

モロッコ国

モロッコ国
ワルザザトにおける
集光型太陽光発電システム（CPV）
普及促進事業

報告書
（先行公表版）

平成 29 年 2 月

（2017 年）

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

住友電気工業株式会社

民連
JR(先)
17-021

目次

1. 背景と目的	
1.1. 背景	3
1.2. 目的	3
1.3. 普及対象とする技術の概要	3
2. 本事業の概要	
2.1. 実証事業内容	5
2.2. 実証システム	7
2.3. 全体スケジュール	15
2.4. 実施体制	17
3. 実施結果および活動報告	
3.1. 工事	18
3.2. 発電実証	20
3.3. 保守管理	25
4. 本事業の成果	
4.1. 次期プロジェクトの創出	31
4.2. 地元企業の発掘及び技術移管	33
5. 今後の予定	
5.1. 今後の事業展開	34
5.2. ODA 事業との連携可能性	34
5.3. 残課題とアクションプラン	35

略語集

略語	英語あるいは仏語名称	日本語名称
CPV	Concentrator Photovoltaic	集光型太陽光発電
CSTC	Concentrated Standard Test Condition	(CPV モジュールの) 標準試験条件
DNI	Direct Normal Irradiation	直達日射強度
EPC	Engineering, Procurement and Construction	設計・調達・建設
GHI	Global Horizontal Irradiation	全天日射強度
GTI	Global Tilted Irradiation	傾斜全天日射強度
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
KSG	Kirchner Solar Group GmbH	キルシュナーソーラーグループ
LCOE	Levelized Cost of Electricity	生涯発電コスト
MAScIR	Moroccan Foundation for Advanced Science, Innovation and Research	モロッコ先端科学イノベーション研究機関
MASEN	Moroccan Agency for Solar Energy (2016年9月より Moroccan Agency for Sustainable Energy に改称)	モロッコ太陽エネルギー庁
MEMEE	Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement	エネルギー・鉱山・水利・環境省
MENA	Middle East and North Africa	中東・北アフリカ地域
MoM	Minutes of Meeting	協議議事録
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
ONEE	Office National de l'Electricité et de l' Eau Potable	モロッコ電力・水道公社
O&M	Operation and Maintenance	オペレーション&メンテナンス
PCS	Power Conditioner System	パワーコンディショナー、パワコン
PE	Permanent Establishment	恒久的施設
SEI	Sumitomo Electric Industries, Ltd.	住友電気工業株式会社
SiPV	Silicon Photovoltaic	シリコン系太陽電池
STC	Standard Test Condition	標準試験条件

1. 背景と目的

1.1 背景

2011年（平成23年）に中東・北アフリカ諸国で生じたいわゆる「アラブの春」は、この地域が抱える高い若年層失業率、及び地域的・社会的格差が背景にあると言われており、モロッコ国政府もこれらを喫緊の課題と捉え、改善に向けて取り組んでいる。我が国は、こうした社会の不安定要因となりうる地域的・社会的格差の是正を図りつつ、安定的なマクロ経済運営に基づいた持続的な成長の実現を基本援助方針とし、我が国の太陽エネルギーや環境対策、資源管理などに関する技術を活用した持続的成長の支援を重要課題のひとつとしており、外務省「対モロッコ王国 国別援助方針（平成24年5月発表）」によれば、同国の持続的成長を支援するため、産業の基盤となるインフラ整備を行うことになっており、本邦企業の技術力の比較優位を踏まえた案件形成を行うこととなっている。

かかる状況において、同国の高い直達日射強度と高温の環境下で高効率・低コストの発電を実現する集光型太陽光発電システム（CPV）の導入は、効率的な再生可能エネルギーの開発を通じた同国の持続可能な経済発展に貢献することが期待できる。

以上を踏まえ、本事業はモロッコ政府関係者を対象にCPVの生涯発電コスト（LCOE）の競争力および信頼性の高さを実証することで、同システムを普及する活動と共に、同国電力分野における活用可能性を検討することを目的に実施するものである。

1.2 目的

高効率・低コストの電力技術の活用により、同国の経済・社会発展の基盤となる電力供給力の向上に貢献すること狙う。また、同国の自然環境を活かした再生可能エネルギー開発技術の導入により、同国が課題とする持続可能な経済発展に資することを狙う。

1.3 普及対象とする技術の概要

普及対象となるCPVは、本事業の対象国であるモロッコを中心とした中東・北アフリカ地域（MENA）の環境下において最も適したクリーンエネルギー技術と期待されており、本事業においてその発電性能と有効性を実証する。

CPVの基本原理は、発電効率が40%超と極めて高い化合物半導体発電素子を使い、太陽を正確に追尾しレンズで直達日射光を集め発電する仕組みである。

モジュール変換効率は30%を超え、標準的な結晶シリコン系太陽電池モジュール（SiPV）に比べ約2倍の性能があり、また発電素子にSiPVのような高温下での効率低下が殆どないことから、CPVは直達日射強度（以下DNI）が高く、かつ高温となる地域で有効な次世代の発電システムとして期待されている。

本事業の対象地域であるモロッコ・ワルザザトはサハラ砂漠の入口と呼ばれる場所で、同国内でもDNIが最も高い地域（ $6.8\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ ）であるため、CPVの活用には適地であると言える一方、モジュール上に砂塵が堆積することが予想され、CPVの発電性能に悪影響を及ぼす懸念がある。当社ではモジュールの清掃方法及び清掃頻度等メンテナンス技術の研究を進めており、これらの効果を

本事業で実証後、普及させる意向である。

また、CPVにおける発電量を大きく左右する要素として、追尾性能がある。一般的には追尾架台に光センサー類を搭載し常に太陽光に向かってモジュール面が垂直になるように追尾を行うが、雲等の影響によりこれら既存の方法では十分に追尾が行えない場合がある。当社ではパワーコンディショナー（PCS）側の出力信号を追尾システム側にフィードバックし、長期に亘って最適な追尾が可能となるプログラムを開発中であり、本事業で実証後、普及させる予定である。

更に電力線通信技術（以下 PLC）を使った発電量モニタリングシステムの実証も行う。既存システムのように新たに通信線を設置することなく、直流電線を用いてモニタリングが出来る点が特徴である。モロッコ的环境下において本技術が有効かどうか実証後、普及させていく。

以上の通り、本事業を通じて普及対象とする技術は、CPVにかかる対象地域の環境に適したモジュールのコーティング技術、メンテナンス技術、追尾システム技術、PLC 技術、ならびにこれらの運用技術である。

2. 本事業の概要

2.1 実証事業内容

(1) 実施活動方針

モロッコ政府関係者を対象に、CPV への理解促進と運用・保守技術の指導、並びに現地における同発電システムの実証試験と PLC モニタリングシステムの紹介活動を通じ、モロッコでの同発電システムの普及に向け現地当局等関係者の理解を促すと共に、同国電力セクターでの活用可能性を検討する。

- ① 対象国・分野が抱える開発課題の現状並びに電力事業における相手国の方針を十分に把握すると共に、事業を通じて期待される開発効果について十分な検討を行う。
- ② モロッコの気象条件下における発電量、発電の安定性、保守管理コスト等に基づく生涯発電コストの観点から、SiPV に対する CPV の比較優位性を十分に検証し、相手国関係者に対して必要な説明を行う。
- ③ 本事業後のビジネス展開の方向性検討にあたっては、相手国自己資金ないしは日本側の事業投資によるシステム導入の可能性を十分に検討し、ODA 資金のみに依拠しない資金調達計画を検討する。
- ④ 本業務実施後の円滑な事業（ビジネス）展開に向け必要な情報収集を行い、業務終了までに事業の方向性を取りまとめる。

(2) 業務の内容

- ① 事業対象地域・分野が抱える開発課題の現状
- ② 現地活動
 - ア CPV 実証設備の設置地の選定、設置
 - イ CPV と従来型のシリコン系太陽電池(SiPV)との比較による、高温・高日射の環境下での CPV の優位性の実証
 - ウ PLC モニタリングシステムの紹介
 - エ 実証試験後、一定期間経過後の発電の安定性と保守管理状況の確認
 - オ 事業化に向けた情報収集と課題の明確化
- ③ 本業務実施後の事業（ビジネス）展開の方向性検討
 - ア 当該事業の概要（事業目標、生産・販売計画、資金調達計画、人材育成計画、現地パートナー等）
 - イ 事業化までのスケジュール
- ④ 本業務実施後の事業（ビジネス）を通じ期待される開発効果の明確化
 - ア 当該事業により裨益する対象者層
 - イ 当該事業を通じ期待される開発効果
- ⑤ 現地 ODA 事業との連携可能性検討
 - ア 連携事業の必要性
 - イ 連携事業の内容と期待される効果

(3) 対象地域

モロッコ国 ワルザガト

(4) 相手国関係者

MASEN

(5) 本事業実施期間

2015年3月23日から2017年2月28日まで

(6) 普及対象とする技術

集光型太陽光発電システム (CPV)

電力線通信技術 (PLC) モニタリングシステム

2.2 実証システム

(1) 実証システム機器概要

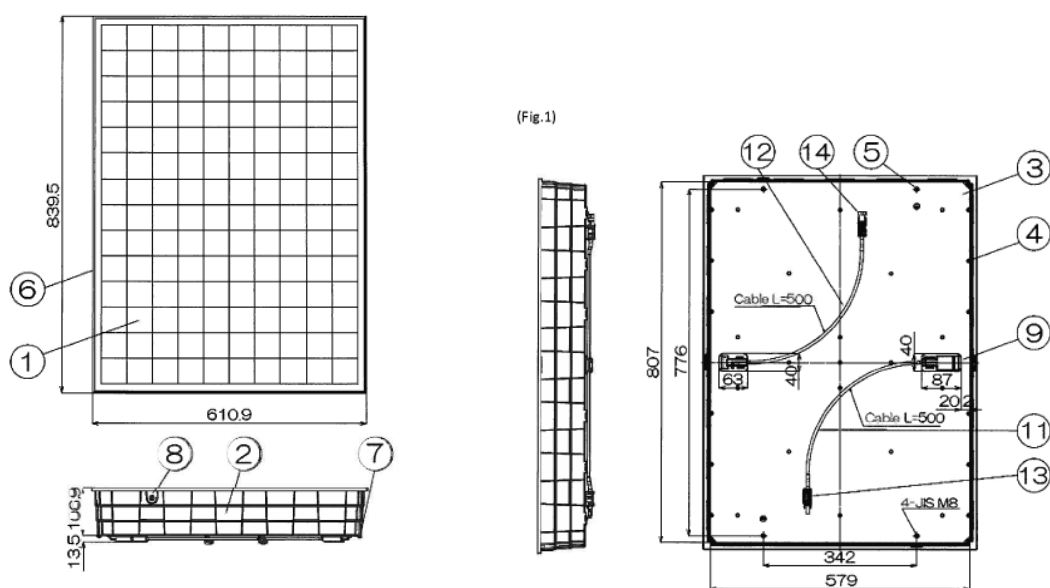
今回の実証システムの機器の概要を以下に示す。

- ・ CPVモジュール : 144モジュール (20kW)
- ・ CPV用追尾架台 (2軸追尾) : 1基
- ・ SiPVモジュール : 40モジュール (10kW)
+ 2モジュール (計測監視システム用電源として使用)
- ・ Si用固定架台 : 1式 (20° 設置)
- ・ インバーター : 2基 (20kWx1, 10kWx1)
- ・ 計測監視システム : 1式
- ・ PLCモニタリングシステム : 1式
- ・ 気象センサー : 1式 (DNI, GHI, GTI, 風向風速, 雨量)
- ・ 負荷抵抗 : 30kW相当

