

ナイジェリア連邦共和国  
電力鉄鋼省  
科学技術省  
ナイジェリアエネルギー委員会  
地方電化庁

ナイジェリア連邦共和国  
太陽エネルギー利用マスタープラン調査  
報告書

第5巻  
太陽エネルギー技術研究開発アクションプラン

平成19年2月  
(2007年)

独立行政法人  
国際協力機構(JICA)

八千代エンジニアリング株式会社  
株式会社レックス・インターナショナル

ナイジェリア連邦共和国  
太陽エネルギー利用マスタープラン調査

ファイナルレポート  
目次

- 第1巻 要約
- 第2巻 主報告書（マスタープラン）
- 第3巻 パイロットプロジェクト
- 第4巻 ジェンダー／人間の安全保障
- 第5巻 太陽エネルギー技術研究開発アクションプラン
- 第6巻 太陽エネルギー利用啓蒙普及活動実績

## 序 文

日本国政府は、ナイジェリア国政府の要請に基づき、同国太陽エネルギー利用マスタープラン調査を実施することを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成17年6月から平成19年2月まで、6回にわたり八千代エンジニアリング株式会社国際事業部の西川光久氏を総括とし、同社と株式会社レックス・インターナショナルの団員から構成される調査団を現地に派遣いたしました。

調査団は、ナイジェリア国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、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、本プロジェクトの推進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戴いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成19年2月

独立行政法人国際協力機構  
理事 伊沢 正

独立行政法人  
国際協力機構  
理事 伊沢 正 殿

## 伝達文

ここに、ナイジェリア連邦共和国太陽エネルギー利用マスタープラン調査報告書を提出できることを光栄に存じます。

八千代エンジニアリング株式会社及び株式会社レックス・インターナショナルによる調査団は、独立行政法人国際協力機構との業務実施契約に基づき、平成17年6月から平成19年2月にかけて、ナイジェリア国においてパイロットプロジェクトの実施を含む6回の現地調査と、関係する日本における国内調査を実施いたしました。

調査団は、ナイジェリア国政府及び関係機関の職員との十分な協議のもと、調査結果を基に太陽エネルギー利用にかかるマスタープラン、研究開発アクションプラン並びに啓蒙普及活動アクションプラン等本報告書に取りまとめましたのでご報告いたします。

ナイジェリア国政府関係者ならびにその他関係機関に対し、調査団がナイジェリア国滞在中に受けたご好意と惜しみないご協力について、調査団を代表して心から謝意を表明いたします。

また、独立行政法人国際協力機構、外務省、経済産業省及び在ナイジェリア国日本大使館に対しても、現地調査の実施及び報告書の作成にあたって、貴重なご助言とご協力をいただきました。ここに、深く感謝申し上げます。

平成19年2月

ナイジェリア連邦共和国  
太陽エネルギー利用マスタープラン調査団  
総括 西川 光久

ナイジェリア連邦共和国  
太陽エネルギー利用マスタープラン調査

ファイナルレポート  
(第5巻 太陽エネルギー技術研究開発アクションプラン)  
目次

位置図／図表リスト／略語集

第1章	研究開発の現状と課題	1-1
1.1	研究・開発支援実施の背景	1-1
1.2	対象研究センター	1-1
1.3	ソコトエネルギー研究センター (SERC) の概要	1-1
1.4	ヌスカエネルギー研究開発センター (NCERD) の概要	1-2
1.5	ソコトエネルギー研究センター (SERC) の現状	1-3
1.6	「ナ」国のエネルギー研究センター (SERC/NCERD) の課題	1-4
第2章	実施した技術指導	2-1
2.1	技術指導コンセプト	2-1
2.2	技術教育	2-1
2.3	ソコトエネルギー研究センター太陽電池 (PV) ユニットへの技術移転	2-1
2.4	ソコトエネルギー研究センター太陽熱利用ユニットへの技術移転	2-1
2.5	JICA 提供測定器	2-2
2.6	ヌスカエネルギー研究開発センター (NCERD) への技術移転	2-2
第3章	太陽エネルギー利用技術	3-1
3.1	太陽エネルギー利用技術	3-1
3.2	太陽電池	3-1
3.3	太陽熱利用	3-1
3.4	太陽エネルギー研究開発方法の基本	3-2
第4章	太陽電池 (PV) 研究開発アクションプラン	4-1
4.1	太陽電池ユニットの研究開発計画の目的と手順	4-1
4.2	太陽電池ユニットの人材育成	4-7
4.3	太陽電池ユニットの研究開発計画の概要	4-8
4.4	モジュール検査	4-14
4.5	太陽電池検査機関の設立	4-15
第5章	太陽熱利用研究開発アクションプラン	5-1
5.1	太陽熱利用ユニットの研究計画	5-1
5.2	太陽熱利用ユニットの人材育成	5-6
5.3	熱利用ユニットの研究開発概要	5-6

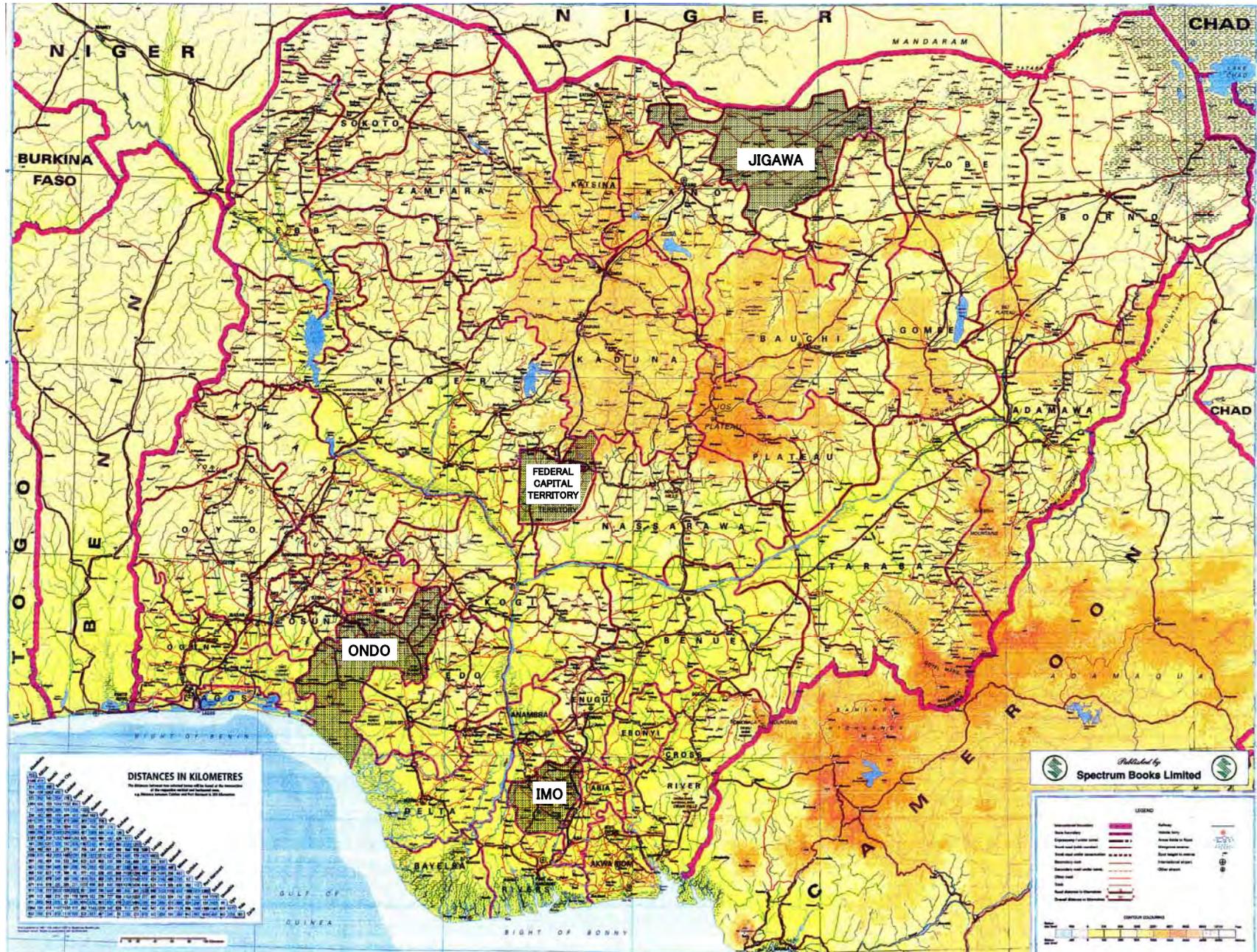
添付資料

添付資料 1 JICA 提供測定器リスト

添付資料 2 ソコトエネルギー研究センター (SERC) 太陽電池ユニットへの技術指導  
実績

添付資料 3 ソコトエネルギー研究センター (SERC) 太陽熱利用ユニットへの技術  
指導

添付資料 4 ヌスカエネルギー研究開発センター (NCERD) での指導



ナイジェリア連邦共和国 調査対象地位置図

## 図のリスト

- 図 1-1 ソコトエネルギー研究センター組織図
- 図 1-2 ヌスカエネルギー研究開発センター組織図
- 図 3-1 太陽エネルギー技術研究開発の PDCA サイクル
- 図 4-1 太陽電池ユニットの研究開発の流れ
- 図 4-2 ハイブリッド参考図
- 図 4-3 太陽電池モジュールの製造工程
- 図 4-4 ラミネーター
- 図 4-5 ラミネーター
- 図 4-6 ラミネート材料
- 図 4-7 モジュール構造
- 図 4-8 ソーラーシュミレータ光源
- 図 4-9 ソーラーシュミレータ受光部
- 図 5-1 太陽熱ユニットの開発目標
- 図 5-2 パラボリッククッカーの 1 例
- 図 5-3 パラボリック鏡のタイプ例
- 図 5-4 パラボリッククッカー (SERC にて)
- 図 5-5 太陽熱バナナ乾燥器(タイ SERT)
- 図 5-6 水の温度と蒸気圧
- 図 5-7 蒸留水生産量と屋根の角度
- 図 5-8 蒸留水生産と日射量
- 図 5-9 蒸留水器
- 図 5-10 階段型トレーを利用した蒸留水器

## 表のリスト

表 3-1	太陽電池の種類
表 3-2	太陽熱利用機器
表 4-1	SERC、NCERD 太陽電池ユニットの開発スケジュール
表 4-2	研究開発用資材購入計画
表 4-3	研究開発用測定・計測機器購入計画
表 4-4	施設建設及び運転経費計画
表 4-5	スタッフ数と人件費の計画
表 4-6	研究開発資金計画
表 4-7	結晶系太陽電池モジュールの JIS 規格
表 4-8	結晶系太陽電池の JIS C 8917 環境・耐久試験
表 4-9	PV 検査用機器と概略価額
表 5-1	太陽熱利用研究開発計画の計画とスケジュール
表 5-2	太陽熱ユニットの研究開発計画 (1)
表 5-3	太陽熱ユニットの研究開発計画 (2)
表 5-4	太陽熱研究用計測器
表 5-5	研究室運転経費計画
表 5-6	展示場開設・運営経費計画
表 5-7	研究スタッフ数と人件費
表 5-8	研究開発資金計画
表 5-9	太陽熱利用ユニットの研究項目
表 5-10	一展示場用太陽熱利用機器

## 略語集

A f D B	African Development Bank (アフリカ開発銀行)
A I C A D	African Institute for Capacity Development (アフリカ人作り拠点)
A I T	Asian Institute of Technology (アジア技術大学)
C D	Capacity Development (キャパシティ・ディベロップメント)
E C N	Energy Commission of Nigeria (エネルギー委員会)
F M P S	Federal Ministry of Power and Steel (電力鉄鋼省) (電力鉄鋼省は2007年1月からエネルギー省へ改組された)
F M S T	Federal Ministry of Science and Technology (科学技術省)
G E F	Global Environment Facility (地球環境機構)
G T Z	Deutsche Geserllschaft fur Technische Zusammenarbeit GmbH (ドイツ技術協力公社)
I E C	International Electro-technical Commission (国際電気会議規格)
I D A	International Development Association (国際開発協会)
J I C A	Japan International Cooperation Agency (日本国際協力機構)
J I S	JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD (日本工業規格)
K M U T T	Mongkut University of Technology (モンクット技術大学)
N C E R D	Nsukka Center for Energy Research and Development (ヌスカエネルギー研究開発センター)
N E D O	New Energy Development Organization (新エネルギー・産業技術総合開発機構)
O F F ・ J T	Off the Job Training (職場外訓練)
O E C D	Organization for Economic Cooperation and Development (経済協力開発機構)
O J T	On the Job Training (職場内訓練)
P V - G A P	Photovoltaic Global Approval Program (太陽電池国際承認プログラム)
R E A	Rural Electrification Agency (地方電化庁)
S E R C	Sokoto Energy Research Center (ソコトエネルギー研究センター)
S E R T	School of Renewable Technology (再生可能エネルギー大学)
S I D A	Swedish International Development Cooperation Agency (スウェーデン国際協力機構)
S H S	Solar Home System (家庭用太陽光発電システム)

U S A I D      United States Agency for International Development  
                    (米国国際開発庁)

U N I D O      United Nations Industrial Development Organization  
                    (国連工業開発機関)

U N D P      United Nation Development Program (国連開発計画)

## 第1章 研究開発の現状と課題

本報告書はナイジェリア国太陽エネルギー利用マスタープラン調査の一環として、「ナ」国の2箇所のエネルギー研究開発センターの実態調査並びに技術移転の実施を通して、エネルギー研究開発センターの研究・開発アクションプランを以下の通り作成し、「ナ」国関係機関へ提言するものである。

### 1.1 研究・開発支援実施の背景

「ナ」国太陽エネルギー利用マスタープラン調査の「予備調査」において、ソコトエネルギー研究センターの太陽エネルギー施設、PV システム、太陽熱利用機器の利用効率の測定がなされていないことが判明したため、本調査でこれ等を測定し、技術指導を通して研究・開発の一環として機器利用効率を改善することが提言された。この提言に基づき、本調査ではソコトエネルギー研究センターへ計測器を持参し、計測器の使用方法、測定方法を指導するとともに、システムの改良方法などを指導した。

### 1.2 対象研究センター

「ナ」国には、次の2箇所のエネルギー研究機関がある。

- ソコトエネルギー研究センター (SOKOTO Energy Research Center : 以下 SERC と称する。)
- ヌスカエネルギー研究開発センター (National Center for Energy Research and Development—University of Nigeria NSUKKA : 以下 NCERD と称する。)

両研究開発センターとも科学技術省 (FMST) 傘下のエネルギー委員会 (ECN) の下部組織として設立されている。

「ナ」国では、「ナ」国のエネルギー研究開発を地域的に南北に分け、北をソコト (SOKOTO) の SERC、南をヌスカ (NSUKKA) の NCERD に担当させている。両研究センターは、殆ど同じ内容の研究開発を目的とし、研究開発内容、試作製品の種類、試作開始時期、試作後の対応等のみならず、計測器不足、予算不足、など同様の課題を抱えている。

研究所の規模は両者ともほぼ同一であるが、日射量の平均値はソコトが  $5.92 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{日}$ 、ヌスカが  $4.54 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{日}$  と日射量はソコトが大きいので、太陽光/太陽熱の研究開発にはソコトが最適の地であると判断し、カウンターパート (以下C/Pとする) の推薦も受けて、本調査の技術指導等の推進研究センターとして、ソコトのSERCを対象研究センターとして選択した。

### 1.3 ソコトエネルギー研究センター(SERC)の概要

SERC は、ソコト州ソコト市のウスマヌ・ダンホイヨ大学の中にある。当該センターは1982年に大学の附属研究機関として発足したが、1988年エネルギー委員会 (ECN) の下部組織となった。

#### (1) エネルギー研究センターの研究目的

当該センターの主な研究目的は下記のとおりである。

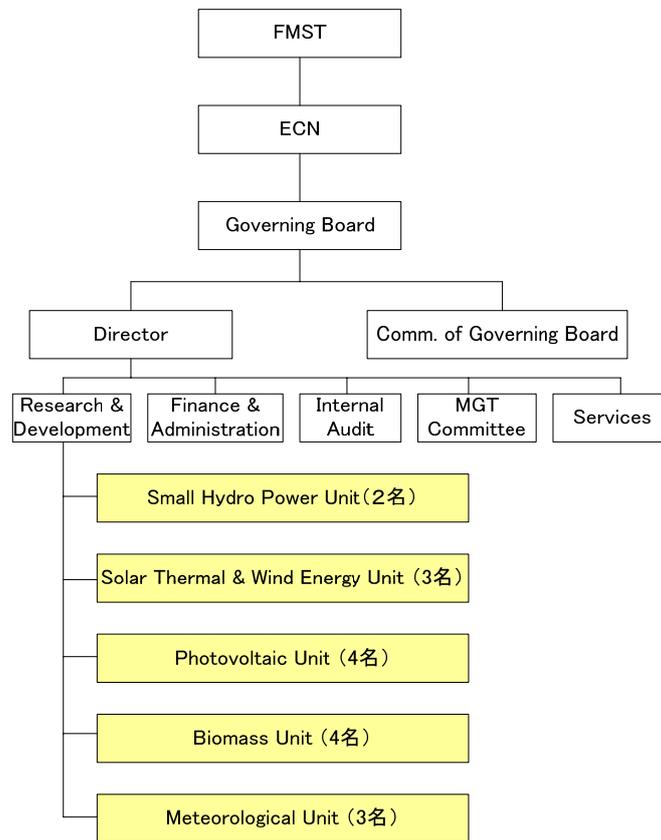
- ① 経済的、効率的な代替エネルギーとしての再生可能エネルギーの研究。

- ② 再生可能エネルギーを農業、工業用に使用するための研究開発。
- ③ 再生可能エネルギーに関するエンジニアの養成。
- ④ 太陽エネルギーと他のエネルギーとのハイブリット研究。
- ⑤ 再生可能エネルギーの利用効率の向上。

(2) ソコトエネルギー研究センターの組織

SERC のセンター長 (Director) はウスマヌ・ダンホイヨ大学の教授と兼務しており、同センターの職員数は 70 名である。研究開発は、図 1-1(ソコトエネルギー研究センター組織図)に示すように 5 ユニットに分かれて行われている。

SERC の現状としては、研究開発予算が不足しているため、研究センターの予算の多くは職員の人件費に費やされ、研究開発に向ける費用は捻出することが出来ない状況と成っている。従って研究開発用の計測器は壊れ、故障した計測器は、修理も買い替えもされず放置されており、現在使用できる計測器は、皆無の状態である。SERC の組織図を図 1-1 に示す。



出所 : SERC

図 1-1 ソコトエネルギー研究センター組織図

1.4 ヌスカエネルギー研究開発センター(NCERD)の概要

NCERD は、エヌグ州の国立ヌスカ大学内に ECN の下部組織として 1980 年設立された。設立は、北部の SERC より早い。ヌスカ (Nsukka) 市はエヌグ (Enugu) 州北部のサバンナベルト地帯に存在する。

