

ジンバブエ国 太陽光発電地方電化促進計画調査

最終報告書

要 約

平成 11 年 3 月

JICA LIBRARY



J 1150369 (5)

(財)日本エネルギー経済研究所
富士テクノサーベイ(株)



鉅 調 資

J R

99 - 27



国際協力事業団
ジンバブエ国
運輸・エネルギー省

ジンバブエ国

太陽光発電地方電化促進計画調査

最終報告書

要 約

平成 11 年 3 月

(財)日本エネルギー経済研究所
富士テクノサーベイ(株)



1150369{5}

序文

日本国政府は、ジンバブエ共和国政府の要請に基づき、同国の太陽光発電地方電化促進計画調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、1997年1月から1998年12月までの間、6回にわたり財団法人日本エネルギー経済研究所の谷隆之氏を団長とし、財団法人日本エネルギー経済研究所および富士テクノサーベイ株式会社の団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、ジンバブエ共和国政府関係者と協議を行うとともに、現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、ジンバブエ共和国の地方電化振興に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心から感謝申し上げます。

1999年3月

藤田 公郎

国際協力事業団
総裁 藤田公郎

1999年3月

国際協力事業団
総裁 藤田公郎殿

ジンバブエ共和国
太陽光発電地方電化
促進計画調査団

団長 谷 隆之

伝達状

ここに、ジンバブエ国太陽光発電地方電化促進計画調査報告書をご提出申し上げます。本調査報告書には、現地にて実施致しました太陽光発電システムパイロットプロジェクトのモニタリング結果、地方電化マスタープランの内容、及び数々の提案を含めると共に、日本国政府及び貴事業団のご意見等も反映させていただきました。更にはジンバブエ国ハラレにおいて適時開催されました本調査に関するアドバイザリー・コミッティー及びカウンターパートとの協議を通じて、ジンバブエ共和国政府の運輸・エネルギー省エネルギー局（DOE）、ジンバブエ電力公社（ZESA）、UNDP/GEF プロジェクトのプロジェクト・マネージメント・ユニット（PMU）及びジンバブエ・ソーラー・エネルギー工業会（SEIAZ）のご意見も反映させております。

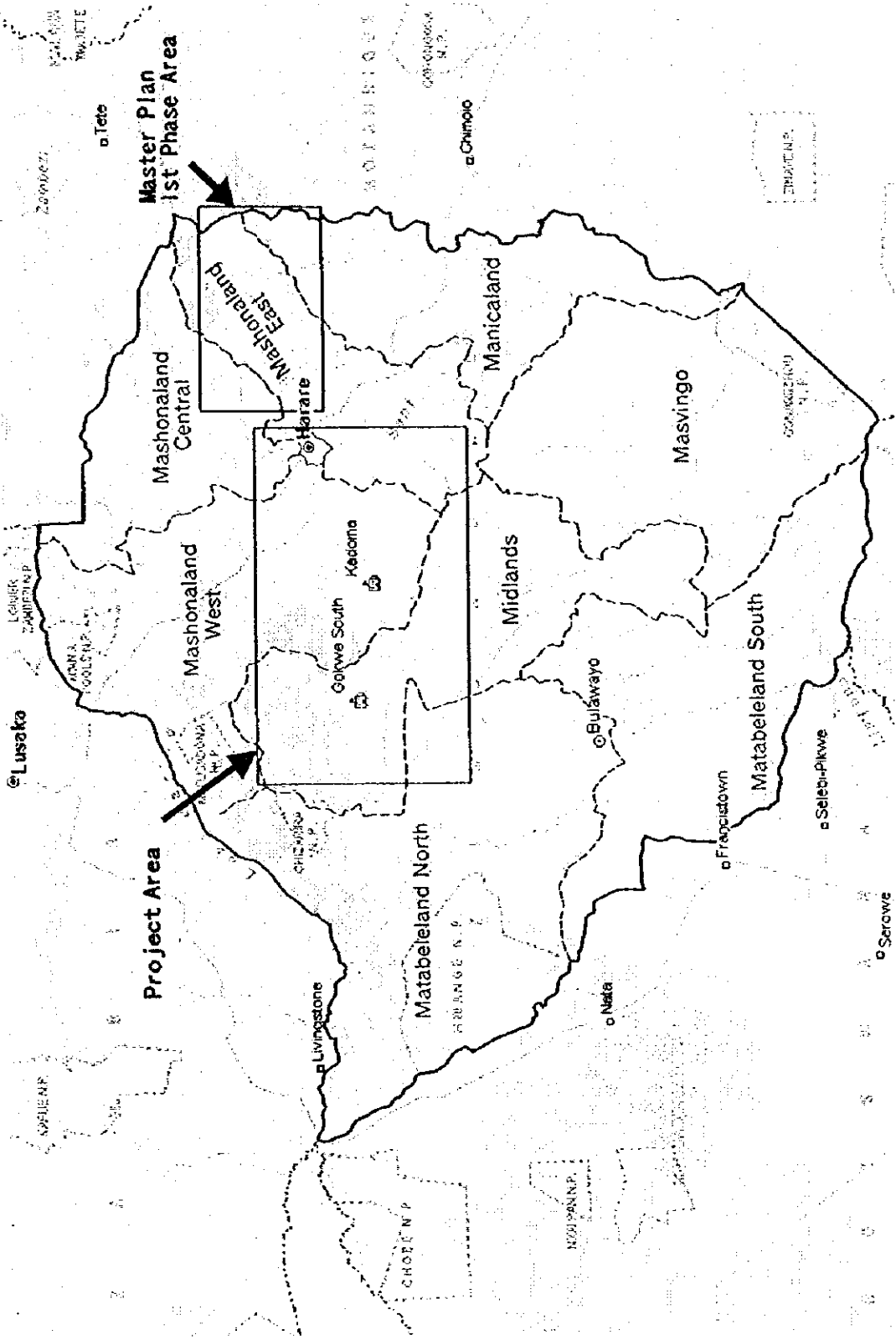
本報告書はジンバブエの地方における未電化世帯の数と地方住民の支払能力から将来のPV 需要を推定し、これらを基に策定した太陽光発電システム地方電化計画のマスター・プランを提示しております。

本マスター・プランは15万世帯を20年間で電化する計画を提言しており、総投資費用として1億800万USドルを予定しております。また、太陽光発電システム普及方法としては、ESCO方式の採用を提案しております。

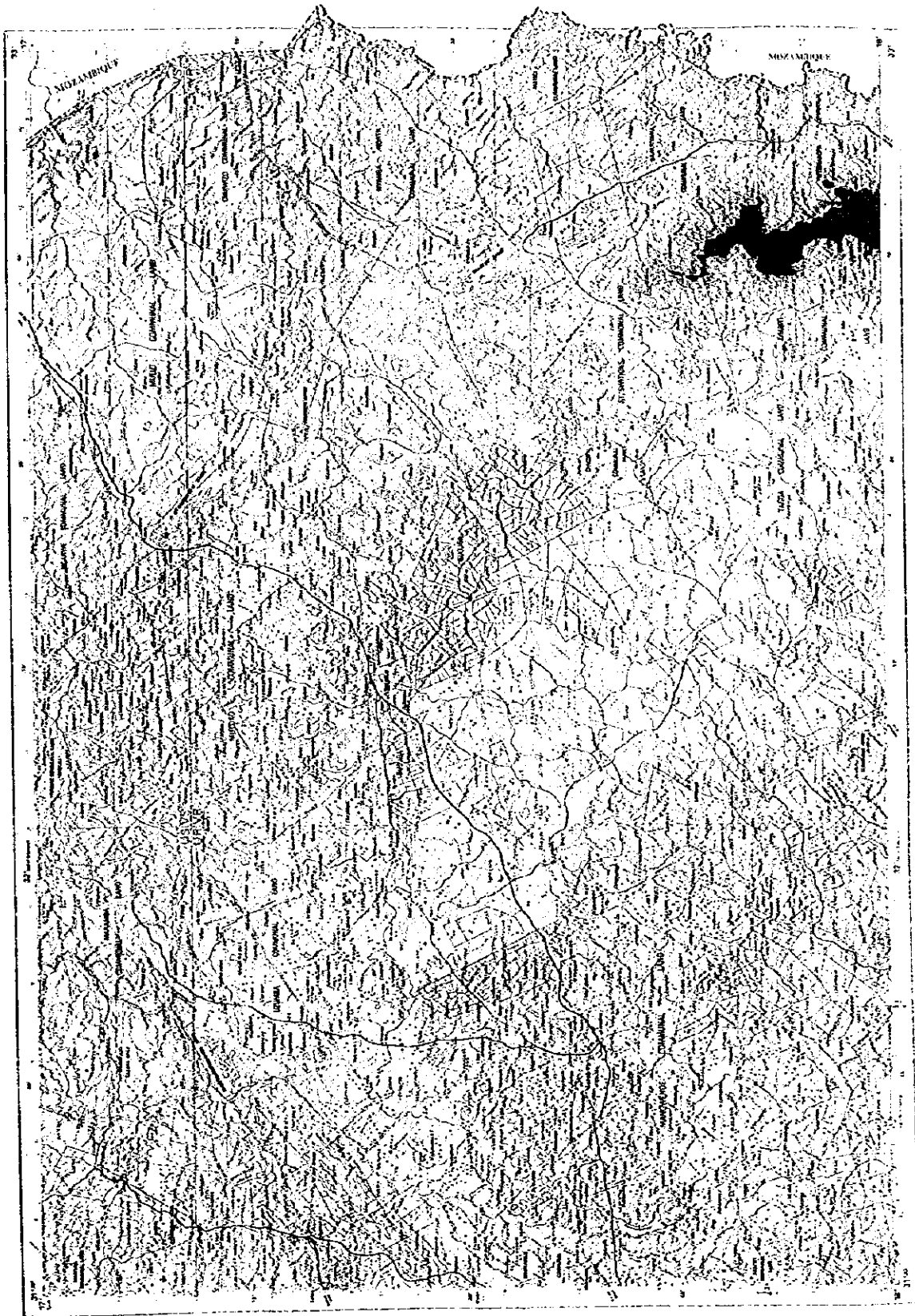
なお、本地方電化計画の実施にあたってはZESAの積極的な協力、及び太陽光発電システムに使用されるジンバブエ国産部品の品質向上が必要であることは、ジンバブエ国政府も強く認識しております。

ジンバブエ国における地方電化の緊急性を鑑み、ジンバブエ政府が、この太陽光発電地方電化マスタープランをもとに地方電化を実施されるよう推奨するものであります。

この機会を借りまして貴事業団、外務省及び通商産業省に対し心より御礼申し上げます。また、ジンバブエ共和国のDOE及び関係各機関に対しましても、期間中我々に対して緊密なご協力とご支援を頂きました事につき、深く感謝申し上げます。



JICA PILOT PROJECT INSTALLATION AREA
 © 1988-1989 JICA/World Bank. All rights reserved.



MASTER PLAN FIRST PHASE AREA

LIST OF ABBREVIATIONS

AFC	Agricultural Finance Corporation
ADB	African Development Bank
ARDA	Agriculture and Rural Development Authority
ARDC	Association and Rural Development Councils
BUN	Biomass Users' Network
CBO	Community-Based Organization
CLF	Communal Land Farm
CRF	Capital Recovery Factor
CSF	Credit Support Fund
DOE	Department of Energy
DSC	District Service Centre
GDP	Gross Domestic Product
GEF	Global Environment Facility
GOZ	Government of Zimbabwe
I/V	Current/Voltage
IPP	Independent Power Producer
JICA	Japan International Cooperation Agency
LED	Light Emitting Diode
LSCF	Large-Scale Commercial Farm
MOA	Memorandum of Agreement
NGO	Non-Governmental Organization
ORAP	Organization of Rural Associations for Progress
PCB	Print Board Circuit
PGF	Parastatal Government Farm
PMU	Project Management Unit
PV	Photovoltaic
RAF	Resettlement Area Farm
RDC	Rural Development Council
RC	Rural Centre
RE	Rural Electrification
REP	Rural Electrification Plan
RSC	Rural Service Centre
SAZ	Standards Association of Zimbabwe

SEDCO	Small Enterprises Development Corporation
SEIAZ	Solar Energy Industries Association of Zimbabwe
SADC	South African Development Commission
SAPP	South African Power Pool
SCN	State-Certified Nurse
SRN	State-Registered Nurse
SSCF	Small-Scale Commercial Farm
UNDP	United Nations Development Programme
WAPCOS	Water and Power Consultancy Services
ZESA	Zimbabwe Electricity Supply Authority
ZIC	Zimbabwe Investment Centre

ジンバブエ国太陽光発電地方電化促進計画調査

要 約 目 次

計画位置図(Location Map)

