

モルディブ共和国
住宅・交通・環境省
モルディブエネルギー庁
モルディブ電力公社(STELCO)

モルディブ共和国
マレ首都圏における太陽光発電導入計画調査
ファイナルレポート
要約

平成 21 年 11 月
(2009 年)

独立行政法人国際協力機構
(JICA)

委託先
八千代エンジニアリング株式会社
四国電力株式会社

産業
CR (1)
09-087

序 文

日本国政府は、モルディブ国政府の要請に基づき、マレ首都圏における太陽光発電導入計画調査を実施することを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成 21 年 2 月から平成 21 年 11 月までの間、4 回にわたり八千代エンジニアリング株式会社国際事業本部の小川忠之氏を団長とし、同社と四国電力株式会社から構成される調査団を現地に派遣いたしました。

調査団は、モルディブ国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を戴いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 21 年 11 月

独立行政法人国際協力機構
理事 黒田 篤郎

独立行政法人
国際協力機構
理事 黒田 篤郎 殿

伝達文

ここに、モルディブ共和国マレ首都圏における太陽光発電導入計画調査報告書を提出できることを光栄に存じます。

八千代エンジニアリング株式会社および四国電力株式会社による調査団は、独立行政法人国際協力機構との業務実施契約に基づき、平成21年2月から平成21年11月にかけて、モルディブ国において4回の現地調査と、日本における国内調査を実施いたしました。

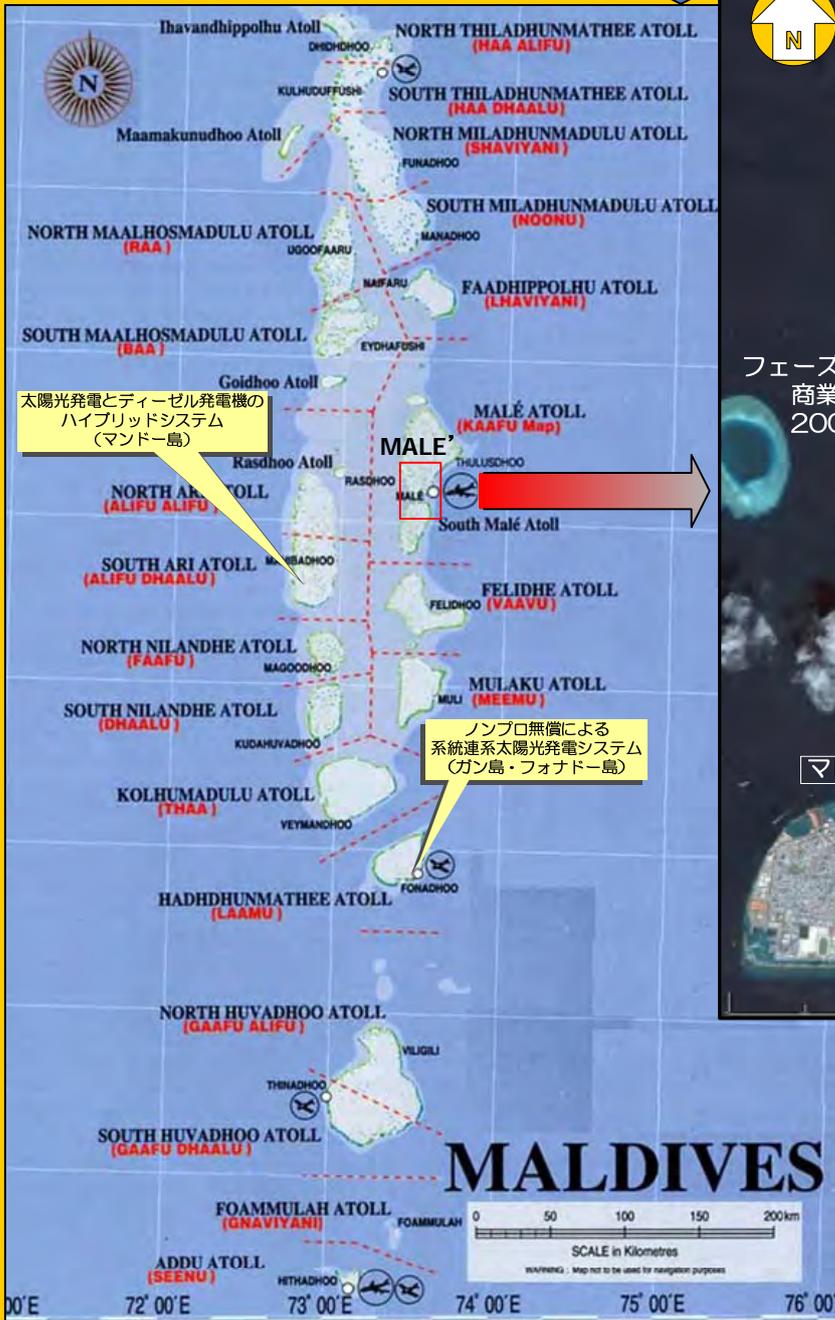
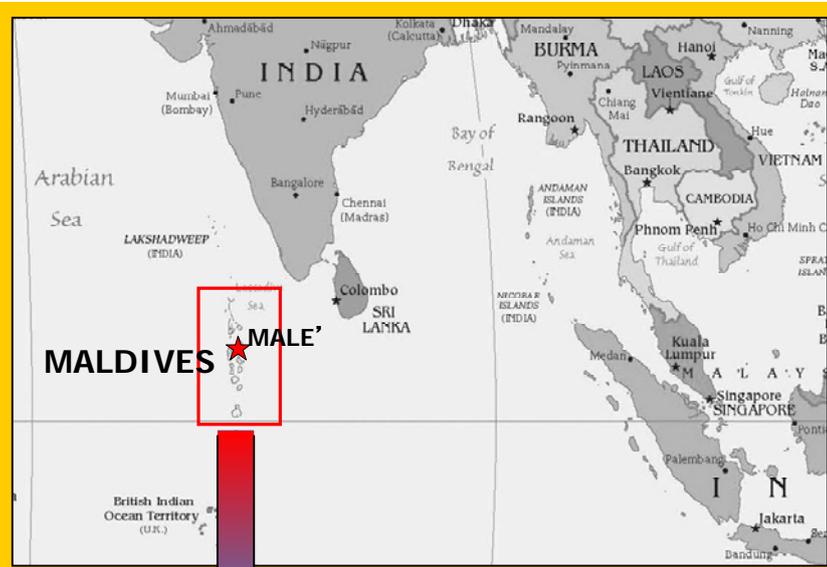
調査団は、モルディブ国政府及び関係機関の職員との十分な協議のもと、系統連系PVシステム導入のための技術的並びに経済・財務的フィージビリティ・スタディ調査、パイロット・プロジェクトの詳細設計、付加価値的施策の検討、連系PVシステム導入のための長期計画及び行動計画策定等を本報告書に取りまとめましたのでご報告いたします。また、本調査では報告書作成と併せて、モルディブ国カウンターパートへの技術移転、人材育成を重視し、技術者との共同作業により計画・設計能力の向上を図ると共に、日本国内の関連機関において、カウンターパート研修を実施致しました。

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

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

平成21年11月

モルディブ共和国
マレ首都圏における太陽光発電導入計画調査団
総括 小川 忠之



調査対象地域

「モ」国全図及び調査対象地域位置図

Male' Island



- Site name
- ① STELCO Building
 - ② STELCO Power House
 - ③ Dharubaaruge
 - ④ Velaanaage (Govt. Office)
 - ⑤ Giyaasudheen School
 - ⑥ Kalaafaanu School
 - ⑦ Maldives Center for Social Education
 - ⑧ Thaajuddeen School
 - ⑨ New Secondary School for Girls
 - ⑩ Indhira Gandhi Memorial Hospital (IGMH)
 - ⑪ Faculty of Engineering
 - ⑫ National Stadium
 - ⑬ Maleedhiya School
 - ⑭ Dharumavantha School
 - ⑮ Fen Building
 - ⑯ Water Tank
 - ⑰ Faculty Education
 - ⑱ Sports Grounds
 - ⑲ Male' South West Harbour Parking
 - ⑳ Grand Friday Mosque
 - ㉑ Jumhooree Maidhan
 - ㉒ President' s Office

Legend (凡例) ★ : Possible Location (ポテンシャルサイト)
 ■ : Pilot Project Site (パイロットプロジェクトサイト)

Possible Locations for PV Installations - "Male'"
 マレ島 連系PVシステム導入サイト位置図

Hulhumale' Island



LEGEND:

- Industrial
- Pure commercial
- Government/CN
- Mosque
- Embassy Government
- Mixed Residential
- Pure Residential
- Mixed
- Mixed Government
- Pure office
- Sports and Recreation
- Hotels
- Open Green spaces
- Industrial
- Market
- MSO
- Road/Post parking
- Market

- ① Lale International School
- ② Hulhumale Hospital
- ③ Ghaazee School
- ④ HDC



legend (凡例)

★ : Possible Location (ポテンシャルサイト)

Possible Locations for PV Installations - "Hulhumale' "

フルマレ島 連系PVシステム導入サイト位置図

マレ島、フルマレ島ポテンシャルサイト評価表

		Male'						
島		1	3	5	6	7	8	9
No.		1	3	5	6	7	8	9
サイト名		STELCO Building	Dharubaarage (Public Works Building)	Giyaasudheen School	Kalaataanu School	Maldives Center for Social Education	Thaajuddeen School	New Secondary School for Girls
設置場所		屋上	屋根	屋根、屋上	屋根	屋根	屋根	屋根
設置可能面積 [m ²]		620	2,420	520	950	1,180	1,460	1,440
PV容量 [kWp]		45	85	40	85	100	130	100
年間発電電力量 [kWh]		45,739	100,382	48,378	117,069	120,945	157,228	90,778
日陰の影響		無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
既存建物の補強		不要	検討要	不要	不要	不要	不要	不要
パワーコンディショナーの設置場所		十分	既設以外の電気室確保必要	十分	屋外への設置が必要	十分	(No.9と共用の屋外)問題なし	(No.8と共用の屋外)問題なし
ケーブルルート		問題なし (既設倉庫&ダクト)	問題なし	問題なし	問題なし (屋外配線)	問題なし (既設屋根裏&ダクト)	問題なし (屋外配線)	問題なし (屋外配線)
接続ファイダ		FD9	FD3	FD6	FD3	FD6	FD6	FD6
トランス No.		20B	60	70	61	62	23	23
トランス容量 [kVA]		500	630	150	100	200	1000	1000
サイト所有者		STELCO	MHTE	Ministry of Education	Ministry of Education	Ministry of Youth	Ministry of Education	Ministry of Education
所有者からの承諾								
運用保守		容易	普通	普通	普通	普通	普通	普通
保安		問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし
PR効果		中	中	中	中	高	中	中
費用								
サイト写真								
総評		パネル支持架台が必要 /基礎と防水処理が必要 /多くの職員がおり、運用保守が容易	既設建物は恒久設備でない /屋根面積が広い /竣工区が見つかからない	屋根材の交換が必要 /電気室のスペースが十分	屋根材の交換が必要	屋根材の交換が必要 /電気室の上部に十分なスペースあり	屋根面積が広い /屋根のコーティング改良が必要	屋根面積が広い
ランク		6	7	9	4	3	1	2

全サイト合計 = 1605 kW
上位6サイト合計 = 480 kW

マレ島、フルマレ島ポテンシャルサイト評価表

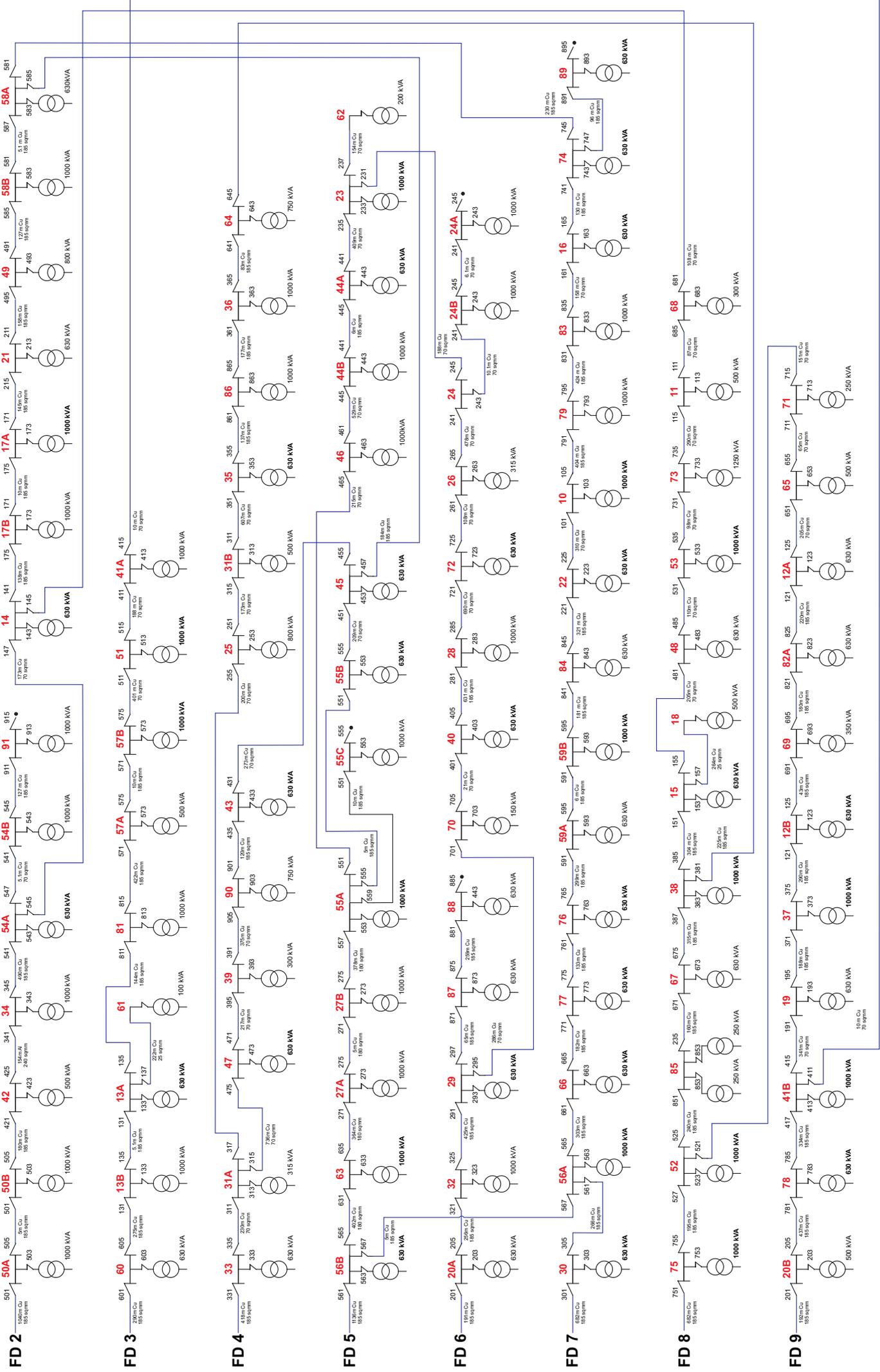
島		Male'					Huilumale'	
No.	11	12	17	20	21	22	2	
サイト名	Faculty of Engineering	National Stadium	Faculty of Education	Grand Friday Mosque	Jumhooree Maidhaan	President's Office	Hospital	
設置場所	屋根, 屋上	屋根	屋上	屋根	地上	屋根	屋根	
設置可能面積 [m ²]	1,130	2,970	98	2,000	2,860	1,158	1,130	
PV容量 [kWp]	80	400	10	30	60~160 (パネル配列方法による)	20	60	
年間発電電力量 [kWh]	96,756	483,780	12,094	36,283	196,986	24,189	72,567	
日陰の影響	無し	周辺建物とスタンドライイトからの影響の考慮が必要	新校舎の建設計画の確認が必要	塔とモスク上部からの日陰の影響あり	無し	東西屋根に周辺建物からの日陰の影響あり	無し	
既存建物の補強	検討要	必要	検討要	検討要		不要	検討要	
パワーコンディショナーの設置場所	十分	十分	十分	十分	設置場所確保が必要	設置場所確保が必要	十分	
ケーブルルートを	問題なし	問題なし (屋外配線)	問題なし	問題なし (屋外配線)	問題なし (屋外配線)	問題なし (既設天井裏&ダクト)	問題なし (既設天井裏&ダクト)	
接続ファイバー	FD4	FD9	FD7	FD2	FD2	FD8	FD2	
トランスNo.	25	41B	30	14	14	73	11	
トランス容量 [kVA]	800	1000	630	630	630	1250	315	
サイト所有者	Ministry of Education	Ministry of Youth	Ministry of Education	Ministry of Islamic Affairs	Male' Municipality or Ministry of Home	President Office	Ministry of Health	
所有者からの承諾					利害関係者ならびに一般市民の了解が必要			
運用保守	容易	普通	普通	普通	普通	普通	普通	
保安	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし	
PR効果	中	高	中	高	高 (一般市民との協議の必要性あり)	高	Middle	
費用		スタンド補強費用が高額						
サイト写真								
総評	屋根の形状が複雑なため、特殊な架台が必要	最もポテンシャルが大きい。補強費用が高額	RC屋上のみ利用可能	面積は広いもののほとんどの場所は周辺建物からの影の影響あり	PR効果が非常に高い。すべての利害関係者からの承認とリッフィングが困難	PR効果が高い。建設詳細工程検討が必要。屋根のコーティング改良が必要	現状マレ島と比較して電力供給に余裕があるため優先度が低い	
ランク	8	12	11	10	5	5	13	

