

インドネシア国  
東カリマンタン州持続的石炭開発のための  
環境汚染リスク緩和マスタープラン調査

ファイナルレポート  
全体総括

平成19年2月

独立行政法人 国際協力機構  
経済開発部

# 目 次

本調査の背景と目的、基本方針、業務実施フロー	1
1. 本調査の目的と背景	1
1.1 調査の背景	1
1.2 調査の目的	1
1.3 調査対象地域	2
1.4 調査業務の範囲	3
1.5 カウンターパート機関	3
1.6 調査団の構成	4
2. 業務実施の基本方針	4
3. 業務実施の方法	5
第1章 インドネシアのエネルギー概要と全般	7
第2章 東カリマンタン州の概要	9
第3章 マハカム川流域環境の現状	9
第4章 マハカム川流域の炭鉱による環境汚染問題の現状分析	10
第5章 環境汚染対策案 提案	15
1. 環境モニタリング	15
2. 発生源での削減技術	15
3. 有効利用技術	17
第6章 技術移転内容	20
第7章 結論と提言	20
1. 結論	20
2. 今後の施策に向けての提言	21
3. 具体的実施案	21
4. 提言施策実施による改善効果	22
5. 実施スケジュール	22

## 本調査の背景と目的、基本方針、業務実施フロー

### 1. 本調査の目的と背景

#### 1.1 調査の背景

インドネシア国は世界有数の産炭国であるが、近年、同国及びアジア諸国等のエネルギー需要の急増に伴い、石炭生産量が急増している。2005年の生産量は約1.5億トン以上に達しており、わずか5年で1.7倍にも増加している。

これらの石炭生産の大部分はインドネシア国のカリマンタン島に所在する炭鉱によるものである。特に東カリマンタン州は生産・輸出量ともに同国の5割以上を担う重要地域であり、活発な生産活動が行われている。

こうした状況の中、炭鉱の生産活動に伴う環境影響が懸念されている。東カリマンタン州では中央部を流れるマハカム川流域に炭鉱が点在しているが、近年、これらの炭鉱の選炭工場から排出される石炭スラッジの河川への飛散・流入等により、約100万人にのぼる流域住民の生活環境の悪化や経済活動全般への影響が懸念されている。

今後、インドネシア国では環境に配慮した持続可能な石炭開発への取り組みが必要となってきた。石炭スラッジによる環境汚染対策プロジェクトは、エネルギー・鉱物資源省をはじめとして、インドネシア国政府の最優先課題として位置付けられている。

本開発調査は以上のような背景に基づき、2004年にインドネシア国政府より要請がなされたものであり、2005年7月に予備調査を実施し調査内容につき先方と合意したものである。

#### 1.2 調査の目的

本調査は、インドネシア国の主要一次エネルギー源であり、インドネシア国経済を支える石炭開発にとり将来的にボトルネックとなることが懸念される環境汚染に対する有効な対応策を検討し、環境モニタリングの実施と石炭スラッジの有効利用技術に係る環境汚染リスク緩和マスタープランを策定することを目的としている。具体的には以下の通りであるが、「持続可能な開発」「自立可能な技術移転」に留意し、もって、インドネシア国の経済発展に寄与することを目的とする。

- 石炭鉱業を原因とする環境汚染リスクを緩和するための政策プランを作成する。
- 環境モニタリングのモデル(事業)プランを中心とする環境汚染管理策を提案する。
- 石炭スラッジ等低品位炭の有効利用プランを作成する。
- 本件関係者及び専門家のキャパシティデベロップメントを支援する。

なお、JICAの業務指示書に示されている主な調査内容は以下の通りである。

- 既存データ、資料の収集・レビュー
- 現況調査(選炭工程、廃水処理、環境モニタリング)
- 石炭スラッジ有効利用技術/スラッジ発電、環境社会調査
- マスタープラン策定

### 1.3 調査対象地域

インドネシア国東カリマンタン州、具体的には炭鉱の所在するサマリダ市、中央クタイ県、西クタイ県を調査対象地域とした。図1、図2に調査位置図を示す。



図1 インドネシア国と調査地域



図2 東カリマンタン州 サマリダ市とマハカム川

#### 1.4 調査業務の範囲

本調査は 2005 年 12 月に署名された S/W (Scope of Works)に基づき実施するものであり、調査内容及び工程等は、S/W に則り行われた。

#### 1.5 カウンターパート機関

エネルギー鉱物資源省(MEMR)の鉱物石炭技術研究開発センター(tekMIRA)をチーフカウンターパート機関とし、東カリマンタン州政府が支援した。

本調査を円滑に遂行するため、以下の 2 つインドネシア側の調査支援体制で実施した。

##### (1) Steering Committee

ベース	ジャカルタ
議長	鉱物資源調査開発庁長官(Head of ARDEMR)
Committee Member	Directorate General Mineral Coal & Geothermal Directorate Electricity & Energy Utility 鉱物石炭技術研究開発センター(tekMIRA)所長
会議開催時期	第 1 回: インセプションレポート説明・協議時 第 2 回: サマリンダでの第 1 回ワークショップ開催時 第 3 回: ジャカルタでの第 2 回ワークショップ開催時
目的	定期的な進捗の報告と協議 中央政府の政策立案や開発、環境対策計画へのフィードバック

##### (2) Advisory Board

ベース	サマリンダ
議長	東カリマンタン州エネルギー鉱物資源局長(Head of Dinas Pertambangan)
Committee Member	東カリマンタン州環境局(BAPEDALDA) 東カリマンタン州建設局及び関連部署 ムラワルマン大学(Univ. Mulawarman) マハカム川周辺の炭鉱関係者 国営電力公社(PLN) 一般産業関係者 NGO 代表者
会議開催時期	第 1 回: インセプションレポート説明・協議時 第 2 回以降: 都度開催し、調査内容の意見交換を行う。サマリンダでのワークショップ時にも行う。
目的	定期的な進捗の報告と協議、地元の意向や現状、方針、課題、能力などの把握・抽出・意見交換

