

No. 02

国際協力事業団  
セネガル共和国 鉱山・エネルギー・水利省  
セネガル共和国 地方電化庁

セネガル共和国  
太陽光利用地方電化実施計画

パイロット・プロジェクト

JICA LIBRARY



J1167785(3)

2002年3月

株式会社コーエイ総合研究所  
財団法人日本エネルギー経済研究所

鉱調資  
JR  
02-088

紙

セネガル共和国

太陽光利用地方電化実施計画

パイロット・プロジェクト

?

}

国際協力事業団

セネガル共和国

セネガル共和国

鉱山・エネルギー・水利省

地方電化庁

セネガル共和国  
太陽光利用地方電化実施計画

パイロット・プロジェクト

2002年3月

株式会社コーエイ総合研究所  
財団法人日本エネルギー経済研究所

換算レート

(2002年2月)

US\$=¥133.74

US\$=7.54 FF

Euro=US\$ 0.87

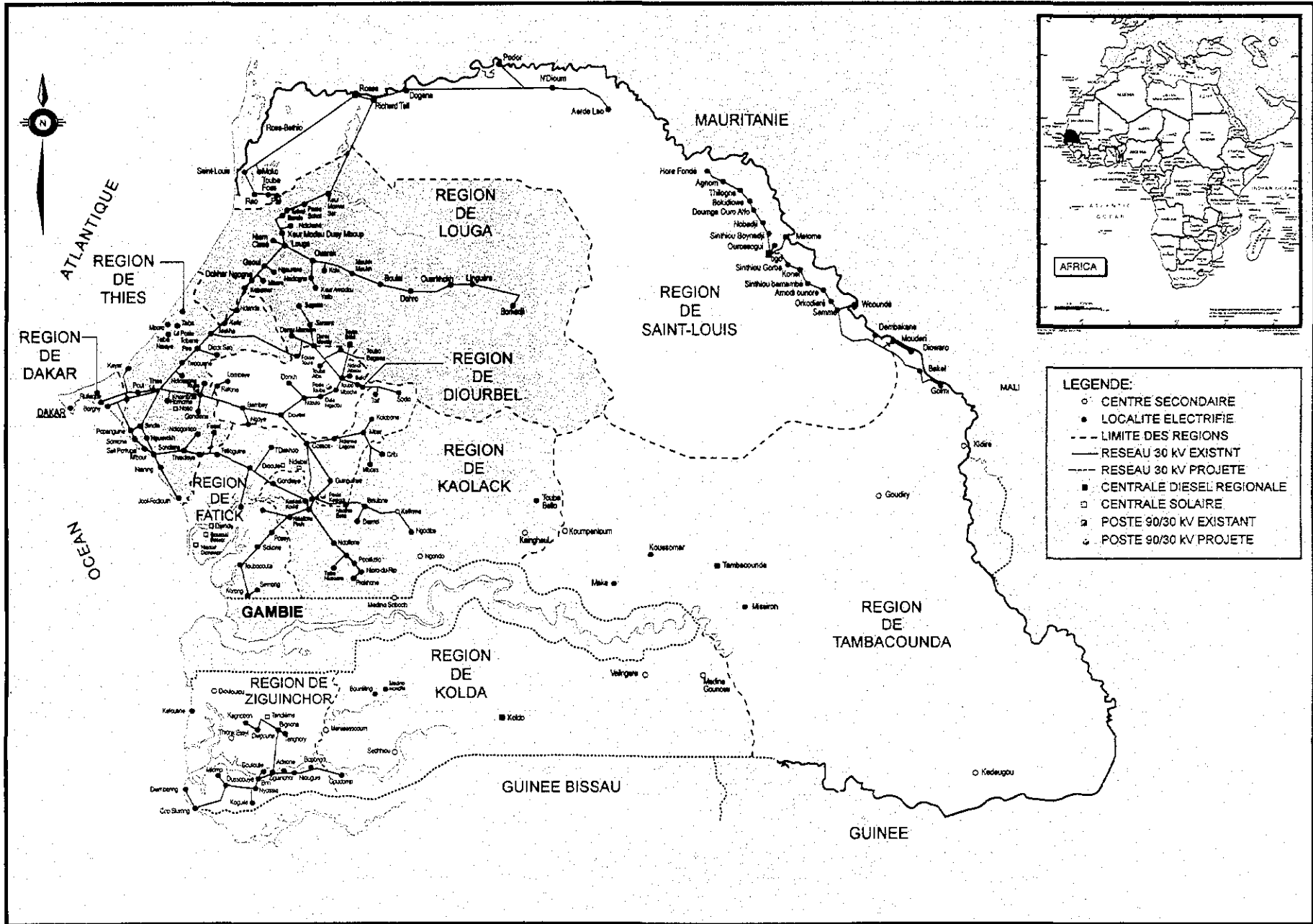
(Euro=6.56 FF)

FF=100 CFA

CFA=¥0.177



1167785{3}



位置図

## 太陽光利用地方電化実施計画

### パイロット・プロジェクト

#### 目次

#### 調査位置図 用語と単位

1.	パイロットプロジェクトの目的	1
1.1	過去のPV電化プロジェクトの問題点	1
1.2	パイロットプロジェクトの目的	1
2.	サイト選定	3
3.	プロジェクトデザインおよび実施スケジュール	6
3.1	パイロットプロジェクトの概要	6
3.2	料金設定	7
3.3	運営・維持管理体制	8
4.	SHS仕様	11
4.1	概要	11
4.2	使用機器サイジング及び選定基準	11
4.3	設置作業仕様(SHS)	27
5.	SHSの入札及び設置	37
5.1	入札	37
5.2	PV機器納入検査	38
5.3	SHSの設置	42
6.	オペレータの選定	68
7.	プロジェクト実施中の問題点および対応策	70

---

8.	セミナー.....	71
8.2	セミナーでの検討議題.....	71
9.	評価.....	80
9.1	パイロットプロジェクトの評価.....	80
9.2	技術評価.....	83
10.	提言・教訓.....	86
10.1	提言.....	86
10.2	教訓.....	86

## 表のリスト

表 2.1	候補サイトの概況.....	4
表 3.1	パイロットプロジェクト評価用 PDM (1/2) .....	88
表 3.1	パイロットプロジェクト評価用 PDM (2/2) .....	89
表 4.1	月間平均気温(1986年 - 1995年 ; 単位: degC).....	90
表 4.2	月間平均日照時間 (1986年 - 1995年; 単位: hour).....	90
表 4.3	月間平均日射量 1995年 (単位: kWh/m <sup>2</sup> /day).....	90
表 4.4	推定日射量 (単位: kWh/m <sup>2</sup> /day).....	90
表 4.5	それぞれのシステムの使用時間例 (単位: hours/day).....	91
表 4.6	GTZ によるシステムの使用時間例.....	91
表 5.1	入札業者の技術評価結果.....	37
表 5.2	入札業者の技術評価結果.....	38
表 5.3	設置作業スケジュール.....	42
表 5.4	チャージコントローラー-負荷間の許容長さ (片道) .....	46
表 5.5	それぞれの機器間のケーブル許容長さ.....	46
表 5.6	期間発電電力及び消費電力 [kWh] .....	60
表 5.7	期間発電電力及び消費電力 [Ah] .....	60
表 5.8	消費電力実績および推定発電電力.....	61
表 5.9	一日平均日射量実績および PV モジュール発電電力.....	61
表 5.10	バッテリー回路効率.....	62
表 5.11	チャージコントローラーの制御電圧値.....	65
表 6	Utilization Hours Example of Systems Proposed by GTZ .....	91
表 7.1	問題点と対応策 .....	92
表 8.1	マル島セミナー出席者リスト (1/3) (Contractors in Mar Lothie) .....	95
表 8.1	マル島セミナー出席者リスト(2/3) (Contractors in Mar Fafaco).....	96
表 8.1	マル島セミナー出席者リスト(3/3) (Contractors in Mar Fafaco).....	97
表 9.1	パイロット・プロジェクト評価結果.....	98

## 図のリスト

図 2.1	候補地の位置 .....	3
図 2.2	パイロット・プロジェクト・サイトの位置図 .....	5
図 5.1	簡易 SHS ダイアグラム .....	45
図 5.2	負荷の配線例 .....	45
図 5.3	配線作業 .....	47
図 5.4	LED ランプの角度修正 .....	48
図 5.5	屋内用機器 (ラジオ用コンセントおよび LED ランプ) .....	48
図 5.6	PV モジュール架台の補強 .....	49
図 5.7	電解液密度と SOC の関係代表例 .....	51
図 5.8	データロガー .....	53
図 5.9	データロガー配置例 .....	54
図 5.10	ピラノメーターおよび温度計 .....	54
図 5.11	ユーザーマニュアル .....	55
図 5.12	データロガーシステムブロック図 .....	57
図 5.13	アイソレーションアンプ外観 .....	57
図 5.14	データ測定点 .....	58
図 5.15	PV 電流の決定 .....	59
図 5.16	電力及び日射量の日々の傾向 .....	63
図 5.17	20 分毎の電力消費傾向の月間平均値 .....	64
図 5.18	20 分毎のバッテリー充放電傾向の月間平均値 .....	66
図 5.19	20 分毎のバッテリー電圧の月間平均値 .....	66
図 5.20	20 分毎の日射の強さの月間平均値 .....	67