MALE' MEDIUM VOLTAGE RINGMAIN DISTRIBUTION SYSTEM



マレ島中庄 (11 kV) 配電系統図

Power Distribution Department / State Electric Company Ltd



目 次

「モ」国全図及び調査対象地域	
連系 PV システム導入サイト位置図	
マレ島、フルマレ島ポテンシャルサイト評価表	
中圧 (11kV) 配電線ルート図 (マレ島)	
配電系統図 (マレ島)	
配電系統図 (フルマレ島)	
第 1 章 調査の背景と基本方針	1-1
1.1 調査の背景と目的	1-1
1.2 調査の基本方針	1-2
第 2 章 技術的フェージビリティ・スタディ調査	2-1
2.1 電力需要想定	2-1
2.1.1 マレ島	2-1
2.1.2 フルマレ島	2-2
2.2 日射量データ等の収集・分析	2-2
2.3 日射障害に関する検討・測定	2-4
2.4 連系 PV システム導入のためのポテンシャルサイトの選定	2-6
2.5 ディーゼル発電機の負荷即応性の評価	2-7
2.6 既存配電用変圧器の容量、配電系統に関する影響検討・測定	2-8
2.7 連系 PV システムの安定性評価手法	2-10
2.8 連系 PV システムの導入容量決定手法	2-14
2.9 連系 PV システムの標準設計・仕様	2-18
2.10 連系 PV システム設置ポテンシャルサイト並びに PV 設置容量	2-19
2.11 連系 PV システム導入による裨益効果	2-23
2.11.1 想定される発電電力量	2-23
2.11.2 ディーゼル燃料消費量の節減	2-25
2.11.3 CO ₂ 排出削減量	2-25
2.12 太陽電池の検討及び出力の評価	2-26
2.13 想定される連系 PV システムの導入形態	2-28
2.14 既存建築物に関する法制度 (建築法など)	2-32
2.15 建造物構造解析、建造物補強の概念設計	2-32
2.16 連系 PV システム導入のための概算事業費	2-34
2.16.1 積算条件	2-34
2.16.2 概算事業費	2-34
2.17 環境社会配慮の検討	2-35
2.17.1 「モ」国における環境社会配慮制度	2-35

2.17.2	環境社会配慮に関する機関	2-36
2.17.3	パイロットプロジェクト実施のための環境社会配慮	2-37
第 3 章	経済・財務的フィージビリティ調査	3-1
3.1	連携 PV システム導入のための経済・財務分析手法	3-1
3.2	前提条件の設定	3-1
3.2.1	システム、運営および維持管理に関する条件	3-1
3.2.2	連系 PV システムの価格予測	3-2
3.3	財務分析	3-3
3.3.1	前提条件	3-3
3.3.2	分析結果	3-3
3.4	経済分析	3-5
3.4.1	前提条件	3-5
3.4.2	分析結果	3-5
3.5	CDM 事業化による投資収益性への影響評価	3-5
3.5.1	CER 取引価格の動向	3-5
3.5.2	事業化のコスト	3-6
3.5.3	CDM 事業化による収益	3-7
3.6	投資資金計画の策定	3-7
第 4 章	パイロット・プロジェクトの詳細設計	4-1
4.1	パイロット・プロジェクトサイトの検討及び選定手法	4-1
4.2	パイロット・プロジェクトサイトの詳細設計手順	4-2
4.3	構造物補強のための詳細設計	4-3
4.4	詳細設計手法の技術移転	4-5
4.4.1	詳細設計技術移転のコンセプト	4-5
4.4.2	詳細設計技術移転の内容	4-5
4.4.3	詳細設計技術移転報告	4-5
4.5	連系 PV システム導入による裨益効果	4-6
4.5.1	想定される発電電力量	4-6
4.5.2	ディーゼル燃料消費量の節減	4-7
4.5.3	CO ₂ 排出削減量	4-7
第 5 章	連系 PV システムの普及促進に向けた提言	5-1
5.1	「モ」国の新エネルギー普及に係る法制度	5-1
5.2	普及促進政策・制度（インセンティブ措置）	5-2
5.2.1	普及促進政策の概要	5-2
5.2.2	「モ」国における普及促進政策（案）	5-4

5.2.3	連系 PV システムの普及促進政策・制度の今後の検討課題	5-10
5.3	連系 PV システム導入のための技術基準、ガイドライン等	5-11
5.4	連系 PV システム導入のための中長期計画	5-13
5.5	連系 PV システム導入のための行動計画	5-16
5.6	人材育成計画	5-18
5.6.1	カウンターパート機関等のキャパシティ・アセスメント	5-18
5.6.2	人材育成の方向性	5-19
5.6.3	人材育成計画	5-20
5.6.4	教育機関との連携	5-22

添付資料

添付資料 1	調査団員氏名、所属
添付資料 2	相手国関係者リスト
添付資料 3	調査実施の作業フロー

第 1 章 調査の背景と基本方針

1.1 調査の背景と目的

モルディブ共和国（以下、「モ」国と称す）は、インド及びスリランカ南西に位置する島嶼国で、約 1,190 の珊瑚礁の島々で構成されており、199 島に約 299 千人（2006 年国勢調査）の住民が居住している。その内、全人口の約 35%にあたる約 104 千人が首都機能を有し就業機会が多いマレ島に居住しているが、同島では人口集中による治安の悪化や、生活環境の低下が社会問題化している。「モ」国は、米国同時多発テロ発生の 2001 年に観光業が深刻な影響を受けたが、その後経済は順調に回復していた。しかしながら、2004 年 12 月に発生したインド洋大津波により、死者 82 名、行方不明者 26 名、全壊家屋約 2,000 戸等、特に護岸等のインフラが未整備の地方島において甚大な被害を受けた。津波による被害額は GDP の約 62%で、2005 年の GDP 成長率は-4.6%と落ち込んだが、その後 GDP の約 4 割を占める観光・漁業産業が回復し、GDP 成長率は 2006 年に 19.1%、2007 年は 6.6%を記録した。このため、マレ島では建設ラッシュとなり、また被害を受けた地方島の住民が、雇用機会や安全な生活を求めてマレ島へ流入するなど、人口集中が一層進むことになった。

「モ」国では、首都マレ島を含めた計 10 島で 100%政府出資の STELCO（モルディブ電力公社）が電力を供給しており、マレ島での発電電力量は全国（185,553MWh）の約 72%に達する（2006 年）。同島での電力需要は、年率 11%以上の高い伸び率が想定されており、今後 5～7 年で最大電力は発電設備容量の 2 倍以上に達すると予想されている。このため、STELCO ではディーゼル発電機の新規調達を計画しているが、発電所用地の限られるマレ島でこれ以上の拡張は困難な状況である。また、「モ」国では一次エネルギー需要の 80%以上、発電電力のほぼ全てをディーゼル燃料に依存しており、昨今のディーゼル価格の高騰（2007 年で 22%）により STELCO の財務状況は悪化し、国家としてのエネルギー・セキュリティ確保が危ぶまれている。

これら課題に対応するため、「モ」国政府はマレ島近海の浅瀬を浚渫して造成地（フルマレ島：総面積 7.85 km²）を建設し、マレ島住民の移住計画を含めた総合開発計画を実施している。同開発計画によると、住民の移転や商業地区、文教地区の建設、外国資本を投入しての観光地区等の建設が予定されており、今後はフルマレ島の電力需要が急速に増大すると予測される。

更に「モ」国は海拔平均 1m 程度の島嶼国であるため、気候変動による海面上昇の影響を最も受けやすい国の一つである。このため、同国政府は、2008～2013 年のマニフェストおよび戦略的な行動計画にて、今後 10 年以内でカーボンニュートラル国家を成し遂げるとしている。ディーゼル発電による温室効果ガス削減、並びにエネルギー・セキュリティ確保を図る計画である。

かかる状況下、「モ」国政府はマレ島及びフルマレ島における、中長期的な電力の安定供給を目的に、系統連系太陽光発電システム（以下「連系 PV システム」と称す）の導入、更にはエネルギー利用の効率化と気候変動対策を促進するため、我が国に開発調査を要請した。

本調査の目的は、マレ島並びにフルマレ島において、連系 PV システムを導入するために、技術的・経済財務的調査と分析を行い、導入に必要な諸条件を明らかにして実現可能性調査を行うと共に、連系 PV システム導入と適切な運用のために必要な法令・制度・規則、及び人材育成計画などについて検討し、中長期行動計画を策定することである。あわせて、5～6 箇所のポテンシャルサイトを対象に、連系 PV システム導入のための詳細設計調査を行い、調査を通して連系 PV システム導入に関して主要な役割を担う組織の能力強化を行う。

1.2 調査の基本方針

- (1) 本調査では、短期間で連系 PV システムのポテンシャルサイトを選定し、優先度の高いサイトについては詳細設計まで完了する必要がある。このため、調査団では入手可能なデータにより、巻頭図に示すとおり事前の太陽光発電設備計画・設計を進めており、カウンターパートとの共同作業によりポテンシャルサイトを確定次第、迅速に詳細設計を開始する。
- (2) 2008 年 10 月に実施された大統領選挙決選投票の結果、過去 30 年に亘り政権を維持したマウムーン・アブドル・ガユーム大統領が敗北し、野党モルディブ民主党のモハメド・ナシード氏が当選し、新大統領となった。このため、従来カウンターパート機関として想定されていた、環境・エネルギー・水省（Ministry of Environment, Energy and Water : MEEW）は再編され、建設・公共インフラ省（Ministry of Construction and Public Infrastructure : MCPI）環境・エネルギー・水省（Ministry of Environment, Energy and Water : MEEW）、運輸・通信省（Ministry of Transport and Communication : MTC）および住宅・都市開発省（Ministry of Housing and Urban Development : MHUD）と統合し、新たに住宅・交通・環境省（Ministry of Housing, Transport and Environment : MHTE）となった。このため、第一次現地調査においては、本開発調査の実施に至った背景を含め、調査方針、方法、スケジュール等を「モ」国側関係機関へ十分に説明し、円滑な調査の導入を図る。
- (3) 人口過密のマレ島では既に建築物が密集し、既存のビルや公共施設、スタジアム以外にも、周回遊歩道やバス停の屋根など、既存 11kV 配電系統に与える影響を考慮しつつ、可能な限り広い範囲から、連系 PV システムのポテンシャルサイトを選定する。他方、フルマレ島では現在計画されている公共／商業施設屋根の空きスペースなどを有効活用することで、経済性や設置後の運用面に配慮したサイト選定を行う。

第 2 章 技術的フィージビリティ・スタディ調査

2.1 電力需要想定

2.1.1 マレ島

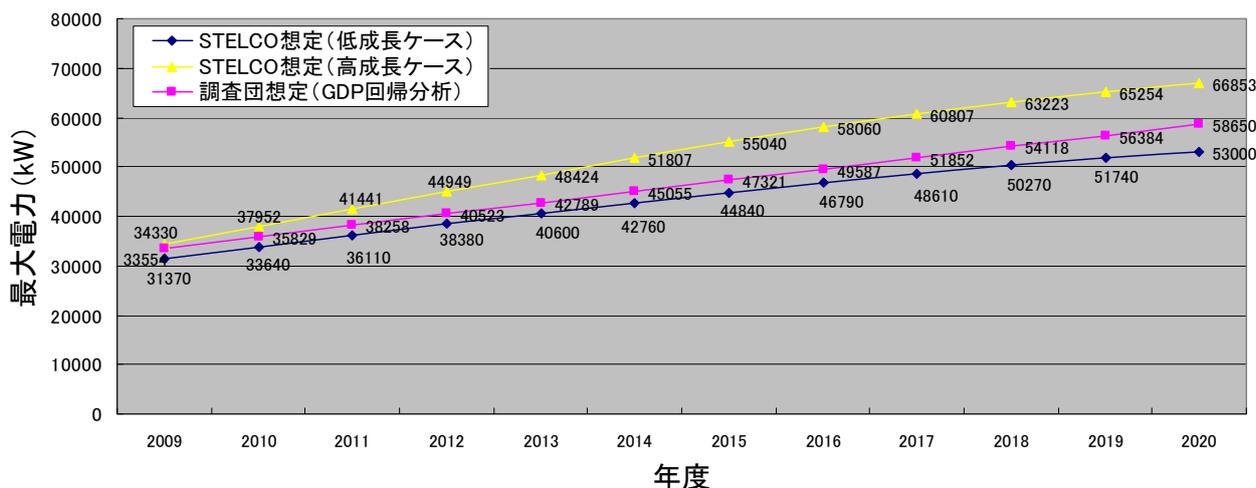
2004 年 12 月のスマトラ沖地震・津波による影響を受けた後、「モ」国では地方環礁島からマレ島への移住が進み、マレ島の電力需要は急増している。STELCO による公式の電力需要想定は、ドイツのコンサルタント（OLP 社）が 2004 年に実施した「Power Extension Study」が最新のものであり、マレ島とフルマレ島それぞれについて 2020 年までの最大電力想定を実施している。同調査結果によると、マレ島では高成長ケースと低成長ケースの 2 通りを想定しているが、低成長ケースの場合でも、2013 年には最大電力が発電設備の Firm Capacity（合計定格容量の 85% から最大発電機容量を除いた容量）を上回る状況が想定されており、発電設備の増強が至急必要となっている。このため、STELCO ではデンマーク DANIDA の支援により、2009 年から「Fourth Power System Development Project」を開始し、ディーゼル発電設備（8MW）2 台の調達・据付（発電設備基礎については 3 台分）工事を計画しており、2010 年に完了予定である。また、3 台目についても調達・据付を 2011 年に予定されている。

調査団では、1997 年から 2007 年間の GDP 実績値、並びに財務省による 2008 年から 2011 年までの GDP 予測値を第一パラメータ、2000 年から 2007 年までの人口統計を第二パラメータとして最小二乗法による回帰分析を行い、上記 STELCO による需要想定と比較検証した。一般的に、計量経済学的モデルでは、多くの推計式や定義式の集合体として構築されるため、モデルの妥当性の検証が必要である。本調査では、以下の指標を用いてモデルの妥当性の検証を行った。

決定係数 (R^2)（モデル全体の確度を表す）：0.85 以上

t 値（基準精度で評価した推定係数）：絶対値が 2 以上

最大電力について回帰分析を行った結果、決定係数 (R^2) = 0.979、t 値 = 2.57 となり、構築モデルの妥当性は検証された。

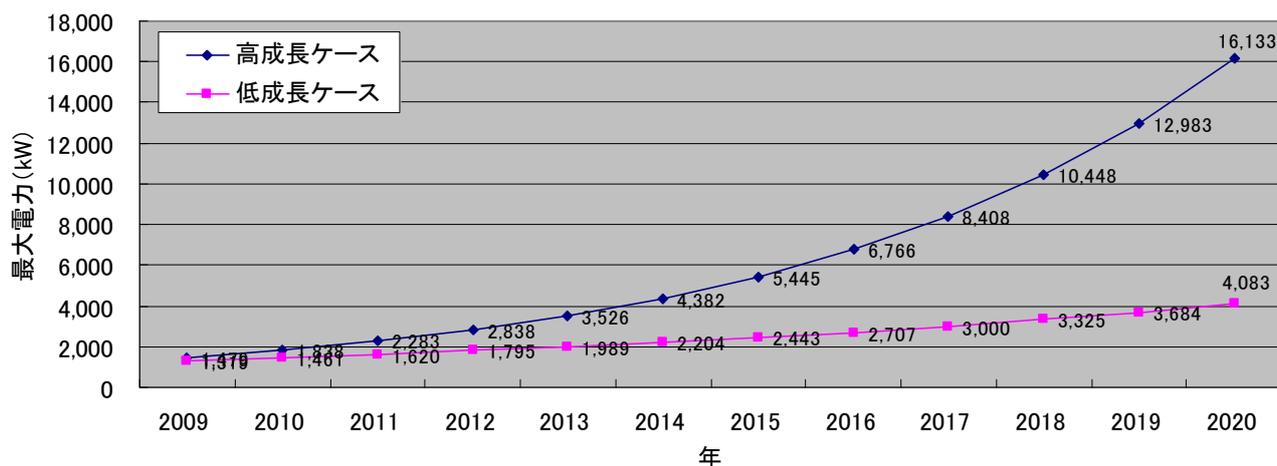


出所：調査団作成

図 2.1.1- 1 マレ島の電力需要想定（調査団想定との比較）

2.1.2 フルマレ島

フルマレ開発公社によると、2020年に合計60,000人を目標とする移住計画は新政権下でも継続しているものの、大規模な住宅地、工業・商業地区開発計画については将来動向が不透明である。このため、①移住計画による目標人口を達成するための人口増加率(24.3%)、②マレ島の1987年～2008年の最大電力伸び率(10.8%)を利用した、2ケースの需要想定を実施した。図2.1.2-1に示すとおり、高成長ケースでは2020年に約16MWの電力需要となり、これはSTELCOによる低成長ケースの結果に近い水準であることから、調査団想定による高成長ケースを元に今後詳細分析を継続する。



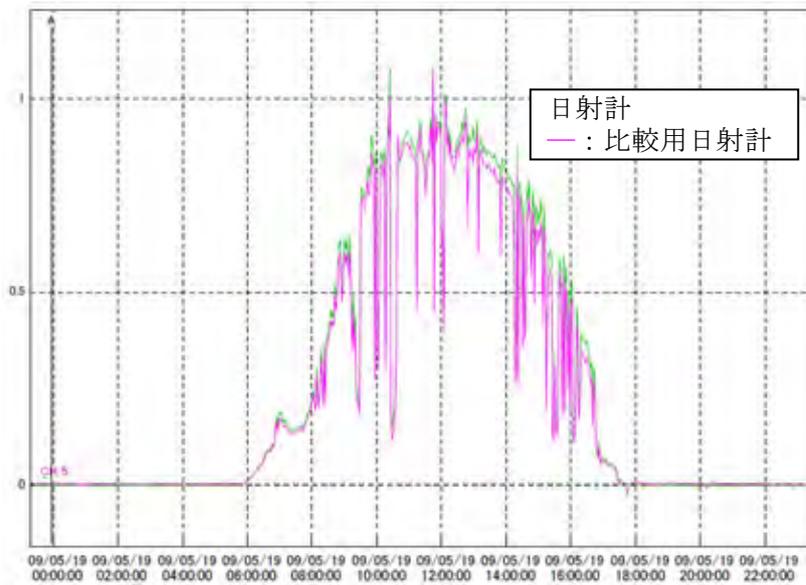
出所：調査団作成

図 2.1.2- 1 フルマレ島の電力需要想定（調査団想定）

2.2 日射量データ等の収集・分析

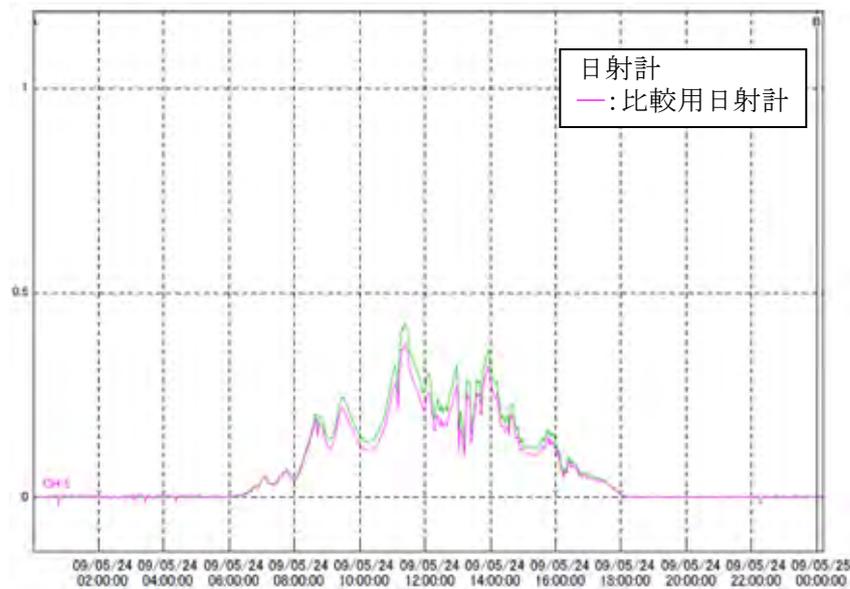
第1次現地調査において、気象庁(Department of Meteorology)を訪問し、空港島(Hulhule)で旧通信・科学技術省(MCST: Ministry of Communication Science & Technology)とUNDPが共同で2003年8月1日～2004年7月31日に計測したデータを取得し、月別日射量を算出した。

