

開発途上国向け太陽光発電技術の 導入・普及に関する総合分析報告書 (プロジェクト研究)

平成 26 年 2 月
(2014 年)

独立行政法人 国際協力機構
(JICA)

有限会社 クライメート・エキスパート
株式会社 PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
一般財団法人 日本気象協会

産公

JR

14-020

目 次

0. サマリー	14
0-1. 系統連系型 PV システム	14
0-2. オフグリッドにおける独立型 PV システム	16
0-3. 民間企業がビジネスを実施する上での視点	19
I. 報告書の目的	21
I-1. 本プロジェクト研究の背景と目的	21
I-2. 調査対象地域	21
I-3. 本プロジェクト研究の基本方針	22
II. JICA のこれまでの活動(分類)とその考え方	25
II-1. JICA の行ってきた支援活動の概観	25
II-2 JICA 事業のパイオニア性	26
II-3 JICA の支援のアプローチ	27
II-4 JICA の支援の方法論	29
III. 系統連系型 (オングリッド) システムの分析	33
III-1. JICA の活動事例と考え方	33
III-2. JICA 以外の援助機関・国際機関の活動と考え方	35
III-3. 分析の視点	39
III-4. 個々のプロジェクトの特徴	43
III-5. 民間企業の特徴と動き	50
III-6. 考察	53
III-7. 結論	57
IV. 独立型 (オフグリッド) システム普及プログラムの分析	58
IV-1. 電源選択の考え方(供給側)	58
IV-2. PV を用いたオフグリッド技術/プロジェクト/プログラムのオプション類型化	61
IV-3. JICA の活動事例と考え方	81
IV-4. JICA 以外の援助機関・国際機関の活動と考え方	81
IV-5. 大量導入事例(バングラデシュ SHS)とその比較分析	82
IV-6. PV によるオフグリッド地方電化プログラム事例分析まとめ	91

V. 日本の民間企業に対するメッセージ	97
V-1. 途上国の PV 関連ビジネス分野でどこに参入が可能か？	97
V-2. 必要な情報	97
V-3. どこにどれだけのポテンシャルニーズがあるか？	99
V-4. ビジネスの分類とキーポイント	101
V-5. JICA の途上国支援の経験から	104
V-6. 公的機関の活用	105
V-7. 日本企業の比較優位	108
V-8. まとめとその他のポイント	109
VI. 開発途上国実務者、国際機関等に対するメッセージ	111
VI-1. はじめに	111
VI-2. JICA の経験から得られたもの	113
VI-3. JICA の今後の方向性	123
資料編	121
資料 A PV 技術・システムの位置づけ・特徴・分類	127
A-1. 電気へのアクセス向上の考え方	127
A-2. オフグリッド電化策の選択と PV システム	129
A-3. ミニ(OR マイクロ)グリッドの電力供給側からの考え方	131
A-4. 家庭用・小規模店舗用以外の用途	135
資料 B 2000 年までの国際的 PV 支援	137
資料 C グリッド電化と独立系システム	148
C-1. 独立型システム導入の理由と考え方	148
C-2. 電気にアクセスできない人の割合	151
C-3. 電化率と経済水準	152
資料 D ピコソーラーの特徴と新しい試み	155
資料 E JICA 環境プログラム無償による系統連系型 PV システム導入国	164
E-1. 国別調査結果 (21 カ国)	164
E-2. 国内担当コンサルタントに対するヒアリング結果	214
E-3. 現地調査 (モンゴル, パラオ, モルディブ)	220

資料 F 普及フェーズの新しいチャンネル	259
F-1. NAMA (NATIONALLY APPROPRIATE MITIGATION ACTION)	259
F-2. 排出権メカニズム (CDM と JCM/BOCM)	261
F-3. 再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT)	264
資料 G PV システム推定価格と発電コスト試算例	273
資料 H. 参考文献	275

図リスト

図番号	タイトル	ページ
図 1	PV システムのスケールのイメージ	23
図 2	JICA の行ってきた PV 分野の各種支援実績事例	25
図 3	JICA の電化推進支援のアプローチの変遷	27
図 4	開発調査と技術協力プロジェクト	29
図 5	パイロットプロジェクトの維持管理体制構築と普及制度検討の例	30
図 6	再生可能エネルギーのプログラム化 (ガーナの事例)	31
図 7	再生可能エネルギーマスタープランのセクター横断的な計画 (ガーナの事例)	31
図 8	ガーナでの人材育成プロジェクトで作成されたマニュアル	32
図 9	IEA-PVPS の概要	36
図 10	NEDO 国際共同実証開発事業の実施方針	37
図 11	PV システムの発展フェーズの概念図	38
図 12	大分類への類型化のイメージ	41
図 13	「背景情報」の類型化	41
図 14	「事業の基礎的情報」の類型化	42
図 15	「事業に対する分析」の類型化	42
図 16	チンギスハーン国際空港内のモジュール設置状況	47
図 17	ウランバートル市内の PV 関連商品市場	47
図 18	パラオ空港駐車場の PV モジュール外観	48
図 19	空港内の表示ディスプレイ(写真右上)	49
図 20	モルディブ Thaaajudeen 小中学校屋上の PV パネル	50
図 21	供給側の電源選択の考え方のフローチャート例	59
図 22	独立型ミニグリッドの各種電源コスト比較例	60
図 23	オフグリッド電化タイプと役割	62
図 24	SHS プログラムの標準的な構造	68
図 25	携帯電話基地局をコアとしたコミュニティ・マイクログリッド	76
図 26	2030 年にフルで電気へのアクセスを達成する場合のアプローチ	80
図 27	バングラデシュ SHS プログラムの構造	83
図 28	IDCOL データベースソフトウェア(自主開発)のスナップショット	85
図 29	Grameen Shakti の技術トレーニングセンターと女性テクニシャン	86
図 30	ユーザーの支払いイメージ(50Wp システム)	86
図 31	バングラデシュ SHS プログラムのファンドフローと各主体の役割	88
図 32	エチオピア SHS プログラムの構造	89
図 33	PV システムの地域別年間導入規模	99

図 34	地域別用途別 PV 市場 (BaU シナリオ)	100
図 35	PV システムの規模と単価イメージ	101
図 36	ケニア KPLC の運用するミニグリッドの発電効率(PV/風力の導入されているもの)	109
図 37	制度およびビジネスとしてのキーサクセスファクター	110
図 38	グリッドへの接続料金比較	128
図 39	ミニグリッドの需要と各電源の発電の概念図	132
図 40	ミニグリッドの運用の概念図	133
図 41	SHS と需要機器の概念図	135
図 42	国別の電気にアクセスできない人口の比率(左)と総数(右)	152
図 43	電化率と一人あたり GDP との関係	153
図 44	多様なピコソーラーの例	156
図 45	M-KOPA Solar で販売されている 2 製品と SIM カード内蔵のコントローラー	159
図 46	ソーラーランタンのコスト分解例	160
図 48	プロジェクトサイトにおける系統連系のダイアグラム	222
図 49	モジュール設置状況	223
図 50	プロジェクトサイトにおける傾斜日射量および PV 発電量の推移	224
図 51	電光掲示板(左)および案内板(右)	225
図 52	ウランバートル市内の市場(左)および風力・太陽光発電専門店(右)	227
図 53	パラオ国際空港の PV システム設置状況	233
図 54	パラオ国際空港のパワーコンディショナーシステム設置状況	233
図 55	パラオ国際空港の発電状況表示板	234
図 56	日積算日射量と日積算発電量の推移	236
図 57	連邦政府庁舎の PV システム発電状況表示板	239
図 58	教育省の PV システム設置状況(モジュール概観)	240
図 59	教育省の PV システム発電状況表示板	240
図 60	教育省の PV システム設置状況(外されたケーブル)	240
図 61	教育省の PV システム設置状況(燃焼した接続ボックス)	241
図 62	ベラウ国立病院の PV システム設置状況	242
図 63	ベラウ国立病院の PV システム発電状況表示板	242
図 64	WCTC ショッピングセンターの PV システム	242
図 65	パラオ(コロール)の系統電力のほとんどを依存するマラカル発電所	243
図 66	ディーゼル発電機 2 台を増設中のアイメリーク発電所	244
図 67	STELCO(左)と Thaa Juddeen 小中学校(右)に設置された PV システム	249
図 68	Hiriya 小中学校に設置されたディスプレイ(左:一般用, 右:関係者用)	249
図 69	マレ等における日負荷曲線	251
図 70	NAMA Registry に登録された NAMA のタイプ (2013/9/1 時点)	260

図 71	CDM プロジェクトとプログラム CDM(pCDM=PoA)の地域分布	261
図 72	CDM プロジェクトとプログラム CDM のプロジェクトタイプ別地域分布	262
図 73	CER 価格と EUA 価格の推移	263
図 74	主要国の再生可能エネルギー固定買取価格(2011/12 年)	265
図 75	PV システムの国別推定価格(2012 年末時点)	272
図 76	将来の MW 級 PV システムの価格レンジ推計	272
図 77	PV による発電コスト試算例(1 MW _p)	273

表リスト

表番号	タイトル	ページ
表 1	対象とする案件のタイプ別分類例	24
表 2	環境プログラム無償(太陽光)の対象国と対象施設	28
表 3	JICA による系統連系型 PV システム導入プロジェクト	34
表 4	援助機関・国際機関の系統連系型 PV システムの導入事例	39
表 5	系統連系型 PV システム導入に関する調査手法	43
表 6	調査結果の類型化のための分類表(各国毎に整理)	44
表 7	民間企業の系統連系型 PV システムの導入事例	51
表 8	主な分類項目	54
表 9	アフリカでの SHS パッケージ価格例 (50 W _p システム)	63
表 10	Grameen Shakti の SHS パッケージ	64
表 11	望ましい対象国の各種情報	96
表 12	ハイブリッド型ミニ/マイクログリッドシステム的意思決定のポイント	102
表 13	JICA/外務省の調査サポートを活用した PV 案件	105
表 14	オフグリッド地域電化オプションの分類表	128
表 15	初期の PV プログラムの事例	135
表 16	2000 年までの世界銀行の PV 関連プロジェクト	136
表 17	2003 年までの WB, IFC, GEF, UNDP, UNEP, ADB の PV 関連プロジェクト(1)	137
表 18	2003 年までの WB, IFC, GEF, UNDP, UNEP, ADB の PV 関連プロジェクト(2)	138
表 19	WB グループによる PV 関連プロジェクト	139
表 20	2000 年までの GEF 資金による PV 関連プロジェクト	140
表 21	2003 年までのアフリカにおける PV 関連プロジェクト事例(1)	141
表 22	2003 年までのアフリカにおける PV 関連プロジェクト事例(2)	142
表 23	2006 年までの WB の開発プロジェクトにおいて PV 導入が含まれていた事例	143
表 24	開発途上国における PV 分野の民間のベストプラクティス活動事例	144
表 25	Ashden Award 受賞 PV 関連活動	145
表 26	世界の地域別電化率(グリッドへのアクセス可能人口比率)	149
表 27	Lighting Global による新しい最低性能基準(2014 年 1 月から適用)	159
表 28	プロジェクトサイトにおける日射量および PV 発電量等の推移	224
表 29	日平均気温, 日積算日射量および日積算発電量の推移	235
表 30	パラオの系統連系 PV システム	238
表 31	FIT 政策の効果	265
表 32	FIT 制度を採用している国/州/地域の累計	267
表 33	FIT 制度が導入された途上国(世銀貸付資格区分別)	269

略号リスト

AC, DC	交流と直流. PV 発電は直流発電
ACE	Actions for Cool Earth. 日本政府が 2013 年末に提唱した攻めの温暖化外交戦略.
ACP	Africa, Caribbean, and Pacific (アフリカ・カリブ・太平洋地域)
ADB, AfDB	Asian Development Bank (アジア開発銀行), African Development Bank (アフリカ開発銀行)
Ah	Ampere-Hour (電池の放電容量を表す単位. フル充電時に, 放電できなくなるまでに放電できる電気量. 実用上は電池の放電特性を考慮する必要があり, 電池の標準電圧に依存するため蓄えられるエネルギー量を直接表すわけではない).
BCS	Battery Charging Station (バッテリー充電ステーションまたはサービス)
BOP	Base of the Pyramid (所得階層を構成する経済ピラミッドの底). その上の所得層を MOP, TOP と呼ぶこともある.
CAPELCO	Capiz Electric Cooperative, Inc. (フィリピンの民間電力会社)
CDM	Clean Development Mechanism (クリーン開発メカニズム)
CER	Certified Emission Reduction (CDM クレジット)
CERT	Committee on Energy Research and Technology (IEA の下のエネルギー研究・技術委員会)
CFL	Compact Fluorescent Lamp (電球型蛍光灯)
CGAP	Consultative Group to Assist the Poor (途上国貧困層へのファイナンスに関する新たな試みを求める国際的なパートナーシップ)
DIY	Do-It-Yourself (日曜大工的)
DSM	Demand-Side Management (電力の需要側管理)
ESCO	Energy Service Company (エネルギーサービスを行う民間会社. 省エネなどで経費削減実績から対価を得るだけでなく, ここではエネルギー供給サービスも含む)
EU	European Union (欧州連合). EU ETSは欧州排出権取引制度. EUAはその排出権.
FIT	Feed-In Tariff (再生可能エネルギーを用いた発電に関する固定価格買取制度)
GDP	Gross Domestic Product (国内総生産)
GEF	Global Environmental Facility (地球環境ファシリティ)
GHG	Greenhouse Gas (温室効果ガス)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (ドイツ国際協力公社)
Grid	送電網および配電網. オフグリッド地域＝無(未)電化地域
GS	Grameen Shakti (グラミン・シャクティ. Grameen Bankファミリーの非営利団体の一つ), ベンガル語で, Grameenは農村, Shaktiはエネルギーの意味.

HHs	Households (家庭)
ICS	Improved Cookstove (改良かまど)
IDCOL	Infrastructure Development Company Limited. バングラデシュの国有インフラ及び再生エネルギー投資金融機関. SHSプログラムを管理.
IEA	International Energy Agency (国際エネルギー機関)
IEA-PVPS	IEA の REWP (再生可能エネルギー・ワーキングパーティー) の下に設けられた Photovoltaic Power Systems Programme. 13 のタスクを持つ (6 つが完了).
IFC	International Finance Corporation (国際金融公社)
IRR, NPV	Internal Rate of Return (内部収益率), Net Present Value (正味現在価値)
IPP	Independent Power Producer (電力の卸事業者)
JCM/BOCM	Joint Crediting Mechanism or Bilateral Offset Credit Mechanism (日本政府の提唱する気候変動枠組条約の下での新たな排出削減量クレジットスキーム. 二国間合意をベースとする)
JBIC	株式会社国際協力銀行 (Japan Bank for International Cooperation)
JETRO	独立行政法人日本貿易振興機構 (Japan External Trade Organization)
JICA	独立行政法人国際協力機構 (Japan International Cooperation Agency)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau (ドイツ復興金融公庫)
KIOSK	エネルギーKIOSK (コミュニティ等におけるエネルギー関連サービスを行うキオスク的ステーション)
LDC	Least Developed Country (後発開発途上国)
LED	Light Emitting Diode (発光ダイオード. 高効率照明)
LPG	Liquefied Petroleum Gas (液化石油ガス)
MEE	Ministry of Environment and Energy (モルディブ 環境・エネルギー省)
MFI	Micro-Finance Initiative (マイクロファイナンスを提供する民間の金融機関)
M-KOPA	ケニアのピコソーラープロバイダー. 携帯電話会社SafaricomのプリペイドSIMを用いた支払いシステムM-PESAを用いるのが特徴.
MoWE, AEO	エチオピア中央政府の水・エネルギー (・灌漑) 省と, 代替エネルギー局 (Alternative Energy Office). 州政府の場合には, BoWME (水・鉱物・エネルギー局 (Bureau)) とそのしたにAEOがある.
MRV	Measurement, Reporting, Verification. NAMAやCDMの必須項目. どのように行うかは, 制度に依存する.
NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Action (気候変動枠組条約の下で新たに動き出した途上国政府の気候変動緩和活動. 国内MRV体制構築が必要. 隔年更新報告書BURで締約国会議(COP)に進捗報告が必要で, ICA (International Consultation and Analysis) というチェックプロセスを受ける).

NEDO	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization)
NEXI	独立行政法人日本貿易保険 (Nippon Export and Investment Insurance)
NGO	Non Governmental Organizations (非政府組織)
NZAID	New Zealand's Agency for International Development (ニュージーランド)
OBA	Output-based Aid (資金提供のタイミングや大きさがアウトプットに応じた援助手法)
ODA	Official Development Assistance (政府開発援助)
O&M	Operation & Maintenance (維持管理)
PCS	Power Conditioning System
PDCA	Plan-Do-Check-Actのサイクリックな改善プロセス
PoA	Programme of Activities. CDMの一形態でプログラム型. コーディネーターの役割が重要となる. SHSプログラムをPoA化したものもある.
PO	Partner Organizations (IDCOLプログラムでSHSの設置・普及を行うサービスプロバイダー)
PPP	Purchasing Power Parity (購買力平価)あるいは Public-Private Partnership
PPUC	Palau Public Utilities Corporation (パラオ電力公社)
PV	Photovoltaic (太陽光発電)
REIPPP	Renewable Energy Independent Power Producer Procurement (南アフリカ 独立系発電業者からの再生エネルギー電力調達計画)
REWP	Working Party on Renewable Energy (IEA の下のエネルギー作業部会)
RPS	再生可能エネルギー導入割当制度 (Renewable Portfolio Standard)
SHS	Solar Home System (戸別太陽光発電システム)
STELCO	State Electric Company Ltd. (モルディブ電力公社)
Tk	Taka (タカ. バングラデシュの通貨). 1 タカはおよそ 1.3 円
UNDP	United Nations Development Programme (国連開発計画)
UNEP	United Nations Environment Programme (国連環境計画)
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization (国連工業開発機関)
WB	World Bank (世界銀行)
WT	Wind Turbine (風力タービン)
W _p	W _p (ワットピーク) は, 標準測定条件 (STC) における太陽電池モジュールの直流出力の最大電力をワットで表したもの. 標準的な測定条件は, 日射量: 1,000 W/m ² , 外気温度: 25°C, エアマス (AM): 1.5 の全天日射である. エアマス 1.5 とは, 垂直からの入射光より 1.5 倍空気層を通る (ほぼ天頂角 48°) という条件を表す.

0. サマリー

0-1. 系統連系型 PV システム

電化率の低い開発途上国の PV システムは、バッテリーを利用したオフグリッド用の独立型が多く、系統連系型の PV システムは、電化率が高く技術面での課題の少ない先進国で主に採用される傾向にあった。現在では、途上国でもグリッドの延伸や技術力のレベルアップに伴い、特定施設対象、建物のルーフトップ型、メガソーラーなど、電力系統やミニ/マイクログリッドへの組み込み型システムが進んできている。JICA においても、2008 年から環境プログラム無償資金協力により約 30 か国において、系統連系型 PV システムの導入支援を実施してきている。

今回調査を行った約 8 割以上の国（運転開始済みの 21 か国のうち 17 か国）では、対象国初の系統連系型 PV システムとして導入され、JICA は当該国の電力系統への太陽光発電導入のパイオニアとしての役割を果たした。これらの国々では、系統連系を行うための技術基準策定のきっかけとなり、国内初のケースではない場合でも、総容量の大きい PV システムを導入するなど、技術的な発展を伴う支援を実施した。加えて、今回の調査対象ではないもののトンガでは、首都の基幹系統の一割以上と大きな部分を占めるマイクログリッドの設置も行われている。これらの国々では、JICA のプロジェクトを通じ、技術移転や系統連系ガイドライン作成等の環境整備が進んだことから、今後の再生可能エネルギー導入の技術的および制度的障壁は小さくなったといえるだろう。

これらの PV システムは、政府機関、教育機関・研究機関、空港、電力関連施設等の公共施設、もしくはそれに準拠する施設に設置されていることから、一般市民の目に触れやすく、教育・啓発効果も見込めると考えられる。これらのデモンストレーション効果は、国内初もしくは初期の系統連系型 PV システムとして、技術基準整備のきっかけを作ったことと合わせ、今後の普及拡大への貢献が期待される。

また、運用開始後から一定期間を経たものは、現地側のみの維持管理体制での運用が進んでおり、現地の関係省庁から、研修及び共同運用期間を通じた技術移転が電力会社等の能力向上に貢献したとの声も聞かれた。他のドナーの事例も含めた教訓として、維持管理体制の構築に当たっては、電力会社を維持管理体制に組み込むことで、専門的知識を必要とするトラブルへの対応などにおいて、より安定した設備運用が可能となることが確認された。更に、モンゴルやジブチ等では、設置された PV システムの発電電力

量等のデータを継続的に収集し、今後の類似システム設計に際して必要な知見が蓄積されており、系統連系型 PV システムの普及拡大が期待されている。対象国の受入れ体制によっては長期的な運用の継続性が不安視される国も一部見られたものの、概ね JICA によるソフトコンポーネントならびに太陽光発電導入のための課題別研修(JICA 関西、沖縄、九州)は、日本の技術および経験を基礎とした技術者の増加に繋がっているものと考えられる。

政策面では、固定価格買取制度(FIT)をはじめとした支援体制が法制化された国でも、その財源を適切に確保できていないため、実際に適用されていないケースも見られ、PV システム導入に際しては制度の運用実態を踏まえた検討が求められる。また、小島を多く抱える島嶼国、大陸内に位置し他国の電力系統と連系されている国など、地理的条件が国内での PV システム導入の位置づけを決める要素の一つとなるケースも見られる。特に輸入ディーゼル燃料に電力のほとんどを頼る島嶼国では、エネルギー安全保障や財政的な負担軽減の観点から PV システムをはじめとする再生可能エネルギーの導入が重要視されている一方、大陸内部では発電設備増強を周辺国への売電の機会と捉える国もあるなど、PV システム導入の目的は多種多様であることがわかる。導入に際しては、このような地理的条件やエネルギー政策、コスト等、技術面以外の要素の考慮も重要となる。上記のことから、今後の PV システム導入にあたって検討すべき要素は多岐に亘るものの、今回の調査対象国の多くにおいて、JICA の支援が系統連系型の PV システム導入への課題解決に、大きな貢献をしたといえる。

これらの事例から得られた、今後の開発途上国での系統連系型 PV システムの導入における要点は以下の通りである：

- これらの事例は、国内の初期の系統連系型 PV システムの導入にあたり、系統連系に必要な技術的課題を克服し、これらの事例を通じて、現地の電力会社も導入に必要な経験を積んでいる。また、いくつかの国では技術ガイドライン等の制度面の整備も進んでいる。
- 電力会社および維持管理担当の機関に対する研修、共同運用期間を通じた技術移転を通じ、現地担当者の技術力は向上している。現地側のみでの維持管理が可能なレベルに達しているとの政府機関・電力会社からの評価も聞かれており、また、研修を受けた技術者が、他の技術者に研修を行う事例も報告されている。
- 人目に触れやすい公共機関・教育機関等に PV システムを設置しており、市民に対する PV システムに対する認知向上に貢献しているものと期待される。
- これまでの事例では、現地の電力会社の維持管理体制への協力は、専門知識を必要とするトラブル等への迅速な対応を可能とし、安定的な運用に役立っている。

0-2. オフグリッドにおける独立型 PV システム

JICA の太陽光発電(PV)システムを用いた途上国支援は、PV 技術がまだ先進国でもあまり用いられていない技術開発の時代である 1980 年代前半から実施された。¹ JICA は開発途上国向け PV 技術導入普及を支援する機関として先頭集団のひとつであった。当初は、オフグリッドの村落電化個別プロジェクト型であり、上記 0-1 のオングリッド型が対象となるまでは、基本的にはバッテリーの必要なオフグリッド用電源として、PV システムが選択された。

1980 年代前半頃からは小規模なパイロット的な施設(給水、テレコム等)への設置事例が、無償資金協力の形で断続的に実施された。並行して、1990 年代からソーラーホームシステム(SHS)を中心とした地方部の未電化家庭を対象とした独立型システムの持続的な導入・普及モデルの検討を目指した計画策定支援(場合によってはパイロットプロジェクト付き)が、技術協力として加わった。1990 年代中頃になるとそれが PV を含む包括的な地方電化マスタープラン策定支援や、おなじく 1990 年代中頃の PV 普及を担う政府機関実務者の能力強化支援へと発展してきた。

電気にアクセスできていない家庭を対象としたオフグリッド PV システムとして代表的な SHS(戸別型で 50W_p 程度の容量)やバッテリー蓄電ステーション(BCS)は、持続可能な形で大量導入・運用が行われ、無電化人口の電化として総人口比 10%程度以上の電化率相当分として寄与した事例は、バングラデシュ(約 260 万台)やモンゴルの SHS(約 10 万台)を除いてはほとんどない。そのためもあり、現在では、どのドナーも、新たなオフグリッド電化支援策として、このアプローチを選択しなくなっている。ただ、そのような状況下でも、政策、プログラムの制度面、技術面、運営面など、いくつかのその「要素」に関する工夫や教訓は、JICA をはじめその他のドナーの活動から得られており、これらは今後とも PV 技術の導入・普及を展開する開発途上国の実務家向けに参考になると思われる。

JICA の 1980 年代のパキスタンでの初期の事例では、グリッド延伸が 10 年間以上当面計画のない地域に PV システムを導入したが、PV システムが導入されたことで、逆にグリッド延伸の優先度が下がってしまったことに利用者が抗議を行ったという報告がある。JICA の支援の経験から、個別 PV システム導入の前提として、国レベルの電化政策や計画および優先計画との整合性は重要であり、カンボジアやラオスのように政策・制度面の支援として、包括的な電化マスタープランを策定し、中長期的な視点でグリッド電化優先地域とオフグリッド地域を特定し、段階的計画的に電化していくことが有効であると考えられる。また、グリッド延伸後も、高い接続料金の問題や電源容量および送配電設備の開発の遅れや整備不足等に起因するグリッド電力の不安定性が残るケース(バングラデシュなど)

¹ 米国(USAID)の大洋州地域(キリバス)での試行錯誤による PV 支援活動、世界銀行グループの PV 支援活動もまだ開始されていなかった。

もあり、PV システムの役割はすぐにはなくならない点も留意が必要である。

運営面では、SHS の所有権や保守管理の責任について明確にすることの重要性が、バヌアツ等の事例から報告されている。加えて、マネージメントシステムの構築(とくに SHS の技術面とファイナンスのモニタリング・管理の一元化)と、それを適切に運営する能力を有するプログラム実施機関と SHS プロバイダーの存在、プロバイダーへのインセンティブ付け、さらにこれら全体の実施を支える相当数の技術者の育成が重要である。JICA の協調融資でさらなる拡大が期待されているバングラデシュの SHS プログラムは、こうした点を網羅し、課題を克服してきた経験を有している。

一方、コミュニティーの運営による BCS などの共有システムは、初期費用の負担とコミュニティー開発の観点からの裨益性、および責任の所在が不明確になりがちである、というバリアを個々でクリアしなければならない。そのため、カンボジアなどディーゼル発電を用いた BCS の経験を持つ一部を除いて普及事例は限定的である。一方で、企業が所有して責任を持って運用する場合、キリバスの SHS やカンボジアの BCS のようにある程度普及したモデルもある。新しく携帯電話基地局をコアにコミュニティー電力供給システムを検討する国際機関も出てきている。ただ、担当者の熱意に大きく依存する傾向があり、UNIDO の例など、人事異動を機に放置されるケースも散見される。

技術面では、PV システムは設置も簡易的で、開発のリードタイムも短く、2000 年以降気候変動対策ニーズの追い風もあり、先進国ドナー・国際機関の支援を受けて途上国政府が安易に導入する動きがあったが、PV 技術者の実務能力の不足やユーザーの理解不足に起因する容量をオーバーする利用により、1-2 年間(計画時の想定よりも短い期間)でとくにバッテリーが故障してしまった事例が、ボツワナなど数多く報告されている。また、ユーザー側の問題に加え、オフグリッド PV システムの動作を正確に理解した技術者がドナーやコンサルタント側にも少なく、設計・施工の不良により、設置後まもなく動作不良となった事例も多い。JICA の支援の経験からも、システムの適切な設計・コンポーネント・設置・O&M において、PV システムの特徴を正しく理解し、問題解決できるための人材育成・能力開発・トレーニングの重要性(実際の普及プログラムの運用でボトルネックになること)が明らかになっている(JICA の支援のほとんどの場合に、オフグリッドの場合にはユーザーの啓蒙活動を含むソフトコンポーネントとして組み込まれている)。とくに 2005 年のフィリピンでの SHS 能力開発プロジェクトの事例では、開発途上国の実情に合った技術的テキストも整備され、加えてその研修で学んだ実務技術者が、複数の国において南南協力という形の国をまたいだ技術の国際普及の担い手にもなっている。現在のケニアでの技術協力は、これに続くものとなる可能性を有している。

なお、JICA は 10W_p 以下のピコソーラーに対する支援を直接行ってこなかったため、このアプローチに関しては、巻末の資料編を参照されたい。

まとめると、JICA は、1980 年台前半から開発途上国向け PV 技術導入・普及のパイオニアのひとつとして取り組んできた。その約 30 年の経験から、オフグリッド向け PV 技術の導入・普及の鍵となる要素として、以下を結論できる：

- 独立型 PV システム導入の前提として、国レベルの電化政策や優先計画との整合性は重要であり、包括的な電化マスタープランを策定し、中長期的な視点でグリッド電化優先地域とオフグリッド地域を特定し、段階的計画的に電化していくことが有効。グリッド延伸後も、高い接続料金や停電など電気サービスの信頼性の低さにより、独立型 PV システムの役割が継続するケースもある。
- SHS や BCS の運営面で、所有権や保守管理の責任について明確にすることが重要。加えて、マネージメントシステムの構築(とくに SHS の技術面とファイナンスのモニタリング・管理の一元化)と、それを適切に運営する能力を有するプログラム実施機関と SHS プロバイダーの存在、プロバイダーへのインセンティブ付け、さらにこれら全体の実施を支える相当数の技術者の育成が重要である。
- システムの適切な設計・コンポーネント・設置・O&M において、PV システムの特徴を正しく理解し、問題解決できるための人材育成・能力開発・トレーニングやユーザートレーニングが、実際の普及プログラムの運用でボトルネックになることがある。

先進国/国際機関のドナーや途上国の政策担当者としては、上記の結論を踏まえた上で、オフグリッドの PV 電化を展開する場合には、以下の点に留意が必要である：

- 電化政策や計画全体の中での位置づけ・整合性。
 - グリッド延伸計画、電気料金体系や化石燃料(ケロシン)補助金政策も含む。
- 運営面での所有権や保守管理の責任の明確化(含セールス型か、フィー・フォー・ザサービス型かなどビジネール・モデルの選択)。
 - セールス型か、フィー・フォー・ザサービス型かなどのビジネール・モデルの選択も含む。
- 資金と設備を一体化したプログラム・マネージメントシステムのデザインと運用。
 - SHS プロバイダーがファイナンスサービスも提供し、出来高払い制度の下である程度の裁量を与えることで、金融サービス面からの追加収益、集金と定期チェック体制の一体化、競争環境を整備することができる。
- 使用するパーツの技術基準と、そのメーカー保証。
 - 技術面とくに製品選択のリスクへのユーザー負担の軽減。
- システマティックな技術者育成プログラムやユーザー啓蒙活動のデザインと運用が

必須.

0-3. 民間企業がビジネスを実施する上での視点

民間企業の PV 分野でのビジネスの可能性という点では、ビジネスとして成立する「規模」が重要な視点となる。ビジネスの種類[製品/パーツ供給型、特定施設対応型(ソリューション、専門性、ESCO 型)、IPP 型、コンサルタント]によっても異なるが、ビジネスとして成り立つレベルの市場の大きさを持つ分野に焦点を当てる必要がある。メトリックとして PV パネルの容量をとると、ソーラーランタンは数 W_p 、SHS は数十 W_p 、コミュニティーレベルシステムは数 kW_p 、ミニグリッド(の PV 部分)で 100 kW_p 程度、メガソーラーは MW_p レベル以上である。そして、数 W_p のソーラーランタンは数千円、 MW_p 級のメガソーラーは数億円といったビジネスのスケールのオーダーを考えることができる。たとえばシステム販売で 10 億円の売上げをあげることを目指すなら、ソーラーランタンでは 20 万個、メガソーラーでは 4 MW_p 程度一基となり、まず自社のビジネスとしてのリアリティーを計ることができる。

一般に日本製品は高価であるが、日本企業の強み(=日本企業に期待されているもの)として、製品の品質、システム構成力、確実な保守/アフターケア、きめ細かさ、特殊用途や際立った高性能などが考えられる。故障後に放置された PV 関連機器が散見される中で、日本の製品やアフターサービスの「信頼性」を挙げる人は多い。ビジネス上は、価格面での不利を凌駕する比較優位部分のアピール方法も重要で、信頼性、電気の品質、寿命、スマート化などに加え、エネルギー以外の付加価値とのパッケージ化なども工夫の視点となってくるであろう。その部分を重視する顧客をターゲットとすることも重要な要素となる。

開発の視点から検討されてきた SHS は、大きく拡大しつつある事例がバングラデシュのみであるため、他国で SHS(あるいはそのパーツ)を対象としたビジネスの実施は難しいとみられる。また、オフグリッドの貧困層(BOP 層)対象のエネルギー KIOSK 的な試み(BCS など)も、コミュニティー開発の側面の困難等に比較して、収益がほとんど見込めないため、日本企業のビジネスとして成り立つ可能性は乏しい。BOP 層相手では、ソーラーランタン等のピコソーラーの可能性はあるが、競争も激しい。セールスモデルの場合、JICA での支援経験は少ないが、現行の民間企業の BOP ビジネスの取り組みから、資金面での「分割払い」の仕組み、製品の保証制度、販売網での工夫などの留意点を考慮する必要がある。一方で、オフグリッド地域の場合、JICA で事例のある大学・病院などの公共施設や、民間のホテルなどの特定施設対応型 PV システム設置は、個々の規模はそれほど大きくないが、うまくデザインすれば、ビジネスとして成立するものとなりうる。施設によってはシステムの供給信頼性をかなり重視するため、日本製品やサービスの比較優位が生きる。ただ実際は再生可能エネルギーに対する理解不足に由来する銀行からの融資を受けることが難しいなどの課題も多く、銀行への融資交渉からシステムのデザイン、メンテナンス

ス・アフターケア管理もできるような現地の有能なパートナーと組むことが必須であろう。ディーゼル発電とのハイブリッド型の視点も重要である。

輸入燃料をベースとしたディーゼル発電に依存したモルディブなど島嶼国では、発電コストが kWh あたり 40 セントを超えるケースも多く、赤道に近く日射条件の良い国では、PV の kWh 発電コストがグリッドパリティ(既存電力と同等もしくはより安価)に達していると考えられる。こうした国では、PV システム等の再生可能エネルギー導入の要請がますます高まっている。島嶼国では数 100 kW レベルのディーゼルと PV のハイブリッドシステムが典型的な大きさとなる(一種のミニ/マイクログリッドで系統連系の場合)。その他、ケニアなどの主グリッドから離れた遠隔地においても、独立型ミニグリッドが有望視されており、国際機関の関心も高くなってきている。機器単体ではなく、システム全体をターンキー型で供給するビジネスの可能性が高い。定量的なディーゼル燃料の焚き減らし効果による長期の経済性と共に、電力供給の安定性や品質への要求度合いに応じた技術的ソリューションを提供することが、日本企業の強みとなるであろう。

メガソーラー(IPP もしくはそれへの機器/システム提供のビジネス)やルーフトップ型(業務用と家庭用)も、途上国での導入が進みつつある。日本政府の環境プログラム無償協力により、系統連系型 PV システム導入に向けた逆潮流の法律および手続きが整備され、また、各国の FIT の導入などの政策面での後押しが進む国が多く見られることから、これらの国では、今後の可能性は更に高まると期待される。

なお、今回のスタディーにおいては、JICA の PV 分野の支援が行われてこなかったという点もあり、最大のポテンシャルを持つ途上国である中国とインドのケースは調査してはいない。これらの国、特にほぼ 100%電化を達成している中国に関しては、ルーフトップ型系統連系システムのポテンシャルが大きいことが指摘されている。

JICA では、途上国開発を進める上で、日本の民間企業との連携や、民間ビジネス支援のための環境整備も実施している。特に、ソフトコンポーネントを通じた当該国の関連政策・法制度・ガイドライン等の整備、技術移転、気象などの測定データの蓄積、日本技術による PV システムのショーケース効果等は、オフグリッド、系統連系型の両方において、多くの国の支援内容に含まれている。また、技術者育成では、パラオのように国内で民間事業者に再移転され、技術ベースの裾野を広げる計画が立てられているケースもある。ビジネスの観点からは、このような JICA が支援を行った国、すなわち日本への信頼が高く、ビジネス環境が整ってきており、情報が蓄積された国を、対象国の選択肢として検討することも有効であろう。

I. 報告書の目的

I-1. 本プロジェクト研究の背景と目的

本プロジェクト研究では、1980年代以降、JICAが行ってきた数多くの開発途上国向け太陽光(PV)発電の技術導入支援・普及事業の

- 系統連系型(オングリッド型)
- 独立型(=非系統連系型, オフグリッド型)

の2種類をベースとして、

- JICA(やその他の機関)の活動の過去の知見・経験と価値の体系化・グッドプラクティス・教訓の抽出、と
- 今後の開発途上国向け太陽光発電技術導入に関し、政府機関および国際機関等の実務者、民間企業への提言

をまとめることを主目的としている。

このプロジェクト研究の成果のフィードバック先としては、

- 太陽光発電関連の日本企業の海外展開への支援(省エネ等のビジネス協議会や太陽光ワーキンググループ, JICA 民間連携事業などを通じて)
- 国際社会への JICA の知見・経験²の海外発信(国際フォーラム等を通じて)

を念頭においたものとする。

I-2. 調査対象地域

とくに指定をせず、全世界の開発途上国を対象とする。

² 純粋な過去の JICA の支援・普及事業だけでなく、本スタディーにおける現地調査(モンゴル, パラオ, モルディブ, バングラデシュ, カンボジア, ラオス, エチオピア, ケニア, ボツワナ)や、専門家インタビュー, 文献調査によって得られた他の国際機関の経験や比較分析, 新しい事例やその分析なども発信の内容に含める。

I-3. 本プロジェクト研究の基本方針

最終アウトプットとして、民間もしくは海外への発信(第Ⅴ章, 第Ⅵ章に記述)をすることを念頭におき、PV 技術や活動の比較的基本的な部分を強調し、『体系化』することで「わかりやすさ」につとめる。

その際、主要なポイントは、以下の 2 点である：

- PV 発電プロジェクトの特徴・制約条件等
- JICA 事業のパイオニア性の検証、類型化、グッドプラクティスの抽出

これらの個々に関するアプローチは、以下となる：

I-3-1 PV 発電プロジェクトの技術的特徴・制約条件等

PV 発電は、電化技術のひとつではあるが、系統連系型および独立型のそれぞれにおいて、他の電源と異なった特徴を持つ。主としてそれらは PV の技術的特徴に由来するものであり、また選択にあたっては、代替策と比較して検討されるべきものである。

PV 発電の主として「技術的」な特徴としては、以下のようなものが挙げられる：

- 燃料コストはゼロであるが、初期費用が高く、また独立型の場合には通常はバッテリーが必要³で、その保守コストや交換コストも、採算性面で重要な要素となる(またそのためのシステム構築も必要となる)。
- 系統電源としては、他電源と比較して発電コストが高いが、ディーゼル発電のみからなる小さな系統の場合には、kWh あたりのコストという面で競争力がある。
- 配電網による電力供給が難しいもしくはかなり不安定な場合には、地形などの自然条件に左右されにくい電化策の一つとして、コスト的にも競争力がある。
- 独立型は、家庭用、コミュニティー用、各種施設/機器用などに分類される。
- 配電網があるところでは、系統連系型として、主要電源を補完する電源として用いることが可能である。
- 発電電力が天候条件や状況に大きく左右されると同時に、夜間や雨天時はほとんど発電できないため、安定的な出力を得るためには(とくに独立型で重要)、バッファとなるバッテリーなどの蓄電設備を必要とする。もしくは、系統連系型の場合には、(系統安定装置を追加的に導入しなければ)系統の全容量に比較して限られた容量である必要がある。また通常は出力調整を行うことはない。