(2) CPVおよびSiPVモジュール仕様

CPVシステムとして当社製CPVを144枚使用して21.9kWのシステムを構成する。

以下に当社製CPVモジュールの概要を示す。



Symbol	Part Name	Material	QTY
1	Lens	Low iron glass and silicone	1
2	Frame	Reinforced PBT resin	1
3	Backplate	Aluminum (Rear side: White painted)	1
4	Screw	Stainless steel	12
5	Hex nut MB	Stainless steel	4
6	Lens sealant	Silicone	1
7	Backplate sealant	Silicone	1
8	Vent	Teflon-based film	2
9	Output terminal (+)	PPE/PPO	1
10	Output terminal (-)	PPE/PPO	1
11	Cable (+)	14AWG (Black)	1
12	Cable (-)	14AWG (Black)	1
13	Waterproof connector (+)	CCT9901-2452F	1
14	Waterproof connector (-)	CCT9901-2362F	1

図1 : CPVの外観図

表 1 : CPV の仕様一覧

CPV 仕様一覧	
製造	住友電工(株)
型番	sCPV04a-VN-AN
集光倍率	520 倍
寸法	839mm (L) 610mm (W) 120mm (H)
重量	8.0kg
出力	152 W CSTC 条件 : セル温度 25°C, DNI1000W/m ² , ASTM G173 AM1.5D

比較対象として用いた SiPV の概要を以下に示す。

SiPV はモロッコにて入手可能であった Trina Solar 製の多結晶 Si 太陽電池モジュールを用いた。

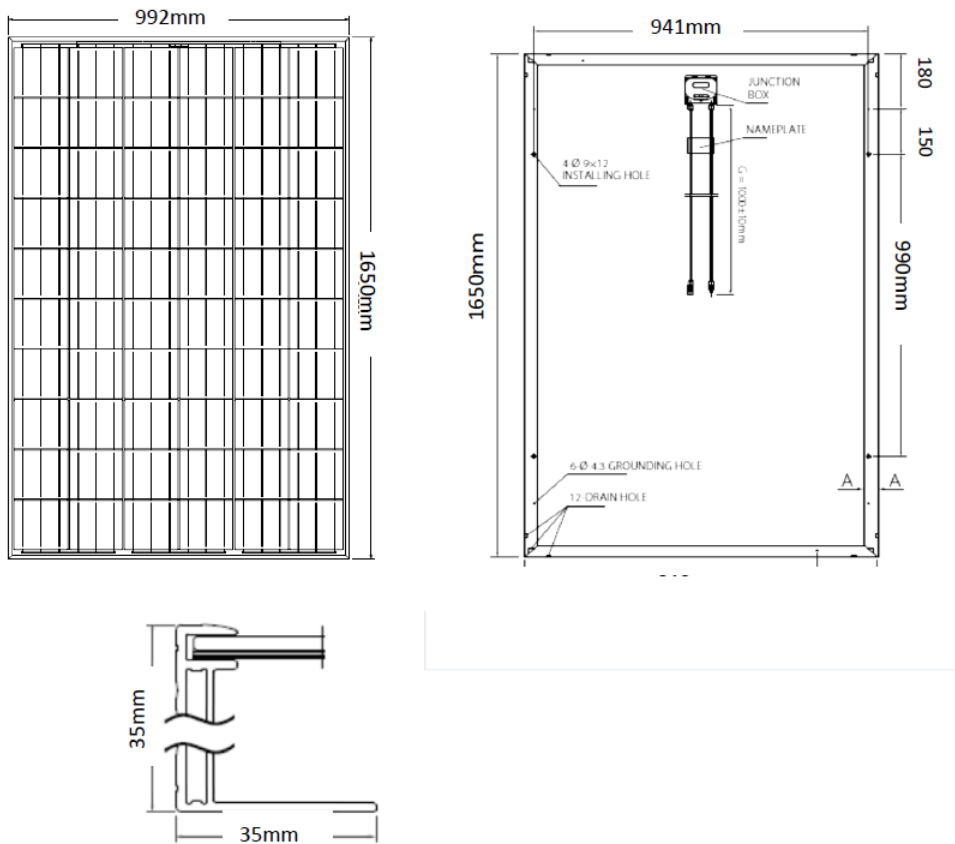


図 2 : Si PV の外観図

表 2 : Si PV の仕様一覧

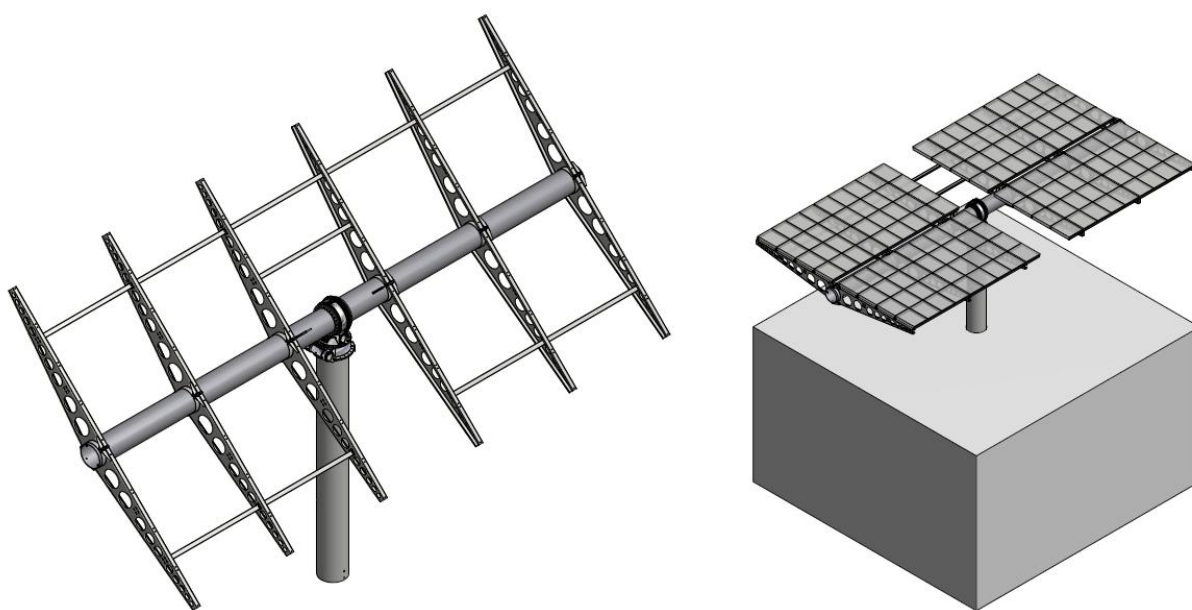
SiPV 仕様一覧	
製造	Trina Solar
型番	TSM-250PC05A
寸法	1650 mm (L) 992 mm (W) 35 mm (H)
重量	18.6 kg
出力	250 W STC 条件: セル温度 25°C, 放射強度 1000W/m ² , AM1.5

(3) 追尾架台仕様

CPVシステム特有の機器として追尾架台がある。当社では追尾架台評価を行ってきたが、追尾精度不足による発電ロスおよび追尾架台のコストが課題となっていた。今回の実証では追尾方式として時計追尾に加え、光センサーによる自動補正を加えることで追尾精度を向上し、また追尾架台1基当たりのCPV搭載面積を従来の約2倍にすることで工事費用も含めた低コスト化を行った。

また、CPV表面への砂塵の堆積による出力低下を最小限にするためにCPV表面を下向きの位置にする機構を設け、夜間の待機中における防砂が可能な仕様とした。

追尾架台の仕様は以下の通り。



【側面図】

【正面図】

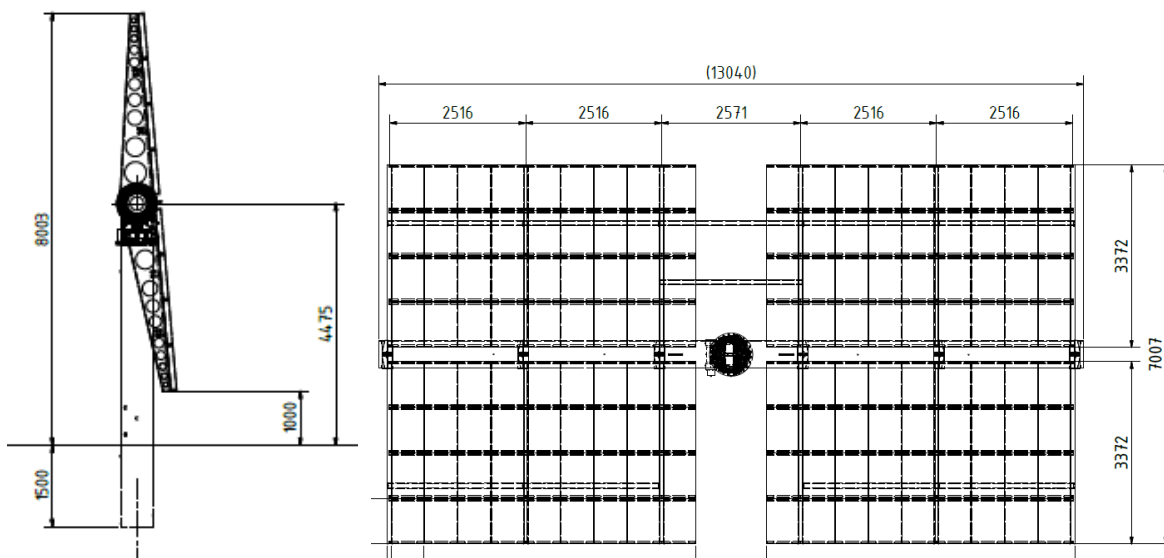


図3：追尾架台の外観図

表 3 : 追尾架台の仕様一覧

追尾架台 仕様一覧	
製造	Kirchner Solar Group Gmbh (Germany)
駆動方式	2 軸ドライブ方式
架台寸法	架台面積 : 91m ² 7007 mm (L) 13040 mm (W) 4475 ~ 8003 mm (H)
CPV 搭載数	144 モジュール
材質	溶融亜鉛メッキ鋼材
追尾方式	時計(緯度, 経度時刻) + 光センサー自動補正
駆動範囲 (仰角)	0 ~ 85° (発電時)
防砂機能	夜間 CPV 表面反転保持機能