日射量観測はデータロガー故障のため現在は行っていないとのことであったが、日射計単体は動作していることを確認できた。これを受けて、第2次現地調査においてデータの信頼性確認のため、日本から持参した校正済み日射計を同じ場所に設置し、既存日射計からの計測データと比較を行った。図2.2-1、図2.2-2に示すように両日射計からほぼ同じデータが計測されており、データの信頼性を確認できたため、2003年8月1日～2004年7月31日の計測データを基本データとして採用することとした。



出所：調査団作成

図 2.2- 1 日射計精度確認結果（5月19日、晴天時）



出所：調査団作成

図 2.2- 2 日射計精度確認結果（5月24日、雨天時）

この全天日射量データを元に、日本気象協会調査に基づく NEDO の日射量推定方法を用いて、直達日射量と散乱日射量の 2 成分に分解し水平面日射量を計算した。この計算結果を連系 PV システムによる発電電力量の想定等設計パラメータとして活用することとする。

月	月平均水平面日射量 [kWh/m ² /day]
1	5.23
2	5.61
3	5.99
4	5.24
5	4.86
6	5.06
7	4.51
8	5.60
9	4.56
10	6.06
11	4.00
12	5.10
AVE	5.15

出所：調査団作成

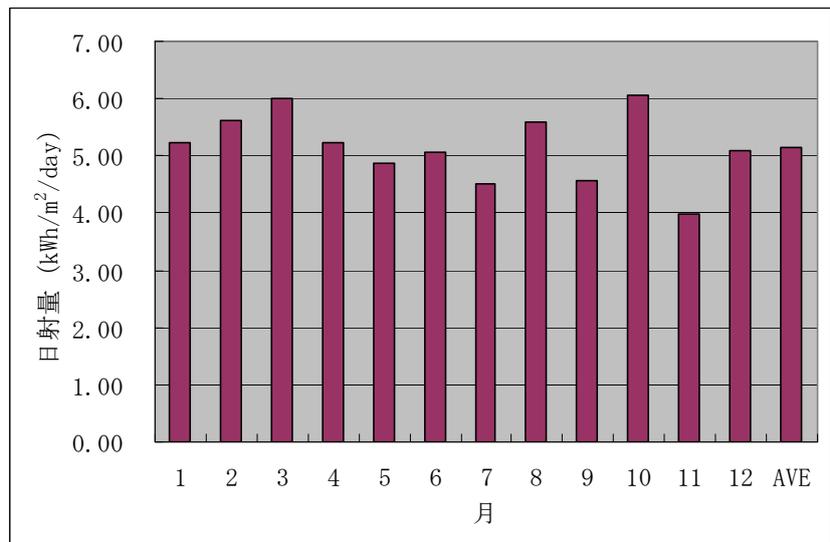
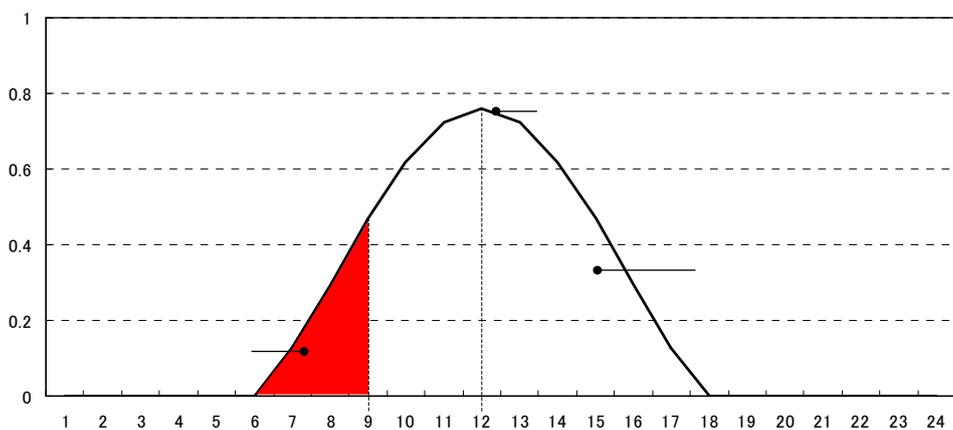


図 2.2- 3 本調査にて適用する水平面日射量データ

2.3 日射障害に関する検討・測定

日射エネルギーは直接地表に到達する直達日射と空気中のごみ、塵、雲等により散乱した散乱日射そして反射日射との合計により表される。ただし、反射日射については、地域の状況に影響されることから、本検討においては考慮しない事とする。

日射エネルギーは、直達日射成分と散乱日射成分の和として検討し、時間毎の日射強度を算出するため、日射強度の時間変化は以下の図に示すとおり近似される。



出所：調査団にて作成

図 2.3- 1 日射強度の時間変化

図 2.3-1 はある測定点において、6:00 から 9:00 まで影の影響があると仮定すれば、赤色部分が無効日射となり、日射量が 5.0 kWh/m²/day であれば、その日射量から無効日射を除外したものが日射量となることを示している。

表 2.3-1 は第一時調査時に入手した日射量を用いて、NEDO による太陽光発電利用システムの研究開発利用システムに関する調査研究（利用システム構築のための気象データの調査研究）報告

書を引用し調査団により算出した直達日射と散乱日射の値である。本検討においては、陰が最も長くなる冬至とし、1月分のデータとする。

表 2.3- 1 マレ島における1月の日射量

Month	Time	水平面直達	水平面散乱	水平面合計
1	1	0.000	0.000	0.000
1	2	0.000	0.000	0.000
1	3	0.000	0.000	0.000
1	4	0.000	0.000	0.000
1	5	0.000	0.000	0.000
1	6	0.000	0.000	0.000
1	7	0.063	0.064	0.127
1	8	0.165	0.130	0.295
1	9	0.281	0.188	0.469
1	10	0.389	0.231	0.620
1	11	0.465	0.259	0.724
1	12	0.492	0.268	0.760
1	13	0.465	0.259	0.724
1	14	0.389	0.231	0.620
1	15	0.281	0.188	0.469
1	16	0.165	0.130	0.295
1	17	0.063	0.064	0.127
1	18	0.000	0.000	0.000
1	19	0.000	0.000	0.000
1	20	0.000	0.000	0.000
1	21	0.000	0.000	0.000
1	22	0.000	0.000	0.000
1	23	0.000	0.000	0.000
1	24	0.000	0.000	0.000
				5.230

出所：調査団にて作成

対象地点のある時刻において陰が発生する場合、その時刻に受ける日射強度は、保守的に見積もって、直達日射と散乱日射が両方とも無いものと仮定する。対象地域において1月のAM6:00～AM8:00まで影の影響がある場合、AM6:00～7:00の日射量の合計0.127 kWh/m²、AM7:00～8:00の日射量の合計0.295 kWh/m²は影により日射エネルギーを得られないと仮定する。これにより、表2.3-1に記載している日射検討データから1月の平均日射量5.23 kWh/m²/dayとし、0.127 kWh/m²と0.295 kWh/m²の和を引いた値4.477 kWh/m²/dayが、発電に寄与する日射量となる。

これにより各サイトにおける想定される日射量は以下のとおりである。

表 2.3- 2 ポテンシャルサイト別 想定日射量

No	サイト名	日射量	無効日射量
マレ島			
1	STELCO Building	5.23 kWh/m ² /day	支柱により架台を3mの位置にするため影響なし
2	STELCO Power House	5.23 kWh/m ² /day	
3	Dharubaaruge	西側棟:5.103 kWh/m ² /day 東側棟:4.386 kWh/m ² /day	西側棟:影響時間帯17:00-18:00により0.127 kWh/m ² 東側棟:影響時間帯6:00-9:00,16:00-18:00により0.844 kWh/m ²
4	Velaanaage (Govt. Office)		
5	Giyaasudheen School	南校舎:5.23 kWh/m ² /day 体育館:4.808 kWh/m ² /day	影響時間帯6:00-8:10により0.422 kWh/m ²

6	Kalaafaanu School	南校舎:4.808 kwh/m2/day 北校舎:4.339 kwh/m2/day 体育館:3.719 kwh/m2/day	影響時間帯 16:30-18:00 により 0.422 kwh/m2 影響時間帯 15:30-18:00 により 0.891 kwh/m2 影響時間帯 14:50-18:00 により 1.511 kwh/m2
7	Maldives Center for Social Education	5.23 kwh/m2/day	
8	Thaajuddeen School	南校舎: 5.23 wh/m2/day 中間棟: 5.23 kwh/m2/day 北校舎:5.23 kwh/m2/day 体育館: 4.339 kwh/m2/day	影響時間帯 6:00-10:00 により 0.891 kwh/m2
9	New Secondary School for Girls	北校舎:5.23 kwh/m2/day 西校舎: 3.917 kwh/m2/day 体育館:4.386 kwh/m2/day	影響時間帯 6:00-11:00 により 1.313 kwh/m2 影響時間帯 6:00-8:00,15:30-18:00 により 0.844 kwh/m2
10	Indhira Gandhi Memorial Hospital (IGMH)	4.386 kwh/m2/day	影響時間帯 6:00-8:00,16:30-18:30 により 0.844 kwh/m2
11	Faculty of Engineering	5.23 kwh/m2/day	
12	National Stadium	東スタンド 5.23 kwh/m2/day 南スタンド 5.23 kwh/m2/day 西スタンド 3.719 kwh/m2/day	影響時間帯 14:00-18:30 と仮定。 1.511 kwh/m2
13	Majeedhiya School	5.23 kwh/m2/day	
14	Dharumavantha School	— (周辺障害物が多く除外)	
15	Fen Building	3.719 kwh/m2/day	影響時間帯 14:00-18:30 により 1.511 kwh/m2
16	Water Tank (MWSC)	5.23 kwh/m2/day	
17	Faculty Education	5.23 kwh/m2/day	
18	Sports Grounds	5.23 kwh/m2/day	
19	Male' South West Harbour Parking	5.23 kwh/m2/day	
20	Grand Friday Mosque	5.23 kwh/m2/day	
21	Jumhooree Maidhan	5.23 kwh/m2/day	
22	President's Office	5.23 kwh/m2/day	
フルマレ島			
1	Lale International School	5.23 kwh/m2/day	
2	Hulhumale Hospital	5.23 kwh/m2/day	
3	Ghaazee School	5.23 kwh/m2/day	
4	HDC	5.23 kwh/m2/day	
5	Housing Flats	5.23 kwh/m2/day	

出所：調査団作成

2.4 連系PVシステム導入のためのポテンシャルサイトの選定

本調査においてモルディブ側から表 2.4-1 に示すようにマレ島から 22 地点、フルマレ島から 5 地点の計 27 ヶ所を調査対象として推薦を受けた。その中から影の影響が懸念される個所や、民間設備、図面入手困難等、調査実施が難しい個所についてモルディブ側と協議のうえ削除し、最終的に 14 箇所をポテンシャルサイトとして技術的検討を進めることとした。

表 2.4-1 ポテンシャルサイト選定個所一覧

島	No.	サイト名	ポテンシャルサイト 選定個所	非選定理由
マレ島	1	STELCO Building	○	
	2	STELCO Power House	×	ディーゼル発電機からの排熱によるPVモジュールの効率低下が懸念される。
	3	Dharubaaruge (Public Works Building)	○	
	4	Velaanaag (Government Building)	×	工事中で図面入手が困難。
	5	Giyaasudheen School	○	
	6	Kalaafaanu School	○	
	7	Maldives Center for Social Education	○	
	8	Thaajuddeen School	○	
	9	New Secondary School for Girls	○	
	10	Indhira Gandhi Memorial Hospital (IGMH)	×	屋上の改修計画あり。
	11	Faculty of Engineering	○	
	12	National Stadium	○	
	13	Majeedhiya School	×	周辺樹木からの影の影響。
	14	Dharumayantha School	×	周辺ビル、樹木からの影の影響
	15	Fen Building	×	図面入手が困難。民間ビルのため。
	16	Male' Water Supply	×	定期点検のため水槽上部が利用不可。
	17	Faculty of Education	○	
	18	West Stadium	×	設備保安が懸念される。
	19	Male' South West Harbour Parking	×	民間設備のため。
	20	Grand Friday Mosque	○	
	21	Jumhooree Maidhaan	○	
	22	President's Office	○	
フルマレ島	1	Lale International School	×	私立学校のため。
	2	Hospital	○	
	3	Ghaazee School	×	屋根の一部が破損。
	4	HDC Building	×	屋根が曲面で設置困難。
	5	Housing Flats	×	周辺設備のスペースがない。 利害関係者が多い。

出所：調査団作成

2.5 ディーゼル発電機の負荷即応性の評価

マレ島、フルマレ島の STELCO ディーゼル発電所を調査し、既設ディーゼル発電機の制御方法を確認した。マレ島、フルマレ島ともディーゼル発電機の運転台数制御は運転員の個別判断により手動で実施している。マレ島については、SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System)によって需要状況をリアルタイム監視可能であるため、需要の変化に比較的即座に対応可能であるが、フルマレ島においては運転員が発電機総出力を1時間毎に巡視記録し、運転予備力が約20%以上となるように運転台数切り替えを行っているとのことであった。

また、ディーゼル発電機のガバナフリー台数は SCADA システムによって切替可能であるが、エンジン排気熱が550℃を超えるとトリップするように整定されているため、500℃到達でアラ-

ムをかけその後は出力固定運転に切り替える運用を行っている。ディーゼルガバナーの速度調定率は4%に整定されている。

STELCO の周波数自主管理基準は $50\text{Hz} \pm 1.0\%$ であり、上述のようにガバナーの速度調定率が4%であることからガバナフリー運転中の発電機定格容量の25.0% (1.0% / 4.0%) までの負荷変動は基準範囲内に抑えることが可能である。

2.6 既存配電用変圧器の容量、配電系統に関する影響検討・測定

2.4 項で選定されたポテンシャルサイトについて系統連系 PV システムの連系点となる既存配電用変圧器の容量、配電線容量を調査した。

連系点となる配電用変圧器の内、No. 61 Tr (Kalaafaanu School)と No. 62 Tr (Maldives Center for Social Education)については、それぞれの施設を所管している教育省 (Ministry of Education) と人材・青年・スポーツ省 (Ministry of Human Resources, Youth and Sports) が所有しており、それ以外の配電用変圧器はすべて STELCO の資産である。

2.10 項で後述するポテンシャルサイトにおける PV 設置容量検討結果と照らし合わせ、既存変圧器が過負荷となる個所はないことを確認した。ただし、現在 No.61 Tr では、高圧受電設備が故障しているため、所管の教育省の予算で修理を行う予定となっている。

表 2.6- 1 連系点配電用変圧器容量調査結果

島	サイト No.	サイト名	PV 容量 [kWp]	Feeder No.	配電用 Tr No.	Tr 容量 [kVA]	備考
マレ島	1	STELCO Building	45	FD9	20B	500	
	3	Dharubaaruge	85	FD3	60	630	
	5	Giyaasudheen School	40	FD6	70	150	
	6	Kalaafaanu School	85	FD3	61	100	高圧受電設備故障中
	7	Maldives Center for Social Education	100	FD6	62	200	
	8	Thaajuddeen School	130	FD6	23	1,000	
	9	New Secondary School for Girls	100	FD6	23	1,000	
	11	Faculty of Engineering	80	FD4	25	800	
	12	National Stadium	400	FD9	41B	1,000	
	17	Faculty of Education	10	FD7	30	630	
	20	Grand Friday Mosque	30	FD2	14	630	
	21	Jumhooree Maidhaan	60 - 160	FD2	14	630	
フルマレ島	22	President's Office	20	FD8	73	1250	
フルマレ島	2	Hospital	60	FD2	11	315	

出所：調査団作成

さらに、配電系統に関する影響として、STELCO から入手した各配電用変圧器の需要データ、線路インピーダンスデータを基に電圧潮流シミュレーション計算を行った。太陽光からの逆潮流発生時の電圧過昇の有無を確認するため需要データとしては最低負荷、太陽光発電出力は力率1の定格出力を各連系点に設置した条件で計算した。発電所母線電圧は STELCO への聞き取りの結果、定格電圧 11kV の発電機の AVR(Automatic Voltage Regulator)、定格電圧 400V の発電機用の昇圧トランスも中間タップ (固定) であり 11kV とした。

すべてのシミュレーション結果が基準電圧管理範囲内に入っており、PV 連系による配電線への

影響は問題ないことが確認できた。この結果はPV連系容量が小さいことにも起因するが、「モ」国マレ、フルマレ島の配電系統が、狭小な島内に網の目のように張り巡らされておりケーブル距離も短く、さらに配電線増強（太線化）工事も行き届いているという特徴によるところが大きい。さらに調査開始前に抽出していた既存配電線へのPV連系による問題点の調査結果は、表2.6-2に示すとおりである。MHTE、MEA及びSTELCOでは、同表に示された問題点の検討方法に関わるノウハウを持ち合わせていないため、これら課題に関する技術移転を今後も継続的に実施していく必要がある。

