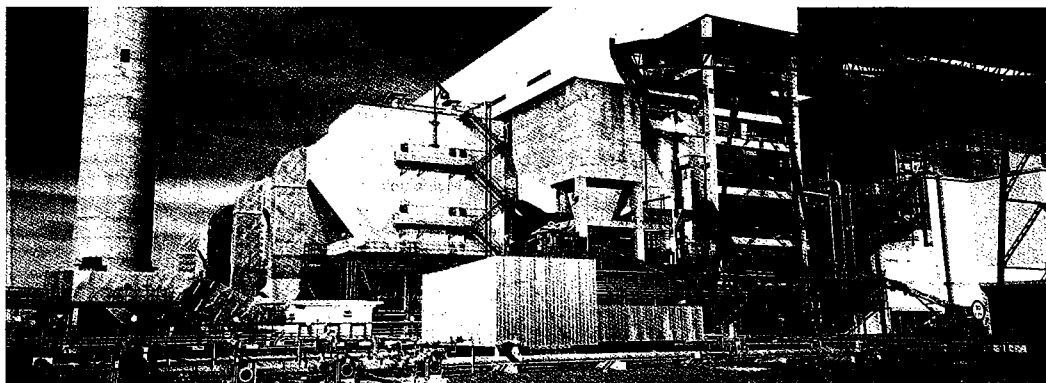


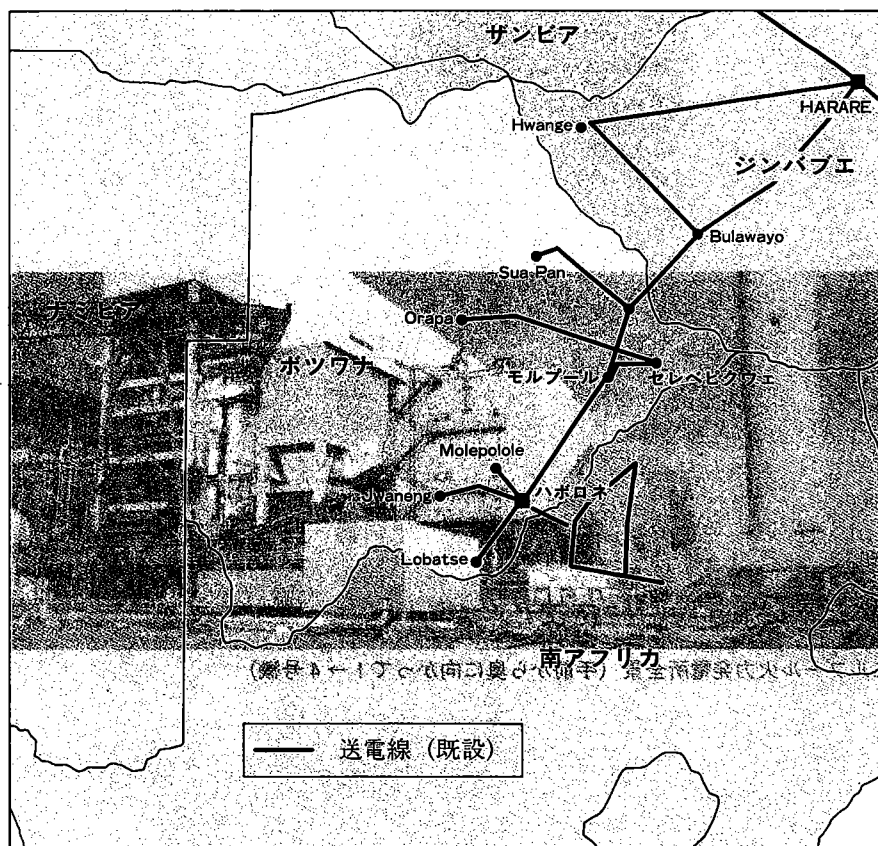
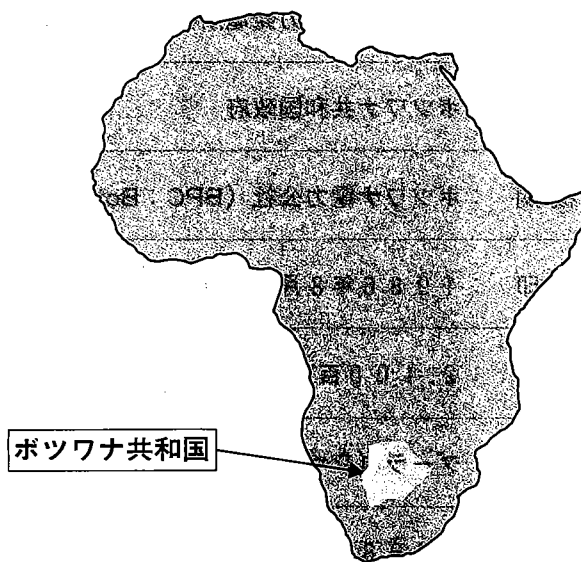
国名	: ボツワナ共和国
事業名	: モルプール火力発電所拡張事業
借入人	: ボツワナ共和国政府
実施機関	: ボツワナ電力公社 (BPC : Botswana Power Corporation)
調印	: 1986年8月
貸付承諾額	: 2,100百万円
通貨単位	: プーラ (P=100テベ)
報告	: 1993年6月 (実査: 1993年4月)