1.	調査の概要.....	1
1.1	調査の目的.....	1
1.2	調査の背景.....	1
1.3	調査スケジュール.....	3
1.4	カウンターパートおよび関連機関.....	3
2.	調査の方針と内容.....	4
2.1	調査の方針と調査のフロー.....	4
2.2	分野毎の主な調査内容.....	6
3.	調査結果の概要.....	8
3.1	GEF プロジェクトの評価.....	8
3.2	JICA モニタリングシステムのスキーム.....	10
3.3	モニタリングの実施とその評価.....	11
3.4	社会調査.....	12
3.5	経済評価.....	14
3.6	融資制度.....	15
4.	太陽光発電を利用した地方電化計画の基本方針.....	17
4.1	電化方式の選定.....	17
4.2	運営組織と構成.....	17
4.3	システム設計.....	20
4.4	PV 電化の対象と電化目標.....	21
5.	太陽光発電地方電化促進総合計画.....	23
5.1	実施行動計画.....	23
5.2	資金計画とキャッシュフロー.....	26
5.3	実行計画の提言.....	30
5.4	結言.....	30

表 目 次

表-1	利子補給と購入金額補助との比較	16
表-2	候補となる組織と要件の比較	17
表-3	各担当者・事務所等の役割	18
表-4	太陽光発電標準システム	20
表-5	PV システム設置計画	21
表-6	必要となる要員数	21
表-7	太陽光発電地方電化のための実施項目一覧	24
表-8	システム構成部品の単価と寿命	27
表-9	人件費単価	27
表-10	ケース設定の目的	28
表-11	必要資金の内訳、キャッシュフローを計算した期間と計算結果	28
表-12	感度分析（ケース B）	29
表-13	生涯コストの比較	30

図目次

図-1	ジンバブエ国既電化及び電化計画地域	2
図-2	調査のフロー	5
図-3	GEF プロジェクトのスキーム	9
図-4	JICA モニタリング方式のスキーム	10
図-5	PV と送電線延長のコスト比較	14
図-6	地方電化プロジェクト構成表	19
図-7	PV 電化計画推進予定図	22
図-8	太陽光発電地方電化計画推進のための支援プログラム	23
図-9	太陽光発電地方電化計画（短期・中期の展開）	25
図-10	家庭用太陽光発電システム構成図	26
図-11	キャッシュフロー（ケース A）	31
図-12	キャッシュフロー（ケース B）	31
図-13	キャッシュフロー（ケース C）	31
図-14	キャッシュフロー（ケース D）	32
図-15	収入・支出対比図（ケース D）	32
図-16	感度分析（ケース B）	32

1. 調査の概要

1.1 調査の目的

低所得者層にも参加が可能となる、太陽光発電を利用した地方電化計画の策定

1.2 調査の背景

1.2.1 ジンバブエの概況

ジンバブエの人口は1992年の調査で1,040万人、世帯数では216万世帯で70%が地方(農村地域)に居住している。

1994年の国民総生産(GDP)はZ\$762億、一人当たりZ\$7,200(約US\$850)である。国内の産業は製造業(鉱業)、農業、観光業が主であり、金、ニッケルなどの鉱産物、たばこ、綿などの農産物が輸出に向けられ、食料はほぼ自給可能である。

一般家庭の年間収入は今回のJICA調査団が実施した調査では、全平均Z\$36,000(US\$3,000)、未電化家庭では平均Z\$26,000(US\$2,200)程度であった。

農業は大型農場が経営している商業農場と、国が開拓して農民を移住させている共有農場、および再入植地農場があるが、共有農場や再入植地農場は商業農場に比較すると生産性が低く、農家の収入も少ない。

1.2.2 ジンバブエの電力事情と地方電化の概況

ジンバブエの電力供給は国内で豊富に産出する石炭を燃料とする火力発電と、1958年に作られたKaribaダムを利用した水力発電、および近隣国と連係した国際送電網による買電により行われている。発電能力は約2,000MWであるが、1995年度の供給量約10,000GWhの略30%が国外からの購入電力であった。

需要の方は産業、商業向けが多く一般家庭向けは約20%程度、国民一人当たりの電力消費量は2.5kWh/日で世界平均の15分の1程度である。

同国の家庭電化率は国全体で約30%、都市部では70%を超えるが農村地区は5%以下であり、州(Province)別では高い州でも25%、低い州では10%以下である。

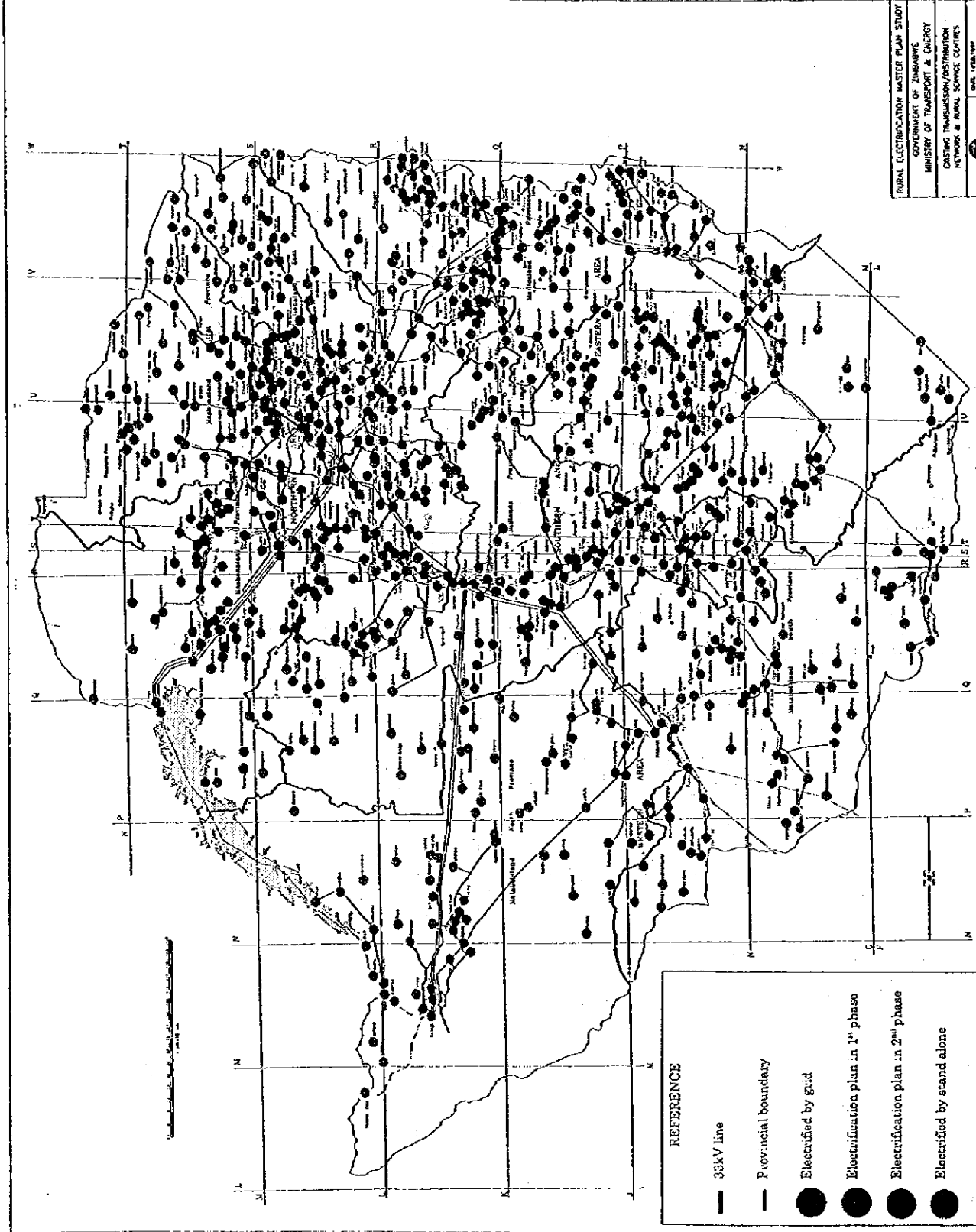
政府は、地方電化を推進するために1997年から10年計画で地方の経済拠点となる、DSC(District Service Centre)、RSC(Rural Service Centre)に、送配電線を延長し電化する計画を実施中であるが、一般家庭に対する電化計画は特にない。(図-1)

1.2.3 ジンバブエの太陽光発電導入状況 (GEFプロジェクト)

ジンバブエには年間約2,000kWh/m²に相当する太陽エネルギーが供給されており太陽エネルギー資源には恵まれている。1993年にはUNDPの資金協力によるGEFプロジェクト(Global Environmental Facility)がスタートし、PVモジュール45W換算で9000件の戸別型太陽光発電システムを5年計画で設置した。また、1996年にはHarareにおいてWSS(World Solar Summit 1996)が開催され、「太陽エネルギーの持続的開発に

RURAL ELECTRIFICATION MASTER PLAN STUDY
 GOVERNMENT OF JAMBANG
 MINISTRY OF TRANSPORT & ENERGY
 CASTING TRANSMISSION/DISTRIBUTION NETWORK & RURAL SERVICE CENTRES
 DATE: 1988/8/27
 DRAWN AND CHECKED BY: [Signature]
 PROJECT NO.: 7042/100/01/2

図-1 ジンパング国既電化及び電化計画地域



REFERENCE

- 33kV line
- - - Provincial boundary
- Electrified by grid
- Electrification plan in 1st phase
- Electrification plan in 2nd phase
- Electrified by stand alone
- JICA monitoring sites

関する Harare 宣言)が採択された。議長国であった同国では以降 10 年間にわたる太陽エネルギー利用プロジェクトの計画(Zimbabwe Solar Programm 1996-2005)を策定し、資金協力を呼びかけている。この計画には戸別型 PV システムの他に、PV 揚水、公共施設用システム、ミニグリッド PV システムなどが予定されている。

同国には 50 社ほどの PV 関連機器供給およびシステム設置企業があり、システム構成機器の製造、輸入、販売、システムの設置などの企業活動を行っているが、殆どが従業員 20 名以内、年間売上げ金額 US\$ 10,000 以下の中小企業である。

これらの企業は GEF プロジェクトの実施に伴い、SEIAZ (Solar Energy Industries Association of Zimbabwe) を設立し、情報交換、広報活動などを行っている。

1.3 調査スケジュール

	年・月	主な作業内容
国内準備作業	97年1月	インセプションレポート(ICR)の作成・送付
第1次現地調査	97年2~3月	ICRの説明、モニタリング用PVシステム設置準備調査、資料、データ収集(電化計画、GEFプロジェクト実施状況、融資制度等)
第1次国内調査	97年5月	収集資料の解析、プログレスレポート作成
第2次現地調査	97年7~8月	プログレスレポート説明、モニタリング用PVシステムの設置、運営開始、農村社会調査の実施(委託)、現地技術者のトレーニング
第3次現地調査	97年10~11月	モニタリングで把握した問題点の解明と対策の指導、
第2次国内調査	98年1月	インテリムレポートの作成・送付
第4次現地調査	98年1~2月	インテリムレポート説明、モニタリング状況、GEFプロジェクト状況等データ収集、
第3次国内調査	98年6~7月	ドラフトファイナルレポート準備
第5次現地調査	98年7~8月	モニタリング中のPVシステム容量拡張、モニタリング状況データ収集
第6次現地調査	98年12月	ドラフトファイナルレポート説明

1.4 カウンターパートおよび関連機関

カウンターパート：

DOE (Department of Energy, Ministry of Transportation and Energy)

アドバイザー委員会：

DOE, PMU (Project Management Unit of GEF), ZESA (Zimbabwe Electricity Supply Authority), SEIAZ (Solar Energy Industries Association of Zimbabwe), BUN (Biomass Users Network), AFC (Agricultural Financing Corporation)

2. 調査の方針と内容

2.1 調査の方針と調査フロー

2.1.1 調査の方針

GEF プロジェクトの実施結果を参考とし、より低所得者も参加が可能となる地方電化計画を策定するために、モニタリングシステムの設置運営を通じて、運営面、技術面での課題を抽出し、その解決方法を検討し地方電化計画に反映させるとともに、計画策定に必要な需要の推定、支援策の選択、および経済性評価を行なうために、村落社会調査、融資制度調査、経済評価調査を実施する。

2.1.2 調査のフロー

地方電化計画を策定する調査のフローは図-2の通りである

2.1.3 PVモニタリング調査の概要

今回の調査で実施するモニタリング調査の概要は次の通り：

(1)対象地域、設置数：Mashonaland West Province, Kadoma area

診療所5箇所、学校2箇所

Sanyati(Communal land) 一般家庭50戸(51戸)

Ngeji(Resettlement land) 一般家庭50戸

Midland Province South Gokwe area

診療所5箇所

(2)設置システム：

	一般家庭用	公共施設用
PVモジュール	25W	83W
バッテリー	40Ah	100Ah
充電コントローラ	充・放電制御	充・放電制御
負荷機器	蛍光灯7W2灯 (TV/ラジオ用差込)	蛍光灯7~11W 計6灯 TV/ラジオ用差込