一方、比較用のSiPVについては固定架台を用い、20° の角度で設置した。

(4) 実証設備全体図

MASEN管理のNoor Complex R&D Platform内、約30m四方の土地内にCPVシステム(20kW)、SiPVシステム(10kW)、各種気象センサー並びにデータ収集システムを設置した。

該実証システムの全体写真を以下に示す。

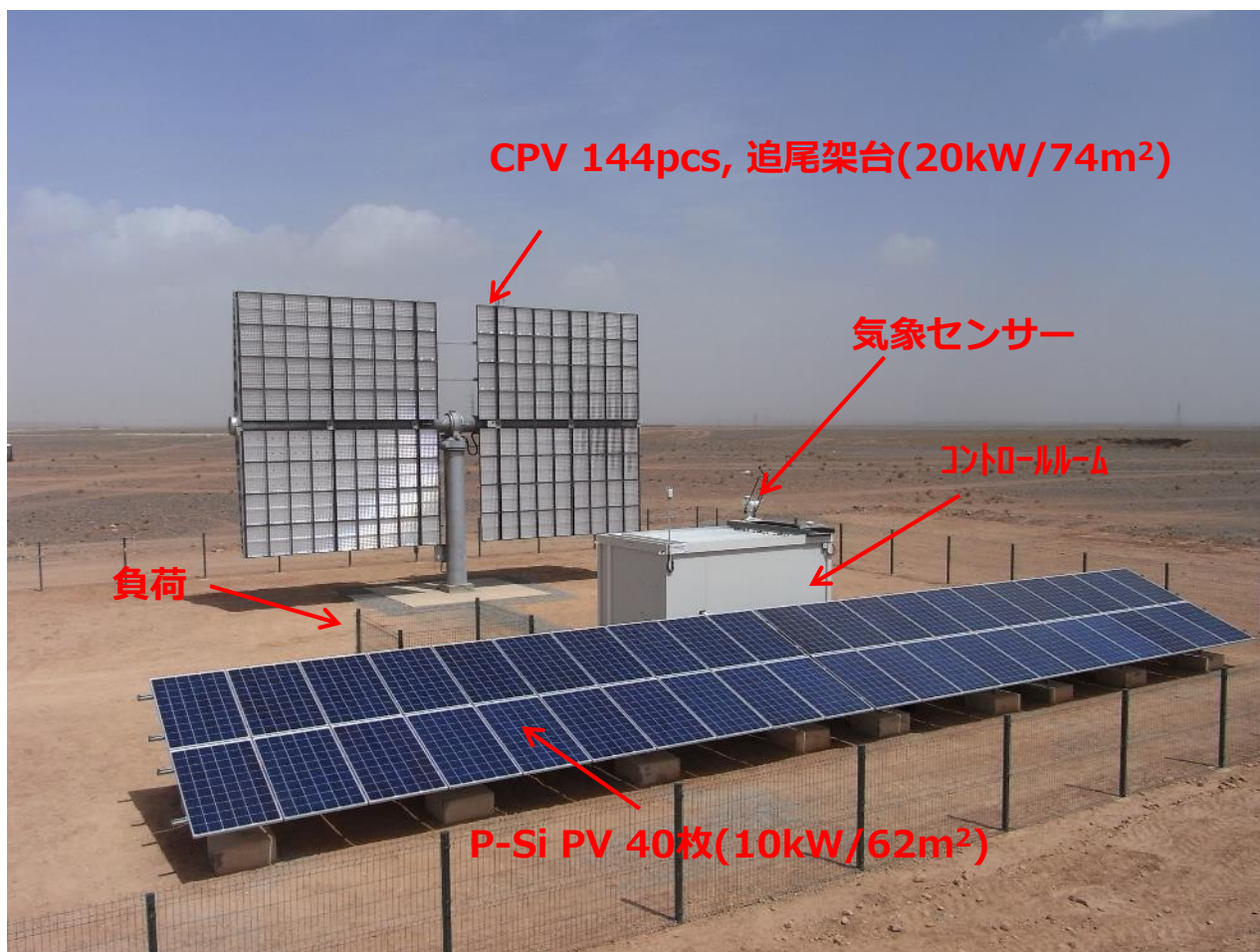


図4：実証設備の全体図

影の影響を考慮し、南側にSiPV、北側にCPV、中央部にコントロールルームを配置した。各日射計についても影の影響がないようコントロールルーム屋上に設置した。

(5) システム単線結線図および概念図

システムの単線結線図および概念図を以下に示す。

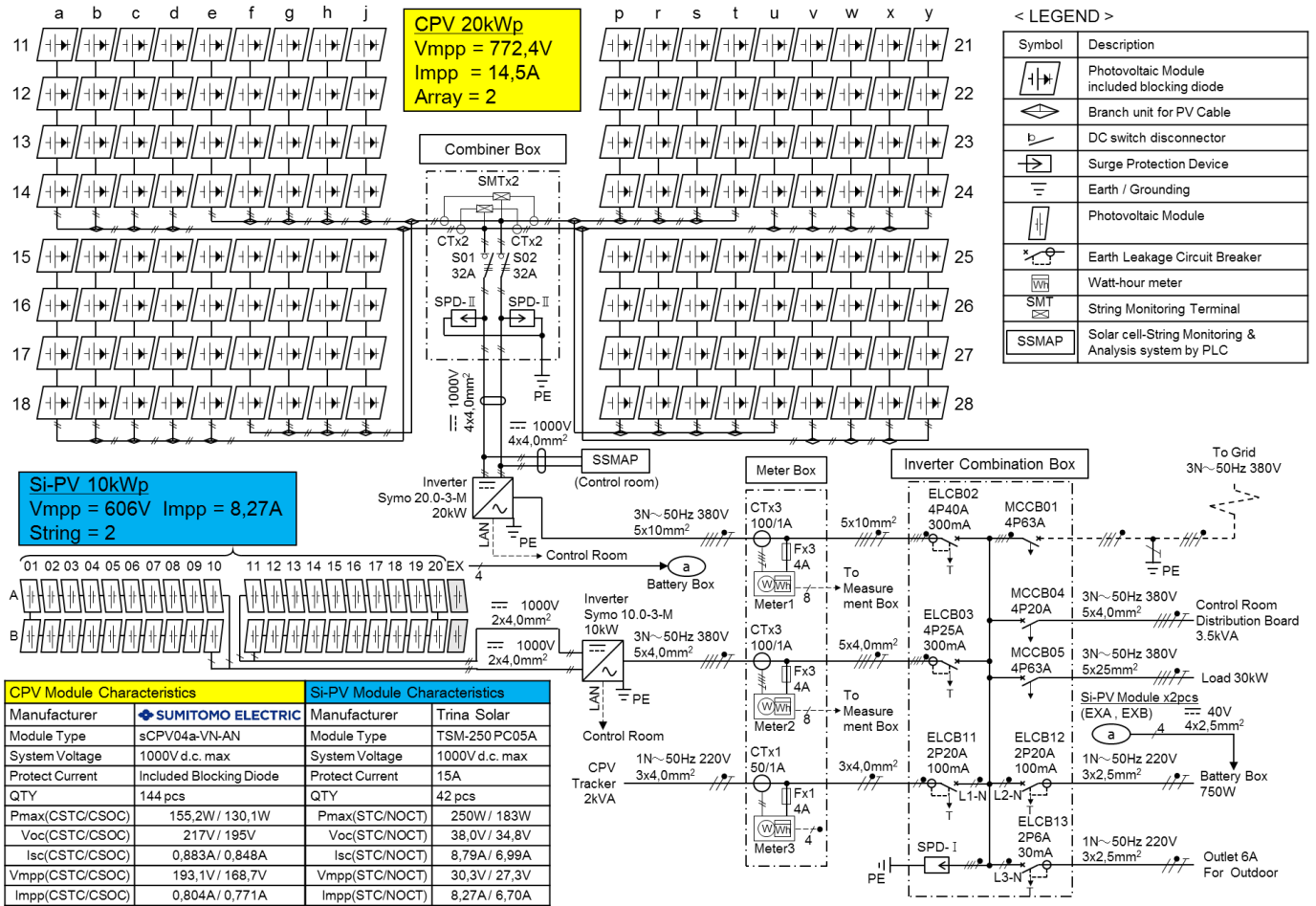


図5：実証システムの単線結線図

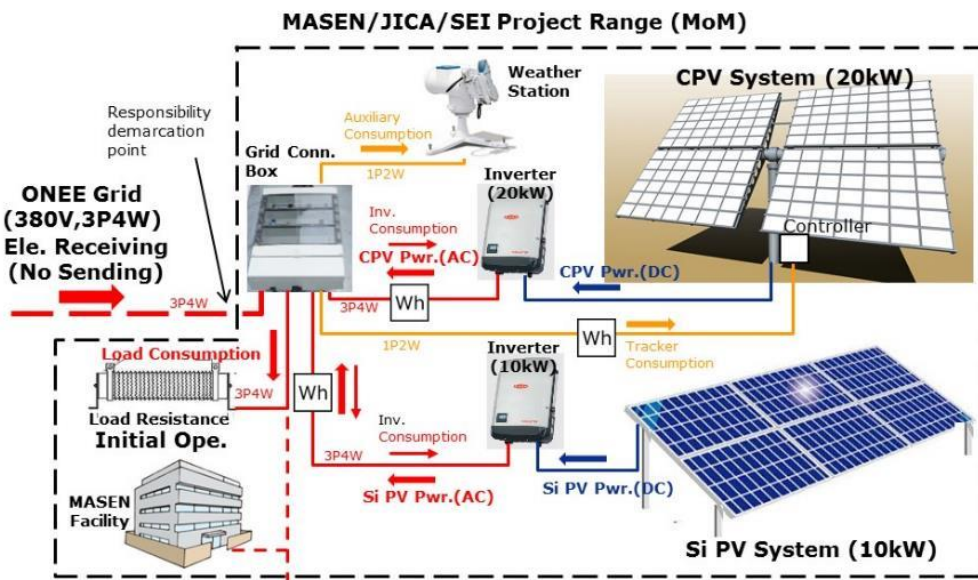


図6：実証システムの概念図

CPVモジュールは4直列36並列で接続され分岐ケーブルで4並列として構成、該4並列のストリング構成に対し、PLCストリングモニタリングシステムを設置した。一方SiPVは20直列2並列で構成した。

