

マリ共和国
鉍工業プロジェクト選定
確認調査団報告書

1992年4月

国際協力事業団
鉍工業開発調査部

517/68/1010

JICA LIBRARY



1099639(5)

24127

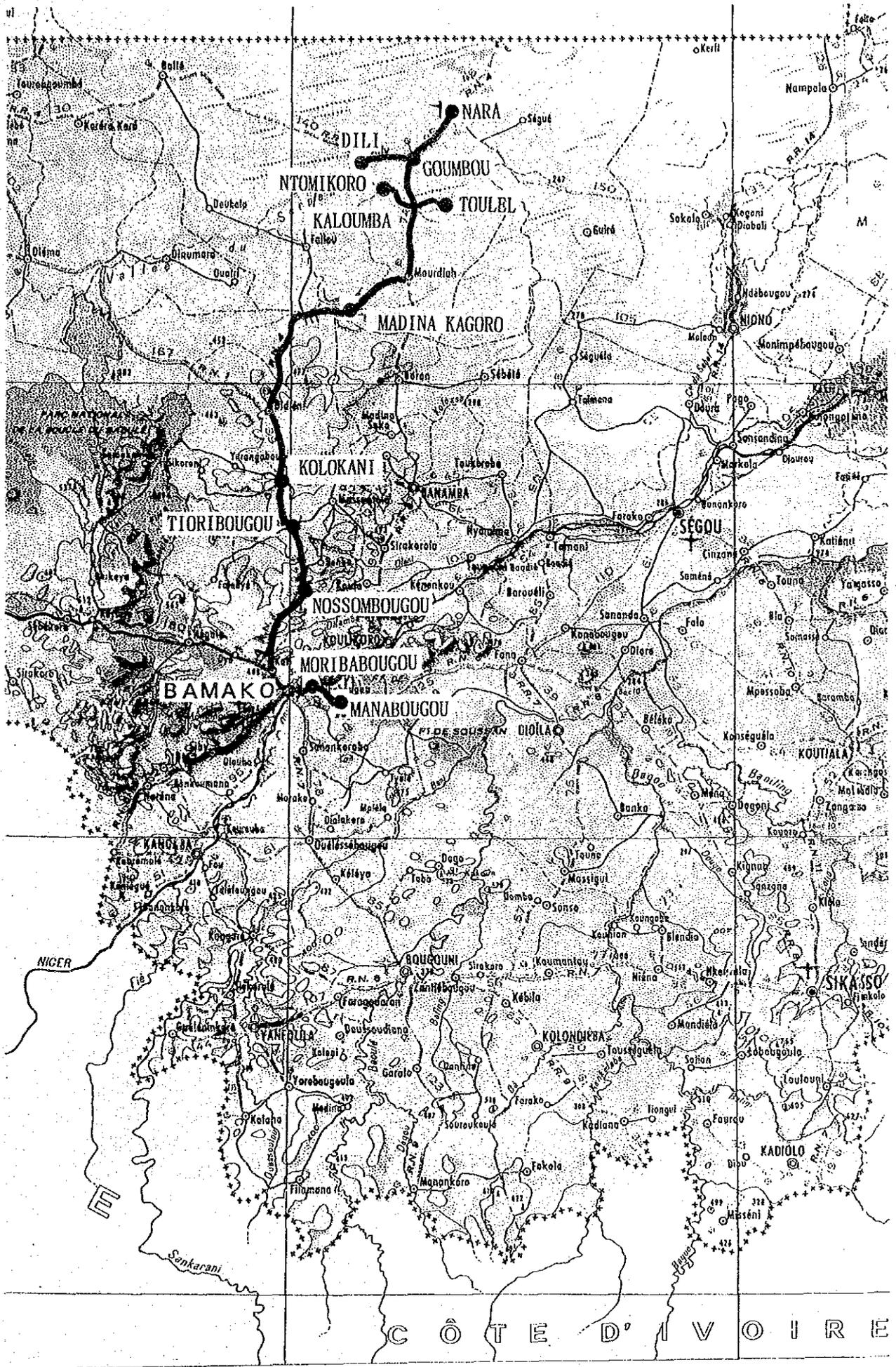
マリ共和国
鉍工業プロジェクト選定
確認調査団報告書

1992年4月

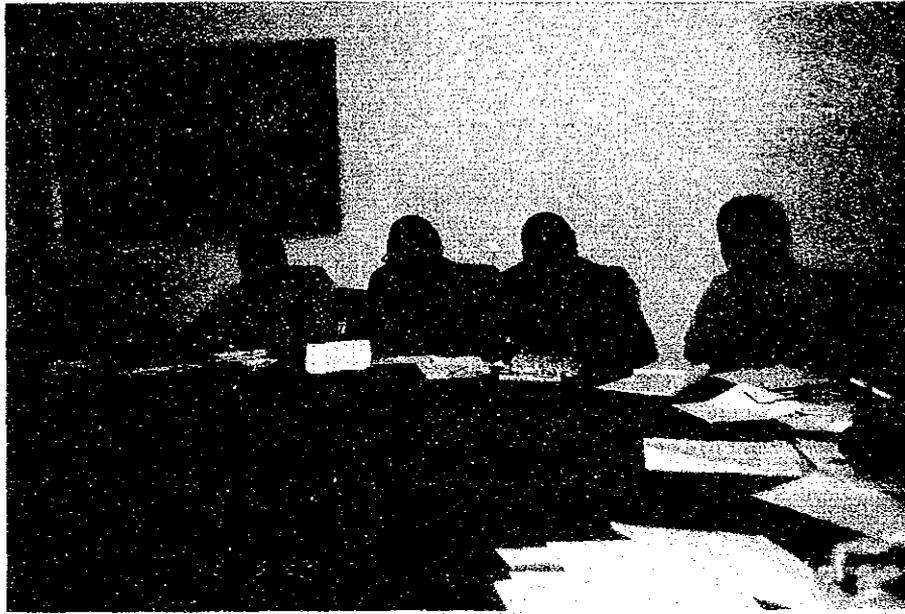
国際協力事業団
鉍工業開発調査部

国際協力事業団

24127



C Ô T E D ' I V O I R E



円卓会議(3月24日)

マリ国鉱工業プロジェクト選定確認調査報告書

目 次

I	調査団の概要	1
1	調査団派遣の目的	3
2	要請の背景	3
3	調査項目	4
4	調査団員構成	5
5	調査日程	6
6	関係機関・カウンターパートの概要	7
7	面会者リスト	10
8	面談内容	12
9	見学した太陽光システムの概要	19
II	電力事情	27
1	電力担当機関	29
(1)	電力政策機関	29
(2)	電力事業機関	29
2	電力・エネルギー政策	29
(1)	エネルギー政策	29
(2)	電化政策	29
3	電力事情	29
(1)	エネルギー消費	29
(2)	電力供給の現状	30
(3)	バマコ周辺の配電システム	30
4	電力増強計画	31
(1)	電力需要予測	31
(2)	電力増強の基本	31
(3)	電力設備投資計画	31
(4)	セネガル川開発計画	32
III	太陽光発電・揚水システム	33
1	太陽光発電の位置付け	35

2	太陽光発電関係部署	36
3	主要太陽光プロジェクト	37
4	太陽光発電プロジェクトの現地調査結果	40
5	揚水システムの現状	42
IV	ナラ地区の概要	45
1	行政機構	47
2	自然・社会環境	48
(1)	自然環境	48
(2)	社会環境	49
(3)	交通手段	50
3	産業	50
4	地下水・井戸	50
(1)	地下水	50
(2)	井戸	51
5	生活環境	52
(1)	宿泊施設	52
(2)	生活物資	52
(3)	電力・通信	52
6	その他	52
V	本格調査における留意事項	53
1	サイト選定	55
2	地下水	55
(1)	地下水揚水能力	55
(2)	水収支調査	55
(3)	水文地質調査	55
(4)	水文環境調査	56
3	太陽光発電揚水システム	56
(1)	システム配置	56
(2)	システム設計	56
(3)	システム維持管理	56
4	機材輸送	57
5	現地業者・労働力	57

(1) 地質調査・地下水業者	57
(2) 土木・電気業者	57
(3) 労働力	58
6 現地調達資機材	58
7 調査団の準備体制	58
VI 総合所見	59
1 調査内容	61
2 太陽光発電システムの概要	61
3 太陽光発電システムの課題	62
4 今後の調査の基本スタンス	64
5 調査方針	65
6 農業実証調査との連携	66
7 おわりに	67
VII 附属資料	69
1 要請書	71
2 砂漠化防止計画（収集資料）	89
3 質問書	119
4 マリにおける電力生産手段発展の最適シナリオの選択（収集資料）	135
5 List of Solar Pumps in Mali(収集資料)	149
6 収集資料リスト	161

I 調査団の概要

1. 調査団派遣の目的

マリ国政府の要請（1991.9『ナラ地方の開発総合プロジェクト：開発調査及び技術援助の要請』）に基づき、同国が1991年まで実施していた国家計画（開発5カ年計画）の重点事項のひとつである『旱魃並びに砂漠化防止対策』の一助として、半乾燥地域における農業用給水設備として中規模程度の太陽光発電揚水システムの性能を実証調査することを目的とする。今回の調査団派遣は先方政府の意向、協力要請の背景、要請内容の確認、及びわが国の協力可能性・範囲等の検討に資するための情報を集めることを目的としたプロジェクト選定確認調査団である。

2. 要請の背景

- (1) マリ国は人口800万人でそのうちの80%以上が農業と牧畜で生計を立てている。
- (2) マリ国はサハラ砂漠の南方に位置しており、ほぼ10年に一度大きな旱魃の影響を受け、その度に植生が破壊されている。そしてその結果として、農産物や家畜が減少し人々の生活環境上、甚大な被害を受けている。
- (3) したがって、マリ国の国家計画において半乾燥地域を対象とした砂漠化防止プロジェクトの一環である植林・農業・牧畜、そしてそれらの経済活動を担う住民の生活条件を改善するための水の供給は大きな使命をおびている。
- (4) またその一方において、マリ国は石油資源に乏しく、定常的に対外貿易の赤字を抱えており、太陽光エネルギーの機能性、将来性に期待を寄せている。
- (5) 今回の調査対象地域であるナラ地区は首都バマコから北方へ約350キロに位置し、マリ国砂漠化防止プロジェクトの対象地域のひとつではあるが、一部にワジが存在する可能性があり、その水の活用如何によっては将来発展する可能性のある地域である。