## 1.6 調査団の構成

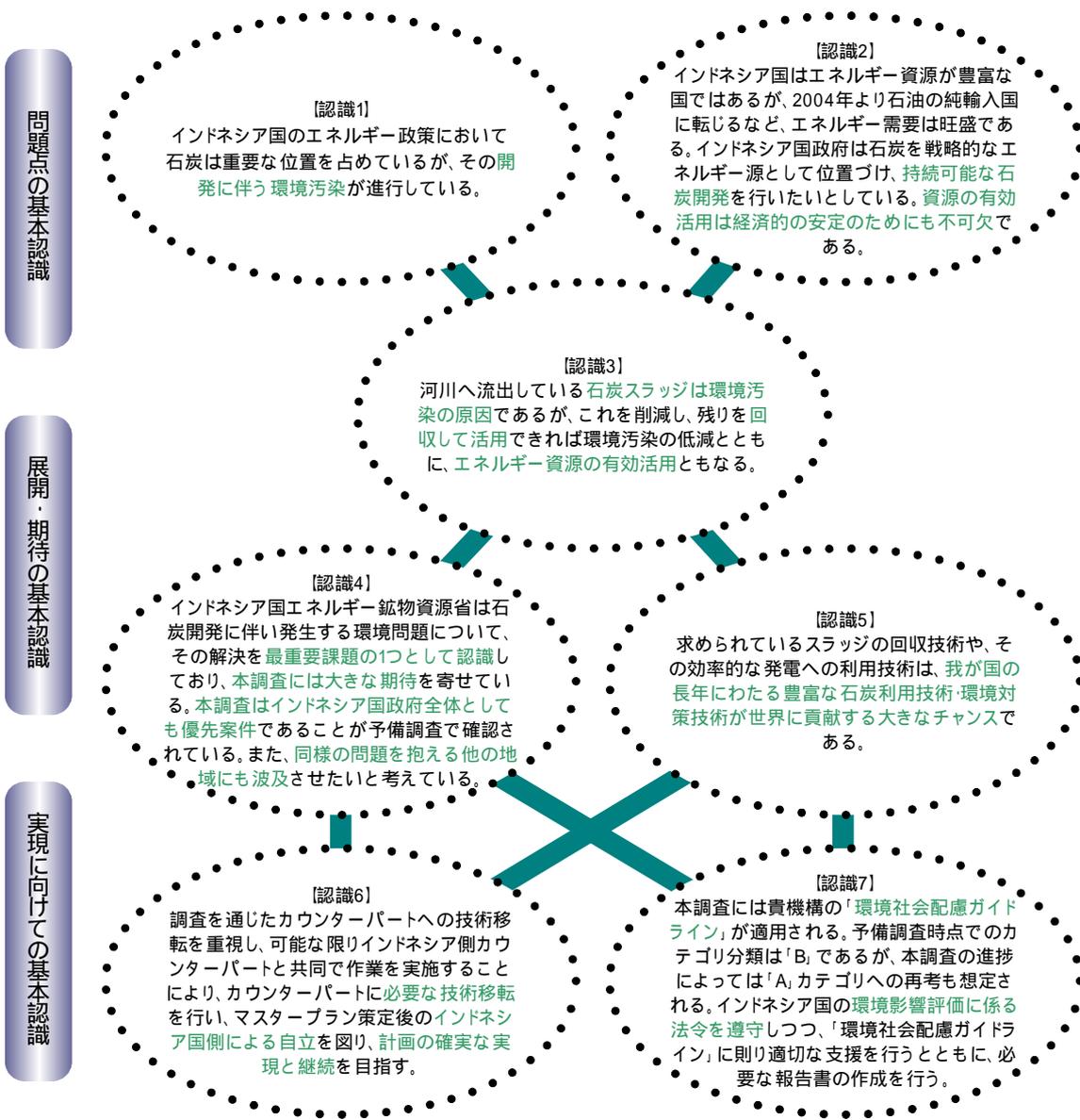
本調査に必要な専門家として、それぞれの専門性を有した以下の6名の調査団員を起用し、それぞれの担当名を示す。

番号	氏名	担当
1	遠藤 一	総括/石炭政策/廃水処理
2	小柳 伸洋	選炭工程
3	大野 良三	環境モニタリング/分析
4	蝦名 雅章	石炭スラッジ有効利用/石炭スラッジ発電
5	筒井 雅弘 (牧野英一郎)	政策/組織/経済性検討
6	串田 智	環境社会配慮

## 2. 業務実施の基本方針

本調査は、インドネシア国東カリマンタン州のマハカム川流域の対象地域に所在する5炭鉱（PT Tanito Harum, PT Kitadin, PT Fajar Bumi Sakti, PT Multi Harapan, PT Bukit Baiduri Energi）の選炭工場に関して、環境汚染源として懸念される産業廃棄物としての石炭スラッジの産出及び排出の実態を、各炭鉱における選炭工程、廃水処理、モニタリングという生産活動に対する現況調査をカウンターパートとともに実施・解明し、その結果に基づいて他地域にも適用可能な効果的・効率的なモニタリング実施体制の提案、及び石炭スラッジの有効利用技術に係るマスタープランを策定したものである。本調査に対する当共同事業体の基本認識は以下の7点である。

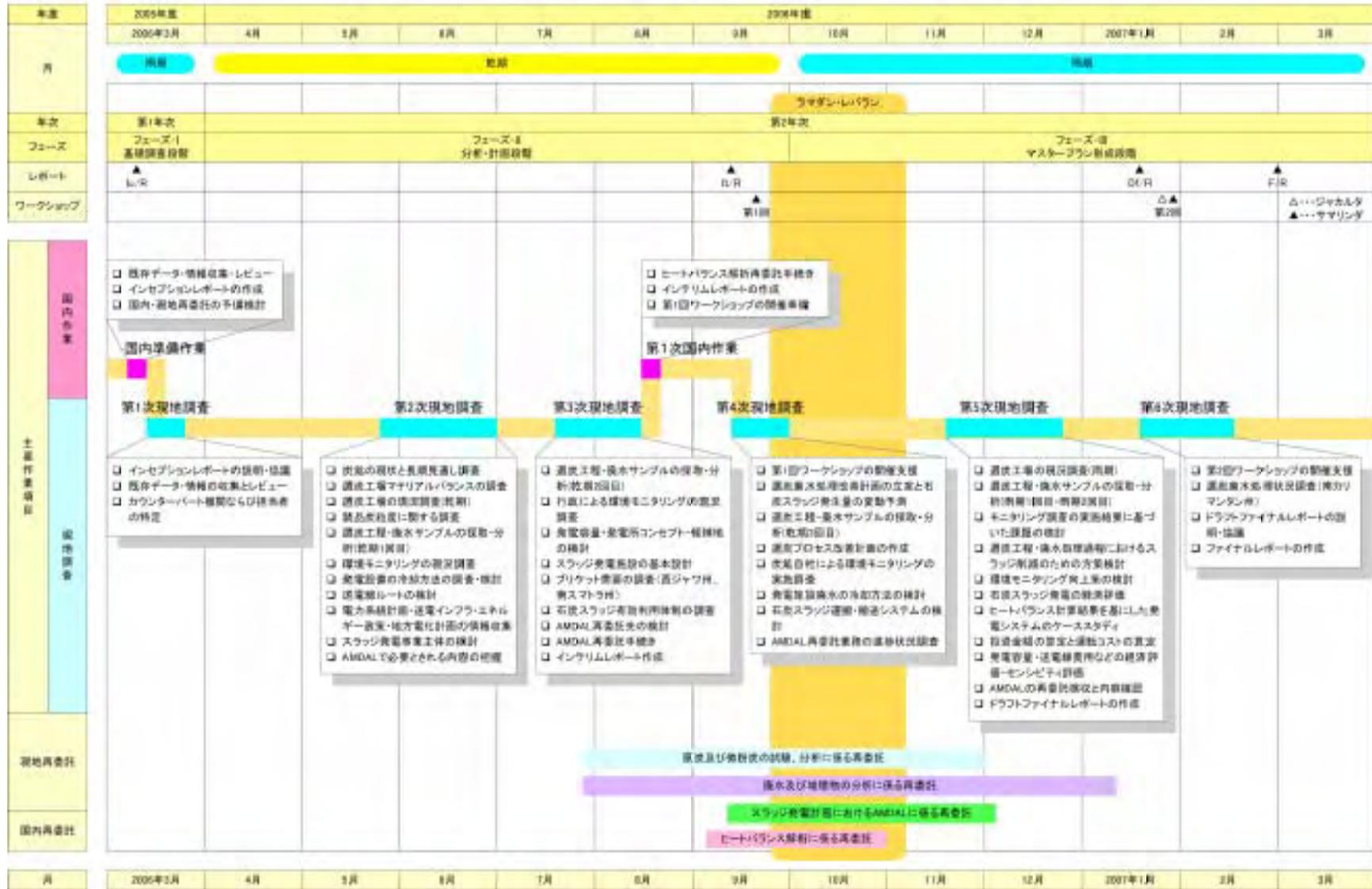
本調査に対する基本認識



3. 業務実施の方法

調査は2006年3月から2007年2月までの12カ月の工程で実施した。また、全体の業務実施フローを次ページに示す。

# インドネシア国東カリマンタン州持続的石炭開発のための環境汚染リスク緩和マスタープラン調査 業務実施フロー



インドネシア国東カリマンタン州持続的炭開発のための環境汚染リスク緩和マスタープラン調査

## 第1章 インドネシアのエネルギー概要と全般

- ・ インドネシアは 2004 年に石油の純輸入国に転じ、既存主要天然ガス田が枯渇を始めている。インドネシアにおけるエネルギー事情の変化は、インドネシアはもとより日本を含め東南アジアの国に与える影響は大変大きいものがある。2005 年から 2025 年のインドネシアの中長期の一次エネルギー供給は年率 6.2%で増加するものと予想されている。とりわけ石炭需要が大きく、年率 11%の割合で増加するものと予想され 2025 年には図 1 に示す様に、一次エネルギーの供給予測は現状の 20%から 50%に増大するものと見られている。この状況で、石炭はインドネシアのエネルギー源及び輸出用資源としてさらに重要な位置を占めていくことになる。