それぞれのDC出力はインバーターにてACに変換され、各々の発電量は電力メーターで計測される。該発電量及び気象センサーの計測データは計測監視システムに収集され、現地の3Gネットワークを用いて収集データを自動送付する。当該システムはMASEN手配のNoor Complex R&D Platform内の低圧グリッド(LV 380V)に接続される。

2.3 全体スケジュール

・スケジュール（CPV製造～CPVシステム工事完工まで）

CPVシステムの完工までの現地活動の工程表を下表に示す。

約1年要して2015年3月にMoMを締結した後、CPVの製造を開始し2015年5月に製造完了した。またこの間にモロッコ国内の地元工事会社を選定し工事契約を締結した。CPV及びBOS機器の現地配送に合わせて、同年7月より工事を開始し、系統連系以外は、ほぼ当初の計画通り、9月初旬に全ての工事を完了した。

項目	2015年							
	3	4	5	6	7	8	9	
マイルストーン	JICA/SEI/MASEN MoM		CPV製造完/出荷		着工	完工/機材引渡し		
	★		★		★		★	
CPV製造・配送	CPV製造		配送					
BOS機器調達・配送	国内調達							
	システム設計完了	海外調達					現地納品	
					配送			
工事契約	工事業者選定・契約交渉		工事契約					
CPVシステム設置工事					基礎工事	システム設置工事		
計測監視システム設置								
試運転調整							試運転調整	

図7：CPV製造からCPVシステム完工までのスケジュール

・スケジュール（完工以降）

CPV完工以降の現地活動の工程表を下表に示す。

系統連系が完工に間に合わなかったため、2015年11～12月、2016年3～4月、6～9月の3回にわたり、ディーゼル電機を疑似系統として系統連系無しでの単独発電試験を行い、それぞれの季節ごとの発電データを取得した。また、洗浄をはじめとするオペレーション&メンテナンス（O&M）についての最適化をこの期間中に行った。

2016年9月末に系統と接続されたため、この際に接続の立会いと運転確認を行い、以降は連続して発電データを取得した。

また、2017年1月の最終現地活動にて、外観試験、パラメータ更新、動作試験、発電確認等のCPVシステムの点検を行い、設置から1年以上経った時点においても正常に稼働にしていることを確認した。

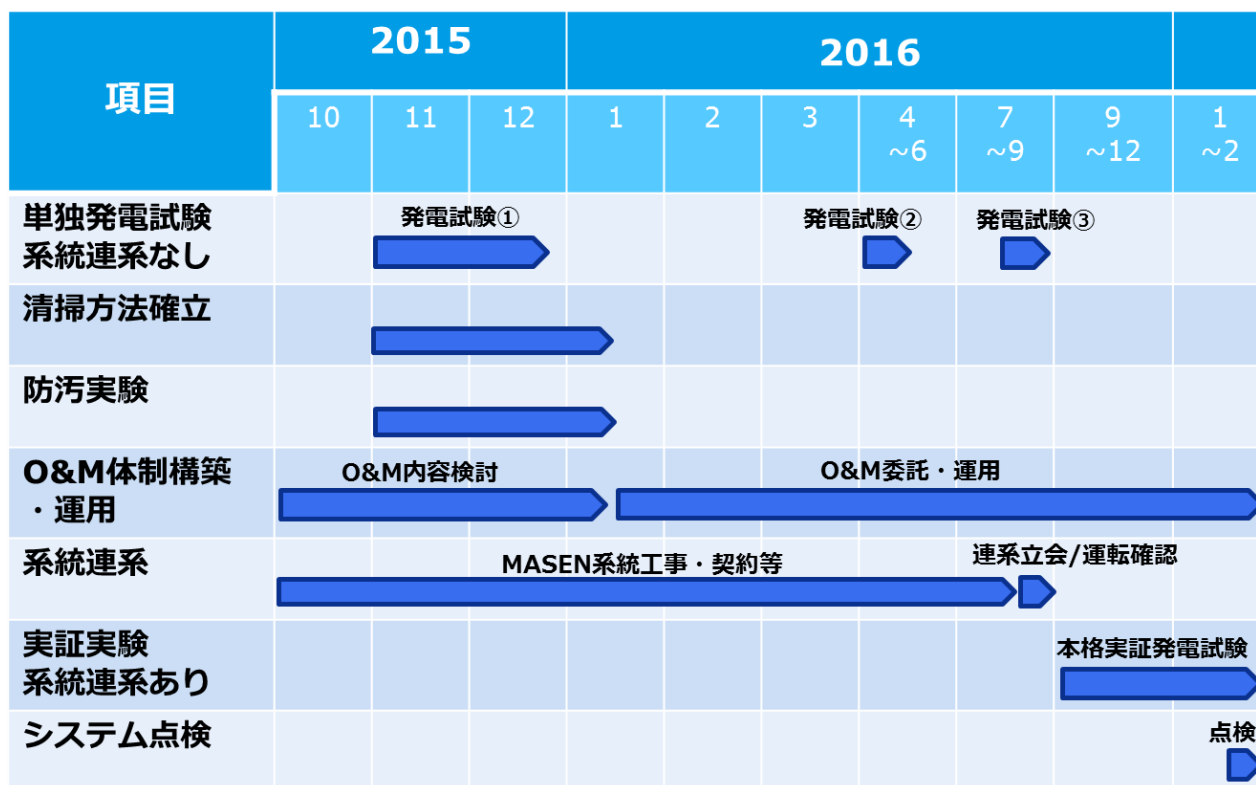


図8：完工以降のスケジュール

2.4 実施体制

プロジェクトの実施体制は以下の通り。

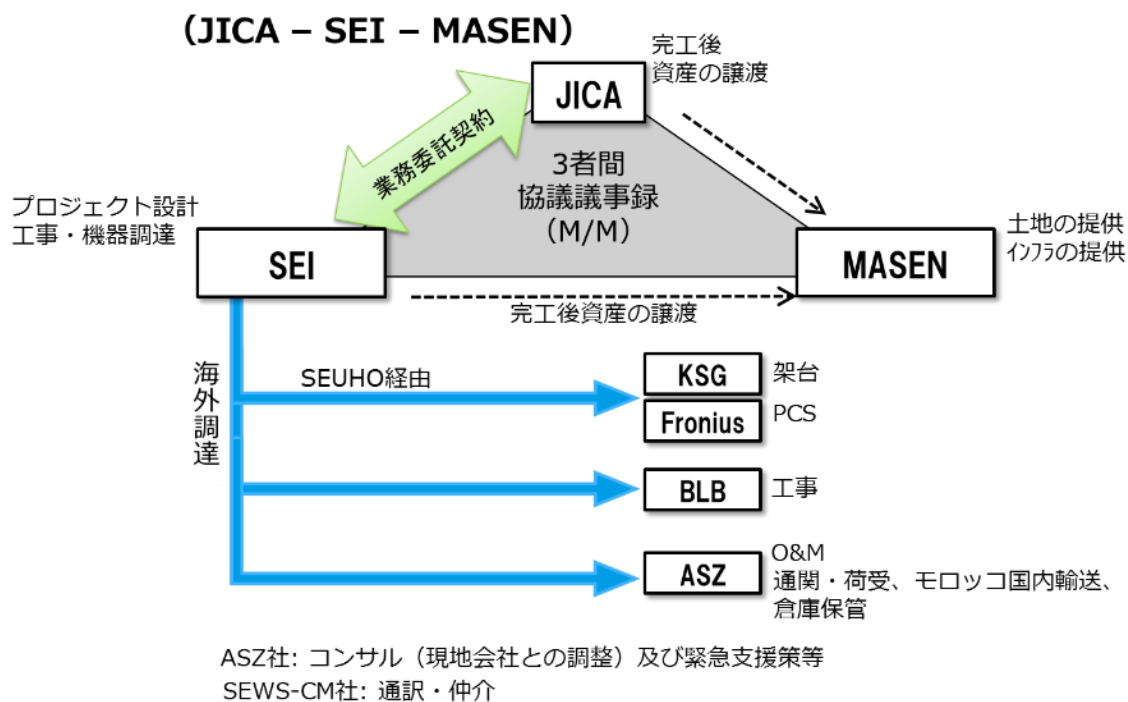


図9：プロジェクトの実施体制

JICA、MASEN、住友電工の三者間協議議事録に基づき、住友電工はプロジェクトの設計・工事・機器調達を行う。MASENは土地とインフラの提供を行う。

住友電工が設計・工事・機器調達を行うに当たり、工事は現地の施工会社であるBLB社、通関手続き等の現地物流支援としてASZ社を採用した。なお、日本—モロッコ間では租税条約を結んでおらず、工事の期間に関わらず当社にPE課税が課せられることになり、当社からモロッコ政府に納税することとなった。

3. 実施結果および活動報告

3.1 工事

現地では2015年7月～9月にかけて該CPVシステムの設置工事を行った。その際の状況を以下の写真で示す。



<p style="text-align: center;">追尾架台上架</p> 	<p style="text-align: center;">追尾架台設置</p> 
<p style="text-align: center;">SiPV設置</p>	<p style="text-align: center;">気象センサー設置</p>
 <p style="text-align: center;">PLCモニタリングシステム設置</p>	 <p style="text-align: center;">CPV実証システム設置完了</p>

図10：現地システム設置工事写真

3.2 発電実証

先述のとおり、本件における発電実証の目的は、「モロッコの気象条件下における発電量、発電の安定性、保守管理コスト等に基づく生涯発電コスト（LCOE）の観点から、SiPV に対する CPV の比較優位性を十分に検証し、相手国関係者に対して必要な説明を行う」ことである。