（参 考）

砂漠化防止に係る国内団体の動向

① 農用地整備公団による砂漠化防止構想（1985～）

サヘル地域、ニジェール川流域を対象として、砂漠化の進行状況の把握とその原因の究明及び砂漠化防止対策基本構想の策定、農業開発ポテンシャルの同定等を目的とする。現在ニジェールにおいて実証調査実施中。

② サヘル・グリーンベルト（SGB）計画研究会によるサヘル・グリーンベルト計画（1989～）。

東燃(株)、大林組、クボタ、清水建設、大成建設を中心とする同研究会がサヘル地域（マリ、ニジェール、モーリタニア、セネガル等）を対象として、地下ダム及び太陽光発電利用揚水システムを利用した砂漠化防止システムの設置を目的とする。

- ③ (財)日本グローバル・インフラストラクチャー研究財団(G I F)による砂漠緑化構想。
同財団が地球環境保全研究分野の一つとして考えているもので、現在までのところ具体的な動きはない。
- ④ (社)海外林業コンサルタント協会(J O F C A)による植林実証調査『ナラ地区半乾燥植林マニュアル策定調査』)。
ナラ地区において育苗圃(15ha)及び植林実証圃(54ha)を確保し、植林実証試験を通じて植林マニュアルを作成することを目的とする。(計画試験期間1991.10~1995.3)。

3. 調査項目

今回のプロジェクト選定認定調査団は、今後のわが国の協力の可能性及びその範囲の検討に資することを目的とし、以下の項目に関して調査を行う。

- (1) 先方政府の意向確認(国家開発計画との関連、砂漠化防止計画の内容、エネルギー関係計画の内容等)
- (2) 要請背景・内容確認(調査対象地域、調査手法・項目、調査期間等)
- (3) 受入機関の確認(組織、C/P、調査終了時の維持・管理の可能性等)
- (4) 他国際援助機関及び二国間援助機関における援助動向の聴取(組織、援助形態、運営形態等)
- (5) 現地調査(ナラ地区を中心とする)
- (6) 関連情報収集(既存類似プロジェクト、気象、地下水、資機材の調達、施工業者の有無居住環境、治安等)

4. 調査団員構成

(太陽光グループ)

氏名	担当業務	所属	
のなか てつあき 野中 哲昌	技術協力行政	通産省	通商政策局経済協力部 技術協力課課長補佐
ほんだ たけお 本多 武夫	太陽光発電行政	通産省	工業技術院サンシャイン計画 推進本部研究開発官付
やべ てつお 矢部 哲雄	揚水計画	JICA	鉱工業計画調査部 資源調査課
むらせ たつや 村瀬 達哉	調査企画	JICA	鉱工業計画調査部 鉱工業計画課
まちや ひろじ 町谷 弘治	通 訳	国際協力サービ スセンター	

(農業グループ)

氏名	担当業務	所属	
こばやし ひろやす 小林 弘裕	総 括	外務省	経済協力局開発協力課 首席事務官
たなか りゅうた 田中 龍太	灌 漑 ・ 排 水	農林水産省	構造改善局建設部設計課 海外土地改良技術室 海外企画係長
いしはら しゅうじ 石原 修二	栽 培	農林水産省	熱帯農業経済センター 調査情報部研究技術情報官
はなたに あつし 花谷 厚	調 査 企 画	JICA	農林水産計画調査部 農林水産技術課
やすだ ただし 安田 正	水文地質・地下水		北海道開発コンサルタント(株) 海外事業部副技師長
みうら ひろこ 三浦 浩子	通 訳	国際協力サービ スセンター	

5. 調査日程

月 日

- 3 / 20 (金) 移動 (成田～パリ)
- 3 / 21 (土) 移動 (パリ～ダカール)
- 3 / 22 (日) 在セネガル日本大使館、
JICAセネガル事務所と打ち合わせ
- 3 / 23 (月) 移動 (ダカール～バマコ)
マリ国計画・国際協力省 表敬
- 3 / 24 (火) 第1回円卓会議
(太陽光・再利用可能エネルギー研究所協議)
太陽光発電揚水システム実用農場等見学
- 3 / 25 (水) (太陽光・再利用可能エネルギー研究所協議)
- 3 / 26 (木) 現地踏査 (バマコ～ナラ)
- 3 / 27 (金) 現地踏査 (ナラ周辺)
- 3 / 28 (土) 現地踏査 (ナラ～バマコ)
- 3 / 29 (日) 団内打ち合わせ
- 3 / 30 (月) 第2回円卓会議
UNDPと会談
移動 (バマコ～)
- 3 / 31 (火) 移動 (~パリ~)
- 4 / 1 (水) 移動 (~成田)

6. 関係機関・カウンターパートの概要

- ① マリ国政府において援助要請・受入窓口は計画・国際協力省が一括で取りしきっている。今回の要請（ナラ地区農業総合開発）に関しても同省からのものとなっている。

ただし、要請内容に応じてその各々の専門性において、各省とチーム作りを行っており、今回の調査団に対してのカウンターパートとしては農業・牧畜・環境省、鉱業・水利・エネルギー省、そして計画・国際協力省からメンバーを選びチームを作って対応していた。

- ② 水資源および、太陽光揚水システムに関しては鉱業・水利・エネルギー省がカウンターパート機関でありその内部の分担としては

地下水分野 水利・エネルギー局

（ただしこの分野に関しては本調査団では農業グループの担当）

太陽光分野 水利・エネルギー局 太陽光・再利用可能エネルギー研究所

水利・エネルギー局 エネルギー部 省エネルギー課

となる。

〔（水利・エネルギー局の組織図は図1-1、1-2のとおりである。）〕

- ③ 太陽光・再利用可能エネルギー研究所は総勢50名弱の組織で太陽光発電、風力発電等の研究を行い、各プロジェクトに対して技術的なサポートを行っているが、太陽光に関しては技術者2名、技能者3名で、他は作業所の作業員（溶接工、板金工等）、事務員等であり200以上の太陽光のプロジェクトの管理をするのに十分な体制とは言えない。その点に関しては、エネルギー部省エネルギー課、及び地元住民・組織と連携をとり、あの程度の管理が可能となっている状況である。
- ④ カウンターパートとして今回ついたMr. Diarra は太陽光・再生可能エネルギー研究所の太陽光の部門のチーフであり太陽光の技術的な部門に関しては我々調査団の質問に関しても十分に返答し得るだけの能力をもっていたが、予算的に制約されている等の理由によるものと思われるが、今回訪れたNARA地区等地方のプロジェクトに関してはあまりその状況を把握していなかった。
- ⑤ また今回、太陽光・再利用可能エネルギー研究所を訪れる機会を得たが、その施設概要は貧弱であり、太陽光を使った設備はイタリアからの援助により現在設置工事中の小規模のパネルだけであり、それ以外は原始的なものだけであった。
- ⑥ 今後、今回の調査でも散見された壊れて放置された揚水システムを作らないためにも、プロジェクトを遂行するに当たっては同研究所の能力、エネルギー部の能力等を十分に調査把握し、きちんとした運営体制を作り、技術移転を行う方策を検討する必要がある。

