

2-5-2. ターミナル設備の現状

第1回目の基本設計調査時点（1985年10月）での鉄道輸送関係のターミナル設備及び輸送方法の現状について述べる。

(1) 燃料積み込み設備

燃料積み込みはポートスーダンにある石油会社で行なう。空車・積車の入換は、石油会社近くの New South Stationで行ない、積み込みが終了すると列車として Town Station へ回送し、ここで交代乗務員用控車 (Manama)、援急車 (Braké Van) を連結して出発準備が完了する。(図2-6参照)

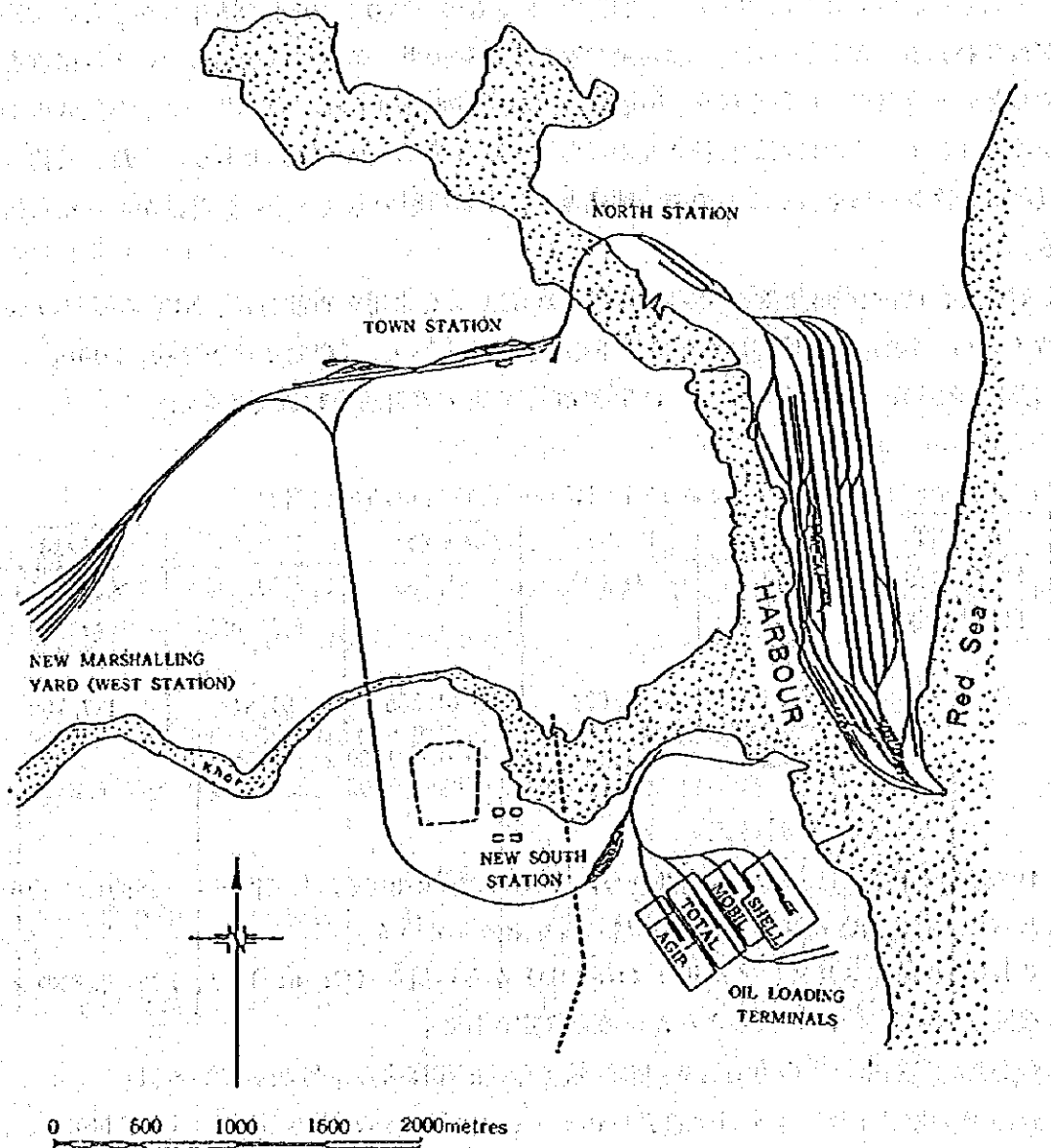


図2-6 ポートスーダンのターミナル

New South Stationは現在326~535 mの線路が5線あり、さらに5線増設を計画している。線路は75 lb/ydのレールを使用しているので、許容軸重は16.5tである。NECの使用燃料の7割を供給しているAGIP(石油会社)の燃料積込み設備を調査した結果は以下のとおりである。

・出荷能力(最大)	タンク貨車 タンクローリー	900 500~700	t/day "
・積込口	1,500 sec用 2口 3,500 sec用 1口 さらに2口増設計画中(1986年完成予定)		
・送油ポンプ	40 t/h × 2台		
・貯蔵タンク	1,500 sec用 3,500 " 増設計画中	850 t/1基 950 "	
・加熱装置	計画中であるが設置時期未定 現在精油所からの燃料を冷却しないうちに積込んでいるので問題ない。 3,500 secの燃料のみ、冬期積込みに時間が倍かかる		
・入 換	手動入換(ワイヤとウインチ使用)		

英国報告書(輸送)によれば、他の石油会社も同様の設備を有しており、それらの貯蔵タンク容量は以下のようになっている。

TOTAL	1,350 t
MOBIL	910 t
SHELL	3,210 t

また、SHELLのみが蒸気加熱装置を有しており、積込み設備も最良との事である。

(2) 燃料荷下し設備

Khartoum North発電所へ輸送するタンク車はKhartoum North駅で切り離し、またBurri発電所へ輸送するものはKhartoum駅より送り込まれる。これらの配置関係は図2-7のとおりである。

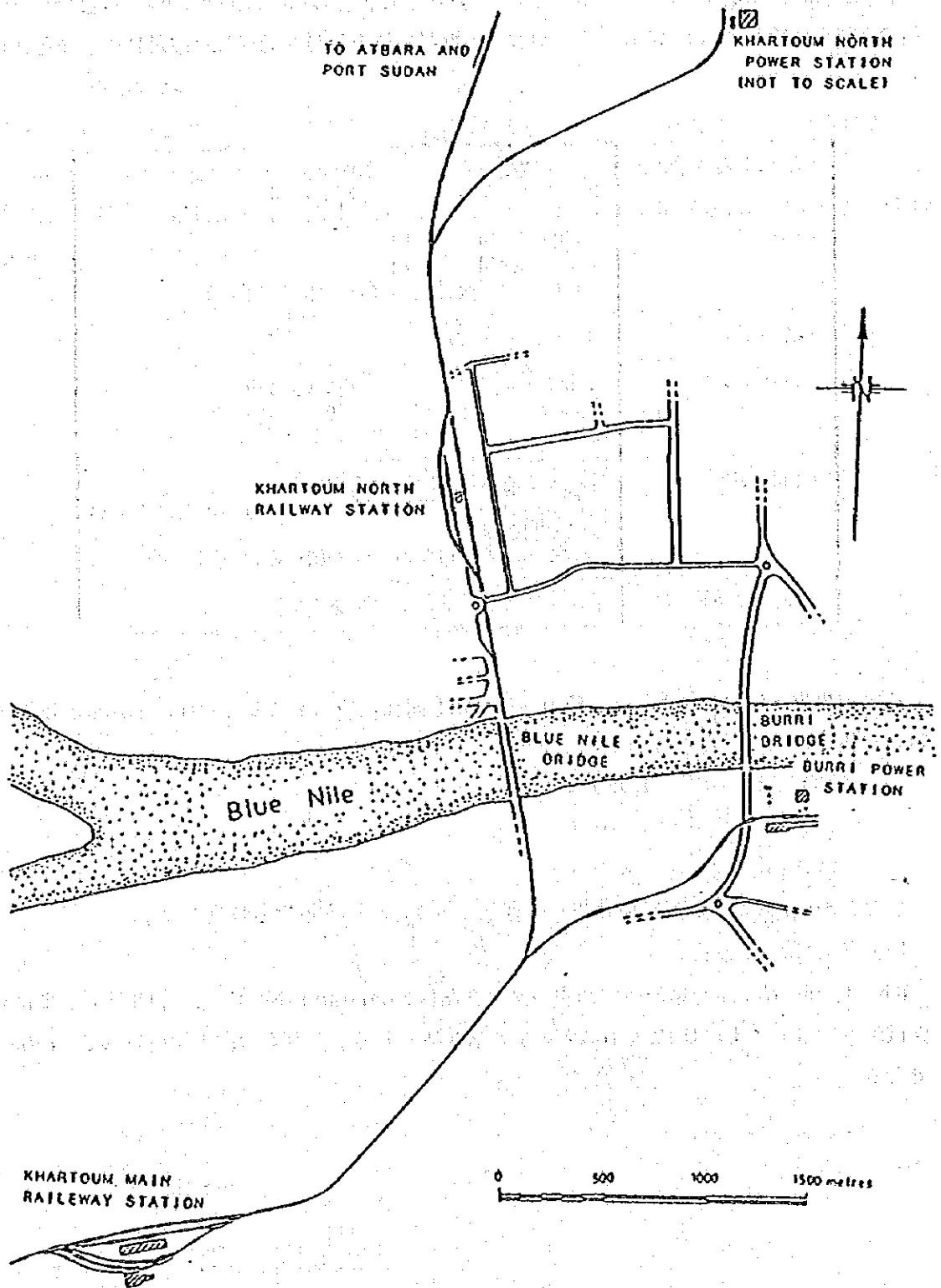


図2-7 カルツームの鉄道配線

Khartoum North発電所は最近建設され、荷下し設備も新しい。Burri 発電所の設備は古く、現在順次更新中である。荷下し設備は古く、こぼれた油で汚損しているが、荷下し線、貯蔵タンクなど最近増設が完了した。

両発電所の荷下し線の配置は図2-8、また荷下し設備は表2-32のとおりである。

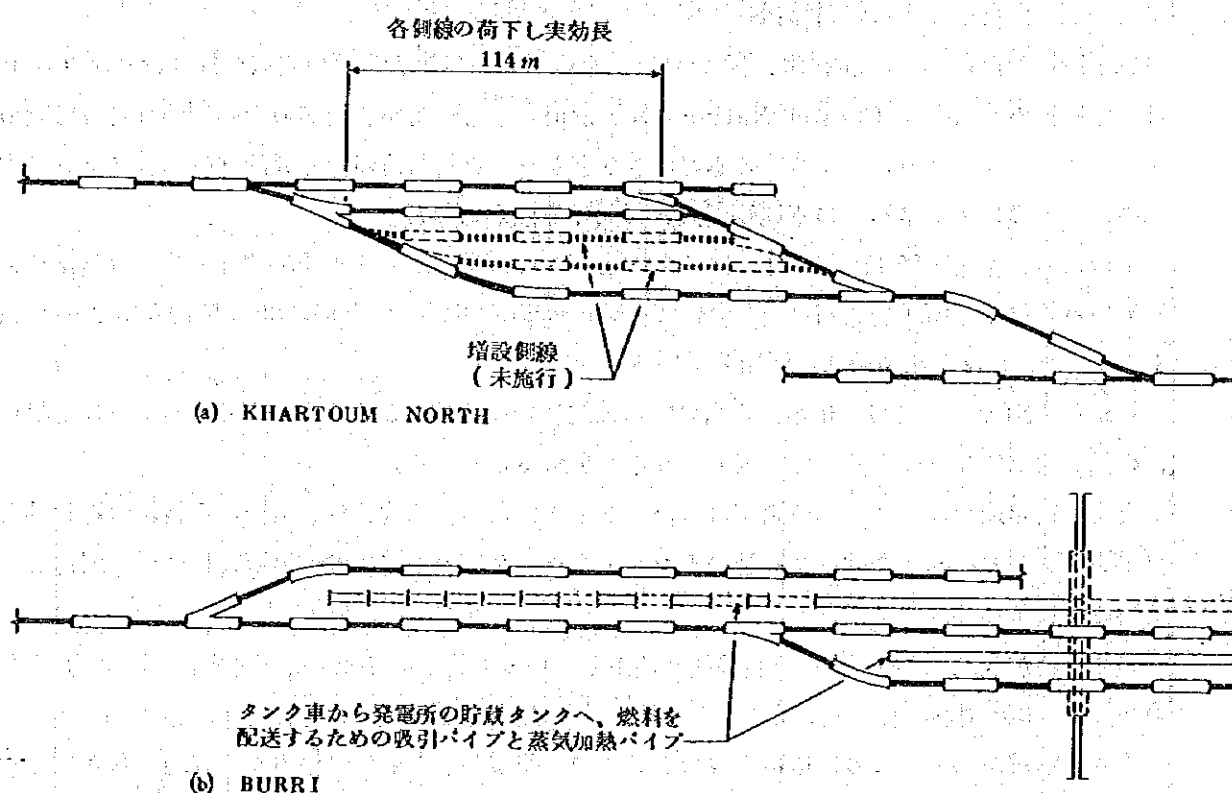


図2-8 発電所における構内軌道配線概念図

表2-32 Khartoum の発電所の荷下し設備

発 電 所	Burri	Khartoum North
荷 下 し 口	5両× 2線 9両× 2線	10両× 2線
荷下しポンプ	54m ³ /h × 4	120 m ³ /h × 2
貯蔵タンク	1,500t × 4 2,700t × 3 [200t × 4 ガスオイル用]	20,000t × 2

Khartoum North発電所ではさらに20,000t×2基の貯蔵タンクの増設を計画しており用地も

確保されている。

両発電所ともタンク車加熱用の蒸気設備を計画中である。

入換は、必要の都度SRC所属の入換用ディーゼル機関車によっているため、必ずしも能率的とは云えない状態である。

2-5-3. 自動車による燃料輸送

1984/85年度から暫定的に開始された自動車輸送は、当初、公営の輸送会社(Petro Trans社)と民営の輸送会社(Trans National社)が担当していたが、道路の混雑に伴う到着時間の不安定さ、トラック用の軽油供給の不安定さなどから、量的な信頼性と質的な信頼性(タンク内部の洗浄不良による重油への不純物混入)に欠ける点があった。

そのため、現在(1986年11月)はペテロ社(Petro Trans社)1社に絞って管理の強化を図っている。自動車輸送の実績は、1984/85年度約55,000t及び1985/86年度約64,000t(表2-31)で、ほぼ、鉄道輸送に匹敵している。

しかし、NECとしては、信頼性の高い鉄道輸送に切換えることを望んでおり、ペテロ社も収益性の低いNEC用の重油輸送を、縮小することを期待している。

また、世界銀行はエネルギー効率の低いトラックによる重油輸送は、当初から検討の対象外と見ている。公営の輸送会社ペテロ社のタンク・トラックによる重油輸送の概要について調査した結果は、以下の通りである。

ペテロ社がGPC及びNECの燃料輸送に使用しているトラックは35t積み(積車重量50t)のものが多く、50t積み(積車重量65t)のものも一部使用している。

後者は軸重が過大となり、道路を破損させるので使用が禁止されているが、取締りもされず、民間の輸送会社が使用しているので、ペテロ社でもやむを得ず使用しているということであった。

現在使用されているタンク・トラックの約70%は再生品であり、新品は30%程度である。

トラックの燃料消費率は、約2.0 km/ℓ(約2,400km走行するのに320gallon…1210ℓ消費)である。(日本の12t積タンクローリーの燃費3.0~4.0km/ℓ)なお、現地(カルツーム)での軽油価格は3.5LS/gallon(約38円/ℓ)である。(1986年11月時点)

また、カッサラなど途中の地方での軽油の補給は不安定なこと、及び安価なポートスーダンの軽油を使用したいので、タンク・トラックの多くは400ℓの燃料タンクを3個装備してポートスーダン~カルツームの往復を無給油で走行するようにしている。(若干の給油が必要ならカルツームで行なう。)

又、タンク・トラックがポートスーダン~カルツーム間を1往復するのに必要な時間は5~6日間である。

2-6. 要請の経緯と内容

スーダン共和国では発電設備増強のため、1961年以来、水力発電を主体とする Power I、II 計画、及び水力と火力を同じ程度に増強する Power III 計画を実施した。

しかしながら、現時点でもなお、国民1人当りの発電設備容量及び発電電力量はそれぞれ23W/人、及び54KWH/人で世界で最も低位グループの国に分類されている。電化されているのは、首都カルツーム地区と主要な15地方都市であるが、電力系統を構成し、組織的な電力供給が行なわれているのは、カルツーム地区を含む2地区のみで、他は小規模なディーゼル発電機が孤立して設置されているだけである。

表2-33 Power IV計画

計画の概要	内貨分	外貨分	全体
Part A. ブルーナイル・グリッド (BNG) の拡張 合計	72.3	240.1	312.4
①Roseires No.7 の増設	1.1	10.7	11.8
②Khartoum Northに蒸気タービン発電機 No. III、IVの増設	21.1	128.1	149.2
③BNGの発電設備増強	5.4	23.4	28.8
④カルツームの給配電設備増強	32.9	55.9	88.8
⑤カルツーム周辺での配電設備増強	11.8	22.0	33.8
Part B. 東部グリッド (EG) の拡張 合計	5.3	19.7	25.0
①Khashm el Girba へ3基のディーゼル発電機 (各5 MW) の増設	4.4	16.8	21.2
②EGの発電設備増強	0.9	2.9	3.8
Part C. リハビリとスペアパーツ 合計	6.5	18.3	24.8
①Roseires, Khashm el Girba 各発電所 送電・変電設備など	6.4	14.8	21.2
②スペアパーツ (3年分)	0.1	3.5	3.6
Part D. BNGの給電設備の改良	8.6	29.0	37.6
Part E. 燃料輸送機材 合計	15.0	35.9	50.9
①SRCへの燃料輸送機材の緊急リハビリ 機関車、通信機器など	13.4	21.2	34.6
②NECへの投資 タンク貨車、その他	1.6	14.7	16.3
Part F. 技術援助	0.9	6.0	6.9
合計……NECに対する投資	95.2	332.8	428.0
SRCに対する投資	14.6	26.2	40.8
合計	108.6	348.0	457.6