モルプール火力発電所全景 (手前から奥に向かって1→4号機)

I 事業概要と計画／実績比較

A) 事業地



B) 事業概要

本事業は、モルプール火力発電所に設備出力33MWの石炭火力発電所1基(4号機)を増設して、電力需要の増加に対処すると共に、南アフリカからの電力輸入依存から脱却し、ボツワナの電力の安全供給を図るものである。

尚、基金借款対象は、本事業の設備のうち、タービン・ジェネレーターの調達に係わる外貨分の全額である。

(本事業の背景)

(1) 1986年当時の電力需給予測

下表の電力需給予測が示す様に、新規の発電所建設がなければ1988年以降、供給予備能力はマイナスとなることが予測されていた。既に当時から供給予備能力は低く、輸入電力に依存する状況となっており、安定した国産電力源として本事業の実現が不可欠とされた。尚、ボツワナにおける発電所はセレベピクウェ発電所とモルプール発電所のみであり、この他に極めて小型の石炭火力発電所及びディーゼル発電所もあるも非効率であるため、その多くは運転休止状態にあった。

[ボツワナの電力需給予測]

(単位: MW)

年度	常時出力 1)	ファーム出力 2)	ピークロード 3)	供給予備 能力 A - B
		A	B	
1986	171	138	129	9
1987	171	138	138	0
1988	171	138	143	-5
1989	171	138	148	-10
1990	171	138	159	-21
1991	171	138	168	-30

(出所) BPC資料

(注) 1) 常時出力 (171MW): セレベピクウェ発電所出力(72MW)+モルプール発電所1・2・3号機出力(99MW)。尚、本事業、小型発電所及び南アフリカ共和国からの供給電力は含まない。

2) ファーム出力(138MW): 常時出力(171MW)-最大ユニット発電出力(33MW)

3) 電力需要の最大負荷

(2) 輸入電力

南アフリカ共和国とボツワナの首都・ハボロネを結ぶ送電線(132KV)により電力を輸入しており、1986年当時の輸入電力はボツワナの電力総供給量の約3割にも達していた。

(3) モルプール発電所

首都ハボロネ北方約290kmにあるモルプール炭鉱に隣接した地点に、石炭火力発電所1・2・3

号機(33MW×3)が建設され、それぞれ1986年3月、7月、10月に運転開始された。尚、本発電所とセレベピクウェ及びハボロネを結ぶ220KV送電線は1985年2月に完成した。

(4) 事業コンポーネント

本事業に係わる工事は、7つのコンポーネントに分割された(①タービン・ジェネレーター、②ボイラー、③復水器、④石炭・石炭灰取扱設備、⑤スイッチギア、⑥煙突、⑦土木工事、⑧コンサルティングサービス)。①については基金、②はE I B(欧州投資銀行)及びDANIDA(デンマーク)資金、③はE I B、④～⑧については自己資金で賄われた。