## 略 語

AC	: Alternative Current
ADER	: Association Senegalaise pour le Development de l'Electrification Rurale
ASER	: Agence Senegalaise d'Electrification Rurale
BCEAO	: Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CERER	: Centre d'Etudes et Recherches sur les Energies Renouvelables Center of Study and Research on Renewable Energy
CFL	: Compact Fluorescent Light
CMS	: Senegalese Mutual Credit Fund
CNCAS	: Caisse Nationale de Credit Agricole
CNES	: Confederation Nationale des Employeurs du Senegal
CNQP	: Centre National de Qualification Professionnelle
CR	: Communaute Rurale
CRSE	: Commission de Regulation du Secteur de l'Electricite
DAST	: Scientific and Technical Affairs Delegation
DC	: Direct Current
DFI	: Decentralized Financing Institutions
DFS	: Decentralized Financing Systems
D/G	: Diesel Generator
ERIL	: Electrification Rurale d'Initiative Locale
ESCO	: Energy Service Company
FAO	: Food and Agriculture Organization
FEM	: Fonds de l'Environnement Mondial
F/L	: Fluorescent Light
FOPEN	: Federation des Organisations pour la promotion des Energies Nouvelles Federation of Organization for Promotion of New Energy
GDP	: Gross Domestic Product
GIS	: Geographical Information System
GPS	: Geographical Positioning System
GTZ	: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit GmbH
HVD	: High Voltage Disconnection
IDA	: International Development Agency
IEA	: International Energy Association
IPP	: Independent Power Producer

---

ISN	: Institute of Senegal National Standard
LV	: Low Voltage
MMEH	: Ministere des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique
NGO	: Non Governmental Organization
ODA	: Official Development Assistance
OJT	: On the Job Training
O&M	: Operation & Maintenance
PASER	: Plan d'Action Senegalais d'Electrification Rurale
PCM	: Project Cycle Management
PDM	: Project Design Matrix
PLE	: Plan Locale d'Electrification (LEP)
PPER	: Programme Prioritaire d'Electrification Rurale
PPMC	: Pilot Project Management Committee
PTIP	: Programme Triennal d'Investissements
PV	: Photovoltaic
RESCO	: Regional Energy Service Company
ROE	: Return on Equity
SEMIS	: Services de l'Energie en Milieu Sahelien
SFD	: Systemes Financiers Decentralises
SHS	: Solar Home System
SPF	: System Photovoltaique familial
UCAD	: University of Dakar
UNDP	: United nations Development Program
VUA	: Village Users Association
WB	: World Bank
WHO	: World Health Organization

**Unit**

mm	: millimeter
m	: meter
km	: kilometer
El.m	: Elevation in meter
l/s	: liter per second
m/s	: meter per second
m <sup>3</sup> /s	: cubic meter per second

---

mm <sup>2</sup>	:	square millimeter
km <sup>2</sup>	:	square kilometer
mg	:	milligram
ton, t	:	metric ton
V	:	Volt
W	:	Watt
kW	:	kilowatt
MW	:	Megawatt
Wp	:	Watt peak
kWp	:	kilowatt peak
GWh	:	Gigawatt hour
kWh	:	Kilowatt hour
MVA	:	Megavolt ampere
KVA	:	Kilovolt ampere
Ah	:	ampere hour
Hz	:	Hertz
RPM	:	Revolution (revs) per minute
%	:	Percentage

**Currency Unit**

CFA	:	Senegalese Currency
US\$	:	US Dollar
M.US\$	:	Million US Dollar
Euro	:	European Currency
Yen	:	Japanese Currency

## 1. パイロットプロジェクトの目的

### 1.1 過去のPV電化プロジェクトの問題点

セネガルにおけるPV電化は1980年代にフランス、イタリア、スペイン等の海外ドナーの支援により実施された。その中でも代表的なものとして、1987年より開始されたセネガルドイツプロジェクトが挙げられる。

当該プロジェクトでは、SHSはクレジットを利用して販売され、主に農業分野で活動していたアソシエーションが地方での維持管理組織としてプロジェクトに参加していた。

また、SHSはクレジットを利用して販売され、主に農業分野で活動していたアソシエーションが地方での維持管理組織としてプロジェクトに参加した。更に、村人により構成された維持管理委員会がSENELECの協力を得て組織化された。“Plans Directeurs D'électrification Urbane et Rurale”によれば、セネガルドイツプロジェクトにより2,000台以上のSHSが導入されたと推定されている。

1994年のCFA切り下げ以前には、クレジットシステムは活用可能であり、SHSの販売価格もCFA185,000であった。しかし、CFAの切り下げとローン返済状況の低さからクレジットシステムは利用不可能となり、SHSは市場価格のCFA325,000～500,000の一括払いでしか購入できないようになった。

セネガルドイツプロジェクトでは、第3段階においてSHS普及の役割は民間セクターに移行された。その後、セネガルドイツプロジェクトはSHSの規格化に力を入れている。しかしながら、CFAの切り下げに伴うSHSの価格上昇のため、SHSの普及は停滞している。更に、SHSの購入に利用可能なクレジットシステムがほとんど無いこともひとつの原因となっている。過去のPV電化プロジェクトを見ると、SHSの技術的な仕様はほぼ確率している。PV普及に係る主な阻害要因は技術面では無く、機材の運営・維持管理面および財務面にあると考えられる。オペレータとして活動した組織のほとんどが、ローン回収の困難を問題としている。また、ユーザが広範囲に分散していたため、オペレータがSHSを良好な状態に整備できなかったことも問題となっている。

### 1.2 パイロットプロジェクトの目的

過去のプロジェクトで確認されたPV電化に係る問題点を考慮のうえ、主報告書の3章に記載されたPV地方電化実施計画で提案するプロジェクトの実行可能性を確認するためのパイロットプロジェクトを行った。

上述の通り、PV 電化の主な阻害要因は機材の運営・維持管理面および財務面にある。特にユーザが広範囲に点在する状況では、SHS の運営・維持管理は非常に困難である。このような状況より、今回のパイロットプロジェクトでは、SHS の維持管理システムを確立することが最も重要であると判断された。なお、過去のプロジェクトでは SHS の故障を修理できないため、ユーザがローン支払いを拒否したケースも多数見られた。SHS が良好な状態で稼働し続ければ、ユーザの支払い状況も向上すると考えられる。

ここではセネガル政府が提唱する「コンセッション方式」および「電化事業の民営化」も踏まえ、以下の条件の基に SHS の維持管理体制を確立するためのパイロットプロジェクトを行うこととした。

- 維持管理体制に民間業者(オペレータ)を組み入れる
- 限られた地域(1~2 村)を実験対象とし、その中で一定数のユーザにサービスを提供する

## 2. サイト選定

### (1) 候補サイト

本 JICA 調査の事前調査の段階でセネガル政府は、パイロット・プロジェクトの実施候補サイトとして、ファティック州、ティエス州、カオラック州の3か所を提示した。これら3か所の位置は以下の地図に示す通り。

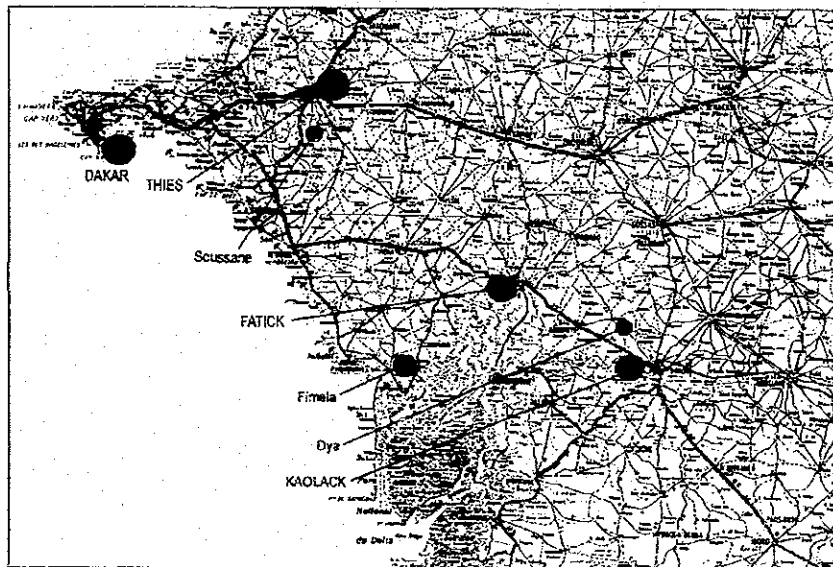


図 2.1 候補地の位置

### (2) 3地区下の社会・経済状況

候補地として挙げられたのは、相対的に人口、面積の大きい村とそれに隣接する小さい村の組み合わせである。これは、村の規模とパイロット・プロジェクトを実施した際の維持管理体制の機能の相関関係を実施を通して確認するためである。

これらの候補サイト村落の概況は以下の通り。

表 2.1 候補サイトの概況

ファティック州			
郡	フィムラ		
村落共同体	フィムラ		
村落	マル・ロッジ	マル・スールー	マル・ファファコ
人口	1,550 (1999)	886 (1999)	2,172 (1999)
Concessions の数*	197	39	186
グリッドからの距離	3 km	5 km	6 km
経済活動	農業、牧畜、漁業、 仕送り	農業、牧畜、漁業、 仕送り	農業、牧畜、漁業、 仕送り
既存 SHS の数			11
ティエス州			
郡	ンゴエコ	フィッセル	
村落共同体	マリクンダ	ンディアガニャオ	
村落	ブーレン	スッサン	
人口			
Concessions の数*	53		12
グリッドからの距離			
経済活動	農業、牧畜、漁業、		農業、牧畜
既存 SHS の数			
カオラック			
郡	サバスール		
村落共同体	ディア		
村落	ディア	ンゴティ	
人口	785	1,550	
Concessions の数*	67	34	
グリッドからの距離	7 km	N.A.	
経済活動	農業、牧畜	農業、牧畜	
既存 SHS の数	SHS 1 台 自家発電 1 台		

\* Concession とは、複数の世帯が同一の敷地内に居住している形態のことで通常父系制のもと、血縁家族が構成員である。通常、年配の父親が家長(chief of concession)として存在し、同じ敷地に結婚した息子が居住している。

出典: FAO (1999), *Recensement National de l'Agriculture et Système Permanent de Statistiques Agricole*, ほか

### (3) 選定実施サイト

サイトの選定は、以下の基準に基づいて行った。

- a) 将来のグリッド延長計画との整合性 (今後 10 年間にグリッド延長の対象外の地区)
- b) 世帯当たりの収入支出レベル (設置時の初期費用及び維持管理費用の支払い能力)