まず、LCOE の計算式は以下のように規定されている。

$$\text{LCOE} = \frac{\text{生涯コスト}[\$]}{\text{生涯発電量}[\text{kWh}]} = \frac{\text{公称出力あたり生涯コスト}[\$/\text{kW}]}{\text{公称出力あたり生涯発電量}[\text{kWh}/\text{kW}]} \quad \text{式(1)}$$

また上式(1)の分母は以下のように分解できる。

公称出力あたり生涯発電量[kWh/kW]

$$= \sum_{n=1}^{n=\text{稼働年数}} (\text{公称出力あたり年間発電量}[\text{kWh}/(\text{kW})] \times (1 + \text{設備劣化率}[\%/年])^{n-1}) \quad \text{式(2)}$$

LCOE の観点で発電実証を検証するため、上式(2)内の「公称出力あたり年間発電量」に着目して、以下では得られた発電実証データを分析する。

モロッコ側の系統連系工事が当初の予定より遅れたため、年間発電量を直接取得することが困難となった。代替として、実証実験を行った日の1日の公称出力あたり発電量をまず算出し、そこから年間発電量を推定する手法をとった。発電データを取得するため以下の期間で系統を模擬した発電機をシステムに接続して、発電実証実験を行った。

第1期：2015年11月4日から2015年12月20日まで（秋～冬 46日間）

第2期：2016年3月23日から2016年4月14日まで（春 22日間）

第3期：2016年7月18日から2016年9月7日まで（夏 51日間）

第4期：2016年9月21日から（系統連系後）

なお、発電機を系統として模擬していた時期は、実際の系統とは異なり、閉じられた限定的な模擬系統となっているため、ノイズが増幅されやすく、その影響で実証実験中にPVインバーターがノイズを誤検出して頻繁に一時停止した。このため、上記のような実際の系統が接続された場合には起き得ないトラブルに関しては、本実証実験の目的にはそぐわないため、これらのデータを除外した。具体的には当該エラーにて停止中の時間帯の各々のシステムの発電電力データを減じて、1日の発電量を求めるようにした。

また本実証実験で用いたCPVシステムは安全確保のため、構造や基礎の強度計算上耐えうる風速に安全率も考慮して一定風速以上の強風が吹いた場合に、最も安全な退避姿勢に強制的に移行する自動制御を行っている。単純な発電方式の差を見極めるため、本実証実験のデータ処理では上記PVインバーターの停止同様に当該時間帯の発電データは除外することで、1日の発電量を求めた。得られた発電データの一例として、2015年11月4日のデータを次項に示す。

図 11 は 1 日の日射強度と単位面積あたりの発電電力の推移を示している。CPV の基準日射が直達日射強度 (DNI) になり、固定設置型 SiPV (以下固定 SiPV) の基準日射が傾斜全天日射強度 (GTI) になる。GTI や固定 SiPV の発電に対して、特に朝夕に DNI と CPV の発電が多いことがわかる。これは追尾による効果で、固定 SiPV に比較して、朝夕に発電量が特に多く、日中の長い時間に発電電力が安定していることがわかる。CPV のような追尾機構のある発電方式ではこれが特徴の一つとなっている。1 日の発電量は、単位面積あたりの発電量に換算して、CPV は $2.29\text{kWh/m}^2/\text{day}$ 、固定 SiPV は $0.89\text{kWh/m}^2/\text{day}$ となっており、CPV は固定 SiPV より 2.6 倍高い発電量であることが示された。

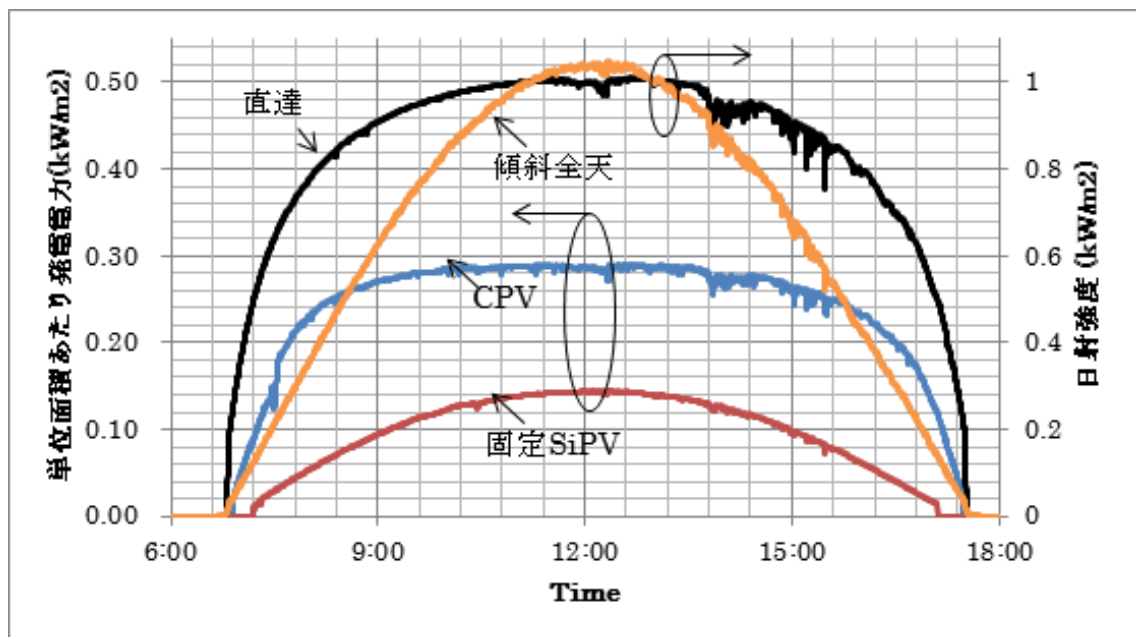


図 11 : 1 日の日射強度と単位面積あたりの発電電力

1 日の公称出力あたり発電量の算出方法を同様に解説する。発電電力データは 10 秒ごとのデータとして得られているため、そこから 1 時間毎の平均発電量を求め、それを 1 日分積算し、1 日の発電量をまず算出する。得られた 1 日の発電量をシステム公称出力で除することで 1 日の公称出力あたりの発電量を算出することができる。公称出力は、CPV が CSTC 条件下で 21.9kW 、固定 SiPV が STC 条件下で 10kW となる。上記のグラフを例にすると、CPV の 1 日の公称出力あたり発電量は 7.73kWh/kW となり、一方で固定 SiPV の 1 日の公称出力あたり発電量は 5.81kWh/kW となる。この結果、システム公称出力を同じとした場合に、CPV は固定 SiPV 比で 1.3 倍多く発電していたことになる。

本節には調査上・事業上の秘匿情報を含むため、本報告書には掲載しない。

本図には調査上・事業上の秘匿情報を含むため、本報告書には掲載しない。

図 12 : 1 日の積算直達日射強度 (DNI) に対しての公称出力あたりの発電量

単位面積あたりの発電量と公称出力あたり発電量のそれぞれを季節ごとの推移でプロットした結果を図 13 に示す。単位面積あたりの発電量の推移をみると、CPV の方が第 1~3 期を通じて、総じて高いことが分かる。

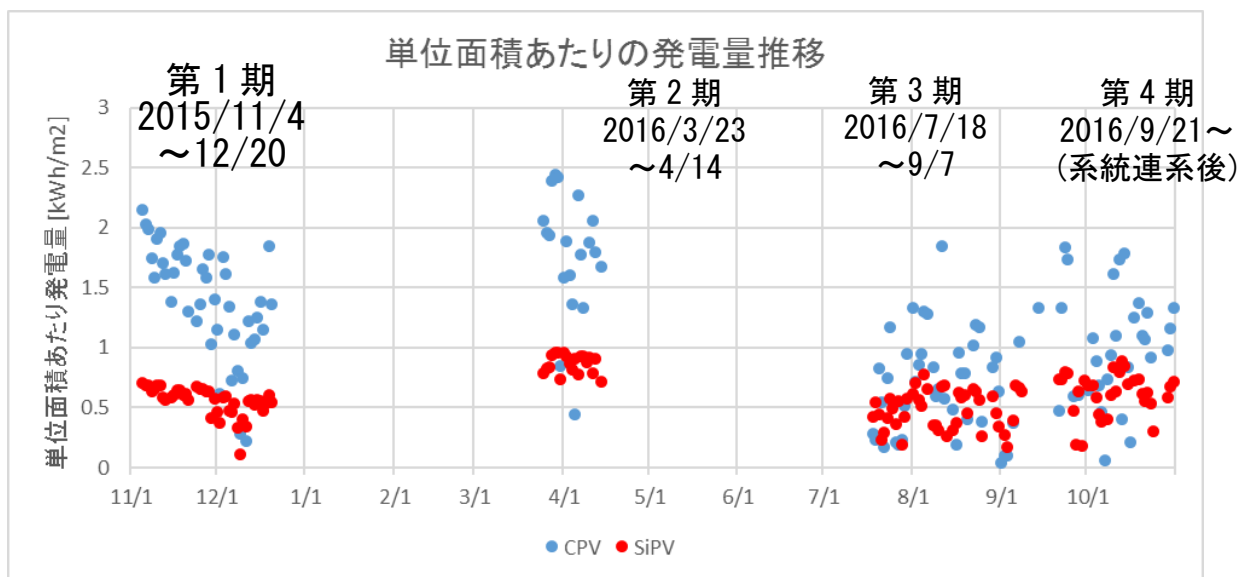


図 13 : 単位面積あたりの発電量の推移

図 14 に示す秋～冬および春の発電データでは、公称出力あたり発電量のグラフより、CPV が固定 SiPV に対して最大で 1.3 倍の発電量を示しており、CPV が固定 SiPV に対して優位に推移していることがわかる。一方で、夏の期間に CPV の発電量が低下し、固定 SiPV よりも発電量が少ない日が多くなっていることがわかる。これは当該地域では夏場に雲が多く、直達日射強度が傾斜全天日射強度よりも少なくなってしまう影響を受けている。