1984年2月26日の日本への要請状より

このような電力事情を改善・発展させ、今後の電力需要の増加に対応するため、火力発電を主体とした電力増強計画が必要となり、1983年末にPower IV計画を立案した。1983年12月、Power IV計画についての関係国会議がパリで開催され、表2-33のような計画の大枠についての合意が得られた。

スーダンの電力計画に対しては、Power I計画以来、主に世界銀行が融資を行なってきた。そして、今回のPower IV計画に対しても、世界銀行はPower Rehab.(IDA)計画(1985~88年)により、当面の対策に対する融資を決定し、更に長期的な対応策として、Power IV (IDA)計画を検討中(事業評価中)である。そして、Power IV計画は極めて大きな資金を要する計画であり、世界銀行の融資能力にも限界があるので、世界銀行のPower IV (IDA)計画はADBとの協調融資を行う事が検討されている。

また、スーダン共和国は既に通常のローンの返済能力を失っており、ローンとしては世界銀行(IDA)のような無利子で長期(50年貸付)の条件以外は考えられない状態であった。そのため上記関係国会議においても、Power IV計画については、最も投資効果の高い部分に対して世界銀行(及びADB)が融資を行ない、他の投資効果の低い部分に対して、各国からの無償資金援助を期待するという融資分担が選択された。

Power IV計画には同表に示すように、燃料輸送用機材に関する事項(燃料輸送網整備計画)が含まれており、上記の会議の結果に従って、スーダン共和国政府は日本国政府へ、1984年2月、この燃料輸送網整備計画に対する無償資金協力を要請してきた。

具体的な要請内容は次のとおりである。

① 電気式ディーゼル機関車

軸重約16トンで1,600~1,700馬力の電気式ディーゼル機関車10両

② 通信設備

・燃料輸送のために、既存の通信網とは独立したカルツーム、アトバラ及びポートスーダンの都市間及び都市内の関係機関を結ぶ無線装置

・列車~最寄駅間連絡用無線のうち、①の機関車に搭載する車上無線装置

この要請を受けて日本国政府は燃料輸送網整備計画に対する基本設計調査を行なうことを決定し、国際協力事業団が1985年9月26日より10月17日まで調査団を現地に派遣した。この調査団は燃料輸送網整備計画の妥当性についての調査を主目的としたものであった。

その後、電力需要の実績が初期のPower IV計画の需要予測を下回ることが明かとなり、発電計画の見直しが行われた。そして、1986年に入り、IDAのPower IV (IDA)計画に対する事業評価が行われ、計画の煮詰めが行われる中で、この「燃料輸送網整備計画」についても見直しを行い、この計画をPower IV計画全体の一部として位置付け、その妥当性を評価する必要性が生じ、スーダン共和国政府より追加調査の要請があったので、合わせて、IDAのPower IV計画に対する取組み方についても確認することとし、この「燃料輸送網整備計画」に対する基本設計調査を再度行うこととなった。

第3章 計画の内容

第3章 計画の内容

3-1. Power IV計画の内容

3-1-1. 発電計画

(1) 計画策定までの経緯

Power III計画後の長期電力計画—the Long Term Power Plan—が、イギリスのコンサルタントSir Alexander Gibb and Partners and Merz and McLellanによって検討され、1979年9月に最終報告書がスーダン国政府に提出された。これは1985/86～2000/01年度の15年間の需要想定を行い、電力の伸び率が8.2%/年、電力量の伸び率を8.3%と想定して電源開発計画の大枠を提案したものである。

同時に同コンサルタントはPower III計画後の発電増強計画のfeasibility調査を、長期計画の需要想定の下に詳細に行い、1983年7月に最終報告書を提出した。これがスーダン国政府のPower IV計画の基本となった計画である。この概要は表3-1の通りである。

表3-1 初期のPower IV計画概要 (英国のコンサルタントのFSレポート, 1983.7)

財政年度 F Y	主需要予測		低需要予測		発電増強計画
	電力量 (GWH)	電力 (MW)	電力量 (GWH)	電力 (MW)	
1982/83	920	235	999	188	
83/84	1134	263	1089	205	Kilo× 30 MW 蒸気タービン
84/85	1329	294	1187	223	Roseires #7 40MW 水車発電機
85/86	1544	323	1294	243	
86/87	1760	352	1410	265	Khartoum North 60 MW×2 蒸気タービン
87/88	1974	384	1540	289	Khartoum North 60 MW×1 蒸気タービン
88/89	2148	419	1680	315	Sennar 30 MW 水車発電機 増設
89/90	2413	456	1830	343	

NECの需要実績は、1982/83, 1983/84 及び1984/85年度で、各々934GWH、1,014GWH 及び1,233GWHとなり、表3-1に示された主需要予測値を下回る傾向を示した。

そこでスーダン国政府は上記コンサルタントの作成した発電増強計画の見直しを行い、火力発電設備の増強、送・変電設備と配電設備の整備・拡張 (活性化と共に予備品の調達及び設備拡張) 及び水力発電所の活性化を柱とする、表3-2のような現在のPower IV計画を策定した。

表3-2 Power IV計画概要

年 度	需要予測		発電増強計画 -1986/87 ~ 1990/91-
	電力量 (GWh)	電 力 (MW)	
1986/87	1,593 (1,760)	303	Khartoum North 20 MW× 2台 ガスタービン発電機
87/88	1,714 (1,974)	326	Burri 増設 10 MW× 2台 ディーゼル発電機 Roseires #7 増設 40 MW 水車発電機 燃料輸送用機関車 10 両
88/89	1,839 (2,184)	356	Eastern Grid増設 5 MW × 3台 ディーゼル発電機
89/90	1,961 (2,413)	373	Khartoum North 45 MW× 2台 蒸気タービン発電機
90/91	2,095 (2,610)	385	Regional Cities 10.5 MW ディーゼル発電機
91/92	2,232 (2,822)	425	

【注】 () は初期 PowerIV計画での主需要予測

(2) Power IV計画の内容

下方修正された需要予測に基づく現在のPower IV計画で増強される発電設備は表3-2の通りである。Power IV計画で増強される電源はBNGで190MWで、このうち火力発電は150MWである。この計画が完成すると、BNGの設備出力は632.3MWとなり、その内訳は水力267MW火力365.3 MWで、火主水従の電源構成となる。

現在のPower IV計画は初期の計画より2年の遅れとなっている。この理由はPower III計画が2年程完了が遅れたためと思われる。(Power III計画のKhartoum North発電所 #2号機の運転開始予定は1983年8月であったが、実際の運転開始は1985年6月である。)

Power IV計画の特徴は、火力発電を中心にした発電増強計画であり、その主力はKhartoum NorthとBurri両火力発電所である。この両火力発電所と既設火力発電所で使用する燃料は、ポートスーダンからカルツームまで内陸輸送されなければならない。一方、NECの燃料消費量と輸送実績を過去5年間で見ると表3-3の通りである。

表3-3 NECの燃料輸送実績(千t)

年 度	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86
燃料消費量	33.9	41.0	61.6	91.8	127.7
鉄道輸送量	33.9	41.0	61.6	36.7	63.9
自動車輸送量				55.1	63.9

この表から判明するように1984/85年度からSRCによる鉄道輸送能力の不足が顕在化し、自動車輸送が導入されている。

Power IV計画で必要とする燃料の確保はこの計画の絶対条件であるので、スーダン国政府は燃料輸送専用の機関車と貨車をPower IV計画に組入れて調達する事にした。これは従来のPower I～III計画にはなかった事で、Power IV計画の特徴の一つである。またPower IV計画は発電増強だけでなく、それに関連する送電線、変電所、配電線の拡張など電気供給に必要な全設備の増強を目的とした総合計画である。その具体的な内容を表3-4に示す。

表3-4 Power IV計画の内容及び資金状況 単位：百万ドル

計画内容	コスト見積	資金状況
(BNG) : Blue Nile Grid (1) Khartoum North火力発電所増設 40 MW (20 MW × 2台 蒸気タービン)	6.5	1997; グラントをコミット
(2) Burri 火力発電所増設 20 MW (10 MW × 2台 蒸気タービン)	39.6	IDA; 30.0 ヲトロノをコミット実施中 (Power Rehab. Project, IDA)
(3) Roseires水力発電所活性化		
(4) Sennar水力発電所予備品		
(5) Roseires水力発電所増設 7号機 (40 MW)	13.0	EIB; 12.0 ヲトロノをコミット
(6) 燃料輸送設備; 機関車 10両、無線設備	20.0	日本; グラントを検討中
(7) Khartoum North送変電設備 110/33/11 kV Khartoum変電所 110 kV 送電線、33 kv 配電線 カクム 周辺配電線	112.0	{世界銀行; 35.0} 内容の一部に {OPEC; 10.0} ヲトロノをコミット
(8) Khartoum North火力発電所増設 (45 MW × 2台 蒸気タービン)	76.0	{IDA; 38.0} ヲトロノをコミット {ADB; 38.0} 事業評価中
(9) Blue Nile Grid 設備強化 220 kV 送配線架線張替 220 kV, 110 kV変電所機器更新 220/110 kV 変圧器更新 110/33 kV 変圧器更新	36.0	---
(EG) : Eastern Grid (10) Eastern Grid 変電所、66 kV 変電所設備	24.0	世界銀行; 16.0 グラントをコミット
(11) Khashm el Girba 火力発電所増設 (5 MW × 3台 蒸気タービン)	14.3	世界銀行; 12.5 グラントをコミット
(1D) (12) 地方都市電化	24.5	
El Obeid (1.5 MW × 3台 蒸気タービン)	6.5	世界銀行; 6.0 グラントをコミット
Shendi (1.2 MW × 1台 蒸気タービン) El Fashar (1.0 MW × 1台 蒸気タービン) Atbara (4 MW × 1台 蒸気タービン) Dongla 配電線	18.0	世界銀行; 17.6 グラントをコミット
(13) White Nile 電化	82.4	{ユネスコ} 60.0のヲトロノ(ユ-フ) + {西独} グラント (西独) を検討中
合計	472.8	

(3) Power IV計画と資金状況

Power IV計画は、表3-4に示すとおり、既設系統の発電設備から配電線に到る全設備の拡充と地方都市の電化、及び燃料輸送設備まで包含する総合プロジェクトである。従来のPower III計画までの発電増強を主とする計画に比べ、Power IV計画の規模はスーダン共和国にとって画期的なものである。

Power IV計画の資金規模は、建設中利子を除いて約470百万ドルと見積もられており、Power III計画の245百万ドル(244.74百万ドル、予備費及び物価上昇分を含み、建設中利子は含まない；IDA事業評価報告書より)の約2倍となっている。

スーダン国政府はPower IV計画推進のため、国際援助機関及び各援助国にファイナンスを要請していたが、(1983年12月15日パリで援助国の会議が開催された)、現在、国際援助機関及び援助国のPower IV計画に対するファイナンス状況は表3-4に示したとおりである。

Power IV計画のBNGに対するファイナンスは、燃料輸送用機関車とBNGの設備強化に対する部分が未定であるが、他の計画項目についてはファイナンスが決まっており、表3-4中に示すように、一部は既に実施に移され、一部は実施前の評価の段階にある。即ち、表3-4中の(2)、(3)及び(4)項に対しIDAは1985年6月事業評価を完了し30百万ドルのソフトローンを提供した。このプロジェクトが"Power Rehabilitation Project"と言われるもので1988年完成を目標に現在実施中である。又、IDAはKhartoum North火力発電所に90MWの増設(表3-4中の(8)項)に対する事業評価を実施中(1986年11月現在)で、IDAとADBで各々38百万ドルのソフトローンをコミットしている。IDAはこのプロジェクトを"Power IV Project"と称しており、この事業評価報告書は1987年3月にIDA理事会に付議される予定である。従って、BNGの発電増強は実施段階にあり、発電増強に欠く事が出来ない燃料輸送用機関車に対するファイナンスの目途が早急につくことが望まれるところである。

EG及びIDに対するファイナンスは、(13)項「IDのWhite Nile電化」の検討中の件名を除きコミットされており、実施段階にあると言ってよい。

以上の通り、一部実施されているPower IV計画に対する援助国は、表で明らかなように日本を含めて8カ国、国際援助機関は、IDAを始めとする4機関に達している。Power IV計画はまさにスーダン共和国に対する国際協力プロジェクトである。特に、燃料輸送はPower IV計画の成否を左右する要素であり、機関車のファイナンスを受け持つ日本の役割は重要である。

(4) Power IV計画の評価

ここではPower IV計画で増強される火力発電設備と増強に伴い消費される燃料の予測量(NEC予測量)を、電力需給バランスと燃料消費率の技術面から論証し、計画の妥当性を検討する。次に、燃料輸送費が現行電力料金に占める割合を日本の例と比較し、NECの経理状況を財務諸表にもとづいて説明する。

① 電力需要と発電増強計画のバランス

BNGの既存発電設備とPower IV計画で増強される発電設備の設備出力と発電可能出力を1986/87年度から1993/94年度の8年間にわたって予想したのが、表3-5である。この表で、既存水力の増加は、Roseiresの活性化による出力上昇、火力の出力低下は、耐用年数を考慮した既存の火力発電所の廃棄によるものである。

表3-5 設備出力と発電可能出力予想 (BNG)

電源種別		出力種別	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
既 存	水 力	設備出力	227	227	227	227	227	227	227	227
		可能出力	194	225	225	225	225	225	225	225
	蒸気タービン	設備出力	86	86	86	86	86	60	60	60
		可能出力	76	76	76	76	76	60	60	60
	ディーゼル	設備出力	77.3	55	55	55	55	55	55	55
		可能出力	48.4	46.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5
	ガスタービン	設備出力	52	52	52	38	38	38	38	38
		可能出力	47	47	47	34	34	34	34	34
小 計		設備出力	442.3	420	420	406	406	380	380	380
		可能出力	365.4	393.5	393.5	380.5	380.5	364.5	364.5	364.5
Power IV	水 力	設備出力		40	40	40	40	40	40	40
		蒸気タービン				90	90	90	90	90
	ディーゼル		20	20	20	20	20	20	20	
	ガスタービン		40	40	40	40	40	40	40	
合 計		設備出力	482.3	520	520	596	596	570	570	570
		可能出力	405.4	493.5	493.5	570.5	570.5	554.5	554.5	554.5

[注] Power IV計画の 水力 : Roseires #7 号機
 蒸気タービン : Khartoum North 90 MW 増設
 ディーゼル : Burri 20 MW 増設
 ガスタービン : Khartoum North 40 MW 増設

この表で、BNGの最大発電能力は1986/87年度で400MWを越し、Power IV計画が完了する1990/91年度では570MWになることがわかる。しかし、この最大発電能力は水力事情が平年並の時のもので、水力事情が悪い時や灌漑時にはRoseiresの発電能力が低下する。この時の水力発電能力は、実績より、活性化前で140MW、活性化後で165MWと予想される。従って、水力事情や灌漑を考慮すると、BNGの最小発電能力は最大能力に対して70MW程度低下したものと考えられ、表3-6の通りとなる。

表3-6 最小発電能力予想 (BNG)

年 度		86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
最小発電能力	MW	351	423	423	500	500	484	484	484

この発電能力でBNGの最大電力需給バランスを示したのが表3-7である。

表3-7 最大電力の需給バランス (BNG)

年 度		86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
(1) 最小発電能力	MW	351	423	423	500	500	484	484	484
(2) 電力需要予測	MW	303	326	356	373	385	425	454	486
(3) 必要発電能力	MW	363.5	388.6	421.6	455.3	468.5	512.5	544.4	579.6
(4) (最大ユニット; KRT N.)	MW	(30)	(30)	(30)	(45)	(45)	(45)	(45)	(45)
(5) 待機予備力	MW	△12.5	34.4	1.4	44.7	31.5	△28.5	△60.4	△95.6
(6) 待機予備率	%	△ 4.1	10.6	0	12.0	8.2	△ 6.7	△13.3	△19.7

[注] (1): 表3-6より
 (2): NEC予測値
 (3): 電力需要予測値 (2)×1.1 +最大ユニット (4)
 (4): Khartoum Northの蒸気タービンユニット
 (5): (1) - (3)
 (6): (5) / (3) × 100

表3-7で必要発電能力とは、系統運用上、電力需要に対して10%の余裕を持たせ(運転予備力)、その上に系統内で最大のユニット容量を加えた発電能力である。この意味は、系統内で最大ユニットが故障などで系統から脱落しても、尚需要に対して10%の余裕をもって電力の供給が継続できる事を意味しており、理想的な電力システムの運用形態の一つである。

この運用形態からBNGをみると、1986/87年度に待機予備力(系統に連結されず待機している発電能力)に不足が生じるが、それ以降Power IV計画完了時点の1990/91年度まで待機予備力があり、安定した電力供給が可能である事を示している。1991/92年度以降は待機予備力の不足が増大しており、新たな発電増強計画が必要である。

以上により、最小発電能力時の電力需給バランスは1986/87年度を除いてPower IV計画期間中安定しており、また、水力事情が平年並であればバランス上の問題は生じなく、Power IV計画の発電増強計画は妥当である。

② 発電計画と燃料消費量

NECの燃料消費予想値を表3-8に示す。これによれば、平均燃料消費率は275t/GWHで計算されている。重油、軽油の平均熱量10,000~11,000kcal/kg、Power IV計画で増設されるBurri発電所20MW、Khartoum North発電所90MWの平均熱効率を28.5%と仮定すると、燃料消費率は274t/GWH~300t/GWHとなる。系統内には古い設備もあり、燃料消費率はこの値より若干大きくなると予想されるが、系統の発電運用は、新鋭設備を優先して使用するのが定石である事を考慮すれば、NECの予想値は妥当と判断される。

一方、燃料消費量は、Roseires、Sennar両水力発電所の発電能力に大きく影響されるので、燃料消費量は水力発電能力が、低下した場合の必要量をも予想しなければならない。

表3-8 需要予想、発電計画及び燃料消費量 (BNG)
(1986/87~1985/96 ; NEC)

年 度		86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96
電力量予想	GWH	1,593	1,714	1,839	1,961	2,095	2,232	2,386	2,554	2,736	2,938
水力発電 ⁽¹⁾	GWH	1,106	1,106	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
火力発電	GWH	487	608	639	761	895	1,030	1,186	1,354	1,536	1,738
燃料消費量 ⁽²⁾	10 ³ t	134	167	176	209	246	284	327	373	423	479