*以降、本評価報告書で「本発電所」とある場合は、モルブール火力発電所全体(1～4号機)を示すものとする。

C) 計画/実績比較

	単位	計画	実績
1. 事業範囲			
(1)タービン・ジェネレーター (基金融資対象分)	基	1	同左
(2)ボイラー	〃	1	〃
(3)復水器	〃	1	〃
(4)石炭及び石炭灰 取扱設備	式	1	〃
(5)スイッチギア	〃	1	〃
(6)煙突	基	1	〃
(7)土木工事	式	1	〃
(8)コンサルタント・サービス		施工監理および 各コンポーネント間の調整	
2 工期			
契約～運転開始 (期間)		1985年5月～1989年3月 (47カ月)	1985年5月～1989年5月 (49カ月)
3 事業費			
外貨 (うち、基金分)		6,937百万円 (2,100百万円)	5,536百万円 (1,981百万円)
内貨		19,439千プーラ	16,025千プーラ
合計		94,851千プーラ (為替レート: US\$ 1 = ¥196) 1プーラ = ¥ 92)	99,350千プーラ (為替レート: US\$ 1 = ¥134) 1プーラ = ¥ 71)

II 分析と評価

A) 事業実施に係る評価(事業範囲/工期/事業費/実施体制)

1 事業範囲

変更はなく、計画通りであった。

2 工期

各コンポーネントの工期が土木工事の完工時期が遅れたほかはほぼ計画通りとなったため、運転開始は1989年5月と計画より2カ月遅れたのみであった。土木工事についても1988年12月にはほぼ完工しており、その後機器との調整作業及びフィニッシングワークを行っていたのみで全体工期には影響を与えてはいない。

	計画工程 (契約～完工)	実績工程 (契約～完工)
タービン・ジェネレーター	1986年1月～1988年11月	1986年1月～1988年8月
ボイラー	1985年5月～1988年10月	1985年5月～1989年1月
復水器	1986年2月～1988年10月	1986年2月～1989年3月
石炭・石炭灰取扱設備	1986年4月～1988年9月	1986年4月～1989年1月
スイッチギア	1986年6月～1988年2月	1986年7月～1988年5月
煙突	1986年12月～1987年12月	1986年12月～1987年10月
土木工事	1986年7月～1987年11月	1986年8月～1989年5月
運転開始	1989年3月	1989年5月

3 事業費

外貨分は計画の6,937百万円に対し、実績は5,536百万円と1,401百万円(20.2%)のコストアンダーランとなった。また、基金融資分であるタービン・ジェネレーターについては、計画の2,100百万円に対し、実績は1,981百万円とほぼ計画通りとなった。内貨分は、計画の19,439千プーラに対し、実績は16,025千プーラと計画比3,414千プーラ(17.6%)のコストアンダーランとなった。外・内貨分のコストアンダーランの原因はコンポーネントによって外・内貨の振り分けに変更があったこと、煙突および土木工事はローカル事業が受注した結果、コストが安くなったためである。尚、総事業費を内貨建てで計算すると実績は99,350千プーラとなり、計画の94,851千プーラとほぼ同じになる。

4 実施体制

本事業の実施機関は、ボツワナ電力公社(BPC)である。BPCは1970年に成立した電力公社法に基づき1971年に設立され、発電、送電、配電に係わる事業を独占的に行っており、1992年3月現在で1,698人の従業員を擁している。本事業の実施に際しては2名の技術者を主体とするタスクフォースが創設され、これに工事進捗等を把握し、BPCの役員に報告する義務が与えられた。

工事は、7つのコンポーネントに分割され、各コンポーネント毎に国際入札が実施され、請負方式で雇用された。コンサルタントについては、ローカルコンサルティング企業が選定され、施工監理及び各コンポーネント間の調整を行った。