(3)運営・管理： 運営組織 BUN(Biomass User's Network) NGO

業務内容 現地技術者による一般家庭のシステム保守点検

利用料金徴収、利用方法の教育、システム部品交換

運営費、設置費：Z\$1,500, 利用料金：Z\$75/月 (Z\$900/年)

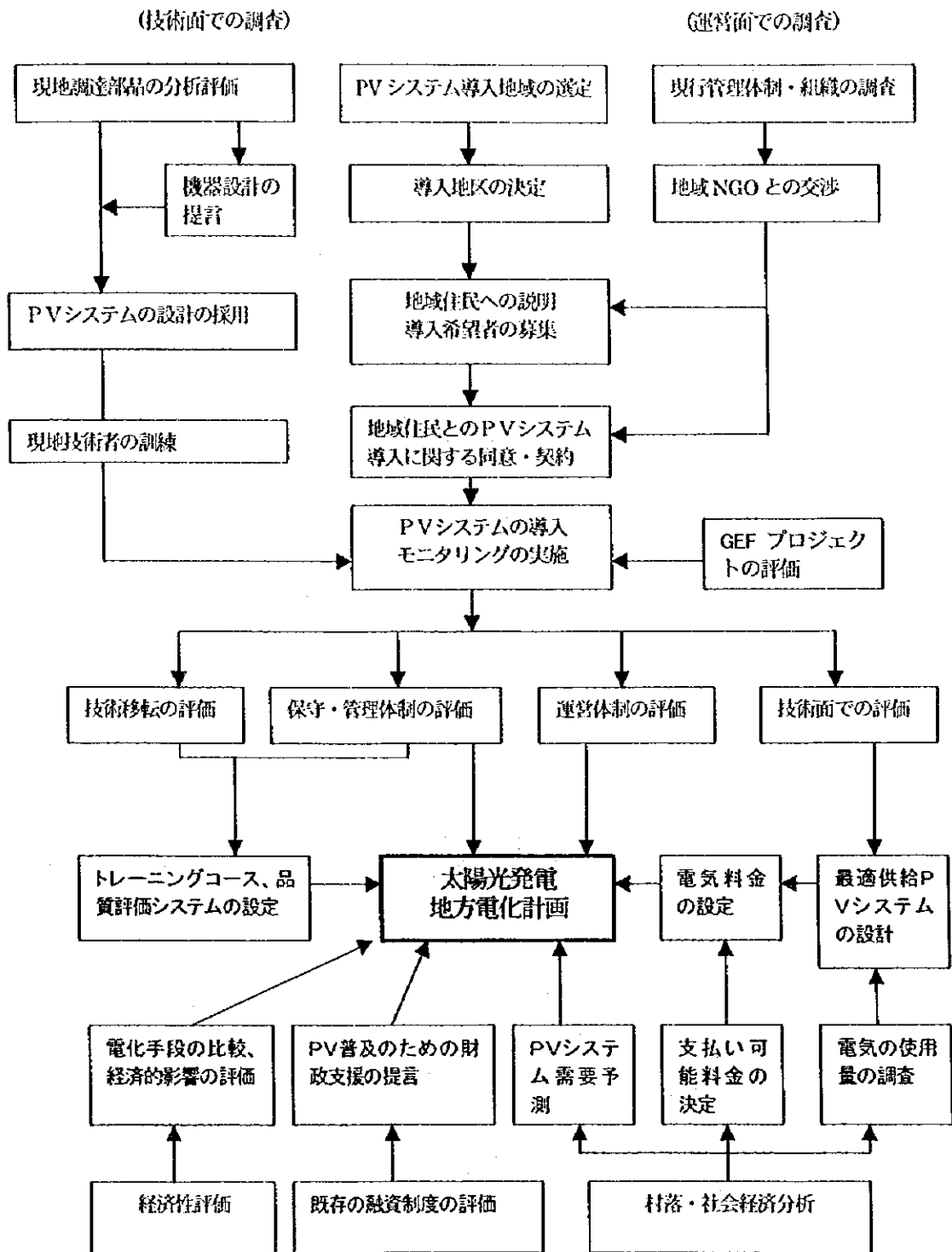


図-2 調査のフロー

2.2 分野毎の主な調査内容

2.2.1 運営面における調査：

GEF プロジェクトの実施状況を事前調査の資料等から解析して課題を明確にし、対策を取り入れたモニタリング調査の方法を決定する。

モニタリングのための PV システムを設置する地域・対象家庭の選択を、カウンターパートや地域の行政組織の協力を得て実施する。

PV システムの利用料金を、村落調査や GEF プロジェクトの結果を参考として設定する。運営機関として PV システムの設置・運営に経験がある NGO を選定し、システムのメンテナンス、料金の徴収など運営に関するデータの収集を依頼し、その運営結果を解析し電化計画の策定に反映させることとする。

PV システムを利用して地方電化を実施する方式として、販売方式と電力供給サービス方式があるが、この2方式について GEF プロジェクトとモニタリング調査の結果を参考に比較を行う。電力供給サービス方式、即ち ESCO (Energy Service Company) 方式を採用する場合、ESCO としての必要条件と、ジンバブエで設置可能な候補組織の比較検討を行う。

2.2.2 技術面での調査：

モニタリングを実施するための 25W 容量のシステムを設計し、現地で入手したシステム構成部品の特性を測定して選択し、或いは改良設計を行い試作をさせて一部使用する。

製品の品質検査、及び試作の過程で品質上の問題を指摘し、製造技術の改善方法を提示する。また、システム設置作業方法をチェックして改善方法を提示する。

現地技術者を選任して保守技術の訓練や指導を行い、設置したモニタリング用の PV システムの保守を行わせる。

運転およびメンテナンスの状況を、データロガーによる記録、および現地技術者による巡回メンテナンスの記録などから解析し、利用者の電気使用状況を把握し、太陽光発電を利用した地方電化計画の策定に反映させることとする。

2.2.3 農村社会調査：

ジンバブエの農村地域における電気に対するニーズや経済状況を調査し、将来の PV 潜在需要を把握するとともに、現在 PV システムを設置している家庭の使用状況を調査し、問題点の把握を行う。

調査は現地コンサルタントに委託し、アンケート調査方式で実施する。調査対象は未電化世帯、および、既に太陽光発電システムを導入した電化世帯の一般家庭それぞれ各 200 軒と、未電化および PV を導入した公共施設それぞれ各 50 施設である。最終的な普及計画はジンバブエ全土を対象としているので、ひとつの州に限らず、複数の州を対象とし、各州の平均収入、人口密度、電気のニーズなどの特徴も検討することとする。

2.2.4 融資制度の検討：

融資制度に関する調査では、利用者やシステム提供者（システム機器提供者、設置業者）にとって、より効果的な融資制度を提案するために、現在の GEF プロジェクトに係わる融資制度および、他の開発途上国における地方電化プロジェクトの融資制度に関する調査を行った。ジンバブエ内の PV 関連企業に対しては、各社にアンケート調査を行い、現在の融資制度がどのような問題点を持っているかを明らかにし、その解決方法を検討する。

2.2.5 経済評価：

太陽光発電システムの経済性については、電気事業者の立場から送電線延長とのコスト比較を行い、農村地域の小さな電力需要に対する太陽光発電システムの優位性を検証すると共に、普及による経済効果を太陽光発電システム設置に関連する付加価値の増加を GDP への寄与度で分析する。

2.2.6 太陽光発電を利用した地方電化促進総合計画の策定

地方電化計画を推進するために各機関・組織が実施すべき項目を明確にする。

PV による地方電化の対象家庭数を推定し、電化計画の目標を設定する。

電化計画の前提を変えたケースを設定してケーススタディを行い、必要資金額、資金の調達方法、徴収すべき料金を計算、または設定してキャッシュフローを計算する。

3. 調査結果の概要

3.1 GEF プロジェクトの評価

GEF プロジェクトは World Bank の資金を利用して、ジンバブエでは市中金利が 35～40% であるが、金利 15% で 2～3 年の分割払いが可能となる回転基金を設定し、利用者が PV システムを求めやすくしたスキームである。また、実施に当たっては推進機関となる PMU を設置し、PMU が輸入する PV システム構成部品の輸入関税をゼロとし、システム設置費用の引き下げを行なっている。システムの設置は民間の企業が行ない、保守は設置企業又は利用者が行なう(一部 ZESA, NGO も参加した)。システムの設置費用は金融機関である AFC が設置企業に支払い、利用者がその費用を分割払いで AFC に返済することとなっている。GEF プロジェクトのスキームを図-3に示す

(1) GEF が太陽光発電技術の普及に貢献した点

- ・ジンバブエの国内に短期間に数千件以上の太陽光発電システムを設置し、太陽光発電が未電化地域における電気供給システムとして有効であることを証明し、地方の未電化地域に居住する人たちに電気が利用できる希望を与えた。
- ・太陽光発電システムの部品製造企業、システム設置業者がこのプロジェクトに参加することにより、PV に関する基礎的な知識や技術を習得するきっかけを与えた。
- ・ZESA が太陽光発電による地方電化の可能性に関心を持つようになった。

(2) GEF プロジェクトにより明らかとなった問題点

- ・ローンの返済期間が 2～3 年と短期間であることと、システム価格の 15% が頭金として必要なことから、システムを購入できるものは、支払能力のある一部の裕福な農民や、教師など定収入のある一部の層に限られたこと。
- ・現地製 PV システム構成機器の品質問題がある。当初、GEF プロジェクトでは、現地で調達できるものは、現地製品を使用していたが、その中には品質の悪いものがあり故障の原因となった。さまざまな機器を試すことにより改善を試みたが、プロジェクト終了時には、システム主要構成機器のほとんどが輸入に頼ることになった。
- ・設置業者の技術レベルが低い。GEF プロジェクトは、設置業者に対しシステム設置の技術基準を設けてシステム設置作業を依頼したが、設置終了後に行われた PMU のスタッフによる設置状況検査では、改善を必要とする事項が多数指摘された。
- ・GEF プロジェクトの対象地域がジンバブエ全土であり、融資審査をパスしたすべての購入希望者にシステムを設置したことから、システム設置家庭が全国に広がり、PMU の少ないスタッフの検査に対する負担は計画が進行するに伴い増大し、設置したシステムのフォローが困難になっている。

- ・システムの保全について GEF プロジェクトを運営している PMU は、設置後 1 年間は設置業者が責任を持ってシステムのアフター・サービスをすることを義務づけたが、その後のメンテナンスはシステムに対する知識の少ないユーザー自身が行うことになっており、十分な保全が行われないおそれがある。