Khartoum North (20MW × 2) ↑
 Burri (10MW × 2) ↑ Roseires #7 (40MW) ↑
 Khartoum North (45MW × 2) ↑

[注] (1)水力平年並
 (2) Average specific Fuel Consumption (SFC) = 275 t/GWH

発電能力が低下するのはブルーナイル川の水力事情が悪い場合で、Phase I 調査団によれば、水力事情が平年並みの場合に比較して約85%の発電能力に低下している。

この両ケースについて、燃料消費量を予想したのが表3-9、図3-1である。この表で水力発電は、Roseiresに#7号機が増設された後は、水力事情が平年並の年で1,200GWH、水力事情が悪い年で1,020GWHと予想され、この発電電力量で賄えない電力需要は全て火力発電で対応しなければならない。従って、水力事情によっては、NECの予想値よりも多い量の燃料を消費する可能性がある。

このような火力発電用燃料は、全てポートスーダンからカルツームに輸送する必要がある。これらの輸送は、現在は鉄道と自動車によって行われているが、自動車輸送には種々の問題があり、安定・低廉な燃料の確保には、鉄道輸送の整備が必要である。従って、Power IV計画の中に鉄道網の整備による燃料輸送計画が含まれている事は、妥当と判断される。

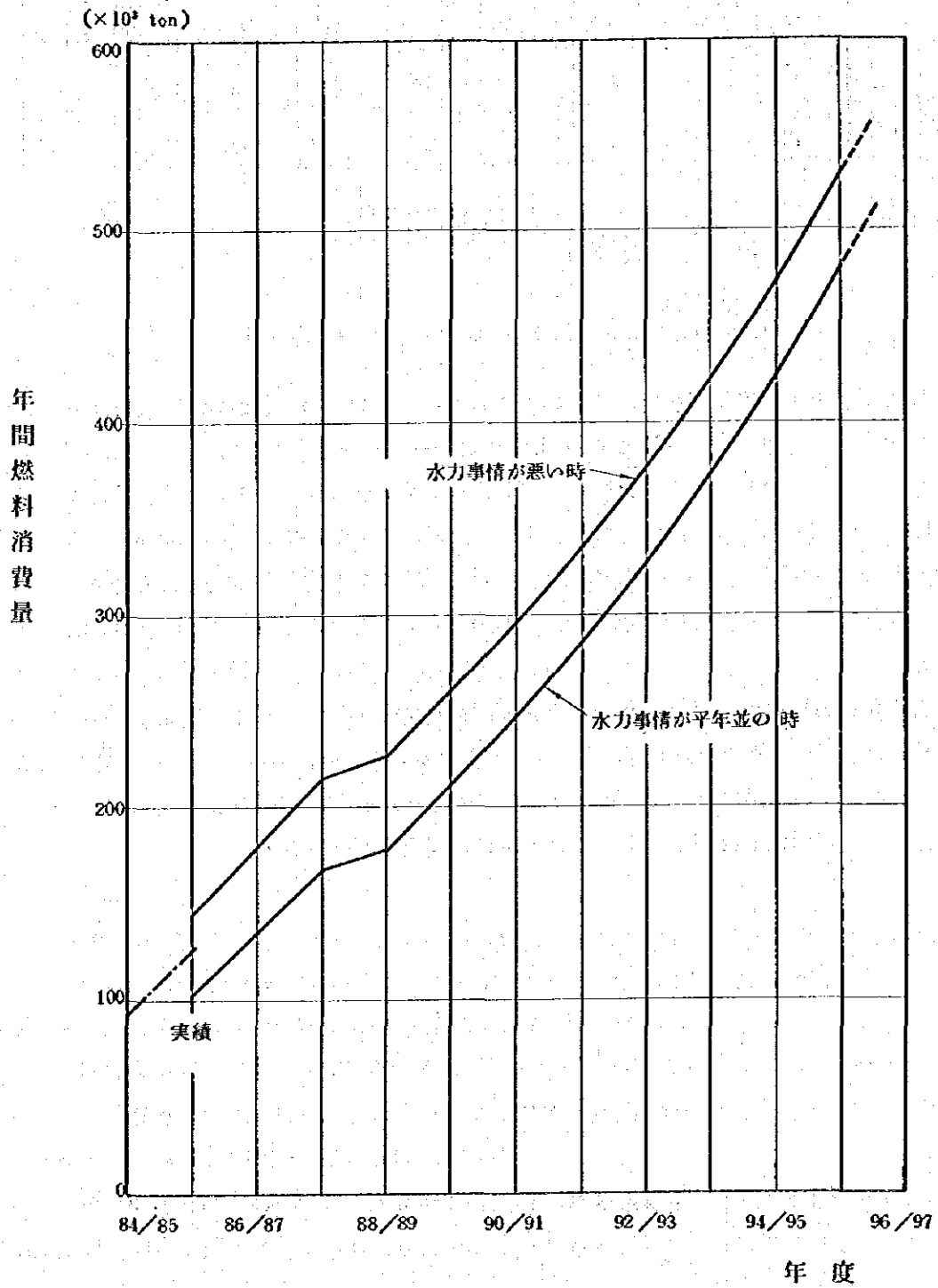


図3-1 年度別燃料消費予想

表3-9 年度別火力発電と燃料消費量（実績及び予想）

年 度	電力需要量 (GWh)	水力発電 (GWh)		火力発電 (GWh)		燃料消費量 (千t)		輸 送 量 (千t)	
		平年並	悪い時	水 力 平年並	水 力 悪い時	水 力 平年並	水 力 悪い時	鉄 道	道 路
1981/82	873	746		127		33.9		33.9	
82/83	934	773		161		41.0		41.0	
83/84	1,014	781		233		61.6		61.6	
84/85	1,233	949		284		91.8		36.7	55.1
85/86	1,218	(825)		(393)		127.8		63.9	63.9
86/87	1,593	1,106	940	487	653	134	180	設備増 強を 100%を 計画	
87/88	1,714	1,106	940	608	774	167	213		
88/89	1,839	1,200	1,020	639	819	176	225		
89/90	1,961	1,200	1,020	761	941	209	259		
90/91	2,095	1,200	1,020	895	1,075	246	296		
91/92	2,232	1,200	1,020	1,032	1,212	284	334		
92/93	2,386	1,200	1,020	1,136	1,366	327	376		
93/94	2,554	1,200	1,020	1,354	1,534	373	423		
94/95	2,736	1,200	1,020	1,536	1,716	423	473		
95/96	2,938	1,200	1,020	1,738	1,918	479	528		

③ 燃料輸送費と電力料金

(A) KWH当り燃料費の現状

NECの1978/79年度から1984/85年度の水力発電、火力発電別発電電力量は、次のとおりである。(1984/85年度NEC Annual Report による)

表3-10 NECの発電電力量の増加

年 度	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85
水 力 (GWh)	622	724	732	746	773	781	949
指 数	100	116	118	120	124	126	153
火 力 (GWh)	102	98	102	127	161	233	284
指 数	100	96	100	125	158	228	278
合 計 (GWh)	724	822	833	873	934	1,014	1,233
指 数	100	114	115	121	129	140	170

NECの火力発電用燃料は1,500sec及び3,500sec重油、ディーゼルオイル（軽油）、ガスオイルが使用されているが、殆どが重油である。

1984/85年度の実績では87%が重油で、次いでディーゼルオイルが10.4%、ガスオイルが2.6%となっている。この燃料が発電経費に占める割合（%）は1984/85年度のAnnual Reportによれば表3-11の通りで、NECの発電経費の40%を超えている。

表3-11 NECの経費（LS）

年度	人件費	燃料及び動力	運転及び材料	保守及び修繕	その他	合計
1978/79	6,085,500	5,819,943	608,709	1,707,660	941,408	15,163,220
割合	40%	38%	4%	11%	7%	100%
1979/80	7,403,898	7,518,064	1,476,738	2,597,184	1,822,692	20,918,576
割合	36%	36%	7%	12%	9%	100%
1980/81	8,477,476	10,226,731	1,274,428	4,048,297	1,943,234	25,970,166
割合	33%	39%	5%	16%	7%	100%
1981/82	12,443,492	17,745,340	2,276,074	5,538,244	4,125,006	42,128,156
割合	30%	42%	5%	13%	10%	100%
1982/83	11,493,000	20,616,000	1,210,000	6,276,579	5,600,000	45,497,579
割合	25%	46%	3%	14%	12%	100%
1983/84	15,782,455	29,686,112	2,616,161	9,772,070	19,856,609	77,713,407
割合	20%	38%	3%	13%	26%	100%
1984/85	19,728,069	51,088,150	8,502,280	19,753,490	19,262,360	118,334,349
割合	17%	43%	7%	17%	16%	100%

この割合は、火力発電の比重が増せば当然増えることになり、燃料費の動向に、大きな関心が払われなければならない。

図3-2に年度別NECの発電経費の実績を示す。

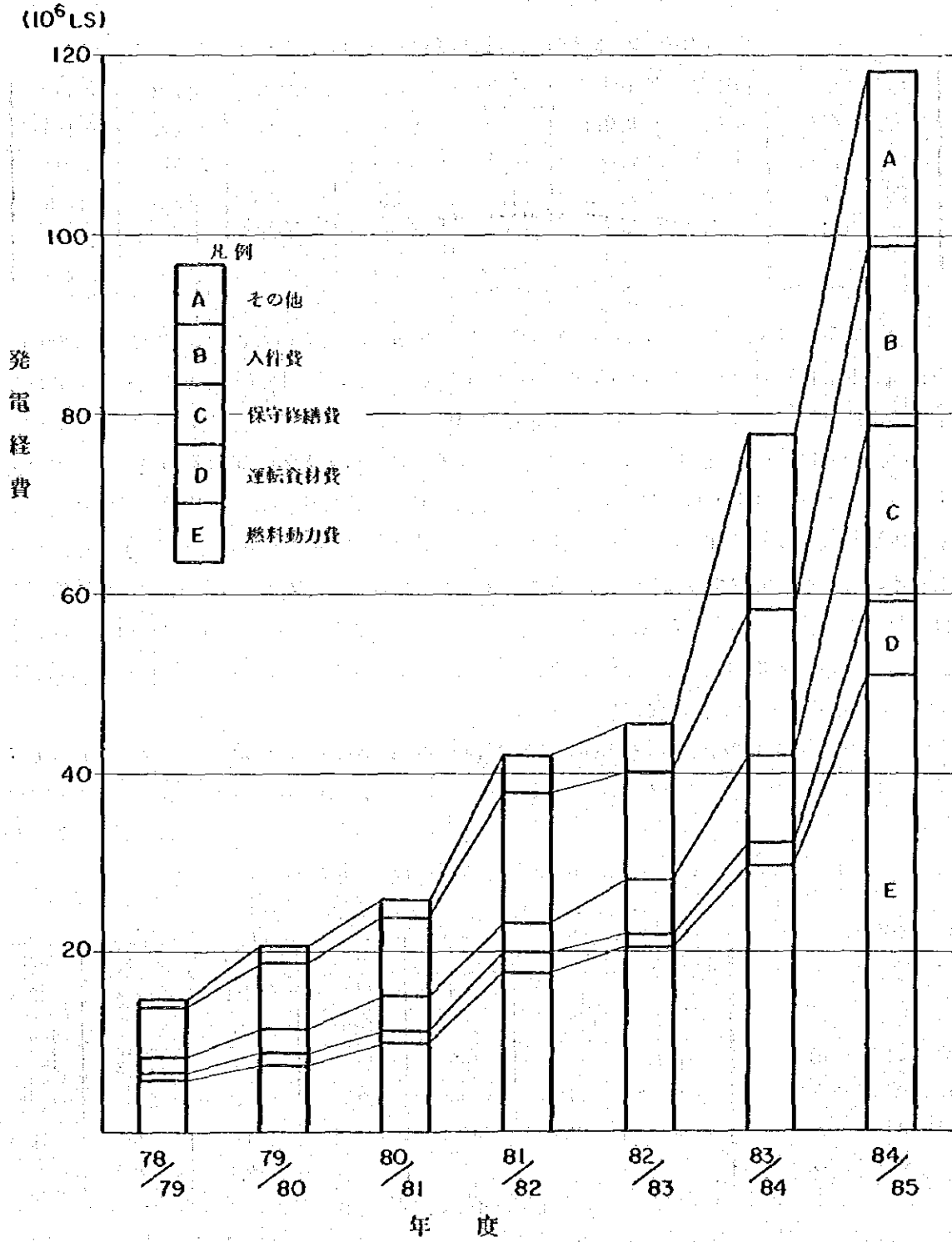


図3-2 NEC年度別発電経費実績

次にKWH当りの燃料費を求め、平均電力料金と比較する。

表3-11の経費と表3-10の発電電力量から、表3-12のKWH当り燃料費が得られる。

表3-12 KWH当りの燃料費 (LS/KWH)

年 度	1978/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85
火力発電燃料費	0.057	0.077	0.100	0.140	0.128	0.127	0.180
総発電燃料費	0.008	0.009	0.012	0.020	0.022	0.029	0.041
指 数	100	112.5	150	250	275	362.5	512.5
平均電力料金	0.034	0.054	0.054	0.054	0.054	0.142	0.205
指 数	100	158.8	158.8	158.8	158.8	417.6	602.9

この表から毎年KWH当り燃料費の高騰が著しく、1978/79年度から84/85年度の6年間で、火力発電のKWH当り燃料費は3.16倍で、年率21%の上昇、総発電でのKWH当り燃料費は5.1倍で、年率31%の上昇を示した事になる。この間平均電力料金は一時期据置かれたが、1983/84年度及び1984/85年度の二度にわたる値上げで6倍になっており、燃料費の高騰と平均電力料金の値上げ率は、ほぼ等しくなっている。今後、NEC系統内で火力発電の比重は確実に増大するが、Power IV計画が完了する1990/91年度には、1984/85年度に比較して水力発電が26%増加するのに対し、火力発電は215%増加するものと予想される(表3-9参照)。この時点での燃料費の発電経費に占める割合は、経費が単純に電力量に比例すると仮定して60%程度と推定され、電力料金に与える燃料費の影響は、今後益々大きくなることが予想される。

(B) トン当り燃料費と輸送費

NECの平均トン当りの燃料費は、Annual Reportでは明らかでないが、カルツームでのガスオイル、重油(1,500sec、3,500sec)の輸送費込みのトン当り価格から推定すると、表3-13の通りとなる。

表3-13 トン当り燃料価格 (LS/t)

(輸送量込みカルツーム価格)

年 度	1979/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86
ガスオイル	197.6	245.9	289	401.5	562.1	674.5	792.7
重油 (1,500 sec)	96.1	160.5	190	250	250	351.3	495.7
重油 (3,500 sec)	51.1	84.0	100	140	140	241.3	283.0
NEC燃料単価 ⁽¹⁾	119	141	193	209	311	386	456
対前年度比 (%)	55	18.5	37.1	8.3	49	24	19.3
対前年度物価指数 (%)		25.3	24.5	25.7	30.6	47.6	

注(1)は推定値：NECの各種燃料の使用実績から荷重平均して算出した。

この表3-13からNECの燃料単価は、1979/80から85/86年度の6年間に3.9倍、年率25%の上昇で、物価指数の平均上昇率26.5%とほぼ同じ率であった。

この燃料単価の中で、ポートスーダンからカルツームまでの輸送費は、本調査団の調査結果から1984/85年度及び1985/86年度は、道路輸送が100LS/t、鉄道輸送が101.3LS/t及び151.9LS/tと判明したので、この年次での輸送量を荷重平均して、トン当たり平均単価を計算すると、表3-14のとおりとなる。ガスオイルはパイプ輸送であるが、平均輸送単価に組み入れた。ガスオイルは全輸送量に比較して小量であり、これを組み入れても平均輸送単価を、若干控え目にするだけである。

表3-14 NECの燃料平均輸送単価

年 度	1984/85	85/86
道路輸送の比率 (%)	60	50
鉄道輸送の比率 (%)	40	50
道路輸送単価 (LS/t)	100	100
鉄道輸送単価 (LS/t)	101.3	151.9
平均輸送単価 (LS/t)	100.5	126.0
NEC燃料単価 (LS/t)	386	456
輸送費の割合 (%)	26.0	27.6

表3-13で示された1984/85年度及び85/86年度の、NEC燃料のトン当たり単価の26%及び27.6%が、輸送費であった事が表3-14から明らかとなった。

(C) 燃料輸送費と電力料金

燃料費と電力料金の関係を、実績でみると次の表3-15となる。

表3-15 電力料金に占める燃料費・輸送費の割合

年 度	1978/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85
燃料費 (×10 ³ LS)	5,820	7,518	10,227	17,745	20,618	29,686	51,088
総発電電力量 (GWH)	724	822	833	873	934	1,014	1,233
売電電力量 (GWH)	609	608	630	681	662	790	990
発電端燃料費 (LS/GWH)	0.008	0.009	0.012	0.020	0.022	0.029	0.041
平均電力料金	0.034	0.054	0.054	0.054	0.054	0.142	0.205
平均電力料金に占める							
発電燃料費率 (%)	23.5	16.7	22.2	37.0	40.7	20.4	20.0
輸送費率 (%)	—	—				5.3	5.52

この表でみると1983/84年度、84/85年度での、電力料金に占める燃料費の割合は、約20%で、この内、輸送費が5%強を占めている。燃料輸送費が電力料金の5%と言う事は、日本の推定値約2.5%と比較して高い値である。しかし、これは前年度にそれぞれ160%及び44%の電力料金の値上げを実施した結果であり、もし据え置かれた場合には、燃料費が50%を超え、輸送費が15%を越える異常な結果が現出していたであろう。

今後、輸送費の電力料金に占める割合は、火力発電を主とする Power IV 計画の内容から、増加する傾向にあるので、輸送費を低減する努力が重要と思われる。

④電力会社の財務状況

電力公社 (NEC) より入手した損益計算書、及び貸借対照表を、それぞれ表3-16、表3-17に示す。これら財務諸表をもとに、NECの営業効率 (表3-18) 及び資金運用 (表3-19) についての分析を行った。

表3-16 NECの損益計算書

(単位: 100万LS)