これからファティック州のマル・ロッジ、マル・スールーの 2 村が選定され、さらに同じ島に位置するマル・ファファコが加えられた。この主な要因は、図 7.2 に示すように選定された 3 村が島に位置していることである。セネガル電力公社の電源グリッド網に接続されているダンガンから島へは、30 分程度をかけてエンジンつき

のボートでしか行くことができない。また、全体として現金収入が確保されることが期待できる。というのは、村民は漁業からの収入が一般的であり、また1年のほとんどを海上で過ごす航海に従事する人々がいることにもよる。選定後、これらの3村を対象にさらに社会経済調査を行った。これと並行して、JICAプロジェクトの説明、SHSの機能の説明を行い、住民と相互対話を持つことを目的に公聴会が開催された。

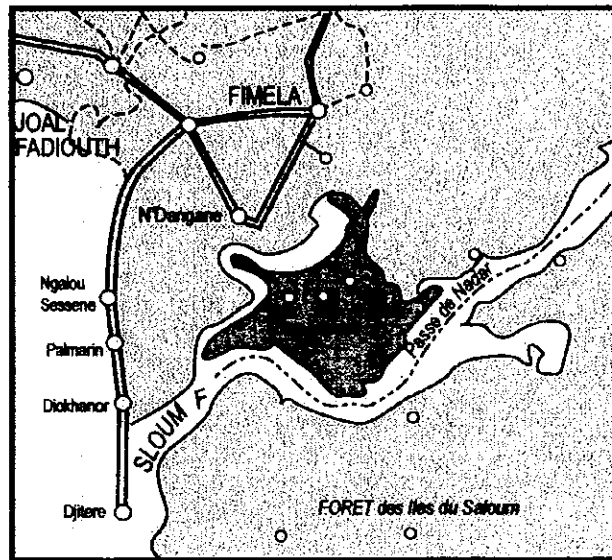


図 2.2 パイロット・プロジェクト・サイトの位置図



### 3. プロジェクトデザインおよび実施スケジュール

#### 3.1 パイロットプロジェクトの概要

##### (1) パイロットプロジェクトのスケジュール

パイロットプロジェクトは準備段階と実施段階の2段階に大別される。SHSの計画、機材購入および設置は、第1段階(2000年1月～12月)で、SHSの運営管理は、第2段階(2000年12月～2001年10月)で行われた。SHSの稼働状況は、毎月の定期メンテナンス時にオペレータが行うモニタリングで調査された。また、SHSシステムの稼働とユーザ側の需要との比較検討および維持管理体制上の問題点の抽出と対応は、中間評価および終了時評価の際に行われた。パイロットプロジェクトの実施スケジュールは以下のとおりである。

時期	作業内容
第1次現地調査 (2000年1～3月)	プロジェクトサイト選定、プロジェクト目標および活動内容の策定、プロジェクト参加希望者の公募、SHS仕様の確定
第2次現地調査 (2000年6～7月)	オペレータ等の選定基準の作成、SHS入札、
第3次現地調査 (2000年9～10月)	プロジェクト参加者の確定、村落委員会(VUA)の設立、SHSの設置(11月より実施)
第4次現地調査 (2000年11～12月)	オペレータとユーザとの契約締結、プロジェクト活動の開始(電気料金の徴収、メンテナンス・修理サービス等)、第1回セミナー開催(参加者へのプロジェクト内容の説明と確認、維持管理体制の確定)
第5次現地調査 (2001年6月)	パイロットプロジェクトの中間評価、第2回セミナー開催(問題点の抽出と対応策の検討)
第6次現地調査 (2001年10月)	パイロットプロジェクトの終了時評価、第3回セミナー開催(今後の課題、提言と教訓)

##### (2) 計画立案

パイロットプロジェクトの計画立案は、3段階から構成されている。第1段階であるマル島における現地調査は、2000年2月に実施された。次いで、第2段階としてプロジェクトサイクルマネジメント(PCM)検討会において、問題分析が行われた。これらの現地調査と問題分析に基づいて、パイロットプロジェクトとSHSの仕様についての計画が作成された。PCM検討会では、MMEH、NGO、地方電化サブセクターの現地コンサルタント、JICA調査団のメンバーが出席して、問題分析が行われた。検討会の段階では、「事業モデル」の考え方がまとまっていなかったため、現地企業による管理運営に関する問題についてはGTZ地方電化プロジェクトのような過去のプロジェクトの教訓やマル島における現地調査の結果に基づいて議論された。

問題分析の結果に基づいて、MMEH と JICA 調査団は、パイロットプロジェクトのデザインを作成した。「事業モデル」の考え方は、このときに盛り込まれている。プロジェクトのデザインは、表 3.1 に示す Project Design Matrix (PDM) に示している。

パイロットプロジェクトの目的および効果は、以下のとおりである。

### 【プロジェクトの目的】

マル島における、SHS システムの管理運営を確立すること

### 【プロジェクト実施の効果】

1. SHS システムの電化を希望する世帯に対して SHS を設置すること
2. SHS 利用マニュアルに従ってユーザが SHS を利用する
3. 利用料金の支払いが計画通りにユーザから行われること
4. SHS の維持管理および修理が、適宜実施される
  - 4-1 現地技術者が、日常の SHS 維持管理を行う
  - 4-2 オペレータは、故障した SHS の修理を行う
5. SHS が、仕様のとおり設置されること

## 3.2 料金設定

住民への定期的支払金額（“Fee for Services” に対する前提条件）のは、次の仮定に基づいて算定されている。これらの仮定は、パイロットプロジェクトの実施段階で検討され、明らかにされると考えた。

システム・ユニット	150 ユニット	
システム単価	450,000 FCFA	(この初期コストは、JICA 資金で賄われている)
初期ユーザー負担金額	45,000 FCFA	(上記システム単価の 10%)
<u>パイロットプロジェクト事業オペレーターの運営費用</u>		
マネージャー	0.1M/M	500,000 FCFA/month
会計	0.2 M/M	200,000 FCFA/month
PV 技術者	0.3M/M	200,000 FCFA/month
テクニシャン	1.0M/M	50,000 FCFA/month
料金徴収と経理	0.2M/M	40,000 FCFA/month
<u>機器更新期間</u>		
PV パネル		20 years
チャージ・コントローラー		10 years
バッテリー		4 years

定期的支払は、当初 PV システム 150 ユニットを据付けると想定し、計算されている。この計算では、更新費用（20 年後には現在の価格の 50% に低下すると仮定）、日常の運転・維持管理費等を考慮され、費用回収の概念が取り入れられている。最終的には、システムは、100 ユニットを購入し、その内 95 ユニットが据付けられることになった。残り 5 ユニットは予備と見なされ、将来の運営・維持管理のため適宜利用される計画である。

本パイロットプロジェクトは JICA の無償案件でもあり、料金設定が低くなった事に加え、予定より少ない応募者でもあり、当初から財務的にはかなり厳しい運営を強いられる状況であった。財務条件を見直し、機器更新費用を除く、経常費用として O & M の人件費の見積が、維持管理に多大な影響を及ぼすことは明確で、この人件費の経常費用の正確な把握が、本パイロットプロジェクトの最重要課題という認識を当初から持っていた。

### 3.3 運営・維持管理体制

#### (1) パイロットプロジェクトの組織体制

パイロットプロジェクトはパイロットプロジェクト運営管理委員会(Pilot Project Management Committee ; 以下 PPMC)、オペレータおよび村落委員会(Village Users Association ; 以下 VUA) の 3 組織により実施される。

PPMC は MMEH、ASER および JICA 調査団により構成される。オペレータはダカールに事務所を置く民間業者が担当し、プロジェクトサイトに技術者 1 名を常駐させる(現地技術者)とともに、必要に応じてより高度な技術を有する技術者(外部技術者)をプロジェクトサイトに派遣する。本パイロットプロジェクトでは、オペレータは現地技術者として Mar Lothie の村人 1 名を雇用している。

VUA はユーザ側の代表組織である。プロジェクト対象地域は、3 つの村落、Mar Lothie、Mar Soulou、Mar Fafaco で構成される。Mar Soulou からの応募者が 4 名と少ないため、Mar Lothie、Mar Soulou のユーザで一つの VUA をもっている。Mar Fafaco のユーザも、他の VUA に属している。2000 年 10 月 5 日および 6 日に、村落内ミーティングで各 VUA が設立された。

#### (2) 各組織の役割および責任

PPMC、オペレータおよび VUA の役割分担は以下の通り。

1. パイロットプロジェクト運営委員会；PPMC(MMEH、ASER、 JICA 調査団等)

- 1) オペレーターおよび VUA の活動の監視
- 2) マル島に設置したデータロガーからのデータ回収および解析

2. オペレーター

- 1) 設置した SHS システムを最低でも月 1 回メンテナンスする  
メンテナンスは PPMC の準備したメンテナンスマニュアルに沿って行われる)
- 2) メンテナンス時に各ユーザの SHS システムの利用方法の適正度合いをモニターする
- 3) SHS システムの不適切な利用があった場合には、これを修正する
- 4) ユーザより料金を徴収する
- 5) 故障の場合は SHS システムを修理する
- 6) 回収した料金はバッテリー等の更新用の積立て金と交通費や技術者の給与などのオペレータの活動費に分けて、銀行口座に入れて管理する
- 7) バッテリーの寿命が尽きたら交換する(バッテリー交換に必要な費用は上記のバッテリー更新費から支払われる)
- 8) PPMC の規則に定められた期間以上、未払いの続いたユーザ世帯からの SHS システムの回収(回収に必要な費用および未払い料金はユーザの初期費用より支払われる)

注： 1)から 3)の役割はオペレーター配下の技術者により行われる。技術者はパイロットプロジェクト期間中はプロジェクトサイトに滞在する。役割 4) から 6)はオペレーター自身が行なう。役割 7)および 8)はオペレーターがマル島に派遣する専門家により行なわれる。