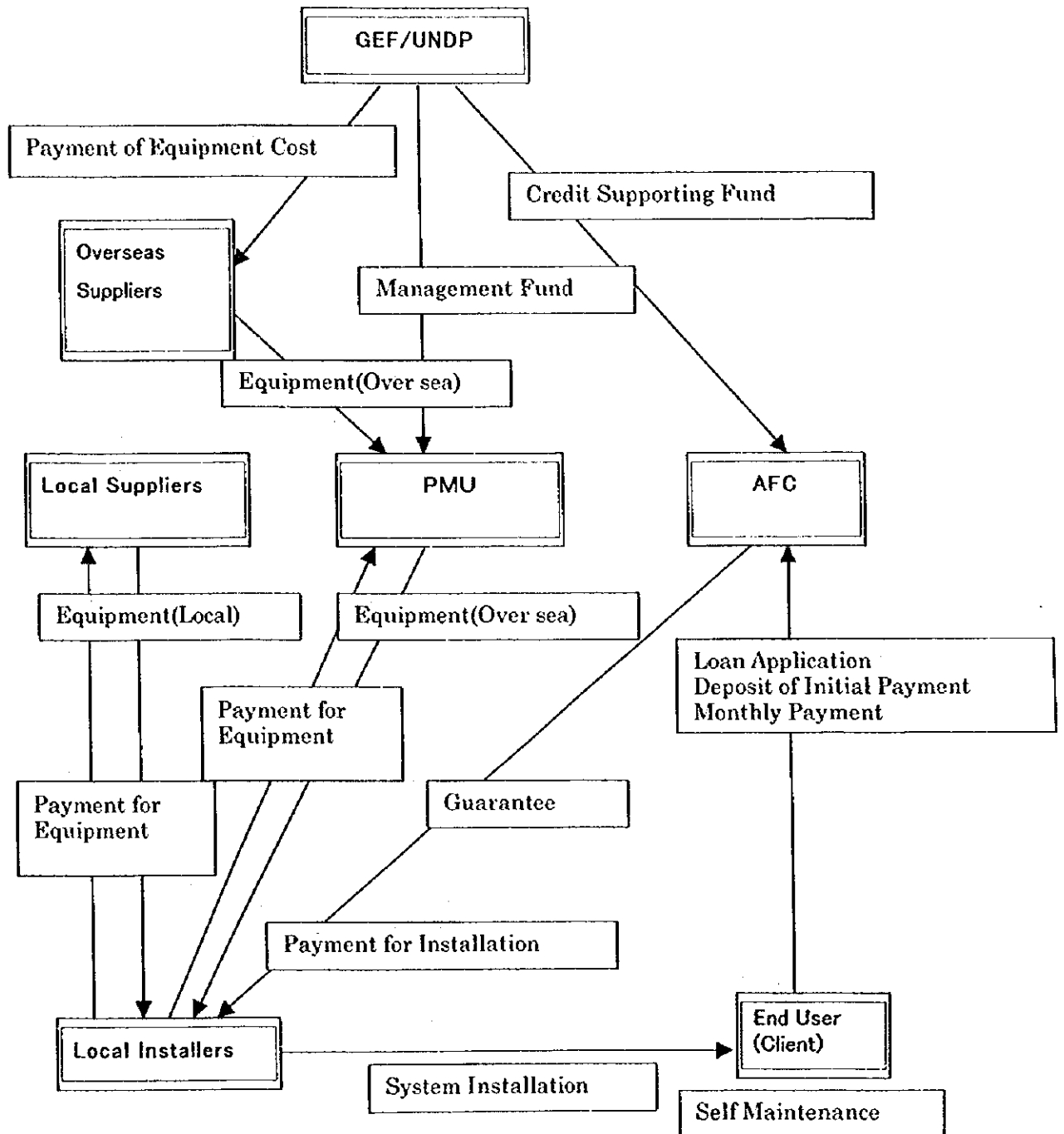


図-3 GEF プロジェクトのスキーム

3.2 JICA モニタリングシステムのスキーム

JICA が行うモニタリング方式の特徴を以下に示し、そのスキームを図-4 に示す

- (1) より低い収入の階層が利用できるスキームの開発を目指す。
- (2) PV システム構成部品にできる限りジンバブエ製の部品を使用する。そのために、非常に小さい容量の PV システム (25W クラス) にも利用できるコントローラーの開発を行い、技術移転によりジンバブエ国内製造を可能とし、モニタリングの PV システムに採用した。
- (3) 継続性のある運営組織に運営管理業務を委託し、設置した PV システムの保守、管理を行わせて PV システムの長期利用を保証する。
- (4) 地域を限定して利用者を開拓し、運営組織の下に専任の現地技術者を配置し、PV システムの保守に責任を持たせる。
- (5) 現地技術者、設置作業者に対するトレーニング施設を準備し、保守技術、設置技術レベルの標準化を図る。

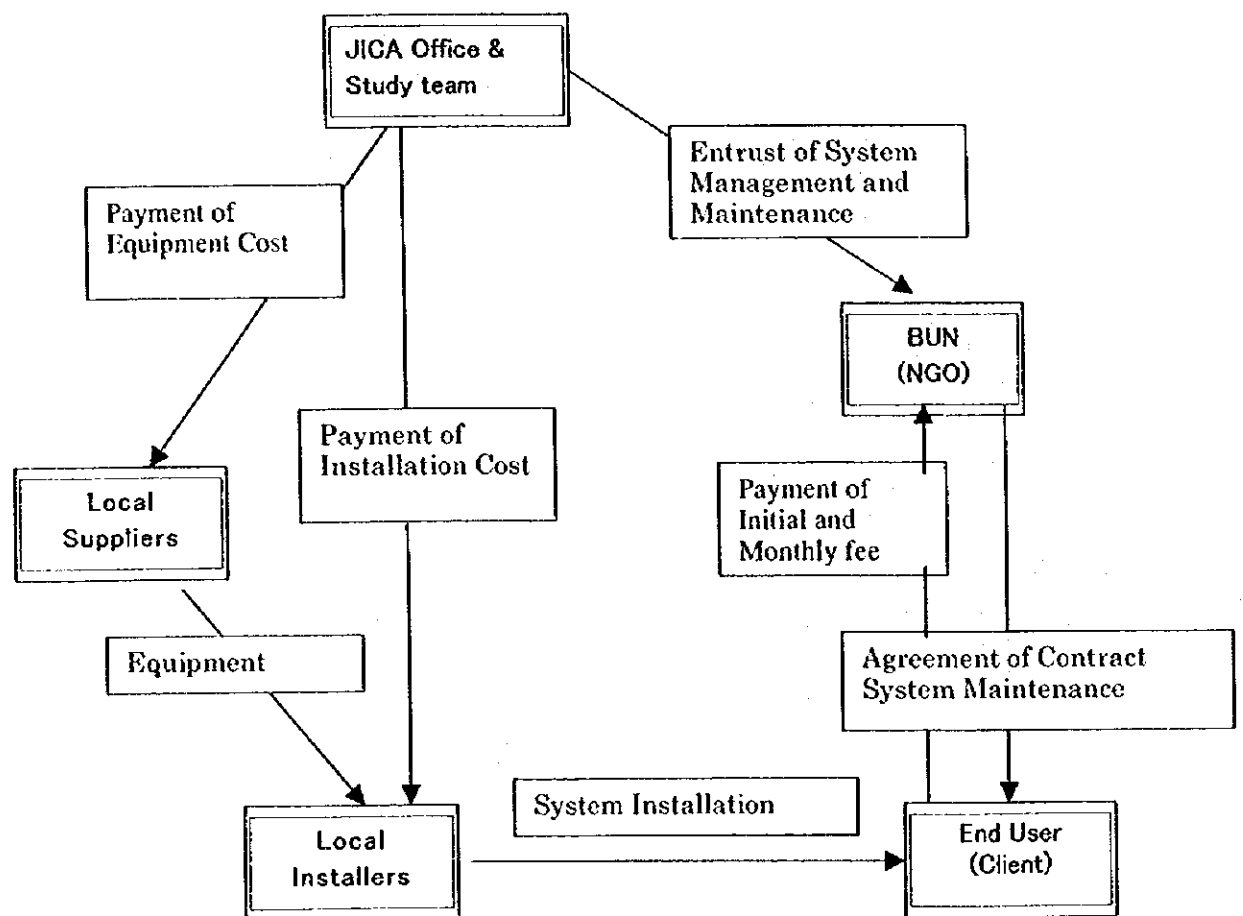


図-4 JICA モニタリング方式のスキーム

3.3 モニタリングの実施とその評価

3.3.1 運営面での評価

- (1) 低所得層の参加を容易にするため、PV システムの買い取りではなく電力供給方式として、電気の利用料金を支払う方式とした。料金は GEF 方式の約 1/2 となり、地域によっては多数の利用者が集められることが確認できた。
- (2) システム構成部品の評価は技術面での評価で述べるが、現在の国産部品の品質には問題があった。
- (3) 運営組織に NGO を起用し、モニタリング用の PV システムの管理、保守、料金徴収を委託したが、利用者の予想以上の電力使用、システム構成部品の品質による初期トラブルなどで安定した運営を行なうまでに時間がかかった。NGO はシステム管理を行なう上で強制力が弱く、不正使用や料金未払いに対する強制執行力にやや欠ける。又、モニタリング対象地域と NGO の事務所が離れていることも運営を効率的に行なう上でマイナスとなった。
- (4) 実際の保守を行なう現地技術者には、モニタリング対象地域から候補者を選び、JICA のトレーニングクラスで訓練して採用した。現地技術者は経験を積めば 100 軒以上の利用者をカバーすることが可能であることが推定された。
- (5) 利用料金の徴収は給与生活者には月払いでもよいが、農家には収穫時払いの方が適していることが確認された。

3.3.2 技術面での評価

(1) システム構成機器：

- a. 太陽光発電モジュールは GEF と同じ輸入品を使用し特に問題はなかった。
- b. バッテリーは国産品を購入使用したが、利用者の電気使用希望量が予想より多かったり、チャージコントローラーの設定不備もあり、結果として多数の使用不可能バッテリーが発生するなど多くの課題が抽出された。
- c. チャージコントローラーは最初国産品を使用したが、自己電力消費の少ない改良型に交換、さらに落雷等のノイズに対する耐性を高めた改良型に交換した。改良型を製造するための部品が現地で入手できず、日本で入手組立を行った。
- d. 蛍光灯器具は実際に設置した中に約 1 % の比率で故障が発生し、取り換えの必要が生じた。

(2) システム設置作業：

- a. 作業のやり方が粗っぽく、適正な工具を持たずに作業し、家屋の壁や、屋根に損傷を与えているが、適正な工具を使用し、丁寧な作業をするよう指導した。
- b. PV モジュールの方位角、傾斜角の設定が正確でなく、そのための計器や治具も持っていなかったが、簡単な治具の利用と確実な取り付け方法の指導を行った。
- c. 配線工事ではバッテリーとの接続で端子に巻き付けただけの工事があった。

(3) データロガーによる運転状況の評価

- a. 日射データはこれまでの Harare 気象台の測定結果を設計に利用しているが、モニタリング地区の実測データとあまり大きい差がないことが確認された。
- b. チャージコントローラーの運転特性について、最初に設置した現地製のチャージコントローラーは、HVR (High Voltage Reconnection) の設定値が仕様は 13.5V にもかかわらず 12.5V となっていたため、再充電がなかなか行われずバッテリーの回復が十分に行われなかった。改良型については予期したとおりの運転特性を示している。
- c. 公共施設設置システムの運転状況については、クリニックの場合まだ電気の使用量が予定より少なく、電気の使用量増加に対して余裕がある。学校に設置したシステムは保守を学校に任せているため、保守を着実にやっている学校と行っていない学校ではバッテリーの状態に大きな差が現れた。
- d. 一般家庭のシステムは電気の使用量が予定したよりも多く使用されており、システムがフルに稼動していることを示している。設計には日射量等で少し余裕を見た設計にしているが、不日照日が続いた場合には充電が十分に行われず、電力の供給が止まることもある。使用量が多くなったのは照明だけではなくテレビへの使用が加わったためである。
- e. 利用者の評価では満足と回答している利用者の数が 97 年 12 月 44 件であったのが 98 年 4 月には 84 件と増加しており、初期トラブルが収まり安定状態に入った。トラブルの内容はチャージコントローラーおよびバッテリーに関するものが大部分である。その後、システム設置僅か 1 年を経過した 98 年 8 月以降になると、蓄電池電圧の低下が多く観察され、現地蓄電池の寿命が尽きるという事態になった。このため、品質の安定した輸入品に置き換えることにした。
- f. モニタリングの途中で、利用者の電気使用量が予想以上に大きく、容量拡張の希望が多いことが判明、50W システムへ容量を拡張したシステムの設計と施工を行い、最小の追加投資で拡張が可能であることを確認した。

3.4 社会調査

3.4.1 ジンバブエ農業の概要

ジンバブエの農地別分類と各分類毎の作物の種類、営農形態別特徴等を調査した。農地別分類では共同地農業 (Communal Land Farm) の居住人口が多く、PV 電化の対象として共同地農業の従事者が最も一般的になるものと見られる。農産物の主なものは玉蜀黍、小麦、棉等である。

3.4.2 農村社会調査結果

未電化家庭 200 軒、PV システム電化家庭 200 軒、公共施設既電化・未電化各 50 個所を対象とし、経済状況、電気需要、PV システムに対する期待、要望等について調査した。

調査は現地の調査会社に委託、対象家庭、施設は全国8県の内6県に分布しており、共有地農業地域が81%、再入植地域9%、その他10%となっている。

職業は農業が最も多いが、教師が次に多く、3番目が商店などのサービス業となっている。

年間収入金額は、平均ではZ\$36,000であるが、未電化家庭Z\$26,000、PV電化済み家庭Z\$42,000とはっきり差が見られた。

利用している電気機器、照明用具として、ラジオは90%の家庭が所有しており、テレビは全体の45%、未電化家庭でも22%が所有しており、バッテリーを充電して利用している。未電化家庭の照明はケロシンランプとろうそくであり、光熱費の支出額は未電化家庭Z\$60/月、PV電化家庭Z\$120/月であった。

3.4.3 PV利用者の使用状況聴取結果

PVシステム設置家庭の平均容量は40W、設置数は93年以降GEFプロジェクトの開始に合わせ増加している。設置家庭の78%がテレビ(白黒)を所有しており、電気の使用時間は3~4時間となっている。システムの購入は一括購入とローンがほぼ同数でシステムの平均価格はZ\$7,000であった。

PVシステムの設置について満足、又はほぼ満足している家庭が90%、効果として、娯楽の時間が多くなった、宿題の処理が容易になった、家内作業が容易になった、外部に対する関心が強くなった、等が挙げられている。

将来所有、又は増設したい電気機器として、冷蔵庫、テレビ、蛍光灯、ラジオ/ラジオカセットなどが挙げられている。

Kadoma地区のJICAシステム(25及び56W)設置仮定をJICA調査団が直接調査した結果、容量がまだ各戸の要望より小さいとする指摘はあるものの、満足、またはほぼ満足している家庭が93%あり、大いに歓迎されている状態が明らかとなった。

