

第 6 章 太陽光発電による地方電化計画—Village Solar

6-1 基本コンセプト

太陽光発電(PV)は太陽光を直流電気に直接変換するものである。PVの規模は「ピークワット: Peak Watts (Wp)」という単位で表される。ピークワットの数値はピーク日照時のPV出力を表す。太陽電池 (PV モジュール) が変換した電気は電気化学的な蓄電池に蓄えられる。このバッテリーは、日中に太陽電池から電気を充電され、夜間に照明やその他の電気器具に充電された電気を放出する。バッテリーの容量は数日間の電気供給が可能ないように設定される。地方電化用には安価で入手しやすい自動車用バッテリーが推奨される。ベトナム北部においてPVシステムを導入する場合の基本コンセプトは次の通りである。

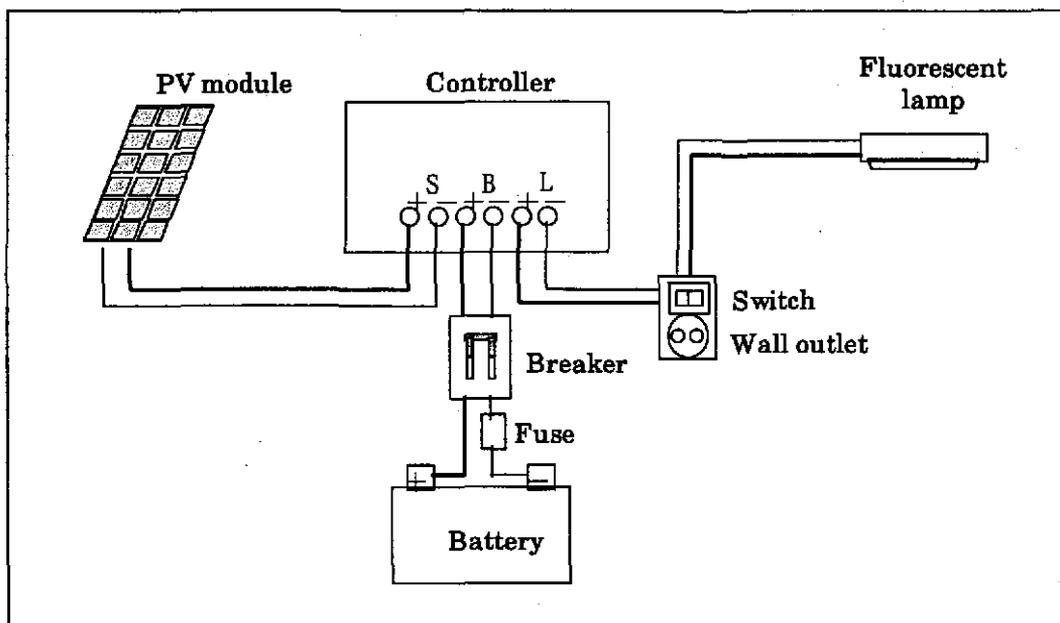


図 6-1-1 基本的な太陽光発電システム

①分散型の小規模システムとする。

PVのシステム機器は依然として比較的高価なものであり、さらに利用者は2~3年ごとにバッテリー交換が必要である。こうしたことが、途上国農村部での家庭用PVシステムの普及を妨げる理由となっている。ベトナム北部の未電化コミュニティの所得水準は低く、約\$20のバッテリー購入費用を負担できる世帯数は限られる。そのため、未電化コミュニティのoff-grid電化のために導入するPVシステムは、当初は限られた利用可能世帯の需要を充たす小規模で低コストなシステムとする。この目標と将来の普及拡大を達成するため、集中型よりもむしろ分散型の小規模システムを開発するためのモジュール設計方式を提案する。

②設計・仕様の標準化により、導入を容易にする。

大がかりな土木工事が必要な水力発電と異なり、PVは現地の地点状況に左右されず、容易

に設置可能である。そのため、地方電化に適した、標準化したモジュール設計が推奨される。このような技術の標準化により、事業実施者はPVによる地方電化を成功させることができるであろう。

③信頼性の高い機器を使用することで、維持管理コストを低減する。

バッテリーを除き、PVシステムは基本的に最小限のメンテナンスで済むよう設計されている。システムで使用する機器は機械部品がなく、小型軽量の電子機器である。そのため、信頼性の高い製品を使用すれば殆ど故障は発生しない。この点は、長期に亘るPVシステムの低コストでの運転を実現するための重要な鍵となる。

6-2 Village Solar

基本的に、地方電化に用いられる小規模な太陽光発電には2種類あり、ソーラーホームシステム (SHS:Solar Home System) とバッテリーチャージシステム (BCS:Battery Charging System)である。SHSは世帯毎に設置する独立型の12V直流電源設備であり、電灯、白黒テレビやラジオなどに使用できる。一方BCSは、複数の利用者によって共有される比較的規模の大きいバッテリー充電設備である。BCSの各利用者は、放電が進んだバッテリーを週に1回くらいのペースでBCSに持ち込み充電することとなる。BCSは複数の利用者により共同利用される設備であるため、想定した利用者数が確保できれば利用者一人当たりのコストはSHSに比べて低くなる。このように、BCSは経済性の面で有利であり低所得者地域に適している。しかし、あまり頻繁に充電が行われなため利用できる電気が限られていることやバッテリーの運搬が必要であることなどの問題を抱えている。

6-2-1 公共システム—Village Solar

本調査においては、対象地域の厳しい経済状態を考慮し、村落レベルの電化のためSHSとBCSを組み合わせた公共システムを提案する。このシステムは、個人利用者 (BCSによる) と同時に村落の公共施設にも電力供給 (SHSによる) を行うことから、Village Solarと名付ける。

・公共施設での電気利用

人民委員会(UBND)、診療所、学校等の公共施設にSHSを設置することでこれらの施設で電灯等の利用が可能となり、コミュニティ全体が電気の恩恵を受ける。

・個人世帯における電気利用

バッテリーと電気器具の購入が可能な世帯は、BCSの導入により電気の恩恵を受けることが可能となる。こうした利用者は毎週BCSにバッテリーを充電に来る。BCS利用者からの料金収入はVillage Solarの維持管理費用や初期投資額の返済に充てられる。

典型的な Village Solar システムの構成を下図に示す。このシステムはコミュニオンや村落の中心にある事務所付近の空きスペースに設置することが望ましい。太陽電池パネルを除くバッテリー充電設備は近くの納屋や軒下などに設置して風雨から守るようにする。

