

独立行政法人 国際協力機構

**太陽光発電プロジェクト利用
地方電化の課題と可能性に関する調査
(プロジェクト研究)**

報告書

平成 17 年 7 月

プロアクトインターナショナル株式会社

はじめに

現在、世界中に電気がない生活を送っている人が約 16 億人いると言われている。こういった人々の電化に対する渴望を満たし、一本の蛍光灯によって生活水準の向上を図る「地方電化」は極めて有意義な事業であり、各国政府や援助機関にとって重要なテーマとなっている。最近では太陽光発電(Photovoltaic/PV)技術の進歩が著しく、製品価格が低下し、操作や維持管理も一段と容易になってきており、この PV 技術を利用して途上国における地方電化を加速できるはずであるという意見を多くの有識者が述べている。

JICA も電力供給が困難な地方部におけるエネルギー供給手法として PV は有効な手段であり、貧困削減に貢献できる有益なツールであるとの認識から、PV に関する協力事業に取り組んできた。1980 年代では PV の利用可能性を模索するための技術的検証が中心であったが(第一期) PV 技術の大きな進展が見られた 90 年代後半以降には、途上国での本格的な利用に不可欠な持続可能性の観点から、維持管理体制やビジネスモデル等の組織制度的検証を中心として協力事業を実施し(第二期)そして、現在では途上国における利用拡大を図るための、自立的普及の促進、さらに貧困削減・社会経済開発に効果的に繋がる PV 地方電化プランの実施が求められており、PV 協力事業の第三期を迎えている。

大きく変化しつつある PV 地方電化をとりまく環境を踏まえつつ、JICA の第二期 PV 協力事業(パイロットプロジェクト含む)についてレビューを行うとともに、他の援助機関による PV 地方電化プロジェクトの研究を通じて、持続的な PV 地方電化プロジェクトの参考例と教訓を整理し、PV の自立的普及及び社会経済開発への効果的貢献のための協力方針を導き出すことを目標として本調査が企画された。

本報告書はこういった目的意識のもとに実施した文献調査やラオスとボツワナにおける現地調査の結果と、調査団メンバーが有する PV 地方電化に関する実務経験を総合し、JICA としての PV 地方電化プロジェクトの進め方について検討した結果をとりまとめたものである。

プロアクトインターナショナル株式会社
大瀧 克彦

目次

第 1 章 太陽光発電地方電化の現状	1
1-1 これまでの途上国での太陽光発電利用	1
1-2 わが国の開発援助実績	1
第 2 章 PV 地方電化プロジェクトの成果と課題	3
2-1 過去の事例におけるグッドプラクティス	3
2-2 PV 地方電化の課題	7
第 3 章 開発モデル検討の前提条件	9
3-1 PV 地方電化の推進体制	9
3-2 PV 地方電化の実施環境	9
3-3 PV 地方電化の技術とコスト	10
3-4 PV 電化のビジネスとしての成立可能性	11
第 4 章 自立的普及可能なビジネスモデル	13
4-1 Solar Home System	13
4-2 Battery Charging Station	21
第 5 章 コミュニティ開発・社会経済開発効果	27
5-1 電化後の社会経済開発効果	27
5-2 社会経済開発・貧困削減効果を高めるための諸条件	29
5-3 マイクロファイナンス制度の整備	31
第 6 章 PV 地方電化のための援助アプローチ	33
6-1 PV 地方電化プロジェクト成果の活用	33
6-2 開発調査および技術協力プロジェクトの活用	33
6-3 社会開発分野との横断的プロジェクトの実施	36
6-4 技術協力と無償資金協力の連携	37
6-5 JBIC との連携	41
6-6 南南協力	42
6-7 認知度向上のためのプログラム	44
6-8 人材育成	45
6-9 国内研修の改善	49
6-10 国際機関との連携	50
第 7 章 PV 技術の動向と可能性	51
7-1 途上国における PV 技術の課題	51
7-2 最新の PV 利用技術体系	54
7-3 技術フロンティア	59
第 8 章 PV 利用の環境問題と CDM の活用可能性	63
8-1 使用済みバッテリーの処理	63
8-2 CDM スキームの活用可能性	64
第 9 章 提言	75
9-1 ビジネスモデルの選択	75
9-2 Battery Charging Station の再評価	76
9-3 ラオスの事例の活用	77
9-4 横断的プロジェクト形成	77
9-5 プログラムアプローチ	78
9-6 国際機関との連携	79
9-7 NGO、ボランティアとの連携	79
9-8 アジア地域における南南協力	80
9-9 アフリカ地域における PV 地方電化キャラバン事業	80

第1章 太陽光発電地方電化の現状

1-1 これまでの途上国での太陽光発電利用

開発途上国における地方電化の手法としては、大別すると既存の送配電網（グリッド）の延長による電化、ディーゼル発電等小規模発電設備と小規模な配電網によるミニグリッド電化、太陽光発電による Solar Home System(SHS)等の戸別電化の3方式がある。最もオーソドックスな方式であるグリッド延長による電化については当該国で電力供給を行っている電気事業者が、長期的な計画に基づき資金を調達して事業を行うことが一般的である。この場合、電気事業者としては電力需要の多い都市部や地方中心地から先にグリッド延長を行うため、地方部の末端に位置する村落についてグリッド延長が実現するまでには非常に長い期間を要する。このため、こういった村落の住民は電化によるメリットを享受することができず、都市部との格差は拡大していく。

これに対して、オフグリッド電化であるミニグリッド電化や戸別電化については、経済性のハンディキャップはあるものの小規模な投資で実施可能であり、設備の維持管理も容易であるため、適切な支援策が講じられれば早期に実施することが可能であり、グリッド電化では実現困難であった地方末端部の未電化村落に暮らす住民の BHN を満足させ、生活改善に大いに貢献できる。このオフグリッド電化についてはその実施主体、実施方法がさまざまであり、実際の事業実施については各国政府の政策が重要な役割を果たしている。

オフグリッド電化の中でも太陽光発電（Photovoltaics/PV）を利用するものは非常に小規模な電化手法であり、電灯など必要最低限の電力需要にしか対応できないものではあるが、これを未電化村落住民の負担能力の範囲内で実現できれば、これら住民の生活は確実に改善される。この方法による電化（=PV 地方電化）は、これまでの太陽光発電に関する技術開発や市場拡大の結果、途上国における未電化地域のかなりの部分で実現可能と考えられるようになりつつある。このため、未電化地域を多くかかえる途上国では PV 地方電化の推進を重要な政策課題と認識し、援助機関と連携してさまざまな推進策を検討し、実施しつつある。最近では 2002 年の持続可能な開発に関する世界首脳会議（ヨハネスブルグ・サミット）や 2004 年にボンで開催された再生可能エネルギー国際会議などの結果を踏まえ、貧困削減、持続的開発、さらに地球温暖化対策にもつながる事業として PV 地方電化は改めてクローズアップされており、援助機関としても重要なテーマのひとつと位置づけている。しかし、遠隔地にあり、住民の経済的負担能力が低い未電化地域で PV システムを使った電化事業を行うことは多くの困難を伴うため、潜在的需要に比べて実際の導入例はごくわずかにとどまっており、その実施が順調に進んでいるとは言いがたい。

1-2 わが国の開発援助実績

わが国では、途上国の電化率向上のために PV を利用するという試みは 1980 年代半ばに無償資金協力によって開始された。しかし、その当時は集中型の太陽光発電所（ミニグリッド発電所）を建設するという発想に基づく実験的プロジェクトであり、途上国の事情を考慮して本格的普及を目標としたプロジェクトとはならなかった。その後の空白期間を経て、PV 地方電化の基本的

手法である Solar Home System (SHS)を用いた第 1 号プロジェクトとして実施されたのが、キリバスにおける JICA 開発調査「太陽光発電地方電化計画」(1992~1994)である。その後、JICA では SHS や Battery Charging Station(BCS)を用いた 6 件の PV 地方電化パイロットプロジェクトを実施したほか、地方電化に関して太陽光発電の可能性を含めて調査を行った事例は多い。

本調査で分析の対象とした太陽光発電利用の地方電化を目的とした JICA の開発調査は以下の 10 件であり、このうちパイロットプロジェクトを実施したものが 9 件であった。さらに、その中で SHS 主体のパイロットプロジェクトを実施したのが * をつけた 7 件である。

インドネシア 太陽光発電ハイブリッド・システム地方電化計画
キリバス 太陽光発電地方電化計画 *
シリア 太陽光発電利用民生向上技術協力計画 * (ミニグリッドも実施)
モロッコ ハウズ地方分散電化計画
ジンバブエ 太陽光発電地方電化促進計画 *
ラオス 再生可能エネルギー利用地方電化計画 * (BCS も実施)
モンゴル 再生可能エネルギー利用地方電力供給計画
セネガル 太陽光利用地方電化計画 *
ボリビア 再生可能エネルギー利用地方電化計画 *
ボツワナ 太陽光発電利用地方電化計画 * (BCS も実施)

一方、無償資金協力では、一般無償によって 1990 年代以降、遠隔地の通信設備、給水設備などの電源として用いる PV 設備の供与や医療施設に対する PV 利用冷蔵庫の供与などの実績はあるが、未電化村の電化を目的とした PV 設備の供与事例はない。なお、最近、ノンプロジェクト無償で地方電化用の PV 機材供与が実施された例があり、また草の根・人間の安全保障無償を利用した診療所等への SHS 設置といった事例は増加傾向にある。

このほか、太陽光発電に関する研究協力として NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)がアジア諸国において多数の実証研究を行っている。その中にはモンゴルでの携帯型・分散型 PV システム研究やタイにおける Battery Charging System 研究など、PV 地方電化に活用可能な技術に関連するものも含まれている。

第2章 PV 地方電化プロジェクトの成果と課題

2-1 過去の事例におけるグッドプラクティス

PV 地方電化の推進に関して、これまで実施されてきた多数のプロジェクトを検証し、その中から今後の事業推進に役立つと思われる情報（グッドプラクティス）を抽出することは極めて重要である。本調査においては、JICA がこれまでに実施した PV 地方電化パイロットプロジェクトの中の代表例として、アジア地域ではラオス、アフリカ地域ではボツワナの事例をとりあげ、現地調査を行った。以下の項目はこれら両国でのパイロット事業におけるグッドプラクティスを抜き出したものである。

（1）技術的事項

1）バッテリー利用に関する情報蓄積

ラオスでは JICA パイロット事業を実施した村落において PV 利用がパイロット事業後も定着し、利用者数も増加している。この要因のひとつとして、全ての村落において PV 導入前から自動車用バッテリーの充電による電気機器の利用が広く行われていたため、バッテリーの取扱い（電気機器への接続方法、蒸留水補給による維持管理作業など）には慣れているという下地があったことがあげられる。これら村落ではバッテリーが生活の基本用具として以前から完全に定着していた。このため、便利な充電方式として PV 利用はすぐ理解され、プロジェクト開始と同時に利用希望者が多数出現し、彼らは PV 利用にスムーズに対応できた。言い換えれば PV 利用に必要なノウハウ（情報）特にバッテリーの利用や保守に関する情報、が村落内部で学習され、蓄積されており、PV 利用に対する親和力、適応力が強かったと言える。こういった環境であれば、利用者が直面する PV 利用に伴うさまざまなトラブルに対して、村落全体としての対応力が強い。したがって、PV 電化サービスを提供する事業者（以下「事業者」）は点検や保守に関する業務量を縮小することができる。

これに対してボツワナのパイロット村落ではバッテリー利用の裾野が広がっていない。このため、細かなトラブルであっても村落内部では対応できず、事業者が対応せざるを得なくなり、コスト上昇、料金上昇を招き、利用者を減らすという悪循環が発生してしまった。さらに、ボツワナのシステムはコントローラ、バッテリー、プリペイドカード読取、結線などを全てカバーで覆い、利用者側からは全く操作できないようにしているため（右写真）、PV システムの原理、構造に関する理解の広がりを妨げている。



2) ユーザー負担によるバッテリー交換

ラオスでは Hire purchase 方式でバッテリー交換は利用者の負担で行うという契約としている。この結果、利用者はバッテリーの寿命を延ばすためにその取扱いには慎重になる。また保守作業として重要な蒸留水補充なども適切に行われていた。さらに、経年的なバッテリーの性能低下によって電気利用時間が減少してくることは理解しており、どの時点でバッテリー交換するかは各利用者の判断となるため、バッテリーの性能が低下しても事業者に対するクレームは発生しない。事業者はバッテリー交換業務を行う必要がなくなり業務を簡素化できる。これに対してボツワナでは Fee-for-service 方式でバッテリー交換を事業者の責任しているため、バッテリーの性能低下に伴って利用者からクレームが出されることが予想され、事業者としてはそれを避けるために高性能、長寿命な PV 用バッテリーを使うか、早期のバッテリー交換を行うなどの対応が必要で、その分事業コストは上昇する。

3) 携帯電話の活用

携帯電話は途上国の地方部でも早いスピードで普及しつつあり、今後は未電化地域にあっても携帯電話が利用できる村落は増加していく。ラオスではパイロット村落の電化マネージャーが事業者との連絡手段に携帯電話を使っている例が確認された。これまで電話がなく事業者が村落を訪問して対応せざるを得なかったケースが、携帯電話の利用による情報伝達で対処できるようになり、大幅なコスト削減が可能となる。この点は今後の PV 地方電化を計画する上で大きな利点となる。

4) グリッド電化を想定した事業計画

PV 地方電化の料金徴収は長期間にわたって行われるが、その期間中にグリッド電化が実施されるというケースも想定される。ラオスでは BCS を設置したパイロット村落のひとつが地域開発計画の繰上げでグリッド電化されたが、この BCS 設備を移設可能なように 1kW 単位のモジュール化し、トラックで容易に運搬できるようにしていたため、奥地の村に移設して設備を継続利用することができた。このようにグリッド電化の可能性を無視することなく、ビジネスプランの中にあらかじめ織り込んでおけば十分対応可能であり、事業の持続可能性は高まる。SHS の場合にも太陽電池パネルなど機器の再利用は十分可能であり、分解・組立がしやすいように設計するなどの対応は重要である。

5) プリペイドカードの採用

ボツワナで採用されたプリペイドシステムは利用者が 1 ヶ月分の料金を磁気カード購入という形で村落内商店に支払い、商店はそれをまとめて事業者を支払うという方式であり、未払い防止に有効に機能し、また事業者の集金コスト削減にも効果をあげている。ただし、カード読取り機の故障やこれを使わないように配線を直結する手法が広まるといふリスクはあり、事業者による定期点検は不可欠となる。ラオスでは村落内の電化マネージャーが毎月の集金した金額を事業者が取りにいくまで保管する方式となっていたため、事業者であった中央政府関係者が遠隔地のパイロット村落を頻繁に訪問することが難しく、料金徴収を 1 年以上も放置していたケースも

あった。ただし、現在では、各県単位の ESCO 事業者が事業を行っているため、対象村落とは近距離であり毎月の料金徴収は問題なく行われている。

6) バッテリー再利用

ラオス及びボツワナともに使用済みバッテリーは回収業者が有償で回収し、内部の金属をリサイクル処理に回すシステムが確立しており、放置され環境汚染の原因となるというおそれはない。

(2) 経済的事項

1) PV 機器市場の形成

PV によって電気機器を利用するためには、DC12V 用の蛍光灯器具(蛍光管は汎用品)、DC12V 用のテレビ、ラジオ、また交流機器を利用するための DC-AC インバータなどが必要であり、そういった商品が近くの市場で購入できなければならない。特に、消耗品である蛍光管やバッテリー、バッテリー補充液(蒸留水)などを住民が購入できる市場がなければ持続可能性は確保できない。ラオスではバッテリー利用が普及している地域であれば、こういった商品を購入できる市場(商店)は存在し、住民の手の届く価格水準のものを揃えている。したがって、事業者としてはこういった商品の供給については特別な措置を講じる必要はない。(ただし、太陽電池パネルとコントローラは特殊品であり、地方部での購入は難しい。したがって、事業者としてはこの商品の提供方法については責任を負う。)これに対してボツワナではバッテリー利用があまり盛んではないため、DC12V 用の蛍光灯器具などは非常に特殊な商品となり、その市場はほとんど形成されていない。このため、事業者はパイロット村落内の商店に DC12V 用の蛍光灯器具の在庫を持たせて販売させるなど、こういった部分についても対応せざるを得ず、事業内容は複雑化していく。

2) 料金プランの工夫

ラオス、ボツワナともに SHS の申込み者からはやや高額な頭金(あるいはデポジット)を徴収している。ラオスの場合にはバッテリー交換を利用者の責任としているため、将来、バッテリーを購入する資金を確保できる利用者を選別するという目的から、バッテリー価格相当の頭金を徴収する制度を採用した。ボツワナの場合は支払い遅延対策である。また、両国ともに SHS のサイズを複数オファーし、利用者の負担能力やさまざまな電化ニーズに対応できるようにしたため、利用者の満足度は高まったといえる。

3) 世銀ソフトローンによる投資資金肩代わり

ラオスでは JICA パイロット事業後の本格的な PV 地方電化事業拡大のため各県ごとに民間の ESCO 事業者を育成しつつあるが、彼らの投資可能資金は非常に少ない。このため、PV システム機材については世銀の地方電化ソフトローン(低利長期返済融資)を利用して政府が直接購入し、ESCO 事業者に設置を委託するかたちとして、ESCO 事業者は投資資金を負担しないという手法を用いている。利用者からの月額料金に含まれる設備費用相当分は ESCO 事業者経由で政府に納入される。この方法によって、手持ち資金がわずかな零細国内業者でも PV 地方電化事業への参入が可能となっており、また 10 年間という民間ベースでは困難な投資回収期間の設定が行

われている。

4) 所得創出

ラオスでは PV 導入後、夜間作業が可能となったことで従来から行われてきた機織や食品加工などの生産量が増加し、所得増加につながった例が確認された。また、商店では営業時間が延長され、携帯電話での商品発注なども可能となっている。SHS 所有者が他者のバッテリー充電を行い手数料を稼ぐという例もある。ボツワナでは充電式バリカンによる理髪サービスの例がある。また、養鶏場での照明用に大型の PV システムを導入した利用者も確認された。このように、PV によるわずかな電気であってもそれを利用して収入増を図ろうとする利用者は多数存在する。

5) レボルピングファンド

ラオスではパイロット事業の PV 機材は調査機材として事業者（中央政府）に無償で提供されたが、各利用者からは一定額の料金を徴収している。この料金は事業者が開設した銀行口座に預金されており、既に \$20,000 近い金額となっている。この資金の一部を利用して PV 機材を追加購入し、新しい村への SHS 導入、BCS の移設などが行われた。このように、無償供与した機材をもとに事業者が現金収入を生み出し、それをレボルピングファンドとして活用し、PV 電化事業を継続拡大していることは、今後の援助スキーム検討における参考例として重要である。

(3) 組織的事項

1) 村落内人材の活用

ラオス及びボツワナともに村落内からコアとなる人物（複数）を選び、その人物を通じて PV システムの基本的な維持管理（と料金徴収（ラオス））を行っている。この結果、利用者との意思疎通が良く図られ、料金徴収も順調に行われている。両国ともに未電化村落は交通不便な場所に散在しているため、事業者が村落の人材を電化マネージャー（仮称）として活用することは管理コスト低減のために必要不可欠な手法である。ただし、こういった人材を教育するためのコストは別途必要である。もちろん、電化マネージャーに対するインセンティブとして手数料（ラオス）や給与（ボツワナ）の支払いが行われている。

2) 村落自主ルール

ラオスでは多数の利用者が利用する BCS の利用ルールを住民組織に設定させた。充電の順番や天候不順の場合の対応など細かなルールが必要な場合があるが、事業者がこれを設定すると利用者と事業者の間に一種の緊張感が生まれ、細かな問題でも不満の種になりやすい。住民が自ら設定したルールであれば、こういった問題も容易に解決する場合が多い。

3) サービス技術者育成

ラオスでは有力な PV 機材販売業者が GTZ と連携して、地方部から選抜された人材に PV に関する集中的なトレーニング（技術と経営）を実施し、PV に関するエージェントとして育成している。彼らは PV 設置に関する営業、工事、維持管理など全ての作業を実施できるよう訓練され

る。この結果、この業者は地域エージェントを全国的に配置でき、地方部でも質の高いサービスを提供することが可能であり、独自のビジネスモデルによって利用者を多数獲得している。

2-2 PV地方電化の課題

ラオスの事例では、JICA パイロット事業終了後も対象村落では利用者数が増加し、また料金徴収のトラブルもほとんど発生していない。細かなトラブルはあるものの概ね順調に運営されていると言える。この事例は他の途上国においても応用できる事項を多く持っていると考えられるが、それでも以下の事項はまだ解決されておらず、PV 地方電化事業の課題として、今後さらに検討されなければならない。

一時的資金負担が困難な貧困層が PV を利用できる開発モデルがない

契約時の頭金やバッテリー交換費用は \$ 20~\$50 の範囲にあるが、こういった一時的な費用の支払いができない貧困層に適用可能な開発モデルが存在しない。このため、マイクロファイナンスなどの対応策が大きなテーマとなる。

PV 機器価格の引き下げ努力が不十分

PV 機器、特に太陽電池パネル、の調達価格が低下すれば、PV 地方電化事業は確実に拡大する。このためには大量発注、関税等の減免などさまざまな対策が考えられるが、政府、事業者とも十分な対応をしていない。

事業者の資金負担能力が低い

PV 地方電化事業者を育成中であるが、地元の小規模事業者であるため、投資できる資金は限られている。この点は以前から指摘されていたことである。このため、初期投資資金確保、補助金や低利融資制度の整備などの資金対策は重要なテーマである。

地方部の人材不足

住民の知恵を活用することで、事業費用を節約するという発想は効果的であるが、遠隔地ではこういった知識を持った人材は非常に少ない。このため、事業化の前に啓蒙、人材育成を行うことが近道となる。

コントローラ故障対策

コントローラは電子機器であり、PV 機材の中で故障する確率が高い。遠隔地に設置したコントローラが故障した場合の適切な対応方法は確立されていない。簡単な修理技術の開発やその定着は重要な課題である。

第3章 開発モデル検討の前提条件

3-1 P V地方電化の推進体制

P V地方電化はその収益性が低いため、電気事業の財務健全性を重視する場合には電気事業との一体化を避けようとする傾向が強い。特に、世銀を中心として開発途上国における電力セクター改革が進められた結果、P V地方電化を含むオフグリッド地方電化については、電気事業者ではなく国の責任で実施するというアプローチが一般化してきている。また、P V地方電化の事業内容から考えても、一般の電気事業とは規模、技術等の面で大きく異なり、電気事業とのシナジー効果はほとんど期待できない。このような事情から、ほとんどの開発途上国ではP V地方電化について、電気事業者とは別の民間事業者を実施主体として実施するという方向性が主流になりつつある。

特にP V地方電化については、用いられる技術体系が極めてシンプルなものであり、個人レベルでも短期間で習得でき、P V設備の計画、施工、運営は容易であること、小規模事業者であれば地域に密着した事業が可能であり事業コストも抑制できること、といった考え方から民間事業者による事業化については幅広く支持されている。このように、P V地方電化は小規模な事業者でも取り組むことが可能なビジネスであるが、その難しさとしては、利用者が低所得者で収益性が低く、事業規模を拡大させて損益分岐点を突破するまでには長期間を要するという問題がある。したがって、ユーザーへの普及啓蒙、資金的助成、人材育成など、事業者に対しさまざまな支援措置を長期間にわたって講じることが必要である。ここに援助機関が果たすべき役割が存在する。

3-2 P V地方電化の実施環境

P V地方電化の対象となる未電化村落の住民は、アクセスが困難で長時間を要する奥地の村にひっそりと暮らしている。彼らの現金所得はわずかで電気に関する知識も限られている。P V地方電化はこういった条件の顧客を対象にして行う困難なビジネスであることは事実である。このように潜在的顧客とも言うべき未電化村落住民の姿は一見貧弱なものであるが、一方で彼らは毎月、灯油ランプの燃料代を支出しており、大きな出費に備えて家畜を飼育し、必要な場合はそれを売却して現金を得ている。また、都市で働いている家族からの仕送り収入がある場合も多い。彼らの電気利用に対するニーズは非常に大きく、自動車用バッテリーをグリッド電化されている町まで運んで充電し日常生活に使っているケースや、小型の簡易水力発電機を使って電灯を利用しているケースなどを見ることは多い。このような光景に接すると彼らの電化に対するニーズの大きさに改めて驚かされる。

未電化村落において彼らはたくましく生活しており、電灯やテレビが利用可能になって生活水準が向上するのであれば相当の時間や資金を投入する用意があるといって過言ではない。このように大きな潜在的需要があるP V地方電化であるから、これをビジネスの対象として考えた場合にはアイデア次第でさまざまな可能性を開拓していくことはできるであろう。したがって、未電化村落の現状を固定的、画一的にとらえるのではなく、彼らが受入可能なサービスを提供して満

足度を高めることで彼らの電化に対する意欲を引き出し、さらに事業を拡大していくという発想を持ってビジネスプランを構築していくことが必要である。

3-3 PV 地方電化の技術とコスト

PV 地方電化を計画する場合の設計思想として重要なことは、低コストでしかも運転操作・維持管理が容易なシステムを目標とすることである。維持管理を優先して考えることは、利用者が遠隔地にいて十分な知識を持っていないオフグリッド地方電化においては特に重要なポイントである。高度な機能や信頼性を求めて結果的に維持管理に手間がかかるようになり、コストが上昇したりすることは避けなければならない。また、電気に対する需要を正確に把握して適正規模の開発を心がけることや、標準化によって計画、施工、維持管理が誰でも容易にできるようにすることも重要な考え方である。

PV 地方電化に用いられる機器は非常にシンプルなものである。最も高価な機材は太陽電池パネルであり、現在の国際的な市場価格は 1W あたり\$5~6 となっている。最近まで太陽電池パネルは世界的な生産量の増加によって価格が低下傾向にあったが、再生可能エネルギー利用に関する政策的な導入促進策が多く先進国で実施されるようになった結果、太陽電池パネルの需要が急激に増大して生産量の伸びを上回る状態となり、価格は昨年より上昇に転じている。このため、現在では途上国では太陽電池パネルが入手しにくくなっている。需給緩和のためには原料シリコンと太陽電池パネル双方の生産を拡大する必要があり、これには時間がかかることから、しばらくはこういった傾向が続くものと予想される。

標準的なサイズの 50W SHS 一式の小売価格は\$500~600 となっている国が多い。このうち、太陽電池パネルが約\$300 と半分以上を占めている。もちろん、PV 地方電化事業者の機材調達コストは、大量発注するため小売価格をかなり下回っていると予想される。

表 3-1 PV 機材価格

機器	(単位 US \$)	
	ラオス	ボツワナ
太陽電池パネル(50W)	305	300
バッテリー(PV 用 100Ah)	120	130
バッテリー(自動車用 50Ah)	30	60
コントローラ	40-50 (5-8A)	40-70 (5-10A)
ランプ(蛍光灯)	7-15	20