(1) エネルギー研究開発センター (NCERD) の目的

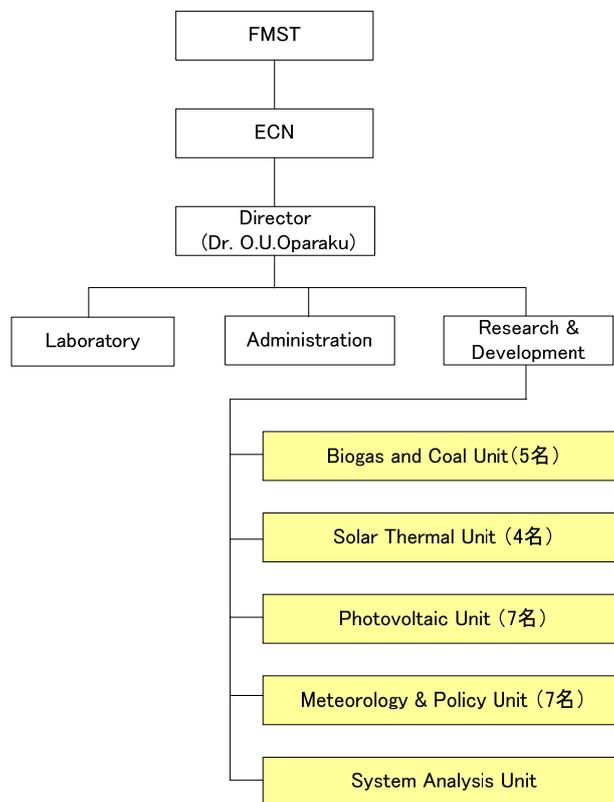
同研究開発センターは下記の事項の基本研究とシステム開発を行うために設立されている。

- ① PV の研究
- ② 太陽熱利用（乾燥機、温水ヒーター、調理器、鶏インキュベータ）の開発
- ③ バイオマス、バイオガス機器の開発
- ④ 練炭利用機器の開発
- ⑤ エネルギー効率研究（省エネルギーの研究）

## (2) エネルギー研究開発センターの組織

NCERD は職員数は 65 名、うち研究員は 26 名である。研究開発は図 1-2(ヌスカエネルギー研究開発センター組織図)に示すように 5 ユニットに分かれて行われている。当センターも SERC 同様、予算不足が原因で必要機材の不足、故障、老朽化等により満足な研究開発がされていない。

気象測定データロガーは稼動しているが、他の計測器は殆どなく、日射計はソーラリメータで太陽電池を応用したものであるが、長期間の校正実績がなく、精度に疑問がある。



出所：NCERD

図 1-2 ヌスカエネルギー研究開発センター組織図

## 1.5 ソコトエネルギー研究センター(SERC)の現状

### 1.5.1 太陽光発電ユニットの現状

SERC の太陽光発電ユニットは、実験室内にデモンストレーション用と称する 200 W の PV パネル、中古コントローラ、インバータが設置されている。しかし気象観測用計測器が故障しているため日射量データも取らず、気象データが必要なときには、飛行場の観測データを参考として使用している。SERC は過去に下記の研究開発を実施してきた。

- ① PV パネルのパフォーマンステスト
- ② PV システムの開発
- ③ PV システムモニタの実施事業
  - ・ 村落電化の一環として ECN の指導の下、ミニグリットの建設・運用をしたが、2005 年に国家電力庁 (NEPA) のグリット延伸により運用を中止した。
  - ・ 水ポンプ施設の建設・運用
  - ・ 通信用電源システムの建設 (大学の通信施設のバックアップ用電源)

太陽光発電ユニットとしては、研究センターの直営により PV システムの周辺装置 (コントローラ、インバータなど) や PV パネルの製造を希望している。しかし現段階では具体的な計画はなく、更に予算不足で計測器、研究素材、工具などが不足し、基礎的な研究すら実施できない状況であり、研究員 3 名は明確な将来展望が描けない状況である。

## 1.5.2 太陽熱利用ユニットの現状

太陽熱・風力利用ユニットの前庭に温水器 (平板に直パイプ、渦巻き状パイプ)、乾燥器、大型乾燥器、調理器 (箱型)、水蒸留器の試作品が並んでいる。これらの太陽熱利用機器は、10 年ほど前に中国蘭州の太陽エネルギー研究所で実施された研修に研究員が参画し、帰国後に試作・製造されたものであるが、試作後、効率チェックや、改造、再チェックなどの、いわゆる P→D→C→A サイクルの工程が実施されおらず、商品として完成していない。これは太陽熱利用ユニットも PV ユニットと同様に計測器不足で、各試作機器の性能検査が行えず、テストデータも不足しているためである。太陽熱利用ユニットにおいても、研究目的、研究方法、研究スケジュール、研究ターゲットなどが明確でない。

## 1.6 「ナ」国のエネルギー研究センター (SERC/NCERD) の課題

SERC 及び NCERD は、下記に示すように研究センターとして持つべきキャパシティが不足している。現在の SERC 及び NCERD を本来のエネルギー研究センターとして機能させるには、関係各省、機関の更なる努力が必要である。

### (1) 研究体制の不備

FMST、ECN の SERC、NCERD に対する研究開発機関としてのエネルギー研究センター設立の方向性・目的が不明確である。従ってエネルギー研究センターが機能するように、FMST、ECN、両エネルギー研究センターは、下記につき再検討する必要がある。

- ① 当エネルギー研究センターの研究開発の方向性を定めるため、研究センターの研究目的を明確にし、どのような研究、何のために、誰のために何時までに完成させるかなどを決める必要が有る。
- ② FMST、ECN、SERC、NCERD は人材育成の対象及び方策、研究開発予算に関して協議し、その実施と獲得に努める。
- ③ 上記事項を推進するため、FMST、ECN、SERC、NCERD はエネルギー研究センターの体制・組織を再編成する。

### (2) 研究資材の不備

SERC 及び NCERD は、研究に必要な資材（計測器、試験機、研究材料、工具、室内設備）など皆無に近い状態であるので、現状では研究開発の継続は不可能である。従って、FMST、ECN、SERC、NCERD は必要な資機材の購入計画を立案し、その予算獲得に努める必要がある。

(3) 研究員の経験不足

研究員は、経験不足の上、研修を受ける機会も少なく十分知識経験を積むことが出来ないでいる。従って FMST、ECN、SERC、NCERD は、他国や援助機関が実施する研修に参加することも含めて、研修計画を立案し実施する必要がある。

(4) 研究資金不足

資金不足のため研究が実施されていない状況を改善するため、FMST、ECN は、SERC、NCERD に対して研究目的、研究項目、研究時間などに沿った予算的バックアップ体制を早急に構築する必要がある。

### 1.6.1 太陽光発電(PV)ユニットの課題

SERC 及び NCERD の太陽電池ユニットは、「ナ」国の地方の電化率を上げるために何をなすべきかを熟慮し、研究目標、研究計画、研究体制等を策定し、FMST、ECN を通して研究予算の獲得を図る必要がある。同時に政策立案機関である FMST、ECN も「ナ」国のエネルギー研究センターの将来を熟慮し、長期研究開発計画を立案し、適正な予算配分を行う必要がある。

### 1.6.2 太陽熱利用ユニットの課題

太陽熱ユニットの試作太陽熱利用機器は、数年以上も前に試作した製品であるが、改善・改造が実施されていない。それら機器を試作品から商品として耐え得る技術レベルまで改良し、普及を図るためには、下記事項を徹底する必要がある。

- ① 研究体制、目的、開発スケジュールを決める。
- ② 開発・試作機器の仕様、ターゲットを明確にし、その目的に向かって改善・改造を重ねる。
- ③ 開発・試作機器の改善・改造を実施するための予算を確保する
- ④ 試作太陽熱利用機器を商品化し、販売方法を確立、普及させる。
- ⑤ 各商品の販売仕様書を作成する。
- ⑥ ユーザーの要求に応えられるよう商品数を増やす。
- ⑦ FMST、ECN は、予算を獲得するよう努力する。
- ⑧ 開発した商品の製造・販売を受託できる企業を探す。

## 第2章 実施した技術指導

### 2.1 技術指導コンセプト

本マスタープランで実施した技術指導コンセプトは、SERC 研究開発センターへ JICA が貸与した計測機器を用いて、研究開発、機材の効率の測定に必要な最低限の計測器を使用して、測定技術力の向上を図ると同時に、それぞれの研究目的、研究方法、研究スケジュールなどを明確にし、研究開発を実施するよう提言することである。

### 2.2 技術教育

SERC の研究開発スタッフは、技術トレーニングの実施を強く希望している。JICA 調査団は、貸与した測定器を使用して、測定、データ採取方法を技術移転すると同時に、太陽エネルギーの利用に関する基礎的な事項、太陽光発電の技術、電気配線技術などをトレーニングした。トレーニング項目は下記のとおりである。

- (1) 計測器使用方法
- (2) データ測定項目と方法
- (3) データ回収、分析方法
- (4) 太陽熱利用技術、熱力学の基礎
- (5) PV 発電
- (6) PV モジュールの基礎実験

### 2.3 ソコトエネルギー研究センター太陽電池(PV)ユニットへの技術移転

本調査団は太陽電池ユニットへ下記項目の実験を通してデータ採取項目、実験方法、結果分析方法などを技術移転した。

- (1) システム全般（外観検査）
- (2) 太陽電池の発電効率、システム効率
- (3) インバータの効率
- (4) 仰角 (Tilt Angle) と日射量の関係
- (5) 曲線因子 (Fill Factor) の測定、計算方法
- (6) 太陽電池技術全体
- (7) バッテリー技術

#### 2.3.1 太陽電池ユニットへの技術移転内容

太陽電池ユニットへの具体的な技術移転内容及び実績は、添付資料-2 を参照のこと。

### 2.4 ソコトエネルギー研究センター太陽熱利用ユニットへの技術移転

今後「ナ」国で太陽熱利用を進めるためには、現在の試作製品について、各種データを測定できる状態まで改良し、計測データを基に再設計、再製作しデータを取り直すといった、改善プロセスの導入が不可欠である。この計測データに基づく設計資料から商品としての仕様書が作成され、実際の使用に耐

えうる商品を研究開発することである。

太陽熱ユニットへは、箱型クッカー、パラボリッククッカーの水煮沸テスト、炊飯テスト、乾燥器の乾燥テストなどの実験を通して下記事項の技術移転を実施した。

- (1) 箱から外気への熱移動実験と計算方法
- (2) 箱型クッカーの熱効率
- (3) パラボリッククッカーの熱効率
- (4) 箱型クッカーの改造方法
- (5) ドライヤーのデータ分析
- (6) 乾燥器の乾燥比較実験方法
- (7) 測定器設置方法

## 2.4.1 太陽熱利用ユニットへの技術移転内容

本調査団が実施した太陽熱利用ユニットへの具体的な技術移転内容及び実績は添付資料-3 に示す。

## 2.5 JICA 提供測定器

JICA は、上記の技術指導を SERC へ行うため計測器を SERC へ貸与した（2006 年 1 月）。貸与した計測器のリストを添付資料-1 に示す。

## 2.6 ヌスカエネルギー研究開発センター(NCERD)への技術移転

NCERD での技術移転は、当初本調査の対象となっていなかったが、NCERD の強い要望により、第 3 次現地調査時に同研究開発センターを訪問調査し、併せて技術移転を実施した。

### 2.6.1 太陽電池ユニットへの技術移転

太陽電池ユニットへは、下記の実験を通してデータ採取、データ分析などを技術移転した。

- 1) 仰角と発電量
- 2) インバータの効率
- 3) PV システム効率

### 2.6.2 太陽熱利用ユニットへの教育計画

太陽熱ユニットへは、箱型クッカー、パラボリッククッカーの水煮沸テスト、などの実験を通して下記事項の技術移転を実施した。

- 1) 箱から外気への熱移動実験と計算方法
- 2) 箱型クッカーの熱効率
- 3) パラボリッククッカーの熱効率
- 4) 箱型クッカーの改造方法

### 2.6.1 NCERD への技術移転内容

NCERD への具体的な技術指導実績内容を添付資料-4 に示す。

## 第3章 太陽エネルギー利用技術

### 3.1 太陽エネルギー利用技術

太陽エネルギーは、世界中で様々な形で使用されてきた。農業用では、昔から作物などの乾燥用としてそのまま天日の状態で利用されてきている。太陽光の新しい利用方法の一つとして、日本では大都市のビルの下層やビルの谷間の一軒家等へ、ビル屋上で集光しグラスファイバーまたは、反射鏡で伝送する太陽光照明システムまで開発されており、太陽光を電気、熱に変換して使用する方法は古くから研究されて現在に至っている。

### 3.2 太陽電池

太陽電池システムは太陽光を電気に変換し、蓄電池へ蓄積する方法である。表 3-1 に太陽電池の種類を示す。

表 3-1 太陽電池の種類

	太陽電池の種類	太陽電池の材料	タイプ
太陽電池	シリコン系	結晶シリコン系	単結晶シリコン
			多結晶シリコン
		アモルファス	a-Si, a-SiC, a-SiGe
	化合物半導体	2-元素系	CDTe (カドミウム化テルル)
			CDS (硫化カドミウム)
			GaAs (ガリウム砒素)
		3-元素系	CuInSe2 (CIS:銅インジウムセレン)
CIGS (銅・インジウム・ガリウム・セレン)			
有機半導体	色素増感	DSC	

出所：ソーラーエネルギー利用技術

シリコン系太陽電池は、2004 年度に全世界で 1200 MW 相当が生産され、生産量は年々増加している。一方、CO2 削減のために日本、ドイツでは、家庭用個別太陽光発電システムに系統連系方式が導入され、普及が図られている。

過去 20 年近く、シリコン系太陽電池のコストは需要に見合って低減がされてきたが、近年は需要増とシリコン不足のため価額の上昇傾向が見られている。

化合物半導体は、高価なため、衛星用など特殊な場所に使用されている。しかし、3 元素の CIS、CIGS は、来年度から日本で量産され販売される予定である。

有機半導体（色素増感太陽電池：DSC）は、現在注目されている太陽電池である。製造コストが安く、シリコンも不要、その構成材料は、酸化チタン、色素、ヨウ素、導電ガラスである。世界中の大学、企業で変換効率のよい DSC の開発・研究が進められている。現在研究室での変換効率は 5-7 % である。

### 3.3 太陽熱利用

現在使用されている太陽熱利用機器を、使用温度別に分類したものが表 3-2 である。

**表 3-2 太陽熱利用機器**

	形式	使用温度	利用機器
太陽熱集熱器	非集光式	低温利用 常温～60 °C	給湯、暖房用、乾燥、蒸留水、孵化器 自然、強制循環式システム
		中低温 50～130 °C	真空ガラス管式集熱、産業用給湯、暖房、調理器 吸収式冷凍機による冷房
	集光式	中高温 300～500 °C	ヘリオスタット集光型太陽熱発電機 パラボラ円筒面、トラフ式分散型太陽熱発電機
		高温 1000～3,000 °C	大型パラボラ式太陽炉 特殊高温物性の研究

出所：ソーラーエネルギー利用技術

(1) 低温・中低温利用機器

SERC、NCERD では、中低温領域の太陽熱利用機器を研究している。クッカー、乾燥器、温水器、蒸留水製造器などである。温水器を除いて、OECD 諸国での実用例は少ない。

第 2 次大戦後日本でもクッカーの研究がされ、普及が図られたが、夕方又は無日照日に使用できないという理由から普及しなかった。現在クッカーは環境教育、レジャー用として製造されているのみである。

温水器は、風呂、シャワー用として普及している。一般家庭用としては、200～300ℓ温水器があり、屋根の上に設置され利用されている。

(2) 中高温利用機器

太陽光を集光し、蒸気を製造、タービンを回して発電する。太陽エネルギーの豊富なアフリカ諸国には、魅力的な発電方法である。

(3) 高温利用

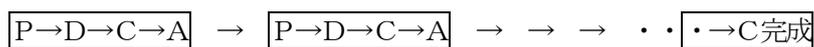
大学などの研究機関で、高温を発生させ、特殊金属の合金研究などに使用されている。

**3.4 太陽エネルギー研究開発方法の基本**

新しい製品を研究・開発するためには下記の 4 ステップを繰り返すことが大切である。

- ① 計画 (Plan)
- ② 実行 (試作) (Do)
- ③ 検査・評価 (Check)
- ④ 改善方法の立案 (Action)

下記の研究サイクルを繰り返し実施し研究を完成させる。



次に、各段階の事項を少し詳しく述べる。

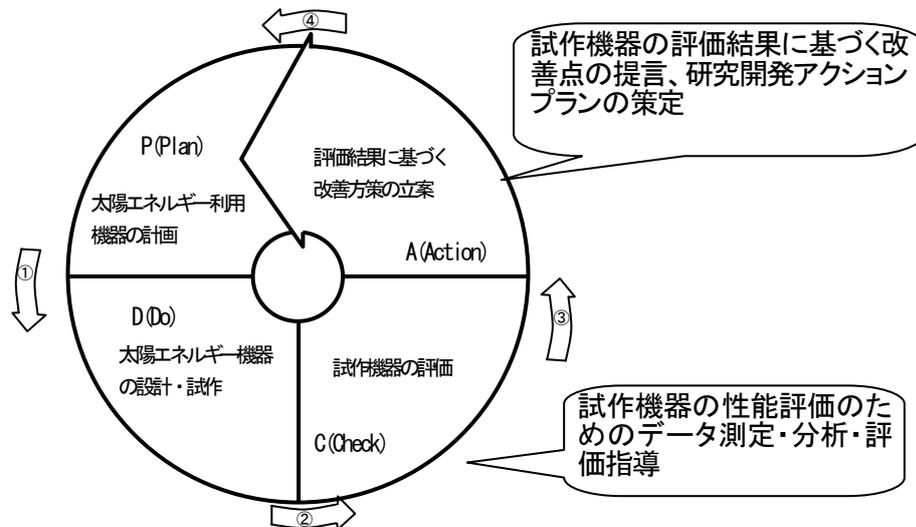
(1) 計画 (Plan)

計画段階では、下記のことを実施する。

- ① 試作・製造しようとするものの市場調査
- ② ユーザーの購買可能価額を検討する。

- ③ 市場調査の結果を踏まえ、顧客（ユーザー）のターゲットを絞る。
  - ④ ユーザーのニーズを合致した仕様を決める。家庭用か、業務用か、性能、サイズ、重量など。
  - ⑤ 仕様に基づき設計する。
  - ⑥ 販売可能価額になるよう材料、製造方法を検討する。
- (2) 実行 (Do)
- ① 設計図に基づき製造する。
- (3) 検査・評価 (Check)
- ① 完成した試作品をあらゆる角度から検査・評価する。
  - ② 試作品の効率、性能を測定する。
  - ③ 試作品の欠点を見つける。
- (4) 改善方法の立案 (Action)
- ① 試作品をより良い製品にするための条件を考える。
  - ② 修正箇所を列挙する。
- (5) 修正計画 (Plan)
- ① 修正箇所を基本に設計をやり直す。

以下 (2) 項へと続ける。



出所：調査団による

図 3-1 太陽エネルギー技術研究開発の PDCA サイクル

## 第4章 太陽電池(PV)研究開発アクションプラン

SERC と NCERD は、開発型の研究機関である。両エネルギー研究センターの将来像を考え、自立的に研究開発できるよう、研究開発の目的、体制、項目、方法、人材育成、資金調達などを以下のとおり提言する。