FIG 1 - 1

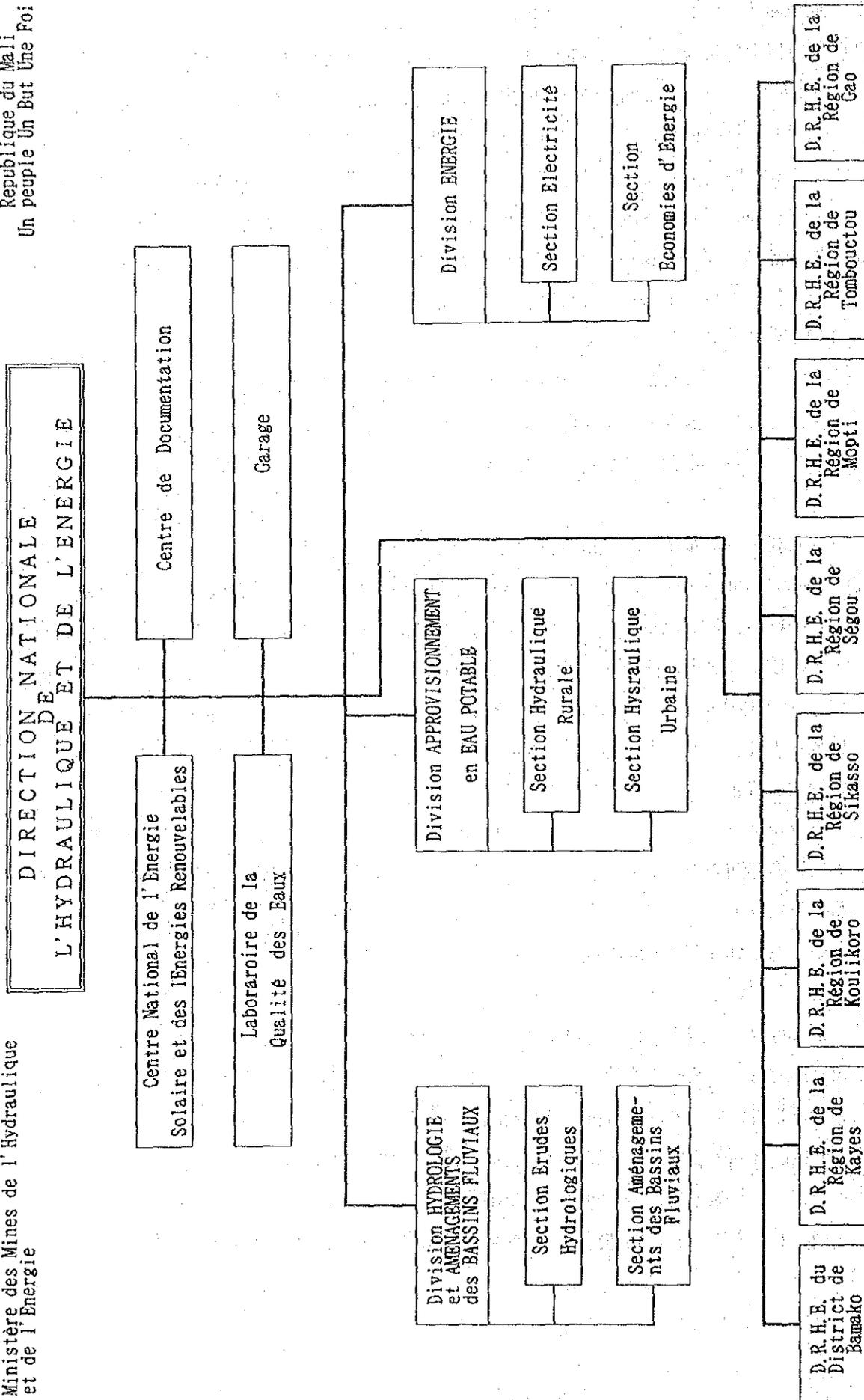
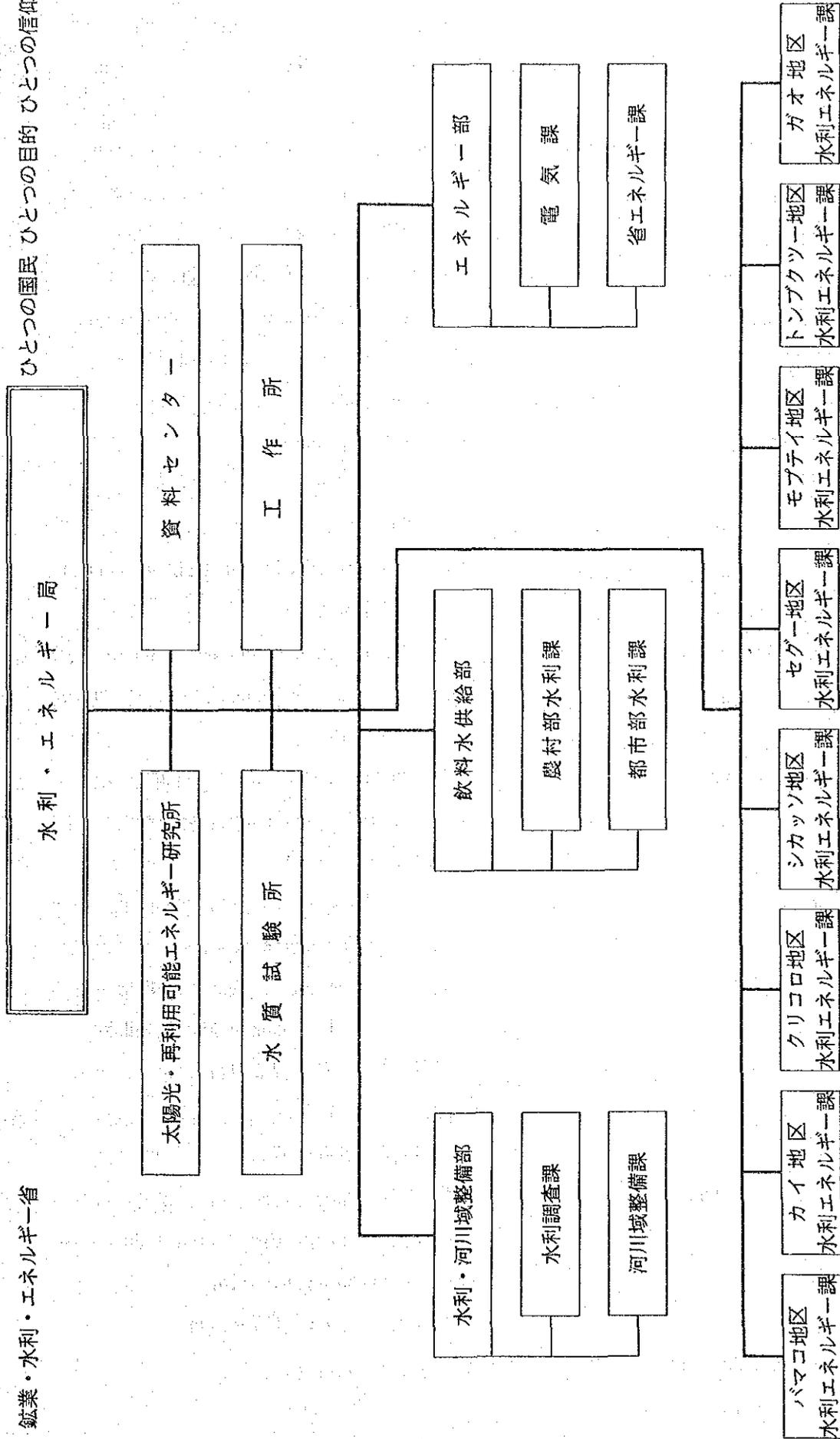


図1-2

マリ共和国

鉱業・水利・エネルギー省

ひとつの国民ひとつの目的ひとつの信仰



7. 面会者リスト

(1) Ministère du Plan et de la Coopération Internationale

(計画・国際協力省)

Mr. Sèkou Almamy Koréissi Directeur Adjoint de la Coopération
Internationale
(国際協力局次長)

Mr. Cisse Sekou dit Gaoussou Conseiller des Affaires Etrangères,
Direction Nationale de la Coopération
Internationale
(国際協力局日本担当官)

(2) Ministère de l'Agriculture, l'Elevage et l'Environnement

(農業・牧畜・環境省)

Mr. Nampaa Sanogho Ing. Forestier
Direction Nationale des Baux et Forêts
(水・森林局技官)

Mr. Aliou Coulibaly Ing. Agriculture et du Génie Rural,
Direction Nationale de la Planification
(計画局技官)

Mr. Paul Coulibaly Ing. du Génie Rural,
Direction Nationale du Génie Rural
(農村開発局技官)

Mr. Abdoul A. Madjidji Sanogo Ing. des Baux et Forêts
Direction Nationale des Baux et Forêts

Mr. Kadian Doumbia Ing. Agro-Economie, chargé d'Etudes
Institut de l'Economie Rural(I. E. R)
(農村経済研究所調査担当官)

Mr. Modibo Sidibé Institut de l'Economic Rural
(農村経済研究所所員)

Mrs. Bintou Nimaga Ing. des Baux et Forêts,
Cellule du Programme National du Lutte
centre la Désertification
(砂漠化防止対策計画室技官)

(3) Ministère des Mines de l'Hydraulique et de l'Energie

(鉱業・水利・エネルギー省)

- | | |
|--------------------------|--|
| Mr. Sidoro Madia | Ing. Hydrogéologique,
Direction Nationale de l'Hydraulique et de
l'Energie
(水利・エネルギー局技官) |
| Mr. Mamadou Diarra | Ing. Chef Section en PV, Centre National
de l'Energie Solaire et des Energies
Renouvelables
(太陽光・再利用可能エネルギー研究所技官) |
| Mr. Yaya Sidibé | Directeur de Centre National de l'Energie
Solaire et des Energies Renouvelables
(CNESOLER)
(太陽光・再利用可能エネルギー研究所所長) |
| Mr. A. I. Maiga | Ing. Centre National de l'Energie Solaire
et des Energies Renouvelables
(太陽光・再利用可能エネルギー研究所技官) |
| (4) UNDP | |
| Mr. Fernand Lostanlan | Direction Nationale de l'Agriculture, MARE
(農林・牧畜・環境省農業局専門家) |
| (5) Cercle de Nara | |
| Mr. Guiro Cheikh Tidiane | Capitaine, Cercle de Nara
(ナラ県司令官) |
| (6) 東京カラー (写真現像・ビデオレンタル) | |
| 小畑 氏 | 社長 |
| (7) 在セネガル日本大使館 | |
| 森田 瑞穂 | 参事官 |
| 正井 一平 | 一等書記官 |
| (8) J I C Aセネガル事務所 | |
| 朝日 紀樹 | 所長 |
| 青木 利道 | 所員 |

8. 面談内容

(1) 計画・国際協力省国際協力局日本担当官 アウス・シセ氏 (3/23)

- 1) 本件調査については昨年8月に要請を出した。
- 2) その後、今回ミッションが来「マ」するまでの間日本から民間ベースのミッションが調査を行い、ある程度のデータは得られたものと理解している。
- 3) 上記調査の結果について、マリ側は、本格的調査を行うに当たり、希望の持てるものであると評価している。したがって今後は日本政府による協力を期待している。
- 4) 本件調査はマリ側にとって重要な案件であり、その成功を実現させるためにも日本側に対しできる限りの便宜を図りたいと考えている。
- 5) (日本側からのナラ地区の治安状況を確認したいとの質問に答えて) ナラ地区の治安については、今回のミッションの来「マ」に先立ち(シセ氏本人が)ナラ地区を訪れたところ、現在まったく問題がないことを確認した。今回ミッションの現地訪問についてはすでに住民にも伝えてあり、現地サイドでも歓迎の意を表している。
- 6) 本件調査の実施に向けて、日本側の前向きな検討を強くお願いしたい。

(2) 関係各省・機関との第1回「円卓会議」(3/24)

(マリ側挨拶)

- 1) 農業・牧畜・環境省大臣の意向として今回日本ミッションに対して歓迎の意を表する。
- 2) 環境問題が世界的な注目を集めている中、マリ国の目指すところは、砂漠化防止に基本を置いた経済発展の推進にある。
- 3) 中央での協議・資料収集を加えて、現地における砂漠化進行の状況を観察し、現地住民と十分に意見交換を行ってほしい。

(国家開発5ヵ年計画上の位置付けについて)

- 1) 1987～1991 5ヵ年計画では、食糧自給と砂漠化防止が最重要課題とされており、今回要請案件もその一環として考えられている。
- 2) 現在同計画は評価中であり、近日中にその結果が出る。

(砂漠化防止計画上の位置付け及び今回調査の日本への要請背景について)

- 1) マリ国には1987年に策定した「砂漠化防止国家計画」があり、同計画の中ではマリ国を6つの「農業・気候地区」に分け、各地区が1か所ずつテストプロジェクトを行い、その結果を類似地区に拡大することを考えている。
- 2) マリ国では、各「農業・気候地区」毎にテスト・プロジェクトを行うための資金ソースを捜しており、すでにノルウェー/世銀により一部が実施された。
- 3) 日本には「サヘル地区」についての援助をお願いしたいと考えている。
- 4) 「サヘル地区」の代表的プロジェクト・サイトとしては、当初アンソンゴ・メナカ地

方が考えられていたが、1990年以來の治安問題もあって、同じ「サヘル地区」に属するナラ地方に変更し、新たな要請を出すこととなった。

(太陽光発電について)

- 1) マリ国には現在約200の太陽光発電施設があり、かなりの程度利用されている。
使用目的は主に飲料水用と牧畜用である。一部で極小規模(0.5ha~1.0ha)の灌漑を目的とした実証圃場用に利用されている(作物は野菜が中心)。
- 2) 太陽光発電施設の問題点としては、その維持管理が農民にとって困難なことにある。
日本側には農民が自主的に維持管理できるシステムの開発を期待する。

(調査のイメージについて)