太陽電池パネルの寿命は 20 年以上である。次に大きなウエイトを占めるのがバッテリーである。バッテリーについては、安価で入手しやすい自動車用バッテリーを使う場合と PV システム用に設計された特殊なバッテリーを用いる場合がある。それぞれの寿命は自動車用バッテリーが 3 年程度、PV 用バッテリーでは 10 年程度は十分使用可能といわれている。このほか、バッテリーの充電と放電を

制御し、バッテリー寿命を長持ちさせる役割を果たす充放電コントローラが必要である。これは簡単な電子回路であり価格も比較的安い。DC12V 用の蛍光灯は自動車用途（キャンプ用など）に開発された製品があるが一般的ではなく、PV 地方電化では PV 用に生産されているものを使うことが多い。

3-4 PV 電化のビジネスとしての成立可能性

オフグリッド地方電化事業を開発していく過程では、ビジネスの持続可能性（sustainability）と自立的普及可能性(replicability)を分けて検証していく必要がある。言い換えれば、持続可能なビジネスでも普及困難というケースは多いのである。持続可能とするだけであれば付帯業務費用を無視したり、対象村落に条件をつけたりすることもできる。しかし、これでは同じビジネスモデルが他の村落に拡大していくことはできない。通常、パイロット事業では手厚い対応が行われる結果、持続可能性を達成することは困難ではない。しかし、そのような対応は長続きしないため、ビジネスは普及しないで廃止されてしまうという例は多い。このような事態に陥らぬよう、パイロット事業段階における十分なモニタリングによるデータ分析や、パイロット事業をベースにして、実際のビジネスの条件を想定したビジネスモデルの構築が求められる。

PV 地方電化をビジネスとして捉えた場合には、事業開始時に一般の事業形成と同様に立ち上げ費用（事務所・備品費用、従業員の雇用・教育費用、広告費用、調査費用等）に対する投資が必要となる。その後、PV 地方電化事業を展開していく過程では、利用者の負担能力が著しく低いということから月間 \$ 1 ~ 5 程度の料金負担が限度であり、こういった低い料金での事業運営に適したビジネスモデルを構築しなければならない。そのためには、PV システムに対する初期投資費用の圧縮、事業経費の抑制、利用者数の拡大による収入増などの方向性はいずれも可能な限り推進されなければならない。また、事業者の責任として PV 設備が長期間にわたって運転できるようにしなければならない。このためには、事業者自らが維持管理を行う場合もあり、また利用者を教育して彼らに維持管理を行わせるという方法もありうる。さらに、機器の故障、劣化、盗難、グリッド電化による使用停止、などさまざまな状況を想定して、それぞれについて事業者側がどう対応するか（対応措置の内容、料金など）を明確にしておかなければならない。

このように、これまでビジネスの対象とされなかった遠隔地の住民を対象にして、純粋なビジネスを成立させるという複雑で困難なプロジェクトであり、参考となる前例もなく全ての問題をひとつひとつ解決していくという地道な努力が必要となる。このようなビジネスの特性から、柔軟性があり固定費も少ない小規模事業者に適しているという面がある一方で、事業の黒字化までに相当の長期間が必要となるため、事業の維持、継続のための政府やドナーによる補助金や低利金融融資などの支援策、あるいは業務の一部肩代わりが必要となる可能性は高い。ただし、これまで実施された多くの PV 地方電化プロジェクトの経験を参考にすれば、PV 地方電化ビジネスが陥りやすい問題点は出尽くしていると考えられる。したがって、対象地域の事情、政府の政策などを前提にそういった問題点への対処方法について十分な検討を行っておけば、小規模事業者であっても事業の継続拡大は十分可能であると考えられる。

第4章 自立的普及可能なビジネスモデル

4-1 Solar Home System

(1) 基本計画

PVによる電化方式として最も一般的なものがSolar Home System(SHS)である。これまで世界で約2百万台が設置されている。通常、太陽電池パネルの容量でSHSの大きさを示し、20Wから200Wぐらいのものがあるが50Wクラスが標準的に使われている。この方式では太陽電池パネル、充放電コントローラ(以下「コントローラ」)、バッテリーが基本コンポーネントであり、これらを各利用者の住宅に設置する。利用者はバッテリーの電気を使って電気器具を使用し、消費した電気エネルギーは翌日の日中に自動的に充電され補充される、というのが基本的なメカニズムである。

50W SHSでは使える電力量はそれほど多くなく、標準的には蛍光灯が4-5時間、白黒TVであれば2-3時間である。この利用時間を守っていれば、雨の日が2~3日続いても電気が使える。カラーTVなどは50W SHSでは負荷が大きすぎ利用困難である。このようにSHSでは使える電力量に制約があるが、途上国の地方住民の電気需要は小さく、ほとんどの利用者は高い満足度を示す。

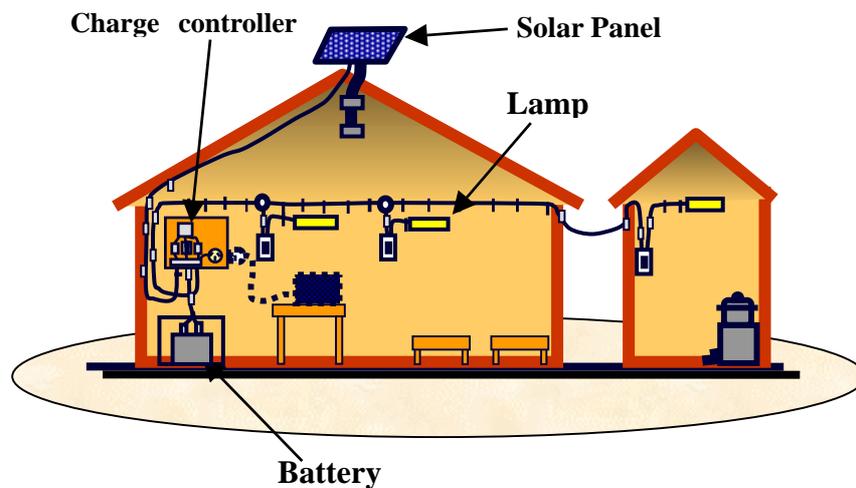


図 4-1 Solar Home System

表 4-1 標準的な SHS 用機材と価格帯

太陽電池パネル	50W	\$300
チャージコントローラ	5-8A	\$50
バッテリー	太陽電池用 100Ah	\$100
蛍光灯	7W × 3灯	\$60
その他 フレームなど		\$100

このシステムではコントローラの電子回路について故障が発生する可能性があるが、その他の太陽電池パネルとバッテリーについては極端な使用法、落雷などの自然災害などを除けば急に動作停止するという可能性は非常に低く、利用者にとっては扱いやすいシステムとなっている。かつては 50W のシステムが 1 セット \$1,000 以上していたが、現在では SHS の設備コストの大半を占める太陽電池パネルの価格が以前に比べて大幅に低下したため、標準的な 50W クラスの SHS の市場価格は屋内配線及び照明器具等を含めて 1 セットが \$ 500 前後になっている。このため、未電化村落でも高所得者層は現金払いあるいは短期の分割払いによって SHS を購入できる階層が増えている。SHS を利用した地方電化事業の課題は、こういった高所得者層の下に位置する多くの潜在的需要にどのようにして SHS を普及させていくかということである。

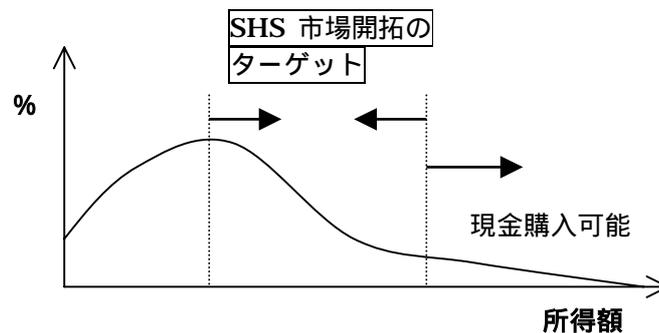


図 4-2 SHS の潜在的な需要セグメント

(2) ビジネスモデル

SHS の利用者を拡大していくためのビジネスモデルには、大別すると売切りモデル (Sales model) とサービスモデル (Service model) がある。さらにそれぞれいくつかの異なる方式がある。(図 4-3 参照) Sales model では SHS の所有権は支払いが完了した時点で利用者に移転され、その後は機器の維持管理は原則的に利用者の責任となる。これに対して、Service model では SHS は事業者が所有し、利用者はその利用料金を支払い続けるという方式である。

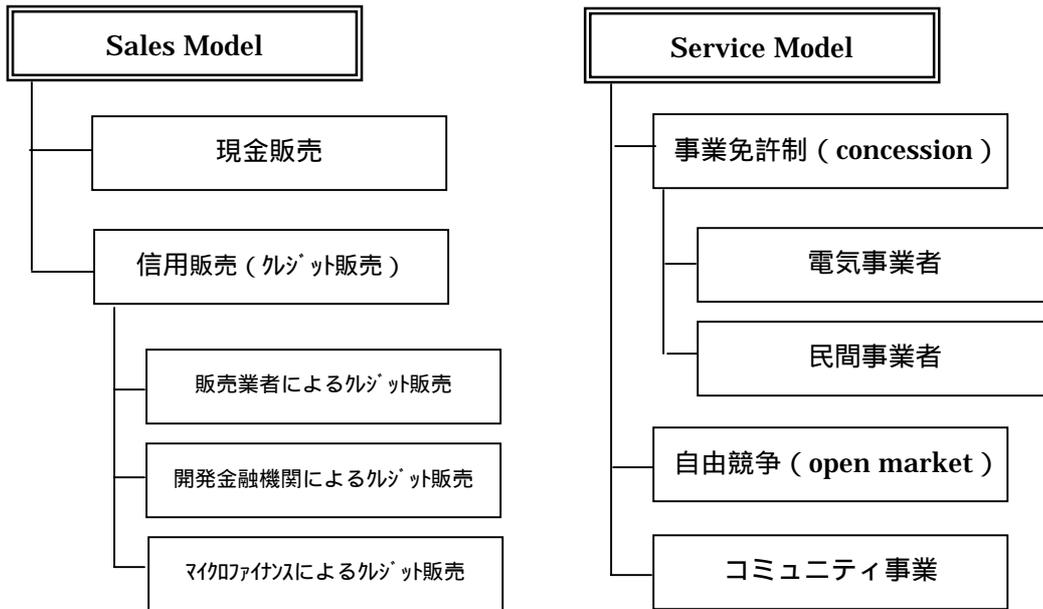


図 4-3 SHS による地方電化のビジネス形態¹

表 4-2 各ビジネスモデルの課題・問題点

モデル	課題・問題点	実施国
セールスモデル		
A. 現金販売	<ul style="list-style-type: none"> 個人及び家族の所得により需要が限定される。 小さな隙間市場への販売は広範な地方へのサービスの展開につながらない。 マーケティング費用が高く人手を要する。 	中国、インド ウガンダ ベトナム ジンバブエ
B. 販売業者によるクレジット販売	<ul style="list-style-type: none"> クレジット供与及び回収費用が高くリスクも多い。 クレジット供与を拡大するためには追加的なビジネス費用が必要となる。消費者はクレジットを受けるだけの信用がなければならない。 マーケティング費用が高く人手を要する。 NGO はクレジット供与に関する適切なビジネス知識を有していない。 	バングラデシュ インド ラオス インドネシア マラウイ スリランカ
C. 開発金融機関によるクレジット販売	<ul style="list-style-type: none"> 開発金融機関はプロジェクト実施後も貸付を行う意思と能力を有する必要がある。 免許を受けた金融に対する継続的な補助が必要になる可能性がある。 開発金融機関はマーケティング活動を支援できる。 	マラウイ ウガンダ ベトナム ジンバブエ

¹ The GEF Solar PV Portfolio: Emerging Experience and Lessons, Eric Martinot et al. August 2000

D. マイクロファイナンスによるクレジット販売	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクロファイナンス組織は信用が必要である。 ・クレジット供与ができるマイクロファイナンス組織が存在しなければならない。 ・既存のマイクロファイナンス組織はクレジット供与を商業的に迅速に行う意識が欠けている可能性がある。 ・マイクロファイナンス組織はマーケティング活動を支援できる。 	スリランカ ウガンダ
E. 事業免許制（電気事業者）	<ul style="list-style-type: none"> ・電力会社は地方に関心を持ち、地方に於ける経験を有する必要がある。 ・政府はどのように事業免許を与え電気料金を設定すべきか？ ・政府は事業免許に際してサービスの質に関してどのように規定し確認すべきであるか？ 	アルゼンチン ガーナ
F. 事業免許制（民間事業者）	<ul style="list-style-type: none"> ・事業免許は信頼でき事業としての魅力がなければならない。 ・政府はどのように事業免許を与え電気料金を設定すべきか？ ・政府は事業免許に際してサービスの質に関してどのように規定し確認すべきであるか？ ・事業免許の更新期間及び条件は何か？ ・政府は事業者選定にあたり、どのように競争を促し、能力ある事業者の参加を促すべきか？ 	アルゼンチン ベニン ケープベルデ ギアナ ペルー トーゴ
G. 自由競争（open market）	<ul style="list-style-type: none"> ・マーケティングに費用と人手を要する可能性がある。 ・初期投資に対して長期のビジネスファイナンスが必要である。 ・長期的に反復して必要となるサービス費用が継続的な収益確保を妨げたり、事業拡大に対して資金的な制約となる可能性がある。 	ベニン ドミニカ インド ペルー トーゴ
H. コミュニティ事業	<ul style="list-style-type: none"> ・供給者はコミュニティと強い繋がりを持つ必要があり、それが他の障害の克服につながる可能性がある。 ・供給者は技術的能力を開発する必要があるかもしれない。 ・政府に能力がない場合やコミュニティに対して免許を出すことに関心がない場合には、コミュニティが主導する必要があるかもしれない。 	インド

Sales model

低所得者向けの SHS の Sales model としては Hire-purchase 契約と呼ばれる長期リース方式が典型的なものである。これは料金を長期間にわたって支払い、支払い完了時点で SHS の所有権を利用者に移転するものであり、費用を払う見返りとして機材を最終的に取得したいという自然な感情から利用者には受け入れられやすい。Hire-purchase 方式の契約期間は事業者の資金繰りから最長でも 5 年程度が多いが、ラオスの世銀/GEF 電化プロジェクトでは最長 10 年と長期間に設定されている。契約期間が長期間となれば毎月の支払い料金は安く設定できるため利用者を多く獲得できるが、事業者としては投資資金の回収を短期間で完了したいという意識が働くため、あまり長期間にすることはできない。この Hire-purchase 契約の利点は、SHS の所有権が最終的に利用者に移転することから、利用者の料金支払い意思が強く、また利用者が SHS の使用や維

持管理について高い自己責任意識を持つことである。このため、事業者としては SHS の維持管理について利用者に分担させてコストを削減し、料金水準を低くすることができる。もちろん、契約期間中は SHS の維持管理のうち利用者では実施困難なものは事業者が対応する必要がある。

利用者が設備を取得した後は基本的に事業者は利用者対応を行わない。このため、契約期間終了後の維持管理を利用者自身が確実に実施できる能力を契約期間中に習得させなければならない。したがって、この Hire-purchase 契約では利用者に対する維持管理のための情報提供と教育は不可欠である。また、村落単位に SHS 利用に関する豊富な知識を持った中核的人材の育成も必要であろう。言い換えれば、このような村落内部での SHS に関する情報蓄積をいかに作っていくかが Hire-purchase 方式をうまく運営するためのカギとなる。村落での情報蓄積が進めば、事業者は自らの維持管理作業負担を軽減でき、事業としての持続可能性を高めることができる。

Hire-purchase モデルでは契約期間中は太陽電池パネル、フレーム・支柱、コントローラは事業者が所有するが、バッテリーについては事業者が所有し管理するか、当初から利用者の所有物として利用者の責任で管理させるかはプロジェクトデザインにより異なる。利用者がバッテリーを交換する場合、自動車用バッテリーよりも高性能で長寿命の PV 用バッテリー（ディープサイクルバッテリー）を利用することが好ましいが、電化対象村落周辺での調達可能性及び交換費用を考慮すると（自動車用バッテリーは 50Ah クラスで約\$30 であるのに対して PV 用バッテリーは\$100 程度となり PV 専門業者以外では入手困難）、自動車用バッテリーを利用する方がバッテリー交換は円滑に実施できる。

Service model

Service model は既存の電気事業に近い仕組みであり、事業者が太陽電池パネルからバッテリーに至るまでの SHS 設備を所有し、利用者は SHS から得られる電気出力を利用することに対する料金を払うという手法である。このような方式を Fee-for-service 契約という。Service model では、事業者は利用者に対して電気出力を保証する責任を有するため、利用者に SHS の操作・保守を行わせることなく、SHS の動作不良、設備劣化は全て事業者が対応するという方式が基本となる。このため、利用者を教育し、簡単な故障が生じた場合に現地で利用者に対応させるということができない。細かなトラブルについても業者が対応せざるを得ず、遠隔地のユーザーについてはサービスコストの上昇を招く要因となる。サービスコストを抑制するためには利用者の近くにサービス担当者を配置することが考えられるが、こういったサービス担当者の養成費用、配置費用は別途必要となり、多数の利用者を確保しなければ採算はとれない。このような理由から、PV 地方電化の場合には Sales model よりも Service model の方が料金は高くなる可能性が高く、未電化地域の低所得者向けのビジネスモデルとしての自立的な普及には困難な面が多い。

Service model の利点は、電気出力を保証するために性能を重視して PV 用バッテリーや高品質なコントローラが採用され、維持管理作業も事業者によって適切に行われることが期待できることである。また、将来バッテリー交換が必要となっても事業者の負担によって行われるため、バッテリー購入資金が捻出できない利用者でも継続利用できるという考え方もできる。しかし、その反

面、住民が満足するレベルのサービス（故障対応、バッテリー機能維持など）を確実にこなすことが必要であり、そうでないとトラブルの原因になりやすく、電気が十分使えない場合には利用者の不満を生じ、料金支払いが滞ることが多く、事業経営に支障を生じる可能性が高い。むしろ、Service model は良好な電気出力を確保することを求め、そのためにはある程度の料金は負担するといったニーズを持った都市型の利用者に適したものであると言える。

Fee-for-service 契約の成功例として有名なものはドミニカの Soluz 社である。しかし、料金は\$10~\$20/月とかなり高い。また、バッテリーの交換費用は利用者負担とするという変則的な契約として、Sales model の利点も取り込んだ形となっている。

アルゼンチンの PV 地方電化プロジェクトでは\$600 の 50W SHS を Fee-for-service とする場合の料金は\$17/月と試算されており、10年間利用すれば総支出額は\$2040 となる。これに対して3年ローン金利20%の条件で購入しバッテリー交換を自分で行う場合の10年間の総支出額は\$1200 である。このように Fee-for-service の場合には負担額が大きいが、ユーザーのメリットとしては、故障時のリスク負担がない、頭金が不要、サービスが保証されている、グリッド化された場合に返却できる、などがあげられる。

Service model は通常の電気事業と同様な仕組みであるため、事業者として既存の電力会社を選んで事業化する場合がある。しかしながら、電力会社は戸別電化及び SHS に関する経験が乏しいこと、人件費及び管理費等が高いこと、村落住民組織の活用に不慣れなこと、電力会社の本来業務と比較してあまりにも事業規模が小さいこと等の理由から、途中で事業を放棄するリスクが高い。

（3）設備計画

SHS のサイズや構成機器は利用者が求める電気の利用方法(利用機器、利用時間)や設置地点の日照条件などによって変化する。最も小さなものは照明利用だけを考えたシステムであり、20W クラスの太陽電池パネルでも実用可能である。標準的なものは照明のほか TV などでも利用できる 50W クラスである。100W 以上の大型 SHS ではインバータを使って交流用の電気機器を利用するケースが多い。利用者の負担能力はさまざまであるため、事業者としては複数のサイズの SHS を品揃えして、利用者を選択させるのが一般的である。

バッテリーは時間とともに徐々に劣化するため、SHS を長期間利用するためには適切なタイミングでのバッテリー交換が重要なポイントである。バッテリーの性能維持に対して利用者が注意を払うようにするためにはバッテリーの交換は利用者の責任とした方がよい。ただし、利用者にバッテリー交換を任せただけの場合にはバッテリー交換の時期は常に遅れがちになり、バッテリー容量が低下した状態で利用し続けるため電気利用の質が低下するという問題もある。

Sales model ではバッテリー交換は利用者の責任となるが、Service model では基本的に事業者の責任となるため、長寿命である PV 用バッテリーを用いることが多い。なお、Service model であってもバッテリー交換だけは利用者の責任として、利用料金を低く抑えることも可能である。パッ

テリ購入が容易な地域では利用者に受け入れられやすい方法である。

南ア、ボツワナでは政府系機関、軍関係、通信会社などで PV 機器を大量に利用しており、そういった用途向けの高品質・高信頼性・高価格の機器（ハイエンド商品）の市場が圧倒的に大きい。そのため、極端に市場規模が小さい地方電化用のシステム（ローエンド商品）について目を向けている業者は少なく、低価格の地方電化用 PV システムへの取り組みは非常に遅れているという皮肉な状態となっている。低所得層に affordable で sustainable とシステムとするためには、ハイエンド既製品の利用ではなく、廉価コンポーネントを独自に組み合わせるなど低コスト化を図る工夫が必要である。

（４）料金設定

Sales model と Service model のいずれを採用するにしても、SHS による PV 地方電化の場合に事業者が発生するコストは、太陽電池パネル・コントローラ等の初期投資、定期点検や故障修理などの維持管理費用、料金徴収関連費用、利用者に対する教育費用、スタッフ育成費用、事務処理費用などで構成され、これらの費用を回収してさらに利益を生み出す必要がある。

SHS の料金設定については、採用するビジネスモデル、事業者と利用者との間の各機器の所有権の分担関係、各経費の見通し、初期投資に対する政府及び援助機関の助成、などの要因を考慮し、最終的には利用者の負担能力をもとに決定する。料金設定のわずかな違いによっても支払い可能な利用者数が変わってくるため、市場調査と試行を行いながら最適な料金水準を決めていかざるを得ない。利用者の料金負担能力は、村落社会調査によって得られる現金所得水準、照明用の灯油などへの支出水準及び支払い意思額調査結果などのデータをもとに評価する。

料金設定において重要な検討事項は補助金の有無である。財務的に健全な持続可能な電化事業という観点から、少なくとも事業開始後に発生する事業者の経費については利用者からの料金収入により賄う必要があるが、政府や援助機関の資金を活用して設備への初期投資についてコストの一部をカバーできれば、料金水準を引き下げることができ、より多くの利用者を獲得できる。

さらに、SHS 利用に関して長期的に利用者が負担しなければならない利用料金以外の費用（バッテリー交換費用や蛍光灯交換費用など）を負担可能であるかをチェックすることも重要である。特に、バッテリー交換が利用者負担となる場合には、そういった費用を負担することが可能な者が利用者となるようにすることが電化事業成功のポイントとなる。負担能力のある利用者の具体的な選定手法としては、契約時にバッテリー価格相当額を一時金（頭金）として徴収するという方法がある。

途上国では経済状態が安定していないため、高いインフレ率や為替レートの大幅な変動といった問題が発生しやすい。PV 地方電化事業は長期間にわたる事業であるため、こういった経済状況の変動の影響を受ける。したがって、料金についても事業者は当初設定した水準を維持できなくなり、契約期間内であっても料金を見直す必要が生じる可能性がある。この点を利用者に説明

し、さらに契約書にも明記しておく必要がある。

UNDP/GEF が実施したガーナ北部 SHS 電化プロジェクトはサービスモデルを採用したが、為替変動に伴い交換用ランプやバッテリー等の輸入価格上昇に対応するための料金引き上げに利用者が反発して政治家を巻き込んで反対運動をしたためサービスの維持が困難な状況に陥っている。

(5) 料金徴収

SHS の料金徴収については、村落から選ばれた徴収代行者が行き、これを事業者が受け取るという方法が一般的である。この方法であれば、利用者と徴収代行者のコミュニケーションが十分取れ、支払いのタイミングや延滞への対応などもスムーズに行える。結果的に事業者のスタッフが直接集金するよりも事業コストは削減できる。料金徴収頻度については対象村落の現金収入パターンを参考に決める必要がある。

ジンバブエでは中部と南部にプロジェクトサイトがあるが、中部は天水農業で綿花を作っており、収入は 4-6 月頃に集中する。従って年払いのユーザーが多いが、南部では南アへの出稼ぎ家族から定常収入のある家庭が多く、月払いのユーザーが多い。

UNDP/GEF のガーナ北部 SHS 電化プロジェクトでは当初は毎月電気料金を徴収していたが、多くの利用者の現金収入が年に 1 回の農作物の収穫であるため、3 ヶ月に 1 回、さらに 6 ヶ月に 1 回と徴収頻度を減らしてきている。

(6) 定期点検と故障修理

SHS の構成機器のうち、定期点検を必要とするのは主にバッテリー液面と配線の状態についてである。バッテリーの液面が低下した場合には蒸留水の補給を行う必要があるが、Sales model ではこれを利用者の責任で行うことが基本であり、その作業が確実に行われるようになるまで利用者を指導しなければならない。また、利用者が配線部分に手を加える場合があり、これが接続不良の原因となったり、誤接続になったりする。このため、配線部分を点検し、問題の箇所は利用者を指導して修正することが必要である。なお、定期点検を行う場合には、バッテリーや蛍光管の状態をチェックして、交換時期のアドバイスをするとよい。

SHS の構成機器のうち、故障が生じる確率が高い機器はコントローラである。コントローラは電子回路となっており、部品の劣化や過負荷などが原因で故障する場合がある。故障の場合には部分的な修理はほとんど不可能であり、コントローラ全体（あるいは回路基板）を交換することが一般的であるため、事業者は常に一定数量の在庫を保有する必要がある。バッテリーについては、通常は徐々に劣化が進むため、定期点検を行っていれば、突然作動しなくなるという故障は生じない。したがって、事業者としては予期し難いコントローラの故障への対応を最重点項目として、故障率を引き下げるために信頼性の高い製品を使い、また故障した場合に迅速かつ低コストの修理作業を行うため方法を整備するといった対策に取り組む必要があるといえる。

ラオスではパイロット事業の対象村落にトレーニングを受けた電化マネージャーを置き、簡単な点検や故障対応を行っている。Sales model であるため、事業者は定期的なメンテナンスサービスは行っておらず、故障が生じた場合には（携帯電話などで）連絡が入り、その後、対応するという方式である。

4 - 2 Battery Charging Station

(1) 基本計画

大容量太陽電池パネルを持つバッテリー充電専用設備で多数のバッテリー充電を集中的に行う Battery Charging Station (BCS) 方式も SHS と同じ原理であり、太陽電池パネルからの電流をコントローラで制御しバッテリーの状態に合わせた適正な充電を行う。利用者は充電されたバッテリーを自宅に持ち帰り、利用する。東南アジアなどでは自動車用バッテリーを用いて家庭でテレビや照明の電源に使う手法が広く普及している。この場合、バッテリー充電は近くのグリッド電化されている町の充電業者や発電機を所有する充電業者の設備を使って行われる。これを太陽電池で行うのが本方法である。著名なものは NEDO がタイで 90 年代半ばに実施したもので、その後タイ僻地の電化サービスに大々的に取り入れられることになった。構造は下図のように簡単なもので、構成機材は太陽電池パネルと架台、コントローラである。