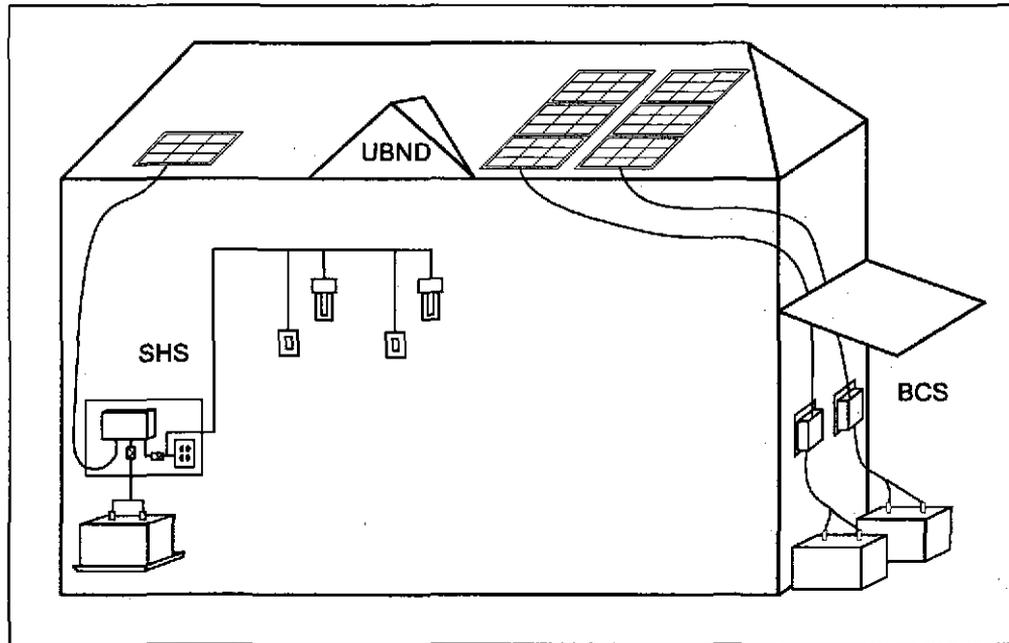


図 6-2-1 典型的な公共システム : Village Solar

4つの蛍光灯を持つ、Village SolarにおけるSHSの標準的仕様は次の通りである。

表 6-2-1 公共システムにおけるSHSの技術仕様

項目	数量	仕様
PVモジュール	1	出力：50Wp 形式：単結晶シリコンまたは多結晶シリコン(アモルファスシリコンは奨めない) セル数：36セル 製品寿命：+20年
PVモジュール用架台とフレーム	1	形式：屋根設置式かポール設置式 フレーム：モジュールを屋根やポールに設置するためのメタルフレーム 水平角：20~25度
バッテリー	1	容量：50Ah 品質：車両用鉛蓄電池 製品寿命：2~3年
バッテリー箱 or トレイ (床の保護用)	1	材質：ポリプロピレン等の耐久性のある材質
チャージコントローラ	1	容量：6A以上 機能：過放電/過充電防止、逆極性保護、PWM制御、イコライズ機能 表示：充電状態、電圧低下 保証期間：1年
配電盤	1	配線用端子、ソケット、保護素子(ポリスイッチ3A)付
蛍光灯	4	タイプ：DC12V 消費電力：5W~7W(消費電流0.4A以上0.6A以下) 蛍光管：U字型または直管(チューブ) 保護回路：逆極性保護 点灯中に蛍光管交換しても焼損しないこと 保証期間：1年
蛍光灯スイッチ	4	
配線材料	1式	配線ケーブル(2.5mm ² , 4mm ² , 6mm ²)、端子、バッテリークリップ、釘、木ネジ、グリース等

チャージコントローラはPVモジュール、バッテリー、負荷の相互間の電気の流れを制御するもので、バッテリーの充電レベルを一定の範囲内に維持することでバッテリーのダメージを防ぐ。充電レベルがある一定レベルを下回ると低電圧遮断機能により、それ以上の放電を防ぐため負荷への電流を遮断する。同様に、過充電となった場合にはモジュールからの電流を遮断する。

150W サイズの BCS を1ユニットとする VillageSolar における BCS の標準的仕様は、以下の通りである。

表 6-2-2 公共システムにおける BCS の技術仕様

項目	数量	仕様
PV モジュール	3	出力： 50Wp 形式： 単結晶シリコンまたは多結晶シリコン（アモルファスシリコンは奨めない） セル数： 36セル 製品寿命： +20年
逆流防止ダイオード	3	容量： 10A
PV モジュール用架台とフレーム	1	形式： 屋根または地表設置用 フレーム： メタルフレーム 水平角： 20～25度 規模： PV パネル3枚用
充電制御ボックス	1	電流計： DC15A 電圧計： DC30V スイッチ： 2極、ナイフエッジ型 クリップ： バッテリ端子用
配線材料	1式	配線ケーブル（4mm ² , 6mm ² ）、釘、木ねじ等

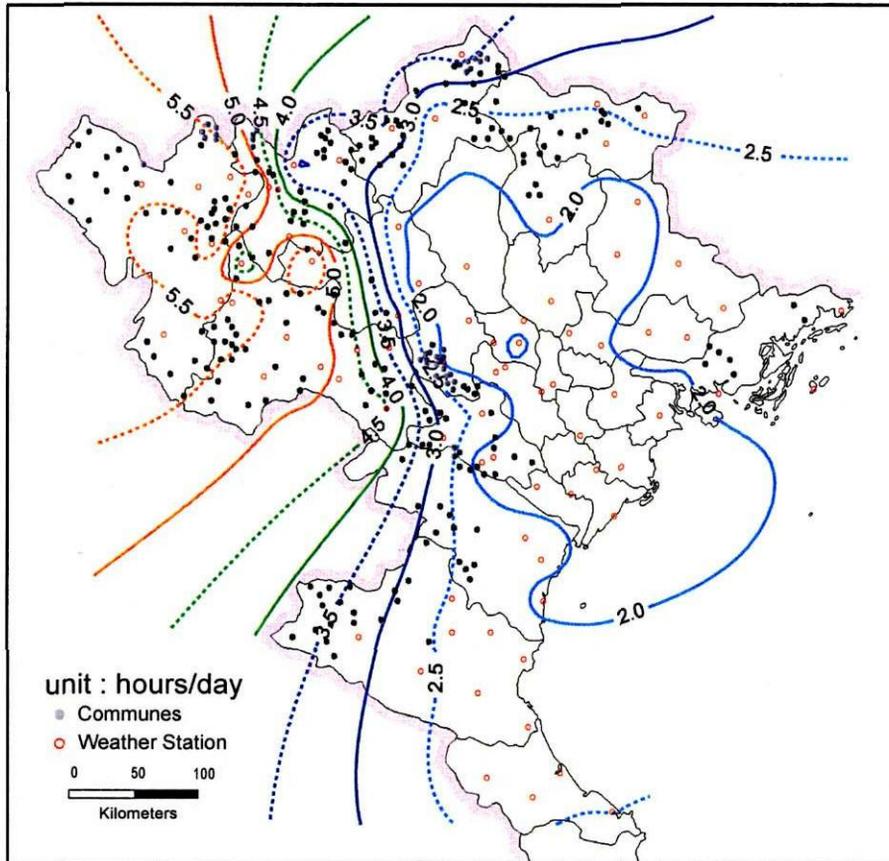
オプション

チャージコントローラ	1	容量： 20A 以上（ブレーカ容量より大きいもの） 充放電制御： 過充電防止、PWM 制御 表示： 充電状態 保証期間： 1年
ブレーカ	1	容量： 15A

6-2-2 太陽光ポテンシャルの検討

(1) 必要な日射量

ヴェトナム北部での太陽光発電による地方電化計画を左右する最も重要なポイントは1月から3月までの乾期に長く続く曇天である。本調査で提案する Village Solar の標準設計は、乾期の平均日照時間が5時間以上を基本としている。それ以下の日照時間の地域に導入を検討する場合は（図 6-2-2 参照）、適切な PV モジュールサイズを決定し、経済性評価を再度行うため、現地で実際の日射量を測定する必要がある。



出典: IE 提供の気象データより JICA 調査団が作成

図 6-2-2 1月から3月の平均日照時間 (h/day)

(2) SHS の利用可能電力

公共施設の SHS で利用可能な電力は、下表に示す様に 12 月から 3 月までの間は少なくなる。これは、この時期は日照がほとんど得られない日が続く可能性が高く、十分に発電できないためである。したがって、この時期は電気利用について制限があることをユーザーは理解していなければならない。