- 1) 「砂漠化防止計画」は単にサヘル地域だけを対象とするものではなく、マリ全国を対象とするものである。この背景には「砂漠化」は砂漠の移動だけによるのではなく、人為によるところも大であるという考え方がある。
- 2) 日本側調査に対しては、10ha~15haの実証圃場において、植林、飲料水、牧畜、農業を含む総合的実験の実施を期待しており、結果が出れば類似地区への成果の敷衍を考えている。また調査を行うに当たっては「住民参加」のアプローチを取ることが重要と考えており、日本側調査においてもこの点に留意してほしい。

(3) 太陽光再利用可能エネルギー研究所 Mr. Diarra (3/24)

- 1) 当研究所は
 - ① 太陽光及び再利用可能エネルギーの研究
 - ② 太陽光及び再利用可能エネルギーの施設
 - ③ 太陽光及び再利用可能エネルギーの施設の維持管理を行っている。
- 2) マリ国内において、太陽光関連の設備を有している企業はない。ただし、研究をしている企業はある。
- 3) マリアクアビバは水利・エネルギー局と協同でプロジェクトを行っている。
- 4) メンテナンスに関しては
 - ・そうじ、運転等は農民に任せる。(第一のメンテ)
 - ・簡単な部品交換も技術を持った農民に任せる。(第二のメンテ)
 - ・その他大きな修理等に一回/年をベースに当研究所が行う。(第三のメンテ)という形態をとる様努力している。

(4) 太陽光・再利用可能エネルギー研究所 (3/25)

- 1) P.Vシステム管理運営状況について以下の様な説明があった。

現状停止しているシステムがいくつかある。それらの多くはポンプの故障であり、その補修部品の調達ができないことにより止まっている。

調達できない理由としては以下の2点が考えられる。

- ① 製品自体もう製造されておらず補修部品が入手できない。
- ② 補修部品自体はあるがそれを購入する資金がない。

今までの通常の場合の管理運営体制は以下のとおりである。

- ① 製品設置は援助国団体側の負担。
- ② 設置後約3年間は故障した場合のその修理に関しては援助国団体側で負担。
- ③ コミュニティの住民は通常のメンテ（清掃等）を受け持つ。
- ④ 設置後3年を越えた後の機材購入の基金を作るため住民側で“金庫（基金）”を運営、受益者からの水の使用料等を取っている。

これが基本的な管理運営体制であるが、実際には④の基金できちんとお金を管理することができず資金が枯渇してしまう。それは

- ① 徴収金額を地域住民自体が決めており、たとえきちんと取っても少額なため必要費用を賄えない。
- ② お金を払わない受益者がいる。
- ③ いろいろな？支出がありすぐに“金庫”が枯渇してしまう。

ということが原因である。

それに対して政府側は指導するということがむつかしく現状では

- ① 当初の建設費の一部地元負担
- ② より一層のメンテナンスへの参加を働きかけを行うにとどまっている。

技術的なサポートに関しては当研究所が担当、部品交換等は同省内の他の部が担当している。しかしそれらの部署には部品交換の予算はないため、地元住民が費用を出してくれないと部品交換をする事ができない。

当研究所が考えるメンテナンスの運営形態は次の3つのステージに分かれる。

- ① 技術のいらぬメンテナンス
日常に清掃、フェンス等の保守
これはコミュニティに任せる。
- ② 部品交換の必要のないメンテナンス
簡単な修理、バッテリーの水の補給等
これは知識のある人がそのコミュニティにいれば任せる。
- ③ 部品交換の必要のあるメンテナンス
1回/年～1回/月程度の巡回点検

当研究所の役割

ただ実際はどれも余りうまくいっていない。

2) マリ国の太陽光関係の技術者について

現在当研究所に2名、そして国内留学（当研究所にて勉強した者）3名の計5名ぐらいである。

他の民間にも太陽光の技術者がいるかもしれないが、実態は把握していない。

3) 当プロジェクトへの協力体制について

今回の案件に関しては鉱業・水利・エネルギー省として水資源とエネルギーについて担当する。

役割分担に関しては今後省内及び関係省庁と調整していく予定である。

4) 研究所概要として以下のような説明があった

① 太陽光パネルはイタリアから援助された物が到着、現在設置工事中。

パネルはイタリア製 5kW

輸送はコンテナを使いイタリア～（船）～ダカール～（鉄道）～バマコ

使用目的としては太陽光発電、研究所の電気供給等の研究に使う予定

（それ以外のパネルはなし）

② 工場（ワークショップ）

作業員は7名、旋盤、溶接等の設備・技術あり

③ その他の設備はパソコン2台程度である。

(5) 世銀 計画担当官タポ氏（3/25）〔農業グループのみ面会〕

1) 砂漠化防止に関しては、ノルウェーとの協議で、3つのテストプロジェクトを「村落レベル天然資源管理プロジェクト」として行った（クチャラ、カジョロ、ジェンネの3地区）。次の段階としてこの成果を148カ村に敷衍するプロジェクトを予定している。

2) マリ国の「砂漠化防止計画」は、開発の大枠を示したものであり、個別の具体的なプロジェクトは含まれていない。その中には幅50kmの「緑のバリア」を造ることもうたわれているが、各援助機関とも実現性のあるものとは考えていない。世銀としては村落レベルの協力を重点を置いている。また太陽光発電については維持管理の難しさもあり、世銀プロジェクトにおける井戸はその全てが人力または畜力利用によるものである。

(6) FAO 次席代表リサ氏他（3/25）〔農業グループのみ面会〕

1) マリ国の農業に関しては、最近UNDPの資金により「農業開発M/P」（内容的には開発基本構想を示すにとどまるもの）を作成したので参考にしてほしい。その中では、①食糧安全保障への貢献、②農業・牧畜・流通等を含む総合的開発の必要性、③村落住

民による自主的管理の必要性等が重視されている。

- 2) ナラ地区の農業開発に関しては、①砂漠化の進行、②牧畜の移動、③自給自足するに足るだけの水資源の不足が挙げられる。開発に当たっては、農業、牧畜、植林、天水の有効利用等を総合的に考えていくことが必要。特に牧畜から草地を守ることが重要である。太陽光発電に関しては、井戸の深度に比例して、維持管理コストが上昇する懸念があり、今のところ、飲料水としては可であるが、農業用としてはコストの点から不適と考えている。
- 3) 日本側が協力を行うに当たって、FAOとの協調を行う考えがあれば、当方としては歓迎する。

(7) UNDP 代表ジテラ氏他 (3/25) [農業グループのみ面会]

- 1) UNDPは「農業開発M/P」の一部として、全国を対象とした水資源調査を行ったので参考にしてほしい。
- 2) 当国においては、地下水利用の灌漑の例はまれである。
- 3) 農業開発を行うに当たっては、牧畜への配慮も必要。
- 4) ナラ地区の地下水賦存量については、上記水資源調査を行ったシモノ氏(鉱業・水利・エネルギー省水利・エネルギー局専門家)の持つ情報が有用。

(8) 計画・国際協力省国際協力局局长 トラオレ氏 (3/25) [農業グループのみ面会]

- 1) マリ国においては、国の半分で砂漠化が進行しており、そうでないところにおいても砂漠化の兆候が見られる。
- 2) 砂漠化防止は国家の最優先プロジェクトである。
- 3) その手法としては、現在ある天然資源の管理及びその再生が重要であると考えている。
- 4) 「砂漠化防止計画」の中で提唱されている「グリーンベルト」的な開発は実現可能性が薄い。むしろ小規模な拠点を開発単位として、地下水を揚水し、そこを居住可能なものにするといった視点が重要。
- 5) 地下水利用に当たっては、揚水方法と水資源の保全方法が問題となっており、その点についても日本の技術に対し期待している。また調査成果の地元住民への移転にも留意してほしい。

(9) 関係各省・機関との第2回「円卓会議」(3/30)

- 1) (本件調査を実施するとした場合の調査実施機関及び調整機関について)
調査の技術的C/Pは農業・牧畜・環境省及び鉱業・水利・エネルギー省が務める。
関連機関間の調整は計画・国際協力省が行う。

- 2) 調査実施に当たっては必要な数のカウンターパートを任命する用意がある。
- 3) 実証試験を行うとした場合には、土地の利用についてはマリ政府が責任を持って地元
の了解を得るよう手配し、提供する用意がある。
- 4) 実証試験終了後は、試験・普及用施設としてマリ政府が引き継ぐことが可能（他プロ
ジェクトでもそのようにしている）。

(10) 農業省次官 ディアロ氏（3/31）〔農業グループのみ面会〕

- 1) マリ国においては砂漠化の進行が著しく、5年前「砂漠化防止国家計画」を策定した。
- 2) 砂漠化防止プロジェクト実施に当たっては、ただ単に植林を行うだけでなく、デモン
ストレーション的に耕作を行い、周辺の農民を関与させていくことが肝要。またプロジ
ェクトは村単位に行われることが望ましく、そこで採用される技術は村民に利用可能な
ものであることが必要。
- 3) 砂漠化防止は緊急の問題であり、ナラ地区のプロジェクトについてもそこに住民が居
住している間にアクションを起こす必要がある。その意味では、我々としては調査より
も具体的な事業の実施を重視している。

(11) 砂漠化防止対策室室長 ボワレ氏（3/31）〔農業グループのみ面会〕

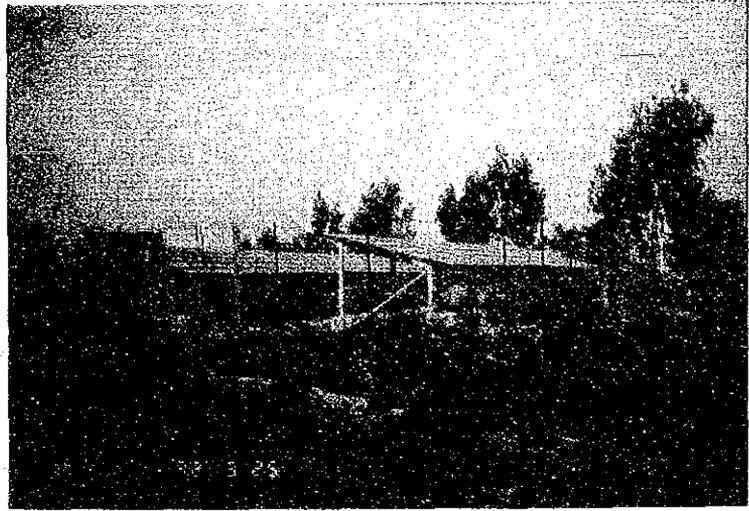
- 1) 「砂漠化防止国家計画」の中では、マリ全国を土壌、植生、水資源賦存量、農耕シス
テムの相違に基づき49の「アグロ・エコロジーゾーン」に分割した。
- 2) 上記計画の中でパイロット・テスト地区として選ばれている6地区はこの「アグロ・
エコロジーゾーン」を代表するものである。
- 3) 当初マリ側で要請していたアンソング・メナカ地区は上記6地区の中に含まれていた
が、治安問題、首都バマコからの距離等もあり、その後ナラ地区に変更された。「アグ
ロ・エコロジーゾーン」の観点よりすればアンソング・メナカ地区とナラ地区の類似性
は薄いですが、現在マリ政府は本計画への支援を幅広く求めており、日本が協力を決定して
くれれば喜んで受け入れたい。事実ノルウェー／世銀以外にも、ドイツ、UNDP等の
協力もこれから開始されようとしており、対象地区も当初のテスト6地区から全国的に
広がってきている。
- 4) ナラ地区は5つの「アグロ・エコロジーゾーン」を含んでおり、民族の多様性、それ
に応じた農耕システムの多様性が顕著な地区である。その意味でナラ地区での調査成果
は、他地区の適用可能性が高いが、調査対象地区の選定は慎重に行われる必要がある。