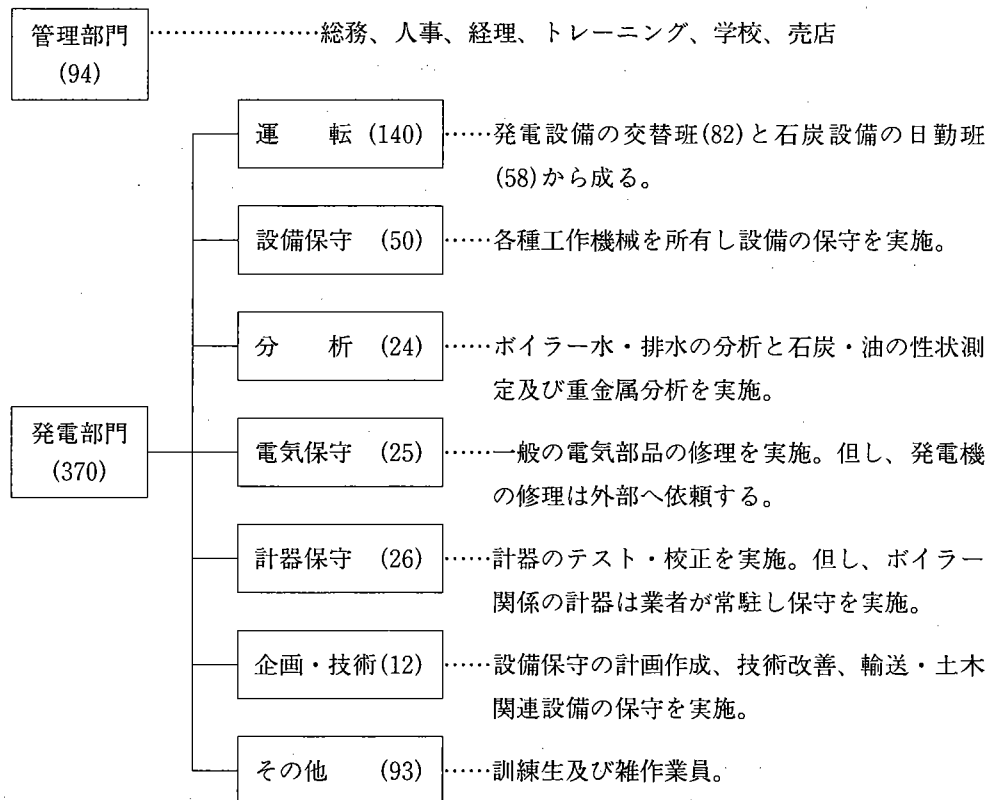
本事業が問題なく、かつ概ね計画どおりのスケジュールにて完工したことから実施体制には問題がなかったものと判断される。これは本発電所の1～3号機建設の経験が本事業に生かされた結果と思われる。

B) 運用及び維持管理に係る評価

1 運用維持管理体制

BPCが本事業の運用維持管理を担当している。運用管理室で1～4号機の運用を集中管理している他、保守に関しても発電所全体に対応する体制となっている。本発電所の組織は下表の通りである。

〔モルプール発電所組織図〕 * () 内の数値は要員数



保守点検作業についてはマニュアルが整備されており、作業方針、業務分担、機器毎のチェックポイント、作業リスト、作業記録の保管・管理等の標準化が図られている。また定期的な開放点検はボイラーが2年、タービンが6～7年毎に行うとされている。予備品は管理倉庫にユニット毎に分かれた棚に部品名毎に整理、保管されている。各ユニットのコントラクターの代理店が隣国の南アにあるため調達上問題はない。尚、ボイラー、石炭投入器、タービン、ケーブルラックに設置された温度上昇速度検知器、煙感知器、熱感知器がスプリンクラーシステムにつながっており、安全対策も十分取られている。

2 運用維持管理状況

本発電所の運用維持管理状況を示す各パラメーターの実績値を下表に示す。設備利用率及び時間稼働率は年々順調に上昇し、1991年にはそれぞれ約70%、約90%となり、本発電所がベースロードとして安定した状態で運用されていることがわかる。尚、本発電所では空冷方式の短所(冷却効率の悪さ)を補う為にファンに水をスプレーで吹きつける独自の工夫をしており、燃焼効率改善の為にBPCの積極性が窺える。

年度	1986	1987	1988	1989	1990	1991
設備利用率(%)						
1号機	37.78	47.77	66.03	67.85	81.74	68.95
2号機	28.37	51.54	66.46	64.18	63.98	58.57
3号機	23.53	61.60	61.23	67.43	68.48	75.41
4号機	—	—	—	50.64	77.93	74.09
全体	29.89	53.64	64.57	62.53	73.03	69.26
時間稼働率(%)						
1号機	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	88.20
2号機	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	84.38
3号機	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	94.77
4号機	—	—	—	N.A.	N.A.	93.28
全体	48.62	53.51	64.57	50.08	73.03	90.16