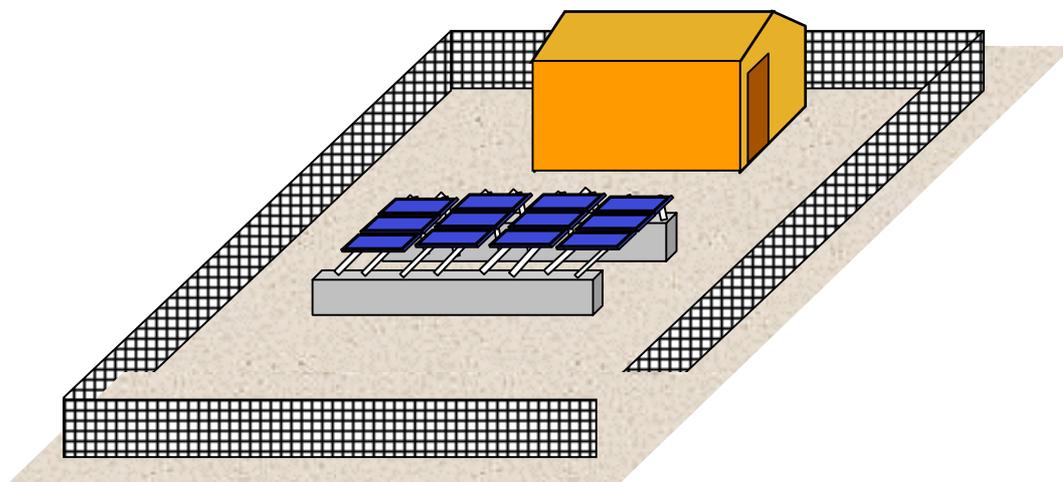


図 4-4 Battery Charging Station

標準的な 50Ah のバッテリーであれば 50W の太陽電池パネルを 3~4 枚（日射条件によって異なる）使い 1 日で充電できる。このように BCS は SHS よりも太陽電池パネルの利用効率が高い（充電に使われている時間が長い）ため利用者一人当たりの投資額は SHS よりも少なく済み、このため利用料金の水準は SHS よりも相対的に低く設定できる。利用者サイドから見てもバッテリーの運搬作業が必要であるため SHS よりも低い料金とならなければ利用する価値はない。このような理由から、BCS は SHS よりも低所得者向けのシステムとして位置づけられる。

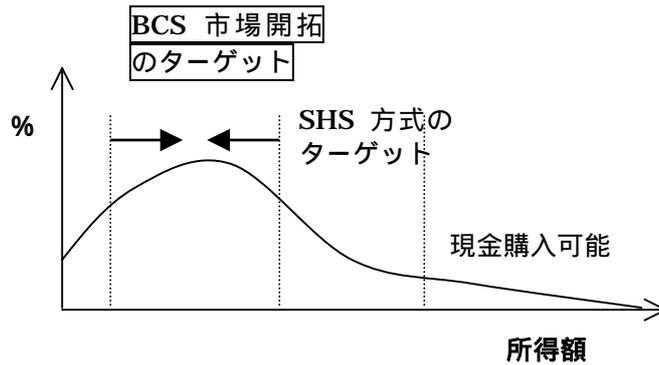


図 4-5 BCS の潜在的な需要セグメント

(2) ビジネスモデル

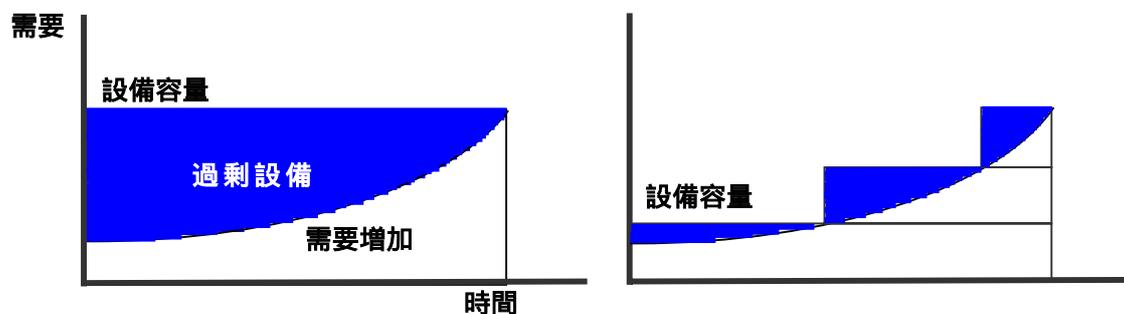
BCS による地方電化事業は事業者が BCS 設備を建設し、その設備を毎日運営して、バッテリー充電を行う利用者から料金を徴収するという非常に単純なものである。この場合、バッテリーは利用者が購入し、自分の責任で維持管理を行うのが基本である。バッテリーを事業者所有として、それを貸し出す方式にすると SHS の Fee-for-service 方式の場合と同様に事業者側にバッテリーの保守、維持管理のコストが発生するため、料金水準は上昇せざるを得ない。ただし、バッテリーの購入資金（\$30~\$50）が捻出できない階層向けの市場開拓のため、この貸し出し方式を検討する余地はあろう。

(3) 設備計画

SHS のように設置した時から料金収入が確保されるのとは異なり、BCS の場合には初期投資に見合った需要がすぐ確保できるという保証はない。ここが SHS による地方電化事業と大きく異なる点である。BCS によるバッテリー充電を事業化する場合、充電需要の予測を誤って過大な設備を建設してしまうと設備稼働率が上がらず、料金収入が不足して事業運営が困難という事態に陥る。このため、バッテリー充電を希望する利用者をどの程度確保できるかを見極めながら BCS の規模や運営方法を決めていく必要がある。設備稼働率を高く維持するためには、BCS をモジュール化しておき、需要増加に応じて設備を増設していくという開発手法が望ましい。また、モジュール化によって設備の組立てや解体が容易となるため、グリッド電化が行われて BCS が不要となった場合などに設備の移設が簡単に行えるというメリットもある。

段階的開発のメリット

地方農村部の所得水準が低いことから PV 利用が普及するスピードは遅い。需要想定が大きすぎるとその後長期間にわたって過剰設備を抱えることとなり、事業収支は大幅な赤字となる。(模式図 1) これに対して需要増加に合わせて順次設備を建設していけば、設備の稼働率を高く維持でき、投資額と料金収入をバランスできる。(模式図 2)



模式図 1 需要増加と設備容量 (過剰)

模式図 2 需要増加と設備容量 (適正)

(4) 料金設定

利用者が支払う充電料金は、利用者が他の方法によるバッテリー充電に払っている料金、SHS の利用料金などとのバランスによってほぼ決まってくる。基本的には、充電一回ごとの料金とするが、基本的な使用頻度を想定してその範囲であれば定額料金とすることも可能であり、料金徴収事務は簡素化される。SHS の場合には定額料金となるため支払い継続の見通しが立たない利用者にとっては利用困難であるが、BCS では資金的余裕がないときは充電しないという対応が可能であるため、利用者としても対応しやすく、低所得者の資金事情にも適合している。

BCS の運営は通常、村落内の組織によって行われ、料金は一度その組織が収納する。BCS を設置した事業者はこの村落組織から設備利用料を受け取るが、その場合には、実際の利用者数をもとに従量料金とするという考え方と、利用者の多少によらず定額料金とするという考え方がある。設備利用料に従量料金とする場合には利用者数の正確な把握が前提となるが、そのための記録に要するコストも必要であり、また、記録を確認する作業も必要であるため、小規模な設備の場合には実施困難な面が多いといえる。定額料金とする場合には、利用者が増加した場合に村落組織の取り分が大きく増加するため、村落の運営者としては設備を維持し、またサービスを向上させて利用者の満足度を高めようとするインセンティブが働く。こういった効果も期待できるため、基本的には定額料金を設定することが望ましいといえる。

(5) 立地地点

利用者のバッテリー運搬距離についても考慮しなければならない。基本的に BCS では一日で充電を完了するように太陽電池パネル容量を設計することが望ましく、利用者としては朝にバッテ

りを運び込んで夕方に引き取るというパターンとなるため、運搬に要する時間はせいぜい1時間程度が限度であろう。こういった点を考慮した立地地点の選定と周辺地域からの利用者数の予測に基づく設備設計が必要である。

(6) 設備利用ルール

BCS は多数の利用者が共用するため、充電の順番など利用ルールを設定することが必要である。充電の順番については、会員制により充電日を割り当てる方式や先着順に充電できる方式などさまざまなパターンがありうる。BCS では満杯の時や天候不良の時など予定どおり充電できない場合に不満が出やすいと言われている。こういった場合の対処方法については、外部の事業者が設定すると、利用者と事業者との間に一種の緊張関係が生まれ、細かな問題でも不満の種になりやすい。むしろ、利用者に自主的なルールを設定してもらうことでこういった問題も解決しやすくなる。ラオスで BCS が順調に運営されているのは住民による利用ルール設定を尊重したことがひとつの要因と考えられる。

(7) 長期保有のリスク

村落の発展に伴って SHS 利用者の増加やグリッド電化の可能性があり、将来、BCS を必要としないという状況も生じる可能性がある。こういったリスクが存在するため、対象村落が長期保有することを前提として BCS 設備を頑丈な構造物とすることは適切ではなく、需要構造が変化した場合には移設して別の村落で活用することができるよう、設備のモジュール化や建屋のプレハブ化といった設計思想を採用することが必要である。こういった理由から、後述する「コミュニティソーラーシステム(仮称)」のように、BCS を単独で計画するのではなく、既存の公共施設の一部を利用して設置し、設備投資を節約するという発想は大いに評価できる。

JICA 開発調査のパイロット設備であった 2kW の BCS を事業者であるラオス政府(工業手工芸省)では自主的に他の未電化村へ移設した(2003年)。以下の写真に示すように 1kW のモジュールとなっているため、輸送が容易である。充電小屋も木造の簡素な構造である。



ラオスでは JICA パイロット村落のうち、BCS だけを設置している 2 つの村とも予想以上に上手に利用されていた。この BCS は村人が所有する自動車用バッテリーを充電するだけというシンプルなビジネスモデルである。村落中心に設置された BCS 設備はきちんと維持管理され故障は発生していない。住宅が密集しているため電池を運搬する距離が短く運搬についての不満は出ていない。バッテリー充電料金や充電のルールは住民が自主的に設定し、事業者には村が定額の BCS 利用料金を支払っている。このように、BCS を住民だけで運営できるという事例が確認できたことは今後の開発アプローチの検討に大いに役立つ。

ボツワナでは JICA パイロット事業の BCS が 1 箇所あり、バッテリーを事業者の所有物として、充電したバッテリーを貸し出す方式を採用している。そのバッテリーは非常に特殊な構造となっており、このためバッテリー充電方法について訓練を受けた専任の管理者が常駐している。この BCS では通常の自動車用バッテリーを充電することはできない。このように、当初から固定された契約者に対するサービスだけを考えた非常にクローズドなシステムとしており、利用者が増加する可能性は低く、管理コストも大きいことから、ビジネスとして利益を出すことは困難となっている。

表 4-3 SHS と BCS のビジネスモデル比較（標準ケース）

項目		SHS 電化	BCS 電化
初期投資	PV 設備	太陽電池パネル、コントローラ 申込者に対して設置	太陽電池パネル、コントローラ 充電室 需要予測に基づく設備計画
	バッテリー	50Ah クラス 初期システムに含まれる	50Ah クラス 自己負担
	需要機器	照明機器及び白黒テレビなど 照明機器は初期システムに含まれる	照明機器及び白黒テレビなど 自己負担
	屋内配線	初期システムに含まれる	バッテリーと直結
	初期コスト	50W クラスが \$500 程度 (1 世帯)	150W (約 \$1000) を 4~5 戸で利用可能
運転維持	バッテリー交換	Sale Model では、バッテリー交換は自己負担 Service Model では、バッテリー交換も料金に含まれる。	自己負担
	保守	バッテリー電解液の補水 配線接続部点検 コントローラ故障は事業者が対応	バッテリー電解液の補水 充電用コントローラの故障は事業者が対応
事業概要	ユーザーの役割	Sales Model では利用者が作業分担 Service Model では事業者が管理責任	自己責任
	顧客層	中高所得者層	SHS よりも低所得者層
	問題点	料金が高く、低所得者は利用不可能	運搬距離が長いと問題 村落内の利用ルール設定が必要 料金、収益性ともに低い

第5章 コミュニティ開発・社会経済開発効果

5-1 電化後の社会経済開発効果

今日、世界で電灯の無い生活を送る人々は16億人いるといわれているが²、開発の遅れている途上国の遠隔農村部にとって、電気がもたらす便益は大変大きいことが確認されている。例えば、電灯はロウソクや灯油ランプに比べて格段に明るく安全な照明を夜間に提供し、また、テレビ・ラジオを通じて入手できる情報は量・質・同時性において優れ、世帯レベルでの生活の質と生活水準の向上に直接裨益する。さらに、夜間の照明は、物販や飲食などのサービス業を振興し、営業時間の延長による売り上げ増を可能に、また、世帯にあっては夜間の生産活動を可能にし、生計向上に貢献する可能性を持っている。

他方、地域・コミュニティ開発への裨益効果に目を向けると、例えば、公共施設の電化は、社会サービスの向上に直接裨益する。クリニックや保健ポストが電源を持ち、夜間や停電時の電源が確保されることにより、医療及び検査活動の幅と信頼性は大きく向上し、また、教育施設における電源確保は、カリキュラムの拡充を可能にし、生徒の学習意欲及び教師の教育意識を助長し、豊かな教育環境を実現する。これは、PV発電が貧困地域の社会経済開発に対してなし得る重要な貢献の可能性を示すものである。

(1) 世帯レベルでの裨益効果：生活環境・生活水準の向上

ラオスでは、JICAパイロットプロジェクトから5年以上経過しているが、当時のPVシステムは現在も利用されており、さらに利用者は増加している。PV利用によって灯油ランプに比べ格段に安全で明るい電灯が利用できるほか、利用願望が強い機器であるTVやステレオ、VCDプレーヤーなどについて、低価格、低電力消費のモデルが増えてきたため購入する家庭が多く、PVでもかなりの時間利用できるため、生活改善効果は非常に大である。平均して、電灯・TVとも各々毎日2~3時間利用されており、人々は限られた電力を最大限に活用している。もともとラオスでは利用料金を低めに設定してスタートし、その後、料金値上げが実施されたものであるが、現在の料金水準(50W SHSで\$1.2/月・バッテリー交換は自己負担)であれば、利用者は便益が上回っているという評価をしていると理解できる。さらに、携帯電話が地方部でも急速に普及しつつあるため、そのユーザーにとっては充電用電源としてPVは不可欠なものとなっている。携帯電話の利用によって、アクセス困難な地域での生活の利便性は格段に高まっている。

これに対してボツワナでは、JICAパイロットプロジェクトによってPVシステムが設置されてから約3年経過しているが、当初の利用世帯の半分近くが利用を停止している。このような状態になったのは、利用料金が高め(50W SHSで\$7.5/月・バッテリー交換含む)に設定されており、現金収入が少ない多数の利用者にとっては、利用してみたが料金に対応するほど便益がないという判断になったと理解できる。現在も使用している利用者は家族からの仕送りなど一定の現金収入がある家庭であり、子供部屋の照明(勉強用?)などに使っている例がよく見られた。利用し

² World Bank Group Progress on Renewable Energy and Energy Efficiency: 1990-2004 (March 2005, World Bank)

ている家庭の多くは電灯・ラジオなどを利用する程度であるが、高所得者はテレビを所有しており、大型の SHS を使っている。電灯による生活の利便性や安全性の向上については、読書や勉強がし易くなり、家庭で縫い物が出来るようになったなど、利用者は高く評価している。携帯電話の普及はまだ始まった段階であり、ユーザーは少数にとどまっているが、今後は急速に普及するであろう。

(2) 収入創出・所得向上への裨益効果

PV から得られる電気エネルギーはわずかな量であり、動力として利用することはかなり難しい。通常の SHS の規模であれば充電式の小型機器に若干の可能性がある程度であり、PV で小型電気バリカンを充電している床屋などの例がある。したがって、PV の生産用途への利用としては、夜間照明が必要な作業への活用が中心となり、多くの可能性がある。代表的な形態としては、織物(右下 写真)、食品加工、漁具の手入れなどの家内作業のほか、商店経営などにも利用されている。また、夜間の漁などに用いる移動型照明(小型蓄電池利用のライト)も容易に充電できる。このように利用者は PV による照明によって作業時間を増やすことができ、収入増加が可能となる。ただし、個々のエンドユーザーの取り組み方の違いによって、増収レベルは大きく異なる。また、PV を利用して各種のバッテリー充電を行うことで対価を得ることも幅広く行われている。今後の有力な用途は携帯電話の充電である。未電化地域でも電話に対する需要は大きい。携帯電話はアンテナ基地で未電化地域を広くカバーできるため、途上国の地方部でも急速に普及するであろう。この時に、PV があれば携帯電話の利用が可能となり、利用料金をとって携帯電話を貸すというサービスも生まれるであろう。



(3) コミュニティ開発・社会経済開発効果

現時点では、PV 電気を如何に生産的活動(所得向上)に利用するかは個人の裁量に負うところが大きく、地域社会・コミュニティとして経済活動につなげようという動きは生まれていない。PV は基本的に直流電源であり、交流変換しても単相となるため大容量の動力機器を用いることは難しい。この点はディーゼル発電とは大きく異なる。むしろ、ボツワナで見られたように養鶏用の照明(雛の時に 24 時間照明を行うと成長が促進される)など、照明の利用によって生産効率が向上する農畜産用途を普及できれば、コミュニティとしての協同的な活動として活性化していく可能性はある。

PV 電気の公共利用(医療・教育施設、給水ポンプ、街灯など)については、特に医療関係で夜間の患者や分娩などに対応するため照明を確保する必要性は高い。また、薬品保管の冷蔵庫も PV 駆動の製品があり、そういった機器もコミュニティとして必要である。教育施設については夜間

学級を行っている場合や住民の集会在夜間に開催される場合などでは、学校（または集会所）に照明機器を設置することは有意義である。なお、今後、教材を CD にダビングして VCD による視聴覚教育が容易となるため、学校の場合には照明以外にそういった部分にも PV 利用を検討する必要がある。PV 駆動の揚水ポンプも実用化しており利用可能であるが、問題は故障した場合に修理に要する時間がどのくらいかという点であり、長期間を要する場合にはタンクの貯留水が不足し、住民の生活に甚大な影響が生じる可能性がある。このため、給水関係は特に維持管理について十分な確認をとる必要がある。

表 5-1 PV 発電による農村電化の用途と裨益効果・インパクトの例

	生計・経済・産業	健康・水衛生・安全・環境	教育・情報通信・文化（余暇社交）
個人・世帯レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・灯油やディーゼルや乾電池の燃料費節約。 ・夜間の営業業務時間の延長による所得向上(食品加工/収穫後処理、手工業、商店・飲食店サービス業)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・明るく安全な照明による居住環境の向上。 ・(主に女性の)家事労働・育児環境の改善。 ・火災予防。 ・灯油のように人体に有毒な煙を出さない。 ・防犯効果。 	<ul style="list-style-type: none"> ・読書や学習環境の向上。 ・AV (TV/ラジオ/ビデオ等) による情報量と同時性の向上、娯楽の多様化。 ・携帯電話利用。
コミュニティ・地域社会レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・雇用創出・所得向上。 ・地場産業やスモールビジネスの振興。 ・農業利用。 	<ul style="list-style-type: none"> ・医療施設電化によるサービスの向上(電灯、検査機器、無線通信、ワチ保冷库、停電時のバックアップ電源等)。 ・揚水ポンプによる安全な水の供給。 ・防犯治安効果(街灯)。 ・僻地への公共施設と職員住宅の整備。 	<ul style="list-style-type: none"> ・学校電化による教育環境の向上(電灯、AV や IT を活用した教育、夜間学級等)。 ・通信環境の向上。
広域・国レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・化石燃料の輸入削減に伴う外貨節約。 ・農村部の生活及び社会環境向上による、都市-地方間格差の是正と都市部への人口流出の抑制。 	<ul style="list-style-type: none"> ・乳幼児及び妊産婦死亡率の減少(国連ミレニアム開発目標の達成)。 ・温暖化ガス排出削減による環境保全。 	<ul style="list-style-type: none"> ・教育レベル及び識字率の向上(国連ミレニアム開発目標の達成)。

5-2 社会経済開発・貧困削減効果を高めるための諸条件

(1) 公共施設における PV 利用の拡大

医療保健施設、学校、通信施設、給排水・灌漑施設、道路など、社会インフラといわれる公共施設は、電気を使えるようになることでサービスレベルを大幅に向上させる。これは、世帯電化の有無に関わらず、PV が貧困地域の社会経済開発に対してなし得る重要な貢献である。村落内の医療施設、教育施設など社会インフラ整備については貧困対策、地域振興対策といった観点から各政府や援助機関が優先的に資金投入することが多い。こういった場合に、PV システムを含めた施設整備計画をつくることによって施設に付加価値を付与し、村落全体としての便益の増加を図ることができる。今後さらに拡大していくと予想されるこのような貧困地域の村落開発に対する施設整備事業においては、常に PV システムとの組み合わせを考え、その実現を図っていくこ

とを関係者は心がけなければならないと言えよう。

ラオスでは 2002 年から世銀のクレジットによる「貧困削減基金 (PRF)」が設置され、コミュニティ自身が発案するインフラ整備 (道路、学校、医療施設、水供給、灌漑・排水施設など) を支援する事業が進行している。当初、対象となる施設には電化は含まれていなかったが、ラオス政府の要望により電化も対象となった。また、PRSP (貧困削減戦略) に相当する NGPES (National Growth and Poverty Eradication Strategy) では、全国 142 郡中 72 郡を貧困郡、さらにその内 47 郡を最貧困郡に指定している。この 72 の貧困郡に対して貧困撲滅プログラムとともに導入しようとしているのが Village Development Fund (VDF) であり、投資計画委員会 (CPI) でその運用について最終的な検討を行っている。

ベトナムでは「135 プログラム」と呼ばれる貧困緩和のための地方振興制度がある。これは、国境・山岳地域を中心に少数民族が主に居住している生活状況の厳しい貧困農村地域 (コミュニティ) を対象に一定の予算を配分し、農村インフラ整備を中心に農業生産と収入の増加及び社会サービスの充実による生活水準の向上を目的としている。1 コミュニティあたり年間約 \$32,000 の予算範囲内で実施する同プログラムは、ベトナム地方部の開発における極めて重要な制度として定着しており、対象事業にはグリッドの延伸や小水力発電開発などの電化プロジェクトも含まれている。オフグリッド電化は大いに奨励されるべきとの見解がベトナム政府から示されており、実際に小水力のほか水力ポテンシャルのない地域では学校を含む公共施設を中心とした太陽光発電の導入が計画されている。

ボツワナの例では、政府が地方部の公共施設整備に多額の予算を投入しており、未電化村でも学校や診療所、教員などの公務員宿舎などには大型の PV システムやディーゼル発電機を設置している。その結果、遠隔地の貧しい未電化村でも、有資格の教師と設備の整った小学校、有資格の看護師と救急車及び通信設備や医薬品・医療器材の整った診療所があり、健康で文化的な生活を営むための最低の基盤 (社会インフラ) が整備されている。

公共施設に設置された PV 設備は住宅用とは異なる使用方法となり、発生した電気が全て有効に利用されるとは限らない。時々使うだけという場合も多い。こういった場合に当該施設以外の用途と組み合わせた多目的の PV 設備とし、特に、PV を住民が所有するバッテリーの充電設備として利用できるようにしておけば、バッテリーや携帯電話を利用できるため住民の生活は大幅に改善される。また、住民に利用させる場合には利用料金を徴収することが可能であり、それを施設の管理費用に充当することができ、施設運営を充実させることで村落全体の便益向上につなげられるという好循環が期待できる。

ボツワナでも太陽電池パネルの所有者が住民のバッテリー充電を有料で行っていた。(右 写真) このように、バッテリー充電に関する潜在的なニーズは大きく、そのニーズを満たし、さらにコミュニティ開発に活用することを考える必要がある。



(2) PV 電化による収入創出活動活性化

村落で行われている農畜産活動や新しい電気機器の使用などに関連して、電気の有効利用についてのちょっとしたアイデア・情報の提供や技術支援があれば、利用者世帯の所得増加、生計向上活動の活性化を支援することができ、PV 電化による社会経済開発効果を一層高めうる。また、貧困地域の協同的な活動を活性化していくきっかけとなる可能性もあることから、村落レベルでの収入創出のための PV 技術を活用した新たな地場産業の育成なども検討すべきである。したがって、PV 電化プロジェクトを行う場合には、機器の維持管理等の知識の提供だけでなく、収入創出の可能性を常に考慮し、適切な情報提供を行うほか、村落内の事業育成のための組織化や指導といった社会開発プログラムと組み合わせた横断的プロジェクトを形成するように努めなければならない。

(3) セクター横断型事業実施体制の構築

多くの国において、中央政府レベルで教育、医療、水資源、農業、エネルギー等を主管する省庁はそれぞれ異なる。世帯電化事業への社会開発コンポーネントの付与や社会開発・地域開発事業への PV 電化コンポーネントの付与により、PV 利用による社会経済開発効果・貧困削減効果を最大限にするためには、こうした省庁の縦割りを超えた協力関係作り・実施体制作りが欠かせない。例えば、個々の公共施設の所管官庁、貧困対策・農村開発の所管官庁と地方電化所管官庁とが協力して、PV 利用促進のための計画作成や人材育成に取り組む体制が整えられ、機器の保守維持管理の人材を共同で育成・確保できれば効率的であり、何より持続可能な維持管理体制整備の点でも望ましい。地域の公共部門に PV が導入され、PV 技術者や維持管理スタッフがいるということは、PV による世帯電化の普及にもプラスの影響を与えるものと考えられる。

5-3 マイクロファイナンス制度の整備

一般に、途上国の農村部の低所得者層は通常の金融サービス（銀行等のフォーマル金融サービス）へのアクセスが困難な状況にある。その理由としては、銀行は物理的かつ心理的に遠い存在である、銀行の手続きが煩雑で遅い、貸付希望額が融資最低額に満たない、担保となる資産がない等があげられる。これらの問題を取り除き、農村部の低所得者層にもアクセス可能な小規模金融サービスへの道を開いたのが、マイクロファイナンスと呼ばれる貧困緩和を目的とした小規模金融である。その主たるものは農村における零細・小作農や零細事業主・職人を対象に行われる小口融資や貯蓄などの金融サービスを指す。主に収入創出のための資金として融資され、農村部であれば、農業生産のための種子購入費用、養鶏・養豚の費用、手工芸品製作の材料購入費等に当てられる例が多い。マイクロファイナンスは、貸付額が小口、心理的・物理的に農村住民に近い、融資の手続きが簡単、担保なしの連帯責任制といった特徴を有する。