3.4.4 PV潜在需要の推定

経済面からPVシステム導入可能家庭を推定し、太陽光発電の潜在需要とする。

50WのPVシステムを設置し利用するケースで、構成機器のコスト、金利などの前提を変えて年間利用料金を計算すると、Z\$1,400、Z\$2,100、Z\$3,400の3ケースが得られる。

この利用料金が、家庭における光熱費の年間収入に対する平均比率である4%未満となる未電化家庭を、収入面からの潜在需要家庭と考え、年間収入の分布を対数正規分布と仮定して計算すると、1997年におけるZ\$1,400の支払い可能軒数(年間収入Z\$35,000以上)は約30万軒、Z\$2,100の支払い可能軒数(年間収入Z\$52,500以上)は約16万軒、Z\$3,400の支払い可能軒数(年間収入Z\$85,000以上)は約7万軒となる。

3.5 経済評価

3.5.1 PVシステムによる電化とグリッド延長による電化の経済性比較

(1) ジンバブエにおける発電コストの試算

ZESAの資料に基づき石炭火力発電のコストを試算した。その結果は0.23Z\$/kWhとなった。(Z\$10.8/US\$)

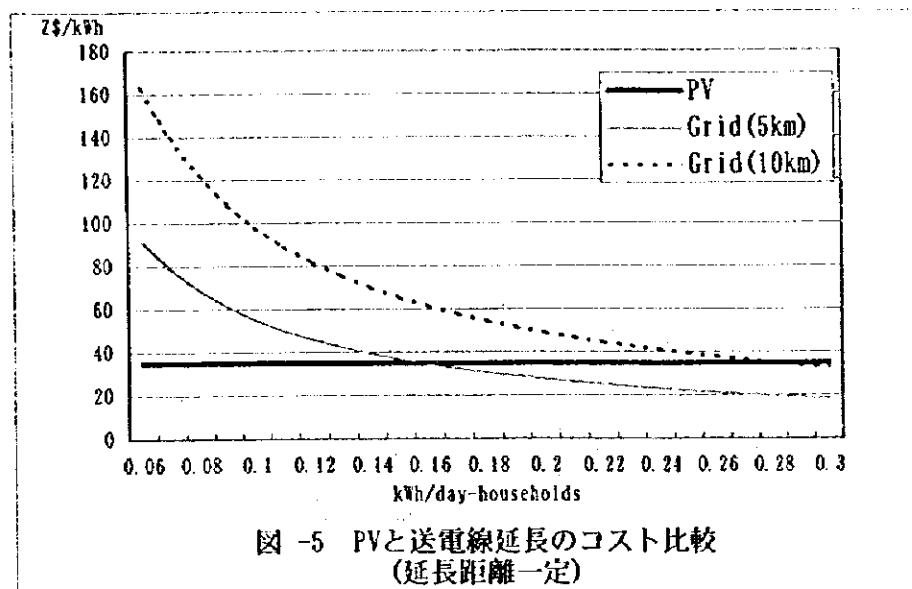
(2) PVシステムのkWhコスト試算

JICAモニタリングで設置したシステムの発電コストを、PVモジュール寿命20年で計算した。バッテリー、チャージコントローラーの寿命をそれぞれ2.5年、5年とした場合は約35Z\$/kWhとなる。(年間電力供給量22.8kWh)

(3) グリッド延長する場合のコスト試算

11kVの配電線で5km、10km離れた村落へ送電して電化する場合のコストを計算する。費用はWAPCOSが地方電化に使用したコストを採用する。村落の利用者50軒、送電線の寿命を20年とし、使用する電力量はPVと同じとすると5km離れた村落の電力コストは約89Z\$/kWhとなり、10km離れた村落では157Z\$/kWhとなる。

(4) 各家庭の電力使用量を変えた場合のPVとグリッド延長のコスト比較



3.5.2 PVシステムの普及が経済に与える影響

PVシステムを設置することによる経済(GDP)への影響を、PVシステム生産付加価値+PVシステム設置工事付加価値+PV設置により必要なくなったグリッド延長設備の費用+PV設置により必要なくなった電力購入費用と仮定すると、1997年に45Wのシステムを3,500件設置したとすると、20年間の効果(電力購入削減)を10%の割引率で現在価値に集約して

PVシステム生産付加価値（販売額の40%）	Z\$14,000,000
PV設置付加価値（設置費用の80%）	Z\$ 2,240,000
PVシステムによって必要なくなる買電コスト	Z\$ 135,817
これら電力送配電を必要としない設備コスト	Z\$21,352,913
合計	Z\$37,728,730

ジンバブエの1996年のGDPは、Z\$850億であったからPV関連の経済効果はGDPに対し0.04%程度であった。

また、PVシステムの輸入金額と、グリッド延長機材の輸入金額および購入電力削減をそれぞれ費用と便益として費用対便益分析を行うと、便益費用比が0.66、IRR4.5%が得られた。但し、前提が少し異なるとこの分析結果も大きく振れる。

なお、PVプロジェクトは全国的な影響よりも地域経済への影響がより大きく、農村地域での就業機会の増大、サービス業における雰囲気向上による売り上げ増加、情報の入手容易化による生産の効率化なども期待されている。

3.6 融資制度

3.6.1 GEFにおける融資システムの解析

AFC (Agricultural Finance Corporation) が実施するCSF (Credit Support Facility) を資金源とする低金利融資の資金フロー、およびAFCに対するローン申請と認可の事務手続きと設備の設置、頭金およびローン返済のフローを確認。

通常は頭金が15%、年間の利率が15%、3年間の返済計画がたてられ、毎月の収入が返済額の5倍以上あることが必要条件となる。利用者は1997年末で約4,200件。

3.6.2 AFC以外の組織を利用したPVシステム設置推進方式

ZESA および NGO を利用して PV システムの普及促進を図り、最初に必要な資金は GEF が組織に対し拠出し、組織が開拓した利用者に PV システムを設置し、費用はそれぞれの組織が利用者から分割払いで回収を行う。一般の PV システム設置企業よりこれらの組織の方が未電化村落の潜在利用者に近いと考えられている。ZESA は 500 システム、NGO は 1,600 のシステムを設置する計画である。

3.6.3 補助金の使用方法に関する検討

Fund を設立して低金利融資により分割払いの金額を低くすることが GEF プロジェクトの目的であるが、利用者が分割払いの金額を低くするには支払期間の延長を認めることもひとつの方法である。15%の金利で3年の支払期間を市中金利と同じ35%で5年間の支払期間とすれば、毎月の支払金額はほぼ同じである。ジンバブエの利用者の大部分は支払期間が長くても、毎月の支払額が少ないことを望んでいるようである。

また、補助金が利子補給ではなく、システム購入の一部に直接支給された場合、利用者

の毎月の支払額を少なくすることが可能である。

例えば、45W システム 9,000 件、1,000US\$/システムとして、初年度に購入し3年間で返済するケースを仮定する。一般金利を 35%、利子補給後金利を 15%として、その差額の利子補給額を計算し、利子補給額と同額を製品購入に補助した場合と比較する。利子補給の場合は支払月額が 36\$であるが、利子補給の金額を製品購入に充てた場合、一般金利で計算しても利用者の支払月額は 27\$と少なくなる。

表-1 に補助金を利子補給に使用した場合と初期購入費の補助に使用した場合の比較を示す

表-1 利子補給と購入金額補助との比較

(1,000US\$)

ケース		0	1	2	3	支払合計	支払月額
一般金利	初期投資	9,000					(US\$)
	返済		2,157	2,912	3,931		
	利息 (35%)		3,150	2,395	1,376		
	合計支払		5,307	5,307	5,307	15,921	49
利子補給	初期投資	9,000					
	返済		2,592	2,981	3,428		
	利息 (15%)		1,350	961	514		
	合計支払		3,942	3,942	3,942	11,825	36
	利子補給額					4,096	
利子補給額を初期投資へ補助	初期投資	4,904					
	返済		1,175	1,587	2,142		
	利息 (35%)		1,717	1,305	750		
	合計支払		2,892	2,892	2,892	8,676	27

3.6.4 PV 関連企業における信用アクセスの改善

利用者に対する低金利融資は CSF により設立されたが、PV 関連企業は中小企業が殆どで商業銀行からの融資を得ることが困難であり、低い金利、長い返済期間、担保条件の緩い資金調達方法の実現を要求している。

PV 関連企業が融資を受けやすくするために、信用保証基金の設立、資産に基づく貸付（動産を含む）、サプライヤーによる信用供与を認めることなどが求められている。

3.6.5 他の開発途上国における PV 地方電化計画における資金調達の経験

ドミニカ、メキシコ、スリランカ、インドネシア、フィリピン、ツバル、キリバス、ケニヤ、およびジンバブエでの PV 地方電化計画を、信用供与、財務状況、課税事情、およびその他の項目で比較を行い、成功した要因、失敗した要因などを分析した。

成功と見られるケースでは、補助金は初期投資に導入され、運営資金には使われていない。また、コスト回収（利用料金の徴収）を徹底することも重要である。

4. 太陽光発電を利用した地方電化計画の基本方針

4.1 電化方式の選定

地方電化の推進方法としてPVシステム販売方式と、システムは電力供給組織が保有し、利用者はPVシステムからの電気を利用しその利用料金のみを支払う電力供給サービス方式がある。両者にはそれぞれ長短所があるが、

- (1) PVシステムを中・低所得者層へ普及させる可能性
- (2) 現地技術者の保守・点検によるシステムの信頼性向上
- (3) 堅固な経営基盤を持つ公共、又は半公共機関が運営を担当することにより、長期間安定して供給体制の維持・運営を図ることが可能である。

などから太陽光発電による地方電化の推進方法として電力供給サービス方式(ESCO:Energy Service Company方式)を提案する。

4.2 運営組織と構成

4.2.1 運営組織

運営を実施する電力供給組織として必要な要件を検討し、ジンバブエで候補となる組織を比較検討し、ZESAを母体とするZESA-Solarの設立を提案する。

比較した要件と候補となる組織とその評価は次表に示す。

表-2 候補となる組織と要件の比較

必要要件 \ 候補組織	ZESA Solar	RDC	NGO	協同組合	新民間組織	既存政府機関
中央調整を伴う分散管理	○	○	△	×	×	○
利用者開拓能力	○	△	○	△	○	×
太陽光発電に関する技術力	△	×	○	×	△	○
長期供給の動機付け	○	×	△	△	○	×
低費用の資本調達	○	△	△	×	×	○
現地要員管理能力	○	○	△	×	△	△
設置の質の管理能力	○	○	△	△	○	△
料金回収と会計能力	○	○	△	×	○	△
組織の権限	○	×	×	○	○	×
未払に対する接続解除の意思及び能力	○	△	△	×	○	△

○:Good、 △:Fair ×:Poor

4.2.2 組織の構成

本計画においては利用者を任意の地域から募集するのではなく、現地技術者が月に1度、訪問して保守を行うことが可能な区域内で、50～100軒の利用者を募集し1つの単位とする。このような単位を10～20開拓が予想される地域に地方管理事務所を設置し、上級技術者を配置して現地技術者を監督させるとともにシステム利用料金（保守料金）の収集管理、予備品の在庫管理を行う。さらに県内に地方管理事務所が数カ所設置されるようになれば地域管理センターを設け、広域管理による効率化を図る。

中央組織として全国管理センターを設置し、ZESA 本体との調整、政府との交渉、資金の管理、システムの設計、部品の調達、要員の訓練、などを行なう

表-3に電力供給サービス方式を構成する各要素の役割、図-6に要素間の関係を示す。

表-3 各担当者・事務所等の役割

要素	設定の条件	業務、作業の内容
PVシステム利用者	現地技術者が1/月アクセス可能な地域内に50件以上存在する	PVシステムからの電気を利用する システム設置料金を支払う 電気料金を支払う 蛍光灯など消耗品の取り替え システムの盗難や破損を防止
利用者の会	利用者の代表数名	50名以上の利用者がある地域から数名選出し、 現地技術者の作業状況をESCOにフィードバック システム接続解除などのトラブルを調停
現地技術者	上記PVシステム利用者群の地域に居住している	システムの保守管理、 利用者に正しい使い方の指導 保守料金の集金、交換部品の取り替え 担当地域内で新しい利用者の開拓
上級技術者 地方管理事務所に駐在する	現地技術者5～7人に1名	現地技術者の技術指導と保守状況確認 クレームの状況確認と対策指導 バッテリー取り替え時期の判定 システム設置作業状況の確認
地方管理事務所 (ZESA: Sub offices)	利用者群10～20設定できた地方に設置	上級技術者2～3人と事務職員1～2名 電気料金集金管理、クレーム処理 予備品の管理、現地技術者への補給、 現地技術者への費用支払い
地域管理センター (ZESA: Area/District offices)	地方管理事務所4～5を管理する	地域内集金状況、クレーム状況の収集管理 予備品、新規利用者用構成部品の在庫管理
全国管理センター (ZESA: Harare Main Office)	最終的には全国の地域管理センター7～8を管理	政府と交渉する時の窓口となる。 全地域に渉る電化推進計画の作成、 システムや構成部品の仕様設計、 品質確認、部品の調達と配送、 現地技術者、上級技術者の教育・訓練計画 資金計画、予算の立案、決算処理、広報活動