(出所) BPC資料

3 環境に対する影響

(1) 大気汚染

ボツワナ政府による大気汚染の排出基準及び環境基準の規定はないが、BPCはSO₂と煤塵に関する排出基準(目標値)を独自に設定している。また、本発電所の大気汚染対策として電気集塵機を設置している他、排出値のモニタリングを実施している。SO₂及び煤塵に関するBPCの排出基準と4号機の実測値は下記の通りである。

SO₂については、実測値は基準値を下回っている。また、基準値は日本の非工業地帯を対象とする規制とほぼ同じレベルにあり、本発電所付近には他の亜硫酸ガス発生源もなく地形的に滞留する恐れもないことから環境への影響は殆どないと考えられる。

煤塵については基準を上回ることが多かったが、BPCの基準値は日本の基準値より低く設定されている上、本発電所付近の降下粉塵量の実測値は1 mg/Nm³以下であることから環境への影響は少ないと考えられる。(注)

(単位： $\mu\text{g}/\text{日}$)

SO ₂ 排出値	BPC基準値：63.4 (日本の基準値：60.8 *非工業地帯)				
測定時期	91年/2月	9月	11月	12月	92年/2~12月平均
実測値	44.43	38.57	41.17	42.14	40.82

(出所) BPC資料

(単位： mg/Nm^3)

煤塵排出値	BPC基準値：137 (日本の基準値：200 *同規模のボイラー)				
測定時期	91年/2月	9月	11月	12月	92年/2~12月平均
実測値	420	165	55.6	200	N.A.

(出所) BPC資料

(注) 本発電所周辺の粉塵の測定値(1992年)は次の分布を示している。日本での粉塵の環境基準値(1時間値 $0.2 \text{ mg}/\text{Nm}^3$)を概ねクリアしている。

測定値(mg/Nm^3)	0	0.166	0.333	0.500	0.667	0.883
頻度(回)	111	84	11	14	2	1

(出所) BPC資料

(2) 水質汚染

本発電所からの排水は、ボイラー缶水の抜き出し水と補集した灰をスラリーとして輸送した後の分離水であるが、いずれも公共水系には放出しないで、蒸散池へ送り自然蒸散させている。蒸散池は付近の動物が中へ入らないようフェンスが張り巡らされている。地下水への影響を調べるため蒸散池の周囲7ヵ所に井戸を掘り、毎月サンプル採取が実施されているが地下水には有害物質は含まれておらず、本発電所からの排水による環境の影響は少ないと考えられる。

(3) 石炭灰の処理

石炭灰は本発電所付近の灰捨て場にスラリーとして輸送されそこに均一につまれる。水分が分離した後の石炭灰は適度な硬さを保ち、風によって拡散することはない。

(4) その他

騒音、振動および地下水の汲み上げによる地盤沈下について、特に問題は報告されていない。

C) 事業効果

1 電力安定供給への貢献

ボツワナにおける電力供給量は、下表に示す通り本発電所が運転を開始した1986年から1992年迄で平均年率8.3%の上昇を示している。本発電所の発電量も急速に増加し、総電力供給量に占める割合は、4号機が運転開始した1989年以降70%を超える高い水準にあり、本発電所はボツワナの主力電力源として、電力安定供給へおおいに貢献している。

また、ボツワナ国内のその他の発電所は老朽化しており、一方、電力消費は順調に増加していることから本発電所の重要性は一層高まるものと考えられる。

[ボツワナにおける電力供給]

(単位：GWh)

年度	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
モルプール1号機	106.1	138.5	191.0	196.0	236.2	199.6	216.6
2号機	61.0	149.4	192.3	185.6	184.9	169.8	241.9
3号機	33.3	178.6	177.3	195.0	197.9	218.6	251.0
4号機	—	—	—	146.0	225.2	214.8	242.7
小計	200.4	466.5	560.6	722.6	844.2	802.8	952.2
(シェア%)	(27)	(59)	(65)	(65)	(83)	(71)	(80)
セレベピクウェ	337.0	251.0	238.4	142.3	79.5	98.1	131.2
(シェア%)	(46)	(32)	(27)	(15)	(8)	(9)	(11)
ハボロネ	17.7	4.5	4.5	—	—	—	—
(シェア%)	(2)	(1)	(1)	—	—	—	—
輸入電力	185.1	66.8	59.2	56.0	97.4	227.6	110.4
(シェア%)	(25)	(8)	(7)	(6)	(9)	(20)	(9)
総供給量	740.2	788.8	862.7	920.9	1021.1	1128.5	1193.8
対前年比増加率(%)	9.1	6.6	9.4	6.7	10.9	10.5	5.8