マイクロファイナンスは様々な開発プロジェクトでその有効性が実証されており、地方電化においてもマイクロファイナンスが導入されたプロジェクト例が見られる。PV 地方電化について著名な例としてはスリランカがあり、またベトナムの例も報告されている。PV 利用者はバッテリー交換費用や SHS 導入の場合の頭金の支払いなどの大きな一時金の支出が必要であり、この金

額を捻出できない世帯も多い。マイクロファイナンスの導入によって分割払いができるようになれば、SHS や BCS の利用者数が増加すると期待される。電化後は、夜間の手工芸作業時間の増加など、電気利用による収入増加も可能となり、結果としてマイクロファイナンスの返済が容易となる、というようなサイクルが確立されるのが農村開発における地方電化の理想的な姿である。従って、地方電化におけるマイクロファイナンス制度の整備は、収入創出支援も合わせて考慮することが望ましい。

スリランカの Sarvodaya

Sarvodaya はスリランカで最も大きなマイクロファイナンス組織で全土の 1/3 をカバーしている。ここでは SELF(Solar Electric Light Fund)の支援により 1991 年に SHS の普及を開始し、Sarvodaya はクレジット販売のために融資サービスと信用査定を行っている。Sarvodaya は地方住民強化の NGO 活動も行っており、その融資を受けるものはメンバーとなる。融資返済に対するメンバーとしての社会的使命感が強いため、クレジットには担保を取らなくても 90%以上の返済率を達成している。一時金は総額の 20%払、ローン期間は 5 年間まで可能。

バングラデシュの Grameen Shakti

Grameen Shakti はグラミン銀行の子会社で、1996 年にバングラデシュで再生可能エネルギー普及のために設立された。Grameen Shakti では SHS の普及には積極的に取り組み、クレジット販売の開発の他、独自の技術基準の開発や、地方ネットワークを利用して SHS の認知度向上や SHS による収入創出も支援している。

マイクロファイナンス制度が貧困緩和方策の一つとして注目されてきたのは、通常の金融サービスではカバーされない地域、所得層を対象としており、現金収入創出の機会を提供するという社会開発的な目的意識を持っているためである。しかし、これまでのところマイクロファイナンス制度の広がりには十分ではない。その原因のひとつとして、援助機関にはマイクロファイナンスの専門家がほとんどいないため、NGO などを中心としたインフォーマルな制度で実施されているケースが多く、農村部の貧しい人々を支援する小規模金融サービスを健全に発展させていくための適正な規制と促進策が欠けている国が多いことがあげられる。マイクロファイナンス制度を整備することについては、貨幣経済が十分浸透していない地域で金融業という資金だけを取り扱うビジネスを行うという難しさがある。したがって、住民を教育しながら地道に制度づくりを行っていくことが必要であり、そういった社会開発とビジネスの両面を理解し、実務を実施できる人材の養成からスタートする必要があると言えよう。

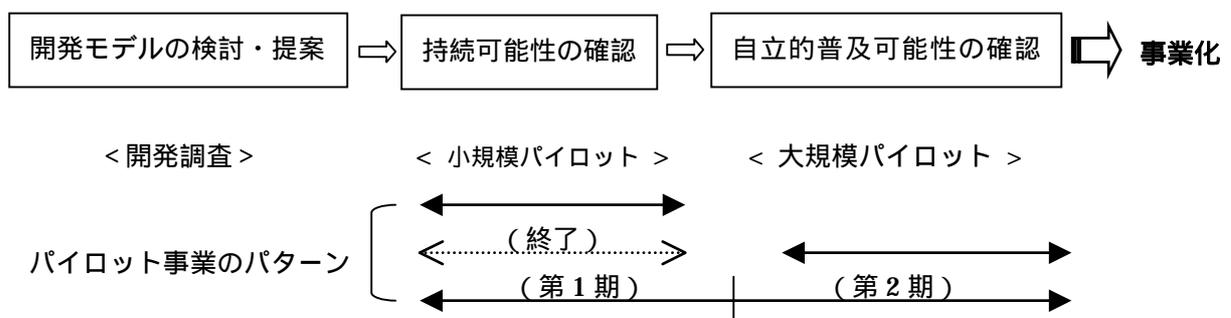
このマスタープラン作成段階ではスタディが主体であり、期間1～2年の「開発調査」が適している。この中で未電化村落の実態調査を踏まえた検討が行われ、未電化地域の実情、住民の生活・経済力、バッテリー利用の普及度、PVに関する認知度、PV導入実績などは重要な調査事項となる。もちろん、政府の定めたPV地方電化に関する枠組み（グリッド延長計画、オフグリッド電化の実施体制や資金対策など）も検討の前提条件として重要である。この段階では対象地域の実情をもとにPV地方電化の開発モデル(ビジネスモデル)を提案することが大きな目標となるが、そのためには、未電化地域でのPVの持続可能性を強く意識した検討が必要である。

なお、開発調査の後半では提案された開発モデルの持続可能性実証のため小規模なパイロット事業を実施することも考えられる。この場合には、機材調達、設置、維持管理、料金徴収、村落組織運営などの作業について持続可能か否かという視点からデータを収集する。また、提案された開発モデルに基づくPV電化が未電化村落住民にとって有効なのか、料金は便益に見合っており継続的に支払可能なのかといった点についてもモニタリングする必要がある。同時に、こういった小規模なパイロット事業であっても注目を浴びる事業となるため、PV地方電化に関する認知度向上、世論形成にも役立てることもできる。

(2) 普及モデル形成段階

ある程度PV地方電化についての知見が蓄積され、PV地方電化についての政府の明確な方針が決定され、実施体制（公的機関か民間主導か）などの基本的事項が明確になってきた段階ではPVの開発モデル（ビジネスモデル）を確立して事業化につなげることが目標となる。この段階では、いきなり事業化を試みるのではなく、開発モデルの持続可能性を確認し、さらにそれをベースにして自立的普及可能なビジネスモデルに発展させていくという進め方が望ましい。

開発モデルの持続可能性を確認するためには、対象村落をいくつか選定して、100戸程度のモデル電化を行うパイロットプロジェクトを行い、その結果をモニタリングすることが適当である。目的はあくまでも持続可能性の分析であるから、利用者が得る便益と料金のバランス、料金支払い能力、PV設備の維持管理などが重点調査項目となる。()



また、将来の本格的事業化段階にスムーズに移行できるよう、非常に時間がかかる電化事業者の育成という視点をこの段階から導入していく必要がある。その内容としては、マニュアル類の整備のほか、事業経営や機器の維持管理サービスに関する人材育成プログラムの作成などが考えられる。さらに、このパイロット事業の実施によって、PV地方電化の認知度向上、PV機器市場整備などの効果も期待できる。

事業主体となるべき組織の整備は開発モデル(ビジネスモデル)の持続可能性が確認されてから本格化することが多い。したがって、事業の自立的普及可能性を実証するためには、近い将来の本格的な普及拡大を想定して、事業者またはその候補者を実施主体として、実際に行われる事業を模擬した数か村規模の実証的パイロット事業を実施し、PV地方電化を本格的に事業化するための課題を抽出し、その対応策の確認まで行うことが必要である。この大規模パイロットプロジェクトはその前段階である持続可能性確認のための小規模プロジェクトからある程度の時間をおいて実施し、その準備期間においては事業経営者やサービス担当者となるべき人材に対して十分なトレーニングを行うことも必要である。()

このように普及モデル形成段階では、開発モデルの持続可能性確認のためのパイロットプロジェクトの次に、開発モデルを用いた事業としての自立的普及可能性確認のためのパイロットプロジェクトを実施することが適切である。こういったパイロット事業については、その内容から専門家派遣を含めた「技術協力プロジェクト(技プロ)」として実施することが適切である。なお、この両パイロットプロジェクトを第1期と第2期に分けて一つのプロジェクトとして実施することも可能であろう。()

このパイロット事業によって成果が上がった事項、また計画通り進まなかった事項については、いずれも次の段階における本格的な事業化段階に反映されなければならない。このため、パイロット事業実施後の運転、運営に関するデータ取得が非常に重要であり、最低1年程度のモニタリング期間を設定してデータ収集を行うことが望ましい。また、この期間は単に設備を設置してデータ収集を行うだけでなく、人材育成のためのトレーニング、PV機器市場整備、PV機器の品質確認などを行う事業化準備期間としても重要であり、それぞれの分野について専門家を配置して、十分な技術移転を行う必要がある。

(3) 事業化初期段階

開発モデル(ビジネスモデル)が自立的に普及していくことがパイロットプロジェクトで確認された場合には、いよいよ本格的な普及拡大を目指した事業化段階となる。この段階では開発主体(事業者)が存在しており、その計画(ビジネスプラン)に基づいて事業が進められ、援助機関としては、事業の安定化を目指して主に資金的援助あるいは人材育成などの面から支援を行うこと適切である。民間事業者が事業主体となる場合には、事業者の資金負担能力が弱く、また地方電化事業自体の低収益性から資金的な支援措置は非常に重要である。しかし、PV地方電化で必要とされる資金は小規模であり、初期投資額は対象戸数が1000戸でも約\$1million程度に過

ぎず、JBIC などの借入を検討する場合には一般のインフラ整備事業と比較して事業規模が著しく小さく対象案件となりにくいという問題が生じるおそれがある。このためには、グリッド電化事業など他の事業との組み合わせや、包括的な地方開発セクターローンなどに組み込むなどの対応を行う必要がある。このほか、ラオスで実例があるように、無償供与された PV 機材を利用して事業を開始し、利用者から徴収する料金の一部を積み立てて基金を作り、それを事業者への融資資金などに充てるというレボルビングファンドの形成という方法も考えられる。

この段階では民間事業者はまだ十分な財務基盤、技術基盤を有していないが、地方電化の低収益性から短期間で資金的余裕を生み出すことは難しく、事業継続に必要な人材育成や PV に関する広報などに資金を回すことは難しい。このため、JICA としては専門家派遣や機材供与などでこういった長期的な事業育成対策を実施していくことは効果的である。特に地方部に展開すべきサービス技術者育成のためのトレーニングは重要である。また、電子技術教育によって PV 用電子機器の国内生産やメンテナンス・修理技術の普及を図るといった協力も効果的であろう。

さらに、PV 地方電化の受益者を拡大するために、利用者サイドの支援を行うことも重要である。特に、未電化村落の低所得者層による PV 利用を促すためには、マイクロファイナンス制度の導入が効果的と考えられる。したがって、マイクロファイナンス制度の構築と収入創出支援も合わせたプロジェクトの実施が望まれる。

6-3 社会開発分野との横断的プロジェクトの実施

地方電化を目的としたプロジェクトの実施だけでなく、村落社会開発を目的としたプロジェクトの中に PV 電化を取り込むという方向性も重要である。こういった手法は未電化地域 (= 貧困地域) における社会インフラ整備や自立支援について主要ドナーや途上国政府が一段と積極的になっているという最近の潮流にも合致しており、今後はさまざまな場面で PV 電化設備が必要となる可能性が高い。もともと PV 地方電化は中央からの押し付けではなく、地方社会の生活パターン、人材、経済等の条件をベースに計画され、実施されるべきものであり、実施後も村落内住民組織の役割が大きいことに注目すれば、村落開発の総合プログラムの中に PV 電化を正しく位置づけて他の事業との一体化を目指すことは重要なアプローチと考えられる。

こういった村落社会開発との横断的な PV 電化プロジェクトとしては、以下の 2 つの方向性が重要である。

PV の生産的利用と収入創出

PV による電気を利用して新しい作物の生産や家内手工業の育成などによる収入創出を目指す社会開発プロジェクトであり、専門家、ボランティアの派遣により、ビジネスプラン作成や技術指導、市場開拓などを行う。

公共施設整備と PV 導入

無償資金協力による医療、教育、給水、通信・IT などの分野における多様な公共施設整備プロジェクトのうち、未電化地域で実施されるものについて、PV 設備を付加することにより各種電気機器が利用可能となり施設の付加価値を増大させ、コミュニティとしての裨益効果を高める。このように村落の中心施設に PV 設備が導入されることにより、将来の PV 地方電化に対する村落単位の認知度向上などの効果も期待できる。この場合、PV 設備の維持管理は村落単位で行うことが基本となる。こういったプロジェクトを推進するためには、地域の公共施設など社会インフラを整備する部門（例：保健省、教育省、地方自治省及び地方自治体）と地方電化を進める部門（例：電力省）が協力して PV 利用、特に機材の保守や維持管理手法の確立、さらにそのための人材育成に取り組むことが必要である。

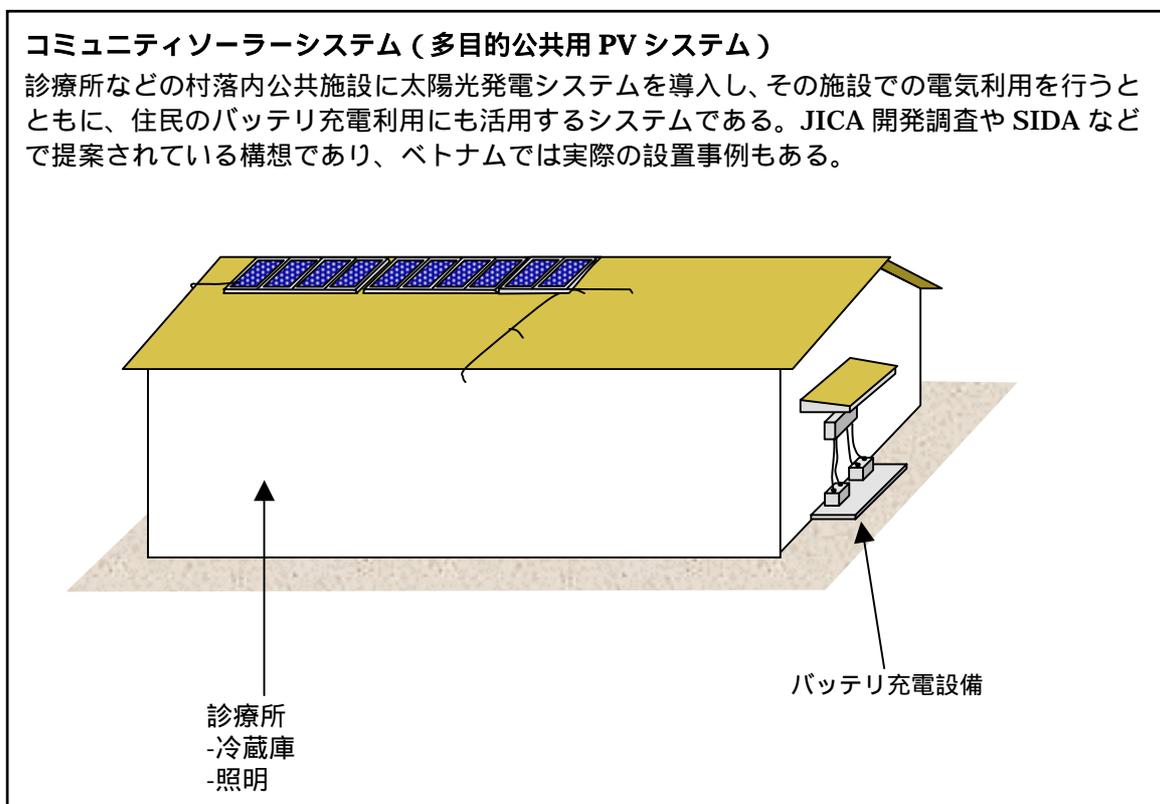
6-4 技術協力と無償資金協力の連携

(1) 一般プロジェクト無償資金協力

一般プロジェクト無償資金協力（以下「一般無償」）は、無償資金協力の中でも、保健医療、教育など、いわゆる BHN と密接に関連するプロジェクトであり、基本的には収益性が低く、当該国が自己資金あるいは借入れ資金を投資して実施することが困難な案件、住民の生活向上につながる案件及び人材育成に貢献する案件を対象としている。この一般無償では、これまで給水プロジェクトに絞って PV 設備の整備を実施してきており、未電化村落の電化を目的とした PV システム導入プロジェクトが実施された例はない。他方、世界的な太陽光発電の普及拡大、地球環境問題の高まり、原油価格上昇に伴うディーゼル発電運用の制約などから、最近では医療用冷蔵庫の整備など感染症対策無償等において、維持管理体制（組織、資金）の確保を前提として PV 利用を行うという運用が一部図られている。

このような実績の積み重ねを踏まえ、一般無償による PV 設備の導入拡大への動きにつなげるためには住民への裨益効果と同時に確実な維持管理体制が必要である。今後、期待される分野としては村落電化を目的とする SHS や BCS があるが、わが国としてのこれまでの技術協力による実績はまだ十分とは言えず、維持管理手法が定着しているとは言い難いことなどから、当面は案件として認められる可能性は低いと考えられる。また、こういった設備は単価が安く小規模な事業にならざるを得ず、1～2年の事業期間では多くの件数を設置することは困難であるため、一般無償案件としては難しいという面もある。最も可能性が高い分野としては、未電化地域に建設される診療所、学校、集会所などの公的施設における電気使用のための PV 設備導入があげられる。PV を用いることで、照明、テレビ、通信機、さらに前述の医療用冷蔵庫などが利用可能となる。この場合、維持管理費用捻出のための収入確保手段となる一般利用者向けのバッテリー充電機能を含めた設備とすることを検討すべきである。（「コミュニティソーラーシステム」次頁）この結果、バッテリー利用に関するノウハウが住民に定着することでその後の PV 地方電化事業の展開にも好影響を与える。こういった実績が蓄積されれば、BHN に対応する公共施設と位置づけられる村落住民が共同利用するバッテリー充電施設（BCS）の建設についても一般無償の対象として実施することが検討されていくであろう。

このようにこれまで実施されていない一般無償による PV 設備の整備を本格的に検討する条件が整備されつつある。さらにこの流れを加速するためには、これまで PV 電化を推進してきた技術協力部門と無償資金協力部門が連携を強化しプログラム化による裨益効果の大きな援助を実現していく必要があり、地方給水計画、地域医療改善計画、教育施設建設計画等における PV システムの利用可能性について正確な理解と情報の共有を図る必要がある。さらに、無償資金協力部門としては、今後の案件形成上のポイントとなる PV 設備維持管理の確実な実施手法についての正確な情報を持っておくことが重要であり、公的施設に対する PV 設備導入事例やバッテリー充電設備事例を含めた過去の類似事例に関するデータの収集と分析を実施しておく必要がある。一方、技術協力部門としては、無償資金協力とパッケージ化した協力手法として、PV 機材の適正使用や維持管理あるいは PV 機材の有効利用・生産的利用のための研修プログラムや、専門家・ボランティア派遣を検討する必要がある。



無償資金協力と技術協力プロジェクトの連携事例

セネガル	無償資金協力「地方村落給水計画」、「地方給水施設拡充計画」など。 技術協力プロジェクト「安全な水とコミュニティ活動支援計画」
<p>【背景】日本は、セネガルで地方給水分野への無償資金協力を 20 年以上にわたり実施した実績を有する。これまで、給水塔の建設・改修などハードに対するものが中心であったが、ハードをいかに維持管理し、応用・発展させて行くかが持続的な開発のために必要であり、長期間にわたり協力を実施してきた地方給水施設などを活用し、更なる地域住民の生活改善に向けて方策を練る時期に来ていた。（この地方村落給水計画事業では、揚水用の電源として太陽光発電システムが活用されている。）</p> <p>【技プロの概要】無償により整備された給水サイトを主な対象として、水利組合への運営指導を行うと同時に、女性をはじめとする地域住民の生活改善や村落開発活動に対する支援活動を通じ、節水や水の有効利用を促進する目的で「民間委託型プロジェクト方式技術協力」により実施された。（実施期間：2003 年 1 月～2006 年 1 月）</p>	

無償・有償資金協力とシニア・ボランティアの連携事例

モンゴル	無償資金協力「ウランバートル第4火力発電所改修」。 有償資金協力「ウランバートル第4火力発電所改修事業」。 シニアボランティア「石川島播磨重工業より7人のシニアボランティアの派遣」
<p>【背景】モンゴル最大の火力発電所であるウランバートル第4火力発電所は、施設の老朽化が進んでいたため、無償資金協力に加え円借款が供与され、改修工事が進められている。同発電所の発電・熱供給率の改善効果をもとめ、施設の改修に加え、設備の保守技術や経営・財務・労務管理などの改善の必要性が認識され、JBIC・JICAの連携により、2002年から2004年まで石川島播磨重工業より7人の専門家がJICAのシニア海外ボランティアとしてチームを組んで派遣され、経営状況改善のための指導にあたった。</p> <p>【活動の概要】技術指導の結果、停電がなくなり、また、コスト削減を通じて赤字体質が同発電所の経営業績が派遣期間の2年間で黒字化し、2004年度にはモンゴル国内で最優秀の企業として表彰された。3人のボランティアが2005年4月より再度派遣され、技術指導に当たっている。</p>	

アフリカ支援と無償資金協力

世界の貧困人口の半分を占めるといわれるアフリカ地域、特に、サブ・サハラ・アフリカの諸国では、電化は言うにおよばず、水・保健医療・教育などのBHNに対応する社会インフラの整備が著しく遅れている。わが国が表明したアフリカ支援の強化については、アジアのような大型インフラ整備ではなく、コミュニティレベルの自立支援が最も必要とされていることから、地方農村部における基礎生活分野関連施設の整備を大幅に拡充する必要がある。このため、水及び保健医療施設などの施設整備に加えてPV設備設置を行うことは地域の社会インフラ及びサービスの向上に効果を発揮し、また地球環境問題にも貢献するテーマである。アフリカ援助の拡充の具体的方策として、このような村落公共施設に対するPV電化導入プロジェクト（＝コミュニティソーラーシステム開発プロジェクト）を推進することが望まれる。

（2）ノン・プロジェクト無償資金協力

ノン・プロジェクト無償資金協力（以下「ノンプロ無償」）は施設建設等の事業（プロジェクト）実施のための資金供与ではなく、世銀またはIMFと連携・協調しつつ経済構造改善計画を推進する開発途上国の経済構造改善努力を支援し、累積債務や国際収支等の経済的な問題の克服を手助けすることを目的としており、援助資金は原則として被援助国が工業・農業生産や雇用を持続させるために必要な物資の輸入に使われること（＝外貨支援）を意図している。現在の援助スキームでは相手国への外貨供給が基本であり、相手国政府はそれによって浮いた資金、或いは援助で購入した資材を国内で売却することにより得た内貨（＝見返り資金）をわが国と協議の上で国内の復興・開発に回すという考え方となっている。このノンプロ無償では既にモンゴルに対して世帯電化用のPV機材の調達を実施した例がある。

このようにノンプロ無償ではSHSを含めたPV地方電化事業に対する機材調達が可能である。一般無償と比べて実施までの期間が短く、手続きも簡単であり、また、比較的小規模な資金供与が可能でPV機材の価格や必要数に適合していることから、このノンプロ無償と技術協力スキームの組み合わせによってPV地方電化事業を推進していくという手法が可能と考えられる。

モンゴル政府による遊牧民を対象にした 10 万個の太陽光電池配布計画実現のため、2001 年度のノンプロ無償資金を用いて太陽光発電システムを調達した。



たとえば、ノンプロ無償で供与された PV 機材を国内業者に自社で輸入する場合よりも低価格で売却し、その資金を地方電化基金として別途積み立てる。政府はこの基金を利用して、資金援助を必要としている地方電化事業者への低利融資などを行うというスキームは可能であろう。この場合には、PV 機材売却の受け皿となる国内業者が存在することが前提となるため、地方電化以外の分野で PV 機材の需要がある国や、ある程度 PV 地方電化が進んだ国がその対象となる。また、この基金を使って政府が公共施設整備における PV 設備の導入を直接行うことも可能である。この場合には、相手国政府の PV 機材活用事業を適切に支援することが重要であり、技術協力部門としても、PV 機材の設置計画（PV 地方電化事業計画）の立案・実施、基金の適切な活用などへの支援、また PV 機材の適正使用や維持管理のためのトレーニングなどを行うことが効果的であり、専門家やボランティア派遣などをパッケージとして提供することを検討する必要がある。

（3）草の根・人間の安全保障無償資金協力

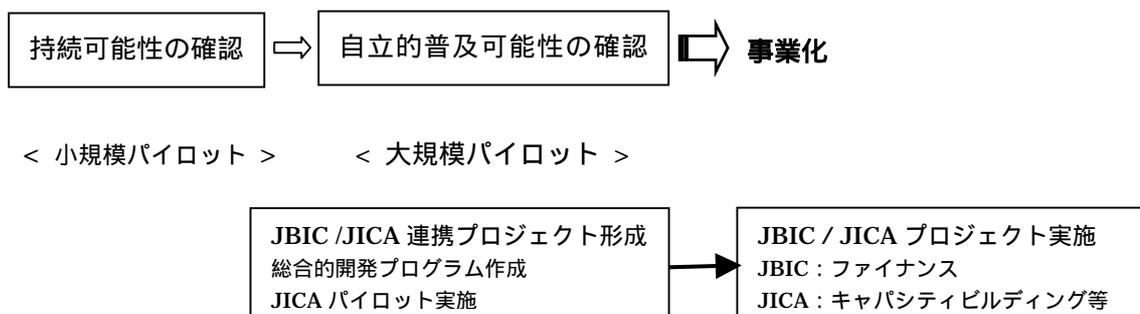
草の根・人間の安全保障無償資金協力（以下「草の根無償」）は、途上国の地方公共団体、研究・医療機関、及び途上国において活動している NGO 等からの比較的小規模な援助要請に迅速かつ的確に対応する支援であり、従来、一般無償では対応が困難であった小規模案件に迅速かつ的確に対応することを目的に設けられた制度である。この草の根無償は原則として 1 プロジェクト 1000 万円が上限となっており、現地の日本大使館が案件の審査を行っている。このように草の根無償は村落単位の PV 地方電化事業の資金ニーズに合った制度であり、その積極的活用は PV 地方電化を普及させていく近道であると考えられる。そのためには、現地関係者の計画立案・事業実施能力を飛躍的に高める必要があり、農村開発などに取り組んでいる NGO などと連携し、PV 電化に関する研修などを高密度で行うことによって、計画、実施、アフターケアができる人材を多数養成する必要がある。また、JICA が派遣するボランティアに対しても草の根無償案件形成が可能となるように、派遣前研修などの機会に PV 電化について十分な指導を行うことも必要である。

マラウイでは草の根無償資金を使って太陽光発電により電化された診療所では、夜の分娩と診療が安全に出来るようになり、またワクチンの保存・保管が冷凍冷蔵庫でできるようになった。医療従事者の宿舎も電化されたため、助産婦らが村落に定住して活動を行うようになり、医療サービスの質が改善された。