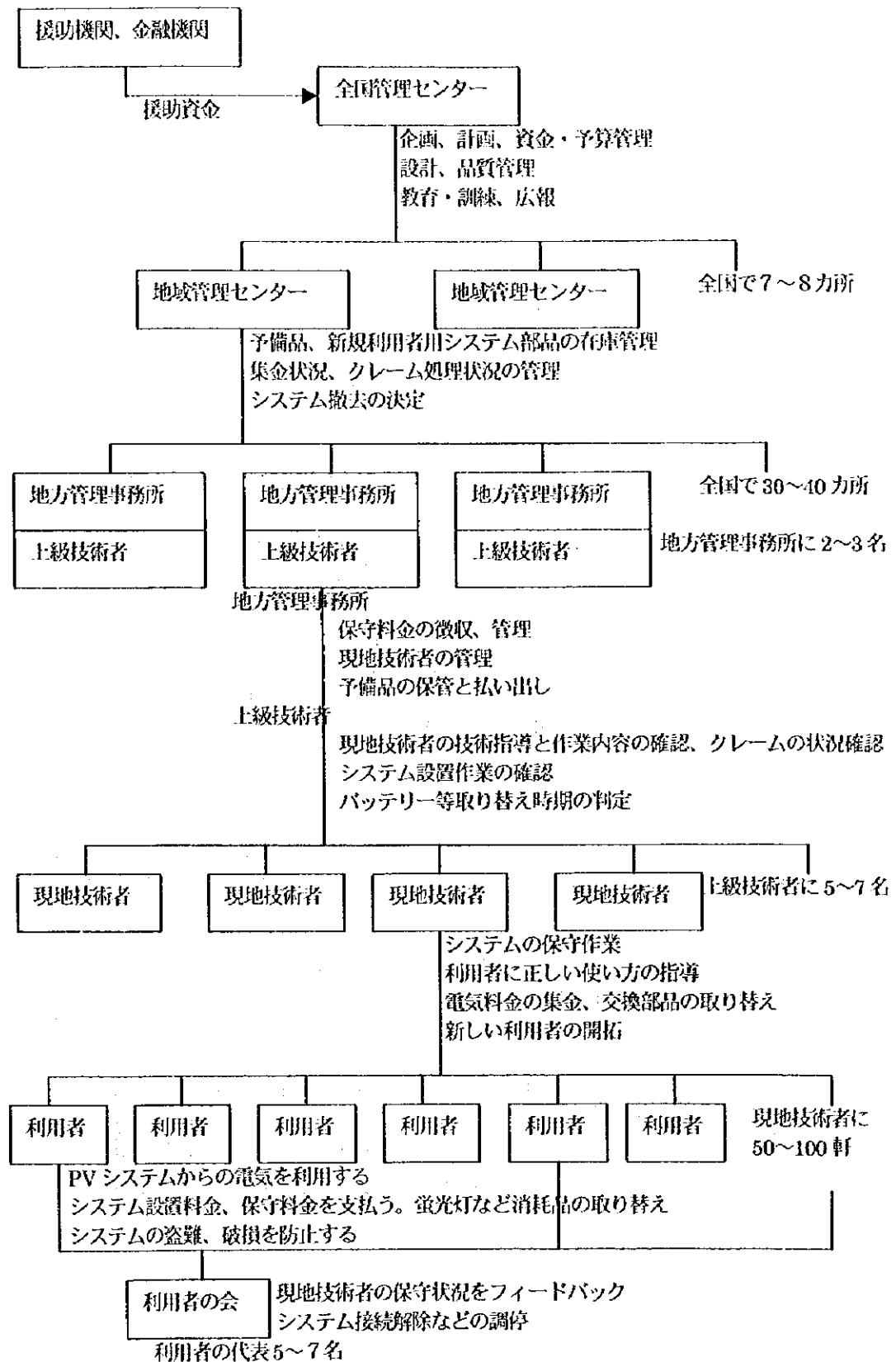


図-6 地方電化プロジェクト構成表

4.3 システム設計

モニタリングの結果、および村落調査の結果から一般家庭用のシステムとして容量 50W を中心とし、25W および 75W 程度のシステムを標準システムとして準備する。

システムを構成する部品の仕様を決定し、公表することにより部品提供企業に参加への準備をさせる。標準システムの仕様は次表に示す

表-4 太陽光発電標準システム

項目	PV システム		
	25W 級	50W 級	75W 級
システムサイズ	25W 級	50W 級	75W 級
PV モジュール	25W	50W	75W
蓄電池	20Ah / 12V	40Ah / 12V	60Ah / 12V
チャージコントローラ	JICA 改良型 HVD=14.5V, HVR=13.0V LVD=11.5V, LVR=13.0V 自己消費電流 < 20mA	JICA 改良型 HVD=14.5V, HVR=13.0V LVD=11.5V, LVR=13.0V 自己消費電流 < 20mA	JICA 改良型 HVD=14.5V, HVR=13.0V LVD=11.5V, LVR=13.0V 自己消費電流 < 20mA
PV 架台 方向と傾斜角	17.5° N (15° ~20°)	17.5° N (15° ~20°)	17.5° N (15° ~20°)
設計日射量	5.41kWh/m ² /day	5.41kWh/m ² /day	5.41kWh/m ² /day
設計無日照日	3 日	3 日	3 日
蓄電池回復充電日数	2.3 日	2.3 日	2.3 日
許容負荷量	55.3Wh / 4.6Ah	110.6Wh / 9.2Ah	165.9Wh / 13.8Ah
同時使用可能負荷例	7W FL 1 灯 2 時間 (1.18Ah) 及び 20W テレビ 2 時間 (3.34Ah) 合計 4.52Ah	7W FL 1 灯 4 時間 (2.36Ah) 及び 20W テレビ 4 時間 (6.68Ah) 合計 9.04Ah	9W FL 1 灯 9 時間 (6.75Ah) 及び 20W テレビ 4 時間 (6.68Ah) 合計 13.43Ah
	7W FL 1 灯 7 時間 (4.13Ah) 合計 4.13Ah	9W FL 1 灯 8 時間 (6.0Ah) 及び 5W ラジオ 5 時間 (2.8Ah) 合計 8.8Ah	

4.4 PV 電化の対象と電化目標

ジンバブエにおける未電化家庭数は農村部で現在 150 万世帯に達する。今後送・配電線の延長により電化される家庭数は 10 年間で 1 万世帯程度と予想されるが、今後の農村人口の伸びが 3%/年以上と予想されるので、未電化家庭数はさらに増加する。

未電化家庭の中で電力供給サービスを利用し、その利用料金の支払が可能である家庭数を農村・社会調査によって推定した。現在、年間の支払料金が年間 Z\$1,500 程度であれば 20 万軒、Z\$3,000 程度であれば 5 万軒の PV 電化対象候補家庭が存在する。

年間の支払料金が Z\$1,500 以下を目標に計画を作成し、第 1 段階 15,000 軒、第 2 段階 135,000 軒、合計 150,000 軒を PV 電化家庭の目標とする電化計画を作成したが、第 1 段階の進捗状況により第 2 段階の目標を改訂することも考慮する。

表-5 PV システム設置計画

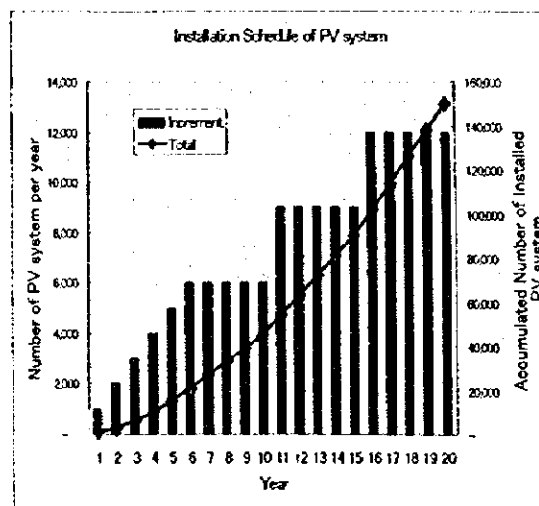
第 1 段階	Year	1	2	3	4	5
設置件数/年		1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
累積設置件数		1,000	3,000	6,000	10,000	15,000
第 2 段階	Year	6 to 10	11 to 15	16 to 20	total	
設置件数/年		6,000	9,000	12,000		
設置件数/5年		30,000	45,000	60,000		
累積設置件数		45,000	90,000	150,000	150,000	

PV 電化計画の推進状況を予想すると、図-7 のようなセンター及び事務所の設置が予定され、設置場所の候補として ZESA の地域管理事務所などがある地点が挙げられる。ZESA-Solar として運営にあたる要員数を推定すると次表のように 15 万軒を約 1,000 人で運営することになる。

表-6 必要となる要員数

とシステム設置数推移グラフ

年度	5	10	15	20
管理者	2	4	6	8
上級技術者	25	46	71	89
事務員	15	30	45	51
運転手	14	28	42	51
作業員	12	24	36	43
現地技術者	150	375	600	750
Total	218	507	800	995



図一7 PV電化計画推進予定図

年度	第1年度		第5年度		第10年度		第20年度	
	1,000	15,000	45,000	150,000	45,000	150,000	45,000	150,000
目標設置件数								
全国管理センター Harare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
地域管理センター								
地方管理事務所	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
上級技術者	4	21	38	75				
現地技術者	20	150	375	750				
利用者集団数	20	150	375	750				
平均利用者数	50	100	120	200				
対象地域(県)	Mashonaland East	Mashonaland East Mashonaland Central	Mashonaland East, Manicaland, Mashonaland Central	Mashonaland East, Manicaland, Mashonaland Central, Mashonaland West, Masvingo, Midlands, Matabeleland North, Matabeleland South				
地域管理センター		Bindura	Marondera, Bindura, Mutare	Marondera, Bindura, Mutare, Chinoyi, Masvingo, Bulawayo, Hwange				
地方管理事務所 (候補地)	Mutoko, Murewa	Mutoko, Murewa, Marondera, Bromley, Centenary, Mount Darwin, Mvurui, Concession, Katwa, Mutawatawa, etc.	Mutoko, Murewa, Bromley, Centenary, Mount Darwin, Mvurui, Concession, Nyanga, Rusape, Chimanimani, Chipinge, Middle Sabi, Katwa, Mutawatawa, Ruwange, Bingaguru, Bazely Bridge, Muzaraani, Dotit, Guruve, etc.	同上 + Karoi, Mhangura, Gokwe, Mkwavine, Chiredzi, Rutenga, Beitbridge, Gwanda, Filabusi, Esigodini, Plumtree, Turk mine, Victoria falls, etc.				