表 6-2-3 SHS の利用可能電力

利用季節区分	12月～3月		4月～11月	
	日照時間	5	曇天時	5
日射量 (kW/m ² /日)	3.5	0.35	4.5	0.35
利用可能電力	9.7Ah	1Ah	12.5Ah	6.2Ah *
利用例	5W×4 4.5h	5W×1 2h	5W×4 6h	5W×4 3h

* : 4月～11月は充電回復が早いため、曇天時でも通常の半分の消費電力を使用可能

(3) BCS の利用可能電力

BCS の設計において最も重要なのは放電したバッテリーを1日で満充電にすることが出来るか、という点である。各利用者の充電スケジュールは固定されていると仮定する。指定された充電日が曇や雨だった場合、バッテリーを十分に充電することは出来ない。この場合には、次の充電日まで利用可能な電力は極端に少なくなる。乾期である12月から3月までの期間は、このような状況がしばしば発生するため、この期間では電力消費を抑えることが重要である。

表 6-2-4 公共システム (150Wp BCS) 利用者の利用可能電力

バッテリー容量	50Ah		20Ah	
1システム当たり 利用者数	5		10	
日照時間 (h/日)	5	曇天時	5	曇天時
日射量 (kW/m ² /日)	3.5	0.35	3.5	0.35
充電間隔日数 (充電量)	7 (25Ah)	7 (2.5Ah)	7 (10Ah)	7 (2.5Ah)
利用可能電力/日	3.6Ah	0.4Ah	1.4Ah	0.4Ah
利用例	5W×2 3h ラジカセ 2h	5W×1 1h	5W×1 2h ラジカセ 1.5h	5W×1 1h

6-3 コスト試算

Village Solar のプロジェクト費用は次の費目で構成される。

- ① 資機材費 - 資機材や配線材料
- ② 設置工事費 - 資機材の運搬と設置工事
- ③ トレーニング費 - 地元電気店の技術者や CEU (利用者) のトレーニング

土木工事がないので、運搬費を除いた事業費は設置サイトに関係なくほぼ一定である。

表 6-3-1 VillageSolar の総費用—モデルプラン

No.	費 目	数量	単価(US\$)	金額(US\$)
1	50WpSHS	5 システム	348.1	1,740.5
2	150WpBCS	4 システム	722.9	2,891.6
3	設置費用	1 式	435.0	435.0
合 計				5,067.1

表 6-3-2 SHS コストの内訳

No.	項 目	数量	単価(US\$)	金額(US\$)
1	PV モジュール 50Wp	1 枚	200.0	200.0
2	PV モジュール用架台とフレーム	1 台	23.4	23.4
3	バッテリー 50Ah	1 個	23.4	23.4
4	トレイ	1 個	1.3	1.3
5	チャージコントローラ 6A 以上	1 台	35.0	35.0
6	配電盤 ポリスイッチ、ソケット付	1 台	12.0	12.0
7	蛍光灯	4 個	7.0	28.0
8	蛍光灯スイッチ	4 個	0.5	2.0
9	配線材料	1 式	23.0	23.0
合 計(1 システム)				348.1

表 6-3-3 BCS コストの内訳

No.	項 目	数量	単価(US\$)	金額(US\$)
1	PV モジュール 50Wp	3 枚	200.0	600.0
2	逆流防止ダイオード 10A	3 個	0.2	0.6
3	PV モジュール用架台とフレーム	1 個	46.6	46.6
4	充電ボックス 電圧計・電流計付	1 箱	44.7	44.7
5	配線材料	1 式	31.0	31.0
合 計(1 システム)				722.9

オプション

6	チャージコントローラ (20A 以上)	1 台	142.0	142.0
7	ブレーカー (DC 15A)	1 台	16.0	16.0

表 6-3-4 設置コストの内訳

No.	項目	数量	単価(US\$)	金額(US\$)
1	機材運搬費用	1 式	120	120.0
2	設置費用 (SHS : 5 システム、BCS : 4 システム)	9 システム	35	315.0
合計				435.0

このモデルは、150WBCS を4システム設置するよう設計されている。50Ah バッテリのみが利用されると仮定した場合、このシステムでは20人の利用者にサービスを提供することができる。さらに多くの利用者がある場合は、BCS のシステム数を増やす必要がある。このような段階的アプローチは、Village Hydro と全く同様である。

6-4 運転と保守

6-4-1 SHS と BCS の運転

SHS の日常運転はシンプルであり、ケーブルを正しく接続し、短絡を避けることである。これに対し、BCS の場合には、朝に空のバッテリーを受け取り、その後充電状態をチェックし、バッテリーを持ち主に返し、その際に料金を受け取る、などの作業があるため運転員が必要である。運転員はPVモジュールの状態やケーブルの接続状況を定期的にチェックしなければならない。

6-4-2 SHS と BCS のメンテナンス

PV システムのメンテナンスにおいて最も重要な点は蒸留水の補充によりバッテリー電解液の液面を一定に保つことである。この作業は地方部でもよく知られており、公共施設用 SHS のメンテナンスに責任を持つ CEU の中心メンバーは定められた手順に従って容易に実施できると考えられる。この点は個人利用者のバッテリーを適正に維持するためにも常に強調されるべきである。

CEU は、太陽光発電について十分な知識を有する地元の電気技術者に、システム設置後3ヶ月は定期的なシステム点検を依頼することが望ましい。この電気技術者は次の項目を実施する能力が必要である。

- ① PV システム構成部品の調整
- ② バッテリー状態のチェック
- ③ 簡易修理 (故障部品の交換)

定期点検の結果、この技術者は利用者の要望に基づき、蛍光灯、バラスト、チャージコントローラ、その他の部品を販売し交換することもある。このような場合は、もちろん有料である。

6-5 トレーニング

マイクロ水力発電所の場合と同様に、地元住民対象の適切なトレーニングの実施は **Village Solar** の正しい運転・保守のために極めて重要である。幸運なことに、PV システムはシンプルでメンテナンスが容易である。このため、必要とされるトレーニングの度合いは **Village Hydro** に比べて小さく、それが **Village Solar** の利点でもある。システム設置業者と DOI が CEU の中心メンバーに一連のトレーニングを提供することが期待される。

6-5-1 トレーナートレーニング

新規に PV システムが設置されるたびに、住民に対してトレーニングを提供する立場にある DOI 技術者は、PV 開発による地方電化の初期段階において指導者となるためのトレーニングを受けるべきである。これは、彼らが **Village Solar** の運転保守に必要な技術の普及に重要な役割を担うためである。**Village Hydro** に関するトレーニングと同様に、以下の項目について1週間の集中トレーニングが行われることが望ましい。

- ① 地方電化の計画手法
- ② Off-grid システムの設計
- ③ 財務管理
- ④ 組織開発
- ⑤ 資機材調達とシステム
- ⑥ **Village Solar** の運転と保守