(出所) BPC資料

2 輸入電力の代替

ボツワナ電力事情の特色の一つとして輸入電力の占める割合が高いことがあげられる。1986年当時の輸入電力量のボツワナ全体の総供給量に占める割合は25%にも達していた。その理由はボツワナの発電設備容量が不足していたからであり、本発電所1～3号機が運転を開始した1986年以降輸入電力は急激に低下し、4号機が運転を開始した1989年には輸入電力の割合は6%に迄下降したことから本発電所の建設、拡張は輸入電力の代替に寄与したといえよう。

しかし、翌1990年以降輸入電力は再び増加に転ずる傾向が見られる。これはセレベピクウェ発電所の老朽化および輸入電力の経済性(注)を考慮したものであり、今後の電力需要増加への対応の為、本発電所の更なる拡張と共に輸入電力は電力源の一つとして今後も確保されると思われる。1990年度にザンビアおよびジンバブエを結ぶ220KV送電線が完成し、安価な余剰電力を利用する一方、南アから信頼性の高い電力を更に得るため1993年度末には南アを結ぶ132KVの送電線を2ライン追加する工事(既存1ライン)が完成する予定であり、ボツワナの電力政策として南部アフリカ全体を考慮して多様な電力源を確保しようとしていることが窺える。従って、輸入電力の代替という本事業の目的は上述のような環境の変化により消失したといえるが、本発電所の設備利用率は高い水準を維持しており、輸入電力の確保は更なる電力需要へ対応する為の致し方ない措置といえよう。

(注) 国内発電単価(推定値)と輸入電力単価の比較

(単位: テベ/KWh)

年度	1988	1989	1990	1991
国内発電単価	6.7	6.6	6.7	8.1
輸入電力単価				
南アフリカ	5.4	6.0	5.0	4.8
ザンビア・ジンバブエ	—	—	1.7	1.8

3 電化促進

加入者は下表の通り順調に増加しており、本発電所の建設および拡張に伴う電力供給の増加が加入者増加の背景となっているといえよう。ボツワナの電力消費は主に鉱業で使用されており総消費電力量の約6割を占めているが、最近は一般加入者の電力消費の伸びが大きくなっている(注1)。これはBPCが配電網を充実させると共に、1992年から農村電化計画(Rural Electrification Programme)を実施し、一般加入者の加入料金支払いを容易にする為、BPCおよび政府のファイナンスにより特別な融資制度(注2)を設ける等、努力を行っていることの成果と思われる。しかし、このような努力にも係わらず一般加入者の絶対数はまだ低い水準にあり、世帯別電化率は8%程度と依然低い水準(注3)にある。

(注1) 〔消費電力の需要先別内訳〕

(単位：GWh)

年度	1986	1987	1988	1989	1990	1991	'91/'86(*)
鉱業	482.2	470.9	503.1	505.1	540.1	595.5	1.235
商業	102.6	121.1	120.9	147.1	167.0	183.6	1.789
一般	44.2	53.1	57.4	65.2	78.1	94.6	2.140
政府	30.1	34.0	43.9	54.8	63.2	66.3	2.203
総販売量	659.1	679.1	725.2	772.2	848.4	940.0	1.426
所内電力	54.6	76.2	83.2	98.7	108.6	111.7	2.045
送配電ロス	26.5	33.5	54.3	50.0	64.1	76.8	2.898
総供給量	740.2	788.8	862.7	920.9	1021.1	1128.5	1.525