9. 見学した太陽光システムの概要



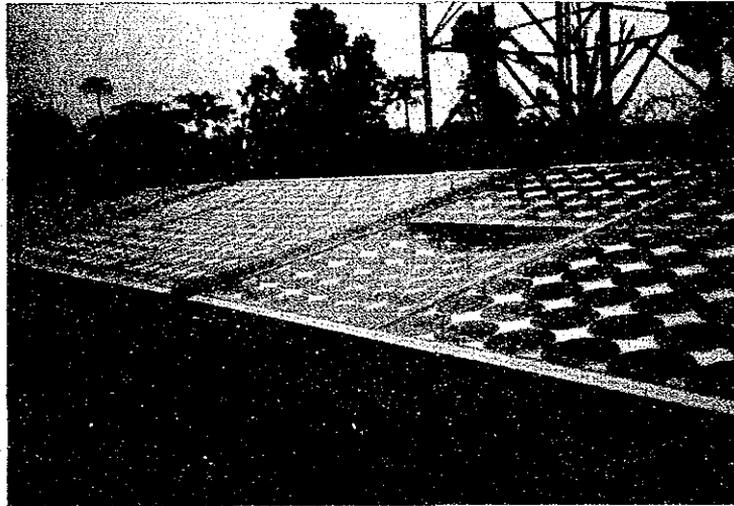
(1) MORIBABOUGOU

- パマコ東方 15 km
- 援助団体 ICSC WORLD LABORATORY
- 設置業者 ITALSOLAR (ITALY)
- 設置時期 1991/7
- 設備、用途
 - 街灯 4基 11W (パネル3枚)
バッテリー 24VOLTS (ソーラー用)
 - 照明 学校、病院、モスク、首長の家
- メンテ 1回/6か月 バッテリーに水供給 (なかなか彼らに定着しない)
- 運営状況 現状は街灯等すべて動いている (聞き取りにより)



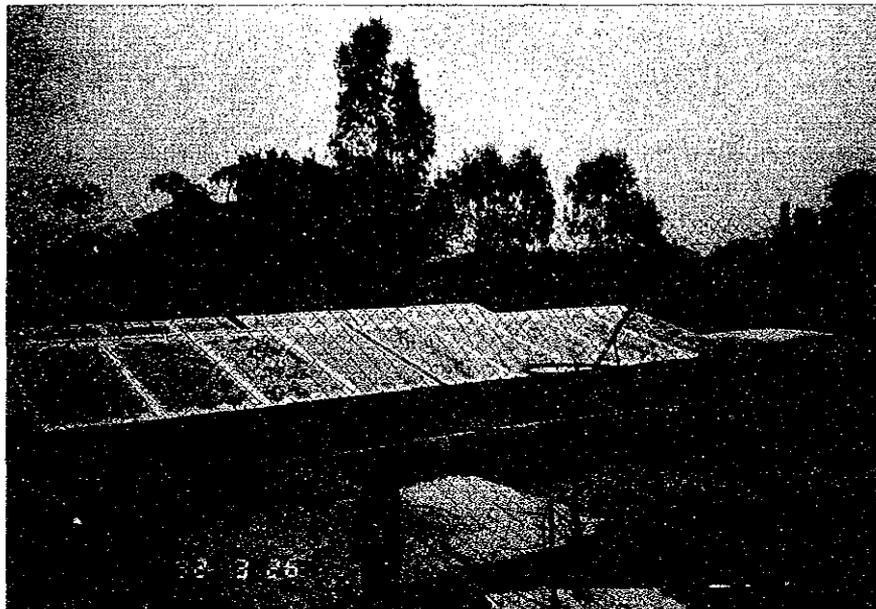
(2) MANABOUGOU

- パマコ東方 40 km
- 援助団体 ICSC WORLD LABORATORY
- 設置業者 ITALSOLAR (ITALY)
- 設置時期 1991/7
- 設備、用途
 - ・ 灌漑用 パネル 60枚×50W/枚=3 kW
 - バッテリー なし
 - ポンプ 1.5 kW/台×2 台 揚水量 約100t/日
 - ニジェル川より取水し、圃場(3.2ha)まで約150m配管・送水
- メンテ 故障あれば太陽研究所に連絡し、修理を依頼する
- 運営状況 ポンプ2台のうち1台が故障中、かなり頻繁に故障するとのこと



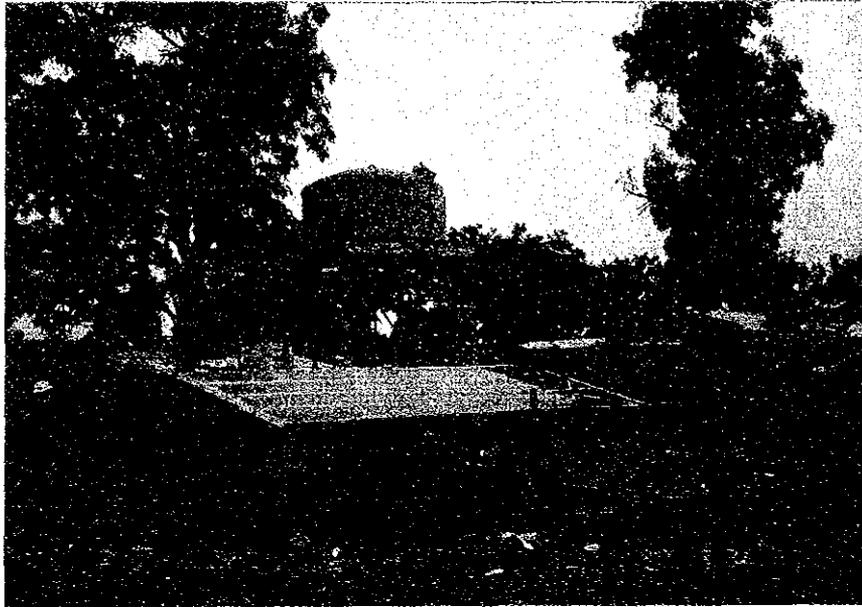
(3) NOSSOMBOUGOU

- パマコ北方 60 km
- 援助団体 ヨーロッパ開発基金
- 設置業者 不明
- 設置時期 1983年
- 設備、用途
 - 灌漑用 PVシステム 3.89kW(France Photon社製パネル)
 - ポンプ 3kW(ALTA-X, France)揚水量 110t/日
 - 地下水面 -24m
 - タンク 30m³(若干の漏水あり)
- メンテ 交換部品は在庫少々あり、なくなればポンプ交換を要する
モーターの軸に問題あり、村には技術者は居らず、月に1回政府機関が巡回する。
- 運営状況 村民で構成する水の委員会があり、受益者は使用料金を支払う
 - 灌漑用 10,000~15,000CFAF/区画/年
 - 飲料用 500CFAF/世帯/年
 - 牧蓄用 25CFAF/牛1頭



(4) TIORIBOUGOU

- バマコ北方 約100km
 - 援助団体 ヨーロッパ開発基金
 - 設置業者 不明
 - 設置時期 1984年
 - 設備、用途
 - 用途.....飲料、灌漑
 - 設備.....パネル 18枚×66W⇔1kW
 - ポンプ 500W 揚水量 22t/日 グルンドフォス(オランダ製)
 - タンク
- 稼働中ではあるが、セルの中に水分が入り、劣化を生じている



(5) KOLOKANI

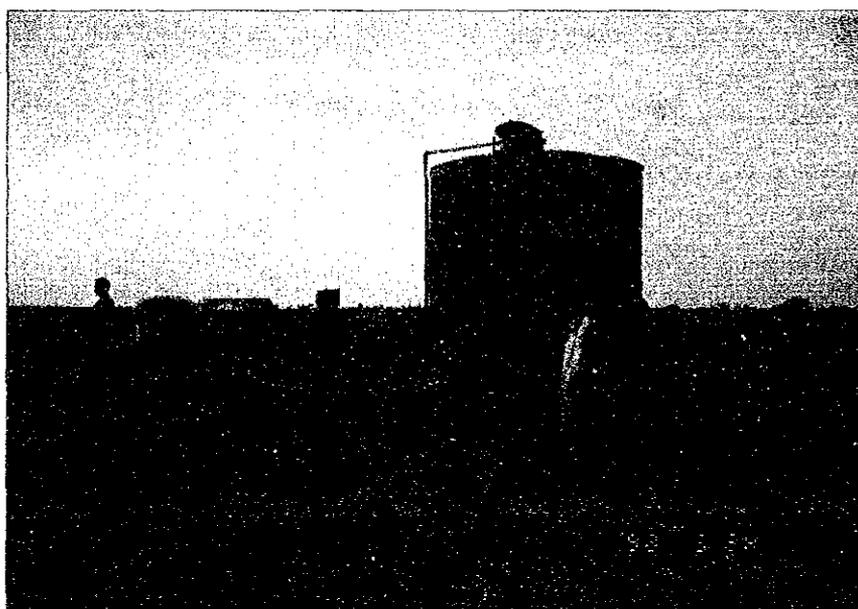
- パマコ北方 約130km
- 援助団体 不明
- 設置業者 TOTAL (フランス石油会社)
- 設置時期 1987年
- 設備、用途