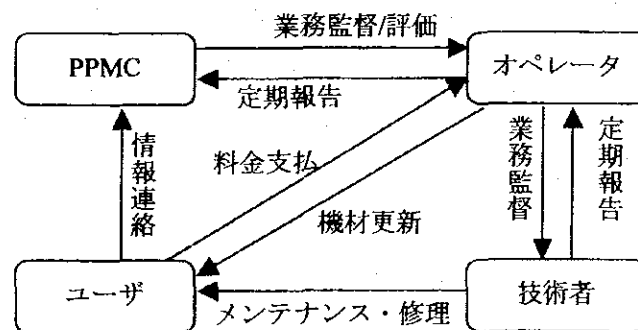
3. 村落ユーザソシエーション (VUA)

- 1) 料金未払い者に対する指導を行なう
- 2) 月例ミーティングを通じたユーザのモニターと啓蒙

4. ユーザ

- 1) PPMC の開催するミーティングに参加する
- 2) ユーザマニュアルに従い、SHS システムの清掃を行なう
- 3) スケジュール通りに電気料金を支払う
- 4) PPMC が実施する調査に協力する

それぞれの機関の関係は下図の通り。



MMEH および ASER は政府機関であるため、営利的な活動に参加することはできない。したがって今回のパイロットプロジェクトでは、PPMC はユーザと直接契約を結ばない形式を採用する。電気料金の徴収と維持管理サービスの提供に係る契約はオペレータとユーザの間で結ばれることとなる。正式な契約は SHS の据付けが全て終了する 2000 年 12 月に行われた。この際に用いた契約書を ANNEX-A に記す。

## 4. SHS 仕様

### 4.1 概要

セネガルにおける日射量を基に、予想される家庭照明及び 12V 仕様モノクロ TV に対応する電力消費量から下記の仕様を採用した。但し社会調査の結果から得られた「大家族制の村落である」ことを考慮して「照明中心型・Type 1」「テレビ中心型・Type 2」「TV,照明折衷型・Type 3」の3種類の利用機器オプションを用意し、最大6室の照明が選択できるよう配慮した。

- ① 出力 : 直流 12V
- ② 無日照保障 : 3 日間
- ③ 太陽電池 パネル : 公称最大出力 55W 単結晶(SX55, Solarex USA)
- ④ 蓄電池 : 太陽電池用 12V、110AH/ C10, 120AH C/20, 145/AH C/100 (Type:M14sol, Accus National, Morocco)
- ⑤ 充放電コントローラー : 10A (AtonCinside SLR1010, Uhlman Solareleleecronic Gmbh, Germany)
- ⑥ ラジオ用直流電圧調整器 : 3/6/7.5/12V (Uhlman Solareleleecronic Gmbh, Germany)
- ⑦ 蛍光灯 : 8W (Thi-Lite, U.S.A) 及び 11W (SolsumESL, Steca, Germany)
- ⑧ LED ランプ : 0.7W (SolsumESL, Steca, Germany)
- ⑨ 負荷 : 下表参照

LOAD	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
F/L LAMP, 8W (supplied as a kit)	5	3	2
LED LAMP, 0.7W (supplied as a kit)	none	none	4
Socket for TV (DC. B/W)	none	1	1
Socket for Radio	1	1	1

### 4.2 使用機器サイジング及び選定基準

#### (1) 太陽電池モジュール仕様

- a) モジュールは単結晶または多結晶セルを用いること

これまで実施された世界中の SHS プロジェクトで使用されているモジュールは結晶系が主流であり薄膜系モジュールを採用しているのはごくわずかである。この理

由は薄膜系の主流であるシリコンアモルファスが経年劣化を起こすことに起因する。本プロジェクトではシステムの信頼性を損なわないために薄膜系を排除した。

b) 最大出力は 55Wp 以上であること

従来、セネガルでは SHS 地方電化計画に、40～50Wp の PV モジュールを採用していた。しかし近年では技術革新により PV セル 1 枚あたりの出力が増加して市場での主力は 55Wp モジュールが主力となっている。また、50Wp と 55Wp モジュールの価格差も小さい。今後はこのクラスの SHS には 55Wp のモジュールが主流となると考えられる。

入札上の技術仕様は一級品が業者から提案されるようセルのタイプ、最大出力、高温条件下での出力および抗大気暴露性について定義し、入札図書では 55Wp を要求した。表 4.1 に示すとおり一日あたり電力消費量が 130Wh/day と見積もられることから、モジュールサイズを次の通り算出した。

$$130[\text{Wh/day}] \div \frac{4[\text{kWh/m}^2/\text{day}]}{1000[\text{W/m}^2]} \div 0.65 = 50[\text{W}]$$

ここで、4 [kWh/m<sup>2</sup>/day] はマル島で予想される一日あたり年平均日射量の最低値、1000 [W/m<sup>2</sup>] は基準日射の強さ、0.65 は損失係数である。

この算出値に安全係数 1.1 を乗じ、55Wp とした。

各システムの使用例 (単位: hours/day)

	LOAD	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
F/L LAMP	8W	3	3	3
F/L LAMP	8W	3	2	3
F/L LAMP	8W	3	2	none
F/L LAMP	8W	3	none	none
F/L LAMP	8W	3	none	none
LED LAMP	0.7W	none	none	8
LED LAMP	0.7W	none	none	8
LED LAMP	0.7W	none	none	8
LED LAMP	0.7W	none	none	8
TV	12W	none	4	3
Radio	5W	2	3	4
total energy consumption [Wh]		130	119	104

c) 最大出力は定格の 90%以上であること

d) セル温度 60° C において最大出力は定格の 85%以上であること

高温時の PV モジュールの出力は PV モジュールからバッテリーに確実に充電するために重要である。通常多くのメーカーは定格の 90%以上の最大出力を 10 年保証している。

e) セル温度 60° C における最大動作電圧は 16V 以上であること

この電圧により高温下でもバッテリーが確実に満充電される。通常の鉛蓄電池は均等充電時電圧を 2.25[V/cell]から 2.5[V/cell] (12[V]バッテリーにおいて 13.5[V]から 15[V]) を規定している。そのため、PV モジュールは昼間 15[V]より大きな電圧を発生する必要がある。

f) モジュールのジャンクションボックスは規格 IP54 以上の防水性能を持つこと。また漏水防止の詰め物はケーブルが通るようなつくりであること。ジャンクションボックスの内側に極性の表示を明記すること。

IP コードは IP54 というように、IP とそれに続く 2 つの数字の組み合わせで表示される。添え数字は下記に示すようにそれぞれ意味がある。例えば IP54 と規定された機器はほこり (第一添え字) および水しぶき (第二添え字) に対して防護性がある。一般的に防護性に対する要求が厳しいほどシステムコストは高くなる。セネガルでは埃の多い乾季と激しい雨の降る雨季に備えて、屋外に設置される機器は少なくとも IP54 が必要であると判断した。

第一添え字	異物に対する防護
0	防護なし
1	50mm 径以上のものから防護
2	12.5mm 径以上のものから防護
3	2.5mm 径以上のものから防護
4	1mm 径以上のものから防護
5	埃から防護; 埃は完全には遮断されないが、機器の性能を冒すほどの堆積はしない
6	完全防護



第二 添え字	水からの防護
0	防護なし
1	鉛直方向から落ちてくる水滴から防護
2	鉛直方向から 15 度の範囲から落ちてくる水滴から防護
3	鉛直方向から 60 度の範囲からかかる水しぶきから防護
4	あらゆる方向からかかる水から防護
5	あらゆる方向からのより勢いのある噴水から防護
6	あらゆる方向からのかなり強い噴水から防護
7	一定の圧力下で一定の時間だけ 1メートルの深さの水中で水の進入を一時的に防護する
8	製造者と顧客との取り決めた添え字 7 に示す条件よりは厳しい条件下で水の浸入を永久に防護する

g) それぞれのモジュールはバイパスダイオードを備えること

バイパスダイオードは PV モジュール表面に部分的な影がかかったときに発生するホットスポットから PV モジュールを保護するために要求される。入札図書ではシステムの信頼性を損なう要因をすべて排除するためにバイパスダイオードを備えることを要求した。

h) 各 PV モジュールは少なくとも下記の内容を記す銘盤を備えること:

- 名称、トレードマークまたはメーカー商標
- モデル番号
- 最大出力、標準状態 (STC) における短絡電流(A)、開放電圧 (V)
- シリアルナンバー
- 製造国

## (2) PV モジュール架台仕様

a) PV モジュール架台は腐食されることなく最低 10 年の寿命を保障するため以下の材質認定した。:

- ステンレス鋼
- 特殊鋼

- 不動態化アルミニウム

木製や耐紫外線処理済みプラスチックも架台用材料の候補となりうるが、耐性に疑問があるため好ましくない。また金属製のは木製やプラスチック製と比較して盗難対策や風力耐性をとりやすい。

- b) 架台の固定方法（ボルトまたは盗難防止ナットの仕様など）または架台の形状に難対策を考慮すること

### (3) バッテリー仕様

バッテリーサイジングにより、100Ahのバッテリーを要求した。ただしこの容量は放電時間率によって変わる。調査団が提案したSHSの最大電流量は5A程度と見積もられるため20時間率を採用した。5Aは100Ahバッテリーにおいて20時間率に相当する。バッテリーの技術仕様は深放電の使用下で十分な長寿命であるバッテリーを調達するべく定義された。さらに、バッテリーはユーザーの手の届く範囲に設置されることが多いため、ユーザーによる勝手な改造や感電、その他の事故がおこる可能性がある。そのためバッテリー専用のボックスを準備することを要求した。技術仕様では、電圧、容量、電解液の密度および容量、自己放電量などのバッテリー特性を定義した。

- a) 公称電圧: 12V

- b) 公称容量: 100Ah 以上

当システムにおけるバッテリー容量は、下記の仮定に基づいて決定した。

- 無日照日: 3 days
- バッテリー充放電損失係数: 0.75
- 放電深度: 50 %
- 配線損失係数: 0.9

この仮定の下、バッテリーサイズは下記のように算出される

$$\frac{130Wh}{12V} \times 3days \div 0.75 \div 0.5 \div 0.9 \approx 96.3Ah$$

瞬間電流はバッテリー寿命に影響するため、この推算に加えてさらに最大放電量を勘案した。すなわちバッテリー容量に対してあまりに大きな瞬間電流はしばしば電極の欠落を招くためである。