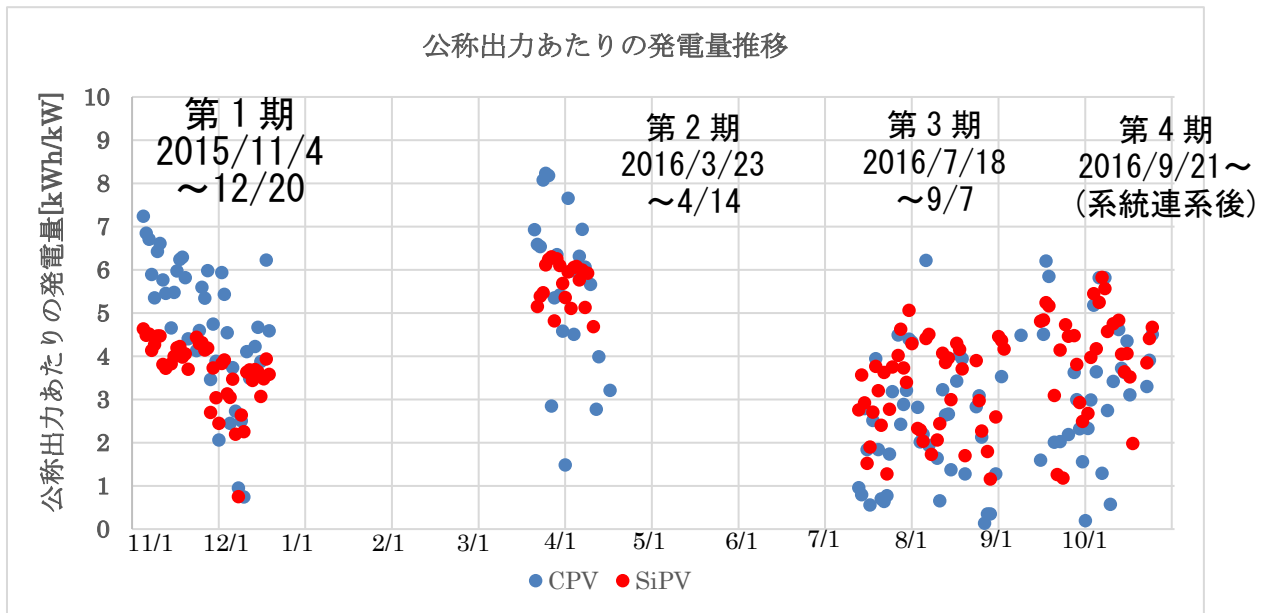


図 14：公称出力あたり発電量の推移

今回の実証データは、ディーゼル発電機を疑似系統として単独発電した期間に取得した限定されたデータである。そのため、系統電力がない場合にも稼働する独立電源システムに組み込まれた日射量計のデータを活用して CPV と SiPV の年間発電量比を推定する方法を考えた。

本節には調査上・事業上の秘匿情報を含むため、本報告書には掲載しない。

本図には調査上・事業上の秘匿情報を含むため、本報告書には掲載しない。

図 15：直達日射量と傾斜全天日射量の比と CPV と固定 SiPV の比の相関

注) 公称 (定格) 出力の定義について

CPVとSiPVの公称発電出力 (定格値) は、異なる日照強度条件で定義された値となっている。本章ではそれぞれ定義の異なる公称出力を基準として両者の発電量差を考察した。

CPV定格：室温、直達日射強度 1,000W/m²

SiPV定格：室温、全天日射強度 1,000W/m²

全天＝直達＋散乱

従って、実際は同時環境下においては、SiPVは散乱光分多く太陽光を受けることとなる。

3.3 保守管理

(1) 汚れに関して

本実証実験では、保守管理コストの導出を目的として、まず当社で開発した新型の追尾架台の反転機構による「汚れロス低減効果」の定量化を行った。

CPV はレンズで集光して発電を行うため、受光面に垂直に入ってくる直達光のみを発電に利用している。一方、一般的な SiPV ではレンズ等はいらされていないため、直達光だけでなく、受光面に対して斜めから入ってくる散乱光を含めて発電に利用している。砂や泥などの汚れが受光面に付着すると、散乱や反射が発生し、主に直達光が影響を受ける。このため、そのような汚れに対して CPV は固定 SiPV よりも影響を受けやすいため、CPV における汚れによる発電ロスの低減は、固定 SiPV との発電量比較で極めて重要な要素となる。

以下が実際に設置した追尾架台の動作を説明する写真である。日中の追尾動作時は通常の追尾架台と同様の動作をするが、汚れ付着の低減を目的として、夜間の非追尾時に通常とは異なり CPV の受光面を地表側に向けることを特徴としている。（通常の一般的な追尾架台では、受光面は上方に向けられる）

過去の当社社内の実証結果から、主に夜間に汚れの元となる砂や結露水が受光面のガラス表面に付着することが分かっており、本実証の夜間反転機構付き架台による汚れ低減効果を検証した。

日中の追尾状態



夜間の反転状態



図 16：追尾架台の状態（日中と夜間の違い）

前項で記載のとおり、系統連系工事が遅れた影響により、発電機を接続した限定的な期間のデータとなるため、下記のような比較実験を行った。

2015年9月初旬の完工後の汚れのついていない状況から、11月初旬までの約2か月間、系統電源がない状態のため、受光面上向きでシステムを待機させ、その期間の汚れ付着による発電ロスを期間最終日の清掃前後で比較し、これを「上向きで待機した場合の汚れロス」とした。その後11月初旬より発電機を系統として模擬した発電実験を開始し、12月末ごろまで日中は追尾、夜間は受光面を地表側に向けた状態で連続稼働させ、実験最終日に汚れによる発電ロスを評価し、これを「夜間反転で待機した場合の汚れロス」とした。

次頁のグラフでは、上記2パターンでの汚れロスの評価結果を示した。汚れロスを明確化するため、発電データに対して、日毎の日射量、気温、その他トラブルの影響を除外し、DNIは400W/m²以上のデータを用いたほか、気温による影響は太陽電池セルの温度特性値を用いて、出力値を換算した。また、前述の強風やPCSの一時的な停止ロスに関しても除外した。得られた補正発電データの総和を求めて補正発電量とし、それを同様の処理を行ったDNIの総和で除して、相対出力比を各日で算出した。各季節の実験開始初日を1として、そこからの相対出力比の変化をグラフ化している。

この結果、「上向きで待機した場合の汚れロス」と比較して、「夜間反転で待機した場合の汚れロス」は2.75倍ロスが低減することが分かった。

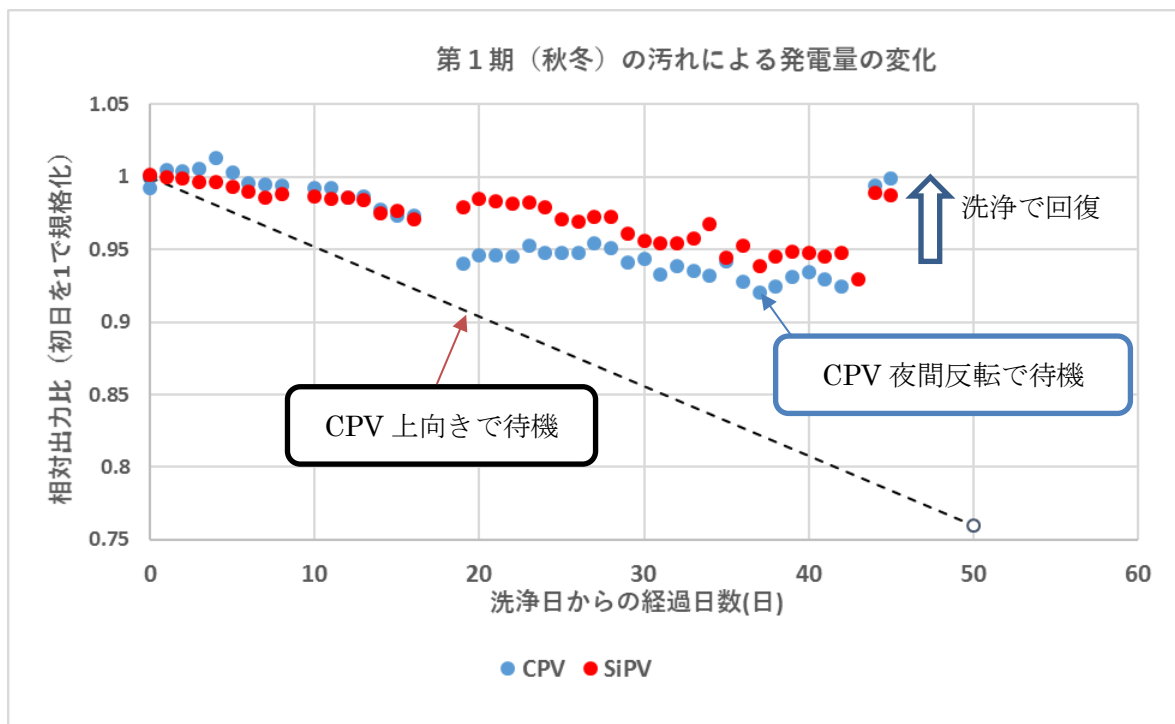


図 17：第1期（秋冬）汚れロスの実証実験結果

図 17 で示した「上向きで待機した場合の汚れロス」は、本来であれば、日中は太陽を追尾し、夜間に上向きで待機させた場合を比較対象とするべきではあるが、日中の太陽追尾中は朝夕の日の出時間以外はほぼ上を向いており、今回の評価結果に対して、大きな差はないと考える。

また、図 17 には CPV が夜間反転で稼働していた期間と同期間の固定 SiPV の汚れロスも示している。上記のとおり、固定 SiPV と同等の汚れロスとなっており、汚れの影響を受けやすい CPV でも夜間反転で稼働することで、固定 SiPV と同等まで汚れロスの影響を低減できることが本実証を通じて示された。

また、上記と同様に第3期の夏場に取得したデータからも同様の処理を行ったグラフを次頁に示す。初日から20日目前後までは第1期と同様な低下傾向を示しているが、それ以降に大幅にCPVの発電量が低下している。これは強風と雨の影響により、30日目から50日目にかけて、強風が吹く日が多かったためである。この際、CPVは安全のため、強制的に水平状態に移行し受光面

側を上向きにして待機する。待機の間、汚れの元になる砂が受光面上に堆積しているところに長時間の降雨があったため、付着した水と砂が混じり粘土状になって受光面に固着した。この汚れの影響により発電量が低下したと考えられる。(80日経過後に洗浄したところ、発電量は初期値まで回復した。)

一方で、固定 SiPV は傾斜角 20° で設置固定されているため、降雨があっても傾斜で水が流れ落ちやすい状況のため、汚れの影響をあまり受けなかったと推察される。

本データによって、CPV の汚れロス低減に非常に有用なデータを取得できた。夜間反転だけでなく、強風時の退避姿勢や降雨を事前予想するなど、現地気象状況に合わせた最適な追尾制御の開発が必要である知見を得られたことは、非常に意義の高い実証となった。