設備.....パネル 32枚×40W=1.28kW

ポンプ

タンク 10m³地上式

稼働停止中

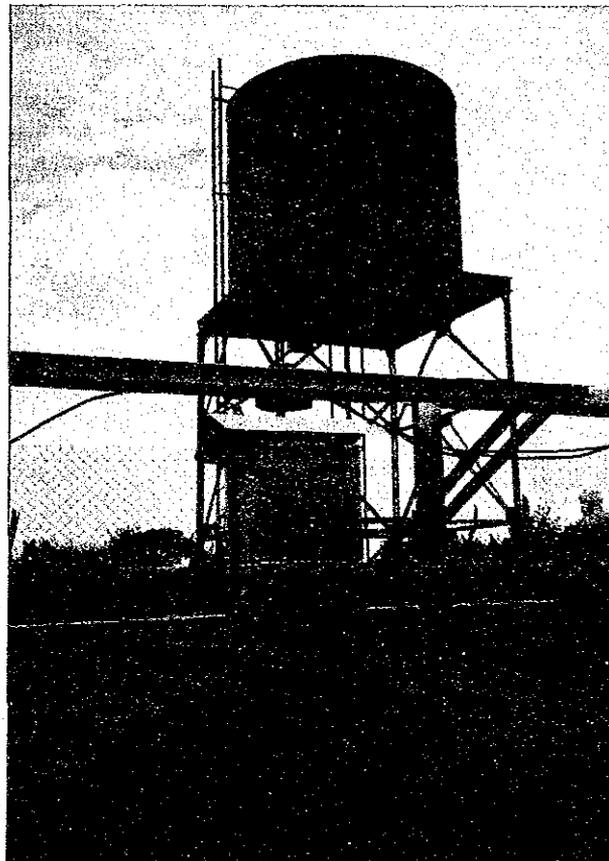
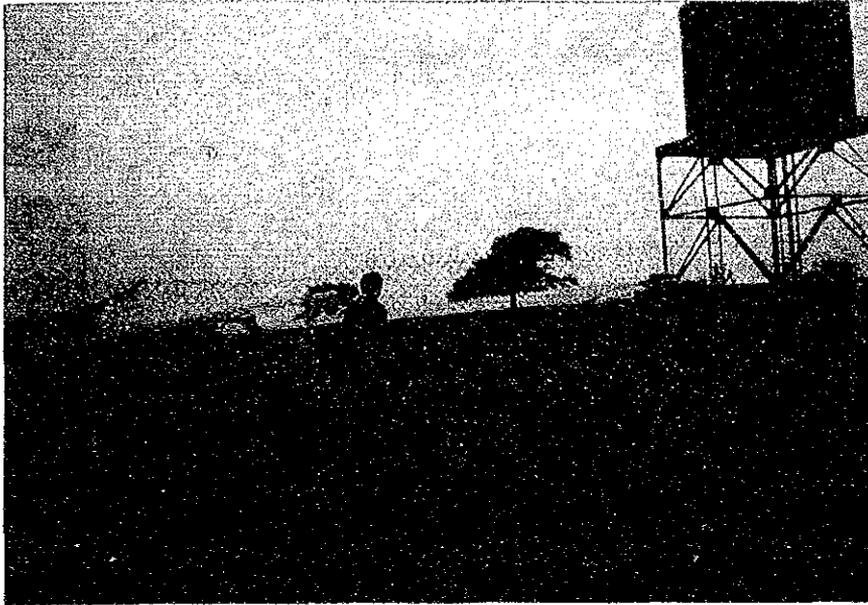


(7) DILLY

- バマコ北方 約320km
- 援助団体 USAID
- 設置業者 不明
- 設置時期 1981年
- 設備、用途
 - 設 備……パネル France Photon 18 枚、約1.5kW
 - ポンプ ALTA-X
 - タンク

メンテ……ポンプが故障中、パネル表面樹脂劣化

運 営……ディリ部落の共同体が運営し、以前は資金を持っていたが、現在はなし
故障中なので、部落にある在来の井戸でまかなっている



(8) MADINA KAGORO

- ・バマコ北方 約230km
- ・援助団体 フランス
- ・設置業者 不明
- ・設置時期 1984年
- ・設備、用途
 - ・用途……主に畑用
 - ・設備……パネル France Photon 18枚×200W≒3.6kW
 - ポンプ ALTA-X
 - タンク 10m³ 地上式
- ・メンテ……水利・エネルギー局が技術を担当
- ・運営……順調に稼動中

Ⅱ 電力事情

1. 電力担当機関

マリ共和国の電力事情については、主に質問書の回答、聴取、既存資料等をもとに記述するが、詳細については、不明な箇所が多い。

(1) 電力政策機関

マリ国における電力の政策部門は、鉱業・水利・エネルギー省 (MMHE : Ministère des Mines de l'Hydraulique et de l'Energie) 水利・エネルギー局 (DNHE : Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie) が担当している。水利・エネルギー局は、水資源及びエネルギーに関する政策事項を策定、実施し、特に、

- ① 国の水資源に関する詳細な検討、調査
 - ② 地表水、地下水の利用と開発のコントロール、追跡調査
 - ③ 水資源管理の確実化
- を推進している。

(2) 電力事業機関

マリ国における電力の事業部門は、マリ・エネルギー公社 (BDM: Energie du Mali) の担当である。マリ・エネルギー公社は、1961年に設立された政府認可の半官半民の組織で、主に、

- ① 電力事業：電力の開発、配電、供給
- ② 特に首都や大都市における上水道（飲料水）システムの構築、運営を行っている。

2. 電力・エネルギー政策

マリ国における電力・エネルギー政策に関しては、1988年に策定されたマリ国電力基本計画（1988年～1997年）がある。その枠組みは次のとおりである。

(1) エネルギー政策

- ① 水力発電エネルギーの開発
- ② 薪の他エネルギーへの代替（バイオガス、ブタンガス、太陽エネルギー、等）
- ③ 改良炉の家庭での使用

(2) 電化政策

- ① 水力発電所の建設
- ② 送電網で連系されない地域での火力発電所の建設

3. 電力事情

(1) エネルギー消費

マリ国のエネルギー種類別の消費量を表 2-1 に示す。

表 2-1 マリ共和国の消費エネルギー

種類	消費量	割合 (%)	主たる用途
石炭	11	0.5	家庭(11)
薪	2,113	92.3	家庭(2,092)、工業(21)
電力	29	1.3	工業(15)、家庭(14)
石油	124	5.4	運輸(99)、家庭(12)、工業(9)
その他	12	0.5	工業(12)
計	2,289	100.0	

(1982、石油換算：千トン)

マリ国において、エネルギー全体に占める薪の消費量は圧倒的に多く、その大半は家庭で使われている。マリ国における薪使用量（1982年）は年間6,709トンであるのに対し、年間生産量は2,685トンであり、その不足量は4,024トンにも達している。これは、植林計画による生産量が消費に追いつかず、長期的に薪に依存し、砂漠化の進行に拍車をかけることを意味する。

また、石油については、世界でも有数の低消費国であるにもかかわらず、すべてを輸入しているため、国家財政を圧迫している。

(2) 電力供給の現状

薪、石油の消費量を抑制するため、電力は水力発電に頼らざるを得ない。電力供給の主体は、ニジェール川及びセネガル川に建設された水力発電所で、これらにより全供給量の90%以上を賄っている。水力発電の年間発電電力量は225GWhであり、1990年頃までは水力発電のみの供給可能であったが、需要がピークとなる4～6月は河川水量が最も低下する乾期に相当するため、現在はこの時期のピークカットとして火力発電（ディーゼル）が利用されている。

(3) バマコ周辺の配電システム

バマコ配電システム（バマコ、カティ、クリコロ配電網）の電力需要は、1990年まではセリンゲ（ニジェール川バマコの上流）、ソツバ（同下流）の両発電所によって賄われ、ダルサラム（バマコ市内）火力発電所は単なる予備設備と考えられていた。しかし、配電網内の電力需要が増大し、その最盛期の需要は満たされなくなって、ダルサラム火力発電所により埋め合わされている。

これら3発電所の設備能力を表2-2に示す。

表 2 - 2 バマコ周辺の主要発電所設備能力

発電所名	種類	設備能力 (MW)	発 電 量(GWh)		
			年平均	乾 期	雨 期
セリンゲ	水力	44	194.73 (100%)	76.41 (61%)	118.32 (39%)
ソツバ	水力	5.7	39.42 (100%)	21.16 (54%)	18.26 (46%)
ダルサラム	火力	24.8	25.48	—	—

マリ・エネルギー公社のその他の内陸の火力発電所は、合計で10カ所あり、その設備能力は合計7.6MW、年間発電量は計約20GWhである。

なお、ダルサラムの電力生産コスト（人件費、補修部品費、管理費除く）は46.8CFAP/kWh、10火力発電所の平均コストは60.3CFAP/kWh、これに対し平均販売価格は約58CFAP/kWhである（1CFAP=0.5円）。

4. 電力増強計画

(1) 電力需要予測

1990年～2005年までの電力需要予測では、現在の水力発電生産設備が首都配電網を満たすには不十分であることは明らかとなっている。特に上半期（乾期）の電力供給不足は解消できない。ダルサラム発電所の発電能力は、既にセリンゲ、ソツバ発電所の能力不足を埋め合わせるには小さすぎる。このため、早急に新しい電力開発を進める必要がある。

(2) 電力増強の基本

電力基本計画において検討された電力増強に関する結果は、次のように概略まとめられる。

- ① 2000年までの電力需要を満たすための可能な選択肢の検討
- ② 発電、送電、配電各設備を発展させる最適ステップの決定
- ③ 今後10年間の必要な投資額の見積り

ここでは、経済的解決のため水力発電の潜在能力の活用を優先し、火力発電はピーク時対応としてディーゼル発電を考慮することとし、水力発電の配電網から供給されない地方については、火力発電でカバーすることとしている。

(3) 電力設備投資計画

具体的な設備計画は、次のとおりである（〔 〕内は投資額見積り：CFAP）。

- ① 水力発電所の建設

マナントリ[300億]、フェルー[600億]、トセイ[210億]、ケニエ[750億]

② 水力発電所の強化

シカツ、ソツバ、マルカラ、クルバ

③ 火力発電所の設備改修と拡張

④ 送電網の拡充

マナントリ・バマコ、マナントリ・カイ [計 195億]、バマコ・セグー[105億]

(4) セネガル川開発計画

1980年にセリングダムが完成し、バマコに44MWの電力が供給されるようになった。その後、セネガル川開発計画によるマナントリダムの水力発電量800GWhのうち、当初予定ではマリ国の取り分52%が1988年から供給されることになっていたが、送電線の建設ルートをめぐる関係国の意見調整が遅れたため、現在マリ国への供給はなされていない。

電力需要予測では、バマコ配電網は、セリング、ソツバ、ダルサラムの3発電所のみでは完全に能力不足としており、1996年までにマナントリ発電所(40MW×2)稼働開始とすべく、マリ政府は真剣に取り組むこととしている。これに伴い、マナントリ・バマコ間の送電網に対しても投資が必要となる。

