

## 第5章 豆炭原料

本計画では、主原料にはラクラの褐炭を用い、副原料の候補としてバガス・麦わら・綿実油残渣・石灰石・消石灰・セメント・粗ろうおよび軽燃料油を選んだ。入手可能性、性状および価格等について以下に論ずる。

### 5-1 豆炭原料の留意点

豆炭が消費者に受け入れられる即ち消費者ニーズに合うためには、基本的に以下の条件を満足する必要がある。

1. 無煙、無臭であること。  
未燃炭素分および硫黄酸化物の発生量が低いことが要求される。
2. 着火性が良いこと。  
原料炭の着火性、バイオマスおよび粗ろう／軽燃料油の配合比が影響する。
3. 適度の燃料速度を持つこと。  
特に初期の燃焼速度が大きいことが要求される。
4. 輸送、使用に耐える十分な強度等を有すること。  
原料炭自体の結合力、結合剤としてのバイオマスあるいはセメントの効果・豆炭成型機の成型圧力・豆炭の形状・寸法等が影響する。
5. 十分な発熱量を有すること。  
各原料の発熱量と配合比が影響する。
6. 低価格で製造できること。  
原料コスト，プラント運転コストが低いことが要求される。
7. 品質が安定していてバラツキが少ないこと。  
原料の安定供給，プラントの定常運転が要求される。

上記の諸条件を満足するためには、適切な原料および製造方法を選択する必要がある。両者は相互に密接に関係しているが、本章では豆炭原料のみにつき検討する。後者については第12章 豆炭製造の概念設計で述べる。上記諸条件を満足させるためには、原料の観点から特に以下の点に留意する必要がある。

1. 石炭原料の留意点
  - (1) 入手可能量
  - (2) 入手価格
  - (3) 化学組成（特に硫黄分、灰分、水分、揮発分）

- (4) 物理的性状（破碎強度、成型特性など）
- (5) 燃焼特性（着火性、ばい煙・硫黄酸化物の発生性、発熱量、灰分量など）
- (6) その他（品質のばらつき）

2. 副原料の留意点

- (1) 入手可能量
- (2) 入手価格
- (3) 化学組成（特に硫黄分、灰分、水分、揮発分、カルシウム分）
- (4) 物理的性状（粉碎強度、バインダー特性〔バイオマスの繊維素含有量および繊維強度を含む〕）
- (5) 燃焼特性（バイオマス／粗ろう／軽燃料油の着火性、煙の量・有毒ガスの発生性、発熱量、灰分量など）
- (6) 耐水性（粗ろう／軽燃料油）
- (7) その他（品質のばらつき）

第10章で詳述する豆炭試製の結果および本章で述べる種々の原料の選定に係る経済性等を勘案して選定した豆炭原料の種類と量は以下の通りである。これらの原料の選定の課程については第8章 プロジェクトスキームにて述べる。

	原料必要量 (トン／製品トン)
<u>主原料</u>	
ラクラ炭	1.250
<u>副原料</u>	
バガス	0.325
消石灰	0.0625
粗ろう	0.006
軽燃料油	0.044
<u>燃料</u>	
ラクラ炭	0.373

## 5-2 ラクラ炭

### 5-2-1 ラクラ炭田の開発の経緯

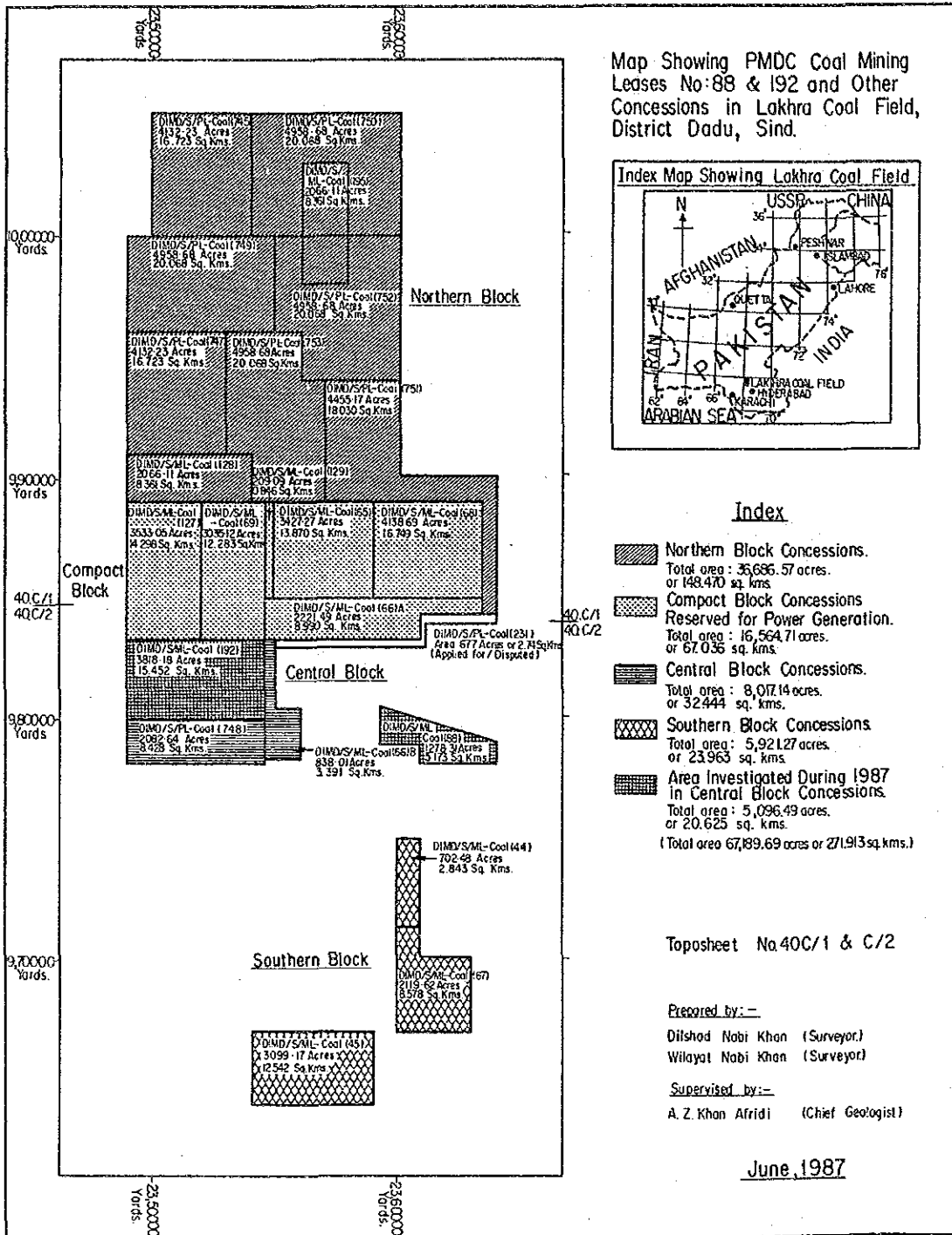
ラクラ地域に褐炭（リグナイト）が賦存することは1800年代半ばから知られており、その当時から少量の石炭を採掘して来た。パキスタンでは炭田の所有権は全て政府に属し、採掘権をリース契約で採掘者に与えている。ラクラ炭田においては、PMDCと民間炭鉱企業がそれぞれ別の鉱区（これをリース番号で区別している）の採掘権を有している。現在8社の民間企業が年間約50万トンの石炭を生産している。

PMDCは採掘権を所有するラクラ炭田の鉱区を図5-1-1に示すように北部ブロック、コンパクト・ブロック、中部ブロック、南部ブロックの4つのブロックに区分し、このうちコンパクト・ブロックは主として発電用（計画中）に、中部ブロックは主としてレンガ焼成用が開発がしてきた。

この2ブロックの石炭開発については、1960年代初めにパキスタン地質調査所（GSP : Geological Survey of Pakistan）が組織的な地質調査を行い、坑内掘りによる褐炭開発で経済的に採算がとれることを明らかにした。この調査に続き、西パキスタン工業公社（WPIDC : West Pakistan Industrial Development Corporation）が試験を行い、ラクラ炭がハード・コークス生産用よりも発電用に適していることを明らかにした。1966年にも、WPIDC はラクラ炭を対象とする採炭と発電に関するフィージビリティ・スタディーを行い、その結果坑内掘りによって250MWの発電所に必要な年産100万トンの石炭が採掘可能であることを明らかにした。このWPIDC の調査に続いて、ルルギ社（Lurgi GmbH）、日本プラント協会（JCI : Japan Consulting Institute）、カナダ国際開発事業団（CIDA : Canadian International Development Agency）、国際協力事業団（JICA : Japan International Cooperation Agency）、米国国際開発事業団（USAID : United States Agency for International Development）などが石炭の埋蔵量の評価、大規模な商業用利用のための工業試験、採炭および石炭焼き発電によるフィージビリティ・スタディー等を行った。

現在では上記の調査結果を踏まえて、コンパクト・ブロックを対象とした発電用の大規模石炭開発が実施段階に入りつつある。

一方、中部ブロックの石炭生産は、現在石炭用途の約97%を占めるレンガ製造用需要の増加と相俟って1982-83年に始まり、その同年には約2,600トンを生産した。その後設備を増強し、1983-84年には約35,200トン、1987-88年には10万トンを越える規模となった。ただし、その採炭方法としては人力に頼った方法を取っている。



Source: Pakistan Mineral Development Corporation.

図5-2-1 ラクラ炭田におけるPMDCの鉱区

## 5-2-2 ラクラ炭田の地質概要と石炭埋蔵量

### (1) 地質概要

ラクラ炭田の層序を表5-2-1に示す。同炭田の石炭層は、新生代(Cenozoic Era)第三紀(Tertiary Period)の暁新世(Paleocene Age)に属する下部ラニコット(Lower Ranikot)層の上部に見られる。石炭層は、掘削によって得られたデータによれば、少なくとも10層の炭層を含んでいる。レイリアン(Lailian)層はこれら炭層中で特に重要な炭層であり、過去のほとんど総ての試錐において、またPMDCの鉦区の南側の炭鉦においても存在確認した。同層は地上からの深度20mから60mまでの範囲にある。上記レイリアン層の他にも、位置的に採炭可能な2炭層、ドハンワリ(Dhanwari)層とカス(Kath)層があり、それぞれレイリアン層の上部と下部に位置している。

ラニコット界(Ranikot Group)は、ラクラ炭田の南部に露出しており、最も古い露出岩である上記の上部ラニコット層を含む。同界はラクラ炭田の北部、東部および西部にては不整合な状態で、始新世(Eocene Age)に属するラキ(Laki)石灰岩層の下に広がっている。鮮新世(Pliocene Age)に属するマンチャール(Manchar)層は同炭田の中央部の西側地域にてラキ界およびラニコット界の上で不整合な状態で広がっている。

各単層の集まり(Strata)は、二重沈入背斜(Doubly Plunging Anticline)を構成している。この背斜は一般にラクラ円頂丘(Lakhra Dome)として知られており、その背斜軸は南北方向へ走っている。これらの単層は普く全ての方向へゆるやかに傾斜しており、その傾斜は小さく7度を越えない。ラクラ炭田は背斜の冠部分(Crestal Part)に沿う形で位置しており、炭層はほとんど水平となっている。ラクラ炭田は約46の断層の影響を受けており、これらは概ね南北方向へ向いている。またこれらの断層は、52度から90度近くまでの範囲の断層面の傾きを持つ通常の施回断層(Pivotal Faults)である。しかし、これらの断層の移動落差(Throw)は43m以内となっている。これらの断層はもちろん炭層をも移動させている。

ラクラ炭田の炭層の厚さは最高7mまでである。しかしほとんどの採炭可能な炭層の平均厚さは0.69mから2.91mの範囲にある。

表 5-2-1 ラクナ炭田の層序

Era	Period	Epoch	Group	Formation	Unit	Lithology
				Recent Sub-Recent Deposits		Unconsolidated surficial deposits of silt, sand, clay and gravel. Consolidated deposits of unsorted pebbles and cobbles of Laki limestone and other formations
				Manchar		Unconformity Alternations of sand-stones, shales and siltstones with clay and thin grit beds. Fossiliferous. Contains petrified wood mostly.
				Laki Limestone		Unconformity Limestones with sub-ordinate shales and marls.
				Basal Laki Laterite		Intermingled lateritic clays, sandstones and gysiferous shales with sub-ordinate pockets of sand. Unfossiliferous. 1.5 metres to 14 metres thick.
					5	Unconformity Limestone with sub-ordinate shales. Fossiliferous. 39 metres to 46 metres thick.
					4	Sandstones with minor shales. Fossiliferous. 14 to 15 metres thick.
					3	Interbedded limestones and shales. Fossiliferous. 13 metres to 23 metres thick.
					2	Shales with thin beds of sandy limestone. Fossiliferous. 17 to 24 metres thick.
					1C	Sandstones and shales interbedded. Fossiliferous. 7 metres to 8.5 metres thick.
					1B	Shales with sandstone bed. Fossiliferous. 6 metres to 7.5 metres thick.
					1A	Sandstones and shales interbedded. Fossiliferous. 21 metres to 23 metres thick.
				Lower Ranikot		Predominant sandstones interbedded with shales, claystones and siltstones. Mostly unfossiliferous. Impregnated with 10 coal seams of which Lailian and the one below it are workable. A light grey to grey clay bed up to 3 metres thick above the Lailian seam may prove to be refractory grade fire-clay.

- Base not seen -

Source: Feasibility Report for Lakhra Coal Mining and Power Station Project, February, 1981 (JICA)

(2) 石炭埋蔵量

ラクラ炭田の石炭推定埋蔵量 (Estimated Coal Reserves) については、様々な説があり、これらを表 5-2-2 にまとめて示す。

表 5-2-2 ラクラ炭田の石炭の推定埋蔵量

Source	Coal Reserves(Million Tons)	Estimated Area(km <sup>2</sup> )
GSP (1966)	240	N.A.
USAID(1984)	Better than 400	At Least 480
MPNR (1985)	498	N.A.
PMDC (1988)	More than 500	N.A.

Note: GSP : Geological Survey of Pakistan  
 USAID: United States Agency for International Development  
 MPNR : Ministry of Petroleum and Natural Resources  
 PMDC : Pakistan Mineral Development Corporation

PMDCは前述の如く北部・コンパクト・中部・南部の4ブロックに合計271.913km<sup>2</sup>にわたる採炭鉱区を取得している。表 5-2-3 にはこれらの鉱区の石炭埋蔵量を示す。

表 5-2-3 PMDCの鉱区の石炭埋蔵量

Name of Block	Lease No.	Proved Reserves (Million Tons)	Theoretical Reserves (Million Tons)	Estimated Reserves (Million Tons)
Compact	N.A. (26 km <sup>2</sup> )	N.A.	137.09 * 79.782**	N.A.
Central	88 & 192 (20.625 km <sup>2</sup> )	11.516	N.A.	21
Southern	45 & 67 (21.12 km <sup>2</sup> )	N.A.	N.A.	11.76

Note : \* This figure is the total theoretical coal reserves calculated from the data obtained from the JICA report (Fesibility Report for Lakhra Coal Mining and Power Station Project, February, 1981)

\*\* This figure is the coal reserves estimated as practically recoverable by the abovementioned JICA report.

PMDCの鉱区中で最大面積(148,407km<sup>2</sup>)を持つ北部ブロックの石炭埋蔵量が未知であることを考慮して表5-2-2と表5-2-3を比較すれば、ラクラ炭田の石炭埋蔵量は、PMDCが示す如く5億トン以上あると考えるのが妥当と判断される。

PMDCは本計画用に中部ブロックから採掘する石炭を充当する方針である。中部ブロックでは坑内掘りによる採炭(Underground Mining)が適しているため、表5-2-3で引用したJICA F/S調査報告書の坑内掘り用の地質学的係数(Geologic Factor)70%および可採係数(Recoverable Factor)65%を適用すると、同ブロックのリースNo.88 鉱区(5,173km<sup>2</sup>)およびリースNo.192鉱区(15,425km<sup>2</sup>)のみの石炭の可採埋蔵量は5.24百万トン(11,516百万トン x 0.70 x 0.65)となる。本計画の豆炭製造プラントの最終規模は年産30万トンであり、年間約48.7万トンの石炭(切込み炭ベース;含水率20%と仮定)が必要である。上記可採埋蔵量から現在までの累積生産量を除いた残存可採埋蔵量(約490万トン)はこの場合約10年分の埋蔵量となる。中部ブロックには上記リース鉱区以外にもリースNo.192鉱区のすぐ南側と東側に他の2つのリース鉱区(それぞれ8,428km<sup>2</sup>および3,391km<sup>2</sup>)が存在し、これらの鉱区の石炭可採埋蔵量も含めると、中部ブロックの石炭可採埋蔵量は本計画に必要な石炭を十分供給可能な量と考えることができる。また、中部ブロックの石炭が掘り尽くされた後でも更に南部ブロックの石炭を使用することも可能であり、本計画に必要な石炭の供給は全く支障ないと言える。

### 5-2-3 ラクラ炭鉱の概要

本計画に必要な石炭については、上述の如くPMDCは中部ブロックから採掘する石炭を充当する方針なので、以下では中部ブロックの炭鉱について述べる。

中部ブロックは図5-2-2「PMDCの中部ブロックとその周辺地域」に示す如く、ハイデラバード市の北西約60km、パキスタン鉄道のカノット(Khanot)駅の西方約17kmに位置する。PMDCは、図5-2-3および図5-2-4に示す如く同ブロックのリースNo.88、リースNo.192/66の鉱区で小規模炭鉱を操業している。この炭鉱は人力に依存する、たて坑(Shaft)と斜坑(Incline)を併用した坑内掘り炭鉱である。表5-2-4に、これら炭坑(Coal Mine)コードとリース鉱区ナンバーとの関係を取りまとめて示す。同表に示す如く、中部ブロックの炭鉱はほとんどリースNo.88 鉱区に集中しており、同鉱区にはたて坑が10坑、炭坑が7つある。



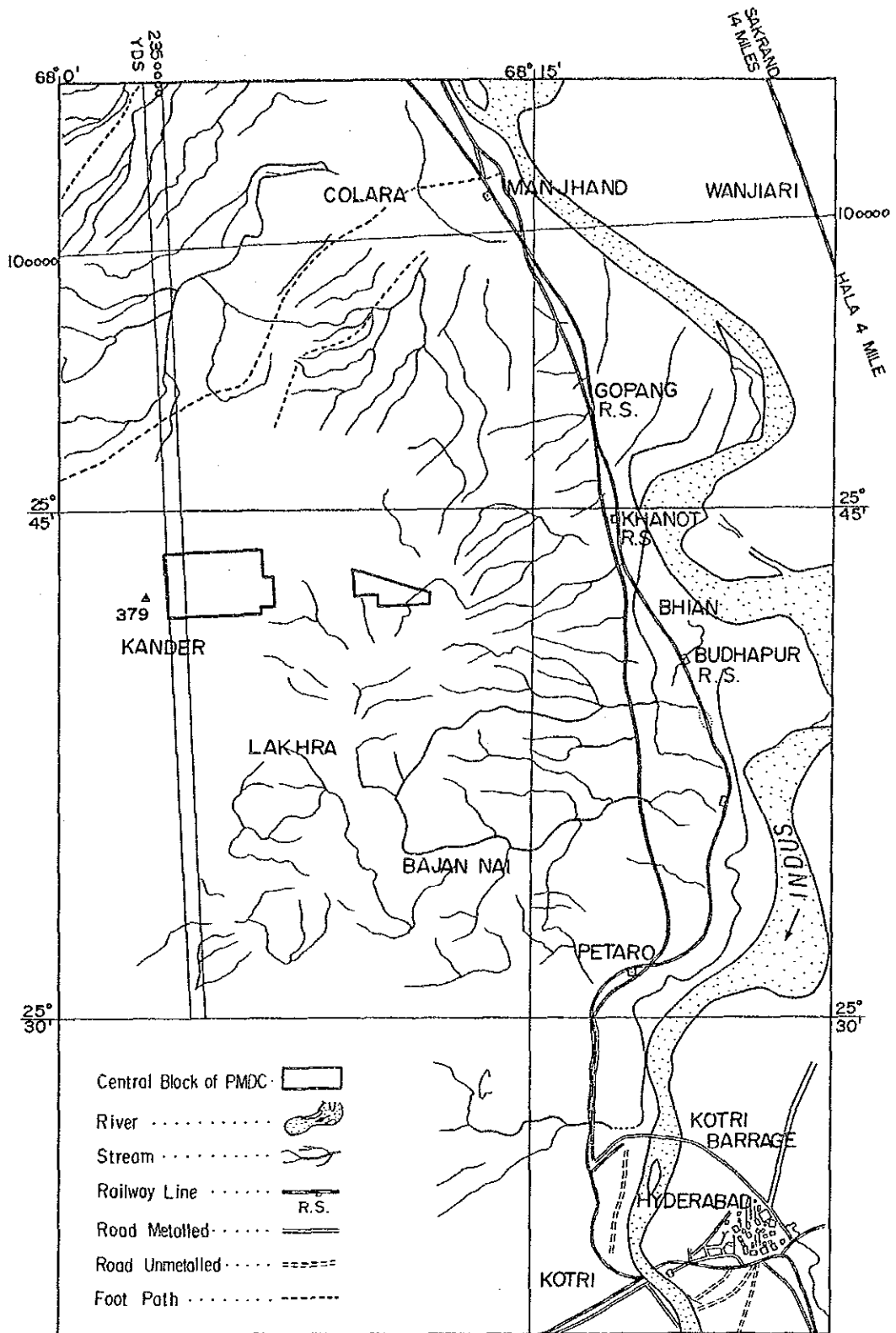


図5-2-2 PMDCの中部ブロックと周辺地域





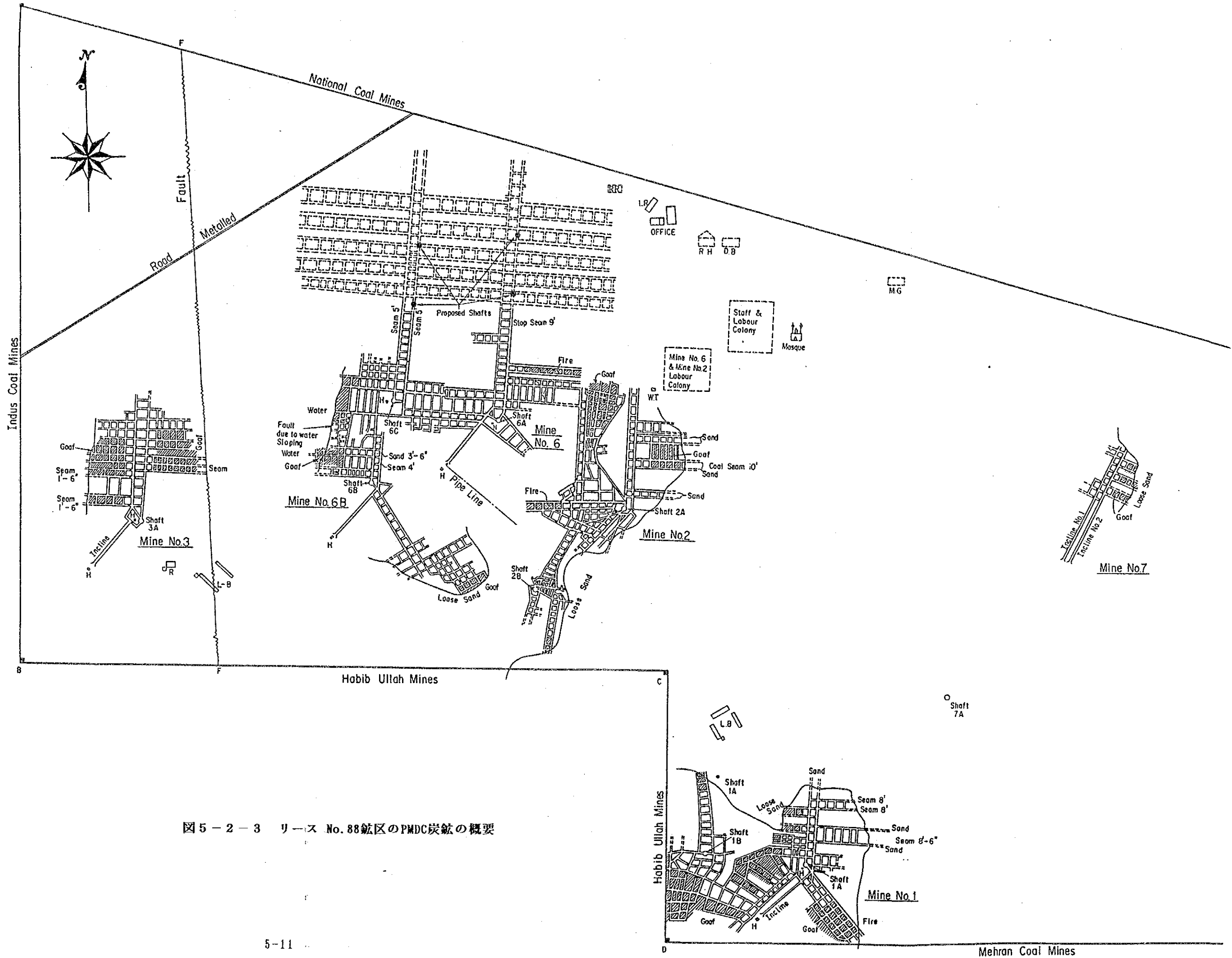


図 5-2-3 リース No. 88 鉱区の PMDC 炭鉱の概要



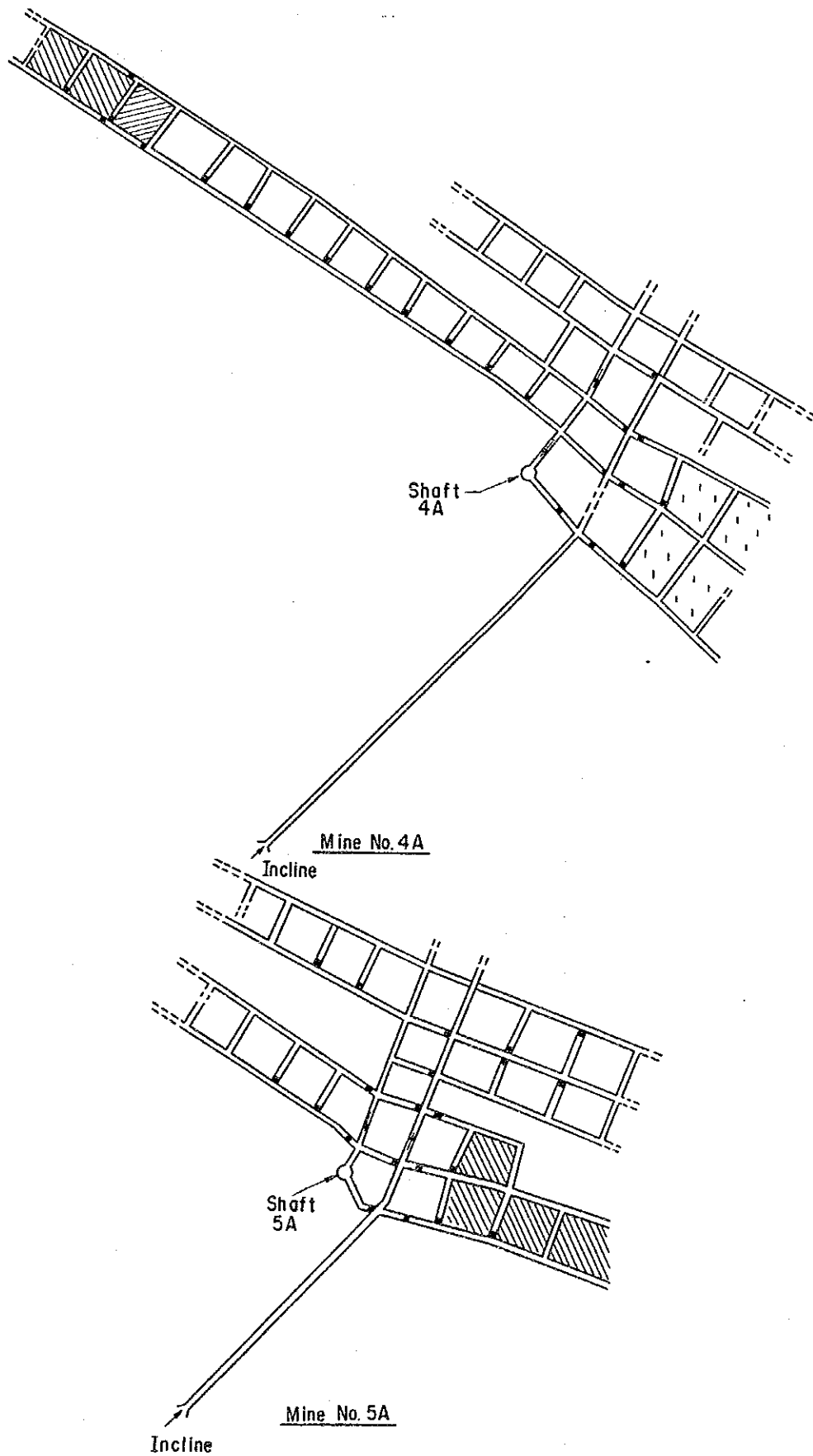


図 5 - 2 - 4 リース No. 192 鉱区の PMDC の炭鉱概要

表5-2-4 ラクラ炭鉱の炭坑コードとリース鉱区ナンバー

Lease No.	Coal Mine Code	Shaft Code
88	M-1	1A
88	-	1B
88	-	1C
88	M-2	2A
88	-	2B
88	M-3	3A
88	M-6A	6A
88	M-6B	6B
88	M-6C	6C
88	M-7A	7A
66	M-4	4
66	M-5	5
192	M-4A	4A
192	M-5A	5A

炭層は前述の如く全部で少なくとも10層あり、層厚は最高7m、平均0.69~2.91mの範囲にある。実際に採炭しているのはほとんどレイリアン(Lailian)層で、部分的にドハンワリ(Dhanwari)層とカス(Kath)層が含まれているものと推測される。この推測は、レイリアン層の深度が地上から20mから60mまでの範囲にあり、たて坑の平均深度が70mであることと合致している。現在までのところ坑内での出水、ガス突出はない。また130mまでの試錐結果では、含水層は発見していない。

図5-2-5にはリースNo.88 鉱区のレイリアン炭層(注:ラクラ炭田で最も重要な炭層)の等層厚線図(Isopach Map)と試錐、炭坑との関係を示す。

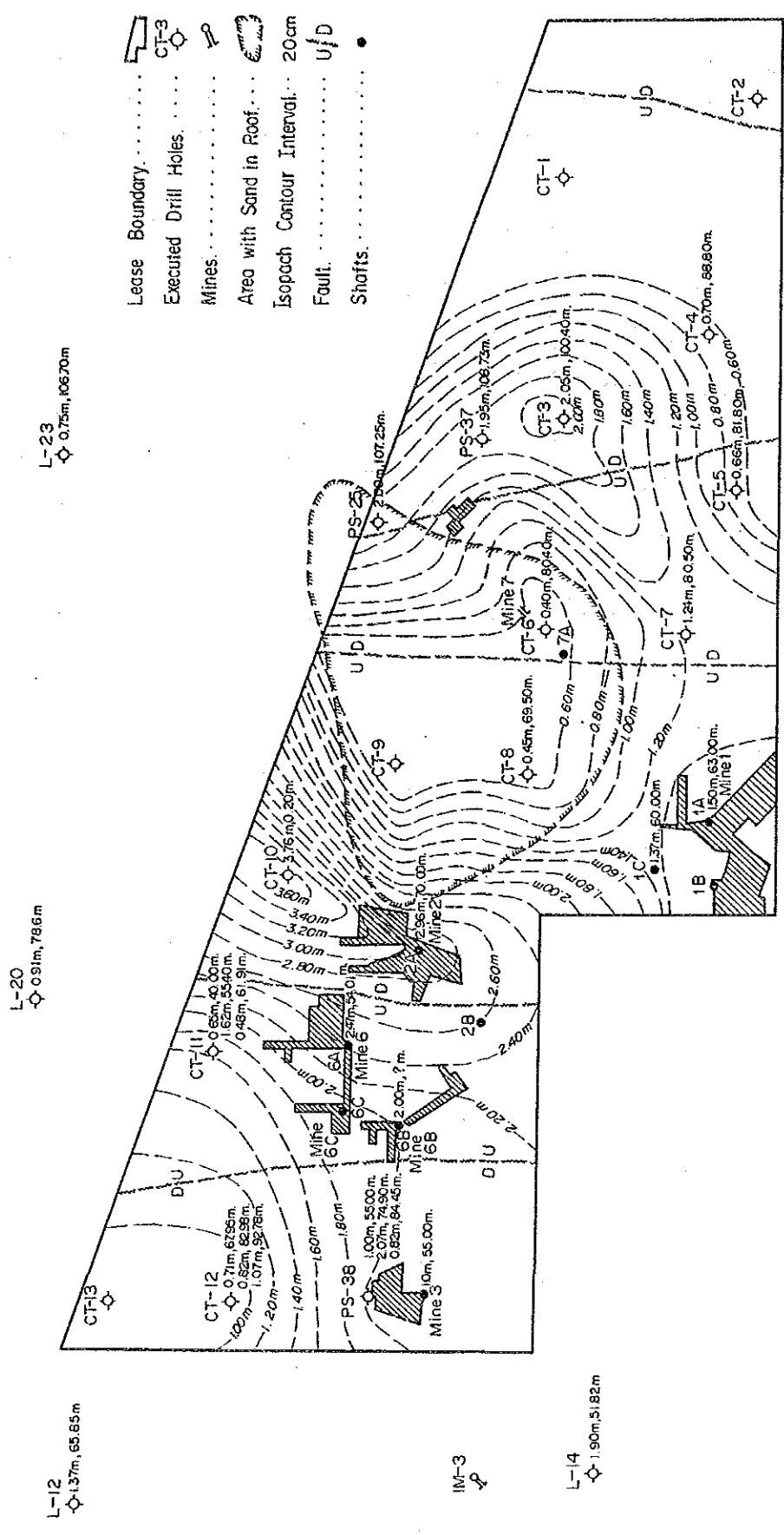
炭鉱での石炭の採掘から積み出しまでの概略は以下の通りである。

- 1) 坑夫がたて坑を手掘りで掘り、掘り口周辺は崩壊を防ぐためレンガで固める。
- 2) 採掘した土石と石炭をワイヤーロープで吊り上げるため、掘り口の真上に滑車付鉄性パイプの三脚を立て、電動式ウィンチを据え付ける。
- 3) 石炭と土石を輸送するため、掘り口からストックヤードまで線路を敷設し、その上に台車(トロッコ)を乗せる。
- 4) 坑内では坑夫が手掘りで石炭を掘り出すために炭坑道を掘り、採掘した石炭をジュート袋(約75kg詰)に詰める。
- 5) 袋詰石炭が坑内に8袋程度たまると、電動式ウィンチで地上へ吊り上げる。

- 6) 石炭を地上に吊り上げている間に台車をその真下に移動し、その上に石炭を降ろす。
- 7) 石炭を乗せた台車を2～3人の人夫がストックヤードまで移動する。
- 8) スtockヤードでは人夫がジュート袋を台車から一袋ずつ担ぎ出し、所定の場所まで運搬し袋から石炭を排出し山積みする。
- 9) スtockヤードの所定の場所へ石炭の卸し売り業者が手配したトラック(10トン積み)が定期的に来て、石炭をバラ積みし、消費地へ輸送する。(カラチまでは1トン当り10ルピーで輸送している。)
- 10) 通常たて坑一坑(平均深度約70m)につき約22～25人の坑夫が働いており、その内訳は、炭坑夫10～12人、ウィンチ係2人、台車押し兼荷おろし係2～3人、担ぎ屋7～8人となっている。
- 11) 上記人員で通常たて坑一坑から一日平均約30トンの石炭を採掘する。PMDCは採炭および横持ち作業を自ら直接行わず、下請け業者に出来高ベースで1トン当り75ルピーで委託している。

図5-2-6にはPMDCラクラ炭鉱とPMDC全体の組織図を示す。





- Lease Boundary.....
- Executed Drill Holes.....
- Mines.....
- Area with Sand in Roof.....
- Isopach Contour Interval... 20cm
- Fault.....
- Shafts.....