### 4.1 太陽電池ユニットの研究開発計画の目的と手順

SERC と NCERD の太陽電池ユニットの目的は、安価な PV システムを開発して、「ナ」国の未電化地域の電化に寄与・促進することである。

「ナ」国政府は、2020 年までに 75%の国民に安定した電力を供給することを国家目標としている。本 M/P では、上記国家目標並びに FMPS による地方電化政策、再生可能エネルギー政策ガイドラインの政策目標を考慮し、2020 年までに約 34 万世帯を、PV によって電化する計画を提案している。アクションプランでは、「ナ」国の自製 PV モジュールを上記 PV 地方電化の一部に利用し、未電化地域の電化を促進すると共に、「ナ」国国民の生活レベルの向上に寄与することを提言する。上記に示した両研究センターの開発ステップを図 4-1 に示す。

#### 4.1.1 SERC, NCERD の研究体制

SERC, NCERD の太陽電池ユニットは、将来研究開発すべき目標を具体的に策定し、その目標に基づき研究開発計画書を作成し、上部機関である FMST, ECN と緊密に連携、討議し研究開発計画を決定する。同計画書は達成目的、スケジュール（何時までに）、研究員数（誰が）、どんな方法で実施するか、また研究に必要な機器、計測器、予算等を具体的に明示することが大切である。

また、この研究開発計画書を実現するために、FMST, ECN は、研究開発計画書の内容を吟味し、予算措置を含む可能な限りの援助を与えることが必要である。

#### 4.1.2 太陽電池ユニットの研究開発目標

SERC, NCERD の太陽電池ユニットは、PV システムの周辺機器の研究開発からはじめ、PV モジュールを購入し、高効率（コントローラ、インバータを含め、システム全体の発電効率を上げる）の SHS を構築する体制を開発する。その経験を通して最終的には PV モジュールの研究開発（SERC は結晶系セルを、NCERD はアモルファス系セルを輸入）をターゲットとする。

これらの独自技術、製品を使用し、未電化地域の電化を促進する。

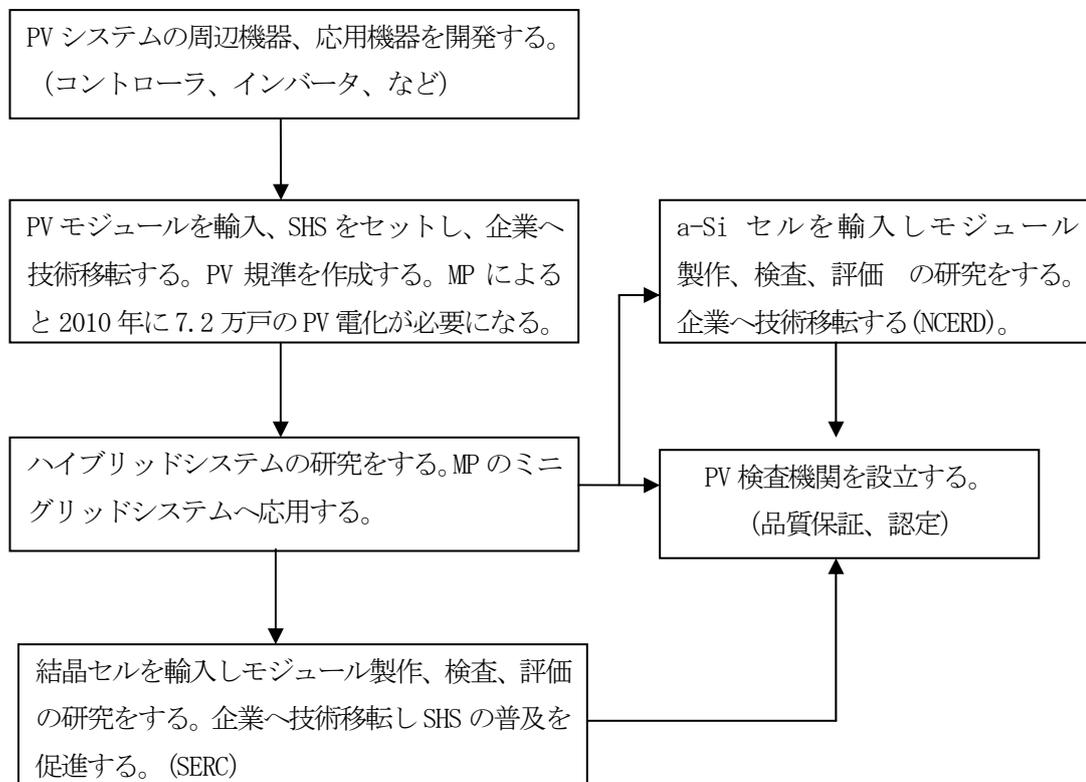
#### 4.1.3 太陽電池ユニットの研究開発の具体的な内容と手順

太陽電池の研究開発には、太陽光に関する基礎データの蓄積が必要である。従って FMST, ECN と協議の上、必要な計測機器を購入・導入し、基本データの採取を実施すると同時に、研究開発計画に基づき、下記のような研究開発を順次開始する。

- (1) PV システムの周辺機器であるコントローラ、インバータの研究開発と試作を行う。
- (2) 既存の PV モジュールを海外から購入し、自製したコントローラとインバータを使用して、SHS システムの組立てを実施し、技術的向上を図る。

- (3) PV 機器の検査規準を作成し、検査技術を高めて、機器製造や組立技術の向上を図る。
- (4) SHS システムの組立て技術と製造技術を民間企業へ移転する。
- (5) 民間企業にコントローラ、インバータの製造と、モジュールの輸入、SHS システムの組立て販売を委託する。
- (6) 他の再生可能エネルギーと配電設備とのハイブリッドシステムの構成を研究開発し、実用化を図る。
- (7) SERC は、結晶系セルを海外から輸入して PV モジュールの製作、検査、評価に関わる研究開発を行う。
- (8) NCERD は、アモルファス太陽電池モジュールの製作、検査、評価に関わる研究開発を行う。
- (9) 太陽電池検査・認定機関の設立を図る。

上述した研究開発の流れを図 4-1 に示す



出所：調査団による

図 4-1 太陽電池ユニットの研究開発の流れ

#### 4.1.4 太陽電池ユニットの研究開発スケジュール

本計画は、表 4-1 に示したように研究・開発期間を 3 年で区切り（ただし第 4 期は 5 年とした）、1 プロジェクトを 3 年間で完了するように作成した。又両研究センターで共通に研究するプロジェクトと、別々に研究・開発するプロジェクトに分類した。プロジェクトの研究内容を下記する。

##### (1) 2007 年—2009 年

- 1) 日射量計を使用し仰角と日射量の関係、年間日射量と発電量、などを整備する。

- 2) コントローラ、インバータの研究開発を実施する。
- (2) 2010年—2012年
    - 1) モジュールを輸入し SHS の組み立て研究開発を実施する。
    - 2) SHS システムの検査・評価技術の研究開発を実施する。
    - 3) 両研究センターが中心になり、「ナ」国の PV に関する規準を作成する。
    - 4) PV と風力発電、マイクロ水力発電、ディーゼルなどとのハイブリッドシステムの開発研究を実施する。
  - (3) 2013年—2015年
    - 1) SHS の検査・評価技術の研究を継続する。
    - 2) 2014年からモジュールの開発研究を開始する。

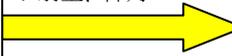
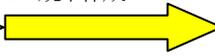
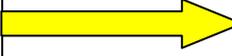
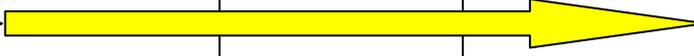
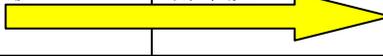
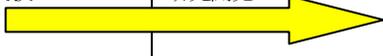
SERC は、シリコン結晶モジュールの研究開発を実施する。

NCERD は、アモルファスモジュールの研究開発を実施する。

ただし、開始前に、両研究センターは、十分話し合いをして決定する。
  - (4) 2016年—2020年
    - 1) モジュールの組み立て研究開発を続行する。
    - 2) モジュールの検査・評価技術を研究開発する。
    - 3) モジュールの組み立て、検査、評価技術が開発できたら、民間企業へ技術を移転し、普及を図る
  - (5) 全体期間を通して
    - 1) 研究センターの研究者は、研究用計測器の取り扱いに関するマニュアル（取り扱い方法、使用後の整理方法、故障時対応、など）を作成する。
    - 2) 研究者は、計測器などの管理責任者を定める。管理責任者は責任を持って、その計測器が、いつでも使用できるように管理する。計測器使用者ノートを作成する。
    - 3) 研究センターの研究者は、地方技術者の PV 教育を実施する。
    - 4) 教育用のマニュアル(PV の原理、取り扱い方法、故障時の対応、修理方法など)を作成する。

表 4-1 に研究開発項目ごとのタイムフレームを示す

表 4-1 SERC、NCERD 太陽電池ユニットの開発スケジュール

年度	1期 (2007 - 2009)	2期 (2010 - 2012)	3期 (2013 - 2015)	4期 (2016- 2020)
研究センターの目標	周辺機器 研究開発	輸入モジュール でシステム構成	システム構築	民間企業にへ技術移 転する。
太陽データ採取	日射量、仰角 	PV 規準作成 		
コントローラ インバータ	外国製品研究 	PV システム検査評価	検査、評価、普及促進	
ハイブリッド (構内設備利用)		風力/PV 	水力・Diesel/PV	普及促進 
Si モジュール 研究 (ソコト)			調査、実験 	研究開発
モルファス・モジ ュール 研究 (ヌスカ)			調査、実験 	研究開発

出所：調査団による

#### 4.1.5 太陽電池ユニットの研究開発計画

##### (1) 研究開発用資機材費

SERC, NCERD 研究センターの研究開発用機材費を表 4-2 に示す。

表 4-2 研究開発用資材購入計画

研究開発 購入資機材	2007 - 2009 年			2010 - 2012 年			2013 - 2015 年			2016 - 2020 年		
	購入 数	単価 (KN)	金額 (KN)									
コントローラ研究用	30	250	7,500	30	250	7,500						
インバータ研究用	30	300	9,000	30	300	9,000						
SHS(モジュール, バッテリ, コ ントローラ, リング等を含む)			0	30	104	3,320	30	104	3,320	100	104	10,400
ハイブリッド機材(コン トローラ, インバータ等)			0	30	1,260	3,780	30	1,260,0	3,780	50	1,260,0	6,300
モジュール研究用材 料			0			0	30	28	840	170	28	4,760
合計額(KN)	16,500-			23,600-			7,940-			21,460-		
各年毎必要額(KN)	5,500-/年			7,870-/年			2,650-/年			4,300-/年		

出所：調査団による

##### (2) 研究開発用計測器と費用

主な研究開発用計測器を表 4-3 示す。これらの計測器は、モジュールの研究開発をするために必要な計測器である。

表 4-3 研究開発用測定・計測機器購入計画

研究開発	2007 - 2009 年			2010 - 2012 年			2013 - 2015 年			2016 - 2020 年		
	購入数	単価 (KN)	金額 (KN)									
I-V meter				1	900	900						
Laminator							1	8,000	8,000			
Solar simulator for Cell							1	14,800	14,800			
Solar simulator for Module							1	20,000	20,000			
I-V meter for cell							1	6,000	6,000			
Spectroscope							1	4,500	4,500			
I-V meter for Module							1	5,000	5,000			
Thunder shock tester							1	10,000	10,000			
Meteorological meter	1		5,000									
Other small meters	1 lot		13,000									
合計額(KN)	18,000-			900-			68,300-					
各年毎必要額(KN)	6,000-/年			300-/年			22,870-/年					

出所：調査団による

### (3) 研究室設備

SERC, NCERD の PV ユニットの、現在の研究室を 整備しなければならない。その概算予算を表 4-4 示す。

表 4-4 施設建設及び運転経費計画

研究開発	2007 - 2009 年			2010 - 2012 年			2013 - 2015 年			2016 - 2020 年		
	購入数	単価 (KN)	金額 (KN)									
新設実験室(100 m <sup>2</sup> )				1	8,000	8,000						
家具備品 (動・工具を含む)	1 lot		4,000	1 lot		2,000	1 lot		1,000	1 lot		1,500
水道・光熱費	1 lot		1,500	1 lot		2,000	1 lot		2,500	1 lot		4,500
事務用品費・雑材料費	1 lot		1,400	1 lot		800	1 lot		1,300	1 lot		2,000
合計額(KN)	6,900-			12,800-			4,800-			8,000-		
各年毎必要額(KN)	2,300-/年			4,300-/年			1,600-/年			1,600-/年		

出所：調査団による

### (4) 研究開発スタッフと人件費計画

現在の研究員、研究助手は、それぞれ 3 名 / 2 名である。研究センターのスタッフは、研究の進展とともに増員する。研究開発スタッフを表 4-5 に示す。

[ナ] 国では国の方針で研究所に勤務する研究者に対しては高給を支払っており、一般的な連邦政府の職員の給与と比較すると、約 2 倍の給与が支払われている。

以下表 44 に示す人員計画に基づいた人件費計画を表 4-5 に示す。本アクションプランに基づいた研究スタッフ増員計画と人件費計画を示す。

**表 4-5 スタッフ数と人件費の計画**

項目	人件費単価	2007-2009年	2010-2012年	2013-2015年	2016-2020年
研究員数	N 170,000-/月	4	5	7	10
研究員人件費計	(KN)	24,480	30,600	42,840	102,000
研究助手数	20,000-/月	2	4	7	7
研究助手人件費計	(KN)	1,440	2,820	5,040	8,400
人件費計	(KN)	25,920	33,480	47,880	110,400
年間人件費	(KN)	8,640	11,160	15,860	22,080

出所：調査団による

(5) 研究開発資金

本アクションプランに基づいて、SERC、NCERD が研究開発を実施する時に必要となる、両研究所それぞれの太陽電池ユニットで必要となる研究開発資金計画を表 4-6 に示す。FMST と ECN は研究開発を進めるために、本資金計画に沿って SERC と NCERD の毎年の予算を確保する必要がある。

**表 4-6 研究開発資金計画**

項目	2007 - 2009年	2010 - 2012年	2013 - 2015年	2016 - 2020年
研究開発用資機材費	16,500,000	23,600,000	7,940,000	21,460,000
測定・計測機器購入費	18,000,000	900,000	68,300,000	0
施設建設・運転経費	6,900,000	12,800,000	4,800,000	8,000,000
人件費	25,920,000	33,480,000	47,880,000	110,400,000
合計	67,320,000	70,780,000	128,920,000	139,860,000
年間経費合計(研究所毎)	22,440,000	23,600,000	42,980,000	27,980,000
年間経費合計 (SERC、NCERD の合計)	44,880,000	47,200,000	85,960,000	55,960,000

出所：調査団による

1) SERC (PV ユニット) の研究開発

SERC (PV ユニット) の 2007 年から 2009 年間の研究開発費は、JICA の PV ユニット向け約 100 万ナイラ分の計測器が貸与されているため、100 万ナイラ分は予算上不要となる。

2) NCERD (PV ユニット) の研究開発費

NCERD (PV ユニット) の研究開発費は、表 4-6 の通りである。

各研究センターとも、計測器を購入する 2013 年から 2015 年を除くと、年間 2000 万ナイラから 3000 万ナイラ弱の予算となる。

#### 4.1.6 開発用資金調達

研究開発への投資は、その結果から直接の収益が期待できる性質のものではない。研究開発の結果は、住民の利益、生活レベルの向上に役立つものである。研究開発への投資は基本的に国家予算で実施すべきものであるが、開発途上国独自の投資が不可能の場合には、ドナーの支援を受けることになる。

「ナ」国は、他のアフリカ諸国に比べると、豊富な石油、天然ガス資源、その他の鉱物資源も恵まれ、比較的裕福な国家である。エネルギー問題の将来を考えて、研究初期段階に必要な、計測器、検査機器、研究資材、研究室内設備などは「ナ」国自身が投資し、調達することが望ましい。JICAは、SERCへ「添付資料-1」に示した計測器を貸与したが、NCERDにはこのような必要最小限の計測器類もない。基本的計測器、検査機器がなくして、研究・開発を実施することは不可能である。

「ナ」国政府（FMST、ECN）は、この点を十分認識して対処することが必要である。

#### 4.2 太陽電池ユニットの人材育成

SERC、NCERDの太陽電池ユニットは、自立的な研究開発を実施し、研究目的を達成できる人材を育成しなければならない。両エネルギー研究センターは、イギリスの大学と提携して数年に1人の割合で、留学生を送り出して人材育成に努めているが、卒業した留学生が帰国しないという問題点もあり、この留学制度は現在のところエネルギー研究センターの人材育成に寄与しておらず、帰国しない留学生は「ナ」国人材育成の問題点である。

従って、両センターの今後の人材育成教育は、国内研修、OJT、OFF・JT（Off the Job Training）、留学、海外研修、専門家による研修、国際機関の協力、南南協力による研修、アフリカ人づくり拠点（AICAD）などとの連携・協力を図る必要がある。

##### 4.2.1 開発途上国のエネルギー研究所での研修

中国、インド、タイなどには、優秀なエネルギー研究所がある。タイのエネルギー研究所は、太陽エネルギーに関する研究経験も豊富であり、下記3大学研究所との連携は、「ナ」国エネルギー研究センターに有意義である。タイ国の太陽エネルギー研究所を下記する。

(1) AIT (Asian Institute of Technology)

AITは、PV関連機器の開発や標準化を周辺諸国と連携しながら進めている。かつ、周辺諸国のPV技術者の教育も実施している。

(2) SERT (School of Renewable Energy Technology)

SERTは、メコン川沿岸諸国である、タイ、ベトナム、カンボジア、ラオス、中国雲南省のエネルギー研究所と連携し、太陽エネルギー、再生可能エネルギーの研究を実施している。周辺国から多くの研究者が留学している。毎年、再生エネルギー会議をこれら周辺国との間で開催している。当会議には南アジア、インド、パキスタン、ネパール、バングラディッシュをはじめ、日本のNEDO、GTZなども参加している。

(3) KMUTT (Mongkut University of Technology)

再生可能エネルギーの研究開発や技術者の研修を実施している。

上記3大学は、周辺国と連携し、地域での太陽エネルギー研究、利用、統一基準作成など中心的役割を担っている。日本のNEDOとの交流も実施している。

「ナ」国にとり、タイ国での研修は、同じ熱帯地方の大学で且つ日射条件もほぼ同一であり、環境も類似している。再生可能エネルギーの研究開発に多くの実績があるタイ国での研修は、「ナ」国エネルギー研究センターにとって意義深いものである。

「ナ」国エネルギー研究センターがタイ国の研究所と連携し、会議に参加し、論文発表が出来るようになれば多くの情報交換も可能になり、開発成果も上がると想定される。

#### 4.2.2 AICAD (African Institute for Capacity Development) アフリカ人造り拠点との連携

AICAD は、JICA が東アフリカ 3 国（ケニア、タンザニア、ウガンダ）の国立大学、研究所、NGO、中小企業、住民組織などを対象とし、アフリカの研究開発、研修、情報管理の活動、人材育成などを目的とし、アフリカの他の地域との連携も実施している組織である。