年度	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90
営業収益								
電力販売量 GWH	659.1	789.8	931.5	1139.2	1307.4	1484.1	1542.6	1551.1
平均電力単価	0.068	0.137	0.158	0.212	0.272	0.321	0.388	0.407
売電収入	44.6	108.6	147.2	241.8	356.2	478.2	598.6	631.2
その他収入	0.1	2.1	3.5	4.2	4.8	5.6	6.4	7.4
営業収入	44.7	110.7	150.7	246.0	361.0	483.8	605.0	638.6
営業費用								
人件費	11.5	15.8	16.3	25.2	28.4	31.2	33.9	36.5
燃料費	19.7	29.7	50.2	75.5	112.6	148.9	(193.6)	(251.6)
資材費	1.2	2.6	8.9	6.4	8.0	9.6	11.3	13.0
保守修繕費	6.3	9.8	23.3	25.5	31.9	38.3	44.9	51.7
その他	6.5	7.1	12.3	15.0	18.8	22.5	26.4	30.4
減価償却費	11.9	13.5	17.4	24.5	34.3	48.0	68.7	98.9
営業費用	57.1	78.5	128.4	172.1	233.8	298.4	(378.8)	(482.1)
営業利益	-12.4	32.2	22.2	73.9	127.2	185.4	(226.2)	(156.5)
資本課税	13.2	8.8	9.5	19.6	28.5	45.0	61.7	85.2
利息支払前利益	-25.6	23.4	12.7	54.3	98.7	140.4	(164.5)	(71.3)
支払利息	2.2	2.8	21.1	47.1	61.4	93.8	(165.4)	(252.0)
純利益	-27.8	20.6	-8.4	7.1	37.3	46.7	(-0.9)	(-180.7)

注: 1986年5月7日作成のもの (1982/83 ~1983/84 年度は実績、1984/85 年度以降は予測値)

表3-17 NECの貸借対照表

(単位: 100万LS)

年 度	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90
固定資産								
稼働資産	384.6	443.0	818.3	1,142.0	1,599.3	2,290.2	3,296.4	4,580.4
減価償却費	-115.2	-143.0	-197.3	-275.1	-378.1	-501.8	-658.3	-855.9
建設仮勘定	177.6	245.2	621.0	866.9	1,221.2	1,788.4	2,638.2	3,724.5
流動資産								
現金・預金	-6.5	-6.7	-6.5	-8.1	-19.6	-12.6	-36.5	-71.6
受取手形	56.2	117.8	140.8	108.2	90.2	121.0	100.8	106.4
在庫品	27.4	42.2	24.5	34.3	48.0	68.7	98.9	137.4
地方電力会社	57.1	79.6	50.0	40.0	30.0	20.0	10.0	0.0
その他	1.0	1.1	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
資産合計	582.2	779.2	1,033.8	1,037.6	1,835.7	2,686.4	3,696.9	4,924.7
資本								
資本金	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
内部留保	-8.1	12.5	-0.5	6.6	43.9	90.5	158.5	101.6
補助金	57.8	75.8	90.8	95.8	95.8	95.8	115.8	115.8
再評価積立金	229.3	274.3	410.7	594.1	858.5	1,180.8	1,603.2	2,121.2
固定負債	190.7	223.8	403.7	465.2	719.4	1,168.1	1,627.3	2,339.8
流動負債	101.3	181.6	117.4	134.8	106.9	139.9	180.9	235.1
資本及び負債合計	582.2	779.2	1,033.8	1,307.6	1,835.7	2,686.4	3,696.9	4,924.7

注: 1986年5月7日作成のもの(1982/83~1983/84年度は実績、1984/85年度以降は予測値)

(A) 損益分岐点

企業の営業効率を分析するための尺度となるものが、損益分岐点である。これは、営業収益が営業費用と等しくなる生産物の限界生産量であり、これが低いほど、営業効率が高いと言える。

表3-18に損益分岐点を示す。これをもとに、損益分岐点の販売電力量に対する比率をとってみると、1982/83年度に66.8%であったものが、1987/88年度には44.7%へと、年々減少の傾向を示している。

しかし、1987/88年度以降、分岐点は44.7%、45.1%、59.5%と、再び上昇に転じている。従って、営業効率は今後、次第に悪化すると予想される。

(B) 流動比率

流動比率は、流動負債に対する流動資産の比率を言い、企業の短期支払能力を示すものとされ、一般に200%以上が、理想的な比率とされている。しかし、現在の企業の実体としては、自己資本が不足しており、平均的には110~120%となっている。

NECの場合、いずれも200%以下で、特に、1988/89年度以降は100%を切る数値となっている。つまり、年々支払能力が低下している事を示す。

(C) 固定比率

固定比率は資本に対する固定資産の比率をいい、固定資産に対して資本がどの程度投入されているかを示す。この比率は100%以下であることが理想的である。つまり、返済期限のない資本の額が固定資産を賅って、なお余りあることが望ましい。しかしながら、一般には150%を超えている。

NECの場合、1983/84年度から漸増傾向にあり、1989/90年度には202%に達する。すなわち固定資産を賅うのに、資本と同額の借入を行わなければならないことを示す。

(D) 固定資産対長期資本比率

電気事業のように、巨大な固定資産設備を必要とする企業では、資本が少ない半面、設備投資が活発である。この場合、上記(C)の固定比率が悪くなるのは当然であるが、その資本の不足を、流動・固定のいずれの負債で賅っているかを見る必要がある。

これを判断するのが資本+固定負債に対する固定資産の比率である。この比率が100%を超える場合は、固定負債でも賅いきれない部分を短期の流動負債で補っていることを意味するので、不健全であり、支払能力は不十分であるという事になる。

NECの場合、1984/85年度より比率が悪化し、88/89年度には100%に達する。

(E) 資本負債比率

負債は、資本を限度とするという考えから、資本負債比率は100%以上が理想とされている。

NECの場合、1985/86年度まで変動した後、減少傾向となり、89/90年度には91%になる。

以上の各項目を検討する限りでは、NECの財務状況は健全であるとはいえず、特に、将来における収益性の悪化が懸念される。

また、金利支払後の純利益については、その絶対額は極めて小さいものであり、年率約11%の電力需要に対応するための、新規電源開発の所要資金の、僅か数分の1にすぎない。

ちなみに、NECの純利益によって、どの程度の規模の発電所を建設することができるかを、以下に試算してみた。

1984/85年度のピーク発電需要は、235MWである(表2-6参照)。一方、1984/85~89/90年度の間の販売電力量(予測値)をみると、931.5GWHから1551.1GWHへと年率11%の伸びを示している(表3-16参照)。

この伸びに対処するためには、毎年26MW程度($235\text{MW} \times 11\% = 25.85\text{MW}$)の設備増強が必要となる。これに対し、NECの純利益を、全て再投資した場合、自己資金のみで、どの程度の規模の火力発電設備が建設可能かを計算してみた。

1. 1983/84年度の純利益: US\$ 5,150,000 (LS 20,000,000)

2. 火力発電設備の平均的建設単価: US\$ 700 /KW

これより、NECが建設しうる火力発電設備としては、7MW程度($5,150,000 \div 700 = 7,357\text{KW}$)にしかならないことがわかる。

つまり、今後ともNECが電源開発を行うにあたっては、その建設資金を借入金に頼らざるを得ない状況が続く。

また、1989/90年前後には純利益はマイナスになると予想されている。従って、NECの財務状況はそれ程余裕のあるものではなく、これ以上金利負担が増加するような投資は無理であり、できる限り無償援助による国際協力が望ましいと判断される。

表 3-18 営業効率分析

項 目	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90
(a) 販売電力量 (GWH)	659.1	789.8	931.5	1139.2	1307.4	1489.1	1542.6	1551.1
(b) 営業収益 (×10 ⁶ LS)	44.7	110.7	150.7	246.0	361.0	483.8	605.0	638.6
(c) 営業可変費 (")	19.7	29.7	50.2	75.5	112.6	148.9	NA (193.6)	NA (251.6)
(d) 営業固定費 (")	37.4	48.8	78.2	96.6	121.2	149.5	185.3	230.4
(e) 営業利益 (純利益) (")	-12.4 -27.8	32.2 20.6	22.2 -8.4	73.9 7.1	127.2 37.3	185.4 46.7	(226.1) (-1.0)	(156.6) (-180.6)
(f) KWH 当り営業 収益 (a)/(b)	(piaster) 6.78	14.02	16.18	21.59	27.61	32.49	39.22	41.17
(g) KWH 当り可変 費 (c)/(a)	(piaster) 2.99	3.76	5.39	6.63	8.61	10.0	12.55	16.22
(h) 損益分岐点 (d)/(f-g)	GWH 987	476	725	646	638	665	695	923

[注] 1 piaster = 0.01 LS

表3-19 資金運用分析

項目	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90
(a) 流動資産	135.2	234.0	220.1	178.9	153.6	202.5	179.2	178.8
(b) 流動負債	101.3	181.6	117.4	134.8	106.9	139.9	180.9	235.1
(c) 固定資産	477.0	545.2	813.7	1,128.8	1,682.2	2,483.9	3,517.7	4,745.9
(d) 固定負債	190.7	223.8	404.2	465.2	719.4	1,168.1	1,627.3	2,339.8
(e) 資本	290.2	373.8	512.1	707.6	1,009.4	1,378.3	1,888.7	2,344.8
(f) 流動比率 (%) a/b	133	129	187	133	144	145	99	76
(g) 固定比率 (%) c/e	164	146	159	160	167	180	186	202
(h) 固定資産対長期資本比率 (%) c/(e+d)	99	91	88	96	97	98	100	101
(i) 資本負債比率 (%) e/(b+d)	99	92	98	118	122	105	104	91

⑤ まとめ

Power IV計画のBNG電力需給バランスは、水力事情が平年並の時には、電力の供給力は十分にある。水力事情が悪い時でも、1986/87年度に待機予備力が不足気味であるが、この年度を除いてPower IV計画が完了する1990/91年度までは安定供給が可能である。従ってPower IV計画の電力需給バランスは妥当と判断される。

また、その発電電力量を実現するための、燃料の消費量についても、NECの予測値は妥当と判断される。なお、火力発電量は、水力事情によって左右される水力発電量を補う必要があるため、燃料消費量については、水力事情が悪い時の予測も行った。

燃料輸送費と電力料金との関係を検討すると、発電所が内陸にあるため、電力料金に占める燃料費及び燃料輸送費の割合が高く、これを低減することは、火力発電の比率が高まる中で、極めて重要と思われる。従って、「燃料輸送網整備計画」がPower IV計画に含まれている事は妥当と判断される。

NECの財務事情を分析するとPower IV計画の投資は可能と判断されるが、それ程余裕のあるものではなく、それ以上金利負担を増加するような投資は難しい事が明らかになった。

3-1-2. 燃料輸送網整備計画

Power IV計画の中でスーダン共和国で策定した燃料輸送網整備計画については、以下の通りである。

(1) 発電計画と燃料消費量

Power IV計画の発電計画と燃料消費量の予想値は、前節で述べたように表3-8の通りで、水力事情が悪い場合の予想を含めたのが表3-9及び図3-1である。この予想値は、年間の総消費量に対するものである。従って、機関車がスーダン側に引き渡され、それを使用して燃料輸送が実施される見込みの1989/90年度以降、必要な燃料を全て鉄道輸送するためには、年間209,000t (89/90年度) ~479,000t (95/96年度) 以上の輸送能力が必要である。

燃料消費量は、ブルーナイル川の流況及び灌漑状況並びにその時の電力需要によって変化する。

BNGの月別電力需要の変化を、NECの年次報告書 (Annual Report) でみると、表3-20の通りである。Roseires #7号機が増設され、BNGの水力が最高の発電能力を有する1988/89年度での、水力及び火力発電量を月別に比率で予想すると図3-3の通りである。

表3-20 月別電力需要 (GWH)

月	1982/83 年度	1983/84 年度	1984/85 年度	割合 %
7	84.9	90.5	107.3	8.96
8	66.3	53.8	114.5	7.43
9	74.3	67.0	100.2	7.65
10	87.2	89.2	105.2	8.92
11	78.4	86.2	97.9	8.32
12	81.9	84.5	88.2	8.07
1	68.2	84.8	104.0	8.14
2	65.7	83.2	79.0	7.22
3	77.1	91.0	99.9	8.49
4	75.5	86.0	98.7	8.24
5	87.5	89.1	109.1	9.05
6	86.9	108.4	105.0	9.51
合計	933.9	1013.7	1209.0	100

[注] 割合: 月別電力需要/年間電力需要の平均値

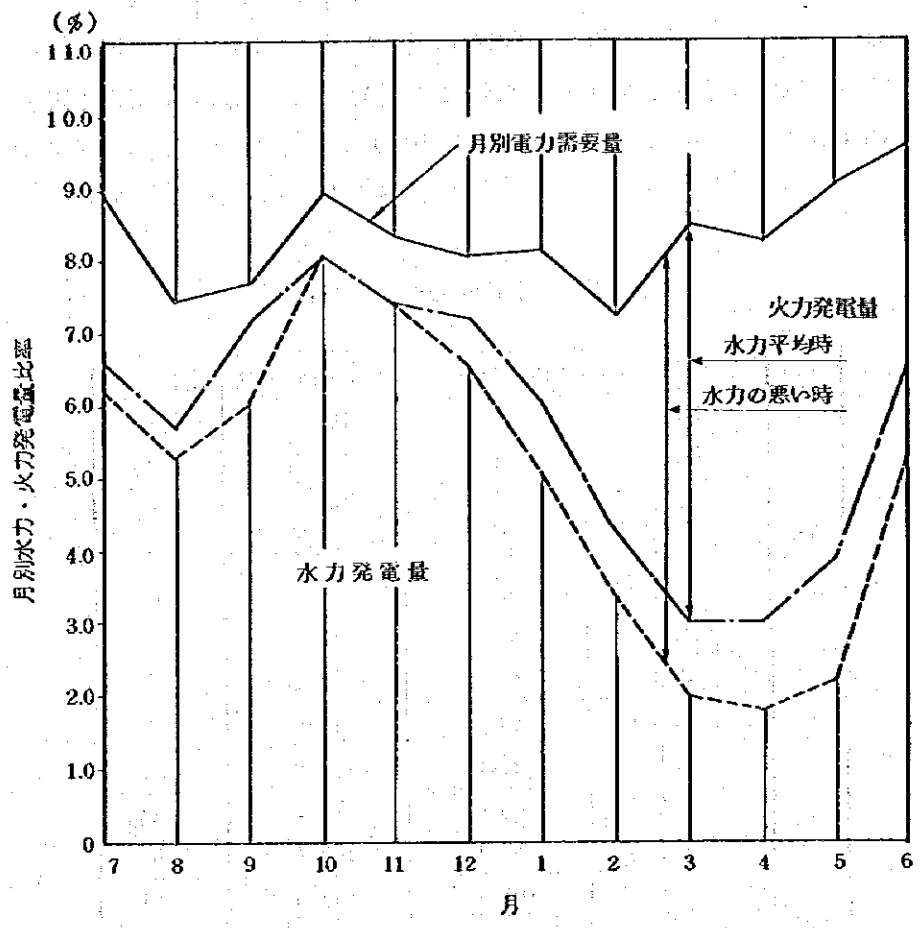


図3-3 月別電力需要に占める火力と水力発電予想 (1988/89)

図3-3から渇水期の2月から6月にかけて、火力発電が大量に行われる事は明らかである。1988/89年度以降は電力需要の増分は全て火力で賄われることになり、図3-3の空白部分が相対的に広がる事になる。

火力発電による月別燃料消費量をPower IV計画期間(1986/87~90/91)で予想すると表3-21のようになる。この表から3月から5月にかけて大量の燃料が消費される事がわかる。

表3-21 月別燃料消費量予想(千トン)

年度	水力	1986/87		1988/89		1989/90		1992/93		1995/96	
		平年並	悪い時	平年並	悪い時	平年並	悪い時	平年並	悪い時	平年並	悪い時
7		9.7	12.4	13.3	16.1	16.3	19.2	26.7	29.7	40.3	43.3
8		7.3	9.3	10.2	12.3	12.7	14.8	21.6	23.5	32.9	34.8
9		1.9	7.4	4.4	10.4	6.9	12.9	16.2	21.8	27.8	33.5
10		3.2	3.7	6.2	6.7	9.1	9.7	19.5	20.0	33.1	33.6
11		3.6	4.1	6.4	7.0	9.2	9.8	19.2	19.7	31.8	32.3
12		3.4	6.9	6.2	9.9	8.9	12.7	18.3	21.9	30.6	34.2
1		8.9	13.5	12.1	17.0	14.8	19.8	24.3	29.2	36.7	41.6
2		13.1	16.9	16.4	20.5	18.8	23.0	27.4	31.2	38.3	42.2
3		24.1	28.7	28.8	33.6	31.6	36.6	41.5	46.4	54.4	59.3
4		23.0	28.2	27.5	32.9	30.2	35.8	40.1	45.6	52.7	58.1
5		22.6	29.9	27.3	35.1	30.3	38.2	40.8	49.0	54.5	62.7
6		13.1	19.2	17.1	23.7	20.2	26.9	31.4	38.0	45.9	52.4
合計		134	180	176	225	209	259	327	376	479	528

(2) 輸送計画

種々の原因により、火力発電所の発電量及び燃料消費量には季節変動がある。そこで、輸送量の平準化を図るため、発電所に貯油設備を設け、この変動を吸収する。

1カ月当たりの最低必要輸送能力は、年間消費量の平均値となるが、月別輸送能力が大きくなると、貯蔵タンクの必要容量は小さくなる。ここでは、1989/90年度の、水力事情が悪い場合の輸送量、約26万tを前提に計画すると、1カ月当たりの輸送能力と貯蔵タンク容量の関係は、図3-4のようになる。

これらの検討結果により、貯蔵タンク容量として、既存のもの5.4万t、Power IV計画で計画中のもの4万t、計9.4万tを考慮すると、1カ月当たりの輸送能力は2.15万t、つまり、年間26万tの輸送能力を持つことが適当である。