図5-2-5 リース No. 88鉱区のレイリアン炭層の等層厚線図と試鑿、炭鉱との関係

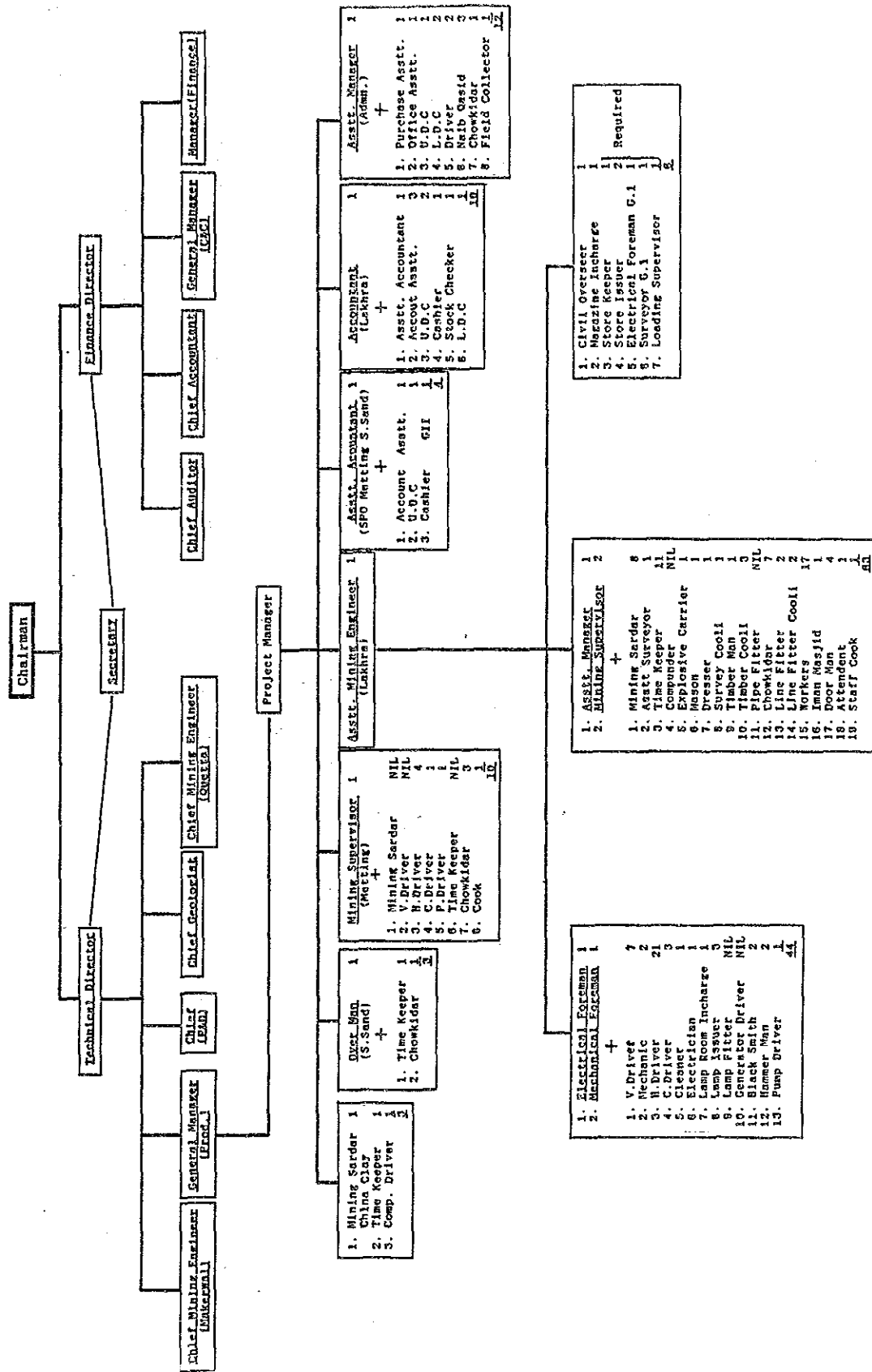


図 5 - 2 - 6 PMDCラクラ炭鉱とPMDC全体の組織図

図 5 - 2 - 6 PMDCラクラ炭鉱とPMDC全体の組織図

#### 5-2-4 ラクラ炭鉱の石炭生産実績

表5-2-4にはラクラ炭鉱の石炭の生産実績を示した。

表5-2-5 ラクラ炭鉱の石炭の生産実績

(unit : tons)

Sector	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	1986-87	1987-88
Private*	307,330	330,805	477,980	484,823	491,811	N.A.
(Share %)	(99.2)	(90.4)	(89.6)	(89.1)	(87.0)	(N.A.)
(Growth Rate % pa)	-	( 7.6)	(44.5)	( 1.4)	( 1.4)	(N.A.)
PMDC	2,560	35,206	55,482	59,152	73,550	104,581
(Share %)	( 0.8)	( 9.6)	(10.4)	(10.9)	(13.0)	(N.A.)
(Growth Rate % pa)	-	(1,275.2)	(57.6)	( 6.6)	(24.3)	(42.2)
Total	309,890	366,011	533,462	543,975	565,361	N.A.
(Share %)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
(Growth Rate % pa)	-	(18.1)	(45.8)	( 2.0)	( 3.9)	(N.A.)

Note: \* Private sector figures calculated from the total and PMDC figures.

Source: Energy Year Book 1987 and PMDC

同表から明かな如く、ラクラ炭鉱全体の石炭生産量は1984-85年までは順調に伸びて来たが、同年を境として伸び率が鈍化し、1985-86年、1986-87年の伸び率はそれぞれ対前年比2.0%、3.9%に留まった。この傾向は民間部門では一層顕著に現われ、1984-85年を境として伸び率は1985-86年、1986-87年とも対前年比1%台に留まった。理由は、パキスタンの石炭需要の約97%を占めるレンガ焼成用需要の低迷である。パキスタンでは最近建築用資材としてのレンガの需要がコンクリート・ブロックの台頭によって抑えられる傾向がある。この傾向は今後も続く予想されるため、1987-88年のラクラ炭鉱の民間部門の石炭生産量は高々50万トンと考えられる。従って同年のラクラ炭鉱全体の石炭生産量は、PMDCの同年の石炭生産量(10.4万トン)と合わせて60万トン程度と考えられる。

一方、PMDCの石炭生産量は1983-84年に生産能力が増強されて以来順調に伸びて来ており、1988年現在では年産約10万トン規模に至っている。しかし、実際には民間部門のシェアを食う形で生産高を拡大しており、1987-88年にはPMDCのシェアは約20%に達したものと推測される。この傾向は今後も続くと考えられるが、石炭の主用途が低迷を続けるレンガ焼成用である限り、健全な傾向ではない。従って、石炭の新規用途開発となる本計画の実施は、豆炭製造そのものの意義、即ち新しい製品で社会へ貢献することもさることながら、PMDCの石炭生産を新たな市場へ向けるという観点から

も大きな意義を持つこととなる。

#### 5-2-5 ラクラ炭鉱の石炭生産見通し

民間部門の石炭生産は、今後新たな大口需要が生じない限り頭打ちとなることが予想される。また、発電用の石炭の開発については、前述の如く、PMDCのコンパクト・ブロックを対象としてJICAやUSAIDなどが調査を実施し、将来の石炭生産計画もたてている。例えばラクラ炭田の東方約17kmに位置しているカノット(Khanot)では、50MW×3基(1基は緊急時用)の石炭焚火力発電所を1991-92年の運転開始を目途に計画中である。同計画に合わせてコンパクト・ブロックから、1年目は年産15万トン、2年目は年産53.5万トン、3年目以降には年産75万トンの石炭を供給する計画をたてている。

一方PMDCは、中部ブロックで、主としてレンガ焼成用石炭の開発を進めて来たが、将来は同ブロックの石炭を本計画の豆炭製造用原料に充当する方針である。従って、同ブロックの石炭生産見通しに注目する必要がある。

本計画では豆炭製造プラントの生産能力を操業開始後5年目位までは年産5~10万トン、それ以降は同30万トンとする計画である。同プラントは製品生産量の約1.6倍の石炭(切り込み炭)を原料として消費する。PMDCは当面1989年6月頃までに石炭の生産規模を年産20万トン(対前年比100%)とすることを計画しており、この実現性も高いことから、近い将来これを年産84.7万トン規模にまで拡大することはそう難しいことではない。

PMDCの中部ブロック炭鉱は、人力に頼った小規模なものである。そのため、小規模の範囲内での生産規模拡大に要する投資コストは少なく、また計画立案から採炭開始までの準備期間も短期間で済む利点がある。本計画の実施に伴って新たに生ずる石炭需要に対処するためには、新たに炭鉱開発が必要だが、これらの利点を考慮すればその実施はさほど困難ではない。

#### 5-2-6 ラクラ炭の価格

ラクラ炭の価格(炭鉱出荷価格)は民間部門の炭鉱とPMDCとで異なり、また季節によっても変動する。一般的に7月から9月までの間はパキスタンではモンスーン・シーズンに当たりレンガ需要が落ち込む。この結果石炭需要も落ち込み、石炭価格も他の期間に比べて通常約50%程度落ち込む。

表5-2-6にはPMDCラクラ炭鉱の平均石炭出荷価格を示した。

表5-2-6 PMDCラクラ炭鉱の平均石炭出荷価格  
(Unit: Rupees/Ton)

Period	Average Ex-mine Coal Price
July,1983-March,1984	212.00
April,1984-June,1984	219.33
July,1984-June,1985	256.00 & 248.00
July,1985-December,1985	193.00
January,1986-June,1986	158.00
July,1986-June,1987	171.00
July,1987-June,1988	215.00
July,1988-June,1989	332.00

Source : PMDC

なお、PMDCは本計画が消費する石炭については、安定需要を確保できるため炭鉱出荷価格ベースで当面1トン当たり300ルピーと定めている。

#### 5-2-7 ラクラ炭の性状

ラクラ炭は褐炭（リグナイト）に属し次の性質を有す。

1. 炭化度が無煙炭、歴青炭と比べ低く、発熱量も低い。粘結性も無く製鉄用には使用しない。
2. 硫黄分が多いため、燃焼時に硫黄酸化物を多量に発生する、また自然発火し易い。
3. 揮発分が多いため、着火が容易で強い火力で燃える一方ばい煙を発生し易い。
4. 灰分が多いため、フライアッシュを含む灰を多量に発生する。
5. 塊状で、破碎しやすい。
6. 切込炭の水分が多く、発電に使用する場合、投資コストが高く、また熱効率も低下する。

以上から明かな如く、ラクラ炭はあまり品位が高い石炭とは言えない。原料として主要な利点をあげると以下の通りである。

1. 豆炭が成型しやすい。
2. 原料調整の際の粉砕コストが安い。
3. 成型した豆炭強度が高い。

4. 原料の粒径を小さくしやすいため、豆炭が燃え易い。
5. 石炭の炭化度が低く、揮発分が多いため、燃焼性の高い豆炭の製造が期待できる。

以上の利点は特に調理用の豆炭を製造する際に大きな利点として利用できる。

表5-2-7には現在までに行ったラクラ炭（切り込み炭）の炭質分析結果を示す。本調査のために採炭候補地で入手した石炭サンプルの試験結果については、第9章原料試験および評価で詳述する。

表5-2-7 ラクラ炭（切り込み炭）の炭質分析結果

(Unit: present)

Test Item	Coal(1)*	Coal(2)**
Moisture	29.5	25.0
Ash	13.1	18.4
Volatile Matter	29.9	28.9
Fixed Carbon	27.7	N.A.
Total Sulfur	3.66	6.3
Incombustible Sulfur	0.46	N.A.
Combustible Sulfur	3.20	N.A.
Calorific Value (kcal/kg)	4,150	3,900

Note : All items are in weight percent except for calorific value which is in kcal/kg gross.

Source : \* The Preliminary Survey Report on the Smokeless Coal Briquettes Development Project in the Islamic Republic of Pakistan, January, 1988 (JICA)

\*\* Islamic Republic of Pakistan Feasibility Report for Lakhra Coal Mine and Power Station Project, February, 1981. (The data is for the underground mined coal on a received basis.)

### 5-3 副原料

本節では石炭以外の副原料に関し、供給可能性、性状および価格を検討する。基本的な副原料の留意点は5-1節で既に説明した。副原料の主な使用目的を大別し以下に示す。

1. 豆炭の成型を容易にすると共に強度を高めるため、結合剤として使用する。
2. 豆炭の燃焼時に硫黄酸化物の発生を抑制するため、硫黄中和剤として使用する。
3. 豆炭の着火性および燃焼性を高めると共に、ばい煙の発生を抑制するため、助燃剤として使用する。
4. 豆炭の耐水性を高めるために撥水剤として使用する。

種々の副原料が考えられる中で本調査では副原料候補として、バイオマス原料（上記1と3が対象）、セメント（上記1が対象）、石灰石／消石灰（上記2が対象）、粗ロウ／軽燃料油（上記4が対象）を選定する。

バイオマス原料については、その入手可能性と価格の観点から、バガス・麦わらおよび綿実油残渣（コットンシード・オイル・ケーキ）を調査の対象とした。最終的には、バガス・消石灰・粗ろう／軽燃料油のみを本計画の豆炭製造に用いることにしたが、その経緯は第8章 プロジェクトスキームに説明する。

#### 5-3-1 バガス

##### (1) バガスの入手可能性

パキスタンは世界有数の砂糖キビ生産国で、1986-87年には約2,990万トンを生産した。豆炭製造プラントの建設予定地のあるラクラはシンド州に属し、同州はパキスタンではパンジャブ州に次ぐ砂糖キビ生産州で、1986-87年には作付面積約18万ヘクタールから約790万トン（国全体の約26%）の砂糖キビを生産した。同州では砂糖キビは雨季（7月から9月まで）に栽培され、乾季（10月から6月まで）に収穫される。従ってバガスの生産量も季節変動が大きい。表5-3-1にパキスタンおよびシンド州の砂糖キビ生産実績を示す。

表5-3-1 パキスタンおよびシンド州の砂糖キビ生産実績

	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	1986-87
Pakistan(Million Tons)	32.53	34.29	32.14	27.86	29.93
Growth Rate(% p.a.)	-11.1	5.4	-6.3	-13.3	7.4
Sind Province(Million Tons)	7.55	7.36	7.43	7.53	7.91
Growth Rate(% p.a.)	1.2	-2.5	1.0	1.3	5.0
Share in Total(%)	23.2	21.5	23.1	27.0	26.4

Source : Pakistan Statistical Yearbook 1988  
 Statistical Pocket Book of Sind 1988  
 Development Statistics of Sind 1986

通常1トンの砂糖キビから約300kg(含水率50%)のバガスが副産されるので、シンド州全体のバガスの生産量は1986-87年で約240万トン(790万トン×0.3)と推定される。但し、パキスタンの製糖工場の多くは、生産したバガスの約75%を自社工場用燃料として消費している。バガスは上記の他にチップ・ボード/バガス・ボードや製紙用原料、その他肥料用としても利用され、その使用状況は下記の通りである。

- 1) 現在シンド州にはバガスを原料とする製紙工場は存在しない。
- 2) 肥料用のバガスの消費量は極めて少なく無視できる。
- 3) シンド州には大規模なチップ・ボード/バガス・ボード工場はない。

従って上記の1986-87年のシンド州全体の推定バガス生産量に基づいて本計画に供給可能なバガス量を求めると、年間約60万トン(240万トン×0.25)となる。(これをケース1とする。)

一方、表5-3-2には1987-88年のシンド州の民間製糖工場による砂糖キビ粉碎量および砂糖生産量を示す。図5-3-1にはこれらの民間製糖工場の所在地を示す。同表から明かな如く、シンド州民間製糖工場(19工場)による1987-88年の砂糖キビ粉碎量は約940万トンであった。バガスの生産量はこの30%として約280万トンと推定される。今後のパキスタン政府のエネルギー節約奨励策などが進展した場合には、自社工場用のバガス消費比率は更に大きくなり、バガスの入手可能量が全生産量の約10%程度となることも考えられる。この場合には同入手可能量は年間約28万トンとなる。



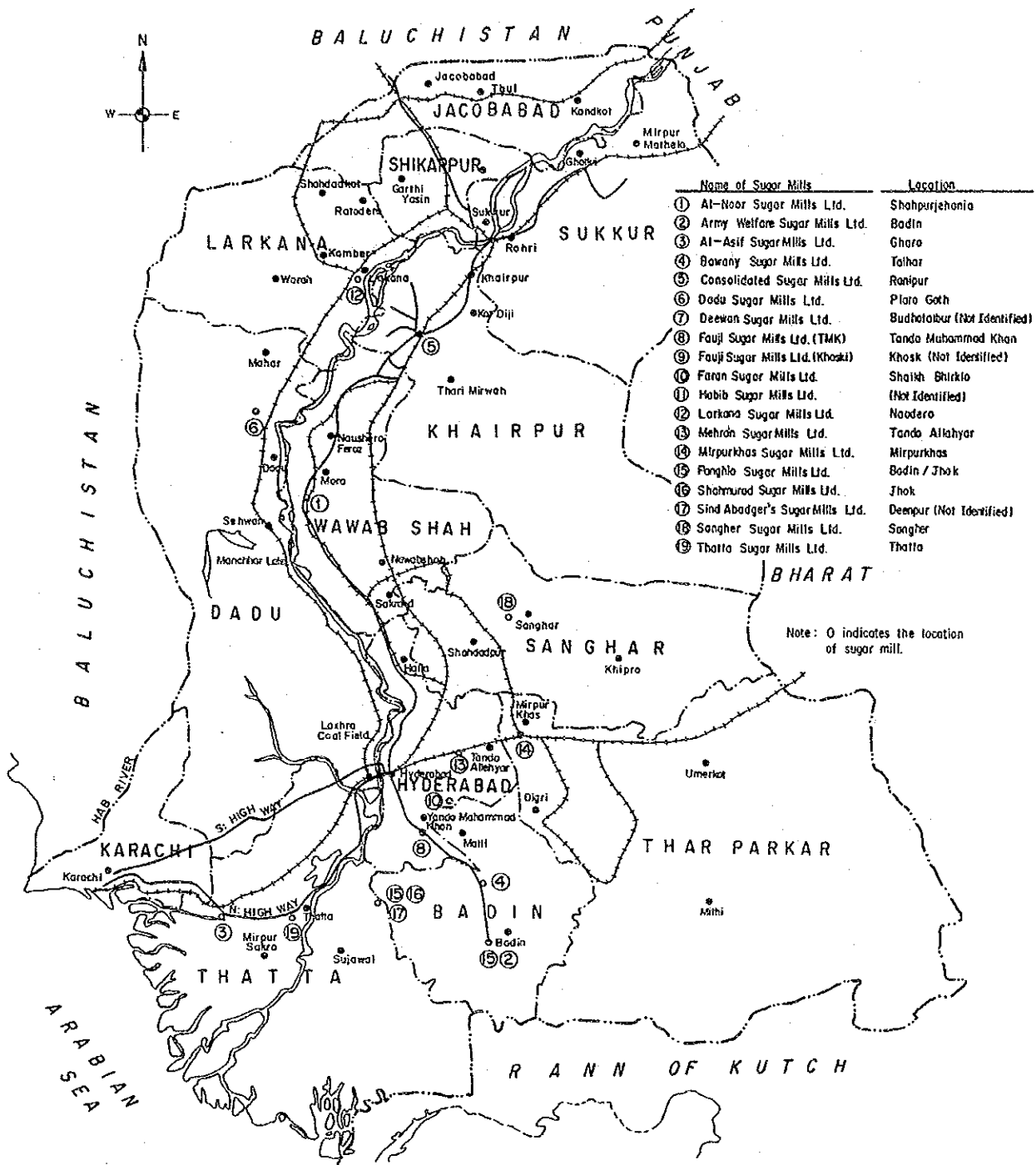


図5-3-1 シンド州の民間製糖工場の所在地

表5-3-2 1987-88年のシンド州の民間製糖工場による  
砂糖キビ粉砕量および砂糖生産量

(Unit:Tons)

Name of Sugar Mills	Sugarcane Crushed	Sugar Produced
Al-Noor Sugar Mills Ltd.	730,443	61,208
Army Welfare Sugar Mills Ltd.	397,324	38,781
Al-Asif Sugar Mills Ltd.	122,096	9,654
Bawany Sugar Mills Ltd.	537,810	52,591
Consolidated Sugar Mills Ltd.	544,597	45,614
Dadu Sugar Mills Ltd.	559,429	43,846
Deewan Suar Mills Ltd.	411,249	37,454
Fauji Sugar Mills Ltd.(TMK)	629,352	60,304
Fauji Sugar Mills Ltd.(Khoski)	675,791	63,231
Faran Sugar Mills Ltd.	523,694	47,980
Habib Sugar Mills Ltd.	701,748	61,293
Larkana Sugar Mills Ltd.	240,140	18,228
Mehran Sugar Mills Ltd.	581,264	48,801
Mirpurkhas Sugar Mills Ltd.	545,732	47,161
Panghio Sugar Mills Ltd.	526,705	48,910
Shahmurad Sugar Mills Ltd.	597,536	58,581
Sind Abadger's Sugar Mills Ltd.	456,397	45,143
Sangher Sugar Mills Ltd.	112,501	9,350
Thatta Sugar Mills Ltd.	501,324	45,740
Total	9,395,133	843,869

ところで、表5-3-2にはシンド州政府所有の Sind Sugar Corporation Ltd. のダドゥ(Dadu)工場およびタッタ(Thatta)工場は含まれていない。現地調査の結果、これらの工場のうちダドゥ工場からは年間約2.0~2.5万トンのバガスが入手可能との回答を得ている。従って以上のデータに基づけば、1987-88年生産量ベースでシンド州全体から本計画に供給可能なバガス量は、年間約30万トンと推定できる。(これをケース2とする)

本計画が最終規模の年産30万トンに到達した場合、年間約9.8万トンのバガス(含水率50%)が必要となる。従って上記ケース1、ケース2のいずれの場合でも、各ケースで述べた条件が満たされている限り、本計画を実施するのに十分な量のバガスを確保することが可能である。但し、バガスの生産は前述の如く季節変動が大きいので、本計画においてもこの影響を考慮し、非収穫期直前には豆炭製造に必要なバガス量を操業150日分貯蔵する必要がある。

## (2) バガスの性状

パキスタンでは製糖工場が保有する砂糖キビ粉碎機の機種により、バガスが約2ミリメートル以下に細断される場合と、約5センチメートル程度の長さに切断される場合とがある。本計画ではバガスを屋外に野積み貯蔵するので、風によるロスを考慮して後者を用いる方が適している。但し、その場合には豆炭製造工程にバガスの細断工程を加えねばならない。また、バガスを長期間野積みした場合生化学的分解を受けて一部腐食土化(Humus化)することが考えられるが、繊維はほとんど影響を受けず、原料としての問題はない。

本計画のために現地で採取したバガス・サンプルの分析結果については、第9章 原料試験および評価において詳述する。

## (3) バガスの価格

バガスの価格はその入手可能量に関連して変動する。入手が困難な雨季(7月から9月)では入手が容易な乾季と比べて50~60%程度割高となる。本調査の結果では12.5%の売り上げ税を含んだ製糖工場出荷価格は80-200 Rs/Ton(ウェットベース)であった。

### 5-3-2 麦わら

#### (1) 麦わらの入手可能性

パキスタンは小麦の生産量で世界で10指にはいる大生産国であり、1986-87年には約1,200万トンを生産した。シンド州は同国でパンジャブ州に次ぐ小麦の生産州で、1986-87年には作付面積約100万ヘクタールから約220万トン(国全体の約18%)の小麦を生産した。同州では小麦はほとんど3月から6月にかけて収穫し、麦わらもほとんど同期間に生産する。但し、麦わらは同国で市場性が高いため、年間を通じて収穫期以外でも市場で入手可能である。これは麦わらの流通業者が麦わらを大量に貯蔵する体制を整えているためである。表5-3-3にはパキスタンおよびシンド州の小麦生産実績を示す。

表5-3-3 パキスタンおよびシンド州の  
過去5年間の小麦生産実績

	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	1986-87
Pakistan(Million Ton)	12.41	10.88	11.70	13.92	12.02
Growth Rate(% p.a.)	9.8	-12.3	7.5	19.0	-13.6
Sind Province(Million Ton)	2.07	1.95	2.08	2.17	2.21
Growth Rate(% p.a.)	0.5	-5.8	6.7	4.3	1.8
Share in Total(%)	16.7	17.9	17.8	15.6	18.4

Source : Pakistan Statistical Yearbook 1988  
Statistical Pocket Book of Sind 1988  
Development Statistics of Sind 1986

パキスタンでは通常1トンの小麦に約2トンの麦わらが併産される。従って、シンド州全体の麦わらの生産量は1986-87年で約440万トンと推定される。麦わらは現在全生産量の約41-48%が飼料用、約30-40%が製紙用、約17-20%が燃料用、約2%が活性炭製造用に消費されている。これらのうち燃料用の麦わらの半分、即ち全生産量の10%程度(年間約44万トン)は本計画のために転用可能と考えられる。従って、例えば前項で述べた本計画に必要なバガスと同程度の量(即ち含水率50%として年間約9.8万トン)の麦わらは十分確保可能と考えられる。

## (2) 麦わらの性状

麦わらは市場では細断して販売する。麦わらの性状はバガスの性状にほぼ類似している。但し、麦わらの繊維質の長さや直径の比はバガスのそれよりも大きい。本計画のために現地で採取した麦わらサンプルの分析結果については、第9章 原料試験及び評価において詳述する。

## (3) 麦わらの価格

麦わらの価格もバガス同様その入手可能量に依存して変動する。麦わらは農家から卸し売り業者が買い集め、市場に売り出す。表5-3-4に本調査の結果入手した農家、卸し売り業者、市場の麦わら販売価格を示す。

表5-3-4 販売時点ごとの麦わらの販売価格

Point of Sales	Sales Price(Rupees/Ton)
Farmer	300.00
Wholesaler	800.00 - 900.00
Marketplace	600.00 - 1,100.00

Source : Investment Promotion Bureau

### 5-3-3 綿実油残渣 (コットンシード・オイル・ケーキ)

#### (1) 綿実油残渣の入手可能性

綿花(原綿)はパキスタンにとって非常に重要な農作物である。綿花は紡績工場で約33%の綿(コットン)と、約67%の綿実(コットンシード)に分けられる。分離された綿実は、搾油工場へ送り、ここでコットン・リントー(Cotton Linter)と呼ばれる綿に似た短繊維を最高3回まで取り除いた後、粉碎機で粉碎する。粉碎した綿実からは、圧縮法あるいは溶剤法によって約11~19%の綿実油を抽出し、約81~89%の綿実油残渣(コットンシード・オイル・ケーキ)を副産する。

コットン・リントーはレーヨンや火薬の他タドンあるいは豆炭副原料としても利用できる。しかし、最も安価な3番カットでも120Rs/40kg程度と本計画の対象原料としては高価であるため、本計画のバイオマス原料候補からは除外した。綿実油残渣は現在主として飼料用に利用している。

パキスタンでは1986-87年に約130万トンの綿を生産し、そのうち約22万トン(約16.7%)をシンド州が生産した。綿実油はパキスタンの食生活で最も重要な植物油であり、慢性的に不足しているため輸入している。従って国産綿実のほとんど総てを搾油工場で処理し、シンド州産綿22万トンに対して約36~40万トン(22万トン×67/33×0.81~0.89)の綿実油残渣を同州内で副産したと推定する。従って、このうち麦わら同様10%程度が本計画のために転用可能とすれば、年間3.6~4万トンの綿実油残渣(含水率7.0%~7.5%)が入手可能となる。本計画における豆炭製造に必要な綿実油残渣の量が、バガスと同程度とすれば、年間約5.2~5.3万トンとなり、上記の入手可能量は必要量の約70%となる。綿花はパキスタンでは概ね2月から7月にかけて収穫し、綿実油残渣も同期間に生産する。表5-3-5にはパキスタンおよびシンド州の綿生産実績を示す。

表5-3-5 パキスタンおよびシンド州の綿生産実績

	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	1986-87
Pakistan(Thousand Tons)	823.9	494.6	1,008.7	1,217.0	1,319.9
Growth Rate(% p.a.)	10.1	-40.0	103.9	20.7	8.5
Sind Province(Thousand Tons)	269.5	205.8	251.0	246.5	221.9
Growth Rate(% p.a.)	2.3	-23.6	22.0	-1.8	-10.0
Share in Total(%)	32.7	41.6	24.9	20.3	16.8

Source : Pakistan Statistical Yearbook 1988  
 Statistical Pocket Book of Sind 1988  
 Development Statistics of Sind 1986

(2) 綿実油残査の性状

現地調査時に綿実油残査の含水率が約 7.0～7.5%であることが分かった。現地で採取した綿実油残査サンプルの分析結果については、第9章 原料試験及び評価において詳述する。

(3) 綿実油残査の価格

綿実油残査の工場出荷価格は季節によって変動するが、概ね 2.0-2.5 Rs/kgである。

5-3-4 セメント

(1) セメントの入手可能量

パキスタンのセメント生産量は1986-87年約 650万トンで、シンド州ではそのうちの約46%の約 300万トンを生産した。シンド州で1986-87年現在操業中のセメント工場の設備能力を表5-3-6に示す。シンド州には公共部門6工場、民間部門3工場の計9工場があり、365万トンの生産設備能力を有する。

表 5 - 3 - 6 1986-87年現在シンド州内で  
 操業中のセメント工場の設備能力  
 (Unit:Million tons/year)

Factory	Location	Installed Capacity
(Public Sector)		
Associated	Rohri	0.270
Javedan	Karachi	0.300
Javedan(Expanded)	Karachi	0.300
National	Karachi	0.160
Thatta Cement	Thatta	0.340
Zeal Pak	Hyderabad	1.080
Sub Total		2.450
(Private Sector)		
Dada Bhoy	Kalu Kohar	0.300
Pak Land	Dhabeji	0.300
Attock Cement	Hub Chowki	0.600
Sub Total		1.200
Total		3.650

Source : Investment Promotion Bureau,  
 Ministry of Industries

シンド州のセメント工場全体の平均操業率は約80%である。豆炭製造プラントサイトに近いハイデラバードで操業中の最新鋭Zeal Pak工場では、現在より更に年産約20万トン程度増産可能である。豆炭試製結果に基づき、本計画では石炭の品質が変わらぬ限り、当面セメントを使用しない方針である。しかし仮に使用する場合でも、最大設備能力30万トン/年の豆炭製造に対し、セメントの年間所要量は約3万トン以下である。以上より豆炭製造に必要なセメントの量は上記Zeal Pak工場から十分供給可能である。

(2) セメントの性状

Zeal Pak工場から入手可能なセメントは、典型的なポルトランド・セメントであり性状を表5-3-7に示す。

表5-3-7 Zeal Pak工場産セメント試験結果

(%)			
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO
20-26	4-9	2-5	60-66

Source : Practical Information  
on Cement, Toyokeizai  
Shinposha (Orient Economist)  
Tokyo, Japan

(3) セメントの価格

パキスタンにおけるセメントの供給は1988年7月現在多少過剰気味であり、近い将来価格が上昇する可能性は低い。Zeal Pak社から得たセメント価格の内訳を表5-3-8に示す。ハイデラバード市内の小売り価格は79-80Rs/50kgである。

表5-3-8 セメント価格の内訳

Item	Price or Cost (Rs/50kg Bag)
Ex-plant	75.700*
Octroi	0.275
District Council Tax	0.250
Sub Total	76.225
Transportation Cost	Depending on distance
Sales Margin	N.A.

Note : \* 12.5 % sales tax is included.  
Source : Zeal Pak Cement Factory Ltd.

5-3-5 石灰石/消石灰

(1) 石灰石/消石灰の入手可能性

石灰石または消石灰は豆炭製造の際に硫黄の中和剤として調合する重要な副原料である。石灰石はパキスタンに多量に賦存し、ほとんどセメントの主原料として使用されている。消石灰は石灰石を焼成して得た生石灰に水を反応させて作る。消石灰は一般に建築用資材・土壌中和剤・サラシ粉・製紙・農業などの製造用原料として用いる。パキスタンでは1986-87年に約690万トンの石灰石が生産し、そのうちの約48%に相当する約330万トンをシンド州で生産した。表5-3-9にはパキスタンおよびシンド州の石灰石生産実績を示す。



表5-3-9 パキスタンおよびシンド州の石灰石生産実績

	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	1986-87
Pakistan(Million Tons)	4.23	4.70	4.63	6.31	6.89
Growth Rate(% p.a.)	14.9	11.1	-1.5	36.3	9.2
Sind Province(Million Tons)	2.10	2.29	1.93	2.82	3.31
Growth Rate(% p.a.)	-6.7	9.0	-15.7	46.1	17.4
Share in Total(%)	49.6	48.7	41.7	44.7	48.0

Source : Pakistan Statistical Yearbook 1988

本計画で消石灰ではなく石灰石を使う場合には、ハイデラバードのZeal Pakセメント工場から細粉化した石灰石が入手可能である。但し、Zeal Pak社は公共企業体であり、セメント以外の製品の販売を禁止されているため、事前に政府の認可を取りつける必要がある。

一方、消石灰を使う場合には、ハイデラバード周辺に多数点在する小規模消石灰工場から入手可能である。消石灰の主用途は漆喰用である。製造設備も生産工程も極めて簡単であり、容易に生産量を増加できる。

最大豆炭製造能力の年産30万トンに対し、年間約3.8万トンの石灰石あるいは年間約1.9万トンの消石灰が必要である。Zeal Pakセメント工場はセメント生産能力から推定すると年間約25万トンの石灰石生産余剰能力を有している。一方消石灰工場は総て小企業であり、その数は把握できない。しかしパキスタンでは漆喰材として消石灰の需要が大きいことから、これらが多数存在することは確実である。消石灰製造設備は上記の如く極めて簡単なものなので、需要が増せば消石灰を容易に増産できる。またこの原料となる石灰石の入手も容易である。

以上より本計画における豆炭製造に必要な石灰石あるいは消石灰は十分入手可能と判断する。

## (2) 石灰石/消石灰の性状

石灰石(Limestone)は一般に水圏に溶解している炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )が生物を通して(生物源石灰岩)、あるいは化学的な原因によって沈澱し(化学的石灰岩)堆積したものである。これらの堆積物は更に物理的に破碎され、再堆積したり、変成作用を受けたりすることもある。パキスタンの石灰岩は地質学的に見てほとんど生物源石灰岩である。表5-3-10に現地調査で入手し

た石灰石の化学分析結果を日本の代表的石灰石の化学成分範囲と共に示す。

表5-3-10 石灰石の分析結果と日本の石灰岩の化学成分範囲

(Unit: percent)

Location	CaO	Ig.Loss	CaCO <sub>3</sub>	Moisture
Limestone	51.01	37.37	91.09	2.25
Slaked lime	63.14	19.56	-	10.97
Limestone in Japan*	37.40-55.90	36.82-48.16	~99	N.A.

Source : \* Hand Book of Plaster and Lime, Gihodo Shuppan, Japan

本計画のために現地で採取した石灰石および消石灰サンプル（パウダー状）の試験結果については、第9章 原料試験及び評価において詳述する。

### (3) 石灰石／消石灰の価格

石灰石および消石灰の価格は、これらの入手可能量が十分にあり、また季節的変動がないため、比較的安定している。表5-3-11に1988年7月現在のそれぞれの価格を示す。

表5-3-11 石灰石／消石灰の価格

(As of July, 1988)

	Ex-Plant	Wholesale	Retail
Limestone(Rs/Ton)	65.00	-	70.00
Slaked Lime(Rs/40kg)	25.00	27.00	28.00

## 5-3-6 粗ろう（スラック・ワックス）／軽燃料油

### (1) 粗ろう／軽燃料油の入手可能性

豆炭に耐水性を賦与するため、製造の最終工程で粗ろう（スラック・ワックス）を豆炭にコーティングする。粗ろうはそのままの状態では豆炭に塗付し難いため、これを溶解させた軽燃料油に豆炭を浸漬して塗付する。パキスタンでは粗ろうも精製ワックス（即ちパラフィン・ワックス）もカラチ近郊のNational Refinery Ltd.が潤滑油製造の副産物として生産している。同製油所は、1988年7月現在年間約1万トンの粗ろうを生産しており、更にもう1万トン／年の生産が可能である。但し、粗ろう自体の需要はなく、現在販売していない。同製油所は、粗ろうを計画中（設備容量：130万トン／年）のハイドロクラッカー（水添分解装置：重質留分に水素を添加して軽質留分に変える装置）向け

の原料として利用することを考えているが、同計画は未だ具体的段階に達していない。しかし同製油所の粗ろうを本計画で使用する場合には、上記ハイドロクラッカー計画が実現する場合に備え、粗ろうの入手先を別に検討する必要がある。パキスタン国内には他に粗ろうの製造施設はなく、国外で最も近い他の製造施設はアラビア海沿岸地区の製油所となる。同製油所から粗ろうをパキスタンへ輸入する場合には、CIF カラチで軽油並の価格で入手可能と考える。

本計画で豆炭製造に必要な粗ろうは、重量ベースで豆炭の約 0.4%である。従って、最終段階の豆炭年産30万トン時に、年間約 1,800トンの粗ろうが必要である。この粗ろうの必要量は、上記のNational Refinery Ltd.の粗ろう生産量によって十分確保可能である。なお、同製油所は国営であり、粗ろうの販売には政府の認可が必要であり、また販売可能としても粗ろうは製油所渡しとなるので本プロジェクトの中でプラントまでの輸送を手配する必要がある。

本プロジェクトは、粗ろうの溶剤として軽ディーゼル油を用いる。パキスタンの軽ディーゼル油は、国際的に認められている米国材料試験協会 (ASTM : American Society for Testing and Materials) 規格に合致したものであり、通常パキスタンのどこでも入手可能である。この軽ディーゼル油のパキスタンにおける生産量は、1986-87年では約25万トンであり、このうちの約38%に相当する約 9.6万トンをシンド州の Pakistan State Oil Co. Ltd.の貯油所経由で販売した。本計画における豆炭製造に必要な軽ディーゼル油は、上記の最大豆炭生産規模 (30万トン/年) で年間約13,000トンである。これは、現在シンド州で消費する全軽ディーゼル油の約14%となり、この程度の量であればシンド州内で十分入手可能と判断する。

## (2) 粗ろう／軽燃料油の性状

粗ろうは、潤滑油製造の際の副産物として生産される。現地調査の際 National Refinery Ltd.からは粗ろうの性状を入手できなかったが、同製油所の装置および原油系 (アラビアンライト) から推定すると、表5-3-12に示す範囲の性状を有するはずである。

表5-3-12 粗ろうの主な性状(推定値)

Specific Gravity	0.810 - 0.870
Melting Range(C)	50 - 70
Oil Content(Wt %)	5
Average Molecular Weight	350 - 600

表5-3-13にパキスタンの軽ディーゼル油が満たしているASTMの軽ディーゼル油 (Grade No. 2-D) の規格 (D975-53T の抜粋) を示す。

(3) 粗ろう／軽燃料油の価格

粗ろうは半製品であり、通常大部分は製油所内で燃料等として消費し、通常販売しない。粗ろうの一部は更に精製し、パラフィン・ワックス (即ち精製ろう) として販売する。この事情はNational Refinery Ltd. においても同様である。表5-3-13に、軽ディーゼル油と重量ベース等価とみた粗ろうならびに国内精製ろうおよび輸入精製ろうの価格をそれぞれ示す。

表 5 - 3 - 1 3 軽ディーゼル (Grade No. 2-D) の ASTM 規格 (D975-53T の抜粋)

Grade of Diesel Fuel Oil	Flash Point, °C		Cloud Point °C (°F)		Water and Sediment, vol %		Carbon Residue on, 10% Residuum, %		Distillation Temperatures, °C (°F)		Viscosity		Sulfur, weight %		Copper Strip Corrosion		Cetane Number	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Kinematic, cSt <sup>F</sup> at 40°C		Saybolt, SUS at 100°F															
No. 2-D A distillate fuel oil of lower volatility for engines in industrial and heavy mobile service.	52 (125)	A	0.05	0.35	0.01	282 <sup>B</sup> (540)	338 (640)	1.9	4.1	32.6	40:1	0.50	No. 3	40 <sup>E</sup>				

A It is unrealistic to specify low-temperature properties that will ensure satisfactory operation on a broad basis. Satisfactory operation should be achieved in most cases if the cloud point (or wax appearance point) is specified at 6°C above the tenth percentile minimum ambient temperature for the area in which the fuel will be used. This guidance is of a general nature; some equipment designs, use flow improver additives, fuel properties, and/or operations may allow higher or require lower cloud point fuels. Appropriate low temperature operability properties should be agreed on between the fuel supplier and purchaser for the intended use and expected ambient temperatures.