本部は、ケニア国のジョモケニヤッタ農工大学にある。AICAD は、再生可能エネルギー研究を重点項目の 1 つにしている。ケニアは、「ナ」国と同じアフリカ地域であり、距離的にも近く、経済、文化、生活環境、自然環境なども似ている。AICAD の目的は、アフリカの貧困削減と社会経済活動に貢献する研究である。「ナ」国エネルギー研究センターの目的も研究を通して国民の生活レベルを向上させることである。したがって AICAD との連携・協力は、もっとも重要な連携の一つである。将来、西アフリカ諸国も協力して、同様の研究協力組織をつくりお互いに協力することが期待される。

#### 4.2.3 欧米ドナー、国連関係による研修

USAID、GTZ、SIDA、UNDP、GEF など国連、欧米諸国のドナーも太陽エネルギーに関する研修を様々な方法で実施している。UNDP や欧米ドナーは、アフリカ諸国の PV エンジニアを教育することにより、PV による地方電化が円滑に実施されることを期待している。

研究センターの上部機関 FMST、ECN などは、エネルギー研究センターのあり方など、上部機関としての研究センターの役割を認識する必要がある。研究センター員が行う個別の技術研究とは結びつかないが、FMST、ECN の担当者は、エネルギー研究のあり方、研究体制、人材育成方法、資金調達等、研究機関の監督機関の要員として JICA を含めた他の国の国内短期研修等を受講することがひとつの方法である。

#### 4.2.4 日本への留学

エネルギー研究センターの研究者は、日本での勉強を強く望んでいる。実際に、JICA のホームページから関係機関と接触している研究者もいる。

外務省によると、同省の国費留学生制度により、毎年 1-2 名、ナイジェリアから留学生を受け入れているが、この留学制度の枠は現在のところ増加する可能性がないので、本制度による留学は極めて狭き門である。

#### 4.3 太陽電池ユニットの研究開発計画の概要

「ナ」国のエネルギー研究センターは、現在のところ PV に関する実質的な研究をしていない。

これまでは、購入した PV パネルの据付、パフォーマンステストを実施してきたのみで、PV 関連機器の開発技術に関する経験も少ない。本アクションプランの提言は、PV システムの要素機器（コントローラ、インバータ）の研究開発から開始する。PV モジュールを輸入し、自製したコントローラを使用し、SHS を組み立て、PV 技術、検査、評価の経験を積む。

その後、セルを輸入し、PV モジュール・セルの製作、検査、評価技術の研究開発に進む。2014 年にモジュールの研究開発に着手し、製作、検査、評価技術を 3 - 4 年間かけて確立した後、民間企業へ技術を移転し、民間企業を通して、「ナ」国自製の PV モジュールの普及を図る。

#### 4.3.1 太陽光データの蓄積、システム関連機器(コントローラ、インバータ)の研究開発

4.1.4 項で述べたように 2007 年-2009 年の間は、基本データ（日射量と発電量、仰角と日射量の関係など）の蓄積をすると同時に、システム・機器のコントローラ、インバータの研究開発を行う。日本、欧米、中国またはインドなど、数社のコントローラ、インバータを比較検討する。各社の性能、品質をチェックした後、最良製品の性能をターゲットとして製品を研究する。

SERC、NCERD は、お互いに情報交換を密にして、仕事を分担できる内容があれば分担し、効率よく研究開発を進めることが必要である。

##### (1) システム機器研究開発方法

システム機器の比較、開発方法を下記する。異なるメーカーの製品を数種類ずつ準備する。（現在手持ちのものがあればそれを利用する）以下の順序で研究する。

- 1) 測定システムを製作し、コントローラ、インバータをセットする。
- 2) 数種類のコントローラ、インバータの各部の動き、電圧、電流、波形などをチェックする。
- 3) 数種類のコントローラ、インバータの効率をチェックする。
- 4) 数種類を総合比較する。
- 5) 最もパフォーマンスの良いコントローラ、インバータを参考に設計する。
- 6) 部品を購入し同じものを研究開発する。開発後、先のシステムにセットし、各部の電圧、電流、波形などをチェックし、効率を計算する。
- 7) パフォーマンスが異なっていれば、不良箇所を検討、修正、テストする。同じ性能になるまで繰り返す。
- 8) 完成したらコストをチェックし、各部品を変えて、より良い独自の製品を研究開発する。完成後、テスト、修正を繰り返す。
- 9) SERC、NCERD 製コントローラ、インバータを完成させる。
- 10) SERC、NCERD は、お互いに情報を交換しながら、開発を進める。

##### (2) PV システムの検査、評価規準の作成

PV モジュール、付属機器が正常に作動するかどうかを検査しなければならない。PV モジュール、付属機器を製造している国は、PV に関する検査、評価規準を持っている。これらの規準を基に、PV モジュールなどが規準にあった製品であるかどうかを検査する。「ナ」国は、「ナ」国工業規準を持っているが、その中に、PV に関する規準は、現在作成されていない。この規準を両研究センターが中心になり、作成する必要がある。参考にする PV 検査、評価規準は、後述する。

##### (3) 太陽電池システムの構築と普及活動

コントローラ、インバータを研究開発したら、PV モジュールを海外から輸入し、SHS システムを構築

する。構築したシステムを、作成したPV検査、評価規準に合格しているかどうかを検査、評価する。検査なしで市場に出荷されると、市場に低価格、低効率の粗悪品が出回り、PVの信用を傷つけることになる。システム構築、検査技術が確立できたら、民間企業へ技術を移転し、高効率、高品質の製品が市場へ出るように指導する。

同時に地方政府のエンジニアを教育し、PVの運転管理・メンテナンスが出来るように指導する。PVによる地方電化の問題点は、運転管理方法にある。「ナ」国未電化地域の電化率を上げ、継続的にPVを普及させるために、地方のエンジニアを育成する。研究センターの研究員は、検査、品質管理、エンジニア教育のため各種マニュアルを整備する。マニュアルは、PV検査マニュアル、品質管理マニュアル、教育のためのメンテナンスマニュアルなどがある。

#### (4) 人員計画

PVグループの開発要員数を参考までに表4-5示した。

### 4.3.2 ハイブリッドの研究

#### (1) ハイブリッド技術開発

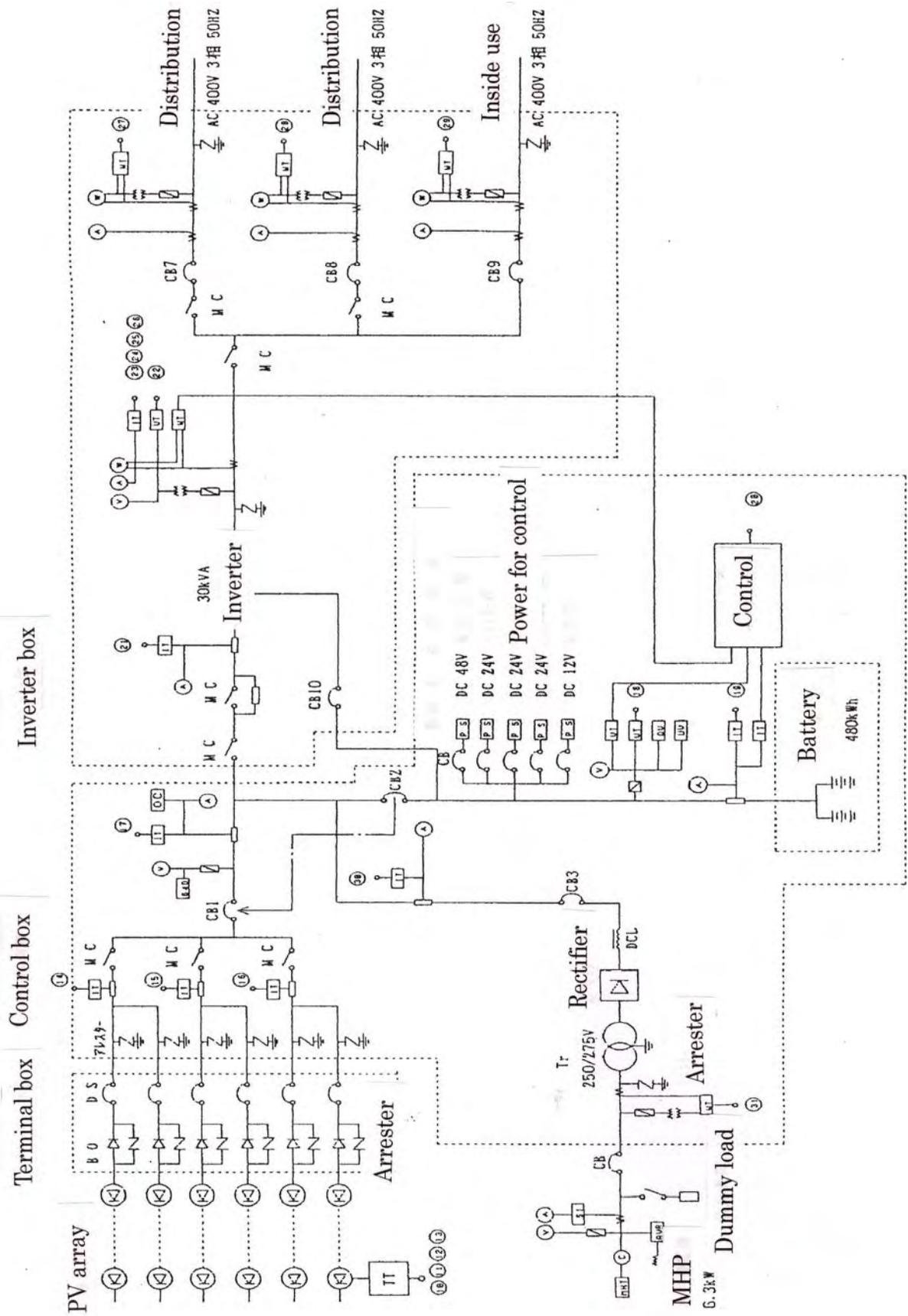
ハイブリッド回路は、他の再生可能エネルギーシステムなどと接続し、各システムの欠点を補うシステムである。小村落全体を電化する場合の、ミニグリッドシステムなどに有効である。

SERCには、PV発電（2 kW）と風力発電（2 kW）が稼働している。この2設備を利用してハイブリッドシステムを研究し、技術を確立すると同時に系統連系の研究も実施する。ハイブリッドシステムに必要なコントローラ、インバータは、当然研究開発センターで開発する。

NCERDはマイクロ水力などとのハイブリッドシステムを研究開発する。

#### (2) ハイブリッド回路図

ハイブリッド回路の一例を、参考図として図4-2に示す。



出所：調査団による

図4-2 ハイブリッド参考図

### 4.3.3 結晶系太陽電池モジュールの研究開発

「ナ」国は、太陽光の日射量が大きく、太陽電池開発普及に最適の地である。結晶系太陽電池モジュールの研究開発にあたり、先ずモジュールの基礎調査（研究室、実験室の改造、計測器、研究開発機器、材料供給先などをチェックする。）を実施する。

#### (1) モジュールの研究開発

##### 1) 基礎的調査研究

モジュールの基礎的調査研究がもっとも重要である。基礎研究の中には、モジュールに関する調査のほか、シリコン結晶の生産量、価額の世界的動向、PV システムの世界的普及状況なども入る。

##### 2) 研究室の整備

##### 3) ラミネーター、計測機器の準備

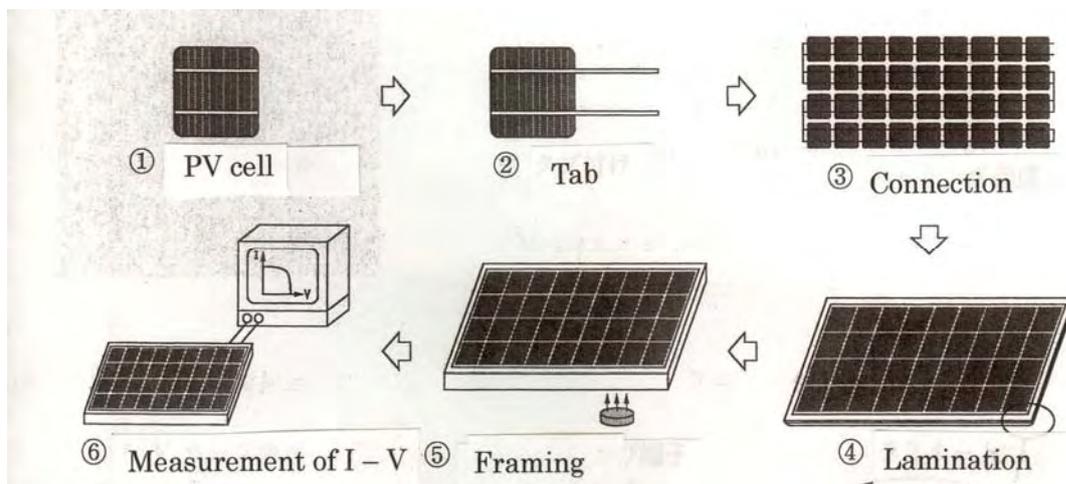
##### 4) セルの購入、組み立て研究開発

##### 5) モジュールの検査、評価技術の研究開発

##### 6) 組み立て検査評価技術を民間企業へ移転する。

#### (2) 太陽電池モジュールの製造工程

太陽電池モジュールを製造するには、図 4-3 のようにいくつかの工程を経なければならない。

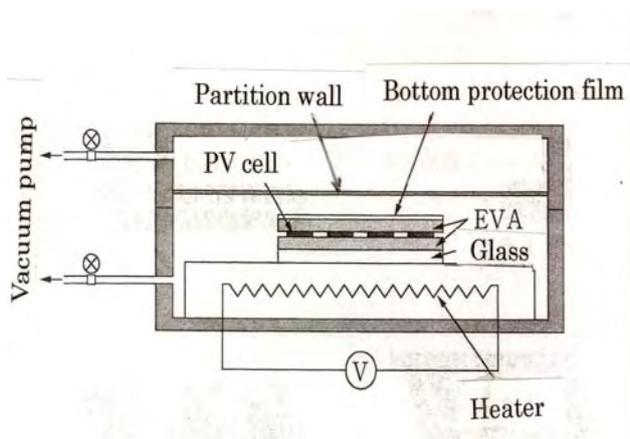


出所：太陽電池

図 4-3 太陽電池モジュールの製造工程

#### (3) ラミネート

ラミネート装置を図 4-4、写真を図 4-5 に示す。セルを結合した後ラミネート装置に入れてラミネートする。



出所：太陽電池

図 4-4 ラミネーター

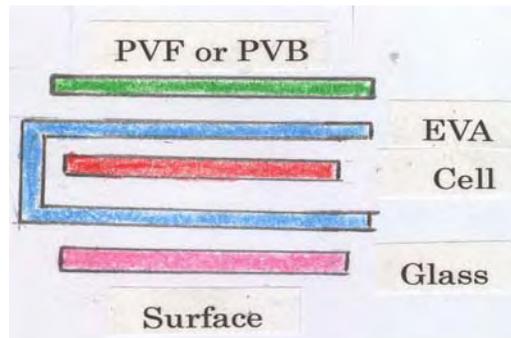


出所：調査団による

図 4-5 ラミネーター

(4) ラミネート模式図

ラミネート前の各部品の位置関係を図 4-6 に示す。



略語説明：

PVB：Poly Vinyl Buthyrol

PVF：Poly Vinyl Fluoride、

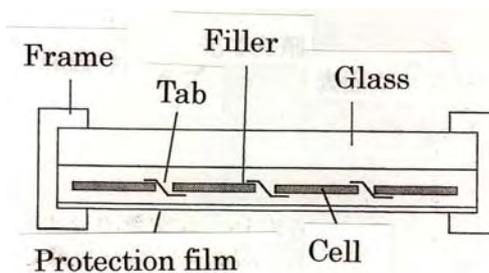
EVA：Ethylene Vinyl Acetate

出所：調査団による

図 4-6 ラミネート材料

(5) PV モジュールの構造

太陽電池モジュールの構造を図 4-7 に示す。ラミネートが完成したら枠と出力端子を取り付ける。



出所：調査団による

図 4-7 モジュール構造

モジュール研究開発に必要な機器は、ラミネーターのみとし、他の作業はすべて人手で実施する開発

計画である。計測器も必要最小限の計器とした。本 MP によると 2020 年までに必要な SHS（55W）は約 9.4 万セット、PV 電化戸数は 34.3 万戸である。この膨大な電化需要の PV モジュールを、一部自製することは極めて意義深い。

雇用面などから、新産業の設立が期待されている、ソコト市での PV モジュール企業の起業を、「ナ」国の連邦政府、州・地方政府は支援することが必要である。

(6) モジュール組み立て技術を民間企業へ移転する。

各研究センターは、モジュールを 3—4 年間、組み立て、検査、評価方法を研究開発した後、民間企業へモジュール製作技術を移転し、「ナ」国自製のモジュールの普及を図る。現在「ナ」国にモジュール製造会社は存在しないが、製造・販売を望んでいる会社は、存在する。

例えば、下記の民間企業（在ラゴス）が、両研究センターと連携しモジュールの製造を希望している。

- Juneco Nigeria Limited
- Prime Energy

#### 4.4 モジュール検査

モジュール開発後は、完成したモジュールが正常に働くかどうか検査をする。検査規準は、「ナ」国で作成する PV 検査規準を使用するのがよいが、未完成の場合は、国際的規準 IEC、PV-GAP などを利用する。自製したモジュールを市場に提供する場合は、その品質、性能を保証しなければならない。

日本では、JIS 規格で決められている。参考に日本の規格「JIS C 結晶系太陽電池に関する規格」を表 4-7、表 4-8 に示す。検査する主な項目を下記する。

- (1) ソーラーシュミレーターで性能を検査する。
- (2) 表面強度試験
- (3) 絶縁検査
- (4) 耐電圧検査
- (5) 温度・湿度検査
- (6) セル検査（セルの検査：製造前に実施）
- (7) 光を当てての昇温・湿度検査

以上は日本の規準であるが、ナイジェリアも将来国際規準（IEC、PV-GAP）又は、自国の規準を検討する必要がある。

結晶系太陽電池モジュール、測定方法、測定装置は、表 4-7 に示すとおり JIS 規格で決められている。市場に投入する場合は、下記のようなテスト規準に従ってテストをしなければならない。

**表 4-7 結晶系太陽電池モジュールの JIS 規格**

対象	記号	項目
結晶系太陽電池 モジュール	JIS C 8917	結晶系太陽電池モジュールの環境試験方法および耐久性 試験方法
	JIS C 8918	結晶系太陽電池モジュール
測定方法	JIS C 8911	二次基準結晶系太陽電池セル
測定装置	JIS C 8912	結晶系太陽電池測定用ソーラーシミュレータ
	JIS C 8913	結晶系太陽電池セル出力測定方法
	JIS C 8914	結晶系太陽電池モジュール出力測定方法
	JIS C 8915	結晶系太陽電池分光感度特性測定方法
		結晶系太陽電池セル・モジュールの出力電圧
	JIS C 8916	出力電流の温度係数測定方法
	JIS C 8919	結晶系太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法