表 2.6- 2 系統連系 PV による既存配電線への影響

分類	No	問題点	問題点の概要と現地での調査内容	調査結果
電力品質	1	逆潮流による電圧逸脱	PV設備から変電所に向けての逆潮流がある場合、連系点付近の系統電圧が上昇する可能性があるため、既設配電線容量と負荷状況を調査し逆潮流発生の有無を確認する必要がある。	前述のPV連系後の電圧潮流シミュレーション結果により、電圧逸脱は発生しないことが確認された。
	2	逆潮流による電圧調整機器の不正動作	配電線に電圧調整機器が設置されている場合、潮流方向が逆になることでタップ制御が逆方向となり、電圧を悪化させる可能性がある。モ国では電圧調整機器は使用されていないため調査は確認のみとする。	「モ」国では電圧調整器は設置されていない。
	3	PVシステム一斉脱落（解列）時の電圧変動	PV出力が大きい状態で外乱等により一斉脱落した場合、基準電圧範囲を逸脱する可能性があるため、導入限界量調査とその現象について技術移転する。	前述のPV連系後の電圧潮流シミュレーション結果により、電圧逸脱は発生しないことが確認された。
	4	PVシステム並列時の電圧低下	PVインバータが系統に並列した場合、突入電流により電圧低下を引き起こすケースがあり、ソフトスタート機能などインバータに付随すべき機能要件について技術移転を行う。	系統連系インバータにソフトスタート機能を実装する。
	5	フリッカ的な電圧変動	日射量の急激な変化により、フリッカ的な電圧変動が発生する場合があるため、導入限界量調査とその現象について技術移転する。	配電線太線化が十分行き届いているため問題なし。導入前後の電源品質変化の検証が必要。
	6	単相システムによる電圧不平衡	一般家庭用等の小容量系統インバータは単相システムであるが、いずれかの相に偏って連系された場合、三相不平衡の発生により等価逆相電流が流れ需要家設備に悪影響を与えることがあるため、その現象について技術移転する。	原則として三相連系とする。小容量インバータで単相連系を許容する場合は、連系相の平衡化、負荷の相振り替え等を行う。
	7	PV出力変動による系統周波数変動	PV出力変動幅が系統の周波数調整範囲を超過する場合、変動が発生し、需要家設備に悪影響を与えることがあるため、既設系統の許容負荷変動範囲を調査し、それに基づき導入可能限界量検討方法について技術移転する。	ディーゼル発電機のガバナフリー運転台数の増加で対応。PV出力平滑化のための蓄電池設備の設置は蓄電池廃棄処分の問題があるため考慮しない。
	8	インバータ電源による高調波の発生	インバータの系統連系により、高調波が発生し、需要家側設備に悪影響を与えることがあるため、系統連系インバータの仕様要件として高調波含有率を規定する必要がある。	「モ」国には現行の基準、規制なし。系統連系ガイドライン等による規定が必要。国内製品はないため認証制度は不要。
	9	直流流出分の増大	インバータ整流の歪率が大きい場合、系統電力の直流分含有率が増加し、遮断器の短絡容量の見直し等が必要となるため、系統連系インバータの仕様要件として整流方法や歪率について規定する必要がある。	同上
	10	事故時の同期安定度の低下	事故時のPV大量同時脱落等により、発電機の同期安定度が低下し、ディーゼル発電機の脱調等を引き起こす可能性があるため、導入限界量調査時に系統安定度面の検討も実施し、その現象について技術移転する。	過渡現象については、電力系統安定度解析を実施する必要があるが、本調査内では既設ディーゼル発電機の過渡定数が入手できなかったため未実施。
保護	1	単独運転の防止	単独系統内負荷への分散電源のみによる電力供給の防止（公衆感電防止）方法を調査する。	単独運転検出機能装備を要件とする。（受動方式、能動方式）
	2	単独運転検出機能の低下	能動方式の外乱信号の相互干渉による検出感度の低下。	受動方式、能動方式から各1方式以上装備を要件とする。
	3	地絡事故時の保護 高低圧混触時地絡保護	高圧連系の場合、地絡保護リレーにより地絡事故検出可能であるが、低圧連系の場合、地絡事故を直接検出できないため対応を検討する。	高圧連系時は地絡過電圧リレーを標準装備とする。低圧連系の場合は配電線側遮断器解放後の単独運転検出機能等で保護できることを条件に同リレーを省略可能とする。

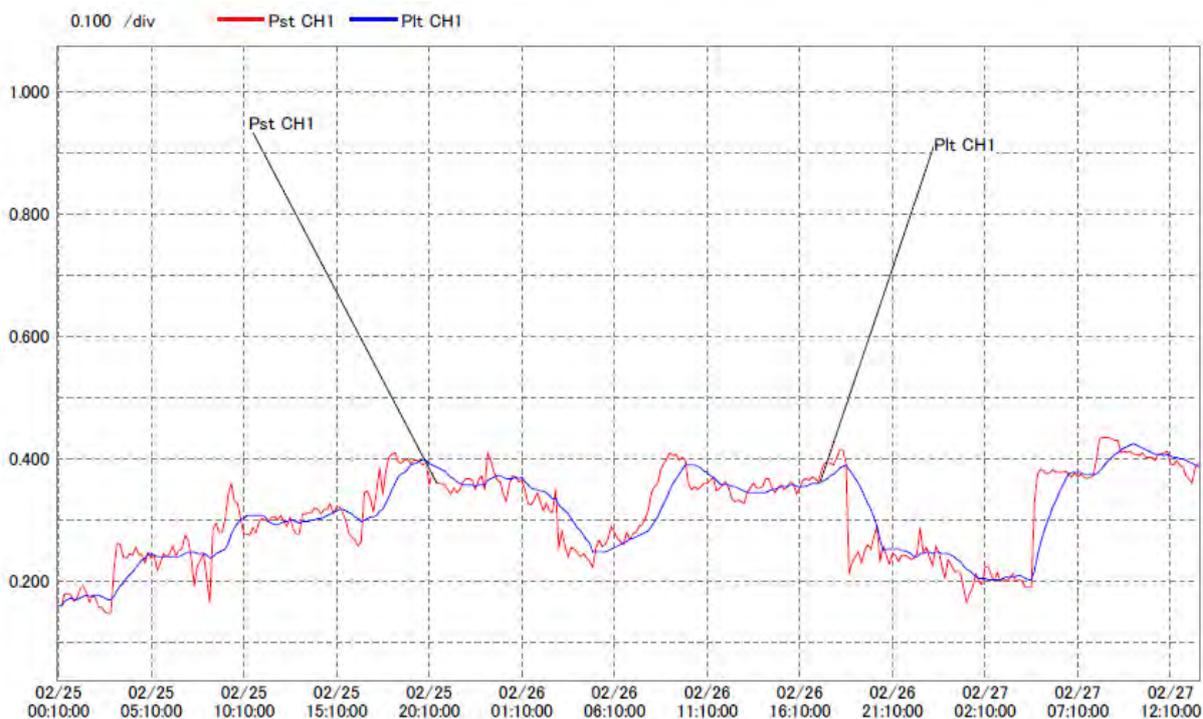
分類	No	問題点	問題点の概要と現地での調査内容	調査結果
	4	短絡事故時の保護① 短絡容量の増大	分散型電源からも事故電流が供給されるため、短絡電流が増大し設備の故障へつながるため対策を検討する	既存配電線しゃ断器の短絡容量が短絡電流に対して十分余裕があることを確認。
	5	短絡事故時の保護② 末端短絡事故の検出困難化	末端事故時、分散型電源より事故電流が供給されるため、上位系統からの短絡電流が減少し、事故検出が困難となるため、その対策を検討する。	既設配電線用リレーのしゃ断時限より、系統連系インバータの過電流保護ゲートオフを高速とする。
	6	短絡事故時の保護③ 回込み電流の健全回線誤遮断	他回線での事故時、健全回線の分散型電源からの回り込み電流による健全回線の遮断することが懸念。現地の変電所フィーダ構成およびリレーを確認する。	既設配電線用リレーのしゃ断時限より系統連系インバータの過電流保護ゲートオフを高速とする。
運用管理	1	事故時の自動融通の不具合	配電線監視制御システム等に自動融通機能が付加されている場合、融通側配電線で過負荷や電圧逸脱が発生する可能性があり、現状のシステムを調査し、その現象について技術移転する。	事故時の自動融通切り替え機能なし。
	2	自動再開路の不具合	配電線に事故時の自動再開路機能が付加されている場合、同機能と分散型電源の再並列時限の協調がとれないことがあるため、その対策を検討する。	既設配電線には自動再開路機能がないことを確認。 PV 再開路条件に受電電圧確認を加えることを要件とする。
	3	配電線切替の 配電設備の過負荷	分散型電源の出力監視ができず潮流予測ができないため、切替時に過負荷が発生する可能性があるため、配電会社の切替運転や監視制御を確認する。	・PV 出力を監視できる監視装置配備を検討する。 ・PV 出力を加味したデマンド管理方法の見直しが必要。
	4	無停電系統切替の困難化	分散型電源の連系量の不平衡によりループ点の位相差が拡大し、横流の増大、電圧位相の変化大によるインバータ電源の脱落等が発生する。 大量の PV が連系された現象として現地へ技術移転する。	ループ切替はすべて停電切り替えである。

出所：調査団による

2.7 連系PVシステムの安定性評価手法

連系 PV システムの安定性評価のため、日本から持参した電源品質アナライザを用いて、既存配電線の電源品質測定を行った。測定点としてはポテンシャルサイトの中から、最大容量の連系 PV が想定されるナショナルスタジアムを選定した。以下に測定結果を示す。

フリッカの測定結果に関しては、IEC 基準値 $Pst < 1$ 、 $Plt < 0.65$ を満たしていることが確認された。



Pst : 短期間フリッカ値 (10分間で測定したフリッカ特性値)
 Pstは統計的に求められた指数であり、Pst=1とは、50%の人が不快と思う白熱電球のちらつきが発生する電圧変動を示す。
Plt : 長期間フリッカ値 (2時間で測定したフリッカ特性値)

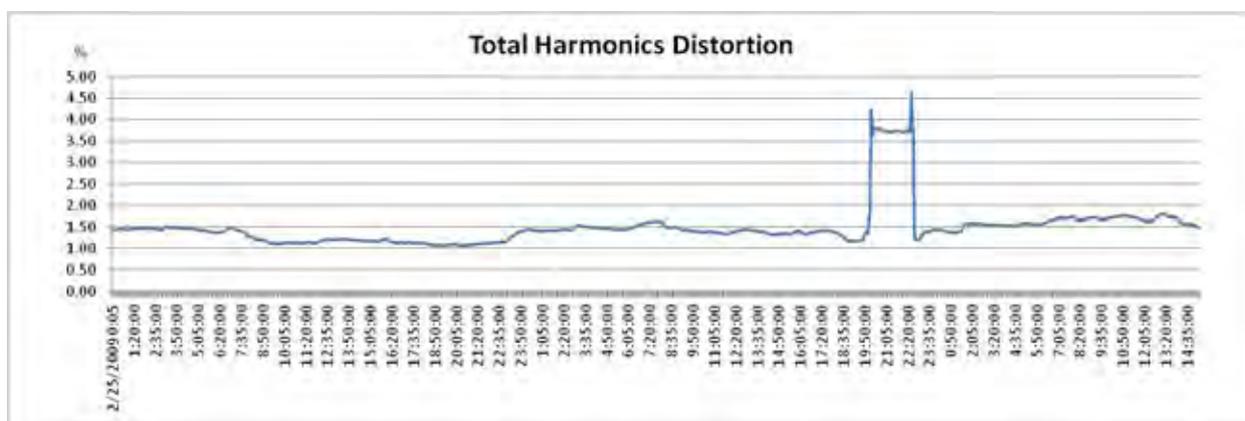
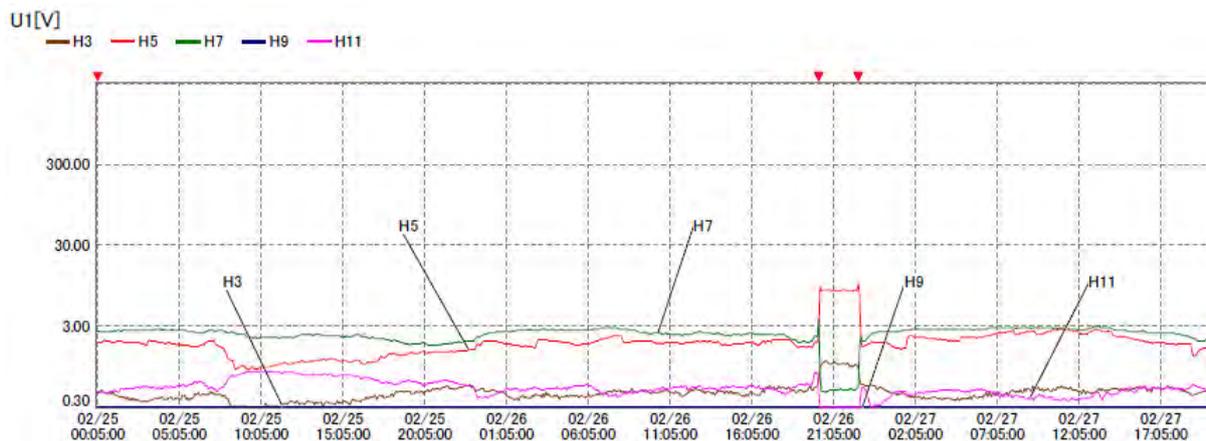
出所：調査団作成

図 2.7- 1 IEC フリッカ測定結果 (Pst, Plt) [測定箇所:ナショナルスタジアム配電用 Tr 低圧側]

高調波については、日本の高調波抑制対策ガイドラインでは、特別高圧需要家に対する環境目標レベルが各次電圧歪率 $\leq 3\%$ 、総合電圧歪率 $\leq 3\%$ と規定されているが、測定の結果、スタジアム照明が点灯した20:08~22:33の間で高調波が発生し第5次高調波が最大で4.62%(実効値10.55V)、総合電圧歪率も最大4.64%となり基準値を超えていることを確認した。

高調波の抑制対策は、負荷側での対策(高調波フィルタの使用、インバータの多重化や高調波のスイッチングによる発生高調波の低減)が求められるものの、本調査の結果、現在「モ」国には明確な電力品質基準がないことを確認しており、コンデンサをはじめとする電力機器に障害を生じさせる可能性があるため、今後規制や基準の検討が必要である。

したがって、系統連系インバータへの要件としては、日本の高調波抑制対策ガイドラインに則った仕様を要求することとする。



出所：調査団作成

図 2.7-2 高調波電圧歪率測定結果 (3 次～11 次) [測定箇所:ナショナルスタジアム配電用 Tr 低圧側]

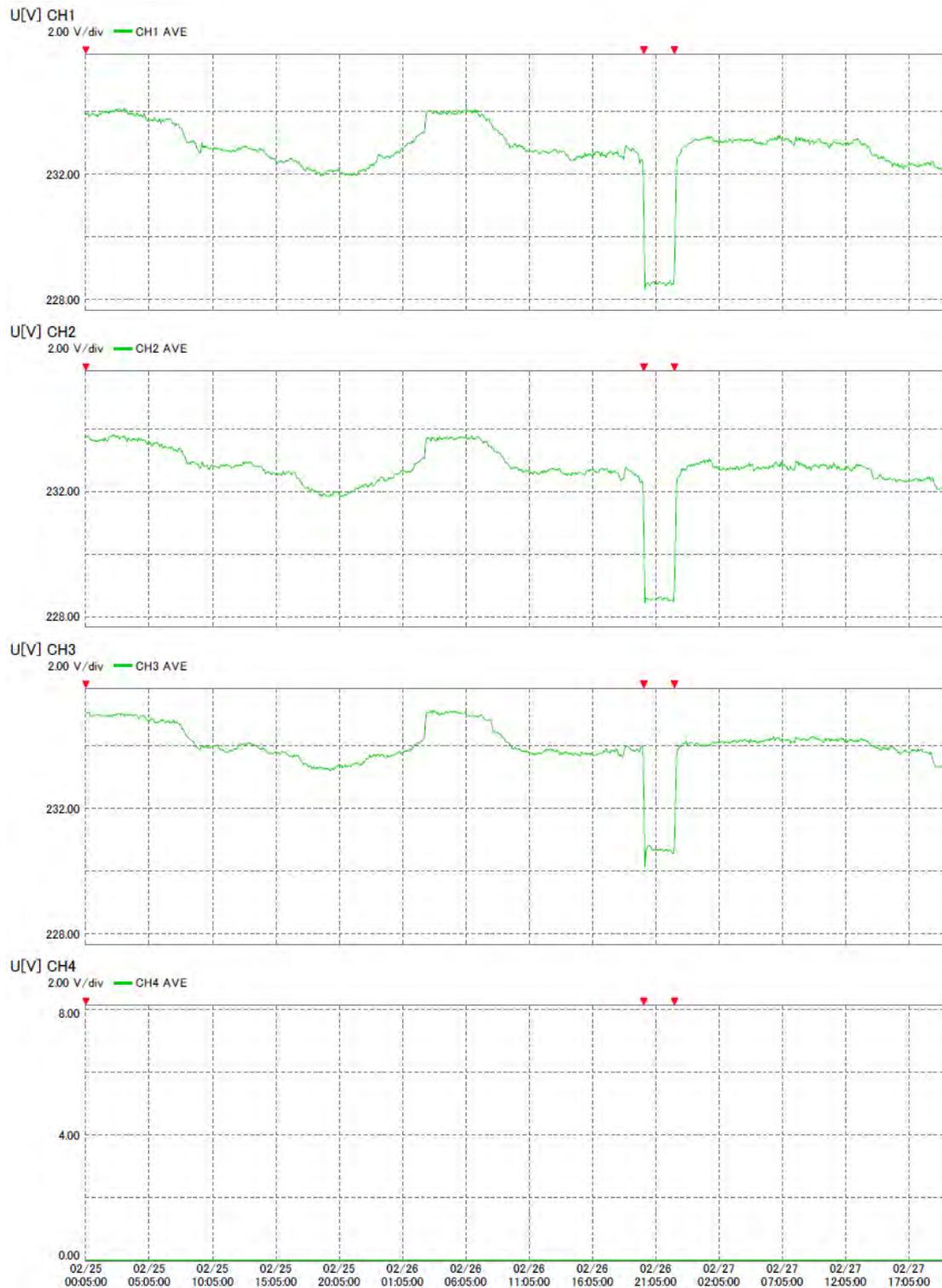
周波数変動については、49.96～50.06Hz と 50Hz±0.1%の非常に精度の高い範囲に保たれており、PV 連系インバータの周波数変動検出による停止の可能性は低いと想定できる。