³ 地下水のポンプアップ用動力など特殊用途の場合には、バッテリーの不要な単独型もありうる。

- 他電源と比較し、発電容量(W_p)あたりの発電電力量が小さい(稼働率が低い)。
- 負荷追従運転ができないため、基幹グリッドと連結しない独立型システムの場合、PV オンリーではなく、(バッテリー等の蓄電装置を用いることを含めて)負荷追従のできる他電源(ディーゼル発電、水力発電、汽力発電等)とハイブリッド型にすることで、欠点を補いあうことができる。システム全体で導入可能な PV の比率やバッテリーの有無(や容量)は、電気の品質への要求で決定される。系統連系型の場合は、グリッドの大きな発電容量がバッファとなり、通常はバッテリーは不要である。
- 発電側は直流のシステムであり、交流需要機器を使用するためには、インバーター(パワーコンディショナー)が必要である(それによる変換ロスもある)⁴。
- 再生可能エネルギーであるため、その運用において CO_2 は排出しない。エネルギーや CO_2 収支という点では、1-4 年程度で回収ⁱできる。
- 規模の経済が働きにくい技術で、言い換えると分割やリスケールが容易。
- 純粋に国産エネルギーであるため、国のエネルギー安全保障強化に資する。

典型的な太陽光発電のパネルのスケールとしては、その容量を W_p の単位で表して

- ソーラーランタンの場合、2-5 W_p 程度(10 W_p 以下をピコソーラーと呼ぶ)。
- 家庭用設置独立型(通常 SHS と呼ばれる直流型)の場合、一家庭あたり 20-120 W_p 程度(日本の家庭用系統連系型 PV 設備は 2-4 kW_p 程度の交流型)。
- コミュニティーを対象としたシステムや灌漑用では数 kW_p 程度。
- 系統連系型やミニグリッドの一部では数十～数百 kW_p 程度が多い。
- メガソーラービジネス(系統連系型)では数～百 MW_p 超程度

となる。

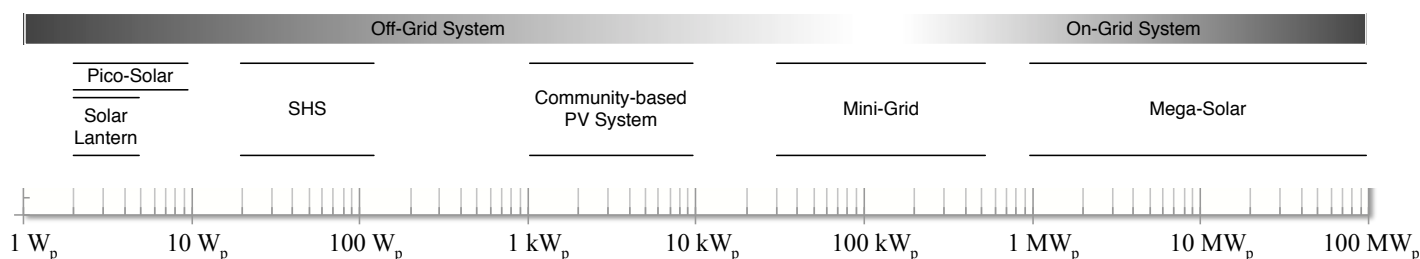


図1 PVシステムのスケールのイメージ

⁴ 短距離では直流オンリーのシステムも可能(たとえば SHS は通常は直流のみ)。ただ直流のまま使える市販需要機器が必要である。たまた独立システムとしてある程度の規模にするには、安全上の課題がある。

案件をタイプ別に分類すると、以下のようになる。⁵

表 1 対象とする案件のタイプ別分類例

系統連系	主対象	ユーザー数	バッテリー	タイプ事例
独立型	家庭 (電化目的)	一家庭	あり	SHS, ピコソーラー
		複数(非電線)		BCS 等
		複数(数百規模以上)		ミニ/マイクログリッドのディーゼル発電補助 (バッテリーなしの場合もある)
	(公共)施設	通常は一施設		診療所, 通信施設
系統連系型	家庭・業務・産業	建物単位	なし	給水(灌漑, 飲み水)
				大学, 官庁, 空港 等
	グリッド			屋根据付型, 燃料節約や緊急用等
				メガソーラー

なお、独立型のミニ/マイクログリッドに関しては、PVシステムはディーゼル発電システム主体の小さなグリッドに付属する形となる(PV は容量は小さいが、運用上は負荷追従のできない PV を補完する形でディーゼルで発電し、需要(変動)に対応することとなる)。

上記に述べた特徴やその類型化などは、巻末に資料 A として整理したので参照されたい。

⁵ JICA の支援が行われていないタイプ(ピコソーラー、系統連系型で、公共施設以外の建物(家庭用、業務用等)への設置も含む。

II. JICA のこれまでの活動(分類)とその考え方

II-1. JICA の行ってきた支援活動の概観

オフグリッド型に関しては、JICA は、1980 年代前半という PV 技術利用の黎明期から、無電化地域を対象に、パイロット的な各種案件やマスタープランなど、さまざまなトライアルを行ってきた。2005 年に過去のプロジェクト研究である「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」としてまとめられている。

一方、比較的新しいものとして、系統連系型に関しても、2008 年以降、類似支援パターンを 30 カ国で展開してきた。

独立型と系統連系型の JICA の支援実績を俯瞰すると下図のようになる：

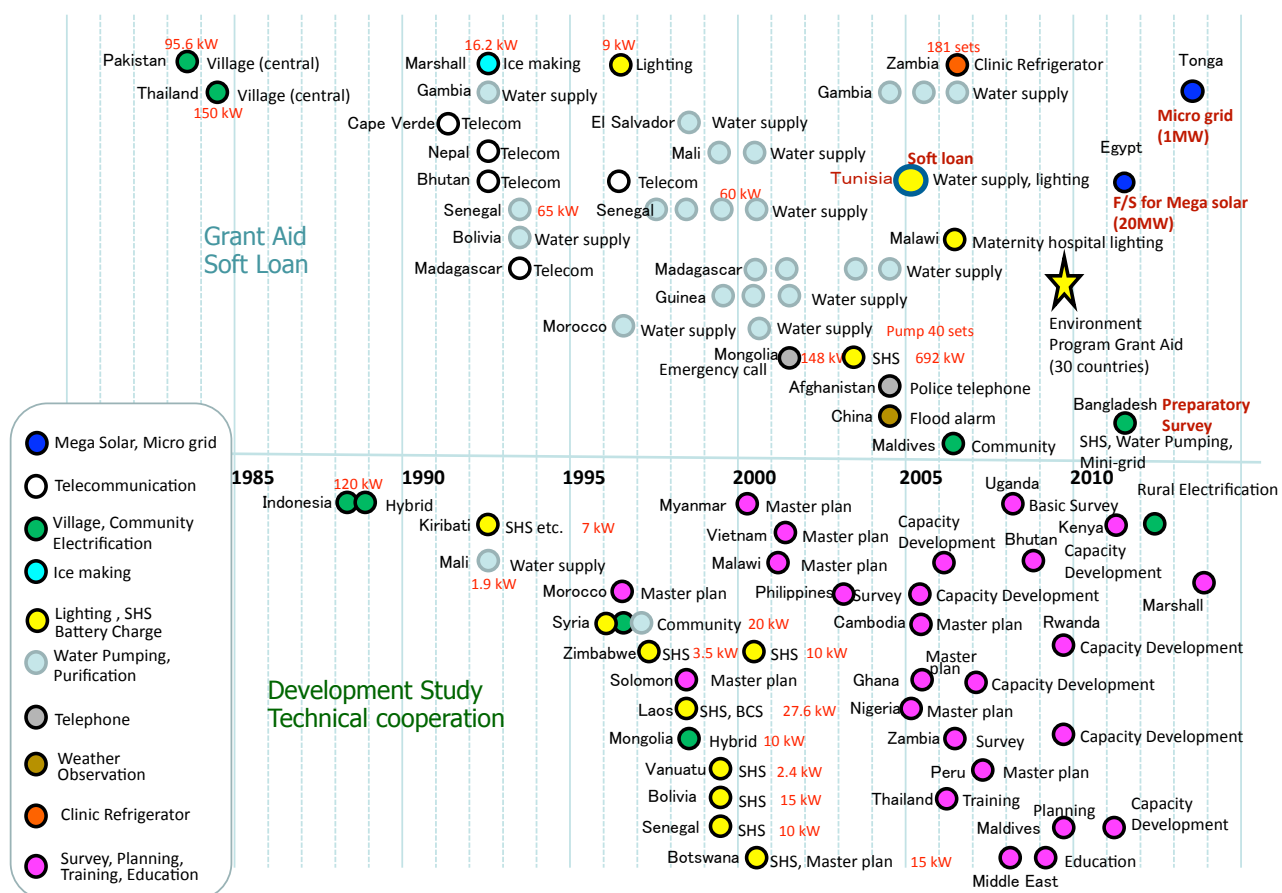


図 2 JICA の行ってきた PV 分野の各種支援実績事例ⁱⁱ

II-2 JICA 事業のパイオニア性

JICA の PV システム支援は、PV 技術がまだ先進国でもあまり用いられていない技術開発の時代である 1980 年代前半から、実施されてきた(1979 年には第 2 次石油危機が起きた。日本ではサンシャイン計画の下、NEDO が発足したのが 1980 年である。一方 1986 年には石油価格が暴落し、先進国の省エネ・再生可能エネは大きな影響を受けた)。

初期のトライアル的なパキスタンやタイの無償による村落電化イニシアティブに続き、1988 年頃から小さなパイロット的な施設(給水、テレコム等)への設置事例が、無償資金協力をベースに断続的に実施された。1980 年代には、資料 B に示すように、PV 分野での支援を国際機関はまだほとんど行っていなかった(先進国が個別に支援した例はある)。その意味で、JICA はパイオニアのひとつであったとすることができる。

1990 年代後半から SHS を中心とした家庭を対象とした独立システムが、JICA の技術協力プロジェクトとして加わり、多くの国で実施された。⁶ 2000 年代になるとそれがマスタープラン作成(場合によってはパイロットプロジェクト付き)という形のものへと昇華してきた。ただ、その当時、SHS 支援は世界的なドナーによる支援のひとつのトレンドでもあり、JICA 独自というものではない。

電気にアクセスできていない家庭を対象としたオフグリッドエリアでの PV システムとして代表的なモデルである SHS や BCS は、持続可能な形で大きなスケールで拡大・発展して無電化地域の電化に数%の電化相当分として寄与してきた事例は少ない(数百万人規模以上の人口の国では、バングラデシュやモンゴルが該当事例といえる)。現在では、どのドナーも、新たな支援策としてはこのアプローチを選択しなくなっている。ただ、そのような状況下でも、いくつかの「要素」に関する工夫やレッスンは、JICA をはじめその他のドナーの活動から得られている。

大量導入とスキーム全体の発展という形に実現化してきた事例は、世界的にもバングラデシュの事例など数少ない。バングラデシュに関しては、制度の「受け皿(実施機関)」である IDCOL のマネージメントシステムが有効に機能しており、JICA は新たにこの活動を発展させるべく有償での資金支援を開始した。このバングラデシュの事例は、この報告書の中で後述する。

上述のように、開発途上国においては、通常 PV 技術はバッテリーと共に、オフグリッドで用いられることが多い。一方、グリッド配電網が整備された日本などの国(開発途上国でも中国などほぼ 100%を達成した国も多い)での PV 技術利用は、特殊用途を除いて通常は

⁶ シリアなど一部の国を除いては、JICA が PV 技術に関して当該国で必ずしも最初の支援というわけではないが、少なくとも先頭集団の一員ではあった。なお、資料 B に示すように、世界銀行等の国際機関による PV 分野の支援は、1990 年代になってから、アフリカの場合は 2000 年頃からはほとんどである。

オングリッド(系統連系)タイプである。途上国でも、グリッドの延伸にともない(あるいはリープフロッグ的に)、もしくは燃料費の高いディーゼル発電に依存せざるを得ない島嶼国での、グリッドやミニグリッドへの組み込み型の発展が期待される。

JICA の支援活動においても、2008 年から約 30 か国において、環境プログラム無償資金協力のスキームを用いて、バッテリーを組み込まない系統連系型システムをそのほとんどの対象国に導入してきた。多くの国で系統連系そして逆潮流としての最初の事例として、多くの制度的障害を取り除き、経験を蓄積している。

JICA の支援の特徴は、人材育成・能力開発・トレーニングなどが重視され、ほぼすべてのプロジェクトにおいて組み込まれている。とくに 2005 年のフィリピンでの能力開発プロジェクトでは、開発途上国の実情に合った技術的テキストも整備され、そこで学んだ実務技術者が、南南協力の担い手にもなっている。

II-3 JICA の支援のアプローチ

II-3-1 独立型ⁱⁱⁱ

独立型は、村落電化や貧困削減を主目的に、1980 年代には電力供給モデルを無償資金協力の形で行うといういわば実験的な試みであったが、単発で成功するモデルには至らなかった。その後 1990 年代になって、キリバスを第 1 号とした戸別タイプの SHS をかわきりに、BCS タイプも含めて多くの技術協力としての開発調査型案件が実施され、その過半でパイロットプロジェクトも実施された。下図はその「電化」型の支援の変遷である。

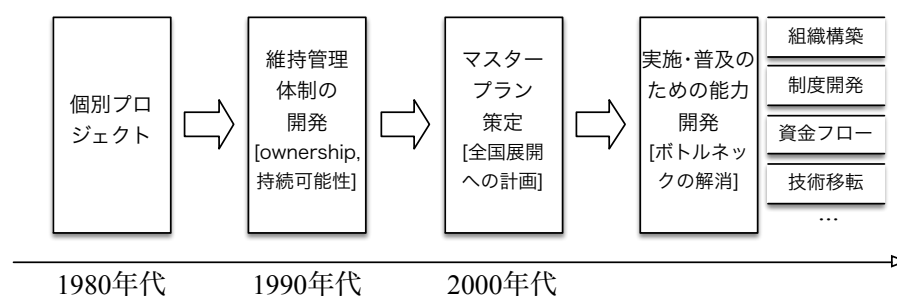


図 3 JICA の電化推進支援のアプローチの変遷

1980 年代の個別案件の経験をベースに、1990 年代には住民参加型の維持管理体制開発を目標として、ユーザーと管理者の役割の明確化、料金徴収体制の整備などによってオーナーシップ意識向上、設備の持続可能な利用が目指された。その後、この維持管理手法の明確化と共に、全国展開のためのマスタープラン策定を企図した支援がなされた。一方で、その実施のために、政策担当者や技術者などさまざまな関係者の知識や能力がボトルネックとなっていることが明確となってきたため、さまざまな分野での能力開発を

中心においた支援がなされるようになった。

一方で、電化とはやや異なるタイプとして、オフグリッド地域ではあるが、給水設備、医療設備、通信設備などの個別公共ファシリティへの PV システム導入も、無償資金協力の形で行われてきた。

その他、草の根・人間の安全保障無償での設置事例や、最近では民間企業の BOP ビジネス促進のためのフィージビリティスタディーサポートの中で、独立型も含まれてきている。資料 A、C においては、「電化」という側面に焦点を当てたレポートを行っている。

II-3-2 系統連系型

系統連系型に関しては、2008 年以降の環境プログラム無償資金協力⁷を活用した 30 カ国 42 案件が主となっており(下表)、そのうち 20 以上が運開している(2014 年 2 月時点)。環境プログラム無償支援は、地方電化や貧困削減を目的としたものではなく、系統連系 PV の普及により、国内での再生可能エネルギー発電の促進、エネルギーセキュリティへの寄与、気候変動対策として導入されてきた。通常は、特定の公共施設に電力供給し、過不足分を系統に連系＝やりとりする(電力系統への売電が行われないケースもある)。また系統連系と独立型の中間的な離島モデルなども導入されてきている。

表 2 環境プログラム無償(太陽光)の対象国と対象施設

対象公共施設	設置数	国名
①大学・研究所	14	ジブチ、タジキスタン、モルディブ(2)、ベリーズ、ガーナ、ミクロネシア、東チモール、ガボン、ボリビア、エジプト、カザフスタン、グルジア、モルバ
②官庁 (大統領府、外務省、電力公社、 教育省、水道公社等)	9	モルディブ(4)、パキスタン、カンボジア、ミクロネシア、東チモール、ガボン
③空港	7	パラオ、アフガニスタン、ラオス、マラウイ、ボリビア、グルジア、レソト
④病院	5	タジキスタン、マーシャル、モルディブ、イエメン、ブルンジ
⑤水道(浄水場等)	3	ベトナム、カンボジア、ナイジェリア
⑥その他 (幹線道路、発電所、小学校、 農産加工団地、離島SHS等)	11	モンゴル、シリア、ウルグアイ、モルディブ(5)、東チモール、パレスチナ、トンガ
合計	49	30カ国

⁷ JICA のほか、外務省が同じく環境プログラム無償資金協力で行った系統連系型太陽光発電システムの類似案件が複数ある。この報告では、JICA 案件のみを対象とする。

これらは、実用というよりデモンストレーションや教育的なプロジェクトであるが、このアプローチは PV システムの支援の新しいアプローチとして、他のドナーの関心も集めてきている(詳細は第 III 章参照)。

II-4 JICA の支援の方法論

III-4-1 支援の方法論分類^{iv}

JICA の再生可能エネルギー関連の支援のアプローチ方法は、下図のように、

「計画→実施・普及→維持管理」

のフローにおいて、開発調査および技術協力プロジェクトという形態の支援が行われてきた。

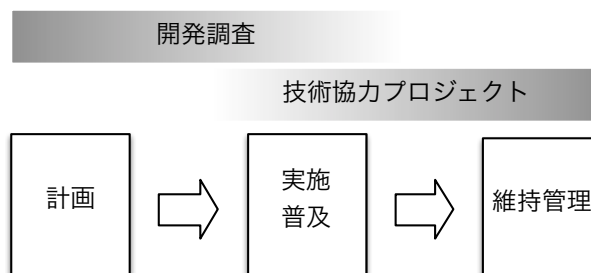


図 4 開発調査と技術協力プロジェクト

下記はそのアイテムである。最近では、融資型や BOP ビジネスも視野に入ってきている：

- 開発計画支援型(開発調査)
 - サーベイ、ポテンシャル調査等
 - マスタープラン作成支援
(太陽光関連プログラムから地方電化計画、さらにはエネルギー政策全体のような上位政策のマスタープランもある)
 - 技術や資格基準設定などの個別政策プログラム策定サポート
(FIT 導入などの上位政策の政策措置のケースもある)
 - プログラムのビジネスモデル提案(資金計画, FS, 詳細設計)
- いくつかのパイロットプロジェクト/プログラム実施(技術協力プロジェクト)
 - フィージビリティ・スタディー
 - パイロットプロジェクト/プログラムの維持管理体制の構築と実施
(普及組織構築, 資金フロー構築, 普及啓蒙活動)

- パイロットシステム(機器)設置(グラント)
(維持管理体制整備, マニュアル整備)
 - パイロットプロジェクト/プログラムの普及制度の検証
- 能力開発, トレーニング(技術協力)研修
 - 政策担当者向け
 - 技術指導者向け (Training for Trainers)
 - PV 技術に関するテキストブックやマニュアル作成(対象別)
- 政策プログラムへの融資(通常はツーステップのソフトローン型)
- 個別プロジェクトへの融資(通常はツーステップのソフトローン型)
- 日本企業の BOP ビジネス支援(間接的)

パイロットプロジェクト/プログラムの中心である維持管理体制構築や、普及制度検討というステップに関しては、下図のようなプロジェクトフローがしばしばとられた：

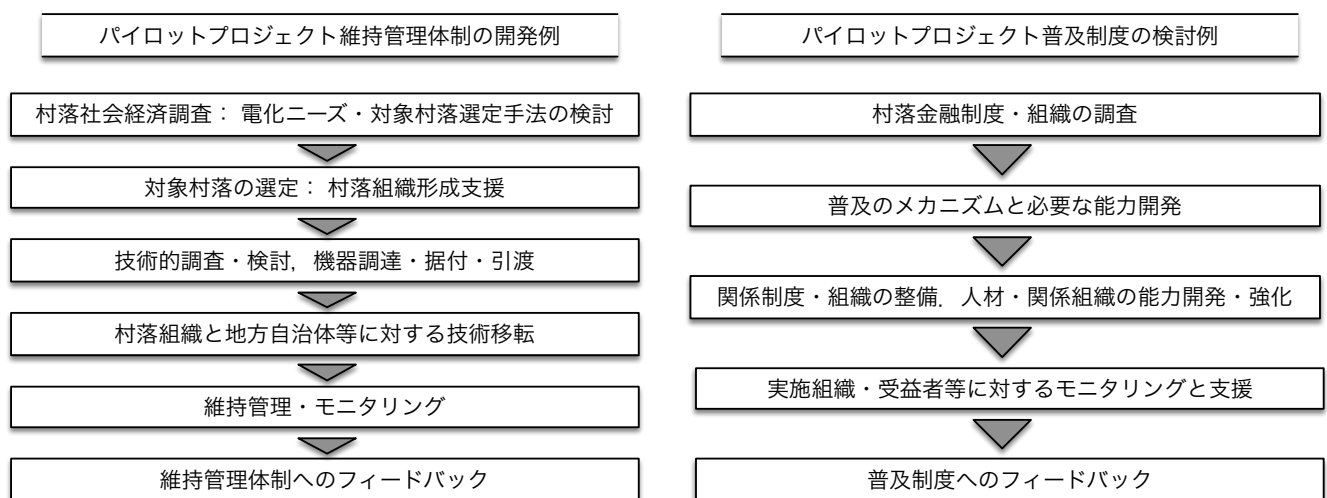


図 5 パイロットプロジェクトの維持管理体制構築と普及制度検討の例

JICA は、SHS 普及プログラム自体へのファイナンスは行ってこなかったが、2013 年度から、大きく拡大しているバングラデシュのプログラムに関して、協調融資を行ってきている。

これらの支援活動は、組み合わせて行われることが多い(たとえば能力開発は他のアプローチにも付属する)。また再生可能エネルギー全般のように、PV システムに特化したものとは限らないこともある。下記はガーナのケースである。まず地方電化マスタープラン調査によって幅広く現状の問題点を把握、その結果を受けて、次の包括的技術協力プロジェクトをデザインし、技術面に加え、組織・制度面移管して複数の専門家を投入した。

	2005	2006
	開発調査	技術協力プロジェクト
スキーム	再生可能エネルギー利用 地方電化マスタープラン調査	(多分野の専門家) 組織制度、村落開発 (ソフト型) 太陽光 (ハード型) パイロットプロジェクト
活動	・政策・組織制度、太陽光技術などガーナにおける問題点の把握及び改善策の提言	・社会開発の観点から、組織制度、技術レベル向上など多岐にわたる組織運営に重点を置いた技術移転 (パイロットプロジェクトを含む)
特徴	・多岐にわたる問題点の抽出、情報共有が可能 ・実施に向けて、新たな技術協力 (技術分野を越えた) が必要	・包括的な提言の基づく効果的な技術協力 ・ハード、ソフト両分野の専門家が必要

図 6 再生可能エネルギーのプログラム化 (ガーナの事例)^v

村落電化という点では、家庭対象だけでなく、セクター横断的に、民生向上を目的に、診療所(夜間診療やワクチン保存)、学校、地下水くみ上げ、(PV は該当しないが)地場産業への活用なども提案され、実際に効果が確認されてきた:下図は、上述のガーナの再生可能エネルギーマスタープランの計画の概要である:

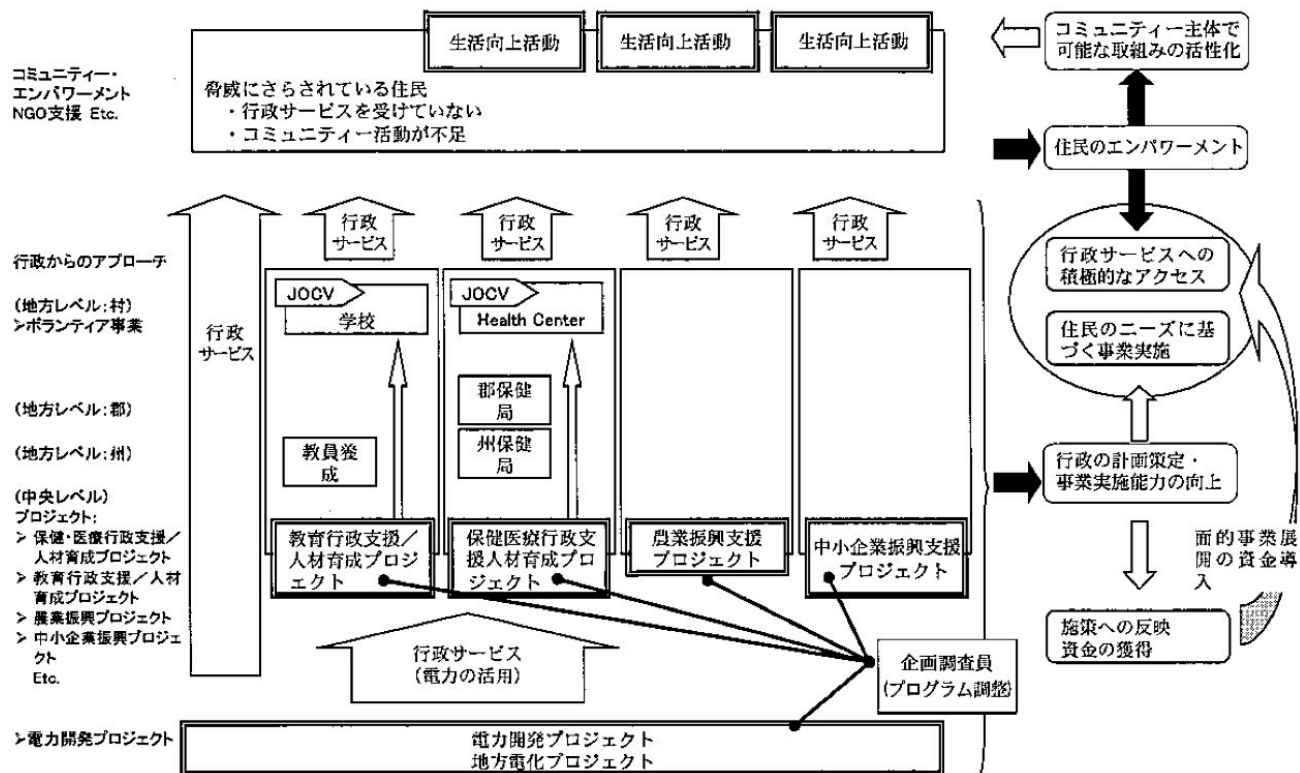


図 7 再生可能エネルギーマスタープランのセクター横断的な計画 (ガーナの事例)^{vi}

能力開発は、技術協力プロジェクトとしてフィリピン、ブータン、ザンビア等で実施され、南南協力の形に発展したものもある。加えて、課題別研修もしくは国別研修として、1 ヶ月ほどの期間日本に招聘して研修を行っている(JICA 関西、九州、沖縄)。当該研修では、日本の PV 産業発展の経緯、政策的支援をモデルケースとして、研修員自身が自国で PV 普及のための政策・制度を構築・改善するための支援を行っている。アプローチとしては、社会/組織/個人の各レベルまで包含した「包括性」、これらの間の「相互作用」、途上国自身の「内発性」を狙ったものである。JICA の役割は、そのための『触媒』と位置づけられている。

また、PV 技術等に関するテキストブックや使い方や設置方法のマニュアル作成も行われてきた。政策担当者向け、実務家向け、ユーザー向けなどで分かりやすくかつ現地の実情を踏まえたものとなるようにデザインされている。

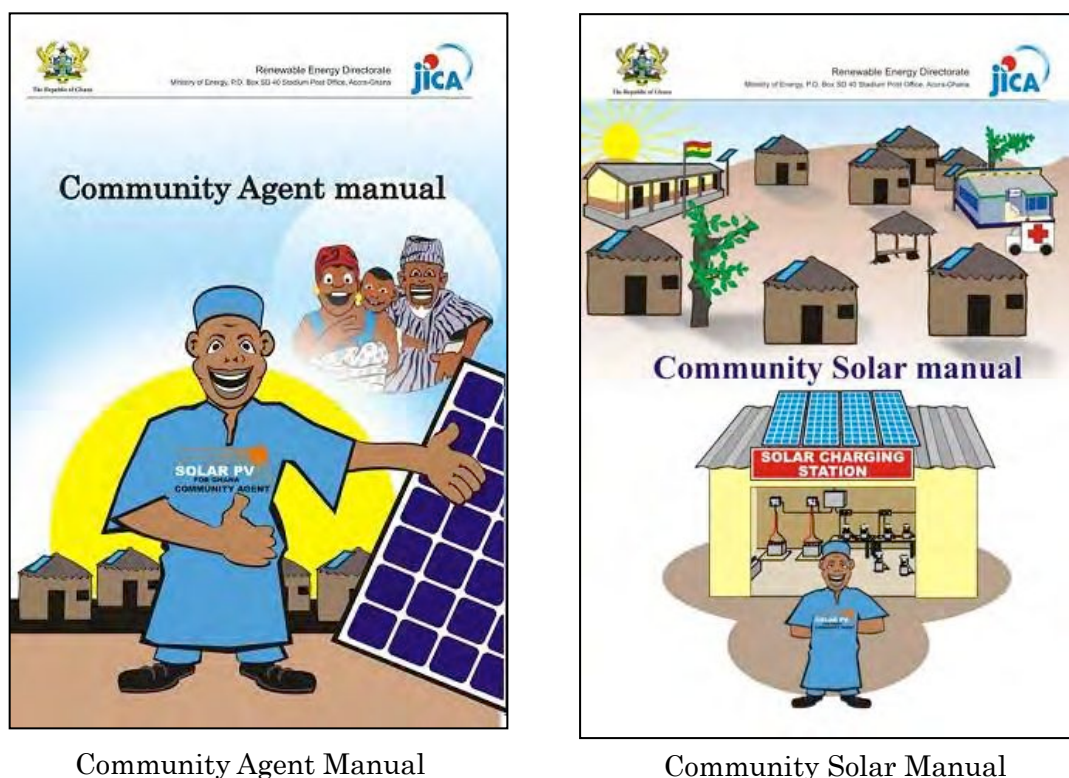


図 8 ガーナでの人材育成プロジェクトで作成されたマニュアル^{vii}

また、加えて、フォローアップ調査や評価が行われることもある。マラウイ、バングラデシュではフォローアップ調査が実施され、研修員の帰国後、PV 普及のための自主活動支援を実施した他、パレスチナではフォローアップ協力により病院に系統連系型 PV が導入されている。

III. 系統連系型（オングリッド）システムの分析

太陽光発電システムは、電力系統に連系された系統連系（オングリッド）型と単独で運用する独立（オフグリッド）型の 2 種類に分けられる。系統連系型は、地域全体への電力供給に寄与し、また売電などによる参入へのインセンティブが働きやすい特徴がある一方で、既存の電力システムの安定運用を阻害しないための高い技術力、維持管理体制が必要とされる。本章では、これまでに JICA の環境プログラム無償を通じて導入された系統連系型 PV システムについて分析する。

III-1. JICA の活動事例と考え方

我が国は、2008 年 1 月のダボス会議において、温室効果ガスの排出削減と経済成長を両立させ、気候の安定化に貢献しようとする途上国の取り組みを支援する「クールアースパートナーシップ」を発表した。その一環として、温室効果ガスの排出削減と経済成長を両立する実行能力や資金が不足している途上国を支援するために、2008 年度より「環境プログラム無償資金協力事業」を導入した。これを受け、JICA は我が国に技術的優位性のある太陽光発電技術を活用し、クールアース・パートナー国を対象に、2009 年より環境プログラム無償による太陽光発電設備導入のための概略設計調査を実施した。その際、以下を基本方針とした：

- (1) 設置された太陽光発電施設にショーケース効果を持たせる
- (2) 我が国に優位性のある技術・ノウハウを積極的に活用する
- (3) 持続的な維持管理体制の構築等に留意し、原則的に首都圏での系統連系型システム（蓄電池なし）の活用を前提とする

また、環境プログラム無償では、化石燃料による発電を再生可能エネルギーで代替することにより環境への悪影響を回避するコベネフィット型の協力事業をめざしており、これらの技術を導入する先駆者となるとともに、PV 分野の技術指導、PV 設備の設置による再生可能エネルギーの普及啓発にも力を入れた。

III-1-1 JICA による系統連系型 PV システムの導入プロジェクト

この事業では各対象国の政府庁舎、空港など、主に公共施設に系統連系型 PV システムの導入が進められた。下表に JICA がこれまでに系統連系型 PV システムを導入した 21

か国のリストを示す。これまでに設置された公共施設の類型は、空港、大学・研究所、官庁、病院、水道(浄水場等)、その他(幹線道路沿い、学校等)となっており、また、導入されたシステムは多くの国において、国内初の系統連系型 PV システムとなっている。国内初、もしくは初期の系統連系型 PV システムの導入であったことから、機材の調達・据付と併せて、技術指導(ソフトコンポーネント)や、逆潮流に必要な技術ガイドラインの作成などの支援も実施している。導入に当たってのソフトコンポーネントとしては、運用に向けた(1)既存系統と PV システム、(2)系統連系と売電契約、(3)データロガーのデータ分析、(4)停電復旧・故障対応手法、(5)普及啓発活動等が対象となっている。

表 3 JICA による系統連系型 PV システム導入プロジェクト

No	対象国	地域	対象施設	導入地点	規模 (kW _p)	国内初の 系統連系 システム	先行事例
1	モンゴル	アジア	空港	チンギスハーン 国際空港	443.52	○	
2	パラオ	大洋州	空港	パラオ国際空港	225	×	EU, 台湾
3	ジブチ	アフリカ	研究所	セルド研究所	300	○	
4	アフガニスタン	アジア	空港	カブール国際空港	250	○	
5	タジキスタン	アジア	病院	ディアコフ病院	120	○	
				産科婦人科研究所 産科病棟	40		
6	マーシャル諸島	大洋州	病院	マジュロ病院	208.98	○	アメリカ(独立 型システムだ が, 系統連 系型への移 行を前提に 導入された)
7	ネパール	アジア	貯水池	ドビガット貯水池	680	○	
8	モルディブ	アジア	政府庁舎 公共施設 電力会社 等	大統領府	20	×	UNDP, ドイツ(民間 企業)
				社会教育センター	100		
				電力公社(STELCO) 本社ビル	45		
				Thaajuddeen 小学校	130		
				Hiriya 女子中学校	100		
				Velaanaage ビル	40		
				Giyaasudheen 小学校	80		
				Kalaafaanu 小学校	85		
				大学(管理棟)	40		
				大学(保健学部)	35		
				フルマレ病院	(合計 65)		
				財務省			

表 3 JICA による系統連系型 PV システム導入プロジェクト(続き)

No	対象国	地域	対象施設	導入地点	規模 (kW _p)	国内初の 系統連系 システム	先行事例
9	ウルグアイ	中南米	発電所	サルトグランデ 水力発電所	480	○	
10	パキスタン	アジア	政府庁舎	計画委員会	178	○	
				技術委員会	178		
11	ベリーズ	中南米	学校	ベリーズ大学	480	○	
12	パレスチナ	中東	農業 団地	ジェリコ農産 加工団地	300	○	
13	ラオス	アジア	空港	ワッタイ国際空港	236	○	
14	カンボジア	アジア	浄水場	プンプレック浄水場	777	○	
15	ブルンジ	アフリカ	病院	カメンゲ大学病院	400	○	
16	マラウイ	アフリカ	空港	カムズ国際空港	830	○	
17	ガーナ	アフリカ	学校	ガーナ大学 野口記念医学研究所	315	×	
18	ミクロネシア	大洋州	政府庁舎 学校	連邦政府複合施設	20	×	EU, アイスランド
				ミクロネシア 短期大学	160		
19	ガボン	アフリカ	政府庁舎 学校	オマーボンゴ大学	130	○	
				外務省	70		
20	レソト	アフリカ	空港	モシヨエシヨエ I 国際空港	280	○	
21	モルドバ	欧州	研究所	国立癌研究所	289	○	

III-2. JICA 以外の援助機関・国際機関の活動と考え方

III-2-1 系統連系型に関する研究の状況

PV システムの研究を推進する機関として、国際的にはこれまで IEA が系統連系型 PV システムの研究活動を主導してきた。IEA は、海外の援助機関及び国際機関、研究機関と連携し、下図に示す IEA 太陽光発電システムプログラム (IEA Photovoltaic Power Systems Programme, PVPS) を 1995 年から実施しており、各国での実証試験から得られた PV に係る多様なデータを分析し、多くの知見を蓄積してきた。

この IEA-PVPS では各タスクグループに研究テーマが割り当てられ、独立型及び系統連系型等の研究報告がなされており、系統連系型 PV システムに関しては、必要な構築環境、技術的な課題および解決策のほか、PV システムに関連するライフサイクルアセスメントのガイドライン、温室効果ガス排出に関するインベントリ等について検討されている。

IEA-PVPS による国際研究の成果もあり、現在では途上国への PV システム導入のフェーズが徐々に進展しており、これらに基づき、いくつかの援助機関では途上国への系統連系 PV の導入に関する方針を提示している。

例えば、GEF (Global Environment Facility) による気候変動緩和戦略としての太陽光発電プロジェクト GEF-5 (2010–2014) では、次の 6 つの目的を定めている。

- (a) 革新的低炭素技術の実証、展開、及び移転を促進すること。
- (b) 産業と建築部門でのエネルギー効率化のための市場改革を促進すること。
- (c) 再生可能エネルギー技術への投資を促進すること。
- (d) エネルギー効率化、低炭素交通、及び低炭素都市システムを促進すること。
- (e) 持続可能な土地利用、土地利用変化、及び森林の管理を通して、炭素ストックの保全と向上を促進すること。
- (f) 活動と能力向上を可能とする支援を行うこと。

他の援助機関では、指針としてこの GEF ガイドラインを参考にする場合のほか、GIZ のようにドイツ及び欧州での分散型 PV の系統連系に関する知見を途上国でも積極的に活用する考え方をとる場合などが見られる。

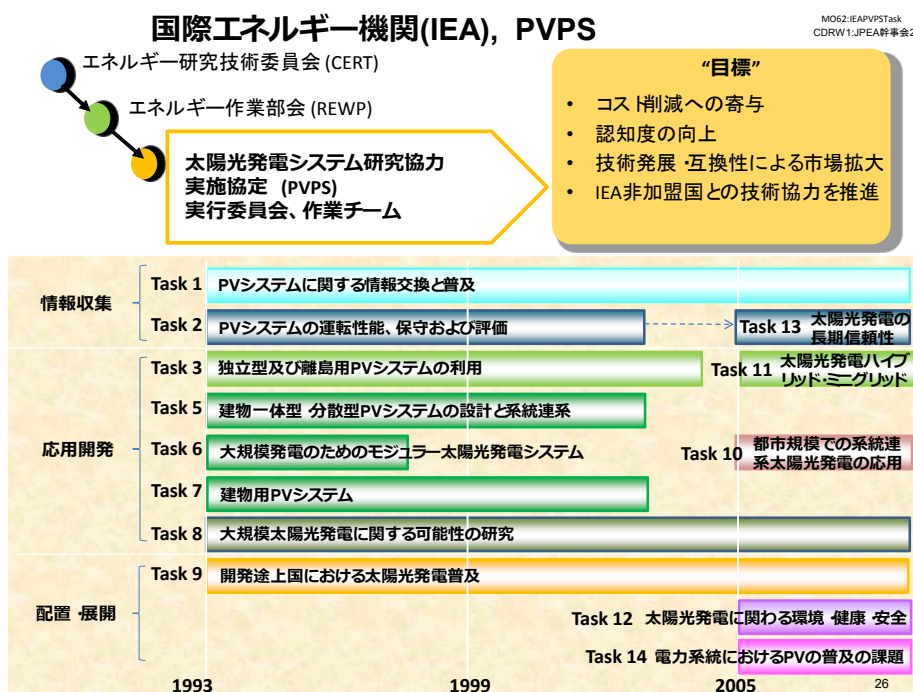


図 9 IEA-PVPS の概要^{viii}

日本国内での取り組みとしては、NEDO が平成 17 年から実施した「太陽光発電システム

等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業」として、アジア諸国で系統連系安定化技術の実証を行っている(下図)。NEDO では、この実証開発事業を3つのフェーズに分けて、独立型 PV システムから系統連系型 PV システムへ技術的な信頼性の向上を図っている。この事業の中では、アジア各国の日射量観測結果を収集した「太陽光発電システム等に係る設計支援ツール・アジア標準日射データベース」でのデータベース公開など、利用者に向けたデータおよびツールの提供も行っている。