6-5-2 CEU トレーニングと地元電気技術者の役割

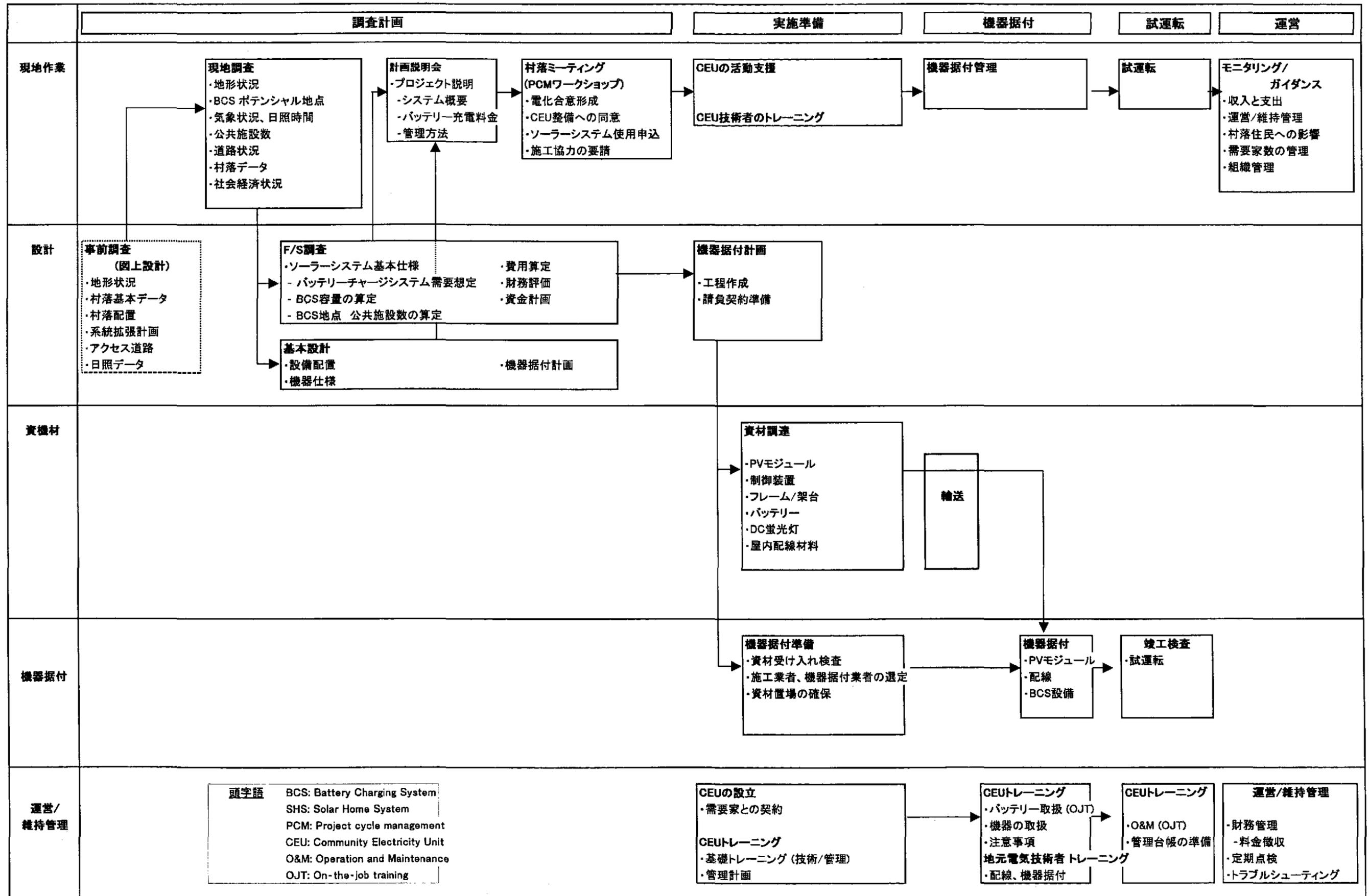
これまでも電気供給の手段としてバッテリーを利用した経験者は多く、地方部の住民は PV システムによる 12V DC の電気利用には慣れていると言える。しかし、ほとんどの住民がバッテリー利用法に関して正しく理解しているかは疑問である。**Village Solar** の長期持続可能性のためにも、バッテリーの正しいメンテナンス方法について指導を行うことが重要である。したがって、CEU の運転員と利用者へのトレーニングはバッテリーの管理手法に重点が置かれる。このほか、PV システムの財務管理もまた重要な項目である。

CEU の運転員と利用者への一連の実地トレーニングは、3段階、つまり計画段階、設置段階、試運転段階に分かれる。トレーニング項目は、PV システムの基礎、**Village Solar** の運転技術、注意事項、トラブル対策、定期点検と補修などを含む。また、会計、記録などの事務作業についてもトレーニングに含まれる。

さらに、Village Solar の運転とメンテナンスに関し、重要な役割を担う地元電気技術者のトレーニングも合わせて行うことで、彼らから後に良いサービスを確保できるという効果が期待できる。仮に、CEU で解決できない問題が起きても、地元の電気技術者が十分なスキルを習得して対応できれば、遠隔地であっても PV システムを継続的に運転することができる。このため、住民に対して行われるトレーニングへ地元電気技術者が参加するよう呼びかけることを提言する。彼らへのトレーニングに必要な項目は以下の通りである。

- ① バッテリーの充放電特性
- ② DC 蛍光灯と電気器具の基礎
- ③ チャージコントローラの機能
- ④ 過充電、過放電対策
- ⑤ PV システムとバッテリーのメンテナンス方法
- ⑥ PV モジュール必要規模の計算

Village Solarによる分散型地方電化基本作業フローチャート



第7章 その他の方式による off-grid 地方電化

7-1 風力発電

バッテリー充電のための風力発電機は、冬季に十分な風がある一方で太陽光は十分得られないという高緯度地域向けに、主に太陽光発電と組合わせて利用するよう設計されている。風による電力 (P) は、空気密度(ρ)、風車断面積(A)と風速(V)の関数である。電力 (P) は以下の式で計算される。

$$P = 1/2 \rho AV^3$$

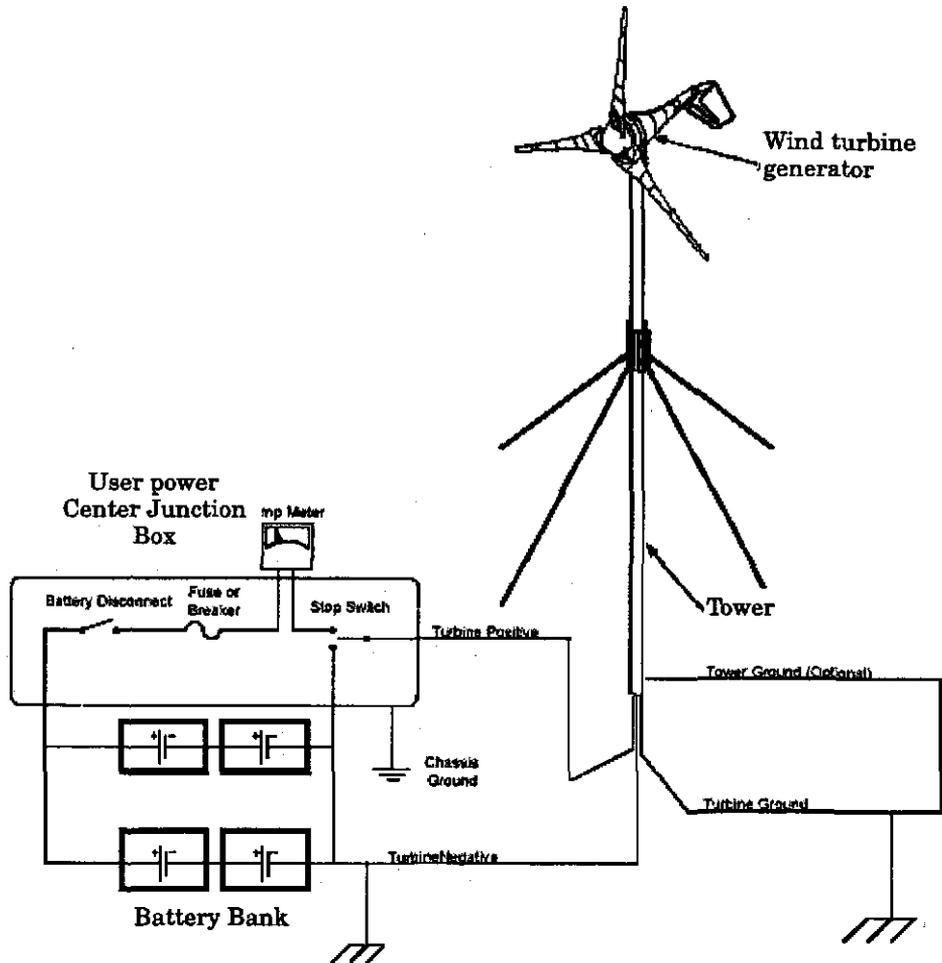
このように、風力は風速の3乗に比例するため、わずかな風速の変化が風力発電に及ぼす影響は大きく、風速が2倍になれば電力は8倍にもなる。風力発電プロジェクトを計画する際には、風の強い地域を選定することが必須事項であるが、地表近くの障害物は風の流れを妨げるため、より多くの電力を得るためには風車の高さも重要である。風速は高度とともに増加するものである。