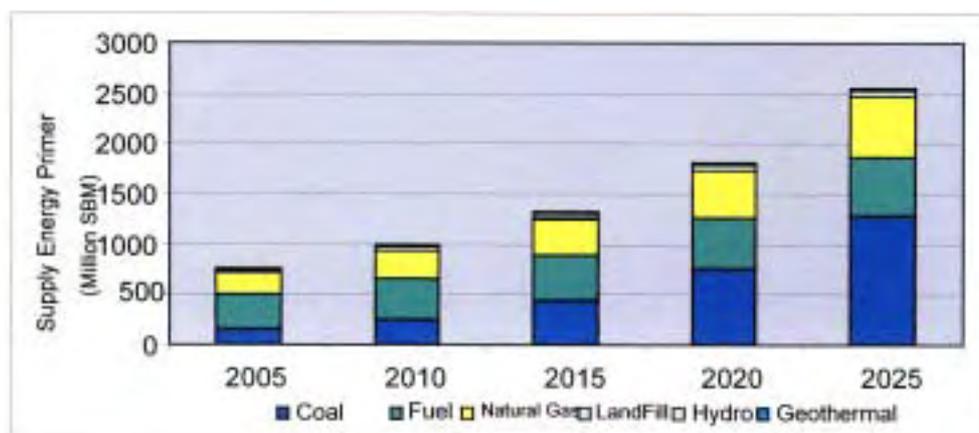


図 1 一次エネルギー供給予測（出典：エネルギー鉱物資源省）

- ・ 日本が輸入している石炭のうち、第 3 位を占めるインドネシアの石炭は日本の石炭の安定供給確保上、今後とも重要である。インドネシア炭の主な輸出相手国は日本であり、図 2 に示す様に、全輸出量の 21%（19MM トン/年）を占める。次に台湾(17%)、インド(8%)と続く。2005 年の石炭産出合計、153 百万トンに対し、石炭輸出の比率は、72%であった。この比率は、2010 年には 66% に下がると予測され、2020 年までには一層下がると考えられている（表 1 参照）。これは石油・ガスに見られる資源ナショナリズムが顕在化している中で、石炭にも影響を及ぼすことが予測される。

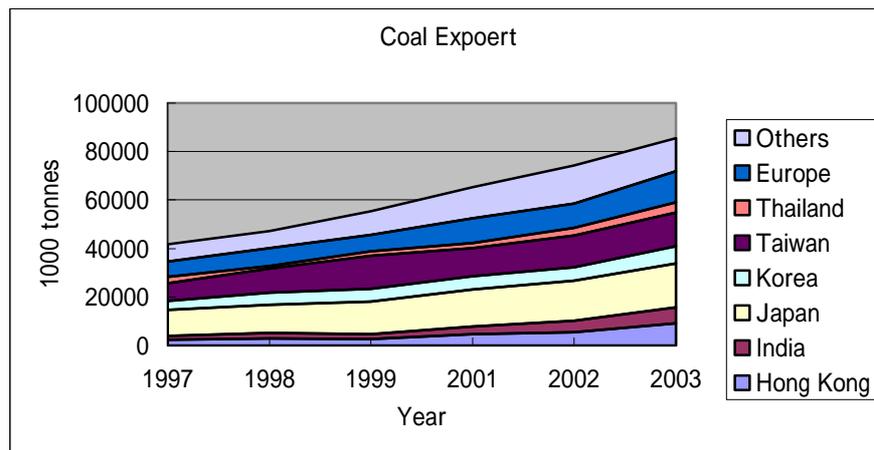


図2 輸入国別の石炭輸出（出典：エネルギー・鉱物資源省）

表1 石炭販売量実績と予想（輸出・国内別）

	実績			見込み							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025
輸出	85,680	93,759	110,790	126,516	131,629	136,670	136,178	141,000	141,000	105,000	105,000
国内	30,657	36,081	41,351	42,899	43,844	44,916	44,896	75,000	106,000	150,000	195,000
Total	116,337	129,840	152,141	169,415	175,473	181,586	181,074	216,000	247,000	255,000	300,000

備考

- 2005年までの実績値はMinistry of Energy and Mineral Resources の2004年のMineral and Coal Statics、2005年のMineral, Coal and Geothermal Staticsを参考している。
- 2006年～2009年の見込みは認可を提出する際の2005年の生産計画(RKAB PKP2B 2005)に基づいた数量とその他数量
- 2010年、2015年、2020年の見込みはKBN2004-2020に基づいたものである
- 2025年の石炭消費量は石炭MIXエネルギーが2025年に32.7%と予測しているBPEN(国家エネルギー管理ブループリント)に基づいたものである

- インドネシアの電力インフラは脆弱であり発電及び送電配電インフラを含め再度検討する余地がある。一方、crush program(注)に代表される石炭専焼火力発電所の建設計画が増加してきているが、計画は遅れ気味であり、一方地方での停電は頻繁に起きている。

注 Crush Program

電力不足の緊急回避のため、政府により2006年7月5日付けの大統領令「2006年第71号」で、2009年中頃までに1万MWの石炭火力発電所を新設するといういわゆる「クラッシュプログラム」が提案された。これらの石炭発電施設では熱量が4300Kcal/kg程度の褐炭の利用が予定されており、すべての発電所が稼働した際には、5,000万トンの褐炭が消費される。このプログラムでは合計40カ所(最大8,900MW)(ジャワ～バリ10カ所、ジャワ～バリ以外30カ所)の発電所建設地を指定している。2006年7月10日にジャワ～バリ10カ所の国際入札に関する予備審査の公示、2006年12月18日にジャワ～バリ以外の25発電所、(最大2,240MW)の公示が行われた。しかしながら問題点も多く指摘され、その実現に至るまでには系統の接続検討、港湾整備を含む石炭輸送インフラ整備など多くの課題を解決しなければならないと考えられている。

## 第2章 東カリマンタン州の概要

- ・ 東カリマンタン州は日本の本州に匹敵する広さを有し人口は 270 万人。州都はサマリダ。
- ・ 現在、東カリマンタン州にて産出される主な資源には木材、石炭、LNG、石油等があり、インドネシアの資源輸出の約 25%を占めている。何れも日本へ輸出され、当州は日本にとって非常に重要な資源供給源となっている。
- ・ 東カリマンタンはインドネシアの石炭総生産量 153 百万トン(2005 年)の約 57%を占め、輸出货量 111 百万トン(2005 年)の約 62%となっている(表 2 参照)。調査対象地区であるマハカム河周辺並びにマハカム川を運搬ルートとしている炭鉱からは年間約 2,500 万トン産出し、そのうち約 70%が輸出用である。