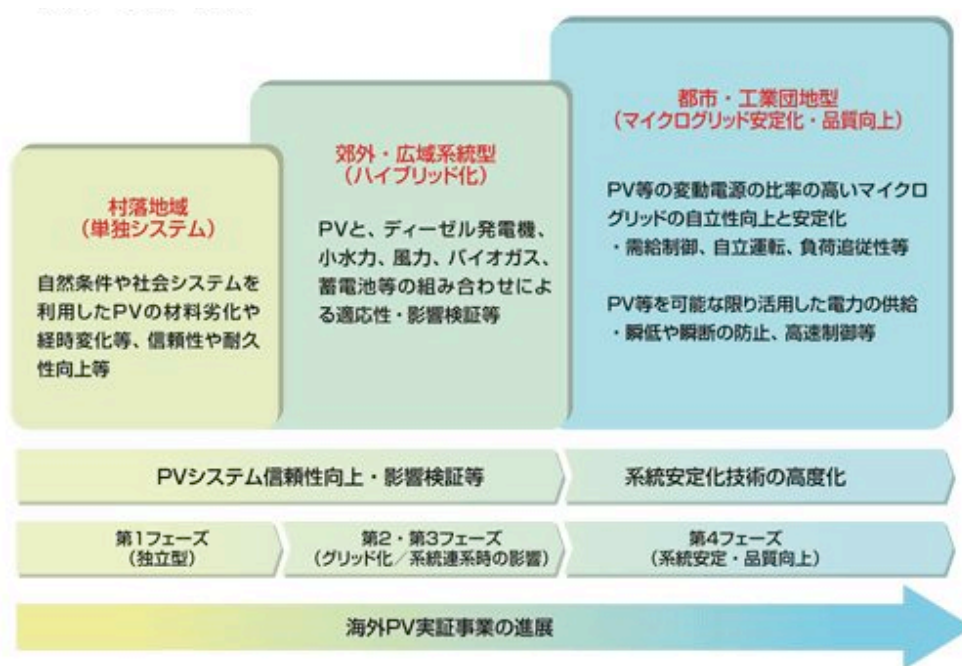


図 10 NEDO 国際共同実証開発事業の実施方針^{ix}

III-2-3 援助機関による支援

下図は先進国の経験に基づき作成された PV システム発展フェーズの概念図を示しており、途上国に導入される PV システムも概ね同様に、技術の進歩に伴い形態が変化することが想定される。このため、系統連系型 PV システム導入の援助対象は開発途上国の中でも、既に系統連系型の導入される段階まで発展している都市が対象となっており、既に電力系統が安定的に運用され、逆潮流を実現できる技術力が前提となると推察される。実際に、環境プログラム無償では主に対象国の首都やそれに準ずる人口の比較的多い都市で設置されている。

PVシステムの発展フェーズ

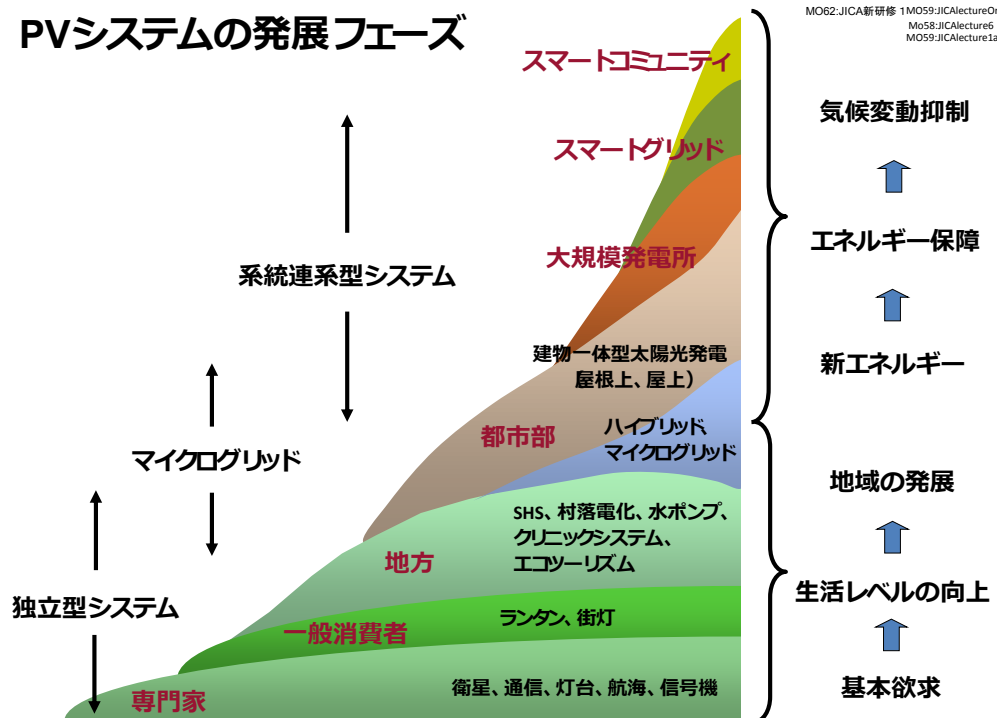


図 11 PV システムの発展フェーズの概念図^x

下表に、主要な援助機関・国際機関の系統連系型の支援実績例を挙げた。JICA の環
 無償で系統連系型 PV システム導入箇所として選ばれた都市や、下表のプロジェクトで
 選択された都市は、上記の図の中間の発展フェーズにある都市と言える。

これらの事例によって導入される PV システムの仕様は様々であるが、導入時期では、多
 くの事例が近年に集中している。導入地域は輸入ディーゼル燃料に依存し、燃料による
 支出を抑えたい島嶼国の他、ナイロビの UNEP 本部ビルといったショーケース効果および
 啓発目的とも考えられる導入もあり、中には気候変動対策以外の目的も満たすケースも
 見られた。

表 4 援助機関・国際機関の系統連系型 PV システムの導入事例

機関名	対象国	案件名	発電容量	設置年	特記事項
GEF, IFC	フィリピン	CEPALCO による太陽光発電プロジェクト	950 kW _p	1994	民間電力会社カガヤン・エレクトリック・パワー＆ライト (CEPALCO)を対象とした大規模 PV システム発電設備の導入プロジェクト。水力発電とのハイブリッド型システムで、設置当時は、途上国最大の系統連系型 PV システムであった。 ^{xi}
UNEP	ケニア	UNEP ナイロビ本部	515 kW _p	2011	UNEP 本部に設置された PV システム。 ^{xii} 設置当時は、アフリカで 2 番目に大きな屋上設置型のシステムだった。
UNEP	セーシェル	Praslin 中学校	2.2 kW _p	不明	プララン島中学校に設置された PV システム。逆潮流を行っているが、法整備が進んでいないため逆潮流に伴う収益は発生していない。現在、FIT の整備に向けた取組が計画されている。 ^{xiii}
UNDP, NZAID, フランス政府	トケラウ (ニュージ ーランド 領)	Tokelau Renewable Energy Project	930 kW _p	2012	トケラウ諸島に設置された PV システム。ディーゼル発電とのハイブリッド型システムで、クラスター島、ファカオフォ島、ヌクノ島、アタフ島の 4 島にそれぞれ設置されている。 ^{xiv,xv}
EU	パラオ	Support to the Energy Sector in Five ACP Pacific Islands (REP-5)	100 kW _p	2008	連邦政府庁舎に設置された PV システム。エネルギーセクター支援プロジェクトの一環として導入された。 ^{xvi,xvii}
台湾	パラオ	無償援助	150 kW _p , 55 kW _p	2008	ベラウ国立病院(150kW _p)、および教育省(55kW _p)に設置。蓄電池はなく、逆潮流は想定されていない。 ^{xviii}

III-3. 分析の視点

本項では、本研究の目的の1つである「JICA が過去に実施してきた開発途上国向け太陽光発電に関する技術協力や無償資金協力等の事業を通して得られた知見・経験・価値の体系化およびグッドプラクティス・教訓の抽出」を行うために、分析の視点を検討した。

具体的には、前述の III-1 において整理した JICA が過去に実施した系統連系型太陽光発電に関する事業について、それぞれの事業の内容や成果を整理・分析するための類型化を検討した。

III-3-1 類型化する対象事業

JICA が実施した系統連系型の太陽光発電の事業については、環境プログラム無償支援

のうち、既に運用開始している事業について、それぞれ文献調査、アンケート調査、ヒアリング調査を実施し、当該事業の内容・成果・現状を類型化した。

III-3-2 類型化における大分類

各国における電力事情や国政の状況に応じて、各事業が当該国へもたらす影響や効果は異なることが想定される。このような状況の中で、それぞれの事業を分析するために、各国ごとに政策や電力事情を整理することとし、「背景情報」として1つの大分類とした。

また、事業毎に導入した PV システムの仕様や設置環境が異なることから、これらの情報を「事業の基礎的情報」として分類した。さらに、事業のフロンティア性や導入効果といったグッドプラクティスの抽出に参考となる指標、あるいは課題・問題といった教訓の抽出に参考となる指標については、「事業に対する分析」として1つの大分類とした。

上記で分類した「背景情報」「事業の基礎的情報」「事業に対する分析」の大分類に当てはまらない独特な内容や項目については、「その他」として分類した。

「背景情報」「事業の基礎的情報」「事業に対する評価」「その他」の各大分類では以下に示すような内容を整理することとした：

背景情報： 当該国の状況整理

- 当該国の電力・エネルギー・環境等の政策(制度の整備状況、戦略など)
- 当該国の電力事情(PV システムの導入状況、FIT 制度の運用状況など) 等

事業の基礎的情報： 事業の実態整理

- PV システムの概要(設置場所、仕様、費用、運用状況 等)
- 案件の実施会社・機関等(コンサルタント)

事業に対する分析： 事業がもたらした効果・影響整理

- ベストプラクティス抽出の指標となる項目
- 教訓を得るための参考となる項目 等

その他

- 各国独自の事情や対応 等

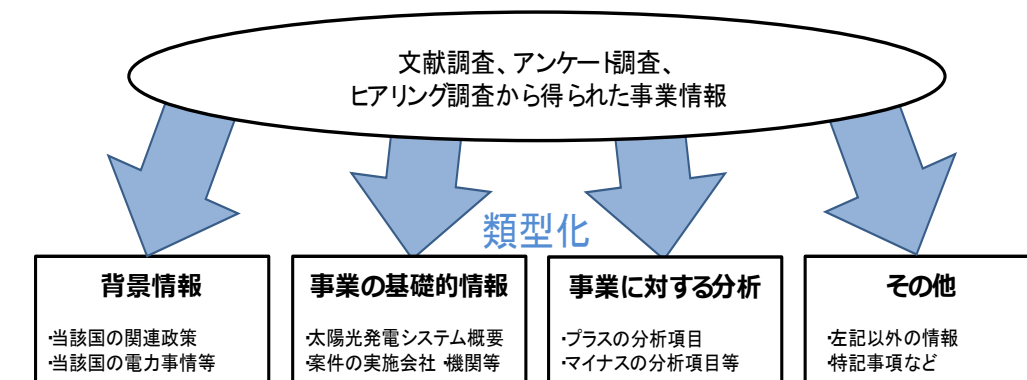


図 12 大分類への類型化のイメージ

III-3-3 類型化における小分類

前節では、調査結果の類型化における大分類の考え方を示したが、大分類だけでは情報が散漫であるため、さらに小分類を設けて、整理することとした(下図)。

- 「背景情報」としては、当該事業が実施される国の状況を整理する。PV システムの導入について、関連する国内状況としては、まず「国の政策」が挙げられる。電力、エネルギー、環境等の政策を整理することにより、太陽光発電導入に対する考え方や社会動向を把握することができる。また、系統連系型 PV システムを導入するにあたり、現地の「電力事情」を把握する必要がある。電力需給状況や電力系統の運用状況などを踏まえることで、系統連系型 PV システムを導入する際に有益な情報となる。

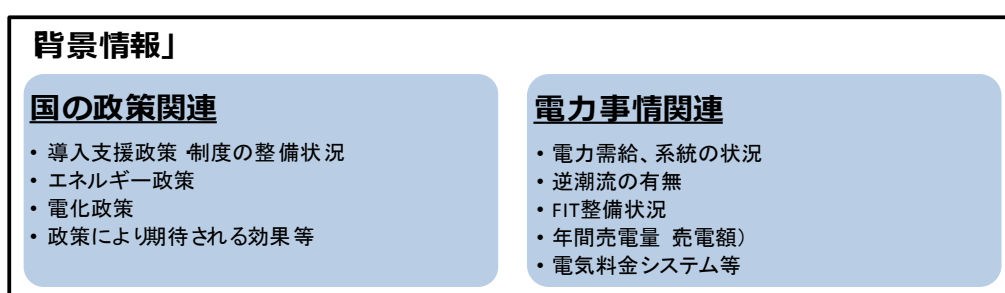


図 13 「背景情報」の類型化(黒枠は大分類、枠内箱は小分類)

- 「事業の基礎的情報」としては、事業の分析に必要な基礎情報をまとめた。各事業の事業計画書、事業報告書などの文献調査や実際に手掛けたコンサルタント会社の担当者へのヒアリング調査から、「設置場所」、「太陽光発電システムの仕様」、「運用管理」などに分類して事業の内容を整理した。

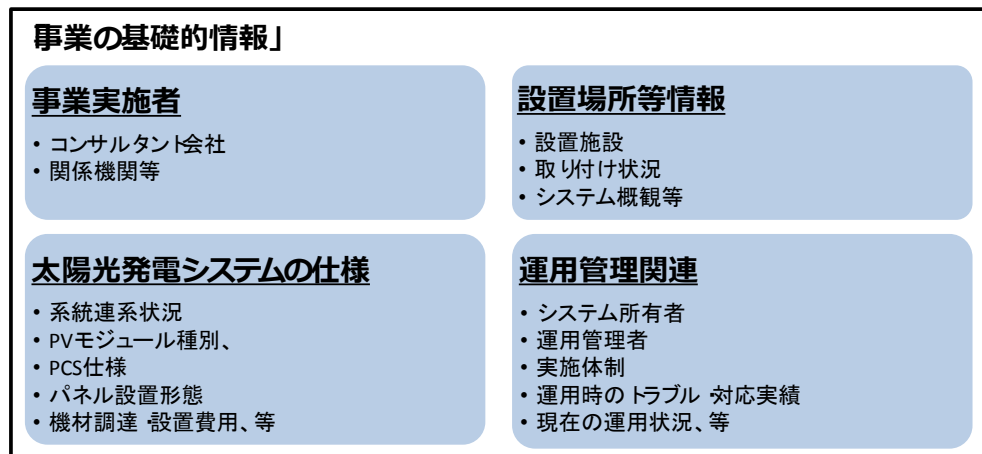


図 14 「事業の基礎的情報」の類型化(黒枠は大分類, 枠内箱は小分類)

- 「事業に対する分析」としては, 当該事業が社会経済・気候変動対策などにもたらした効果や, 今後当該国で系統連系型 PV システムを導入する際に有益な参考情報や教訓となる情報を整理する. また, 導入した PV システムの継続的な運用を見据えた技術移転・人材育成に関する情報についても整理した.

事業の成果としては, 当該事業の当該国における先進性を「フロンティア性」, 化石燃料使用量削減への寄与など, PV システムの導入により生じる「導入効果」, 当該事業の特徴や長所などの「アピールポイント」をそれぞれ整理する. 参考情報や教訓的な情報は「課題と対応」とし, 事業実施の際に直面した課題や対応策などを整理した. 合わせて, 「技術基準の整備」, 「人材育成・技術移転」の分類を設け, 当該事業による PV システム導入後の持続可能性や当該国の技術発展に寄与する内容を整理する.

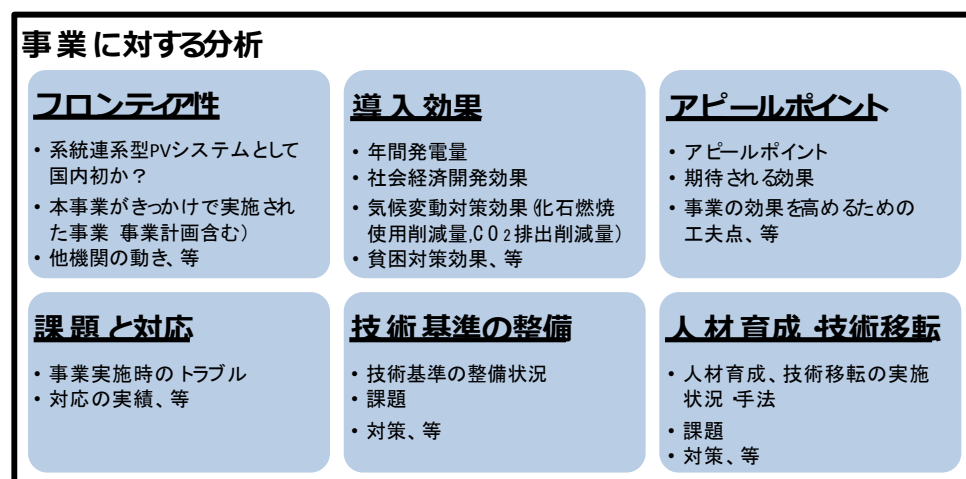


図 15 「事業に対する分析」の類型化(黒枠は大分類, 枠内箱は小分類)

- 「その他」の大分類については, 小分類を設けず, 各国独自の事情や対応などを整

理する。

以上を踏まえ、各事業について調査した内容を類型化することにより、各事業のグッドプラクティスや教訓の抽出に活用した。この分類に従いまとめた表を、III-4-1 および資料 E に示す。

III-4. 個々のプロジェクトの特徴

各国で導入された PV システムの仕様や、導入を通じて明らかになった課題や特徴を以下にまとめる。取りまとめにあたっては、文献資料、担当したコンサルタントへのインタビューやアンケート調査とともに、グッドプラクティス事例と考えられるモンゴル、パラオ、モルディブでの現地調査を実施し、現地の関連政府機関、電力公社等に対するヒアリング等による詳細な情報収集を実施した。それぞれの手法について下表にまとめる。

表 5 系統連系型 PV システム導入に関する調査手法

	詳細
文献調査	これまでの JICA および他機関の報告書、レポート等
インタビュー	現地の設置等を担当した国内コンサルタントに対するインタビュー
アンケート	国内コンサルタントおよび現地担当者へのアンケート
現地調査	モンゴル、パラオ、モルディブの現地視察および関係者へのヒアリング

III-4-1 実施国別の特徴

各国で導入された PV システムについて、それぞれの国の情報を国別に表にまとめた(表は資料 E を参照)。表の作成にあたっては、事前調査報告書を含む調査対象国に関する報告書、担当コンサルタントへのインタビューおよびアンケート等を使用し、III-3 の分類に基づく下表を用いて次の項目を調査した：

- 背景・基礎情報(設置状況、担当したコンサルティング会社、PV システム概要、運用管理体制、設置国の関連政策、売電の状況)
- 事業に対する分析(フロンティア性、発電量、CO₂ 削減量等の導入効果、アピールポイント、技術基準の整備状況、人材育成・技術移転状況、課題とその対応)
- その他(バンダリズム等)

これらの分類による各国の状況や傾向を基に、これまでの JICA の環境プログラム無償のプロジェクトをまとめる。

表 6 調査結果の類型化のための分類表(各国毎に整理)

大分類	小分類	整理する内容
背景情報	国の政策関連	導入支援に関する政策・制度の整備状況, エネルギー政策, 電化政策, 政策により期待される効果, 等
	電力事情関連	逆潮流の有無・導入計画, FIT 整備状況, 年間売電量(売電額), 電気料金システム, 等
事業の 基礎的情報	設置場所	設置施設, 発電容量, 等
	事業実施者	コンサルティング会社, 関連企業, 等
	太陽光発電 システムの仕様	系統連系の状況, PV モジュール種別, PCS, パネル設置形態, 機材調達・設置費用, 等
	運用管理	システム所有者, 運用管理者, 実施体制, 運用時のトラブル・対応実績, 現在の運用状況, 等
事業に対する 分析	フロンティア性	系統連系型 PV システムとして国内初か, 本事業がきっかけで実施された事業(事業計画含む), 他機関の動き, 等
	導入効果	年間発電量, 社会経済開発効果, 気候変動対策効果(化石燃焼使用削減量(削減額), 二酸化炭素排出削減量), 貧困対策効果, 等
	アピールポイント	アピールポイント, 期待される効果, 効果を高めるための工夫点, 等
	技術基準の整備	技術基準の整備状況, 課題, 対策, 等
	人材育成・ 技術移転	人材育成, 技術移転の実施状況・手法, 課題, 対策, 等
	課題と対応	事業実施時のトラブル, 対応の実績, 等
その他		供与機材へのバンダリズム(投石・盗難)等

III-4-2 担当コンサルタントへのインタビュー

III-4-1 の資料をまとめるにあたり, 環境プログラム無償支援の系統連系型 PV プロジェクトを担当した国内コンサルタントへのヒアリングを実施した。ヒアリングで得られた情報のうち, 特に III-4-1 の表分類に当てはまらない情報を中心に国別にまとめ, 資料 E に記載した。ここでは, コンサルタントへのインタビューで情報が得られた下記の 15 か国についてまとめた:

モンゴル, パラオ, ジブチ, マーシャル諸島, ネパール, モルディブ, ウルグアイ,

パキスタン、ベリーズ、ブルンジ、マラウイ、ガーナ、ミクロネシア、ガボン、レソト

表分類に当てはまらない情報としては、モンゴルにおける冬季の作業中断や、ジブチの設置個所であるセルド研究所が太陽光エネルギーの専門家が揃う研究所であること、ガーナの砂嵐（ハマターン）対策など、設置や運用に影響を及ぼす可能性の高い各事業の特殊事情を記述した。また、停電時の自立運転の有無や蓄電池の有無は、対象国側の要望が強く反映されていることが多いため、経緯についても情報が得られたものについては記載した。

これらのコンサルタントに対しては、インタビューに加え、書面でのアンケート調査を実施し、網羅的な情報収集に努めた。

III-4-3 現地調査（モンゴル、パラオ、モルディブ）

本章の調査対象国のうち、特にグッドプラクティスと認められる対象国（モンゴル、パラオ、モルディブ）について、現地調査を実施した。PV システムの視察のほか、現地の政府機関、電力公社等に JICA のプロジェクトが与えた影響や現地の PV システム導入を取り巻く事情に関してヒアリングを行った。

パラオおよびモルディブは、ディーゼル発電などの化石燃料に頼る島嶼国であるため、燃料輸入量を軽減できる再生可能エネルギーは、気候変動対策のみならず燃料費低減やエネルギー安全保障の観点からも効果が高く再生可能エネルギーへの期待は大きい。また、モンゴルは国内初となる系統連系 PV システムが JICA により導入され、現在も順調に運用されていることや、2007 年より開始された固定価格買取制度（FIT）の影響を調査する上で適切な対象国として選定された。

以下に、現地調査対象 3 か国の概要を記す。

III-4-3-1 現地調査：モンゴル

モンゴルでの現地調査（2013 年 10 月 22-27 日）では、政府機関、大学、研究機関、民間会社におけるヒアリング、並びに JICA の環境プログラム無償による PV システム設置サイト（チンギスハーン国際空港に隣接する幹線道路沿い）及びモンゴルにおいて FIT の対象になっているサルヒトウィンドファーム（Salkhit Wind Farm）を視察した。

モンゴルは、定住域では既にほぼ 100%電化されており、近年、経済発展に伴い電力需要が増加している。モンゴル政府は 2001 年以降、エネルギー分野の改革と開発を進めてきており、2005 年に策定された「国家再生可能エネルギープログラム」では、2020 年までに国内電力供給の 20-25%を再生可能エネルギーで賄うことを目標としている。

また、2007 年に施行された「再生可能エネルギー法」において、FIT の導入が定められた

が、その利用には規模の条件があり、発電容量 1.5 MW_p 以下の中小施設は対象とならず、JICA 支援による PV サイト(443.52 kW_p)には FIT は適用されていない。現時点で、FIT の対象になる PV システムは国内に存在しないが、モンゴル西部で計画されている水力発電と 10 MW_p の PV のハイブリッドシステムについては、FIT の申請が出されている。風力発電については、これまでに 5 つの施設にライセンスを発行しており、そのうちの 1 施設であるサルヒトウィンドファーム(Salkhit Wind Farm, 50MW_p)で運用が開始された。FIT が再生可能エネルギーへの投資意欲を高めることが期待されるが、再生可能エネルギーの売電価格は火力発電の売電価格の約 3 倍であり、モンゴル側の負担となり得る。サルヒトウィンドファームに FIT が適用された影響で 2013 年 8 月の電力価格改定では、価格が 4MNT/kWh 上昇し、平均 98MNT/kWh となった。

分析の対象である PV システムは、2012 年 9 月末、JICA「太陽光を活用したクリーンエネルギー導入計画(モンゴル国)」によりチンギスハーン国際空港近傍に設置されたものであり、国内初の系統連系型 PV システムである。運用管理は民間航空庁が行い、奥まった位置ではあるものの空港の近くに設置されたことから、多くの人の目に触れ、国民の再生可能エネルギーの認知度を向上させた点では良い前例になったと言える。また、システムの運用状況のモニタリングデータはモンゴル国立大学で分析され、国内初の系統連系型 PV システムのデータとして、今後の導入への貢献が期待される。この他、再生可能エネルギーマスタープランの作成や人材育成での寄与についても、現地では JICA の貢献として認識されている。

運用にあたっては、盗難防止のため、24 時間監視員が常駐しており、日射計を高い位置に設置するなどの対策を取っている。ただし、日射計の位置の高さにより点検整備に支障が生じていると報告されている。また、発電量が空港施設内の使用量を下回ることから、実質的に逆潮流は生じていない。

さらに、モンゴル国内の独立電源としての PV システムの動向としては、世界銀行による 10 万ソーラーゲル計画により、定住域以外での電化も進んでおり、それらの接続に適した直流家電市場の発展が見られる。この 10 万セットの PV のうち約 11,000 セットは日本の ODA(ノンプロ無償)で実施されている。

このように、JICA や日本の事業の貢献が高く評価されている一方で、日本の PR 不足が指摘された。ショーケース効果のみならず、本来の普及啓発効果向上のためにも、掲示板の設置場所や表示方法、表示内容等を改善する余地はあると考えられる。



図 16 チンギスハーン国際空港内のモジュール設置状況



図 17 ウランバートル市内の PV 関連商品市場

III-4-3-2 現地調査：パラオ

パラオでの現地調査(2013 年 11 月 10-15 日)では、パラオ電力公社、環境品質保護局、民間事業者等に対してヒアリング調査を実施すると共に、JICA 環境プログラム無償による PV システム設置サイト(パラオ国際空港)、他ドナーおよび自己資金による PV システム設置サイト(計 4 か所)、発電所等の視察を実施した。

パラオでは、2009 年に制定された「国家長期エネルギー政策」の中で、2020 年までに国内電力供給の 20%を再生可能エネルギーによって補う計画が示されており、さらにエネルギー利用の効率化と省エネにより、エネルギー消費量の 30%を削減することが目標として掲げられている。余剰電力買取制度についても PPUC によって策定済みであり、系統連系型 PV システムの更なる導入普及が期待される。また PPUC は、2012 年 12 月に系統連系に関する技術基準を作成しているが、現地インタビューでは、本事業が技術基準作成のきっかけになったとの認識が示されている。

分析の対象であるシステムは、パラオ唯一の国際空港であるパラオ国際空港の駐車場に

設置され、空港を利用する国民、観光客や外交団に対し、PV システムの利用をアピールすることが出来る。また、多くの利用客の目に触れやすい空港のロビーには、発電量、CO₂削減量、石油代替量等を示す電光掲示板が設置されており(下図)、ショーケース効果は高いと言える。最終的なシステムの所有者および維持管理者はPPUCとなり、PPUCによる運用や維持管理が行われている。

主な空港利用時間帯が深夜であることから、発電された電力は空港内で利用されず、全て PPUC に逆潮流されているが、PPUC がシステムの所有者であることから売電は行われていない。2012 年 12 月、2013 年 11 月の台風接近時も特に被害は生じず、2011 年 10 月のシステム運用開始以降、今のところ大きな不具合は報告されていない。また、防犯設備が整った空港内であることから、現在は盗難等のバンダリズムは発生していないが、運用開始当初は落書きや投石があったとの報告もあった。

本システムは、国内 3 番目の系統連系型 PV システムとして導入された。JICA 以外の支援では、EU および台湾により、系統連系型 PV システムが導入されており、EU のシステムは連邦政府庁舎駐車場、台湾のシステムは教育省およびベラウ国立病院の駐車場に設置されている。どちらも施設の所有者が管理しているため、運用管理および維持体制が PPUC と比較し迅速に行えていないとの指摘もあった。一方、JICA 事業によるシステムは、運用管理を PPUC が実施していることから、トラブル時のより迅速な対応が期待出来る。援助機関の支援によらない系統連系型 PV システムの導入も進められており、2011 年 11 月に運用開始した WCTC ショッピングセンター屋上の PV システムでは、パラオ国内の電力料金(US\$0.42/kWh)の約 1.8 倍の金額(US\$0.75/kWh)で売電契約を結んでいる。

また、JICA 事業では国内機関による集団研修にも力を入れており、JICA 沖縄の太陽光発電導入支援研修に参加した PPUC 職員からは、研修内容が大いに役立っているというコメントがあった。PPUC は、JICA 研修の成果を生かし、社内の職員研修のほか、パラオ国内の中小企業に対しても技術研修を実施している。これにより、JICA の技術研修の効果のさらなる波及が期待される。



図 18 パラオ空港駐車場の PV モジュール外観



図 19 空港内の表示ディスプレイ(写真右上)

III-4-3-3 現地調査：モルディブ

モルディブでの現地調査(2013 年 11 月 24 日～29 日)では、政府機関、電力公社、およびモルディブ国内で再生可能エネルギーを推進する民間企業等、計 11 団体に対してヒアリングを実施するとともに、既に竣工した JICA 環境プログラム無償による PV 設置サイト 10 か所のうち 3 か所(電力公社 STELCO 本社ビル, Thaajuddeen 小中学校および Hiriya 小中学校)を視察した。

2010 年にモルディブ国のナシード政権は、2020 年までにカーボンニュートラルを達成するという目標を打ち出した。その後の大統領辞任や、2013 年 11 月の大統領選挙での政権交代があったものの、環境・エネルギー省(Ministry of Environment and Energy, MEE)では従来の再生可能エネルギー推進の方針に変更はないとしている。また、再生可能エネルギー推進策の一つとして、固定価格買取制度(FIT)が実施されているが、現在までの適用は 1 件とほとんど活用されていないことから、世界銀行(World Bank, 以下 WB)の支援の下で今後 1 年以内の制度改定を予定している。制度改定により、系統連系型 PV システムの今後さらなる導入普及が期待される。

調査対象であるシステムは、マレ島およびフルマレ島に第 1 期 5 か所(完工)、第 2 期 5 か所(完工)、第 3 期 2 か所(2014 年完工予定)の計 10 地点(第 3 期を含めれば 12 地点)に設置されたものである。これらのシステムはモンゴル、パラオの事例とは異なり、分散設置された PV システムをそれぞれ系統に連系する、という特徴を持っている。各システムは全て建物の屋根または屋上に設置されており、人口密度が極めて高く、システムの地上設置が難しいモルディブ(マレ地区)の特性に十分配慮したシステムと言える。大統領府やモルディブ唯一の国立大学等、人の目に触れやすい建物に設置されていることから、高いショーケース効果も期待される。各システムの発電容量は比較的小さいものの、第 3 期までの合計発電容量(740 kW_p)は、2013 年時点で JICA は国内最大のドナーとなっている。

系統連系型 PV システムの導入にあたっては、当該事業での技術研修の他、環境プログラム無償以外の JICA の支援を含む系統連系ガイドラインの作成など、ハード支援に加えてソフト面でも評価されている。環境プログラム無償では、日本の技術者がモルディブに長期滞在し、STELCO の技術者 16 名に対して研修や共同設置作業を通じた技術力の向上を図った結果、現在では導入された PV システムを STELCO の職員のみで運用しても支障のないレベルに達している。全人口が 30 万人程度のモルディブは、大学や専門学校での多方面にわたる技術者育成が難しく、技術者の中には海外留学経験者が多い。国内に居ながらにして、先進技術が学べる点でも JICA の研修は貢献していると考えられる。

更に、首都圏に分布する各サイトでは発電量および気象データを取得し蓄積するシステムが構築されている。モルディブ国内では、モルディブエネルギー庁が現在国内のエネルギー統計データ収集システムを構築している段階で、予めデータ収集システムを組み込むことで、今後の政策等へのデータ活用が期待されている。



図 20 モルディブ Thaajudeen 小中学校屋上の PV パネル

III-5. 民間企業の特徴と動き

III-5-1 民間企業の動向

系統連系型 PV 事業に関して、ODA 案件以外での日本の民間企業による海外進出の動向の例を下表に示す。日本政府の日本製技術の海外進出の方針により、民間企業への金融サポート体制が整えられてきている。また同表に掲載はないが、市中銀行などによる融資サポートも行われている。

下記の事例で示される通り、機器/システム製造業者でも多くの民間企業が海外に生産拠点を整備し、コスト競争力の向上と需要変動への迅速な対応を図ろうとしており、事業者では、地域特性や保有技術、協力会社の観点から投資対象の国・地域を特定し、メガソーラー発電所の設置を進めている。中小企業の場合には、外務省の調査案件を利用し、

技術的な優位性を確保できる対象国での ODA 案件化の検討が進められている事例もみられる。

表 7 民間企業の系統連系型 PV システムの導入事例

分類	企業・団体	進出国	内容
金融	日本貿易保険 (NEXI)	ー	二国間オフセット・クレジット制度 (JCM) の支援のため、地球環境保険特約の対象として、JCM 関連の事業の輸出契約等を追加する。 ^{xix}
機器 / システム	ソーラーフロンティア	サウジアラビア	同国に事務所を設置し、当該国で実施されている複数のプロジェクトを支援する。また、中東地域に適した CIS 薄膜太陽電池の特性を生かし、急速な成長が見込まれる当該国の PV システム市場の開拓を進める。 ^{xx}
	東芝三菱産業システムズ	インド	大手太陽光発電事業者 (Photon Energy Systems Ltd.) から、同社のメガソーラー向けに PCS を受注した。今回の受注実績をきっかけとして、更なる事業拡大を目指す。 ^{xxi}
	明電舎	ブルガリア	同国内の 21 MW _p の PV システムに PCS を納入した。他にも、同国内の Ostar Kamak 太陽光発電所 (5 MW _p) にも 20 台の PCS が納入済である。 ^{xxii}
機器 / システム	シャープ	タイ	同国で最大規模となる PV システム (約 84 MW _p) が 2013 年 5 月に完工した。今後も拡大が続く新興国市場において、システムの設計から完工後のメンテナンスまでを一貫して行うビジネスモデルを展開する。 ^{xxiii}
	パナソニック	マレーシア	同国において、年間生産能力 300 MW _p の太陽電池工場を本格稼働させた。本工場では、一貫生産体制を構築することでコストを削減し、現地部材の活用などによって価格競争力のさらなる強化を図っている。今後は、グローバルな生産拠点として、製品を供給する予定である。 ^{xxiv}
	京セラ	タイ	同国の発電事業者により約 29,000 枚 (6 MW _p 分) の PV モジュールを供給した。 ^{xxv}
事業者	中部電力	タイ	同国内のメガソーラー発電所 6 ケ所 (合計 30.9 MW _p) の開発・運営事業に参画している。 ^{xxvi}
	ソフトバンクエナジー	モンゴル	モンゴルの投資会社 Newcom LLC と共同して探査会社を設立し、風況や日照条件などに優れたゴビ砂漠において、風況や日照量調査を実施。今後、自然エネルギー発電所の建設に向けた実現可能性調査を行う。 ^{xxvii}
	伊藤忠商事	南アフリカ	同社が資本参加する Scatec Solar 社が、同国政府より優先契約交渉権を獲得した第 2 期太陽光発電事業 (合計 115 MW _p) について、20 年間の売電契約を国営電力会社 Eskom と締結した。また、同国の銀行との融資契約も締結し、PV システムの建設に着工した (2014 年末稼働開始予定)。 ^{xxviii}
	関西電力	モルディブ	持続可能な電気の世界的パートナーシップ (Global Sustainable Electricity Partnership) の一環として、

			Dhiffushi 島に 40 kW _p の PV システムと、漁業関係者向けの製氷機を導入した (2012 年着工). ^{xxix}
--	--	--	---

III-5-2 進出地域や特徴・傾向

民間企業が進出地域を決定するためには、政策的な要素、経済性・市場的要素、地理的な要素、気象条件などを精査する必要がある。具体的な確認項目としては次の事項が想定される。

- (a) 太陽光発電のポテンシャル評価が十分になされ、市場規模が大きいこと。

太陽光発電事業に有望な市場である中国、インド、マレーシアへの進出に関する情報は JETRO 報告書^{xxx}で詳細に分析されている。気象条件、日射量に関しては、NEDO の「太陽光発電システム等に係る設計支援ツール アジア標準日射データベース」などを参考にすることで確認できる。

- (b) 進出国での再生可能エネルギー導入目標と計画が明確に設定されていること。

再生可能エネルギーの利用は、気候変動緩和策のひとつとして極めて有望なアプローチである。また、エネルギー源を輸入に依存する島嶼国などでは、再生可能エネルギーの利用促進は喫緊の開発課題となっている。そのため、各国の政策担当者は再生可能エネルギーの導入目標を掲げ、エネルギー安全保障を強化する流れが世界的に強まっている。

途上国の事例をみると、インドでは全エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合を 2010 年までに再生可能エネルギーの比率を 5% に高め、その後 10 年間、毎年 1 ポイントずつ比率を上げていくという目標を「National Action Plan on Climate Change」^{xxxi}により定めた。中国では、「再生可能エネルギー第 12 次 5 か年計画」^{xxxii}の中で太陽光発電総設備容量 2,100 万 kW_p を 2015 年までに達成するとしている。タイでは再生可能エネルギーを全エネルギー消費の、2012 年の 10% から 2021 年には 25% まで高める「再生可能および代替エネルギー開発計画 (Renewable and Alternative Energy Development Plan (AEDP2012-2021))」^{xxxiii}を策定している。

- (c) 先方政府が目標達成のために民間企業への優遇策を採用していること。

再生可能エネルギーの導入目標を達成するために、FIT や RPS、ネットメーティングを導入している国も多い。一方で南アフリカの REIPPP 制度 (Renewable Energy Independent Power Producer Procurement) のように独自の制度により、導入の促進を図る国もある。また、税制などの財政優遇措置や公的資金の融資制度が導入されている国もある。^{xxxiv} FIT に関しては資料 E を参照のこと。

- (d) 民間企業が保有する技術の特性を発揮しやすい地域特性があること。

我が国は国土が南北に長いために、その気候、地形に適した PV システムの設置ノウハウが蓄積されている。例えば、沖縄県の PV 設置業者の場合には、亜熱帯性気候に属する小規模離島への PV システム導入という点で豊富な経験と高い技術力を有している。他の地域でも気候、地形の特性による技術的な優位性を発揮できる途上国を選定することで、競争力向上の可能性が高まる。