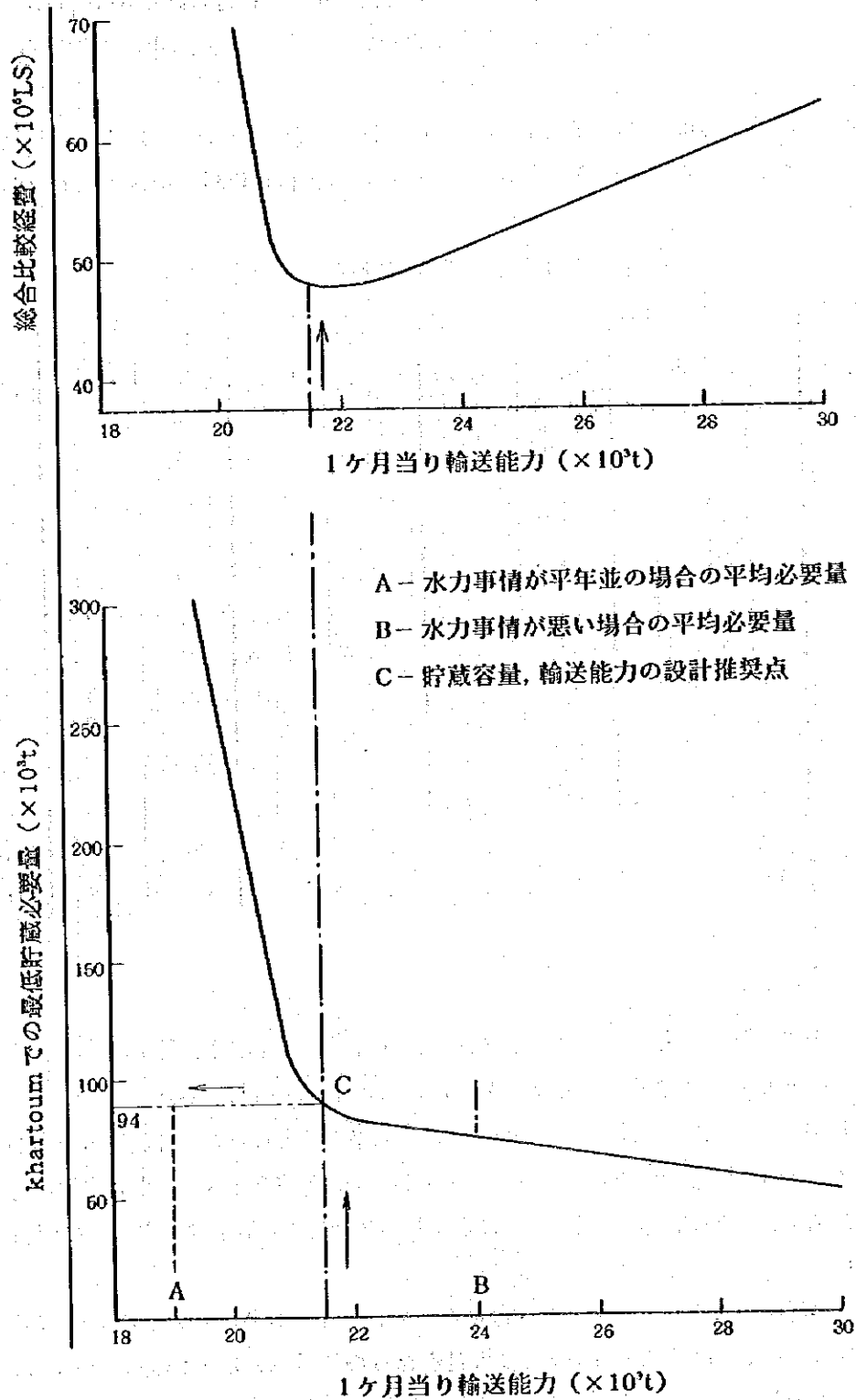


図3-4 輸送能力と貯蔵タンク必要量

休日を除いた年間作業日数は295日であるが、目標年度の2～3年後の輸送需要にも対応できるように1列車/日で260日/年の輸送を行う。

従って、約1,000t/日の輸送(1,000t×260日=260,000t)を行う。(35t積みタンク貨車で28両編成の貨物列車)

燃料輸送列車は固定編成とし、ポーツーダンでの積み込み、カルツームへの輸送、カルツームでの荷下し、ポーツーダンへの回送のサイクルを4日間とし、列車4編成を使用して、この燃料輸送を行う。

将来、輸送すべき量が増加した時点では、表3-22に示すように、ポーツーダンでの積み込み設備の改良と、列車の表定速度の向上により、時間を短縮して3日間のサイクルとする。

表3-22 所要サイクル時間

単位：時間

場 所	作業内容	1989/90 年度 計 画	ケース I	ケース II
ポーツーダン (PS)	入 換	6	6	1
	積込み	14	8	6
	予 備	6	6	1
PS→KRT	走 行	27.5	24	24
	予備(回復)	3.5	3	3
カルツーム (KRT)	入 換	2	2	2
	荷下し	7	7	7
	予 備	1	1	1
KRT→PS	走 行	26	24	24
	予備(回復)	3	3	3
合 計		96	84	72
予備、回復余裕(再掲)		(13.5)	(13)	(8)
サイクル (日)		4	3.5	3

[注] “走行”には、駅での停車時分(途中での検査を行う場合もある)を含む。

(3) 設備計画

① ディーゼル機関車

1650HP、軸重 13t のディーゼル機関車の重連で、この燃料輸送列車を牽引する。

この計画における、ディーゼル機関車の必要両数は

$$2 \text{ (重連)} \times 4 \text{ (編成)} + 2 \text{ (予備)} = 10 \quad 10 \text{ 両である。}$$

新車が投入されるまでは、現有の 1950 形式のディーゼル機関車 (2250HP) 10 両をオーバーホールして使用する。

② タンク貨車

加熱装置付の 35t 積みタンク貨車を使用する。所要両数は、

$$28 \text{ 両} \times 1.1 \text{ (予備率を 10\%)} \times 5 \text{ (編成)} = 155 \text{ 両} \quad 155 \text{ 両である。}$$

新車が投入されるまでは、現有のタンク貨車のブレーキ装置の改造と (真空ブレーキから空気ブレーキに) 加熱装置の取付を行なって使用する。

③ 通信設備

下記の設備を新設する。

- ・カルツーム、アトバラ及びポートスーダンの 3 つのセンターを結ぶ無線通信設備
- ・機関車と最寄駅との連絡用の列車無線設備

④ ターミナル設備

- ・ポートスーダンの石油会社に、積み込み用の側線と注入口の増設、及び加熱設備の新設
- ・カルツームの発電所に、荷下し用の側線と取出口、貯油タンクの増設、及び加熱設備の新設

以上が、スーダン側の燃料輸送網整備計画の概要である。

3-2. 要請内容の検討結果

……燃料輸送網整備計画……

前回の調査時には目標年度を1988/89年度としていたが、今回は本計画によるディーゼル機関車が完成し、使用可能となる1989/90年度を目標年度とし、Power IV計画が完了する1990/91年度の燃料輸送量にも対応できることを確認する。

3-2-1. 発電計画と燃料消費量

Power IV計画の発電計画と燃料消費量の予測値は、既に3-1-1.(4)項で検討済みである。ここでは、輸送力と貯蔵タンク容量の関係及び1日当たりの輸送量について検討する。

表3-21(月別燃料消費量)から、ディーゼル機関車が使用可能となる1989/90年度の月別燃料消費(予想)量がわかる。また、この年度には209,000t(水力事情が平年並)~259,000t(水力事情が悪い場合)の輸送を行う必要がある事がわかる。これを1カ月当たりの最低必要輸送能力に直すと

- 水力事情が平年並の場合 …… 17.5×10^4 t
- 水力事情が悪い場合 …… 21.6×10^4 t

の輸送が最低限必要である。

このような輸送能力を与えた場合、必要な貯蔵タンク容量は、図3-5のようになる。つまり、1989/90年度で 43.6×10^4 t(水力事情が平年並)、及び 52.5×10^4 t(水力事情が悪い場合)である。輸送能力を増加させると、この必要な貯蔵タンク容量は減少する。例えば水力事情が悪い場合、1カ月当たりの輸送力を 21.6×10^4 t、 25.0×10^4 t、 30.0×10^4 tと変化させると、図3-6が得られる。このように、1カ月当たりの輸送力と必要な貯蔵タンク容量の関係を示したのが、図3-7である。

従って、現在の貯蔵タンク容量は1989/90年度の水力事情が悪い場合の必要条件を満たしている。しかし、火力発電量が増加するに伴い、その必要容量が増加する事は明らかであり、Power IV計画の中で 40×10^4 tの貯蔵タンクの増設が計画されているのは、当然の事である。

1日当たりの燃料輸送量については、作業日数を295日(休日を除いた場合)とすると、1989/90年度の最低必要輸送量は、

- 水力事情が平年並の場合 …… 708 t
- 水力事情が悪い場合 …… 878 t

となり、多少の余裕を見て900tと考えれば良いと判断される。

また、1990/91年度には246,000t(水力事情が平年並)~296,000t(水力事情が悪い場合)の輸送を行う必要がある。(表3-21)

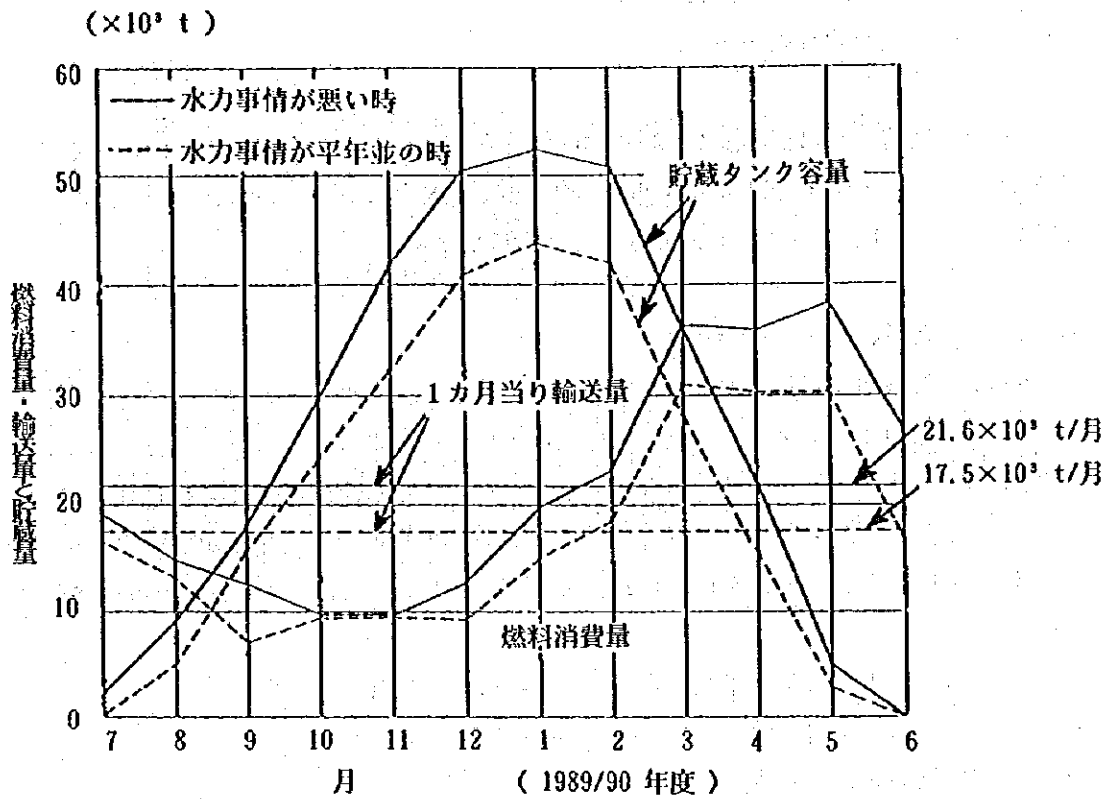


図3-5 月毎の燃料消費量と貯蔵タンク残量

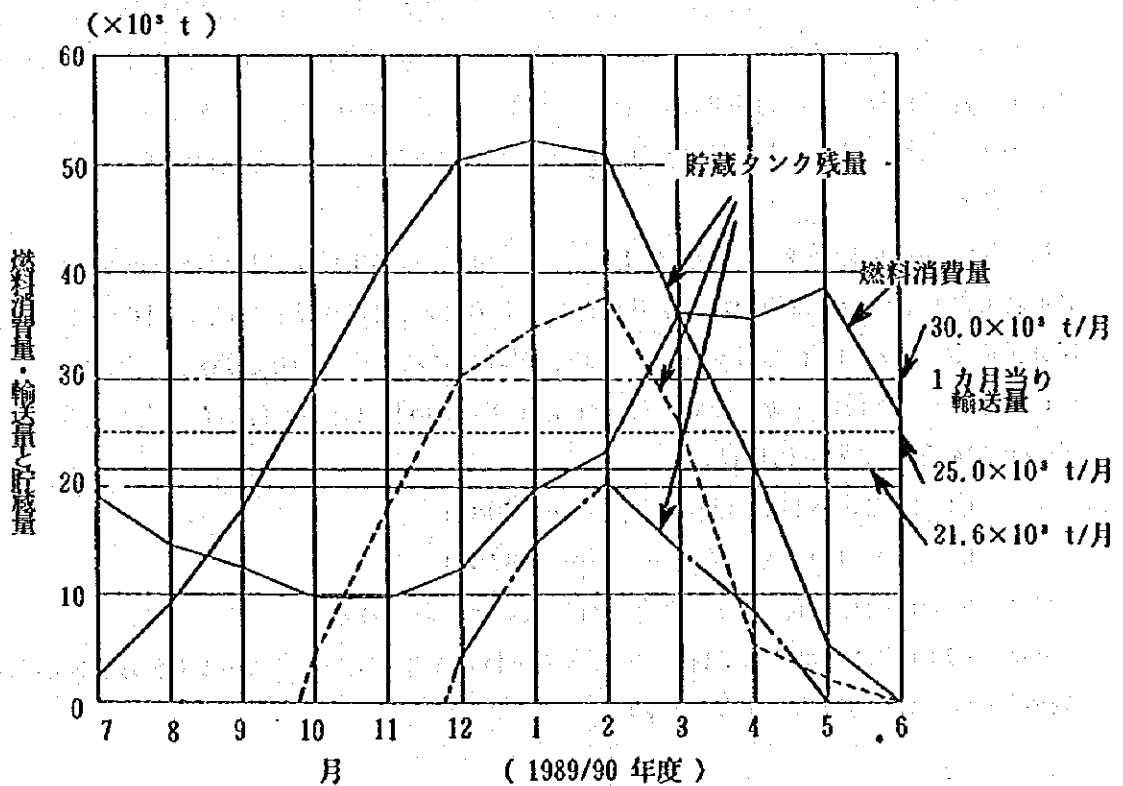


図3-6 月毎の燃料消費量と貯蔵タンク残量

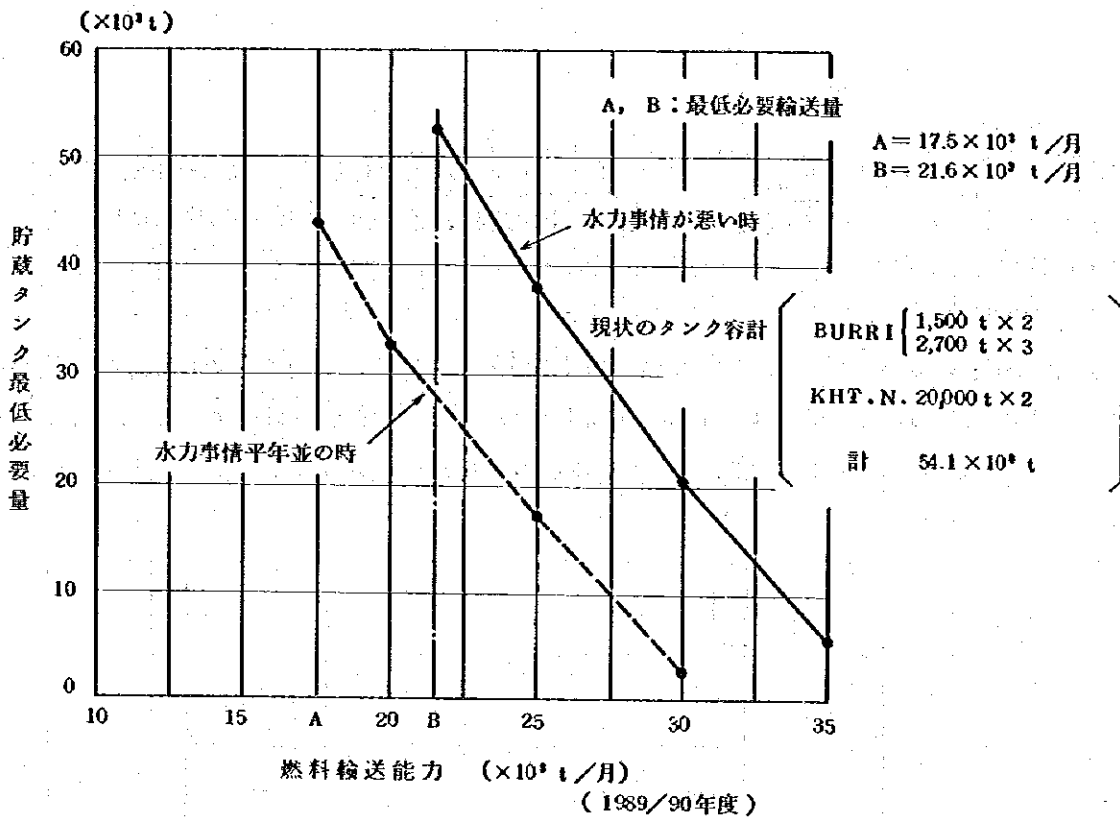


図3-7 燃料輸送能力と貯蔵タンク必要量

3-2-2. 輸送計画

(1) 列車構成

燃料輸送方法としては、設備の有効利用という面から毎日均一的に輸送することが望ましい。前述の必要輸送量からタンク貨車の構成両数を求めると

$$900t/\text{日} \div 35t/\text{両} = 25.7 \text{ 両/日}$$

従って26両編成の列車を1日に1本準備すれば良い。

35t積のタンク貨車の積車重量は52t(空車時17t)であり、列車の前後にManamaとBrake Van(いずれも自重20t)を1両ずつ連結するので、けん引重量は次のようになる。