B When cloud point less than -12°C (10°F) is specified, the minimum viscosity shall be 1.7 cSt (or mm<sup>2</sup>/s) and the 90% point shall be waived.

C In countries outside the U.S.A., other sulfur limits may apply.

D Where cetane number by Method D613 is not available, ASTM Method D 976, Calculated Cetane Index of Distillate Fuels may be used as an approximation. Where there is disagreement, method D613 shall be the referee method.

E Low-atmospheric temperatures as well as engine operation at high altitudes may require use of fuels with higher cetane ratings.

F 1 cSt = 1 mm<sup>2</sup>/s.

Source: American Society for Testing and Materials (ASTM)

表5-3-14 粗ろう、国内精製ろうおよび輸入精製ろうの価格

Type of Wax	Price(Rs/Ton)
Slack Wax	2,690*
Domestic Purified Wax	4,000**
Imported Purified Wax	10,000***

Note : \* This figure is derived from the assumption that the ex-plant price of slack wax is equivalent to that of light diesel fuel oil on a weight basis.

\*\* Ex-plant price

\*\*\* Wholesale price

#### 5-3-7 副原料のまとめ

表5-3-15には石炭および副原料（バガス、麦わら、綿実油残渣、コットンリッター、石灰石、セメント、軽燃料油、粗ろう）の価格、入手可能性等をまとめて示す。適切な副原料の選択については、試験結果や価格を勘案しなければならない。バイオマス原料については、主として経済的観点からバガスを選択した。バガスは季節によって入手可能量が変動するので十分な在庫を準備する必要がある。

表 5-3-15 石炭および副原料の入手可能性および価格のまとめ

Material	Ex-Plant Price	Wholesale Price		Retail Price	Yield	Available Season	Estimated Availability in Sind Province	Location of Source
		300 Rs/Ton* (25-30 wt % Moisture)	Depending on Distance					
Coal						All seasons	Appr. 4.9 Million Tons (Remaining Recoverable Reserves in Lease No. 88/192)	Lekhra Coal Mine
Bagasse	80-200 Rs/Ton (50 wt % Moisture)	-	-	-	0.30 Bagasse Ton/Sugarcane Ton (3.3 Bagasse Ton/Sugar Ton)	October - June (Growing Season : July-September)	570 Thousand Tons/Year (Case 1) 300 Thousand Tons/Year (Case 2)	Several Sugar Mills in Sind Province
Wheat Straw	300 Rs/Ton	800-900 Rs/Ton	600-1,100 Rs/Ton (in Markets)	2.0-2.5 Wheat Straw Ton/Wheat Ton		All Seasons (Harvest Season: March-June)	440 Thousand Tons/Year	Hyderabad
Cottonseed Oil Cake	2.0-2.5 Rs/kg (7.0-7.5 wt % Moisture)	-	-	-	0.30 Oil Cake Ton/Cotton Bale (1.7 Oil Cake Ton/Cotton Ton)	February to July	36-40 Thousand Tons/Year	Several Cottonseed Oil Mills in Sind Province
Cotton Linter								
-1st Cut	200 Rs/40kg	-	-	-				
-2nd Cut	150-180 Rs/40kg	-	-	-				
-3rd Cut	120 Rs/40kg	-	-	-				
Limestone	65 Rs/Ton	-	70 Rs/Ton					
Slaked Lime	25 Rs/40kg	27 Rs/40kg	28 Rs/40kg					
Cement	75.7 Rs/50kg (including 12.5% Sales Tax)	77-78 Rs/50kg	79-80 Rs/kg (including Octroi, District Council Tax and transportation Case)					
Light Diesel Oil	2.26 Rs/Liter	2.34 Rs/Liter	2.8 Rs/50kg					
Slack Wax	4,000 Rs/Ton (Domestic Purified Wax)	10,000 Rs/Ton (Imported Purified Wax)						
	2,690 Rs/Ton**							

Note: \* This is a special ex-mine price especially for this project, the general ex-mine average price is 332 Rs/Ton from July, 1988 to June, 1989.  
 \*\* Slack wax is not sold by National Refinery Ltd., therefore, this figure is derived from the assumption that the ex-refinery price of slack wax is equivalent to that of light diesel fuel Oil on a weight basis.







## 第6章 インフラストラクチャー、ユーティリティーおよび原料輸送

### 6-1 パキスタン国におけるインフラストラクチャー

#### 6-1-1 運輸

パキスタン国内の運輸はカラチからラホール、イスラマバードを通りペシャワールに至るルート、およびこれとクエッタを結ぶルートが最も重要である。国内の輸送は、表6-1-1に示す通り、人員輸送、貨物輸送ともに道路に大きく依存する。道路、鉄道および航空輸送実績の推移から、この傾向は今後も続くと考えられる。以下に道路及び鉄道の概況を示す。

表6-1-1 国内運輸概要 (1984-85)

	Total Volume of Transport	Road %	Railway %	Aircraft %
Passenger (Million passenger-km)	109,200	81.9	16.6	1.5
Freight (Million ton-km)	32,900	73.3	26.7	0.1

Source: Ministry of Information and Broadcasting

#### (1) 道路

パキスタンの道路網はパンジャブ地方を中心に発達しており、国内を南北に縦断しカラチに至る道路と、西部地域のクエッタを結ぶ道路が幹線道路である(図6-1-1)。主要道路の総延長は59,630kmで、その60%が舗装道路である。未舗装道路とは土または砂利の道路を意味する。大都市の幹線道路は比較的整備されているが、郊外の道路は殆ど往復2車線であり、急激な交通量の増大に伴い、多額の道路補修費が必要となってきた。また、低開発地域の道路建設および既存道路の改善は、国内経済および社会情勢におよぼす影響が大きい。政府の重要な施策の一つである。表6-1-2に示すように、舗装道路の建設距離は着実に増加している。近年には、カラコラムハイウェイが建設され、パキスタンの北部からカラチまで結ばれた。

自動車の登録台数は、表6-1-3に示す通り、年約10%の割合で増加しており、道路輸送割合の増加を示す。

表 6 - 1 - 2 道路建設距離

Year	Paved	Unpaved	Total
1977	22,705	13,763	36,468
1978	23,561	13,718	37,279
1979	24,568	13,837	38,405
1980	24,750	15,393	40,143
1981	25,733	16,802	42,535
1982	28,098	16,571	44,669
1983	29,812	17,036	46,848
1984	32,636	16,821	49,457
1985	34,431	18,589	53,020
1986	36,467	23,163	59,630

Source: Statistical Yearbook 1988

表 6 - 1 - 3 車輛登錄台數

(As on 30th June of the year)

(Unit: number)

Year	Motor Car, Jeep & wagon	Motor cab/ taxi	Buses	Trucks	Motor cycle 2wheel	Others	Total
1977	216,224	18,817	42,404	57,802	294,679	113,476	743,402
1978	252,063	21,267	44,501	61,903	358,265	138,105	876,104
1979	280,472	23,156	47,618	66,494	428,546	169,251	1,015,537
1980	262,636	18,951	50,001	58,654	508,335	211,179	1,109,756
1981	282,572	19,571	51,245	59,553	548,242	262,670	1,189,592
1982	304,449	20,715	51,710	63,021	636,196	262,866	1,338,957
1983	339,543	22,889	53,749	66,966	709,213	292,792	1,485,152
1984	382,729	23,176	58,596	70,338	790,004	334,829	1,659,672
1985	428,257	24,720	62,074	75,655	879,108	370,939	1,840,753
1986	474,744	25,419	73,518	81,019	946,861	417,574	2,019,135

Source: Pakistan Statistical Yearbook 1988

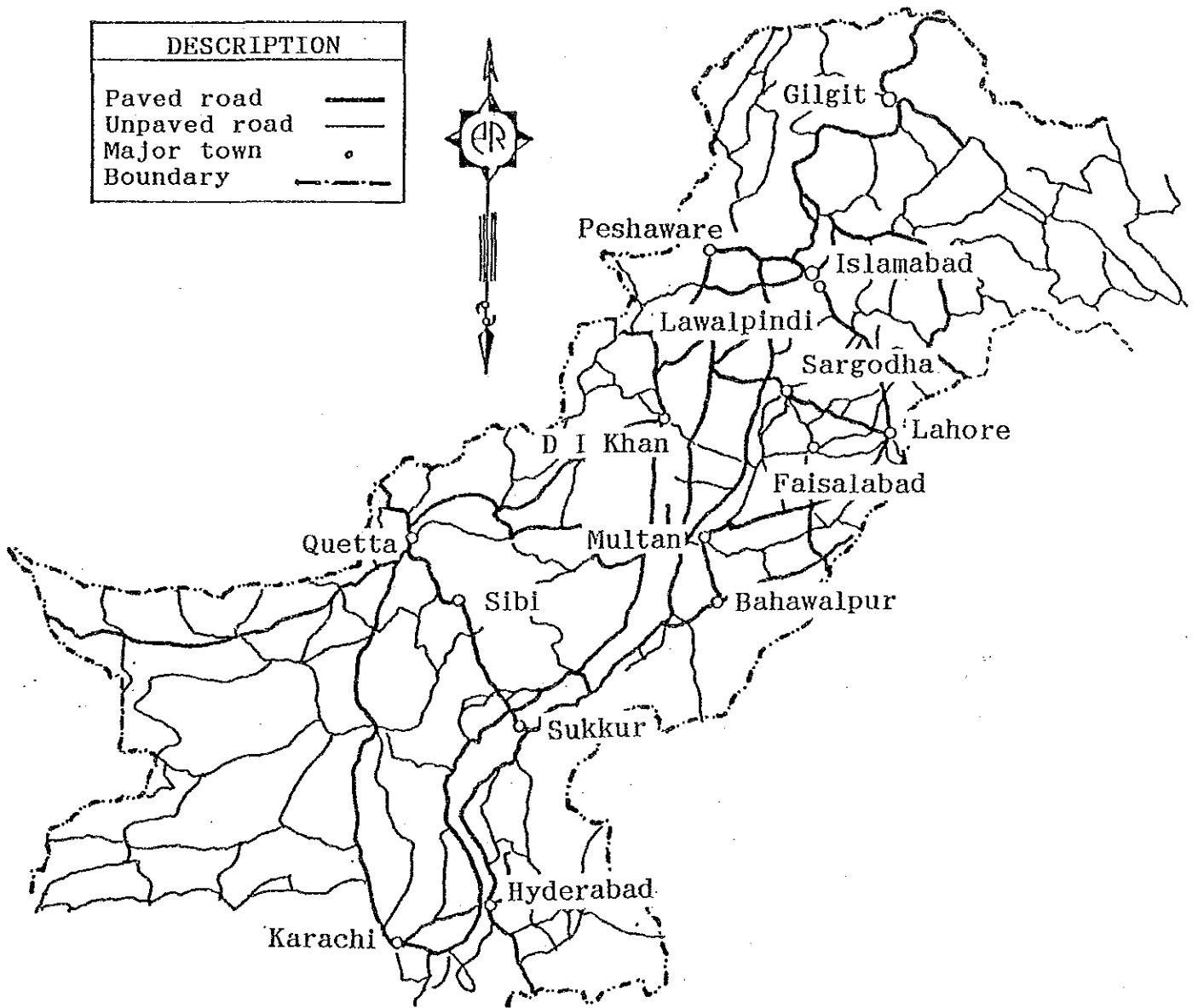


図6-1-1 パキスタンの道路網

## (2) 鉄 道

パキスタンの鉄道は総て国営で、鉄道省 (Ministry of Railways) の管轄下に、7 の Operation Division と1つの Workshop Divisionにより運営される。鉄道網は北東部のパンジャブ州で発達しており、この地域を中心にカラチとクエッタと結んでいる (図6-1-2)。鉄道の主要施設の現況は、路線距離 8,775km、駅 (Station) 数 875、停車場 (train halt) 数 106である。幹線ルートは、アフガニスタンとの国境地域、カイバル峠から南部のカラチ港までパンジャブ州およびシンド州を縦断する。バルチスタン州のクエッタを通過する支線は、アフガニスタンの国境部、チャマンと結ぶものと、イラン鉄道と結ぶものがある。レールの軌間ゲージはBroad Gauge, Meter GaugeおよびNarrow Gauge の3種が使われており、現在はBroad Gauge が主流である。

ディーゼル機関車は、燃料不足対策として1952年に導入されて以来、蒸気機関車を代替してきた。また、燃料の輸入による外貨流出を防ぐため、1970年に鉄道の電化が始まり、1987年迄に、ラホールを起点として 1,037kmが電化された。現在、蒸気機関車数 201,ディーゼル機関車数 547,電気機関車数29が使用されている。

1986-87年における鉄道収入は約47億ルピーであり、その60%が貨物輸送による。表6-1-4に示す通り、この10年間に鉄道網の増設はほとんどない。また、所有貨車数、運搬貨物トン数は共に減少している。道路、航空による輸送量は伸びており、貨物の鉄道輸送の占める割合は低下している。

表6-1-4 パキスタン鉄道の営業実績

Year	Facilities			Passenger carried			Goods carried	
	Route- km	Locomotive Passenger coach	Goods wagon	Number (thousand)	Man-km (million)	Ton	Ton-km	
1975-76	8,811	1,024	36,938	147,317	12,957	15,313	9,097	
1976-77	8,815	978	36,720	142,561	13,199	14,368	7,857	
1977-78	8,815	978	36,406	149,000	15,375	13,344	8,557	
1978-79	8,815	978	36,276	145,998	16,713	11,958	9,375	
1979-80	8,817	1,003	36,235	143,674	17,316	11,853	8,598	
1980-81	8,817	960	36,248	123,002	16,387	11,371	7,918	
1981-82	8,817	963	36,213	119,710	16,502	11,446	7,067	
1982-83	8,775	979	35,990	122,710	18,031	11,836	7,323	
1983-84	8,775	943	35,782	107,111	18,287	10,753	7,385	
1984-85	8,775	916	35,341	94,701	17,806	10,520	7,203	
1985-86	8,775	879	35,237	82,928	16,850	11,958	8,270	
1986-87	8,775	837	34,868	78,141	16,920	11,958	7,820	

Source Year Book of Information 1986-87  
Pakistan Railways

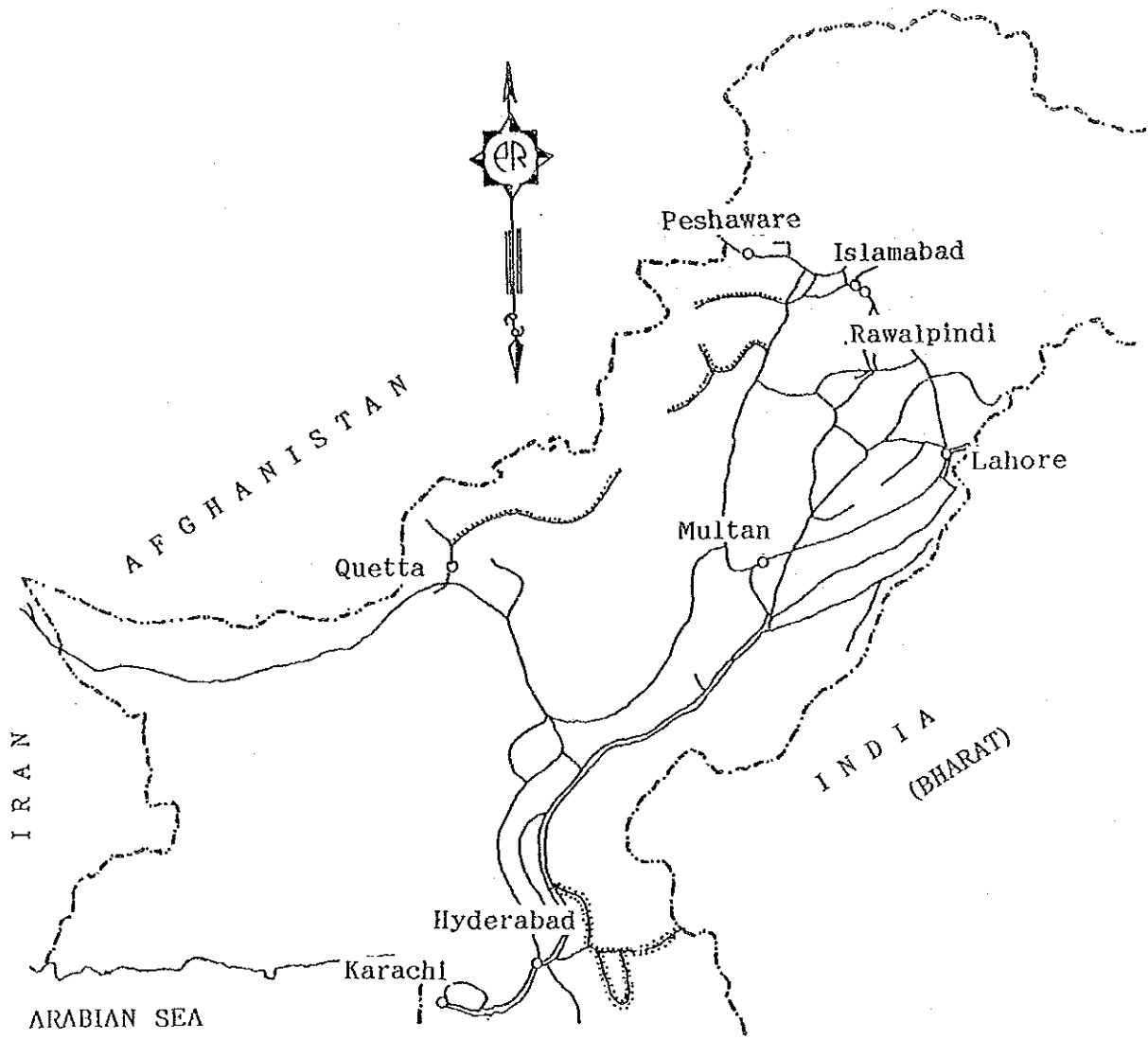


図6-1-2 パキスタンの鉄道網

## 6-1-2 通信

### (1) 電信・電話・テレックス

電信・電話は Pakistan Telegram and Telephone (T&T) Departmentが運営する。1986年には電話交換機台数 1,000台、電話回線 約53万回線、人口 100人当りの普及台数 0.51台であった。電話普及率は南アジア諸国では平均的である。T&T Departmentは電話機器を生産し、電話施設の増設と改善に努めている。大都市での通話は機能しているが、市外通話の状況は良くない。国内の電報局数は 420あり、年間約300万回の電報を扱う。テレックス網は、7,180台の交換器、5,219台の端末器を有する。

国際通信の大部分は衛星通信による。

### (2) ラジオ・テレビ

ラジオ放送は Pakistan Broadcasting Corporation がウルドゥ語、25の部族語および英語ニュースを放送する。約 700万台の受信機があり、人口の95%、国土の75が放送圏に入り、パキスタン最大のマスメディアである。テレビは Pakistan Television (PTV)が年間約 3,000時間放映する。受信機数は約 100万台である。

## 6-1-3 電力

発電及び電力の供給は、全国規模の Water and Power Development Authority (WAPDA) と Karachi Electricity Supply Corporation (KESC) が行う。発電容量と最大電力消費量を表6-1-5 および6-1-6に示す。火力発電と水力発電の割合は、約半々であるが、特にWAPDA の発電システムは水力発電を主とするため、乾季には供給不足となる。また、消費電力、消費者数共に増加しており、各地で発電所の建設、送配電線の設置が急がれている。送電線は 500kv, 220kv, 132kvおよび66kv、配電線には 33kv, 11kvおよび 0.4kvが使用されている。

1985-86年の実績では、国民一人当たりの電力消費量は、209kwhである。工業用 39.2%、家庭用29.1%、農業用14.7%および商業用 7.6%である。工業用電力消費が1/3以上を占めるが、近年、家庭用電力消費が、順調に増加している。

都市部の電化は比較的進んでいる。しかし、国民の大多数が住む村落部の電化が優先されてきた。その結果、1986年までに56%の村落が電化された。



表 6 - 1 - 5 電力状況の推移

Period	Installed Capacity (MW)	Maximum Demand (MW)	Electricity Generation (MM.Kwh)	Units Consumed (MM.Kwh)
1981-82	4,210.0	3,926.0	18,161.2	12,952.2
1982-83	4,965.0	4,524.5	20,291.0	14,432.2
1983-84	5,220.0	4,797.3	22,491.9	16,140.0
1984-85	5,779.0	4,942.2	23,671.4	18,158.2
1985-86	6,389.0	5,888.3	26,454.7	20,107.1

Source Census of Electricity Undertaking 1985-86  
Federal Bureau of Statistics, Statistics Division

表 6 - 1 - 6 タイプ別発電量

(1985-86)

Description	Total	Thermal	Hydel	Nuclear
Installed Capacity				
(MW)	6,389.0	3,355.0	2,897.0	137.0
(%)	100.0	52.5	45.3	2.2
Electricity Generation				
(Mn.kWh)	26,454.7	12,220.8	13,804.0	429.9
(%)	100.0	46.2	52.2	1.6

Source Census of Electricity Undertaking 1985-86  
Federal Bureau of Statistics, Division

表 6-1-7 送配電線設置距離の推移

(Unit:km)

Period	500 kv	220 kv	132 kv	66 kv	33 kv	11 kv	0.4 kv
1982-83	849	1,328	8,607	7,283	2,106	87,442	46,296
1983-84	1,287	1,341	9,140	7,261	-	93,942	56,612
1984-85	1,287	1,741	9,602	7,482	-	100,848	60,264
1985-86	1,614	1,712	10,790	7,862	2,106	107,146	96,018

Source Census of Electricity Undertaking 1985-86

Federal Bureau of Statistics, Statistics Division

## 6-2 プロジェクト・サイト周辺のインフラストラクチャーおよびユーティリティー

### 6-2-1 敷地概要

建設予定地のラクラ炭鉱地区は、ハイデラバードの北西に位置し、南北に約50km、東西に約25kmの広がりを持つ地区である。この地区は高度海拔 168m (550フィート) で、ほぼ平坦な砂漠または土漠状の地形をなす。PMDCはこの地区の北西に 60km<sup>2</sup>ほぼ中央に 5km<sup>2</sup>の鉱区を有する (図6-2-1)。

プラント建設予定地は中央に位置する鉱区(Central Block)の中部で、カラチまで約200km、ハイデラバードまで約80kmの距離にある。この地区は、ほとんどが未利用地であり、本計画に必要な用地は十分に確保できる。

### 6-2-2 電力

#### (1) 電力供給の現況

図6-2-2に示す位置に電圧11kv、最大負荷2,000kwの配電線が架設済みである。調査時には通電されていなかったが、PMDCは既にWAPDAに所要料金を支払い済みであり、当計画への受電は可能である。電線に沿った地区にはPMDC以外に電気の利用者はいない。建設予定地周辺では下記の発電所建設が計画されており、将来の豆炭増産計画に対する電力の供給には支障はない。

表6-2-1 サイト周辺の発電所建設計画

On-going Schemes	Capacity	Location
Oil-fired Power Station	250 MW	Jamshoro
Oil-fired Power Station	2 x 220 MW	Jamshoro
New/Planned Schemes		
Coal-fired (FBC)	3 x 50 Mw	Lakhra
Coal-fired, I	250 MW	Lakhra
Coal-fired, II	250 MW	Lakhra

(2) 受電施設新設の必要性

本計画への電力供給は、建設予定地から既存の配電線まで、新たに電線を約450メートル引き受電する。しかし、豆炭生産量が100,000トン/年のケースでは、必要電力が2,400kWであり、既設送電線の供給容量を越えるため、別の送電線の建設もしくは自家発電装置が必要である。両者の建設コストの比較から、送電線の建設を計画する。電源は50km離れたジャムショロの変圧所である。

表6-2-2 追加受電設備コスト

(1) Construction of New Electric Transmission

	(Unit: Rupee)
Transformer	207,000
Distribution switch	59,000
Overhead high tension line (50 km)	Rs 95,000/km 4,750,000
<hr/>	
Total	5,016,000

(2) Self-generation System

Electric generator (diesel) 1,200kW	8,290,000
Generator house	240,000
<hr/>	
Total	8,530,000

(3) 電気料金

当計画が必要な電力量及び電気料金を下記に示す。電気料金は、1986年7月1日から有効の電力料金を基準とする。

表6-2-3 使用電気量と電気料金

Production of Coal Briquettes (Ton/Year)	Installed Capacity (kW)	Consumption (1,000kWh)	Electricity Charge		
			Fixed	Consumption	Total
			(Rs.1,000/year)		
50,000	1,200	6,048	1,296	2,722	4,018
75,000	1,800	9,072	1,944	4,082	6,026
100,000	2,400	12,096	2,592	5,443	8,035
150,000	3,600	18,144	3,888	8,165	12,053
175,000	4,200	21,168	4,536	9,526	14,062
200,000	4,800	24,192	5,184	10,886	16,070
300,000	7,200	36,288	8,294	14,878	23,172

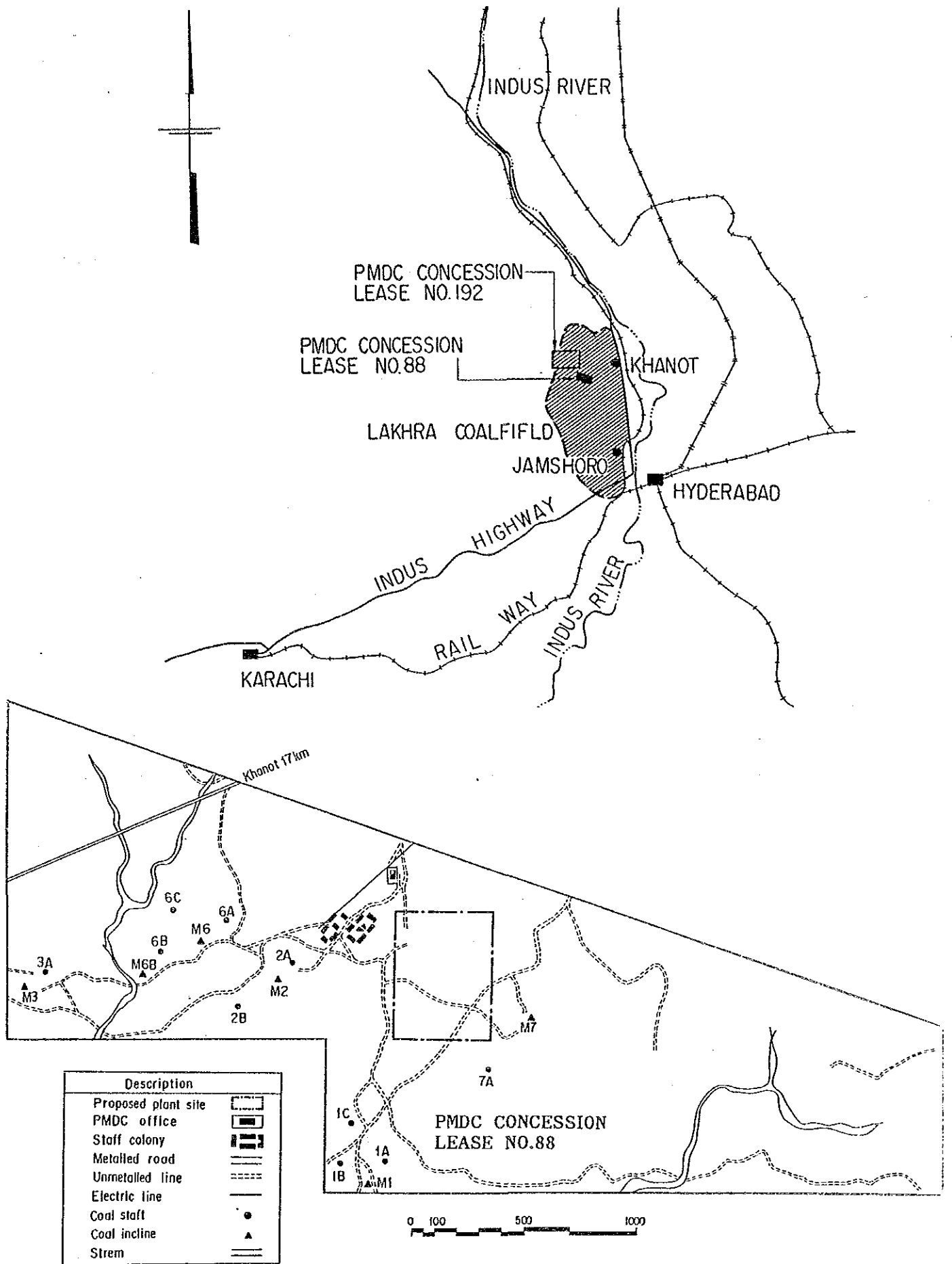


図 6 - 2 - 1 建設予定地周辺概要図

### 6-2-3 給排水

#### (1) 給排水施設の現況

ラクラ地区には上下水道の施設はない。この地区は取水場所であるインダス川より 130m 高く、給水にはポンプによる揚水が必要である。また炭坑の稼働状況およびボーリング調査の結果から、地下水量は少なく塩分を含み、不適當である。

PMDCのラクラ炭坑には、洗炭施設はなく、生活用水のみを約20km離れたインダス川からタンク車によって運搬している。タンク車の容量は 2,000共同ガロン(約 9,000リットル)である。また、現在WAPDA が計画中の火力発電所への石炭供給が承認された場合、PMDCは、インダス川よりラクラ炭坑まで水道管を付設する計画を持っている。

排水はNational Building Codeに規制される。ラクラ周辺には排水施設は存在しないが、当豆炭生産工場では工場汚水を排出せず、一般の簡易浄化槽および浸透ますによる排水方式で充分である。

#### (2) 本計画への給水方法

本豆炭生産工程及び洗炭に用いる工業用水は極めて少量であり、タンク車による給水で十分賄える。生活用水は、事務所および宿舎での飲料水、シャワーおよび手洗い用として使用する。生活用水の使用量を作業員1人当たり 100ℓ/日とし、水の必要供給量を表6-2-4の通り求める。消火用水の貯水タンクは生活用水と兼用する。

表6-2-4 水の必要量

Production Capacity of Coal Briquette (ton/year)	Living Water (ton/day)	Coal Washing (ton/day)	Total (ton/day)
50,000	6	42	48
75,000	8	63	71
100,000	20	83	103
150,000	27	125	152
200,000	34	167	201
250,000	44	210	254
300,000	51	250	301

### (3) 運搬費用

水の運搬システムには(1) PMDCがタンク車を所有する方法(2) 委託による運搬が考えられる。前者による費用の算定条件を以下に示す。

#### (a) タンク車および人件費

運搬容量

購入代金 560,000 ルピー

償却期間 5 年

運転手人件費 14,400 ルピー/年

#### (b) 諸経費合計 96,880 ルピー/年

メンテナンス費用 56,000 ルピー/年

金利負担 (年利 14.6%) 40,880 ルピー/年

#### (c) 燃料代

ディーゼル燃料単価 2.34 ルピー/リッター

リッター当たり走行距離 5 km

#### (d) 運搬条件

運搬距離 40 km

所要運搬時間 2 時間

1 日当たり運搬回数 4 回

年間運搬日数 300 日

タンク車 1 台当たりの水の年間運搬費用および運搬量は以下となる。

#### 運搬費用 (単位: ルピー)

トラック償却費 112,000

運転手 14,400

諸経費 96,880

燃料代 22,464

合計 245,744 ルピー

#### 運搬量

9 トン/回 × 4 回/日 × 300 日 = 10,800 トン

タンク車 1 台にて、年間 10,800 トンの水を運搬でき、1 トン当たりの輸送費用は 22.8 ルピーである。一方、輸送会社に委託した場合は輸送費用が、38.9 ルピーから 44.4 ルピーである。従って、自己車輛による運搬がより経済的である。



## 6-2-4 道路

### (1) 既存道路の現況

プラント建設予定地は、西20kmに平行して走るパキスタン鉄道とインダス・ハイウェイにより、全国各地と結ばれる。鉄道の最寄り駅はカノト駅である(図6-2-1)。

インダス・ハイウェイは片側1車線一部分2車線の幹線道路で、交通量はそれほど多くない。ガードレール、側溝等の施設はないが、カラチとカノト間のメンテナンス状態は良好である。土盛りの状態も良く、雨季における冠水の心配もない。

カノトとラクラ間の距離は17kmであり、道路は片側1車線の舗装道路で、ラクラ炭の運搬車両が主で交通量は少ない。乾季の通行には支障がなく、雨季についても通常の雨量では問題がない。

ラクラ炭鉱地区内では、アスファルトの舗装道路はなく土を転圧しただけの道路である。炭鉱地区内の川には橋は掛かっている。川は雨季の一時期を除き、干上がるために、石炭運搬用トラックの通行には支障がない。川に水がある時は迂回して石炭を運搬している。維持管理は採炭業者が行っており、道路管理の状態は必ずしも良くないが、現在トラックによる石炭の運搬が行われており本計画への石炭の供給についても支障がないと判断される。

### (2) 既存道路の改善の必要性

本計画に必要な輸送は、プラント建設資材の搬入、原料及び製品の輸送である。建設資機材の搬入は、カラチ、その他の都市から、前節で述べた舗装道路を通り搬入できる。以下に、豆炭生産に関わる原料と製品の運搬道路、およびプラント敷地内の構内道路について検討する。

インダス・ハイウェイ、およびプラントまでの舗装道路を、製品豆炭および副原料の輸送に用いる。交通量の増加は、豆炭生産量 300,000トン/年において、最大 175台/日である。現地の交通量および道路の構造は明確ではないが、地方道路1車線当りの交通量は一般に 4,000台/日を設計基準としている。製品および副原料の輸送による交通量の増加はこの基準に対し 4.4%であり、交通に与える影響は少なく、道路の改善は必要ない。

ラクラ炭鉱地区内の未舗装道路上の交通量は、最大 160台/日増加する。同様に現在の交通に与える影響は少ない。現在も各炭坑からトラックにより石炭

が運搬されており、特に、本計画のための道路の新設、または既存道路の改善の必要はない。プラント敷地から舗装道路および構内道路には簡易舗装をほどこす。

表 6 - 2 - 5 豆炭および原料に必要な輸送量と運搬車輛台数

Description	Required Volume		Required number of vehicle	
	Initial Ton/day	Mature Ton/day	Initial Number/day	Mature Number/day
Coal briquettes	167	1,000	17	100
Bagasse	106	650	11	65
Slaked lime	10	61	1	6
Slack wax	1	6	-	-
Light oil	10	44	1	4
		Sub-total	30	175
Lakhra Coal	205	1,227	21	160

Note:

Initial: Production of coal briquettes is 50,000 tons/year.

Mature: Production of coal briquettes is 300,000 tons/year.