6-5 JBIC との連携

現在、途上国のオフグリッド地方電化では電気事業者とは別の民間事業者の参入を推進して進めるという考え方が主流となっているが、こういった事業者の資金負担能力が弱く、また地方電化事業自体の収益性の低さから、事業を拡大していくためには資金的支援措置の整備が重要な課題である。このため、PV 地方電化の事業化段階では JBIC の有償資金協力を取り入れ、事業者への援助スキームづくりを行うことを検討する必要がある。JBIC の借款を活用するための最大の問題点は、PV 地方電化は高々数億円の小規模事業であるため、単独事業としては JBIC による借款の対象となりにくいという点である。このため、グリッド延長による地方電化事業と組み合わせるなど事業規模の大型化を検討することが必要である。また、村落開発という観点から既存の地方開発セクターローンなどの対象項目に追加するといった方法も可能であろう。この場合、JBIC 借款は貸付先が民間の事業者ではなく相手国政府になるため、政府が得た資金を事業者が利用できるようなスキームを別途構築する必要がある。なお、PV 地方電化が民間事業として実施される段階でも JICA の技術協力は人材育成などの面では継続される可能性がある。

世銀ではグリッド電化とオフグリッド電化を合わせた地方電化事業に対する資金援助を行い、このうち再生可能エネルギー利用のオフグリッド電化に関しては GEF との共同プロジェクトとして、その無償資金を用いて通常の事業（＝ベースライン事業）を行うのに比べて追加的な資金が必要となる部分（＝パイロット事業、認知度向上、トレーニングなどの増分コスト事業）を実施させるという方法を用いることが多い。同様の手法によって、JBIC と JICA がそれぞれの業務を有機的に実施することは十分可能であろう。PV 地方電化に関して JICA が実施する開発調査や技プロの成果を事業化させていくため、また、事業化初期段階における JICA と JBIC の有機的連携を実現するため、両機関は情報交流をさらに活発化させ、JICA 主導のパイロットプロジェクト段階から共同でプロジェクト形成を行うなど連携を強化していくことが必要と考えられる。



6-6 南南協力

わが国は太陽光発電に関して太陽電池パネルの技術や生産については世界のトップレベルにあるが、途上国の PV 地方電化で必要となる手法や技術については国内ユーザーのニーズとは異なるためほとんど蓄積を持っていない。従って、PV 地方電化に関して国内で動員できる人材や組織は少なく、国際協力を行う上で必ずしも充分なリソースを有しているとは言えない。むしろ、この分野ですでに先行して実績を上げている途上国の経験を活かし、そのリソースを活用して援助を実施することが効果的であろう。この意味から「南南協力」は PV 地方電化の協力アプローチとして重要な方向性と考えられる。適切なプログラムに基づく南南協力の実施によって適正技術の移転、地域内又は地域間協力の推進、ODA 経費の合理化などの効果が生まれることが期待される。南南協力の手法としては第三国研修と第三国専門家派遣が主なものである。その効果を最大限に引き出すためには、協力実施国のリソースと協力受益国のニーズが適切に組み合わせられる必要がある。

PV 地方電化は多くの開発途上国において共通の課題となっており、特に持続可能な開発モデルと民間事業者の育成が重要である。用いられる技術や開発手法については地域的なちがいはほとんどないと言ってよい。このため、ある地域や国で実施された PV 地方電化のグッドプラクティスは他の地域でも応用可能であり、アジア地域とアフリカ地域に対する援助アプローチについて検討する場合には両地域での経験の共有を図っていく必要がある。JICA がこれまでに実施した PV 地方電化プロジェクトのうちで最も成果があがったものはラオスのプロジェクトであり、JICA としてはこの経験を他国、他地域に移転していくということをまず検討すべきであろう。

ラオスでは JICA の開発調査によるパイロット事業に引き続いて世銀/GEF の大規模な PV 地方電化事業化プロジェクトが進行中であり、この経験は他の途上国関係者には大いに参考になるものである。ただし、ラオスではまだ PV の技術的分野に関する蓄積は少ない。この面では隣国タイの AIT(Asian Institute of Technology)では周辺国との連携で PV 関連機器の開発や標準化、研修活動に実績を有する。わが国の研究機関や NEDO との交流も活発である。また SERT(School of Renewable Energy Technology)や KMUTT(King Mongkut University of Technology Thonburi)も再生可能エネルギー技術を蓄積し、地方電化技術などの研修には実績がある。このような機関とも連携を拡大することにより PV 地方電化に関する充実した内容の研修を実施することができ、地理的なメリットからアジア地域、大洋州地域など周辺諸国関係者が多数参加できる途が開ける。研修対象が公的機関職員となるので、帰国後指導的な役割を果たせるように、研修内容は単に技術指導をするのではなく地方電化法や技術基準、運営モデルまで含んだ包括的なものであることが望ましい。このため第三国研修機関を決定した後、コーディネータとなる短期専門家の派遣を行って、カリキュラムや教材など内容の整備を行う必要がある。このように、ラオスとタイを拠点とする PV 地方電化に関する研修事業を「南南協力」で行うことは JICA の存在感を高める有力なアプローチとなりうる。



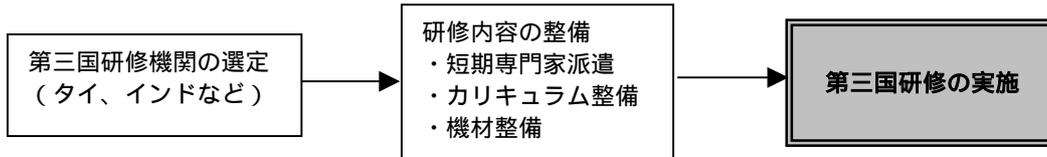
AIT の研修風景



SERT の PV 設備



KMUTT



第三国研修の実施フロー

アフリカ地域対象の技術協力

現在、ほとんどのアジアの国々はPV地方電化の経験をもっており、資金的支援などの条件が整えば大規模事業を展開できる段階に達していると思われるが、アフリカではまだPV地方電化事業化の前段階としてのパイロット事業を必要とする国が多く残っているという違いがある。また、現段階ではアフリカ地域内で南南協力を進めようとしても、ラオスに並ぶほどのグッドプラクティスは存在しないためその実施は容易ではない。このような両地域の違いから、PV地方電化についてはまずアジアの経験や蓄積をアフリカに移転し、それを発展させてアフリカに適した開発モデルをつくり、自立的開発を進めていくという戦略が基本となろう。したがって、アジア地域で実施される南南協力事業として第三国研修などが実施される場合には、アフリカ地域内の指導的人材を育成するため、必ずアフリカからの優秀な人材の参加を計画すべきである。こうして育成された人材が中心となって将来的にはアフリカ域内での南南協力を形成していくことが可能であろう。

アフリカ地域に対する当面の技術協力として重要なポイントは、アジアの経験をもとに JICA 主導による域内ワークショップの開催、広報資料作成・配布（パンフレット、CD-ROM など）マスコミなどを使ったキャンペーン活動などを行い、PV に関する認知度向上を図り、アフリカ地域での PV 地方電化促進のための下地づくりを行うことであろう。将来、木を植えてそれが根付くようにまず土づくりを行うという発想であり、決して回り道にはならない。

太陽光発電地方電化はこれまで多くの途上国が試行し、関連した組織や制度運営のノウハウを持っている。また UNDP、GEF などの国際機関も多くのノウハウを持っている。新たにプロジェクトなどを実施する際にはこのような経験を有する他国の専門家を招いた国際ワークショップを開き、経験共有の場とすることは有意義である。

域内ワークショップの開催にあたっては、JICA が将来的にはアフリカ地域全体をカバーすることを展望しつつ、現在、ケニア・タンザニア・ウガンダの東アフリカ3国を対象に実施されている広域プロジェクト AICAD（アフリカ人造り拠点：African Institute for Capacity Development）をアフリカの拠点機関のひとつとして活用することが考えられよう。現在、AICAD はアフリカの貧困削減と社会経済開発に貢献することを目的に、東アフリカ3カ国の国立大学、研究機関、NGO、住民組織、中小企業等を対象とした「研究開発」「研修普及」「情報管理」の諸活動、及びアフリカと他地域の連携促進の活動をケニアのジョモケニヤッタ農工大学にある本部施設を中心に展開している。AICAD が支援対象として公募している研究テーマに「太陽光発電利用」を加え、研究開発支援、実用化・普及支援、及び人材育成を行うことは極めて有用である。

アフリカ人造り拠点（African Institute for Capacity Development: AICAD）の目的と活動

AICAD の目的・手段		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存あるいは新しい知識や技術の活用； ・ 現地の状況に適した技術の創造； ・ 現地の人々がもつ専門知識の開発と活用； ・ 技術を創造する機関とその技術を活用する人々をつなげる架け橋となる情報や経験の交換； ・ 人的資源の共有。 		
2003 年度の研究公募のテーマ	研修普及事業の重点テーマ	
1. 食料安全保障 ・ 作物生産 ・ 畜産 ・ 食糧生産と食品加工 ・ 営農システム ・ 食糧安全網と食糧援助 2. 工業化プロセス ・ 中小企業育成 ・ 付加価値 ・ セクター別研究 - 貿易業、製造業、サービス業、サブセクターと価値連鎖分析 ・ 経営、生産性、生産システム ・ 市場とマーケティング 3. 環境保全 ・ 植林と再植林 ・ 代替エネルギー開発 ・ 廃棄物処理と公害防止	・ 集水地保護 ・ 乾燥地と半乾燥地の開発 4. 地域開発 ・ 低価格住宅と貧困削減にかかるインフラ整備 ・ ジェンダーと女性のエンパワーメント ・ 言語と情報の普及 5. 水資源管理・保全 ・ 水処理 ・ 最適な水管理 ・ 水供給と水質保護 6. 公平な保健医療 ・ 水と食品の安全性 ・ 栄養 ・ 薬草剤と伝統的治療法 ・ 既存及び新出の健康に対する脅威 7. 政策と実施 ・ 貧困削減戦略の実施に関する効果分析 ・ 貧困削減にかかる国策とその効果	・ 水資源管理 ・ 食糧安全保障 ・ 環境管理 ・ 起業家育成 ・ ジェンダー ・ 再生可能エネルギー ・ 適正技術 ・ 情報技術 ・ 環境問題 ・ 企業育成（零細/中小） ・ 農産品加工とその市場価値の向上 ・ 保健

6-7 認知度向上のためのプログラム

未電化地域での太陽光発電の普及を円滑に進めていくためには単に PV 機器の導入だけでなく、それに関与する人々の認識・能力を高めておくことが効果的である。PV 地方電化を考える場合、中央や地方の電化推進担当組織以外に、PV 設備を導入する組織（地方開発省、保健省、地方自治体など）、電気事業者、金融機関、PV 事業者（起業家、コミュニティ、組合、NGO）、利用者などが多数の組織や個人が関係するが、これらの組織の認識不足により PV 普及が阻害されることがある。わが国でもこれまで太陽光発電の利用拡大に関してさまざまなキャンペーンが行われてきた。一般的に見られる認識不足は、太陽光発電は高コストで保守が難しいという誤解である。かつての太陽光発電はそのような面もあり普及が難しかったが、近年価格の低下が進み、保守についても技術面の向上や標準的手法の確立によって大きな問題ではなくなっている。PV 地方電化に関しては確実に条件は改善されていると言える。

途上国だけではこういった啓蒙事業やキャンペーンを進めていく力が不足しており、援助機関がPVやバッテリー利用に関する正確な知識を提供し、また理解者を増やす（認知度向上）プロジェクトを実施することによってPV地方電化事業の拡大、機器開発への取組み強化、PV維持管理技術水準向上、などのプラスの効果が生まれることが期待できる。ある意味では、PV地方電化推進の近道と考えられる。特にアフリカではPV利用に関する認識不足が一因となって、PV地方電化が停滞している傾向が強い。このような状況から、JICAとしてはこれまでのアフリカでのプロジェクト経験やアジアでの参考事例、成功例などをベースにPV地方電化に関する正確な情報提供と理解者の増加をねらった事業を実施することは有効であろう。少なくとも、ラオスなどの成功例はもっと広く紹介されてよい。認知度向上の活動はこれまでプロジェクトの付帯的な部分として軽視されがちであったが、実際にはPV地方電化について経験豊富な組織でなければできない重要な活動なのである。

具体的な方法としてはワークショップの開催、パンフレット/ニュースレターの作成、Web利用、マスコミ活用、デモンストレーション事業、キャラバン事業などがあり、一般市民、未電化村落住民、PV関連事業者、行政関係者などの対象となるグループの違いによって、PVに関する理解度や求める知識、情報も異なっているので、それぞれの適した内容となるよう計画していく。アフリカでは地域的なまとまりを考慮し、東・西・南・北の4地域に分割して、その地域内にそれぞれ拠点を作り、そこから地域内の諸国を巡回して事業を行うことが考えられる。



ボツワナのPVキャンペーンカー

認知度向上には時間がかかり、繰り返し行っていかなければ効果が現れてこない。一方で途上国ではこのような情報サービスを進めるには体制が充分でないことが多い。ただし、近年は途上国でもWebが発達し、情報伝達の有効な手段の一つになっている。国際協力を実施するにあたってWebサイトを運営し、情報公開していくことが望まれる。

6-8 人材育成

(1) PV電化事業の人材育成

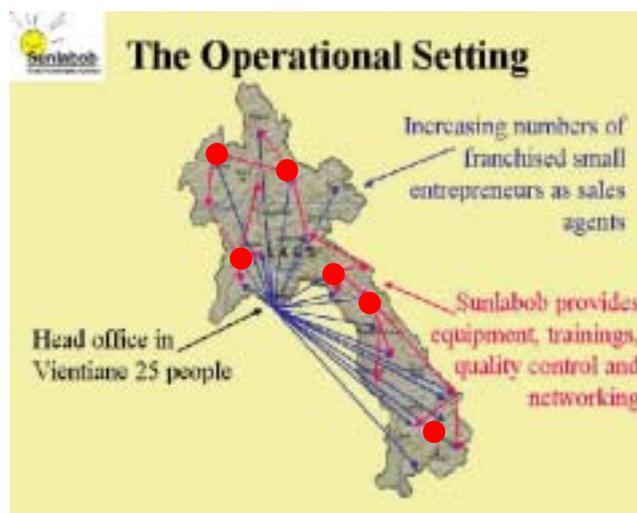
PV地方電化事業を行う人材（事業経営、サービス技術者、機器製作技術者など）の数は絶対的に不足しており、その育成はPV地方電化を普及させる上での最も大きな課題といえる。人材教育は技術面でのトレーニングと管理面でのトレーニングの2つの側面があるが、いずれにせよ地方電化を広汎な地域で展開していく上で十分な人材を確保していかなければならない。またトレーニングを受けた人たちが実際に就業機会を得ることができるように、地方電化事業計画と同期をとった形で進められることも必要である。したがって、パイロット事業段階後半から本格的な事業化の初期段階では事業経営とサービス技術者をバランスよく育成し、事業が定着し拡大しつつある段階では現地対応の人材が不足するため、サービス技術者の育成を重点に行うなどの柔軟

なプログラムが必要であろう。電化事業を立ち上げながら人材育成まで行うことを小規模事業者に求めることは困難であり、ドナーの協力が求められる分野である。

この人材育成事業では、専門家の派遣(技術、ビジネス)と教育用資機材の供与が必要となる。先ず派遣された専門家が当該国の中核的人材に対してトレーニングを行い、トレーナーとして養成する。その後、PV 地方電化の拠点となる地点を全国から数箇所選んで、そこに教育資機材を設置してトレーナーが地方の人たちをトレーニングする。拠点は、その後の電化の展開が容易になるように、全国規模で戦略的に選ぶのが重要なポイントである。派遣専門家も各地方でのトレーニングに参加してトレーニング内容の改善指導していく。講習期間は技術、管理あわせて1ヶ月ぐらいとなる。講習課程の修了者には認定証が与えられ、地方電化事業に従事する資格が与えられるが、場合によっては一定期間、地方電化に従事することを義務付けることも考えられる。

ラオスにおける GTZ の人材育成

民間レベルで太陽光発電利用普及ビジネスを活発に行っている Sunlabob 社(独資本)は GTZ の援助を受け、Public Private Partnership (PPP) というプログラムで全国的な PV 技術者養成を行っている。これは選抜された地元応募者に対して技術(4週間)とビジネス(3週間)のトレーニングを行うもので、さらに30ヶ月のフォローアップ期間がある。これによって養成された人材は同社のネットワークに組み込まれて地方部でのサービス提供を行う。このため、地方部でも質の高いサービスを提供できる。



ラオスではGTZが全国規模での事業スタッフ教育を実施した。教育拠点は全国6箇所つくり、そこで教育された人たちが更に地方での太陽光普及事業に取り組んでいる。

これは専門家による技術移転が中心の活動であるため技術協力プロジェクトとして実施できる。技術定着の点から考えると、相手国で本格的に PV 地方電化が実施される状況であることが前提となる。場合によっては数百台程度の SHS 導入支援を同時に行い、トレーニングを受けた人の職場と教育効果発現の場を確保していくというアイデアも検討すべきである。この場合、導入した PV 機器の保守やスペアパーツの確保、更に拡張が行いやすいように供給経路を開拓する形で展開していくことが望まれる。また、教育された人たちをフォローすることは教育効果の定着に重要なプロセスであり、1~2年はこのようなフォローが望まれることから、全体のプロジェ

クト期間は 3～4 年必要である。その国の地方電化の規模にもよるが、トレーナーとして数人から 10 人育成し、地方で活動するサービス技術者を 100 人ぐらい育成することが一つの目安となる。

教育内容には次のようなものが挙げられる。

- 技術教育

太陽光発電の動作原理、配線ルール、設置方法、保守方法

太陽光発電応用機器（バッテリー、ランプ、ポンプ、冷蔵庫など）

ユーザーへの教育の方法

- ビジネス教育

太陽光発電、他電源のコスト、ビジネスモデル

コスト回収の考え方

在庫管理、経費管理方法



ラオスでのスタッフ育成の講習風景（上）と教材

（２） P V 技術分野の人材育成

太陽光発電の着実な普及を図るためには、その国の技術力を高めていくことも必要である。技術力の育成はまず利用技術の向上から始まり、次に品質評価の導入や国産化へと発展していく。途上国への太陽光発電の導入も 20 年以上が経過し、利用技術については次第に形成されつつあるが、品質の向上や国産化については更に支援が必要ではないかと思われる。途上国においても近年では技術センターに相当する機関が存在し、技術レベルの向上についてはこのような技術センターの人材育成や機材供与を通じて実施されることになる。技術レベルの向上に関して行われるべき項目については次のようなものが挙げられる。

- 技術基準の整備

現在、太陽電池パネルについては国際レベルの基準(IEC、PV-GAP)があり、パネルは先進国の輸入品が使われるので、その基準をそのまま適用しても問題ないが、周辺機器については明確な基準がない。また、太陽光発電システムの技術的問題については周辺機器の信頼性が問題になることが多いので、周辺機器の基準作りが望まれる。本調査対象 10 ヶ国ではほとんどの国で技術基準を持っていたが、内容は国際協力で導入された先進国の仕様をそのまま用いているなど実用性に欠けており、これらを途上国の実態に即したものに改訂していくことが望まれる。途上国業務に通じた技術専門家の派遣が必要である。

- 品質試験の導入

太陽光発電機器で技術的に問題となるのは不当表示や周辺機器の信頼性である。これを避けるために機器の性能や耐久性を評価する機器を導入し、評価手法を技術移転する。評価は技術基準と同様に途上国の実態に即したものであると共に、実用性を考えると加速試験で行われる必要がある。技術専門家の派遣と評価機器の供与が必要となる。



中国の品質試験所
他に温湿度試験やひずみ試験などよく揃っている

- 認証制度の導入

品質試験に合格した機器の認証制度を導入支援する。政府事業で購入される機器には認証品を使うことを義務付ける。太陽光発電機器は店頭販売で普及しているものも多いので、購入者に判りやすいようにラベルなどで認証表示する。前述の品質試験の技術専門家の業務の一環として対応できる。

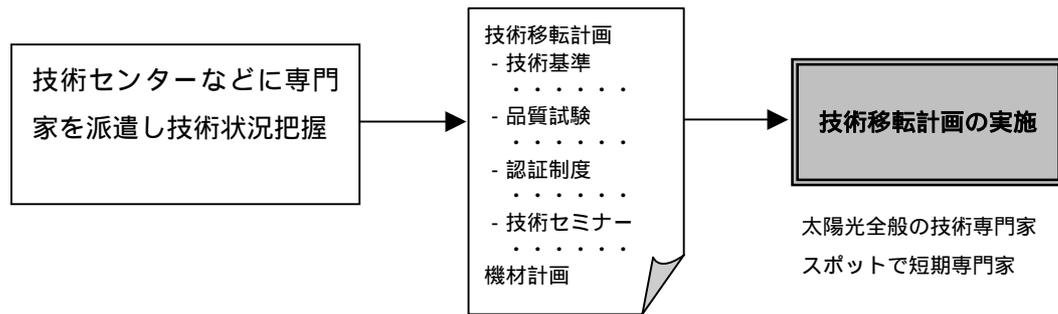


PV-GAP の認証マーク
まだ途上国の周辺機器用のものはない。

技術セミナーの実施

太陽光発電機器の技術や利用方法、評価方法についてのセミナーを開く。更に国産技術育成に向けたコントローラや DC 蛍光灯回路などの試作セミナーを開く。これらの試作は国産化に向けた技術移転としてだけでなく、基本的な電子回路の技術レベル向上の面でも有益である。技術専門家の派遣と工具、測定器などの供与が必要となる。

この技術協力は相手国が PV 地方電化を既に始めており、技術向上や国産化を志向する段階に達している時に有効である。国産化の技術移転、品質試験の導入、技術基準の導入には長期間を必要とするため、PV 地方電化の立ち上げと一体化したプロジェクトを行うことは適切ではなく、その次の段階として別途計画されるべきである。また上記の各協力コンポーネントも相手国のニーズや技術レベルに合わせて計画されることになる。このプロジェクトは太陽光全般の技術専門家を中心とし、技術セミナーなどより専門知識の必要とされる時に短期専門家を派遣するような 3-4 年の期間の技術協力プロジェクト（技プロ）形式をとるのが有望である。



技術レベル向上プログラムの実施フロー

6-9 国内研修の改善

わが国で行われている途上国研修生向けの国内研修の中には、地方電化に関連する内容の太陽光発電関連項目はほとんど取り入れられていない。わずかに水力など他の再生可能エネルギーとの関連で触れられる程度である。これはわが国における経験者が非常に少ないことと関連している。先に述べた南南協力による第三国研修が実施される場合にはそちらを重点にすべきであると考えられるが、わが国関係者が途上国関係者と接する数少ない機会でもあり、指導すべき内容も多く残されていると考えられることから、これまで JICA で行った様々なプロジェクト経験や、地方電化にも活用可能な先進的な技術開発、CDM への展開など、総合的な内容にグレードアップした国内研修コースを設置することを検討すべきであろう。

JICA の太陽光発電関係の集団研修コース
 科目：小水力及びクリーンエネルギー発電技術
 内容：
 ・ 小水力発電開発のための調査・設計・建設に係る技術及び運転維持管理技術
 ・ 太陽光発電開発のための調査・設計・建設に係る技術及び計画立案
 ・ 風力発電開発のための調査・設計・建設に係る技術及び計画立案
 ・ クリーン開発メカニズム（CDM）についての制度概要及び各国の取組み

この他に大阪市立大学で太平洋諸国を対象にした研修コースがある。

また、太陽光発電普及に直接関与していないが医療保健、給水、村落開発など PV 利用につながる業務を担当している研修生に対して、PV 技術について正確な知識を伝えることは認知度の向上につながり、また横断的プロジェクト形成にも資するものとして重要である。国内研修は途上国各国で大きな役割を期待されている研修生が参加する場であり、ここで太陽光発電についての啓蒙普及を図ることは大きな意味があると言える。

JICA が派遣する専門家、シニアボランティア、JOCV に対して行う派遣前研修に太陽光発電に関する内容を盛り込むことを検討すべきである。簡単な操作で利用でき、投資額もわずかである PV システムを利用すれば、彼らが現地で行う活動は一段と充実し、また、在任期間中に未電

化村落開発における PV 設備の導入や草の根無償資金による村落単位の電化なども可能となるであろう。PV 地方電化を進めるためには大型のプロジェクト実施だけでなく、こういった人材を大いに活用して草の根レベルでの事業化を推進すべきである。

6 - 10 国際機関との連携

途上国が地球環境問題に対処することを支援する国際的資金メカニズムである Global Environment Facility (GEF) は豊富な資金をベースに4つの分野(気候変動、生物多様性、国際水域汚染防止、オゾン層保護)について無償資金供与を行っている。GEF は世銀、UNDP、UNEP の3機関を実施機関としてプロジェクトを実施しているが、世銀とは事業投資案件、UNDP とは技術協力、キャパシティビルディング案件というように実施機関によってプロジェクトの性格は異なっている。これまでも再生可能エネルギー利用、特に PV 利用について多くのプロジェクトを実施しており、ある意味では途上国農村部への PV 導入に関する世界最大のドナーと言える。今回、現地調査を行ったラオスとボツワナでも GEF の PV 地方電化プロジェクトが進行中(ラオス)または準備中(ボツワナ)であった。

JICA による PV 地方電化の援助アプローチを検討する上で GEF の多数の PV プロジェクト経験や今後の事業計画は無視することはできない。GEF の経験を JICA 事業に活用する、あるいは逆に JICA 事業の成果を GEF のプロジェクトに反映させるといった方向性は、地球規模での PV 利用の促進という観点からは重要な検討課題である。GEF のプロジェクト担当組織は世銀、UNDP などに付属する GEF オフィスであり、GEF 事務局は組織運営事務を行うだけである。このため、JICA としては最も事業内容が近い UNDP/GEF との組織的な情報交流を定着させていくことを第一に考えるべきであろう。また、GEF としても実質的に最大の出資を行っているわが国との協力関係を強化したいという希望を有しており、そのためには PV 利用というテーマは時宜を得たものと言える。GEF との情報交流のきっかけづくりとして UNDP/GEF との共同主催による PV 利用の国際会議を開くことなどを検討すべきである。そこには主要ドナーであり PV 利用にも経験豊富な GTZ、SIDA、DANIDA などの参加も実現させたい。

GEF は国際機関であり最高意思決定機関は参加国をメンバーとする評議会であるため案件処理に長期間を要することが多い。したがって、JICA と GEF のプロジェクトを完全に同期させることは難しいと考えられる。このためひとつのプロジェクトを共同で実施することを目指すのではなく、GEF が既の実施した再生可能エネルギー導入基金を JICA プロジェクトに活用するケースや、JICA が実施したパイロット事業に対応する人材育成を GEF が実施するケースといった連続したプロジェクトによる連携を模索することが現実的と考えられる。また、GEF と JICA が共通のゴールに向けて、それぞれの作業を独自のスキームに基づいて実施するという緩やかたちの共同事業であれば JICA としても実施可能であろう。そのような手法は過去にも GTZ や DANIDA などが実施している。現在、JICA がフィリピンで実施中の技プロ案件「地方電化」は現地で進行中の UNDP/GEF 事業への支援となる C/P のキャパシティディベロップメントを行っており、このような緩やかたちの連携の実例と言える。