出所：調査団作成

図 2.7-3 周波数変動測定結果 [測定箇所:ナショナルスタジアム配電用 Tr 低圧側]

電圧変動に関しては、スタジアム照明点灯時の電圧低下が見られるものの、変動範囲は 228.3 ~234.1V であり、公称電圧 $230 \pm 2\%$ 以内 (STELCO 基準公称電圧 $\pm 2.5\%$) の範囲に収まっており、こちらも PV 連系になんら問題ないことが確認できた。



出所：調査団作成

図 2.7-4 電圧変動測定結果 [測定箇所: ナショナルスタジアム配電用 Tr 低圧側]

また、連系 PV システムの運転状態監視と安定性評価のため SCADA システムへの PV 運転情報 (DC 電圧・電流、AC 電圧・電流・周波数、有効電力、無効電力、日射強度等) の取り込みが可能かどうかを調査した。

SCADA システムは現在マレ島の 98 箇所の内、40 箇所の変電所と 7 台のディーゼル発電所を無線で遠隔監視制御できるように構成されているが、既に PLC (Programmable Logic Controller) の最大容量近くに達しており、新たに監視局を追加することが難しいことから、PV システムの運転状況を常時監視記録するデータロガー等を設置することが好ましい。

2.8 連系PVシステムの導入容量決定手法

「モ」国に技術的に導入可能な連系 PV システム容量決定手法としては、電源品質確保の観点から

ステップ 1：電力系統運用面からの制約の検討

ステップ 2：配電線運用面からの制約の検討

の 2 つのステップで導入可能量を検討し決定する必要がある。以下に各ステップの検討結果を示す。

【ステップ 1】電力系統運用面からの制約の検討

2.5 項で述べたディーゼル発電機の負荷即応性の評価結果から、ガバナフリー運転している時の許容出力変動幅は、周波数変動の自主管理基準が 1%、ガバナーの速度調定率が 4% であることから、2009 年のマレ島を例に示すと

$$41.96\text{MW} * (1.0\% / 4.0\%) = \text{約 } 16.78\text{MW}$$

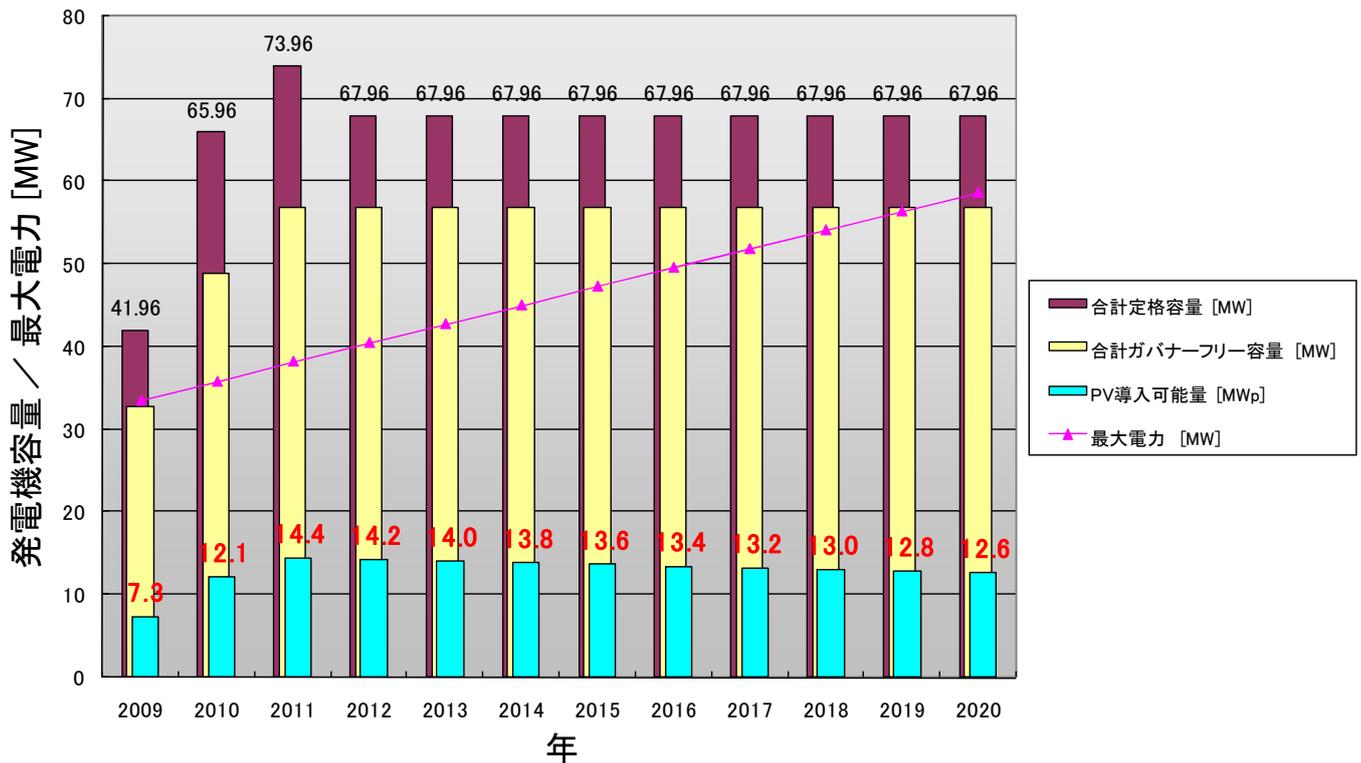
となる。

$$\text{太陽光発電出力の変動量 (kW)} + \text{需要の変動量 (kW)} \leq \text{ガバナフリー時の許容出力変動幅 (kW)}$$

の関係が成り立てばよいので、太陽光発電出力の許容変動量は、需要の変動量を STELCO の運用実績から最大電力の 7% 程度と想定すると

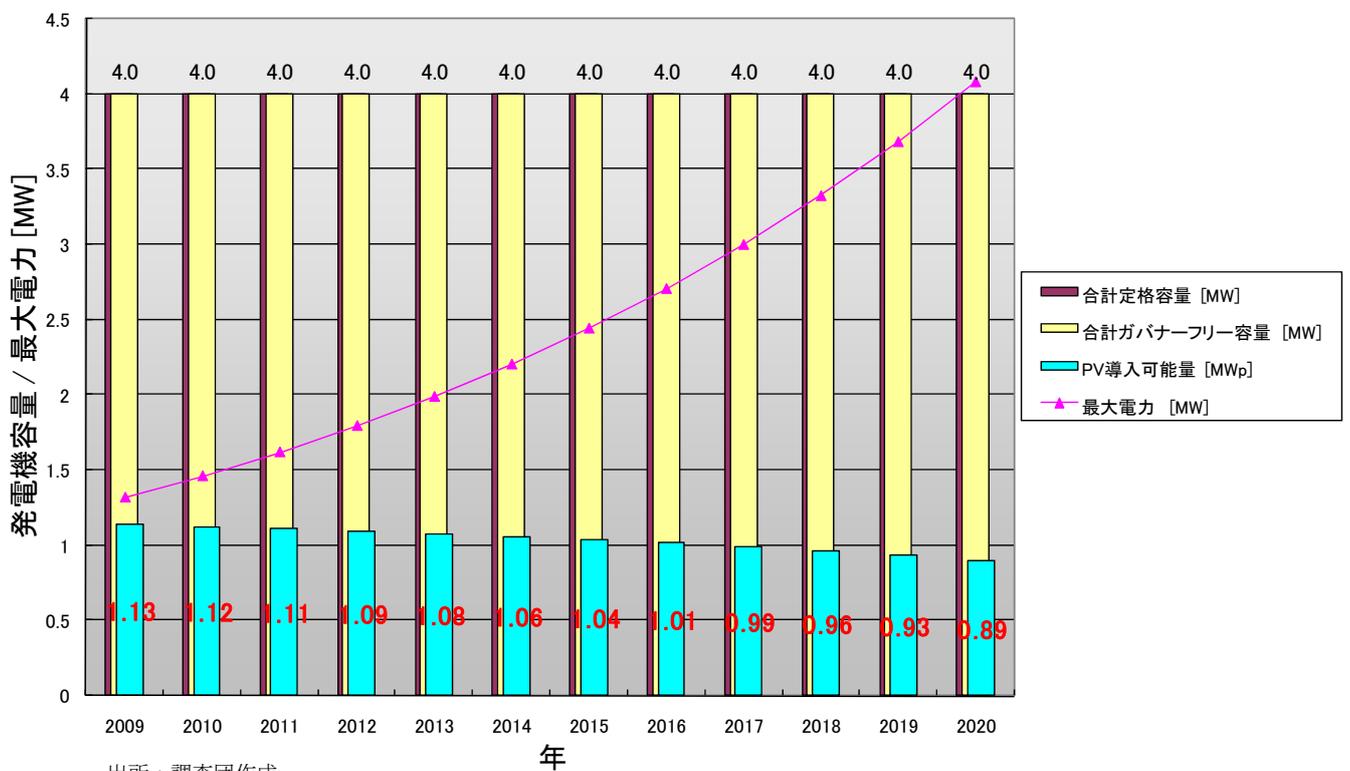
$$\text{太陽光発電出力の許容変動量} \leq 16.78\text{MW} - 10.94\text{MW} = 5.84\text{MW}$$

と算出できる。ここで太陽光発電出力の変動範囲は過去の実証例から定格容量の 10~90% の範囲内と想定すると、2009 年の既存系統における系統連系 PV システム導入可能量は約 7.3MW と算出できる。同様に、2020 までのマレ島、フルマレ島連系 PV 導入可能量を求めれば、図 2.8.1 および図 2.8-2 のとおりとなる。



出所：調査団作成

図 2.8- 1 マレ島連系 PV 導入可能量の推移



出所：調査団作成

図 2.8- 2 フルマレ島連系 PV 導入可能量の推移

また実際の運用段階では 2.5 項で述べたエンジン発熱や、定期点検等によりガバナフリー容量に制限がかかる場合があり、連系 PV 導入後の実運用データから太陽光発電出力変動量をよく分析評価し、必要であれば事前に太陽光発電出力制限等の処置を実施することの検討も必要である。

本検討は STELCO の系統周波数の自主管理基準に基づくものであり、その基準値を変更することで導入可能量が変化することから、許容周波数変動率をパラメータに感度分析を実施した。以下にその結果を示す。ただし、系統安定化のために SCADA システム機能に実装されている配電線優先遮断周波数設定値(1段 49Hz+3秒、2段 48.5Hz+3秒)、発電機保護用不足周波数リレー(47Hz+瞬時)の運用上制約から現状は 2.0%以上は許容できないことに注意が必要である。

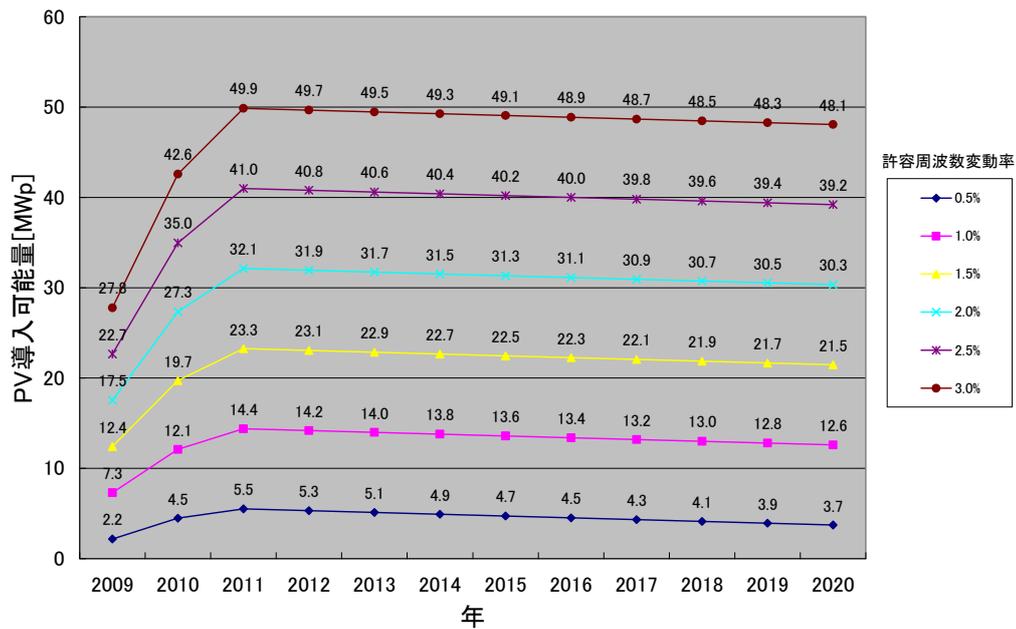


図 2.8- 3 許容周波数変動率と PV 導入可能量の関係 (マレ島)

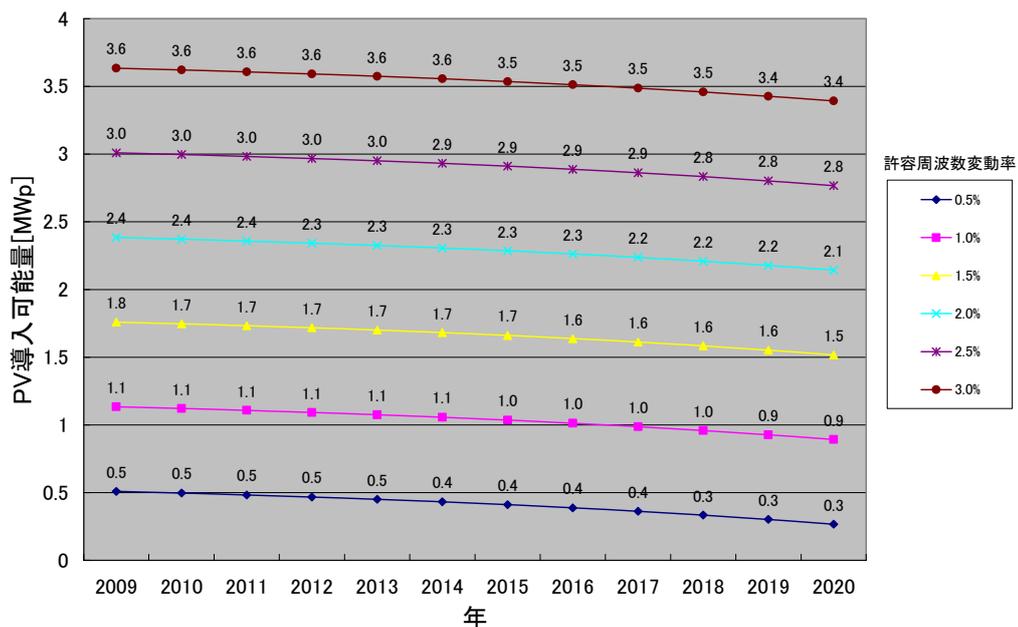


図 2.8- 4 許容周波数変動率と PV 導入可能量の関係 (フルマレ島)

【ステップ 2】配電線運用面からの制約の検討

2.6 項の検討で利用した電圧潮流計算シミュレーションにおいて、最も厳しい条件として各配電線の全負荷を切り離れた状態で、配電線電圧管理値上限に到達する太陽光連系容量を算出した。

シミュレーションの結果、各配電線容量上限まで太陽光を連系した場合においても配電線電圧上昇は管理基準値内に収まることを導出した。これはもともと小さい島であることから配電線の亘長が短いこと、太線化が行き届いていることに起因する。検討結果から、配電線運用面からの制約としては、マレ島において各配電線が 5,330kW、配電線全体で 42,640kW、フルマレ島において各配電線が 3,040kW、配電線全体で 6,080kW となる。

表 2.8- 1 各配電線への PV 連系可能量検討結果（マレ島）

Feeder No.	PV 連系可能量 [kW]	電圧最大値 [V]	電圧上昇値 [V]	変動率 [%]
FD2	5,330	11,083	83	0.75
FD3	5,330	11,070	70	0.64
FD4	5,330	11,028	28	0.25
FD5	5,330	11,096	96	0.87
FD6	5,330	11,225	225	2.05
FD7	5,330	11,118	118	1.07
FD8	5,330	11,109	109	0.99
FD9	5,330	11,089	89	0.81
合計	42,640	—	—	—

出所：調査団作成

表 2.8- 2 各配電線への PV 連系可能量検討結果（フルマレ島）

Feeder No.	PV 連系可能量 [kW]	電圧最大値 [V]	電圧上昇値 [V]	変動率 [%]
FD1	3,040	11,139	139	1.26
FD2	3,040	11,104	104	0.95
合計	6,080	—	—	—

出所：調査団作成

以上から、「モ」国マレ島、フルマレ島の連系 PV 導入可能容量としては、電力系統運用面から制約される値を適用すればよいという結論を得た。

さらに設置可能スペースの制約としては、上記検討結果を設置面積に換算すると、2020 年時点のマレ島の導入可能容量 12.6MW に対して約 90,000m²、フルマレ島 0.89MW に対して約 6,300m²であり、マレ島に関しては島の全面積（1.77km²）から道路、公園、墓地等の面積を差し引いた面積（約 1.5km²）に対して 6.0%、フルマレ島に関しては開発が進められている標準的な集合住宅の屋根面積（約 750m²）の 8 棟分相当であることから全く問題とならないと言える。

本検討結果ならびに第 3 章で後述する経済・財務的フィージビリティ調査結果を元に、2020 年までの連系 PV 導入目標量を以下のように設定した。

表 2.8-3 マレ島、フルマレ島における連系 PV 導入目標量

(kW)

年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
マレ島	260	560	840	1,120	1,400	1,680	1,960	2,240	2,520	2,800
フルマレ島	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200