Ⅲ 太陽光発電・揚水システム

1. 太陽光発電の位置付け

内陸国で石油などの化石燃料系エネルギー資源が少なく、広い国土に集落が点在しているこの国では、エネルギー消費（我国の20分の1程度）の大部分（90%以上）を薪が占めており（ECFA報告書^{注1}）、これを他の熱源（バイオガス、ブタンガス、太陽エネルギー等）で代替することが国のエネルギー政策として掲げられている。つまり、この国のエネルギー消費形態は家庭の調理用などの熱需要が主であると言え、輸送用や産業用等でのエネルギー需要はまだ少ない。電力は照明や産業用・情報用として期待されているが、発電電力量の不足や送配電網の整備が遅れているため、水力発電や火力（ディーゼル）発電等によってかろうじて首都などの大都市に供給されているのが現状であると思われる。従って、エネルギーとしてカウントされない人力や畜力が輸送や産業用として重要な位置を占めていると思われる。

産業や商業が充分発達していないため電力消費はまだ少ないが、今後は工業化や送配電網の整備、生活水準の向上などで需要が増大するであろう。しかし、大都市や工場用等の電力需要の大きいところには水力発電や火力発電（水力発電による電力の送電線が完成するまでの過渡期に使用される）の開発が進められているが、需要の少ない（照明やラジオ、テレビ程度の）小都市や地方の集落では、太陽光発電や風力発電等の大規模な送配電網の整備を必要としない自然エネルギーの有効利用が分散型ローカルエネルギー源として重要な位置を占めるであろう。

マリ国内に於ける太陽光発電揚水システムは約15年ほど前から外国の援助によって設置が始まっている。設置数は現在では200カ所以上にもなっていると思われるが、維持・管理にまでは援助が付くことは少ないため、ポンプなどの故障に対しては迅速な対処が困難で、そのまま放置されている所も多い。しかも、初期のポンプは故障が多く、それを太陽光発電揚水システムの問題、つまり太陽電池システムは故障が多いと誤解されてきた。しかし、事実は太陽電池パネルの故障は少なく、剝離や割れ等があっても一応の出力は得られており、ポンプの維持・管理が充分であれば太陽光発電揚水システムは20年以上の期間にわたって運転することが可能である。

太陽光発電はその多くが外国の援助による揚水ポンプの電源として用いられてきたが、徐々に夜間照明や病院の電化等に適用するための実験が始められている。高価な太陽電池モジュール等は外国の援助に頼る事とし、マリ国内で生産される自動車用バッテリーと組み合わせたシステムの開発（援助によるシステムは外国製のバッテリーが使われているので、その交換品として国産品を使う）を検討している。しかし、電子機器工業が未発達のため充放電制御器やインバーター等の大部分も外国の援助に頼らざるを得ないようである。

注1 海外コンサルティング企業協会「アフリカ サブ・サヘル地域（ニジェール国・マリ国）グリーンベルトプロジェクト調査報告書」平成元年9月

2. 太陽光発電関係部署

鉱業・水利・エネルギー省 (MMHE) の水利・エネルギー局 (DNHE) には太陽光・再利用可能エネルギー研究所 (CNESOLER、以前は太陽エネルギー研究所: LESO) があり、太陽熱利用や太陽光発電、風力、バイオガス等の研究・開発・調査・据え付け・メンテナンス等を行っている。所内には電気機器の測定・調節・修理等の作業室兼実験室や溶接器・旋盤・フライス盤・板金工作機械・ボール盤等を備えた簡単な工作所があり、太陽電池を用いた冷蔵庫システムの開発や、自動車等の部品の転用と鉄板・鋼材を用いた風車の製作、ガラス・木板を用いた太陽熱温水器や太陽熱利用の肉・果物乾燥器と蒸留水製造器等の製作等が行われている。太陽光発電設備は最近イタリアからの援助による約10kWp 程度のパネルが敷地内や屋上に置いてあり、特性設定やシステム構成試験 (バッテリーに接続して夜間照明に使用する) などを行う予定である。所員は約50名で、太陽エネルギー関係は技術者が2人と技能者が3名で、その他に作業員や事務員がいる。

「太陽光・再利用可能エネルギー研究所の主な調査・試験・研究テーマとして

1. インバーターの製作
2. 照明のための適正なシステムの開発
3. インバーターを備えた照明システムの研究と組立
4. 太陽光発電ポンプシステムの研究・設置およびアフターケア、地方郡部での製粉機のプロトタイプの研究。
5. 太陽光発電によるポンプ運転、照明・冷蔵システムの地方導入(37kWp) とその管理および技術-社会-経済的評価。
6. 研究所に太陽光としてシステムを試験台として設置し、15kWp の従来型の機器にAC220Vを継続的に供給する。

との回答が得られた。」

風力やバイオガスの項が抜けているが、研究所の改編が最近であり、まだ本格的には動き始めていないのであろう。

組織図にはないが、水利・エネルギー局 (DNHE) の中には太陽光機器メンテナンス部 (CEES) があり、据え付けやメンテナンスを専門に行っている。この組織は仏の資金で1987年に創設され、マリアクアビバの大部分の仕事を引き継いでおり、今はDNHEの下部組織として活動しているようである (it Power Ltd. のレポート^{注2}、CNESOLERのDiarra氏の説明によると同局エネルギー部省エネルギー課にて現在はマリアクアビバと共同で設置、メンテナンスを行っているとの事である)。

注2 「Evaluation of Photovoltaic-Powered Water Supply Systems in Mali for Meridian Corporation」
December 1989

これら両者の人員で国内にある200カ所にも及ぶ太陽光発電揚水システムの点検修理を行っているようであり、遠い地方のシステムの保守・点検・維持・管理には難しい面もある。

西アフリカ国家共同体（CEAO）の中の西アフリカ太陽エネルギーセンター（CRESS）がマリ国の首都バマコにある。ここは、再生可能エネルギー（太陽光・バイオマス・風力・小水力）や省エネルギーに関する教育や開発計画の推進・調査研究・資金計画・各種資料や情報の収集等に関して各国の関係機関と情報交換を行う組織である。CEAOにはこの他、サヘル干ばつ対策センター（CILSS）等の組織があり、他の国々にこれらの施設が設置されているとの事である。

3. 主要太陽光プロジェクト

（質問書に対する解答をまとめたが、これ以上の情報は得ていない。実行中のプロジェクトについては何も情報がなかった。）

稼働中 サン病院PV発電所、ディレ病院PV発電所（表参照）

実行中 バマコPV発電所、FEDの機器開発

計画 製粉機の開発、地方の発電所（表参照）

表 (稼働中)

プロジェクト名	サンP V発電所	ディレP V発電所
用途	病院 (照明、空調、手術用電気機器、給水)	病院 (詳細不明)
構成システム 太陽電池 (kWp) インバーター バッテリー (AH) 充放電レギュレータ 水中ポンプ	10 5kVA、1kVA AC117/220V (周波数不明) 500×60個 1台 20m ³ /day	12 AC110/220V (周波数不明) 700
設備工事費 (CFAP)	3千万	3千万
設置年	1979年	1990年
協力機関	FAC (仏) (注3) 参照	AIFO (伊)
内容	援助と国際協力	衛生分野協力
マリ側窓口	厚生省	厚生省
管理	病院	病院
稼働状況	良好	良好
問題点	補修部品	---
管理資金	病院の運転資金	病院の運転資金
国家補助	無し	無し

(注3) MALI AQUA VIVAの報告書 (1987年、No.8) によればCOMES(後のAFME) が資金を出したと記されている。用途や構成システムの内容は同書も参考にした。

表 (計画)

プロジェクト名	製粉機システムの プロトタイプの開発	河岸地域への太陽光発電 システムの導入とアフター ケア体制の研究
担当機関	MMHE CRES CNESOLER	MMHE CNESOLER
受益者	CEAO/CILSS	1, 2, 4, 5, 6, 7 地域の河岸都 市 (セネガル川, ニジェール 川)
設備費	6万\$	163,334 CFAF
総費用	17.2万\$	33万\$
海外協力機関	CEAO特別基金	日本との国際協力

4. 太陽光発電プロジェクトの現地調査結果

No	調査サイト	システム 内容	運開年	稼働状況	CORECTの 表の番号
1	MORIBABOUGOU	街灯(B, I)	9 1	運転中	--
2	MANABOUGOU	川揚水(I, C)	9 1	"	--
3	NOSSOMBOUGOU	井戸揚水(D)	8 4	"	21
4	TIORIBOUGOU	" (I, P)	8 3	"	24
5	KOLOKANI Hospital	" (I, P)	8 7	モーター故障	17
6	GOUMBOU	" (I, P)	8 6	運転中	34
7	DILLY Diawara	" (D)	8 1	モーター故障	33
8	MADINA KAGORO	" (I, P)	8 4	運転中	36

B: バッテリー, I: インバーター, C: 遠心ポンプ, P: 交流水中ポンプ, D: 直流モーター駆動水中ポンプ

No	モジュール メーカー	出力 kWp	ポンプ メーカー	流量 m ³ /day	揚程 m	出資者
1	Ital solar	0.011x?	(不明)	蛍光灯x?基		ICSC
2	"	3.8x3	Caprari	100	--	ICSC
3	FRANCE PHOTON	3.9	Guinard	120	24	FED
4	PHOTOWATT	1.1	Grundfos	23	29	FED
5	"	0.53	Total	--	--	FED
6	ARCO Power	1.12	Grundfos	--	--	MAV/CEES
7	FRANCE PHOTON	1.73	Guinard	63	25	USAID/PRODESO
8	"	3.89	----(注)	80	--	FED

表中のデータはCORECTの報告書からも抽出してある。?は3以上。

[ポンプの種類]

Caprari : 遠心ポンプ (伊)

Guinard : 地上の直流モーターから長い軸で水中の多段ポンプを駆動する

Grundfos : 交流モーター直結式水中ポンプ (オランダ)

Total : 水中ポンプ (仏石油会社)

(注) 当初FEDの資金によりGuinardのポンプを設置していたが、1992年1月に水中ポンプと交換した。ポンプメーカー名や出資者名、性能は聞き漏らしたがポンプはおそらくGrundfosであろう。

[所見]