出所：調査団による

結晶系太陽電池モジュールの環境試験、耐久試験は JIS C 8917 で下表のように決められている。

**表 4-8 結晶系太陽電池の JIS C 8917 環境・耐久試験**

	項目	試験内容
強度	耐風圧	サンプルを水平に保ち、1422 N/ m <sup>2</sup> の乾燥砂を均一に載せる。 (簡易試験)
	ねじれ試験	サンプルの 3 隅を固定し 1 隅に対角線の長さの 2 %のねじりを加える。これを 4 隅に対して行う。
	降雹試験	質量 227 g、直径 38 mm の鋼球を 1 m の高さからサンプル表面の中央に落下させる。 (簡易試験)
環境 試験	温度サイクル試験	−40℃から 90℃変化、1 サイクル=6 時間の温度サイクルを 200 サイクル行う。
	耐熱試験	温度 85℃で 1000 時間連続放置する。
	耐湿度試験	温度 85℃、湿度 90 から 93%の中に 1000 時間連続して放置する。
	温湿度サイクル試験	−40℃から 85 度変化、湿度 85%、1 サイクル=6 時間の温度湿度サイクルを 10 サイクル行う。

出所：調査団による

#### 4.5 太陽電池検査機関の設立

太陽電池の品質、性能保証を公的機関が承認することにより、国民は、安心して PV を使用できる。PV システムを普及させるためには、欠かせない認証機関である。

太陽電池の品質、性能保証の検査には、各種高価な測定器が必要である。「ナ」国の各研究センターでそれぞれ装置を設置することは不可能であるため、「ナ」国に 1 ケ所 PV 検査機関を設立し、PV の性能保証と認定する。

(1) 検査機関の設立

PV 認定機関は既存の検定機関などに併設すると効果的である。

(2) 検定所の職務

検定を依頼された PV 検査を実施する。性能に合格した製品には、認定書を発行する。

(3) PV 検定所の職員数

当初検査職員は、電気技術者 3 名で発足する。検査職員はすでに PV 検査を実施している国、または、検査計測機器購入先の検査機関で研修を受けることが必要である。研修内容は、PV の基礎、PV 検査方法などである。

(4) PV 検定所の運営

PV 検定所は、検定依頼を受けたら検定し、認定書を発行する。また、検査料を依頼者から徴収する。検定所の運営資金は、国家予算でまかなう。

(5) PV 検定の必要性

PV モジュールなどを製造販売するときは、国家機関で検定、認定の必要性を関係大臣の技術指針で通達する。

(6) PV 検定所は、測定機器の定期的校正をする。

(7) 検査項目

検査項目は、4.5 項に記述した。

(8) 検査機器と費用

主な検査機器は表 4-9 の通りであり、日本での参考概算価格を記した。

**表 4-9 PV 検査用機器と概略価額**

検査機器	概略価額 (N)
セル用ソーラーシュミレーター	14,800,000
セル用 I-V 計測装置	15,200,000
分光感度測定装置	50,600,000
モジュール用ソーラーシュミレーター	39,500,000
モジュール用 I-V 測定装置	21,000,000
温度湿度サイクル試験装置	63,000,000
雷衝撃電圧試験装置	9,900,000
大面積形光照射試験装置	94,100,000
合計	308,100,000

出所：調査団による

(9) PV 検査・認定機関の設立資金調達

「ナ」国で PV 産業が設立され、自国商品が開発販売される場合は、検査・認定機関を設立し、商品検査、認定をすることが大切である。検査・認定機関を設立するためには、測定機器を設置する必要があるが、測定機器の購入費用は、表 4-9 に示しように約 308 百万ナイラである。検査・認定機関設立方法は、国家機関として、既存の検定機関などに併設し、運営資金は国が拠出するのが望ましい。

ソーラーシュミレータの写真を図 4-8、図 4-9 に示す。左図は擬似太陽光発光器、右図はモジュールを設置し受光する装置である。



出所：調査団による

図 4-8 ソーラーシュミレータ光源



出所：調査団による

図 4-9 ソーラーシュミレータ 受光部

## 第5章 太陽熱利用研究開発アクションプラン

太陽熱の利用技術そのものはOECD諸国で研究されたものが多いが、従来、石油の低価額時代は石油の扱い易さから、他のエネルギー密度の低い再生可能エネルギーの熱利用はあまり考えられなかった。

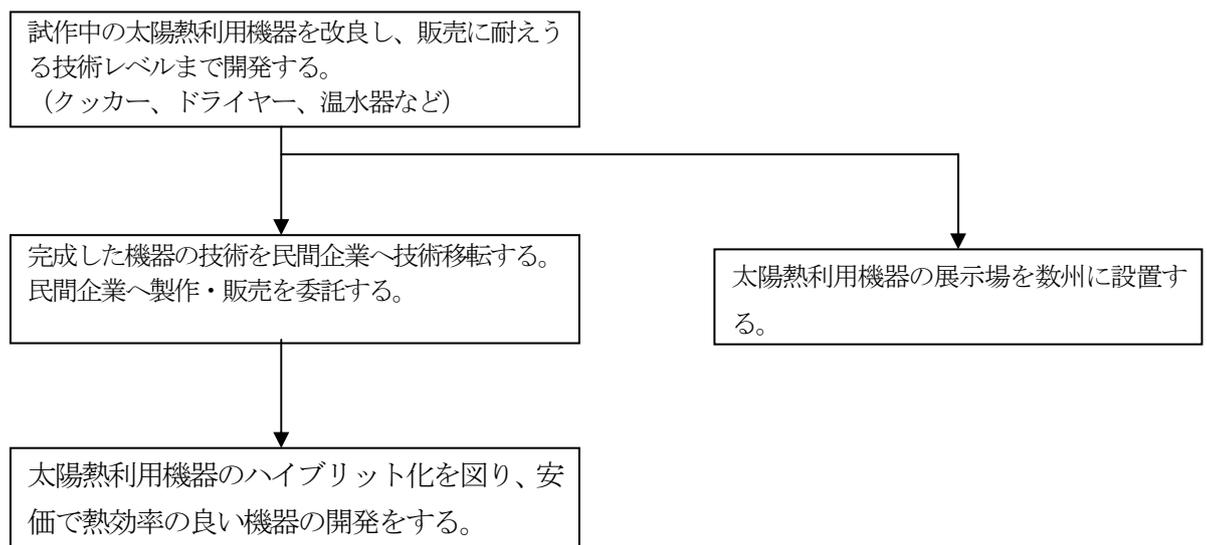
しかし、石油価額が60 - 70 \$/bbl前後の高値になった現在、OECD諸国でも再生可能エネルギーの熱利用が再検討される可能性が高くなってきている。

「ナ」国の北部乾燥地帯では、年間2kmのスピードで砂漠化が進行しているが、住民は、毎日灌木を伐採し収入の糧としており、また自身の炊事用としても利用し、多くの住民が意識する、しないに関わらず、森林破壊を引き起こしている。このような状況下、「ナ」国のエネルギー研究開発センターの太陽熱利用ユニットが試作している、クッカー、ドライヤーなどは、住民が使用する炊事用薪の削減に大きな貢献をすると考えられる。

以下「ナ」国のエネルギー研究開発センターの太陽熱利用ユニットが自立的に研究開発できるように、研究体制、研究目的、研究項目、研究方法、人材育成、資金調達、などを以下の通り提言する。

### 5.1 太陽熱利用ユニットの研究計画

当該ユニットの目的は、安価な太陽熱利用機器を開発して、住民の生活レベルの向上と、灌木伐採を削減し、併せて石油資源の消費を減少させることである。従って開発した機器を広く普及させることが極めて重要であり、普及を図るためには開発した太陽熱利用機器を広く国民へ認知させることが重要である。



出所：調査団による

図 5-1 太陽熱ユニットの開発目標

## 太陽熱利用機器研究開発の具体的内容

太陽エネルギー研究開発は、太陽光に関する基礎データの蓄積が必要である。SERC は、導入した計測器で基本データの採取をすると同時に、以下の研究開発を開始する。

- (1) パラボリッククッカーの研究開発
- (2) ドライヤーの研究開発
- (3) 温水器の研究開発
- (4) 蒸留水器の研究開発
- (5) インキュベータの研究開発
- (6) ブルーダーの研究開発
- (7) ハイブリッド太陽熱機器の研究開発

### 5.1.1 太陽熱利用ユニットの研究開発スケジュール

太陽熱利用ユニットは、各機器の研究開発を進めるに当たり、最終目的、開発時期、開発期間を決めて研究開発を進める。本マスタープランでは、1 研究開発期間を 3 年とした、その間に、研究開発結果を出すことを目標とする。表 5-1 にスケジュールを示す

表 5-1 太陽熱利用研究開発の計画とスケジュール

年	2007 - 2009	2010 - 2012	2013 - 2015	2016- 2020
クッカー パラボリック	研究開発	研究開発	研究開発・技術移転	
ドライヤー	改良研究	技術移転	研究開発・技術移転	
温水器	改良研究	技術移転	研究開発・技術移転	
蒸留水器		改良研究	研究開発・技術移転	
インキュベータ	改良研究	研究開発・技術移転	研究開発・技術移転	
ブルーダー	改良研究	研究開発・技術移転	研究開発・技術移転	
ハイブリッド機器			研究開発	研究開発、技術移転

出所：調査団による

## 5.1.2 研究開発用機材調達計画

### (1) 研究開発資機材費

太陽熱機器の研究開発に必要な資材の調達計画を表 5-2、表 5-3 に示す。

2007 年から 2012 年までは小型機器の研究開発を実施する。その資材調達計画が表 5-2 である。

表 5-2 太陽熱ユニットの研究開発計画(1)

試作・製造機器	材料費単価 (N)	2007-2009 年		2010-2012 年		備 考
		数	金額 (N)	数	金額 (N)	
クッカー	30,000	15	450,000	45	1,350,000	小型パラボリック
ドライヤー	110,000	20	2,200,000	45	4,950,000	小型ドライヤー
温水器	95,000	30	2,850,000	45	4,275,000	小型温水器
蒸留水器	85,000	5	425,000	45	3,825,000	小型蒸留器
インキュベータ	130,000	30	3,900,000	45	5,850,000	700 卵用
ブルーダー	100,000	30	3,000,000	45	4,500,000	100 羽用
ハイブリッド機器	150,000	0		0		
合 計			12,825,000		24,750,000	
各年必要額 (N)			4,275,000		8,250,000	

出所：調査団による

2013 年からは、家内工業者や農家が使用できる中型、大型の機器の研究開発を実施する。表 5-3 に中・大型機器の研究開発費用を示す。

表 5-3 太陽熱ユニットの研究開発計画(2)

試作・製造機器	材料単価 (N)	2013-2015 年		2016-2020 年		備 考
		数	開発費 (N)	数	開発費 (N)	
クッカー	40,000	30	1,200,000	50	2,000,000	中型パラボリック
ドライヤー	150,000	30	4,500,000	50	7,500,000	大型ドライヤー
温水器	150,000	30	4,500,000	50	7,500,000	中型温水器
蒸留水器	100,000	30	3,000,000	50	5,000,000	中型 (1m3) 蒸留器
インキュベータ	180,000	30	5,400,000	50	9,000,000	1000 卵用
ブルーダー	400,000	30	1,200,000	50	20,000,000	7m2
ハイブリッド機器	150,000	30	4,500,000	50	7,500,000	例：蒸留器と温水器
合 計			24,300,000		58,500,000	
各年必要額 (N)			8,100,000		11,700,000	

出所：調査団による

### (2) 研究開発用計測機器調達計画

太陽熱機器研究開発に必要な主な機器を表 5-4 に示す。

**表 5-4 太陽熱研究用計測器**

計測器名	購入価額 (N)	2007-2009 年		2010-2012 年		2013- 2015 年		2016 1-2020 年	
		購入数	金額 (KN)	購入数	金額 (KN)	購入数	金額 (KN)	購入数	金額 (KN)
気象計	5,000,000	1	5,000					1	5,000
日射計	500,000	2	1,000					2	1,000
携帯日射計	300,000	3	900					3	900
分光計	3,500,000	1	3,500					1	3,500
記録計	700,000	3	2,100					3	2,100
データロガー	300,000	2	600					3	900
温度計各種			1,000						1,000
精密はかり	200,000	3	600					3	600
その他メータ			1,500						1,500
合計			16,200						16,500
各年必要額(N)			5,500						3,300

出所：調査団による

(3) 施設建設・運転経費計画

研究開発に必要な運転経費計画を表 5-5 に示す。

**表 5-5 研究室運転経費計画**

研究開発	2007 - 2009 年			2010 - 2012 年			2013 - 2015 年			2016 - 2020 年		
	購入数	単価 (KN)	金額 (KN)									
家具備品 (動・工具を含む)	1 lot		2,400	1 lot		2,200	1 lot		2,400	1 lot		6,000
水道・光熱費	1 lot		1,200	1 lot		2,000	1 lot		1,200	1 lot		1,500
事務用品費・雑材料費	1 lot		1,200	1 lot		1,100	1 lot		1,200	1 lot		2,000
合計額(KN)	4,800			5,300			4,800-			9,500		
各年毎必要額(KN)	1,600/年			2,300/年			1,600/年			1,900/年		

出所：調査団による

(4) 太陽熱利用機器展示場開設・運転経費計画

「ナ」国の 6 地勢ゾーンへ太陽熱利用機器の展示場を開設する。各地勢ゾーンへ 2 ケ所開設する。開設する時期と経費計画を表 5-6 に示す。

表 5-6 展示場開設・運営経費計画

(単位N)

	2007-2009 年	2010-2012 年	2013-2015 年	2015-2020 年
展示場設備費		21,600,000		
運営経費		11,520,000	17,280,000	28,800,000
合 計		33,120,000	17,280,000	28,800,000
各年毎必要経費 (N)		11,040,000	5,760,000	5,760,000

出所：調査団による

(5) 研究開発スタッフの人件費計画

研究センターのスタッフは研究開発の進展に伴い、増員する計画である。その計画を表 5-7 に示す。

表 5-7 研究スタッフ数と人件費

(単位N)

項 目	平均給与(N/月)	2007-2009 年	2010-2012 年	2013-2015 年	2016-2020 年
研究員数		4	5	5	6
増加研究員数		0	1	1	2
研究助手数		2	3	3	4
増加研究助手数		0	1	1	2
スタッフ合計(人)		6	8	8	10
研究者人件費 (N)	170,000	24,480,000	30,600,000	30,600,000	61,200,000
研究助手人件費 (N)	20,000	1,440,000	2,160,000	2,160,000	4,800,000

出所：調査団による

### 5.1.3 研究開発資金計画

本アクションプランに基づいて、SERC、NCERD が研究開発を実施する時に必要となる、それぞれの太陽熱利用ユニットの研究開発資金計画を表 5-8 に示す。FMST、ECN は、研究開発を進めるために、本資金計画に沿って SERC と NCERD の毎年の予算を確保する必要がある。

表 5-8 研究開発資金計画

(単位：N)

項 目	2007 - 2009 年	2010 - 2012 年	2013 - 2015 年	2016 - 2020 年
研究開発用資機材費	12,525,000	24,300,000	35,100,000	17,500,000
測定・計測機器購入費	16,200,000	0	0	16,500,000
施設建設・運転経費	4,800,000	5,300,000	4,800,000	9,500,000
展示場経費		33,120,000	17,280,000	28,800,000
人 件 費	25,920,000	32,760,000	32,760,000	66,000,000
合 計	59,445,000	95,489,000	89,940,000	138,300,000
年間経費合計(研究所毎)	19,815,000	31,829,700	29,980,000	27,660,000
年間経費合計 (SERC、NCERD の合計)	39,630,000	44,869,000	54,200,000	49,560,000

出所：調査団による

## 5.2 太陽熱利用ユニットの人材育成

エネルギー研究センターが、自立的な研究開発を実施し、研究目的を達成できる人材を育成せねばならない。人材育成に関しては、太陽電池ユニットの人材育成と変わらないので、すでに 4.2 項で述べた内容を参照する。

### 5.2.1 開発途上国のエネルギー研究所での研修

タイのエネルギー研究所における研修、又は会議に出席することが有意義であることは、4.2.1 項で述べた。4.2.1 項を参照のこと。

### 5.2.2 AICAD (African Institute for Capacity Development) アフリカ人造り拠点

AICAD との協力、連携が重要であることは、4.2.2 項で述べた。4.2.2 項を参照のこと。

### 5.2.3 欧米、国連関係による研修

USAID、GTZ、SIDA、UNDP、GEF など国連、欧米諸国のドナーも太陽エネルギーに関する研修を様々な方法で実施している。4.2.3 項を参照のこと。

### 5.2.4 日本への留学

留学に関しては 4.2.4 項を参照のこと。

## 5.3 熱利用ユニットの研究開発概要

現在 SERC、NCERD は、温水器、クッカー、乾燥器、蒸留水器、インキュベータ、ブルーダーなどの機器を試作研究している。現在使用されていないが、SERC の病院用温水器、NCERD のインキュベータを除いて、実際に実用化されているものはない。これら試作品の早期完成または、研究を続行するかどうかの結論を出す必要がある。

試作品の現状段階は、「P→D→C→A」サイクルの「C」の段階である。速やかに検査評価し、修正、再検査を実施し結論を出す。

今回 JICA 調査団は、箱型クッカーの検査評価をしたが、検査結果に示すように箱型クッカーは調理には、不向きである。クッカーは、パラボリック式に変更し、再検討することが必要である。表 5-9 に太陽熱利用グループの研究項目を記す。試作品に関しては、両研究センターが独自に優先順位を決めるのが重要である。調査団は、下記順序（温水器、インキュベータ、ドライヤー、クッカー、蒸留水器）にて実施する計画を立てた。

**表 5-9 太陽熱利用ユニットの研究項目**

研究開発項目	タイプ	備考	研究センター
クッカー	箱型 パラボリック	効率が悪い。見直し検討 試作、チェック、商品化研究をする。	共通
ドライヤー	民生用、産業用	野菜、穀物、果物、魚用を、商品化研究をする。	共通
温水器	民生用 産業用	家庭用、病院用 繊維工業の洗浄用。商品設計図・仕様書を作成し、商品化研究をする。	共通
蒸留水器	民生用、産業用	バッテリー水、飲料用の商品化研究をする。	共通
インキュベータ	民生用、産業用	養鶏農家	共通
ブルーダー	民生用、産業用	養鶏農家	共通
ハイブリッド機器	民生用、産業用	例、温水器と蒸留水器の組み合わせなど	共通

出所：調査団による

### 5.3.1 クッカー、ドライヤー、温水器、蒸留水器、インキュベータ、ブルーダーの改良研究開発

既存の試作品を評価改造して早期に商品として耐えうるレベルまで機器の性能を高める。両研究センターは、研究者数が少ないので、同時に全機器を研究開発することはできない。これら 6 機器の研究開発優先順位を独自に決めて、順次研究・開発を完成させる。商品として、絶えうる製品開発ができたなら、民間企業へ技術移転し、企業を通して普及促進する。

参考までに 6 製品の研究・開発する調査団としての優先順位を表 5-9 に示した。SERC、NCERD は、お互いに同じものを開発するのではなく、両者協議して、開発製品を分担して研究・開発すると、効率が向上する。これらの製品を製造する上での注意事項は、材料を吟味して、デザインを考え、製作方法を研究する。同時に製作コストを下げる研究をする。