7-1-1 技術

(1) システム構成

一般的な小型風力発電機は、羽のついたローター（風車）と永久磁石を組み込んだ交流発電機で構成されている。バッテリー充電のための風力発電機は、整流器（交流から直流に変換）と適正な充電のために電子制御装置（チャージコントローラ）を内蔵している。チャージコントローラは、バッテリー充電や電気器具を利用する際に電氣量を調整する役割を担っている。このように、Off-grid 利用のための風力発電機はPVシステムとよく似ている。風車の保護のため、風力発電機には風速が安全基準を超えるとローターをねじらせる、あるいは尾翼に向かってローターの首を振るなどのローターを止めるための特別なメカニズムを持っている。

先に述べたように、小型の風車は高いタワーに設置される。望ましい高さは8m以上である。小型の風車に適した低コストで軽量のタワーシステムを販売しているメーカーもある。



出典: Southwest Wind power company

図 7-1-1 400W クラス風力発電システムの構成 (AIR403)

(2) 風力による発電出力の試算

小型風力発電は風速 3m/s 以上で発電を開始するが、定格出力は風速 12m というかなりの強風下で発生する出力である。先に述べたように、風力エネルギーは風速の 3 乗に比例するため、強風になるとエネルギーが急激に増加する。よって、風速 5 m/s では定格発電出力の 7% しか得られない。風況データがなければ年間の発電出力を算出するのは困難である。理論上は、年間風速分布と風車メーカーにより提供された風車の発電量カーブを合わせることで年間発電量を推定することができる。

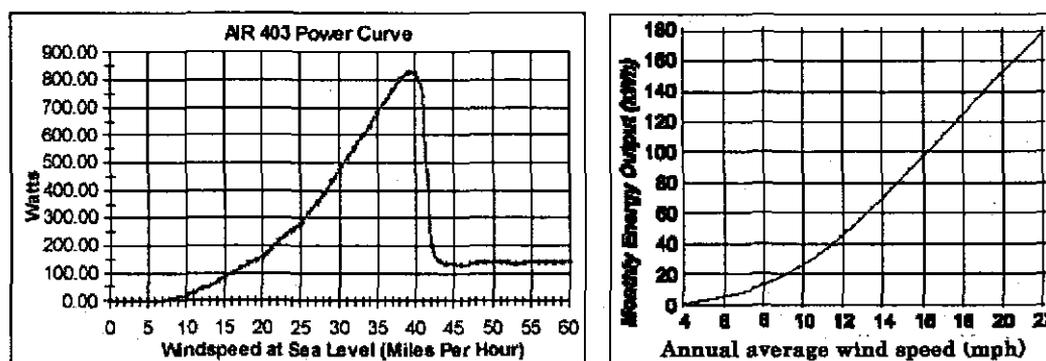
(3) 風力発電システムの適正規模

風力発電システムの利点は夜間でも発電できる点である。しかし、通常、風力は太陽光のようにコンスタントには得られないため、off-grid 地方電化のために風力発電システムを単独で利用するのは一般的ではない。通常、サイトの風速は著しく変動するため、風力から安定

した電力を得るのは極めて難しい。一つの考え方として、風の無い日が続いても対応できるようにバッテリーバンクを設置するというものがあるが、太陽光モジュールと合わせて利用するという考え方のほうがより経済的で同じ結果が得られる。

Off-grid 地方電化のために、太陽光の代わりに風力発電システムを選択する場合、風力システムは太陽光より得られるのと同程度の電力量を供給しなければならない。一般的な 50W PV システムと途上国での利用に適した低コストの小型風力発電機とを比較してみる。直径 1 m のローターを持つ最小規模の風力発電機は世界的にも人気が高い機種である (図 7-1-1 参照)。その定格出力は風速 12.5 m/s (28mph) で 400W である。

50W 太陽光発電システムが 1 日に 200Wh または 1 ヶ月に 6kWh 発電すると想定する。これに対し、最小規模風力発電機に分類される 400W クラス風力発電機の技術データによると、平均風速 5m/s (11miles/h) で 1 ヶ月に 30kWh 発電することができる (図 7-1-2 参照)。しかし、バッテリーは満充電になるとそれ以上蓄電することができないため、この発電量全体のうち実際に利用されるのはほんの一部であり、超過分のエネルギーは捨てられる。風の強い日が年間のある一定期間に集中するとしたら、独立型の風力発電機の場合には深刻な問題となる。このように不確実性もあるが、一般論として、400W クラス風力発電機は風の強いサイトにおいては 50W 太陽光発電システムの代替となりうると言えるであろう。



出典: Southwest Wind power company

図 7-1-2 400W クラス風力発電システム (AIR 403) の技術データ

(4) コスト試算

表 7-1-1 はこれまでに述べてきた小型風力発電システムの開発コストの試算結果を表している。この風力システムには、発電した電力を有効に利用するために 400Ah またはそれ以上のバッテリーバンクを使うことが推奨される。しかし、これは地方電化においては実用的な考え方ではない。よってこの分析においては、2つの 50Ah バッテリーの利用を想定する。