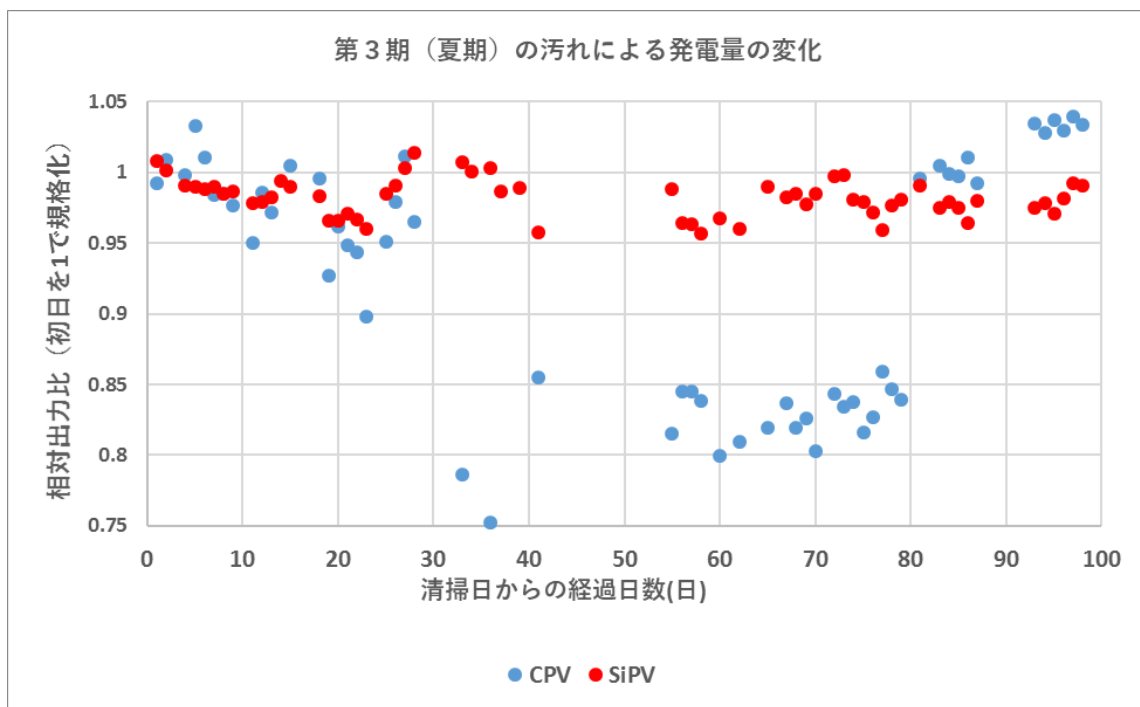


図 18 : 第 3 期 (夏期) 汚れロスの実証実験結果

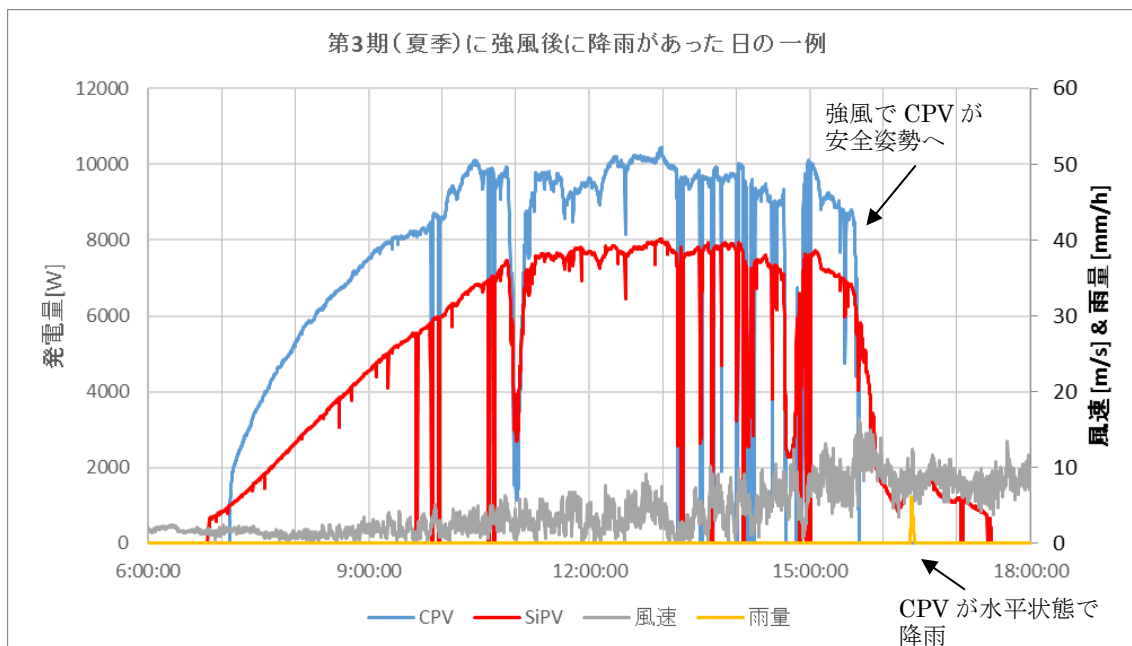


図 19：第 3 期（夏季）に強風後の降雨があった日の一例

また、本実証では CPV システムの現地に適した清掃方法についても検討を行った。
以下の表がその結果となる。

表 4：CPV 清掃方法の検討結果

	洗浄効果	作業効率	説明
①高所用 洗浄ブラシ	△	×	
②高圧洗浄機	×	○	
③高所作業台＋ ハンドクロス	○	△	高所作業台に乗って、人力で1枚1枚拭き上げる →洗浄効果が高いが、時間がかかりすぎる
④高所作業台＋ 高圧エアー	×	○	エアブロワーからの強風をあてる 粘土状になって付着した汚れに対して効果が低い
⑤高所作業台＋ ハンドワイパー	○	○	

当初準備していた①高所用の洗浄ブラシや②高圧洗浄機では期待した洗浄効果が得られなかったため、その他の方法を検討した。具体的には、本実証で投入した反転機構を利用し、高所作業台で受光面まで作業者が近づけることに着目し、作業者が行えるいくつかの洗浄方法における洗浄効果と作業効率を追加比較した。（上表の③、④、⑤）上記の結果、高所作業台で受光面に近づき、高層ビルの窓を洗浄する際のようにハンドワイパーを用いて洗浄を行う（⑤）ことで、洗浄効果が高く、かつ作業効率も良好であるという知見を得ることができた。

本実証で用いた反転機構付きの CPV システムが O&M におけるシステムの洗浄にも効果を発揮し、反転機構が当該地域における CPV システムの導入には大きな効果を発揮することが分かった。



図 20：実際の洗浄作業を現地作業員が行っている写真

(2) O&M の現地への移管

本実証で行ったメンテナンスメニューを下記に示す。実証開始後、現地にて作業員を雇い、実際に現地でメンテナンスを行った。下記作業に必要な人員は 2 名である。

大規模な発電システムを設置した場合の人員体制とメンテナンス項目の検討は今後進めていく。

本表には調査上・事業上の秘匿情報を含むため、本報告書
には掲載しない。

表 5 : メンテナンス項目一覧 (下 : 定期メンテナンス、次頁 : 清掃)

4. 本事業の成果

4.1 次期プロジェクトの創出

インフラ事業は現地官庁との良好な関係構築が必須であり、かつ高い現地調達率を求められる観点から、信頼できる現地パートナーの開拓・協業が必須である。本事業においては、相手国カウンターパートである MASEN が、モロッコにおける太陽光政策及び大型入札の企画・実施を担当している機関であり、MASEN との直接的な関係構築の第一歩である本事業の成功は、今後モロッコにおいて CPV の事業化を進めていく上で必須であった。

本事業では、技術実証の目的で、同国の再生可能エネルギーの導入主導機関である MASEN に対して、CPV 技術と実証実験の経過を紹介した。具体的には、CPV と Si PV の発電量実績値による高日射時の優位性、及び夜間反転保持による防汚効果を説明した。MASEN としては、追尾精度不足等による CPV の発電ロスを懸念していたが、本実証により、設計通りの発電量が達成されていることで理解が得られた。また O&M に関しては、砂漠地域における砂汚れによる発電ロスが MASEN の最大の関心事であった。本実証を通じて、夜間反転保持の防汚効果により清掃回数を減らせること、及び洗浄方法の実験により、清掃後に発電量が十分に回復する洗浄手法の最適化がなされたことを説明した。洗浄に関しては、小規模では本実証で用いた手作業による手法を用いることが洗浄品質、コスト、並びに地域雇用創出等の観点から優位であるとの理解が得られた。さらには、モロッコにおける CPV 組立工場の展開や追尾架台設置にかかる地元企業採用といった「現地化」促進についての計画を説明し、CPV が同国での太陽光エネルギー導入のみならず、モロッコの産業・雇用の創出にも寄与することについての認識が得られた。

これらの説明により、本事業期間内に MASEN はモロッコにおける CPV の事業展開ポテンシャルがあるとの認識に至った結果、2016 年 5 月、当社と MASEN の間で CPV1MW プラントの共同運用実証契約を締結し、COP22 期間中の同年 11 月 10 日に竣工した。竣工式では、MASEN 長官のバクリ氏、MAScIR CEO のブゼキリ氏等モロッコの政府関係者に加え、駐モロッコ日本国特命全権大使の黒川恒男氏、JICA モロッコ事務所所長の戸島氏らに参加いただき、CPV 技術およびビジネス展開構想の紹介を行った。また、COP22 ジャパンパビリオンにおいても、MASEN と共同で本事業および 1MW プラントの情報を発信した。本事業の技術実証に続き、発電実証となる 1MW プラントを活用し、モロッコにおける将来の量産製造に向けて、MAScIR を始め現地研究機関および現地サプライヤーとの協力関係を築くとともに、CPV プラントの安定的な運用およびメンテナンス手法を確立し、発電プラントとしての性能の優位性の実証を進めていく。

モロッコ政府は、2020 年までに 2000MW の太陽エネルギーを導入する方針である。MASEN は、導入技術の判断基準として価格を重視しているものの、CPV が将来的に Si PV と競合できるレベルまでコストダウンを図れるのであれば、太陽光産業及び雇用の創出が期待できるとの観点から、CPV 技術に注目している。当社としては、コストダウンの継続的な取り組み、モロッコ現地での工場展開計画、並びに設置済プラントの実証結果等について引き続き MASEN に対して説明・提案し、次期案件の創出を目指す。