表 2 各地域の生産、販売実績

Location	Production		Sales			
			Domestic		Export	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005
E. Kalimantan	68,396	87,351	13,993	17,881	55,766	68,889
S. Kalimantan	54,541	55,045	14,666	15,614	34,499	37,949
C. Kalimantan		824			295	788
S. Sumatra	8,637	8,559	7,117	7,151	2,713	2,492
W. Sumatra	254	251	286	273		
Riau	93	1,073	18	383	76	382
Bengkulu	429	362	1	49	410	290
Total	132,350	153,465	36,081	41,351	93,759	110,790

出典: Mineral, Coal and Geothermal Statics 2006, Ministry of Energy and Mineral Resources

- ・ 東カリマンタン州はエネルギー需要も高く、一方では油の高騰、天然ガスの供給量不足のため停電が頻発しているにもかかわらず、稼働中の石炭専焼火力発電所が皆無である。

## 第3章 マハカム川流域環境の現状

- ・ ここではマハカム川側から見た水質状況を東カリマンタン州 BAPEDALDA が多年に渡り本河川水質調査で得られたデータを抜粋して、炭鉱の生産活動による影響を調べた。図 3 はその測定箇所を示し、四角で囲まれた地域が本調査の炭鉱地域を示し、赤がその所在地を示す。

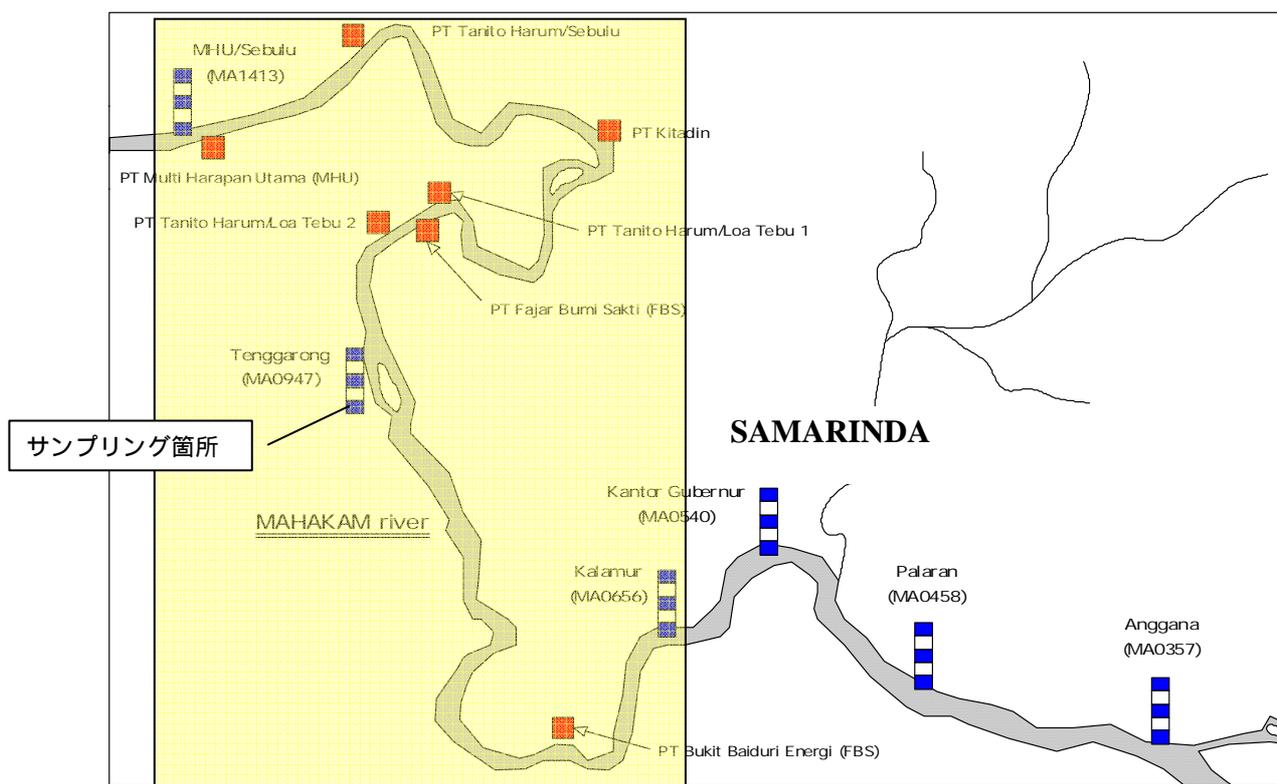


図3 BAPEDALDAによるマハカム川のサンプリング箇所

- マハカム川の全体水量に比べ炭鉱からの排水量は少ないが、調査対象の炭鉱付近のデータには pH 値、TSS 値（固形物量）Fe 値、Mn 値において、測定時期により異なるが、増加傾向がある特徴が出ていることが分かった。

#### 第4章 マハカム川流域の炭鉱による環境汚染問題の現状分析

- マハカム川流域にある生産中の炭鉱は 15 炭鉱あり、生産量は 2005 年、約 2,500 万トンで、インドネシア国での総生産量、国内販売量、輸出量に対するマハカム川流域の炭鉱の比率はそれぞれ 15～16%となっている。これらの炭鉱はマハカム河を運搬ルートとして使用している炭鉱で、現在 9 つのコントラクターと多くの KP 形態<sup>(注)</sup>の炭鉱がある。表 3 にマハカム川周辺炭鉱の生産量、販売量をまとめる。また表中、陰を付けた部分は 調査した炭鉱を示す。生産量は今後急増する事が予想され、表 3 中の幾つかの炭鉱も来年度以降生産倍増計画をもっており、また新規炭鉱も増加の見込みである。

(注) KP: Kuasa Pertambangan の略で、インドネシアの 4 つの石炭生産形態の一つで、英名で Mining Authorization。簡単に言うと主にインドネシア国内資本の民間会社。この他に国营(PTBA)、石炭事業契約社(コントラクター、1～第 4 世代に分類される)、協同組合(Cooperative Units: KUD) がある。

表3 マハカム川周辺炭鉱の生産量、販売量

(1,000t)

No	Company	Licence	Production		Sales			
			2004	2005	Domestic		Export	
					2004	2005	2004	2005
1	Anugrah Bara Kaltim, PT	KP	3,413	3,395	3		1,479	1,502
2	Bina Mitra Sumberarta, PT	KP		169				
3	Bukit Baiduri Energi, PT	KP	1,430	1,690	1,690	32	1,225	1,626
4	Fajar Bumi Sakti, PT	KP	2,113	328	78	188	864	120
5	Gunung Bayan Pratama Coal, PT	PKP2B, 2nd Generation	3,360	4,330	3,343	2,594	2	1,324
6	Jembayan Muarabara	KP		1,050				1,050
7	Kartika Selabumi Mining, PT	PKP2B, 2nd Generation	736	1,035	837	1,007		
8	Kimco Armindo, PT	KP		963				
9	Kitadin Corporation			1,604	78	571	864	1,057
10	Lanna Harita Indonesia, PT	PKP2B, 3rd Generation	1,700	1,887	57		1,480	1,733
11	Mahakam Sumber Jaya, PT	PKP2B, 3rd Generation		2,304		1,006		1,266
12	Mandiri Intiperkasa, PT	PKP2B, 2nd Generation	602	1,082	16		352	1,021
13	Multi Harapan Utama, PT	PKP2B, 1st Generation	1,521	897	299	242	1,002	648
14	Tanito Harum, PT	PKP2B, 1st Generation	2,256	2,403		9	3,217	4,984
15	Trubaindo Coal Mining, PT	PKP2B, 1st Generation		1,610		1,171		389
Total			17,131	24,747	6,401	6,820	10,485	16,720
Total in Indonesia			129,835	153,465	37,125	41,351	93,759	107,332
Shear (%)			13.2	16.1	17.2	16.5	11.2	15.6