#### 6 - 2 - 5 通信

PMDCのラクラ炭鉱には、電信・電話の設備はなく、事務連絡はハイデラバードの事務所を通じて行っている。今後、ラクラ炭鉱の開発、ラクラに計画中の火力発電所の建設等、周辺の状態の変化に伴い、電話線の新設が予想される。本計画では、無線電話施設を設置し、ハイデラバードのPMDC事務所との連絡に使用する。無線電話の設置は、政府の許可を要するが、PMDCが申請すれば、直ちに許可されることを確認した。無線施設のコストは下記の通りである。

表 6 - 2 - 6 無線電話設置コスト

Installation cost	Rs.300,000
Fixed charge	Rs.30/month
Local call charge	Rs.0.7/call (only in Hyderabad)

## 6-2-6 宿泊施設

ラクラ地区には炭坑労働者のコロニーがある。それ以外は、ラクラ地区は元より、最寄り駅のカノト周辺にもほとんど住民はいない。地区には宿泊施設はなく、80km離れたハイデラバード、ハラが最寄の住居地区である。以上の環境から当計画に必要な人員のための宿泊施設の建設が必要となる。宿泊施設の概要を、以下の通り定める。

### 宿泊施設概要

#### (1) 豆炭生産量 5万トン/年

ドミトリー(A)

居室数：3

(プラント・マネージャー、技術者、分析員)

ドミトリー(B)

居室数：2

(職長、在庫管理3人、組長5人、交代作業員14人、常勤作業員5人、  
雑用係1人、運転手1人、警備員)

バラック (下請け作業員用)

居室数：1

トイレおよびシャワー室(別棟)

#### (2) 豆炭生産量 10万トン/年

ドミトリー(A)

居室数：3

(プラント・マネージャー、技術者、分析員)

ドミトリー(B)

居室数：2

(職長、在庫管理3人、組長9人、交代作業員27人、常勤作業員10人、  
雑用係1人、運転手1人、警備員)

バラック (下請け作業員用)

居室数：1

トイレおよびシャワー室(別棟)

### 6-3 原料の輸送

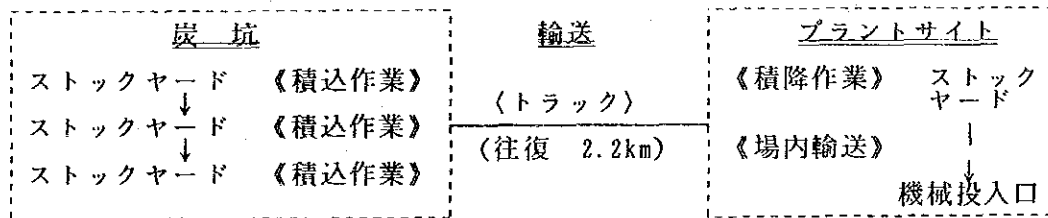
豆炭の原料は、次の5種である。

- (1) 石炭
- (2) バガス
- (3) 消石灰
- (4) 粗製ワックス (スラック ワックス)
- (5) 軽油

原料の輸送は、(1) 生産地からプラント・サイト (2) プラントのストックヤードから機械投入口 (場内運搬) に分類できる。以下に述べる理由により、各原料の生産地からの輸送はトラック輸送が最適であるとの結論を得た。

#### 6-3-1 石炭

石炭は、周辺のPMDCのラクラ炭坑から供給する。プラント周辺には16のたて坑および斜坑がある。各坑道の石炭算出量は1日当たり平均約190トンである。一方表6-3-1に示すように、原料炭は1日約271トン以上必要である。



各坑道の増産計画は現時点では明確でなく、豆炭原料用炭の採取坑道の特定はできない。また、1坑道で必要量を確保することは困難である。従ってトラックは下記のように坑道数ヶ所をまわる。石炭は、各坑道のストックヤードに野積みされており、輸送システムは上記のように設定できる。各ストックヤードからプラントまでの距離は、約0.6kmから2.2kmで、その距離の総合計は17.8kmであり、これを坑道数16で割り平均距離は1.1kmである。往復2.2kmにストックヤード間の距離0.8kmを加えて、1回の輸送距離を3kmとする。また、炭坑のストックヤードには、積み込み施設はなく、各ストックヤードに積み込み機械を配置することは経済的でない。このため、石炭の積み込みには人力を用い、使用するトラックは、積載荷重を10トンとする。トラック1台の輸送概要は次のように設定できる。

### 石炭の輸送概要

トラック積載荷重	A: 10トン
走行スピード	Vd: 30km/時間
走行距離	D: 3km
走行時間	6分
積み込み作業員数	M1: 10人
積み込み作業スピード	V1: 1.5トン/時間・人
積み込み所要時間	40分
積み降ろし作業員数	Mu: 5人
積み降ろし作業スピード	Vu: 3.0トン/時間・人
積み降ろし所要時間	40分

運搬1サイクルの所要時間C<sub>m</sub>は次のように表せる。

$$C_m = \frac{D}{V_d} + \frac{A}{M1 \times V1} + \frac{A}{M_u \times V_u} \quad (\text{時間})$$

所要時間C<sub>m</sub>は約1.5時間となり、1日の運搬時間を9時間とすると、1日当たりの運搬回数は6回である。以上より、必要な運搬回数、車輛台数を下記のごとく求める。

表6-3-1 石炭の必要運搬回数および車輛台数

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required volume of coal (ton/day)	271	406	541	812	1,082	1,353	1,623
Times of Transport(time/day)	27	41	54	81	108	135	160
Number of Truck (number/day)	5	7	9	14	18	23	27
Note	Operation days of the plant						300 days
	Blending ratio ton/ton product (wet base)						1.250
	Fuel consumption, ton/ton product (wet base)						0.373

### 6-3-2 バガス

バガスを調達する製糖工場は、プラントから約80km離れたハイデラバード周辺に点在する。輸送手段はトラックとする。トラック1台当たりの輸送概要を次に示す。

#### バガスの輸送概要

トラック積載荷重	A:	10トン (50m <sup>3</sup> )
走行スピード	Vd:	50km/時間
走行距離(往復)	D:	160km
走行時間(往復)		200分
積み込み作業員数	M1:	10人
積み込み作業スピード	V1:	1.5トン/時間・人
積み込み所要時間		40分
積み降ろし作業員数	Mu:	5人
積み降ろし作業スピード	Vu:	3トン/時間・人
積み降ろし所要時間		40分

同様に、所要時間は約4.5時間であり、1日当たり平均2回の運搬が可能である。必要な車輛台数を下記のごとく求める。

表6-3-2 バガスの必要運搬回数および車輛台数

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required Volume of Bagasse (ton/day)	108	163	217	325	379	542	650
Times of Transport(time/day)	11	16	22	33	43	54	65
Number of Truck (number/day)	6	8	11	17	22	27	33
Note	Operation days of the plant						300 days
	Period of collection						150 days
	Blending ratio, ton/ton product (wet base)						0.325

### 6-3-3 消石灰

第5章 豆炭原料で述べた通り、消石灰はハイデラバードの周辺に点在する小規模消石灰工場から入手する。消石灰は、商品として販売されており、各工場には積み込み施設があるか、または作業員が準備されている。輸送手段はトラックとする。輸送概要を下記に示す。

トラック積載荷重	A:	10トン
走行スピード	Vd:	50km/時間
走行距離(往復)	D:	160km
走行時間(往復)		200分
積み込み所要時間		30分
積み降ろし作業員数	Mu:	5人
積み降ろし作業スピード	Vu:	5トン/時間・人
積み降ろし所要時間		15分

運搬所要時間は4時間で、1日2回の運搬が可能である。必要な車輛台数を下記のとおり求める。

表6-3-3 消石灰の必要運搬回数および車輛台数

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required Volume of Slaked lime (ton/day)	10	16	21	31	42	53	63
Times of Transport(time/day)	1	2	2	3	4	5	6
Number of Truck (number/day)	1	1	1	2	2	3	3
Note	Operation days of the plant			300 days			
	Blending ratio, ton/ton product			0.063			

#### 6-3-4 粗ろう (スラック ワックス)

粗製ワックスは、カラチの国営企業のNational Refinery Ltd.より入手する。輸送手段としては、鉄道と道路が考えられる。鉄道輸送の場合、トラックへの積み替え作業が生じ、必要であり運搬距離も短かく、経済的ではない。従って、輸送にはトラックまたはタンクローリー車を使用する。輸送概要を下記に示す。

走行スピード	Vd: 50km/時間
走行距離 (往復)	D: 400km
走行時間 (往復)	480分

粗製ワックスは、カラチから1台当たり1回/日の運搬が可能である。使用量が少なく、運搬回数は次のとおり。

表6-3-4 粗ろうの必要運搬回数

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required Volume of Slack wax (ton/day)	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Times of Transport(time/day)	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Note	Operation days of the plant						300 days
	Blending ratio, ton/ton product Slack wax					0.006	

#### 6-3-5 軽油

軽油は、建設予定地周辺およびカラチのPakistan State Oil, Ltd. (PSO)の貯油所から必要量を入手できる。運搬は、委託することとなり、車両を保有する必要はない。必要量および運搬回数は次のとおり。



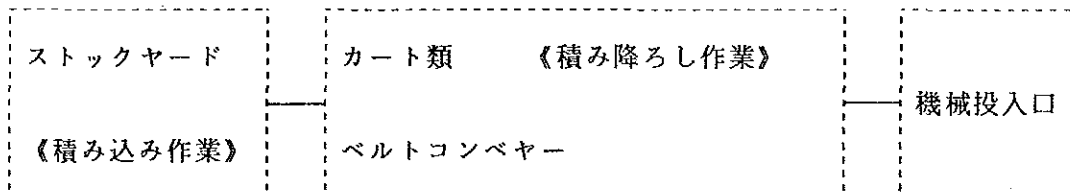
表 6 - 3 - 5 軽油の必要運搬回数

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required Volume of Light fuel oil (ton/day)	7	11	15	22	29	37	44
Times of Transport(time/day)	1	1	2	2	3	4	5

Note Operation days of the plant 300 days  
Blending ratio, ton/ton product Light Fuel Oil 0.044

6 - 3 - 6 原料の場内運搬

場内運搬システムを以下のごとく計画する。豆炭工場での石炭貯蔵量は10日分、バガスは非収穫期直前には 150日分のストックを必要とする。従って、パキスタンの現状を考慮し、手押し車類あるいはロバを利用した荷車による運搬が効率的である。



消石灰は、サイロに貯蔵し、スクルー・コンベヤーにより機械に投入する。粗製ワックスおよび軽油は、ストックヤードの近くに加熱コイル付きタンクを設置し、軽油と混合した液状のものをパイプによって供給する。粗ろうおよび軽油は場内運搬を必要としない。場内運搬の概要を表 6 - 3 - 6 のように設定し、以下に石炭およびバガスの場内運搬について検討する。

表 6 - 3 - 6 場内運搬条件

Description	Unit	(1)Coal	(2)Bagasse
Loading	ton/hour/man	1.5	3.0
Carriage	ton/hour/man	3.0	1.0
Distance	km	1.0	1.5
Speed	km/hour	4.0	4.0
Times of trip	times/hour	3.0	2.0
Weight carried	ton/trip	1.0	0.5
Operation			
Working hour	hour	24	24
Shift	shift	3	3

(1) 石 炭

石炭の場内運搬に必要な作業員を、表 6 - 3 - 7 に示すごとく求める。

表 6 - 3 - 7 石炭の場内輸送概要

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required volume of coal (ton/day)	271	406	541	812	1,082	1,353	1,623
Workers for Loading(man/day)	24	30	45	69	81	114	135
Carrier (man/day)	12	18	24	36	45	57	69

(2) バガス

バガスの場内運搬に必要な作業員数を、表 6 - 3 - 8 に示すごとく求める。

表 6 - 3 - 8 バガスの場内運搬作業員

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required volume of Bagasse (ton/day)	108	163	217	325	433	542	650
Workers for Loading(man/day)	6	9	9	15	18	24	27
Carrier (man/day)	15	21	27	42	54	69	81

#### 6-4 輸送費用

各原料の輸送費用の構成を、表6-4-1に示す。

表6-4-1 原料別の輸送費用構成

	Loading	Unloading	Transport	Site Transport
Coal	*	*	*	*
Bagasse	*	*	*	*
Slaked lime			*	
Slacks wax			*	
Light fuel oil			*	

#### 6-4-1 輸送費用の算定条件

豆炭原料の輸送には、(1)トラックはPMDCが所有し、作業は外注作業員による方法(2)全て運送会社に委託する方法(3)PMDCの直営による方法がある。(3)のケースは、必要とする作業員の数が多く、それらを全て直接雇用することは、現実的でない。従って本調査では、ケース(1)およびケース(2)による各原料の輸送コストを比較検討する。輸送費用の算定条件は、次の通りとし、1988年を基準とする。

##### ケース(1)：自己車輛および外注作業員方式

###### 人件費

人夫 1,000 rupee/month

運転手 1,200 rupee/month

10トントラック 525,000 rupee/unit

償却期間 5 year

燃料代 (ディーゼル) 2.34 rupee/liter

リッター当たり走行距離 5 km

諸経費合計 90,825 rupee/year/unit

メンテナンス費用 52,500 rupee/year/unit

金利負担 (年利 14.6%) 38,325 rupee/year/unit

##### ケース(2)：委託方式

###### 人件費

人夫 40 rupee/day

積み込み費用 10 rupee/ton

積み降ろし費用 10 rupee/ton

### 純運搬費用

石炭	炭坑～プラント・サイト	10 rupee/ton
バガス	バダイン～プラント・サイト	120 rupee/ton
ワックス	カラチ～プラント・サイト	183 rupee/ton
軽油	ハイデラバード～プラント・サイト	82 rupee/ton
その他	ハイデラバード～プラント・サイト	50 rupee/ton

委託方式の費用には、固定費、変動費等運送業者の諸経費を含む。

### 6-4-2 石炭の輸送費用

炭坑からプラント・サイトまでの石炭の年間輸送費用および輸送量は以下にまとめる。

#### ケース（1）

積載重量10トン積みトラック1台当たりの輸送費用

積み込み費用	Rs.1,000 × 10人 × 12カ月	= Rs.120,000
積み降ろし費用	Rs.1,000 × 5人 × 12カ月	= Rs. 60,000
車輛償却費	Rs.525,000 ÷ 5年	= Rs.105,000
運転手	Rs.1,200 × 1人 × 12カ月	= Rs. 14,400
諸経費		= Rs. 90,825
燃料代	Rs.2.34 × 3km ÷ 5km/1 × 1,800 trip/year	= Rs. 2,527
合計		Rs.392,752

トラックの年間輸送量を以下に示す、従って、石炭の輸送費は1トン当たり21.8ルピーである。

$$10 \text{ トン/回} \times 6 \text{ 回/日} \times 300 \text{ 日} = 18,000 \text{ トン/年}$$

#### ケース（2）

積み込み費用	10 rupee/ton
積み降ろし費用	10 rupee/ton
純運搬費	10 rupee/ton
合計	30 rupee/ton

両者の輸送費用を比較し、石炭の輸送は、自己車輛と契約作業員を用いて輸送するケース（1）とする。

### 6-4-3 バガスの輸送費用

製糖工場（バテイン）からプラント・サイト迄のバガスの輸送費用は、以下により求める。

#### ケース（1）

積載重量10トン積みトラック1台当たりの輸送費用

積み込み費用	Rs. 1,000 × 10人 × 5か月	= Rs. 50,000
積み降ろし費用	Rs. 1,000 × 5人 × 5か月	= Rs. 25,000
車輛償却費	Rs. 525,000 ÷ 5年	= Rs. 105,000
運転手	Rs. 1,200 × 1人 × 5か月	= Rs. 6,000
諸経費		= Rs. 90,825
燃料代	Rs. 2.34 × 160km ÷ 5km/l × 300 trip/year	= Rs. 22,464
	合計	Rs. 299,289

トラックの年間輸送量を以下に示す。従って、バガス1トン当たりの輸送費は99.8である。

$$10 \text{ トン/回} \times 2 \text{ 回/日} \times 150 \text{ 日} = 3,000 \text{ トン/年}$$

ケース（2）による運搬費用は、以下となる。

#### ケース（2）

積み込み費用	10 rupee/ton
積み降ろし費用	10 rupee/ton
純運搬費	120 rupee/ton
合計	140 rupee/ton

両者の運搬費用を比較して、バガスの運搬はケース（1）の方式とする。

#### 6-4-4 消石灰の輸送費用

消石灰の運搬には、積み込み、積み降ろし費用および場内運搬は必要とせず、輸送費用は以下のように算定できる。

積載重量10トン積みトラック1台当たりの輸送費用および年間総輸送量

車輛償却費	$Rs. 525,000 \div 5年$	= Rs. 105,000
運転手	$Rs. 1,200 \times 1人 \times 12カ月$	= Rs. 14,400
諸経費		= Rs. 90,825
燃料代	$Rs. 2.34 \times 160km \div 5km/l \times 600 \text{ trip/year}$	= Rs. 44,928
	合計	Rs. 255,153
輸送量	$10 \text{ トン/回} \times 2 \text{ 回/日} \times 300 \text{ 日}$	= Rs. 6,000 トン/年

以上より、ケース（1）の場合、消石灰の輸送費用は1トン当たり44.4ルピーである。一方、ケース（2）委託した場合は、1トン当たり70ルピーである。両者の費用を比較し、輸送はケース（1）を採用する。

#### 6-4-5 粗ろうの輸送費用

粗製ワックスおよび軽油の運搬には、積み込み、積み降ろし費用および場内運搬は不要である。粗ろうの必要量は少量であり、（表6-3-5）、車輛を保有する直営方式は経済的ではない。従って、粗ろうの輸送は委託方式とし、輸送コストは、1トン当たり183ルピーとなる。

#### 6-4-6 軽油の輸送費用

軽油は、ハイデラバード周辺の専用の車輛によって運搬されることから、PMDCが輸送の為の車輛を保有する必要はない。委託による運搬費用は1トン当たり82ルピーである。

#### 6-4-7 原料の場内運搬費用

石炭およびバガスの1トン当たりに必要な人員を表6-4-2及び表6-4-3に示す。平均すると、石炭1トン当たり0.134人、バガス1トン当たり0.178人の作業員を必要とする。場内運搬は、単純作業で、多人数の労働者を必要とすることから、ケース(2)の委託業務とする。作業員1人の人件費を40ルピーとすると、輸送費の比較は以下となる。

	ケース(1)	ケース(2)
石炭 (ルピー/トン)	5.36	5
バガス (ルピー/トン)	7.12	10

表6-4-2 石炭の場内運搬

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required volume (ton/day)	271	406	541	812	1,082	1,353	1,623
Required workers (man/day)	36	48	69	105	126	171	204
(man/ton)	0.133	0.118	0.128	0.129	0.116	0.126	0.126

表6-4-3 バガスの場内運搬

	Annual Production of Coal Briquettes (thousand ton/year)						
	50	75	100	150	200	250	300
Required volume (ton/day)	108	163	217	325	433	542	638
Required workers (man/day)	21	30	36	57	72	93	108
(man/ton)	0.194	0.184	0.166	0.175	0.166	0.172	0.169

6-4-8 原料の輸送方式の提案と輸送費用

原料の輸送方式および輸送費用をまとめると以下になる。

表6-4-4 原料の輸送方式

	Transportation(1)		Transportation(2)	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
Coal	*			*
Bagasse	*			*
Slaked lime	*		nil	nil
Slack wax		*	nil	nil
Light fuel oil		*	nil	nil

Note Transportation(1):Transportation from production place to the site

Transportation(2):Site transportation

表6-4-5 原料の輸送費用

(Unit:rupee/ton)

	Transportation(1)	Transportation(2)	Total
Coal	21.8	5.0	26.8
Bagasse	99.8	10.0	109.8
Slaked lime	42.5	nil	42.5
Slack wax	183.0	nil	183.0
Light fuel oil	82.0	nil	82.0

Note:

Cost(1) Transportation from production place to the site

Cost(2) Site transportation





## 第7章 プラント立地の検討

### 7-1 プラント建設候補地の概要

プラントの建設候補地は、シンド州の州都である。ハイデラバードの北西約80kmに位置するラクラ炭鉱地区が選ばれている。この炭鉱地区は、南北に50km、東西に25kmの広がりを持つ。PMDCはこの地区の北西にリース番号192、ほぼ中央にリース番号88の2つの鉱区を有し、PMDCの石炭総生産量の37%に当たる年間約10万トンの採炭を行っている。このラクラ炭の新たな需要を計るために、本計画の豆炭製造プラントは図7-1-1に示すようにリース番号88の鉱区内に建設を計画された。

### 7-2 敷地の選定条件

一般にプラントの敷地の選定にあたっては、原材料の調達、労務条件、製品市場への接近性、周辺のインフラストラクチャーの整備状況、および自然環境等を考慮し決定される。したがって本計画における豆炭製造プラントの建設予定地の検討にあたっては、次の項目について評価を行う。

- (1) プラントの生産規模と敷地面積
- (2) 原料の経済的な輸送範囲内での入手状況
- (3) 労働力の調達状況（質および量）
- (4) 製品および原料の輸送手段
- (5) 電力、用水、通信施設等の調達状況
- (6) 降雨、風、洪水等の自然状況
- (7) 敷地の地質、地形、用地造成の難局性
- (8) 環境問題

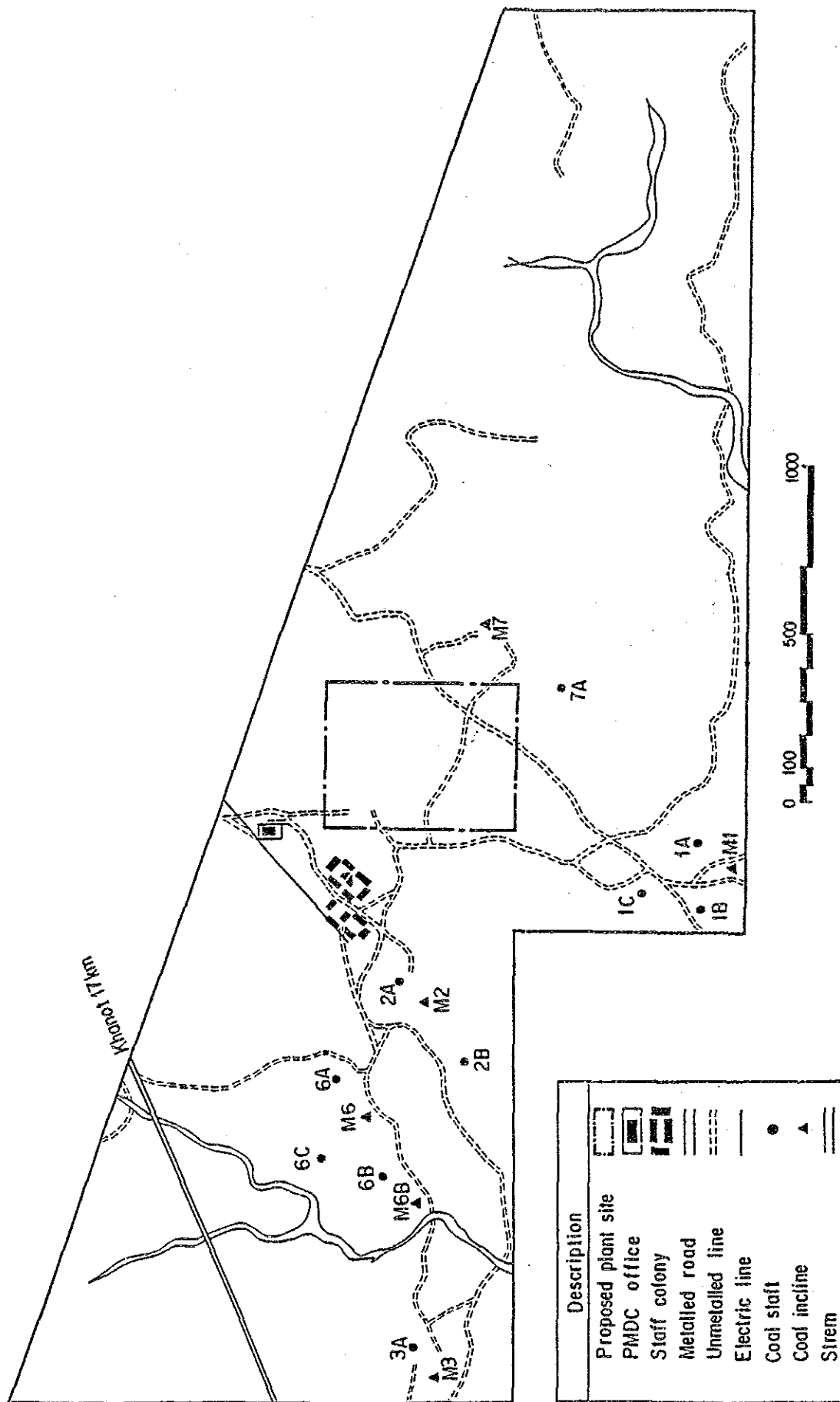


図 7-1-1 建設予定地配置図

### 7-3 建設予定地の評価

現地調査および、前述の敷地選定条件を検討した結果図7-1-1に示す位置をプラント敷地として選定する。以下に選定理由を述べる。

#### 7-3-1 プラント規模と敷地面積

プラントの敷地面積は、生産規模、製造施設、原料および製品のストックヤードの面積等プラントの生産規模によって決定する。本計画では、プラント運転開始時の生産量を5万トン2ケースと10万トンの1ケースについて検討する。全ケースいずれも需要の増加に伴い、段階的に規模の拡張を行い、最終生産量を30万トンとする。この拡張計画に伴い、工場施設およびストックヤードの増設を行う。以上より、プラント面積は、生産開始当初 20,000m<sup>2</sup>、最終的には、200,000m<sup>2</sup>を必要とする。建設予定地はほとんど未利用の広い平原であり、十分な敷地面積を確保できる。

#### 7-3-2 原料の入手状況

建設予定地は、主原料の石炭の供給先であるPMDCの炭坑地区に隣接している。この地区の石炭埋蔵量は、5億トンと推定されることから、短距離の輸送で十分な必要量を確保できる。バガスでは、シンド州に点在する製糖工場から入手可能であり、年間生産量は500,000トンと推定される。本計画に必要とするバガスの量は最大96,000トンである。消石灰はプラントサイトおよびハイデラバード周辺の石灰工場から必要量を入手可能である。粗製ワックスは約200Km離れたカラチの National Refinerly Ltd. から入手できるが、年間必要量は最大1,800トンで極めて少量である。経由は、プラントサイトもしくはハイデラバード周辺のPakiatan State Oil Co., Ltd. の貯油所から入手可能である。以上より石炭およびバガスの主原料は、経済的な輸送距離で供給可能であり、その他の消石灰、粗製ワックスおよび、軽油についても入手可能である。

### 7-3-3 労務調達

パキスタンの労働人口は、総人口の約30%にすぎず、そのうち約90%ちかくが初等教育終了程度である。失業率については、正確な数値が明かでないが、雇用労働人口の20~30%と推定される。近年工業基盤の拡張でこの数値は低くなると考えられるが、いずれにしても労働需要は低水準が続くと考えられる。建設予定地周辺のラクラ地区には、住民はほとんどど住んでいないため、労働力の調達はできない。しかし、本プロジェクトに必要な労働力は200人程度であり、単純作業であることから、地元業者によって近隣のハイデラバードやカラチから調達可能である。

### 7-3-4 輸送手段

製品および石炭を除く原料は既存の舗装道路およびインダスハイウェイを利用しトラック輸送が可能である。舗装状態は良好で、交通量も多くない。石炭の輸送は、炭鉱内の未舗装の道路を利用するが、輸送距離は短く、トラックでの輸送は可能である。

### 7-3-5 電力、水および電信施設

建設予定地周辺には、電力、給水および電話の施設はない。図7-1-1に示される位置に11KV、2,000KWの容量の電線が架設されているが、送電はされていない。本計画の開始時には、受電が可能となるためプラントサイトから既存電線までの送電線敷地を計画する。また、豆炭生産量100,000トン場合には、必要電力が2,400KWとなり既存電線の容量を越えるため、新たな送電線を敷設する必要がある。工業用水および生活用水はインダス川よりタンク車によって供給する。電話線は建設予定地区には敷設されていないため、PMDCのハイデラバード間に無線電話設備を設置する。

### 7-3-6 自然環境

建設予定地周辺の気象条件を表7-3-1に示す。乾季の平均気温は24.2℃から34.1℃、雨季の湿度は25%から34%である。この地域は乾燥しており、1915年には年間降水は1.01インチ(26mm)であった。記録上の年間最大降水量は1913年の21.13インチ(537mm)である。24時間以内の最大降水量は7.50インチ(191mm)であり、1929年に記録された。インド洋で発生したサイクロンがまれにこの地を襲うことがあるが、本豆炭製造工程はこれらの気象条件の影響を受けない。まれに短期間に100mmを越す大雨に襲われるが、建設予定地は高地にあり、災害をこうもむることはない。

### 7-3-7 地質性状および用地造成

石炭の埋蔵量の調査のために実施した、地質調査報告書によると、建設予定地周辺地区には、層厚約15メートルの上部Ranikot 地層の砂混じりの土に覆われた、平坦な砂漠地帯であり、石灰岩や石灰の露頭が点在している。地表より深度 130メートル以内に水位は観測されない。目視による地耐力は10トン/m<sup>2</sup> である。以上より、建設予定地の地質性状は特に問題となる点はなく、用地造成作業も困難ではない。

### 7-3-8 環境問題

本計画においては、石炭のプラント敷地内での貯蔵量は10日分、バガスは非収穫期直前には 150日分のストックを計画している。従ってこれ等の原料の貯蔵は野積みとし、広い面積を必要とする。ラクラ石炭は自然発火し易く、亜硫酸ガスを発生して燃焼することから貯蔵場所は、住居地域から離れていることが望ましい。建設予定地周辺には一般住民が住んでいないが、運転員及び請負業者の宿泊は本地域に建設する。自然発火が発生した場合は、燃焼中の石炭に砂をかけて埋め、運転員、請負業者に被害がおよばないようにする。

表 7-3-1 (1) 気象データ

Normals of maximum and minimum temperature

Height of ground (top of S.S.) a.m.s.l. = 93 ft. (28 m)

LAT 25° 23' N LONG. 68° 25' E

MONTH.	MAXIMUM TEMPERATURE (°F)										MINIMUM TEMPERATURE (°F)										Mean daily Range of Temperature (X-R)
	Mean					Extremes					Mean					Extremes					
	Daily Max.	Monthly		Highest recorded		Lowest recorded		Daily Min.	Monthly		Highest recorded		Lowest recorded		Mean Temp. (X+R)/2						
		High-est Max.	Low-est Max.	Date Year	Val-ue	Date Year	Val-ue		Date Year	High-est Min.	Low-est Min.	Date Year	Val-ue	Date Year		Val-ue					
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
JAN.	75.6	85.7	64.7	93	18/32	95	20/02	55	9/57	50.1	57.9	42.4	62	29/49	34	14/35	30	31/29	62.9	25.5	
FEB.	883.1	94.0	70.0	103	27/43	103	26/28	54	2/40	55.1	63.9	46.0	69	16/54	37	2/51	36	1/29	69.1	28.0	
MAR.	993.5	103.8	81.7	116	28/49	112	25/92	70	11/60	63.9	72.3	52.2	78	28/31	46	5/45	41	2/98	78.7	29.6	
APR.	103.0	111.2	92.4	115	18/49	118	26/86	78	7/57	71.9	78.4	63.7	82	22/52	57	3/42	53	31/03	87.5	31.1	
MAY.	108.1	16.2	99.9	121	25/32	121	25/32	94	10/55	78.7	83.2	73.3	89	25/43	67	2/53	62	2/16	93.4	29.4	
JUNE.	105.0	113.8	96.3	122	9/41	122	14/00	87	27/34	82.3	88.0	77.9	89	22/53	72	1/53	68	26/02	93.7	22.7	
JULY.	99.5	108.0	90.8	114	23/51	113	4/31	83	31/46	81.5	85.1	77.0	88	1/60	74	7/53	71	6/10	90.5	18.0	
AUG.	97.0	103.9	80.9	111	20/58	110	3/00	82	8/56	79.7	82.9	76.5	88	7/54	73	8/44	71	2/84	88.3	17.3	
SEPT.	98.3	106.8	91.6	111	29/51	111	21/39	82	12/59	77.2	81.9	73.2	89	22/48	70	30/50	64	29/23	87.7	21.1	
OCT.	98.7	105.8	91.1	113	11/41	110	16/25	80	2/56	70.7	77.4	62.9	84	3/58	52	31/49	55	31/89	84.7	28.0	
NOV.	98.0	98.5	79.5	104	2/42	102	1/40	69	29/38	61.1	68.6	53.5	74	5/39	42	29/38	42	29/38	75.5	23.9	
DEC.	79.5	89.1	75.0	95	2/53	92	2/35	64	31/37	53.2	61.0	45.5	69	9/41	37	23/45	38	27/03	66.3	26.3	
YEAR	94.3	117.0	63.3	122	9th June 1941	122	14th June 1940	54	2nd Feb. 1940	68.8	86.7	41.3	89	May & June & Sept.	34	14th Jan. 1935	30	31st Jan. 1929	81.5	25.5	
No. of Years	30	30	30	30	60	60	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

\* Alther

表 7-3-1 (2) 気象データ

Normals of pressure, temperature, humidity and vapour pressure for 00, 03 and 12 GMT  
(based on data 1931-60)

MONTH.	LAT 25° 23' N LONG. 68° 25' E												Height of bar. cistern a.m.s.l. = 98 ft. (30 m)											
	PRESSURE (Hrs.)			TEMPERATURE (°F)									RELATIVE HUMIDITY (PERCENT)			VAPOUR PRESSURE (mbars.)								
	STATION LEVEL			REDUCED MEAN SEA LEVEL			DRY BULB			WET BULB			DEW POINT			RELATIVE HUMIDITY (PERCENT)			VAPOUR PRESSURE (mbars.)					
	00	03	12	00	03	12	00	03	12	00	03	12	00	03	12	00	03	12	00	03	12			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
JAN.	1012.3	1014.5	1011.1	1016.0	1018.2	1014.6	53.7	53.3	72.8	43.6	47.1	56.0	42.3	40.8	40.6	66	62	31	9.2	8.7	8.6			
FEB.	1009.7	1011.7	1008.9	1013.3	1015.3	1012.3	53.0	53.7	81.1	52.0	52.1	63.1	45.1	45.7	42.0	64	62	25	10.7	10.4	9.0			
MAR.	1006.2	1008.6	1003.6	1009.7	1012.1	1009.0	67.1	69.4	90.5	59.9	60.0	65.0	53.3	53.4	46.0	63	46	22	14.4	13.9	10.7			
APR.	1003.3	1004.5	1001.8	1006.7	1007.9	1005.1	73.2	79.0	99.5	65.3	67.7	70.0	59.1	61.5	53.0	13	55	21	18.0	18.3	13.6			
MAY.	998.4	1000.1	996.9	1001.8	1003.3	1000.3	79.5	85.5	103.7	72.7	75.4	75.5	68.4	71.5	63.4	70	63	27	24.5	26.3	19.8			
JUNE.	994.0	995.4	992.5	997.4	998.8	995.8	82.9	87.1	101.0	77.8	78.8	73.8	75.5	75.0	70.0	78	68	40	30.3	29.9	27.0			
JULY.	993.3	994.2	991.9	995.8	997.6	995.2	82.4	85.1	95.2	77.3	78.4	80.2	75.5	78.5	73.4	79	74	50	30.5	30.8	28.3			
AUG.	994.9	996.4	994.2	998.9	999.8	997.5	80.5	82.9	93.0	75.7	76.6	79.4	73.6	74.0	73.5	79	75	54	26.3	28.9	28.7			
SEPT.	999.5	1001.1	998.8	1002.9	1004.5	1002.1	78.0	81.1	93.9	74.0	74.6	77.1	72.0	72.0	69.9	81	74	46	27.0	27.0	25.8			
OCT.	1005.3	1007.3	1004.8	1008.8	1011.0	1008.1	72.2	76.0	94.3	66.3	67.9	70.1	62.4	63.0	57.6	71	64	29	19.4	19.8	16.5			
NOV.	1010.2	1011.9	1009.3	1013.8	1015.6	1012.7	63.5	65.8	85.3	57.5	57.3	63.5	52.1	50.0	48.6	67	57	28	13.5	12.2	11.7			
DEC.	1012.5	1014.4	1011.7	1016.1	1018.1	1015.2	56.4	56.6	75.8	51.8	50.3	58.8	45.9	45.5	43.8	68	62	33	10.7	9.9	9.9			
YEAR	1003.3	1005.0	1002.3	1006.8	1008.5	1005.7	70.6	73.4	90.5	64.9	65.5	69.6	60.4	60.9	56.8	71	64	34	19.7	19.7	17.5			
No. of Years	10	30	28	10	30	26	10	30	28	10	30	28	10	30	28	10	30	28	10	30	28			

Station, Hyderabad (Estab. 1877)



表 7-3-1 (3) 気象データ

Normals of cloud, wind speed and precipitation

LAT 25° 23' N		LONG 68° 25' E												Height of anemome above ground - 23 ft. (9 m)													
MONTH	WIND SPEED (knots)		CLOUD AMOUNT (OKtas)						PRECIPITATION (Inches)																		
	past 24 hrs.		ALL Clouds.		Low Clouds.		Mean monthly total.		Mean No. of rainy		Wettest		Driest		Total in month / year												
	00	03	00	03	00	03	00-12	12-03	03-03	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
JAN.	3.0	2.5	3.7	3.2	0.7	2.0	1.8	0.1	0.5	0.4	0.12	0.09	0.16	0.5	1.18	1945	1.53	1883	0.00	-	0.00	-	0.70	5/45	0.93	10/87	
FEB.	2.2	2.2	3.4	3.1	0.4	1.6	1.6	0.0	0.3	0.2	0.01	0.07	0.19	0.4	1.38	1944	2.17	1906	0.00	-	0.00	-	1.30	23/44	1.49	2/88	
MAR.	2.3	2.4	3.9	4.9	0.5	1.6	1.7	0.1	0.1	0.2	0.05	0.00	0.04	0.2	0.48	1950	3.53	1911	0.00	-	0.00	-	0.24	23/39	2.36	16/11	
APR.	3.0	3.4	5.7	4.9	0.6	1.2	1.6	0.0	0.0	0.3	0.08	0.01	0.06	0.2	0.67	1957	0.71	1930	0.00	-	0.00	-	0.67	7/57	0.71	1/30	
MAY.	5.2	5.7	7.6	7.7	0.5	0.7	0.8	0.1	0.2	0.3	0.20	0.11	0.16	0.4	1.10	1952	2.22	1889	0.00	-	0.00	-	0.55	20/57	2.14	26/89	
JUNE.	8.1	8.3	9.3	10.2	1.3	2.0	1.1	0.3	0.8	0.4	0.01	0.42	0.26	0.4	1.87	1934	3.57	1902	0.00	-	0.00	-	1.51	12/38	1.93	24/96	
JULY.	7.7	7.7	8.5	9.4	3.5	4.0	3.3	1.1	1.4	1.5	0.10	1.68	2.68	3.5	10.77	1956	15.81	1908	0.00	-	0.00	-	4.31	25/56	7.50	28/29	
AUG.	6.7	6.7	7.8	9.2	3.0	3.6	2.8	1.1	1.4	1.0	0.54	1.21	1.72	2.2	10.89	1944	10.13	1893	0.00	-	0.00	-	4.86	3/44	5.08	1/21	
SEPT.	5.9	5.4	7.4	7.7	1.2	1.7	1.4	0.5	0.5	0.5	0.50	0.91	0.80	1.0	7.58	1959	8.77	1924	0.00	-	0.00	-	3.07	6/59	6.19	2/24	
OCT.	1.9	2.4	3.8	3.8	0.3	0.5	0.5	0.1	0.1	0.2	0.15	0.06	0.11	0.2	1.83	1955	0.95	1937	0.00	-	0.00	-	1.35	2/56	0.95	18/37	
NOV.	1.8	1.8	2.7	2.5	0.5	1.0	0.9	0.1	0.2	0.1	0.03	0.08	0.04	0.1	0.54	1959	1.90	1890	0.00	-	0.00	-	0.54	5/59	1.00	27/90	
DEC.	2.8	2.6	3.0	2.9	0.8	1.6	1.2	0.0	0.3	0.1	0.07	0.09	0.10	0.2	1.04	1953	0.88	1929	0.00	-	0.00	-	1.04	31/53	0.82	19/29	
YEAR.	4.2	4.3	5.6	5.7	1.1	1.8	1.6	0.3	0.5	0.9	2.89	4.52	6.09	9.3	28.73	1956	21.13	1913	1.26	1939	1.01	1915	4.66	3rd	7.50	28th	
No. of Years	10	19	19	30	10	30	28	10	19	19	10	10	30	30	60	60	30	30	60	60	60	60	60	30	1944	60	1929