第7章 PV技術の動向と可能性

7-1 途上国におけるPV技術の課題

途上国のPVシステム導入における技術的課題としては、PV機器の国産化や輸入品の品質評価といった全国レベルの大きなテーマがある一方で、個々のプロジェクトにおける施工や保守の技術水準の確保といった項目もある。

(1) 国産化

途上国でのPV機器の国産化については、まず蛍光灯用のRFインバータ、コントローラが、その次にバッテリーの内製化が考えられる。本研究対象国でもほとんどの国がインバータ、コントローラの内製化に取り組んでいる。またシリア、ジンバブエ、ボリビアではバッテリーの内製化も行っている。RFインバーターやコントローラは技術的にはそれほど難しいものではないが、問題は実用に供するだけ信頼性の高いものが生産できるかである。

ジンバブエの開発調査では現地の製造業者の技術力を詳細調査した結果、信頼性不足と判断され日本製品に切り替えた経緯がある。当時、ジンバブエではUNDP/GEFのプログラムが同時進行で国産化に向けた技術指導も行っていた。これらの国産製品はJICAパイロットプロジェクトの機材供給には間に合わなかったが、その後のUNDPの指導によりジンバブエの技術力は高まっている。ジンバブエはアフリカの中でも技術力の高い国であり、UNDPでは現地の技術者を3ヶ月間イギリスに送り技術教育をするなど手厚く行っていた。

ジンバブエでの国産化 1

ジンバブエでのUNDP/GEFの協力は市場経済をベースとした民間による普及を目指し、購入者に低利融資を提供すると共に、国内技術の育成も行った。ジンバブエは簡単な機械製品は内製できる技術力、インフラを有し、バッテリーを製造する会社も2社ある。SHS関連ではチャージコントローラはバッテリー製造会社で、蛍光灯用のRFインバータは電灯などを製造する会社での製造が行われていた。これらはいずれも部品を買い集めて組み立てるアSEMBル工業となるが、ジンバブエではこれに必要なプリント基板の製作ができ、電子部品の流通も確立していた。しかし内製されたものは当初品質が悪く、様々なトラブルを起こしていた。一方、UNDP/GEFのプロジェクトでは10,000台のSHS導入も同時に行ってPV市場形成を行っており、市場競争の中で品質は少しずつ改善されていた。ジンバブエはその後経済が急激に悪化し、UNDP/GEFのプロジェクトも終了したため、PV市場が小さくなりこのような内製化の事業の維持は難しくなった。バッテリー会社は本来のバッテリー製造に力を入れるようになったため、チャージコントローラの技術進歩は止まっているが、RFインバータについては製造会社の倒産・起業、人の移動などの淘汰を経て、現在では実用上問題ない製品を作れる状態になっている。ジンバブエのように技術基盤のある国でもこれらの技術が実用レベルに達するには、10,000台のSHS導入と7-8年の歳月が必要だった。

ジンバブエでの国産化 2

JICA が 1998-99 年に行ったパイロットプロジェクトでは、SHS のコスト低減策の一つとして、国産品の利用を試みた。導入に先立って国産業者の技術調査を行い改善の必要が見られたので、必要点を指摘し改善品の試作を依頼した。しかし、予定された納期に間に合わない、依頼した部品の取り付け方が間違っているなどの問題点が多発し、チャージコントローラについては日本調達に切り替えることになった。この背景には開発調査では実施期間が限られており、その中で調達・据え付け・評価を行うため、技術指導の時間が取れず、また試作の注文ロットが少なく業者が真剣に取り組めなかったことなどが挙げられる。途上国の技術指導にはかなりの時間がかかり開発調査の中で行うのは難しいと思われる。

キリバスでは JICA 開発調査の後、EC が SHS の導入支援のためにコントローラ国産化技術指導を行い、その後の同国の SHS 普及に貢献している。途上国でも太陽光発電については初期段階を過ぎた国が散見されるようになり、今後は内製も考慮した技術指導をしていくことも課題となってくる。これには品質管理なども含めてその国にあった技術指導をしていくと共に、実用での評価も並行して行わなければならない、時間をかけた取り組みが必要になる。

キリバスでの国産化

キリバスでは JICA の技術協力により SHS の導入が行われた後、EU の協力で更に 200 台の SHS 導入が行われた。既に ESCO モードによる運営が JICA で確立されていたので、EU では更に技術指導に取り組み、チャージコントローラの製造技術を移転し、プロジェクトでは国産品を用いた。キリバスは小さな国で PV 事業は国営会社である SEC 社のみである。政府は公共施設の電化に SHS を導入するなど定常的な市場を提供し、更に SEC は周辺諸国にチャージコントローラを輸出するなど市場を確保して技術を維持している。キリバスの市場を考えると産業の育成は困難であるが、これにより SEC の技術が向上し、トラブル対応にも強くなった。

(2) 信頼性

PV 製品の内製化が行われるようになると、製品の信頼性が問題となってくる。90 年代頃に設置された SHS には信頼性不足で動作不良となり、ユーザーの信頼を失って普及に悪影響を与えたものが多くある。プロジェクトで専門家が導入したものはそれほど問題ないが、利用者が自分で購入したものや経済支援だけで購入を利用者に委ねたものに対しては管理できず、不良品が混入しやすい。このような経験から、信頼性の高い製品に対しては何らかの認証を与え、利用者が不良品を購入するリスクを抑えるシステムが必要とされている。認証は技術面だけでなくその国の社会制度などの面も考慮して導入しなければ有意義なものにならない。また認証を受けたもの

モロッコの認証システム

モロッコは世銀の PVMTI(Photovoltaic Market Transformation Initiative)により PV の導入が進み、アフリカではケニアと並んで PV 導入の進んだ国である。ここでは政府の行う地方電化で使われる PV 製品は品質がチェックされ、これに合格したことを示すラベルが貼られる。これは SHS の全てのコンポーネント(パネル、バッテリー、チャージコントローラ、蛍光灯)に対して行われている。ユーザーはそのラベルを見慣れており、ラベルのついた製品は信頼性が高いという評価が定着している。

は市場で有利になることから利権を伴うことになるため、公平に適用されるよう慎重に導入する必要がある。

中国の地方電化用太陽電池の認定制度

中国では UNDP/GEF の指導で地方電化に対して基金を設け、太陽光発電に対しては認定を受けた太陽電池を用いることを条件に \$1.5/W の補助金を交付する制度を導入した。しかしこの認定は、ある製品系列の代表製品が認定を受ければ、その製品系列は全て認定されるというルーズなものであったため、ほとんどの製品が認定されることになり、品質を維持することができなかった。認定事務の煩わしさからこのような簡易な認定手法をとったと見られるが、UNDP はこれでは認定の意味を果たしていないとして、現在、認定事務を停止させ制度の見直しを行っている。

(3) 技術基準

SHS の信頼性向上のために、導入する機材の技術基準を定め、一定品質以上のものを容易に調達できるようにする試みがドナーの支援で様々な国で行われている。本研究対象国でもほとんどが SHS の技術基準を持っている。ただしこれらの基準はドナーの持つ先進国の基準がベースになったもので、途上国の技術や社会風土にあった現実的なものに改訂していく必要があるとされている。モロッコの認証制度は参考になると思われるが、現実的な基準の制定には多くの経験を必要とする。例えば SIDA ではタイの Asian Institute of Technology (AIT) と協力して、周辺 6 カ国との連携によって様々な技術情報を集め、それぞれの国での基準などの導入を支援している。SHS の構成機器は国際的に使われているものが多く、周辺国での経験を活用できる体制を作っていくことで、効率的に普及を進めることができると思われる。

SIDA のアジア技術プログラム (RETS-Asia)

SIDA は 1999 年から 2004 年にかけて AIT と協力し、周辺 6 ヶ国(バングラディッシュ、カンボジア、ラオス、ネパール、フィリピン、ベトナム)の研究機関と連携で地域に根ざした再生可能エネルギーの技術開発に取り組んできた。様々なプログラムが実施されたが、太陽光発電ではチャージコントローラやインバータの技術指導の他、技術トレーニングや技術基準の指導も行ってきた。これらの情報は各国で共有されウェブにも公開されている (www.retsasia.ait.ac.th)。地域に根ざした技術開発であり、途上国でのノウハウが蓄積されている。今後の技術協力の参考になる手法と思われる。

(4) 設置・保守技術

PV システムの設置・保守についてはこれまでの JICA プロジェクトで多くの取組みがなされ、基本的な手法が確立しつつある。即ち、利用者に対しては 2~3 回の利用者教育、設置者や現地管理者には 1 週間程度の講習と OJT で持続可能であることが本研究対象プロジェクトの結果から判断できる。このようなトレーニングは JICA 開発調査の中で行われたので、時間的な制約も有り、パイロットプロジェクト関係者だけを対象としたものになっているため対象者が限られている。今後の PV 普及を容易にしていくためにはより多くの人に実施し、更に対象国自身で持続的に行えるようなトレーニング機材や体制作りの支援も必要となってくる。SHS の技術はそれほど難しいものではないが、地方電化として実施していくには全国規模で、できるだけ現地におけ

る保守ができる能力を高めておくことが必要である。そのためのトレーニングプログラムの実施は重要な課題と考えられる。

ジンバブエの技術トレーニング

ジンバブエで JICA はトレーニングを現場技術者、ユーザーに対して行った。現場技術者に対しては 1 週間で動作原理と設置方法、保守方法について実習を中心に行った。ユーザーに対しては 3 回に分けて、まず設置後に現場技術者によって、3 ヶ月のシステムに慣れてくる頃に運営している NGO の技術者と現場技術者によってそれぞれ 1 日行われた。更に数ヶ月後の日照が少ない冬の日ユーザーに対して電気を節約する使い方についての教育が 1 日行われた。このように教育は時間をかけるだけでなく、繰り返し行っていくことも重要である。

中国の技術トレーニング

中国では GTZ が SHS 運用の現場技術者の育成を 4 年にわたって実施してきた。このトレーニングではまず本国から SHS の専門家を 2 名派遣し、約 10 人のマスタートレーナーを育成した。マスタートレーナーは 2 人ペアで更に 10 人ほどのトレーナーを育成し、育成されたトレーナーはそれぞれの地域に戻って現場技術者の育成にあたり、これまでに 1700 人の現場技術者を育成した。最後に育成された現場技術者には認定証を発行し、彼らは少なくとも 2 年間は現場での技術管理に従事することを義務付けた。

7-2 最新の PV 利用技術体系

(1) バッテリー

PV に自動車用バッテリーを使う場合が多いが、電気を使いすぎない、バッテリー液を適正レベルに保つなどの管理を行う必要があり、それでも 2 ~ 3 年で寿命となる。太陽電池用に開発されたディープサイクル (深放電) バッテリーを用いても寿命は 5 年程度といわれている。最近ではバッテリー液管理不要のシール型バッテリーが出回っており、途上国や遠隔地で蒸留水の確保が困難なところでも使いやすくなってきている。太陽電池用バッテリーは自動車用バッテリーの 2 ~ 3 倍の価格となるため、コストパフォーマンスでは自動車用バッテリーの方がやや有利であるが、信頼性の高いシステムとするため太陽電池用バッテリーを用いる場合も多い。

自動車用バッテリーと太陽電池用バッテリー

自動車用バッテリーはエンジン点火のため大電流を瞬間的に発生するよう設計され、太陽電池用バッテリーは小電流を長時間発生するよう設計されている。太陽電池用バッテリーの方が大量の電気エネルギーを消費するため深放電型となる。自動車用と太陽電池用では電極の製法が異なっている。

いずれにせよ、バッテリーは数年以内に確実に交換が必要となるため、その交換費用を確保することが SHS の持続可能性のための重要な課題となる。

(2) コントローラ

コントローラは、バッテリーの寿命を縮める原因となる過放電や過充電を防ぐため、太陽電池パ

ネルとバッテリーの間に取り付けられ、放電量や充電量を制御しバッテリーを保護する。SHS の故障原因の多くは、コントローラの電流容量を超える電気機器の使いすぎや、バッテリーとの接続でプラスとマイナスの極を間違えて接続すること等に原因がある場合が多い。このため、コントローラの故障修理体制の整備とともに、故障を未然防止するための利用者教育の徹底が重要である。

ラオスではコントローラについては15%程度が故障していた。自然故障と無理な使用の両方の原因が考えられる。この場合、太陽電池パネルと電池を直結して使っている。また、蓄電された電気をできるだけ使おうとするため(好ましくないが)、意図的にコントローラを外して機器と直結している例も多数確認された。

BCS の利用者は自宅ではコントローラを使わずに電気機器を利用している。これは常識的には好ましくない。しかし、通常、利用者は白熱電球ではなく蛍光灯を使っており、ある程度電圧が低下すると点灯しなくなるため、これが一種のコントローラの機能を果たしているとも考えることもできる。

(3) ソーラーランタン

PVを利用したポータブルな電灯であり、数Wの太陽電池パネル(30cm角程度)と小型のバッテリー、チャージコントローラ、蛍光灯から構成され、太陽電池パネル以外の部分は一体化されている。太陽電池パネルはケーブルで接続され、戸外に置き発電する。ランタンにサービスコンセントを設け、ラジオ程度の電気消費の小さなものに使えるようにしたものもある。通常\$100程度で購入できる。

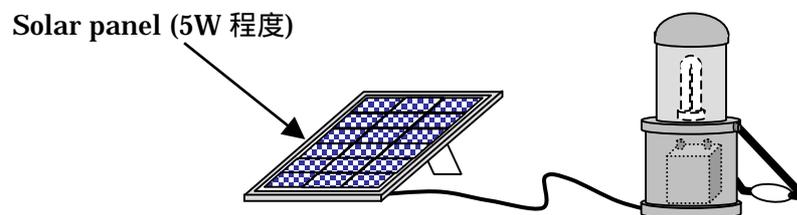


図 7-1 ソーラーランタン

(4) ソーラーポンプ

PVを電源として交流または直流モーターによってポンプを駆動させ、揚水するシステムである。途上国、特にサヘル地方などでよく普及しているシステムである。これはソーラー駆動ポンプが、これまで使われてきたディーゼル駆動ポンプに比べて経済的で遜色無く、更に信頼性が優れているという評価が定着してきたからである。ソーラーポンプはバッテリーを持たないため保守がほとんどなく信頼性も高い。特にインバータを用いない直流モーターポンプを利用すると故障リスクがさらに低下するため、途上国での利用には適している。かつては直流ポンプにブラシ式モーターを使っていたため故障しやすかったが、最近ではブラシレスモーターが普及し信頼性も高くなっている。

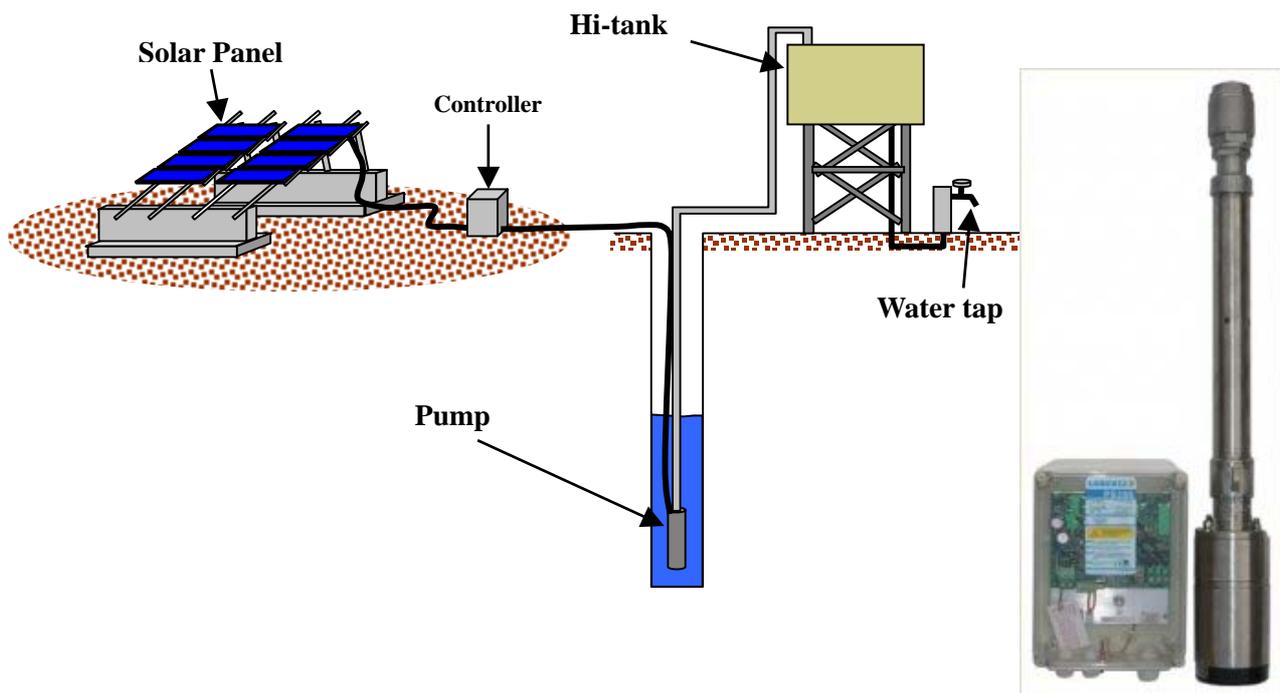


図 7-2 ソーラーポンプシステム（直流式）

ディーゼル発電機は 1-2 年に一度の保守点検や燃料、潤滑油の確保問題があり、利用者側からはほとんど保守の要らないソーラーポンプが望まれる傾向にある。特に小型ポンプの場合、経済性は太陽光発電の優位性が強く出る。これは小型のディーゼル発電機は 3kW ぐらいまでで、それ以下のものは大型ディーゼル発電機を使うため効率が悪くなるからである。ソーラーポンプは太陽光発電の応用としては最も利用価値が高く、途上国の水確保のために有効な手段となり得る。

(5) 通信電源

通信用の電源としては、電話のマイクロ波などのレピータ用電源(レピータは通常僻地に設置される)と、クリニックや役所など公共施設の無線用電源の 2 通りの応用がある。いずれも太陽光発電の出力を交流変換し、無線機を駆動する形となる。レピータは電話会社の管轄にあり、電話会社は技術力も持っているため導入や維持管理について問題はない。

通信レピータ

電話などの回線は有線や無線で伝送されるが、数十 km ごとに中継して信号増幅する必要がある。この増幅器がレピータと呼ばれるが、長距離伝送を行うような場合、中継地点が未電化であることも珍しくなく、先進国でもレピータに太陽光発電を電源に用いることは多い。

公共施設通信の場合、電源はそれほど大きくなり(数十から 200-300W 程度、無線の規模による)が、バッテリーを必要とするため SHS と同様の維持管理が必要となる。特にバッテリー交換費用の確保を考慮しておく必要がある。

(6) 街路灯

途上国はセキュリティが充分でないことが多く、街路灯に対するニーズは意外に大きい。街路灯は太陽電池、バッテリー、チャージコントローラ、ランプなどとポールやボックスからなりシンプルな構造であるが、屋外に設置されるため強度を持った構造が必要となり、価格も高い。ポールの上に太陽電池とランプが設置されるが、ポールが低いと盗難の恐れがあるため 3m 以上の高さが必要になり、地中にも 1m ぐらい埋め込む。ランプは 15W ぐらいの明るさの蛍光灯が必要となる。常夜灯であるため点灯時間は 10 時間程度必要で太陽電池は 50W、バッテリーは 70Ah 程度必要となる。街路灯は多数のものが散在して設置されることが多く、バッテリーの管理負担の面からシール型のものを用いることが望まれる。

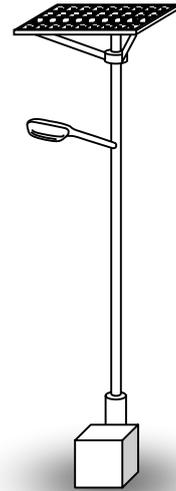


図 7-3 ソーラー街路灯

(7) クリニックシステム

クリニックでは照明に対するニーズが大きく、また薬品用冷蔵庫や緊急無線の電源にも太陽電池が利用される。照明は夜間の診療や授産に必要である。冷蔵庫は 24 時間運転のため、かなり電力消費量が多い。内容積 50 liter ぐらいの冷蔵庫で 100-200W ぐらいの太陽電池を必要とし、冷蔵庫自体も特殊仕様で価格も非常に高い。

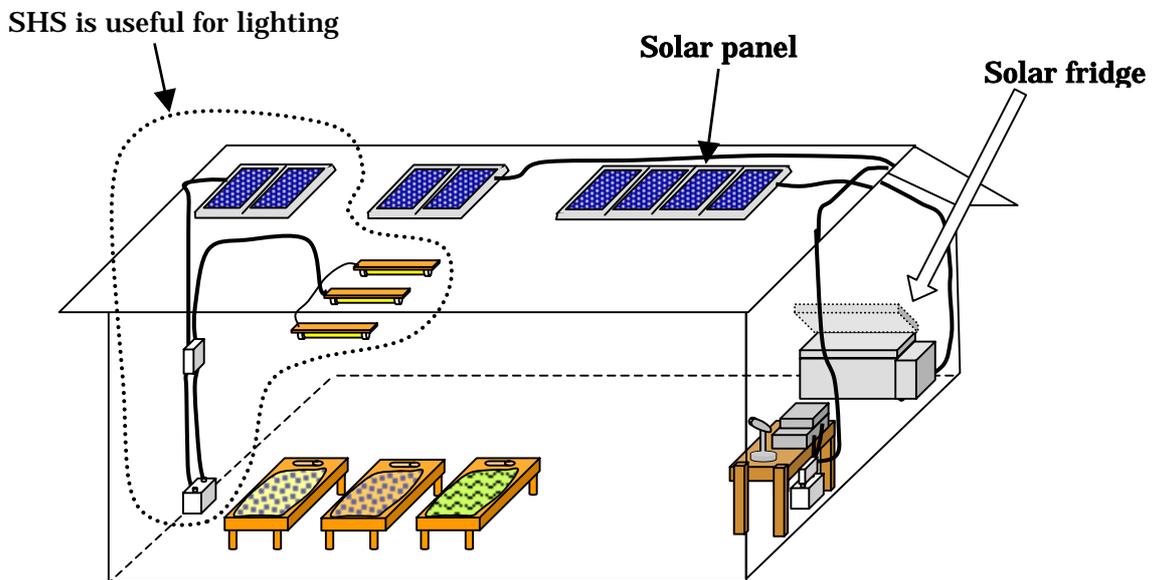


図 7-4 クリニックシステム

途上国用の PV 冷蔵庫については WHO / UNESCO が豊富な経験を有しており、そこで EPI(Expanded Programme on Immunization)といわれるプログラムの中で推奨品を出してい

る。これは長年の途上国での PV 冷蔵庫導入の経験から作られたもので、推奨技術仕様やメーカー品を提示しており、アフリカではかなりの実績がある。WHO では PIS(Product Information Sheets)を出しており、Web からでも参考情報が取れる(www.who.int)。ワクチン用の冷蔵庫は重要性が高いため、他の電気製品とは分離し、専用の太陽電池、バッテリーを設置するのが一般的である。またバッテリーを使っているため保守やバッテリー交換の費用確保は当然配慮しておく必要がある。クリニックでも保守管理の費用や体制については上部組織での認識が重要になる。特にクリニックなどの組織は電気関係設備への意識が低くなりがちなのでプロジェクト形成時には注意が必要である。

(8) ミニグリッドシステム

太陽光発電の特徴の 1 つは送配電コストが不要になる点であり、ミニグリッドのように配電線を必要とする場合は一般的に経済的で不利になる。今後少なくとも数年間に予想されるコストではこの傾向は変わらないと見られる。従ってミニグリッドを考える場合はディーゼルや水力、バイオなど他の発電方法を先ず考える必要がある。他の再生可能エネルギー源が無く、遠隔地でディーゼルの確保が困難なような場所では太陽光発電が有効となるが、そのような場所はあまり多くない。

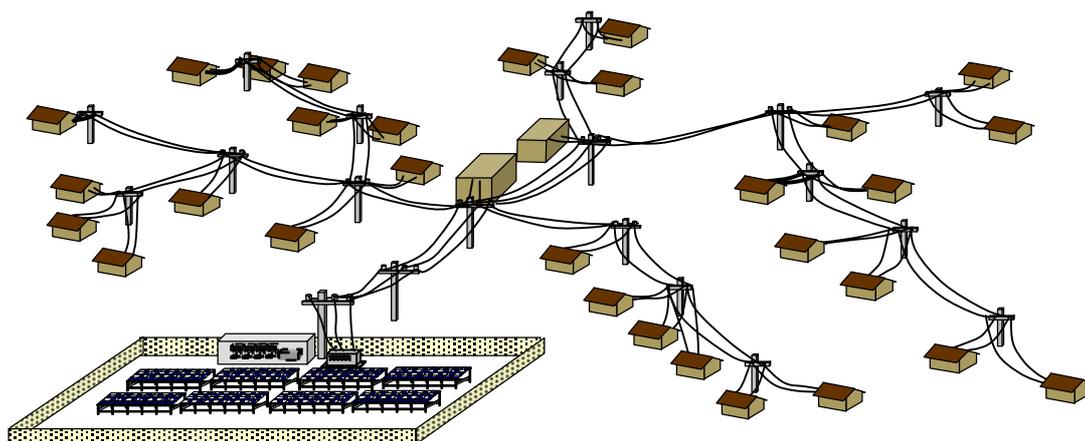


図 7-5 ミニグリッドシステム

太陽光発電のコストで最大のネックとなるのはバッテリー関係で、バッテリーが少なくて済むような場合は経済的にも有効になることもある。そのためには昼間に負荷があって、太陽光で発電した電力が蓄積されること無くそのまま使える量が多い方が有利であるが、これはその村が産業や商業などで昼間の活動が存在していることを示している。数は少ないであろうが、遠隔地である程度発展した村落の電化などが考えられる。セネガルでは GTZ が 250 世帯の村に 20kW のミニグリッドを導入している。

数 kW のミニグリッド

数 kW のミニグリッドの場合、制御回路やインバータなど周辺機構の自己消費電力に留意を要する。大型のシステムで使われているような部品が使われると数 100W の電力を要し、24 時間運転になると自己消費電力量が無視できなくなる。自己消費電力は太陽光発電能力の 3% ぐらいに抑える方がよい。

この村は近辺の交易の中心で、商業が盛んである。また、村の中心部の商業施設や公共施設などのみを小型のミニグリッドで給電し、他のエリアは SHS や BCS で対応するような形態も考えられる。このような場合はミニグリッド自体は数 kW 程度の小さな発電システムとなり、ディーゼルやバッテリーでバックアップすることになる。ジンバブエではイタリアの協力で 1kW のマイクログリッドを村落の中央部に設置し、周辺の学校やクリニックに給電することが提案されている。