#### (1) クッカー（主婦が簡単に操作できるクッカー）の研究開発

箱形クッカーは、集光効率が悪いため、実用機器とならないことがテストでも証明された。クッカーの研究開発は、箱型クッカーの研究開発を凍結し、パラボリッククッカーとする。

日本製パラボリッククッカーは、女性でも簡単に操作でき、かつ持ち運びも容易なように設計されている。このため、女性研究者にも人気が高く、モニター希望者が続出した。モニター結果を参考にして、改良すべきところがあれば改良し、安価なものを製造する。早く量産化できるように研究し、実際に普及を図ることが必要である。JICA 調査団が研究センターに寄贈した製品を参考にし

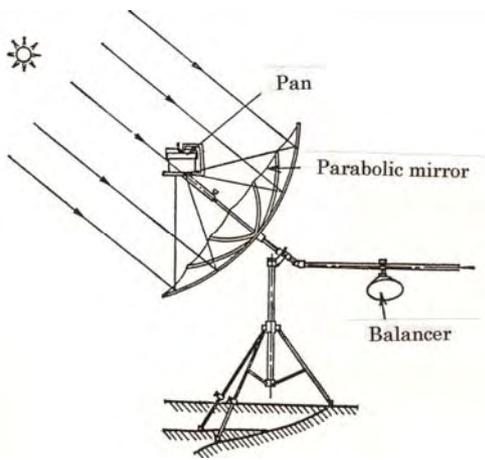
て開発することを推奨する。

1) データ整理

パラボリッククッカーの研究・開発が完成したら、本マスタープラン（MP）調査でデータチェックをしたように、日射量と水の煮沸テストなど各種データを採取蓄積する。データの蓄積により仕様変更に対応することができる。図5-2にパラボリッククッカーの1例を示す。

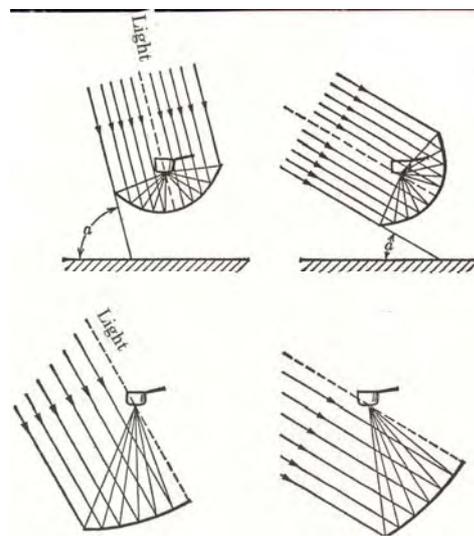
2) パラボリック鏡の種類

図5-3にパラボリック鏡の設置方法を示す。鏡の焦点が鏡の外にある場合は、パラボリック鏡を放置する場所に注意を要する。焦点が可燃物に当たっていると火災の原因になる。太陽光が当たらないところに置くことが重要である。



出所：太陽エネルギー読本

図5-2 パラボリッククッカーの1例



出所：太陽エネルギー読本

図5-3 パラボリック鏡のタイプ例



出所：調査団による

図5-4 パラボリッククッカー(SERCにて)



出所：調査団による

図5-5 太陽熱バナナ乾燥器(タイ SRET)

(2) ドライヤー（野菜、果物乾燥保存用）の研究開発

家庭用ドライヤーは、冷蔵庫のない農村地帯にとって、果物、野菜、などを乾燥保存するために欠かせない装置である。乾燥することにより野菜、果物に新たな栄養価が加わり、家族の健康を管理する主婦にとってドライヤーは、重要な機器である。

また乾燥野菜・果物が家にストックされていることは、食事を作る作業を軽減させ、かつ常に家族の健康を考えた栄養バランスの良い食事を準備できる。乾燥果物は、直接人々が食するため、ハエなどの昆虫が乾燥中に触れることのできないドライヤーが必要である。

乾燥度が上がり乾燥食物中の水分が少なくなると、細菌、酵素、カビなどが繁殖できず、長期間にわたって保存できる。家庭用ドライヤーを早く完成させ、普及を図ることを提言する。

タイでは、大型のドライヤーを製造して、乾燥バナナなどを製造している。図 5-5 は、タイ SERT のドライヤーである。

ソーラードライヤーは、実験を繰り返しその性能をチェックするのが良い。ソーラードライヤーで乾燥させるのと直接天日にて乾燥する方法との比較をする。併せてドライヤーの仰角と乾燥度合いのデータも整備する。ドライヤーが完成したら日射量など気象データ、仰角と乾燥度合いに関するデータを調査整理する。

### (3) 温水器

日本では、家庭用温水器が広く普及している。家屋の屋根に1日当たり、200～300 lの温水が製造出来るコレクター（集熱装置）を設置して、主に風呂、シャワー水として使用している。「ナ」国は、日本の約2倍の太陽光が賦存している。効率のよい試作品も完成しているので、早急に商品化研究をすることを提言する。

SERC、NCERD の太陽熱利用ユニット共、各種温水器を製造している。両研究センターは、この性能確認し、熱利用効率を計算した上で、必要な改良を行い、早急に温水器を完成させる。温水器が完成したら家庭用、病院用、産業用（繊維産業の洗浄水など）向けの標準仕様を決め設計図を作成して需要に備える。日射量と温水の温度を測定し、温水器の効率を計算する。

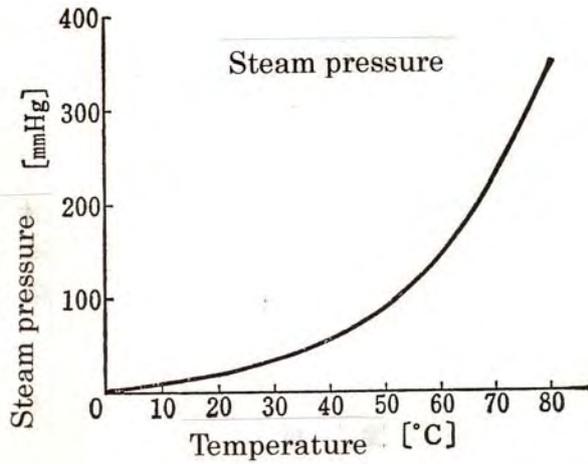
### (4) 蒸留水器

蒸留水器の一つの目的は、バッテリーの補給水を製造することである。「ナ」国が PV による地方電化の普及を図っている現在、重要な装置の一つである。PV 電化された村落に1台設置するように提言する。そのためには軽量、長寿命で扱いやすく安価な商品を開発する必要がある。

現在試作中の蒸留水器の使用材料を再精査し、必要な改良を検討する。通常蒸留水の生産量は、太陽光の強度によるが1日当たり2-4 l/m<sup>2</sup>である。

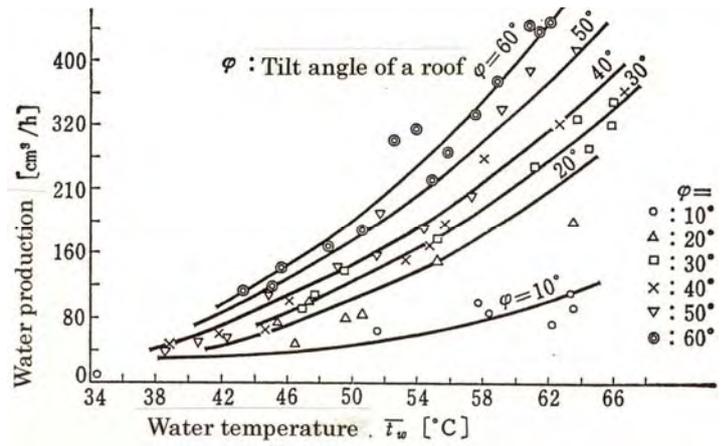
#### 1) データ整理

蒸留水器の開発が完成したら、日射量と蒸留水生産量のデータを常に測定する必要がある。図 5-6、図 5-7、図 5-8 は、日本の実験データ・サンプルである。このデータ採取項目を参考にして、類似のデータを採取・測定し、機器の更なる改良を図る。図 5-6 に水の蒸気圧曲線を示す。



出所：太陽エネルギー読本

図 5-6 水の温度と蒸気圧

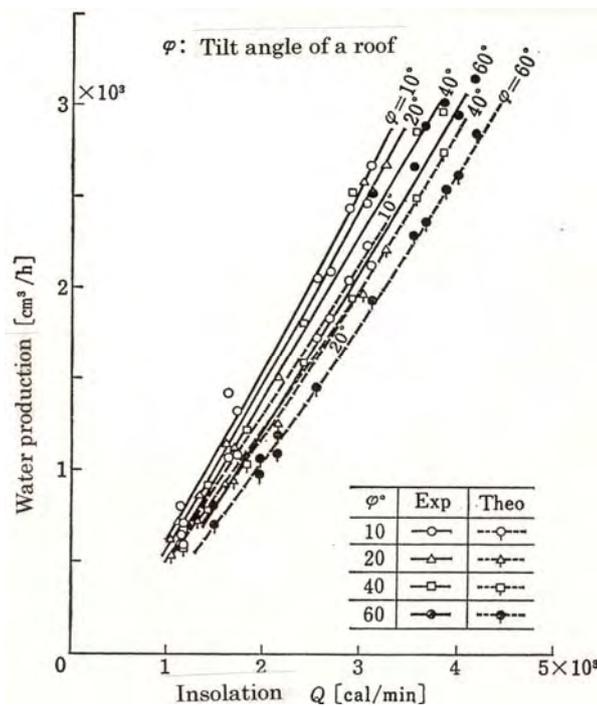


出所：太陽エネルギー読本

図 5-7 蒸留水生産量と屋根の角度

## 2) 屋根勾配と産出水量

図 5-7、図 5-8 は、屋根勾配と産出水量に関して日本での実験データである。屋根の勾配が、高いほど産出量は大きくなるが、逆に入射熱は小さくなる。両研究センターは、これらを参考に同様の実験をし、データを採取する必要がある。

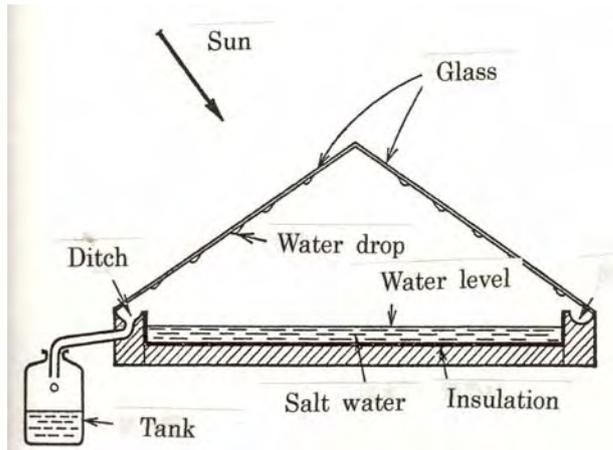


出所：太陽エネルギー読本

図 5-8 蒸留水生産と日射量

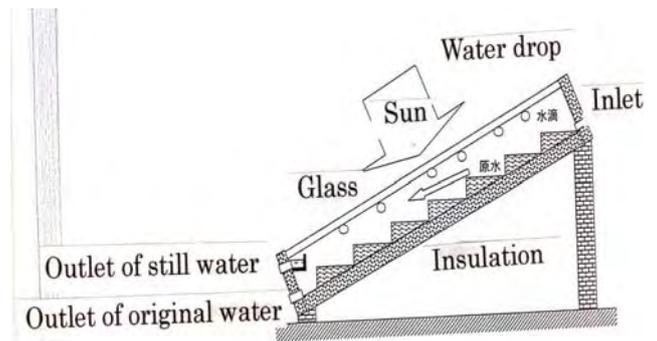
## 3) 最適屋根勾配

日本の場合最適勾配は 15-30 度程度との計測結果が出ているが、両研究センターはこのデータを参考に最適屋根角度を研究する。



出所：太陽エネルギー読本

図 5-9 蒸留水器



出所：太陽エネルギーハンドブック

図 5-10 階段型トレーを利用した蒸留水器

#### 4) ガラスの内面処理

ガラス表面は、水滴が滑って取水溝に集まるように、苛性ソーダなどで処理する。最近では二酸化チタンで処理すると、殺菌の効果があることが判明している。

#### 5) 蒸留装置の改良

水の蒸留方法には、各種の方法が考案されているが、図 5-10 に階段式トレーを使った蒸留水器を示す。この蒸留水器と温水器を組み合わせれば、効率の良い蒸留水器が完成する。両研究センターはこれらを参考に効率の良い方式を試作テストすることを推奨する。

#### (5) インキュベータ

NCERD では、鶏インキュベータを実用化している。今後は、商品として耐えうる性能を確保するために、機器の改良を図ることが必要である。

#### (6) 太陽熱利用機器の組み合わせ(ハイブリッド機器)研究

SERC、NCERD の太陽熱利用ユニットの試作機器は、熱利用機器を単体で作動させるケースが多い。NCERD では、一部実施しているが、温水器をベースに温水器とドライヤー、温水器と蒸留水器、温水器とドライヤーなどを組み合わせ、小型で熱利用効率の高い機器を研究開発する。

### 5.3.2 製品の普及活動への提言(太陽熱機器の展示広場)

研究開発で完成させたクッカー、ドライヤー、温水器、蒸留水器、インキュベータなどを国民へ広く認知させるべく、「ナ」国の 6 地勢ゾーン(南南部、南東部、南西部、北中央部、北西部、北東部)へそれぞれ 2 ケ所、計 12 ケ所の展示場を開設する。

展示する機器は全機種とし、それぞれ民生用、産業用に使用できるものとする。同時に、研究センターは、太陽熱機器の開発技術、検査技術を民間企業へ移転できるように、開発商品の効率、検査・評価方法を研究する。

展示場は 2010 年から 2012 年まで、それぞれ、年 4 箇所開設する。

1 展示場に設置展示する太陽熱機器は、下表 5-10 の通りとする。

表 5-10 一展示場用太陽熱利用機器

展示機器	仕様 (各1セット)		セット数	備考
	4人用	7人用		
クッカー	4人用	7人用	12	パラボリック式
ドライヤー	家庭用	家内工業用	12	野菜果物乾燥
温水器	家庭用	業務用	12	
蒸留水器	家庭用	バッテリー用	12	
インキュベータ	500 卵用	1000 卵用	12	
ブルーフダー	100 羽用	200 羽用	12	
ハイブリッド機器	ドライヤー	蒸留水器	12	

出所：調査団による

## 参考資料

### 太陽電池

- |                                 |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|
| 1) 太陽電池材料                       | 日刊工業社 | 2006年 |
| 2) 太陽電池                         | コロナ社  | 2004年 |
| 4) 太陽光発電工学                      | 日経BP社 | 2002年 |
| 5) カンボジア国再生可能エネルギー利用地方電化マスタープラン | JICA  | 2006年 |

### 太陽熱利用

- |                     |             |       |
|---------------------|-------------|-------|
| 1) 新太陽エネルギー利用ハンドブック | 日本太陽エネルギー学会 |       |
| 2) 太陽エネルギー読本        | オーム社        | 昭和55年 |
| 3) 太陽エネルギー基礎と応用     | オーム社        | 昭和53年 |
| 4) SERTの実験し写真       | 調査団資料       | 2003年 |
| 5) 太陽熱温水器製作         | パワー社        | 1995年 |
| 6) ソーラーエネルギーテキスト    | 調査団資料       |       |

(太陽エネルギー利用MP第5巻研究開発)

## 1. SERC 実験用計測器

- 1) 日射量計
- 2) 簡易日射計
- 3) データロガー (気温、湿度、雨量、風力、日射量用)
- 4) マルチテスター
- 5) 通信施設へ固定する電流計、電圧計
- 6) 接触温度計
- 7) メガー
- 8) 熱電対センサと温度計
- 9) 方位磁石
- 10) 仰角度測定器
- 11) 接地抵抗器
- 12) オシロスコープ
- 13) ノートパソコン
- 14) トランス
- 15) 気象計
- 16) 直流・交流電圧、電流計
- 17) 電流検出計
- 18) 交流電力計
- 19) 放射温度計 (500℃)
- 20) PH計
- 21) 熱電風力計 (Thermo-Anemometer)
- 22) 分光光度計
- 23) 気温・湿度計
- 24) メス・シリンダー
- 25) アルコール温度計
- 26) 比重計
- 27) メジャーカップ
- 28) 電子はかり

以上の計測器は2グループだけが使用するのではなく、研究所全体で使用するように伝えた。

## 2. スタディー・チームが提供

- 1) パラボラクッカー (2006年5月スタディー・チームが提供)

## ソコトエネルギー研究センター(SERC)太陽電池ユニットへの技術指導実績

### 1. システム外観検査

システムを外観し、設置状態、設置環境などから下記のような状態をチェック、適正な状態かどうかを指導した。

- ① パネル表面は、太陽光受光に支障のないような状態であるか？
- ② 立ち木や建設物の影は、パネル表面に影響を与えないか？
- ③ パネルの方向は、正しいか？
- ④ 仰角は、何度か？
- ⑤ バッテリー室の温度、換気の状態はどうか？
- ⑥ バッテリーの端子の状態は問題ないか？
- ⑦ 計測器は、稼動しているか？
- ⑧ 配線のサイズは、問題ないか？
- ⑨ 配線状態はどうか？

### 2. 2kWシステムの効率

#### (1) ソコト大学通信施設の既存システムへのメータ取り付け

大学構内のコミュニケーションセンターへ、コンピュータバックアップ用電源として大学がPVシステム(2kW)を設置した。この装置に日本から持参したメータを設置し、データの採取項目、データの採取方法を実地指導した。

#### (2) 取り付け指導

研究所には適切な工具類(＋・－ドライバー、スパナなど)がない。それゆえ、取り付けに時間を要した。

#### (3) 計測器取り付け図

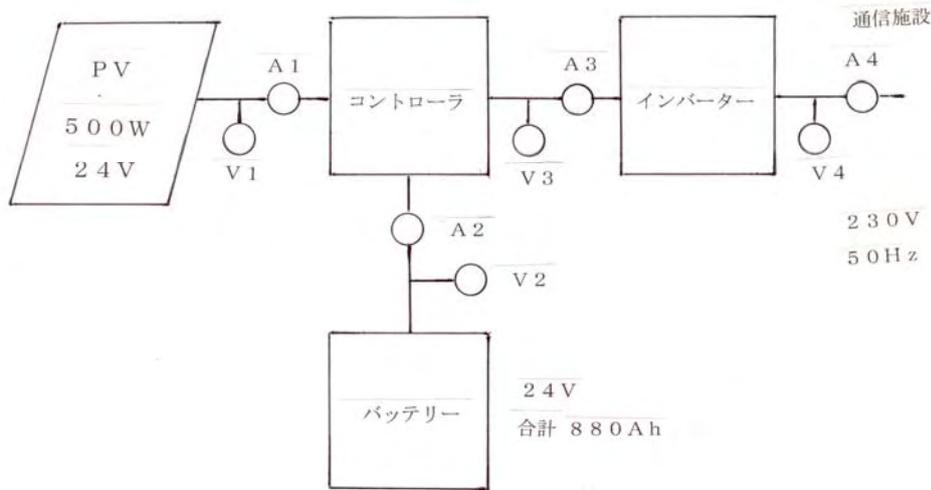


図 2-1 メータ取り付け図 (A1-A4 : 電流計、V1-V4 : 電圧計)