Station : Hyderabad (Estab: 1877)





## 第8章 プロジェクトスキーム

### 8-1 プロジェクトスキーム設定

本計画調査の概念設計、財務経済評価、総合評価と進むためには、本プロジェクトを定義する必要がある。即ち、本プロジェクトの規模、すなわち年間生産量、立地、主原料副原料の調達方法と品質、原料と製品の価格等を定める必要がある。本計画調査では、これらプロジェクトの定義を総称して、プロジェクトスキームと称する。

本計画調査は、事業団の事前調査段階では、プロジェクトスキームの詳細な定義はなされず、本格調査段階において、現地調査の結果、カウンターパートの意向、国内作業の結果、その他の必要事項を広く勘案し、決定することとなっている。従って、本計画調査では、現地調査の段階で、暫定的にプロジェクトスキームを定め、国内作業の結果によっては変更もあり得るとの条件つきで、PMDCと合意した。本計画調査では、これを暫定プロジェクトスキームと称するが、その内容は、次節8-2「暫定プロジェクトスキームの内容」で説明する。次いで、8-3「決定プロジェクトスキーム」にて最終的に定めたプロジェクトスキームと、そこへ至った根拠をを説明する。

### 8-2 暫定プロジェクトスキームの内容

この節では、第2次現地調査の最終段階でPMDCと合意した暫定プロジェクトスキームを説明する。

#### 8-2-1 初期能力

2ケース検討する。即ち、50,000トン/年で稼働するケース及び100,000トン/年で稼働するケースの2ケースである。需要の増大に伴って能力の拡張を行う。プラント稼働の時期及び能力拡張の時期は、主として市場調査の結果による。市場調査は第一次調査として既に実施済みであるが、生産コストを反映して改定する。

#### 8-2-2 プラントサイト

プラントサイトはラクラ炭鉱を縦断する幹線道路沿いで、現在採掘中のシャフトに至る枝線の分岐点とする。この地域は、平坦で広い未利用用地がある。副原料のバイオマスを大量に野積み貯蔵せねばならず、また、将来の拡張用地も必要である。初期

プラント用地として20,000㎡、隣接地に将来の拡張用地として、200,000㎡ 必要である。

### 8-2-3 原料

原料として下記を検討する。

ラクラ石炭  
バガス  
麦藁  
綿実油残渣  
石灰石  
消石灰  
セメント  
ワックス  
軽油

上記原料副原料は総てラクラ周辺で入手可能である。ワックスは例外でカラチ付近のNATIONAL REFINERYにて入手可能である。豆炭の試製試験、燃焼試験、技術経済的判断によって、上記原料副原料の調合率を決定する。

### 8-2-4 プロセススキーム

次頁に示すプロセススキームを暫定的に提案した。複雑で分かり難くなるのを避けるため、敢えて詳細を省いて示す。

石炭の前処理の必要性の有無は、石炭サンプルの洗炭試験結果による。原料石炭とバイオマスを乾燥し、粉砕して篩分けする。粉砕不十分で篩の上に残ったサイズの大きいものは粉砕工程に戻す。乾燥機及び粉砕機は石炭とバイオマスの各々に適したものをを用いる。暫定的に石炭にはロータリーキルン式の乾燥機を、バイオマスにはフラッシュ式乾燥機を考える。

プロセスの中に粉砕済み原料のサージタンクを置いて作業の変動を吸収する。サージタンクの容量は一日分とし、軽度な補修工事に伴う運転休止やその他の運転上の変動を吸収する。

サージタンクより一定速度で各種原料を抜き出しミキサーに入れる。抜き出し速度の調節は回転速度可調節式のスクリーコンベアを用いる。消石灰ともし必要であればセメントをこの段階で加える。ミキサーにはパドルミキサーを用いる。この段階で均一な原料の混合物が得られ、成型の準備が完了する。



使用する成型機の心臓部は2本の回転ロールで、両ロール表面には豆炭の半分に相当する窪みがあり、2本の回転ロールの間に原料粉体を供給し、ロールの回転に伴って原料を窪みに巻き込み、両ロール間に約50トンの力を加えて成型する。ロールの下では成型済みの豆炭が窪みから外れて落下する。成型直後の豆炭には、ロールの窪みの周囲の平面部で圧縮されてできたバリがあるので、ワイヤーメッシュの回転ロールに豆炭を入れバリを除く。除かれたバリはワイヤーメッシュの穴から落ち、ミキサーに戻される。

最終段階で、ワックスを軽油に溶解した加熱溶液に豆炭を浸し、豆炭の表面をワックスでコーティングする。製品豆炭は製品サイロへ送るが、サイロの入口に衝撃式流量形を設け製造量を把握する。サイロは3基とし、各サイロには、トラックローダーを設置する。

#### 8-2-5 製品品質

インテリムレポートに述べた豆炭の目標性状を満足する必要あり。具体的には下記項目である。

着火の容易性	着火後5分以内に定常燃焼状態に達する。
火力	薪に匹敵する強力な炎で燃える。
無煙性	パキスタン一般民家の厨房にて実用上差し支えない発煙にとどまる。
無臭性	パキスタン一般民家の厨房にて実用上差し支えない発臭にとどまる。
安全性	燃焼ガス及び灰が人畜に対し安全である。
燃焼調節の容易性	一次空気量の調節により容易に火力の調節可能。
撥水性	豆炭が雨水に濡れても水をはじき内部に浸透しない。
物理的強度	輸送その他の取り扱いに充分耐える強度を有する。
その他、形、大きさ	使いやすい形状と大きさ。



#### 8-2-6 建物及び衛生設備

プラントの建物は上屋式とし、スイッチ室、計器室、技術者詰所等必要な部分以外は壁を設けない。

試験室を設け、流しその他必要な試験設備を設置する。

衛生設備は便所、洗面台を設置。

プラント付近に独身者宿泊設備を設け、プラントマネジャー、技術者、運転員、警備員を居住させる。また、付近に請負作業員のためにバラックを設ける。

#### 8-2-7 用役

プラントサイト付近には水の供給管は敷設されていない。豆炭プラントはプロセス用水または冷却水を必要としない。必要とする水は、衛生用、飲料、及び消火用である。水の消費量は少ないので、30トンの水タンクを設置し、水は購入し、タンクトラックにて配達させる。

ラクラ炭鉱地区を縦貫する幹線道路に沿って電力ケーブルが埋設されているが、現地調査時点では通電されていない。電力所要量は、50,000トンプラント規模で1,200kWである。このケーブルは1,200kWまで通電可能である。300,000トンのプラント規模においては電力所要量は7,200kWとなるため既存ケーブルで受電可能であるかの調査を行う。

#### 8-2-8 インフラストラクチャー

大規模なインフラストラクチャーの改善は行わない。プラントサイトは、市街地より離れ電話設置が困難であり、無線電話をプラントとハイデラバードのPMDC事務所間に設置する。道路建設を必要とするのは、幹線道路とプラント間の極めて短距離である。また、舗装も簡単なもので充分である。操業中のシャフト（複数）から石炭を集荷するのは、請負業者のトラックによるが、トラックが集荷でまわる経路は舗装を必要としない。

### 8-2-9 試験設備

下記試験設備を試験室に備える。

炉  
オープン  
天秤  
篩  
温度計  
破壊強度試験器  
ストップウォッチ  
その他の小器具

### 8-2-10 人員配置

プラントの運営には簡単で効率のよい組織を考える。下記組織を暫定的に計画する。

	<u>人 数</u>
プラントマネジャー	1
プラント技術者	1
フォーマン	1
分析員	1
原料製品管理者	1
組長	4
交替作業員	3人/直 X 4組 = 12
雑用係	1
警備員	4

上記人員はプラントの運転に必要な要員である。この他に、原料のプラントサイト脇のストックヤードまでの輸送、ストックヤードからプラントまでの運搬、小規模な補修工事等を行う請負業者が常時滞在する。

PMDCのハイデラバード事務所に下記要員を必要とする。

	<u>人 数</u>
アシスタントマネジャー	1
会計係	1
事務員	2

### 8-2-11 稼働率

1日24時間運転、年間300日運転とする。これにより、保守のため、年間65日の運転休止日を確保できる。小修理は、サージタンクの上流側、または下流側だけ部分的に休止して行う。

プラントは1日24時間運転するが、原料のストックヤードへの輸送と製品の出荷は日中に限られる。

### 8-2-12 原料のインベントリー

原料のインベントリーは運転資金を固定するので、インベントリーの大きさは財務分析にも影響する。現地調査における原料の入手可能性を調査結果によると、砂糖黍収穫期の終には、約半年分の所要量を現地に蓄える必要が予想される。石炭、石灰石、消石灰、もし必要な場合はセメント、ワックス、軽油はいずれも即入手可能であり、作業の変動を吸収し得る程度のインベントリーで足りる。

### 8-3 決定プロジェクトスキーム

国内作業結果を踏まえ、前述の暫定プロジェクトスキームの段階で未決定な事項を決定し、必要な訂正を加えプロジェクトスキームを決定した。

#### 8-3-1 初期生産量および増産計画

慎重ケース、楽観ケースおよび灯油の補助価格が継続するケースの3ケースを考える。ケース1とケース3は豆炭の年産量を50,000トン、ケース2は年産100,000トンで稼働する。両ケースとも、需要の増加に見合う生産量の増強を計画する。3ケースの生産量を表8-3-1に示す。

表8-3-1 プラント生産能力

Year Case	Capacity installed (thousand tons/year)			Production			Operation rate Percent.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	con	opt	sub	con	opt	sub	con	opt	sub
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	50	100	50	50	52	50	100	52	100
1993	50	100	50	50	57	50	100	57	100
1994	50	100	50	50	62	50	100	62	100
1995	75	100	50	75	68	50	100	68	100
1996	75	100	50	75	81	50	100	81	100
1997	100	150	50	100	96	50	100	64	100
1998	100	150	50	100	113	50	100	75	100
1999	100	150	100	100	134	100	100	89	100
2000	150	200	100	175	158	100	100	80	100
2001	150	200	100	175	180	100	100	90	100
2002	200	300	100	175	203	100	100	68	100
2003	200	300	200	175	230	200	100	77	100
2004	250	300	200	300	260	200	100	87	100
2005	250	300	200	300	293	200	100	98	100
2006	300	300	300	300	300	300	100	100	100

### 8-3-2 プラントサイト

国内作業の結果、基本的には暫定プロジェクトスキームで設定した事項を変更する必要は無いが、ラクラ炭鉱を縦断する幹線道路沿いと設定したプラントサイトについては、リース番号88鉱区の中央に設定する。

プラントサイトはラクラ炭鉱の88番鉱区に位置し、現在採掘中のシャフトに隣接する。この地域は、平坦で広い未利用用地がある。副原料のバイオマスを大量に野積み貯蔵せねばならず、また、将来の拡張用地も必要である。初期プラント用地として20,000㎡、隣接地に将来の拡張用地として、200,000㎡必要である。

この地域に対し、PMDCが石炭埋蔵量調査のために実施した、地表より地下約130メートルまでの地質調査結果によると、表面は砂に覆われているが、地下の地層は強固である。10メートル以内に石灰岩層に達し、堅固な地層を形成している。また、調査を行った地下130メートル以内では地下水位に達せず、地下水への対策を必要としない。上記の通り、地盤は良好であるうえに、豆炭プラントには、非常に重量の大きな機械は無く、大きな基礎工事を必要としない。

この、プラントサイト候補地は、炭鉱地帯を縦貫する幹線道路から1.5kmの距離にあり、この幹線道路により、石炭がパキスタン全土にトラックで出荷されている。製品豆炭の出荷、副原料類の集荷にもこの道路により、主としてトラック輸送により行うことで問題はない。最寄りの大都市、ハイデラバードともこの道路により30分から1時間で結ばれる。建設機材、プラント機器、建設機械、建設要員のサイトへの集結もこの道路により行える。

現時点では、水、電気等の公共用役は供給されていない。この対策については、8-3-7「ユーティリティ」で述べる。

### 8-3-3 原料

#### (1) 調合率

豆炭試製試験及び燃焼試験結果、並びに製造技術及び経済性を考慮して、原料の調合率を下記のとおり定める。

表 8-3-2 原料の調合率

Raw material input, ton/ton product	
Lakhra coal	1.250
Bagasse	0.325
Slaked lime	0.0625
Slack wax	0.006
Light oil	0.044
Total feed	1.6875

Note: The following representative water contents are used to develop the above blending ratio.

	water content, wt%
Lakhra coal	20.0
Bagasse	50.0
Slaked lime	5.0
Slack wax	0.0
Light oil	0.0
Coal briquette	10.3

#### (2) 豆炭品質

豆炭の試製及び燃焼試験結果は第10章、豆炭試製テストおよび第11章、燃焼試験に詳しく述べる。試製はラクラ炭を主原料バイオマスを副原料として、広範囲な原料組成にわたって行った。バイオマスとしては、バガス、麦藁、綿実油残渣を用いた。バガスと麦藁の豆炭性状に及ぼす総合的影響は殆ど差異がない。両者とも豆炭の燃焼性を著しく改善する、また改善に必要な調合量も両者で殆ど差がない。一方、綿実油残渣の調合は豆炭の強度を非常に低下させることが判明した。これにより、綿実油残渣は使用し難い。この3種のバイオマスのうち、バガスが経済的に最も有利である。従って、麦藁を用いる理由は特にない。また、綿実油残渣においては、(4)「技術的考察」で述べる如く、技術上の問題もあり用い難い。

実験結果によれば、セメントは必要としない。バイオマスを適正な比率で配合し、成型段階で十分な圧力を加えれば、機械的強度が十分な豆炭を成型できる。

石灰石と消石灰の比較については、脱硫効果、成型効果、その他それぞれの得失について比較した。脱硫効果はアルカリ性により決る。等量のアルカリ性を与えるためには、純消石灰1に対し1.35の純石灰石を必要とする。その上、石灰石のアルカリ性が有効に働くためには、事前に豆炭の燃焼熱で熱分解を受けねばならない。この両者の作用のため、実験結果の示すごとく、一定量の硫黄を中和するのに消石灰の約2倍の石灰石を必要とするが、通常の燃焼条件では、石灰石は硫黄との反応が非常に遅い。経済的には石灰石のほうが消石灰より明らかに有利である。

石灰石と消石灰の挙動はかなり異なる。石灰石は化学的に結合した炭酸ガスを含み、この炭酸ガスは650℃以上に加熱された場合、または酸と接触した場合に放出される。その他のことに関しては、石灰石は極めて安定な物質である。一方、消石灰は吸湿性のあるアルカリであり、酸性ガスである大気中の炭酸ガスと水分を吸収する。上記のことから、石灰石を用いた場合、生成した炭酸ガスは豆炭の燃焼面を包み酸素の供給を妨害し、燃焼を阻害することが懸念されたが、燃焼実験の結果、石灰石による有意差は認められなかった。消石灰を用いた場合、懸念される最悪の事態は、消石灰が水分と炭酸ガスを豆炭内部に誘引し、豆炭の機械的強度の減少の原因となることである。消石灰を用いた豆炭を一ヶ月間大気中に放置した後、機械的強度を測定した結果、特に強度の減少は認められなかった。また、文献にもこのような減少は報告されておらず、特に懸念する必要はないものと判断される。即ち、豆炭性状に与える影響に関する限り、石灰石と消石灰の優劣は特にない。問題は、同一量の硫黄を補足するのに消石灰に対し約2倍の石灰石を必要とし、石灰石を用いると、燃焼後の灰の量も多くなることである。同様に、通常の燃焼条件では、石灰石は硫黄との反応が遅すぎる。従って、多少経済的に不利であっても消石灰を用いる方が妥当と判断される。

石灰石と消石灰も豆炭の成型性に与える影響はほぼ同じである。

### (3) 経済的考察

経済的理由は、調合率設定に最も重要な根拠である。1988年ベースのプラントサイトでの原料価格は下記の通り推定される。

表8-3-3 プラント引渡しの原料価格

Raw material	Unit cost, Rs/ton dry base
Lakhra coal	326.8
Bagasse	214.8
Wheat straw	2,300
Limestone	115
Slaked lime	668
Wax	2,870
Light fuel oil	2,870

上の表から次ぎのことが分かる。バイオマスの中ではバガスが最も経済的である。石灰石はたとえ所要量が2倍でも消石灰より有利である。

試製実験では、バイオマスの広範囲にわたり、使用可能な豆炭を製造できることを確認した。経済的観点からはバイオマスの調合率が低いことが望ましいが、豆炭の強度はバガスの配合率が高まるにつれて増す。バガス調合率20パーセントで満足な実験結果が得られたので、この実験結果に基づき、プロジェクトスキームではバガス調合率20パーセントを採用する。

麦藁と比較しバガスを選択したのは、主として経済的考察と入手可能性に関する調査結果に基づく。パキスタンではバガスは麦藁と比較し安価でありまた集め易い。シンド州各地に点在する製糖工場にてバガスは大量に入手可能である。

#### (4) 技術的考察

各種原料のうちプラントサイトへ運搬、集荷するのが最も容易なのは石炭である。石炭は隣接地で生産されるのでプラントサイトに大量にストックする必要がない。これに反し、バイオマスのバガスは砂糖黍の収穫期末に次ぎの収穫期までに必要とするバガスをプラントサイトに大量に野積みせねばならず、このための土地所要面積も膨大である。バガス以外のバイオマスを使用しない前提で、砂糖黍の収穫期末に約半年分のバガス所要量を野積みせねばならない、これは100,000トン/年規模のプラントで16,250トンの野積み量となる。自然に積み上げたバガスの嵩比重は0.2であり、この量は81,250立方メートルに相当する。野積みには特に防火に留意せねばならない。なお、8-3-13で述べる如く、定期補修を非収穫期に行うことにより、この野積み量を150日に縮小できる。この野積み量を減らすという観点からは、バイオマスの調合率は低い方が望ましい。麦藁はバガスと異なり、年間を通じ入手可能であるが、この両者の価格差



は大きく、麦藁の使用は考えられない。

製造工程中の粉碎工程で、バガスを乾燥し粉体状になるまで粉碎する。まづ麦藁は乾燥済みのものが入手可能である、しかし、実験結果によると麦藁の方がバガスより粉碎が難しい。バガスと麦藁の価格差は非常に大きく、この程度 of 理由ではプラントを麦藁向きの設計とし、麦藁をバガスの代りに用いる理由とはならない。

バガスをを長期間野積みすると一部劣化することがあるが、豆炭原料としての影響はない。世界中の砂糖生産地域でバガスは野積みされている。この地域は、降水量が年平均200ミリ以下と低く、またバガスが雨水に濡れても砂地であるため、容易に排水される。考えられるロスは風により僅か飛ばされるだけであり、無視できる。技術的には麦藁の方が望ましいがバガスの経済的優位性を覆すだけの根拠はない。綿実油残査は粉碎し難く、またこれを調合すると豆炭の粉碎強度は弱くなる。

石灰石と消石灰の技術的利害得失は既に論じた。

ワックスは粗ワックスで良い。高価な精製ワックスを用いる理由はない。カラチ近郊のNATIONAL REFINERYで潤滑油製造の副産物として作られる粗製ワックスを用いるのがよい。

#### (5) 入手可能性

第5章 豆炭原料で述べた通り、原料の入手に関しては問題が無い。また、原料価格も適正な値段で入手できる。

#### 8-3-4 製造スキーム

暫定プロジェクトスキームの段階で、PMDCと本調査団は、インテリムレポートに示した通り製造スキームの概要について合意に達した。原料炭の洗炭の必要性については、ラクラ炭の洗炭による効果の有無が判明しないことから、日本での洗炭実験結果を待って決定することとした。洗炭に関しては、2つのデメリットが考えられる。第一は、成型性の低下であり、これは原料炭が水に濡れることと、石炭のある種の成分が洗炭によって失われるためと考えられる。第二の点は、使用する水の費用である。本プロジェクトサイトで水を手に入れる手段は、タンク車による運搬のみであることから、水の使用は困難となる可能性がある。

水を使用することに懸念があることから、石炭の余分の物質を取り除く方法として、日本で広く用いられている乾式処理方法を実験したが効果が無いことが判明した。湿式処理による実験、および実際の成形による結果から、上記の懸念とは反対に洗炭は非常に有効なことが判明した。つまり、洗炭の前後において成型性の差は識別されず、明かな硫黄分と灰分の減少が確認された。

洗炭を行わない場合の硫黄の問題点は、原料炭中の硫黄の含有率のばらつきが大きく、かつ予測できないことである。同じ坑道の炭層から同時に採取したサンプルでさえ、硫黄の含有率は大きくばらつく。原料炭をプラントに投入する前に、このような含有率のばらつきを把握することは不可能である。このことは製造工程において大きな問題となる。硫黄の燃焼ガス即ち亜硫酸ガスは、目や喉を刺激する。これは消費者が使用する時点では、避けねばならない。その手段として、原料炭に含まれると推定される量の硫黄成分を中和する為に必要な量の消石灰を製造過程において加えることである。この添加された消石灰は、製品の熱量を低下させ、燃焼後灰となる。また、単位熱量当りの輸送コストを増加させる。原料炭に含まれる灰分はすでに非常に高い。そのため、既に原料炭に含まれている以上の灰分を加えることは、家庭用の燃料としての価値を下げることとなる。

原料炭には、2種の硫黄が含まれる。可燃性の硫黄と不燃性のものである。可燃性硫黄は更に、有機質と無機質とに分類できる。不燃性硫黄は、燃焼時に於いても変化せず、含有量が少ない場合には、経済的、その他の観点からも無害と見なせる。ラクラ炭の不燃性硫黄分は低い。有機性硫黄は石炭の化学的構成物である炭素、酸素、窒素と同様に、石炭の構成要素として含有される。可燃性無機硫黄は、ほとんどが黄鉄鉱で、石炭の自然着火の原因となる。可燃性有機硫黄と異なり、黄鉄鉱は、石炭の分子構成としてではなく、異種の混合物として石炭と混在している。目視による観察では、黄鉄鉱は、石炭片の表面に輝く金色の小斑点として不規則に点在している。このラクラ炭に異物として含まれる黄鉄鉱の含有形態が、同じロットのサンプルであっても硫黄の含有率が大きくばらつく原因と考えられる。

純粋な石炭の比重 1.3と比較し、黄鉄鉱の比重は 5.0と大きい。この比重差を用いて、石炭と黄鉄鉱を選別することは容易である。ラクラ炭の洗炭試験の結果から、硫黄含有率は 6%から 3%以下に大きく減少した。黄鉄鉱の含有がその主な理由と考えられる硫黄の含有率のばらつきも減少した。

洗炭によって、灰分もまた約30%から10%以下に大きく減少する。洗炭の主目的は、一般に灰分を除去し発熱量を増加させることであるが、硫黄分の減少にも非常に有効である。ラクラ炭に含まれる硫黄分は大部分が黄鉄鉱であるため、洗炭によって、灰分と共に硫黄分の減少、特にそのばらつきを減少させることが出来る。以上の実験結

果は、比重1.6に調整した液体を用いて得られたが、通常の水を使用しても、洗炭が比重差を利用する限り、同様な結果が得られる。

これらの 実験結果を基に、洗炭工程を本プロジェクトに含めることの経済的評価が必要となる。第一段階として表8-3-4に示す通り、洗炭に関する原料の配合比を設定する。

表 8 - 3 - 4 石炭の配合費

	ROM %	Without washing		With washing	
		Feed	Product	Feed	Product
<b>Coal</b>					
Moisture	20.0	7,290.7	3,976.7	12,500.0	4,250.0
Ash	25.0	9,113.4	9,113.4	15,625.0	3,125.0
Sulfur	5.0	1,822.7	1,822.7	3,125.0	937.5
Net coal	50.0	18,226.7	18,226.7	31,250.0	27,187.5
Sub total	100.0	36,453.5	33,139.5	62,500.0	35,500.0
<b>Bagasse</b>					
Moisture		7,584.8	700.1	8,125.0	750.0
Dry bagasse		7,584.8	7,584.8	8,125.0	8,125.0
Sub total		15,169.6	8,284.9	16,250.0	8,875.0
<b>Slaked lime</b>					
Moisture		303.3	303.3	156.0	156.0
Dry lime		5,772.3	5,772.3	2,969.0	2,969.0
Sub total		6,075.6	6,075.6	3,125.0	3,125.0
<b>Coating agent</b>					
wax		300.0	300.0	300.0	300.0
Light oil		2,200.0	2,200.0	2,200.0	2,200.0
Sub total		2,500.0	2,500.0	2,500.0	2,500.0
<b>Grand total</b>		<b>60,198.7</b>	<b>50,000.0</b>	<b>84,375.0</b>	<b>50,000.0</b>

Note:

- (1) Basis 50,000 tons/year coal briquettes
- (2) Dried coal/dried bagasse = 8/1
- (3) Dried coal moisture 12.0 %
- (4) For material balance around coal washing,  
see Tables 9-6-3 and 12-2-1.

豆炭1トンを生産するのに必要とする切込み炭の数量は、洗炭をする場合1.250トン洗炭をしない場合0.729トンとなる。原料の総重量はそれぞれ、1.688および1.204となる。表8-3-5に洗炭をするケースとしないケースについての経済比較を示す。

表8-3-5 洗炭の有無によるネットバックプライス比較

Unit Rs/ton

	Without washing	With washing
1) Retail price	1,161	1,566
2) Seller's margin	200	200
3) Transportation	350	350
4) Feed cost credit	170	
5) Capital burden credit	40	
6) Operation cost credit	30	
7) Netback price	851	1,016

Note:

- 1) See Chapter 4. Prices are proportional to heat of combustion.
- 2) Seller's margin assumed to be equal to both cases on Rs/ton base
- 3) See Chapter 4.00 Rs/ton to bring to Punjab
- 4) Lakhra coal price Rs.326.8/ ton at plant inlet
- 5) Annual capital burden 20 percent of investment, Rs, 10,181,000
- 6) Water, MIT, manpower, disposal of the spent

経済的には、洗炭を行う方が優れているが、それに加え、灰分の含有、熱量の点からみた製品の品質も大きく改善される。以上の理由より、最終プロジェクトスキームに於いては、洗炭工程を製造工程に含めることとする。

石炭の残さいは自然着火する恐れがあるが、周辺の砂漠地区に運搬し、<sup>4</sup>砂で埋めることにより安全に廃棄できる。

その他の製造工程は基本的には暫定プロジェクトスキームでの提案と変わらない。

### 8-3-5 製品品質

暫定プロジェクトスキームで設定した目標品質が達成可能なことを、決定プロジェクトスキームの設定調合率における試製試験及び燃焼実験で確認した。実験結果は必ずしも定量化が可能ではなく、実験に立ち会った専門家による官能試験によるものが多い。下記品質が試製豆炭により確認された。

#### 着火の容易性

着火後5分以内に定常燃焼状態に達する。設定調合率の豆炭は、石炭を家庭用ストーブで燃した場合のような黒い灰を残さず完全燃焼する。

#### 炎の強さ

薪の炎とおなじ程度の強力な火力で燃焼する。

#### 無煙性

パキスタン一般家庭環境で燃した場合、実質上問題にならない程度の発煙にとどまる。ススの発生は薪と同程度かそれ以下で、軽く付着性の無いものである。但し、着火時には定常状態に達するまで若干の発煙がある。

#### 無臭性

パキスタン一般家庭環境で燃した場合、実質上問題にならない程度の発臭にとどまる。但し、着火時には定常状態に達するまで若干の発臭がある。

#### 無害性

燃焼ガス及び灰は室内に蓄積しない限り、人畜無害である。

#### 燃焼制御の容易性

一次空気量の調節により火力の調節が可能である。

#### 耐水性

豆炭は撥水性を示し、水と接触した場合でも豆炭内部への水の浸透を許さない。

#### 機械的強度

豆炭は十分な機械的強度を有し、輸送その他で乱暴な取り扱いを受けても簡単に破損しない。設定調合率にて160kg以上の強度が得られた。豆炭を大気中に1ヶ月間放置しても強度の減少は見られなかった。

その他、形、大きさ

形と大きさは使い易いように定めた。標準として表8-3-6の如く定めた。

表8-3-6 豆炭形状およびサイズ

Shape	Almond
Length, mm	37 to 41
Width, mm	21 to 25
Thickness, mm	12 to 16

そのほか、標準調合率の豆炭に対し下記性状が得られた。

表8-3-7 標準性状

Heating value, kcal/kg, gross	5,100 to 5,600
Collapse strength, kg	150 min.

### 8-3-6 建物及び衛生設備

この関連設備は暫定プロジェクトスキームで定義した通り変更無い。具体的にはプラント能力50,000トン当り単身者宿泊設備と下請け業者宿泊設備を下記のとおり設置する。

#### 単身用宿泊設備

部屋数	5
構造	レンガ構造
面積、平方メートル	430

#### 下請け業者宿泊設備

部屋数	2
構造	レンガ構造
面積、平方メートル	300

上記の施設は、50,000トン能力に対するものであり、能力拡大に伴い、第6章 インフラストラクチャーで述べる如く、施設を増加する。

### 8-3-7 用 役

この関連設備は暫定プロジェクトスキームで定義した。値に、洗炭用の水と電力の使用を加えた。配電線は炭鉱事務所まで敷設済の事を確認した。プラントまで 450メートル延長が必要である。電力線は 2,000kwまで通電可能な事を確認した、これは豆炭プラント能力50,000トンの所要電力をまかなえるが、100,000トン能力には不足である。電力所要量がこの値を上回った段階で、新たに電力線を敷設するか自家発電設備を新設して既設配電システムに組み込むかの選択を迫られる。調査の結果、動力線の新線敷設を選択する、ジャムショロウからプラントサイトまで50キロメートルにわたり、動力線を新設する。

水は購入し、タンクトラックにて配達させる。豆炭プラント能力50,000トン毎に容量 100トンの水タンクを衛生用及び洗炭用に設置する。

### 8-3-8 インフラストラクチャー

周辺都市を含むプロジェクト地区には基本インフラストラクチャーは存在する。しかし、通信施設及び居住施設には問題が在る。プラントサイトはインダス川をはさんでハイデラバードと反対側に位置する。インダス川は6月から9月にかけて増水し、過去の多大な治水努力にも拘らず氾濫することがある。この地域と他地域を結ぶ幹線道路は良く保護されており、殆ど洪水の影響を受けない。プラントサイトは丘の上であり洪水の影響を受けない。この地域で考えられる天災はインド洋で発生するサイクロンだけである。この地域では地震は起こらない。不毛で乾燥し半砂漠状の地域であるが、他の乾燥地域と同様希に大雨に見回れる。地表近くに硬い石灰質の地層が在り、大雨の操業への影響も甚大ではないと予想されるが、輸送、通信、電力供給は影響は避けられないと考えられる。しかし、被害は一時的なものと考えられる。結論として、本プロジェクトが独自の費用でプラントをこれら災害から防御する施設を設置する必要は無い。

公共電話施設は砂漠の中にあるプラント地区まで伸びていない。従って、無線通信施設をプラントとハイデラバードのPMDC事務所の間に設置する。無線通信施設の設置は政府の特別許可を必要とする。無線通信施設の価格はRs. 300,000と推定する。

原料のプラントへの搬入と製品の出荷はトラックによる道路輸送で行う。炭鉱地域を縦貫する2車線の舗装道路により石炭を全国に出荷している。この道路によりプラントは全国道路網と結ばれる。道路は現在特に混雑しておらず、プラントが 300,000トンの最終規模に達した時点でも特に混雑は予想されていない。従って、本プロジェ



クト自体のために道路交通システムを改良する必要はない、短い側道を敷設するのみで良く、しかも簡単な舗装で良い。操業中の縦坑から原料炭を集めるのは請負業者のトラックによる。請負業者のトラックが巡回する経路には舗装の必要はない。

プラントサイトの周囲には都市機能はほとんど無いが、最も近い大都市ハイデラバードにはホテル、病院、電信電話局が在る。本プロジェクト自体が都市機能の一部を持つ必要はないが、スタッフのための単身宿泊設備と請負業者のための宿泊設備を設置する。

### 8-3-9 試験設備

試験室を設け下記試験設備を置く。

炉

オープン

天秤

篩

温度計

破壊強度試験器

ストップウォッチ

カロリメータ

ペーハーメータ

その他の小器具

カロリメータおよびペーハーメータは暫定プロジェクトスキームでは計画しなかったが国内作業の結果加えた。前者は、よりよい製造工程と品質管理のためにまた、後者は洗炭工程のために加えた。

### 8-3-10 人員配置

人員配置は基本的には暫定プロジェクトスキームで定めた通りとするが、洗炭用に日勤作業員を加える。各プラント当りの人員配置を表8-3-8に示す。

表8-3-8 人員配置計画（プラントサイト）

	人 数
プラントマネジャー	1
プラント技術者	1
フォーマン	1
分析員	1
原料製品管理者	3
組長	5
交替作業員	3人/直×4組 + 2 = 14
日勤作業員	5
運転手	1
雑用係	1
警備員	4
合計	37

上記人員はプラントの運転に必要な要員である。この他に、原料の場内運搬、小規模な補修工事等を行う請負業者が常時滞在する。

PMDCのハイデラバード事務所に表8-3-9に示す要員を必要とする。

表8-3-9 人員配置計画（ハイデラバード）

	人 数
アシスタントマネジャー	1
会計係	1
事務員	2
合計	4

### 8-3-11 稼働率

これも暫定プロジェクトスキームの設定を変更しない。即ち下記の通り定める。

運転時間／日	24
運転日数／年	300
補修可能日数／年	65

プラントは一日24時間運転するが、原料のストックヤードへの輸送と製品の出荷は日中に限られる。

定期補修シャットダウンは5月から8月に実施するように計画する。この期間は砂糖黍の収穫は行われぬ。この期間にシャットダウンを行うことにより、砂糖黍の収穫期末の在庫量を減らすことができる。

### 8-3-12 原料の在庫量

原料の在庫量を次ぎのとおり定める。

表 8-3-10 原料の在庫量

Inventory of raw material, day	
Coal	5
Bagasse: end of harvest season	150
normal operation period	10
Slaked lime	10
Cement	10
Wax	10
Light oil	10

上記在庫量の設定は暫定プロジェクトスキームを踏襲した、但し、バガスに関してはシャットダウンを非収穫期に行うようにしてその影響を考慮した。石炭とバガスは野積みとする。消石灰とセメントは袋詰めとしビニールのシートで覆い在庫し必要に応じ、サイロに入れる。

### 8-3-13 実施スケジュール

検討の結果本プロジェクトの実施スケジュールを下記のとおり提案する。

表8-3-11 プロジェクトスケジュール

Operation	Duration, month
Study of this report by PMDC	1
Study of this report by government	1
Decision on implementation	1
Study on funding	1
Basic design by consultant	4
Preparation of tender documents	3
Decision on contractor	1
Detailed design	6
Factory fabrication	7
Site installation and erection	8
Completion, test operation	3
Total	36

表8-3-14 製品価格

第4章、豆炭市場、表4-5-1 豆炭工場価格に示すごとく製品価格を定めた。製品価格は1988年基準の価格で、1995年まで灯油価格に伴って上昇し、その後は一定であるとした。

表8-3-12 豆炭のネットバック価格

Year	Rs/ton
1990	1,016
1991	1,100
1992	1,191
1993	1,290
1994	1,397
1995 onward	1,513



## 第9章 原料試験および評価

### 9-1 サンプルの状態

原料は下記の通り分類される。

1. 主原料 石炭
2. 副原料 バイオマス
3. 脱硫剤 石灰石、消石灰
4. 結合材 セメント

日本の試験場へ送付したサンプル量を表9-1-1に示す。

表9-1-1 サンプル量

Unit: ton

Sample	Amount
Lakhra coal	8
Bagasse	1
Wheat straw	0.5
Cotton seed cake	0.5
Limestone	1
Slaked lime	0.5
Cement	0.5
Total	12

サンプルはプロジェクト地域内または周辺で調達し、日本へ空輸し、さらに試験場へ転送した。

#### 9-1-1 石炭サンプルの荷姿

ラクラ炭のサンプルは、炭鉱地域内の工場用地予定地附近の、操業中のたて坑4本と斜坑1本より採取した。石炭サンプルの採取坑を図9-1-1に示す。この地域はDIMD/S/ML-COAL88との名称がつけられている。サンプルにはPMDC-1からPMDC-5までの番号を発送前に添付した。これはそれぞれ、5つの坑から採取したロットを示す。本レポートではこれをP-1からP-5のロット番号で示す。サンプルはすべて200リット

Legend

Material No.  
Shaft / Incline No.