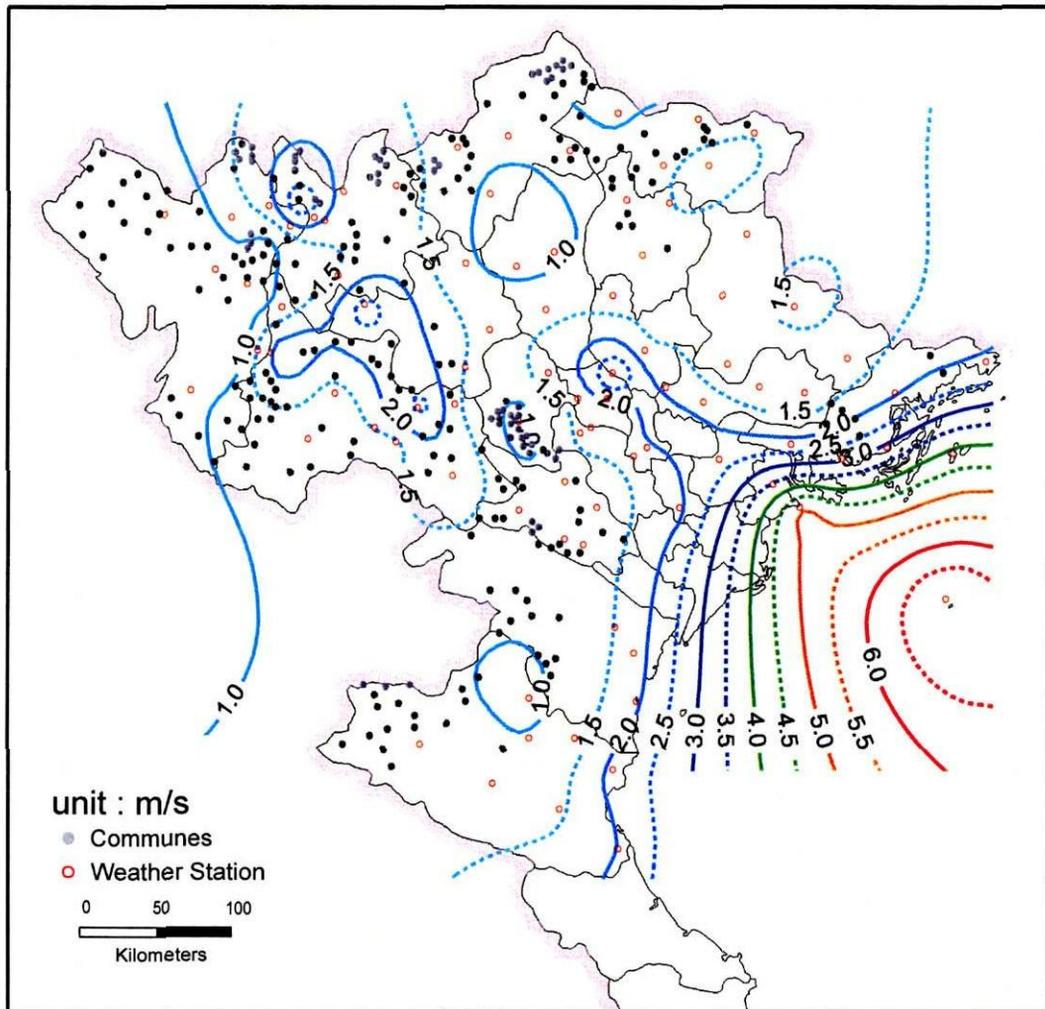
表 7-1-1 小型風力発電システムのコスト試算

No.	項目	単位	単価 (\$)	合計(\$)
1	風力発電機 (AIR403)	1	600	600.0
2	タワーシステム	1	800	800.0
3	バッテリー 100Ah (50Ah×2)	2	23.4	46.8
4	蛍光灯	4	7.0	28.0
5	その他		200	200.0
総計				1,674.8

このように風力発電システムはかなり高価である。これに対し、50W SHS のコストは \$348 (表 6-3-2 参照)と試算されている。さらに、風力発電機では羽根やベアリング部の交換などの保守作業も必要とされ、これも遠隔地においては困難な点である。従って、風力発電システムを off-grid 地方電化に利用することが正当化されることはあまりないという結論になる。

7-1-2 ヴィエトナムの風力ポテンシャル

価格やメンテナンスの点で、風力発電は太陽光発電に比べて不利であることがわかった。さらに、ヴィエトナム北部地域では、平均風速 4m/s 以上の地域を見つけるのは困難である (図 7-1-3 参照)。



出典：IE 提供の気象データより JICA 調査団が作成

図 7-1-3 ヴィエトナム北部風況マップ

7-2 小水力と太陽光のハイブリッド発電

乾期に小水力発電が出来ない場合に、太陽光発電を補完的役割として利用するハイブリッド発電方式について検討する。

7-2-1 ハイブリッド発電のための太陽光発電方式

小水力発電では配電線で各世帯に AC220V を供給する。このため、ハイブリッドにするためには、太陽光発電は SHS ではなく、集中発電によりバッテリーに充電した電気を DC-AC インバータで AC220V へ変換し配電を行う方式を採用する。小水力発電出力と太陽光発電出力の切り替えについては、小水力発電が利用できない乾期の補完という目的であるため、配電の切り替えは手動で行うこととする。ここでは 5kW のマイクロ水力と組み合わせられる PV

システムとして、各世帯が 20W の蛍光灯を 3 時間利用するのに十分な電気を供給することを最低目標とする。よって、合計で必要な電力量は、

$$20\text{W} \times 3\text{h} \times 100 \text{ 世帯} = 6,000\text{Wh}$$

このために、PV システムで発電されるべき電力量は、

$$6,000\text{Wh} \div 0.9 \text{ (DC-AC 変換効率)} \div 0.8 \text{ (充電効率)} = 8,333\text{Wh}$$

であり、3.5kWh/m²/day と想定して 3 kWp PV モジュールを要する。さらに電池の一日の放電量を 20% と想定すると 50Ah バッテリ 56 個分に相当するバッテリーバンクが必要となる。

建設費については、50W モジュール 60 枚だけでも約\$12,000 以上必要で、さらに電池や DC-AC 変換装置なども必要である。したがって、ハイブリッド用 PV システムのための総投資額は\$20,000 を超え、約\$10,000 と想定される基本発電システムの 5kW マイクロ水力よりかなりコスト高となる。村落住民がこの追加投資を負担することは難しい。二つの方式を用いるハイブリッドシステムによって電気供給サービスが向上するのは明らかだが、同時に「二重投資」となることが避けられない。地方電化の場合、地方村落の厳しい経済状態を考慮しなければならず、プロジェクト費用の削減が優先課題となるため、このようなハイブリッドシステムは推奨できない。

第3節 Off-grid 地方電化の推進戦略

第8章 環境影響評価 (EIA)

8-1 EIAのための組織と法制度

8-1-1 実施組織

ヴェトナム国内の環境保護活動については、科学技術環境省 (Ministry of Science, Technology and Environment ; MOSTE) が主要な監督機関である。各省 (province) には科学技術環境局 (Department of Science, Technology and Environment ; DOSTE) が設置されており、MOSTE の指導のもとに日常の環境保護に関する問題を処理している。このように、両機関は環境保護に向けてあらゆる活動を推進・指導するほか、環境保護の観点から国内で実施されるプロジェクトについて審査し、環境保護基準の要件を全て満たしていることを確認した後に、そのプロジェクト実施を認可する権限を有する。

8-1-2 法的枠組み

ヴェトナム国内におけるすべての環境保護活動は 1994 年に公布された環境保護法に基づき実施されるが、この法令の下、環境保護活動の実施細則を定めた各種の規定・指針類が制定、運用されている。また、MOSTE は全国的な環境基準を既に導入しているが、この他に省 (province) 独自の環境基準も運用されており、MOSTE の全国基準に優先して適用される。

8-1-3 EIAのプロセス

MOSTE は「投資プロジェクトの環境影響評価報告書作成・評価指針」の中で、事業の種類及び開発規模によりプロジェクトを次の2カテゴリーに分類・規定している。

カテゴリー I : 実際に環境に与える影響がある事業規模の大きなプロジェクト。
例えば、発電設備では容量 1 億 m³ 以上の貯水池を持つ水力発電所、出力 200MW 以上の火力発電所、原子力発電所が該当する。

カテゴリー II : カテゴリー I に該当しないプロジェクト。

カテゴリー I に分類されるプロジェクトの実施に当たっては、提案者は事業実施地域の環境の現状、環境への影響予測とその評価等をまとめた環境影響評価報告書 (Environmental Impact Assessment Report) を作成して評価機関に提出し、承認を得なければならない。ま