当該 2 kW システムは 500 W を 1 ブロックとし、8 ブロックに分け、各 2 ブロックを直列に接合、4 ブロックを並列に接合 24 V, 2 kW としている。メータは 1 ブロックに導入した。

#### (4) 測定

提供した日射計、温度計、電気計器を利用して測定した。パネルは、測定前まで清掃が不十分で、表面が砂埃で見えない状況であった。かつ、立ち木が伸び、大きな影を作っていた。通信施設では、PV 電力をほとんど使用していないので、ダミー抵抗として、コーヒーマーカー (900 W) を使用した。負荷がほとんどない状態でシステムとしては、休眠状態であった。表 2-1 は 2006 年 1 月 23 日の測定データの抜粋である。

表 2-1 2 kW システムデータ

時間	単位	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30
日射量	W/m <sup>2</sup>	668	813	902	891	775
気温	℃	33.1	35	35.2	39.3	36.3
パネル温度	℃	40.1	48.5	53.1	54.2	52.4
V1	V	25	25	25	25	24
A1	A	9	9.5	9.5	9	6
V2	V	24	25	25	25	24
A2	A	20	15	12	11	7.5
V3	V	22.5	24	24	24	23
A3	A	10	9.5	9.5	7.5	9
V4 (AC)	V	230	230	230	230	230
A4 (AC)	A	3	3.5	3.5	3	3.5

システム構成 : 500 W \* 4 sets = 2000 W, 24 V

V1-V3, A1-A3 は 1 ブロックのデータ、A4, V4 は全体の値である。

### 1) 発電効率

発電効率は、表から約 60 %であるが。これは日射量が  $902 \text{ W/m}^2$ 、パネル温度が  $53.1^\circ\text{C}$ の時の発電効率である。パネル表面の砂塵の影響が大きいと考える。

### 2) 利用効率

ダミー抵抗を入れての利用効率を表に示した。実際の負荷は 5 %弱である。図 2-2 は、日射量と発電量を示したものである。

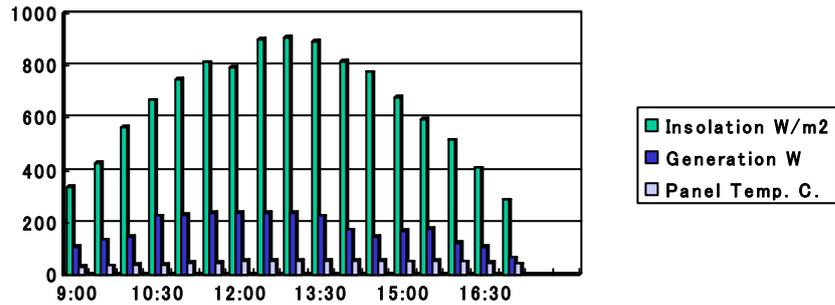


図 2-2 日射量と発電量

### (5) 結果

測定した結果、下記のような事項が判明した。

- 1) システム全体の管理が不十分である。
- 2) バッテリーが不均一充電されている。
- 3) 発電効率が悪い。
- 4) パネルの清掃が不十分である。
- 5) 負荷がほとんど無い状態である。

### (6) PV 技術者への教育・訓練

PV 発電に与える下記のような各種影響、効率計算の方法、メンテナンス方法を説明、指導した。

#### 1) パネル温度上昇の影響

パネルのカタログ値は、パネル温度が  $25^\circ\text{C}$ のときの値である。パネル温度が  $1^\circ\text{C}$ 上昇すると電力は 0.45 %減少する。

#### 2) 日射量の影響

日射量が変われば、当然発電量もほぼ比例して変わる。カタログ値は、日射量が  $1 \text{ kW/m}^2$ 時のものである。

#### 3) パネル表面の汚れ

パネル表面が砂塵で覆われれば、光が到達せず発電量は、落ちる。ソコトの場合注意しないとこの影響が大きい。掃除する前は、表面が見えないほど砂塵に覆われていた。

#### 4) 仰角

ソコトの緯度は13°であるが、パネルの仰角は、15°に設定されている。仰角と日射量の関係は第3回調査時に実験することにする。

#### 5) バッテリーのフル充電

バッテリーが不均等充電されている場合は、フル充電をすること。不均等充電を避けるため月に1度はフル充電をする。

#### 6) インバータの効率計算

### 2.1 2kW PVシステムの評価

SERC 太陽電池ユニットは、2006年2月から5月にかけて独自に2kWシステムのテストを実施した。その結果を記す。

#### (1) テスト結果

毎月23日を中心に、前後日のテストデータを取るように宿題を出しておいた。そのデータによると発電量、負荷も変化なく調査時と同じであった。2、3月のデータは、明らかにバッテリーに問題があることを示している。太陽電池ユニットは、バッテリー液を全面的に交換し、かつフル充電をした。その結果、4、5月のデータは正常な値を示している。データの抜粋を表2-2.1、測定回路を図2-1に示す。

表2-2.1は、5月2日バッテリー補修後、研究所PVグループがテストしたデータの抜粋表である。

表 2-2.1 システムのデータ

時間	単位	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
日射量	W/m <sup>2</sup>	806	910	1014	923	923
気温	°C	37.5	39.5	41.3	42.2	43
パネル温度	°C	44.8	51.2	52.4	60.3	55.4
V1	V	25	25	25	25	25
A1	A	10	10	10	10	10
V2	V	25	25	25	25	25
A2	A	20	15	15	15	15
V3	V	24	24	24	24	24
A3	A	10	10	10	10	10
V4 (AC)	V	230	230	230	230	230
A4 (AC)	A	4	4	4	4	4

システム構成：500 W×4 sets=2000 W, 24 V

V1-V3、A1-A3は1ブロックのデータ、A4、V4はシステム全体の値である。

## (2) 注意事項

SERC 太陽電池ユニットのデータを評価し、下記の点を新たに指導した。

### 1) システムの AC 電流計交換

システムの AC 電流計が、作動していない。交換するか調整するよう指導。

### 2) バッテリーのフル充電

バッテリーの各セルを平等に充電するために、月に 1 度フル充電をするよう指導した。

### 3) バッテリー電解液の積層化防止

バッテリーは、長いこと設置し、かつ稼働率が低いと、バッテリー内の電解液が積層化してしまう。この積層化を防止するため月に 1 度振動を与え、中の液を混合することを指導した。

## 3. 仰角 (Tilt angle) が日射量に与える影響

### (1) 仰角と日射量の測定

第 3 回調査時 (2006 年 5 月末から 6 月上旬)、4 迎角 (南向き  $15^\circ$ 、 $13^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $0^\circ$ ) と日射量の変化を調査した。ソコトの緯度  $13^\circ$  をベースとして、ほかの仰角との比較実験を実施した。その結果を表 3-1 に示す。

5 月の太陽位置高度は、ソコトの北にあり、当然仰角の低いほど日射量は大きい。逆に北向きに 5 度くらいが最高を示した。仰角が発電量に与える影響が、大きいことを指導した。

表 3-1 仰角と日射量

Tilt angle		$0^\circ$	$10^\circ$	$13^\circ$	$15^\circ$
5/06/2006	W/m <sup>2</sup>		753.2	738.1	
6/06/2006	W/m <sup>2</sup>			813.6	810.1
7/06/2006	W/m <sup>2</sup>	780.5		726.2	

仰角の設定は、一般的に、パネル面の清掃、雨後の表面状態の維持などから緯度プラス 2-3 度を実施しているが、ソコトの状態から砂嵐の影響は、 $15^\circ$  でも、 $0^\circ$  でも砂の堆積量に大きな変化はない。その結果仰角は、システムの需要要件を満たすことを、第一に考慮して決めることを提案した。

### (2) 仰角と日射量の測定継続

1 年間を通して、仰角と日射量の関係を測定することを勧めた。測定仰角は、南向き  $13^\circ$  と  $0^\circ$  とする。

ソコトは、太陽が表 3-2 のように北へ行ったり、南へ行ったりする。そこで当然日射量は、その仰角により大きく変化する。(ソコトを通過する日時はおよそその日付である。)

そこで 1 年間データを採取し、ソコトエネルギー研究所が需要期、清掃方法、天候状況などを考慮して決めることを勧めた。

表 3-2 ソコトの太陽位置関係

	緯度 (°)	通過日	通過日	Remarks
北回帰線	N23	23/6		北向き
ソコト	N13	23/5	18/8	北向き
ヌスカ	N7	20/4	27/8	
赤道	0	23/3	23/9	南向き
南回帰線	S23	23/12		南向き

(3) データ採取後、仰角を決める際下記事項を考慮すること。

- 1) 需要期はいつか。
- 2) パネル清掃は可能か。(パネル設置の高さを考慮する。)
- 3) 設置場所の天候状況を考慮する。(異常気象はないか、雹害はないか)
- 4) 盗難防止

(4) 測定事項

日射量測定の際、同時に測定する事項

- 1) 日射量
- 2) 発電量 (55 W モジュール使用、電流、電圧を測定する)
- 3) 気象状況 (気温、湿度、風力)
- 4) パネル温度

(5) 仰角 の測定と SHS プロジェクトへの応用

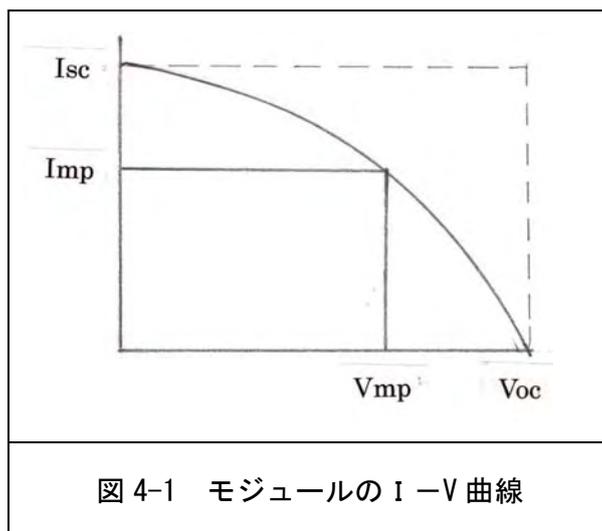
1 年間測定したデータをもとに、年間平均値日射量、乾季、雨季の平均日射量を計算する。例えば、雨季にもっとも電気が必要であったら、雨季の最高日射量が得られる仰角度を選定する。ソコト地方の最適仰角が決定できたら、以後の SHS 設置プロジェクトへ適応させること。

#### 4. 曲線因子(Fill Factor: FF)の測定・計測

FF の測定と計測方法の指導を実施した。FF は次の式で計算できる。

$$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / (V_{oc} \times I_{sc})$$

FF はモジュールによって異なるが、一般的に 0.6 から 0.8 の範囲に入る。



(1) 測定方法

測定モジュールの Voc, Isc を測定して、モジュールのカタログ値と比較して、Vmp, Imp を算出し計算した。

(2) 計測・計算結果

表 4-1 に計測、計算結果を示す。

**表 4-1 シーメンス製モジュール (1990 年) の FF**

Tilt angle 13°	Catalogue Value	Measured Value
Voc	21.7	18.14
Vmp	17.4	13.84
V (Voc - Vmp)	4.3	4.3
Isc	3.45	2.83
Imp	3.15	2.58
K (Imp / Isc)	0.913	0.913
FF	0.73	0.7

## ソコエネルギー研究センター(SERC)太陽熱利用ユニットへの技術指導

### 1. 外観検査

SERC のテストサイトには、クッカー、乾燥器、温水器、蒸留水製造器などの試作品が並んでいる。各機器とも木製箱にトタンを使用している。蒸留水器などは、トタン板が腐食している。

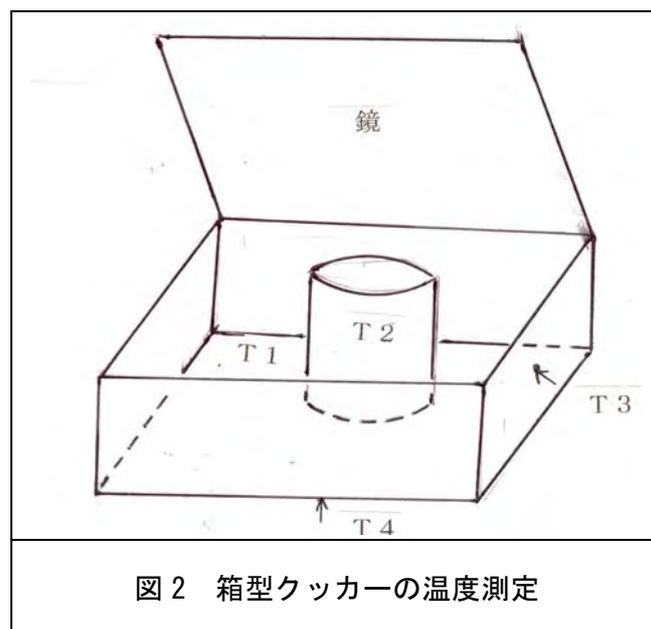
SERC 太陽熱ユニットと協議の結果、箱型クッカーから検討することにした。箱型クッカーは、箱の内面をトタン板で内張りし、反射鏡を1面に設けたものである。当初は、測定に耐える製品で無いので、計測器が提供される前に補修をしておくように指導した。

### 2. 箱型クッカーの実験方法

持参した、日射計、温度計、温度記録計、気象計を使用し温度計を下記部位にセットした。データ採取項目は下記のとおり。

- 1) 日射量mVで採取し、 $W/m^2$ に換算 換算係数：7.69 mV/7.69×1000
- 2) 大気温度、大気湿度
- 3) 風速
- 4) 箱内温度（箱型クッカーの内部）T1
- 5) 鍋の中の水の温度 T2
- 6) 箱の右側温度 T3
- 7) 箱の底の温度 T4

計器設置図を下記する。



## 2.1 実験結果

実験では、表 2-1 のようなデータを採取した。また箱からの熱移動、日射量とクッカーの温度上昇、水の沸騰テスト、ゆで卵、米の炊飯テストを実施した。

水の温度上昇テストを表 2-1 に、炊飯テストデータの抜粋を表 2-2 に示す。

表 2-1 水昇温度テスト

時間	単位	12:10	12:30	12:50	13:10	Ave
日射量	W /m <sup>2</sup>	827	709	810	819	791
気温	°C	41.4	40.4	39.9	40.6	41
湿度	%	7.6	8	9.8	6.9	8
風力	m/ h	2.1	2.8	1.8	1.5	2
T1 (箱内)	°C	84	90	94	97	
T2 (鍋内)	°C	31			84	
T3 (箱横)	°C	43.6	45	42.6	43.7	
T4 (箱底)	°C	42.2	42	41.2	42	

表 2-2 炊飯テスト

時間	単位	10:20	11:00	11:20	12:00	12:20	13:00	13:20	13:40
日射量	W /m <sup>2</sup>	637	749	787	858	874	908	880	871
気温	°C	29.1	31.4	32.8	35.1	38.4	41.2	37.6	37.6
湿度	%								
風力	m/h								
T1 (箱内)	°C	28	91	97	110	111	124	129	131
T2 (鍋内)	°C	27	37.1	46.4	69.5	78.9	90.8	99.2	101
T3 (箱横)	°C								
T4 (箱底)	°C								

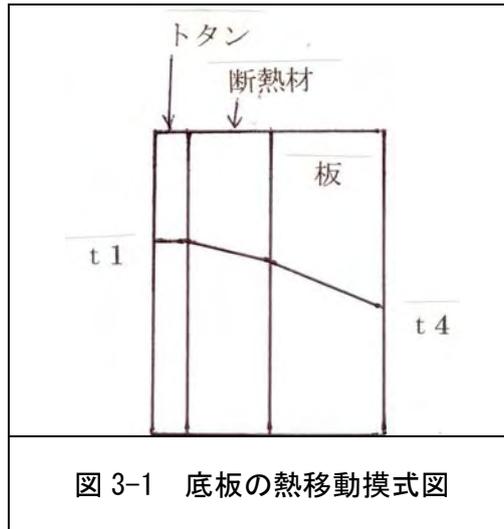
## 3. 熱移動計算

テストの結果高温側から低音側への熱の移動は、少なく保温・絶縁は問題ない。

熱移動の計算方法を指導。研究所員が計算できるように指導した。

### (1) 熱移動図

熱移動の模式図を図 3-1 に示す。



(2) 箱の各材料の熱伝導率と厚さ

箱の各材料の熱伝導率と厚さは表 3-1 に示す。

表 3-1 材料の熱伝導率(クッカー底板の寸法と材質)

Material	Symbol	Unit	A トタン Galvanized iron	B 断熱 Insulation	C 板 Wooden plate
Thermal conductivity	K	W/m・K	50	0.08	0.14-0.18
Thickness	b	mm	1	51	13

(3) 熱移動計算

下記熱伝道計算式を使用した。

$$q = (t_1 - t_4) / \{ (b_1/k_1) + (b_2/k_2) + (b_3/k_3) \}$$

結果  $q = 82.3 \text{ W/m}^2$

### 3.1 水の沸騰テストと効率計算

水の沸騰には、テスト日の日射量にもよるが、3 時間を要した。日射量と水の沸騰の関係を計算し、計算方法を指導した。計算方法を下記する。

下記計算は 1 L の水を 31 °C から 84 °C に上昇するのに必要な時間を計算し、実際の時間と比べたものである。(表 2-1 参照)

(1) 受光面積

底板面積  $0.25 \times 0.35 = 0.0875 \text{ m}^2$

側板面積  $0.146 \times 0.425 \times 2 = 0.124 \text{ m}^2$   
 $0.146 \times 0.335 \times 2 = 0.0978 \text{ m}^2$

鏡面積  $0.42 \times 0.5 = 0.21 \text{ m}^2$

合計 0.432 m<sup>2</sup>

## (2) 基本単位換算

1 kW/m<sup>2</sup>=1 kJ/m<sup>2</sup>

1 kcal=4.186 kJ

## (3) 熱計算 (効率計算)

平均日射量 : (12:10 から 13:10 までの平均) : 791 W/m<sup>2</sup>・s

水温上昇 : 84-31=53 °C

水温上昇に必要な熱量 : 53×1 (L) =53 kcal

日射量換算 : 0.791 W/m<sup>2</sup>=0.189 kcal/m<sup>2</sup>

受光熱量 : 0.189 kcal/m<sup>2</sup>・s×0.432m<sup>2</sup>=0.082 kcal/s

53kcal を受光するのに : 53/0.082/s=646.3 s→10.8 分

実際は、60 分を要している。80 °C くらいまでは高い効率で上昇するが、この後 100 °C まで時間がかかり全体での効率は低くなる。

84 °C までの効率は 10.8/60=0.18 (18 %)

ここまでの効率は 18 %

## 3.2 炊飯テスト

### 3.2.1 炊飯実験

炊飯テストは、表 2-2 に示した。当日の日射量では、3 時間以上を要した。箱型クッカーでの炊飯は、可能であるが時間がかかる。日射量の多い日でも、2 時間くらいを必要とした。(実験に使用した米の量 : 500 g、水 : 1000 cc) 当然米の量、水の量によりその所要時間は、変化する。