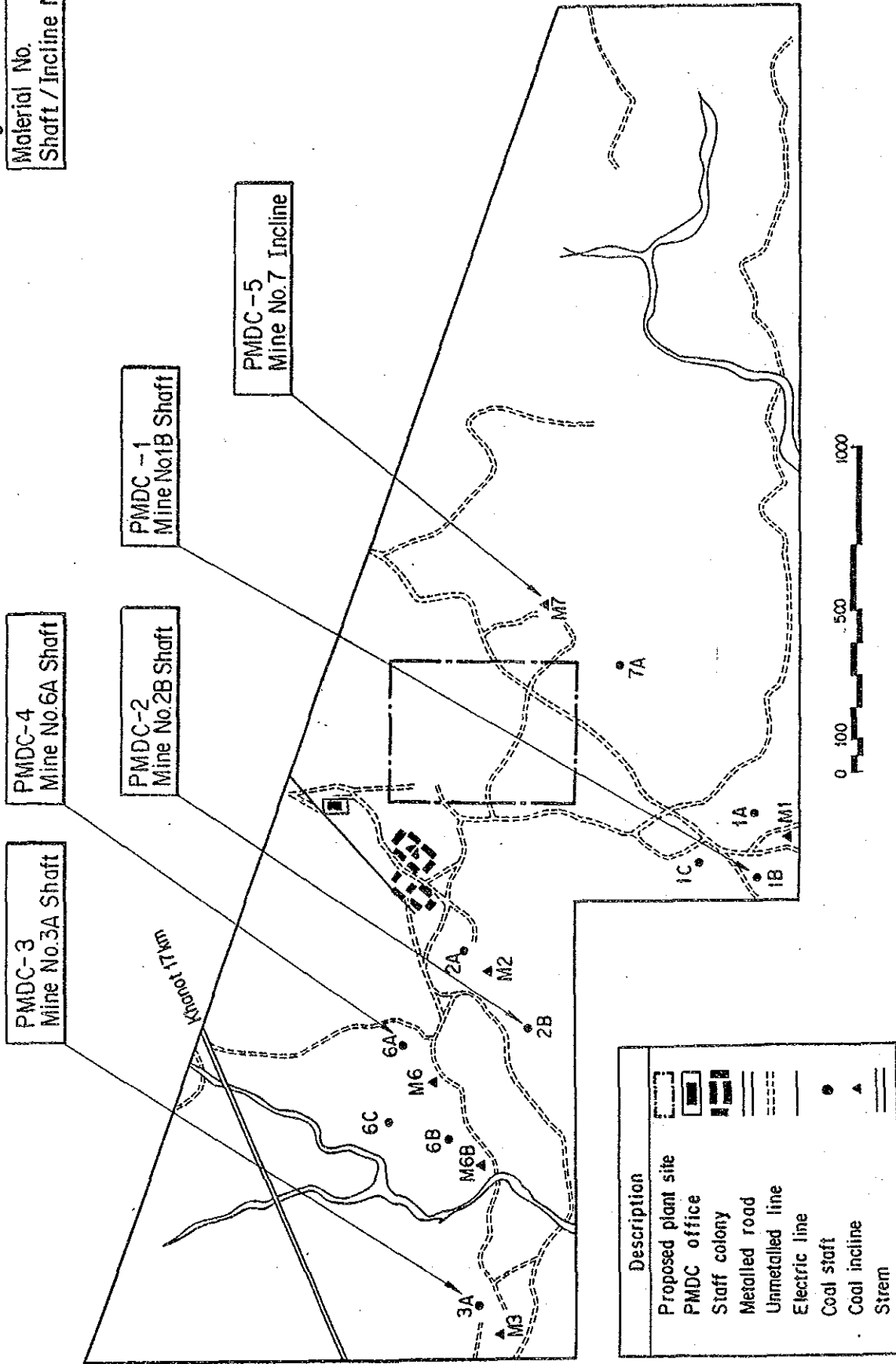


図 9-1-1 石炭サンプルの採取坑 (ラクラ リース No. 88)

ルの広口ドラムに詰め、蓋は鋼製バンドで締めたうえ、さらに粘着テープでシールした。P-1 からP-5各ロット毎に、別に10kgの石炭をプラスチック袋に詰め、これを同一ロットの石炭が入ったドラムに同封した。プラスチック袋に密封したのは、水分のロスを防ぐためである。

石炭サンプルのロット毎の量を表9-1-2に示す。

表9-1-2 石炭サンプル量

Sample	No. of drums	Net weight, kg (Invoiced)
P-1	16	2,000
P-2	16	2,000
P-3	16	2,000
P-4	8	1,000
P-5	8	1,000
Total	64	8,000

9-1-2 バイオマスサンプルの荷姿

バイオマスサンプル3種（バガス、麦わら、綿実油残渣）を日本へ送付した。これは総てシンド州の産物である。バガスは製糖工場より、麦わらは卸売業者から、綿実油残渣は搾油工場より入手した。サンプル量と荷姿を表9-1-3に示す。

表9-1-3 バイオマスサンプル量及び荷姿

Sample	Container	Number	Weight,kg	Total weight,kg
Bagasse	PP	110	9.1	1,000
Wheat straw	JB	19	33.3	500
Cotton seed cake	PP	15	38.5	500

Note: PP and JB stand for polypropylene bag and jute bag, respectively.



### 9-1-3 脱硫剤およびバインダーサンプルの荷姿

プロジェクト地域は石灰石、消石灰、セメントを豊富に産出する。石灰石と消石灰は石灰ガマより購入し、セメントはハイデラバードで操業するZeal Pakセメント工場より購入した。サンプル量と荷姿を表9-1-4に示す。

表9-1-4 脱硫剤とバインダーサンプル量と荷姿

Sample	Container	Number	Weight,kg	Total weight,kg
Limestone	PP	20	50.0	1,000
Slaked lime	PP	13	50.0	500
Cement	PP	10	26.3	500

## 9-2 石炭の分析

### 9-2-1 予備分析

まず、プラスチック袋に封入したサンプルを分析した。結果を表9-2-1に示す。P-1とP-3が灰分と発熱量において他のロットと著しく相異していることを示している。一方表9-2-2に純炭発熱量を示す。純炭発熱量とは、石炭発熱量を灰分と水分をゼロの状態に補正して計算で求めるが、その計算式は下記の通り。純炭発熱量はP-3が若干低い、全ロットについてはほぼ等しい。これは全ロットとも石炭化度がほぼ等しいことを示している。

#### 純炭発熱量計算式

$$HC(pc) = HC(rc) \times 100 / (100 - FC(ash) \times A - M)$$

但し

- HC(pc) : 純炭発熱量
- HC(rc) : 原炭発熱量
- FC(ash) : 灰分補正率 (1.08)
- A : 灰分、パーセント
- M : 水分、パーセント

表9-2-2 純炭発熱量

Sample	Heat of combustion, Kcal/kg
P-1	7,430
P-2	7,529
P-3	6,909
P-4	7,478
P-5	7,556

この点をさらに確認するため、P-1とP-2より各500グラムのサンプルを、任意に選んだドラムより採取し分析した。結果を表9-2-3に示す。

表9-2-1 プラスティック袋入サンプルの分析値

	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5	
	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry
Moisture	23.7	NA	20.8	NA	13.7	NA	20.4	NA	19.3	NA
Ash	5.6	7.34	11.6	14.65	52.7	61.07	8.2	10.30	14.8	18.34
Volatile matter	34.9	45.74	39.5	49.87	21.2	24.56	38.3	48.12	33.3	41.26
Fixed carbon	35.8	46.92	28.1	35.48	12.4	14.37	33.1	41.58	32.6	40.40
Heat of combustion	5220	6841	5020	6338	2030	2352	5290	6646	4890	6059
Total sulfur	1.6	2.1	2.7	3.4	3.0	3.5	2.1	2.6	3.4	4.2
Incombustible sulfur	-	0.7	-	1.0	-	0.4	-	1.0	-	0.9
Combustible sulfur	-	1.4	-	2.4	-	3.1	-	1.6	-	3.3
Total water	33.5	-	27.5	-	17.9	-	28.2	-	23.4	-
Surface water	9.7	-	6.7	-	4.2	-	7.8	-	4.1	-
Particle Distribution, %										
over 2.0 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0 / 2.0	-	0.1	-	0.3	-	0.7	-	0.7	-	1.7
0.5 / 1.0	-	44.2	-	33.6	-	34.9	-	39.7	-	42.8
0.25 / 0.5	-	29.2	-	28.0	-	23.7	-	28.5	-	25.8
under 0.25	-	26.5	-	38.1	-	40.7	-	31.1	-	29.7
total	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0

Note:

Moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, total sulfur, incombustible sulfur, combustible sulfur, total water and surface water are in weight percent.

Heat of combustion is gross heat of combustion in Kcal/kg.

表9-2-3 ドラムより採取したP-1 とP-3 の分析

	P-1		P-2	
	wet	dry	wet	dry
Moisture	21.2	NA	18.6	NA
Ash	18.9	23.98	29.1	35.75
Volatile matter	31.2	39.59	28.0	34.40
Fixed carbon	28.7	36.43	24.3	29.85
Heat of combustion	4160	5279	3840	4416
Total sulfur	2.7	3.4	4.4	5.4
Incombustible sulfur	-	0.4	-	0.5
Combustible sulfur	-	0.4	-	0.5

Note:

Moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, total sulfur, incombustible sulfur, and combustible sulfur are in weight percent.

Heat of combustion is gross heat of combustion in Kcal/kg.

表9-2-1 と表9-2-3 の結果を比較すると両者間にかかなりのバラツキがあるのが認識される。

#### 9-2-2 代表的サンプルの分析

上記の結果から、プラスチック袋中のサンプルは、必ずしもロットの性状を代表していないと推察される。これは、固形物からサンプルを採取する場合に起り易いことである。ロットの代表的性状を知るためには、代表的サンプルを調製し、再度分析する必要があることを示す。

実施した代表的サンプルの調整法は、各ロットより 500kgの石炭をとり、これを水分12パーセントまで乾燥した後、直径 2mm以下に粉碎した。この石炭粉をロット毎に4本のドラムに分け、各ドラムよりほぼ35cm<sup>3</sup> のサンプルを採取し、均等に混ぜてロットの代表的サンプルとした。この操作を各ロットに対して行ない、全ロットの代表的サンプルを調整し再分析した。表9-2-4 に分析結果を示すが、ラクラ炭は灰分と硫黄分の非常に多い石炭である。

表 9 - 2 - 4 代表的サンプルの分析

	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		Average	
	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry
Moisture	11.3	NA	12.0	NA	9.7	NA	10.8	NA	5.6	NA	5.6	NA
Ash	28.2	21.8	24.2	27.5	34.2	37.9	24.8	27.8	45.9	48.6	45.9	48.6
Volatile matter	32.0	36.1	34.2	38.9	29.9	33.1	33.1	37.1	29.0	30.7	29.0	30.7
Fixed carbon	28.5	32.1	29.6	33.6	26.2	29.0	31.3	35.1	19.5	20.7	19.5	20.7
Heat of combustion												
Sample	4140	4667	4410	5011	3800	4208	4380	4910	3090	3273	3090	4414
Pure coal	7108		7129		7121		7017		6893		6893	7054
Total sulfur	4.3	4.8	6.5	7.4	5.4	5.9	4.6	5.1	6.9	7.3	6.9	6.1
Incombustible sulfur		0.4		0.6		0.6		0.4		0.5		0.5
Combustible sulfur		4.4		6.8		5.3		4.7		6.8		5.6
Carbon		47.8		47.8		43.2		47.9		30.9		43.1
Hydrogen		3.7		3.8		3.4		3.9		3.0		3.6
Nitrogen		0.8		0.8		0.8		0.8		0.6		0.8
Oxygen		13.7		13.3		11.5		14.7		10.1		12.7

Note:

Moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, total sulfur, incombustible sulfur, combustible sulfur, carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen are in weight percent.

Heat of combustion is gross heat of combustion in Kcal/kg.

表9-2-1と表9-2-4を比較すれば明白であるが、石炭はサイズの異なる塊状物質であり、かたまり毎に性状が異なると考えられる。従って均一で均質な混合物を作るのは非常に難しい。このことは、豆炭製造現場でプロセス管理、品質管理上難しい問題を提起する。特に硫黄分は、最終的に製品中に残れば、消費する場所で刺激性の亜硫酸ガスを発生し問題である。プロセス管理の直面する問題は、ロット毎よりもむしろ石炭のかたまり毎に、しかもまったく予想不可能に変動する硫黄分に、どう対処すべきかということである。

同一ロット内での硫黄分変動の幅を示すデータとして、P-3 から採取した任意2サンプルの分析費を表9-2-5に示す。

表9-2-5 硫黄分変動の幅

(weight percent)

	Sample A	Sample B
Ash	61.07	48.80
Volatile matter	24.56	27.40
Fixed carbon	14.37	23.80
Total sulfur	3.50	8.70
Incombustible sulfur	0.40	0.57
Combustible sulfur	3.10	8.13

### 9-3 バイオマスの分析

#### 9-3-1 バイオマス分析値

表9-3-1と表9-3-2にバイオマスの分析値と粒度分布を示す。

表9-3-1 バイオマス分析値

	Bagasse		Wheat straw		Oil seed cake	
	wet	dry	wet	dry	wet	dry
Moisture	18.1		10.8		8.0	
Ash	2.5	3.1	10.6	11.9	3.9	4.2
Volatile matter	69.5	84.9	64.1	71.9	71.6	77.8
Fixed carbon	9.9	12.1	14.5	16.3	16.5	17.9
Heat of combustion	3,880	4,737	3,590	4,025	4,330	4,707
Total sulfur	0.1	0.1		0.8	0.3	0.3
Incombustible sulfur	0.0	0.0		0.3		0.1
Combustible sulfur	0.1	0.1		0.5		0.2
Carbon		49.7		41.4		48.1
Hydrogen		5.3		5.3		6.1
Nitrogen		0.2		0.7		2.9
Oxygen		41.6		40.2		38.5
Bulk density	0.0852		0.057		0.454	

Note:

Moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, total sulfur, incombustible sulfur, combustible sulfur, carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen are in weight percent.

Bulk density and real density are in grams per cubic centimeter.

Heat of combustion is gross heat of combustion in Kcal/kg.

表9-3-2 バイオマス粒度分布

second mm	Bagasse			Wheat straw		
	30	60	120	30	60	120
7.92+	10.2	10.6	6.6	6.4	1.3	0.4
4.76-	20.0	13.6	13.0	31.0	17.1	9.2
2.80-	16.3	14.0	13.5	26.0	33.3	31.6
2.0-	12.9	12.2	11.6	14.1	17.4	20.2
1.0-	24.5	20.2	27.6	12.8	17.7	20.0
0.5-	11.7	13.7	19.6	5.7	9.2	10.6
0.25-	4.1	15.4	7.8	1.9	2.1	3.2
0.25-	0.3	0.3	0.3	2.1	1.9	4.8

9-3-2 粉砕テスト

バイオマスを受領状態および乾燥後、実工場の粉砕機を用い、実際の製造工程に類似した状況で粉砕テストを行なった。その結果を表9-3-3に示す。

表9-3-3 粉砕テスト結果

Mesh of crusher, mm Sieve, mm	(weight percent)								
	Bagasse 4.0	Bagasse 3.0	Bagasse 3.0	Bagasse 2.0	Bagasse 1.5	Straw 3.0	Straw 2.0	Oil Cake 2.0	
2.0+	4.9	1.4	3.3	0.3	0	3.8	0.1	55.8	
1.0+	33.3	34.9	28.6	16.1	11.5	46.0	17.3	11.4	
0.5+	36.2	35.7	34.9	32.0	44.4	28.7	37.4	11.4	
0.25+	18.2	19.1	22.0	23.1	28.6	13.2	25.9	10.3	
0.25-	7.4	8.9	11.2	28.5	15.5	8.3	19.3	11.1	
	100	100	100	100	100	100	100	100	
Water, wt%									
before crushing	27.5	27.5	-	-	-	12.9	12.9	-	
after crushing	23.4	20.4	6.5	8.7	6.5	12.1	12.1	-	
Forced dry			yes	yes	yes				



表9-3-3は粉碎機を一回通した結果である。実際に用いたカッティングクラッシャー(Cutting crusher)で十分粉碎可能なことが実証された。実験データからは読みとれないが、麦わらの方がバガスよりも粉碎が困難であった。豆炭試製には、2mmの網を付けたクラッシャーによる粉碎バガスが、最も好成績を示した。

バガスの分析結果では、水分が18.1パーセントであったが、製糖工場から出た直後は約50パーセントの水分を含むのが普通である。プロジェクト地域は乾燥地域であり、屋外貯蔵中に乾燥することが期待できる。

## 9-4 脱硫剤の分析

### 9-4-1 脱硫剤の分析結果

表9-4-1に石灰石と消石灰サンプルの分析結果を示す。

表9-4-1 脱硫剤の分析

(weight percent)

	Limestone	Slaked lime
Moisture	2.25	10.97
Ignition loss	37.37	19.56
SiO <sub>2</sub> +insoluble	3.33	4.44
SiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.50	1.47
CaO	51.01	63.14
MgO	0.66	0.66
K <sub>2</sub> O	0.04	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.22	0.23
SO <sub>3</sub>	0.35	0.76

硫黄 1kgを中和するためには、化学反応が完全に（化学量論的に）進むと仮定した場合、純粋な石灰石 3.1kg、または純粋な消石灰 2.3kgを必要とする。しかし実際には、化学反応が完全に進むことはあり得ず、化学反応をできるだけ完全に行なわせるためには、脱硫剤を過剰に加えねばならない。さらに、有効成分、すなわち炭酸カルシウムまたは水酸化カルシウムの純度が低い場合は、それに見合う分だけ、脱硫剤を追加する必要がある。表9-4-1より有効成分を計算すると、石灰石の有効成分は91.1パーセント、消石灰の有効成分は83.5パーセントであり、必ずしも最高の純度ではない。

表9-2-5の硫黄分、3.50パーセントと8.70パーセントの場合、石炭1トンに含まれる硫黄を中和するに要する石灰石と消石灰の量を求め、表9-4-2に示す。但し理論量に対し20パーセント過剰に加え、完全中和を意図した。

表に示すごとく、大量の消石灰、より一層大量の石灰石を必要とする。硫黄分の変動は予測できず、従って安全のために多量の中和剤を加える必要が生じる。実際には、石灰石の反応速度は遅く、硫黄の中和のため、より一層大量の石灰石を必要とする。

表 9 - 4 - 2 脫硫劑必要量

(unit: kilograms/ton dry coal)

Wt.% of Sulfur	Amount required	
	Limestone	Slaked lime
3.50	143	106
8.70	355	262

#### 9-5 バインダーのテスト

パキスタンのセメントサンプルと日本の代表的セメントを、同量の砂と碎石と混合し固化させた。パキスタン製セメントにより作ったコンクリートは、日本製のものに比べて強度が明らかに弱かった。今回はセメントを使用しないので特に問題はない。

## 9-6 石炭の前処理

石炭前処理の主目的は、石炭中の灰分の相当量を除去し、石炭の発熱量を上げることである。灰分の削減に伴い、硫黄分も減少する。一般的な方法は、普通の水、または第3の成分を加えて、比重を調整した水を用いる。

### 9-6-1 乾式前処理

まず、乾式前処理法をテストした。この方法は、石炭塊と他の鉱物塊の強度の差を利用するもので、通常は石炭塊の方が壊れやすい。実装置はクラッシャー、スクリーンベルトコンベヤー等より成る。粉砕後目視により、石炭以外の塊状物を除去する。ラクラ炭の場合、塊状物が残らないほど容易にくだけ、この方法は実施不可能であった。表9-6-1に実験結果を示すが、効果が無いことは明かである。

### 9-6-2 水洗法

一般に洗炭と呼ばれる湿式法をテストした。ロットはP-3を用いた。石炭を粉砕し、比重1.6に調整した液体で浮沈選別を行なった。石炭粒度は10mm以下と5mm以下の両者について行なった。結果は表9-6-2に示すごとく、この方法は極めて有効である。

比重1.6の液による浮沈分析結果は極めて良く、灰分の低下とともに硫黄分も減少できる。これは硫黄分の大部分が、比重約1.3の石炭よりはるかに大きい比重約5の硫化鉄（パイライト）として存在し、比重1.6の液と混合されると直ちに沈降するためと考えられる。表9-6-2の示すごとく、石炭粒径が小さい方が分離効果が大きい。しかし粒径を小さくすると粉砕コスト、投資コストと運転コス、水所要量を増加させる。

特に水所要量は、この地域では水入手が困難なため慎重にならねばならない。

水洗の物質収支を表9-6-3に示す。

表 9 - 6 - 1 乾式前処理テスト

	P-1		P-2	
	Before	After	Before	After
Ash	31.8	No.1 30.1	37.9	No.1 34.4
Volatile matter	36.1	29.9	33.1	43.6
Fixed carbon	32.1	34.4	29.0	29.0
Heat of combustion	4667	35.8	4208	30.3
Total sulfur	4.8	5025	5.9	3895
Incombustible sulfur	0.4	5.0	0.6	6.4
Combustible sulfur	4.4	0.6	5.3	0.8
		4.4		5.6

Note:

Ash, volatile matter, fixed carbon, total sulfur, incombustible sulfur, combustible sulfur are in weight percent.  
Heat of combustion is gross heat of combustion in Kcal/kg.

表9-6-2 石炭水洗テスト

	Less than 10 mm				Less than 5 mm			
	Feed		Product		Feed		Product	
	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry
Moisture	13.7	NA	15.6	NA	21.4	NA	18.3	NA
Ash	30.8	35.7	9.3	11.0	26.1	33.2	5.8	7.1
Volatile matter	30.5	35.3	41.0	48.6	26.7	34.0	38.6	47.2
Fixed carbon	25.0	29.0	34.1	40.4			37.3	45.7
Heat of combustion	3690	4276	5310	6291		4570	5480	6707
Total sulfur	5.19	6.01	2.83	3.33		8.18	1.90	2.30
Incombustible sulfur	0.43	0.50	0.50	0.59		0.49		0.80
Combustible sulfur	4.76	5.51	2.33	2.76		7.69		1.50
Carbon		43.2		64.2				
Hydrogen		3.4		5.0				
Nitrogen		0.8		1.2				
Oxygen		11.5		15.8				

Note:

Moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, total sulfur, incombustible sulfur, combustible sulfur, carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen are in weight percent.  
Heat of combustion is gross heat of combustion in Kcal/kg.

表 9 - 6 - 3 洗炭の物質収支

(basis: 1,000kg)

	<u>Input</u>		<u>Output</u>	
	<u>ROM coal</u>	<u>Spent</u>	<u>Spent</u>	<u>Washed coal</u>
Moisture	200.0	75.0	75.0	125.0
Ash	250.0	200.0	200.0	50.0
Sulfur	50.0	35.0	35.0	15.0
Net coal	500.0	65.0	65.0	435.0
Subtotal	1,000	375.0	375.0	625.0
Water	200.0	75.0	75.0	125.0





## 第10章 豆炭試製

豆炭試製の目的は、プロジェクト地域で入手可能な原料を用いて、希望性状の豆炭を製造する技術的可能性を確立することである。この目的のため、各種サンプルを必要量入手し、日本の試験場へ送付した。石炭サンプル5ロット、バイオマス3種（バガス、麦わらおよび綿実油残渣）、脱硫剤2種（石灰石および消石灰）と結合剤（セメント）である。石炭1ロットは洗炭し、試製には洗炭と切込炭を用いた。

試製は、最適条件を求めるため広範な条件で行った。各種ロット、各種バイオマス、各種調合率、粒径分布等、各種条件を調査した。

試製は2段階に分けて実施した。先ずベンチスケールテストで広範な条件を調査し、有望な条件を捜し、次いで実装置を用いて、工場と同じ条件で試験した。技術的可能性確認のためには、実装置を用いるのが最適である。しかし、実装置は一回のテストで約50kgのサンプルを消費するため、先ずベンチスケールテストを行い、有望な条件を求める必要がある。試製に先だち、試料を分析した。その結果は第9章に示す。試製豆炭は圧壊試験と燃焼試験に付した。燃焼試験は第11章で詳述する。

### 10-1 ベンチスケールテスト（タブレットテスト）

#### 10-1-1 試験方法

ベンチスケールテストの目的は、少量の試料で広範囲な条件を試験し、有望な条件を求めることである。本試験には試料をタブレット（錠剤）化して使用した。試験に用いたタブレットの成型器模式図を図10-1-1に示す。3グラムの試料をタブレットの成型器に入れ2.4トン/cm<sup>2</sup>の圧力を10秒間加える。成型したタブレットに対しては成型膨張率（スプリングバック）と圧壊強度と密度を測定した。圧壊強度は万能試験器に図10-1-2に示す治具を付けたものを用い、タブレット上の鋼球を毎分2mmの速度で押し下げ、タブレットが破壊する時の力を読み取った。成型膨張率は下記式で定義する。

$$\text{成型膨張率} = (T1 - T2) / T2$$

T1：成型後開放時のタブレットの厚さ

T2：成型圧縮時のタブレットの厚さ

## 10-1-2 ベンチスケールテストの結果

切込炭としてP-2 ロット、洗炭としてP-3 ロットを用いた。バイオマスはバガス、麦わら、綿実油残渣の3種、脱硫剤は石灰石、消石灰の両者、ならびにセメントについても試験した。成型試験結果を表10-1-1から10-1-6に、またグラフ化して図10-1-3から10-1-6に示す。

### (1) 成型膨張率

バガスを用いる場合は洗炭、切込炭の差はほとんどない。消石灰は石灰石よりも適用範囲にむらがない。バガスを用いた場合は麦わらや綿実油残渣を用いた場合よりも成型膨張率が小さく、成型性が良い。

### (2) 圧壊強度

バガスと麦わらは両者とも良い結果を示す。これは洗炭・切込炭で変わらない。綿実油残渣を用いると、圧壊強度が充分上がらない。バガスを用いた場合は消石灰の方が石灰石よりも適用範囲にむらがない。麦わらを用いた場合は消石灰と石灰石の成績に差異がない。

### (3) 密度

石灰石を用いる場合は消石灰を用いるよりもタブレットの密度が小さい。バガス・麦わら・綿実油残渣の中では、バガスを用いる場合の密度が最も高い。石炭の灰分が多い場合、例えばP-5 ロットでは、タブレットの密度は高くなる。

### (4) バイオマスの調合率

図10-1-3から図10-1-5に示すごとく、バガスまたは麦わらを使用した場合は、圧壊強度は洗炭・切込炭に関係なく、バイオマス調合率の増加に従って増加する。但し、綿実油残渣の場合は調合率にかかわらず、一定値を示す。

バイオマスを調合しない場合は、表10-1-6に示す如くセメントを加えても充分な圧壊強度がでない。従って、バイオマスなしでは実用に供し得る豆炭の製造が不可能なことがわかる。

### (5) 石炭の種類

P-5 ロットを用いたタブレットの圧壊強度が低いのが、これは石炭の種類よりも、灰分が多いことが原因と考えられる。

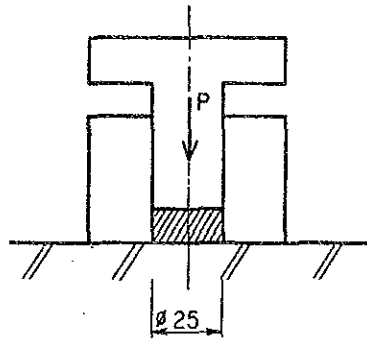


図10-1-1 タブレットの成型器模式図

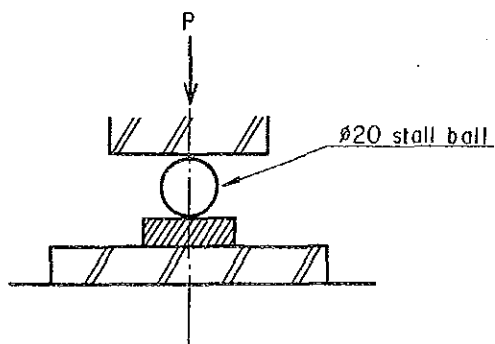


図10-1-2 タブレット圧壊強度測定器模式図

表 1 0 - 1 - 1 洗炭/バガスによるタブレットテスト結果

Ex.No.	Bagasse %	Coal %	Desulf. %	Spring	Collapse	Density g/cm <sup>3</sup>
				Back %	Strength kg	
1	10	90	S.L10	24.2	271	1.12
2	15	85	"	23.8	320	1.13
3	20	80	"	23.8	310	1.12
4	25	75	"	24.7	333	1.11
5	30	70	"	24.8	397	1.16
6	10	90	L.S10	24.9	175	1.05
7	15	85	"	23.5	240	1.06
8	20	80	"	26.1	277	1.02
9	25	75	"	26.4	367	1.06
10	30	70	"	28.2	387	1.04

Note: S.L and L.S represent slaked lime and limestone, respectively.

表 1 0 - 1 - 2 洗炭/麦わらによるタブレットテスト結果

Ex.No.	Wheat	Coal %	Desulf. %	Spring	Collapse	Density g/cm <sup>3</sup>
	Straw %			Back %	Strength kg	
11	10	90	S.L10	25.8	133	1.04
12	15	85	"	31.2	207	1.04
13	20	80	"	31.1	220	1.01
14	25	75	"	31.8	300	1.03
15	30	30	"	34.4	380	1.01
16	10	90	L.S10	27.4	140	1.02
17	15	85	"	29.8	177	1.03
18	20	80	"	37.1	273	0.96
19	25	75	"	42.0	297	0.91
20	30	70	"	41.7	340	0.93

Note: S.L and L.S represent slaked lime and limestone, respectively.

表10-1-3 切込炭/バイオマス(3種)によるタブレットテスト結果

Ex.No.	Biomass %	P-2 %	Slaked Spring		Collapse Strength kg	Density g/cm <sup>3</sup>
			Lime %	Back %		
21	B10	90	10	22.9	163	1.32
22	15	85	"	21.2	227	1.32
23	20	80	"	23.5	227	1.25
24	25	75	"	24.7	250	1.28
25	30	70	"	24.4	240	1.28
26	W10	90	"	24.5	160	1.30
27	15	85	"	24.8	183	1.31
28	20	80	"	25.7	210	1.25
29	25	75	"	27.8	257	1.25
30	30	70	"	28.2	307	1.26
31	C10	90	"	25.7	72	1.29
32	15	85	"	26.0	75	1.28
33	20	80	"	25.4	74	1.25
34	25	75	"	25.7	75	1.28
35	30	70	"	29.0	80	1.24

表10-1-4 洗炭/綿実油残渣によるタブレットテスト結果

Ex.No.	Cottonseed		Slaked Lime %	Spring Back %	Collapse Strength kg	Density g/cm <sup>3</sup>
	Oil Cake %	Coal %				
36	10	90	10	24.9	63	1.10
37	15	85	10	24.8	73	1.09
38	20	80	10	26.0	76	1.10
39	25	75	10	26.9	83	1.08
40	30	70	10	26.8	78	1.10

表10-1-5 切込炭/バガスによるタブレットテスト結果

Ex.No.	Bagasse %	Coal %	Slaked Lime %	Spring Back %	Collapse Strength kg	Density g/cm <sup>3</sup>
41	20	P-1 80	10	22.5	220	1.31
42	20	P-2 80	"	23.5	227	1.25
43	20	P-3 80	"	23.4	200	1.39
44	20	P-4 75	"	25.8	178	1.30
45	20	P-5 70	"	23.1	145	1.45
46	20	P-1~P-2 90	"	25.1	195	1.35

表10-1-6 切込炭/セメントによるタブレットテスト結果

Ex.No.	Coal %	Cement %	Slaked Lime %	Spring Back %	Collapse Strength kg	Density g/cm <sup>3</sup>
47	P-1 100	10	10	23.0	60	1.42
48	P-2 100	10	10	22.6	65	1.41
49	P-3 100	10	10	22.1	58	1.51
50	P-4 100	10	10	22.6	57	1.43
51	P-5 100	10	10	21.1	33	1.62
52	P-1~P-5 100	10	10	21.8	58	1.52
53	P-1~P-5 100	15	10	20.1	58	1.51
54	P-1~P-5 100	15	15	19.0	55	1.53