5. 太陽光発電地方電化促進総合計画

5.1 実施行動計画

太陽光発電による地方電化計画を効率よく実施するためには、ZESA-Solar による PV システムの設置、管理・運営のみではなく、太陽光発電に関係する各組織や機関の積極的な協力が必要である。協力の内容として以下の支援プログラムが考えられる。すなわち、太陽光発電システム機器の品質向上と新エネルギー技術センターの設置、太陽光発電システム構成機器の機能測定用機器の整備と測定技術のマスター、基準認証制度の導入、保守要員のトレーニングセンターの設置などである。

各機関・組織の実施項目を、表-7 太陽光発電地方電化のための実施項目一覧に示すとともにその概要を図-8に示す。また、中・短期の活動スケジュールを図-9に示す。

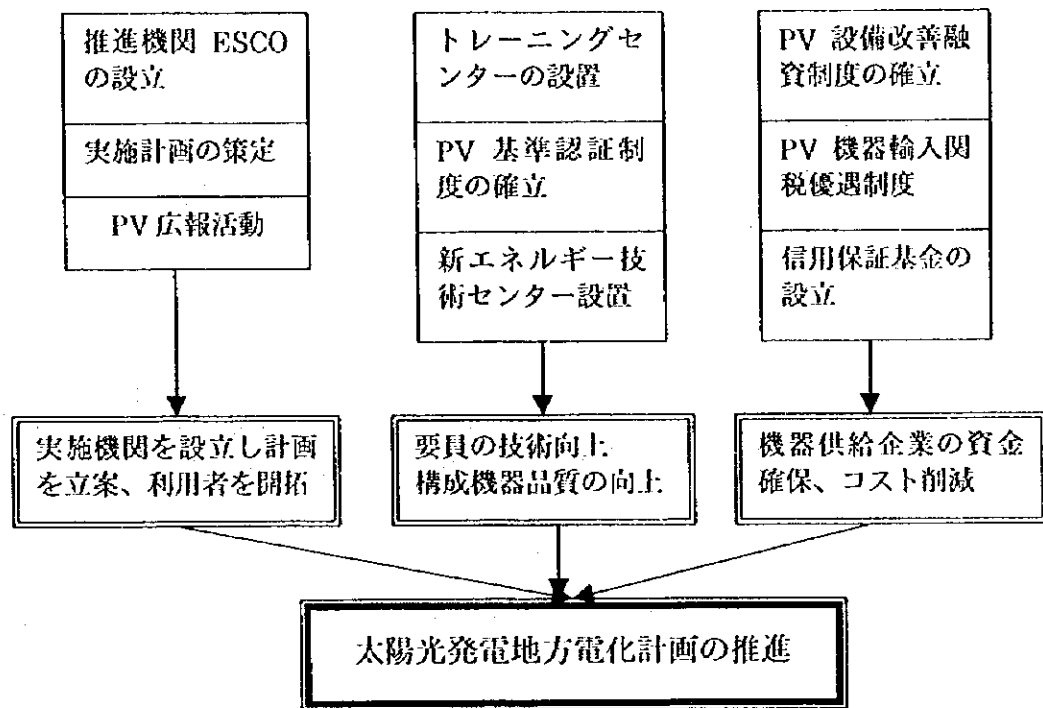


図-8 太陽光発電地方電化計画推進のための支援プログラム

表-7 太陽光発電地方電化のための実施項目一覧

実施項目	実施機関	内容	期待便益	必要資金	懸念
Energy Service Corporation の設立 (ZESA-Solar の設立)	DOE ZESA	安定した経営基盤を持った電力供給機関 ESCO が必要であり、ESCO は P V 輸入、管理 の中心的機関となる。	PV システムを利用者に直接に販売せ ず、ESCO を通じて PV システムから電気を を提供するほうが、太陽光発電システ ムが長期にわたり維持出来る。	第1段階 \$5108 百万 第2段階 \$5972 百万	経営基盤のしっかりした企業 体をつくること
実施計画の策定	ESCO(ZESA-Solar) ZESA DOE	PV を設置するための電化すべき地域の選 定、需要の推定、住民の支払い能力の 推定、資金計画など P V 輸入、管理に関する すべての計画を策定する。	この計画が、ジンバブエの地域電化の 第一歩であり、電化により地域住民の 便益は、計り知れないものがある。		プリント配線図やその他の 電化計画と整合性のとれた計 画を作成すること。
トレーニングセンターの設置	ZESA SEIAZ MOE	第1段階の 15,000 世帯という目標では、5 年間に約 200~250 人の新しい現地技術者を 確保して訓練を施すことが必要である。	これにより、大蔵かつレベルの高い PV 技術者が養成でき、第1段階でも 15,000 世帯の PV のメンテナンスが可能にな る。	センターは、keckwe 専門 学校利用 教材及び試験器具一式 約 US\$50,000/年	センターは利用しやすけ場所 に設置し、大学や国際機関と の連絡も密にすること。
新エネルギー技術センターの設置	DOE SIRD UOZ	現地で PV 構成品の品質にはばらつきがあ る。これは製造過程の問題があると考えられ る。これを解決するため新エネルギー技術セ ンターの設置が必要である。	新エネルギー技術センターの設置は、 ジンバブエの PV 構成機器の品質向上を もたらし、PV の促進に大きく貢献する。	センター建物及びスタッ クは、既存の SIRD を利 用。実験器具の初期投資 約 US\$200,000	センターは利用しやすけ場所 に設置し、大学や国際機関と の連絡も密にすること。
P V 基準承認制度の確立	SAZ SIRD SEIAZ	現在問題になっている現地企業の PV 構成機 器の品質向上を図るため、本制度を作り、 SIRD が運用する。	現地企業の PV 構成機器の品質向上が 期待できる。		基準と同時に現在不足してい る測定機器を取り揃えること (約 \$5100 万程度で備う)。
信用保証基金の設立	政府 SEIAZ	現地企業が利用者や ESCO に PV 機器を販売 するときに、金融機関からのローンを受けやす くするために本基金を設立する。	これにより、現地企業は、資金の回収 の心配することなく、PV 構成機器の販 売ができる。		PV の普及に応じた規模の拡大 ができるようにしておくこ と。
PV 設備改善融資の促進制度の確立	政府 SEIAZ	現地企業が PV 機器の開発、製造プロセスの 改善をしようとするとき、金融機関からのロ ーンを受けやすくするために本促進制度を設 立する。	これにより現地企業の PV 機器開発意欲 や改善意欲が湧いてくる。		審査基準は、厳密にするが特 許などの成果品は無条件で企 業の資産になるようにする。
PV 輸入に関する関税促進制度の確立	政府 SEIAZ	現地企業や ESCO が、海外から PV 構成機 器、又はその部品を輸入するとき、関税面で 促進措置をとる。	これにより、世界の品質のよい P V 構 成機器が輸入しやすくなる。		現地企業にとつて不利になら ないような関税促進制度にす ること。
PV システムの広報活動	DOE ZESA SEIAZ ARDC	ラジオやテレビを通して、P V 利用仕方、手 入れの仕方、P V の利点を放送し、未電化世 帯の P V 導入意欲を持たせる。	PV に関する知識の普及により、PV の 利用が広がり PV 構成機器のコスト低 下、故障率の低下につながる。		輸入・信用・資金支払い・機 器の保証などあらゆる面から 広報活動を行い、既利用者、 未利用者の理解を得る。

DOE: Department of Energy, ZESA: Zimbabwe Electricity Supply Authority, ESCO: Energy Service Company, SEIAZ: Solar Energy Industries Association of Zimbabwe, MOE: Ministry of Education,
SIRD: Scientific and Industrial Research and Development Center, SAZ: Standards Association of Zimbabwe, UOZ: University of Zimbabwe, ARDC: Association and Rural Development Councils

5.2 資金計画とキャッシュフロー

5.2.1 PV システムのスケッチ

設置を予定しているシステムは下図のようにPVモジュール、チャージコントローラー、バッテリー、蛍光灯、コンセント（ラジオまたはテレビ用）からなるシステムである。

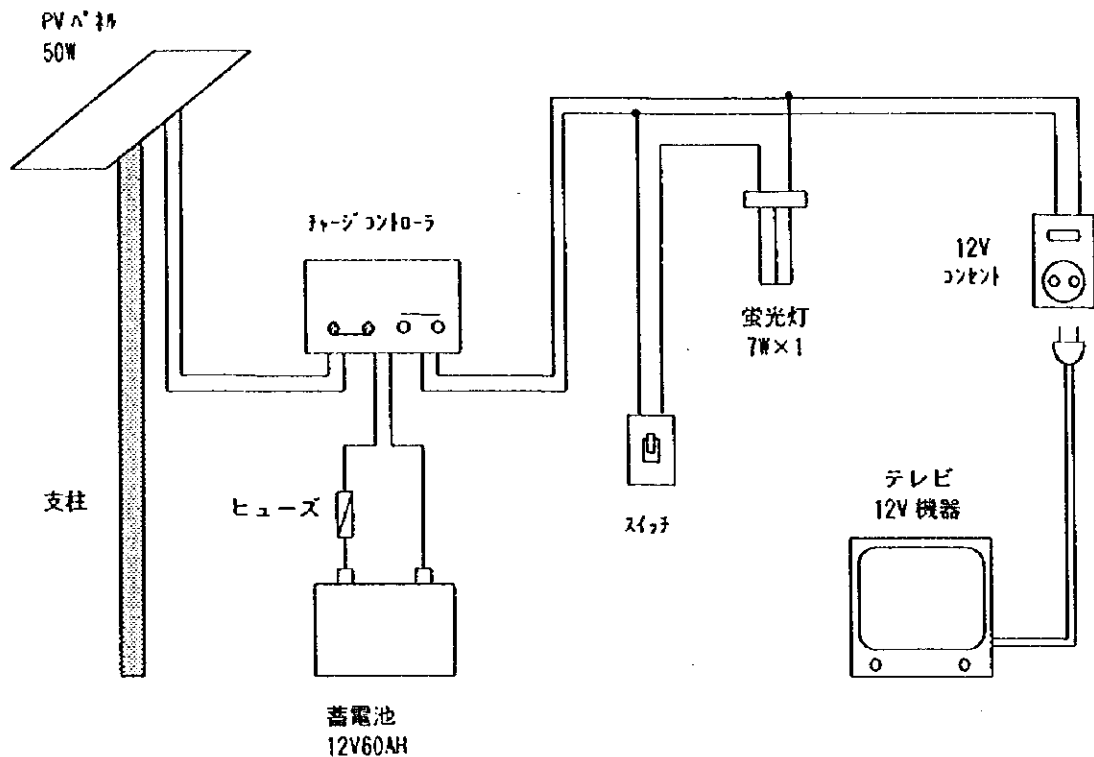


図-10 家庭用太陽光発電システム構成図

5.2.2 システム構成部品の単価および人件費

必要投資額を産出するために各構成部品の単価をジンバブエにおける調達可能価格で設定した（但し 1997 年の価格がベースになっているが、交換レートの影響を小さくするために US\$ 表示とした） 人件費については、現地技術者は実績、その他は推定単価である。

管理事務所等の人件費以外の費用は、地方管理事務所：人件費合計の同額、地区管理センター：人件費合計の 1.5 倍、全国管理センター：人件費合計の 2 倍で計上する

表-8 システム構成部品の単価と寿命 (1997年価格)

部品	単価(US\$)	寿命	備考
PV パネル(50W)	300	20年	
チャージコントローラー	60	5年	
バッテリー	60	3年	
蛍光灯灯具	50	5年	蛍光灯管は利用者が交換
バッテリーボックス	20	20年	
PV パネル用ポール	70	20年	サポートを含む
ケーブルその他付属品	80	20年	
合計	640		
システム設置費用	80		

標準 PV システム : 50W

表-9 人件費単価 (1997年)

クラス	US/月	クラス	US\$/月
Manager	800	Driver	200
Senior engineer	400	Worker	200
Administrative	300	Technician	100

5.2.3 ケース設定と利用料金

資金調達方法、プロジェクトの段階(目標とする PV 電化戸数)を変えた場合の利用者が負担する利用料金額を計算する。

表-10 に資金調達の種類と第一段階までのケース、第二段階まで含めたケースを設定し、ケース設定の目的を示した。

表-11 にそれぞれのケースで調達する資金の種類と金額および計算の対象となる期間と、それぞれのケースの計算結果を示す。計算は利用者が初期設置費用として US\$150 を支払った後、使用する自己資金の内部収益率(IRR)10%が得られる毎年の利用料金を計算した。

その結果、全額自己資金で実施した場合第1段階のみ(15,000軒)では利用者が毎年支払う利用料金は約 US\$150、第2段階まで実施(150,000軒)すれば約 US\$120 である。従って有利な資金調達、無償資金や低利融資が利用できれば、さらに低額の負担で良いことになる。即ちケース B のように、第1段階のうち 6,000 件分の初期投資額の 82%が無償資金で供給されると利用料金は約 US\$125、さらに第2段階まで実施しその投資額の 80%を特別融資が利用できたとすると利用料金は年間で US\$87 となり、低収入層もこの電化計画に参加が可能となる。

表-10 ケース設定の目的

	第1段階、5年間 15,000件	第2段階、15年間 135,000件	ケース設定の目的
ケースA	自己資金で実施	実施せず	基本ケースとして第1段階のみを自己資金で実施した場合の利用者の負担額を計算する。
ケースB	1~3年までの蛍光灯およびケーブルその他付属品を除く設備費(6,000件)と設置費用を無償資金援助、4~5年の費用を自己資金	実施せず	最初の3年間だけ、無償資金を利用して実施した場合の利用者の負担額を計算する(蛍光灯や屋内配線、スイッチ、コンセントなどの付属品は、利用者の所有になるため無償の対象とはならない)
ケースC	自己資金で実施	自己資金で実施	150,000件を全額自己資金で実施、大量設置した場合の利用者負担額を計算する
ケースD	ケースBと同じ	設備資金の80%を有利なローンを利用、20%および設置費用を自己資金	無償資金を利用して計画をスタートさせ、6年目からは低利のローンを利用して実施した場合の計算、ローンは5年毎に3期に分けて借り入れる

表-11 必要資金の内訳、キャッシュフローを計算した期間と計算結果

	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD
自己資金(百万US\$)	10.80	7.26	108.00	35.34
無償援助	0	3.54	0	3.54
低金利融資	0	0	0	69.12
必要資金合計	10.80	10.80	108.00	108.00
計算期間(年)	24	24	39	39
初期設置費用 US\$	150	150	150	150
年間支払額 US\$	154	125	124	87