Mineral, Coal and Geothermal Statics 2006, by Ministry of Energy and Mineral Resources

- 炭鉱の生産活動にともなって発生する環境汚染源は
  - 選炭工場での廃水処理の不完全さから河川等への排水濃度(TSS)が基準値より大きく、河川を汚染する一要因となっている。
  - 廃水処理後の石炭スラッジの処分方法が不完全で、特に雨期に外部に流出している。
  - 露天掘り採掘に伴う採掘土砂の流出。
  - 高硫黄分のダーティコール ( Dirty Coal ) の採掘跡地への投棄が酸性水発生源となり、採掘跡地緑化の障害、及び河川の pH 値低下の一因となっている。
- 図4 に選炭工程の概略と廃棄石炭である石炭スラッジ、ダーティコールの発生経路を示し、写真1、写真2 に選炭スラッジ、写真3、写真4 にダーティコールを示す。

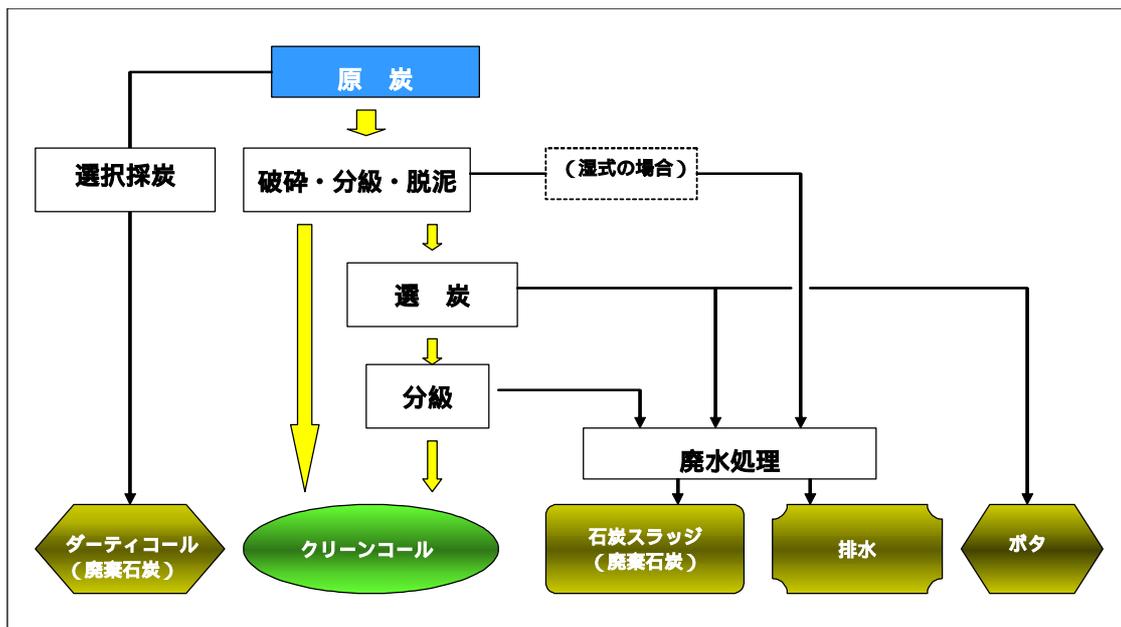


図4 選炭工程の概略（注 分級：スクリーンによる粒度を整えること）



写真1 .セッティングポンドに野積みされている石炭スラッジ（微粉炭）



写真2 .セッティングポンドで石炭スラッジ回収作業



写真3 .炭層上部のクリーニング作業中、上部のダーティコールを除去



写真4 .炭層との境界を示す。この上部の5~10cm位がダーティコールとなる

- 調査対象は選炭工場を有する5つの炭鉱と、ダーティコールの調査として複数の炭鉱を調査した。本調査では炭鉱側からの排水等を乾期・雨期に分け、TSS, pH, Fe, Mnについて実測、多くのデータをもとに、実態を明らかにした。表4は調査対象の選炭工場の概要を示す。

表4 調査選炭工場概要

Washery	原炭処理能力	機能	選炭プロセス	選炭/廃水処理プロセス分岐点	廃水プロセス	排水水
1 PT. Kitadin	60t/h+120t/h	Separation	Jig	Settling Pit	Settling Pond	一部循環使用
2 PT. Fajar Bumi Sakti (FBS)	100t/h	Separation	Jig	De-slime Screen	Settling Pond	全量循環使用
3 PT. Tanito Harum / Sebulu	125t/h	(De-slime)	(Jig <sup>1</sup> )	Settling Pit	Settling Pond	
4 PT. Tanito Harum / Loa Tebu 1	70t/h	De-slime	Drum-Washer	Cyclone Classifier	Settling Pond	
5 PT. Malti Harapan Utama (MHU)	400t/h	De-slime	Screen	Cyclone Classifier	Settling Pond	
6 PT. Bukit Baiduri Energi (BBE)	250t/h	De-slime	Screen	Cyclone Classifier	Settling Pond	循環使用工事中

- 調査5炭鉱のうち3炭鉱は露天掘り、2炭鉱は露天掘りと坑内掘りである。露天掘りでは岩石の混入を極力抑えるため上下盤付近の原炭を廃棄する選択採炭を実施しており坑内掘りに比べて選炭工場へ搬入される鉱物質は僅かである。当地域の粘土質鉱物は吸水・泥化する性質がある。そのため露天掘りの3炭鉱では僅かに混入・泥化した粘土質鉱物を脱泥（De-sliming）設備により除去している。一方、坑内掘りを有する2炭鉱では粘土質鉱物を始め介在する多くの岩石を比重選別設備（ジグ<sup>1</sup>）により除去している。

#### ジグ<sup>1</sup>

ある比重で粒子群を分離して任意の灰分の精炭を得る機械を比重分離機と呼ぶ。代表的な比重分離機にジグ選別機がある。ジグ選別機は水中に於ける粒子の沈降速度が比重に因って異なる事を利用し、水槽の水を上下させ比重毎の成層により選別する。

- 脱泥、比重選別とも水を用いた湿式プロセスであり泥化した粘土質鉱物および微粉炭を含む濃度3～8%の泥水が発生する。この泥水は廃水処理プロセスの沈澱池にて固液分離される。この沈澱産物が“石炭スラッジ”となり“溢流産物が“廃水”としてマハカム川に排出される。
- マハカム川への排出濃度が乾期でも規制基準(400mg/l、約0.04%)を大きく超えている炭鉱も散見された。今後、坑内採炭の比率が増加すること、国内外の堅調な石炭需要に支えられて選炭工場も増加することが予測されマハカム川への固形物排出量の急増が懸念される。
- 一方、廃水処理プロセスの沈澱産物である石炭スラッジは確たる用途も無いまま野積みされ廃棄されている。雨期、これが降雨にさらわれ通常の2～4倍近い高濃度廃水としてマハカム川に流れ込んでいる炭鉱が24時間体制の連続モニタリングで判明した