た、カテゴリーIIに分類されるプロジェクトは、提案者自ら環境への影響を評価した上で、評価機関に対して環境基準適合認定（Registration for Securing Environmental Standards：RSES）の申請を行わなければならない。

MOSTE と各省の DOSTE は、プロジェクト規模と環境負荷の大小に応じて、分担して環境に対する影響を評価する。水力発電所の場合は容量 1 億 m³ 以上の貯水池を有するものは MOSTE、それ以外の場合は各省の DOSTE が評価を行う。実質的な評価組織としては、中央レベルでは MOSTE、省レベルでは PPC の権限で各分野の専門家より構成される評価委員会 (Appraising Council) が設立される。この委員会での環境基準と照らし合わせた審査結果を踏まえて、MOSTE 大臣もしくは PPC 議長が認可または不認可を決定する。

8-2 Off-grid 地方電化における EIA

8-2-1 Off-grid 地方電化の環境への影響

本調査で提案する off-grid 地方電化プランは、水力や太陽光といったクリーンな再生可能エネルギーを利用するものであり、汚染廃水や排気ガス等有害物質の放出もない。火力発電やディーゼル発電に比べて自然環境への負荷が極めて小さいことは明白であり（表 8-2-1 参照）、こういった off-grid プロジェクトが環境上の問題を引き起こすことはまず無いと推論できる。

表 8-2-1 Off-grid 地方電化とその環境への影響

地方電化方式	特徴	環境への影響
Village Hydro	・既設灌漑用水施設を流用した取水設備及び導水路 ・設備の小型化	改変面積が小さく、環境に与える影響が小さい
	・発電使用水量が 0.20m ³ /s 以下と少量	開発に伴う河川流量の変化が少なく、河川利用者や水中生物に与える影響が小さい
	・発電設備下流側へ従前どおりの灌漑用水を供給	農業利水への影響がない
	・設備の小型化 ・水圧管路は土砂で被覆	景観を損ねない
Village Solar	・PV パネル・充電施設を公共施設敷地内に設置	改変面積が小さく、環境に与える影響が小さい
	・屋外配線が不要	景観を損ねない

8-2-2 Off-grid 地方電化の EIA プロセス

MOSTE の規定によれば、Off-grid モデルプランはカテゴリーII のプロジェクトに分類されるため、EIA に関する正式な手順は以下の通りである。

- ①環境基準に照らし合わせた自己評価の実施
- ②省の人民委員会に RSES の申請
- ③DOSTE による審査

しかし、実際は省人民委員会の裁量により、RSES 申請の要否がプロジェクト規模に応じて個別に判断されており、小規模プロジェクトは申請不要となるケースが多い。いずれにせよ、最終的に計画の詳細が確定した段階で、環境影響について自己評価を行い、DOSTE に対してその評価結果を説明して理解を得ることが大切である。自己評価の際に適用を考慮すべき環境基準と、off-grid モデルプランにおける評価見通しを表 8-2-2 に示す。

表 8-2-2 環境影響評価の自主的評価

考慮すべき環境基準	評価見通し
土地環境保護基準	土地改変面積が非常に小さいため問題とはならない
水質環境保護基準	汚染廃水を放出するものではなく悪影響はない
騒音規定環境基準	大規模工事は伴わないため大きな騒音・振動は発生せず問題とはならない
森林保護区の環境評価基準	保護区域内に該当する場合でも、開発行為の規模が小さいため問題とはならない
動物保護区の環境評価基準	
生態系保護区の環境評価基準	
景観保護区の環境評価基準	

8-3 再生可能エネルギーによる地方電化と地球温暖化問題

地球温暖化問題は国際社会でますます重要な課題となってきた。COP7（気候変動枠組条約第 7 回締約国会議）において京都議定書の実施規則が合意に達し、議定書の発効に向けた準備作業は加速しつつある。再生可能エネルギー資源を利用した発電は CO₂ 排出量削減に貢献する重要なアプローチであると認識されており、再生可能エネルギーによる off-grid 地方電化はこうした観点からも推奨される。ベトナムはこういった再生可能エネルギー資源が豊富であるため、京都議定書に取り決められているクリーン開発メカニズム（CDM）スキームを有効利用することが可能である。

次の試算例は、マイクロ水力発電所によってどれだけの CO₂ 排出量が削減できるのかを表したものである。再生可能エネルギーを利用した発電が地球環境保全に寄与する程度を定量的に把握するために、ディーゼル発電と比較して燃料消費と CO₂ 排出量がどれだけ削減でき

るかを試算したものである。これによれば、10kWのマイクロ水力発電所の建設による年間のCO₂削減効果は約30トンとなる。

10kWマイクロ水力発電所1基に相当する10kWディーゼル発電機により電力を供給する場合、このディーゼル発電機の年間CO₂排出量は以下のように算出される。ただし、ディーゼル発電機の設備利用率を40%、発電効率を30%と仮定する。

ディーゼル発電機の年間発電電力量は

$$\begin{aligned} & \text{発電機出力} \times \text{年間運転時間} \\ & = 10 \text{ kW} \times 8,760 \text{ hr/yr} \times 40\% = 35,040 \text{ kWh/yr} \end{aligned}$$

年間CO₂排出量は

$$\begin{aligned} & \text{年間発電電力量} \times 860 \text{ kcal/kWh} \div \text{発電効率} \times (4.1868 \times 10^{-9}) \text{ TJ/kcal} \\ & \times \text{軽油の炭素排出原単位} \times \text{炭素酸化比率係数} \times \text{CO}_2 \text{分子量} \div \text{C分子量} \\ & = 35,040 \text{ kWh/yr} \times 860 \text{ kcal/kWh} \div 30\% \times (4.1868 \times 10^{-9}) \text{ TJ/kcal} \\ & \quad \times 20.2 \text{ t-C/TJ} \times 0.99 \times 44 \div 12 \\ & = \underline{30.8 \text{ t-CO}_2/\text{yr}} \end{aligned}$$

出典：気候変動に関する政府間パネル ガイドライン

第9章 Off-grid 地方電化に関する戦略的提言

9-1 Off-grid 地方電化の推進における課題

これまでのところ、ベトナムにおいて Off-grid 地方電化プロジェクトが実施された例はほとんどない。このように事業実施が不活発であるのは以下の点に起因している。

- 1) 事業計画の出発点である、小水力ポテンシャルサイトについての体系的調査がこれまで行われてこなかった。
- 2) 省レベルから郡やコミューンレベルまでの組織体制や、off-grid 地方電化の計画・実施のための資金的措置が未整備であった。
- 3) マイクロ水力発電や太陽光発電などの新技術について国内技術力が十分に確立されていなかった。

以下の表に基本的課題をまとめた。

表 9-1-1 3側面から見た段階別問題点

	計画	施工	運転
資金	Province レベルで調査 予算・設計費などが不足	135 プログラム資金の off-grid 電化への活用は可能だが、実例はわずか。 海外ドナーとの基金や融資制度が協議中	住民負担の料金水準に政府の規制 マイクロファイナンス制度が未整備
技術	Province レベルの技術者が経験不足	新技術の国産化が未完成	運転・保守の国産技術が未完成
組織	Province の DOI と EVN などの連携体制が未整備	専門知識のある施工業者が少ない	CEU へのトレーニングプログラムが未整備 運転管理に関する外部組織との連携体制が未整備

本調査では、こういった課題とベトナム農村部の状況を詳細に検討した後、再生可能エネルギーによる off-grid 地方電化推進のための戦略プランを作成した。この中では、未電化コミューンデータベースと off-grid 地方電化モデルプランを完成させた。そこで次のステップである、off-grid プロジェクトをどのように円滑に実施するかという議論へ進みたい。