### 3.2.2 箱型クッカーの欠点

箱型クッカーには、下記の欠点がある。

- 1) 沸騰に時間がかかる。集熱効果が悪い。
- 2) 料理中ふたを開けると、温度が下がる。
- 3) 沸騰してくると、蒸気が出て日射をさえぎる。
- 4) 午後からは、使用不可能である。

以上の理由により、料理には向かない。

### 3.2.3 改良箱型クッカー

ブースター鏡 1 枚であった集熱板を、4 枚に増加し、4 方を集熱板で覆うように改良した。この改良型クッカーを、使用してテストを実施した。

36 °C の水 0.5 リットルを 100 °C にするのに朝一番では、100 分を要した。(表 3-2.1 参照) しかしながら、箱内温度が上昇した後、同じテストをしたところ 42 °C の水が 48 分で沸騰した。(表 3.2-2 参照このようにあらかじめ箱を日射で上昇させておくと効果がでる。

表 3.2-1 第 1 回水煮沸テスト

時間		10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	Ave.
日射量	W/m <sup>2</sup>	752	766	830	895	888	895	838
気温	℃		31.3	33.6	33.9	34.2	35	
箱内温度	℃	64	111	125	131	136	140	
鍋内温度	℃	36	58.2	79.2	93.6	98.6	100	

水の量 : 0.5 L

受光面積 : 0.63m<sup>2</sup>

表 3.2-2 第 2 回水煮沸テスト

時間		12:20	12:40	13:00	13:08	Ave.
日射量	W/m <sup>2</sup>	898	912	902	908	905
気温	℃	32.9	34.1	35.8	36.6	
箱内温度	℃	150	135	138	143	
鍋内温度	℃	42.1	74.6	95.1	100	

水の量 : 0.5 L

受光面積 : 0.63m<sup>2</sup>

### 3.2.4 改良箱型クッカーの効率計算

第 2 回テストの結果を利用して計算する。(表 3.2-2 参照)

#### 1) 計算—1

水の温度上昇  $100 - 42.1 = 57.9$

温度上昇に必要な熱量  $57.9 \times 0.5 \text{ L} = 28.95 \text{ kcal}$

受光エネルギー  $905 \text{ W/m}^2 \cdot \text{s} = 0.216 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$

受光面積  $0.635 \text{ m}^2$

1 秒間に受ける熱量  $0.63 \times 0.216 = 0.136 \text{ kcal/s} = 8.16 \text{ kcal/minutes}$

100%効率とすると  $28.95 / 8.18 = 3.55 \text{ minutes}$

実際の時間  $48 \text{ minutes}$

効率  $3.55 / 48 = 7.4 \%$

#### 2) 計算—2

入熱量  $48 \text{ minute} \times 60 = 2880 \text{ s}$

$0.63 \times 0.216 = 0.136$

$2880 \times 0.136 = 391.68 \text{ kcal}$

出熱量  $57.9 \times 0.5 = 28.95 \text{ kcal}$

効率  $28.95 / 391.68 = 0.0739 = 7.4 \%$

このときの効率、7.4%である。1枚ブースターに比べると少々上昇したが、大きくは変化しない。これは追加ブースターに使用した、アルミ箔の反射率が低かった影響と考えられる。

### 3.2.5 改造箱型クッカーの米炊飯テスト

改造箱型クッカーを利用して、米の炊飯テストをした結果を表3.2-3に示す。

表 3.2-3 米の炊飯テスト

時間		10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	12:20	12:40	Ave.
				0	0	0			0	
日射量	W/m <sup>2</sup>	681	711	766	769	811	827	844	841	781
気温	℃		36	36	37	37	38	39	39	
箱内温度	℃		90	109	110	120	123	125	125	
鍋内温度	℃	38.3	48.6	58.7	67.5	79	86	92.7	97.2	

条件：米 300 g、水 900cc

方向：北東

受光面積：0.63m<sup>2</sup>

平均の日射量が、少ないこともあるが120分を要した。

### 3.2.6 更なる改造

改造箱型クッカーに使用したアルミ箔を、反射率のよりよいアルミ箔に交換して再度テストをする。

## 4. パラボリッククッカー

### 4.1 パラボリッククッカーの水煮沸テスト

日本から持参した、パラボリッククッカーをくみため、テストした結果を表4.1-1に示す。

表 4.1-1 パラボリッククッカーによる水の煮沸テスト

時間		11:00	11:20	11:40	12:00	Ave.
日射量	W/m <sup>2</sup>	830	895	888		874
気温	℃	33.6	33.9	34.2		
鍋内温度	℃	37	90.1	96.8		
		スタート		エンド		

テスト条件

1. 水の量 0.5 L
2. パラボラの受光面積 0.47m<sup>2</sup> (直径 0.8 m)

温度が上昇してくると、風の影響を受けやすく温度上昇が鈍くなる。90℃まで53℃の上昇に20分、90℃から96℃まで6℃の上昇に20分を要している。その後風により温度降下を始

めた。

#### 4.2 パラボリッククッカーの効率計算

##### 1) 計算例1 (96℃までの熱効率計算)

入熱量時間	$40 \text{ minute} \times 60 = 2400 \text{ s}$
入熱量/m <sup>2</sup>	$874 \text{ W} / 4.186 = 0.208 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$
受熱面積×熱量	$0.47 \times 0.208 = 0.0977 \text{ kcal} \cdot \text{s}$
入熱量	$0.0977 \times 2400 = 234.48 \text{ kcal}$

温度上昇	$96.8 - 37 = 59.8$
出熱量	$59.8 \times 0.5 = 29.9 \text{ kcal}$
効率	$29.9 / 234.5 = 0.1275 = 12.75 \%$

##### 2) 計算例2 (90℃までの効率)

入熱量時間	$20 \text{ minute} \times 60 = 1200 \text{ s}$
入熱量/m <sup>2</sup>	$862 \text{ W} / 4.186 = 0.206 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$
受熱面積×熱量	$0.47 \times 0.206 = 0.0968 \text{ kcal} \cdot \text{s}$
入熱量	$0.0968 \times 1200 = 116.2 \text{ kcal}$

温度上昇	$90.1 - 37 = 53.1$
出熱量	$53.1 \times 0.5 = 26.55 \text{ kcal}$
効率	$26.55 / 116.2 = 0.228 = 22.8 \%$

上記計算例から分かるように、90℃までの熱効率は22.8%、96℃までは12.75%と箱型に比べると高い効率を示す。パラボリッククッカーは、風の影響を受けやすいので、風の影響をさける場所にセットする。

#### 4.3 パラボリッククッカーの炊飯テスト

表 4.3-1 パラボリッククッカーによる炊飯テスト

時間		12:20	12:40	13:00		Ave.
日射量	W/m <sup>2</sup>	898	912	902		904
気温	℃	32.9	34.1	35.8		
鍋内温度	℃	37.2	78.8	91.1		

テスト条件

1. 米の量 300 g、水の量 0.6 L
2. パラボラの受光面積 0.47m<sup>2</sup> (直径 0.8 m)

当該日は、風が強く90℃以上の昇温を中止した。しかしながら、40分で米は炊飯できた。

#### 4. 3. 1 パラボリッククッカーのモニター使用

本パラボリッククッカーは、家庭の主婦が簡単に持ち運びでき、かつ簡単に仰角と方位角が調整できるように、作成されたものである。その性能と使いやすさから、女性研究者に人気で、モニター希望者が多く出た。順次モニター使用してもらい、使用した結果の意見を聴取し、更なる改良をするように指導する。

### 5. 技術者への教育指導・訓練

上述したように下記事項を技術移転した。

- 1) クッカーのデータの採取方法
- 2) データの分析方法
  - ・ 熱移動計算
  - ・ 熱伝導率
  - ・ 太陽熱計算方法
  - ・ クッカーの熱効率計算方法
- 3) 箱型クッカーの欠点
- 4) 箱型クッカーの改造について
- 5) パラボリッククッカーの組み立て、テスト方法

#### 5. 1 クッカーのまとめ

箱型クッカーは、箱の4面を覆うようにブースター鏡をセットすると効率は上昇するがパラボリッククッカーには劣る。結果クッカーは、パラボリッククッカーがより効率的である。箱型クッカーの改造テスト後は、パラボリッククッカーの製造を推奨する。

### 6. ドライヤーテスト

太陽熱利用ユニットは、独自にドライヤーのテストを実施した。太陽熱利用ユニットは農産物（トマト、オクラ、ペパー）の乾燥実験をした。その結果を表6-1に示す。

表 6-1 野菜乾燥データのまとめ

		初日	2日目	3日目	合計時間	水分蒸発量
測定時間		13:30-14:50	10:00-15:00	10:00-12:20		
平均日射量	W/m <sup>2</sup>	813	918.5	875		
トマト重量	kg	3	1.2		25 h 30 m	1.8 L
オクラ重量	kg	2		1.35	46 h 50 m	0.65 L
ペパー重量	kg	2		1.42	46 h 50 m	0.58 L

表 6-1 は、測定データをまとめたものである。1日あたりの測定データが少なく、かつ野菜の重量をテスト開始時と終了時の2回だけ量っている。データとしては、不完全であるが、JICA貸与の計測器を、使用して計測を開始したことを評価する。

## 6. 1 ドライヤーテスト方法を指示

次回までに実施しておくドライヤーの、テスト方法、データ項目、などを指示した。

## ヌスカエネルギー研究開発センター(NCERD)での指導

NCERDでのプロジェクトは当初計画に無かった。NCERDの要望により第3回スタディー・チームが訪問調査、指導した結果を記す。

### 1. 太陽電池ユニット

#### 1.1 仰角と発電量

NCERD 太陽電池ユニットは構内にコンピュータ用、街路灯用、バッテリーチャージ用、比較実験用などのパネルを、研究所屋上に設置している。その仰角は、8、15、16、18、22度と5種類の角度で南むきに設置している。調査目的を持って角度を変えて設置しているわけではない。

仰角が、発電量に与える影響を調査しようとしたが、現在(6月)雨季であり、天候が不順でデータ採取が不十分であった。雲の動きがあり一定の日射量を得ることが困難であった。日射計がないので、日射量が測定できず、不完全なデータとなったが、その差は確認できた。

#### 1.2 インバータの効率

イケアクパ (IKEAKPA AWKA) 村の、集会所システムを見学した。概要は下記のとおり。採取したデータをもとにインバータの効率を計算した。その結果インバータ損失が、大きいことがわかった。

容量 :	550 W (24 V)
インバータ :	220 V 50 Hz
負荷 :	集会所のライト、TV
現在の負荷データ ;	220 V、0.3 A
DC 入力 :	24 V、8 A
DC 電力 :	$24 \times 8 = 192 \text{ W}$
出力 :	$VI \cos \theta = 220 \times 0.3 = 66 \text{ W}$ ( $\cos \theta = 1$ とする)
効率 :	$66 / 192 = 0.344$ (34.4 %)

現状の負荷での効率は 34.4 %である。

### 1.3 太陽電池ユニットへの提案、指導

#### (1) 仰角の設定

目的をもった迎角の設定は問題ないが、実用として使用する PV システムに関しては、仰角と日射量の関係を把握し、発電量の多い角度を選択するように指導した。

#### (2) システム効率の測定

PV システムの効率測定を勧めたが、測定器が不足して測定ができない。

#### (3) インバータの効率測定

所内のインバータの効率測定を勧めた。システムに適合した容量のインバータが、導入されているか確認すること。

## 2. 太陽熱利用ユニット

#### (1) 箱型クッカーの水煮沸テスト

31.3 °Cの水 0.5 リットルを 91.5 °Cにするのに、朝一番では 90 分かかった。しかしながら、箱内温度が上昇した後、同じテストをしたところ、39 °Cの水が 70.1 °Cになるのに 40 分を要した。当該地は雨季（6月）に入り、日射量が安定せずテストは困難であるので、実験を途中で中止し、効率の計算方法を指導をした。

第 1 回実験結果を表 2-1 に、第 2 回実験結果を表 2-2 に示す。

表 2-1 第 1 回水煮沸テスト（抜粋）

時間	単位	11:00	11:20	11:40	12:00	12:10	12:20	12:30	平均
日射量	W/m <sup>2</sup>	296	706	384	953	1009	957	1057	766
気温	°C	27	29	27	29	31	30	31	
箱内温度	°C	35	51	53	68	88	94	100	
鍋内温度	°C	31.3	41.4	48.2	66.8	74.2	83.6	91.5	

水の量：0.5 L

受光面積：1.28 m<sup>2</sup>

表 2-2 第 2 回水沸騰テスト

時間		12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	Total	Ave.
日射量	W/m <sup>2</sup>	749	811	802	913	427	3207	740
気温	°C	30	30	30	31	30		
箱内温度	°C	43	80		90	91		
鍋内温度	°C	39	46.7	54.4	62.5	70.1		

水の量：1 L

受光面積：1.28 m<sup>2</sup>

(2) 箱型クッカーの玉子料理テスト

箱型クッカーで玉子料理テストを実施した。雲の多い日が続き完全なデータが取れなかった。平均日射量が低かったためもあり半熟玉子を料理するのに約 2 時間を要した。データを表 2-3 に示す。

表 2-3 玉子料理テスト

時間	単位	10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	12:20	12:40	Ave.
日射量	W/m <sup>2</sup>	371	468.5	407.8	930	343.2	346	376.7	358.9	450.2
気温	℃	28	26	27	27	27	28	28	27	
箱内温度	℃	45	55	63	68	72	66	66	65	
鍋内温度	℃	37	40.6	48.4	54.3	59.7	60.6	60.6	62.8	

水の量：1 L、玉子 10 ケ

受光面積：1.28 m<sup>2</sup>

### 3. 箱型クッカーの効率計算

第 2 回水沸騰テスト（表 2-2）の結果を利用して計算する。

(1) 計算例—1

水の温度上昇  $70.1 - 39 = 31.1$

温度上昇に必要な熱量  $31.1 \times 1 \text{ L} = 31.1 \text{ kcal}$

受光エネルギー  $740 \text{ W/m}^2 \cdot \text{s} = 0.176 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$

受光面積  $1.28 \text{ m}^2$

1 秒間に受ける熱量  $1.28 \times 0.176 = 0.225 \text{ kcal/s} = 13.5 \text{ kcal/minutes}$

100%効率とすると  $31.1 / 13.5 = 2.3 \text{ minutes}$

実際の時間  $40 \text{ minutes}$

効率  $2.3 / 40 = 0.0575 = 5.75 \%$

(2) 計算例—2

入熱量  $40 \text{ minute} \times 60 = 2400 \text{ s}$

$1.28 \times 0.176 = 0.225$

$2400 \times 0.225 = 540 \text{ al}$

出熱量  $31.1 \times 1 \text{ L} = 31.1 \text{ kcal}$

効率  $31.1 / 540 = 0.0575 = 5.75 \%$

以上のように当該箱型クッカーの効率は 5.75 %である。このタイプのクッカーとしては

少々低い効率である。

#### 4. パラボリッククッカーの組み立てとテスト

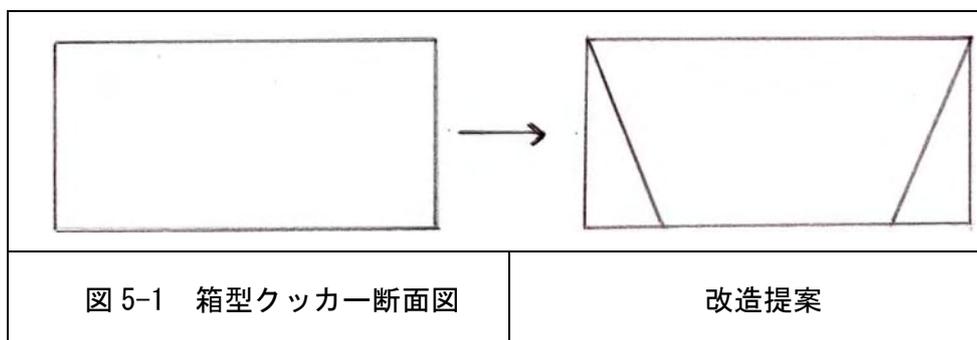
ソコトエネルギー研究センターと同様、日本からのパラボラクッカーを導入、組み立て、テストをした。

本パラボラクッカーは、女性でも簡単に操作でき、持ち運びが容易なため、効率のよいものである。女性研究者の中には購入希望者もあった。

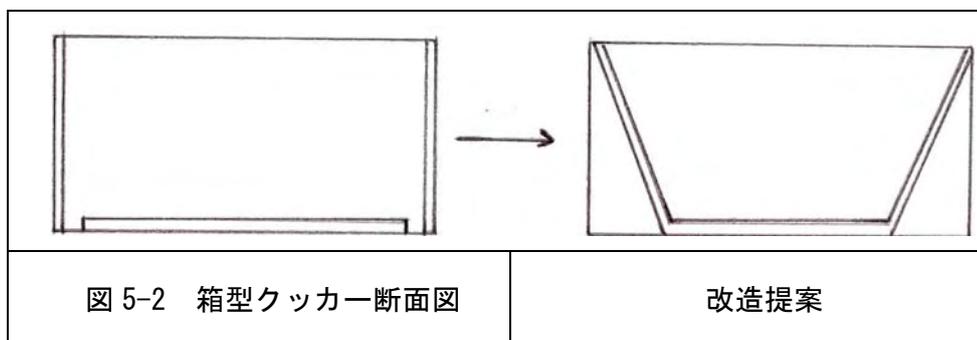
#### 5. 太陽熱利用ユニットへの提案、指導

箱型クッカーの効率を改善するために次の提案をした。

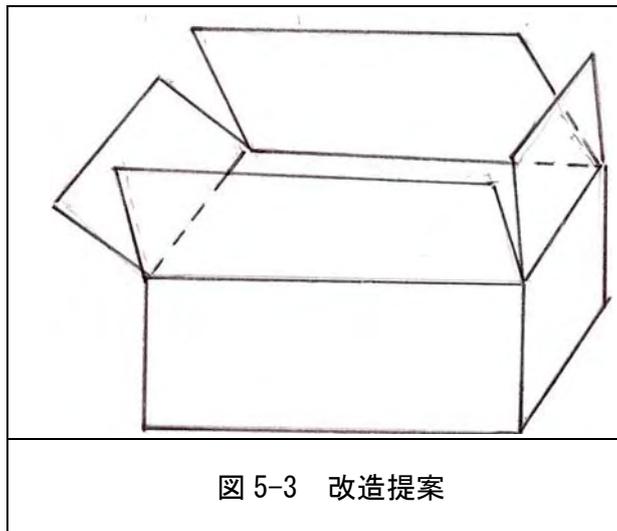
- (1) 箱内部の受光部分で箱の横板が、垂直になっている。これでは、太陽光を受けられない。この横板を傾斜させて太陽光が、受けられるようにする。図 5-1 参照。



- (2) 箱型クッカーの底板（黒色トタン）と鍋が連結し、横板と離されている。このタイプであると、横板の熱が鍋に伝達できない。図 5-2 参照。



(3) 箱型クッカーのブースター鏡を4面にする、かつ折りたたみ式とする。図5-3を参照。



(4) クッカーは軽く、効率がよく、持ち運びに便利のように設計・製造する。

(5) その他

農村の住民のために、粘土製のかまどの製造方法を、NCERDの研究員が指導するように提案した。