ポーツーダン → カルツームは

$$52t \times 26 \text{ 両} + 20t \times 2 \text{ 両} = 1,392t$$

カルツーム → ポーツーダンは

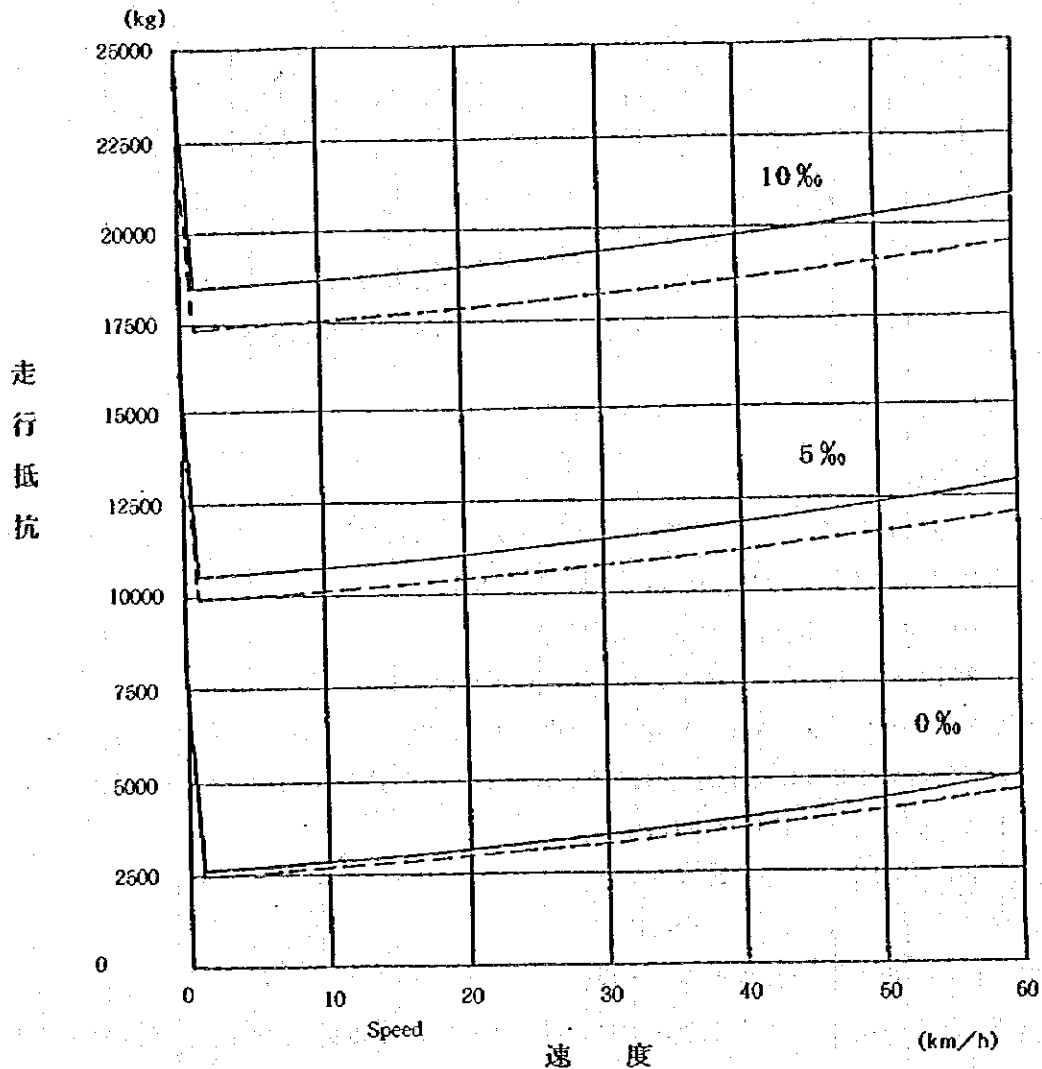
$$17t \times 26 \text{ 両} + 20t \times 2 \text{ 両} = 482t$$

積車時の列車の0, 5, 10%上り勾配における走行抵抗と必要馬力を図3-8, 図3-9に示す。走行抵抗はDavisの式を使用し、出発抵抗は機関車は6kgf/t、貨車は5kgf/tとして計算した。

ポーツーダン～カルツーム間の線路条件は、ポーツーダンからサミット(Summit)まで、ほとんど連続して上り勾配(最大10%)が続いており(約124kmの区間)、そのうち10%近い勾配が60km程度連続する区間がある。その区間が、貨物列車をけん引する機関車の性能を決定する要因を与える。

図3-9からわかるように、10%の勾配を30km/h以上で登るには、3,250PS以上の出力が必要であるが、そのような出力の大形ディーゼル機関を6軸、96tの重量の機関車に搭載することは不可能である。従って、スーダン側で計画しているように、機関車を重連で使用することが必要と考えられる。

また、10%程度の勾配区間が約60kmも続くことを考えると、均衡速度（引張力と走行抵抗が釣合う速度）は30km/hよりも高い事が望ましいので、2両の機関車のディーゼル機関の合計出力としては3,500~4,000PS程度が必要となる。つまり、2,000PS級の機関車が要求される事になる。



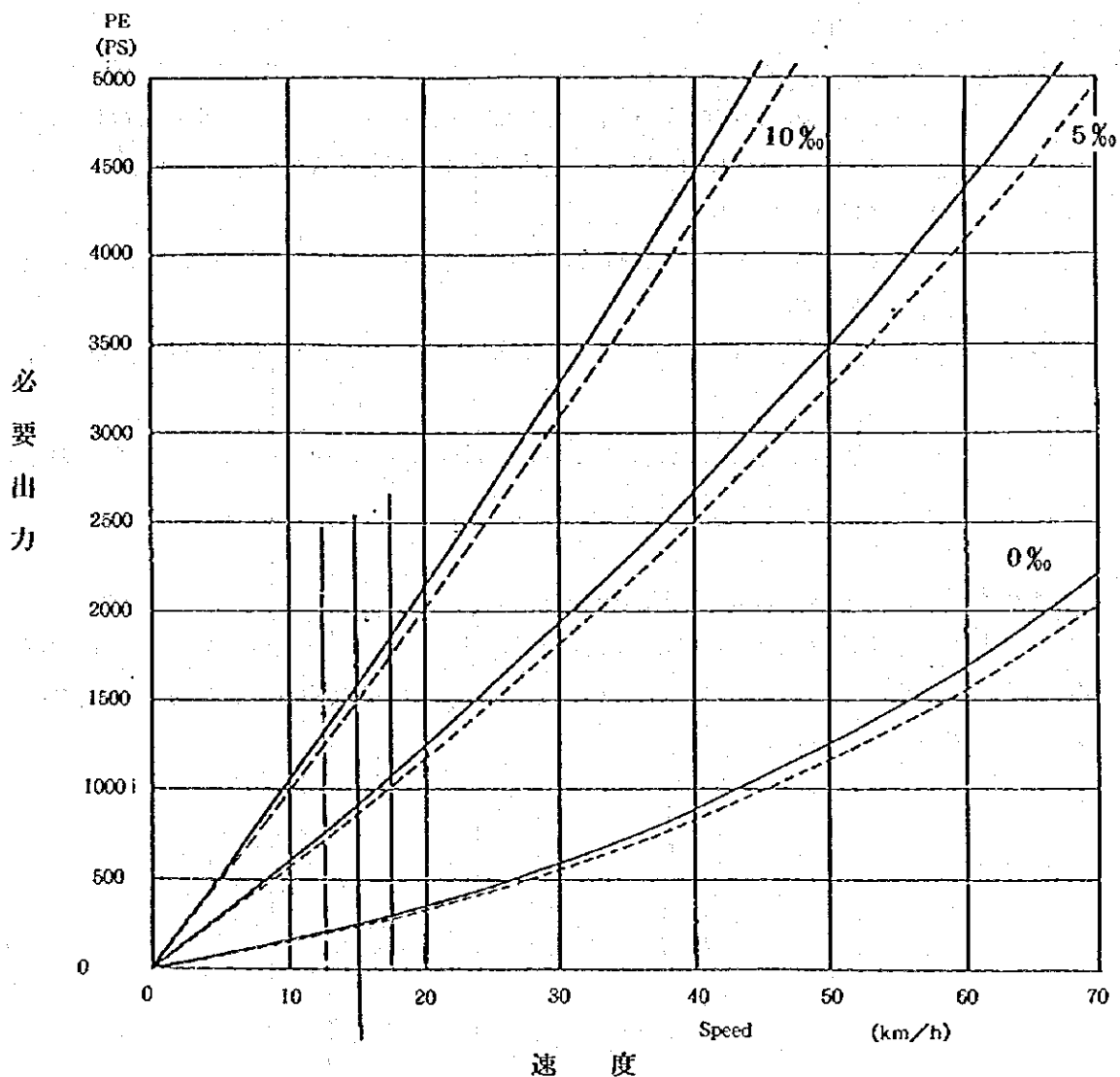
計算条件
 タンク車 (52t) × 26両
 + Manama, Brake
 - Van (各 20 t)
 — 重連 (96t × 2両) けん引
 - - 単機 (96t × 1両) けん引

DEL 走行抵抗
 $r = 1.472 + 0.00932V + 0.00053V^2$ (kg/t)
 タンク車 走行抵抗
 $r = 1.662 + 0.01398V + 0.00015V^2$ (kg/t)

図3-8 走行抵抗

スーダン国鉄の保守水準及び該当線区での使用条件（仮りに36km/hで登っても、約3時半の全開運転が要求され、48℃の外気温と1000m近い高度……Summit）を考えれば、搭載する機関は出力に余裕のある大形の低回転形（1000rpm前後）のものにしなければならない。

このような大形の2,000PS級のディーゼル機関を6軸、78t（軸重を13tに抑えた場合）の機関車に搭載することは不可能であり、軸重は許容限度一杯の16~16.5t、6軸で96~99tの機関車を前提に検討すべきであると思われる。



計算条件
 タンク車 (52t) × 26両
 + Manama, Brake
 - Van (各 20 t)
 — 重連 (96t × 2両) けん引
 ---- 単機 (96t × 1両) けん引

DEL 走行抵抗
 $r = 1.472 + 0.00932V + 0.00053V^2$ (kg/t)
 タンク車 走行抵抗
 $r = 1.662 + 0.01398V + 0.00015V^2$ (kg/t)

図3-9 機関車必要出力

また、このような勾配区間で使用する機関車には勾配を下る際に使用する発電ブレーキを装備することが必要であり、これも重量を増大させる一因となる。

更に、勾配区間で機関車の故障が発生した場合の対応策を考えると、重連で使用していても1両だけでも勾配を登れる（速度は極めて遅くなるとしても）こと、及び勾配を下れることが望ましい。1両だけでも勾配を登れるようにするには、列車の引き出しが可能なことと、均衡速度が駆動モータの定格速度以上であることが必要条件となる。

(2) 機関車の使用方法

積車状態の35t積のタンク貨車26両と Manama及び Brake Vanを各1両けん引して、ポートスーダンからサミットの間の10%の勾配（最小曲線半径388m）を登坂するには2,000PS級のディーゼル機関車（6軸、自重96t程度）を重連運転するか、単機運転を行なうなら、編成両数を減少させるかしなければならない。

従って、カルツーム～ポートスーダン間の機関車の使用方法としては次の3つが考えられる。

(A) 全区間重連で運転する。

(B) 上り勾配区間（ポートスーダン→サミット）のみを重連とし、他の区間は単機でけん引する。

(C) 上り勾配区間のみ貨車の両数を減少させ、列車本数を増加させる。そして勾配の頂上で編成替えをして、26両編成として運用する。

以上のうち (B) の場合の運用例を図3-10に示す。

(C) の場合は、例えば上り勾配では20両けん引とし、3日に1本余分に18両編成の列車を勾配の頂上（サミット）まで運転する。この18両編成のうちから毎日6両ずつ切離して20両編成の列車として運行する方式である。

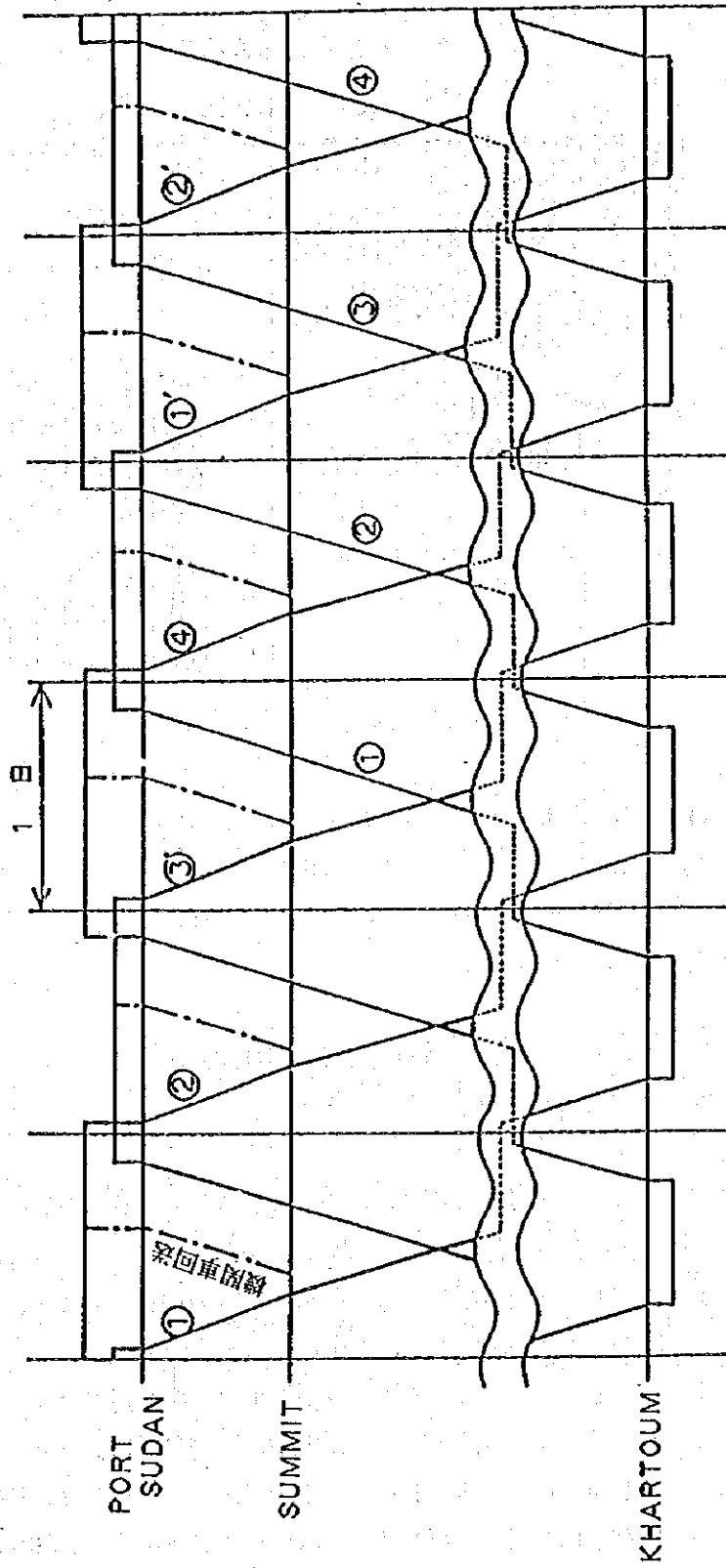


図3-10 上り勾配区間（ポートスターダミット）のみ重連けん引の場合

これら3つの方法の牽引方式の比較を行なうと表3-23のとおりとなる。

表3-23 機関車使用方法の比較

方法	長 所	短 所
(A)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 勾配での速度が向上できる。ポートスーダン→サミント(130 km) 30 km/h 走行で 4.3時間 2. 途中での入換不要。 3. 1両故障でも走行可能。 4. カルツームにおける分割輸送が効率的に出来る。(Khartoum と Burri 発電所) 将来の需要増に対するフレキシビリティが最も大きい。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機関車両数を多く必要とする。(10両)
(B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 勾配での速度向上は(A)と同じ。 2. 機関車必要両数が少なくて済む。(7両) 3. 途中での貨車の入換不要(機関車の切離しは余り時間がかからない。) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機関車故障時の影響大(救援に多くの時間を要する。) 2. 平坦地でのけん引速度能力に余裕がない。 3. 又は大出力機関車必要。勾配田機関車の回送が必要。(要員増)
(C)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機関車必要両数が少なくて済む。(7両) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 貨車の必要両数大。(1編成分増) 2. 機関車故障時の影響大。 3. 途中駅での貨車入換必要。(要員増) 4. 機関車は大出力のものが要。

表3-23の内容を評価するに当っては次の点を考慮する必要がある。

① 上り勾配での速度

(A)、(B) では約30km/h (機関車出力1,600~1,700HP)

(C) の場合 約28km/h (— 2,250HP)

いずれも約30km/h近いので余り問題ない。これが20km/h程度になると約2時間余計に必要となり、全所要時間に影響が出始める。

② 途中での入換

途中駅は砂漠の中にあり、ここに入換要員を置く事は問題があると思われる。従って入換要員を常時列車に乗務させることになり、要員増となる。

③ 機関車故障時の対策

スーダンの地形上、ほとんど砂漠の中の線区を走行するために故障が発生し易く、しかも一旦故障が発生すると機関車の配置条件などから、救援機関車の派遣に多大な時間を要する事が多い。現状ポートスーダン～アトバラ間の運転状態で5時間以上の遅れが40%と、30分以上5時間以内の遅れ10%に対して極端に大きい事は、上記の事実を示している。

長時間の遅れが発生すると積込み作業などに支障が生じ、次の列車はカットせざるを得なくなる状況が考えられるが、その様な場合に対処するためには、輸送能力に相当の余裕が必要となり、設備的にも高額になりかねない。途中に救援機関車を配置しておく事は、救援時間の短縮には役立つが、予備機関車数が増加し(例えば2時間以内に到着するために、200km毎に配置すれば、4両の予備が必要)、又それらを保管する車庫、検修が必要となるので実用的ではない。

機関車故障時の対策は、特にスーダンの地形的、気候的条件を考慮すると非常に重要な問題である。

以上を総合的に判断すると (A) 全区間を重連で運転する方法が最も適していると考えられる。

(3) 所要サイクル時間 (Turn Round Time)

所要サイクル時間は、ポートスーダンにおける積込み、ポートスーダン→カルツームの積車走行、カルツームにおける荷下し、カルツーム→ポートスーダンの空車走行、配車、列車組成のための入換、更に各段階での余裕などから成る。