2016年11月11日

住友電気工業株式会社

モロッコ王国での集光型太陽光発電（CPV）プラント 運用実証開始について

当社は、モロッコ王国太陽エネルギー庁(Moroccan Agency for Sustainable Energy 以下、MASEN)と実証契約を締結した「1MW 集光型太陽光発電（以下、CPV）プロジェクト」の設備が完成し、現地時間の11月10日に竣工式を執り行いました。

本年5月に公表しましたMASENとの実証契約に基づき、6月より建設を行っていた当社CPVを用いたメガワット級発電プラントが完成し、現地時間11月10日にモロッコ王国ワルザザート市で竣工式を行いましたことをご知らせいたします。

式典には、駐モロッコ日本国特命全権大使・黒川恒男様、モロッコ王国太陽エネルギー庁長官・ムスタファ・バクリ様をはじめ、両国政府関係者およびその他関係者、総勢100名超の参加を頂きました。



竣工式の様子



モロッコでのCPV発電プラント

当社は今回のメガワット級発電プラント運用実証開始を弾みとし、モロッコだけでなく中東諸国をはじめ世界各地の高日射地域でCPV事業の展開を進めていきます。

プロジェクト概要

発電設備	CPV 1MW
実施場所	モロッコ王国ワルザザート MASEN 太陽エネルギー発電プロジェクトサイト内の研究施設敷地
稼働日	2016年11月
実証期間	契約締結より5年間（2021年5月まで）

【御参考】

2016年5月9日 当社プレスリリース

・モロッコ王国太陽エネルギー庁と集光型太陽光発電（CPV）プラント運用実証契約を締結
<http://www.sei.co.jp/company/press/2016/05/prs034.html>

以上

SUMITOMO
ELECTRIC
GROUP

4.2 地元企業の発掘及び技術移管

モロッコでの本事業の展開に当たり、地元の雇用創出、コストダウン（関税、輸送費）、並びに短期間での事業化実現という迅速な対応を図る観点から、地元企業の発掘と技術移管は必須である。本事業では地元のEPC業者による追尾架台の当社基本設計の現地化、工事及び一部部材の調達を行った。また完工後のO&Mの手法の最適化を行い、地元企業に該作業の移管を行った。具体的には、地元EPC業者は基礎及び架台設計、さらに電気設計の現地コードへの適合性評価を行った。また、フェンス等の一般部材は現地調達とし、工事はワルザザトの地元作業員に対する現地指導により実施した。

将来的には以下の図に示すとおり、CPV特有のキー技術と設計を日本で行い、製造、調達、工事並びにO&Mについては現地移管していく方針である。特にCPVモジュールの組立に関しては、モロッコでの生産工場の立ち上げを行い、同国から周辺の高日射地域諸国に向けて輸出することを想定している。

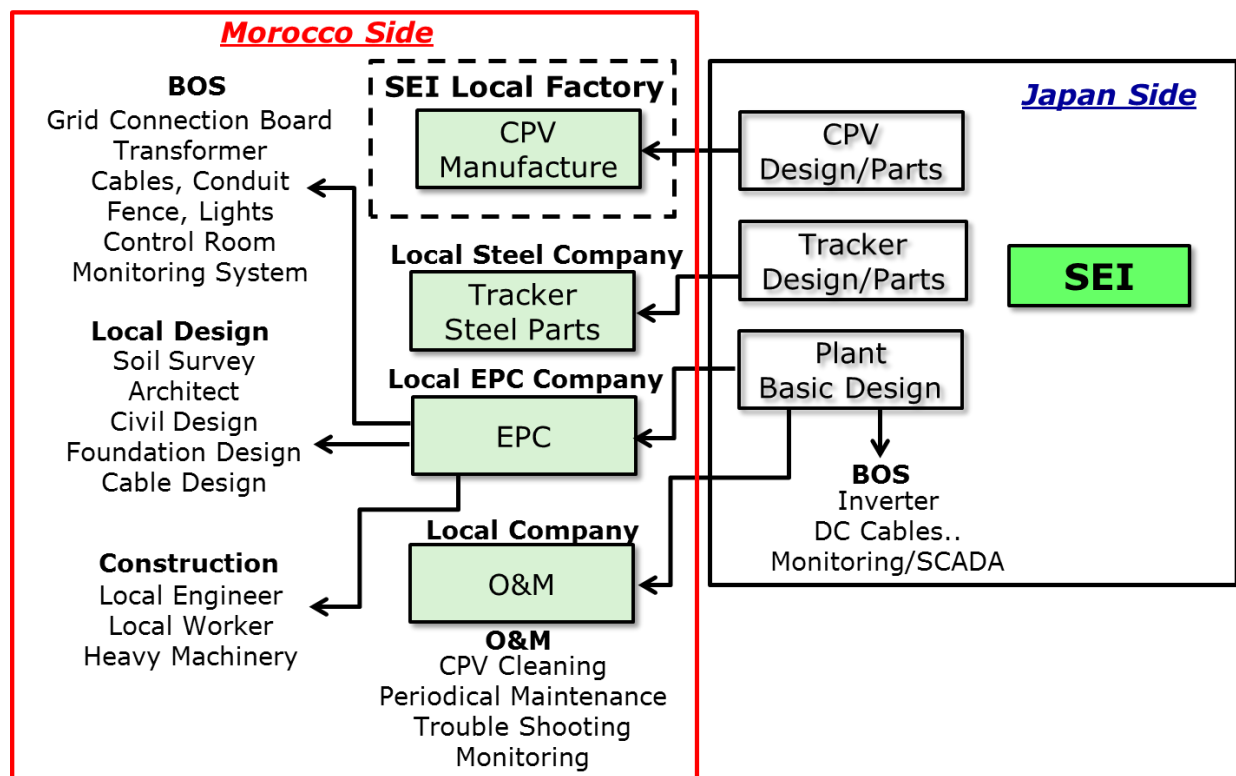


図 22 : CPV システムの現地化想定図

5. 今後の予定

5.1 今後の事業展開

モロッコ政府は、2020年までに2,000MW、2030年までに4,560MWの太陽エネルギー導入の指針を示しており、主な施策として、MASENによるIPP事業権入札、及びONEEによるEPC入札が実施、計画されているとともに、民間発電・売電事業の制度設計を進めている。例えば、MASENは現在NOOR Mideltプロジェクト第一フェーズ（約400MW）にて太陽エネルギー事業権の入札手続きを進めており、今後第二フェーズ（約400MW）の計画も予定している。また、ONEEはNoor Tafilaletプロジェクト（120MW）の太陽光発電システムにかかるEPC入札手続きを進めており、さらにはNoor Atlasプロジェクト（200MW）、及びNoor Arganaプロジェクト（200～225 MW）の実施も計画している。

当社は、前章で述べた1MW発電プラントの運用実証を弾みとして、モロッコにおいて事業展開を進めていく意向であるが、具体的には「MASEN・ONEEプロジェクトや民間会社向けのシステム機器販売」、「MASENプロジェクトへの参画（IPP事業者としての参画）」、「発電・売電事業」といったオプションが想定されるなかで、今後のCPV量産技術の開発状況、同国の法整備状況、並びに各プロジェクトの具体的な実施タイミングを注視しながら、事業参画の形態について、より詳細に検討していく予定である。

モロッコにおけるCPVモジュール組立工場の立ち上げは、持続可能な電力エネルギー社会の実現、及び同国の投資・雇用機会の創出に寄与するものであることから、当該国からの免税支援等を引き出せないか、モロッコ商工省等関連省庁とも協議を進めていきたい。

なお、本格事業化に向けたCPVの技術的な課題については、本事業サイトにおけるSiPVとの比較実証の継続、及び1MWプラントにおける実証を組み合わせながら、モロッコにおける将来の量産製造に向けて、MAScIRを始め現地研究機関および現地サプライヤーとの協力関係のもと、改良策を見出し、安定的な運用およびメンテナンス手法の確立を目指す。

中長期的には、モロッコを皮切りに、他のアフリカ諸国、中東諸国（特にモロッコと関係性が深いフランス語圏）をはじめ、世界各地の高日射地域への事業展開を進めていく意向である。

5.2 ODA事業との連携可能性

外務省「対モロッコ王国 国別援助方針（平成24年5月発表）」によれば、同国の「経済競争力の強化・持続的な経済成長」を支援するため、産業の基盤となるインフラの整備や人材育成を通じて、雇用創出や産業育成を促し、モロッコの経済競争力の強化及び経済成長に貢献することが掲げられている。特に、「我が国の太陽エネルギーや環境対策、資源管理などに関する技術を活用して、同国の持続的成長を支援する」とあり、当社がすすめるCPVプロジェクトは、上記の開発課題に対する包括的な解決策となるポテンシャルが十分にあると考えている。本事業において、1MW発電プラントの運用実証まで実現出来たことは今後のODA案件形成にも繋がりうる大きな成果であり、今後はODA事業における資金協力案件の形成も視野に入れて、MASENと継続検討していきたい。

5.3 残課題とアクションプラン

本事業終了後の予定として、現時点で認識している課題、及びその解決・達成のためのアクションプランは下表のとおりである。

表6：残課題とアクションプラン

項番	分類	課題	アクションプラン	想定時期
1	コスト	O&M コストの低減化	・ 架台の防汚機能の継続的な評価、及び年間を通じた洗浄 O&M コストの削減効果の検証	2017 年後半
2	品質	発電安定性の評価	・ 系統連系後の安定した電源品質における発電性能の継続的評価 ・ 発電性能向上につながるデータの継続的解析及びフィードバック	2017 年後半
3	事業化	モロッコにおける事業参画形態の検討	・ 現地法制度等にかかる事業環境調査 ・ 対象プロジェクトの検討	2017 年後半
4	事業化	モロッコ国プロジェクトへの参画	・ CPV プラントの安定的な O&M 手法の確立 ・ 発電プラントとしての性能優位性の実証 ・ MASEN との共同プロジェクトの検討	2018 年前半
5	事業化	モロッコにおける CPV モジュール組立工場の立ち上げ	・ 免税等優遇措置の可能性検証 ・ MAScIR をはじめとする現地研究機関及びサプライヤーとの協力関係の構築	2018 年後半
6	事業化	ODA 案件との連携可能性の継続検討	・ MASEN を含むモロッコ政府との継続対話	2019 年

以上