出所：調査団作成

2.9 連系PVシステムの標準設計・仕様

本調査で検討した技術的要件、「モ」国の気象条件や建造物強度を勘案し、連系 PV システムに必要とされる設計標準仕様は下表のとおりである。

表 2.9-1 連系 PV システムの標準設計・仕様

機器名	仕様項目	要求仕様
太陽光発電モジュール	(1) 適用規格	IEC 及び同等規格
	(2) 使用環境	塩害地域
	(3) 周囲温度	+40℃以下
	(4) 設置方式	勾配屋根型または陸屋根型
	(5) 種類	結晶系シリコン
	(6) モジュール効率	12%以上
	(7) モジュール容量	100W/枚以上
太陽光発電モジュール 設置用架台	(1) 支持形式	勾配屋根型：母屋取り付け 陸屋根型：S 架台
	(2) 使用環境	塩害地域
	(3) 材質	SS400 溶融亜鉛めっき仕上げまたは同等品質
	(4) 設計用基準風速	地上 15m 風速 60m/s
接続箱	(1) 構造	屋内／屋外 壁掛け型もしくは垂直自立型
	(2) 使用環境	塩害地域（屋内式除く）
	(3) 周囲温湿度	+40℃以下、70%以上
	(4) 最大入力電圧	ストリング単位公称開放電圧(V_{OC})以上
	(5) 入力回路数	サブアレイ単位並列数以上
	(6) 入力電流	1 回路当りモジュール公称短絡電流(I_{SC})以上
	(7) 出力回路数	1 回路
	(8) 出力電流	サブアレイ公称短絡電流(I_{SC})以上
	(9) 内蔵機器	・配線用しゃ断器：回路数 ・逆流防止ダイオード：ストリング毎 ・誘導雷保護器：全入出力回路、線間、アース間
集電箱 ※接続箱が1つ、または パワーコンディショナ 入力回路数が接続 箱数量以上確保でき る場合は省略可能	(1) 構造	屋内／屋外 壁掛け型もしくは垂直自立型
	(2) 使用環境	塩害地域（屋内式除く）
	(3) 周囲温湿度	+40℃以下、70%以上
	(4) 最大入力電圧	ストリング単位公称開放電圧(V_{OC})以上
	(5) 入力回路数	集約される接続箱数以上
	(6) 入力電流	接続箱出力電流以上
	(7) 出力回路数	1 回路
	(8) 出力電流	サブアレイ公称短絡電流×入力回路数以上
	(9) 内蔵機器	・配線用しゃ断器：回路数 ・誘導雷保護器：全入出力回路、線間、アース間
パワーコンディショナ	(1) 構造	屋内／屋外 垂直自立型
	(2) 使用環境	塩害地域（屋内式除く）
	(3) 周囲温湿度	+40℃以下、70%以上
	(4) 主回路方式	自励式電圧型
	(5) スwitching 方式	高周波 PWM

機器名	仕様項目	要求仕様	
	(6) 絶縁方式	商用周波絶縁トランス方式 小容量の場合のみ非絶縁(トランスレス)許容	
	(7) 冷却方式	強制空冷	
	(8) 定格入力電圧	ストリング最大出力電圧(Vpmax)付近	
	(9) 入力動作電圧範囲	ストリング最大出力電圧(Vpmax)と公称開放電圧(Voc)が範囲内に入ること。	
	(10) 入力回路数	集電箱数以上	
	(11) 出力電気方式	3φ3W	
	(12) 定格出力電圧	AC202V	
	(13) 定格周波数	50Hz	
	(14) 交流出力電流 ひずみ率	総合電流 5%以下、各次調波 3%以下	
	(15) 電力制御方式	最大出力追従制御	
	(16) 定格電力変換効率	90%以上	
	(17) 制御機能	・自動起動・停止、ソフトスタート ・自動電圧調整 ・進相無効電力制御又は出力制御機能(逆潮流有 で電圧逸脱発生の恐れのある場合のみ)	
	(18) 系統連系保護機能	・過電圧(OVR) ・不足電圧(UVR) ・周波数上昇(OFR) ・周波数低下(UFR) ・地絡過電圧(OVGR)(低圧連系時は省略可能) ・復電時自動再閉路(受電電圧確認条件あり) すべて整定値、時限可変とする。	
	(19) 単独運転検出機能	・能動型(次の中から1方式以上) ①周波数シフト方式 ②有効電力変動方式 ③無効電力変動方式 ④負荷変動方式 ・受動型(次の中から1方式以上) ①電力位相跳躍検出 ②第3次高調波電圧急増検出方式 ③周波数変化率検出方式	
	連系用変圧器	(1) 構造	屋内/屋外 垂直自立型
		(2) 使用環境	塩害地域(屋内式除く)
		(3) 周囲温湿度	+40℃以下、70%以上
		(4) 一次電圧	3φ4W AC400V
		(5) 二次電圧	3φ3W AC200V
(6) 周波数		50Hz	
(7) 絶縁階級		B種	
(8) 結線方式		Y-△(Yd1)	

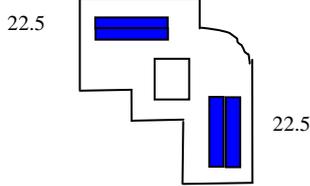
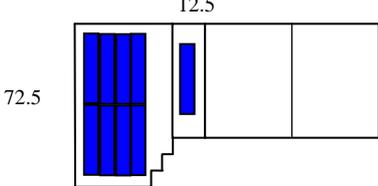
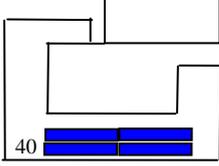
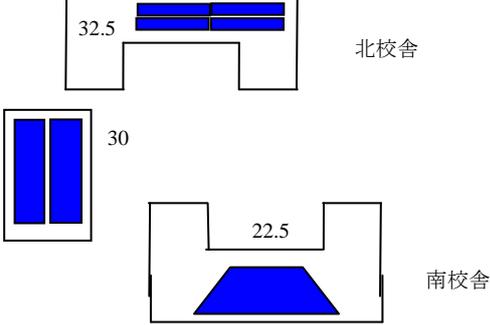
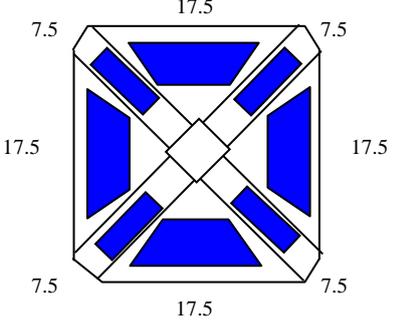
出所：調査団作成

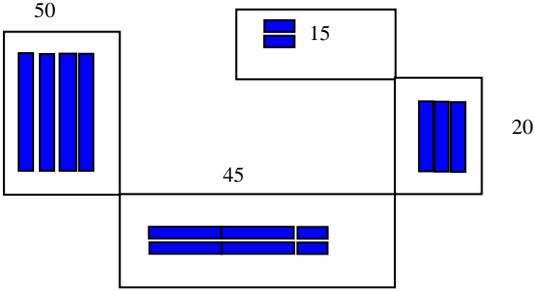
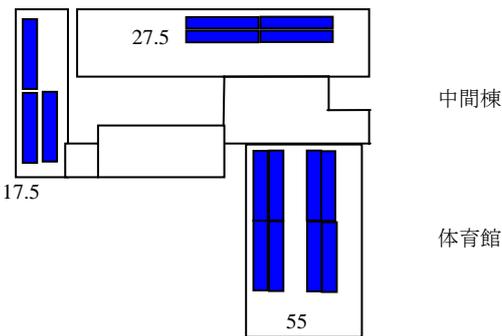
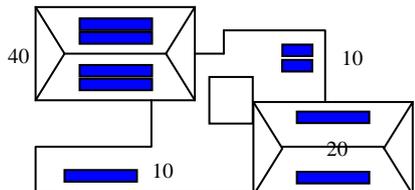
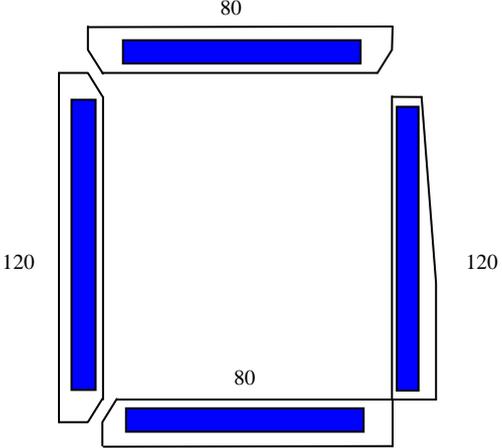
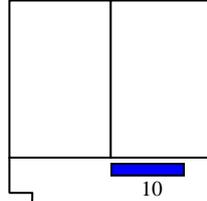
2.10 連系PVシステム設置ポテンシャルサイト並びにPV設置容量

2.4項で選定されたポテンシャルサイトについて、PV設置可能面積、既設受電設備、周辺環境等について現地調査を実施した。PV設置容量については、設置可能面積に2.3項で検討した日射障害の影響を考慮して、最適な配列方法を検討し計算した。

PV配列方法の検討結果は表2.10-1および表2.10-2に、PV設置容量検討結果は、巻頭の連系PVシステム導入ポテンシャルサイト比較表に示す通りである。

表 2.10- 1 マレ島ポテンシャルサイト PV 配列検討結果

No.	サイト名	PV 設置場所
1	STELCO Building	
3	Dharubaaruge	
5	Giyaasudheen School	
6	Kalaafaanu School	
7	Maldives Center for Social Education	

No.	サイト名	PV 設置場所
8	Thaajuddeen School	 <p>Diagram showing PV panel layouts for Thaajuddeen School. The layout includes a large panel (50), a smaller panel (15), a horizontal panel (45), and a vertical panel (20).</p>
9	New Secondary School for Girls	 <p>Diagram showing PV panel layouts for New Secondary School for Girls. The layout includes panels with dimensions 17.5, 27.5, and 55. Labels indicate '中間棟' (Middle Building) and '体育館' (Gymnasium).</p>
11	Faculty of Engineering	 <p>Diagram showing PV panel layouts for Faculty of Engineering. The layout includes panels with dimensions 40, 10, and 20.</p>
12	National Stadium	 <p>Diagram showing PV panel layouts for National Stadium. The layout includes panels with dimensions 80 and 120.</p>
17	Faculty of Education	 <p>Diagram showing PV panel layouts for Faculty of Education. The layout includes a panel with dimension 10.</p>

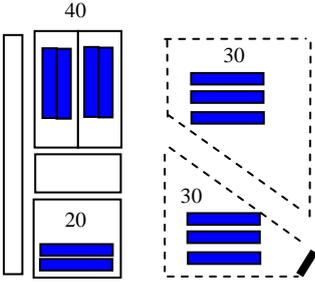
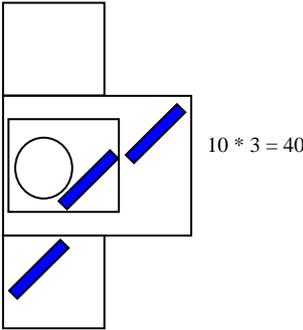
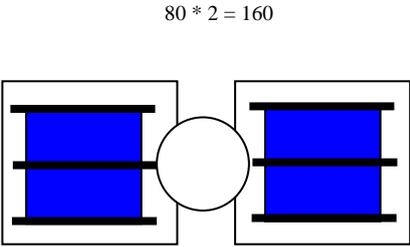
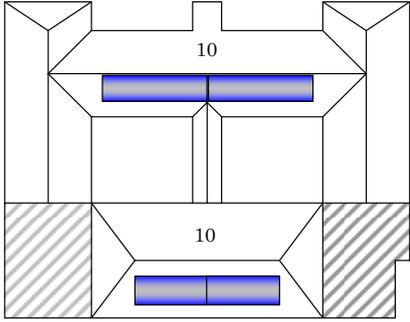
No.	サイト名	PV 設置場所
19	Male' South West Harbour Parking	
20	Grand Friday Mosque	
21	Jumhooree Maidhaan	
22	President's Office	

表 2.10- 2 フルマレ島ポテンシャルサイト PV 配列検討結果

No.	サイト名	PV 設置場所
2	Hospital	

2.11 連系PVシステム導入による裨益効果

2.11.1 想定される発電電力量

各ポテンシャルサイトで想定される発電電力量を、次式を用いて算出した。

$$E_p = \sum H_A / G_s * K * P$$

(Σ は月別に算出した推定発電量の積算値を示す)

ここで ・ E_p = 推定年間発電量 (kWh/年)

・ H_A = 設置面の月平均日射量 (kWh/m²/日)

・ G_s = 標準状態における日射強度 (kW/m²) = 1 (kW/m²)

・ K = 損失係数 = $K_d * K_t * \eta_{INV} * \eta_{TR}$

* 直流補正係数 K_d : 太陽電池の表面の汚れ、太陽の日射強度が変化することによる損失の補正、太陽電池の特性差による補正を含み今回 0.8 とした。

* 温度補正係数 K_t : 太陽電池が日射により温度が上がり、変換効率が変化するための補正係数。

$$K_t = 1 + \alpha (T_m - 25) / 100$$

ここに、

α : 最大出力温度係数 (%・°C⁻¹) = -0.5 (%・°C⁻¹) [結晶系]

T_m : モジュール温度 (°C) = $T_{av} + \Delta T$

T_{av} : 月平均気温 (°C)

ΔT : モジュール温度上昇 (°C)

裏面開放形	18.4
屋根置き形	21.5

* インバータ効率 η_{INV} : インバータの交直変換効率。今回は 0.95 とした。

* 変圧器効率 η_{TR} : 変圧器効率。簡単化のため無負荷損、負荷損とも常に一定と考え今回は 0.98 とした。

設置面の月平均日射量は簡単化のため水平面日射量を用い、2.3 項で検討した日射障害の影響を

考慮した。日陰の影響については本来 PV モジュールの直列接続を考慮して検討すべきではあるが、簡単化のため屋根に部分的な日射障害がある場合はその屋根全体に影響があるものとして保守的な数値を算出した。

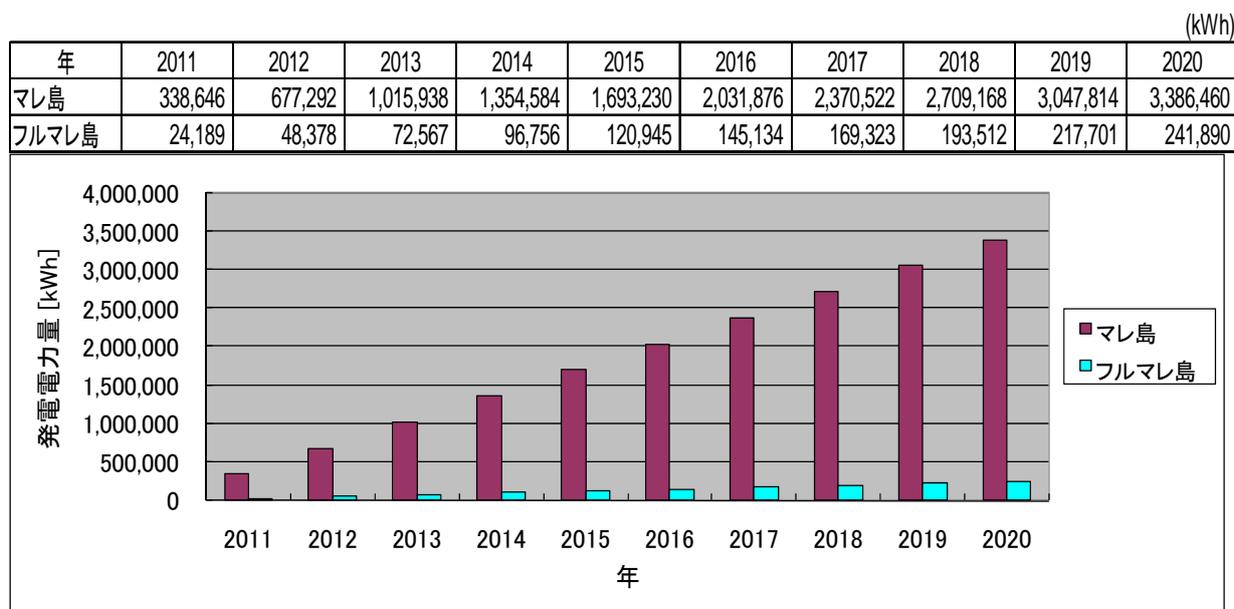
表 2.11.1- 1 ポテンシャルサイト別推定年間発電量

島	サイト名	PV容量 [kWp]	年間発電電力量 [kWh/年]
マレ	STELCO Building	45	45,739
	Dharubaaruge	85	100,382
	Giyaasudheen School	40	48,378
	Kalaafaanu School	85	117,069
	Maldives Center for Education	100	120,945
	Thaajuddeen School	130	157,228
	New Secondary School for Girls	100	90,778
	Faculty of Engineering	80	96,756
	National Stadium	400	483,780
	Faculty of Education	10	12,094
	Grand Friday Mosque	30	36,283
	Jumhooree Maidhaan	160	196,986
	President's Office	20	24,189
フルマレ	Hospital	60	72,567

出所：調査団作成

次に 2010 年から 2020 年までの年間発電量の推移を、2.8 項で検討した導入目標量を元に推定した。

検討にあたり、2011 年のマレ島におけるパイロット・プロジェクトサイトへの設置を考慮し、それ以外は全量屋根置き形で日陰の影響のない場所に設置されるものとして計算した。以下に計算結果を示す。



出所：調査団作成

図 2.11.1- 1 年別発電量推移

2.11.2 ディーゼル燃料消費量の節減

STELCO より入手した至近3年間のマレ島、フルマレ島のディーゼル発電所の運転実績から、発電電力量 (kWh) 当りの燃料消費量を以下の通り算出した。

表 2.11.2-1 マレ島、フルマレ島ディーゼル発電所燃料消費量

島	項目	2006	2007	2008	3カ年平均
マレ島	発電電力量 [kWh]	156,107,764	177,052,316	195,105,695	—
	燃料消費量 [liter]	40,151,086	45,482,134	50,460,116	—
	kWh 当り燃料消費量 [liter/kWh]	0.26	0.26	0.26	0.26
フルマレ島	発電電力量 [kWh]	4,106,410	5,810,041	7,324,293	—
	燃料消費量 [liter]	1,196,425	1,614,299	2,061,552	—
	kWh 当り燃料消費量 [liter/kWh]	0.29	0.28	0.28	0.28

出所：STELCO 入手資料から調査団作成

上記結果を利用し、2.11.1 で推定した年別連系 PV 発電電力量に基づき燃料節減量を算出すると、表 2.11.2-2 のようになる。

表 2.11.2-2 年別ディーゼル燃料節減量

年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	計
マレ島	88,048	176,096	264,144	352,192	440,240	528,288	616,336	704,384	792,432	880,480	4,842,638
フルマレ島	6,773	13,546	20,319	27,092	33,865	40,638	47,410	54,183	60,956	67,729	372,511

(liter)