これらの所要時間を、スーダン側は表3-24のように計画している。

表3-24 所要サイクル時間

(作業内容)		所要時間
ポートスーダン (PS)	入換 積込み 予備	6 14 6 h r " "
PS→KRT	走行 行備 (途中の検査含む)	27.5 3.5 " "
カルツーム (KRT)	入換 荷下し 予備	2 7 1 " "
KRT→PS	走行 行備	26 3 " "
合 計		96 (4日) "

また、これを図示すると図3-11のようになる。

この所要サイクル時間は、スーダン側の計画では、将来、輸送需要が更に大きくなった場合、設備改善などにより、積込み、走行の時間を短縮して3日とするとされている。この中で、特に「積込み」と「走行」の占める時間が長いのが、前者は複数の石油会社での同時積込みや、入換機関車の配備による入換作業の効率化により、大幅な時間短縮が可能であろう。走行時間の短縮に関しては、SRCの設備及び保守の現状からみて、走行速度を大幅に向上する事は難しいと思われる。しかし、タンク車の限界速度の向上、及び途中駅での検査体制の見直しを計れば、かなり時間を短縮する事ができよう。検査体制は、機関車を含めてスーダンの特殊事情、SRCの経験から決められるべきものであるが、現状では途中駅停車時の検査が多すぎるように見受けられる。これらの検査を仮に24時間毎とし(日本国鉄では48時間毎)、加えて途中駅での停車が極力少なくなるようなダイヤを組めば、現在の駅停車時間約9時間の大半が節約出来ることになる。

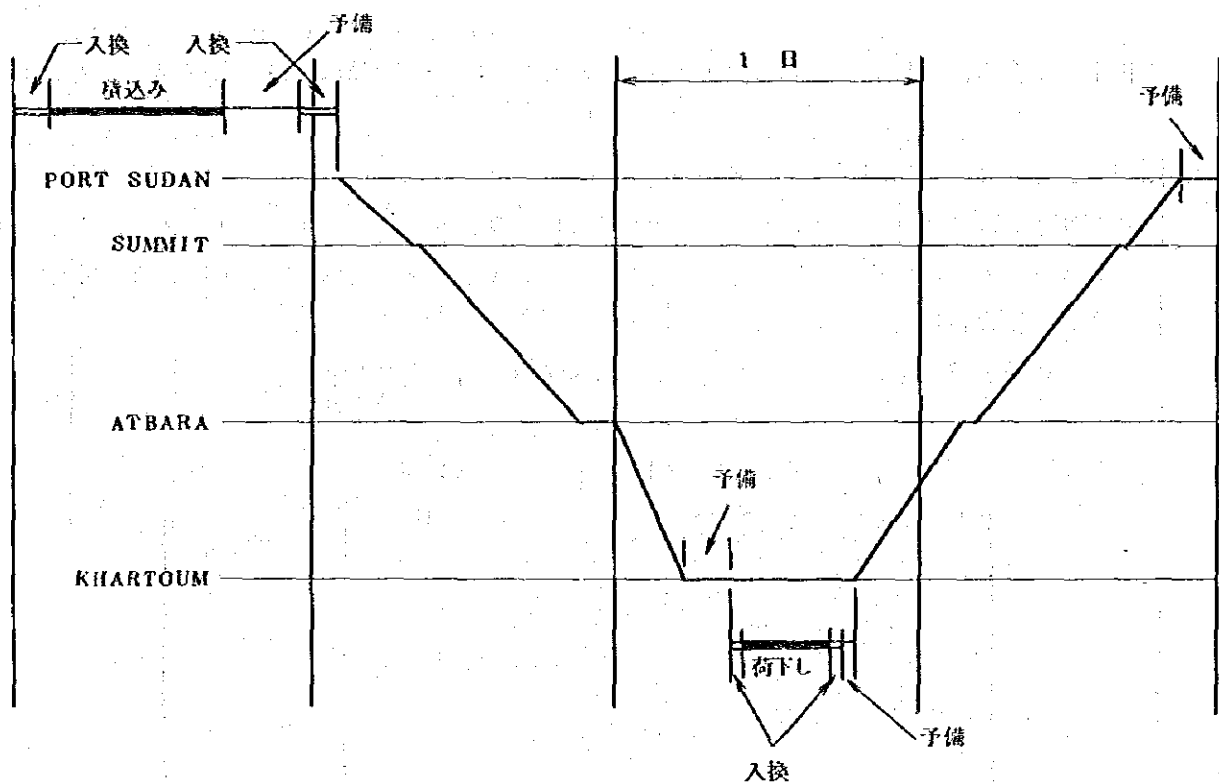


図3-11 燃料輸送所要サイクル時間

このようなサイクル時間の短縮は設備の利用効率を上げ、輸送容量を増加させ、輸送コストを低減する上でも大きな効果を持っている。表3-25に輸送可能量の関係を示す。

表3-25 サイクル時間と輸送可能量

サイクル時間		4日サイクル	3日サイクル
使用する 車両数	DL	6両	6両
	貨車	26両×3編成	26両×3編成
295日運用		198,000 t	265,500 t
325日運用		219,400 t	292,500 t

スーダン側の計画では列車の運行日数を休日、祭日、更にトラブル時の回復余裕を見て295日及び260日としているが、乗務員には休日や祭日が必要であっても、ディーゼル機関車や貨車には休日は不要であり、予備車又は検修のための期間を考慮して運行日数を考えれば良いと思われる。従って、この表では一応325日運用の可能性も考慮した。

3-2-3. 設備計画

(1) ディーゼル機関車

スーダン側の計画は、年間26万tの火力発電用燃料を輸送するため、28両×4編成+予備1編成の計140両タンク車と、これを重連で引くためのディーゼル機関車10両が必要というものである。

しかし、表3-25から、3日サイクルを実現すれば、ディーゼル機関車は重連で3組(6両)、タンク貨車も26両編成が3組(86両=26両×3×1.1)で、年間265,500tの輸送が可能なる事が明らかである。また、この車両数で4日サイクルの場合は年間198,000tの輸送が可能なることがわかっている。

一方、このディーゼル機関車が配備すると予測される1989/90年度に必要とされる重油輸送量は、水力が平年並の場合209,000t、水量が不足する場合259,000tと予想されている。

従って、上記の輸送量は1985/86年度のSRCの輸送実績、63,900tからの増分と考えれば、4日サイクルで運用しても261,900tの輸送が可能であり、1989/90年度の水力事情が悪い場合の輸送需要をカバーすることができる。また、完全な3日サイクルの運用が実施できれば、1985/86年度の輸送量63,900tを含めて、約330,000tの輸送量までカバーできるので、1992/93年度の需要(水力事情が平年並の場合)にまで対応できる。

以上は、年間295日間の稼働を前提としているので、ディーゼル機関車の保守などのための予備車両は不要と考えられる。また、故障に対する予備車両についても、軸重16~16.5tの6軸の機関車として、故障時には1両でも登坂できる性能を与えておけば、予備車は不要と考えられる。

(2) タンク貨車

タンク貨車については、フランスからの援助で(45%無償、55%はソフトローン105両が入手済みであり、更に1986年12月末までには、36両が入手できる見込みである。

従って、仮りに26両編成の貨車を4組使用する場合(116両=26×4×1.1)でも、十分な車両数が確保されており、貨車の不足は当分、発生しない。

(3) 通信設備

① 列車~最寄駅間連絡設備

線路沿線は殆んど砂漠で砂埃が多く高温のため、エンジントラブルが生じ易い環境にあり、駅間距離も長く、しかも「列車~最寄駅間連絡用無線」以外には連絡手段が存在しない。従って、燃料輸送用に新たに投入する機関車にも、既存の無線システムと同一の無線機を搭載し、安定した燃料輸送を確保する必要がある。

② 主要都市間連絡設備

SRCについては、長距離連絡設備として、短波無線とSTCから借用している架空線路があるが、後者は回線品質が悪くてあてにならず、前者は、使用上の制約があり予備機もない。

従って、燃料輸送の連絡を随時行うためには、カルツーム、アトバラ、ポートスーダンの3箇所に独立した無線設備を新設することが望ましいが、1日1回程度の連絡であり情報量も少く緊急性には乏しい。

SRC以外の機関（NEC、GPC等）にも独自の無線設備があり、またSTC電話回線が存在している。回線及び機器の信頼度を向上するため、既存とは別の無線機を設置するのが望ましいが、これも使用頻度が少なく、列車運転に直接使用するものでないので、緊急性に乏しい。

③ 市内連絡設備

燃料の積み込み、荷下しの際の入換作業を効率的に行なうためには、同一市内のSRC、NEC及び石油会社間の専用の連絡設備を設置するのが望ましいが、現状でもSTC回線があるので、これを最大限活用すべきである。

(4) ターミナル設備

カルツームの荷下し設備として Burri及びKhartoum North 両発電所における荷下し線の延長、増設、荷下し口の増設、蒸気加熱装置の取付などは極めて有効な改善と考える。また、燃料貯蔵タンクの増設も、輸送量の波動を吸収し、発電量を安定させる上で有効な策である。

ポートスーダンにおける積み込み設備の改良は石油会社で行なうが、サイクル時間の短縮のために積込口の増設、加熱装置の取付（現在は Shell社のみしか取付けられていない）などの改善、及び貨車の入換作業の効率化による複数石油会社での同時積み込みなどの改善案の検討が必要である。

特に、現状はポートスーダンでの積み込み作業に長時間を要しているので十分な検討が必要であり、また改善の効果も大きいものと推定される。

3-3. 計画の概要

前節までの検討により、当調査団としては、燃料輸送網整備計画として以下のような内容が適切と判断する。

3-3-1. 電力需要と燃料消費量

今後の電力需要とPower IV計画にもとづく水力発電及び火力発電の発電計画、及び火力発電に必要な燃料（重油のみ）の量を表3-26に示す。（実績と予想）

発電用燃料としては数種類のものがあるがこの表では、鉄道で輸送される重油の量だけを示している。

燃料輸送網整備計画により輸送されるべき燃料の量は、表3-26から、ディーゼル機関車が配置される見込みの1989/90年度の209,000tからPower IV計画が完了する1990/91年度の246,000tに対応できるように、3日サイクルでの運用時の最大可能輸送量である265,500tとする。

表3-26 年度別火力発電と燃料消費量（実績及び予想）（表3-9 再掲）

年度	電力需要量 (GWh)	水力発電 (GWh)		火力発電 (GWh)		燃料消費量 (千 t)		輸送量 (千 t)	
		平年並	悪い時	水力 平年並	水力 悪い時	水力 平年並	水力 悪い時	鉄 道	道 路
1981/82	873	746		127		33.9		33.9	
82/83	934	773		161		41.0		41.0	
83/84	1,014	781		233		61.6		61.6	
84/85	1,233	949		284		91.8		36.7	55.1
85/86	1,218	(825)		(393)		127.7		63.9	63.9
86/87	1,593	1,106	940	487	653	134	180		
87/88	1,714	1,106	940	608	774	167	213		
88/89	1,839	1,200	1,020	639	819	176	225		
89/90	1,961	1,200	1,020	761	941	209	259		
90/91	2,095	1,200	1,020	895	1,075	246	296		
91/92	2,232	1,200	1,020	1,032	1,212	284	334		
92/93	2,386	1,200	1,020	1,186	1,366	327	376		
93/94	2,554	1,200	1,020	1,354	1,534	373	423		
94/95	2,736	1,200	1,020	1,536	1,716	423	473		
95/96	2,938	1,200	1,020	1,738	1,918	479	528		

注（ ）は推定値

3-3-2. 輸送計画

燃料の必要量に合わせて輸送量を増加させて行く必要があるが、これは稼働日数の増加とサイクル時間の短縮で対応するものとする。

列車編成としてはディーゼル機関車を重連で、タンク貨車26両とManama及びBrake Vanを各1両の合計28両をけん引する貨物列車とする。(910tの重油が輸送できる)

この列車を3編成使用し、年間の輸送量198,000tまでは4日サイクルで稼働日数を変化させて対応する。(稼働日数295日まで) 年間の輸送量が198,000tを越える前に、ポートスーダン及びカルツームの積込み荷下し時間の短縮と、運転ダイヤの検討を行ない、3日サイクルの運用を実施し、265,500tまでの輸送量に対応出来るようにする。

そして、水力発電が水力不足のため十分な発電が行えない場合の火力発電の増加には、原則として稼働日数を295日以上に高めることで対応する。

3-3-3. 燃料輸送設備

(1) ディーゼル機関車燃料輸送列車3編成を重連で牽引するため、6軸、2,000PS級のディーゼル機関車が6両必要である。軸重は16.5t以下としなければならないので、機関車重量は96～

99tとなる。

なお、この機関車は重連使用時の1車故障の条件に対応するため、勾配区間を1両でも登坂及び降坂できるように設計しておく必要がある。

(2) タンク貨車

タンク貨車としては、既にSRCが所有している35t積(自重17t)のタンク貨車を86両(26両×3×1.1)使用するものとする。

(3) ターミナル設備

ポートスーダンの積込み設備の改良は、燃料輸送量が198,000t/年を超える1989/90年度までに実施されるものとする。

また、カルツームでの荷下し設備の改良と、燃料貯蔵タンク40,000tの増設はPower IV計画により1990年までに実施されるものとする。

(4) 通信設備

車載無線装置については、スーダンの地形や現状を考慮すると、現有の装置と同型のものの搭載が必要である。数量については、この機関車は重連使用であるので、無線機故障を考慮しても、機関車1両に1台でよいと考えられる。その他の都市間や、関係機関間を連絡する通信設備については、現状の設備の信頼性の低さを考慮すると独立に備える事が望ましいが、使用頻度の低さと列車運転に直接使用するものでない事を考えると、現有のものを極力有効に使うべきであり、本計画では緊急性に乏しいと考えられるので、除外する。

3-3-4. 実施運営機関

燃料の積込み、輸送、荷下しに対する実施・運営機関は次のとおりである。

- (a) 積込み 石油会社
- (b) 輸送(入換を含む) SRC
- (c) 荷下し NEC

なお、この輸送に使用される本線用ディーゼル機関車は、NECが所有し管理するが、その運行及び保守はSRCに委託される。また、タンク貨車、入換用ディーゼル機関車などの車両、軌道などの設備の運行・管理及び保守はSRCが行なう。

3-3-5. 管理計画

本プロジェクトで使用する設備は前述のそれぞれの設備が所有されている機関において維持管理される。従って、本線用ディーゼル機関車はNECが管理することになるが、運行及び保守の業務はSRCに委託される。

機関車の交番検査はSRCのアトバラ機関区で、オーバーホールはアトバラ工場、他のSRCの機関車とともに行なわれることになろう。燃料輸送列車の運行管理には、ポートスーダンにあるSRCのEastern Region及びカルツームにあるCentral Regionが関係するが、全体的な管理はアトバラのSRC本社で行なわれる必要がある。

第4章 基本設計

第4章 基本設計

4-1 設計の方針

ディーゼル機関車を日本国内で製作する事は容易であり、これ迄多くの生産、輸出実績がある。従って、本件ディーゼル機関車は、日本国内で製作するものとする。

但し、以下の部品については次に述べる理由により輸入品とする。

○ エンジン

1,600HP以上のクラスの機関車用大型エンジンは、国内の需要がないこともあり最近国内で生産されていない。最近の輸出用機関車もこのようなクラスのエンジンはすべて輸入品を使用しており、今回も輸入品を使用することが適当である。

○ 車載無線装置

SRCでは現在車載無線装置を使用しており、今回の機関車に搭載する無線装置も既存のものと共用可能なものである必要がある。このような共用可能な無線装置は、既存のものを製作したメーカーから購入する事が最も低廉、効果的と考えられる。

従って、SRC既存品製作メーカーからの輸入が適当である。

4-2 設計の条件

設計の条件として以下の事柄を考慮する。

- (a) 大部分の線区が砂漠の中で砂埃が多いので、防埃対策を十分考慮する。(特にシール部、空気取入口など)
- (b) 使用環境温度としては過去の最低、最高気温の月別平均値より求め15~43℃とし、最高耐用温度は最高気温の48℃とする。
- (c) 軌間は1,067mmとし、車両限界はSRC車両限界を使用する。
- (d) 原則として、UIC (International Union of Railways) 規格を使用する。
- (e) 必要性能としては、ポートスーダン~サミット間の10%連続勾配を26両編成のタンク貨車をけん引して30km/hの均衡速度で、またその他の平坦区間では60km/h以上で走行可能とする。(重連時の条件)
- (f) 駆動方式は、大型機関車である事及びSRCでの実績を考慮して、ディーゼル電気式とする。
- (g) 今回計画のタンク車には真空ブレーキを使用していないので、ブレーキは空気ブレーキとし、サミット~ポートスーダンの勾配を下りるときには発電抑速ブレーキを使用する。
- (h) 軸重は16t (許容16.5t) で6軸駆動とし、整備重量は96tとする。
- (i) 車体形状は、点検のし易さや製作コストの低廉化を考慮し、ボンネットタイプ片側運転室とする。但し運転台は、長時間運転に対して疲労が少ない様、進行方向別に各1ヶ所、計2ヶ所設ける。
- (j) 台車はSRCの使用実績からCo-Coタイプとする。また台車枠は、製作両数が少ないので溶接構造も許容する。
- (k) 制御は重連総括制御可とする。但し既存機関車との総括制御は考えない。
- (l) 主発電機は、保守が容易で故障が発生しにくい交流式とする。

4-3 設計の仕様

前記の設計条件のもとに設計したディーゼル機関車の基本仕様は表4-1に、また形式図は図4-1のとおりである。

表4-1 電気式ディーゼル機関車基本仕様

車 種		96t 電気式ディーゼル機関車		ユーザー名	SRC		
概 要	形 式	熱帯の砂漠地方の特線、燃料輸送用として設計。					
	用 途	幹線、燃料輸送専用					
	車 両 限 界	スーダン国鉄限界					
	車 輪 配 置	C ₀ -C ₀					
重 量 性 能	運転整備 (t)	96t	機 関	種 類	ディーゼル機関		
	空 車 (t)	90t		形 式			
	最高運転速度	80km/h		搭 載 数 量	1		
	最大引張力 (kg)	28,800 ($\mu = 0.3$)		連続定格出力	1,650 HP~		
主 要 寸 法	全 函 車 比		関 部 品	使用燃料	軽油		
	主 要 寸 法	軌 間 (mm)		1,067	燃 料 消 費 率	g/HP/h	
		全 長 (連結面間) (mm)		16,800	付 属 部 品	送給器形式×数	
		全 輻 (mm)		3,022		給気冷却器×数	
		全 高 (mm)		4,000		始動電動機×数	
		全 軸 距 (mm)		12,900		充電発電機×数	
		台車中心間 (mm)		9,000	重 量 (乾燥) (kg)		
		動輪直径 (mm)		914	主 突 電 機	種 類・形 式	回転界磁、ブラシレス
		連結器高 (mm)		851		連 続 定 格	容量×数量 975kV~×1
	車 体 様 式	ボンネットタイプ		台 車	電 圧 × 電 流		
片側運転室		回 転 数					
台 車	形 式		車	重 量 (kg)			
	固定軸距 (mm)	3,900					
	様 式	鋳鋼又は溶接、コイル支持方式					
最小通過曲線半径		137 m					