想定負荷による電流は Type 1、Type 2 および Type 3 においてそれぞれ 4.67 A、4.26 A および 3.67 A である。4.67 A の電流はほぼ 100Ah バッテリーの 20 時間率放電電流 (5A) に一致する。そこで 20 時間率 100Ah のバッテリーを使用することにした。バッテリー容量は放電率 (Hour Rate:HR) によって変化するため放電率を規定することが重要である。

- c) 鉛アンチモンクラッド式極板またはペースト式極板の据え置き型 PV システム適合バッテリーであること

- d) 極板厚さは 2 mm 以上であること

自動車用バッテリーはディープサイクルで要求される長時間にわたる小電流放電には向いていないため除外した。こうした背景から「PV システム適合バッテリー」を要求仕様とした。

- e) 25° C における自己放電率は月あたり公称容量の 6% 以下であること

日射不足時の運転を十分補償するためにバッテリーの自己放電量はできるだけ小さくすべきである。

- f) バッテリー電槽は輸送時の衝撃に耐えられるだけの厚みを持つこと

- g) 電解液レベルはユーザーが簡単に判定できる構造であること:半透明電槽に低位液面高位液面のマーキングを明示すること

- h) 電解液密度は 20° C において 1.25 kg/l 以下であること

電解液密度はバッテリー容量だけでなく自己放電率にも影響する。密度が高いほど自己放電率が大きく、バッテリー寿命が短くなるがバッテリー容量は大きくなる。セネガルは高温地方であるため電解液温度も上昇しやすいと考えられることから上記の値が適切であると判断した。

- i) ゲル式バッテリーは除く

ゲル式バッテリー補水の必要がなく保守が容易という利点がある。しかし、過充電されるとゲル中に不可逆な気泡が発生し、バッテリー容量が減少してしまうことが

ある。高温気候下では短寿命化を招く恐れもあるため、ゲル式バッテリーの採用は避けた。

- j) 電解液の量は容量 100Ah あたり各セルに 1.15 リットル以上あること  
鉛蓄電池の長寿命化のためには十分な量の電解液が必要である。
- k) バッテリー銘盤には最低限以下の情報を表示すること:
- 名称、トレードマークまたは商標
  - モデル番号
  - 放電率ごとの容量(Ah)
  - 製造年月日
- l) バッテリーターミナルには極性を明示すること  
極性表示は誤接続を防ぐために重要である。
- m) バッテリーターミナルカバーも併せて納品すること
- n) バッテリーはドライチャージ状態で納品し、必要量の電解液と共に納品すること:  
電解液量は公称容量 100Ah (C20) あたり各セル 1.15 リットル以上とすること  
輸送を容易にするため、バッテリーはドライチャージ状態で納品し現場で電解液注入し、使用前に現場で完全充電することとした。
- o) カルシウム系電極バッテリーおよび自動車用バッテリーを除く  
SHS は長時間の小電流放電を要求するため厚めのバッテリー電極を採用する必要がある。自動車用バッテリーはエンジンスターター用に短時間に大電流を供給することを目的に設計されているので SHS に必要な特性を備えていない。
- p) バッテリーは通気性のよい酸耐蝕性の錠付きボックスに定置すること:このボックスはバッテリー配線および電解液レベルの調整するための保守作業が容易な構造とし、適切な冷却構造を備えていること

バッテリーがユーザーの手の届かないような措置をとるために鍵付きバッテリーボックスを要求した。パイロットプロジェクトではユーザーによる変改造を防止するためにローカルテクニシャンにメンテナンスさせることにした。

#### (4) チャージコントローラー仕様

チャージコントローラーの役割はバッテリーを過充電および過放電から保護することである。システムの信頼性向上のため、バッテリー寿命を延ばすためには適切なチャージコントローラーを選定する必要がある。チャージコントローラーには以下の特性を要求した。

- a) 定格電圧: 12V
- b) モジュール電流: 8A 以上 10A 以下
- c) 運転電流: 8A 以上 10A 以下

55 Wp の PV モジュールは最大動作点において通常 3A から 3.2A 程度の電流を発生する。チャージコントローラーはこの電流に対し 1.25 から 1.5 倍の容量を持つよう選定されるが将来的にもう一枚の 55Wp 型 PV モジュールを追加することを念頭におき、上記の容量とした。

$$3A \times 2 \text{枚} \times 1.25 = 7.5 \Rightarrow 8A$$

$$3.2A \times 2 \text{枚} \times 1.5 = 9.6 \Rightarrow 10A$$

- d) パルス幅変調 (PWM) 制御式であること

チャージコントローラー形式には大まかに 2 種類有り、ひとつは充放電を単純にスイッチで切り替える方式 (レギュレーター) であり、もうひとつはパルス幅変調 (PWM) 制御である。どちらの方式が優れていると結論付けるだけ定説はないようであるが、機械的な切り替え方式は摺動部が壊れやすいため、電気的な切り替え方式の方が望ましいと判断した。

- e) PV モジュールおよび負荷を遮断、再接続する電圧は外部環境およびバッテリー形式に従って決定すること。20° C において電解液密度が 1.24 kg/l である場合の参考値は以下のとおり:

- 過充電防止電圧 =13.8v
- 過放電防止電圧 =11.4v

- 再接続電圧 = 12.6v

鉛蓄電池はそれぞれに適した過放電防止電圧および過充電防止電圧が存在する。さらに、バッテリー電圧とバッテリー充電状態の関係はバッテリー特性によって異なる。SHS サプライヤーは選んだバッテリーのメーカーの指示に従って最適なチャージコントローラーを選定する必要がある。また、サプライヤーは提案品の審査に供するためにバッテリーおよびチャージコントローラーの技術情報を提出する事とした。

- f) 過充電防止電圧に対して温度補正機能を備えること。補正係数はバッテリーセルあたり $-4$ または $-5$  mV/°C (12V バッテリーにおいては $-24$ または $-30$  mV/°C)。

鉛蓄電池の適正な充電終了電圧は温度に従って変化する。上記仕様は一般的な温度変化による変化範囲である。

- g) どのような運転状態においても自己消費電流は 10mA 以下であること

SHS は負荷に限られた量のエネルギーを供給するのみであるため、エネルギーロス は最小にする必要がある。最新式チャージコントローラーは少電力消費で先進的な制御が可能である。

- h) は以下の状態に対する防護性を備えること:

- バッテリーまたは PV モジュールを逆極性で接続したとき
- 運転中の短絡:この種の防護はチャージコントローラーのケースを開けることなくユーザーが簡便に交換できるフューズあるいは同等の機能を持つ機構によって達成されること
- PV モジュールからの過大電圧または負荷側からの過大電圧 (落雷)
- バッテリー無しで PV モジュールがチャージコントローラーに接続された状態

- i) PV モジュール短絡電流の 25%増しの電流または負荷要求電流 (全負荷運転時) の 25%増しの電流に対して、一定時間防護されること。また夜間のバッテリー放電電流からモジュールを保護する構造であること。

- j) 運転中に妨害電波を発振しないこと
- 多くの家電製品の技術標準で電波妨害についての標準化がされている。チャージコントローラーもこうした標準に適合すべきであろう。
- k) ケースは以下の特性を備えること:
- 耐環境性能 IP54 以上
  - 壁面固定可能であること
- セネガルのような砂埃の多い地区はこの程度の防護レベルが必要であろう。また、不注意による故障を防ぐためチャージコントローラーはフックがけや床置きなどではなく壁面に固定すべきである。
- l) 基盤回路はねじやビスによりケースに機械的に固定されていること
- 基盤回路はチャージコントローラーの心臓部であるためユーザーの手が容易に届かない措置を講じる必要がある。
- m) 最低限以下の情報をユーザーに知らせるために LED ランプまたは同等の表示機能を備えること:
- 使用可能、十分な充電状態
  - 使用不可、バッテリー電圧低下
- n) 可能ならば、バッテリーが完全放電したことを示す警告システムを備えること
- システムをどれだけ使用したかユーザーが常に意識することは困難である。LED ランプのような状態表示機構はシステムの運転状況を知るために有効である。このような LED 表示により、ユーザーはシステムの使用限界を学ぶことが出来る。
- o) チャージコントローラーには最低限下記の情報を記した銘盤を備えること:
- 名称、トレードマークまたは商標
  - モデル形式
  - 定格電圧 (V)
  - 定格入力電流および定格出力電流 (A)

p) チャージコントローラーはそれぞれの電極に極性を明示されていること

q) 接点はユーザーの手の届かない構造であること

バッテリーやチャージコントローラーの接点はユーザーによる変改造の出発点となりうる。システムの変改造は不適切なシステムの利用を促すことになる。すべての接点は変改造防止のため適切に隠す必要がある。

## (5) 照明器具

電灯は電球、インバーターおよび灯具を一式として仕様を規定してある。2種類の灯具を提案した。

- バラスト付直管型蛍光灯
- LED ランプ

### 1) バラスト付蛍光灯

a) 定格電圧: 12V

b) 定格出力: 8W

通常蛍光灯の明るさは消費電力に比例する。また、人々の明るさへの要望は文化的背景により異なる。ある人は 8W では暗いと考えるかもしれないし、ある人は明るすぎると感じるかもしれない。SHS を検討する際は、システム使用時間はエネルギー消費量によって規定される。結局電灯の大きさは採用する PV サイズ、設計使用時間および市場に出回っている機器の多様さの程度によって決まる。セネガルではどのような種類の電灯でもサプライヤーが要望に沿って調達可能である。

c) バラスト周波数: 16kHz 以上

バラストの周波数が小さすぎると受信電波に悪影響を及ぼす。16kHz が品質のよいバラストの最小要求値である

d) バラストは定格電圧の-15%から+25%の範囲で安定的に運転可能であること

SHS による機器の運転電圧は充電状態により異なるバッテリー電圧に従って変化する。そのため、上記の電圧範囲で運転可能である必要がある。



- e) バラスト組み込み後の蛍光灯効率はワットあたり 40 ルーメン以上
- f) バラスト効率は 80%以上
- g) バラスト出力は下記の特性を備えること:
- 対称波形であること
  - クレストファクターは 11V から 12.5V の電圧において 1.7 以下であること