(出所) BPC資料

(備考) (*)実質GDPは90/86で1.447となる。

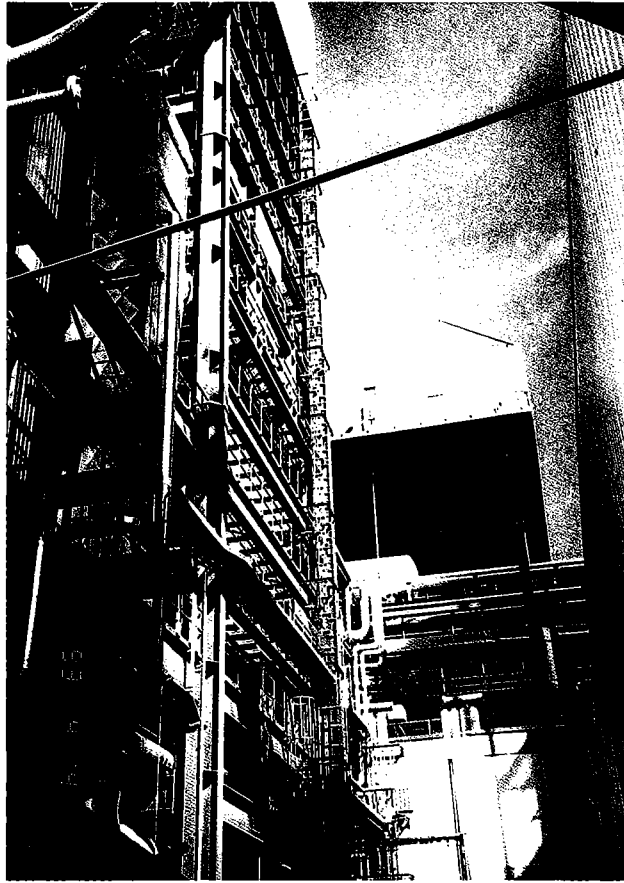
(注2) Rural Development Fund。加入者は最寄りの配電線から各需要地点迄の設備費全額を分担する必要がある。当融資の金利は年9%と市中金利(年14%)と比べて有利。1992年には2百万プーラの貸付実績があった。

(注3) 各開発途上国の世帯別電化率(1988年)

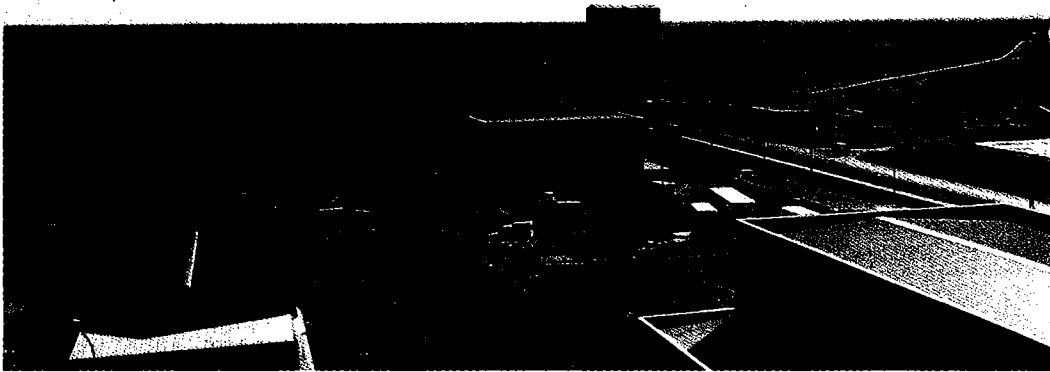
国名	①全所帯数 (千世帯)	②電化所帯数 (千世帯)	電化率 (②÷①)
タイ	10,308	6,308	61.2%
パキスタン	15,254	5,191	34.0%
インド	142,073	37,193	26.2%
インドネシア	34,735	8,666	24.9%
フィリピン	10,436	1,584	11.6%
ボツワナ	234,539	20,968	8.1%
ミャンマー	7,109	563	7.9%
ネパール	3,236	227	7.0%

(出所) ELECTRICITY IN ASIA AND PACIFIC 1989

(備考) インドは1987年、ボツワナは1990年のデータ。



モルプール火力発電所 4号機



モルプール炭鉱からの石炭コンベア

円借款案件事後評価報告書(1993年度の評価概要)

平成6年12月発行

編纂・発行——海外経済協力基金 開発援助研究所
東京都千代田区大手町1丁目4番1号
(竹橋合同ビル)