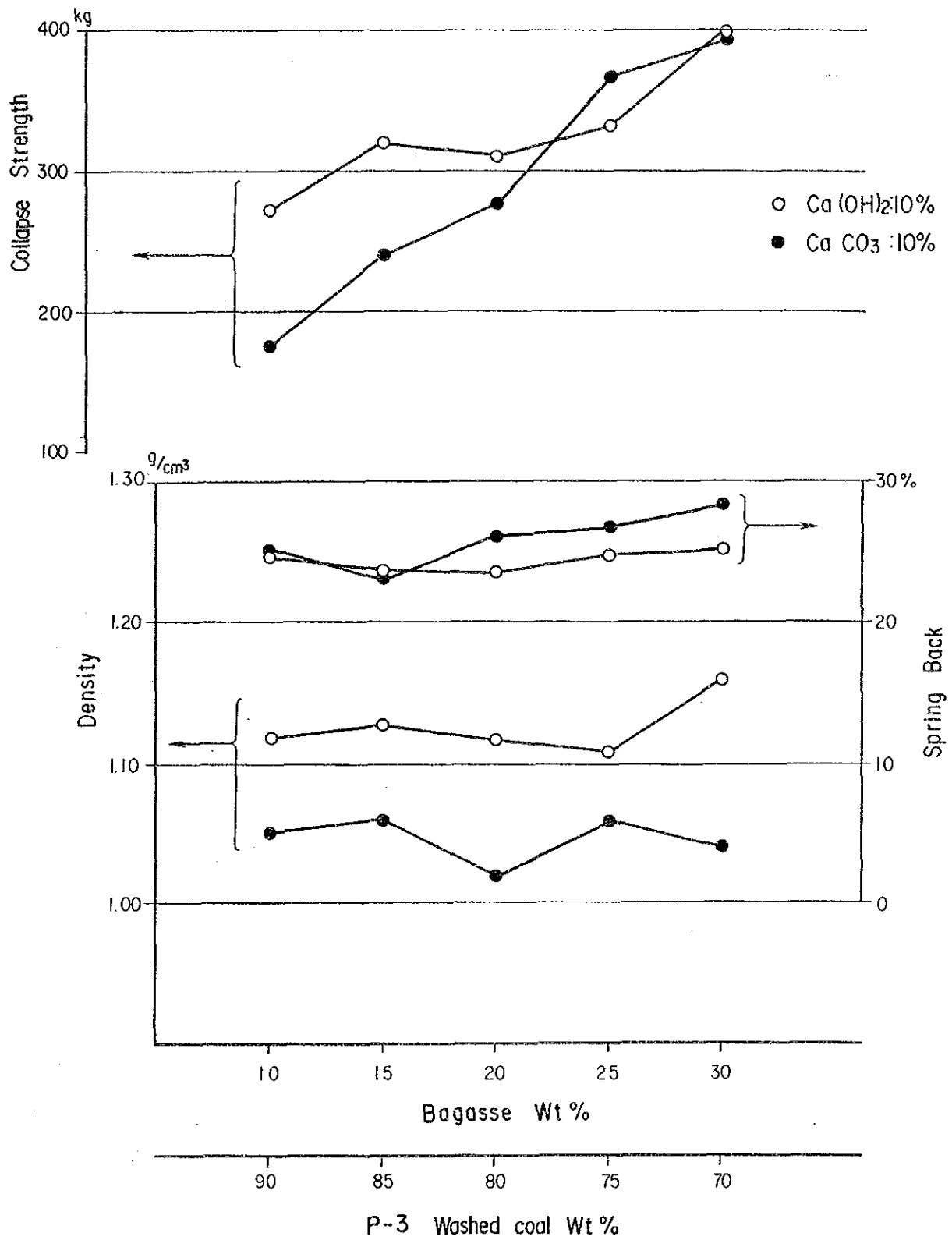


図10-1-3 洗炭/バガスによるタブレットテスト結果



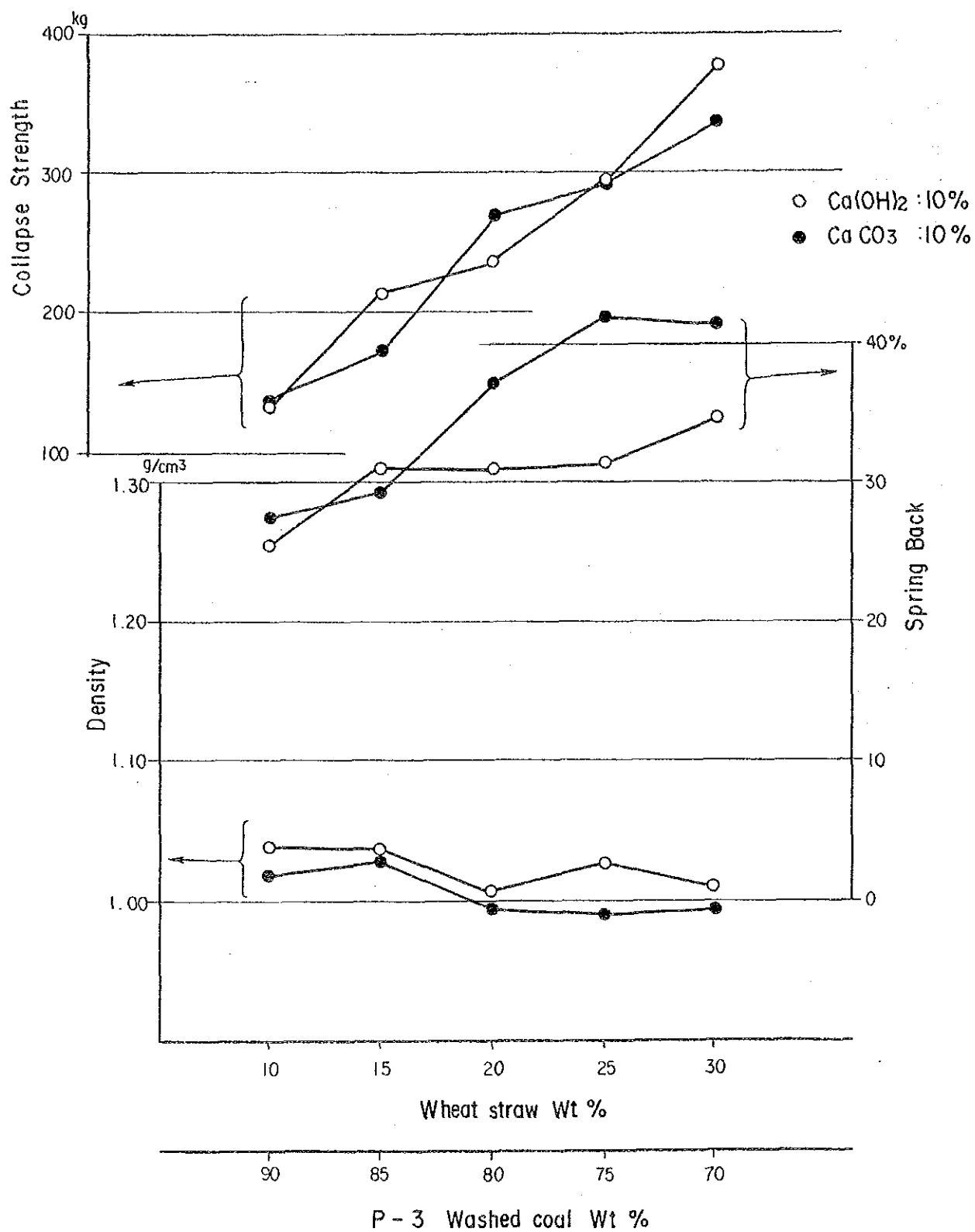


図10-1-4 洗炭/麦わらによるタブレットテスト結果

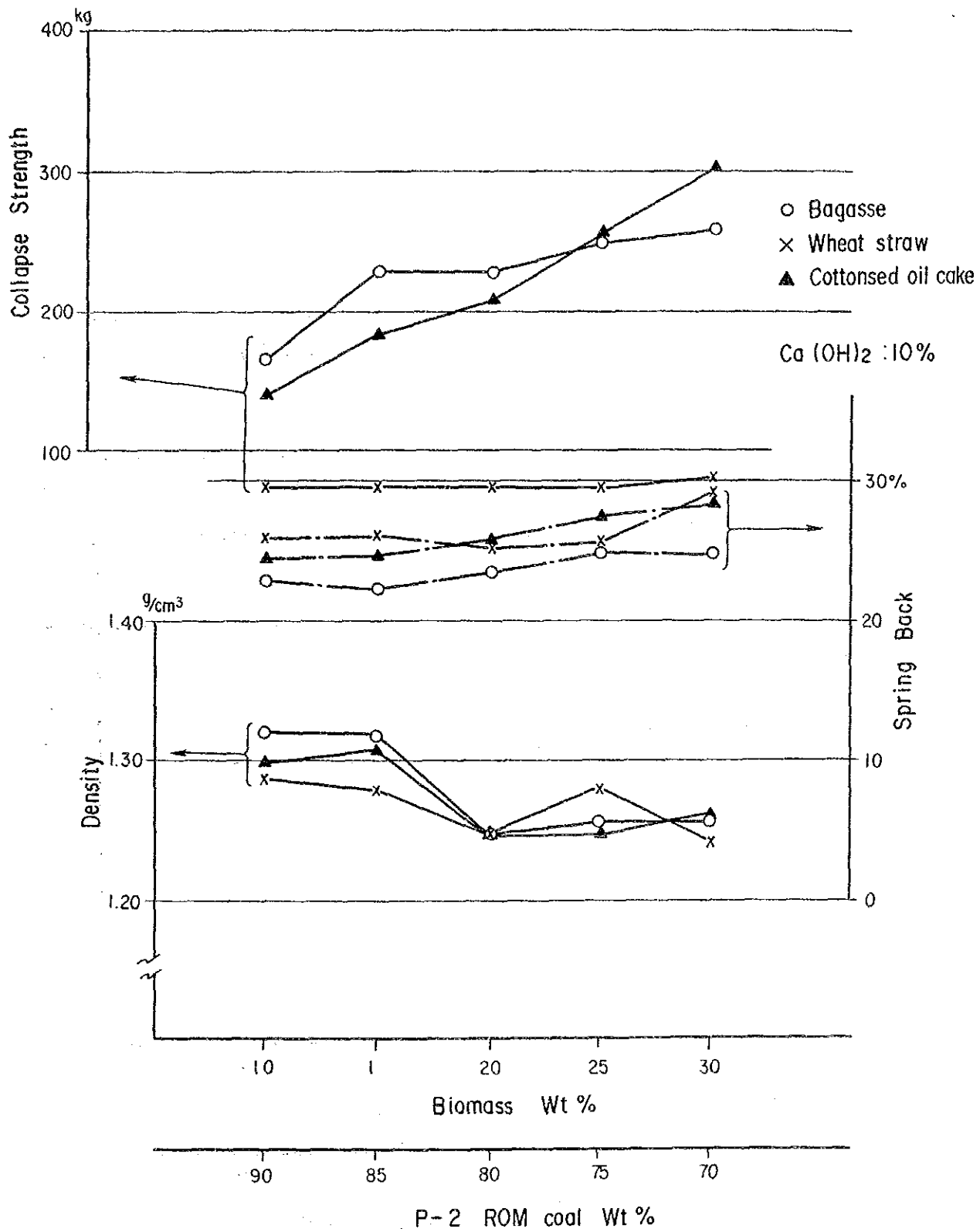


図10-1-5 P-2ロット炭/バイオマス(3種)によるタブレットテスト結果

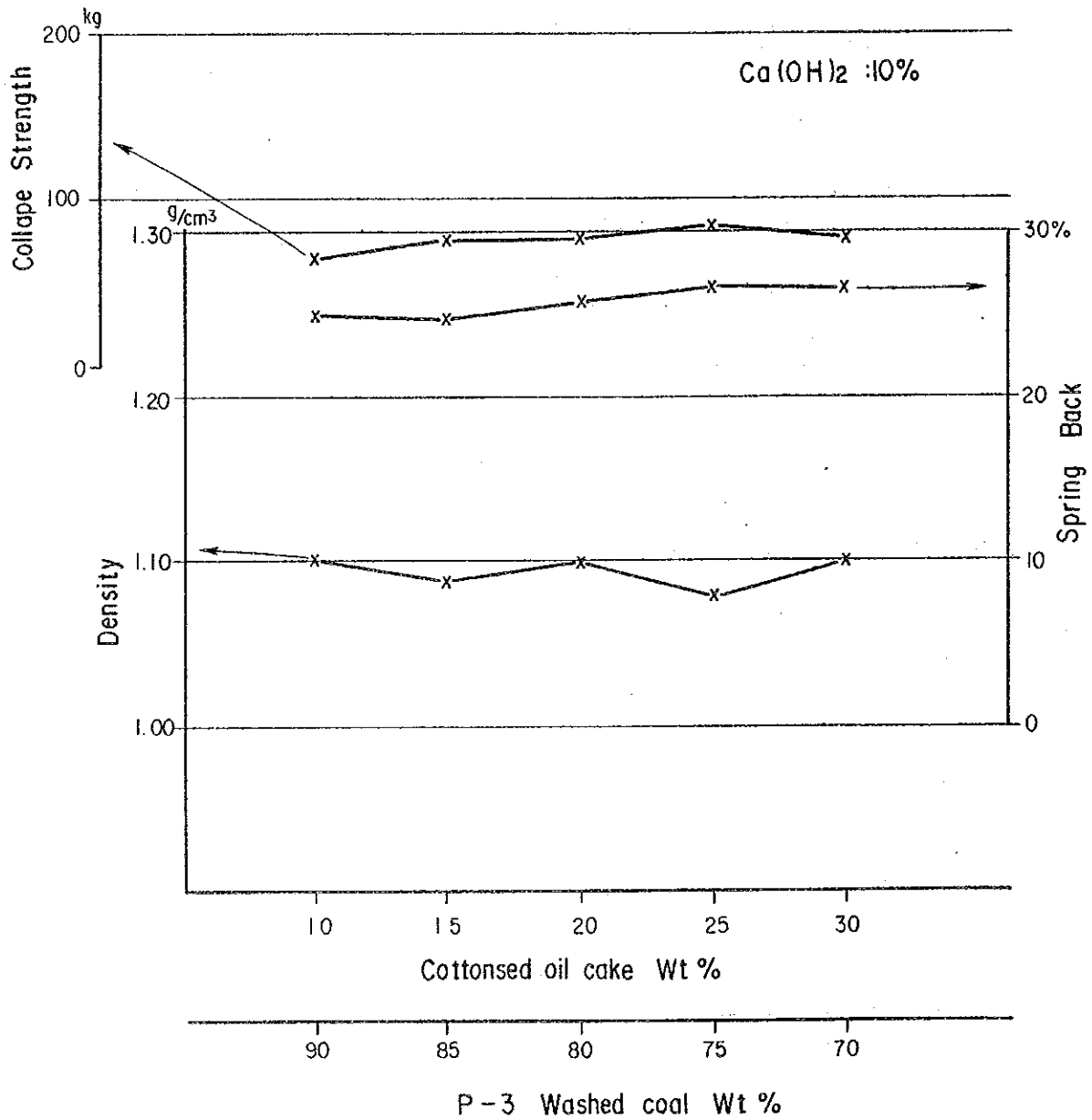


図10-1-6 洗炭／綿実油残渣によるタブレットテスト結果

## 10-2 実装置テスト

### 10-2-1 試験方法

実装置テストはパイロット成型機によるものと工場の実装置によるものの2段階で行った。また、この試験のために石炭にバイオマス原料および脱硫剤を混合し圧縮成型した試料とバイオマス試料の代わりに結合剤としてのセメントを混合した試料の2群の豆炭を試製した。前者についてはさらにアーモンド型とピロー（枕）型の2種の形状の試料を試製した。以上より実装置テストの試料番号の分類は表10-2-1に示す通りとなる。上記試料の試製に際しては前節で述べたベンチスケールテストの結果を反映した。

表10-2-1 豆炭試料番号の分類

Type of Test Machine	With Biomass		Without Biomass (With Cement)
	Almond-shaped	Pillow-shaped	Almond-shaped
Pilot	1-1 to 1-19	3-1 to 3-6	-
Commercial	2-1 to 2-31	-	4-1 to 4-4

アーモンド型豆炭は、最初にパイロット成型機を用いて試験し、次いで工場の実装置による実験を行った。アーモンド型豆炭で試験条件を確立後、パイロット成型機を用いてピロー型豆炭の成型試験を行った。ベンチスケールテストの結果を確認する意味でバイオマス入り、バイオマス無しの成型試験も含めた。また石灰石、消石灰の両者の影響を成型試験でテストした。バイオマスを含まない系にセメントを加えて成型試験を行った。

石炭・バイオマスサンプルは熱風で乾燥し実装置で粉砕した。石炭はインパクトクラッシャー、バイオマスはカッティングクラッシャーで粉砕した。両クラッシャーには2mmのスクリーンを付けた。表10-2-2(A)、(B)、(C)、(D)は石炭とバイオマスの粒度分布を示す。図10-2-1にアーモンド型豆炭の成型試験に用いたパイロット豆炭成型機のスケッチを示す。パイロット成型機は実装置と同じく、モーター、減速機、成型ロールを持つ。表10-2-3に成型試験に用いた豆炭成型機の仕様を示す。パイロット成型機は一回のテストに約5~10分かかり、約5kgのサンプルを消費する。一方、実装置は一回の実験が2~3分で終了、約50~60kgのサンプルを消費する。工業段階で再現性のあるデータを得るためには、実装置で試験する方が望ましいが、サンプル消費量が多くすべての実験を実装置で行うことはできない。ピロー型豆炭成型用には実装置がなく、パイロット成型機のみ使用可能であった。

表10-2-2(A) 石炭の粒度分布

(Unit: percent)

Screen,mm	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-1 (DP)	P-3 (DP)	P-3 (Washed)
over 2.0	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1.0/2.0	4.9	4.7	3.7	7.5	3.3	4.4	5.7	6.1
0.5/1.0	23.2	25.8	15.4	34.3	19.2	21.9	26.2	31.5
0.25/0.5	27.1	27.2	22.4	25.0	26.3	22.9	26.1	27.1
under 0.25	44.6	42.1	58.2	33.0	51.0	50.6	41.8	35.1
Moisture	13.7	12.9	12.2	12.2	7.0	11.9	12.9	8.6

Note: DP stands for dry pretreatment.

表10-2-2(B) バガスの粒度分布

(Unit: percent)

Screen,mm	1.0	1.5	2.0	3.0
over 2.0	0	0	0.3	3.3
1.0/2.0	0	11.5	16.1	28.6
0.5/1.0	50.2	44.4	32.0	34.9
0.25/0.5	32.3	28.6	23.1	22.0
under 0.25	17.5	15.5	28.5	11.2
Moisture	8.7	8.7	8.7	8.7

Note: Bagasse dried by hot air

表10-2-2(C) 麦わらと綿実油残査の粒度分布

(Unit: percent)

Screen,mm	Wheat Straw		Cottonseed Oil Cake
	2.0	3.0	2.0
over 2.0	0.1	3.8	55.8
1.0/2.0	17.3	46.0	11.4
0.5/1.0	37.4	28.7	11.4
0.25/0.5	25.9	13.2	10.3
under 0.25	19.3	8.3	11.1
Moisture	Naturally dried		

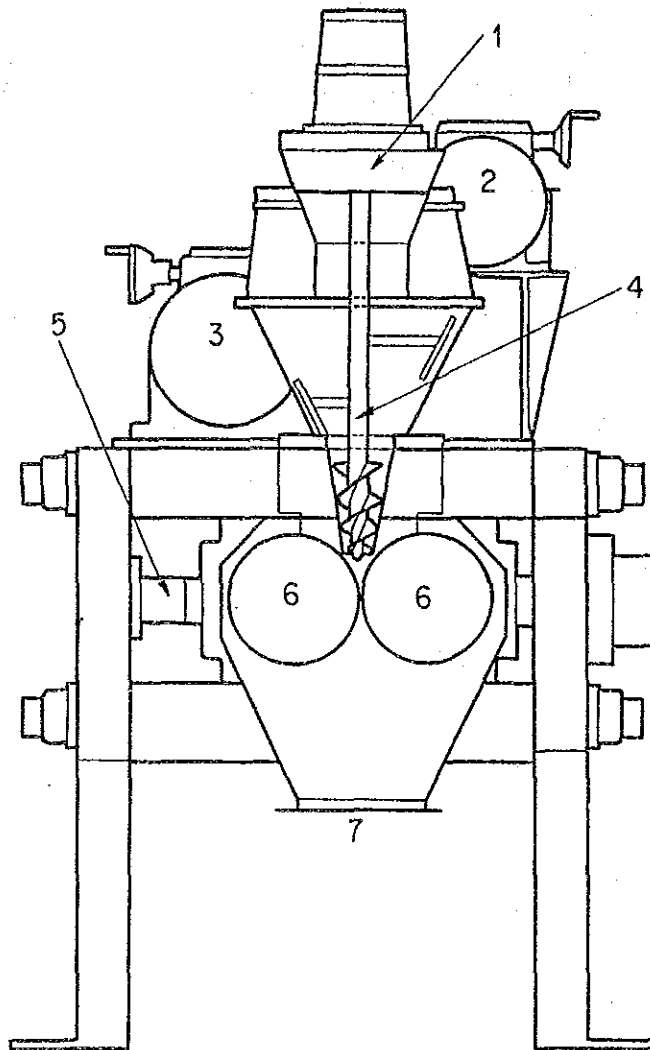
表10-2-2 (D) ピロー型豆炭試料成型用原料の粒度分布

(Unit: percent)

Screen, mm	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	Bagasse
over 2.38				0.1		
1.19 -2.38		1.4		1.2	0.9	3.7
0.59 -1.19	1.5	20.2	1.0	19.8	18.3	25.5
0.297-0.59	24.0	21.9	23.4	25.6	25.6	28.1
0.149-0.297	30.4	17.2	28.0	22.4	22.7	17.4
0.074-0.149	24.7	10.5	21.7	14.3	14.7	8.7
under 0.074	19.4	28.8	25.9	16.6	17.8	16.6
Moisture	12.4	10.0	11.1	9.2	5.7	9.2

表10-2-3 成型実験用豆炭成型機の仕様

Type of Machine	Pilot	Pilot	Commercial
Shape of Coal Bquette	Almond	Pillow	Almond
Manufacturer	-- Otsuka Iron Works --		
Model No.	K-123A	K-205	K-209
Roll			
diameter, mm	300	520	520
weight, ton	75		
pressure, kg/cm <sup>2</sup>	165	170	165
rotation, rpm	3.4 to 14		10
Feeder			
rotation, rpm	7.5 to 90		9.8 to 39
Electric motor			
for roll	5.5kw x 4p	37kw x 4p	45kw x 6p
for feeder	3.7kw x 4p	5.5kw x 4p	7.5kw x 4p
Mold, mm			
width	37	38	37
length	21	38	21
height	12	12	12
Capacity, kg/h	120 to 200	600 to 800	
Capacity, ton/h			1.25 to 5



- |                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 1: Charging hopper    | 5: Load cell      |
| 2: Feeder drive moter | 6: Roll tyre      |
| 3: Roll drive moter   | 7: Product outlet |
| 4: Screw              |                   |

図10-2-1 パイロット豆炭成型機のスケッチ

## 10-2-2 成型試験結果

表10-2-7から10-2-10までに各々パイロット成型機によるアーモンド型、実装置によるアーモンド型、パイロット成型機によるピロー型および実装置によるバイオマス無しの豆炭成型試験結果を示す。表10-2-10に示すごとく、バイオマス無しでは成型不可能であった。豆炭の機械強度が非常に弱く平常の取扱にも耐えない。またセメントを加えても固まらない。表10-2-4にはベンチスケールテスト結果も含め、成型試験結果から得られた豆炭成型の最適条件を示す。

表10-2-4 豆炭成型の最適条件

	Condition
Kinds of Coal	ROM Coal or Washed Coal
Particle Size of Coal	less than 2mm
Moisture of Coal	less than 13 percent
Ratio of Coal to Biomass	8 to 2
Kinds of Biomass	Bgasse or Wheat Straw
Particle Size of Biomass	less than 2mm
Moisture of Biomass	less than 8.5 percent
Content of Desulfurizing Agent	5 to 8.5 percent *
Content of Coating Agent	4 to 8 percent *

Note: \* The blending ratios of desulfurizing agent and coating agent are the ratios of their amounts to the sum amount of coal and biomass.

成型性能に関するかぎり洗炭、切込炭の差は無い。消石灰の方が石灰石よりも脱硫性能の優れていることを確認した。表10-2-5に石灰石と消石灰の比較を示す。可燃性硫黄分は中和されずに亜硫酸ガスとして大気中に放出された硫黄分を示すが、石灰石を用いた豆炭の方が多し。バイオマスの混合比に関しては、バイオマスの多い方が強度の大きい豆炭を得るが、石炭・バイオマス比8対2で強度は充分であり、かつ、この組成の豆炭の方が、バイオマスの多い豆炭よりも燃焼性能が優れていた。石炭の水分が13パーセント、またバイオマスの粒度が2mmを越すと豆炭成型後の成型膨張率が大きい（即ち成型しにくくなる）ことも確認した。



表 1 0 - 2 - 5 石灰と消石灰の比較

Coal Sample, %	P-3	80	P-1~P-5	80
Bagasse, %		20		20
Desulfurizer, kind	LS	SL	LS	SL
, %	5	5	15	15
Moisture, %	14.7	15.2	6.9	6.3
Ash, %	8.5	10.9	33.3	47.3
Total sulfur, %	1.5	1.4	4.1	3.6
Incombustible sulfur, %	0.8	1.6	0.9	3.5
Combustible sulfur, %	1.0	0.1	3.5	0.3

表 1 0 - 2 - 6 に、最終的に工業化に適するとして選定した豆炭の、成型試験条件、組成、主要運転条件を示す。

表 1 0 - 2 - 6 燃焼試験用試料の成型試験結果

Ex.No.	Coal			Biomass			Desulf. Grade			RPM		Remarks		
	Lot	% P	M	K	% P	M	K	% M	Roll	Feedor				
2-29	1 thru 5	80	2	11.6	B	20	2	8.2	S	15	5.4	E	28	C.S 162 over
2-30	1 thru 5	80	2	11.6	B	20	2	8.2	S	20	5.4	E	30	C.S 162 over
2-31	3	80	2	8.6	B	20	2	8.2	S	7	5.4	E	35.5	Ditto and Washed coal

表10-2-7 パイロット成型機による成型試験結果 (アーモンド型)

Ex.No.	Coal			Biomass			Desulf. K %	Grade	RPM		Remarks			
	Lot	% P	M	K %	P	M			Roll	Feedor				
1-1	1 thru 5	70	3	23	B	30	2	18.1	S	10	I	7	62	
1-2	2	-	-	1-1 Repeat	-	-	-	-	-	-	I	7	45	
1-3	4	75	3	27	B	25	3	18.1	S	5	I	7	85	
1-4	4	70	3	25	W	30	3	12.1	S	5	I	0.25/3.7	85	Roll rpm reduced
1-5	4	80	3	25	W	20	3	12.1	S	5	B	7	51	Strength insufficient
1-6	4	Mixture of 1-1 and 1-2			B	20	3	18.1	S	5	B	7	26	
1-7	4	80	3	25	B	20	3	18.1	C	5	B	7	35	Strength insufficient
1-8	1 thru 5	Mixture of 1-3 and 1-7			B	25	3	16.5	S	5	B	7	38	Strength insufficient
1-9	5	75	3	-	B	25	3	18.1	S	5	B	4.3	26	
1-10	1 thru 5	75	3	-	B	25	3	18.1	-	-	I	-	-	
1-11	5	75	1	1-10 Report	B	25	1	16.5	-	-	G	3.7	79	
1-12	3	75	3	20.4	B	25	1	18.1	-	-	E	3	79	Particles small
1-13	2	80	2	15	B	20	1.5	6.2	S	5	G	5	45	
1-14	1,2,4,5	80	2	15.5	B	20	2	6.9	S	5	B			
1-15	1 thru 5	85	2	-	B	15	2	6.9	S	10	B	6.8		
1-16	1 thru 5	80	2	-	B	20	2	6.9	S	10	E			
1-17	3	75	2	-	B	25	2	6.9	S	5	E	7.0	85	Washed coal
1-18	3	80	2	-	B	20	2	6.9	S	5	E	6.8	85	Washed coal

Note: Lot 1/5 indicates P-1 through p-5.

P 3 indicates that the maximum particle size is 3mm.

M 23 indicates that the maximum moisture content is 23 %.

K, B and W indicate that kind of biomass is bagasse and wheat straw.

K, S and C indicate that kind of desulfurizing agent is slaked lime and cement.

Grade I, B, G and E indicate insufficient, bad, good and excellent, respectively.

表 10-2-8 実装置による成型試験結果 (アーモンド型)

Ex.No.	Coal		Biomass		Desulf.		Grade	RPM	Remarks
	Lot	% P M	K % P M	M	K % M	Roll Feedor			
2-1	1	75	25	1.5	5	18.0	B	39	
2-2	1	80	20	1.5	5	18.0	B	34	
2-3	1	85	15	1.5	5	18.6	B	22.5	C.S less than 60
2-4	2	85	15	1.5	5	18.6	G	36.5	C.S 155
2-5	2	82	18	1.5	5	18.6	E	36.5	C.S 189
2-6	2	80	20	1.5	5	18.6	E	38	C.S 179
2-7	2	82	18	3	5	18.6	B	39	
2-8	2	80	20	3	10	18	B	36.5	
2-9	2	80	20	2	10	5.4	E	34.5	C.S 236
2-10	2	80	20	2	10	0.9	E	33.5	C.S 213
2-11	2	80	20	2	15	0.9	E	28.5	C.S 282
2-12	1	80	20	2	10	5.4	E	27	C.S 148
2-13	3	80	20	2	10	5.4	E	31	
2-14	5	80	20	2	10	5.4	E	31	
2-15	2	80	20	2	10	5.4	E	31	
2-16	4	80	20	2	10	5.4	E	30.5	
2-17	1	80	20	2	10	5.4	E	31.5	Coal dry pretreat
2-18	3	80	20	2	10	5.4	E	30.5	
2-19	2	80	20	2	10	5.4	E	28	
2-20	2	80	20	2	10	5.4	E	20	
2-21	1	80	20	2	10	5.4	B	28.5	
2-22	3	80	20	2	10	5.4	E	31.5	
2-23	4	80	20	2	10	5.4	E	30.5	
2-24	1	80	20	2	10	5.4	E	32.5	Coal dry pretreat
2-25	3	80	20	2	10	5.4	E	30.5	
2-26	2	80	20	2	10	5.4	E	28.5	
2-27	3	80	20	2	10	5.4	E	35.5	Washed coal
2-28	1 thru 5	80	20	2	15	5.4	E	28	C.S 162 Over
2-29	1 thru 5	80	20	2	15	5.4	E	28	C.S 162 Over
2-30	1 thru 5	80	20	2	20	5.4	E	30	C.S 162 Over
2-31	3	80	20	2	7	5.4	E	35.5	Ditto and Washed coal

表10-2-9 パイロット成型機による成型試験結果（ピロー型）

Ex.No.	Coal			Biomass			Desulf.			Grade	RPM		Remarks	
	Lot	% P	M	K	% P	M	K	%	M		Roll	Feedor		
3-1	5	80	2	5.7	B	20	2	9.2	S	10	E	10	37	C.S 250
3-2	2	80	1	10.4	B	20	2	9.2	S	10	E	6	67	C.S 295
3-3	1	80	2	12.4	B	20	2	9.2	S	10	E	6	85/97	C.S 200
3-4	3	80	2	11.1	B	20	2	9.2	S	10	E	6	85/97	C.S 368
3-5	4	80	2	9.2	B	20	2	9.2	S	10	E	6	95/95	C.S 365
3-6	1 thru 5	80	2		B	20	2	0.2	S	10	E	6	85/97	C.S 250

表10-2-10 実装置による成型試験結果（バイオマスなしセメントあり）  
（アーモンド型）

Ex.No.	Coal			Desulf.			Cement	Grade	RPM		Remarks	
	Lot	% P	M	K	%	M			%	Roll		Feedor
4-1	1	100	3	26.0	S	5	10	B	7	28	Too fragile	
4-2	1	100	3	23.9	S	5	10	B	7	22	Too fragile	
4-3	2	100	2	12.9	S	12.5	5.4	-	B	10	22	C.S 21.4 Too fragile
4-4	1	100	2	15.5	S	10	5.4	10	I	-	-	Not briquetted



## 第11章 燃焼試験

燃焼試験は豆炭製造と並行して行った。燃料試験の目的は以下の通りである。

1. 最適な豆炭の燃焼特性を観察し、かつそれがパキスタン社会に受け入れられるか否かを判断すること。
2. 実際に燃焼試験を行い、パキスタンでの豆炭燃焼に適した設計のコンロを開発すること。
3. 試製した豆炭の燃焼性を評価し、豆炭の最適性状（組成等）に至るための試製条件（調合率等）を調整すること。
4. 豆炭の消費者価格を設定する一つの基準とするために、豆炭と灯油の燃焼の熱効率を測定すること。

### 11-1 燃焼特性の観察と市場性

#### 11-1-1 燃焼特性の観察

推奨可能な試製豆炭の燃焼特性を下記する。

##### (1) 着火

豆炭は紙や乾燥バガスのような着火材によって容易に着火する。5分間で安定した燃焼状態に至る。

##### (2) ばい煙

豆炭は燃焼の初期段階でばい煙を発生する。ばい煙の発生量はコンロの設計によってかなり変わるが、薪が通常燃やされる場所では我慢できる程度のものと見なせる。着火後10数分で豆炭から揮発分が発生し、ばい煙の発生はなくなる。

豆炭使用時の亜硫酸ガス、刺激性のばい煙の発生は消石灰を適当量加えることでほとんど抑制できる。

##### (3) 火力

豆炭の火炎は薪あるいは灯油の火炎と同じ位強い。

##### (4) 煤の発生

豆炭は多少煤を発生するが石炭よりもはるかに少ない。豆炭の煤は石油のそれよりもはるかに軽くふわふわしている。

## 11-1-2 市場性

プロジェクトスキームで示した豆炭の目標品質水準は、提案する設計のコンロで燃やすかぎり組成を最適化することで満足できる。豆炭は、パキスタンでごく普通に見られる馬蹄形コンロの中で燃やす場合には、燃焼初期段階にかなりの量のばい煙を発生する。ただし、刺激性の亜硫酸ガスは消石灰を加えることで容認可能な水準まで抑制でき、またパキスタンの平均的な家庭が開放的な構造であることを考え合わせれば、消費者は豆炭を受け入れると考えて良い。しかしこの種のコンロは、一次および二次空気の量を調節できないため豆炭燃焼には向かない。一方、豆炭を試製コンロ、タイプD、E、F、ST-1およびST-2に装炭して燃やした場合には、その熱効率はパキスタンでごく普通に使われている灯油コンロの熱効率の約70%となる。この種のコンロでは豆炭はよく燃えるが燃焼初期には多少のばい煙を伴う。

以上より、豆炭の品質は消費者に受け入れられると考えて良い。ただし、提案する設計のコンロは、豆炭の特性を最大限に引き出し安価で容易に入手できるように製造する必要がある。加えれば、以上の結論は、通常ばい煙が屋内に滞留せずに屋外へ出やすい半開放的な構造となっているパキスタンの平均的な台所の現状を考慮している。ばい煙は、たとえそれが目や喉を刺激しなくとも気になるものであるもので、特に豆炭を灯油と比較する際にはこの問題を十分考慮する必要がある。したがって、本計画の推進者は提案する設計のコンロが消費者の手に入るよう、十分に努力する必要がある。

## 11-2 豆炭コンロの開発

### 11-2-1 既存コンロ

提案する設計のコンロを開発するためのデータ入手および豆炭の市場性の評価のために、パキスタンで購入した灯油コンロ1基、固型燃料用コンロ2基を試験した。

#### (1) パキスタン製灯油コンロ

灯油コンロには調節可能な灯心があり、火力はこれを上下させることで調節する。同コンロを図11-2-1に示す。同コンロで灯油は良く燃える。同コンロの熱効率の測定は警笛付やかんに3リットルの水を入れ、21℃から沸点まで加熱することで行った。同試験を4回くり返し、灯油の消費量を計った。試験は112分かかり、その間に220グラムの灯油を消費した。

熱効率は以下のように計算する。

熱効率

$$\begin{aligned} &= 4 \times (3.0\text{kg}) \times (1.0\text{kg/l}) \times (1.0\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times (100^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}) \\ &\quad / ((0.22\text{kg}) \times (10,270\text{kcal/kg}) \times 100 \\ &= 42.0\% \end{aligned}$$

総発熱量および真発熱量基準の熱放出率は以下のように計算する。

$$\text{Hh} = (0.22\text{kg}) \times (11,030\text{kcal/kg}) / (112/60\text{h}) = 1,300\text{kcal/h}$$

$$\text{Hh} = (0.22\text{kg}) \times (10,270\text{kcal/kg}) / (112/60\text{h}) = 1,212\text{kcal/h}$$

### (2) パキスタン製炊事用コンロ

当コンロはパキスタンではごく普通に見られる。形状は外径 185mm、高さ 220mm、ばい焼炉（ロースター）の深さが70mmである。同コンロのを図1 1-2-2に示す。ロースターは、豆炭を燃やした場合には、その火炎が小鍋を包み込んでしまう程浅く造られている。そのため火炎に含まれる熱のかなりの部分が鍋に伝わらずに逃げてしまう。同コンロでも豆炭は燃やせるが相当量のばい煙が特に燃焼初期に出る。この状態は理想的ではない。ただし消石灰を加えることでばい煙を刺激の無いものに変えられること、また台所がばい煙が逃げやすい状態であることを考慮すれば、豆炭を消費者が受け入れると判断できる。

### (3) クェッタコンロ

当コンロは暖房および炊事用として主にクェッタ地域で使用する。同コンロを図1 1-2-3に示す。同コンロには、ばい煙を屋外へ出すために煙突が付いている。この種のコンロには様々な大きさがあり、家内工業で製造し市場で販売している。試験に使用したコンロはクェッタで購入したもので、外径 160mm、火床の直径が 120mmである。代表的な試験では、アーモンド型の豆炭 1.5kg、着火材として薪 0.2kgを使用し着火した。一次空気孔を全開した場合、着火は容易で豆炭の燃焼量は最高2kg/hourであった。ばい煙は初期の20分間に発生したが、この内最初の10分間は主にコーティング剤の燃焼からのばい煙によるものであった。以降ばい煙は白色となり肉眼ではほとんど認識できなくなった。同コンロは、ばい煙を屋外へ排出するので、実用上は問題なく消費者にも十分受け入れられる。ただし、この種のコンロは本計画の対象地域からはるかに離れた地域で使用するので市場としてはあまり期待できない。



## 11-2-2 試製コンロ

豆炭燃焼用の最適なタイプを決めるために多くのコンロを試製した。これらのコンロは、前作の設計上の欠点を今回で修正するという形で試製と試験をくり返した。試験した8種のコンロを図11-2-4から図11-2-11に示す。図11-2-9および図11-2-11に示した。タイプFおよびST-2は、最終的に至った提案する設計のコンロである。これらの設計は豆炭の特性を最大限引き出すと見られる。提案する設計のコンロの商業生産はパキスタンの家内工業の製造能力を超えるものではない。

表11-2-1 試製コンロのまとめ

Model	Figure	Main feature	Results
A	11-2-4	Many holes for secondary air	Smoke not decreased
B	11-2-5	Upper roaster contracted by orifice with 8 holes for secondary air	Smoke not decreased
C	11-2-6	Insulator outside Cylinders to rectify gas flow Many holes on upper roaster to assist combustion	Smoke not decreased
D	11-2-7	90 holes on upper roaster	Smoke decreased
E	11-2-8	Similar to Fig.11-2-7 Diameter smaller	Same as above
F	11-2-9	Outer shell added to previous	Smoke decreased further Thermal efficiency increased
ST-1	11-2-10	Separable gas and carbon combustion chambers Insulator outside Chimney Detachable cylinders to rectify gas flow Holes to induce tertiary air	Smoke decreased further Thermal efficiency increased
ST-2	11-2-11	Similar to Fig.11-2-10 Double-hull structure Insulator between hulls Holes to introduce primary, secondary and tertiary air Lattice to rectify gas flow	Smoke decreased further thermal efficiency increased