- h) バラストは適切に絶縁してあること

高品質の蛍光灯は短寿命化を避けるために少なくとも上記のレベルの仕様となっている。特に、クレストファクター（蛍光灯突入電流の平均運転電流に対する比）およびバラスト効率が重要である。

- i) バラストは以下の条件でも故障しない耐性を備えること:
- 点灯状態で蛍光管を交換するまたは蛍光管がない状態でスイッチを入れる
  - 蛍光灯のスターターが動作しない
  - 入力電圧が正負逆
  - バラストの端子で短絡する

蛍光灯の安全運転および信頼性向上のためにこれらの保護機構を備えるべきである。不適当な保護機構のバラストは火花により火災の原因ともなりうる。とくに蛍光管交換の際にはユーザーがバラストに接する機会となりうる。蛍光管をはずしたバラストは高電圧をはっするため危険である。

- j) バラストはどのような使用条件下でもラジオの受信電波を妨害しないこと

電子機器から発生するノイズによりラジオの受信状態が悪くなれば PV システムユーザーは不満をもつため、いかなる電波妨害も発生されてはならない。

- k) 蛍光灯は壁面に固定できる構造であること

l) バラスト電極への接続ポイントは:

- ケーブル接続の際に故障しづらい構造であること
- ケーブル接続に十分なスペースを有すること
- 2.5 mm<sup>2</sup>以上のケーブル接続が可能であり、極性を明示してあること

SHS に供される機器はすべて設置が簡便であり、設置に伴う外部からの力に対して十分な耐性を持つ必要がある。ここで示したケーブルサイズは提案システムに用いられるための最小限の太さであり、計画によって変更されるべきものである。

m) それぞれのシステムは屋外灯を設置する予定であるため、蛍光灯は浸水を防ぐ構造であること

この防護レベルは IP コードでも定義されるが、屋外灯に対する要求事項を強調するために特に述べた。セネガルでは夏季の夜間に家族で過ごす庭をライトアップするために多くの村落住民は門灯に対するニーズが高い。

n) 蛍光灯に保護カバーをつける際は、そのカバーは以下の仕様が要求される:

- 防虫構造
- 蛍光灯交換の際の取り外しが容易であること

o) 屋外灯は IP54 以上の防護レベルであること。内装用蛍光灯を屋外灯として使用する場合は同等以上の防護構造をもつこと。

## 2) LED ランプ

多くのユーザーが夜間治安のための常夜灯を希望していたため、LED ランプを地方電化計画上初めての試みとして採用した。LED ランプはごくわずかの電力を消費するのみである (たとえば一日 10 時間の使用で 7Wh/day のみであり、これは 55Wp の PV モジュールがサイトで発生すると見込まれる電力量のたった 4%である)。LED ランプは市場でも比較的新しい製品なのでメーカーの仕様を参照した。

LED ランプの利点は

- 長寿命 (10,000 時間以上) で交換頻度が少ない
- 直流で作動しているためバラストインバーターは不要

- 壊れにくい

- a) Type : LED ランプ
- b) 定格電圧 : 12V
- c) 定格出力 : 0.7W
- d) 定格電流 : 60mA
- e) 灯効率 : 22 lumen/W
- f) 動作温度 : +10 degC to +50 degC
- g) ソケットタイプ : E27

#### (6) コンセント

DC システム専用のコンセントは市場では一般的ではない。AC 用コンセントは DC システム用に互換できるが、AC 用コンセントを使用する際は正負の逆接続防止機構を備えなければならない。例えば、アース用のポールは逆接続防止用の目印となりうる。入札図書の仕様を以下に示す:

- a) TV 用 (ラジオ用、テレビ用など) コンセントは 12V システム用であること
- b) テレビ用コンセントは汎用 220V 用コンセントと異なる旨の表示をすること。IP32 以上の防護レベルを備えること。+および-の極性を明示すること

#### (7) DC/DC コンバーター

12V の SHS システムで 9V または 6V のラジオを使用するためにはシステム電圧を下げる必要がある。DC/DC コンバーターは 12V から任意の電圧に変換する機器である。入札図書で示された仕様は以下のとおり:

- a) ラジオ用コンセントは 6V および 9v に変換可能な DC/DC コンバーターと接続すること
- b) DC/DC コンバーターは以下の仕様を満たすこと:
  - 入力定格電圧 : 12V

- 出力定格電圧 : 6V または 9V
  - 定格電流 : 2A
- c) 入力電圧はチャージコントローラーの出力電圧と一致すること
- d) コンバーターは電子回路式であること
- 一部の非効率なコンバーターは電圧降下に抵抗器を用いている。そのような非効率なコンバーターを除外するため、仕様では電子式チョッパー回路を用いたコンバーターを指定した。
- e) コンバーターの外装は IP32 以上の防護レベルを備えること
- f) コンバーターは壁面固定または壁面かけが出来る構造であること
- g) コンバーターの切り替えスイッチは間違いを避けるための表示が明示してあること
- 発展途上国では家屋機密性が低い場合もあるので内装用機器には IP32 以上の防護レベルが必要である。

## (8) ケーブル

### 1) チャージコントローラーをはさんだ PV モジュールとバッテリー間の配線

- a) モジュールとチャージコントローラー間およびチャージコントローラーとバッテリー間の接続に使用するケーブルは、IEC60811 で規定されている屋外での使用に適合すること
- b) H07R-NF または同等品であること
- c) ケーブル断面積は  $4\text{mm}^2$
- d) 最大延長: 10 m/system

PV モジュールとチャージコントローラー間およびチャージコントローラーとバッテリー間のケーブルは配線ロスを出るだけ小さくする必要がある。このために、

設置業者はこれらの機器を出来るだけ近隣に配置し十分な断面積のケーブルで配線する必要がある。PV モジュールとチャージコントローラー間のケーブルは屋外にさらされるため、ケーブル被覆は水、直射日光または火炎から防護する必要がある。

## 2) 屋内配線

- ケーブル

屋内配線に供するケーブルはセネガル国内の市場に出回っているものを使用すること:

- a) A03 VVF 2.5 types of wires or equivalent
- b) 2.5 mm<sup>2</sup> section
- c) Total inclusive lengths: 80 m/system

ケーブル交換の容易さを考慮して、屋内配線用ケーブルはセネガル国内で調達できるものが好ましい。ここで示したケーブル断面積は最低限の要求であり配線による電圧降下を防ぐためには太いケーブルを使用し、配線距離を短くしなければならない。

- スイッチ

- a) スイッチはセネガルのマーケットで入手可能なものであること
- b) 以下の使用を満たすこと:
  - 防護レベルは屋内用スイッチで IP43 屋外用スイッチで IP55
  - 2 極スイッチ
- c) スイッチの入/切の位置はその状態を明示し、以下の方向に従うこと:
  - ON:入の状態、スイッチは上から下へ移動すること。
  - OFF:切の状態、スイッチは下から上へ移動すること。

スイッチは稼働部と本体の間に隙間があるため、他の屋内用機器よりも厳しい防護レベルが要求される。ここでは屋内用スイッチをより細かい異物から防護するため IP43 を使用した。

- 接続箱

- a) 防護レベルは IP55

この防護レベルは屋外設置の箱に適用されるべきものであるが、セネガルの地方村落の家屋は十分な防水性がない恐れもあるためこのレベル適用することが望ましい。

- b) 仕様どおりの設置作業を実施できる十分量の配線用固定部材を準備すること

SHS の調達の際は必ず必要量の設置用固定部材（ねじ、コネクター、金具など）を準備しなければならない。

#### 4.3 設置作業仕様(SHS)

SHS 設置作業の要求事項に関する概要は以下のとおり：

設置作業には十分注意して完全を期すこと。仕上げの外観にも十分気を配ること。すなわち：

- a) 配線及び壁面に固定した機器（コンセント、スイッチ、チャージコントローラー、固定鉋など）などのゆがみ
- b) 固定鉋のバランスおよび配置間隔の美観（25cm ごと）
- c) 穴をあけた壁面の補修

#### (1) PV モジュール

- PV モジュール設置

- a) PV モジュール架台は固定式であること

一部のシステムは「トラッキングシステム」と呼称される可動式 PV モジュール架台を採用している。しかし、トラッキングシステムはユーザーがまめに向きを調節する必要があり、運転のためにしなければならないことが増えてしまう。普通は仕事のため外出し毎日 PV モジュールに構うわけにも行かないのでトラッキングシステムはセネガルの一般ユーザーにはなじまないであろう。従来型の架台が望ましい。

- b) モジュールの傾斜角は水平面に対して誤差範囲 $\pm 5^\circ$  以内で $15^\circ$  とすること  
PV 表面に注ぐ年間日射量を最大化するためには、PV モジュールの傾斜角は設置地点の緯度と同等とすべきである。しかし、雨水による自然洗浄を活かす最小の傾斜角は $15$  度と言われている。

パイロットプロジェクト実施地点の緯度は $14$  度であり洗浄効果による出力増を重視して $15$  度とした。

- c) モジュールは誤差範囲 $\pm 10^\circ$  以内で真南にむけること  
d) それぞれの設置地点において日の出 $90$  分後から日没 $90$  分前にわたる時間帯において日影がかからないようにモジュール設置場所を選定すること  
たとえ小さな影が PV モジュールにかかったとしても大幅な出力低下を招くため、どのような状況でも日影ができないよう設定した。

- PV モジュールの固定

最適な設置方法はそれぞれの家屋形状により異なるため、PV モジュールの固定方法はそれぞれの家屋ごとに決定されるべきである。設置業者は入札前あるいは設置作業前に現地で最適な PV モジュール固定方法を調査しなければならない。PV モジュール固定方法には屋根置き式、壁かけ式、地上設置式の 3 通りがある。パイロットプロジェクトでは壁かけ方式で固定された。ここではそれぞれの固定方式における最低限の要求事項を示す。