我々の提案した off-grid モデルプランはいくつかの新技術を含んでいるが、ベトナム国内には技術的ベースが備わっている。このため、国内機器メーカーや施工業者は、Village

Hydro や Village Solar に必要な技術を、短期間で習得することができると考えられる。

資金問題については、ひとつひとつの off-grid プロジェクトは小規模なものであり、必要な事業費は\$10,000~\$20,000 程度である。Off-grid の電源により裨益する住民は、いくらかの電気料金を支払い、その資金で少なくとも運転コストをカバーすることができる。政府は初期投資コストを下げるために補助金を投入する必要がある。補助金を除いた初期投資コストの残りについては住民が負担し、長期間で返済することとなる。以上のような資金措置は 135 プログラムのような農村開発プログラムが適用されれば十分実現可能である。加えて、海外ドナーの off-grid プロジェクトへの資金支援も加速化してくるだろう。我々はベトナム政府が強く要望していた off-grid 事業の資金スキーム具体化のために、JBIC や他の関連機関と意見交換を行って off-grid プロジェクトへの理解を深め、支援のための資金措置の具体化を図ってきた。しかし、必要とされる予算規模は小さいため、政府は海外ドナーの支援を待たずとも自己資金を用いてプロジェクトを開始することができるのである。

以上のような考え方にに基づき、ベトナム北部の農村地域の条件に適した小規模 off-grid プロジェクト(Village Hydro や Village Solar)を政府が推進することを勧告する。潜在的課題は人的資源に関するものである。Off-grid 地方電化の中核となる PPC 技術者を主要な対象として、off-grid プロジェクト推進のための戦略プランを作成していく必要がある。また、村落住民の活用もまだ不十分である。適切なトレーニングを受ければ、村落住民自らの手で off-grid 電源の維持管理に係る様々な作業を行うことができる。電源が引き渡された後には、いずれにせよ彼ら自身で運転管理していかなければならないのである。

9-2 Off-grid 地方電化の戦略

モデルプランに基づく off-grid 再生可能エネルギープロジェクトを推進し、ベトナム北部における off-grid 地方電化の目標を達成するためには、ベトナム政府と各省人民委員会に次のようなアクションの実行を期待したい。

2002-2003 (準備段階)

各省人民委員会 (PPC) の技術者のキャパシティビルディングと国内企業の技術力向上のため、パイロット事業を実施する。

候補コミュニティを選定し、設計と資金措置を含む開発計画を立案する。

2004- (実施段階)

様々なソースの基金を活用し、作成した計画に基づく off-grid プロジェクトを実施する。これにより、PPC 技術者が Off-grid 開発に関するノウハウと経験を蓄積することができる。

村落住民が off-grid 計画を推進できるよう、off-grid 技術の普及に努める。

民間企業の off-grid 事業市場への参入は、必要投資額が大きく短期間の回収が困難なため、まだ時期尚早である。Off-grid 電化においても農村部の電気料金は、実質的に規制されていると言える。従って、農村住民の所得水準が向上するまで、公的セクターがしばらくの間、中心的役割を果たすことが期待される。これに関連し、PPC は地方部の状況と資源を考慮したモデルプランに基づき off-grid 事業を実施する。さらに、本報告書で提案した事項については地元住民の理解と参加が不可欠である。地元リーダーの理解と積極的な参加を得るためには、何度も現地を訪問する必要があるが、これは off-grid 事業の実施において欠かせない手続きであり、長期的に見れば事業の成功につながり、得るものも大きい。

9-2-1 資金措置

提案したモデルプランは初期投資の規模が小さく、\$10,000 から \$20,000 程度のもので多いと予想される。従って、資金源の第1の選択肢は「135 プログラム」である。灌漑水路の建設と同時に水路を共用するマイクロ水力発電所を建設するというアプローチが考えられる。また、将来的には世銀や国際協力銀行からの資金援助の可能性もある。政府にはできるだけ早くこれら資金計画を具体化し、個々の off-grid プロジェクトへの資金援助に関するガイドラインを策定することが望まれる。農村部の負担能力からみて、off-grid プロジェクトの実施には補助金の支出は不可欠である。適正な補助率については収支見積に基づいて算出されるべきである。投資コストがモデルプランの水準まで低下し、システム機器の品質が向上すれば、住民が 50%の補助を受け、残りを 20 年間で返済するというシナリオは十分実現可能である。

また、ベトナム政府は地方電化に関してマイクロファイナンス制度を確立することが必要である。マイクロファイナンス制度を整備することにより、接続費用、電気機器やバッテリー購入費などの電化に伴う一時的な費用 (\$20 前後) について、その全ては電化初期段階で確保できない住民層も電化の利益を享受できるようになり、遠隔地域での所帯別電化率の向上につながる。

9-2-2 技術開発

Off-grid 電化のための技術は基本的なシンプルなものを目指すべきであり、ベトナムの国内技術をベースに開発していくことが可能である。「シンプルだがしっかりした設計」が長期にわたる持続可能性の確保の鍵を握る。もちろん、off-grid システムとしての運転・保守の容易化のための新技術が必要であるが、ベトナムには高い技術的ポテンシャルがあるので、国内メーカーがこうした新技術体系を開発し、製品化することは十分可能である。

第1段階として、こういった off-grid 技術のデモンストレーションと普及のために、パイロット事業の実施を提案する。このパイロット事業では、実際にその技術を適用して国内での生産能力、施工能力を強化できるよう、国内の有力なメーカーや施工業者に対しても技術習

得のために積極的な参画を促すことが必要である。さらに、システム利用者（村民）がシステム運用に必要なノウハウを習得できるように、運転・保守マニュアルや関連トレーニングプログラムを整備することが重要である。

9-2-3 組織整備

PPC 技術者の off-grid 地方電化に関する計画能力強化は緊急課題であるが、パイロット事業の実施はこの点で大いに役立つものである。また、国レベルでも電力問題を所管する MOI に設置された off-grid 地方電化推進の中核組織(Management Board)と各省(province)の協力体制の確立を図ることが必要である。ベトナム国内のメーカーや施工業者については、off-grid 事業の過程において成長しうる十分なポテンシャルを有しており、将来的には事業の上で重要な役割を果たすであろう。ベトナム政府は、より高い持続可能性の確保の観点から、例えば、製造業者や施工業者に対し、運転開始後の住民へのトレーニングや定期点検を確実に行わせるなど必要な施策を講じることが望まれる。

利用者サイドについては、維持管理組織として提案された CEU は農村部における一般的な組織形態に準じており、その設立や業務実施に問題はない。しかし、いくつかの業務内容は住民にとって初めてで複雑なものであり、彼らが心配なく日常業務を行えるように、十分に検討されたトレーニングを実施することが重要である。

9-2-4 提言まとめ—今後の施策について

こういった問題意識から、ベトナム政府として Off-grid 地方電化の推進のため、以下の施策を、適切な時期に講じることがを勧告する。

1) 資金の確保

- ・ドナーによる資金援助措置の具体化
- ・Off-grid 事業の開発費補助の原則を明確化
- ・マイクロファイナンス制度の整備

2) 技術開発

- ・パイロット事業の実施
- ・技術マニュアルの整備
- ・Off-grid 関連機器の国内開発と品質向上

3) 組織体制の強化

- ・PPC 技術者の能力強化（キャパシティビルディング）
- ・政府と province の連携強化
- ・EVN や PC の外部支援体制の確立
- ・利用者組織（CEU）の運転・管理マニュアルの整備