(9) 系統連系システム

系統連系自体は都市部の電力供給手段と考えられるため、地方電化とは直接の関係は持たない。しかし系統連系に適用される技術や基準などはミニグリッドとも関連を持つことを考えると間接的には系統連系の動向を把握しておいたほうが良い。系統連系は太陽電池とインバータだけのシンプルな構造なので、太陽光発電としては発電コストは低くなるが、比較対照となる系統の発電コストも大規模発電でコストが低く、結果的に太陽光のコストは 2 倍以上になる。太陽光発電が従来の発電のコストに近づくにはまだ 10 年以上かかると見られている。従って、太陽光系統連系を導入するのは環境対策が必要な場合や、ドナー支援等でコスト負担が抑えられる場合に限られる。太陽光発電の系統連系技術は先進国の導入促進策の効果で発達し、特にインバータの変換効率（直流から交流への変換）が向上し価格も低減している。この技術はディーゼルや水力などを主体としたミニグリッドに対し、ハイブリッドで太陽光発電を連系させる方法に応用できる。現在 NEDO がこの方法を用いた様々なハイブリッドシステムについて、東南アジア諸国で系統運用の実証実験している。

7-3 技術フロンティア

(1) 太陽電池

現在の太陽電池は結晶系シリコンのもので市場の 95% を占めている。残りの大部分がアモルファスシリコンである。アモルファスシリコンは膜厚が $1\mu\text{m}$ 以下で結晶系 ($3000\mu\text{m}$) に対し極めて薄く、低価格でできると期待されたが、実際には製造プロセスにコストがかかり結晶系とそれほど変わらない。一方、アモルファスシリコンの変換効率 (7-8%) は結晶系の半分 (16-17%) ほどで、同じ面積なら出力は結晶系の半分になる。アフリカでは店頭販売でアモルファスシリコンの太陽電池パネルがよく見受けられるが、このような説明がなされずに販売され、購入後にパワー不足でユーザーの不満を招くケースが見られる。PV 市場の成熟度を測る一つの指標となる。技術開発の面では結晶系の効率は現状で限界に近い値に達しており、革新的技術が生まれにくい限り、今後の向上は見込めない。むしろ現在は基板を $50-100\mu\text{m}$ に薄くして、コストを下げる方法について研究が進んでいるが、これも革新的な技術が必要と見られている。ここ数年間は太陽電池の性能、価格は現状から大きな進展は無いと見られる。

(2) コントローラ

バッテリーの充放電を制御するコントローラは ON / OFF するだけの簡単な回路であるが、この機能によりバッテリーの寿命が左右されるので、信頼性の高いものが必要である。信頼性を高くするために、制御部品を IC 化したりモールドしたりする他、SW 素子にリレーを用いることも効果

が高い。またバッテリーに負担を与えず充電をするために PWM という手法を用いることも定着してきた。最近のコントローラーはこれらの機能を取り入れ、高信頼化されている。



図 7-6 SHS 用コントローラ

BCS は利用が進むと、大型、小型など様々なバッテリーの充電を行うようになり、運転者に技能が必要になってくる。このような状況を想定して高機能の集積型チャージコントローラが考案されている。このコントローラには同時に多数のバッテリーが接続でき、コントローラ側でそれらの特性を検知し、各バッテリーに適した条件で充電を行うので、運転者は詳細な技術知識が無くても操作できる。また、全てのバッテリーで太陽電池を共有しているので利用効率も高くなる。

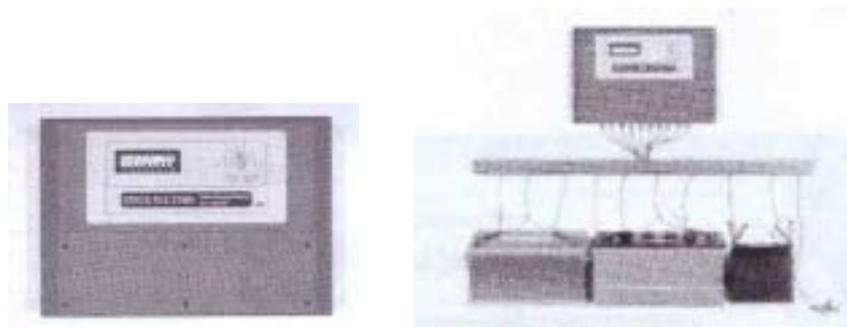


図 7-7 BCS 用集中型コントローラ

(3) LED 電球

近年開発された白色の Light Emitting Diode (LED) を照明用の電灯として使う試みがなされている。既に自動車用にはかなり利用されており、12V バッテリーとの組み合わせは問題ない。特長は電力消費、発熱がわずかで特別な保守は必要なく、寿命も非常に長く 50,000 時間以上使うことができるといった点であり、PV 地方電化には最適な条件を備えていると言える。開発されてまだ間がないため価格が高く発光効率もそれほど高くないが、量産化が進



図 7-8 LED 電球

んでいるため将来の価格低下は確実である。1個あたりの発光量は少ないので多数のLEDを合わせてランプを作る必要があるが、将来はPVシステムにおける標準的な電灯となる可能性がある。

(4) プリペイドカード

南アフリカで広く用いられているもので、SHSシステムにカード読み取り器を取り付け、カードに記録され日数だけ電気が使えるようにしたもの。カードは近くの売店などで販売できる体制を作る。料金徴収が着実に行えるという利点があるが、コストはそれだけ高くなる。カード読み取りのためにマイクロプロセッサを内蔵しているため、付加的な機能を導入するのが容易であり、南アフリカのシステムでは配線を改造したり盗難したときにシステムをロックする機能を付加している。

第 8 章 PV 利用の環境問題と CDM の活用可能性

8 - 1 使用済みバッテリーの処理

(1) バッテリー処理問題の現状

PV システムは太陽電池パネルで発電した電気の貯蔵のために鉛バッテリーを利用する。バッテリーの寿命は太陽電池パネルの寿命と比較すると短く、一般に数年から 5～6 年程度で交換を行う必要があり、使用済みバッテリーを環境中に放置すると鉛による環境汚染が懸念される。SHS 等による PV 地方電化計画におけるバッテリー処理対策を検討する際に最も重要なポイントは、当該国における自動車用バッテリーの回収・リサイクルの実施状況である。当該国で使用済み自動車用バッテリーの回収・リサイクルが確立している場合には、PV システム用の使用済みバッテリーも既存の自動車用バッテリーの回収・リサイクルシステムの利用を前提として計画することが妥当であり、PV 用バッテリー独自の回収・処理計画を講じる必要はないと思われる。多くの開発途上国では、バッテリーの鉛は回収・リサイクルされ、再生鉛として利用されるが、再生鉛の価値に比べて回収等の人件費が安いと、わが国と異なり使用済みバッテリーは有償（回収業者が使用済みバッテリーを一定価格で買い取ること）で回収業者に引き取られている。したがって、SHS の使用済みバッテリーによる環境汚染は、一般論としてはしばしば論じられるテーマであるが、現実には問題は生じていない。

一方、使用済みの自動車用バッテリーの回収・リサイクルシステムが整備されていない国において PV 地方電化計画を実施する場合には、自動車用バッテリー自身の回収・処理システムの整備も合わせた総合的な回収・リサイクル対策を検討することが望まれる。使用済みバッテリーの回収・輸送費用が再生鉛の原料としての価値を上回る場合には使用済みバッテリーの回収・リサイクルシステムは商業ベースでは整備困難であるが、このような状況は、特に南太平洋等の小規模島嶼国で懸念される。このような国・地域においては、バッテリー販売に際して一定の預り金を徴収し、回収時に預り金を返金するといういわゆるデポジットシステムの導入等、国・地域レベルでの回収促進のためのインセンティブ制度を検討する必要がある。また、このような国・地域では SHS 等の PV 機器市場が小さいために SHS 用の蛍光管、バッテリー等のコンポーネント類の地元市場での調達にも問題がある可能性も高いことから、fee-for-service 方式を導入して、各種コンポーネントの交換とともにバッテリー交換も事業者が行うことにより使用済みバッテリーの回収・リサイクルを確実にすることも考えられる。

(2) JICA プロジェクトにおけるバッテリー処理の現状

PV システムに利用される鉛バッテリーは、充放電深度等の差異はあるが基本的には自動車用バッテリーと同じものであり、ほとんどの開発途上国において SHS の普及台数よりも自動車の普及台数があるか上回っている状況から、使用済みバッテリーは自動車用バッテリー処理の仕組みに組み込まれて処理されている。JICA のパイロットプロジェクトにおけるバッテリーの処理状況は、アンケート調査の結果からみると、パイロットプロジェクトを実施した 9 カ国中、回答欄に記載がなかったキリバス及びセネガルを除くと、シリア、ラオス、ボリビアの 3 カ国がリサイクルを

実施しており、ボツワナ、インドネシア、モンゴル、ジンバブエの4ヶ国がなんらの対策を講じていない。実際にラオスでは JICA パイロットプロジェクト参加者がこのようなバッテリー回収業者に売却している実態が確認できた。ボツワナでは、fee-for-service 方式による SHS 及び BCS プロジェクトを実施しているため、使用済みバッテリーは事業者が保管していた。

8-2 CDM スキームの活用可能性

(1) GHG 排出削減効果

開発途上国における SHS を中心とする太陽光発電の GHG 排出削減効果については、これまでに多くの調査・報告が行われている。これらの報告によれば、SHS の GHG 排出削減効果はベースライン (SHS 導入が行われない場合に生じていた状況における GHG 排出量) を電力会社の電力供給、小型のディーゼル発電による電力供給、ケロシンランプの使用とする3つのケースで大きく異なる。

1) JICA の PV 地方電化プロジェクトの試算例

これまでに実施された JICA の代表的な PV 地方電化プロジェクトにおいて行われた GHG 排出削減効果の試算結果をまとめると以下の通りとなる。

ディーゼル発電をベースラインとしたケース (ラオス国再生可能エネルギー利用地方電化計画調査³、セネガル共和国太陽光利用地方電化実施計画調査⁴)

ラオスの調査では、1世帯当りの電力需要を 44.4kWh/年と想定し、SHS の機器製造に要するエネルギーとディーゼル発電とを比較して 1kWh 当りの CO₂ 排出量は 1,232g-CO₂ 少なく、50Wp SHS 1 台当りの年間 CO₂ 排出削減量は 54.7kg と算定された。同様に、セネガルの調査では、SHS を小型ディーゼル発電と比較して 1kWh 当りの CO₂ 排出削減量を 1,280g-CO₂ と算定した。

ガス火力発電システムによるグリッド延長をベースラインとしたケース (ボリビア共和国再生可能エネルギー利用地方電化計画調査⁵)

PV システムの製造、輸送、設置工事等に伴い発生する CO₂ 排出量は、代替案として検討するガス火力発電の長期運用により発生する CO₂ 排出量と比較して無視できるほど小さいと判断されることから検討対象から除外している。この結果、SHS の CO₂ 排出量はゼロとなり、ガス火力の CO₂ 排出量が SHS による CO₂ 排出削減量となる。この結果算出された SHS の 1kWh 当りの CO₂ 排出削減量は 139g-CO₂ となる。

³ プロアクトインターナショナル(株)、(株)四国総合研究所、ラオス国再生可能エネルギー利用地方電化計画調査報告書、2001年2月

⁴ (株)コーエイ総合研究所、(財)日本エネルギー経済研究所、セネガル共和国太陽光利用地方電化実施計画主報告書、2002年3月

⁵ (株)コーエイ総合研究所、日本工営(株)、ボリビア共和国再生可能エネルギー利用地方電化計画調査主報告書、2001年9月

照明用として各世帯が消費している灯油量をベースラインとしたケース（ボツワナ国太陽光発電地方電化計画調査⁶）

ボツワナの村落におけるエネルギー消費の実態調査報告（Urban and Rural Energy in Botswana: Needs and Requirement, EAD, July 2001）に基づき、灯油ランプとの比較によって SHS による CO₂ 排出削減量は 1kWh で 2,680g- CO₂、50Wp SHS で年間 193kg- CO₂ と算定している。

上記の調査結果を比較すると、SHS の CO₂ 排出削減原単位は、どのようなエネルギーを代替するかの想定により大きく異なることがわかる。ランプの灯油使用量を代替すると想定したボツワナと天然ガス火力発電の電気を代替としたポリビアでは、kWh 当りの CO₂ 排出削減量は 20 倍近い差が生じている。SHS で小型ディーゼル発電による電気を代替としたラオス及びセネガルとボツワナを比較すると、ボツワナの CO₂ 削減効果はラオス、セネガルの約 2 倍となっている。

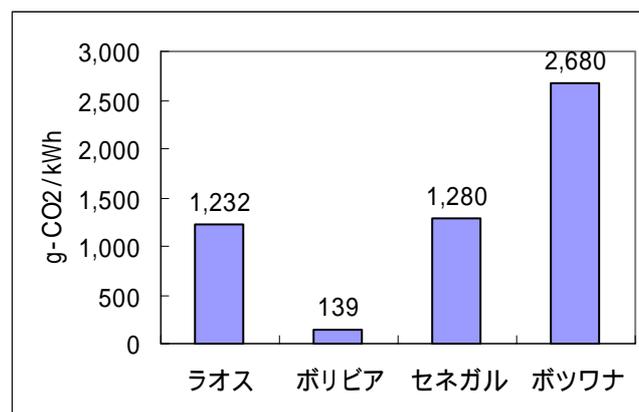


図 8-1 SHS の CO₂ 排出削減原単位の比較

2) 海外における太陽光発電の GHG 排出削減効果の検討事例

海外における SHS の GHG 排出削減効果に関する代表的な調査結果は以下に示す通りである。

Study to the Streamlining of CDM procedures for Solar Home Systems

本調査は、シェル財団（Shell Foundation）とオランダ政府の助成により、オランダエネルギー研究所(Energy Research Center of the Netherlands)、米国 Sunrise Technologies Consulting 社および英国 IT Power 社が、SHS の CDM プロジェクト化を行う際に課題となる取引コスト（間接費用）を削減するための方策について検討したものである。その成果は幾つかの論文^{7,8}及びワ

⁶ ユニコインターナショナル㈱、電源開発㈱、ボツワナ国太陽光発電地方電化計画調査最終報告書、2003年2月

⁷ Towards a streamlined CDM process for Solar Home Systems, J.R. Ybema ほか、ECN-C-00-109, November, 2000

⁸ Towards a streamlined CDM process for Solar Home Systems, J.W. Martines ほか、ECN-RX-01-073, December, 2001

ークショップ⁹で発表されている。これらの報告によれば、SHS の温室効果ガス削減量は一戸当りの削減量は小さいものの 1 kWh 当りの削減量が多いという特徴を有している。太陽光発電の温室効果ガス削減効果は、グリッド電力の代替、独立型ディーゼル発電の代替、照明用灯油ランプの灯油使用代替の 3 つのケースにより数値は大きく異なる。途上国における平均的なグリッド電力の CO₂ 排出量は 0.56kg-CO₂/kWh、オフグリッドのディーゼル発電機で 1.30kg-CO₂/kWh であるのに対して、灯油ランプの灯油消費を代替する場合には 5kg-CO₂/kWh である。下表に各種 SHS 地方電化プロジェクトの年間の温室効果ガス排出削減量の推定結果を示す。

表 8-1 SHS 地方電化プロジェクトの年間温室効果ガス排出削減量の推定

国名	プロジェクトタイプ	SHS の容量 (Wp)	平均ケロシン代替量 (L/月)	年間 CO ₂ 排出削減量 (kg/年) *
アルゼンチン	GEF	50 ~ 400	15 ~ 21	504
ホンジュラス	AIJ (USA)	30 ~ 60	7.6	246
インド	民間の GHG 削減ファンド	35(20 ~ 53)	10	373
インドネシア	WB/GEF	50	14.3	448(758**)
ネパール	ネパール政府	35	4.7	79
ケニア	民間の現金販売	12 ~ 50	9	205
南アフリカ	Shell-ESKOM による電気料金徴収モデル	50	8	230(40***)
スワジランド	民間の分割払いモデル	50	4.4	125

注 * ろうそく及びバッテリーチャージの代替による削減量を含む。

** 間接的な温室効果ガス削減効果を含む場合

*** グリッド電力をベースラインとした場合

また、この調査では、SHS の CDM 化を促進するため、多くの SHS プロジェクトの分析を元に次のような標準化された GHG 排出削減量の算定式を提案している。

GHG 排出削減係数 (年間): 75kg- CO₂/SHS システム + 4kg- CO₂/Wp

この算定式を用いて 50Wp SHS の GHG 排出削減量を算定すると、年間で 275kg- CO₂ となる。

本調査の一環として実施したバッテリーチャージングについてのライフサイクル GHG 排出量の試算結果は次の通りである。

⁹ Facilitating Small-Scale Renewable Energy Projects in the CDM: Streamlining participation process with an emphasis on solar home systems, September, 2001

表 8-2 バッテリーチャージングのライフサイクル CO2 排出量

	充電用の電源		
	ディーゼル	グリッド	平均
バッテリー充電効率 (%)	85	85	85
インバータ効率 (%)	80	80	80
CO ₂ 排出原単位 (kg/kWh)	1.25	0.8	1.025
1 充電当りの輸送に伴う CO ₂ 排出量 (kg/回)	0.28	0.28	0.28
バッテリー寿命	1.5	1.5	1.5
毎月の充電回数 (2 回/月)	1.5	1.5	1.5
年間 CO ₂ 排出量 (70Ah)	60	55	57.5
年間 CO ₂ 排出量 (100Ah)	84	76	80

Could carbon financing appreciably accelerate the diffusion of Solar Home Systems?

この報告¹⁰は世界銀行炭素基金の PCF plus の論文として発表されたものであり、GEF の Photovoltaic Market Transformation Initiative (PVMTI)の経験に基づき、SHS 地方電化の CDM 化の可能性について論じている。PVMTI は、民間企業による大規模な PV 導入事業を支援することを目的に、インド、ケニア、モロッコの 3 カ国で 3,000 万ドルの支援を行うプロジェクトである。民間企業に対する支援は低利融資を中心に、部分信用保証、補助金、技術援助を組み合わせたものであり、PV 設置費用の概ね 7~10%相当の助成を行っている。これは PV 設備の単価を 10 ドル/Wp と仮定すると 0.7~1.0 ドル/Wp に相当する。これに対して GHG 削減クレジットの価格を CO₂ トン当たり約 3~8 ドルと仮定して、ベースラインを照明用灯油ランプとすると、炭素クレジットは 0.33~1.0 ドル/Wp になり、PVMTI の助成効果とほぼ同程度になる。

GEF 及び AIJ の SHS 地方電化プロジェクトの照明用平均灯油使用量は下表の通りである。全プロジェクトの平均灯油消費量 0.33 l/日を前提に、50Wp SHS の GHG 排出削減量を試算すると年間 300kg となる。

表 8-3 プロジェクトの平均照明用灯油消費量

プロジェクト名	灯油消費量 (l/月)	灯油消費量 (l/日)
アルゼンチン/GEF	15.2 ~ 21.3	0.61
ベニン/GEF	3.0 ~ 11.7	0.25
ブルキナファソ/AIJ	12.0	0.40
ホンジュラス/AIJ	7.6	0.25
インドネシア/AIJ	16.4	0.55
インドネシア/GEF	15.0	0.50
ペルー/GEF	7.5	0.25
スリランカ/AIJ	10.0 ~ 13.4	0.39
ジンバブエ/GEF	2.8	0.09
トーゴ/GEF	3.0 ~ 11.7	0.25
全プロジェクト平均		0.33

注：本表の原典は、Calculating, Monitoring, and Evaluating Greenhouse Gas Benefits from solar Home Systems in Developing Countries, Kaufman, S. , April, 1999 である。

¹⁰ Robert F. Lee ほか、June, 2001

次に、ディーゼル発電をベースラインとする場合と灯油消費をベースラインとするケースを比較する。一般的に小規模なディーゼル発電の燃料消費効率は 1kWh 当たり 0.5～1.0 リッターである。これを前提に灯油消費量をベースラインとする場合との比較を下表に示す。

表 8-4 SHS の年間温室効果ガス排出削減量の比較

燃料消費効率 (単位：l/kWh)	炭素排出原単位 (単位：kg-C/kWh)	1日あたり発電電力量 (50Wp,日照：4時間 単位：kWh/日)	GHG 排出削減量 (単位：kg-CO ₂ /年)
0.5	0.34	0.20	92
1.0	0.68	0.20	183
0.33 l/day(灯油)		0.20	300

このようにベースラインを小規模ディーゼル発電とする場合と灯油消費量とする場合を比較すると、灯油消費量をベースラインとする場合のほうが GHG 排出削減量は 2～3 倍多い結果となる。

Does the use of Solar Home Systems contribute to climate protection ?

この論文は、GTZ の R. Posorski ほか *Renewable Energy* 28 (2003) に投稿した論文である。この論文の目的は SHS を用いる地方電化に関する次の論点について分析を行うことである。

- 様々な理由から SHS は計画された耐用年数を満足していない場合が多い。(途中で稼働を停止している。)
- SHS の生産、輸送、維持管理、スペアパーツの供給から発生する温室効果ガスが SHS の温室効果ガス削減量に反映されていない。

SHS 電化のベースラインとして、ディーゼル発電等によるミニグリッド、全国グリッドの電源構成、灯油ランプ・乾電池・自動車用バッテリーの利用の 3 ケースが考えられるが、本分析ではグリッドから離れた地域のベースラインシナリオとして灯油ランプ・乾電池・自動車用バッテリー利用のケースを選定している。SHS の規模については、小規模利用者のケースとして 15Wp、中規模利用者のケースとして 50Wp の SHS を想定し比較を実施した。両者の大きな違いは 50Wp の利用者はテレビを使うため、ベースラインのエネルギー消費に灯油及び乾電池に加え、バッテリーチャージングサービスを利用する自動車用バッテリーが含まれている点である。SHS 販売事業者の機材輸送及び維持管理サービスの費用と GHG 排出量を算出するため、SHS の輸入港から事業者の事務所までの輸送距離を 100km とし、10,000km² のサービス地域内に 3 つのサービスセンターを有して、それぞれのサービスセンターが半径 50km の範囲を対象に小型トラックを使ったサービスを行うものと仮定している。

基本ケースは SHS を 20 年間使用するとしており、15Wp SHS の設置工事、維持管理等から発生する温室効果ガス量は 20 年間で 160kg であるため、ベースライン GHG 排出量と比較すると 2.7% である。この結果、正味の GHG 排出削減量は 6 トンとなる。50Wp SHS の設置工事、維

持管理等から発生する温室効果ガス量は 650kg であり、ベースライン GHG 排出量の 6.8% である。この結果、正味の GHG 排出削減量は 8.9 トンとなる。この試算に対して、各種パラメータの変動による影響を分析した結果は下表の通りである。この結果、GHG 排出削減効果には SHS の寿命が最も影響が大きいことが明らかである。

表 8-5 各種パラメータが SHS の GHG 排出削減効果に与える影響

パラメータ	15Wp - SHS	50Wp - SHS
基本ケース	6.0	8.9
製造及び国際輸送を考慮しない場合	6.1	9.2
国内の資機材運搬・維持管理の輸送を考慮しない場合	6.0	9.1
海上輸送の代わりに航空輸送を利用した場合	5.7	6.0
サービスセンターから利用者への距離が2倍になった場合	5.9	8.6
単結晶シリコンのセルを利用した場合	6.0	8.8
SHS の寿命が 10 年になった場合	2.9	4.2
亜鉛炭素電池をベースラインとした場合	6.9	9.9

単位：温室効果ガス削減量(CO2 換算トン/20 年間)

3) GHG 排出削減効果についての考察

SHS による GHG 排出削減効果については、既述の調査によれば灯油ランプの灯油消費量をベースラインとし、その削減効果を評価することが最も効果が大きい結果となる。

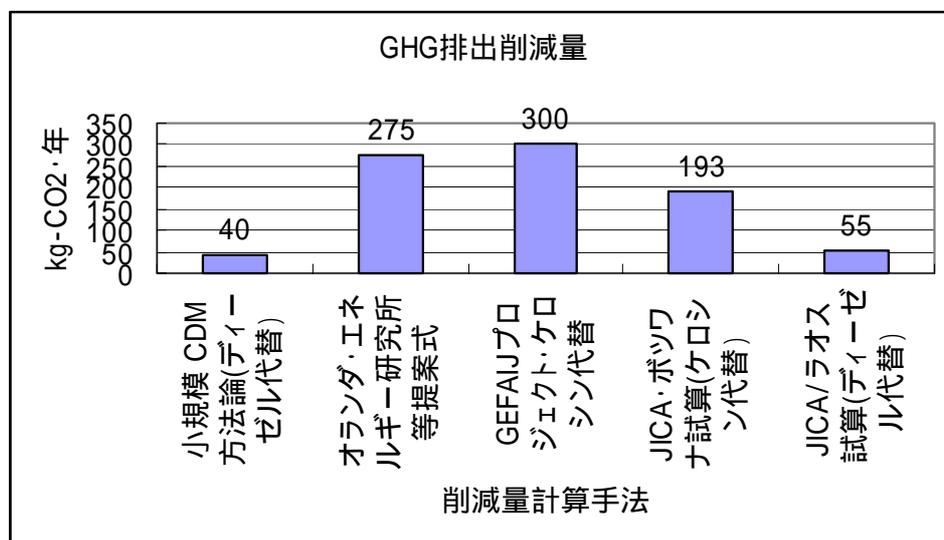


図 8-2 50WpSHS の年間 GHG 排出削減量試算の比較

開発途上国では、小規模の SHS (200Wp 程度まで) は主として照明及びテレビ・ラジオに使用される。テレビ・ラジオの電源としては、未電化地域で SHS が設置されない場合には乾電池(ラジオ及び白黒テレビ用のみ)、自動車用バッテリー(バッテリーチャージング利用)、小型ディーゼ

ル発電等が考えられるが、電気の使用量が多いテレビについては自動車用バッテリーを充電して使用することが最も普遍的である。Steven Kaufman¹¹によれば、世界の未電化世帯の10%程度が自動車用バッテリーを充電して電源として利用しているものと推定される。ケニアでは約5%、モロッコでは約14%の住宅がバッテリーを電源として利用している。バッテリーを利用する住宅は通常、月に2~4回程度充電している。12Vの自動車用バッテリーに50-100Ahの電気を充電すると仮定し、開発途上国のグリッド電力のCO₂排出係数を0.8kg/kWhとしてバッテリーチャージを利用する場合のCO₂排出削減量を試算すると、年間15~30kgとなる。小規模なディーゼル発電機を用いて充電している場合には効率が悪いと、排出削減量は増加する。

このように自動車用バッテリーを使用したバッテリーチャージング利用と灯油ランプの灯油消費量をベースラインとする場合を比較すると、自動車用バッテリーの場合の方がCO₂排出削減量は大幅に少ない。しかしながら、SHSの導入が行われる以前の村落の状況は灯油ランプの利用が圧倒的に多いことから、SHS導入によるCO₂排出削減効果は、照明用の灯油使用量を代替するものと考えて差し支えないものと考えられる。

(2) ベースライン・モニタリング方法論

太陽光発電に適用可能なベースライン・モニタリング方法論のCDM理事会による承認状況は下表の通りである。これらの方法論のうち、SHSに適用可能な方法論は、簡素化された小規模CDMプロジェクト方法論 .A.である。簡素化された小規模CDMプロジェクト方法論の適用範囲は再生可能エネルギーについては出力15MW以下に限定されているが、15MWは50WのSHSに換算すると30万戸に相当するため、実質的には全てのSHS電化プロジェクトに適用可能な方法論といえる。この方法論では、太陽電池パネルの製造、輸送等に伴い排出されるCO₂は無視し、太陽光発電等の再生可能エネルギーをCO₂排出量ゼロのエネルギーとして扱うことにしている。