- 屋根置き式

屋上に設置する場合は屋根とモジュール間の隙間を最低 $0.1\text{m}$  確保すること。架台は屋根に直接固定しないでモジュールのフレームあるいは建物に固定しなければならない。必要に応じて保持台を設計すること

最低間隔 $0.1\text{m}$  は PV モジュール冷却を確保するための要求事項である。

- 壁かけ式

壁かけ式においては、最低 2 箇所て架台を固定すること。この方式は壁を穿たなければならない（ボルトと締め具を使用する）。

- 地上設置式
  - a) 地上設置式の場合は、PV モジュール架台は通路になるようなスペースを避けて設置すること。モジュール及び配線は子供の手の届かないところに設置すること。地下埋め込み式配線は電線管（PVC または PE パイプ）に収めること
  - b) 架台の足はボルトで固定するか、あるいは地上でコンクリートに埋め込むこと。この強化コンクリートの最小必要寸法は 300mm×300mm×300mm であること。
  - c) 面積 250mm×250mm で長手方向に鎖でつないであるコンクリートスラブも可
  - d) いかなる場合も、コンクリートは重量 350kg 以上であること。地上からの最低高さは 1m 以上あること

どの固定方式においても以下の材料特性を満たすこと:

  - e) 架台にモジュールを固定するための部材（ナット、ワッシャー、ボルト）はステンレスを用いること
  - f) それらの材料間で明らかに電気腐蝕が発生防止してあることが規定されている場合は 2 種以上の材料（ボルトを含む）をひとつの固定台に使用可
- モジュールの配線
  - a) モジュール用配線はすべて H07RNF フレキシブルタイプを使用すること
  - b) モジュール間の配線は保護管に収め悪天候に耐えるようにモジュール背面に配置すること
  - c) モジュールと建物との間の配線は保護管あるいは特性の管で埋設する（モジュールが地上置きの場合）など機械的に保護すること
  - d) 許容電圧降下は以下のとおり;
    - モジュール-チャージコントローラー間：2%以下
    - チャージコントローラー-バッテリー間：1%以下
    - チャージコントローラー-電灯（最遠部）間、すべての電灯が点灯した状態で：5%以下

上記の許容電圧値を満たす最小ケーブル径は屋内用配線（チャージコントローラー-負荷間）で 2.5 mm<sup>2</sup>、屋外用配線（チャージコントローラーをはさむ PV モジュール-バッテリー間）で 4 mm<sup>2</sup> と見積もられた。しかし設置業者は可能な場合には以下の式に従って電圧降下を抑えるケーブルを選定せねばならない。



$$\ell = \frac{1}{2} \cdot \frac{VS}{\rho I}$$

ここで

- ℓ: ケーブル長さ (往復)
- V: 降下電圧値
- S: ケーブル径
- ρ: 抵抗係数(=1/σ, 銅 ; 0.018)
- I: ケーブルを流れる電流値

## (2) チャージコントローラー

チャージコントローラーはバッテリーに出来るだけ近い位置で地上から 1.5m の高さに設置し、保護器に収納すること

前述のとおり、チャージコントローラーの端子はユーザーによる変改造の基点となりうる;たとえば認められていない機器を追加するあるいは負荷をバッテリーに直結するなど。そのため、端子が露出したチャージコントローラーよりは保護器に収められたタイプのものが望ましい。

チャージコントローラーの LED 表示機能がシステム状態を監視する唯一の手がかりであるので、チャージコントローラーはユーザーが LED 表示を見やすい高さに設置すべきである。

## (3) バッテリー

- a) バッテリーは人々が一日中を過ごさない換気のよい部屋 (オフィス、寝室等) に設置し子供の手の届かない場所に置くこと

鉛蓄電池の化学反応によりガス発生過程において爆発範囲の広い水素ガスが発生する。バッテリーは換気のよい部屋に置かなければならない。

- b) バッテリー用配線は:
  - 両方の端子を適切な材料のカバーで覆うこと
  - または適切なバッテリー端子を用いること
- c) はんだ付けはしないこと

- d) バッテリー端子の接続はシリコンを満たしたストッパーで保護し、ユーザーの変改造を防ぐ措置をとること

配線のバッテリー端子部はしっかり固定する必要があるがバッテリー交換が容易でなければならない。端子の回りに単に裸電線を巻きつけることは厳に戒めなければならない。はんだ付けもバッテリー交換を考えるとふさわしくない。

腐蝕から守るためにバッテリー端子にシリコンやグリースを塗布する。

- e) 添付資料に従って初期充電を実施すること

完全充電の妨げになるためバッテリーの初期充電はチャージコントローラーを使用しないで実施しなければならない。ただし、バッテリーメーカーの推奨する初期充電の手順はここに示した手順に優先して実行すべきである。

#### (4) 屋内配線

ケーブルはユーザーが不意に引っ掛けたりつまずいたりすることを防ぐために壁にしっかり固定されていないなければならない。そのため:

- a) 配線は壁面または屋根のフレームに沿って設置すること
- b) 配線用は 25cm ごとにクリップ止めすること。ケーブルは完全に垂直にあるいは水平に配置すること。ケーブルの方向が変わる地点ではケーブル外径の 6 倍以上のカーブを描いて曲げること
- c) スイッチ、コンセント、コネクションボックス、チャージコントローラーとこれらの機器につながる線をとめる最初のクリップとの距離は 5cm とすること
- d) 線の接続はすべて機器の内部の接続用クリップを使用し。すべての端子は隠すこと  
露出した接続端子はユーザーによる変改造のきっかけとなる。変改造の可能性はこうした仕様の指定により注意深く排除しなければならない。
- e) 線をより合わせての接続または分岐は行わないこと。接点はすべて接続箱あるいは機器の内部に収めること

- f) 機器に接続するケーブルエンドはケーブルサイズに合った圧着端子を用いること  
ケーブル接続時に接続端子を使用しないで単により合わせて接続すると電力損失が発生する。このため、すべての接続または分岐は金属端子を用いて接続しなければならない。
  
- g) 屋外に設置されたスイッチ、コンセントや電灯などの機器につながるケーブルは雨滴を落とす形状に加工すること。ケーブルの高さは引き込み口より低い位置であること  
配線のために壁に開けた穴からは水の侵入を防ぐ必要がある。輪状に加工したケーブルで実現可能である。
  
- h) 補修を容易にするため、設置に関わるすべてのケーブルに正負の極性について標準化した色を用いること  
これは補修だけでなく極性を正負逆につながることを防ぐためにも有効である。

#### (5) スイッチ

スイッチはそれぞれの電灯ごとに設けること。両開き扉の部屋ではスイッチは入って左側、開放された状態の扉から 20cm の位置に設置すること

スイッチは暗闇の中でも簡単に位置を認識できる場所に設置しなければならない。

#### (6) 電灯

電灯本体は特に指示のある場合を除いて地上 1.80m の高さの壁面に設置すること。そのため、同一建屋内のすべての蛍光灯は特に指示のある場合を除いて同一の高さに設置すること。

1.80m はユーザーが電球交換しやすい高さでありまたユーザーの日常生活の妨げとならない高さの目安である。この考えに準じている限りにおいて、電灯の高さは状況によって変えることができる。

#### (7) 接続箱

接続箱は壁にしっかりと固定すること。ユーザーの手の届かない高さに設置すること

接続箱はケーブル接続点や分岐点を集めて中に納める部材である。前述のようにケーブルの接続点や分岐点はユーザーによる変改造のきっかけとなりうる。そのため、接続箱はユーザーの手の届かない高さにしっかりと固定しなければならない。

#### (8) コンセント

コンセントは地上 25cm に設置し 220V 用コンセントとの違いを認識できる [後接続防止器] と共に設置すること

特に AC 用コンセントをシステムに流用する場合、正負逆の接続を防ぐ措置をとる必要がある。

#### (9) 入札時に提出する書類

入札図書では下記の書類をプロポーザルとともに提出するように要求した。いかなる入札においても最低限ここに示した書類の提出を要求すべきであろう。

##### 1) PV モジュール

I-V 特性、モジュールの保証期間も期待寿命を示すモジュールの技術資料を提出すること。

下記基準状態により定義:

- 日射の強さ:  $1,000\text{W/m}^2$ ; エアマス 1.5
- セル温度:  $25^\circ\text{C}$ ;  $40^\circ\text{C}$ ;  $60^\circ\text{C}$
- ISPRA あるいは他の認証済み機関の証明書コピー

##### 2) バッテリー

- バッテリー特性: 放電深度ごとのサイクル数
- 電流量および温度ごとの充放電特性
- 放電時間ごとの放電特性: 10h; 20h; 100h.
- 電圧ごとの充電時間特性
- 温度ごとの充電終止電圧特性

##### 3) 電灯

電灯の技術資料: 持続時間および保証を明記すること

4) チャージコントローラー

チャージコントローラーの技術資料:寿命および保証を明記すること

## 添付資料：バッテリー初期充電

バッテリーの初期充電は下記の手順に従って実施すること。ただし、メーカーが特に指定している充電手順は、下記の手順に優先して実施すること

### (1) バッテリーの準備

- a) 電解液密度を確認する
- b) バッテリーの低位レベル表示まで電解液を注入する
- c) 電解液注入後最低2時間待つ
- d) 必要ならば電解液レベルをノーマルレベルに調整する
- e) バッテリー電圧を測定する
- f) 電解液密度を測定する
- g) 電解液温度を測定する
- h) 電解液温度が55° Cより高くなっている場合あるいは電解液密度が1.20kg/lまで低下している場合は、初期充電作業を翌日まで延期すること

### (2) 充電

充電途中で充電が強制的に停止されることを防止するため充電電源をチャージコントローラー類に接続しないこと。バッテリーはPVモジュールあるいは他の電源装置に直接接続すること。

バッテリーは以下に示すように充電しなければならない:

- a) 最初の段階では可能ならばガスが発生するまで定電流充電する
- b) この段階の後、電流を2.5A程度まで下げる
- c) 上記の手順の実行が困難な場合、バッテリーを24時間充電する
- d) ガス発生が見られたら30分ごとに電解液密度及び電圧を測定する
- e) 下記の現象が見られたらバッテリーは満充電であると判断できる;
  - 定電流充電の場合; 2時間以上電圧及び温度補正した電解液密度に測定器の誤差以上の変動が見られなくなった時