(図5-1、図5-2参照) 廃水はもとより野積みされた石炭スラッジも降雨時の環境汚染源なのである。連続モニタリングの重要性が再認識された。

図5-1 D-選炭工場  
排出流量連続測定

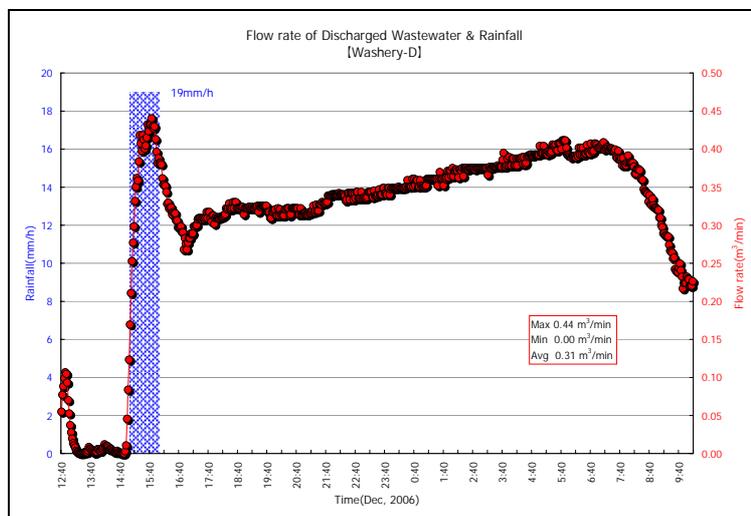
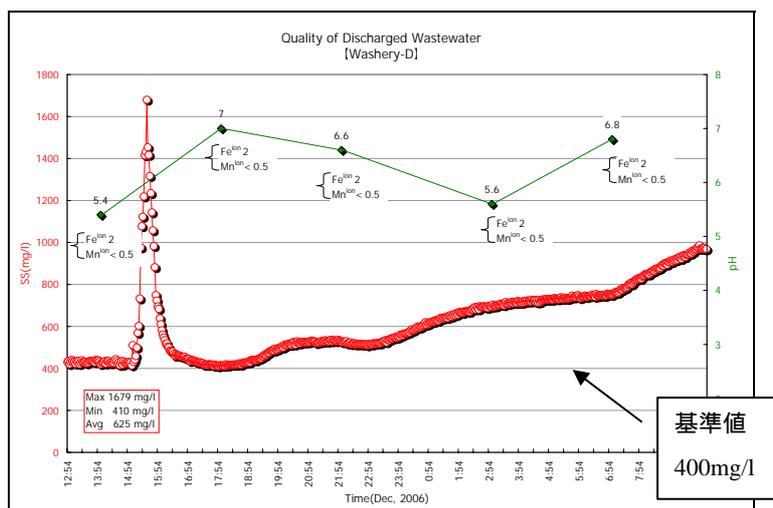


図5-2 D-選炭工場  
排水水質連続測定



- 石炭スラッジによる環境汚染対策には石炭スラッジの野積み・現場廃棄を無くさなければ根本的な解決にはならない。そのための利用技術の構築が必須である。その結果、各炭鉱にとって廃水処理をより確実にするインセンティブを与えることにもなるので、早期に確立すべきである。
- 選炭プロセスや廃水処理プロセスの改善により、石炭スラッジの減量や排出基準値内の廃水排出は不可能ではない。各炭鉱に関する改善提案を作成し次章で説明している。また日本で蓄積された廃水処理技術移転の必要性も痛感した。
- 石炭採掘に伴う環境汚染問題は深刻であり、持続的炭開発のための環境汚染リスク緩和対策が望まれている。また近年の石炭需要急増に伴う石炭開発が活発化している現状にともない、住民との間で多くの摩擦を生じ、各地で深刻な社会問題になりつつ

ある。炭鉱側はこれに対して、Community Development の形で、炭鉱近辺の住民に対しては様々な形で補助してきているが、部分的で、広範囲な住民のコンセンサスが得にくくなっている。多くの住民が恩恵を受ける具体的な対策を実施することは、住民への不満を解消する一つの解決となり、持続可能な石炭開発に繋がる。

## 第5章 環境汚染対策案 提案

### 1. 環境モニタリング

- 炭鉱が測定結果を毎月、監督官庁である BAPEDALDA に公式に提出している資料内容を調査した。この公式資料の中にもいくつかの炭鉱では規制値を大幅に超過している測定結果が報告されている。また、月1回のサンプリングでは全体を代表しているとは言い難く、連続モニタリングシステムの構築が重要である。
- この地域の炭鉱の評価として、PROPER と呼ばれる環境省 (MOE) と BAPEDALDA は年1回、各選炭工場排水の水質ランキングを行っているが、その評価結果によるとこの地域の殆どの炭鉱が赤ランク、すなわち「基準値を少々超えているもので改善を要する場合」と査定されている。
- 日本と比べるとインドネシアの場合は規制値を超過しても、炭鉱側の自主的な改善を啓蒙している程度で、日本の操業停止等の厳しい措置は取られていないのが現状である。
- マスタープランの中で改善として下記を提案している。
  - 炭鉱現場に適した連続環境モニタリング体制の構築
  - 環境モニタリングデータベースの構築及びその運用方策
  - 環境モニタリングデータベースの通信伝送システムの構築
  - 炭鉱における環境モニタリング体制の強化およびマハカム川流域のその他の環境汚染ファクターモニタリングとの結合
- また、本調査のカウンターパートである tekMIRA から炭鉱活動に伴う環境汚染源の環境モニタリング構築に向けた TOR が出されている。

### 2. 発生源での削減技術

- 削減技術としては選炭プロセスの改善と廃水処理方法の確立があり、調査対象選炭工場のサンプリングデータを元にモデルケースの立案と、各選炭工場の改善提案を作成した。

- ・ 廃水処理の根本的な解決策は選炭水の循環化、即ち廃水処理後の廃水を再使用したクローズドサーキットを目指すべきである。雨期の場合は外部にも排水するが、廃水を自分達で使用する事は自然と廃水処理の濃度管理がより確実になる。
- ・ 選炭プロセスでの削減技術の基本は、如何に多くの固体粒子を選炭プロセス内に留め、廃水プロセスへの流出を防ぐかにある。即ち選炭プロセス/廃水プロセス分岐の設備が重要である。調査対象の分岐設備には、分級粒度が 300  $\mu\text{m}$  以上と粗すぎる。管理された分級サイクロンであれば半分の 150  $\mu\text{m}$  は可能である。何れの工場においても適正仕様の分級サイクロン設置と、適正運転技術が必要である。
- ・ 当地域の微粉は細粒になるほど灰分が高くなる。分級粒度を下げ、より細かい微粉炭まで製品に混入するには粉炭製品の品位が安定していることが前提となる。品位の制御が可能な設備、即ち比重選別機（例えばジグ）を設置しているのは坑内掘を有する 2 炭鉱のみであるが、適正運転からは程遠い炭鉱も見受けられる。適切な給炭量、空気量、水量を検討し適切な波形成、ひいてはより高精度のジグ選別を行うことが必要である。またそのための技術移転、人材育成も重要課題である。
- ・ 廃水プロセスには、何れの炭鉱も沈澱池を採用している。廃水に含まれる極微粒粘土鉱物子は全て負に帯電して互いに反発し合っており非常に沈澱しづらい。各廃水に最適な凝集剤を使う方法が必要。また、石炭灰を無機凝集剤の代替として利用する試験を行ったが、廃水へ 1% 添加することで絶大な効果が得られたのは興味深く、石炭灰の有効利用の一つに挙げられる。写真 5 -1、写真 5 -2 は選炭廃水の三種類の凝集剤による沈降試験状況である。左側が原液、右が石炭灰による凝集効果を示している。インドネシアの廃水処理に適合した安価な凝集剤の普及は根本的な解決策の一つである。