主整流器	種類・形式	シンコン整流器	蓄電池	形 式	NIFE
	連続定格	975 KW~		容量×個数	ニッケル・カドミウム
主電動機	種類・形式	ツリカケ方式	冷換暖房気	電 圧	50V~
	連続定格	容量×数量		150 KW~×6	冷房・換気
		電圧×電流		暖 房	な し
		回転数		列車暖房装置	な し
重量(計-2) kg		照明	連結器	アライアンスNo.2	
主用電送動風機	駆動方式		ベルト駆動	緩衝器	ゴム緩衝器
	容量×数量	200m ³ /min ~×2	室内	運転室40W×2、機関室20W×6	
冷却装置	方 式	強制通風	補助機器	室外	前照灯 200W×4、尾灯40W×4
		放熱器		黄銅又はアルミ(分割タイプ)	
	送風機	駆動方式		機械式	
		容量×数量		2,100m ³ /min ~×1	
ブレーキ装置	自動空気ブレーキ 直通ブレーキ 発電ブレーキ 手ブレーキ		補給品	燃 料	5,000 ℓ
	空気圧縮機	形 式			砂
駆動方式		ベルト駆動		水	800 ℓ
制 御 方 式	重連総括制御 電磁及び電磁空気式		特記事項		
	制御回路電圧	50V~			
運転保安装置	デッドマン装置				
放送連絡装置	車上無線装置				

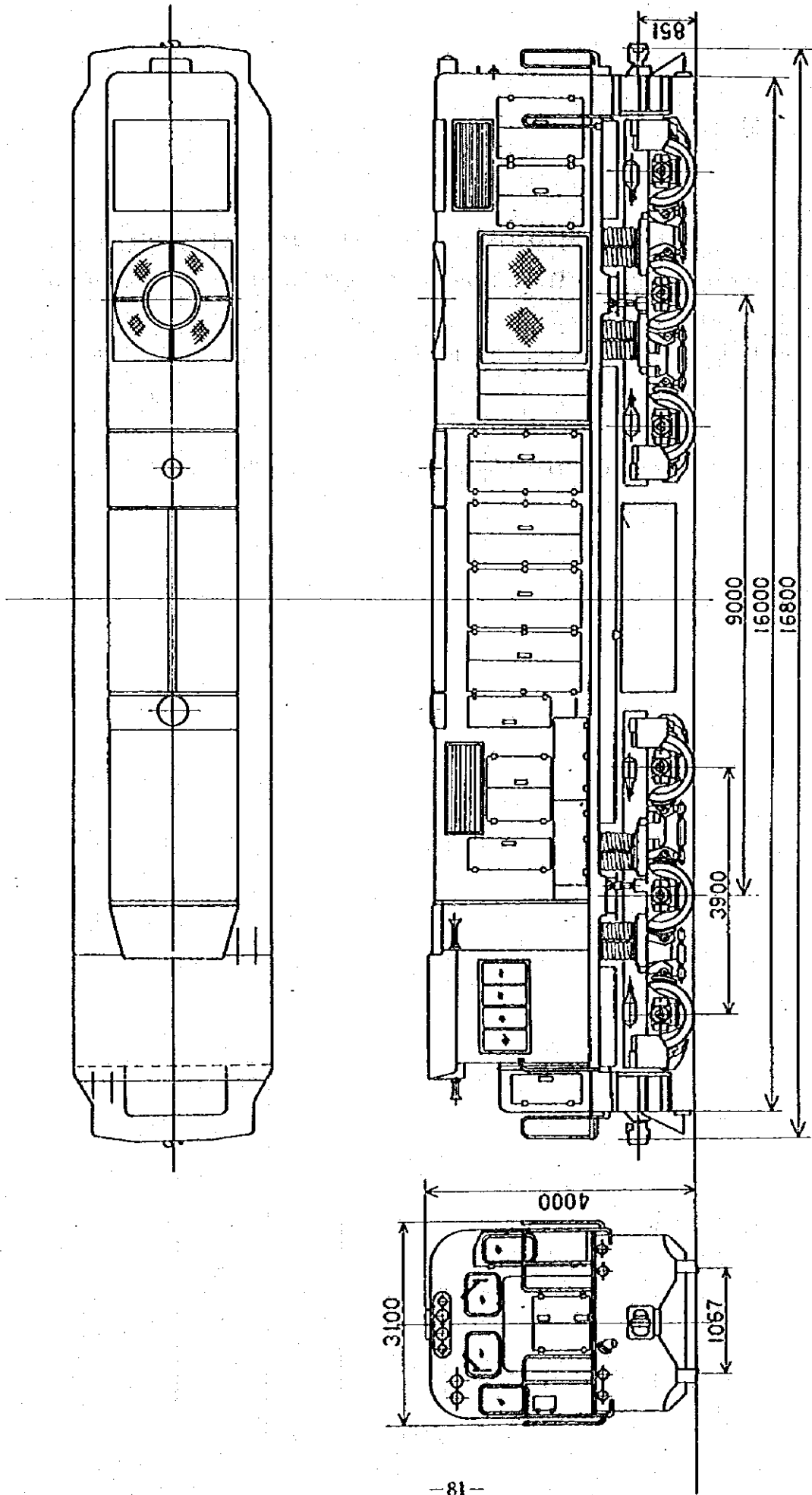


図 4-1 電気式ディーゼル機関車形式図

4-4. 実施計画

① 工事区分

今回の機関車製作に関して、詳細設計 (D/D) から (車載無線装置取付を含む)、ポートスーダン迄の輸送、陸上げ迄を日本側が負担するものとする。また取扱い指導のため日本から派遣する技術者についても日本側負担とする。

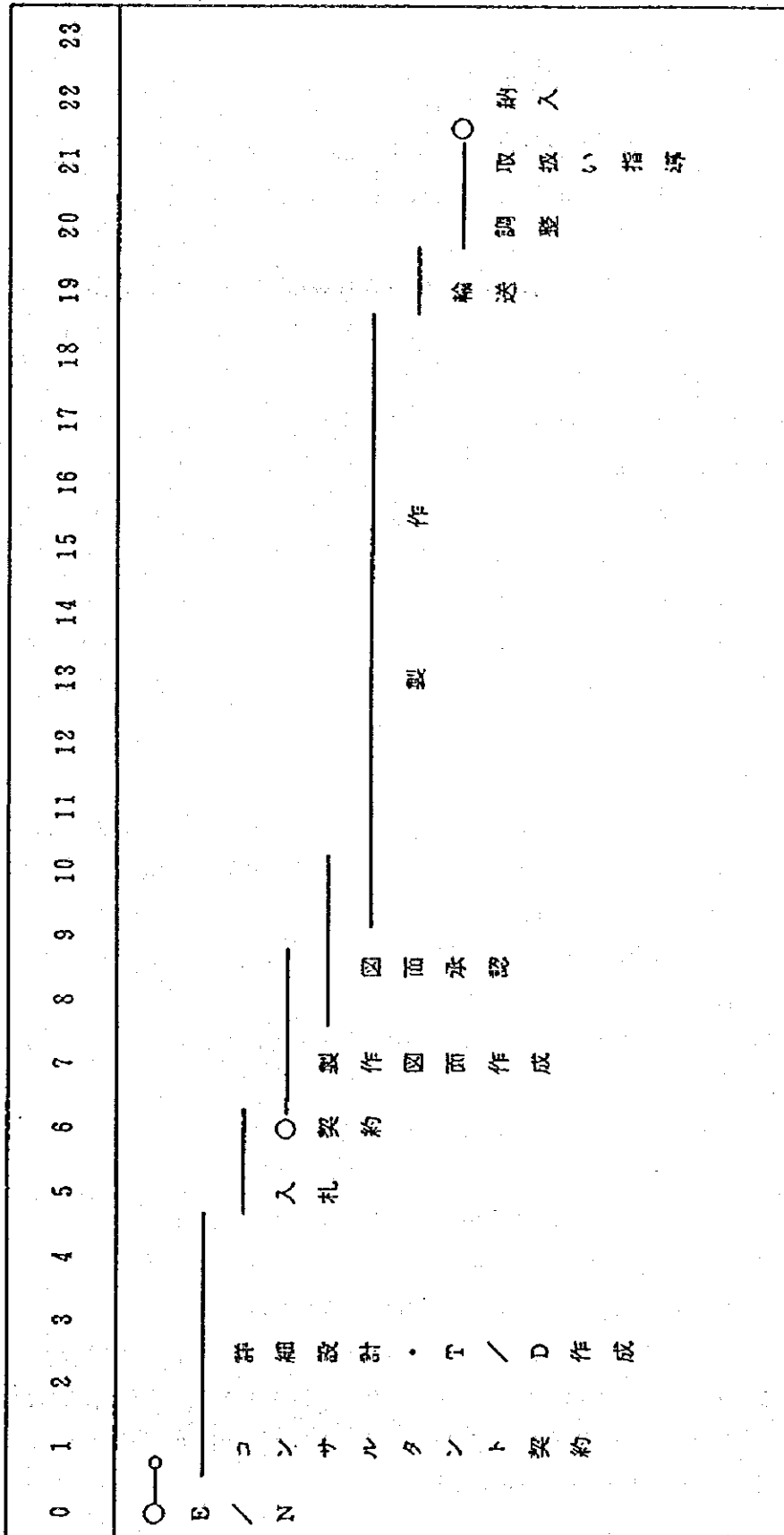
スーダン側は、機関車の陸上げ後、回送等に必要な燃料、運転士を含む作業者、その他必要な機器を負担するものとする。

② 実施スケジュール

E/N後のD/D、入札図書 (T/D) の作成から機関車製作、取扱い指導、納入などの実施スケジュールは表 4-2 の通りである。

図4-2 実施スケジュール

単位.....月



4-5. 維持管理費用

本計画の実行に当たっては、スーダン共和国各機関における責任体制を確立し、相互に作業ミスや遅れを出したりする事のないようにしなければならない。

本線用ディーゼル機関車はNECが所有し、SRCに、その運用及び保守業務を委託する事になるが、他のタンク貨車や入換用機関車等はSRCが所有し、運用及び保守を行うことになる。

本線用ディーゼル機関車の運用に当たっては、燃料輸送以外の他の目的に使用しないよう、また、保守業務、特に保守部品の確保について配慮し、現状のような低い稼働率となることのないよう十分注意を要する。車両、特に機関車の運用計画を明確にし、効率的に使用する事が非常に大切な課題である。

本線用ディーゼル機関車の保守について言及すれば、一般的にも材料の確保と保守技術の向上が大きな課題であるが、中でも、多量の砂塵と高温の悪条件下にあるスーダンにおいては、より重要な課題である。日本国鉄における類似の本線用ディーゼル機関車は、保守用の材料費として、新製価格の約3%を使用している。悪環境下にあるスーダンにおいては、少なくともこれ以上の材料準備が必要である。主な取替材料としては、エンジン、空気圧縮機、基礎ブレーキ装置などにおける摩耗部品、パッキン類、検査時発見されるその他不良部品などであるが、潤滑油の計画的交換も非常に大切である。また、解体、検査時における洗浄と、組立時における防塵対策についても十分配慮する必要がある。このためには、作業場の清掃、軸受・エンジン組立のための防塵室の確保が望まれる。

技術力の向上については、車両配属時及びその後の計画的、継続的な教育が必要である。更に、事故や故障に対する責任体制の確立と、業務に対する意欲向上策が重要である。

本プロジェクトに要する維持管理費はスーダン国の実情により検討すべきであり、ここでは明確な数字の計算は困難であるが、本線用ディーゼル機関車に対して大略以下のようなになる。

(a) 燃料費

単位出力当りの燃料消費率を180g/HP.hとすると、ポートスーダン→カルツームへの走行に必要な燃料は

$$180\text{g/HP.h} \times (3,300\text{HP} \times 4.3\text{h} + 1,000\text{HP} \times 18.7\text{h}) = 5.9\text{t}$$

カルツーム→ポートスーダンへの走行に必要な燃料は

$$180\text{g/HP.h} \times (3,300\text{HP} \times 1.3\text{h} + 800\text{HP} \times 14.7\text{h}) = 3.0\text{t}$$

従って、駅停車中や小移動の際の燃料消費量を考慮すると、ポートスーダン～カルツーム間の1往復には約10tの燃料を消費すると見れば十分であろう。

1989/90年度の発電用燃料輸送量209,000t(水力事情が平年並の場合)を輸送するには、年間233回(209,000t÷900t=232.3)往復する必要があるので、年間の消費量は2,330t(233×10t)となる。軽油の1t当たりの単価は1,120LS(3.5 LS/gallon ……1986年11月)であり、また、潤滑油等の経費を燃料の15%として、

$1,120\text{LS}/\text{t} \times 2,330\text{t}/\text{年} \times 1.15 = 2.61 \times 10^6 \text{LS}/\text{年}$
2.61 × 10⁶LS/年となる。

(b) 保守費

本線用ディーゼル機関車の保守費は、一般的には年間に、新製価格の6%程度が必要である。本線用ディーゼル機関車の新製価格を1両6.544 × 10⁶LS (1.636 × 10⁶US\$) とすると、

$$6.544 \times 10^6 \text{LS}/\text{両} \times 0.06 \times 6 \text{両} = 2.36 \times 10^6 \text{LS}$$

となる。(但し、1US\$ = 4.0LS………1986年11月)

なお、このうち約1/2は予備品購入費として確保する必要がある。砂塵が多く、故障が発生しやすいスーダンの実情を考えた場合、更に余裕を持った保守費の確保が必要であろう。

(c) 乗務員の賃金

燃料輸送列車に必要な乗務員数について概算すると、1列車当り、機関士、機関助士、車掌及び検査要員が各1名ずつで、合計4名必要となる。

これに交代要員を考慮すると4 × 3組 = 12名必要となる。

1回の乗務時間はカルツームでの休憩も加えると拘束時間は70時間となる。

SRCの一般の勤務時間は42時間/週であるので、

$$70 \div 42 = 1.7$$

つまり1.7週間に1度乗務させることになる。

出勤率を0.9とすると必要な乗務員数は

となる。

入換要員はポートスーダンとカルツームで各2名を3交代で勤務させるとして(勤務率は0.9)

$$4 \text{名} \times 4 \div 0.9 = 18 \text{名}$$

乗務員及び入換要員の必要数は147名(129+18)となる。

SRCの1人当りの人件費を2,500LS/年とし、これに乗務旅費、超過勤務賃金など50%を加算し

$$2,500 \times 147 \times 1.5 = 0.55 \times 10^6 \text{LS}/\text{年}$$

が、乗務員関係の賃金となる。

4-6. 概算事業費

日本側が負担する事業費は1985年12月の時点の価格を基準として算出する。

積算の対象としては、車載無線装置を含む本線用ディーゼル機関車6両分とし、その総計は約21.5億円となる。

第5章 事業評価

第5章 事業評価

電力は産業発展に基盤を与え、国民に対して文化生活を保証するものである。この電力に関し、スーダン共和国ではPower I計画からPower III計画により電力設備の拡充が進められてきたが、引き続き火力発電と関連送・変電設備の拡充を主体とするPower IV計画が作成されている。

このPower IV計画に対して世界銀行 (IDA) を含む4つの国際援助機関が主要発電部分にソフトローンを提供し、他の部分に対しては日本を含む8カ国の無償資金が期待されている。この中で日本は、火力発電用燃料の輸送に使用する機関車及び通信設備について無償資金協力が求められている。

言うまでもなく、燃料輸送は火力発電にとって必須の事柄であり、火力発電を主体とするPower IV計画全体の成否に係わる重要なものとなっている。従って、本計画の実施は、多くの国と国際援助機関が協力して支援しているPower IV計画を成功へと導く、スーダン共和国にとって重要な緊急の事柄である。

スーダン共和国では、輸入額は輸出額の2~3倍にも達し、外貨が不足しており、輸出を増加させ外貨収入を得るためにも、農業用灌漑ポンプ、なめし皮工場、織物工場などの動力源としての電力供給の強化は極めて重要である。

以下、本計画による燃料輸送がスーダン国、NEC及びSRCに及ぼす効果、輸送コストについて検討し、更に自動車輸送と比較した場合の評価について述べる。

5-1. スーダン国に及ぼす効果

本計画が実施され、各国の協力のもとにPower IV計画が実施されると、スーダン共和国の発電設備容量 (発電可能出力) は365MW (水力194MW, 火力171MW) から671MW (水力225MW, 火力346MW) に増強され、発電電力量は1218GWHから2095GWHへ、ほぼ倍増し、停電回数の減少、電力供給が確保されたことによる経済活動の活性化 (例えば、主な輸出産品である棉花、アラビアゴム、ゴマなどの農産物の加工産業、大量の輸入を行っている工業品、機械類の国産化などへの道を開くことなど) が期待される。

その他、約100MWと推定される効率の低い小型の自家発電装置により供給されている電力が、NECからの供給電力に置換えられることが予想されるので、スーダン国全体から見た場合、高価な軽油 (自家発電用燃料) の消費が減少し、安価な重油の消費が増加する事となる他、効率もNECの大型発電装置の方が高いので、石油の消費量が節減できる効果もある。自家発電による発電電力量のうち100GWHがNECの供給電力に置換えられると仮定すると、軽油の消費が約50,000t (平均燃料費比率は500t/GWH程度と推定) 節約され、重油の消費が27,500t (平均燃料費比率275t/GWH) 増加する。このように石油の消費量が減少する事は、石油を全て輸入に頼っているスーダン共和国にとって、外貨収支上好ましい事柄である他、エネルギー消費の面からも、排