出所：調査団作成

2.11.3 CO₂排出削減量

2.11.2 で算出したディーゼル燃料節減量を元に以下の係数を用いてCO₂排出削減量を計算する。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{削減量 [kg]} &= \text{軽油CO}_2 \text{排出係数} * \text{ディーゼル燃料節減量} \\ &= 2.62 \text{ [kg-CO}_2 \text{/liter]} * \text{ディーゼル燃料節減量 [liter]} \end{aligned}$$

* 排出係数については環境省の「総排出量算定方法ガイドライン」を引用。

その結果、各年次のCO₂排出削減量は下表に示す通りとなり、PV導入目標が計画通り達成された場合には、2011年から2020までの10年間で、マレ島が12,688 ton、フルマレ島が976 ton、合計で13,664 tonのCO₂削減が可能という結果となった。

表 2.11.3-1 年別CO₂削減量

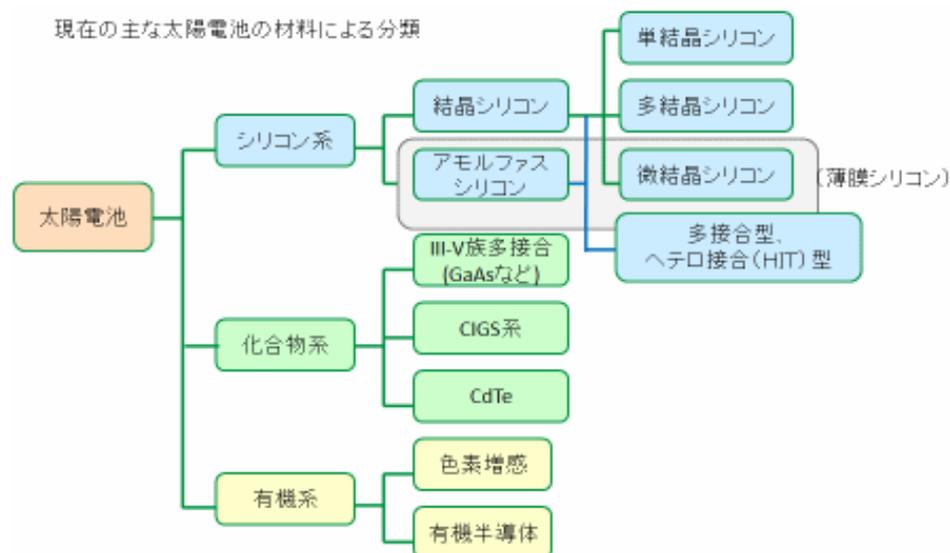
年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	計
マレ島	230,686	461,371	692,057	922,743	1,153,428	1,384,114	1,614,800	1,845,485	2,076,171	2,306,856	12,687,710
フルマレ島	17,745	35,490	53,235	70,980	88,725	106,470	124,215	141,960	159,705	177,450	975,978

(kg)

出所：調査団作成

2.12 太陽電池の検討及び出力の評価

太陽電池は、使用する材料によって、シリコン系太陽電池、化合物系太陽電池、有機系太陽電池に大別できる。2008年の太陽電池出荷量によると、シリコン系太陽電池が総出荷量の約99%を占めており、化合物系や有機系太陽電池のシェアは非常に限られている。化合物系のCIS太陽電池など、近年普及が進められている製品もあるが、化合物系と有機系太陽電池は、現在のところ研究開発段階にあると言える。



出所：産業技術総合研究所

図 2.12-1 太陽電池の材料による分類

シリコン系太陽電池は、更に結晶シリコン太陽電池（単結晶もしくは多結晶）とアモルファスシリコン（薄膜シリコン）に分類される。結晶シリコン太陽電池は、1954年に米国のベル研究所において単結晶型が開発され、その後本格的に量産されてからの歴史が長く、長期間の耐久性や信頼度が高いと考えられる。結晶シリコン太陽電池の場合、期待寿命は20年～30年と言われている。他方、アモルファスシリコン（薄膜シリコン）太陽電池は、ガラスまたは金属基板の上に薄膜状のシリコンの非結晶を形成するもので、結晶シリコンに比べて変換効率が劣るものの、モジュールの大きさや形状の自由度が高いという長所がある。アモルファスシリコン太陽電池は、短波長光に良く反応し、また直射日光を長期間照射すると、出力が約10%程度低下する現象のため、これまでは室内での微弱な光を利用して電卓や腕時計などを中心に適用されてきた。最近では、屋外でも実用的な耐久性を持つようになり、屋外用としても市販されているが、本格的な製造が開始されて間もないため、長期間の信頼性を検証できるデータは得られていないのが実情である。

また、太陽電池の変換効率を比較すると結晶系が15%程度であるのに対し、薄膜系は10%程度である。これは同じ容量の太陽電池を設置する場合、薄膜系のほうが1.5倍の面積を必要とするということであり、「モ」国のような国土が狭小で設置可能場所が限られている条件下では結晶系シリコンの方がより効果的であるといえる。

さらに図 2.12-2 に示すように、アジア地域においては導入量の9割以上が結晶系シリコン太陽電池となっており、太陽電池の販売代理店も結晶系シリコン太陽電池を中心に取り扱いしている

ため、「モ」国における太陽電池の調達、トラブル対応の容易性を考えた場合、結晶性シリコンが優位であると考えられる。

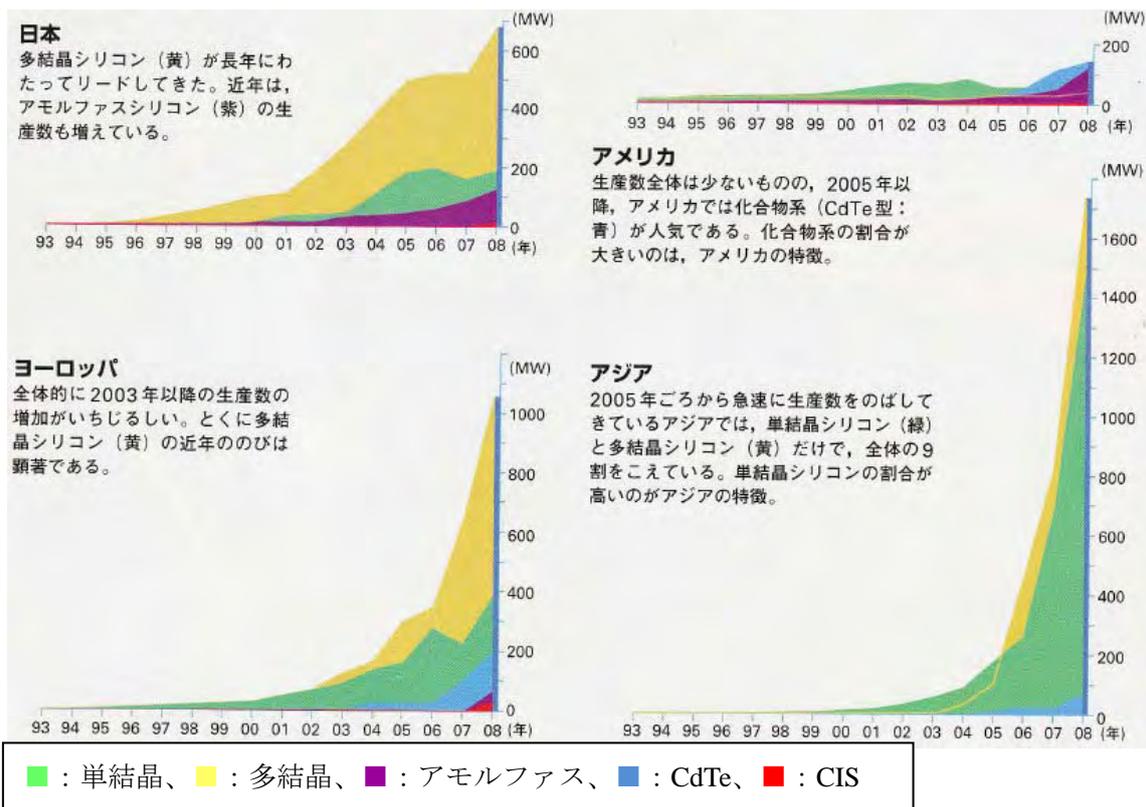
以上を踏まえ、本計画にて調達する太陽電池の種類としては、長期間の耐久性や信頼度の観点から国内での実績が豊富な、単結晶もしくは多結晶シリコン太陽電池を採用することとする。

表 2.12-1 太陽電池の種類と特徴

	シリコン				化合物系		有機系	
	結晶シリコン		薄膜シリコン		CIS	Ⅲ-V結晶系	色素増感	有機薄膜
	単結晶	多結晶	アモルファス	多接合				
特徴	200 μ m～300 μ mの薄いシリコンの単結晶の基板を用いる。最も歴史がある太陽電池。基板の値段が高いが、性能や信頼性に優れている。	比較的小さな結晶が集まった多結晶でできている基板に太陽電池を作ったもので、単結晶より安価で、作りやすいことから現在の主流となっている。変換効率は、やや単結晶に劣る。	アモルファス(非晶質)シリコンをガラスなどの基板上に1 μ m内外の薄膜として形成させた太陽電池。大面積で量産ができるという特長があるが、結晶系シリコンと比較して性能面に課題がある。	アモルファスシリコンと微結晶シリコンを積層して作った太陽電池。シリコン使用量が少なく(結晶系シリコンの約1/100)、大面積・量産可能。吸収波長領域が広いため、アモルファスシリコン太陽電池より高効率。	化合物半導体の一種で、銅とインジウムとセレン等を原料とした薄膜太陽電池。製造工程が簡単で高性能が期待できることから技術開発が進んでいる。	ガリウムヒ素など特別な化合物半導体の基板を使った超高性能(変換効率:30～40%)太陽電池。コストが高くなるが宇宙などの特殊用途だが、現在、集光システムとの組み合わせで低コスト化が図られている。	酸化チタン(半導体)といった色素が、光を吸収して電子を放出することで発電するタイプの太陽電池。簡単につくれるため低コスト化への期待が高いが、高効率化、耐久性が課題。	有機半導体のPN接合による太陽電池。低コスト化への期待が高いが、高効率化、耐久性が課題。
モジュール変換効率 括弧付きは研究レベル	～19%	～15%	～6%	～12%	～11%	～31% (集光時)	(11%)	(5%)
実用化状況	実用化	実用化	実用化	実用化	実用化	実用化	研究段階	研究段階
メーカー	シャープ、三洋電機(HITタイプ)	シャープ、京セラ、三菱電機	三菱重工、カネカ	三菱重工、カネカ、富士電機、シャープ	昭和シェル、ホンダ	シャープ	シャープ、フジクラ、ソニー、アイシン精機	パナソニック電工、新日本石油、三菱化学、住友化学



出所：資源エネルギー庁、NEDO の資料を基に調査団作成



出所：Newton 2009年9月号

図 2.12-2 世界の地域別、種類別太陽電池の導入量

2.13 想定される連系PVシステムの導入形態

マレ島およびフルマレ島における連系PVシステムの導入可能量が合計で13.49MWに限定されることから、パイロットプロジェクト後2020年までの10年間で13.49MWを導入普及させるシナリオを検討しており、導入の主体者については、2011年から2014年まではSTELCO、2015年から2020年はSTELCOと民間セクターが想定される。そのため、想定される連系PVシステムの導入形態については、「パイロットプロジェクトと2014年まで」と「2015年から2020年まで」の2段階に大別される。

「パイロットプロジェクトと2014年まで」の期間では、STELCOが導入主体となることから、連系PVシステムをSTELCOが自社設備として自社建物に導入する形態、またはSTELCOが自社設備として他社の所有建物に導入する形態の2つの形態が考えられる。また、「2015年から2020年まで」は、STELCOに加えて民間セクターも導入主体になること、および民間セクターへの導入には、余剰電力買取制度の施行を想定していることから、前述の形態に加えて、建物所有者が自家用発電設備として導入し、余剰電力をSTELCOに売電する形態が考えられる。

表 2.13-1 「パイロットプロジェクトと2014年まで」において想定される連系PVシステムの導入形態

No.	導入形態	設置場所	PV設備所有者	特徴、課題、要件等
①	STELCOが自社設備として自社の建物にPV設備を設置	自社建物等	STELCO	<ul style="list-style-type: none"> ・PV設備、周辺設備共自社設備であるため、PV設置に係る設計が容易である。 ・PV設置場所に自由度がある。
②	STELCOが他者の所有する建物の屋根等を借りて自社のPV設備を設置	他者建物等	STELCO	<ul style="list-style-type: none"> ・PV設置場所の制約、賃借料等が予想される。 ・設備運用管理、保安面に係る協議が必要。 ・PV設備は自社設備であるため料金検討が不要。

出所：調査団作成

表 2.13-2 「2015年から2020年まで」における想定される連系PVシステムの導入形態

No.	導入形態	設置場所	PV設備所有者	特徴、課題、要件等
①	STELCOが自社設備として自社の建物にPV設備を設置	自社建物等	STELCO	<ul style="list-style-type: none"> ・PV設備、周辺設備共自社設備であるため、PV設置に係る設計が容易である。 ・PV設置場所に自由度がある。
②	STELCOが他者の所有する建物の屋根等を借りて自社のPV設備を設置	他者建物等	STELCO	<ul style="list-style-type: none"> ・PV設置場所の制約、賃借料等が予想される。 ・設備運用管理、保安面に係る協議が必要。 ・PV設備は自社設備であるため料金検討が不要。
③	建物の所有者が自己の電源としてPV設備を設置し、余剰電力をSTELCOに売電	他者建物等	建物所有者等	<ul style="list-style-type: none"> ・常時は自家用として利用するため、余剰電力の逆潮流は比較的少なく、配電線への影響も少ない。 ・系統連系にあたって保護装置等付すべき装置に関する技術的要件をガイドライン等の公平な規格で定める必要あり。

出所：調査団作成

また、太陽光発電電力量の計量方法については、次のように取り扱う。

設置場所の如何に依らず STELCO が導入主体となる場合には、PV 設備単独で計量を行う。電力量計は、夜間等のスタンバイ消費電力も積算に含む必要があるため、逆転防止機能無しの場合、電力量計を連系点に1つ設置する。

また、前述のように2015年以降で民間セクターが導入主体となる場合には、余剰電力買取制度を指向するが、買取単価は STELCO 民営化の財政状況も勘案して決定する必要があり流動的であることから、現時点では既設受電点に買電用電力量計（逆転防止機能付き）に加え、売電用電力量計（逆転防止機能付き）を新設する形態が望ましいとの結論を得た。

電力量計調達・設置、取付位置、資産・責任分界については既存のルールに従い表 2.13-3 のとおりとする。

表 2.13- 3 連系 PV システムの計量方法

PV 設備設置者	図番	連系区分	電力量計調達・設置	電力量計種類	電力量計取付位置	資産・責任分界	計量方法
STELCO	①	低圧	STELCO	逆転防止機能無し (MEA 認証製品)	低圧側	全て STELCO 資産	PV 発電出力を単 独計量。
	②	中圧			連系用変圧器の中圧側		
STELCO 以外	③	低圧単相 (~40A)	STELCO (PV 設備設置者が費用負担)	逆転防止機能付 (MEA 認証製品)	低圧側 (既存電力量計と分電盤の間)	電力量計一次側もしくは主配電盤引き込み端子を責任分界点として配電線側ケーブルまでが STELCO 資産。電力量計は PV 設置者資産だが STELCO の許可なしに新設・撤去・取替は不可。	既存買電用電力量計 (逆転防止機能付) に加え、売電用電力量計 (逆転防止機能付) を新設し計量。
		低圧三相 (~63A)					
	④	低圧三相 (100~300A)	PV 設備設置者 (STELCO 検定要)、もしくは STELCO に依頼可能		受電用変圧器の中圧側		
⑤	中圧 (300A~)						

出所：調査団作成

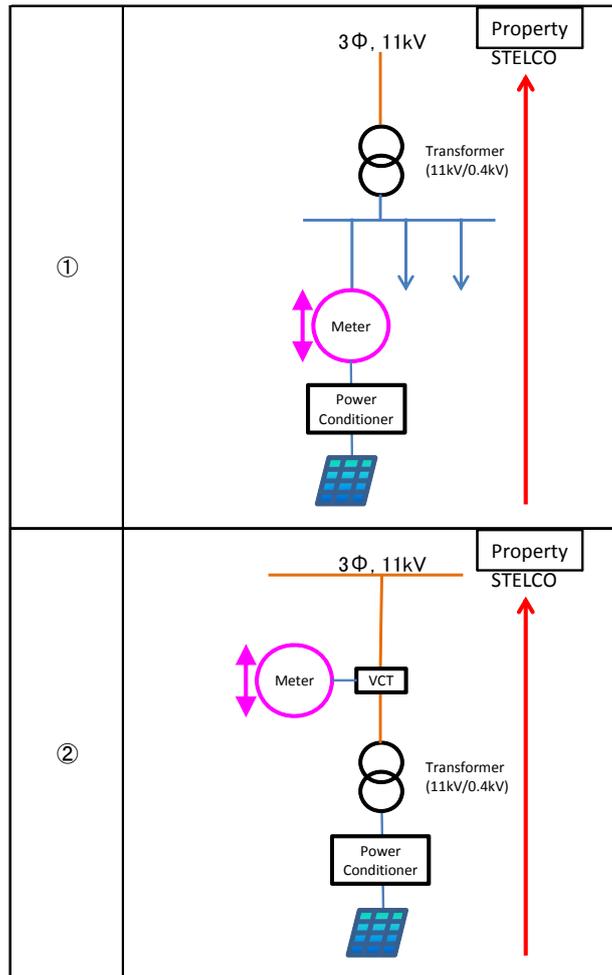


図 2.13- 1 連系 PV システムの計量方法イメージ図 (STELCO 導入時)