- 定電圧充電の場合; 2 時間以上電流および温度補正した電解液密度に測定器誤差以上の変動が見られなくなった時。メーカーが特に指示している場合は除く
- f) 測定値を適当な表に記入する。各セルの電圧測定値に 0.005V 以上、電解液密度測定値においては 0.01kg/l 以上の差があってはならない
- g) 充電終了時、電解液レベルは高位レベルに調整すること

## 5. SHS の入札及び設置

### 5.1 入札

調査団とカウンターパートの調査によればセネガルで入手可能な SHS 用機材はほとんど欧米から輸入されており、信頼できる機材および設置サービスを供給出来る業者は数社に限定される。調査団は入札の主催者である JICA 現地事務所にこれらのサプライヤーを推薦し、指名入札に参加させることを提案し、実施された。

指名業者は以下の 6 社であった；AFRIWATT、BUHAN&TEISSEIRE、EQUIP PLUS、MATFORCE、SEEE、TOTAL ENERGY AFRIQUE de L'OUEST。

#### (1) 入札スケジュール

これらの指名業者のみが JICA セネガル事務所に呼ばれた。入札スケジュールを以下に示す。

2000 年 6 月 30 日	入札説明会
2000 年 7 月 14 日 12:00	技術仕様提出締め切り
2000 年 7 月 21 日 10:00	価格入札締め切り、価格公開（第 1 回価格入札）
2000 年 8 月 4 日 10:00	価格再入札（第 2 回価格入札）

第一回価格入札において最低落札価格が予算をオーバーしたため、JICA は第二回価格入札を実施した。

#### (2) プロポーザル技術評価

入札図書提出の際に応札者に機器の技術資料書類だけでなく、提案品が納入仕様を満たしている旨を宣言する自己申告書の提出を求めた。技術評価は調査団が行い、納入仕様についてサプライヤー側の誤解があると思われるものについては再考を求め、すべての応札者が技術評価に合格するよう指導した。この技術評価の結果を表 5.1 および 5.2 に示す。

表 5.1 入札業者の技術評価結果

#### LOT1 SHS 100 セット

Supplier	Result	Remarks/Reason of Failure
AFRIWATT	G	
BUHAN & TEISSEIRE	G	
EQUIP PLUS	G	
MATFORCE	G	
SEEE	G	
TOTAL ENERGY AFRIQUE de L'OUEST	NG	DC/DC Converter の公称電力不足



表 5.2 入札業者の技術評価結果

LOT2 データロガー用機器 3 セット

SUPPLIER	Result	Remarks/Reason of Failure
AFRIWATT	G	
BUHAN & TEISSEIRE	G	
EQUIP PLUS	G	
MATFORCE	G	
SEEE	G	
TOTAL ENERGY AFRIQUE de L'OUEST	NG	Only provides their original components and do not have universality

技術評価は応札者が提出する技術資料のみに基づいて評価するため、応札者は各製品の製造者に依頼し必要なすべての書類を準備する事になる。通常このような書類は現地業者のもとに準備されていないので十分な時間を与えることが重要である。セネガルのサプライヤーは海外の資本参加によりそれぞれの流通ルートを確立している場合が多く、新たな商品の流通ルートを開拓するためには一定の時間が必要である。プロジェクトで特別な機器を要求した場合には書類をそろえるだけでも2ヶ月以上を必要とする。

実際、今回の入札においてもすべてのサプライヤーが評価されるに足る十分な書類を準備できたわけではなかったが機器メーカーと入札者の実績、自己申告に基づいて評価を実施した。

(3) 入札結果

技術評価に合格した業者のみ価格比較対象となった。以下の業者が落札した。

SHS100 セット : MATFORCE  
データロガー3セット : AFRIWATT

5.2 PV 機器納入検査

(1) SHS 納品及び倉庫検査

パイロットプロジェクトサイトへの配送に先立ち、サプライヤーの倉庫で倉庫検査を実施した。それぞれの機器の数量確認だけでなくそれぞれの機器の目視検査を実施することも倉庫検査の目的である。

すべての機器が納品期限に間に合ったわけではなかった。時間的制約により、そのような機器については倉庫検査を免除した。しかし、サイトへの配送後不具合が発見された場合は正すことを条件とした。

CERER での品質確認検査用機器を除いて、倉庫検査を終えた機器はサプライヤーの責任においてサイトへ配送された。

## (2) データロガーの納品及び検品

設置前に、データロガー用資材一式を動作確認のためにサプライヤーが CERER に搬入した。データロガー本体、バッテリーやメモリーカードライター等のデータロガーの主要部品はメーカーによって既に保護ボックスに固定されていた状態であった。

50Wp の PV モジュール 2 枚、100Ah のバッテリー 1 個、10A のチャージコントローラー 1 個およびダミーロードを組み合わせた擬似 SHS システムに、日本で準備した結線図に従ってデータロガー機器を結線して、データロガーの動作確認を実施した。擬似 SHS 用の機器は CERER 所有のものである。

初期計画どおりデータロガーが動作することを確認した。しかし、測定回路上、予想していなかった電気信号の流れがあり測定データを乱していることが発見された。この問題に対処するためにはアイソレーションアンプとよばれる絶縁用機器が必要となることが明らかとなった。

データロガーの動作確認試験手順は以下のとおり。

- a) すべての機器を結線図にしたがって接続する
- b) データロガーへ接続する前にピラノメーターの出力電圧を確認し精度を確認する。
- c) データロガーへ接続する前に温度計（測温抵抗体）の出力端子間の抵抗を測定し、それぞれの端子を同定する。
- d) データロガーに接続する前に、シャントの変換レート（200mV/20A）を確認するために、シャントに電流を通してシャントの出力電圧を測定する。
- e) 50Wp の PV モジュール 2 枚、100Ah のバッテリー 1 個、10A のチャージコントローラー 1 個およびダミーロードをデータロガーに結線する
- f) データロガーへプログラム（日本で準備した）を転送する
- g) データの精度を確認するためにマルチメーターによる測定電圧および電流とデータロガーの記録値を比較する。

- h) データロガーの自動記録機能を確認するために一晩データロガーシステムを稼動したまま放置する

異常値およびその原因を取り除くために以下の対策をとった。

- a) どの信号が他の信号へ影響しているのか確認するためチャンネルごとに入力信号を取り去った。
- b) 正極側に接続されたシャントを負極側に移設した。
- c) アイソレーションアンプを使用してシャント入力信号を絶縁した。

上記の試行錯誤の結果、正確な値を得るためにはアイソレーションアンプが必要であることが明らかとなった。

これらの試験後、設置のためすべてのデータロガー機材を調査団が搬送した。しかし、機器保全の観点からはサプライヤーが責任を持ってサイトへ搬入する方が望ましいであろう。

### (3) CERER による品質検査

100 セットの SHS 機材のうち 3 セットが品質管理のために CERER に持ち込まれた。技術仕様に適合しているかどうか確認するため PV モジュール、バッテリー、チャージコントローラー及びバラスト付蛍光灯をテストした。

#### 1) PV モジュール

PV モジュールの定格出力は自然光を用いて確認した。PV モジュールの最大動作電圧  $V_{max}$  の測定値はセル温度 60 度において 14.90 [V] であった。通常、12V システムにおける PV モジュールはチャージコントローラーによって規定される均等充電電圧を上回る電圧を供給する必要がある。一般的なチャージコントローラーは均等充電電圧として 14.7 [V] を規定しているため、PV モジュールの試験結果は容認できるレベルである。

#### 2) チャージコントローラー

チャージコントローラーの特性のうち最も重要な要素は過充電、過放電防止機能始動電圧および自己消費電流の値である。

納品されたチャージコントローラーはパルス変調方式 (PWM) というトランジスタ制御による制御方式を採用している。このトランジスタは充電電流及び充電電圧を制御する

ものである。過充電防止切り離し電圧および過放電防止切り離し電圧は要求仕様を満たす値であった。チャージコントローラーの自己消費電流も要求仕様を満足していた。

### 3) バッテリー

バッテリーの充放電試験により公称容量どおりの容量をもつかどうか確認した。試験の結果、バッテリーが公称容量を満たしていないおそれがあることが明らかとなった。しかし、試験条件をすべての試験室で同一とすることは困難である。国家検定機能を備えようとする試験機関は国際的相互認証網に加入することが強く求められる。サプライヤーに対して国際的に認識されている試験機関発行の試験証明書を要求し、バッテリーが要求仕様に適合していることを確認した。

### 4) バラストインバーター付蛍光灯

蛍光灯付属のバラストインバーターは、その周波数が不適切であるとラジオの受信状態に影響する。バラストインバーターの発信周波数が 16kHz 以上であればラジオの受信状態にはほとんど影響しないといわれている。パイロットプロジェクト用システムはラジオまたはテレビ用電源として使用される予定であるため、バラストインバーターの発信周波数について確認した。

蛍光管の寿命について確認するために点灯消灯連続繰り返し試験も実施した。

クレストファクターも蛍光管の寿命に影響するため、この試験もオシロスコープを用いて実施した。

試験結果はほとんどの要求仕様を満たしたがクレストファクターが要求値に比較して高かった（要求仕様は蛍光管が十分な長寿命を備えるための最小値といわれている 1.7 であったが、試験結果は 2.8 だった）。サプライヤーに対してメーカーの試験結果の提出を要求し、要求仕様を満たしていることを確認した。

### (5) 結論

メーカーから示された値は要求仕様を満たしているにもかかわらず、いくつかの試験については要求仕様を満たしていないという結果が出た。どちらの値が正しいのか確認する手段はない。サプライヤーに対して国際的標準に準拠した試験機関発行の証明書を提出するよう要求することが必要である。CERER は認証試験を実施するための機器が十分に所有しているようである。国際標準の認証網に CERER が加入することは有益であり、太陽光発電用機器向けの証明発行機能を有することが強く求められる。