- (e) 現地での事業を円滑に実施する実績のある企業と共同実施すること。

途上国で事業を実施する場合には、その国・地域の法制度及び慣習を事前に把握することが重要となる。例えば、JETRO による日本企業の海外展開支援などを利用することは海外展開の成功確率を高めるうえで効果的である。また、海外展開のリスクを軽減するために現地の情勢を熟知する外国資本への出資を行うこともひとつの手段であり、上表に示した既存の進出事例でも海外企業との共同実施が多くみられる。

III-6. 考察

ここでは、21 か国を対象に実施した文献調査、インタビュー、現地調査等の結果をまとめ、JICA の環境プログラム無償による系統連系型システム導入による知見を分析する。

今回収集した情報のうち、比較的多くの対象国で情報が得られた項目について、抜粋したものを下表にまとめた。各国の詳細な情報は資料編を参照されたい。

表 8 主な分類項目

No.	対象国	背景情報		基礎情報		事業に対する評価	
		FIT 制度	逆潮流	施設	設置形態	技術基準	パイオニア性
1	モンゴル	○	○	空港	陸上	×	○
2	パラオ	○	○	空港	屋根	○	×
3	ジブチ	計画中	○	研究所	陸上	×	○
4	アフガニスタン	×	×	空港	屋根	整備中	○
5	タジキスタン	×	×	病院	陸上	×	○
6	マーシャル諸島	×	○	病院	屋根	-	○*
7	ネパール	×	○	貯水池	陸上	○	○
8	モルディブ	○	○	公共施設	屋根・屋上	○	×
9	ウルグアイ	×	○	発電所	-	○	○
10	パキスタン	×	○	政府施設	陸上・屋根	×	○
11	ベリーズ	×	○	大学	陸上	×	○
12	パレスチナ	○	○	農産加工所	陸上	計画中	○
13	ラオス	×	○	空港	屋根	×	○
14	カンボジア	×	×	浄水場	屋根	-	○
15	ブルンジ	×	○	病院	陸上	×	○
16	マラウイ	計画中	○	空港	陸上	×	○
17	ガーナ	○	○	研究所	陸上	×	×
18	ミクロネシア	×	○	大学・複合施設	屋根	-	×
19	ガボン	-	×	大学・政府施設	陸上	×	○
20	レソト	整備中	○	空港	陸上	計画中	○
21	モルドバ	×	×	研究所	屋根・屋上・陸上	-	○

* 独立型システムであるが、系統連系型に移行することを前提に導入された。

III-6-1 背景情報

分析の背景情報として、国の政策および対象国の電力事情について整理した。

政策面での支援体制で見ると、多くの国で再生可能エネルギーを推進する計画が見られ、数値目標が立てられている国も多い。しかし、FIT の導入は計画中を含み 8 か国で制度化が進められているものの、現地調査を実施した国での報告では、モンゴルのように太陽光での適用事例がない国や、モルディブのように適用事例が 1 案件に留まっている国も報告されており、制度の有無のみならず実状の把握は重要と考えられる。途上国では、欧米などに倣い FIT と呼ばれる制度を導入していても、その財源を電気料金の付加金として徴収しておらず、国の財源に依存しているケースが多く、実質的な FIT としては機能していない国が多い。

また、多くの国で逆潮流可能な PV システムが導入されたが、発電量が内部利用電力量を超過しないケースも多くみられ、売電が行われているケースは多くはない。特に、現地の技術力により故障時の対応が困難である場合や現地の系統連系に係る規則により、敢えて逆潮流・蓄電池を導入しない国もあった。

III-6-2 事業の基礎的情報

事業の基礎的情報としては、実施者や設置場所、PV システムの仕様、運用管理者についてまとめた。

系統連系型 PV システムという比較的高度な維持管理が必要とされることや、援助機関等からの支援であることなどから、今回の対象施設は主に公的施設や電力会社、学校等の敷地に設置された。導入されたシステムはいずれも数十 kW_p (～500 kW_p) 規模であり、各設置場所の条件により、一か所のみを導入する場合と複数個所に分散させるケースが見られた。今回導入した島嶼国(パラオ、モルディブ、マーシャル諸島、ミクロネシア)では、屋上もしくは屋根に設置されたが、これらは地形の影響や人口密度の高さから、島嶼国の首都もしくはそれに準ずる地域において、平坦な土地の確保が難しいことによるとみられる。さらに、今回の調査対象国には入っていないが、今後の導入が予定されているトンガでは首都の基幹系統約 8 MW_p の系統に対し、約 1 MW_p の PV システムの設置が予定されている。今後はこのように大型システムの導入も進むことが期待される。

導入された PV システムについては、主に官庁や電力公社、設置個所の所有者等がシステムを所有し、運用は電力会社もしくは施設所有者が管理するケースが多い。設置場所の所有者がシステムを所有するケースでも、ネパールの水道公社やガーナの野口記念医学研究所等、公的機関や日本と関係の深い研究所との技術的対応を比較的とりやすい機関が電力会社等と協力して管理している事例が多い。パラオでの他ドナーによる事例では、管理を電力と関わりのない施設の所有者に任せたことから維持管理に支障が出

ている例も報告されており、電力会社と維持管理契約を締結し、日常もしくは事故時の運用維持管理を委託する体制は長期的な安定運用に重要であると言えるだろう。

実際に設置された PV システムに関する情報は、設置に携わったコンサルタントからの情報を基にした。インタビューの結果からは、PV パネルの価格低下などの状況の変化により、計画段階より発電容量の大きい PV システムが設置できるようになったケースもあるなど、計画当初との違いが生じた国が多数見られた。

III-6-3 事業に対する分析

調査対象の約 8 割以上の国(21 か国のうち 17 か国)では、JICA 事業が対象国初の系統連系型 PV システムとして導入され、国内の電力系統への太陽光発電導入のパイオニアとしての役割を果たした。系統連系型として国内初でない場合も、対象国での導入の初期にあたることから、技術研修などのソフトコンポーネントで、現地技術者の能力向上が図られた。パラオでは、これらの研修を受けた技術者が民間の技術者に対して技術の再移転を行っており、また、モルディブでも本事業を通じて研修を受けた電力公社の技術者は、独立で維持管理ができるまでに能力が向上したとして、関連省庁からも高く評価されている。

導入に際する技術移転や、ガイドライン作成等の環境整備が進んだことから、コスト競争力等の課題がクリアできるのであれば、これらの国では今後の再生可能エネルギーの導入が期待される。

また、導入を考える際に考慮すべき点としては、小島を多く抱える島嶼国、大陸内に位置し他国の電力系統と連系されている国など、地理的条件は PV システム導入の位置づけの要因の一つとなっている。島嶼国では、輸入ディーゼル燃料に頼ることから、エネルギー安全保障の観点や財政的な負担軽減から再生可能エネルギー導入が重要視されている。JICA 以前に他ドナーにより系統連系型 PV システムが導入された国も、パラオ、モルディブ、ミクロネシアと島嶼国がその多くを占めており、パラオおよびモルディブにおける現地調査でもディーゼル発電依存によるエネルギー安全保障の問題を指摘する声が聴かれた。温暖化緩和策のコベネフィットの点で、比較的強い理由を持つ国から実施が進んでいた可能性がある。また、大陸内部では発電施設増強を周辺国への売電の機会と捉える国もあるなど、気候変動対策以外の影響は多種多様であることがわかる。

また、本事業で導入された PV システムは、一般市民が多く目にする公共施設や技術者が多く訪れる研究所や電力関連施設、子供に対する教育効果が見込める学校などに設置された。これらの立地条件から、一般市民もしくは子供への啓発効果やショーケース効果が見込めるものと考えられる。特に、パラオの空港のように発電量が一般市民に見やすく工夫されている事例や、モルディブのように小中学校の児童・生徒に向けた案内板の

設置など、対象に応じた対応が有効と考えられる。

運用上のトラブル等については、24 時間体制で監視する国もあるなど、盗難などのバンダリズムの面では大きな問題は発生していないが、ジブチのように、運用に入る前に系統連系に対する地元の電力会社の理解を得ることが困難になったケースも見られた。

III-7. 結論

上記の調査から、以下の点で環境プログラム無償は系統連系型 PV システム導入に大きく貢献したと考えられる。

- 系統連系型 PV システムのフロンティア性
- 系統連系のためのガイドラインおよび制度整備
- 研修および共同運用期間を通じた技術移転
- PV システムの社会的認知向上

フロンティア性としては、ほぼすべての対象国で、国内初もしくは初期の系統連系型 PV システムの導入であり、ガイドライン等の整備も同時に進められた。また、ショーケース効果の点では、一般市民や技術者が多く集まる施設に設置することで、PV システムの認知を高める効果があるものと期待される。

既に運用を開始した国のプロジェクトは、ソフトコンポーネントによる技術移転を含め、現地担当者のみでの運用へと移行が進み、現在までは概ね問題なく維持管理されていることが分かった。また、JICA の援助によるソフトコンポーネントは、国外の支援に頼らない運用が可能なことや、現地技術者の能力向上に役立つ点で評価されている。また、他ドナー事例も含めた教訓としては、現地の電力会社と運用時に提携することで、高度な専門知識を必要とするトラブルなどへの迅速な対応が可能となることも挙げられた。

今回の対象国は実際の運用開始から数年が経過しているのみであることから、今後の維持管理については未知数の部分もあるが、概ね現在のところ、対象国への系統連系 PV システム普及に貢献したと言えるだろう。

IV. 独立型（オフグリッド）システム普及プログラムの分析

PV 技術は他の電源より高価であることが多く（とくに初期コストが大きい）、また出力変動が大きい一方で、晴天であれば自然条件をあまり選ばない。したがって、バッテリーを付属し、電力系統がない地域でも（比較的小さな需要であれば）電気が使えるようなシステムとしての優位性が認められている。その意味で、歴史的にも途上国無電化地域開発オプションとして用いられてきた。

電気にアクセスできていないいわゆるオフグリッド家庭の電化において、PV などを用いた独立型システムを導入することの必要性や意味や、電化率に関する議論は、資料 C を参照されたい。

IV-1. 電源選択の考え方（供給側）

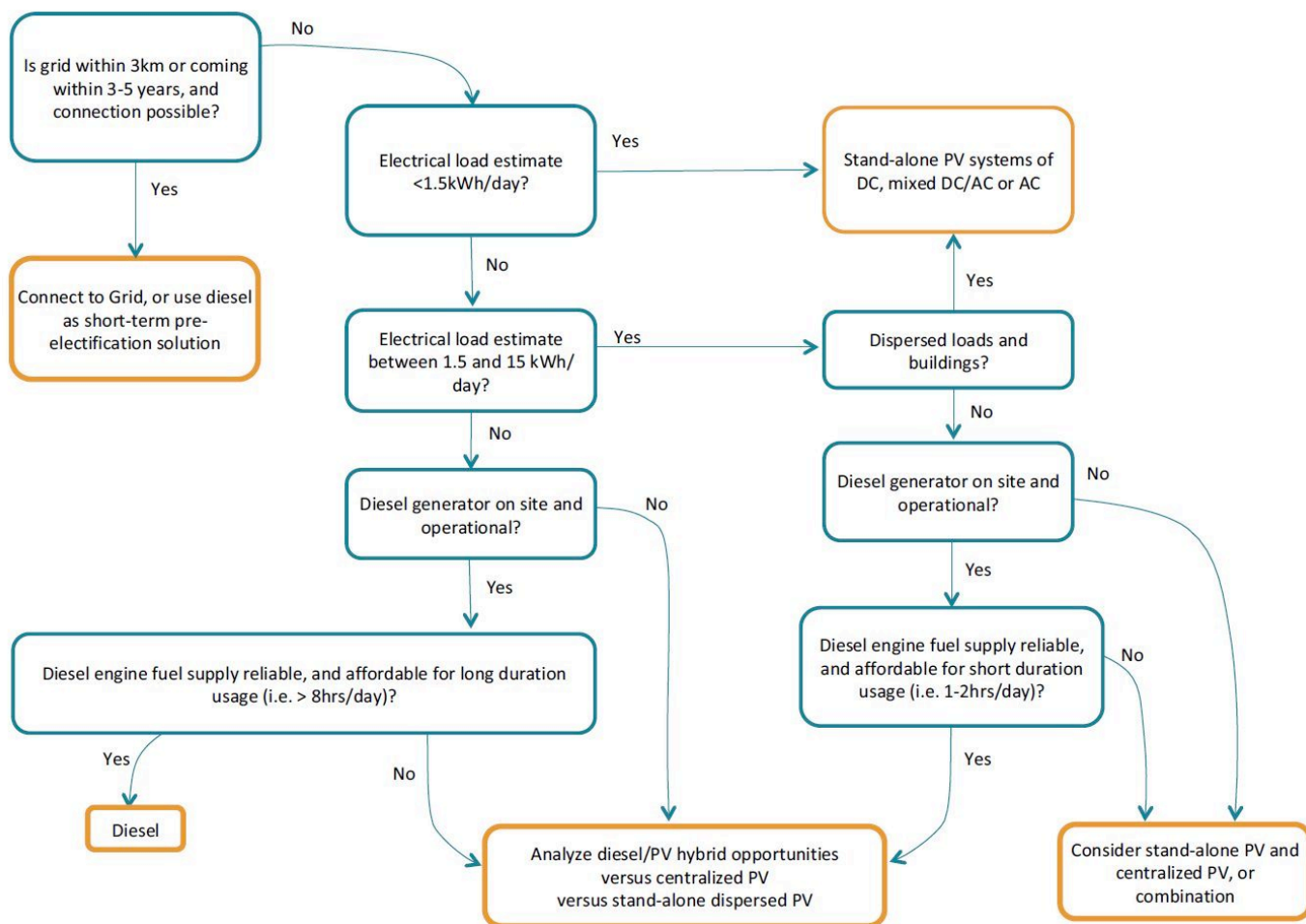
PV 以外も含めた「電源選択の考え方」は、独立型システムの場合にでもいろいろありえる。次ページの図は JICA の PV 技術マニュアルに示されたその意思決定フローチャートの一例である。グリッドへのアクセスの容易さや見込み、需要の大きさ、既存ディーゼル発電の存在などが、判断基準⁸として示されている。

一方で視点を変えると、JICA の支援がプロジェクト型からマスタープランにシフトしてきたように、グリッドによる電化と整合性を取る形でオフグリッド対策をとることで、ムダがなく有効な対策となることが期待できる。

なお、ここでは供給側としての電源選択という視点であるため、グリッド、PV システム、ディーゼル発電機、そのハイブリッド型がオプションであるが、ユーザーサイドから見れば、灯油ランプを使い続ける（電気にアクセスしない）、ソーラーランタンなどのピコソーラーを市場で購入するという他のオプションなども存在する。

電源選択は、通常は、電力需要やその地理的密度、自然条件とディーゼル発電の競合で、ほぼユニークに決まるが、比較的多くのオプションが考えられるオフグリッドの村落ベースのミニグリッドにおける経済計算の事例をその次々ページの図に示す。さまざまな要因のなかで、やはり経済性が最大のポイントで、設備のコストや燃料価格（意思決定時における想定値）に大きく依存する。

⁸ 後述の「PV システムの類型化の軸」も、選択に影響を及ぼす要因となる。



(Source: Photovoltaics for Community Service Facilities, Africa Renewable Energy Access Program)

図 21 供給側の電源選択の考え方のフローチャート例^{xxxv}

実際には、サイトによって、自然条件、キャパシティー・ファクターや燃料コストが大きく異なるため、ひとつのイメージを掴むものと考えるべきで、ユニバーサルなものではない。ただ、PV、ミニ風力、マイクロ水力などは「初期コスト」の大きさ、ディーゼル発電は燃料費に代表される「運用コスト」が主となっていることが見て取れる。すなわち、単純な経済性すなわち平均コストの大きさよりも、利用可能なファイナンス方法があるかどうか？が PV システムが導入できるかどうかに影響が大きいことが示唆される。ケニアでのヒアリングでも、民間施設へ PV に関するサービスや機器販売を行うプロバイダーから、この点が非常に大きなバリアとなっているというコメントを得ている。この場合には銀行の再生可能エネルギープロジェクトへの理解不足という点が大きいという話であった。SHS など個人向けの場合でも同様⁹で、ユーザーがファイナンスにアクセスする方法を、SHS プロバイダーが提供し

⁹ ただ SHS 等の PV オンリーの独立型システムの場合、バッテリー更新コストを O&M コストとして組み込ん

ているバングラデシュは大きく拡大してきているが、そうでないたとえばエチオピアでは大量普及ができていない(後述)。ピコソーラーにおいても、携帯電話のプリペイド SIM を用いた革新的な支払い手法を提供しているケニアの M-KOPA の製品は、かなり総コストが高いにもかかわらず大きく展開してきている(資料 D 参照)。

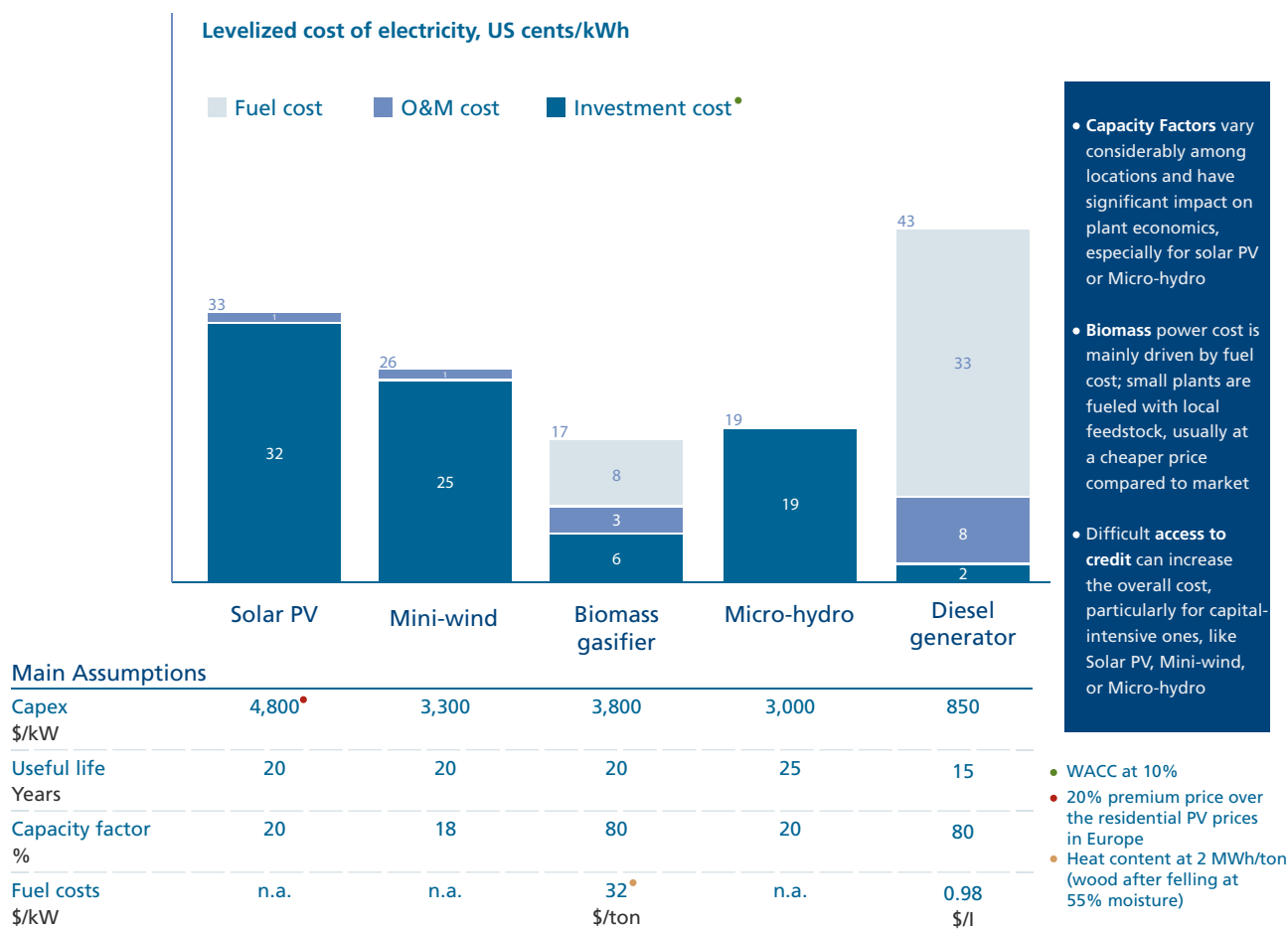


FIGURE 3.13: Electricity generation costs by mini-grid technology

Source: ESMAP–World Bank, McKinsey analysis.

Note: kW = kilowatt; kWh = kilowatt hour; MWh = megawatt hour; O&M = operations and maintenance; PV = photovoltaic;

WACC = weighted average cost of capital.

n.a. = not applicable.

図 22 独立型ミニグリッドの各種電源コスト比較例^{xxxvi}

また、とくにアフリカでみられる「グリッドは来ているものの数百ドルレベルの接続料金がなくて接続できない」というケースもあり(資料 A 参照)、これは電気料金設定問題でもあり、また利用可能なファイナンスの問題とも関連してくる。

逆に、グリッド電力の電気料金やケロシンへの補助金という政策も影響を大きく与える。

でおく必要がある。ディーゼルとのハイブリッドシステムは、バッテリーは含まないケースが多い。

IV-2. PV を用いたオフグリッド技術/プロジェクト/プログラムのオプション類型化

IV-2-1 類型化の軸

ここでは、まず供給側から見た場合の、PV を用いたオプションを類型化してみよう。

類型化は、第 I 章の表 1 で簡易版を示したが、独立型システムに関して JICA 等の経験に基づき詳しく見れば、その分類「軸」としては次のようなものが考えられる：

- ユーザーと主要用途
[ユーザー(用途)：家庭(電化)and/or 各種施設(施設への電力供給)]
- PV パネルの典型的発電容量と対応する導入コスト
[数 W_p, 10 W_p, 20–150 W_p, 数百 W_p, 数 kW_p, 数 10 kW_p, 数 100 kW_p]
- バッテリーの有無
- 供給電力は直流か、交流(インバータが必要)か
- 電力供給システムの主要部分か、サブ部分か
- 設置/据付型か、ポータブル型か
- 対象となる所得層(家庭主対象の場合)
- システムの所有者とユーザーの関係(同一、一対一、一対多)
- システムのプロバイダーのビジネスモデル(セールスモデル、サービスモデル)
- サービスモデルの場合のサービスの種類
- ユーザーが利用可能なファイナンスオプションとその提供元(セールスモデル)
- 政府やドナーの役割と市場原理の活用方法
- 普及のキーポイント
- 適用されるべきケースと市場のポテンシャル。

本章では、まずは恩恵を受ける人数の多い「家庭」や小規模店舗をユーザーとした電化用 PV システムを対象として、その特徴を論じる。基本は、(地下水汲上げプロジェクトを除いて)バッテリーを必要とするシステムである。

IV-2-2 家庭や小規模店舗をユーザーとした PV システムによる電化モデル

ここでは、(1) SHS, (2) ピコソーラー, (3) BCS 等のコミュニティーシステム, (4) マイクロミニグリッドを対象としよう。基本的には、(1), (2) のタイプは一家庭や一店舗を対象としたシングルユーザーモデル, (3), (4) は複数家庭を対象とするマルチユーザー供給モデル

である。産業など大きな需要のためには、比較的規模の大きなミニグリッドが必要となる(下図)。なお、(2) ピコソーラーは今後の発展が見込まれているものの、JICA の支援対象ではなかったため、詳細は資料 D を参照されたい。

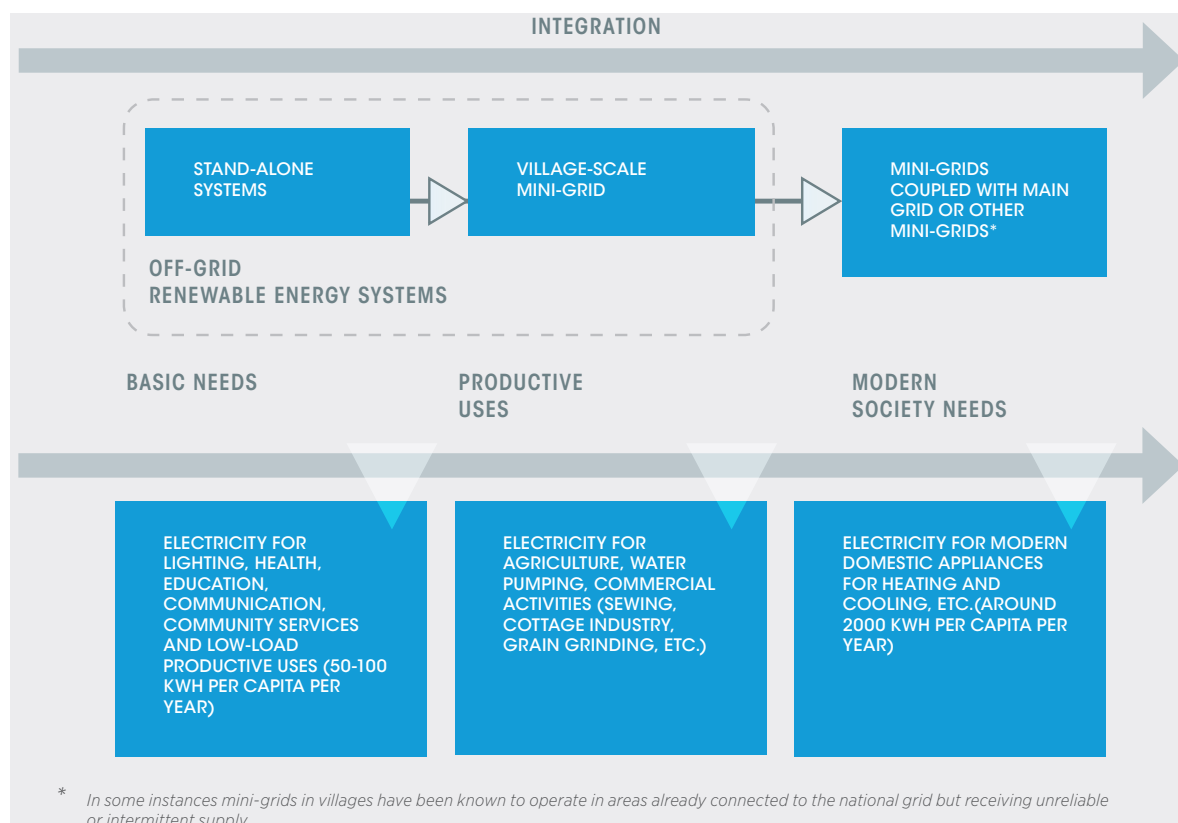


図 23 オフグリッド電化タイプと役割^{xxxvii}

IV-2-2-1 ソーラーホームシステム (SHS)

□ 概要説明と類型

50 W_p 程度の PV パネルとチャージコントローラー、バッテリー（（通常はディープサイクル型）鉛蓄電池）、需要機器（通常は照明機器として CFL か LED）などがセットになったシステム。携帯電話の充電端子も附属。プロバイダーによる設置型であり、設置者にある程度の技術的スキルが要求される。

戸別家庭対象のシステムとして、1990 年代以降、JICA をはじめ多くのドナーの関心を集めてきた支援されてきたシステム。多様なビジネスモデルが派生しているが、バングラデシュを除いて大量導入が可能になっている事例はほとんどないが（バングラデシュは現在 260 万セット程度でセールスモデル。詳細は IV-5-1）、比較的小さなスケールで飽和状態

にまでなったモンゴル遊牧民のケース(セールスモデル)¹⁰などはある(10 万セット程度)。

通常はスタンドアローンでシングルユーザー型であるが、小規模店舗で SHS 導入店舗がまわりの数軒に電気(直流)を電線で供給(販売)するマイクロユーティリティ・モデル(共有モデルではない)もバングラデシュで散見される。¹¹

ケニアなど純粋なビジネスベースで(散発的に)比較的富裕層相手に導入しているケースもあるが、それは政府のプログラムが機能していない場合、存在しない場合などで、この報告では対象としない。

□ PV パネルの典型的発電容量と導入コストの考え方

SHS では、通常 20–150 W_p 程度(典型的には 50 W_p)の PV パネルが用いられることが多い。セットになっている需要機器にも依存するが(通常は照明+携帯電話充電端子のみ附属)、数万円程度である。一般には、アフリカではアジアよりかなり高価である(下表)。

表 9 アフリカでの SHS パッケージ価格例 (50 W_p システム)^{xxxviii}

国	導入コスト (US\$)	一人あたり GNI (US\$)	(コスト/年間所得)比
エリトリア	650	160	4.1
エチオピア	750	100	7.5
ケニア	550	350	1.6
レソト	1,000	530	1.9
ソマリア	> 800	296	> 2.7
スーダン	650	340	1.9
タンザニア	850	270	3.1
ウガンダ	500–700	260	2.8
ザンビア	1,200	320	3.8
ジンバブエ	800	387	2.1

¹⁰ 人口の 1/4 が遊牧民であるモンゴルの SHS プログラム(10 万ソーラーゲル計画)は、2000 年に政府承認(実質 2002 年から実施)。2011 年末時点で 10 万セットの目標をほぼ達成。いくつかのドナーで動いてきた。2006 年に、Renewable Energy and Rural Electricity Access Project (REAP)の下で、世銀がそれまでの他国の経験を活かしたプログラム再編を行って大きく伸びた。WB/IDA に加え GEF とオランダも無償資金協力。内容は、コストシェアリング手法を導入。約半額を補助金に、50 の販売・サービスセンターの設立した(保守/アフターケア)(<http://www.worldbank.org/en/results/2013/04/08/portable-solar-power-for-nomadic-herders>)。10 万セットの SHS のうち 11,000 セットは、初期に、日本の ODA(ノンプロ無償)により提供された。現在は、デパートや市場、専門店において遊牧民向けの 100–200 W_p 程度の PV モジュールやバッテリー、直流で使える家電などが販売されている他、遊牧民居住地への移動販売も行われている(現地ヒアリング)。

¹¹ バングラデシュの最大プロバイダー Grameen Shakti は、現在までに 130 万セットの SHS を(政府 SHS プログラムの下で)設置販売してきたが、そのうちの 1 万弱がマイクロユーティリティ・モデル。ただ、ユーザー側に可能なら自分で SHS を所有したいという意向があるため、20 W_p システムを個々の店舗に設置する方が好まれる傾向にある。したがって、SHS のマイクロユーティリティ・モデルが大きく拡大する可能性は低い。なお、一般家庭は距離が離れているため、マイクロユーティリティ・モデルはほとんど成立しない。

ほとんどの途上国で、ほとんど SHS システムのコンポーネントは輸入品である(バングラデシュなど一部で照明やチャージコントローラーを自国内アSEMBル生産を行っているケースがある)。SHS 部品に関税の軽減措置を設けている国は多いが、競争がはたらいておらず、中間マージンに取られる形で、その恩恵を消費者が享受できていない国も多い。

現在、主要用途である照明用機器が、CFL から LED へ転換しつつある状況である。LED の消費電力は CFL の約 1/2 であるため、バングラデシュではもっとも販売されているものが、従来の 50 W_p から現在では最小でもっとも安価な 20 W_p のパッケージとなってきている(これには、いまでは補助金が現在は 20 W_p タイプにのみ付いているという理由もある)。下表に、もっとも大きなシェアを持っているバングラデシュの最大 SHS プロバイダー Grameen Shakti で販売されている SHS パッケージを例示する(価格は時期や場所に変化する。下表は一例)。携帯電話の充電端子はチャージコントローラーに附属している。

表 10 Grameen Shakti の SHS パッケージ¹²

System Capacity (W _p)	Loads can be used	Equipments supplied by GS	Package Price (BDT)
20	3 x 3W LED light	A 20W _p panel, 3 x 3W LED light, a 20/23 AH battery, a charge controller, a frame and cables	12,000
30	2 x 3W LED light and a 15" LCD/LED TV	A 30W _p panel, 2 x 3W LED light, a 30AH battery, a charge controller, a frame and cables	15,500
40/42	3 x 3W LED light and a 15" LCD/LED TV	A 40/42 W _p panel, 3 x 3W LED light, a 40/45AH battery, a charge controller, a frame and cables	22,000
50	4 x 3W LED light and a 15" LCD/LED TV	A 50W _p panel, 4 x 3W LED light, a 55/60AH battery, a charge controller, a frame and cables	27,100
60	5 x 3W LED light and a 15" LCD/LED TV	A 60W _p panel, 5 x 3W LED light, a 60AH battery, a charge controller, a frame and cables	30,600
75	6 x 3W LED light, a 12W fan and a 15" LCD/LED TV	A 75W _p panel, 6 x 3W LED light, a 80AH battery, a charge controller, a frame and cables	34,100
80	7 x 3W LED light, a 12W fan and a 15" LCD/LED TV	A 80W _p panel, 7 x 3W LED light, a 80AH battery, a charge controller, a frame and cables	36,600
100	9 x 3W LED light, a 12W fan and a 15" LCD/LED TV	A 100W _p panel, 9 x 3W LED light, a 100AH battery, a charge controller, a frame and cables	41,600
130/135	7 x 3W LED light, 2 x 12W fans and a 15" LCD/LED TV	A 130/135 W _p panel, 7 x 3W LED light, a 130AH battery, a charge controller, a frame and cables	46,100

(1 BDT(タカ) = 1.3 円程度)

¹² なお、保証期間は、30–150 Ah バッテリーが 5 年間、チャージコントローラーその他のシステムは 3 年間となっていて、その期間中に機器に不具合が生じた場合には無償交換される。また、月に一回のローンの戸別訪問集金の際に、システムの稼働状況の簡易チェックが行われる(マニュアル化されている)。

□ 直流/交流とシステム構成

SHS の需要機器は、通常は直流システムのまま用いる。比較的大きな SHS の場合には、インバータも導入して(システムにパッケージ化される場合と、所有者が自分で市場で購入する場合がある)、種類の豊富な交流の需要機器を用いる場合もある(最近では市場で入手可能な直流用機器¹³の種類も増えてきている)。供給量に制限のある SHS の場合、需要上限の管理を(何らかの方法で)する必要がある。ピコソーラーと異なり、液晶 TV などをつなぐ容量の余裕がある。

□ 設置/据付型かポータブル型か

SHS は、PV パネル、チャージコントローラー、バッテリー、複数の照明機器のパッケージから成り、それらを現地でプロバイダーの技術者が設置・セッティングする(ソーラーランタンのように一体化しているわけではない)。設置は一日以内で完了。またプロバイダーがメンテナンス対応なども行う。

したがって、SHS プログラムでは、技術者育成プログラムが組み込まれていることが多く(ただ十分有効に機能していないケースも多い)、JICA プログラムでも重視されてきた。

同時に、もっとも技術的に問題が生じやすいバッテリーの使用方法等に関して、ユーザー教育も重要となっている。モンゴルでは移動のたびにユーザーが再設置を行っている。

□ システムの所有権とオペレーション

システムは、バングラデシュのケースなど通常はユーザーが所有者となり、オペレーションも自ら行う(プロバイダーが所有するモデルもあるが一般的ではない(後述))。

プロバイダーは、販売・設置、そして不都合が起きた場合の対応を行うが、きちんと機能していない SHS プログラムの場合、このアフターケア対応が問題となっているケースが多いことがボツワナなど JICA の経験などからも見いだされている。遠隔地で需要がまばらであるアフリカでその傾向が強い。

□ ユーザーのファイナンスオプション/その提供元と対象とする所得層

SHS の価格は数万円程度(表 9, 10)で、上記のアフリカのケースの表のように、年間所得の数倍におよぶ場合があり、一括して前払いできる層はかなり限られる。したがって、

- 補助金
- 分割支払い(ローン)

が、(通常は)世銀等からの資金を原資に、プログラムの一部として提供されることが多い。

¹³ 本来、ほとんどの需要機器(電気製品)は内部的には直流で動いている。したがって、直流システムとして使用するのであれば、交流への変換ロスがなく、またインバーター分コストも安い製品ができる。

補助金は、大きく拡大しているバングラデシュの SHS プログラムの場合、すでにトリガーとしての所期の役目を終えてフェーズアウトしてきているが、ローンは供給され続けている。¹⁴

ローンを用いた支払いは、「頭金支払い＋定期的返済」で、後者は月賦の場合や、農作物収穫期ごとの場合などがある。返済期間上限は 3 年以上のケースが多い。

ユーザーへのローンサービスの提供者としては、

- (a) SHS プログラムの実施機関＝監督機関(政府機関)からの融資を、SHS をローカルに設置するプロバイダーが、再融資の形で提供するケース；
- (b) SHS のプロバイダーが独自資金を用いて融資するケース；
- (c) SHS プログラムとは独立した民間の金融機関(マイクロファイナンス・イニシアティブ)が提供するケース；

およびこれらの混合型がある。(c)の場合、SHS プログラム実施機関やプロバイダーが、そのファイナンス状況をどの程度把握・管理しているか、が問題となる。

バングラデシュの場合、(a)+(b)の混合型で、プロバイダーが個別家庭のローン状況をすべて把握・管理し、それを SHS プログラム実施政府機関である IDCOL が家庭単位でデータベース化して管理している。また、前述のように集金システムとメンテナンス/アフターケア・システムが一体化すなわちリンクしている。(c)の場合、それが独立しているため、全体の管理に難点がある(例：後述のようにエチオピアでは完全に独立していて、横の情報交換が全くない)。

SHS プログラムで対象となるユーザーの所得水準という点では、ローンを組む場合にでも、(容量に依存するが)1万円前後の頭金＝初期費用が必要となるため、それが不要なモデル(BCS 等)や、より低コストなモデル(ピコソーラー)に比べ、比較的高所得者層を対象としたものとなる。言い換えると、BOP 層の中の低所得者層にはリーチできない。

¹⁴ このローン(マイクロ・ファイナンス)は、たとえば Grameen「銀行」の行っているマイクロファイナンスとは区別されるべきである。Grameen 銀行のマイクロファイナンスは、「ビジネスを始める原資」となることを意図したもので、借り手の現金収入を生み出す。したがって(デフォルトリスクをうまくヘッジできれば)商業ベースで機能させることができる。一方で SHS のような商品購入型の場合は、「省(灯油購入)コスト」型であるとはいえ、明示的なキャッシュを生み出さないため、貸し手のリスクはより大きくなる。したがって、商業銀行がビジネスでかつ低利融資でサービスを提供することは難しい。(公的資金を原資とした)リボルビングファンド形式の成功モデルが望まれる。

なお、ローンの期間は隠れた重要な制度デザイン要素で、バングラデシュでは最初のバッテリー交換(バングラデシュでは 5 年保証)より短い 3 年間であるが、支払い途中でバッテリー交換が必要となると、その後に継続されない可能性が出てくる。一方で、SHS 導入前のケロシン購入コストも、一回の支払いレベルを決める重要な要素となる。なお補助金は、初期支払いの軽減に充てられる。

□ プロバイダーのビジネスモデル

SHS のプロバイダーは、SHS プログラムの下で、ユーザーの家庭や小規模店舗に SHS を販売・設置する(セールスモデル)。場合によっては、販売業者と設置業者が異なる場合もある(この場合は設置業者が販売業者から「請け負う」形となる)。

SHS プログラムに依存するが、プロバイダーの収益源は、以下のものがありうる：

- SHS 販売および設置工事における収益、
- (ローンも提供する場合)その金融サービスの手数料、
- SHS プログラム実施機関からの補助金。

導入機器に関しては、通常はプログラム実施機関が承認した機器である必要がある(そのための技術委員会が設けられることもある)。その調達に関しては、プロバイダーが選択し自己調達するケース(バングラデシュ等)と、プログラム実施政府機関が一括して行うケース(エチオピア等)がある。