太陽電池モジュールは10年程度の古い製品では特性に多少の劣化が認められるものの充分機能しているように見受けられた。セルは単結晶および多結晶タイプがほとんどである。受光側表面が普通ガラスのモジュールは投石（と説明された）による割れや湾曲を生じているシステム（3）があり、接着充填樹脂が劣化してセルと表面ガラスが剝離しているモジュール（4）もあった。また、受光側が樹脂製パネルのモジュールは虫による食痕や投石による傷が見受けられた（7）。パネルは週一回程度の周期で清掃しているとの事であったがいずれもうっすらと砂塵が付着していた。しかし、揚水システムとしてはポンプさえ故障していなければ、これらの障害にもかかわらずポンプが駆動できる状態であった。しかも、最近のモジュールはこれらの障害に対応できる（受光側表面は強化ガラス製、接着充填樹脂は耐候性が向上）規格で製造・管理されているので問題はないであろう。砂塵の表面への付着は思ったほどではなく（定期的に払拭しているため、ポンプ故障で6ヶ月程放置されていたシステムではうっすらと付いていた（5, 7）が、乾燥しているので風で吹き飛ばされほとんど堆積しないようである）、モジュール枠や架台も錆や腐食はほとんど見られなかった。揚水管などの配管も金属製から腐食の少ないプラスチック製に変更されつつあり、保守・点検が容易となり耐久性も増した。

運転中のシステムは金網や日干し煉瓦の柵に囲まれ、モジュール表面の清掃や周囲の除木草程度の保守・管理はなされているようである。一部のシステムには井戸の水位計（4）や雨量計と風速計（8）が付設されていたが、どのようなシステムにどのような目的で設置され、データが記録され、どの程度役に立っているかは聞き漏らした。また、ポンプが故障してもそのまま放置され（7）、さらに金網が破壊されている所（5）もあったが、モジュールは健全のように見受けられた。上記の表には記載されていないが（1）の近くに同じ仕様の街灯システムがあったが、保守をしていないので点灯しないとの事であった。これは、バッテリーに充放電制御器を付けなかったため電解液の消耗が多く寿命が早くきたのではないかと考えられる。（1）のシステムは国産のバッテリーと交換したとのことであった。

気象データに関しては、主要都市の日照時間や気温・風速・雲量・降水量・湿度等が入手できた（1980～1987年分、それ以降最近までのデータが入手できれば一応10年以上の経時データとなる）が、日射量や砂嵐の状況（継続時間・風向・風速・飛砂の程度等）、日射スペクトルが不明である。ましてや、実際に設置されている太陽電池モジュールの出力や設置場所の気象データ等の経時特性は無く、数ヶ所のシステムで特定日時の特徴が測定されているのみである。いくつかのシステムではモジュールの何枚かが接続されていない（3）か、または外されている（5, 6, 8）ように見えた。これは設置場所の日射量データがないため、近くの主要都市の日照データから求めた推測値に砂塵等による減衰を考慮した結果、太陽電池出力が少な目に見積もられてシステムが設計されてしまい、設置されたポンプやインバータの定格に対して太陽電池の出力が過大となったためであろう。構成機器の定格を最適化し、太陽電池モジュールを過剰に設置しないためにも事前の日射量等のデータの蓄積（長期間経時的に得られると推測が正確になる）が必要である。

5. 揚水システムの現状

主要な都市には水道があり、送電線もしくはディーゼル発電による電力でポンプを運転し給水されているようである。ナラ市にはディーゼル発電による給水施設があるが、ポンプや発電機の故障、燃料不足等のため断水が多く、従来型の井戸の使われる頻度が高いとの事であった。この従来型の井戸は大部分が開水面型でコンクリート巻立の共同井戸や、丸太枠組の個人用井戸などである。また、1977年頃からNGO資金により Mali Aqua Viva (MAV) によって設置され始めた太陽光発電揚水システムや、外部からの援助による機械ポンプ（電動の場合太陽光発電もしくはディーゼル発電）揚水システムがある。それらに使われる井戸（個人用を含まない）はマリ国全体で約15,000ヶ所あって、この中にはディーゼルポンプ揚水の約2,000ヶ所や太陽光発電揚水の157ヶ所（1989年11月現在、CORRECT報告書、表には154ヶ所）があり、この他にも手動式や足踏式の所が多数あるようだが、残りの大部分は開水面型である。

コンクリート巻立の開水面型井戸や機械ポンプ（電動式、エンジン式、手動式）の設置された井戸は、国もしくは外国からの援助によるもので共用施設として利用されている。個人（家族）用の井戸は丸太擁壁の小規模なものである。機械ポンプの設置されていない井戸ではゴム製のバケツ等に紐をつけて汲み上げる、いわゆる手釣瓶方式で人力が頼りである（畜力を使っているところもあるらしいが、今回の調査では見かけなかった）。人力に頼る井戸はせいぜい20m（畜力でも40m）程度の深さが限界のようであるが、電動式は100m程度でも可能である。ただし、あまり深くなると水中ポンプの保守・点検は大変となり費用も多くかかる。機械ポンプの保守・点検費用のために料金を徴集して貯めておく係（金庫と呼ばれている管理人）や料金の基準、集金方法などを決めているようであるが、ポンプなどの本体を交換することは無理との事であった（集めた資金の管理が問題であるとの指摘もあった）。開水面型の井戸の水は少し濁っていたが、これは有機物や砂塵等が混入しているためと思われる。機械ポンプで汲み上げた水は井戸に蓋がしてあるためか、比較的きれいに見えた。

太陽光発電揚水の初期のシステムは直流モーターを地上に設置し、長い軸で地上から水中にあるポンプ部分を駆動している。直流モーターのブラシ交換や水密シールの点検・交換は地上で出来るものの、連結軸の軸受けの点検・交換、ポンプの点検等はポンプ全体を吊り出さなければならず、作業が大掛かりとなって人力では難しく機械力の無い地域では大変であり、資金も多く必要であり故障も多かった。そのため、ポンプの故障はよく放置され、他からの資金援助等がなければ改修されない。最近のシステムは交流の水中ポンプを用いており、このようなポンプは汎用品として世界中で使用され信頼性や長期使用の実績がある。モーターとポンプ間の長い連結軸がないため故障も少なく、保守・点検は容易で人力で吊り出しが可能である。また、太陽光発電による直流を交流に変換するインバータもポンプ専用として開発されており、長期無人・無保守運転が可能となっている。太陽光発電揚水システムはCORRECTの調査では約30,000時間（3.5年弱）の平均無故障期

間が得られている。交流の水中ポンプだけで検討すればさらに長い無故障期間が得られるであろう。最近外部からの援助によって直流モーター方式のポンプが新しい交流式水中ポンプに次第に置き換えられている。また、前節の表で(2)の3台のポンプの内の1台は止まっていた。このシステムは川の水を吸い上げているため、フィルターが目詰まりをした、フィルターの損傷で異物を吸い込んだ、軸受けの不良(モーターとの回転軸の接続に可撓継手を使用していない)等が原因(解析していないので特定できない)でポンプに異常が生じ、モーターが過負荷となったようである。このようなシステムの場合、フィルターの清掃を含めたシステムの保守・点検作業とともに、回転軸の可撓継手による接続やモーターの制御器に過負荷保護回路(普通は付いている?)の付加等の初期設計時点での注意が必要であろう。

手動ポンプ揚水システムも使用可能な所と壊れて(保守をしていない?)使えないところがあった。この理由も、太陽光発電揚水システムと同様に、点検・保守のための資金問題が関係しているのであろう。また、理由は聞き漏らしたがハンドルを外して使用を制限しているところがあった。さらに、太陽光発電揚水システムが近くにあると2倍の料金でも手動ポンプは使われないとの事であった。手釣瓶揚水は個人的な用途(家畜の飲用水や家庭菜園的畑の灌水等)に使われているが、水汲みや乾期の農作業は女子供の仕事であり、決定権を持っている男達には揚水方式は水が得られれば何でも良いようであった。しかし、手動式(足踏式も)はいつでも水が得られることや、リザーバタンクを必要としない等の利点はあるものの、労力と時間がかかることや配管による給水には不向きなことなどもあって、太陽光発電揚水システムの便利さが分かるにつれて、このようなシステムの設置が望まれるようになってきた。

ポンプが交流式水中ポンプとなり配管がプラスチック製になるなど、過去の経験から揚水システムの改良が進み、無故障期間の長くなった太陽光発電揚水システムは今後さらに増加するであろう。建設や保守・管理に対する住民の資金的・人的参加と、管理専門機関の充実とそこへの連絡方法の確立などによって、休止期間も減少するであろう。CORECTの報告書^{注4)}によれば、1990年にはマリの Mopti地方へ226台が EBC/CILSSプロジェクトで、Tombouctou地方には19台が UNICEFプロジェクトで設置される予定である。また、GTZ-SEPも100台程度を設置する計画があり、一部は既に設置されているようである。

注4) 「LEARNING from SUCCESS : Photovoltaic-Powered Water Pumping in Mali」

調査期間: May 1989 ~ November 1989

[略語表]

AFME	L'Agence Francaise pour la Maitrise de l'Energie
AIFO	総称不明
CEAO	Communaute des Etats de l'Afrique de l'Ouest マリ, セネガル, モリタニア, ガンビア, キョフ・ベール, キネビリヤウ, チャド, コートジボアール, ブルキナファソ, アナソの仏語圏11ヶ国で構成, 仏, 米, 独, 日, 伊, ベルギー, FED, USAID等から資金援助を得ている
CEES	Cellule d'Entretien des Equipements Solaires
CILSS	Comite Inter-Etats de Lutte contre la Secheresse au Sahel
CNESOLER	Centre National de l'Energie Solaire et des Energies Renouvelables
COMES	総称不明
CORECT	U.S. interagency Committee on Renewable Energy Commerce and Trade
CRES	Centre Regional d'Energie Solaire
DNHE	Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie
ECFA	Engineering Consulting Firms Association 海外コンサルティング企業協会
EEC	European Economic Community
FAC	Fonds d'Aide et de Cooperation
FED	Fonds Europeen de Developpement
GTZ	Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit
ICSC	総称不明
LESO	Laboratoire de l'Energie Solaire
MAV	MALI AQUA VIVA, マリで最初に太陽光発電揚水システムを設置し たNGO団体, Bernard VERSPIEREN 神父が創設, 現在はDNHEの 組織に組み込まれているらしい
MIHE	Ministere de l'Industrie de l'Hydraulique et de l'Energie 産業・水資源・エネルギー省, MMHEの旧名称
MMHE	Ministere de Mines de l'Hydrolique et de l'Energie
PNUD	UNDPの仏語略
PRODESO	Projet de Developpement de l'Elevage au Sahel Occidental
SEP	Special Energy Programme
USAID	United States Agency for International Development
UNICEF	United Nations International Childrens Fund