表 8-6 太陽光発電に適用可能な承認済みベースライン・モニタリング方法論

	承認済みベースライン・モニタリング方法論
グリッド接続太陽光発電 (太陽光発電ミニグリッド、 太陽光発電ハイブリッド・ミニ グリッドを含む)	簡素化された小規模 CDM プロジェクト方法論： .D. グリッド接続再生可能エネルギー
	ACM0002：グリッド接続再生可能エネルギー発電の統合化方法論
	AM0005：グリッド接続小規模ゼロエミッション再生可能エネルギー発電
	AM0019：単一の火力発電所の一部を代替する独立型又はグリッド接続再生可能エネルギープロジェクト(バイオマスを除く。)
オフグリッド太陽光発電 (SHS、ソーラーランタン等)	簡素化された小規模 CDM プロジェクト方法論： .A. 利用者ごとに設置される再生可能エネルギー (SHS, 風力発電によるバッテリーチャージング)

注1：簡素化された小規模 CDM プロジェクト方法論は、出力15MW以下の太陽光発電に適用される。

注2：AM0019は、タイトルは独立型又はグリッド接続再生可能エネルギーとなっているが、既設の火力発電所の一部を代替するプロジェクトに適用されることから、オフグリッド太陽光発電に適用される可能性が乏しいため、グリッド接続太陽光発電の方法論に分類した。

¹¹ Rural Electrification with Solar Energy as a Climate Protection Strategy, Renewable Energy Policy Project, January 2000 No.9

SHS に適用可能な簡素化された小規模 CDM プロジェクト方法論の .A. 利用者ごとに設置される再生可能エネルギーの方法論の内容（抜粋）は次の通りである。

- 技術・手法
 1. この分類は再生可能エネルギーにより少量の電気を個別の住宅や利用者に供給する技術分野である。このような技術には、太陽光発電、水力発電、風力発電、その他の技術であって SHS、PV 揚水ポンプ、風力バッテリーチャージャー等の利用者によりオンサイトで利用される技術が含まれる。これらの再生可能エネルギー発電施設は新規に設置されるか既存の化石燃料による発電技術を代替するものである。これらの再生可能エネルギー発電施設の規模は 15MW 以下でなければならない
- バウンダリー
 2. 発電設備及び電力消費機器の物理的、地理的な場所がプロジェクトバウンダリーの境界となる。
- ベースライン
 3. エネルギーベースラインは現在利用されている技術またはプロジェクトが実施されない場合に使用されたであろう燃料消費量である。
- リークージ
 4. 再生可能エネルギー施設が他の活動から移設される場合には、リークージを考慮しなければならない。
- モニタリング
 5. モニタリングは次のいずれかによらねばならない。
 - a) 稼動中であることを確認するため、全てのシステムについての年に一度のチェック又はシステムの中のサンプルチェック
 - b) 全てのシステム又は全てのシステムのサンプルについての発電電力量の計測

ここでは SHS を設置しない場合の利用者による発電のベースラインとして、ディーゼル発電によるミニグリッド電化とする方法論が採用されているが、開発途上国における現実には SHS が導入されない場合には従来どおりの灯油ランプによる照明を利用し続けることが一般的である。このため方法論の修正を CDM 理事会に要求する必要がある。

(3) CDM プロジェクト化の効果

SHS 電化プロジェクトを CDM プロジェクト化する場合の効果、灯油消費量をベースラインとして算出してみる。50Wp SHS のベースライン排出量は既述のように、ボツワナの JICA プロジェクトの試算値 193kg-CO₂/年（灯油使用量 6 リットル/月）から AIJ/GEF プロジェクトの平均

値 300kg-CO₂/年 (灯油使用量 10 リットル/月) の範囲に分布している。最も小さいボツワナの試算値を前提に排出削減クレジット (CER) の価格を\$10 と仮定し、CER の取引は引き換え払い方式 (payment on delivery) でクレジット取得期間を 21 年とした場合の内部収益率の向上効果を試算すると、クレジットなしの場合にはプロジェクト期間 20 年で IRR(税引き前利払い前)は 0.75% であるのに対して、クレジットありの場合にはプロジェクト期間 21 年で IRR は 3% (プロジェクト期間を 20 年とすると 2.12%) と収益性は向上する。

これに対して、下図に例示された取引費用 (世界銀行 Community Development Fund による小規模 CDM プロジェクトの取引費用試算) を考慮した場合には、クレジット収入を取引費用が大きく上回り CDM 化のメリットがないことになる。21 年間の総取引費用は、イニシャルベリフィケーション及び更新審査費用を\$3,000、毎年度のベリフィケーション費用を\$2,000 と仮定するとベリフィケーション費用合計が\$45,000 となり、プロジェクト登録までに必要な費用とあわせて\$160,000 となる。この取引費用をクレジット収入で賄う (取引費用とクレジット収入が同額となるブレイクイーブンの状態にする) ためには、SHS 電化戸数を約 4,000 戸に拡大する必要がある。プロジェクト規模が 4,000 戸を大きく超える場合には、取引費用を負担しても CDM 化による収益性の向上が期待できる。

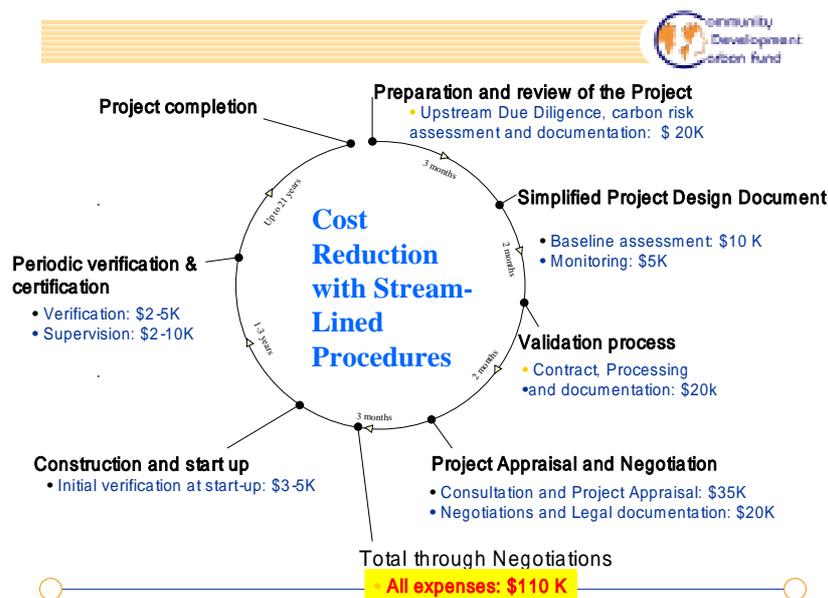


図 8-3 小規模 CDM プロジェクト取引費用試算例¹²

(4) CDM プロジェクト化推進の課題と対策

既述のように P V 地方電化を CDM プロジェクト化することによりプロジェクトの収益性を向

¹² Small Scale CDM Projects: An Overview, May 14, 2003, World Bank, Carbon Finance Unit

上させることは可能であるが、収益性向上を実現するためには CDM 化に伴い必要となる各種取引費用の負担をどのように減らすかが最大の課題となる。各種取引費用の負担を軽減する方策としては次のような方策が考えられる。

プロジェクト規模の拡大

CDM 化に伴い必要となる取引費用はプロジェクトの規模によらずほぼ一定である。このため、プロジェクト規模を大きくして排出削減クレジット量を多くすると、1クレジット当りの取引費用負担は軽減される。今回のアンケート調査の結果でもモロッコ政府の地方電化担当部局はプロジェクト規模を拡大して SHS 電化プロジェクトを CDM プロジェクトとして実施することを検討中である旨回答している。

50Wp SHS を 50 戸に導入する場合には取引費用の負担を考慮すると CDM 化の費用がクレジット価値を上回るため CDM プロジェクト化の可能性はないが、10,000 戸にプロジェクト規模を拡大して IRR(税引き前利払い前)を試算してみると、クレジットなしの場合の 0.75%に対して、取引費用を考慮しても CDM 化により IRR は 2.43% (20 年間では 2.00%) に上昇する。このようにプロジェクト規模を大きくすることにより、SHS 電化プロジェクトを CDM プロジェクト化することが可能となる。

SHS 電化ナショナルプログラムの CDM プロジェクト化

SHS 電化プロジェクトの CDM 化のためにはプロジェクト規模を大きくすることが有効であるが、プロジェクト規模を大きくする方策として SHS 電化の全国計画を 1つの CDM プロジェクトとして登録することが考えられる。これは、具体化された SHS 電化プロジェクトごとに CDM プロジェクトとする方法とは異なり、政府の SHS 電化プログラムを 1つの CDM プロジェクトとして登録し、当該プログラムの下で実施される個別の SHS 電化プロジェクトのプロジェクト登録の手間を省略するものである。この手法の利点は、単にプロジェクトの大型化による取引費用負担の軽減だけでなく、SHS 電化プログラムの電化基金の財源としてクレジット収入を織り込んだ政府の助成策を策定することができることである。

このような政策型の CDM プロジェクトについては、現在、ガーナ国のエアコン省エネ基準導入プログラム（エネルギー効率の良いエアコンの導入を義務付ける政策）がベースライン・モニタリング方法論の申請を行っており、CDM 理事会が政策型 CDM を認めるか否か議論を行っているところである。このガーナ国の CDM プロジェクトは、クレジット収入によりエアコンのエネルギー効率の試験施設を建設し、省エネ基準の遵守監視を行うというプロジェクトである。今後、政策型 CDM プロジェクトが CDM 理事会により認められることになれば、SHS 電化プログラムの CDM プロジェクト化においても、クレジットを個別利用者に対する助成に利用するのではなく、SHS 普及のための広報活動、試験設備の導入等に利用することも考えられる。

取引費用負担に対する ODA 資金等の利用

CDM は ODA 資金の流用を禁止しているが、取引費用の一部については ODA 資金の活用が可能である。例えば、P V 地方電化計画策定の開発調査において、CDM プロジェクト化の FS 調査、PDD 作成、有効性審査、CDM 理事会に対するプロジェクト登録まで行うことも考えられる。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）及び環境省の CDM/JI 推進基礎調査事業においても PDD 作成までの業務は委託事業の対象となっている。NEDO 及び環境省が創設した CDM/JI 実施支援事業は CDM プロジェクトの有効性審査、排出削減量の検証に要する費用も助成対象となっている。このような資金を取引費用に充当することにより、比較的小規模な SHS 電化事業でも CDM プロジェクト化してクレジット収入により事業の収益性を高めることが可能である。

第9章 提言

JICA では途上国の未電化村落における太陽光発電（PV）技術を用いた電化について、開発調査、専門家派遣、無償資金協力などのスキームを活用して多数のプロジェクトを実施してきた。これまでに蓄積された知見は非常に豊富であり、他の援助機関と比較しても遜色ないものである。PV 地方電化は BHN の実現、貧困削減につながる社会開発プロジェクトであると同時に、再生可能エネルギー利用拡大による地球温暖化対策の観点からも推進されるべきテーマとなっている。このように、PV 地方電化は今後の開発援助の大きな潮流に合致した重要なテーマである。また、わが国は PV 利用に関して世界で最も進んでいる国のひとつであり、その経験を途上国へ伝えていくことは国際的責務であると言ってよい。本調査では、これまでの JICA のプロジェクト経験を参考にして、途上国が必要としている PV 地方電化に関するわが国の協力のあり方を検討してきた。その成果は各章で詳しく述べられているが、以下の事項については特に重要であり、速やかに検討を開始することが求められる。

9-1 ビジネスモデルの選択

PV 利用のオフグリッド地方電化については、基本的に通常の電気事業とは切り離して実施するという考え方が世界的に主流となっている。したがって、PV 地方電化事業を実施する主体は、地方部の未電化村落において低所得の住民を顧客として事業を行うのに適した小規模な事業者となるのが普通である。PV 技術に関する開発が進んで、現在では誰でも取り扱えるシンプルなシステムとなっており、設計、施工、保守などについて理解することは容易である。こういった事業者の問題点は資金負担能力が弱いことであり、PV 設備への投資資金、スタッフ育成費用やマーケティング費用などを確保することが難しい。したがって、事業化初期段階では政府や援助機関による支援措置が不可欠である。

未電化村落の住民は電化について強いニーズを持っているが、そのための支払可能額はわずかである。したがって、約\$500 の Solar Home System(50W)を現金購入することは不可能であり、毎月一定額を支払って利用する方式が必要となる。SHS を使った地方電化事業に用いるビジネスモデルとしては Sales Model と Service Model があり、Sales Model では長期分割払い（Hire-purchase 契約）で支払終了後は機材の所有権がユーザーに移転する。これに対して Service Model は機材は貸与で利用料のみ徴収する方式である。SHS の場合に問題となるのは、バッテリーが徐々に劣化していくため、その交換が2～3年おきに必要になることであり、交換費用（\$30~50）をどのように確保するかという点が最も難しい条件となる。

これまで、PV 地方電化の対象となる利用者は低所得であることから、分割払いの頭金やバッテリー交換費用などの負担が必要ないフラットな料金の Service Model が適しているという考え方を採用することが多かった。しかし、電気設備ではなく電気供給サービスを提供する契約である Service Model では、利用者は設備の維持管理に責任を負わず、電気供給サービスを行う事業者に対して高いレベルのサービスを要求しがちであり、事業者側にはこれに対応するためのコスト

が発生する。バッテリー性能を長期間維持しようとするれば高価なバッテリーを使わざるを得ず、結局その費用は料金のかたちで利用者に転嫁される。こういった現象が多く発生する結果、Service Model では月額料金の水準が上昇し、これを負担しきれない利用者が脱落し、事業としても存続困難となるといった典型的な崩壊パターンに陥りがちである。本調査においても Fee-for-service 方式ではサービスコストが大きなウエイトを占め、Hire-purchase 方式よりも月額料金が高くなる傾向にあることが確認された。一方、Sales Model では利用者は最終的に設備を所有することを理解して契約しているため、設備の維持管理について自らの責任において実施することは問題ない。またバッテリーの経年劣化の場合などでも事業者への不満にはつながらない。このため、事業者は Service Model ほどのコスト負担が必要なくなり、料金水準を Service Model よりも低くすることができる。

このような両ビジネスモデルの基本的な違いから、低所得者層を対象として SHS による PV 地方電化を進めるに当っては、利用者にバッテリー交換を含めた維持管理作業を分担させることで低料金のサービス提供が可能となる Sales Model を基本にすることが望ましいと言える。

ここで問題が残るのはバッテリー交換などの一時的な負担であるが、電化済み地域に近い未電化村落ではバッテリー充電を利用している世帯が多数存在することが多く、\$30~50 程度の臨時負担は可能である階層が多いと考えられる。もちろん、負担が困難な階層も存在するが、その場合にはマイクロファイナンス制度の整備などと組み合わせることで一時的な資金負担を軽減するなどの対応を図ることが基本となる。

9 - 2 Battery Charging Station の再評価

SHS は村落内部の高所得者層しか利用できないという指摘は多くの専門家からなされている。BCS は充電用に設計された専用の PV 施設でバッテリーを充電して使う方法で、SHS よりも原始的なシステムであり、バッテリーを運搬しなければならない不便さもあって PV 地方電化の手法として検討されることが少なかった。そのため、これまで成功例がほとんど報告されていない。BCS は SHS よりも低コストでバッテリー充電が可能であり、また固定的な月額料金でなく充電ごとの支払が可能であることから低所得者層にも受け入れられやすく、SHS を利用できない多くの世帯に PV の恩恵を与えることができる可能性を持っている。したがって、こういった利点の多い BCS について SHS と並ぶ PV 地方電化の有力な手法として積極的に推進していくことが求められる。

ラオスで実施された JICA のパイロットプロジェクトでは、この BCS だけを設置した未電化村があり、現在まで全く問題なく利用されており、利用者の満足度も高い。この事例は BCS に関する多くのグッドプラクティスを我々に示しており、この成果をレビューすることにより BCS を再評価し、低所得階層向け PV 電化設備としての普及方法についての詳しい情報を得ることができるであろう。BCS では基本的にバッテリーは自己負担であり、このため、\$30~50 程度のバッテリー購入費用が捻出できない低所得者がかなり存在することは確かであるが、そういった場合の対応としては、やはりマイクロファイナンス制度の整備などと組み合わせることが必要であろう。

BCS は SHS に進化する前の素朴なシステムであり、専用設備として建設するという方向性だけでなく、村落内の診療所、集会所などの公的施設に対する PV 電化を行う場合にも開発可能である。すなわち、こういった公的施設への PV による電源設備供与の場合には、PV の発電能力に余裕がある場合が多く、それを利用して簡単な充放電コントローラをとりつけるだけで BCS ができあがる。これによって住民はバッテリー充電を利用でき、また施設としては充電料金を徴収して維持管理費に充当できるという相互のメリットが生まれる。このような多目的 PV システム (= コミュニティソーラーシステム) の構想は、SHS 導入に先駆けて未電化村落におけるバッテリー利用、PV 利用を拡大するきっかけとなるものであり、積極的に推進すべきである。今後、未電化村落でこういった村落レベルの社会インフラを整備する場合には、セクター横断的な配慮から PV 電化設備の導入と BCS 機能の付加を進めていくことが望まれる。

9-3 ラオスの事例の活用

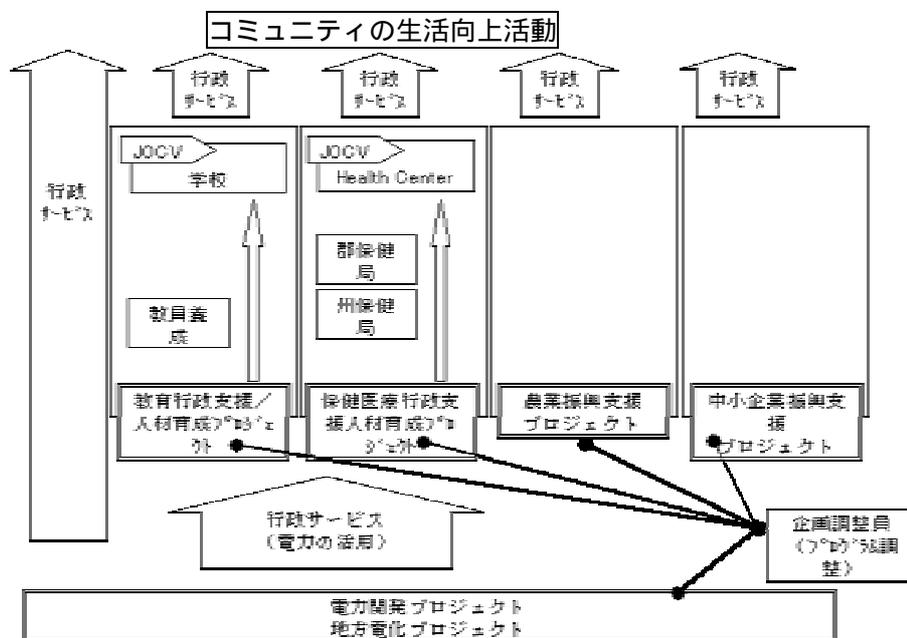
JICA がこれまで実施してきた PV 地方電化プロジェクトのうちで最も成功していると評価できるものが、ラオスにおける開発調査「再生可能エネルギー利用地方電化計画調査(1998-2000)」で行ったパイロットプロジェクトであり、現在はそれに続く世銀/GEF の民間事業者育成による事業化プロジェクトが進行中で既に 5000 戸以上の SHS 設置を達成している。この事例は十分に検証されたとは言い難いが、開発調査前まで全く PV についての知識がなかったラオスに対して技術移転を行い、開発モデルを提案し、それをパイロットプロジェクトで実証しながら進めてきたものでラオス政府関係者は現在でも非常に高く評価している。JICA のパイロット事業の対象村落では現在も調査当時に設置した PV システムがきちんと管理され、利用されており、住民の満足度も高いことが確認されている。料金回収率もほぼ 100% であり、既に集金され基金となっている金額は \$17,000 以上となっている。JICA が今後、PV 地方電化に関して発言していく場合に、このプロジェクトの実績をベースにすることは多くの場面で必要となるであろう。したがって、このプロジェクトに関する総合的な検証作業を行い、今後の協力のあり方を具体化するための参考とする必要がある。また、その検証作業は PV に関する最大のドナーである GEF との連携にもつながっていくものである。

9-4 横断的プロジェクト形成

PV 地方電化は「電気供給」を目的としているが、同時に電気が利用可能となることによって村落のさまざまなところにプラスの効果が生まれ、村落全体の裨益効果は増幅される。このような社会開発効果をさらに高めるため、電気を利用した世帯レベルの収入創出、医療・教育・給水などの社会インフラ整備と一体となった PV 電化によるコミュニティとしての裨益効果の増大など、複合的視点に基づくプロジェクト形成が求められる。

次頁の図は地方電化によって各種行政サービスの向上を図り、さらにこれをコミュニティの生活向上につなげるというセクター横断型のプロジェクト形成の例を示している。このように、「電化」という視点に加えて、教育、保健医療、農業開発、地域開発といった異なる分野への波及効果まで含めた発想が求められており、これまでのセクターごとの縦割りのようなプロジェクト形成を

見直し、このような複合的な事業展開を進めていく必要がある。また、こういった横断的プロジェクト形成において中核的な役割を期待されるのが、JICA 本部では地域部であり、さらに各国の JICA 事務所である。



9-5 プログラムアプローチ

PV 地方電化についても、技術協力と無償資金協力、有償資金協力との連携を推進する必要がある。特に、無償資金協力については、一般無償、ノンプロ無償、草の根無償のいずれについても PV 地方電化につながるプロジェクト形成が可能と考えられる。その可能性をまとめたものが以下の表である。

スキーム	PV 地方電化関連事業の可能性
一般無償	給水用 PV ポンプや PV 駆動式医療用冷蔵庫の供与 診療所など村落社会インフラ整備における多目的 PV 利用 (コミュニティソーラーシステム)
ノンプロ無償	PV 地方電化用の太陽電池パネルほかの機材供与
草の根無償	診療所など施設単位の PV 電化 小規模未電化村落の PV 電化

無償資金協力の案件形成に当たっては、確実な維持管理の実施が重要なポイントとなるため、これまでの PV 案件を幅広くレビューし、特に途上国における維持管理手法についてのデータを

とりまとめ、今後の案件に適用できるような標準的な手法を確立することが必要である。また、無償資金協力で実施されるPV電化事業の円滑な遂行や維持管理手法の定着を支援するため、専門家派遣などの技術協力を組み合わせた総合的な援助プログラムを作成することが必要である。

ノンプロ無償でPV地方電化用の機材を供与する場合には、同時に「技プロ」を行うことで相手国政府と共同でPV電化事業を具体的に展開することができるであろう。特に、相手国政府の見返り資金に加えて、PV設置によって利用者から徴収する料金を積み立てる基金も活用可能であり、こういった資金を利用した事業者支援など幅広い内容のプロジェクトとすることが可能であろう。

1村落単位のPV電化を実現するためには、資金あるいは所要期間といった条件から草の根無償の活用が有力な方策である。したがって、地方農村部で活動するNGOやボランティアとの連携強化によって彼らの活動を支援し、草の根無償の活用によるPV地方電化プロジェクトを多数実現していくことが求められる。

9-6 国際機関との連携

PVに関連して国際機関との連携を進める場合には、PV関連の多数のプロジェクトを実施している国際資金メカニズムであるGlobal Environment Facility(GEF)との情報交流が最も戦略的に重要であろう。GEFは現在のところPVに関する最大のドナーであり、今後のJICAのPV事業においてもさまざまな場面で関連してくることは明らかである。したがって、JICAプロジェクトの形成と実施に関連してGEFとの定期的な情報交流を行えばは大いに役立つはずである。また、GEFとしても最大の出資国である日本との連携強化は命題となっており、JICAとの交流には積極的に対応するはずである。両機関の連携を深めるため、共通の成果であるジンバブエ、ラオスなどにおけるPV地方電化プロジェクトをレビューし、そういった成果を両機関が主催するPV地方電化に関する国際会議で世界に発信していくといった活動は、JICAの存在感を高める有力な方策と考えられる。

9-7 NGO、ボランティアとの連携

草の根無償によるPV電化設備の設置事例が増加していることから明らかなように、PV電化はその対象者、適用技術、所要資金などから見て、農村開発などの分野におけるNGOやボランティアの活動にうまく取り入れることができる。こういった草の根レベルの活動を拡大していくことはPV電化推進のために非常に有効であり、今後の大きな潮流となっていくものと予想される。ただし、PV機材やバッテリーの維持管理について適切な指導が行われないとその設置目的が達成されないばかりか、PV地方電化に対する誤解や批判を招くことにもなりかねない。このため、PV利用に関心を有するNGOやボランティアに対して、途上国の未電化地域で活動する状況で役立つよう、PVシステムの計画、施工、保守などについて正しい実務的知識を提供することが必要であり、技術講習会を定期的を開催するなど積極的な情報提供を行う必要がある。

9-8 アジア地域における南南協力

JICA が実施した P V 地方電化プロジェクトのうちで最も成果が出ているラオスでの実績をベースに、隣国タイにおける P V 技術に関する教育研究機関などを加え、アジア地域、大洋州地域など周辺諸国を対象とする第三国研修を主体とする南南協力を進めることは、P V 地方電化に関する人材育成に有効であり、JICA の存在感を高める有力なアプローチである。

9-9 アフリカ地域における P V 地方電化キャラバン事業

アフリカ地域内ではアジア地域に比べて P V 地方電化の成功例が少なく、JICA としての実績も限られている。このため、現段階ではアフリカ地域にラオスなどアジアでの経験を幅広く行き渡らせることによって P V 地方電化に関する関係者の意識喚起、認知度向上を行うことが近道である。こういった活動は、P V 地方電化事業への供給・需要両サイドの参加者の増加、P V 維持管理能力向上、機器開発への関心の高まりなど、P V 地方電化事業のための土壌づくりの効果を生む。こういった活動なしに P V 地方電化プロジェクトを実施しようとしても根付かない可能性が高い。このため、アフリカに数カ所の拠点を設置し、そこを起点に多数の国を巡回し、ワークショップ、デモンストレーション、小規模モデル事業、広報資料（ニュースレター、パンフレット、CD-ROM など）の配布、マスコミによるキャンペーン支援などを行うことが望まれる。こうした事業は地味ではあるが、P V 地方電化について総合的な蓄積があって初めてできるものであり、アフリカ域内で JICA としての存在感を高める有力な方法となりうる。特に、P V 設備の原理や利用方法、維持管理方法のポイントなどについて、イラストで解説した簡単な小冊子を作成し、それに各国語の説明をつけて利用できるようにしておけば、JICA プロジェクトだけでなく多くの NGO、ボランティアも利用でき、非常に利用価値は大きい。