その他、フィー・フォー・サービスモデルも原理的には可能であるが、ユーザーの近くにサービス技術者を配置することが必要で、遠隔地ユーザー向けプログラムの場合、実現可能性が低いモデルとなっている。あるいは、かなり高い料金設定(月に 10-20 ドル程度×10 年程度)とならざるをえず、所得が高く、供給安定性やサービスの品質を重視した都市型のケースには成り立ちうる(不安定なグリッド電力の補完)。通常は電力会社が行うには規模が小さく魅力に乏しい。

□ 政府やドナーの役割と市場原理の活用方法

SHS プログラムは、通常は政府機関が実施者となる。ドナー(世界銀行が主)が資金支援を行うケースが多い(民間オンリーの場合には普及数が限られてくる)。資金は、グラントと、融資の双方が用いられているが、プログラムが成熟してきているバングラデシュの場合では、グラント比率はかなり小さくなっている。

政府は、(ドナーの支援を受けて)プログラムを実施する機関をアサインする(SHS だけでなく再生可能エネルギープログラム全体の実施機関となることが多い)。中央のエネルギー系の省庁の下部機関が実施機関となることが多く(バングラデシュでは異なる)、プログラム全体、とくにプロバイダーの活動を監督する。地方政府の該当機関等を監督・チェック機関とした多層構造を持つこともある。中央銀行を資金の受け皿とするケースもある。

また、プロバイダーが、ユーザーに対してファイナンス機能も併せ持つ場合もある(バングラデシュの例。この場合、政府系 SHS プログラム実施機関が金融機関でもあることが特徴となっている)。

市場原理という点では、共通の SHS プログラムの下での、ユーザーへの価格やサービス

料金設定を含めた総合的なサービスの質という点で、プロバイダー間の競争が挙げられる(プロバイダーは通常は地元密着型)。バングラデシュでは、かなりの遠隔地でも、複数のプロバイダーが併存し競争している(実施機関によるプロバイダーサポートに関して、プロバイダーの経験値に応じて扱いに少し差異が設けられている)。

ドナーの関与したプログラムでは、ファイナンスサービス(とくにローン)は低利率や単利といった政策面での特別措置が設けられていることが多い。

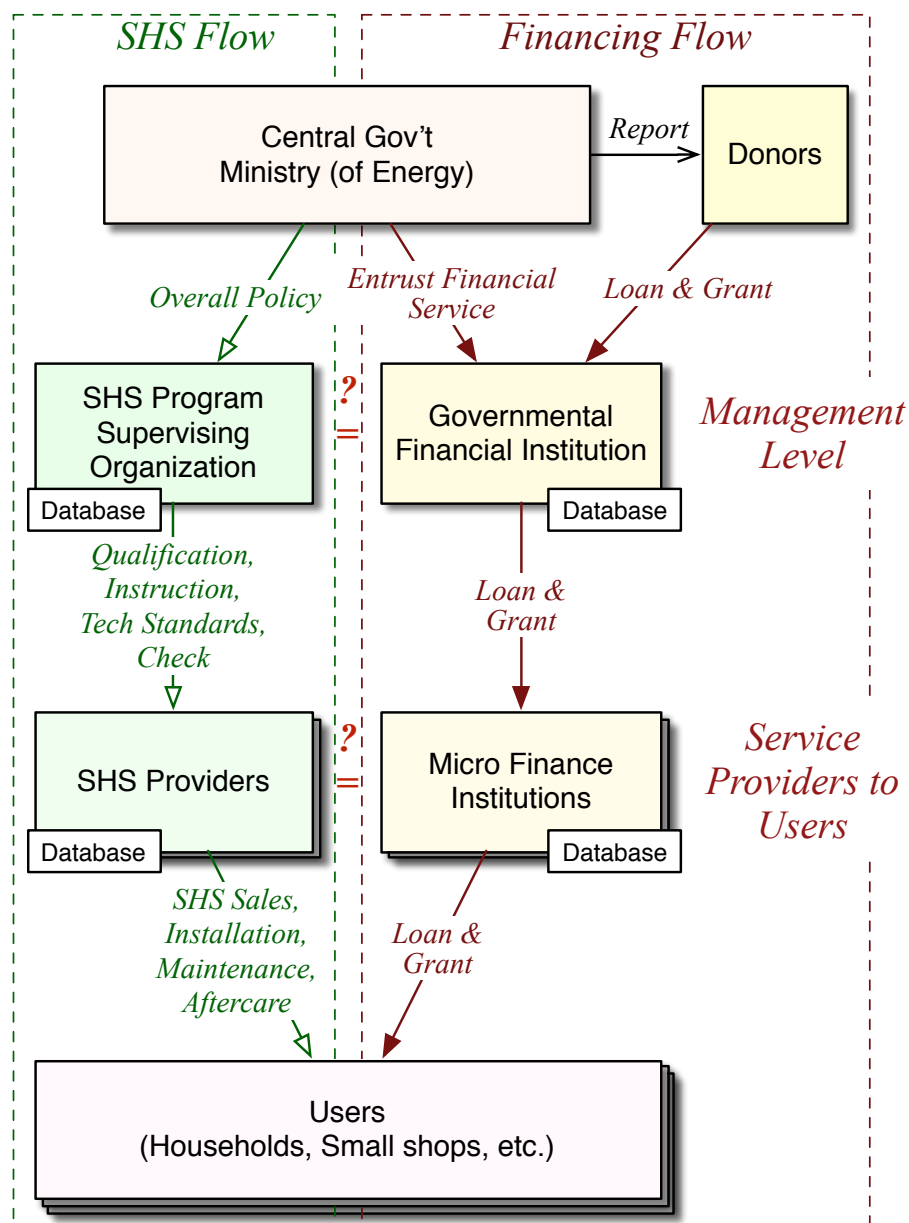


図 24 SHS プログラムの標準的な構造

□ 普及のキーポイント

ここでは、後述の大きく拡大しているバングラデシュの SHS プログラム事例と、エチオピアなど苦勞している事例、JICA の各種技術協力事例などを考慮しながら、継続的拡大のための SHS プログラムデザインのエッセンスを考察してみよう。なお、ここではプロバイダーのビジネスモデルとしてセールスモデルを前提としている（共有モデルは SHS プログラムに馴染まなく、大規模展開が狙えるフィー・フォー・サービスモデルはおそらく前例がない）。¹⁵

大量導入を管理できるプログラムのマネージメントシステムとデータベースデザイン

SHS を例えば 1 万セット/月以上のオーダー¹⁶で導入しようとするなら、最初からそのことを想定したマネージメントシステムをデザインする必要がある。もちろん、試行錯誤や軌道修正は必要であろうが、大きな構造変革を途中から行うことは望ましくない。

個々の家庭の所有する SHS 情報やローン返済状況、故障や保守状況、導入したプロバイダー情報等を、SHS プログラムの実施機関が、ほぼリアルタイムでデータベースとして管理できる体制、それを定期的に評価し、軌道修正できる体制が望まれる。

上図に示すように、SHS の機器の設置と、支払うお金は一対一対応をつけることができれば、プログラムの管理上問題が生じる。とくにお金はローンが用いられる場合、その回収状況もユーザーごとに把握する必要がある。すなわち、30 万家庭がそれぞれどれだけ支払ってどれだけ残っているか？滞納状況は？などを管理できるシステムが必要となる。バングラデシュのプログラムではこれらが完備している。

その他、たとえば 1 万セット/月で導入するためには設置を行う技術者が何人必要で、そのためには年間何回どのようなトレーニングを何人を実施する必要があるか？そのオペレーションに何人必要か？など、ゴールから逆算してマネージメントシステムをデザインしなければ、プログラムを実施してもその部分がボトルネックとなって綻んでくるか規模を大きくできない。

最初は小さな規模ではじめる場合にでも、「拡張性」を想定したデザインが必要である。

一般に、JICA 等の援助機関のサポートプログラムは、最初のデザインのところでの関与で、予行演習の時間は少ない。その意味でも、実施機関が自分で軌道修正し、改良し

¹⁵ IFC もその経験から、セールスモデルの方がはるかに持続可能と判断している。すなわち、フィー・フォー・サービスモデルでは、特に初期コストの大きさが、中小企業である SHS サプライヤーが小さなフィーの回収の積み重ねで長期間耐えるには大きすぎる (IFC, “Selling Solar—Lessons from more than a decade of IFC’s Experience”, 2007)。ラオスで Sunlabob 社が設置後のすべてのコストを付加し、地元の電気工事屋をフランチャイズ化してメンテナンスに用いるユニークなレンタルモデルを self-managed rental fund という形で動かした経験はあるが、世銀のオーバーテイク後消失した（現地および日本の専門家ヒアリング）。

¹⁶ バングラデシュでは、一日に約 2 千セットもの SHS が導入されてきている。

ていけるためのプログラムデザインが望まれる。またそのためには、プログラムの進捗状況を的確に把握するため、キーとなるデータをモニターし、PDCA サイクルを回す必要がある。バングラデシュでは、上記の管理面の情報以外に、年次サーベイを行い、常時の運用の中での情報以外の情報もチェックしている(MRV 体制)。またそれをドナーに報告し、ドナーは毎年、状況を確認することができる。

SHS 販売・設置サービスとファイナンスサービスをリンクしたプログラム構造

お金の流れと実際の SHS の設置状況を、できれば同じプロバイダーが管理できるような体制がのぞまれる。すなわち、プロバイダーがローンなどのファイナンスサービスを行う(あるいはそれを行う機関と密接に提携し、各家庭の状況に関する情報を共有する)。そして、それらをプログラム実施機関が一元管理する体制が望まれる。加えて、ローンの返済と保守点検(簡易チェック)が一体化されることが望ましい。

お金と SHS 設置状況の情報を一元管理することで、プログラムの状況をきちんと把握することができる。このプロバイダーがファイナンス(金融サービス)も提供することの他のメリットは、集金とメンテナンスを同時に行うことができること、プロバイダーが新たな収益源を得ることなどがあり、バングラデシュでは有効に機能している。エチオピアでは各家庭戸別情報のみならず、全体の総和情報も、管理が不完全なレベルであった。

SHS プログラム実施機関とプロバイダーの能力レベル

上記のようなマネージメントシステムのデータベースは、SHS プログラム全体として実施機関が所有しておくことが望まれ、またそのサブセットを各プロバイダーが管理することとなる。そのような管理能力を、実施機関とプロバイダーは持つ必要がある。プロバイダーに求める資格要件を、プログラム実施機関が設定する必要がある。

プロバイダー自身も自己のマネージメントシステムを所有し運営していく必要があり、またそれはプログラム全体のマネージメントシステムの一部である必要がある。このようなシステムを運用する能力(開発は監督機関が行うため不要)、また必要な技術者を育成するプログラムを持っていることなど、財政的かつマネージメント能力を、監督機関は各プロバイダーに求める必要がある。

システムティックな技術者育成システム

SHS の設置や、保守サービスなどのさまざまな技術的対応を行うためには、マニュアル作りと共に、数多くのテクニシャンが必要となる。そのシステムティックな育成プログラムを持つ必要がある。多くの国で、SHS 関係の技術者が不足しており、それがプログラムの拡大とシステムの信頼性の両方で課題となっている。

SHS は技術者が各家庭に出向いて実際にシステムを設置し、動作確認を行う。また(可能であればローン集金時などに)定期的に運用状況をチェックすることによって、寿命短

縮のもとになるイレギュラーな使われ方を監視・抑制することができる。大きくプログラムを拡大するためには、そのようなシステムティックな技術者育成プログラムを併設する必要がある。バングラデシュでは、技術者がさらに経験を積んで能力を高め、独立してビジネスを行うケースも多い。バングラデシュ最大の SHS プロバイダー Grameen Shakti では、いままで 2 万人程度の技術者(女性が大半)を育成してきた。¹⁷

プロバイダーへのインセンティブ設定と競争環境の整備

大きな拡大にはクレジット・セールスモデルが有効。プロバイダーは民間の組織として、多くの SHS 導入やきちんとした管理を行うためのインセンティブ(とできれば自由裁量部分の導入による競争環境)をプログラムに組み込むことが望まれる。そのためには、プログラムデザインの中にプロバイダーのビジネスモデル(およびその時間発展)まで考慮することが重要である。「出来高払い」システムの導入が有効。またローンサービスとの一体化によってそちらからの収入も得られる。

よりよいサービスとコスト低下のためには競争原理が欠かせない。そのためには、実質的に活動するプロバイダーは(地方政府の機関ではなく)民間であることが望ましく、創意工夫の余地があることが望ましい(キリバスの事例¹⁸でも分散型の重要性が認識された)。実際、彼らが SHS プログラムの担い手であるため、彼らがよりよいサービスを作っていけるだけの金銭的収入得る方法と、パフォーマンスを上げていくインセンティブをスキームに組み込むことが望ましい。プログラムの初期段階から発展段階まですべて同じである必要はなく、バングラデシュの例では、プログラムの大きな拡大と共に、プロバイダーへの補助金は役目を終えて(新規プロバイダーを除いて)いまでは提供されていない。維持管理しなければ損をするシステムは、ガーナ SHS プログラムの事例にも見られる。

またバングラデシュでは、サービスや価格、販売機器に関する競争がプロバイダー間、製造業者間(脚注 25 参照)で熾烈で、どの村でも複数のプロバイダーが「出来高払い」システムの下で競争している。

なお、ドナーの関与がないケースでのフィー・フォー・サービスモデルは、該当プロバイダーがいない限りは難しく、また政府プログラムとしての例はほとんどない。

¹⁷ http://www.gshakti.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=54&Itemid=78.
一ヶ月ごとの情報を Web で公表している。

¹⁸ キリバスでは、KSEC (Kiribati Solar Energy Company) が 1984 年に設立され、USAID のサポートがあったが、1989 年に破産。理由は当該技術に対する市場の信頼を得られなかったため(バッテリー保守問題も含めた技術的課題)。これを受けて、スキームの再編が行われ、すべての装置の所有と保守管理を、新しく作ったソーラーユーティリティ会社(ESCO 会社)で運用することとした。JICA が 1990 年にこのトライアルのサポートを行った (IRENA “Kiribati Renewables Readiness Assessment 2012”および JICA 報告書「キリバス共和国太陽光発電地方電化計画調査」(鉱調資 JR 94-086/088) (平成 6 年))。

需要管理

ユーザーがきちんとした「使い方」を行うことができるように、使い方に関する講習やチェック体制が望まれる。同時に、各家庭の電力需要機器やその使い方が、供給能力を超えたものとならないようにすることが望まれる。とくにユーザーが勝手にインバータを導入して交流需要機器を購入するような場合、供給力以上の需要が生じ、バッテリー等に過負荷がかかって寿命が短くなるおそれがある。この点を制度としてコントロールできるようにする必要がある。

SHS でもっとも脆弱な機器はバッテリーであり、過充電、過放電を行うことで、寿命はかなり短くなる。そのようなことが起きないようにするには、技術的に適切なシステムデザインと同時に、ユーザー教育や使用状況のチェック体制が必要となる。バングラデシュではそれをローカル技術スタッフがローン集金時に行う。またインバータが利用できなかったため、多様な交流機器が使われることもなかった。エチオピアでは、消費電力の大きなブラウン管カラーTVをユーザーが勝手に繋いで、120 W_pというかなり大きなSHSをダメにしてしまった例を目にした(よくあるパターンという話であった)。

技術基準と保証

SHS プログラムで利用できる機器は、(プロバイダーの自主性や競争環境のためには)プロバイダーが選択できるようになることが望ましいが、その品質管理のため、実施機関が技術委員会などを設け(あるいは外部機関に委託すること可能)、承認された機器のみが使われるようにすべきであろう。また、機器製造業者は、そのプログラムの製品認証をとるためには、品質保証をしなければならない。

バングラデシュの例では、上記の需要管理体制に加え、使用する機器性能を保証する製品認証プロセスと、使用後も保証期間内では無償交換が義務づけられている。すなわち、技術面のリスクをプロバイダーと製造業者が負って、ユーザーは負わない。バッテリーの場合には5年保証¹⁹となっている。

これらは、すべてを満たす必要があるとは限らないが、目標とする設置台数やペースから逆算して、最初にプログラムに必要な要件を決めることが望まれる。少なくとも、プログラム実施機関が「実情を把握」するモニタリング・報告・チェック体制を持ち、適宜軌道修正を行うことができるようになっているPDCAサイクルの導入の必要性がある。

バングラデシュの事例は、それまでの世界の多くの途上国でのSHSの経験を活かしたIDCOLのよく考えられたSHSプログラム制度デザインをベースにしている。JICAの経験

¹⁹ バングラデシュのSHSプログラムには、実は10W_pシステムもメニューに存在し、潜在需要が大きいことはわかっているが、実態として取り扱っているSHSプロバイダーはほとんど存在しない。これは、小さいシステムの鉛蓄電池で5年間の寿命保証を行うことが技術的に困難であるためである。

からも、SHS システムの所有権や保守管理の責任について明確にすることの重要性が、バヌアツ等の JICA 支援事例²⁰から報告されており、それが活かされている実例となっている。加えて、高い人口密度、金融サービスの経験のある高い能力の多数の NGO の存在なども、その成功の背景にある。

一方で、世銀がバングラデシュ・モデルをウガンダをはじめアフリカ諸国で展開しようとしたが、うまくいかなかった(どの程度の当該国向けの調整を施したか確認できていない。すくなくとも後述のエチオピアのモデルはかなり異なっている)。世銀ダッカオフィスの専門家によると、マイクロクレジットに抵抗があった慣習の問題がその一因であると分析されている。上記の人口密度や能力を持った既存プロバイダーが存在しないことなども関係すると考えられる。少なくとも IDCOL レベルのマネージメントシステムをデザインして始めた国は、知りうる限りは存在しない。

アフリカの国々で継続して拡大していくモデルを持つためには、人口密度が低い中で、それなりに遠隔地のユーザーにリーチできる既存システム(地方自治体の公的な体制 or 企業の販売網)を活用したデザインが必要となろう。普及し始めているソーラーランタンのセールスモデルに近いシステムと、Do-It-Yourself が可能なレベルの技術的パッケージ化がなされれば、バリアを除去できる可能性は高まると思われる。

□ 適用されるべき状況と市場ポテンシャルの考え方

バングラデシュやアフリカの多くの国のように、電化率が高くなく、多くのポテンシャルユーザーがいるケースと(その場合も人口密度によって異なりうる)、ほぼグリッドによる電化が行き渡り、かなりの遠隔地のみが SHS の対象となりうるケース(フィリピンやラオス等)では、アプローチの仕方を変える方が望ましい。

SHS は技術者による正しい設置やメンテナンスが重要であるため、それが状況的に難しいのであれば、他のアプローチ、たとえばシステムが一体化し「ひとつの商品」となっているソーラーランタン、Do-It-Yourself が可能なピコソーラーによるアプローチの方が、SHS より普及が可能となる要素が高そうである。

また、ポテンシャルユーザーの所得水準が(SHS を購入するには)低い場合や、実施機関やプロバイダーの能力が低い場合、遠隔地に疎らな人口密度の場合、ローンスキームを組むことが難しい場合にも、SHS ではなく(システムとしての完成品でメンテナンスを想定していない)ソーラーランタンなどのピコソーラーで対応した方が有効である。エチオピアやボツワナに代表される多くのアフリカ諸国の現状がそれに相当する。民間企業が

²⁰ バヌアツの SHS(技術協力; 1999–2002 年)では、7 村に SHS を導入し維持管理システム構築を行った。小規模であるためフィー・フォー・サービス型であるが、初期に機器故障や料金未払いへの対応などの運営面の課題に対し、エネルギー局職員やシステム管理担当者の人材育成を通じ、実施体制および SHS 機器の維持管理体制が整備された(http://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2001_1365007C0_3_s.pdf)。

所有してサービスとして提供するフリー・フォー・サービスモデルは、初期コストの問題をクリアできるかもしれないが、サービスの持続的継続の可能性に課題が残る。

一方で、TV などのエンターテインメントを望む所得層にとっては、ピコソーラーでは不十分で、SHS が必要となる。その意味で、ピコソーラーと併存し、市場を分け合う(所得水準の向上と共にピコソーラーから SHS への移行・併用が進む)という形を想定したプログラムデザインもありうる。ただ現状で両方が十分に利用可能となっている国はほとんどない。バングラデシュでその動き(GIZ のイニシアティブによるピコソーラープログラムの導入)がある。

それらの点で、SHS プログラムを新規デザイン、もしくは既存のものを改良しようとする場合、プログラム実施前に(実施中にも)、市場ニーズ調査、実施体制、代替案の可能性調査を行うべきであろう。この場合も計画や目標から逆算して、可能性を検討すべきである。

□ 具体的事例とトレンド

上述のように、大量導入かつ拡大し続けている SHS プログラムは、バングラデシュがほぼ唯一の事例となっている(後述、IV-5. (p.82))。その他の国では、エチオピアなど世界銀行のプログラムが継続している国はあるが、上記のキーポイントなどが課題となって、ポテンシャルユーザーの数に比較して導入できた数はきわめて限定的である。また、民間で独自に動いている SHS はかなり小規模で、大きなスケールや遠隔地で利用可能なものはほとんどない。

一方で、モンゴルでは、人口の 1/4 を占める遊牧民の家庭(10 万戸程度)ほぼ 100%に SHS が普及した例がある(遊牧民であるためグリッドに常時接続することはできない)²¹。またグリッド延伸が進んで、残るは離島や遠隔地のみが残された国(フィリピンやラオスなど)もある。

現在では、新しく SHS プログラムを導入しようとしている国や、それをサポートしようとしているドナーも少なく、政府の管理による SHS ではなく、(PV オプションとしては)市場に主要部分を任せるピコソーラーにシフト²²してきている。

一方で、バングラデシュの経験やレッスンはかなり蓄積されてきているため、そのエッセンスを当該国用に調整しなおし、(もういちど)プログラムをデザインしなおしてみようということも有効ではないかと思われる。

²¹ この 10 万ソーラーゲルプロジェクトでは、初期段階で日本政府の無償援助が用いられた。プロジェクトゴールの 1 割程度の SHS が提供され、キックスタートに大きな役割を果たした。

²² 例として IFC は、「政府プログラム」タイプの SHS サポートではなく、「市場を動かす」、「オフグリッドでは電気より『照明』に焦点を当てる」というアプローチに方向転換を行っている (IFC, “Selling Solar—Lessons from more than a decade of IFC’s experience”, 2007)。その具体例が Lighting Africa イニシアティブである。

V-2-2-2 ピコソーラー

ピコソーラーは、SHS より簡便に普及できる pre-electrification 手段であり、援助ではなく、市場を用いた展開がなされてきた。より安価であるという以外に、技術的な部分を設置技術者ではなく、製品自体に押し込めたところが、SHS との違いになっている。今後、SHS の効果が期待できない国や地域で(バングラデシュのような SHS がそれなりに導入されてきていても、より貧困層を対象として)大きなポテンシャルをもった手段である。

やはり分割払いの可否が大幅普及のキーポイントの一つで、IT 技術を用いたかなりユニークなビジネスモデルなどが開発されてきている。

ただ、JICA がいままで支援してこなかった分野であることなどから、本編では直接扱わず、資料 D として、巻末に記載することとする。

IV-2-2-3 バッテリー・チャージング・サービス (BCS) およびコミュニティー・マイクログリッド

□ 概要説明と類型

SHS を所有できない層でも、電気を購入するだけなら可能となる場合がある。コミュニティーの公共サービスやビジネスとして、電線での供給の場合と、鉛蓄電池への充電という形を取るケースがある。エネルギー供給サービスを行うという点では、エネルギーサービスを行う KIOSK 的なものであり、家庭だけでなく小規模店舗なども対象とする。

充電サービスという点では、近年需要の大きい携帯電話の充電に特化した小さなサービスもあり(ここには分類せず、むしろ SHS (やピコソーラー)のサイドビジネスと言うことができる)、また公共施設に導入した PV システムのサブ目的として付加することも可能である。

電源は、グリッド、ディーゼル発電などが従来から自然発生的にあるものであるが(例: カンボジア、バングラデシュ)、ここでは、PV による発電で、単独目的の BCS を検討する。

一方で、なんらかの比較的大きな需要を中心に、そのまわりの家庭への供給も行うシステム(コミュニティー・マイクログリッド)などもある。携帯電話基地局やクリニックなどでの活用の可能性があり、とくに前者は近年国際機関の注目を集めている。

BCS やコミュニティー・マイクログリッドは、ユーザー＝所有者である SHS とともに、それと対比した「供給サービス」モデルであり、比較的初期から JICA などでも検討されてきた。適当な河川があれば、マイクロ水力を用いたモデルも有望なものである。ユーザーが初期コストを負担しないため、より低所得者層も対象とできる(逆にサービスプロバイダーがその初期コスト分を負担することとなる)。

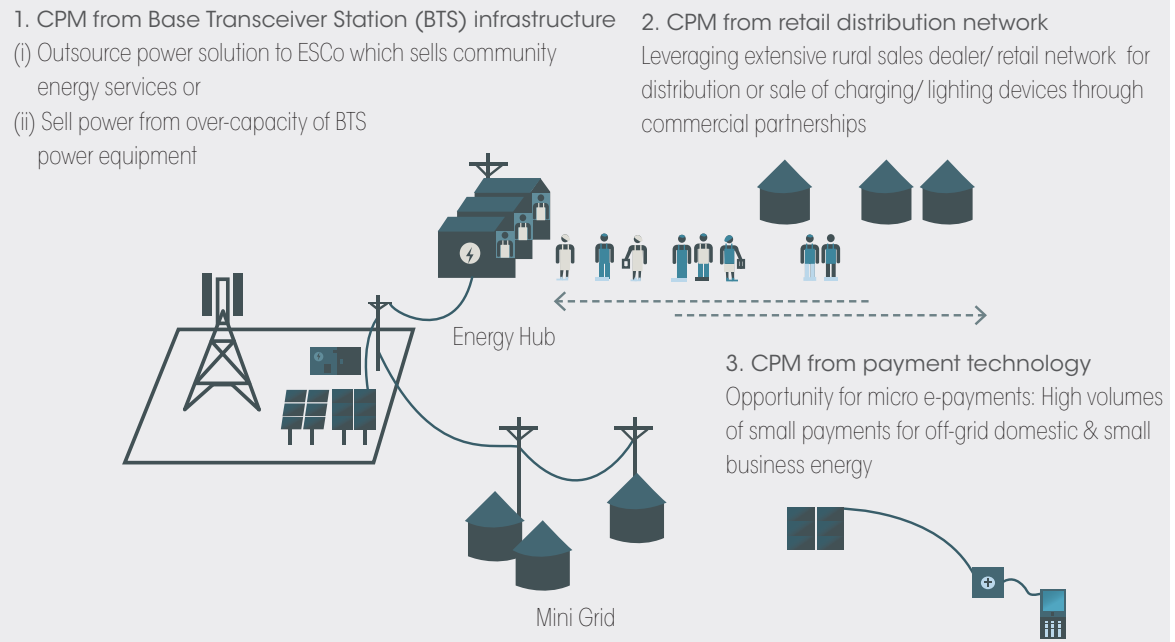


図 25 携帯電話基地局をコアとしたコミュニティ・マイクログリッド^{xxxix}

□ PV パネルの典型的発電容量と導入コストの考え方

需要の大きさや投資額に依存するが、家庭対象部分は、数 100W_p–数 kW_p が典型的な大きさであろう。

□ 直流/交流とシステム構成

BCS は基本的には直流システムである。マイクログリッド化したものは交流である。

□ 設置/据付型かポータブル型か

BCS の場合、PV システムはハブとなるプロバイダー店舗周辺に設置されるが、ユーザーが使う鉛蓄電池は可搬である(ただかなり重い)。

□ システムの所有権とオペレーション

BCS のバッテリーは、ラオス案件のようにユーザーが所有するケースが現実的。プロバイダーが所有するケース(例：ボツワナ案件)では、バッテリーのメンテナンスがきちんと行われると期待されるが、逆に使い方が雑となり、その分がすべてコストに反映され高価となることが、JICA スタディー^{xl}などでも指摘されている。

コミュニティベースの場合、責任の所在が不明確になる傾向にあるため、システムを自ら所有しビジネスベースで動かすほうが機能するこのスタディーでは分析されている。

□ ユーザーのファイナンスオプション/その提供元と対象とする所得層

BCS ですでに蓄電池を所有している場合には、ユーザーの追加コストは不要(かつ技術的な点に明るい)。逆に、そうでない場合には BCS は機能しにくい。

コミュニティー・マイクログリッドの場合、家庭への電力計設置がコスト面で見合わないケースが多く、家庭ごとの定額か、人数、消費機器所有数などに応じた料金設定がなされる。

□ プロバイダーのビジネスモデル

プロバイダーは、初期コストが大きいため、政府の補助金や低利融資がなければ、実現は難しい(援助機関が機器を無償で提供するケースもある)。また、その分をユーザーに負担させるのでは、より低所得者への供給モデル(ユーザーの初期コストがゼロか小さい)という位置づけが低くなる。

ディーゼル発電との組み合わせ、ビジネスが軌道に乗ってから、PV をサブ発電システムに用いるなどの工夫が必要。

□ 政府やドナーの役割と市場原理の活用方法

遠隔地コミュニティーで、ビジネスベースで行うモデルが期待できそうなら、補助金や低利融資の仕組みを導入することが有効。プロバイダーの能力開発が必須となる。また、BCS の場合、バッテリー利用方法に関するユーザー教育も重要である。

□ 普及のキーポイント

UNIDO が主導したケニアのエネルギーKIOSK 構想²³は、コミュニティー開発と結びつけるという魅力的なものに発展する素地はあったが、担当者の転勤と共に消失した。リードする人材や、オペレーションする人材に大きく依存する。その意味で、とくに技術面の人材育成が不可欠であり、バッテリーを使うという面で、ユーザー教育も不可避である。

言い換えると、カンボジアやラオスのようなバッテリーの使い方を村人が知っている場合には、(規模にもよるが)BCS はソリューションとなりうる。

10W 程度の需要(照明機器を 2 個程度)の場合、バッテリーは小さいものですむ。

前述の携帯電話基地局の事例など家庭用以外の需要をコアにするアプローチの検討が今後いくつかの援助機関で進んでくるものと期待される。

²³ UNIDO のエネルギーKIOSK(コミュニティーパワーセンター)モデルでは、初期投資+訓練までを UNIDO の寄付として受け持ち、それをコミュニティーにハンドオーバーする。そして、収入源となるための(エネルギーを用いた)生産機器も提供する。再生可能エネルギーは、水力、風力、PV、バイオガス、植物油など地場で利用可能なもの。アイディア的には優れたものであったが、ほとんどのケースで O&M が不十分であると、JICA によるサーベイ報告書が記している (JICA, “Survey to Establish the Status of UNIDO Energy Kiosks/Community Power Centers”, 2012)。

□ 適用されるべき状況と市場ポテンシャルの考え方

SHS より貧困層という点で、ピコソーラーと重なる。

ピコソーラー市場が未成熟の場合で、住民がバッテリーの使い方や維持管理に慣れていてすでに利用しているような場合に、ひとつのソリューションとなる。

BCS は、ディーゼル発電機による既存 BCS モデルに、PV 発電を付加するケースや、携帯電話等に特化したケース、PV システムを導入した公共施設のサイドビジネスという形が有望なものであろう。ただ、市場という面で大きく拡大する可能性は低いであろう。

ピコソーラーがリチウムイオンを使っている中で、軽量で高性能のこのタイプの電池を用いたミニビジネス(主として照明と携帯電話充電用)が動いてくる可能性はある。

□ 具体的事例とトレンド

BCS で、PV のみを用いて、ある程度の規模でシステムティックに運用・機能している自立モデルはほとんど存在しない。コミュニティー・マイクログリッドは、マイクロ/ピコ水力のケースは多いが、バッテリーが必要な PV オンリーのケースはあまり事例が多くない。

IV-2-2-4 マイクロ/ミニグリッド

□ 概要説明と類型

グリッドの規模は、比較的大きな MW 級から、数 kW 級まで含まれる。厳密には、「需要地内で複数の分散型電源や蓄電装置を組み合わせ、分散型電源の発電量を需要状況に合わせて制御し、主グリッドの停電時においても電力の地域自給を可能とする小規模の独立電力供給網」と定義されるが、近年は島嶼国などにおいて PV の導入が急速に進められ、「離島マイクログリッド」の導入が進められている。ここでは、前述のコミュニティーの運用するマイクログリッド以外の(超える規模の)ものを対象とする。

PV オンリーの場合、大きなバッテリーが必要であるため通常は非現実的。マイクロ水力の場合はわざわざ PV を導入する意味がないため、通常はある程度負荷追従のできるディーゼル発電との複合型が現実的。バイオマス資源を安価で大量に調達することができる場合、バイオマス発電とのパッケージ化もありうる(ただバイオマス発電自体の経験が少ない国が多い)。

産業などの大きな需要が存在しうるためには、SHS 等では難しいため、このシステムが必要となる。

□ PV パネルの典型的発電容量と導入コストの考え方

蓄電装置(バッテリー等)を導入しない場合、全容量の 30%程度まで PV で対応可能という考え方がある(モルディブの電力公社 STELCO のケース。要求する電力の品質に依存)。

蓄電装置を導入する場合には、同じ電気の品質を供給する場合にでもそのPV導入比率を上げ、ディーゼル発電等による燃料消費をより削減することができるが、その分、蓄電装置を含む合計初期コストが上昇する。このため、実際の計画に当たっては、導入サイトにおける燃料費、蓄電装置の種類、コストなどを踏まえた検討が必要である。

□ 直流/交流とシステム構成

通常は交流で電力は供給される。

□ システムの所有権とオペレーション

システムは、電力供給・エネルギーサービスを行おうとする民間企業の専門知識を持った技術者がオペレーションを行う必要がある。所有権は、ケースに依存する。

理想的には電力会社(公社)がオペレーションを行うケースであるが、システムが小さい場合、通常は電力会社にとって魅力的なビジネスにならない。政策的な意図がある場合、電力会社が行うケースもある(例：ケニアの送配電公社 KPLC は、数百 kW 規模のディーゼル発電主体のミニグリッドを 15 程度オペレーションしているが、そのうち 6 つほどに PV や風力発電も導入されている。所有権はケニア政府。図 36 も参照)。

□ ユーザーのファイナンスオプション/その提供元と対象とする所得層

電気を購入するだけであるが、マイクロ/ミニグリッドへの接続料金が必要となる場合もある。政府による補助金がついて、メイングリッドと同じ電気料金設定がされる場合もある。

小さなマイクログリッドの場合など、電気メーターを付けるコストが相対的に大きな場合には、総額や、家庭人数、照明機器あたりの料金を定額とするような料金設定がなされるケースもある。

□ プロバイダーのビジネスモデル

電力会社や地方政府が行う場合、単独ではペイしないケースが多く、オングリッド延伸より低コストとして考えたり、政策的な意図を色濃く反映する。

自立的システムの場合、通常はかなり料金設定が高くならざるをえない。初期コストをどのようにまかなうかが課題で、政府による再生可能エネルギー促進プログラムなどでサポートされるケースもある。

□ 政府やドナーの役割と市場原理の活用方法

プロバイダーに対しては、初期コストの問題において、政府の促進策(補助金や低利融資の導入等)が用いられることが多い。ユーザーに関しても、補助金で料金が低くおさえられるケースが多い。

□ 普及のキーポイント

オペレーションの確かさという点で、電力会社による導入がベストであろう。そのためには、政治的意思が必要となる。

□ 適用されるべき状況と市場ポテンシャルの考え方

PV 単独では難しいため、他の負荷追従のできる(通常は燃焼系)電源と組み合わせる必要がある。

再生可能エネルギーを重視するなら、PV はバイオマス発電やマイクロ水力などの補助に用いることになるが、PV 導入のメリットは高い燃料代削減であるため、実質的にはディーゼル発電の補完的役割となろう。

携帯電話基地局の事例など、コアとなる需要があるケースが実施しやすい。ただ通信会社と電力会社は異なり、また通信会社のビジネスは電力供給ではないため、エネルギー供給を行う第三者が両方に供給するモデルが有望である。島嶼国で、隣接する住民島とホテル島の両方に供給する数 MW 規模のモデルが考えられたケースなどもある。

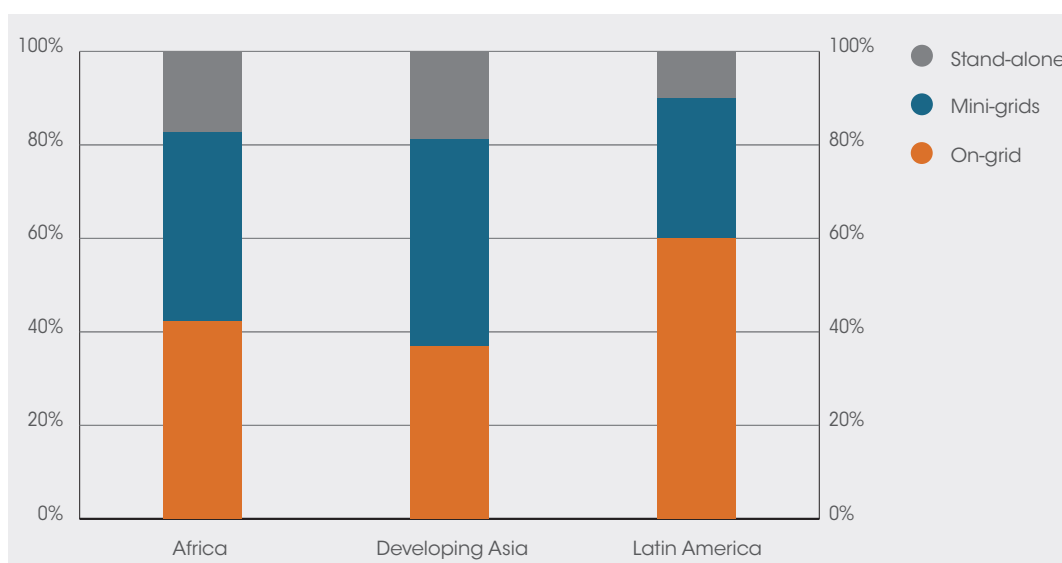


図 26 2030 年にフルで電気へのアクセスを達成する場合のアプローチ^{xii}

IRENA の国際会議 IOREC 2012 によると、上図のように、現在のオフグリッド地域の電化において、ミニグリッドはスタンドアロンシステムより大きな寄与を持つと期待されている。

□ 具体的事例とトレンド

島嶼国の場合、ディーゼル燃料が高価であることから、多くのマイクロ/ミニグリッドが、電力公社、自治体や民間企業(ホテル等)などによって導入されている。

前述のケニアのケースのように、リモート地域でそれなりの需要が集まったところに設置し

ているケースもあるが、あまり数は多くないようである。

PV 単独の事例は、バングラデシュの IDCOL による事例があるが、非常に大きな補助金が入っている。

JICA の活動としては、最近、トンガの首都トンガタブ島メイングリッド(約 10 MW で実質上ミニグリッド)において、1 MW_p の PV システムを導入するプロジェクトが実施中である。すでにニュージーランドの援助でバッテリーのない 1.3 MW_p の PV システムが導入されている。このシステムの特徴は、合計 2.3 MW_p の PV システム導入による短周期(秒単位)の周波数変動を抑制し、供給する電気の品質を確保するため、バッテリーではなくリチウムイオン・キャパシタを用いたシステムを導入予定である。より長周期の日負荷変動は、ディーゼル発電機の負荷追従能力でカバーするシステムとなっている。

IV-3. JICA の活動事例と考え方

JICA は、この分野では、主として SHS と BCS に関して、マスタープランや(場合によってはパイロットプロジェクト付きの)技術協力などという形でモデルのデザインや検討を行ってきた。

JICA の活動の特徴は、能力開発やトレーニングの部分と、ある程度のフォローアップとなっている。また再生可能エネルギー/PV プログラムのマスタープラン作成支援も事例が多い。能力開発は、南南協力に拡大した事例もある。

経験の蓄積という点では、ホスト国に感謝されているケースも多いが、グリッド延伸などのさまざまな理由で、いまでも有効に活用されているパイロットシステムは少ない。逆に、導入時点における「政策の方向性」を考え実証するという点での意味が大きかったと言える。

一方で、本格的普及プログラムにおける資金サポートまでは行って来ず、今年度から協調融資してきているバングラデシュの IDCOL の再生可能エネルギープログラム(SHS プログラムがその中心)のみとなっている。