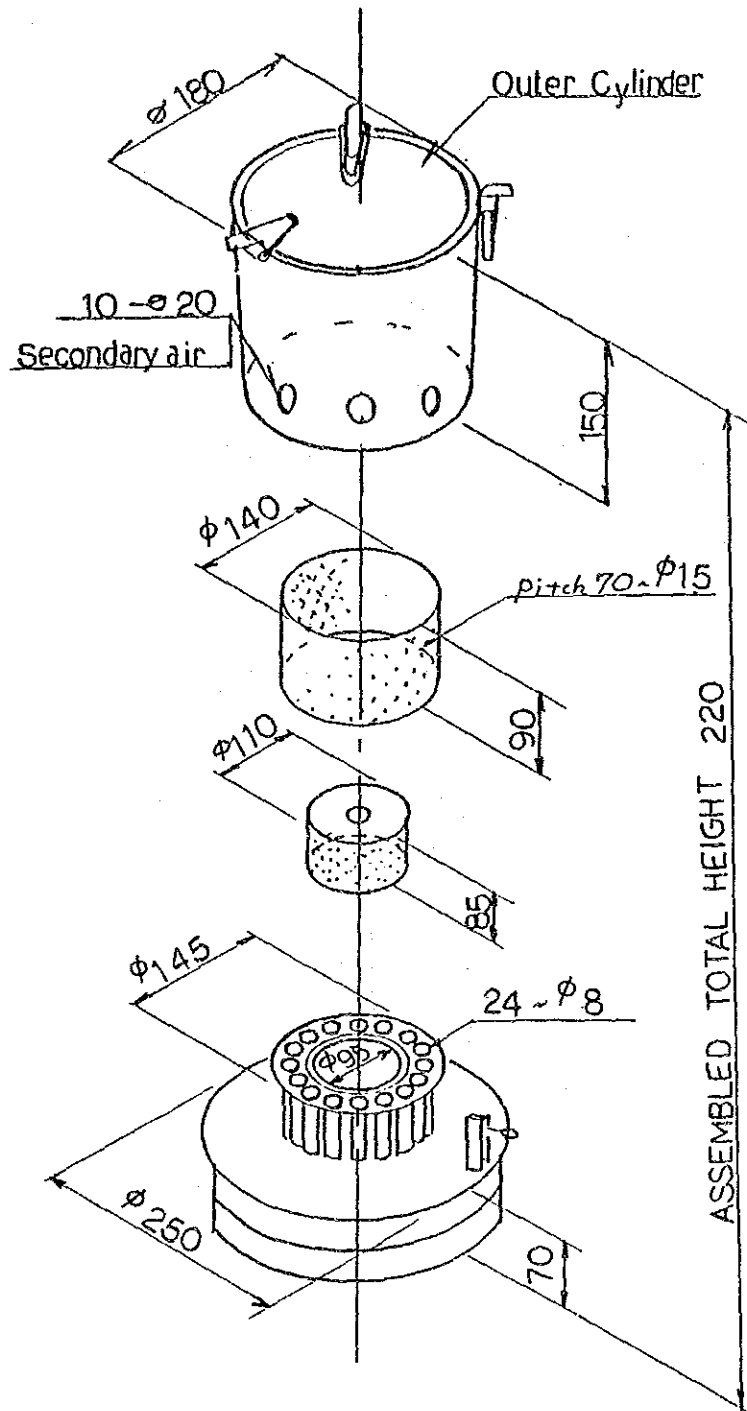


図11-2-1 パキスタン製家庭用コンロ

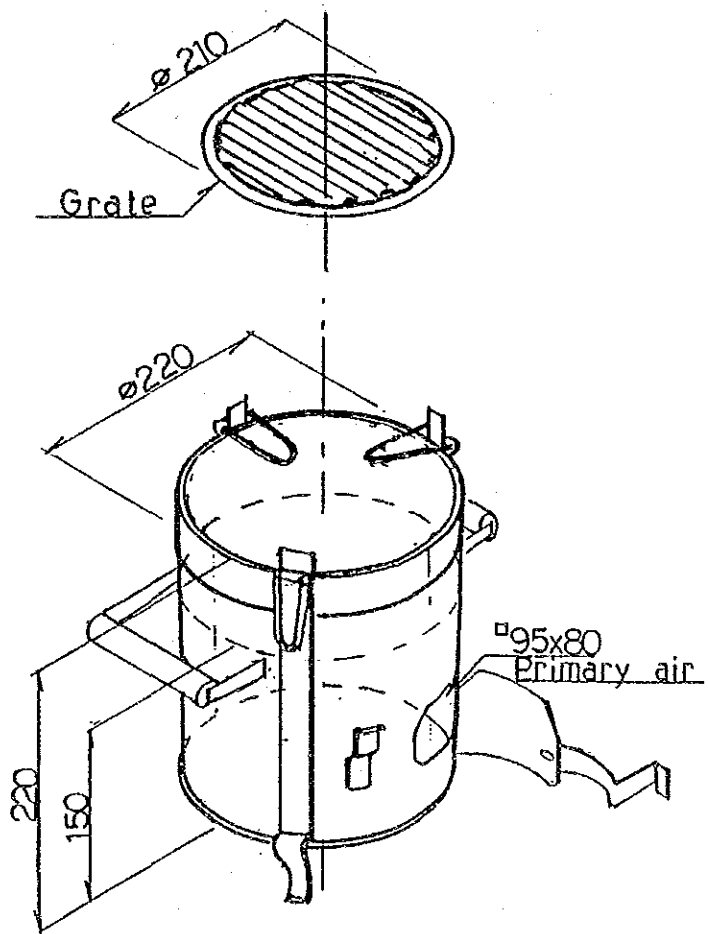


図 1 1 - 2 - 2 パキスタン製同型燃料式炊事用コンロ

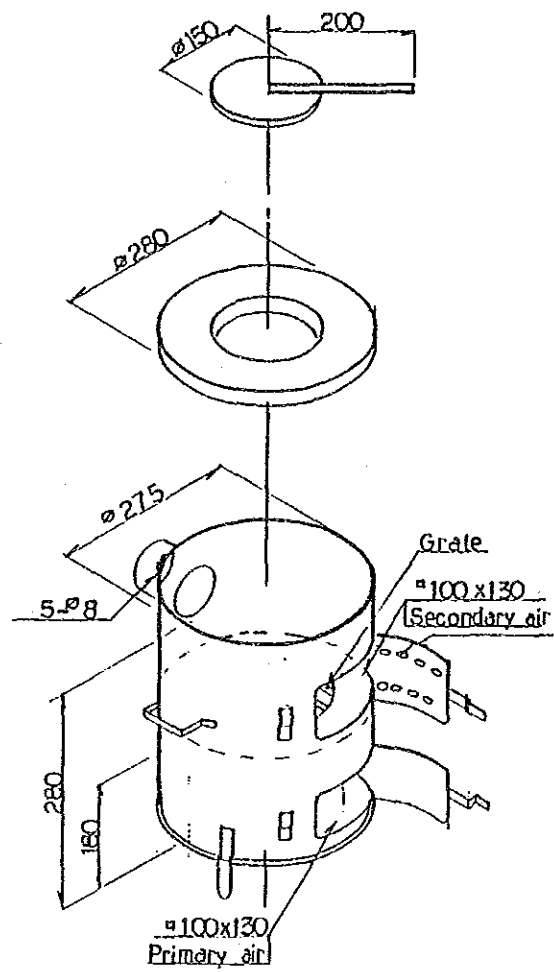


図 11-2-3 ケットコンロ

表1 1-2-2に種々の設計の試製コンロの燃焼試験に使用した試製豆炭を示す。コンロ中に同表に示す量の豆炭を装炭し、その上に紙、薪あるいはバガスなどの着火材をのせた。着火後3~4分で豆炭への着火を確認した。その後やかんをコンロに乗せた。セパレート式コンロの場合、1kgのアーモンド型の豆炭または1.5kgのピロー型の豆炭を燃やした。豆炭が揮発分を出し尽くして、火炎なしに燃え始めたときにコンロの上部を取りはずした。コンロ上部を取りはずす前に全ての空気孔を全開した。コンロ上部を取りはずす際には一次空気孔を除いた全ての空気孔を閉じた。排気ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素、亜硫酸ガス、酸素およびばい煙を分析した。熱効率は3リットルの水を沸点まで加熱することで測定した。

#### (1) 着 火

着火材として小割り薪、バガスおよび紙を試験したが、50~100gの量なら薪で最良の結果を得た。バガスの結果も良好であった。

#### (2) 熱放出量

熱放出量はやかんの水の加熱に必要な時間(沸上がり時間)で測定した。測定結果はコンロ、燃料の使用料、豆炭の品質、およびその他空気量あるいは室温等の条件によって変わった。表1 1-2-3に試製したコンロの湯沸し効率を示す。通常、沸上がり時間はコンロへの豆炭の装炭量と種類によって変化する。

煙突なしコンロでの豆炭燃焼のパターンは表1 1-2-3の試験番号Ex. No. 11が典型的である。この実験には表1 1-2-2のNo. 2-11で示される豆炭を1kg用いた。熱放出量は当初の30分間、揮発分の燃焼時に大きく、この間3リットルの水を11から12分で沸騰させることができた。つぎにチャーの燃焼に移り、この期間では3リットルの水を沸騰させるのに14から15分を要した。チャーが燃え尽きるに従い、水の沸騰に要する時間が長くなる。仮に1kgではなく0.5kgの豆炭を用いると、第2回目以降のテストでは3リットルの水を沸騰させるのに15から25分を要した。すなわち、熱放出量を入れる燃料の量により変動する。現パキスタンの厨房と競合するためには、一回に500から600g以上の豆炭を用いる必要がある。熱発出の速度は、当然一時空気窓の調節によりある程度調節可能である。

煙突付コンロ、すなわち図1 1-2-10のST-1を用いた場合、同じ豆炭1kgを用いて3リットルの水を4回沸騰させることができた。この回数は煙突なしコンロの場合も実験番号11を除き同じである。しかし、煙突付きコンロの方が沸騰に要する時間は長くなった。第5回目は水温が62または64℃になった時点で燃料が燃え尽きた。ピロー型豆炭は、大きすぎて良く燃えなかった。

表 1 1 - 2 - 2 試製コンロの燃焼試験に使用した豆炭

Ex. No.	Low Heating Value kcal/kg	Shape	Remarks
2-11p	3,800	Almond	Paraffin Coated
2-10	3,693	Almond	
2-11	3,540	Almond	
2-11p	3,796	Almond	Paraffin Coated
2-27	4,706	Almond	Washed Coal
2-27p	4,717	Almond	Washed Coal
3-5	3,924	Pillow	
3-5p	4,165	Pillow	Paraffin Coated
3-6	3,480	Pillow	
3-6p	3,799	Pillow	Paraffin Coated

表 1 1 - 2 - 3 試製コンロの湯沸し効率

Ex.No.	Stove	Time Required to Heat Water(min.)						Thermal Efficiency* (%)
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	
1	C	16	14	15	19	(22-66)	-	28.8
2	C	17	12	18	23	(22-35)	-	26.3
3	D	15	10	19	20	(22-86)	-	30.5
4	D	21	13	16	22	(22-69)	-	29.1
5	D	18	15	15	20	(20.5-73)	-	33.4
6	D	20	15	18	26	(21.5-60)	-	31.7
7	E	18	15	17	21	(20-74)	-	29.5
8	E	20	27	(20.5-58.5)	-	-	-	32.9
9	E	21	31	(21-58.0)	-	-	-	33.1
10	F	17	12	14	15	(21-84)	-	34.1
11	F	12	11	15	14	33 (20.5-55.8)	-	36.7
12	F	13	25	(20.5-45)	-	-	-	30.7
13	F	12	15	(18.5-76)	-	-	-	26.9
14	ST-1	23	15	18	30	(21-62)	-	30.3
15	ST-1	20	13	15	35	(21-64)	-	28.3
16	ST-1	19	17	20	22	-	-	-
17	ST-1	28	19	21	20	-	-	-
18	ST-1	27	23	20	29	(18-45)	-	22.7

Note: The two figures in parenthesis indicate respectively temperatures of water before and after heating, hence the boiling point was not reached. The total heat transferred to water including the last run where the boiling point was not reached is used to calculate thermal efficiency.

### (3) 湯沸し効率

煙突なしコンロ（タイプC～F）の場合は、豆炭の装炭量が1kgの場合は湯沸し効率は26～37%、装炭量が500kgの場合は27～33%と多少低目となった。タイプD、EおよびFは全て灯油コンロの効率（42%）の70%以上の効率を示した。煙突付コンロ、タイプST-1の場合、おそらく多くの熱が煙突より散逸したため、効率は低目で23～30%となった。洗炭製で最も高い発熱量を有する試料番号2-27の湯沸し効率は約23%と低かった。しかし、これら後者二つの現象は煙突式コンロ、あるいは発熱量の高い豆炭の基本的な欠点を示しているのではなく、むしろコンロや燃料の違いに応じて、燃焼条件を調整する必要があることを示している。

### (4) ばい煙および放出ガス

#### (a) 煙突なしコンロ

煙突なしコンロは試験に立ち会った専門家が観察して評価した。試験結果は必ずしも定量化に適さないが、パキスタンの消費者が豆炭を燃やした場合に予想される反応と同様な反応を得るという意味で、同官能試験は信頼できる。ばい煙は試験燃焼の初期に発生した。コーティング剤の燃焼によるばい煙は初めはかなり目だったが、次第に減少し、約30分で完全になくなった。豆炭中の硫黄は消石灰を加えることで中和したため、豆炭から出るばい煙が目や喉を刺激することはない。パキスタンの台所と似たような半開放的な場所では、ばい煙は滞留せずすぐに屋外へ流出した。ばい煙の刺激性を除くために適量の消石灰を加え、製品豆炭中の可燃性硫黄を1%以下に抑える必要があることが燃焼試験により判明した。

#### (b) 煙突付コンロ

リングルマンばい煙濃度計を煙突中のばい煙濃度測定に使用した。表11-2-4に同濃度計の測定結果を示す。

表11-2-4 リンゲルマンばい煙濃度計の測定値  
(タイプST-1の場合)

Ex. No	Initial	Volatile matter burning	
		Average	Maximum
2-11	0.2 to 0.5	0.08	0.18
2-11P	2.00	0.16	0.30
3-6P	0.30	0.18	0.34
3-5P	2.00	0.52	1.20

燃焼初期以外、同濃度計の測定値は唯一の例外である測定値1.2を除き、燃料試験を通じて1を下回った。濃度計の測定値は肉眼でばい煙をかろうじて認識できる程度である。亜硫酸ガスの発生は、表11-2-5に示す如く、適当量の消石灰を加えることで抑制できる。R値（一酸化炭素(CO)に対する二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の比率)および窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)値は図11-2-12から11-2-15までに示す如く非常に低い値であった。

表11-2-5 亜硫酸ガス濃度(タイプST-1の場合)

(Unit: PPM)

Ex. No.	Volatile Matter Burning		Char Burning
	Maximum	Average	Maximum
2-11	740	474	722
2-11P	1,320	846	889
3-6P	534	348	585
3-5P	712	460	473

なお、コンロの試製を通じて、パキスタンで市販されている既存の固型燃料用コンロも下記のように改造すれば豆炭用に実用に供し得ることがわかった。

- ・煙突なしコンロの場合、長炎の豆炭の燃焼特性に合わせて、簡単に分離できる外炎筒および内炎筒を設ける。
- ・煙突付コンロの場合、熱効率を向上させるために二次および三次空気孔を設ける。



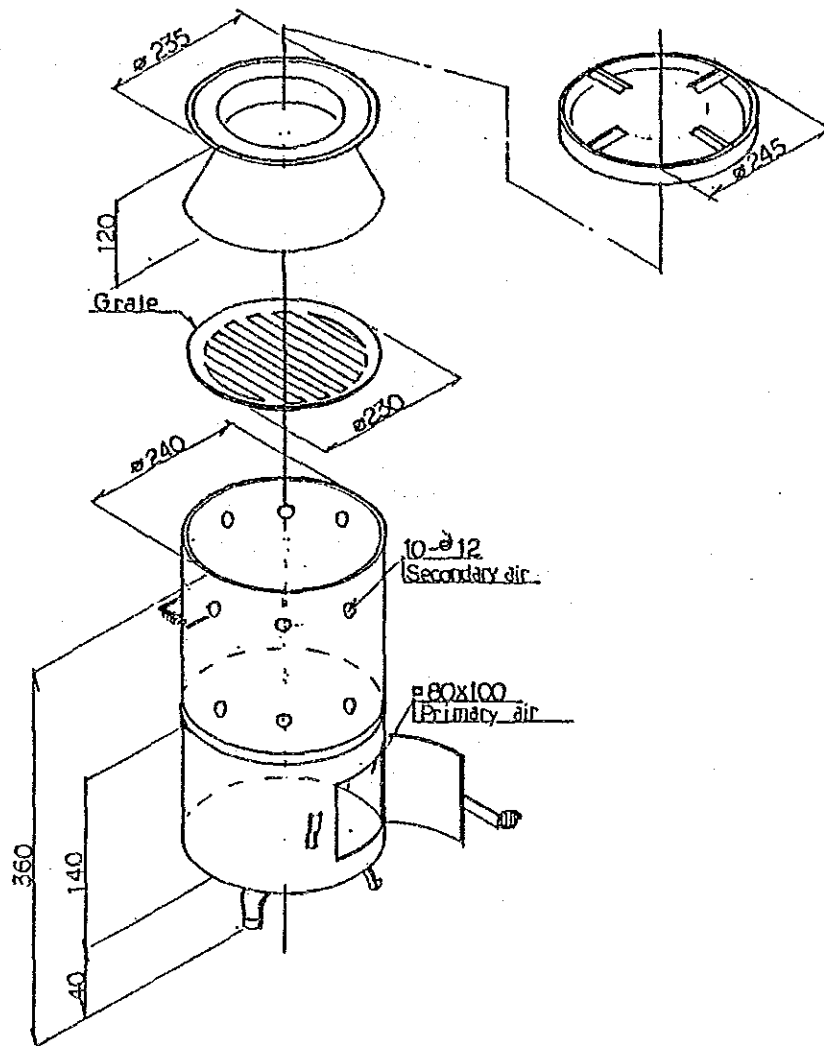


図11-2-4 タイプA携帯型炊事用コンロ

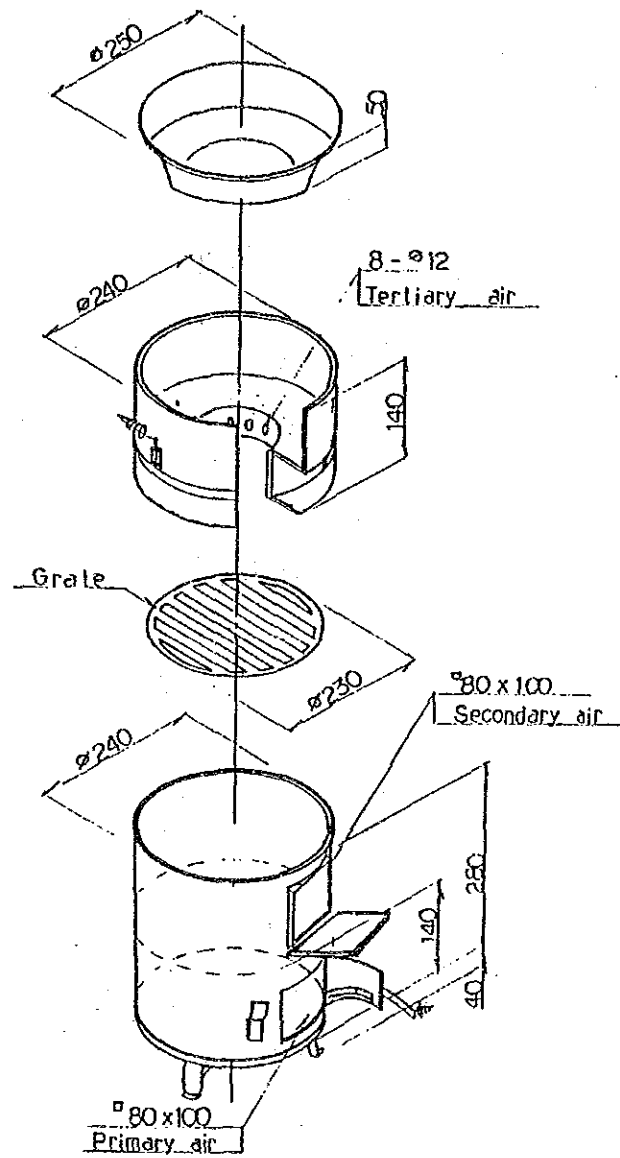


図 1 1 - 2 - 5 タイプ B 携帯型炊事用コンロ

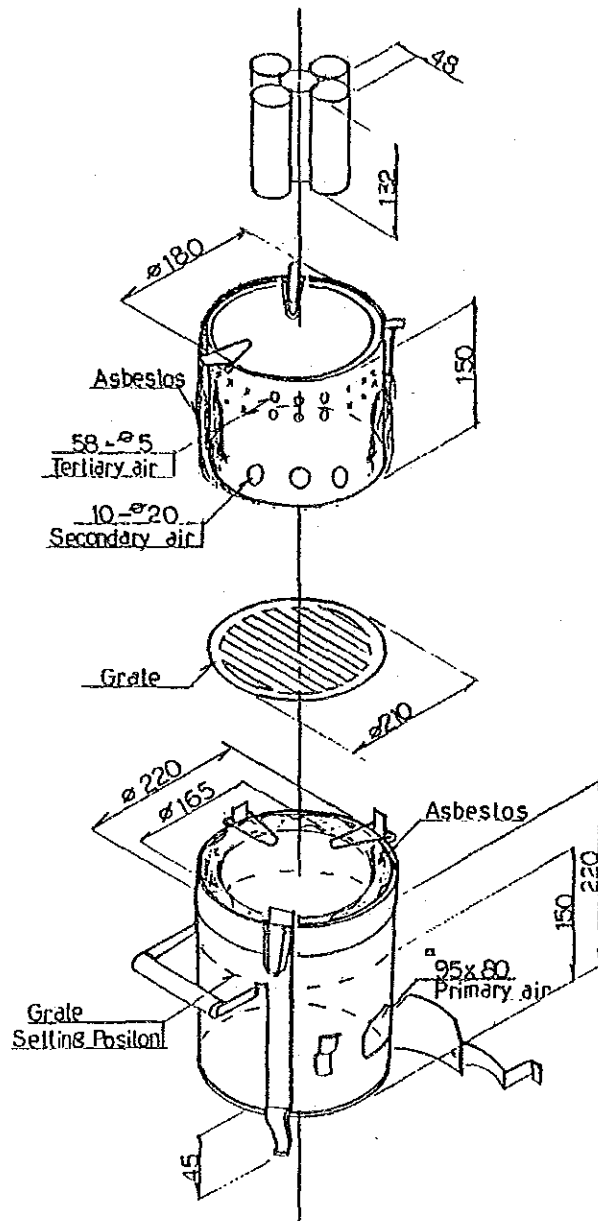


図 11-2-6 タイプ C 携帯型炊事用コンロ

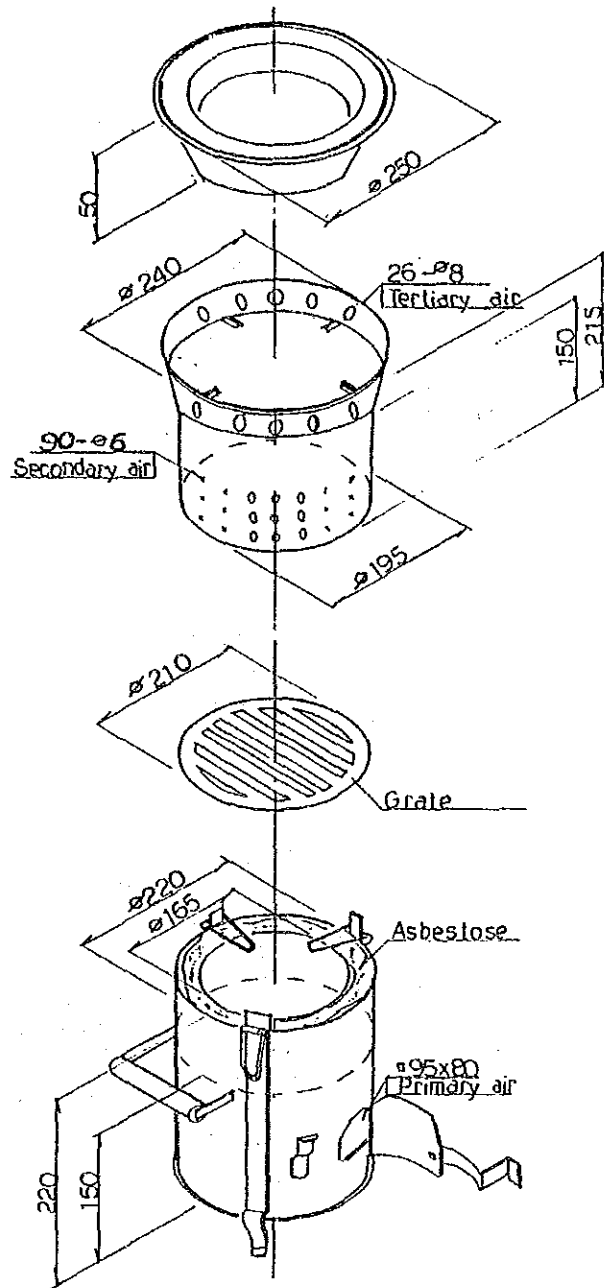


図 11-2-7 タイプD携帯型炊事用コンロ

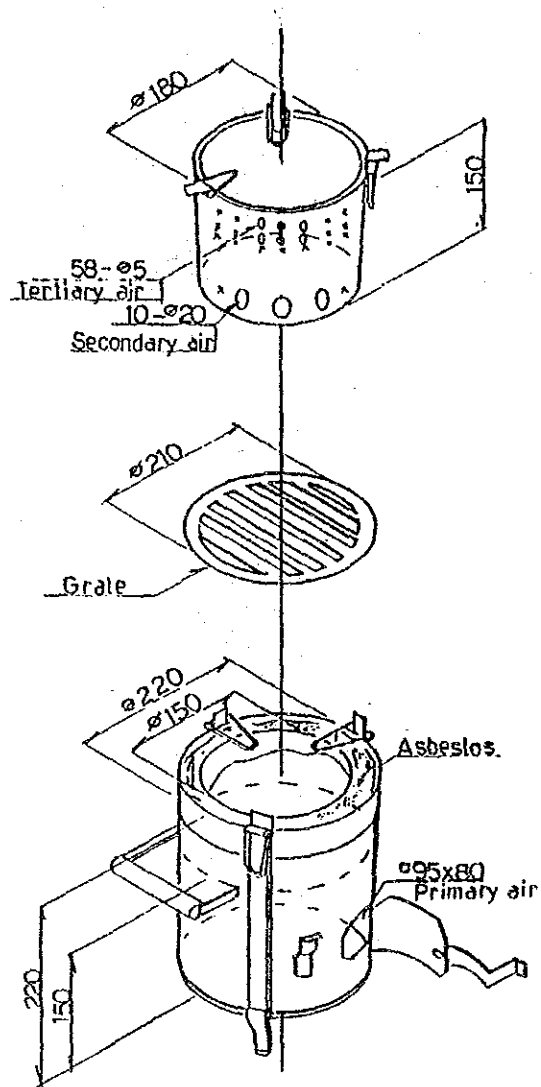


図11-2-8 タイプE携帯型炊事用コンロ

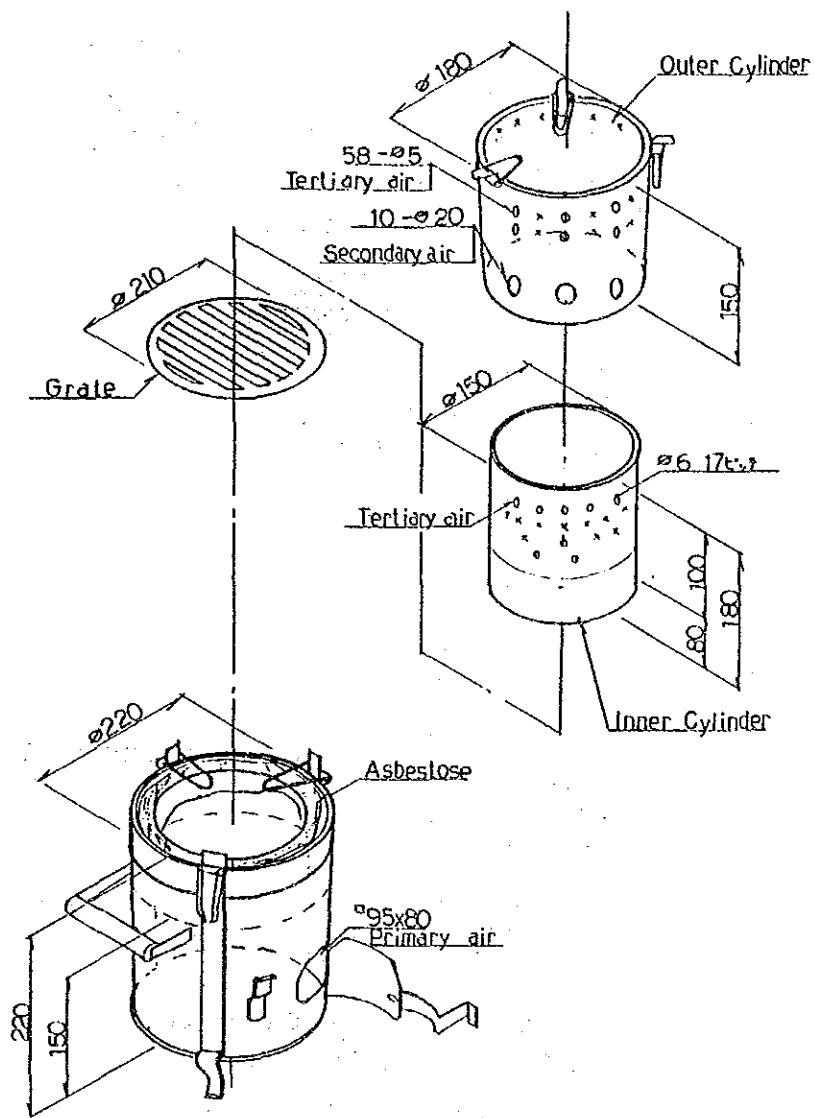


図11-2-9 タイプF携帯型炊事用コンロ

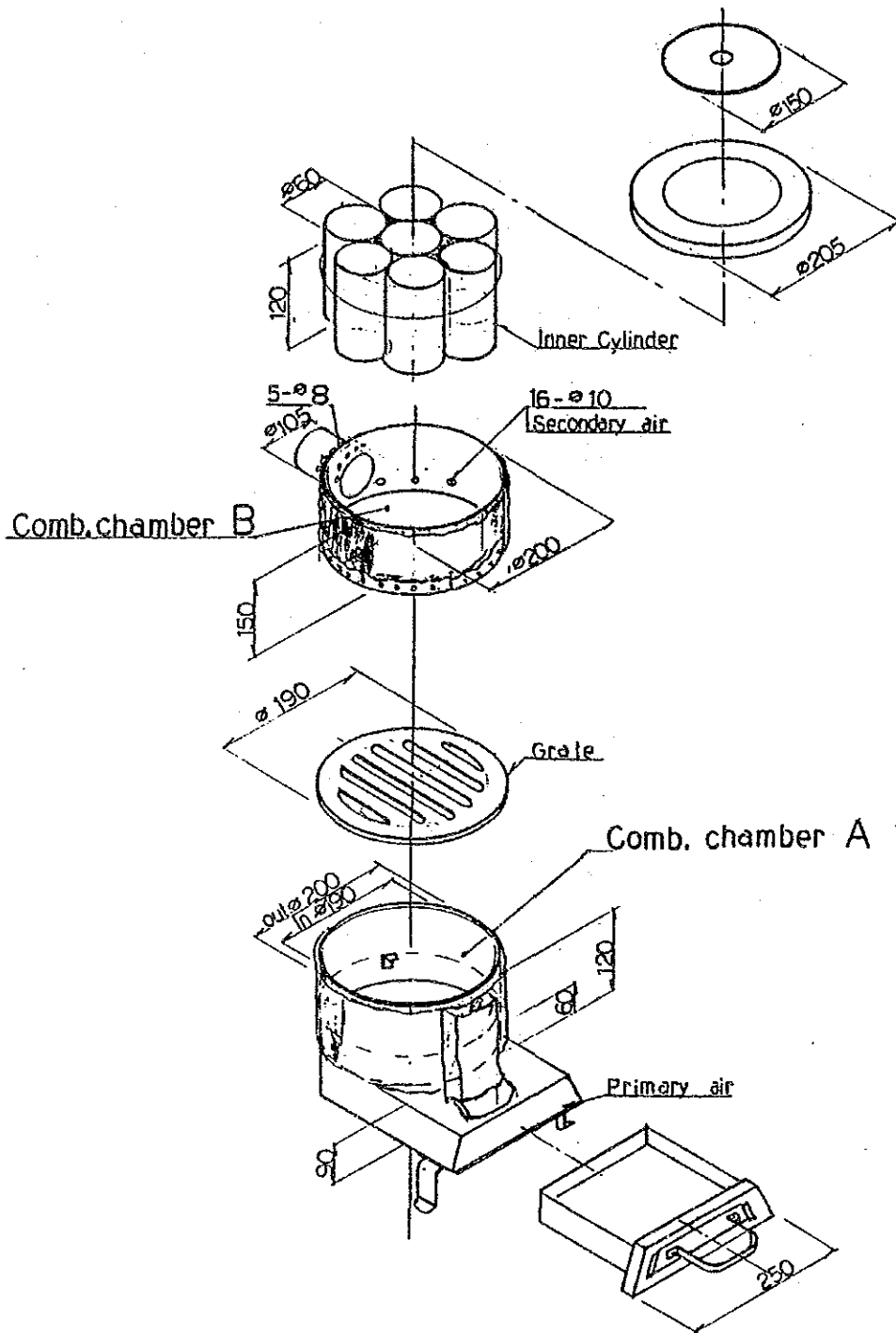


図 11-2-10 セパレート式煙突付炊事用コンロ (タイプST-1)

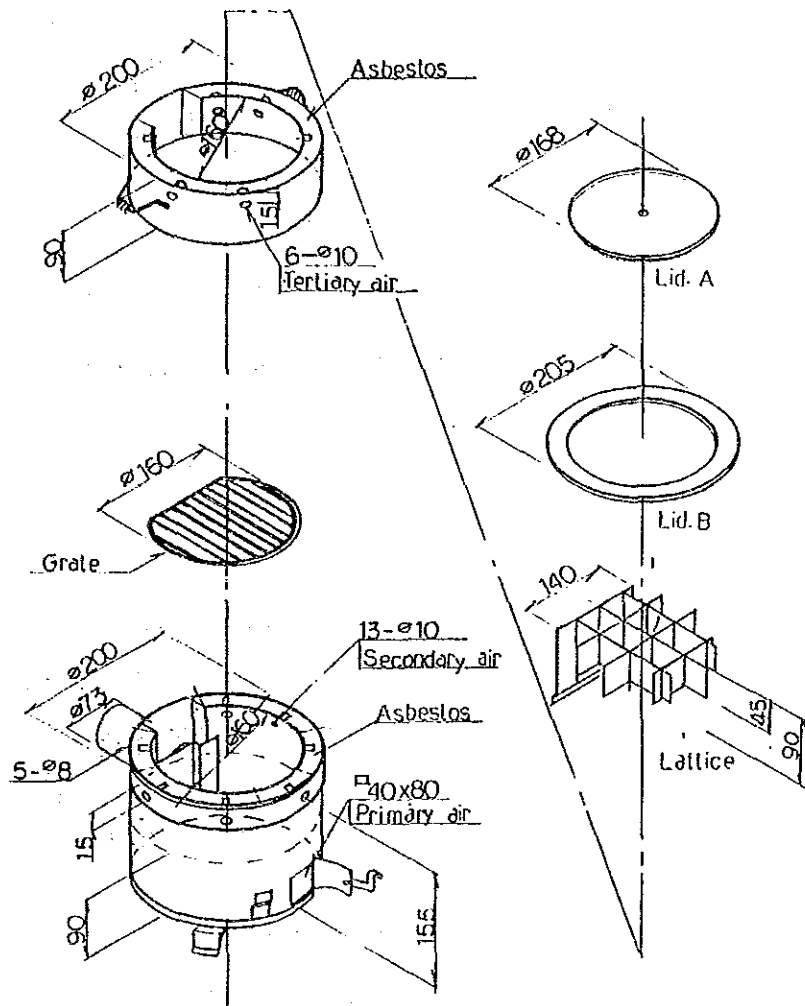


図 11-2-11 セバレート式煙突付炊事用コンロ (タイプST-2)



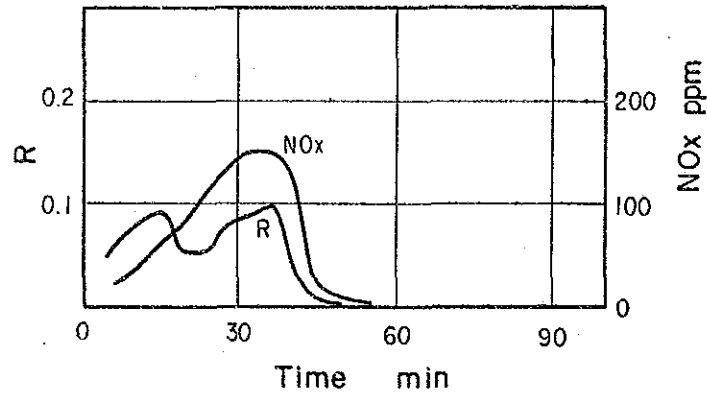


図11-2-12 試料番号2-11のR値およびNOx値

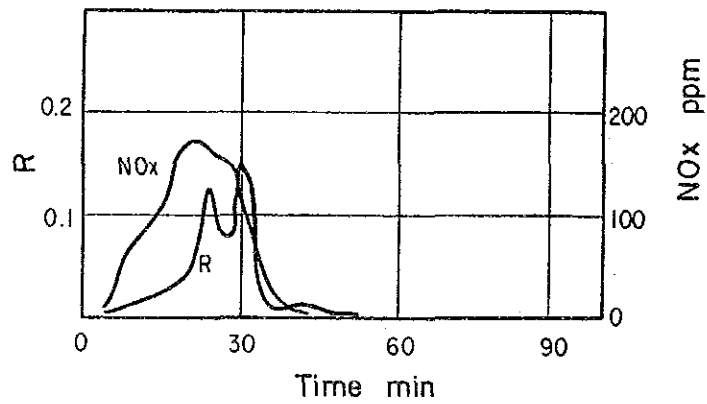


図11-2-13 試料番号2-11PのR値およびNOx値

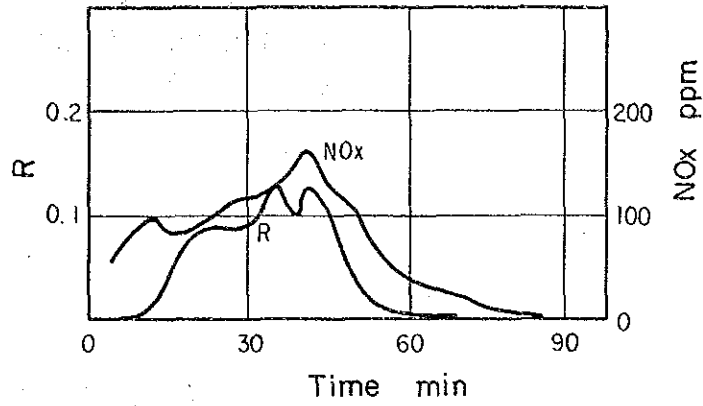


図11-2-14 試料番号3-6PのR値およびNOx値

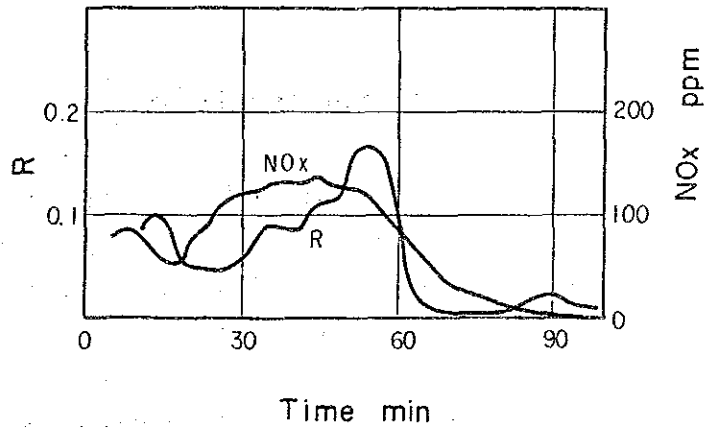


図11-2-15 試料番号3-5PのR値およびNOx値