写真 5 -1 沈降試験（開始）

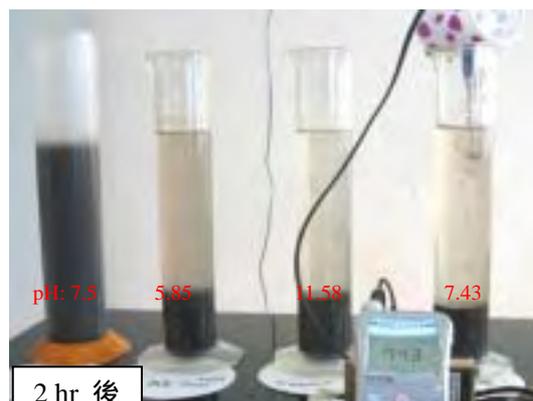


写真 5 -2 沈降試験（2時間後）

- ・ 選炭設備の周りが石炭や泥水で溢れて足の踏み場もなく、設備改善や運転技術向上を論ずる以前の状態の炭鉱も散見される。品質管理意識の問題であるが、根底には周りに野積みされた石炭スラッジの存在がある。

### 3. 有効利用技術

- 有効利用技術としては経済性を前提とした持続可能な利用技術が重要で、ブリケット化（成形炭化）による商品化検討と石炭スラッジと廃棄石炭を利用した発電計画の具体化を行った。

#### 3.1 ブリケット計画

- ブリケットについては石炭スラッジを活用できるが、市場規模が小さいため利用量は限られており、発生量の全量を利用するには至らない。現在、油の高騰により民間での商業化が進行しており、経済評価と課題を纏めた。
- 現在、ブリケットの生産は 8 箇所で行われている。そのうち PTBA は Tanjung Enim、Lampung、Gresik の 3 箇所に製造工場を運営し、最大の供給者で、生産能力が年間 8 万 5 千トンで全生産能力の 85% を占めている。次いで、tekMIRA の Cirebon の施設が年間 1 万トンの生産能力を持っている。これは全生産能力の 10% を占める。このほかに 4 箇所あるが生産能力は小さく合計で全生産能力の 5% に過ぎない。

#### 3.2 石炭発電計画

- 発電所計画の詳細は「別添」の中で説明するので、ここでは概要を述べる。
- 発生量ならびに経済性、持続性の観点から検討すると、石炭スラッジ、ダーティコールを燃料として利用する発電が最も効果的、かつ現地の電力事情からその実現可能性が極めて高いことが分かった。更にこのような廃棄石炭発電は豪州、インド、中国、東欧でも実施され、環境汚染対策として既に認知されており、実現すればインドネシアでは最初のモデルケースとなる。図 6 はそれぞれの CIF 価格、図 7 は発電単価を示す。

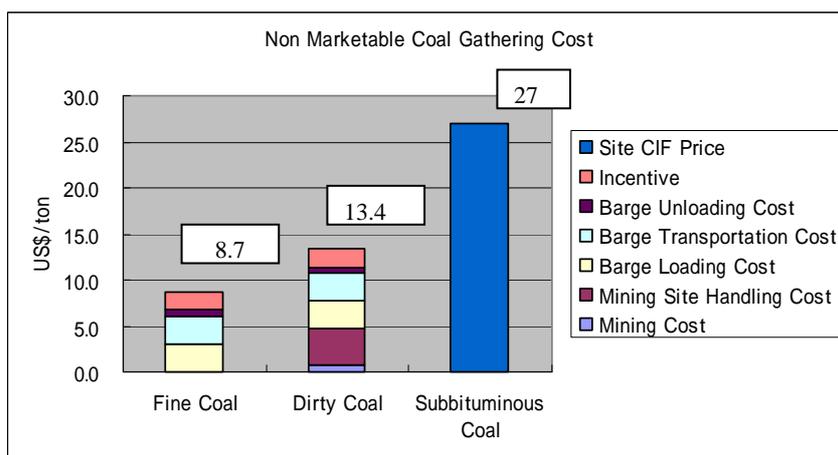


図 6 石炭スラッジ、ダーティコール、標準亜瀝青炭の CIF 価格

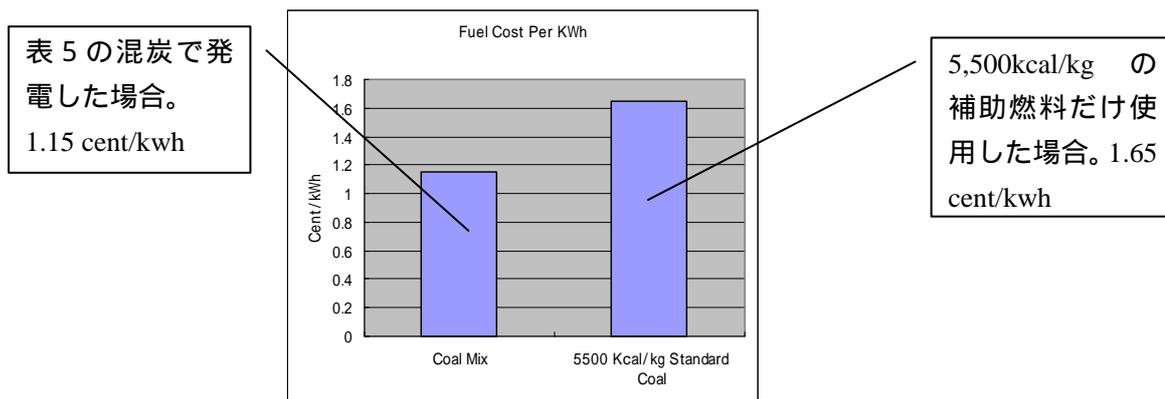


図7 発電単価の比較

- ・ 実現性を高めるために PLN、東カリマンタン州政府、サマリダ市等の関係機関と連携を図りながら、場所の選定、経済性評価、実施体制の調整等を行った。現在までの検討内容としては廃棄炭の発生量、発電計画、送電線計画等から規模は 50MW×2 程度、建設候補地はサマリダ市近くにある本調査の対象炭鉱の一つのプキッド バイドリー エネルギーの貯炭場付近が最適な候補地との結論を得た。この場所を写真 6 に示す。



写真6 建設候補地

- ・ ボイラー形式は使用する燃料が高湿分、高灰分、高硫黄分が予想される石炭スラッジと廃棄炭を対象としているので、循環流動層ボイラーが望ましい。また、灰分・湿分の変動が大きいため、発電量の安定を図る上での補助燃料として、5,000kcal/kg 程度の低品位炭が必要となる。
- ・ また石炭スラッジ、ダーティコールの発生量は発電量に見合う量が確保されることが確認されている。年間使用量 46.7 万トンに対して、燃料比率として、石炭スラッジ 21%、ダーティコール 38%、低品位炭 41%程度になる見込み。石炭スラッジの発生量が不安

定なので、ここでは年間使用量を最低 10 万トンとしており、予測発生量の 1/3 に相当する。燃料構成の調整は石炭スラッジを中心として、量が増えた場合はダーティコールの量とで調整する。その場合、発電コストは更に安くなる。表 5 に使用燃料比率等を示す。

表 5 使用燃料比率

Coal Mix	Kcal/kg	\$/ton	ton/year	wt %
Non Marketable Fine Coal	2,920	8.7	100,000	21.4
Non Marketable Dirty Coal	3,840	13.4	177,000	37.9
Supplement Low Rank Coal	5,000	27	190,000	40.7
Average	4,198	17.4	-	-