現在では、JICA は電化に関しては基幹系統の整備に軸足を移している^{xliii}ため、BOP ビジネスサポートなどを除いて、SHS の可能性の新規開拓や、ピコソーラーのモデル化などの分野には手を伸ばしていない。上述のトンガのミニ(マイクロ)グリッドのケースなどが新しいタイプとして注目される。

IV-4. JICA 以外の援助機関・国際機関の活動と考え方

JICA と一見類似の考え方をとるドナーは多いが、パイロット的に導入した機器が比較的すぐに使われずに放置される状況になった例なども散見される。

JICA と差異という点では、実際にグラントや融資という形で世界銀行が多くの国で行った SHS 資金支援プログラムや、ピコソーラーに関する IFC と世界銀行の Lighting Africa/Asia/Global イニシアティブなどで、とくに後者は、(政府プログラムではなく)民間のビジネスを動かすための基盤を最低性能保証という形で、アフリカや世界全体の規準作りという側面から行っていこうというもので、その成果が注目される。

UNIDO は、前述のように、マイクロ/ピコ水力と PV などのハイブリッドシステム²⁴として、ケニアの複数のコミュニティー対象に、エネルギー KIOSK^{xliii}という電気の供給のハブを村に設けるユニークな試みをおこなった。基本は需要に依存する形で(供給側や技術ドリブンではない)、ケニアの実情では 10–30 kW。家庭を中心としたユーザー側に LED 普及も行う。家庭への電力供給は通常は BCS 型。中小規模事業者を対象。これは、エネルギーセンターを村の開発サービスのハブにしようとする試みで、エネルギーがあれば可能となるインターネットや生産活動用サービス(製粉機等)も提供することが企図された村落開発という視点からのアプローチである。UNIDO がトレーニングを行って 12–18 ヶ月関連各種分野のサポートする。ただ、UNIDO の担当者の人事異動に伴い、プログラムとしての継続性が途絶えているという情報をケニアの日本人専門家から得ており、また 2012 年の JICA のサーベイ^{xliiv}では、O&M 面でほとんどのシステムが健全に機能していなかった。

IV-5. 大量導入事例(バングラデシュ SHS)とその比較分析

IV-5-1 バングラデシュの SHS プログラム

IV-5-1-1 プログラム概要

前述のように、バングラデシュはいままで 260 万セット以上の SHS の導入を行ってきており(無電化世帯の 1 割弱程度)、いまなお、一日 2,000 セットレベルの普及を続けている。2015 年までに累計 400 万セット導入が目標となっている。導入だけではなく、ユーザーの運用面でも最初のバッテリー交換を経た持続性を持つ仕組みが機能している。

バングラデシュの SHS プログラムは政府プログラムで、その実施機関(監督機関)は、Infrastructure Development Company Limited (IDCOL)という政府系ノンバンク金融機関である(営利性も強い)。現在は、WB, GEF, KfW, ADB, IDB, JICA などの資金支援を受けて SHS プログラム(およびその他の再生可能エネルギープログラム)のオペレーションを行っている。

²⁴ ひまわり栽培によるバイオディーゼル生産とそれによる発電を行ってケースもあり、バイオガス・ダイジェスター、バイオマスガス化、風力による発電なども想定されていた。

SHS 設置・普及は, Partner Organizations (POs)と呼ばれる NGOs などが行っており(プロバイダー=PO), 導入数の約半分を最大の NGO である Grameen Shakti が担っている(もともと IDCOL のプログラム管理体制は, 先行していた Grameen Shakti の管理体制をお手本に作成された経緯がある)。

以下, IDCOL の資料をベースにバングラデシュでの各種関係者へのヒアリング結果を踏まえたファクトと分析を行う。

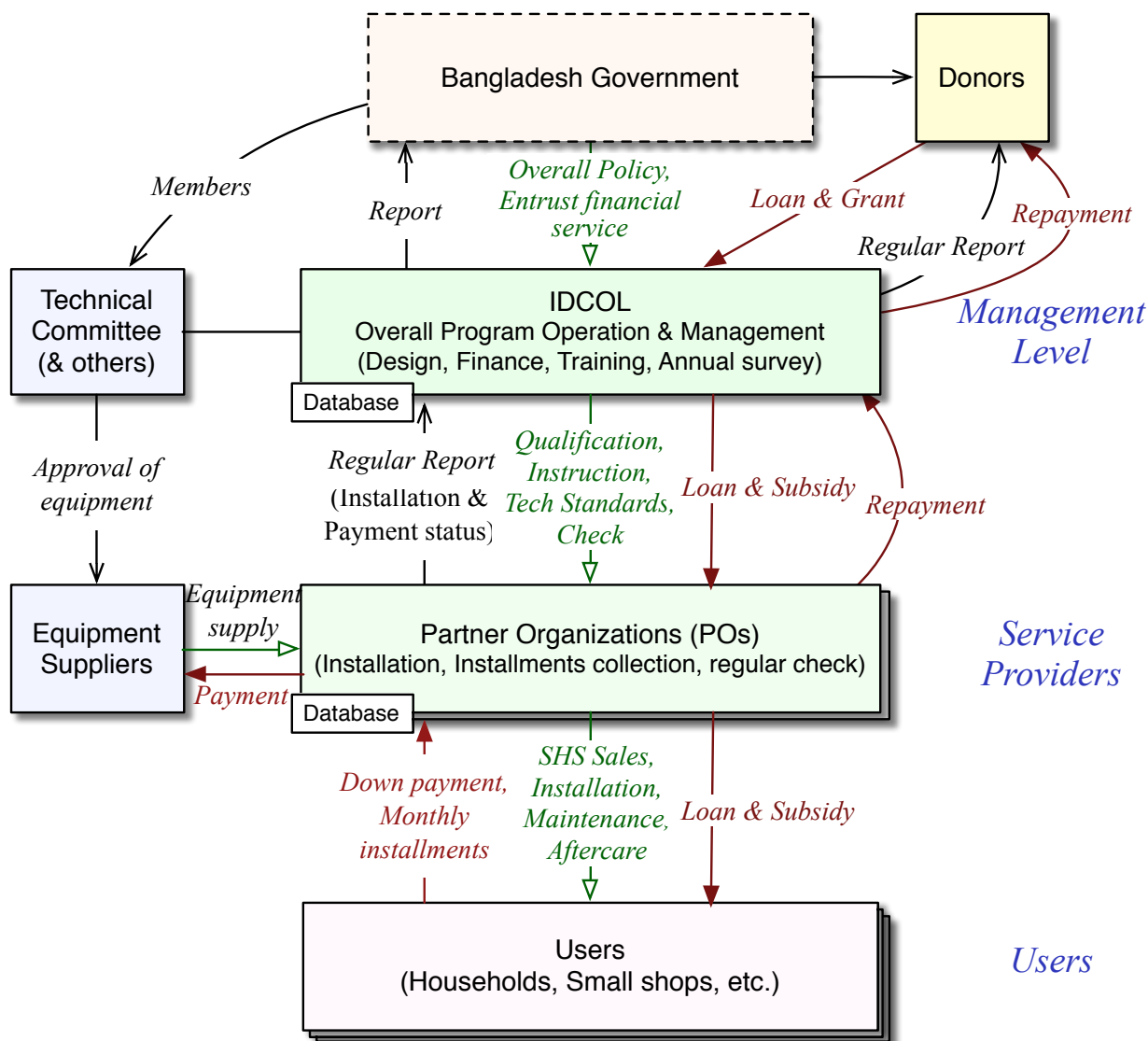


図 27 バングラデシュ SHS プログラムの構造

バングラデシュの SHS プログラムは, 前述のように, SHSを設置するフローと, ファイナンスのフローが一体化されているのが特徴となっていて, 監督機関である IDCOL はドナーからの資金を活用して POs にファイナンスサービスを提供し, また PO もみずからユーザーに

対してファイナンスサービスを提供しているものが多い(前ページの図参照)。

そして、PO は各家庭の SHS 設置状況やローン支払い状況などのデータベースを使って (IDCOL の独自開発。次ページの IDCOL 統合管理データソフトのスナップショット参照)、それは月次で IDCOL に報告される。すなわち、トップマネジメントである IDCOL レベルで、各家庭の SHS 設置およびローン支払い状況(くわえてメインテナンスの状況など)まで(各 PO の管理情報とリンクした)データベースで把握している。

加えて、各 PO は、毎月ローンの集金を行う際、SHS がきちんと機能しているかどうかのチェックが、チェックシートを使って行われる(この情報も PO から IDCOL にまで伝えられ一元管理されている)。

また、IDCOL は PO からの各種管理情報以外に、技術面²⁵やユーザー満足度に関して、毎年独自にサンプリング調査を行っており、それは PDCA サイクルを回す形で、プログラムオペレーションにフィードバックされている。加えて、ユーザーから PO を通さずに直接 IDCOL に苦情申し立てを行うこともできるなど、制度として、サービスのクオリティーコントロール体制も備わっている。

これらのシステムを機能させる(一日に 2,000 セットの設置を行う)ためには、非常に多くの技術者(テクニシャン)が必要となる。各 PO と IDCOL は、そのための研修システムも完備している。加えて、Grameen Shakti では、46 の各地の Grameen Technology Centers で女性を対象とした教育トレーニングプログラムで、SHS 設置要員、メインテナンス要員の育成のみならず、チャージコントローラーも内製している。

²⁵ 2013 年 12 月に公募された SHS プログラムの技術オーディットに関するコンサルタント募集要項には、以下の要求事項が示されている:

47 の PO (SHS サービスプロバイダー) に対する技術オーディットとして、10 のバッテリー製造業者から合計 50 のバッテリーをテスト(3 ヶ月使用済みのもの)、30 のチャージコントローラー製造業者から合計 70 のチャージコントローラーをテスト、30 の LED 製造業者から 140 の LED をテスト、機器に関して技術的苦情を申し立てた複数の家庭と PO を訪問診断し、機器のフィールドおよびラボテストを行う。

ここで表された数字は、プログラムと関連市場の広がりや成熟度を表しているといえる。

IDCOL - [Disbursement Process]

New Save Search Delete Log out Change Password To Do (0) incomplected Notice (0) unread Task (0) incomplected

Disbursement Process

PO Name: Hifal Fuzul Samaj Kalyan Sangatha Total disbursed system for the PO: 100335

Request No: 86 Total installation: 4334 System Remaining to process: 4334

Request Date: 14/9/2013 Days: 24

Total Inspection: 0 Inspection Percentage: 0.00%

Size From: 0 Size To: 500

Donor Grant A: KFW Grant A: 25 € @ 90 TK: 509288

Donor Grant B: KFW Grant B: 0 € @ 0 TK: 486885

Donor Refinance: Japan International Cooperation Agen Percentage of refinance: 70 Ceiling: \$ @

Total Grant A: 108350.00 9751500.00 Total Grant: 108350.00 9751500.00

Total Grant B: 0.00 0.00 Total Refinance (k.): 50713004.30

Total Payable Panel: 4334 Total Amount (k.): 60464504.30 0.00 TK(MAX)

TOTAL SYSTEM DESCRIPTION FOR THIS DISBURMENT

Serial	AgreementCode	PanelSerialNo	PanelSize	SystemPrice	DP	LA	Refinance	GrantA	GrantB	LoanOrCash	St
1	HF582793	00096578	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
2	HF582796	000220868	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
3	HF582798	000214833	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
4	HF582799	00021431	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
5	HF582801	00045229	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
6	HF582822	00095541	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
7	HF583311	00043528	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
8	HF583754	000209049	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
9	HF583756	00040215	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
10	HF583758	00096374	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
11	HF583762	0001007821	40	18800	18800	0	0.00	25.00	0.00	2	0
12	HF584567	000222048	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
13	HF584568	000702496	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
14	HF584574	00096297	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
15	HF584578	000208857	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
16	HF584781	000131998	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0
17	HF584784	000102730	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
18	HF584796	00043891	10	8400	8400	0	0.00	25.00	0.00	2	0
19	HF584803	00096485	20	11200	11200	0	0.00	25.00	0.00	2	0

Total System For GrantA: 4334 Total rows: 4334 Sum SystemPrice: 84961050

Total System For GrantB: 4302 Sum GrantA: 108350 Sum DownPayment: 12413801

Total System For Refinance: 4302 Sum GrantB: 0 Sum Loan: 72447149 Sum Refinance: 50713004.3

Process Save Clear

Status: Other users can't s... Unread Mail - Micr... Microsoft SQL Ser... Debug Solution IDCOL - Microsoft... IDCOL - [Disburse... 1:01 PM Tuesday 10/8/2013

IDCOL

New Save Search Delete Log out Change Password To Do (0) incomplected Notice (0) unread Task (0) incomplected

INFRASTRUCTURE

Inspection entry

Step 1 Step 2 Step 3 Step 4

Filter By Customer ID: Customer ID: 50576-0432 V1.4.0

Filter By PO: PO Name: Grameen Shakti Branch Name: DEBIDWAR

Selected Panel SL: 1008042811 Search By Panel

Agreement Code: GS541578 Select Agreement

Inspection Type: ☒ Inspector ☐ Management ☐ Update Agreement

Equipment	Serial No	Quanti	Model	Size / capact
Battery		1	6RST200A_130	130
Solar Panel	1008042811R	1	SW 85 mono_85	85
Charge Con...		1	GSC 010_10	10
Fluorescent ...		4	GSL 01_6	6

Inspection ID: 0 ☐ Contacted customer ☒ Update House Holder

House Hold Info: Customer Id: 50576-0432 House Hold Name: Md. Sahid Mah Customer Type: House Hold

Gurdan Name: Late Akamat Ali Relation: Father District: COMBLA Thana: BRAHMAN/PARA Union: BRAHMAN PARA Village: Dulapur Post Office: Dulapur POID: Grameen Shakti Branch Name: DEBIDWAR Phone:

Disbursement Request No: 95 Agreement Date: 21/11/2010 (dd/mm/yyyy) Loan End Date: 21/11/2013 (dd/mm/yyyy)

Price of the system (in Taka): 37400 No of Instalment: 36 Service Charge (%): 6

Loan / Cash: ☒ Loan ☐ Cash Instalment amount: 936 Date of instalment payment: 23 No Of Beneficiary: 0

Down payment: 5610 Reason for not paying the instalment (if all the instalments have not been paid):

Loan tenure: 3 Type of instalment: Monthly

Next =>

New Create Search Delete Cancel New

Status: IDCOL Microsoft Excel - Bo... DisbursementReport... Inspection Entry Step... 1:07 PM Tuesday 10/8/2013

図 28 IDCOL データベースソフトウェア(自主開発)のスナップショット



図 29 Grameen Shakti の技術トレーニングセンターと女性テクニシャン

プログラムに組み込まれているファイナンスモデルは、

- 「ユーザー」にとってのものと(支払いができる仕組み),
- 「プロバイダー(PO)」にとってのもの(経営が成り立つ仕組み)

から成る.

「ユーザー」は、頭金 15%+3 年間の月賦で SHS を購入することができる. ネックとなる初期費用は、(すこし前まで標準的であった)50W_p システムの場合で 50 ドル強となる. 25 ドルの補助金は、すでに役割を終えたとして、もっとも貧困層を対象とした 20W_p システムを除いて廃止されている.

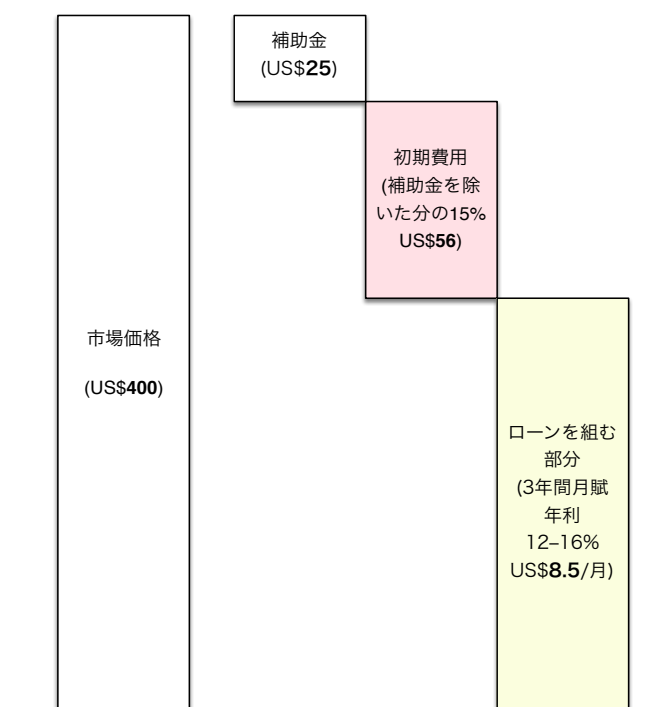


図 30 ユーザーの支払いイメージ(50W_pシステム)

「プロバイダー(PO)」は、上記のローンの部分に関して、その 80%(いまでは 70%に削減)分を、IDCOL から、猶予期間 1-2 年、年利 6-9%、返済期間 5-7 年で融資をうけることができる(規模によって異なる)(Refinance モデル)。すなわち、ユーザーへのローンとの利率の差額分が、収益となる(この収入もプロバイダーのかなり重要な収入源となっている)。その一方で、20%(いまでは 30%)分は自己調達が必要となる。また当初は 1 SHS あたり 3 ドルの PO への補助金も出ていたが、いまでは(新規参入 PO の 5,000 SHS まで対象を除いて)なくなっている。SHS 価格はプロバイダーが自由に決定できる。

それにもかかわらず、PO になりたい NGO は増えてきており(現在約 50, 120 が申請中)、かなりの遠隔地でも複数の POs が SHS 販売を競争している状況にある。

開発援助の視点からは、バングラデシュでの手法は、Output-based Aid (OBA)²⁶という資金提供手法の好例として、注目されている。OBA は名前のとおり、提供される資金の大きさとタイミングが、アウトプットに応じたものとなる。この「出来高払い」の方式は、ドナー・IDCOL 間と、IDCOL・プロバイダー間の 2 段階で採用されている(連結してみれば、ドナーとプロバイダーの関係²⁷と言うこともできる)。ファイナンサーではなく、活動実施側がプロジェクトの遅れなどのリスクを負う＝アウトプットを早く出す/パフォーマンスを上げるインセンティブとなる仕組みとして、バングラデシュ SHS プログラムでは、非常に有効に機能している例となっている。

Grameen Shakti 等の SHS プロバイダーは、ローンを組み合わせて SHS を販売した「後」、アウトプットを示すことで、その資金回収を待つことなく次なる顧客向けの SHS 仕入れ資金を IDCOL から借り入れることができる。またその原資は世銀等が提供する無/低利資金であるため、プロバイダーにとっても(厳しくなりつつも)上述のように魅力的な融資条件設定となっている。これにより低コストで資金の回転率を高めつつ、金融サービスによる収益も得ながら、SHS 販売を実施できる。このサイクルが回ることで、SHS 販売により(販売とローンの双方で)利益を上げるというビジネス面の収益性と、オフグリッド農村部に電力アクセスが次々と実現するという Social Impact が両立される。

ファンドのフローおよび各主体の役割をまとめると、次ページの図のようになる。

ただ、この仕組みが成立するためには、プロバイダー側が最初のアウトプットを出すまでに必要な程度の当初資金を持ち、かつ健全な経営体制を有している必要がある。このため、IDCOL は PO としての条件に、(1)最低 1,000 万タカの資本金を有する(以前は 100 万タカ)、(2)負債額が資本金の 3 倍を超えていない、(3)少なくとも 1 万人の顧客がいる、(4)外部監査に基づく会計報告を毎年公表している、といった基準を設定している。

²⁶ <https://www.gpoba.org/node/700>.

²⁷ 中間にはいる金融機関 IDCOL にとっては、リスクがほとんどなく、また確実に収益のあがる構造になっていると同時に、それを拡大するインセンティブがある。

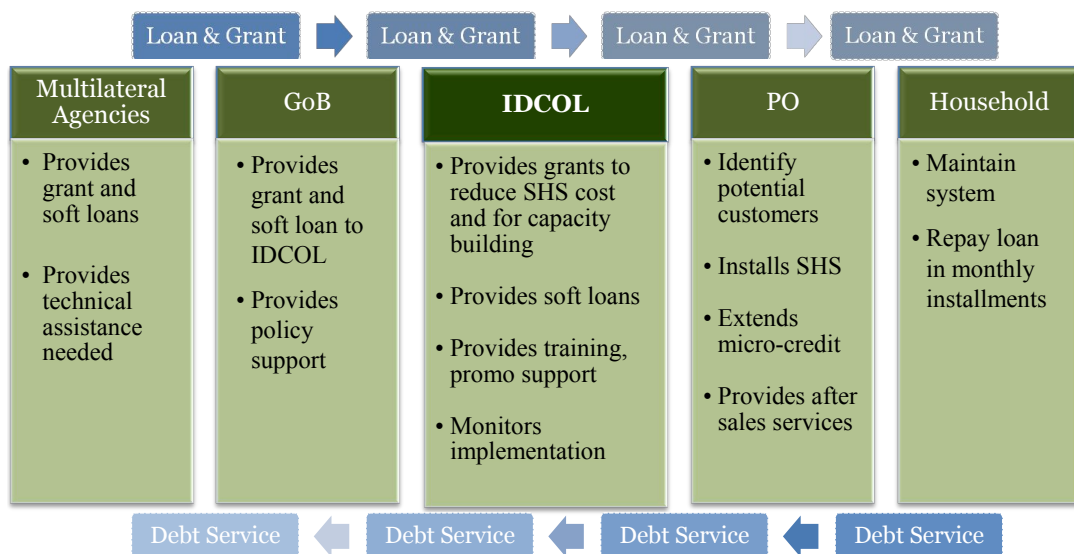


図 31 バングラデシュ SHS プログラムのファンドフローと各主体の役割

また、いまバングラデシュの SHS は、主流が従来の 50W_p から、もっとも小さな 20W_p にシフトしている。上記の 20W_p 超の SHS への補助金の廃止も原因の一つであるが、主たる理由は、照明の CFL(電球型蛍光灯)→LED への転換で、消費電力が約 1/2 の LED が導入されることで(250 ルーメンの明るさで、CFL 7W, LED 3W 程度の消費電力)、20W_p でも 50W_p システムに近いサービスを得ることができる。またより低所得者層が購買意欲を持ってきたことも挙げられる。

エンターテインメント関係では、白黒 TV からカラー液晶 TV への転換も見られる。また、携帯電話の充電機能は、照明と並んで重要な需要となっている。その他、扇風機なども含めて、バングラデシュでは SHS から直接使うことのできる(インバータが不要な)直流電気製品の市場が発達してきている。

SHS を校正する製品保証プログラムが有効に機能しているため、基本的にはほとんどの SHS が有効に機能しており、月次チェックやクレームその他を IDCOL は家庭単位で把握している。

IV-5-1-2 他国との比較

バングラデシュと対比する意味で、人口がアフリカで 2 番目(9,000 万人)のエチオピアの SHS プログラムをみてみよう。バングラデシュと同じく世界銀行のサポートがなされている。電化率は 23%程度にすぎない。グリッドの来ているところに住んでいる家庭であっても、接続料金が支払えないため、電気が使えない家庭も多い。

世界銀行のサポートで SHS プログラムが開始したのは、2011 年と最近であるが、ユーザーは設置費用の 95%の融資を受けることができ、返済期間は 5-7 年、年利 7.5%となって

いる(通常は農作物収穫期ごとに返済)。

SHS 導入量は、現在まで 2 万 5 千程度にすぎない。そのうち、機能していない SHS の比率が高いというオロミヤ州政府担当者のコメントは得ているが、その正確な実態は、州政府も中央政府も把握できていない。

エチオピアの SHS プログラムの構造は、下図のようになっている。

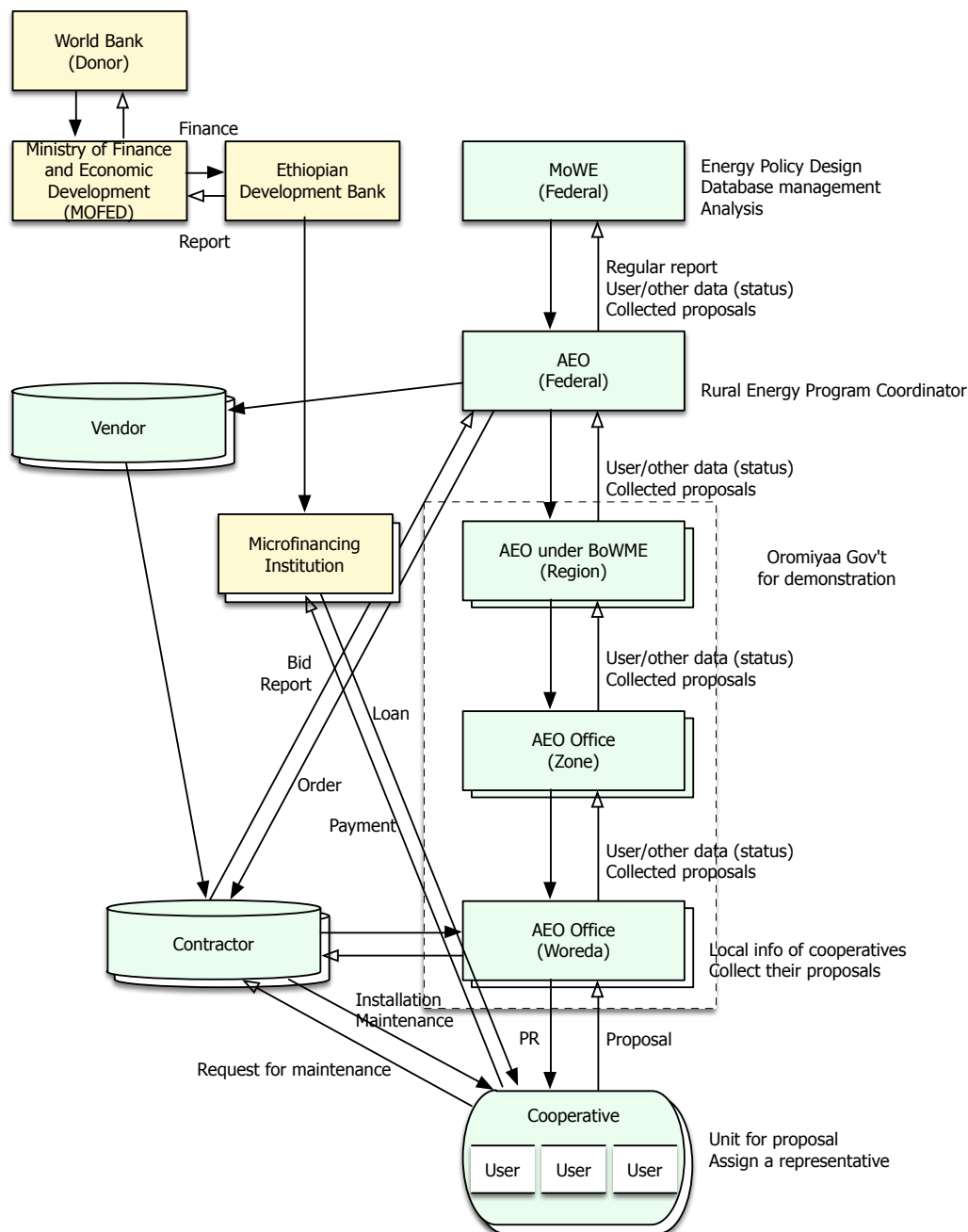


図 32 エチオピア SHS プログラムの構造

緑色の部分が SHS 導入・設置に関するフロー、黄色の部分がファイナンスのフローである。地方政府(点線で囲った部分、図ではオロミヤ州)が導入にあたって主体的役割を果たすことが特徴的である。SHS 機器は、地方政府からの導入計画(ユーザーサイドからの要請に基づく)を受けて、政府が一括して購入する。ユーザーも個々の家庭ではなく、コーポラティブという単位で設置の申請を行う。

地方政府のオフィスは各家庭への導入状況を把握しているが、稼働状況の把握は不十分、中央政府機関は地方政府の情報を集計していない。また、ローンの支払い状況などのファイナンス面は、SHS 設置側とは情報がまったく共有されていない。

結果として、プログラムのマネジメントがほとんど有効に機能しておらず、実態把握も不十分な状況にある。ドナーである世銀も(中央政府からのレポートを受ける立場で、また SHS に直接関係ない金融機関にファイナンスすることもあり)現場の実態は把握できていない。中央政府もドナーも、担当者がその状況を問題視しているようには感じられなかった。

ユーザー教育も不十分で、設置したものの、インバータ+大きすぎる需要機器(ブラウン管カラーTV など)を導入したため、SHS が機能せず放置されている例も散見された。クレーム処理も、プロバイダーと連絡が取れないため滞っていたり実施されないケースも多いという州政府の現場の担当者の話であった。

このエチオピアのケースでは、マネジメントシステムが有効に機能できていないわけであるが、それは最初のプログラム全体のデザインの問題でもある。エチオピアには、SHS プロバイダーとして、バングラデシュにおける POs のような優秀な NGOs が存在しない、人口密度が低い、マイクロファイナンスの習慣があまりない、などという点もあるであろうが、プログラム全体のデザインとして、抜本的に見直すべき点が多々見られる。

アジア地域の SHS では、カンボジアとラオスに関しては、すでにグリッド延伸が(とくにラオスは)進んできていて、SHS の対象となる地域は、かなりの遠隔地(とくに山岳地)となっている(バングラデシュは山岳地がきわめて少ない)。

カンボジアでは世銀の支援がストップしたということもあるが、導入数も年間で千単位とかなり少ない。PicoSol という団体がオランダなどの支援を受け、技術のプロバイダーと、SHS を個々の家庭で設置しようとする村の起業家との間に立つコーディネーション的役割を果たし、MFI を活用した仕組みをつくっているが、限定的である。

ラオスは、JICA の 2005 年報告書^{xiv}ではうまく機能していた事例とみられていた。世銀の支援によるプログラムも存在し、2006–10 年に 9 千台、2010–13 年に 1 万 5 千台が設置されている。今後は山間地域の貧しい家庭(5%程度)向けに支援を続けて行くことになっている。Sunlabob 社が、フィー・フォー・サービスモデルをビジネスモデルとして機能させていたが、維持管理面の継続性から価格設定が高くなり、政府の支持を得られず、そのモ

デルは現在では使われていない。あと 10%程度の世帯のみが、SHS やマイクロ水力の対象として残されている。

IV-5-2 バングラデシュのピコソーラープログラム

バングラデシュの SHS プログラムは大きな拡大を収めてきているが、BOP 層の下層にはリーチできていない。最小の SHS である 20 W_p セット²⁸の初期費用 2 千円程度を支払うことができない層が、バングラデシュにはなお多く存在する。

SHS より安価で小さいシステムとしては、ソーラーランタンなどのピコソーラーが存在する。ただ、バングラデシュでは、粗悪品がでまわった過去の経験などから、ソーラーランタンが広く普及することがなく現時点で市場はほとんどない。前述のように、他国では、ピコソーラーは、政府プログラムではなく、市場を通じた普及がなされている。ただ、キャッシュで支払うことの難しさ、20W_p の SHS で初期費用が 2 千円程度に抑えられることから、GIZ は新しくピコソーラーシステムのプログラムの立ち上げを支援しようとしている。

GIZ の方法は、基本的には IDCOL の SHS プログラム・スキームを真似た形のもので、補助金+2 年程度のローンスキームであり、製品性能保証を Lighting Africa の認証を用いることを考えている。鉛蓄電池系ではなく、リチウムイオン電池を用いて、10W_p 以下、400 ルーメン以下の照明のシステムが対象となる(まだ必要事項は暫定的)。

普及チャンネルとしては、既存の IDCOL のチャンネルに加え、小売りディストリビューションや小さな NGO のチャンネルも創設することを考えており、こちらは GIZ が直接マネージするようである(担当者からは GIZ にとっては大きなチャレンジとなる)。

現時点でまだこのプログラムはスタートしていないが、分割払いができる新しいドナーサポート型ピコソーラープログラムとして、その成否が注目される。

IV-6. PV によるオフグリッド地方電化プログラム事例分析まとめ

独立型 PV 技術は、家庭や小規模店舗を主対象とした無電化地域の地方電化に有効である。グリッド延伸までの暫定的措置とはいえ、急速な携帯電話の普及に伴う充電ニーズ、機器が再利用可能であることなどを考慮すると、ごく近い将来に延伸されることが確実な地域を除いては、需要が見込まれていると考えられる。

なお、JICA は 10W_p 以下のピコソーラーに対する支援を直接行ってこなかったため、このアプローチに関しては、巻末の資料編を参照されたい。

²⁸ 脚注 19 も参照。

IV-6-1 JICA PV システム支援のフロンティア性

JICA の太陽光発電(PV)システムを用いた途上国支援は、PV 技術がまだ先進国でもあまり用いられていない技術開発の時代である 1980 年代前半から実施された。²⁹ JICA は開発途上国向け PV 技術導入普及を支援する機関として先頭集団のひとつであった。当初は、オフグリッドの村落電化個別プロジェクト型であり、III 章のオングリッド型が対象となるまでは、基本的にはバッテリーの必要なオフグリッド用電源として、PV システムが選択された。

1988 年頃からは小規模なパイロット的な施設(給水、テレコム等)への設置事例が、無償資金協力の形で断続的に実施された。並行して、1990 年代からソーラーホームシステム(SHS)を中心とした地方部の未電化家庭を対象とした独立型システムの持続的な導入・普及モデルの検討を目指した計画策定支援(場合によってはパイロットプロジェクト付き)が、技術協力として加わった。1990 年代中頃になるとそれが PV を含む包括的な地方電化マスタープラン策定支援や、おなじく 1990 年代中頃の PV 普及を担う政府機関実務者の能力強化支援へと発展してきた。

電気にアクセスできていない家庭を対象としたオフグリッド PV システムとして代表的な SHS(戸別型で 50W_p 程度の容量)やバッテリー蓄電ステーション(BCS)は、持続可能な形で大量導入・運用が行われ、無電化人口の電化として総人口比 10%程度以上の電化率相当分として寄与した事例は、バングラデシュ(約 260 万台)やモンゴルの SHS(約 10 万台)を除いてはほとんどない。そのためもあり、現在では、どのドナーも、新たなオフグリッド電化支援策として、このアプローチを選択しなくなっている。ただ、そのような状況下でも、政策、プログラムの制度面、技術面、運営面など、いくつかのその「要素」に関する工夫や教訓は、JICA をはじめその他のドナーの活動から得られており、これらは今後とも PV 技術の導入・普及を展開する開発途上国の実務家向けに参考になると思われる。

IV-6-2 電化政策や計画全体の中での位置づけ・整合性

JICA の 1980 年代のパキスタンでの初期の事例では、グリッド延伸が 10 年間以上当面計画のない地域に PV システムを導入したが、PV システムが導入されたことで、逆にグリッド延伸の優先度が下がってしまったことに利用者が抗議を行ったという報告がある。JICA の支援の経験から、個別 PV システム導入の前提として、国レベルの電化計画および優先計画は重要であり、カンボジアやラオスのように政策・制度面の支援として、包括的な電化マスタープランを策定し、中長期的な視点でグリッド電化優先地域とオフグリッド地域を

²⁹ 米国(USAID)の大洋州地域(キリバス)での試行錯誤による PV 支援活動、世界銀行グループの PV 支援活動もまだ開始されていなかった。

特定し、段階的計画的に電化していくことが有効であると考えられる。またグリッド延伸後も、高い接続料金の問題や電源容量および送配電設備の整備不足等に起因するグリッド電力の不安定性などから、PV システムの役割はすぐにはなくなる点も留意が必要である。

Lessons Learned: SHS 等オフグリッド PV プログラムは、より広い電化政策・計画や電気料金体系全体の中で位置づけ、整合性を取るべき。

IV-6-3 運営面での所有権や保守管理の責任の明確化

運営面では、SHS システムの所有権や保守管理の責任について明確にすることの重要性が、バヌアツ等の事例から報告されている。加えて、マネージメントシステムの構築(とくに SHS 技術面とファイナンスのモニタリング・監理の一元化)と、それを適切に運営する能力を有する事業実施機関とプロバイダーの存在、さらにこれらを支える技術者の育成が重要である。JICA の協調融資でさらなる拡大が期待されているバングラデシュの SHS プログラムは、こうした点を網羅した経験を有している。普及拡大のポイントは、以下にまとめられる：

- 明確な目標を想定したマネージメントシステムの構築、データベースの整備や必要な数のシステムティックな技術者育成プログラム；
- SHS プロバイダーがファイナンスも兼ねる(もしくはデータベースの共有化)；
- SHS プロバイダーへのインセンティブ設定と競争環境の整備；
- 構成製品の技術基準と保証、ならびに需要管理。

Lessons Learned: 目標から逆算してプログラムのマネージメントシステム＋データベースをデザインしよう。どんな情報を管理する必要があるか、監督機関の管理すべき情報について要確認。

Lessons Learned: 設置型の SHS では、テクニシャンとユーザーを対象としたシステムティックなトレーニングや講習プログラムが必要。普及数の目標から頻度を逆算しよう。

Lessons Learned: SHS プロバイダーがローンサービスも提供することで、各家庭の両方の情報を一元管理でき、また集金と保守点検を兼ねることができる。

Lessons Learned: SHS プロバイダーが競争できるような自由裁量を与えよう。ローンサービスも可能とすることで、そちらの収入も得られる。出来高払いシステムが有効。

Lessons Learned: 機器には認証制度と同時に、品質保証制度を導入し、ユーザーのリスク軽減が有効。

一方、コミュニティの運営による BCS などのシステムは、初期費用の負担とコミュニティ

一開発の観点からの裨益性、および責任の所在が不明確になりがちである、というバリアを個々でクリアしなければならないため、カンボジアなどディーゼル発電を用いた BCS の経験を持つ一部を除いて普及事例は限定的である。一方で、企業が所有して運用する場合、キリバスの SHS やカンボジアの BCS のように機能しているモデルもある。新しく携帯電話基地局をコアにコミュニティー電力供給システムを検討する国際機関も出てきている。ただ、担当者の熱意に大きく依存する傾向があり、UNIDO の例など、人事異動を機に放置されるケースも散見される。

Lessons Learned: PV プログラムは、プログラム全体でも個々の活動も、専門知識を有し、責任と熱意を持って運営する人材の存在に加え、その持続性が必要。

IV-6-4 PV システム技術者の能力強化(含ユーザー啓蒙活動)

技術面では、PV システムは設置も簡易的で、開発のリードタイムも短く、2000 年以降気候変動対策ニーズの追い風もあり、先進国ドナー・国際機関の支援を受けて途上国政府が安易に導入する動きがあったが、PV 技術者の実務能力の不足やユーザーの理解不足に起因する容量をオーバーする利用により、1-2 年間(計画時の想定よりも短い期間)でとくにバッテリーが故障してしまった事例が、ボツワナやラオス³⁰など数多く報告されている。また、ユーザー側の問題に加え、オフグリッド PV システムの動作を正確に理解した技術者がドナーやコンサルタント側にも少なく、設計・施工の不良により、設置後まもなく動作不良となった事例も多い。

Lessons Learned: PV 関連技術は思ったほど単純ではない。きちんとした設計や使い方をしてしないと、すぐにシステムがダメになる。

JICA の支援の経験からも、システムの適切な設計・コンポーネント・設置・O&M において、PV システムの特徴を正しく理解し、問題解決できるための人材育成・能力開発・トレーニングの重要性(実際の普及プログラムの運用でボトルネックになること)が明らかになっている(JICA の支援のほとんどの場合に、オフグリッドの場合にはユーザーの啓蒙活動を含むソフトコンポーネントとして組み込まれている)。とくに 2005 年のフィリピンでの SHS 能力開発プロジェクトの事例では、開発途上国の実情に合った技術的テキストも整備され、加えてその研修で学んだ実務技術者が、複数の国において南南協力という形の国をまたいだ技術の国際普及の担い手にもなっている。現在のケニアでの技術協力は、これに続く

³⁰ たとえば、ラオスの SHS プログラムで、JICA のマスタープラン支援を踏まえた初期の世銀サポートプログラム SPRE 時期(1998-2000 年)に、5 千程度の SHS の設置が行われた。その後の継続調査(IED, SHS Inventory, Diagnosis and Troubleshooting: pilot survey report from Vientiane Province, October 2006)で、世銀のサポートで設置された SHS の 8 割が技術的知識不足によって、チャージコントローラーの問題を中心として、正常にシステムが機能していないことが分かった(現地でのエネルギー鉱業省ヒアリングより)。

ものとなる可能性を有している。

Lessons Learned: 南南協力型能力開発プログラムは、教える方も教えられる方も、学ぶところの大きい効果的方法であると同時に、カスケード効果が期待できる。

Lessons Learned: ユーザー教育は、識字率など途上国現場の実情を踏まえた役に立つエッセンスの工夫が有効。

IV-6-5 結論

まとめると、JICA は、1980 年台前半から開発途上国向け PV 技術の導入・普及のパイオニアのひとつとして取り組んできた。その約 30 年の経験から、オフグリッド向け PV 技術の導入・普及の鍵となる要素として、以下を結論できる：

- 独立型 PV システム導入の前提として、国レベルの電化政策や優先計画との整合性は重要であり、包括的な電化マスタープランを策定し、中長期的な視点でグリッド電化優先地域とオフグリッド地域を特定し、段階的計画的に電化していくことが有効。グリッド延伸後も、高い接続料金や停電など電気サービスの信頼性の低さなどにより、独立型 PV システムの役割が継続するケースもある。
- SHS や BCS の運営面で、所有権や保守管理の責任について明確にすることが重要。加えて、マネージメントシステムの構築（とくに SHS の技術面とファイナンスのモニタリング・管理の一元化）と、それを適切に運営する能力を有するプログラム実施機関と SHS プロバイダーの存在、プロバイダーへのインセンティブ付け、さらにこれら全体の実施を支える（相当数の）技術者の育成が重要である。
- システムの適切な設計・コンポーネント・設置・O&M において、PV システムの特徴を正しく理解し、問題解決できるための人材育成・能力開発・トレーニングやユーザートレーニングが、実際の普及プログラムの運用でボトルネックになることがある。

IV-6-6 留意事項

先進国/国際機関のドナーや途上国の政策担当者としては、上記の結論を踏まえた上で、オフグリッドの PV 電化を展開する場合には、以下の点について留意が必要である：

- 電化政策や計画全体の中での位置づけ・整合性。
 - － グリッド延伸計画、電気料金体系や化石燃料（ケロシン）補助金政策も含む。
- 運営面での所有権や保守管理の責任の明確化（含セールス型か、フィー・フォー・

サービス型かなどビジネス・モデルの選択).

