の法律としては「大気汚染防止法」がある。

この法律で、規制しているのは工場及び事業場に設置される施設から発生する「ばいじん」であり、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いる。

現在考えている石炭だき船のストーカだきボイラにそのままそれが適用されたとすると、一般排出基準0.30g/Nm³、特別排出基準0.20g/Nm³となり、これらの値は現在の船用設備としては厳しいと思われる。

又、各都道府県でも条例で規制しており、船舶に対する規則としてはリングルマン濃度1を川崎港、横浜港での許容限度として定めている。

国際法としては、これに関する規制は今の所見当らず、外地主要港にて、リングルマン2以下(KAOSIUNG) 条件付リングルマン3以下(SYDNEY), 1時間に3分以上のリングルマン1以上の禁止及びSO_xの制限(SEATTLE), 黒煙の排出禁止(CHINWANGTAO, VANCOUVER, FOS), 条件付リングルマン1以上(SANTOS)等の規制がなされている。

以上の規制に対して、ストーカだきボイラのフライアッシュの量が微粉炭だきボイラに比較して非常に少なく、下記対策をすることによって対応出来るものと考えられる。

1. 集塵器の集塵性能の向上及び港内で低負荷時、集塵器の使用台数の切換え等による高効率集塵性能の維持。
2. 余剰蒸気ダンプシステム装備による港内での良好なボイラ燃焼状態の維持。
3. 港内での石炭だきから重油だきへの切換え使用。

上記対策は一部就航中及び建造中の石炭だき船にも適用されており、就航船では良好な結果を得ていると聞いている。

又、一部の港でSO_xの制限を設けている所があるが、石炭中のS分含有量は石炭の種類、産地により多少の差はあるが少なく、フライアッシュの量も少ないので、特別な対策は必要ないと思われる。

あ と が き

本章の総合評価によって、現状では石炭だき船の環境への影響は特に問題が無いことが判明した。又、将来、石炭だき船が増加した場合でも石炭灰の海洋投棄による影響も非常に少ないと考えられる。しかし、我が国の大気汚染防止に関して、本年5月に大気汚染防止法施行規則の一部が改正され、規制が強化されたことにより、今後船舶に対するばい煙規制が厳しくなることが予測される。更に海洋投棄についても“MARPOL 73/78”の発効等によって、航行上の制限を受けることが懸念されるなど、石炭だき船に対する環境規制は非常に流動的であるといえる。

従って、今回の結果をベースとして、今後の国内法、国際法ならびに外国諸港の動向に対して充分注意し、対応する必要があると考える。

項目	規 制 内 容	関連する法律、条約および港	評 価
国内法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排水海域はC海域（すべての国の領海の基線から50海里を超える海域） 2. 締結国の許可があれば投棄可能 3. 港域内及び港界外1万メートル投棄禁止 	<p>海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律</p> <p>同 上</p> <p>港 則 法</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 石炭だき船を対象とした規則、基準はなく、一般船舶に準じて規制されることになる。 2. 内容を総括すると、①港域内（陸岸より12～15海里） ② 陸岸より50海里 ③ 陸岸より200海里 ④ 特別地域 内で禁止するに分類出来る。 但し④は来年中に発効予定である。
国際法	<ol style="list-style-type: none"> 1.(1) 船舶からの排出は次の条件で可能（条件）粉砕すれば3海里～12海里で排出可能 (2) 特別海域（地中海、バルト海、黒海、紅海、ペルジヤ湾）では排出禁止 2. 船舶は領海ばかりでなく、他国の経済水域でも国際規則や沿岸国の法令に反して排出を行ってはならず、違反した場合は沿岸国、入港国での検査拿捕が行われ、かつ罰則が課せられる。 	<p>1973年の船舶からの汚染の防止のための国際条約(MARPOL)及び1978年議定書(1983年10月2日発効予定)</p> <p>海洋法に関する国際連合条約(1982年12月10日最終確定し、60カ国批准したのち、1年後より発効する)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. 現状では上記制限内では石炭灰は投棄せず船内タンクに貯蔵し、制限海域外では排出する計画で充分対応できる。
外地主要港	<ol style="list-style-type: none"> 1. 港域内での投棄禁止 2. 港内及び運河内における排出禁止 3. 領海ではNormal Operation 下で出る物質以外の廃棄禁止（石炭だき船の灰がNormal Operation 下の範ちゅうに入るか検討中） 4. 全領海内での投棄禁止 5. 陸岸より200海里以内での投棄禁止 6. 陸岸より50海里 " 	<p>スエズ運河</p> <p>ホンコン</p> <p>シドニー（オーストラリア）</p> <p>シアトル（アメリカ）</p>	

項目	規制内容	関連する法律、条約および港	評価
排出方法	<p>1.(イ) 比重1.2以上の状態にて排出すること。 (ロ) 粉末のまま排出しないこと。</p> <p>2. 許可する基準の設定には物の特性及び組成、投棄場所の特性及び投棄の方法、海洋に及ぼす影響等を考慮する事</p>	<p>海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律</p> <p>同上</p>	<p>1. 具体的に指示しているのは我が国のものだけである。</p> <p>2. 石炭灰の真比重は大体2.0～2.5位なので、水と混合して海面下に排出することによって充分上記規制を満足できる。</p>
排出する石炭灰の化学的性状	<p>1. 港内におけるAsh Ejectorの使用禁止</p> <p>1. 有害物質を含むものについては海洋投棄は禁止される。 有害物質の種類及び量について規定されている。</p> <p>2. 陸上の生活環境保全の目的から、排水水に含まれる有害物質の許容値を定めている。</p>	<p>海洋法に関する国際連合条約</p> <p>シドニー（オーストラリア）</p> <p>「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」及び「金属等を含む産業廃棄物に係る制定基準を定める総理府会」 「水質汚濁防止法」及び「排水基準を定める総理府令」</p>	<p>1. ストーカーカダキボイラから発生するクリンカおよびフライアッシュの分析結果より、有害物質の含有量が許容値以下であり、排出基準を超えることはないといえる。</p>