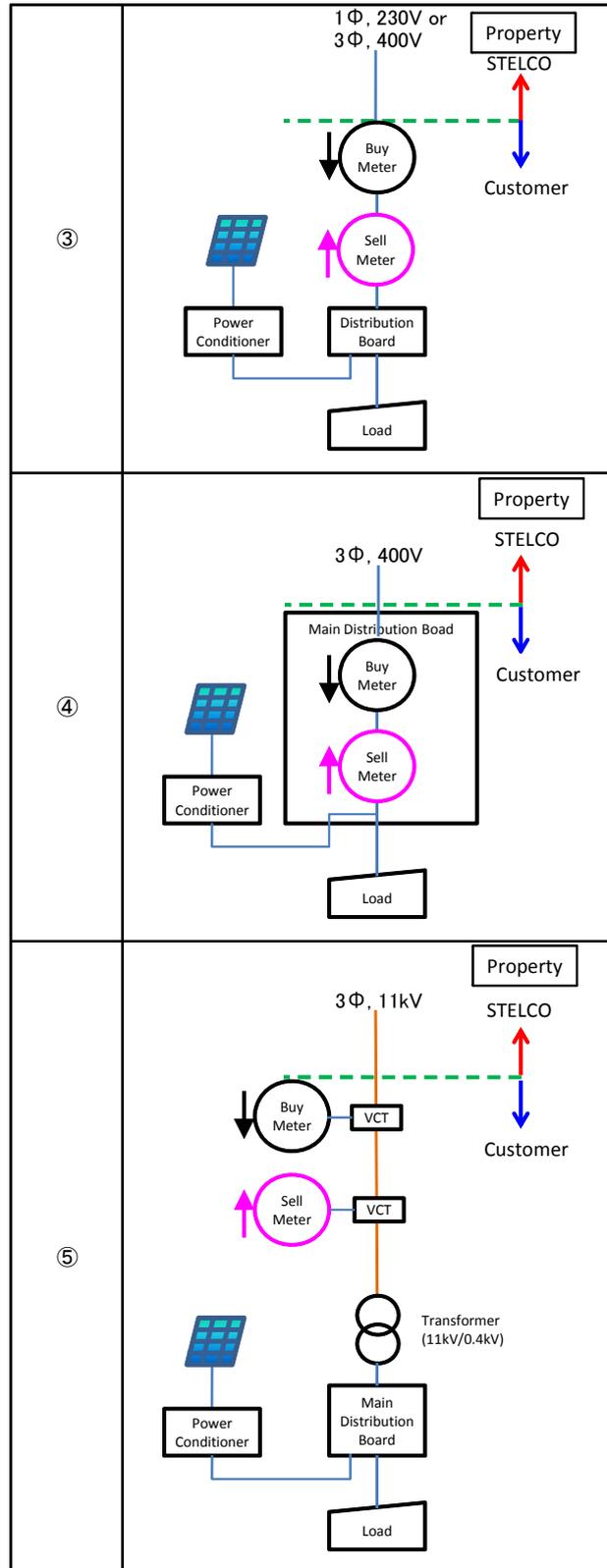


図 2.13- 2 連系 PV システムの計量方法イメージ図 (STELCO 以外導入時)

2.14 既存建築物に関する法制度（建築法など）

「モ」国の一般的な屋上仕上げ仕様としては、建築物の主要構造物が RC 造（鉄筋コンクリート構造）、S 造（鉄骨構造）のいずれの場合も、勾配屋根の鋼板葺きとなっている。また、屋上を広場として利用している場合は、RC 床に防水仕様である。「モ」国における建築法は、2008 年 8 月にビルディングコードが制定され、大枠としての性能規定が整備され、2009 年 6 月にはビルディングアクトのファーストドラフトが発表された。現在パブリックコメントを募集のうえ制定にむけ調整中である。新築、改築工事を行う際は、所管する住宅・交通・環境省 (MHTE) の Engineering section が、申請された建築物を個別に審査し、許可を与えて建設している。審査をする上で基本となる諸規準は、ニュージーランド、英国の諸規準が摘要されている。構造物の安全性を証明する計算は、工学的に説明がつく内容であれば、いずれの国の規準で行っても問題はない。太陽光発電パネル及び支持部材の設計を行う際の一般的な仮定荷重としては、恒久的に作用する固定荷重と自然外力である風荷重、地震荷重、積雪荷重などであるが、「モ」国においては、過去に地震による災害（津波被害を除く）は発生しておらず、設計上、地震荷重は考慮しなくてもよいことを上記機関（MHTE の Engineering section）に確認した。

表 2.14-1 太陽光発電パネルを設置する場合に仮定する荷重

番号	荷重種類	内容
1	固定荷重	PV モジュールの質量と、支持物などの質量の総和
2	風荷重	PV モジュールに加わる風荷重（モンスーンによる強風も考慮する）と、架台など支持物に加わる荷重のベクトル和
3	積雪荷重	PV モジュール面の垂直積雪荷重（本調査では考慮しない）
4	地震荷重	支持物に加わる水平地震力（鋼構造架台ではこの地震荷重は、一般的に風荷重より小さい、本調査では考慮しない）

出所：調査団による

2.15 建造物構造解析、建造物補強の概念設計

関連各省庁から提案されたポテンシャルサイトにつき、現地調査、既存設計図書調査を行い、日射障害、発電容量、補強改修の容易性、広報効果などを考慮して推奨される施設、建築物につきパネル支持方法のタイプ分けを行い、取り付け方法の検討を行った。基本的には鋼板屋根取り付けの場合下地母屋材に支持する形式とし、屋上広場、地上置きの場合は鉄骨フレームにて支持架台を構築し RC 基礎で支持する形式とする。建造物構造解析は、発電容量などから設定される太陽光パネルを、設置計画屋根に配置し、このパネル重量が積載された場合に既存の建造物にどのような影響を与えるかを、数量的に求めるものである。まずは既存設計図書により、屋根材、屋根材支持方法、支持部材の断面性能などを把握する。次に屋根材支持方法に沿った構造モデルを構築し、パネル重量を考慮した応力解析を行い、ここで発生した応力が支持部材の許容耐力以下にあるか否かの判定を行う。

上記判定により許容耐力を超える応力となる構造物については、その形状、取り合いなどの細部を既存設計図書および現地調査により再確認を行い、鉄板巻き、特殊繊維シート補強、座屈止め材追加補強など施工可能な補強方法を策定のうえで、補強工事数量、補強工事工期、補強工事金額などを把握する。

表 2.15- 1 太陽光発電パネル支持形式および検討内容・検討結果

No	サイト名	支持形式 (設置床)	検討内容	検討結果
マレ島				
1	STELCO Building	S 架台(屋上 RC)	S 架台検討、床取り付け方法 検討	S 架台、屋上床 基礎施工
2	STELCO Power House	母屋取り付け (屋 根)	なし (排熱の影響有)	----
3	Dharubaaruge	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	既存設計図書不明 (不可)
4	Velaanaage (Govt. Office)	不明(工事中)	なし	----
5	Giyaasudheen School	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	屋根材改修工事 補強なし
6	Kalaafaanu School	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	屋根材改修工事 補強なし
7	Maldives Center for Social Education	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	屋根材改修工事 補強なし
8	Thaajuddeen School	母屋取り付け (屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	屋根材改修工事 補強なし
9	New Secondary School for Girls	母屋取り付け (屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	補強なし
10	Indhira Gandhi Memorial Hospital (IGMH)	母屋取り付け(屋根) S 架台(屋上 RC)	なし (改修計画有)	----
11	Faculty of Engineering	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	取付けが特殊、 既存設計図書不明 (不可)
12	National Stadium	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討、主要部材検討	既存設計図書不明 (不可)
13	Majeedhiya School	母屋取り付け(屋根)	なし (日射障害大)	----
14	Dharumavantha School	母屋取り付け(屋根)	なし (日射障害大)	----
15	Fen Building	S 架台(屋上 RC)	なし (設計図書の閲覧を拒否 された)	----
16	Water Tank (MWSC)	S 架台(屋上 RC)	なし (改修計画有)	----
17	Faculty Education	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	既存設計図書不明 (不可)
18	Sports Grounds	S 架台(RC 基礎)	なし (施設管理に難あり)	----
19	Male' South West Harbour Parking	母屋取り付け(屋根)	なし (半民、半官の施設)	----
20	Grand Friday Mosque	母屋取り付け(屋根)	なし (塔、ドームの影の影響 大)	----
21	Jumhooree Maidhan	S 架台(RC 基礎)	S 架台検討、RC 基礎検討、デ ザイン検討	関係省庁の合意 が難しい (不可)
22	President's Office	母屋取り付け(屋根)	母屋材検討、パネル取り付け 検討	屋根材改修工事 補強なし
フルマレ島				
1	Lale International School	母屋取り付け(屋根) S 架台(屋上 RC)	なし (民間施設)	----
2	Hulhumale Hospital	母屋取り付け(屋根)	なし (電力供給が十分)	----
3	Ghaazee School	母屋取り付け(屋根)	なし (屋根が脆弱)	----
4	HDC	母屋取り付け(屋根)	なし (屋根形状特殊で、取付 けに難有)	----
5	Housing Flats	母屋取り付け(屋根)	なし (住民の合意が難しい)	----

出所：調査団による

2.16 連系PVシステム導入のための概算事業費

2.16.1 積算条件

概算事業費は、2008年12月から2009年5月までの6ヶ月平均値1米ドル=95.69円の為替レートに基づき積算した。概算事業費の内訳は以下の通りである。

表 2.16.1-1 概算事業費の積算条件

内 容	積算条件
(1) 機材調達費	機材費、輸送費、据付工事費(既存構造物補強工事等)、調達管理費等
(2) エンジニアリング・サービス	コンサルタント費

2.16.2 概算事業費

連系 PV システムの導入に係わる概算事業費は、1kW 当り約 195 万円 (20,380 US\$/kW) となる。

表 2.16.2-1 概算事業費の内訳(日本調達)

項目	日本円(千円)/kW	構成比
(1) 機材費	1,335	68.5%
(2) 輸送梱包費	52	2.7%
(3) 据付工事費等	426	21.8%
(4) 調達管理費	33	1.7%
(5) エンジニアリング・サービス	104	5.3%
合 計	1,950	100%

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」によると、2010 年での発電コストは 23 円/kWh と想定されており、これが 2020 年には 14 円/kWh まで低下することが予想されている。また、同ロードマップでは、モジュール製造コストについても開発目標を 2010 年で 100 円/kW、2020 年で 75 円/kW、2030 年で 50 円以下/kW と設定している。

第 3 章にて詳述する、経済・財務的フィージビリティ調査の結果を踏まえ、2020 年までの連系 PV システムの導入目標量は、表 2.8-3 に示すとおり 3,000kW となる。PV システム価格見通しを考慮した各年次の事業費は表 2.16.2-2 に示すとおりであり、概算事業費は合計で約 56.4 百万 US ドルである。

表 2.16.2-2 連系 PV システム導入量と事業費

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	合計
導入量 (kW)			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3,000
事業費 (百万US\$)		6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2		56.4

出所：調査団作成

2.17 環境社会配慮の検討

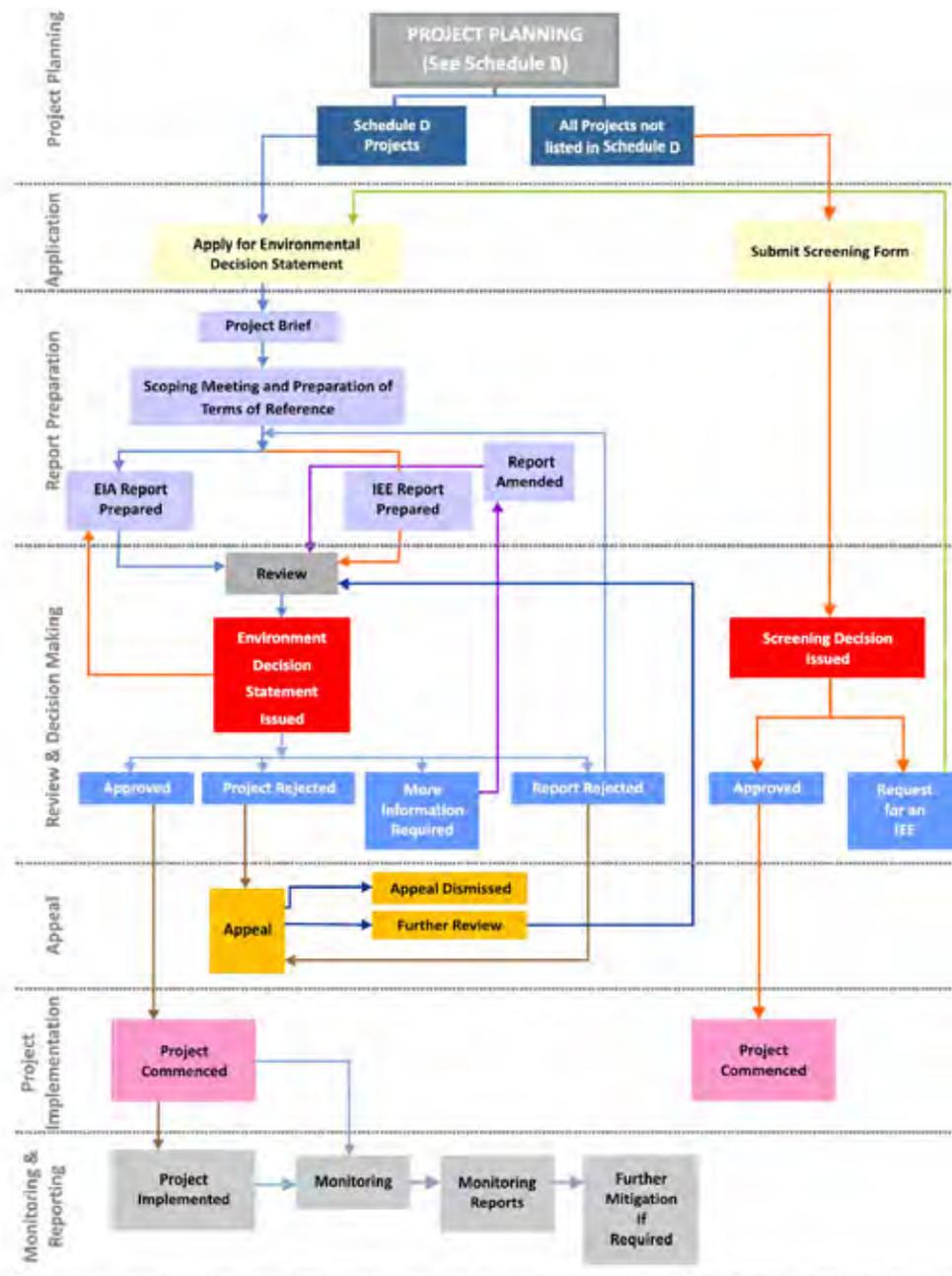
2.17.1 「モ」国における環境社会配慮制度

「モ」国の環境社会配慮に関する法制度としては、「環境保護・保全法 (Environment Protection and Preservation Act 1993)」の第5条に従い、旧環境・エネルギー・水省 (MEEW) にて「環境影響評価規制 (EIA Regulations 2007)」が制定されている。同規制によると、以下の事業については環境影響評価 (Environmental Impact Assessment: EIA) が必要とされている。

- (1) 新規もしくは大規模な追加リゾート開発事業
- (2) 水産養殖・加工施設、人口環礁開発事業
- (3) 農業、畜産、大規模な森林伐採事業
- (4) 港湾建設、浚渫、埋立て、護岸事業
- (5) 幹線道路建設事業
- (6) 空港・ヘリポート・水上飛行機用ハブ建設事業
- (7) 大規模な住宅開発、工場建設事業
- (8) 焼却炉、ごみ廃棄場、大規模な廃棄物貯蔵・分離施設
- (9) 瓶詰工場、上下水道事業
- (10) 発電所、石油・ガス等燃料処理・精製施設建設事業
- (11) 海水淡水化施設、病院建設事業

上記の通り、発電所建設についてはEIA調査が必要とされているが、これはディーゼル発電所を前提としているため、連系PVシステムがEIA(もしくは初期環境調査(IEE))の対象となるか否かは、各事業の計画段階で環境保護局(Environmental Protection Agency: EPA)に規定書式(Development Proposal Screening Form)を提出し、スクリーニング審査を受ける必要がある。スクリーニング結果は、審査受付から10日以内に事業提案者に通知され、EIAもしくはIEEが必要と判断された場合には、事業提案者は所定のEIA/IEE申請書(フォームC2)とProject BriefをEPAに提出し、環境決定文書(Environmental Decision Statement)の申請手続きを開始する。上記申請文書の受領により、EPAではスコーピング・ミーティングを開催し、事業実施に関係する省庁の代表者を含めて、提案事業より想定される環境影響について協議・確認する。スコーピング・ミーティングの開催後、事業提案者はEIAもしくはIEEにて調査すべき事項(TOR)をEPAに提出し、EPAから承認を得た後に、EIAもしくはIEEの報告書をTORに従い作成する。同調査報告書は、MHTE省内、外部の審査員による審査を経た後に、環境決定文書により以下のいずれかの結果が事業提案者に通知される。上記のEIAもしくはIEEに関する審査、承認までの作業フローを図2.17.1-1に示す。EPAに提出が求められる全ての書類は、「モ」国でライセンスを持つEIAコンサルタントにより作成される必要がある。

- ① 事業申請の承認
- ② 提出された報告書の内容について、再調査もしくは追加情報提供の依頼
- ③ EIAもしくはIEE報告書内容の不備による却下
- ④ 事業実施により環境に甚大な影響を及ぼす可能性があるため、事業申請を却下



出所：”EIA Regulations 2007” MHTE

図 2.17.1-1 環境影響評価（もしくは初期環境影響評価）の審査プロセス

2.17.2 環境社会配慮に関係する機関

環境影響評価に関する規制、監督・行政業務はMHTEの環境部にて実施しているが、個別事業のEIAもしくはIEEに関する審査、承認に関する実務は環境保護局（Environmental Protection Agency : EPA）にて実施している。EPAには2009年6月現在78名の職員が在籍し、環境分野（バイオテクノロジー、生物多様性、水衛生、海洋衛生、沿岸域管理など）に関する研究・教育や啓蒙普及活動についても実施している。

2.17.3 パイロットプロジェクト実施のための環境社会配慮

パイロットプロジェクトの実施を想定し、MHTE のエネルギー課では事業提案者として、所定のスクリーニング・フォームを EPA に提出した。EPA によるスクリーニングの結果、MHTE に対して 2009 年 6 月 1 日付け文書にて通知が発出され、プロジェクトは重大な環境影響を及ぼさず、IEE が必要とならないことがスクリーニング審査結果として確認された。

なお、パイロットプロジェクトとして候補に挙げられているサイトについては、蓄電池を導入する自立運転切替ありのシステムは計画されていないため、使用完了後の廃棄蓄電池の処理・リサイクルに関する環境影響は想定されない。しかしながら、今後病院など高信頼度の電力供給が要求される施設に、自立運転切替ありの連系 PV システムを導入する場合には、廃棄蓄電池の処理方法に関して十分に留意する必要がある。