- セールス型か, フィー・フォー・サービス型かなどのビジネス・モデルの選択も含む.
- 資金と設備を一体化したプログラム・マネージメントシステムのデザインと運用.
 - SHS プロバイダーがファイナンスサービスも提供し, 出来高払い制度の下である程度の裁量を与えることで, 金融サービス面からの追加収益, 集金と定期チェック体制の一体化, 競争環境を整備することができる.
- 使用するパーツの技術基準と, そのメーカー保証.
 - 技術面とくに製品選択のリスクのユーザー負担の軽減.
- システマティックな技術者育成プログラムやユーザー啓蒙活動のデザインと運用が必須.

V. 日本の民間企業に対するメッセージ

V-1. 途上国の PV 関連ビジネス分野でどこに参入が可能か？

通常、企業が海外進出を考える場合、まず自社の既存ビジネスの応用を考える。民間企業の「シーズ」側からの視点としては、まずは参入しようとする個別企業の提供できるもの、とくに「強み」に何が何であるか、を踏まえた上で、ビジネスデザインが行われる。ここでは、これから新たに途上国でビジネス機会を検討しようとする企業を想定して、とくに「考え方」を整理する。

PV に関連したビジネスタイプとしては、製品/技術提供型か、事業型か、という大きな分類が可能であり、

- (1) 製品供給（現地生産がある場合とない場合を含む）
- (2) ソリューション/システム供給（主としてターンキー型）
- (3) 電力供給ビジネス（IPP 型）
- (4) 電力供給ビジネス（ESCO 型）
- (5) コンサルタント

などが考えられる。

それぞれに対して、

- どこに市場があるのか？（国、地域、産業セクター等）
- 顧客は誰か？
- 何を売るか？（サービスも含む）

という視点が必要となる。

ビジネスの基本として、供給側の都合ではなく、「ニーズ」の有無が重要となる（顕在化していないニーズも含む）。

V-2. 必要な情報

そのために必要な対象国の「一般情報」としては、下のようなものが有用であろう：

・表 11 望ましい対象国の各種情報

一般情報	政策, 規模, 政治的安定度, 投資政策/環境, 関税, 地理的条件, 環境規制 等
固有分野情報	電力/再生可能エネルギー政策/計画/プログラム, 電化率, 電源構成, グリッドの状況, 電気料金, FIT, 技術水準, 日照などの自然条件 等
その他	日本政府との関係, FS 支援スキーム, JICA/NEDO 等の調査報告書

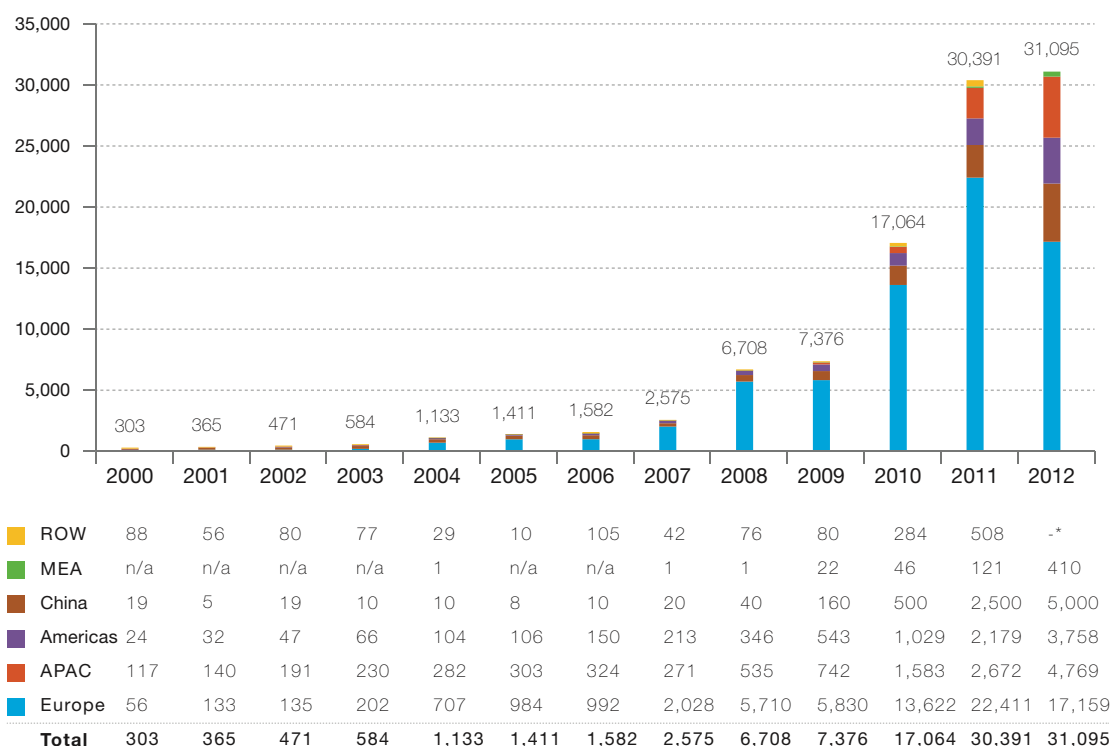
そして, ビジネスタイプ別に, 以下のような情報が必要となる(チェックシートの):

- 需要はあるのか? 市場規模(と期待収益)
- BOP 対象の難しさ
- 提供する機器自身がキャッシュを生み出すか? それにはどうすればよいか?
 - SHS, ランタンは(灯油コスト削減効果はあるが)それ自体はキャッシュは生まない. しかし, 夜間営業などの追加収入の機会を創出する.
 - 灌漑(農作物生産性増強), ミニグリッド, メガソーラーは生み出す.
- 必要な技術: バッテリー, 直流用機器等周辺機器, 照明, ポンプ, ...
- Lighting Africa 等の製品基準はあるか? (求められている性能のチェックも可)
- 比較的大きなシステム(数 kW_p 以上)の需要は? (例: ホテル等)
- 何もしなくても売れる商品かどうか? そうでなければどうやって売るのか?
- 現地での競争はどの程度あるのか?
- 誰と組むか? 想定される相手はいるか? 何をどの程度任せられそうか?
 - 販売チャンネル, Distributer, 需要側の視点
 - BOP 対象ビジネス or MOP 対象ビジネス or その他政府系などが対象?
- ユーザー(顧客)のファイナンスをどう用意できるか?
 - 事業としてファイナンスを付けるのはなかなか難しい
 - 現金を生み出すタイプなら比較的容易(逆にそのように商品やサービスをデザインできるか?)
- 料金回収をいかに行うか? の工夫(上記ユーザーへのファイナンスと関連)
- メンテナンス・アフターケアの方法? (料金回収とリンクさせることも可能)

- 類似事先行事例の JICA 等の報告書のサーベイ(何を読み解くか?)
 - 現地の制度/プログラム, FIT
 - 市場や国民性
 - 公的資金を用いた事例からの lessons learned (失敗事例も含む)
- JICA の活用方法
 - PPP インフラ, 海外投融資
 - 各種現地情報 (incl. 報告書)
 - BOP FS, 中小企業支援など

V-3. どこにどれだけのポテンシャルニーズがあるか？

地域別 PV 導入量という点では、下図のように欧州が圧倒的³¹であり、途上国では中国、次いでインドが大きい。



* From 2012 onwards, these figures are directly integrated into those of the relevant regions.

図 33 PV システムの地域別年間導入規模^{xlvi}

³¹ 言い換えると、欧州や米国が PV 関連ビジネスに関して、まず検討する地域/国であるということもできる。ただここでは、対象を途上国に限定し、また個別の国に関する詳細な検討は行わない。

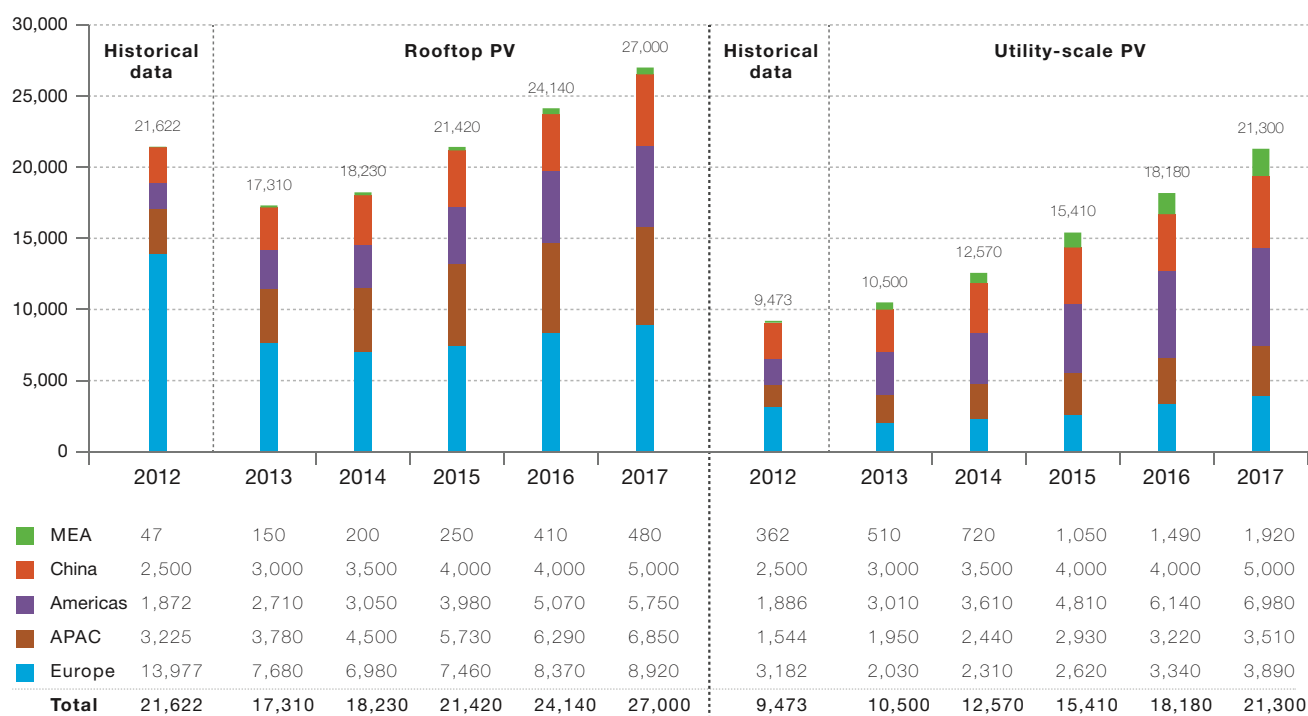


図 34 地域別用途別 PV 市場 (BaU シナリオ)^{xlvii}

中国は 2013 年 7 月発表の 2015 年目標として、35 GW_pもの導入を目指している。2012 年の市場規模は、ユーティリティー型 2 GW_pであり、ほぼ電化が行き渡っているため、独立型は 40 MW_pに過ぎない。系統連系ルーフトップ型には、ディーゼル発電の売電価格 +0.42 元/kWh (7 円/kWh 程度) の補填がなされる。PV 発電所の連系価格は 0.90 元/kWh (寧夏等)、0.95 元/kWh (北京等)、1.00 元/kWh (その他)となっている。

インドは、2017 年に 4–5 GW_p、2022 年に 20 GW_pの導入を目標としている。州レベルで目標を立てているところもある。2010 年までに 13 州で FIT を導入し、また財政支援策として、generation-based incentives, validity gap funding, bundling scheme など多様なメニューが用意されている。配電会社に対し、再生可能エネルギー調達義務制度を導入した州もある。

また新しい動きとして、中国では地方の CO₂ 排出権取引制度パイロットが複数動いている。インドでは、省エネルギーに関して、PAT 制度という省エネ規制 + 取引制度が動いてきている。

ただ、このような国別の「ポテンシャル情報」や、一般的な投資魅力度が、必ずしもその企業にとって対象国選択の決定的要因には成らない。

「ビジネス機会」の考え方として、実際に一企業がプロジェクトを行う場合、ポテンシャル全体よりかなり小さなスケールのプロジェクトや製品販売を行う。したがって、ポテンシャル自

身よりも、「当該ビジネス固有の国別特徴」や「個別サイト事情」の方が意味を持つことが多い(おおきな横展開を必要とするビジネスは別)。

まずは、想定するビジネスのタイプとスケールを以下の図から想定し(PV システムの価格は資料 F 参照)，

(単価) × (プロジェクト実施可能規模)

を計算することで、まず自社ビジネスとしての規模感をつかむことができ、そのフィージビリティのイメージがわく。

← 数で勝負

その他 オングリッドで家庭用(数百～数千W_p)

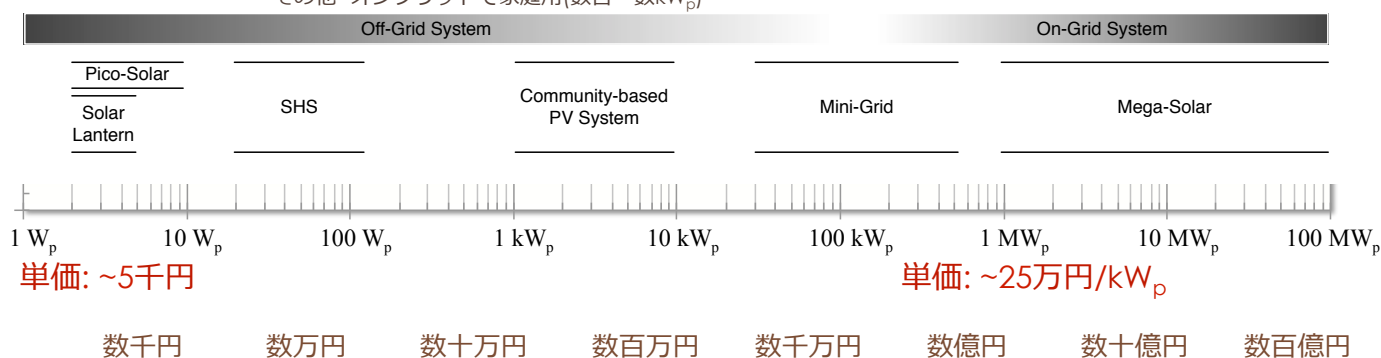


図 35 PV システムの規模と単価イメージ

たとえば、10 億円の「売上げ」のビジネスを想定するのであれば(純利益なら数倍の売上げ量が必要)，メガソーラーなら 4 MW_p システムであるが、ソーラーランタンなら 20 万個である。ソーラーランタンの場合、それだけの個数を販売できそうかどうか？が、選択の最初の基準となる。

V-4. ビジネスの分類とキーポイント

ここでは、ビジネスタイプ別に、そのポイントを考えてみよう。

V-4-1 製品/パーツ供給ビジネス

このカテゴリーは、PV パネル/モジュール/アレイ、バッテリー、チャージコントローラー、インバータ(パワーコンディショナ)、LED、ポンプ、直流需要機器、キャパシタ、接続箱など、PV システムに関連する「単体」機器の販売と、ソーラーランタンやルーフトップ型家庭用系統連系システム、ミニグリッドの PV 部分のように、「システム」として扱う場合がある。

どこに市場があるか？という点では、単体の場合は特に、すでに市場がある国が対象となる。システムの場合にはやや広く、これから普及していく国も対象とできるであろう。

通常は市場販売を行うわけであるが、普及のためのドライビングフォースは、その背景にある当該国の政策や計画で、普及プログラム、補助金、規制などの存在が重要である。

また、ボトルネックが何で、それは解消しそうか/できそうか？というポイントも、重要である。たとえばソーラーランタンの場合、初期費用の問題がキーポイントであり、分割払いのできるような仕組みが導入される、もしくは導入できるかどうか？がキーとなる。

また、現地の誰と組むか？という点も、成否に大きく係わってくる。小売商品タイプの場合

- － 販売網の大きなディストリビューターか？
- － 新しい商品を扱うことに長けているか？
- － どの地域や分野に強いのか？

などがこのタイプの視点となる。また、代理店販売の場合には自ら販売リスクを負うことになることに留意も必要である。

卸売商品タイプの場合、チャンネルを持っているかどうか、現地パートナーのポイントとなる。

また、卸販売を行うのか？自ら小売り販売ルートにのせるのか？は、リスク評価がかなり異なる。大量に販売できる/している売先に卸販売（とくに注文販売）を行うことができるなら、リスク（在庫リスクを含む）はかなり少なくなる。

その他、現地生産を行うか否か、そのタイミング、製品性能基準、集金方法（分割払いの場合）、リスク回避方法、その手法、保証関係などの留意すべきであろう。

ビジネスの例としては、

- － PV 灌漑に関する政府プログラムが存在するバングラデシュにおける PV ポンプシステム販売、
- － 都市の 2 kW 以上の需要のある新設建物に PV 設置が義務づけられたバングラデシュにおけるルーフトップ型 PV システム販売、
- － SHS が普及していて日本製品へのあこがれの強いバングラデシュにおける直流用機器販売、
- － ディーゼルとのハイブリッド型ミニ/マイクログリッドが政策的もしくはコスト競争力のあるアフリカの国や島嶼国におけるハイブリッド用システム販売、
- － ファシリティー用のハイブリッドシステム、
- － モバイルマネーの発達したアフリカ等での分割払いシステムを組み込んだソーラーランタン、
- － オフグリッド地域に住む比較的高所得者対象の SHS

などが考えられる。

V-4-2 ファシリティーや他機関対象ビジネス

このカテゴリーでは、ファシリティーを対象に、ソリューションを提供するビジネス、専門性を提供するビジネス、IPPとして電力をグリッドに販売するビジネスなどが分類される。

事例としては、メガソーラー、PV ハイブリッド型ミニ/マイクログリッド、施設用設備パッケージ(ホテル等観光施設、病院、学校、街路灯、携帯電話基地局等の公共性の強い施設、地下水汲み上げ、非常用電源、難民キャンプ等)などが考えられる。SHS、エネルギー KIOSK/BCS システムなどもこのカテゴリーに入れることができる。

市場としては、これらの実績のある国で、グリッド関連では電力会社が計画を持っている国などが対象となる。電気料金の高い(kWh あたり 40 セント超の)島嶼国にも多くの可能性があるのであろう。一般には、顧客は比較的金銭的余裕のある企業がベターで、ホテル、通信会社、浄水などのユーティリティのサービスのひとつとなる。JICA の環境プログラム無償支援対象国(島嶼国は 5 カ国)も、検討に値するのであろう。

現地の誰と組むか? という点では、

- － 有望そうなプロジェクトやクライアントをいくつも知っているか?
- － 実際のプロジェクトのオペレーションを任せられるか?
- － ファイナンス方法なども含めた経験が豊富か?

が重要な視点となる。

ビジネスとして、顧客(ターゲット)の絞り込みも重要である。一般に日本技術は、高価だが(この場合はとくにアウトプットである電気の)品質が高い。であるなら、その高い品質の電気を必要とする顧客をターゲットにすることで、より自らの長所をアピールできる。

グリッド相手の場合、FIT の存在や逆潮流が制度的に実績があるかどうか、なども調査すべきである。

また施設に PV を導入する場合、銀行が融資してくれるかどうかポイントとなる。一般には銀行の理解を得ることは簡単ではない。公的資金の利用可能性も検討すべきであろう。

ソリューションという点では、エネルギー診断や需要管理というサービスを組み合わせることも有効であろう。照明を LED に交換するだけでもかなり効果が期待できる。

エネルギー KIOSK 的なプロジェクトは、コミュニティー開発の側面が強く、日本企業が現地で行うことはかなり困難である。

今後のトレンドとなってくるのは、メガソーラー、ルーフトップ型 PV システム、(ディーゼルと

の)ハイブリッド型ミニグリッドなどであろう。とくにミニ/マイクログリッドに関して、意思決定のポイントを示すと以下になる。

•表 12 ハイブリッド型ミニ/マイクログリッドシステムの意思決定のポイント^{xlvi}

Small town with significant economic activity Peak load > 150 kW > 1000 kWh/day							
Large hybrid system (above 100 kWp PV)	Option	Key figures for economic / financial analysis			Level of service	Required operating skills	
	Grid extension	distance to grid	HV and MV line costs	development potential of the locality	timeline for grid connection	full service	No
	Diesel-based power plant	genset cost 200-300 € / kW	actual cost of diesel fuel	-cost of kWh generated from a pure diesel plant	gensets lifespan	full service	synchronized gensets operation & maintenance
		+BOS cost	kWh tariff	-yearly O&M costs			
	Hybrid-based power plant	PV array 1500 k€ / kWp	accessible penetration rate	- cost of kWh generated from the PV array	-payback period	full service	synchronized gensets O&M + training on UPS systems
battery renewal (10-12 years) 150 k€ / MWh		-long lasting PV investment (25yrs)					
	+BOS cost	kWh tariff	-reduced O&M costs	-increased genset lifespan			
Investment data shown for comparing options does not include cost of the local MV / LV grid or minigrid							

Medium size hybrid system (30 to 100 kWp PV)

Village with productive activities Peak load 60-150 kW 300-1000 kWh/day expected growth						
Option	Key figures for economic / financial analysis				Level of service	Required operating skills
Grid extension	distance to grid	MV line cost 8-13 k€ / km	yearly sales 110 to 370 MWh / year	timeline for grid extension	full service	No
Diesel-based power plant	initial investment (incl.2 to 3 gensets for load following) 80-150 k€	actual cost of diesel fuel	-if mandatory subsidy on diesel: for a total of 110 to 370 MWh / year (Ex: 12 to 40 k€/year)*	gensets lifespan	full service	synchronized gensets operation & maintenance
		kWh tariff	-yearly O&M costs			
Hybrid-based power plant (Ex: 70 kWp PV)	initial investment 420-560 k€	accessible penetration rate > 40%	-reduced mandatory subsidy on diesel: @40% PV penetration: 65-220 MWh/year (Ex: 7 to 24 k€/year)*	-payback period	full service	synchronized gensets O&M + training & distant support required
	+ battery renewal (8 years) 80-110 k€	kWh tariff	-reduced O&M costs	-long lasting PV investment (25yrs) -battery lifespan -Reduced genset investment (no unit for baseload), increased lifespan		
Investment data shown for comparing options does not include cost of the local MV / LV grid or minigrid. Initial investment and battery renewal cost for the PV / diesel hybrid option are based on a 70 kWp system as an example. *Based on a 30% subsidy on 1.00 €/L fuel price and genset consumption 0.35 L/kWh						

V-5. JICA の途上国支援の経験から

開発の視点から検討されてきた SHS は、大きく拡大しつつある事例がバングラデシュのみであるため、他国で SHS (あるいはそのパーツ) を対象としたビジネスの実施は難しいとみられる。また、オフグリッドの貧困層 (BOP 層) 対象のエネルギー KIOSK 的な試み (BCS な

ど)も、コミュニティー開発の側面の困難等に比較して、収益がほとんど見込めないため、日本企業のビジネスとして成り立つ可能性は乏しい。BOP 層相手では、ソーラーランタンの可能性はあるが、競争も激しい。一方で、オフグリッド地域の場合、JICA で事例のある大学・病院などの公共施設や、民間のホテルなどの特定施設対応型 PV システム設置は、個々の規模はそれほど大きくないが、施設によってはシステムの供給信頼性をかなり重視するため、日本製品やサービスの比較優位が生きる。ただ実際は再生可能エネルギーに対する理解不足に由来する銀行からの融資を受けることが難しいなどの課題も多く、銀行への融資交渉からシステムのデザイン、メンテナンス・アフターケア管理もできるような現地の有能なパートナーと組むことが必須であろう。ディーゼル発電とのハイブリッド型の視点も重要である。

輸入燃料をベースとしたディーゼル発電に依存したモルディブなど島嶼国では、発電コストが kWh あたり 40 セントを超えるケースも多く、赤道に近く日射条件の良い国では、PV の発電コストがグリッドパリティに達していると考えられる。こうした国では、PV システム等の再生可能エネルギー導入の要請がますます高まっている。島嶼国では数 100 kW レベルのディーゼルと PV のハイブリッドシステムが典型的な大きさとなる(一種のミニ/マイクログリッドで系統連系の場合)。その他、ケニアなどの主グリッドから離れた遠隔地においても、独立型ミニグリッドが有望視されており、国際機関の関心も高くなってきている。機器単体ではなく、システム全体をターンキー型で供給するビジネスの可能性が高い。定量的なディーゼル燃料の焚き減らし効果による長期の経済性と共に、電力供給の安定性や品質への要求度合いに応じた技術的ソリューションを提供することが、日本企業の強みとなるであろう。

メガソーラー(IPP もしくはそれへの機器/システム提供のビジネス)やルーフトップ型(業務用と家庭用)も、途上国での導入が進みつつある。日本政府の環境プログラム無償協力により、系統連系型 PV システム導入に向けた逆潮流の制度および手続きが整備され、また、各国の FIT の導入などの政策面での後押しが進む国が多く見られることから、これらの国では、今後の可能性は更に高まると期待される。

V-6. 公的機関の活用

ビジネスを行う上で、JICA などの日本の公的機関の知見/経験やサービスを活用することは有効である。

JICA では、途上国開発を進める上で、日本の民間企業との連携や、民間ビジネス支援のための環境整備も実施している。特に、ソフトコンポーネントを通じた当該国の関連政策・法制度・ガイドライン等の整備、技術移転、気象などの測定データの蓄積、日本技術による PV システムのショーケース効果等は、オフグリッド、系統連系型の両方において、多くの国の支援内容に含まれている。また、技術者育成はパラオのように国内で民間事

業者に再移転され、技術ベースの裾野を広げる計画が立てられているケースもある。

JICA は、モルディブでの系統連系技術ガイドライン作成などを通じた制度面の貢献、各種能力開発プログラムの実施を通じた適切なシステム設計、コンポーネント、設置、O&M 能力強化などで貢献をしてきている。

ビジネスの観点からは、このような JICA が支援を行った国、すなわち日本への信頼が高く、ビジネス環境が整ってきており、情報が蓄積された国を、対象国の選択肢として検討することも有効であろう。

資金面でも、バングラデシュの再生可能エネルギープログラムへの円借款資金協力などを行ってきていて、先方の実施能力を踏まえたスケールアップができるような場の形成に寄与してきている。公的資金活用という点で、JICA は

- － 海外投融資
- － 協力準備調査 (PPP インフラ事業)
- － 協力準備調査 (BOP ビジネス連携促進)
- － 中小企業連携促進基礎調査
- － 民間技術普及促進事業
- － 中小企業等の海外展開のための委託事業
- － 民間提案型普及・実証事業
- － 民間連携ボランティア事業

など、フィージビリティ・スタディーからプロジェクトの投融資までのチャンネルを持っている。

その他の機関として NEDO, JBIC のチャンネルや、JCM³²などの新しい仕組みへのサポートプログラムも利用可能となってきた。

また、JICA 等のいままで行った調査やスタディーの現地情報は貴重なものとして利用可能である。

関連情報としては、以下のようなものが参考になるであろう：

- － 政策、規模、政治的安定度、投資環境、関税、地理的条件、環境規制 等
- － 電力/再生可能エネルギー政策、電化率、電源構成、グリッド、電気料金/FIT、技術水準 等

³² 2014 年度から、海外投融資を用いた JCM のためのファンドも立ち上がることになっている。

- － 日本政府等との関係, FS 支援スキーム, JICA/NEDO 等の調査報告書³³
- － カウンターパート情報, 現地コンサルタント情報
- － 生の声, 他分野との相互作用

・表 13 JICA/外務省の調査サポートを活用した PV 案件

案件名	委託企業名	対象国	概要	注釈
島嶼地域における太陽光発電・ディーゼル発電のハイブリッドシステム構築技術の案件化調査	(株)電協エンジニアリング (株)沖縄エネテック (コンサルティング)	モルディブ	電力系統に接続した太陽光発電(以下、PV)及びディーゼル発電機(以下、DG)の組み合わせによるシステム(ハイブリッドシステム)の構築技術の導入に関する調査。PV・DGのハイブリッドシステムの構築により、離島における割高な電気料金の改善、DG に依存した電力供給構造の改善によるエネルギーの安定した供給を目指す。	平成25年度政府開発援助海外経済協力事業委託費による「案件化調査」
太陽光発電および無線通信を活用した河川監視カメラシステムによる水防対策事業に係る案件化調査	(株)イートラスト一般財団法人アライアンス・フォーラム財団 (コンサルティング)	バングラデシュ	太陽光発電及び無線通信を用いた河川監視カメラシステムによる洪水対策に関する調査。洪水による経済被害が大きいバングラデシュにおいて、低コストでメンテナンスが容易な監視カメラシステムを用いた河川監視能力強化を図り、洪水時の人的及び経済的被害を低減し、対象地域の防災力の向上と経済開発への寄与を目指す。	平成25年度政府開発援助海外経済協力事業委託費による「案件化調査」
太陽光発電を用いた水浄化普及・実証事業	株式会社ウェルシ	ケニア	現地の原水の状況に合わせた浄水装置の設計・導入～各戸給水～装置の維持管理までの一連のプロセスの実証。 多くの漏水が判明している既存の配管網を修繕し、給水人口及び給水量の増加。 各戸給水にアクセスできない人々のためのウォーターキオスクを設置し、維持管理体制を含めたビジネスモデルを検証。 他地域におけるビジネス展開可能なポテンシャルサイトの現地調査と現地パートナーの発掘を実施。 実証装置にかかる現地及び日本での研修を実施。	JICA 平成24年度第1回民間提案型普及・実証事業
沖縄県中小企業が有する島嶼地域での太陽光発電システムの技術・ノウハウ導入のニーズ調査	株式会社沖縄エネテック	ソロモン諸島 モルディブ セーシェル	小島嶼地域の小規模電力系統に適したシステムとして蓄電池を使用しないシンプルな系統連系型太陽光発電システムの対象国への導入についてのニーズ調査。小島嶼で構成される対象国は、配電網が整備されておらず、化石燃料による高い発電コストが経済と国民生活を圧迫している。沖縄県内の中小企業が実績を有する発電システムを無償資金協力、技術協力を通して導入することを検討する。	平成24年度政府開発援助海外経済協力事業委託費による「ニーズ調査」
太陽光発電を用いた水浄化事業案件化調査	株式会社ウェルシ 本テック株式会社 (コンサルティング)	ケニア	太陽光発電を用いた水浄化事業に関する調査。電力インフラが整備されていない環境下に太陽光発電で駆動する小規模分散型浄水装置の導入・普及を行い、給水率の向上を目指す。	平成24年度政府開発援助海外経済協力事業委託費による「案件化調査」
パワーコントロールシステム事業可能性調査	棚橋電機株式会社 日本有限責任監査法人 (コンサルティング)	カンボジア	太陽光を活用したパワーコントロールシステム事業に関する調査。病院等におけるパワーコントロールシステム導入による電力状況の改善と、電気技術者の育成を目指す。	平成24年度政府開発援助海外経済協力事業委託費による「案件化調査」
新興国および太平洋の島国におけるソーラーハイブリッドシステム(ディーゼル発電と太陽光発電のミックスによる発電システム)の普及に関する調査	上野グリーンソリューションズ株式会社	フィリピン インドネシア	フィリピン末電源地域におけるシステムの供与と技術供与による中長期的サポートインドネシアの離島のディーゼル発電設備施設へのソーラーハイブリッド化。それぞれ1000人程度の人口の電化と生活の質の向上	外務省委託費事業 平成24年案件化調査
ミルクフィッシュ養殖事業における太陽光発電利用の普及・実証事業	株式会社パワーバンクシステム (提案企業)	フィリピン	フィリピン最大の湖、ラグナ湖のミルクフィッシュ養殖場において、(パワーバンクシステム)PBS社製太陽光パネル採用した独立電源による養殖用エアレーションシステムの性能、メンテナンスの必要性の評価、経済効果等に係る調査を行い、同システム導入の条件を検証する。	平成24年民間提案型普及・実証事業 途上国政府への普及事業
沖縄県中小企業が有する島嶼地域向け系統連系型太陽光発電システム導入技術の普及・実証事業	有限会社 沖縄小堀電機 (提案企業)	ソロモン	現地の電力需要および電力供給設備(送配電線、変圧設備等)に合わせた、数十kWhクラスの小型PCSを用いた連携型太陽光発電システムの導入。 関係者への連携型太陽光発電システムの基礎知識・維持管理に関する研修の実施とマニュアル作成。 関係省庁を招いたセミナーを開催し、本事業で得られた成果・データを基に提案技術の有効性を紹介。	平成25年民間提案型普及・実証事業
軽量太陽光パネルを用いた貧困層の生活水準向上事業準備調査(BOPビジネス連携促進)	アライアンス・フォーラム財団 地球快適化インスティテュート	バングラデシュ	三菱化学株式会社が開発した次世代の有機薄膜太陽光パネルを利用し、バングラデシュにおける太陽光パネルの利用促進。	2012年協力準備調査 (BOPビジネス連携促進)
太陽光発電・小型脱塩浄水装置を用いた飲用水供給事業準備調査(BOPビジネス連携促進)	水道機工株式会社 東し株式会社 北九州国際技術協力協会(財)	インドネシア	電気・水道インフラ未整備のインドネシア島嶼部において、脱塩機能を有する浄水装置を用いて、清浄な飲用水を安価に供給し、現地住民の飲用水入手に伴う「BOPペナルティ」を解消する。	2012年協力準備調査 (BOPビジネス連携促進)
環境教育のための太陽光発電設備整備計画	パナソニック・パナマ(株)	コロンビア	草の根無償によりマロカ科学技術館にパナソニック株式会社製の太陽光発電パネルを設置する。これにより施設の創エネ・省エネに資するとともに、児童がソーラー発電の仕組みや再生可能エネルギーの重要性を学ぶことができる。同国における将来の技術者に対し日本の優れたエネルギー技術アピールでき、長期的には同国における電力インフラ改善。	平成23年度 草の根・人間の安全保障無償資金協力を活用した官民連携案件
家庭用小型ソーラー電源システム及び携帯電話充電システム普及事業準備調査(BOPビジネス連携促進)	株式会社GSユアサ	エチオピア	エチオピアにおいて、GSユアサの開発した家庭用小型ソーラー電源システムと携帯電話充電システムの普及・販売を行う。	2013年協力準備調査 (BOPビジネス連携促進)

³³ JICA 報告書は <http://libopac.jica.go.jp>, NEDO 報告書は <http://www.nedo.go.jp/library/> からアクセス可能。

V-7. 日本企業の比較優位

日本製品の価格競争力は、コモディティー化しつつあるものに関しては、通常はないと言える。その中で、いかに強みをアピールしていけるか？がポイントとなる。

日本企業の強みとは、言い換えると「日本企業に期待されているもの」と言い換えることもできよう。それには、

- － 製品自身の品質や寿命面の信頼性,³⁴
- － 製品から生み出されるサービスの品質,
- － システム構成力,
- － 保守/アフターケア,
- － きめ細やかさ,
- － 特殊用途や図抜けた高性能

などがある。

また、ビジネス上は、それをどう顧客にアピールしていくか？という手法も重要となる。

故障後に放置された PV 関連機器が散見される中で、日本の製品やアフターサービスの信頼性を挙げる人は多い。ビジネス上は、価格面での不利を凌駕する比較優位部分のアピール方法も重要で、信頼性、電気の品質、寿命、スマート化などに加え、最適システムオペレーション、省エネを含めたエネルギー診断も重要なビジネスツールとなるであろう。また、エネルギー以外の付加価値とのパッケージ化なども工夫の視点となってくるであろう。

一例として、ケニアの送配電会社 KPLC がオペレーションを行っている MW 級ミニグリッドは 15 ほどあり、今後増えていくことが想定されている。基本はディーゼル発電ベースであるが、その半分近くに PV システムか風力発電システムも(容量は小さいものの)組み込まれている。ただ、このディーゼル発電効率はきちんとモニター＋計算されておらず、それがミニグリッドのオペレーションに反映されてもいない。結果として発電効率は低い状況にあり、ディーゼル油がムダに消費されている(下図)。KPLC 本社への報告も、マニュアルである。このようなケースでは、機器＋オペレーション技術やプラクティス等において、日本企業の特長や能力が活きる余地は大きいと思われる。

³⁴ たとえば、バングラデシュで 130 万もの SHS (平均 40W_p 程度)を導入してきた Grameen Shakti は、PV パネルは信頼性を重視して日本製を使っている。