- ・ また発電所に供給するこれらの石炭は東カリマンタン州政府の公社が担当する方向で検討されている。品質管理、供給量の確保、石炭価格の安定化等重要な分野である。
- ・ 経済性評価では、ソフトローンでの発電単価は 2.91US¢ となり、一方 IPP で実施した場合は表 6 に示す。最近の PLN の買電価格 4.3 US¢ から検討すると、こういった環境に影響を及ぼす売れない廃棄炭を効率よく発電に利用する施設を民間が建設し、運営するのは難しいものと考えられる。

	E-IRR 6 US ¢/kWh	E-IRR 5 US ¢/kWh
10 Year (%)	7.86%	2.40%
20 Year (%)	13.01%	8.81%
30 Year (%)	13.86%	10.10%

表 6 IPP で実施した場合の E-IRR

- ・ 発電所計画の環境社会配慮として環境評価基準をまとめていると共に住民との公聴会を 2カ所を実施して(写真 7、写真 8 参照)、発電所構想に対する強い支持を得た。一方、石炭が高灰分のため燃焼灰の処理方法が課題となっており、日本での灰処理技術、灰の再利用の経験を生かした環境対策を十分に行わなければならない。



写真 7 住民説明会 Loa Duri Ulu 村



写真 8 住民説明会 Sungai Kunjang 地区

- ・ 「別添」の発電所計画では候補地の選定、発電容量、系統接続、発電所概要、経済性検証等をまとめているが、以下の内容が今後詳細を検討する上で必要な情報である。

- (1) 候補地のボーリングによる地質調査
- (2) 石炭サンプルの燃焼試験
- (3) 各種サンプルの灰の性状確認
- (4) 詳細建設費算定
- (5) 詳細建設スケジュール作成

## 第6章 技術移転内容

下記の技術移転を実施した。

- (1) 環境モニタリング関係の技術移転
- (2) 水質汚濁防止技術
- (3) 水質測定技術
- (4) 選炭機器性能評価法

## 第7章 結論と提言

### 1. 結論

#### 1.1 マハカム川への環境汚染影響

マハカム川のいくつかの炭鉱での環境パラメーターは水質環境基準値を上回っており、特に TSS 値(全浮遊固体物質)にみられる。しかしながら、本調査で検討した BAPEDALDA が測定したデータではマハカム川流域の選炭工場からの廃水はマハカム川の水質汚染に著しく影響しているとは言えない。

#### 1.2 炭鉱の生産活動による環境汚染源

- (a) 選炭工場での廃水処理の不完全さから河川等への排水濃度(TSS)が基準値より大きく、河川を汚染する潜在的要因となっている。
- (b) 廃水処理後の石炭スラッジの処分方法が不完全で、特に雨期に外部に流出している場合が多い。
- (c) 露天掘り採掘に伴う採掘土砂の流出
- (d) 高硫黄分のダーティコール(Dirty Coal)の採掘跡地への投棄による酸性水発生

源となり、採掘跡地緑化の障害、及び河川の pH 低下の一因となっている。又その他のダーティコールは資源の有効活用にも繋がる。

### 1.3 対策

- (a) 連続モニタリングシステムの構築
- (b) 選炭プロセス・廃水処理方法の改善
- (c) 環境管理システムの強化
- (d) 商品価値の無い石炭の有効利用

## 2. 今後の施策に向けての提言

### 2.1 緊急（短期）に実施すべき項目

選炭工場排水の TSS 及び pH の連続モニタリング体制のモデルケースの構築  
選炭プロセスの改善による石炭スラッジの削減  
廃水処理プロセス改善等により、廃水濃度を排出基準値以下に下げる。  
炭鉱からの酸性水中和処理方法の確立  
上記 ~ に係わる技術移転に向けた啓蒙・教育・人材育成  
既存の石炭スラッジ及び今後発生する石炭スラッジを除去し、ダーティコールの現場投棄量の減量を図り、環境負荷低減になる廃棄石炭発電所の実現。

### 2.2 中期的に実施すべき事項

炭鉱活動に伴う環境汚染源の連続モニタリング体制をインドネシアで石炭採掘を行っている地域全体に普及させる。  
持続的環境モニタリングを構築するための行政側の施策の構築と実施  
環境管理体制の整備、排出基準・罰則の整備  
石炭灰の有効利用と環境汚染対策  
上記 ~ に係わる技術移転に向けた啓蒙・教育・人材育成

## 3. 具体的実施案

上記の施策を相互に関連づけ効率よく、不足の調査を追加実施しながら、下記の 2 項目を具体的実施案として提案する。

- ・「石炭生産活動に伴う環境汚染制御のための技術移転センター（仮称）」
- ・ 廃棄石炭発電所建設

#### 4. 提言施策実施による改善効果

##### ・「石炭生産活動に伴う環境汚染制御のための技術移転センター（仮称）」

日本の経験にもとづく技術移転により、インドネシアに於ける石炭産業の環境基準厳守の体制を行政側、炭鉱管理側に確立し、人材育成により持続的な環境対策を構築し、インドネシア国において今後急増する石炭開発に伴う環境汚染リスクを緩和すること

##### ・廃棄石炭発電所建設

環境対策としての廃棄石炭発電所は、一方では石炭スラッジ・廃棄石炭が燃料として有効活用が図れるので、炭鉱での廃水処理が積極的に実施され、サマリダ市民も安定電力の恩恵が石炭産業から得られることからインドネシア国における石炭産業への理解が深まる。

#### 5. 実施スケジュール

表7に実施スケジュールを示す。

表7 「実施スケジュール」

内 容	短期 (2007-2009)	中期 (2010-2012)	長期 (2013-2015)
<b>1. "石炭生産活動に伴う環境汚染制御のための技術移転センター"</b> (仮称)			
目的: 技術移転			
<b>炭 鉱</b>	1) 環境モニタリング技術移転 (i) 選炭工場廃水のpH及びTSSの連続モニタリングシステムのモデル構築 (ii) 石炭活動にともなって発生する環境汚染源の連続モニタリングシステムをインドネシアの炭鉱に普及	→	→
	2) 廃水処理プロセスの改善による商品価値のない微粉炭の削減に向けた技術移転	→	
	3) 廃水処理プロセス等の改善により、廃水の水質を基準値以下に下げる技術移転	→	
	4) 炭鉱から排出される酸性水の中和処理技術の強化	→	
	5) 環境管理技術の強化 (i) 炭鉱における環境管理技術の強化と組織強化に向けた管理技術移転 (ii) すべての炭鉱に共通した書類の電子ファイル化と共通フォーマットの使用 (iii) 各炭鉱での水質分析所の設置とモニタリング回数の増加	→	→
<b>行 政</b>	1) 持続的環境モニタリングシステムに向けた行政に必要な施策実施強化		→
	2) 環境管理体制の整備、排出基準・罰則の整備		
	3) 地域住民を含んだ地域社会をベースとした環境モニタリングシステムの構築		→
	4) 環境モニタリングのデータベースのテレコムシステムの強化		
	5) 河川流域の広範囲の環境モニタリングとの統合		
<b>2. 廃棄石炭(商品価値のない石炭)を使用した火力発電所建設</b>			
目的: 環境汚染リスク軽減に向けた、既存及び今後とも発生する商品価値のない微粉炭及びダーティコールの除去			
	(1) 実施体制の構築	→	
	(2) EIA	→	
	(3) F/S	→	
	(4) 詳細設計	→	
	(5) 建設	→	
	(6) 商業運転開始		→

添付資料

別添「環境調和型廃棄石炭発電計画」

別添「社会環境配慮」