低金利融資:融資の条件は利率1%、10年据え置き、20年返済とする。

5.2.4 考察

- (1) キャッシュフローの例としてケース A~D (図-11~14、図-15 はケース D の収入・支出対比図) を添付する。計算期間を通じて自己資金に対して内部利益率 10% が得られることになっているが、グラフから判るように殆どのケースで、計画の初期の段階では支出が収入を上回っており、運営資金を外部から調達する必要がある。電化計画の初期には大量の設備投資資金が必要であり、無償資金援助や据え置き期間の長い特別融資の利用が不可欠である。
- (2) 感度分析をケース B において実施した (表-12、図-16)。初期投資のコスト、人件費、無償資金の割合を変数として、利用金額における基準ケースからの振れを分析する。

表-12 感度分析 (ケース B)

年間支払金額 (US\$/年)

変化率 ()内は無償比率	20%UP (70%)	10%UP (80%)	Base Case (90%)	10%DOW (100%)	20%DOW	Sensiti vity
PV システムコスト	141.0	135.5	126.0	118.5	111.0	0.75
要員人件費	140.0	133.0	126.0	119.0	112.0	0.70
無償供与比率	133.0	129.5	126.0	123.0		0.33

Sensitivity (US\$/%) は、要因が 1% 変化したときに年間支払額がどれだけ (US\$) 変化するかで表している。

上記計算結果からケース B では PV システムコストの影響が大きく、コストが 1% 変化するると年間利用料金が 0.75US\$ 変化する。

(3) 生涯コスト

第 1 段階のみのケース (ケース A) と第 2 段階まで実施するケース (ケース D) で、全期間のコストを割引率 10% で現在価値に換算して集計し比較した。(表-13)

第 1 段階 15,000 件までのケース A と、第 2 段階 150,000 件設置したケース D では、生涯コストに占めるシステム関連のコストと人件費関連のコストの比率が異なる。件数が少ないときは、人件費、管理費が総コストに占める割合が高くなるので、出来るだけ設置件数は多くなる方が望ましい。

表-13 生涯コストの比較

	ケースA(15,000件)			ケースD(150,000件)	
	金額(千US\$)	比率(%)		金額(千US\$)	比率(%)
初期投資	8,437	45.3	初期投資	38,664	50.8
機器交換費	2,618	14.0	機器交換費	11,998	15.7
人件費	3,540	19.0	人件費	9,405	12.3
経費、管理費	4,040	21.7	経費、管理費	10,474	13.7
借入返済			借入返済	5,752	7.5
合計	18,635		合計	76,293	

借入返済には金利分も含む

5.3 実行計画の提言

- (1) 実現性を考慮するとケースBが望ましい。即ち無償資金により6,000件の設備費(=6,000x720x0.82)、US\$3.54百万の提供を受けて第1段階の地方電化計画に着手する。
- (2) 利用料金は残りの9,000件を自己資金で実施することを予定して設定するが、有利な資金の導入も得られるように努める。
- (3) 第1段階は、ZESAの既存の組織体制を利用して実施しながら第2段階への準備を進め、第2段階では利用者の増加を図り、第2段階を実施する組織としてZESAの独立会社(ZESA-Solar)の設立を可能ならしめる。

5.4 結言

太陽光発電システムによる地方電化を促進するために、ジンバブエ政府は以下の行動を早急におこなう必要がある。

- (1) 政府は、太陽光発電による電化目標および電力サービス供給方式の採用を決定し、ZESAを実施機関とする。
- (2) ZESAは、本調査のマスタープランで示した実施候補地域から実行地域を決定し、年度毎の電化計画を作り、計画に沿った資金計画を策定する。政府は、早急に必要資金の手配を開始する。
- (3) 政府は、太陽光発電地方電化を推進するための支援プログラムを実行させるように責任を持って各関係機関に働きかける。

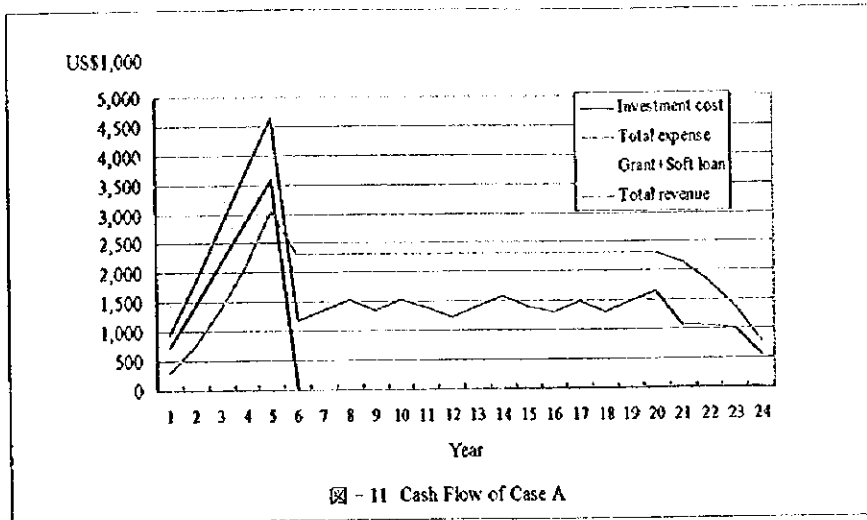


图 - 11 Cash Flow of Case A

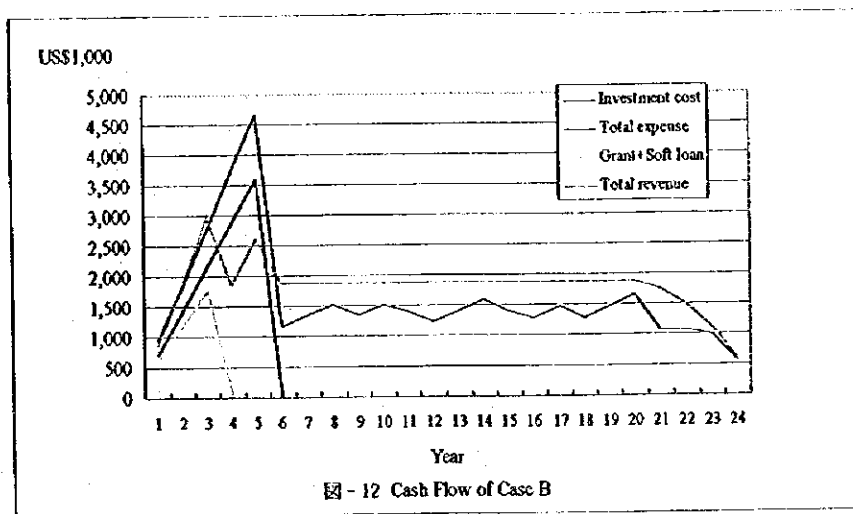


图 - 12 Cash Flow of Case B

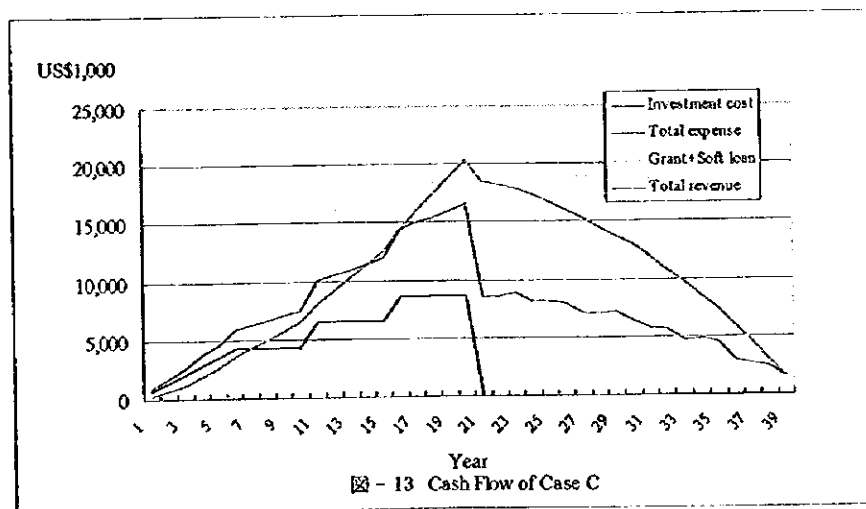
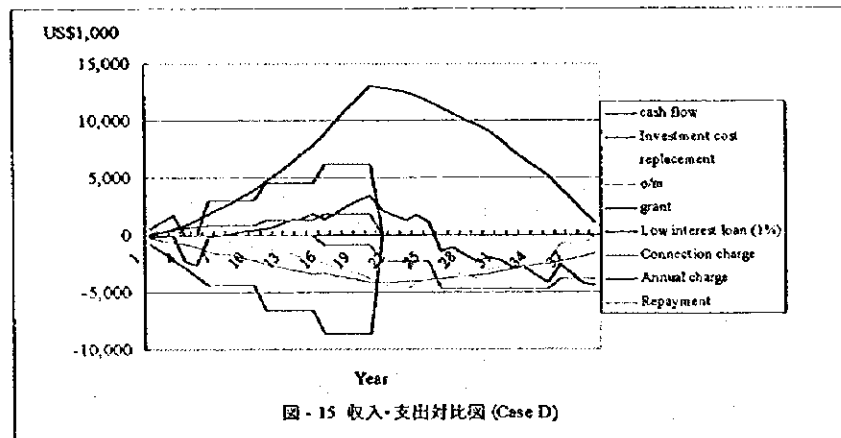
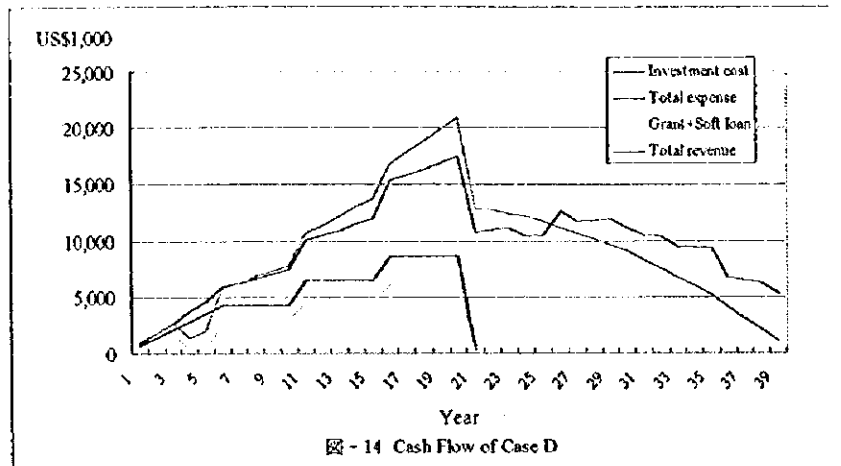
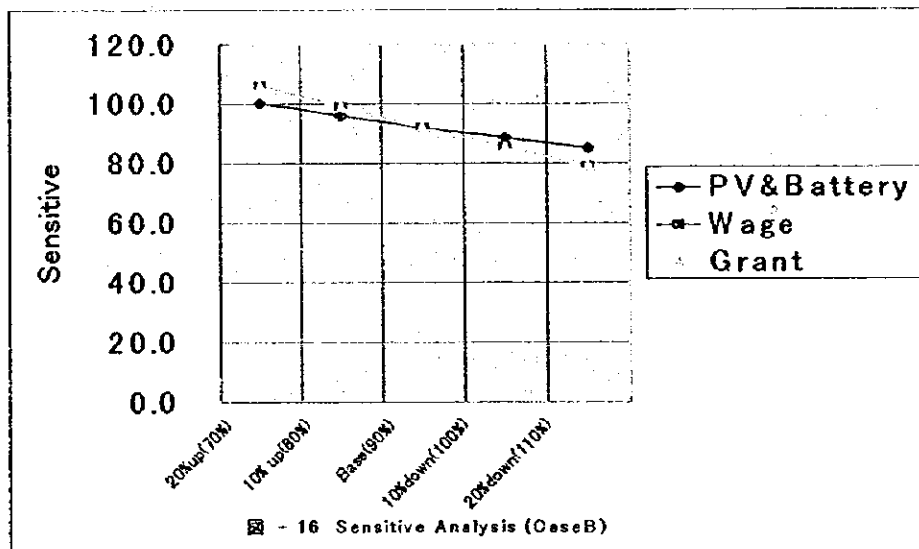


图 - 13 Cash Flow of Case C



		UNIT:US\$					
Case B	Factor	20%up(70%)	10% up(80%)	Base(90%)	10%down(100%)	20%down(110%)	Sensitive
	PV&Batte	100.1	96.0	92.0	88.5	85.0	0.38
	Wage	106.0	99.0	92.0	85.5	79.0	0.68
	Grant	106.0	99.0	92.0	85.5	79.0	0.68



- 1) The sensitive analysis is applied for Case B.
- 2) PV & Battery includes PV cost, Battery cost, Installation cost, Charge controller cost.
- 3) Wage includes all kinds of manpower fee.
- 4) Percentage of Grant is the share to the total investment amount.

JICA



LIB