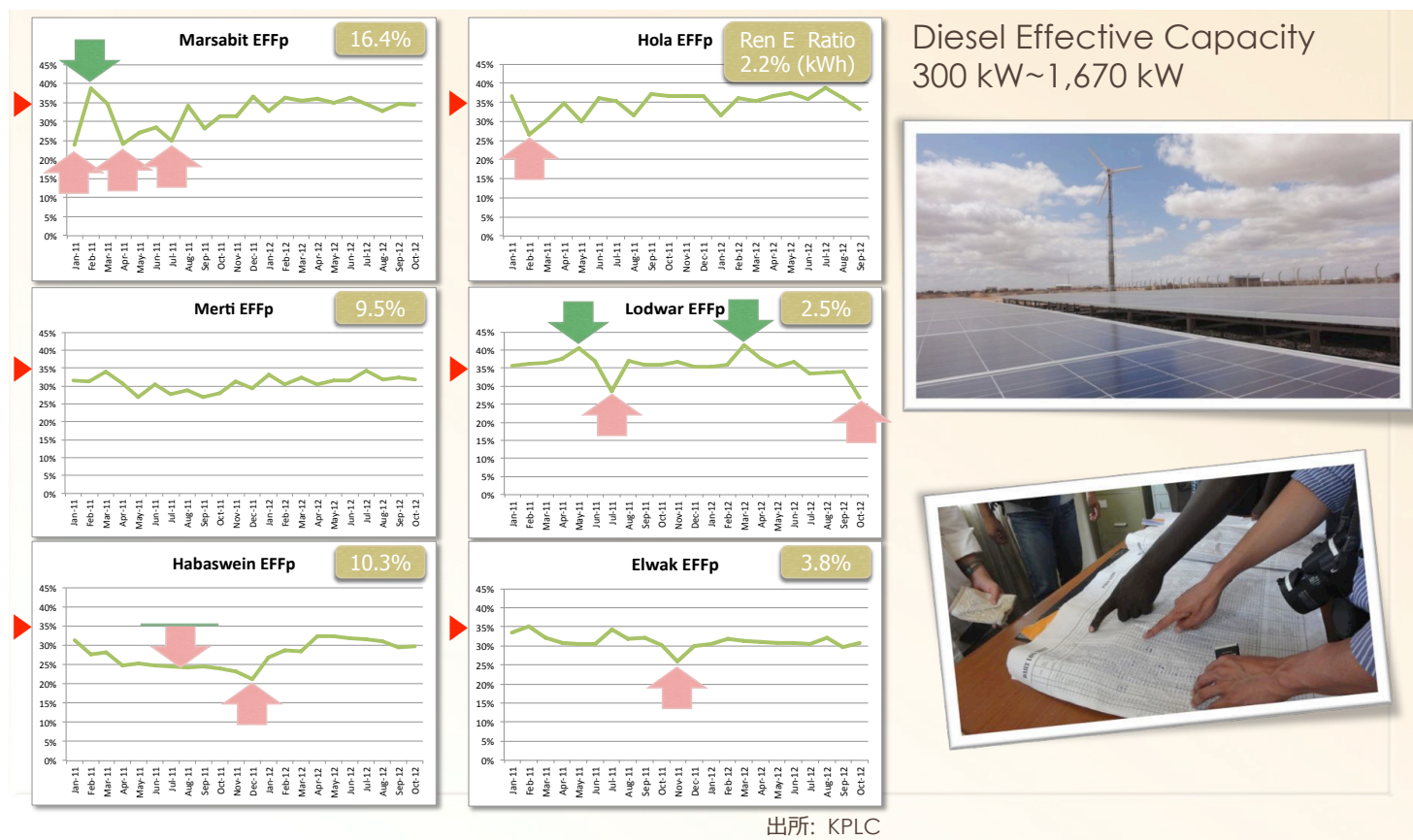


図 36 ケニア KPLC の運用するミニグリッドの発電効率(PV/風力の導入されているもの)

V-8. まとめとその他のポイント

PV 関連ビジネスとして今後有望なものは、系統連系型では、メガソーラー、島嶼国のミニ/マイクログリッド、都市のルーフトップ型システムなどであろう。また、独立型ではピコソーラーも挙げられる。ただし、前述のように、どのビジネスを行おうとする場合にでも、最初の国の選択がキーとなる。

一般論として、電気料金の高い国では、さまざまな関連ビジネスが可能となる。中小企業が工夫する余地が大きいと言えるであろう。

一般に PV による電力は、その不安定性から、電力源として魅力的なものではない。それが経済的に魅力的に移るのは、たとえばディーゼルの焚き減らし効果である。すなわちハイブリッド型がソリューションとなる。そしてその中で「日本技術」としてアピールできるものはまずは電気(供給)の「品質」³⁵であろう。すなわち、電気の価格やそのコストよりも「品質にこだわる」クライアントを狙うことが有望である。ホテル、医療設備、公共交通関係設備、

³⁵ この場合に「品質」は、停電しないという点だけでなく、周波数や電圧の安定性も含む。

通信施設、データセンターなど、高品質・安定供給を必要とし、かつ電気料金の高い国が狙い目となる。

また、この分野でビジネスを行う場合、営利目的が前面にでないケースも多いであろう。とくに BOP 層相手のビジネスの場合、社会性やりがいい、使命感などがモチベーションとなるケースが多い。それをビジネスとして検討をするかどうかは、その企業の考え方に依存する。とくに BOP 層相手のビジネスは、技術やビジネスモデルの面で、新しい工夫やイノベーションが必要となる。

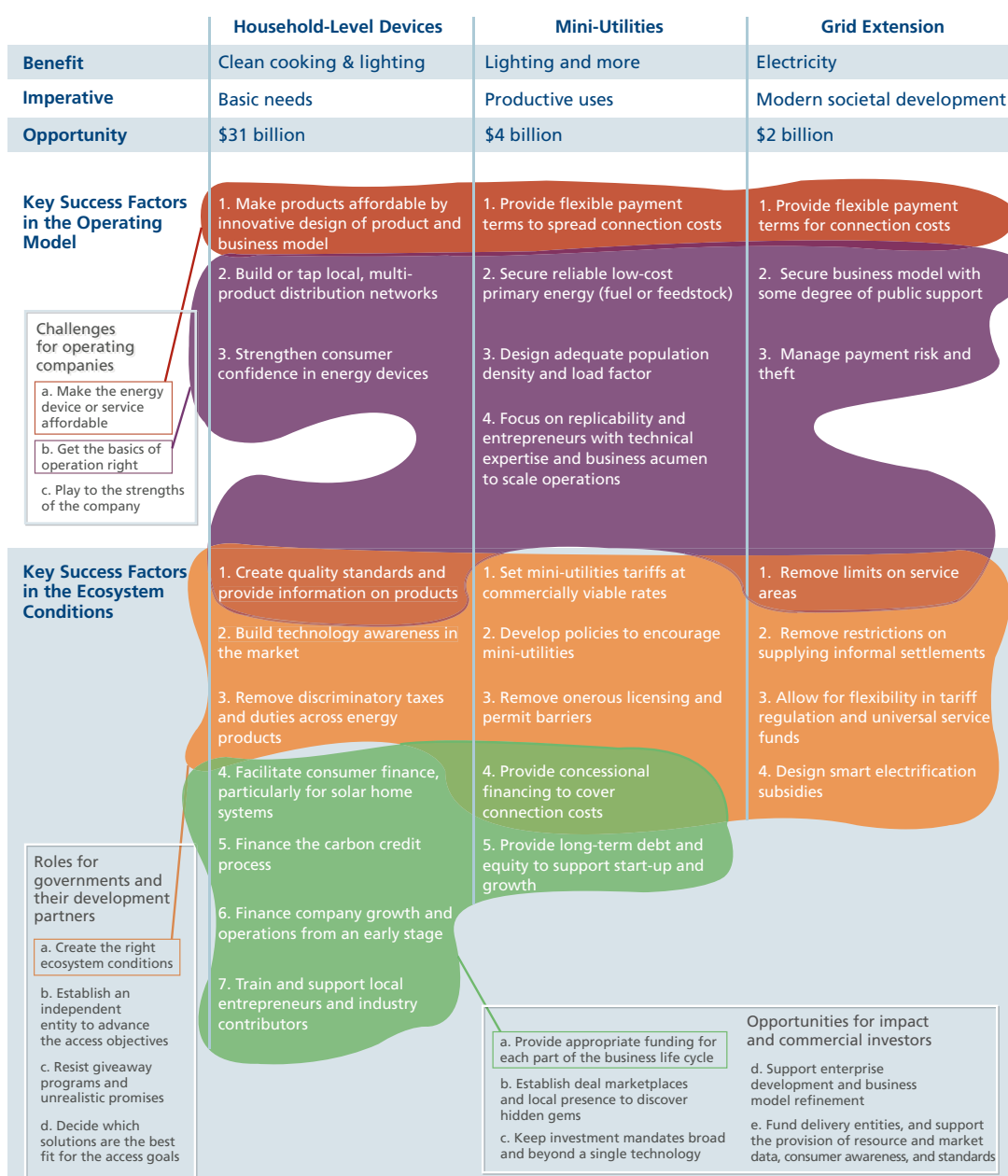


図 37 制度およびビジネスとしてのキーサクセスファクター^{xlix}

VI. 開発途上国実務者、国際機関等に対するメッセージ

VI-1. はじめに

VI-1-1 開発援助における PV 技術

JICA は、太陽光発電(PV)技術がまだ先進国でもあまり用いられておらず世銀の PV 支援も始まっていなかった 1980 年代初頭から、PV 分野に関する多くの国際協力を行ってきた。

PV 発電は、低炭素かつクリーンな純国産電源であり、開発リードタイムも短く、ランニング・コストも低いことから、途上国にとって非常に魅力的な電源である。いまなお電気にアクセスできない人は、途上国の地方においては人口の 1/3 におよぶ。PV は即効性のあるオフグリッド電化策のひとつとして、教育や収入増加という貴重な機会を創出するという意味でもますます普及させていくことが望まれる技術といえよう。

その反面、PV 技術の利用は、初期の設備導入、系統安定化対策および蓄電機能の追加等を加味すると、高い初期コストの問題など、依然として解決すべき課題も残っている。そのため、導入に際しては、他の電源オプションとの比較の中で適切な判断や、対策を講じる必要がある。

また、導入にあたっては、下記のようにいくつかのタイプに分類されるため、それらの特徴を把握しておく必要がある。

Grid Connection	Main Target	Users	Battery	Examples
Isolated	Households (for electrification)	Single household	Yes	SHS, Pico-solar
		Plural HHs (non-wire)		BCS, etc.
		Plural HHs (wire)		Mini/Micro-grid (subsystem)
	(Public) Facility	Single or a few facilities		Clinic, PBS, School...
Grid-connected	HH/Buildings/Industry	Building-unit	No	Irrigation, Well water...
	Grid			University, Airport...
				Rooftop; For fuel saving/emergency
				Mega Solar

ここでは、この JICA の PV 分野における経験のエッセンスを、開発途上国実務者や国際機関関係者等にシェアし、この分野で活動を行っている公的機関関係者へのメッセージとする。

VI-1-2 JICA のとってきた PV 分野におけるアプローチ

JICA は、PV 分野において、その黎明期から試行錯誤を含めたさまざまな支援活動を行ってきた。JICA は、初期の村落電化等の固有のプロジェクトの経験を踏まえ、維持管理体制のキーポイントを同定し、それを活かしたデザイン、さらには国レベルに普及させるためのマスタープラン作成支援、そしてそれらを実施・普及させるためのボトルネックである各種ステークホルダーの多面的な能力開発が行われてきた。それぞれに、パイロット的な設備導入が行われたケースも多い(個々の事例は図 2 参照)。

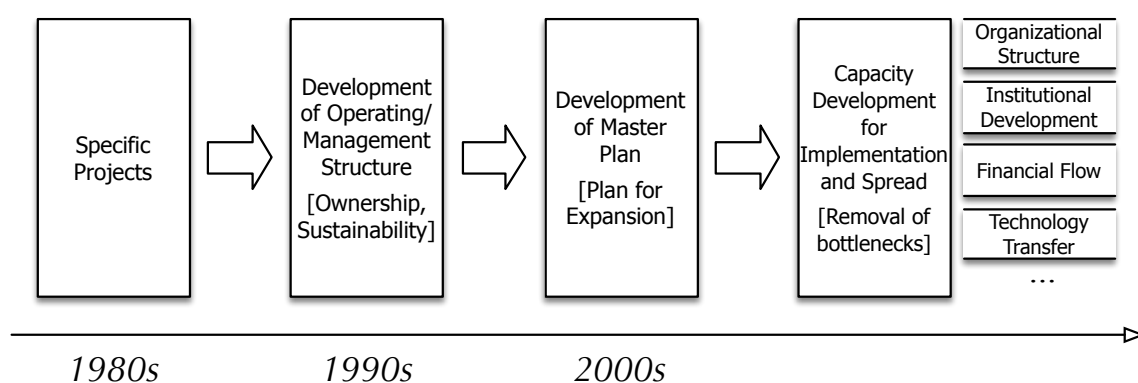
下図は、1990 年代から主対象とされたソーラーホームシステム(SHS)を中心とした地方部の未電化家庭を対象とした独立型システムの持続的な導入・普及モデルのための計画策定支援(場合によってはパイロットプロジェクト付き)に関するアプローチ方法の変遷である。

個々のプロジェクトから、2000 年台のマスタープラン作成支援に移行してきた背景には、政府のグリッド延伸時期遅延などが問題化した初期事例(パキスタン)³⁶のレッスンを踏まえ、中長期的視点にたつて、政府の電化計画との整合性を取り、協調したものとすることの重要性を認識した結果であった。また別の面から、(補助された)グリッド電力の電気料金設定も大きな影響を及ぼしうる。

また、それまでの事例のフォローアップなどから、PV 普及のための技術や制度構築・運用に関して、政策担当者からユーザーまでの関連主体の能力開発の重要性が認識され、それに基づいて、後述のグッドプラクティスとしての方法論や関連マテリアルも蓄積してきた。

Lesson Learned 1

SHS 等オフグリッド PV プログラムは、より広い電化政策・計画や電気料金体系全体の中で位置づけ、整合性をとるべき



³⁶ この 1980 年代初期のパキスタンの PV による村落電化案件では、グリッド延伸が 10 年間以上当面計画のない地域に PV システムを導入したが、PV システムが導入されたことで、逆にグリッド延伸の優先度が下がってしまったことに利用者が抗議を行った。

いまでは、JICA の PV 支援対象として、新たにバングラデシュの再生可能エネルギープログラムへの協調融資も始まっている。いままで累計 260 万セット、一日 2,000 セット規模で導入されている同国の経験は、SHS 普及プログラムとして、もともと成功している事例となっている。SHS は、現在ではどのドナーも、新たな支援策としてはこのアプローチを選択しなくなっている。ただ、そのような状況下でも、後述のように、政策、プログラムの制度面、技術面、運営面など、いくつかのその「要素」に関する工夫や教訓は、今後とも PV 技術の導入・普及を展開する開発途上国の実務家向けに参考になると思われる。

また、地方電化だけでなく、診療所や学校などの公的施設への導入も、オフグリッド向けに数多くなされたきて、現在も続けられている。

もちろん、前述のパキスタン案件にはじまり、持続可能な運用に至らなかった事例も多数経験している。グリッド延伸されたため不要になったケース、責任の所在が不明確でコミュニティによる運営が行き詰まったバッテリーチャージングステーション(BCS)、担当者の人事異動と共に引き継がれていかなかったプログラムもあった。その一方で、グリッド延伸以外に、ほぼ 100%ポテンシャルユーザーに SHS が普及したいわば卒業プログラム事例もある(モンゴルの遊牧民向け SHS で日本の無償援助で最初の 1 割を導入した)。

Lesson Learned 2

PV プログラムは、プログラム全体でも個々の活動も、専門知識を有し責任と熱意を持って運営する人材の存在に加え、その持続性が必要

一方で最近では、グリッドによる電化後の可能性として、系統連系型で大規模導入への新しい分野を拓くべく、約 30 カ国における数百 kW_pレベルのオングリッドシステムの無償協力による導入を行い、さらにはメガソーラーも視野に入ってきた。

トンガでは 10 MW 程度の独立システムに、合計 2 MW_p強(JICA 分は 1 MW_p)の PV システムを、系統安定性との技術的協調をはかりながら導入するプロジェクトも、無償協力として行われつつある。独立型ミニグリッドにおいて電気の品質の問題を技術的な解決策を提供するという点で、日本技術の得意分野でもある。島嶼国などのディーゼルに依存せざるを得ない国や遠隔地にとって、新しいソリューションを提供するものとして、今後の展開が期待される。

VI-2. JICA の経験から得られたもの

VI-2-1 能力開発の重要性とその方法

VI-2-1-1. JICA の実績と Lessons Learned

JICA の PV 分野の支援活動は、20W_p の Solar Home System (SHS)から MW_p 級の系統

連系型システムまで、どの活動にでも、かなりインテンシブな能力開発活動が含まれている。システムの適切な設計・設置・O&Mのためには、PVシステムの特徴を関係者が熟知する必要がある。PVシステムの設置・O&Mはシンプルで難易度は高くないと思われるが、バッテリーを含め、適切なデザインや運用が必要になる。JICAの経験でも他の公的機関等の経験でも、この点が達成できなかったため、導入当初は稼働していたものの、持続的な運用ができなくなり、放置されてしまったシステムが非常に多い。

Lesson Learned 3

PV 関連技術は思ったほど単純ではない。きちんとした設計や使い方をしないと、すぐにシステムがダメになる

JICA はそのため、現地や日本での研修に加え、汎用性の高く途上国の実態に即したテキストの作成、南南協力につながる形までの能力開発活動を行ってきた経験がある。

さまざまに横展開されたこの活動は、多くの国々で役立っていることが確認されている。とくにフィリピンの研修生は、アフリカ諸国などで研修する側として、自国での経験を活かしながら活躍した。また、そのとき作成されたテキストは、アフリカの多くの国などでも役に立ってきた。また、研修する方としても、この経験は非常に重要な機会となった。

また PV 技術固有の点に加え、電化政策策定におけるマスタープラン策定支援など、現地カウンターパートといっしょになって考え、スキームを考案していくプロセスは、カンボジアやボツワナの支援事例など、たとえその計画やプログラムがその時点の政権に採用されなかった場合にでも、次につながるベースを提供してきた。

VI-2-1-2. フィリピン-ブータン南南協力支援

JICA の PV 支援プログラムにおいて判明したこととして、PV 関連技術(とくにバッテリー)に関する人的リソースや能力の問題が、SHS や他の PV プログラムが成功するための大きなボトルネックとなるということである。以下は、そのような能力開発/トレーニングプログラムのグッドプラクティスの事例である：

フィリピンの技術者が、フィリピンオフグリッド地域の地方電化のために SHS プログラムを受講したときには、それが将来、ヒマラヤ山間のブータン王国において実を結ぶことになるとは想定されなかったであろう。

しかしながら、2009 年 10 月から、そのプログラムを卒業したフィリピン人技師のインストラクターが、ブータン技師グループ相手に、SHS 設置のためのトレーニングを行うこととなった。SHS は、シンプルな小さなソーラーパネルとバッテリーによって、グリッドが通っていない遠隔地のコミュニティに電気を供給するシステムである。

そのプログラムは、まさに途上国同士の「南南協力」の重要性を実証するものであり、日本のようなドナーが途上国の専門家チームを組織し、第三国を支援する三角協力プログラムとなっている。

JICA は、ブータンの 70 万人の人口が電気の恩恵を受けるべく、2013 年まで数年にわたって、技術的・財政的支援を行ってきた。しかしながら、その山間の地形、農作地の小ささ、水資源の問題などから、電化率は地方では 40%程度に留まってきた。

その一つの解が、分散型の SHS である。JICA は同じ SHS でフィリピンの技術者グループのトレーニングを行ってきた際に、途上国の現場で苦労した経験を持つ彼らがブータン技術者のトレーニングを行うことが最適であるということになった。トレーニングコースは、2009 年と 2010 年に行われた。

ブータンの行政官は、最初は日本や他の先進国からのインストラクターが必要ではないかと懐疑的であったが、結局、この試みは成功であったと信じている。

「フィリピン専門家のコミットメントがなければ、このようなすばらしい結果を達成することができなかった」と、ブータンの行政官の一人は発言した。またフィリピンのインストラクターも、「トレーニングコースで教えることを通じて自分も多くを学び、これはフィリピンに帰ってからもそこで適用することができる」と述べている。

Lesson Learned 4

南南協力型能力開発プログラムは、教える方も教えられる方も、学ぶところの大きい効果的な手法である。と同時に、カスケード効果が期待できる

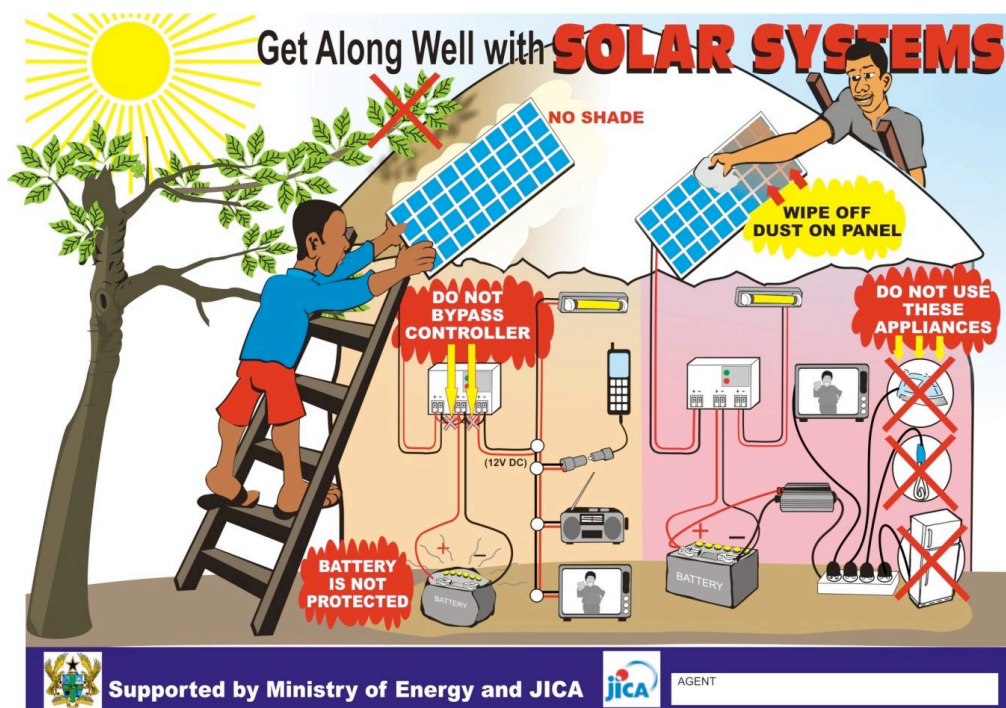


ここで新しく学んだブータンの技術者は、今度はブータンの地元でソーラー技術に関して多くの人に対して、トレーニングを行う側に立っている（「カスケード効果」となっている）。

同様の南南協力に発展したアプローチはアフリカ数カ国にも展開され、またフィリピン能力開発プログラムで作成された PV/SHS に関するテキストブックも、多くの途上国の実務者が用いるところとなった。また、バッテリー使用方法などを説明したユーザー教育用の広報資料も整備された（下はガーナで作成されたもの）。

Lesson Learned 5

ユーザー教育は、識字率など途上国現場の実情を踏まえた役に立つエッセンスの工夫が有効



これらの能力開発プログラムの経験は、いまでは、ケニアの Jomo Kenyatta 農工大学における BRIGHT 能力開発プログラムに受け継がれている。そしてこの大学は、アフリカやその他の途上国における PV 技術のハブとなることが期待されている。

VI-2-2 大量導入できる SHS システムのエッセンス

VI-2-2-1. Lessons Learned

戸別タイプで技術者による設置型の政府主導の独立分散型システム SHS の普及プログラムにおいては、いかに機能するプログラムデザインが組めるか？がキーポイントである。とくに、プログラム全体のマネージメントシステムが重要で、もっとも拡大しているバングラデシュの SHS プログラムでは、その PDCA (Plan-Do-Check-Act)「カイゼン」プロセスも含めて、有効に機能している。

プログラムがきちんと運営されるためには、(バングラデシュの場合は 100 万オーダーの) 個々の家庭がどういう SHS をいつ導入して、ローン支払いはどこまで行って、どれだけ残っているか？という情報が管理される必要がある。すなわち、ユーザーにとってのローンによるファイナンスサービスの流れと、実際の設置された機器の保守状況まで含めた流れが、一元管理できるようなデザインと、そのための能力が、監督機関と SHS プロバイダーに要求される。

また、供給する技術的サービスも、保守も含めて、マネージメントのシステムの機能のひとつとして、標準化・品質管理が重要となる。今後は SHS へのドナーの関心の薄れと共に、

戸別型はピコソーラー(10W_p 以下)の関心が高まっている(照明+携帯電話充電用)。その一方で、経済水準の上昇に伴う TV 需要などの高まりにつれ、下記のポイントを踏まえ、SHS (50W_p 程度)も再検討ができるであろう。

VI-2-2-2. エッセンスのまとめ [バングラデシュ等の経験から]

JICA の関与した SHS プログラム、大量導入しているバングラデシュのケース、その他の国のプログラムなどの経験から、SHS の大量普及のためには、以下のようなエッセンスが重要であることがわかった。

□大量導入を管理できるプログラムのマネージメントシステムデザイン

SHS を 1 万セット/月以上のオーダーで導入しようとするなら、最初からそのことを想定したマネージメントシステムをデザインする必要がある。³⁷ 個々の家庭の所有する SHS 情報やローン返済状況、故障や保守状況、導入したプロバイダー情報等を、SHS プログラムの実施機関(=監督機関)が、毎月更新されたデータベースとして管理できる体制、それを定期的に評価し、軌道修正できる体制が望まれる。

Lesson Learned 6

目標から逆算してプログラムのマネージメントシステム+データベースをデザインしよう。どんな情報を管理する必要があるか、監督機関の管理すべき情報について要確認

□SHS 販売・設置サービスとファイナンスサービスをリンクしたプログラム構造

お金の流れと実際の SHS の設置状況を、下図のように、できれば同じプロバイダーが管理できるような体制がのぞまれる。すなわち、プロバイダーがローンなどのファイナンスサービスを行う(あるいはそれを行う機関と密接に提携し、各家庭の状況に関する情報を共有する)。そして、それらをプログラム実施(監督)機関が一元管理する体制が望まれる。ローンの返済と機器の保守点検(簡易チェック)が一体化されることが望ましい。

Lesson Learned 7

SHS プロバイダーがローンサービスも提供することで、各家庭の両方の情報を一元管理でき、また集金と保守点検を兼ねることができる

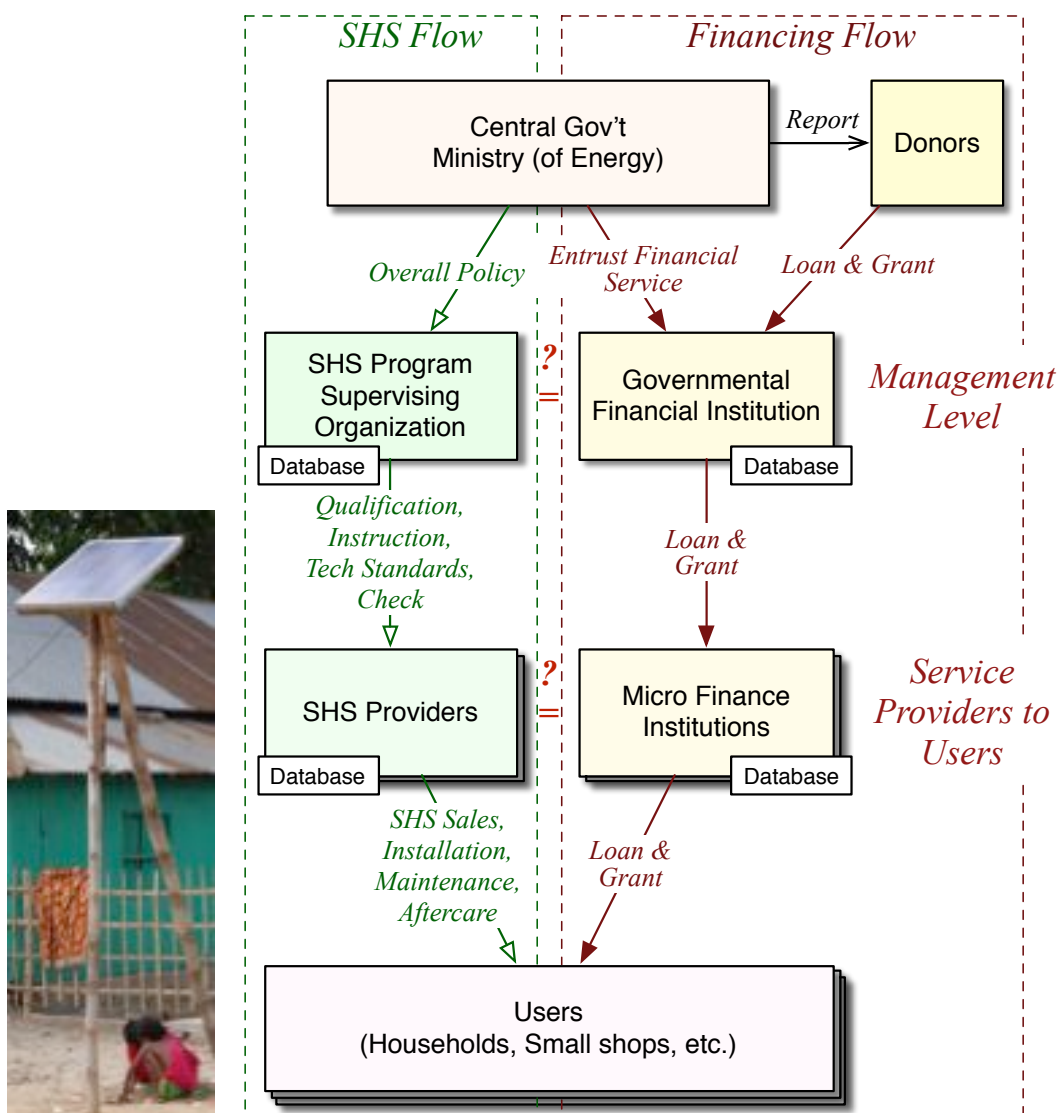
□SHS プログラム監督機関とプロバイダーの能力レベル

上記のようなマネージメントシステムのデータベースは、SHS プログラム全体として監督機関が所有しておくことが望まれ、またそのサブセットを各プロバイダーが管理することとなる。そのような管理能力を、監督機関とプロバイダーは持つ必要がある。

³⁷ もちろん、試行錯誤や軌道修正は必要であろうが、大きなプログラムの構造変革を途中から行うことは望ましくない。

また、プロバイダーに求める資格要件を、プログラム監督機関が設定する必要がある。

Structure of the SHS Program



□システムティックな技術者育成システム

SHS の設置や、保守サービスなどのさまざまな技術的対応を行うためには マニュアル作りと共に、数多くのテクニシャンが必要となる。そのシステムティックな育成プログラムを持つ必要がある。多くの国で、SHS 関係の技術者が不足しており、それがプログラムの拡大とシステムの信頼性の両方

Lesson Learned 8

設置型の SHS では、テクニシャンとユーザーを対象としたシステムティックなトレーニングや講習プログラムが必要。普及数の目標から頻度を逆算しよう

で課題となっている。またユーザー啓蒙も重要である。

□プロバイダーへのインセンティブ設定と競争環境の整備

大きな拡大にはクレジット・セールスモデルが有効。プロバイダーは民間の組織として、多くの SHS 導入やきちんとした管理を行うためのインセンティブ(とできれば自由裁量部分の導入による競争環境)をプログラムに組み込むことが望まれる。そのためには、プログラムデザインの中にプロバイダーのビジネスモデル(およびその時間発展)まで考慮することが重要である。「出来高払い(output-based)」システムの導入が有効。またローンサービスとの一体化によってそちらからの収入も得られる。

Lesson Learned 9

SHS プロバイダーが競争できるような自由裁量を与えよう。ローンサービスも可能とすることで、そちらの収入も得られる。出来高払いシステムが有効

□需要管理

ユーザーがきちんとした「使い方」を行うことができるように、使い方に関する講習やチェック体制が望まれる。同時に、各家庭の電力需要機器やその使い方が、供給能力を超えたものとならないように制度としてコントロールできるようにすることが望まれる。とくにユーザーが勝手にインバータを導入して交流需要機器を購入する場合、供給力以上の需要が生じ、バッテリー等に過負荷がかかって寿命が短くなるおそれがある。

□ 技術基準と保証

SHS プログラムで利用できる機器は、(プロバイダーの自主性や競争環境のためには) プロバイダーが選択できるようになることが望ましいが、その品質管理のため、監督機関が技術委員会などを設け(あるいは外部機関に委託すること可能)、承認された機器のみが使われるようにすべきであろう。また、機器製造業者は、そのプログラムの製品認証をとるためには、品質保証をしなければならない。

Lesson Learned 10

機器には認証制度と同時に、品質保証制度を導入し、ユーザーのリスク軽減が有効

これらは、すべてを満たす必要があるとは限らないが、目標とする設置台数やペースから逆算して、最初にプログラムに必要な要件を決めることが望まれる。少なくとも、プログラム実施機関が「実情を把握」する モニタリング・報告・チェック体制を持ち、適宜軌道修正を行うことができるようになっている PDCA サイクルの導入の必要性がある。

バングラデシュの大量導入事例は、それまでの世界の多くの途上国での SHS の経験を活かした IDCOL のよく考えられた SHS プログラム制度デザインをベースにしている。JICA の経験からも、SHS システムの所有権や保守管理の責任について明確にすることの重要

性が、バヌアツ等の JICA 支援事例から報告されており、それが活かされている事例となっている。

アフリカの国々で大きく導入できるモデルを持つためには、人口密度が低い中で、それなりに遠隔地のユーザーにリーチできる既存システム（地方自治体の公的な体制 or 企業の販売網）を活用したデザインが必要となろう。普及し始めているソーラーランタンのセールスモデルに近いシステムと、Do-It-Yourself が可能なレベルの技術的パッケージ化がなされれば、バリアを除去できる可能性は高まると思われる。

恩恵を受ける人口という意味では、戸別型として、大幅普及できている SHS プログラムの少なさ、市場販売による普及の容易さや設置技術者を要しないことなどから、ピコソーラーが主となってくるであろう。³⁸ ただ、SHS もプログラムを改善すればそれを補完（TV 等のより大きな需要に対応）する意味が大きくなる。

VI-2-3 新たな開発援助チャンネルとしてのグリッド連系システム

VI-2-3-1. JICA の実績と Lessons Learned

PV システムは、ディーゼル発電に頼らざるを得なかった島嶼国やメイングリッドの届いていない遠隔地などで、エネルギー・アクセス/地方電化問題に対処する非常に有効な新しい電力供給源である。JICA でも SHS や BCS (battery charging station) など、いくつもの小規模分散型 PV システムの技術協力やパイロットプロジェクトを実施してきた。

その一方で、PV 発電はとくに供給安定性で本質的課題をかかえているため、いかにこの問題をクリアしつつ、PV システムの導入シェアを増やしていけるかが課題となる。

一方で、電化の進んだ国では、ルーフトップ型やメガソーラーなどの系統連系型が普及軌道に乗ってきて、その国の電源ミックスの中で再生可能エネルギー比率向上と CO₂ 排出削減に役立ってきている。

JICA は、途上国支援においても、2008 年から約 30 カ国で系統連系型 PV システムを導入してきた。バッテリーを必要とするオフグリッド型とは異なり、数百 kW_p の PV システムを実際に導入・既存系統に連系し、あえてバッテリーを組み込まない形で、そこで生じる課題をひとつひとつ解決してきた。系統連系のガイドラインを作成したケースもある。

導入した国の約 8 割の国ではじめてのグリッド連系 PV

Lesson Learned 11

オングリッド型の普及には、各種制度面の整備が必要。

³⁸ バングラデシュで計画されている GIZ のイニシアティブのピコソーラー政府プログラムも注目される。民間企業による事実上「分割払い」を可能とするビジネスも注目すべき新しいモデルである。

システムであったため、連系にあたっての技術的課題、制度的課題のバリアにとりくみ、逆潮流をふくめ、そのかなりの課題をクリアすることができている。近い将来、これらの国で民間企業がビジネスベースで動いてきたとき、スムーズな導入が可能となっていくものと期待される。

なお本事業は、エネルギー安全保障や気候変動対策としての再生可能エネルギー拡大のためのデモンストレーション事業として企図されたもので、PV システムに関する一般市民や、将来を担うアカデミアの関心を高めるため、飛行場、大学などの目につく箇所に設置されている。

VI-2-3-2. 環境プログラム無償(太陽光)

日本は、従来より、排出削減等の気候変動対策に取り組む途上国および気候変動の悪影響に対して脆弱な途上国への支援を積極的に行ってきた。2010–12年には、先進国全体で300億ドルの支援資金のコミットメントのうち、176億ドル(うち公的資金は140億ドル)の支援を実施してきた。2013–15年にも160億ドルの支援をコミットしている。

この先駆的な支援の一環として、2008年度より途上国の適応策および緩和策を支援するため、「環境プログラム無償資金」が新設された。これを受けて日本の外務省は途上国に対し、太陽光発電等を活用した環境プログラム無償に関する支援ニーズや具体的アイディアにかかる要望調査を実施し、多くの国から再生可能エネルギーとくに太陽光発電事業にかかる協力要請がなされた。



本計画の基本方針と

しては、設置された設備のショーケース効果、日本に優位性のある技術・ノウハウの積極的な活用、持続的な維持管理体制の構築等に留意し、地方電化計画で活用される独立型システムではなく、原則的に首都圏での系統連系型システム(バッテリーなし)の活用を前提としている。そして、政府庁舎、空港、病院、学校など公共施設を対象に、数百 kW_p 規模の系統連系型システムを導入を行った。機材の調達・据付とあわせ、技術指導(ソフトコンポーネント)を実施し、維持管理体制の整備を含む人材育成を支援してきた。

このアプローチをとることによって、途上国でも、グリッドの延伸にともない(あるいはリープフロッグ的に)、もしくはディーゼル発電に依存せざるを得ない島嶼国で、グリッドやミニグリッドへの組み込み型によって、貧困農村オフグリッド地域開発とはまた異なった目的—エネルギー安全保障やクリーンエネルギーによる気候変動緩和目的—として、今後、かなり大きな PV 発電の展開が期待できる。

実際に導入されたケースでは、ソフトコンポーネントによる技術移転を含め、概ね問題なく実施されてきている。運用開始後から一定期間を経たものは、現地側のみの維持管理体制での運用が進んでいて、JICA の援助によるソフトコンポーネントは、国外の支援に頼らない運用が可能ことや、現地技術者の能力向上に役立っていることが確認されている。また、技術者育成はパラオのように国内で民間事業者に移転され、技術ベースの裾野を広げる計画が立てられているケースもある。

また導入国の約 8 割では、対象国初の系統連系型 PV システムとして導入され、国内の電力系統への太陽光発電導入のパイオニアとしての役割を果たした。JICA のプロジェクトを通じて導入に際しての技術移転や、ガイドライン作成等の環境整備が進んだことから、コスト競争力の点がクリアできるなら、これらの国では今後の再生可能エネルギーの導入が期待される。

このシステムは、高い国際価格のディーゼル油による発電に依存せざるを得ない島嶼国においてとくに有効で、本プログラムの対象国としても、モルディブ、ミクロネシア、パラオ、マーシャル諸島、トンガが対象となっている。

既存系統への連系支援の例として、モルディブにおいて、JICA は 2013 年までに首都のマレ島の 10 か所に太陽光発電施設を設置し、さらに 2 か所の設置が大マレ圏内で予定されている。現地の電力公社 STELCO 職員への研修および設置を通じた技術移転は評価が高く、現地職員の能力向上に貢献している。またそれが援助以降の民間ビジネスのための環境整備にもなっている。

これは独立したディーゼル発電ベースのミニグリッドに PV を接続するものであるが、PV のポーションを大きくむしろミニグリッドのハイブリッド化をするのであれば、系統安定性のための蓄電装置(バッテリーやキャパシター等)も必要となり、前述のトンガ案件ではこの方向のこころみとなっている。

Lesson Learned 12

ディーゼル発電に依存せざるを得ない国や遠隔地では、PV システム導入がディーゼル発電機とのハイブリッド型として有効。
需要側からの要請事項(電気の量と質)に応えるデザインが必要。



JICA での導入の成果が評価され、これをきっかけに、今後も(他ドナーによる)大型プロジェクトが採択され、さらなる太陽光発電導入推進が予定されている。

VI-3. JICA の今後の方向性

JICA は、太陽光発電の途上国への普及のパイオニア的存在であり、分散型から始まって系統への連系型の普及に先鞭をつけてきた。

これまでの経験及び知見については、国際社会や新たな開発パートナー（民間企業、NGO、市民社会、大学を含む）と共有しつつ、今後は、太陽光の大量導入に伴う系統の不安定化への対応など、より難易度の高い課題への取り組みにシフトし、日本の技術力を引き出して世界に貢献していく。

