

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  
プロジェクト形成調査報告書

平成 20 年 3 月

(2008 年)

独立行政法人国際協力機構

経済開発部

経済

J R

08-054

# 目 次

地 図  
写 真  
略語表

第1章 総論	1
1-1 調査の背景	1
1-2 調査の目的	1
1-3 団員構成	2
1-4 調査日程	2
1-5 主要面談者	3
第2章 団長所感	5
2-1 技術協力の妥当性	5
2-2 モルディブ側の受け入れ態勢	6
2-3 開発調査実施にあたっての考え方	7
第3章 調査結果概要	8
3-1 調査結果	8
3-2 想定される技術協力について	9
3-3 他ドナーにおける活動	9
3-4 今後のステップ	10
第4章 モルディブの概要・エネルギー事情	11
4-1 モルディブの概要	11
4-2 自然環境と気候	11
4-3 経済・産業	12
4-4 エネルギー政策・法令	12
4-5 再生可能エネルギー導入政策	14
4-6 エネルギー需給状況	14
4-7 エネルギー供給体制	15
4-8 エネルギー価格	16
第5章 集中型太陽光発電導入の技術的検証	17
5-1 STELCO のディーゼル発電・電力送配電状況	17
5-2 STELCO の需給制御システム	19
5-3 太陽光発電導入のための技術検討	19

第6章 予備的財務検討	24
6-1 STELCOの財務状況	24
6-2 プロジェクト財務性の予備的検討	26
6-3 本格調査へ向けた諸課題	27
第7章 国際機関・各ドナーの協力状況	29
7-1 国際機関・各ドナーの協力状況	29
第8章 現地踏査結果	30
8-1 現地踏査概要	30
8-2 現地踏査結果	30
付属資料	
1. 署名した協議議事録 (M/M)	35
2. 収集資料リスト	43
3. 訪問議事録	46



フルマレ島

フルレ島  
(空港島)

マレ島

出典：Spaceimaging、調査団編集



公道を封鎖して設置されている発電機（マレ島）



マレ島のモルディブ電力公社（STELCO）  
発電所視察



フルマレ島 STELCO 発電所視察



ラーム環礁太陽光発電（PV）設置場所視察



ラーム環礁 PV 設置場所視察



協議議事録（MM）署名

## 略 語 集

略 語	英 語	和 訳
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
CDM	Clean Development Mechanism	クリーン開発メカニズム
DANIDA	Danish International Development Assistance	デンマーク国際開発援助
DER	Department of External Resources, Ministry of Foreign Affairs	外務省外部資源局
DNA	Designated National Authority	指定国家機関
F/S	Feasibility Study	フィージビリティ・スタ ディ（実施可能性調査）
GEF	Global Environment Facility	地球環境ファシリティ
HDC	Hulhumale' Development Corporation	フルマレ開発公社
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業 （卸電力事業）
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	国際協力銀行
LDC	Least Developed Country	後発発展途上国
MCPI	Ministry of Construction and Public Infrastructure	建設・公共インフラ省
MEEW	Ministry of Environment, Energy and Water	環境・エネルギー・水省
M/M	Minutes of Meetings	協議議事録
MRF	Maldivian Rufiyaa	モルディブ国通貨
NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
NDP	National Development Plan	国家開発計画
PV	Photovoltaics	太陽光発電
STELCO	State Electric Company Limited	モルディブ電力公社
STO	State Trading Organization	—
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画

# 第1章 総論

## 1-1 調査の背景

モルディブ共和国（以下、モルディブと記す）は人口約30万人の小規模国家であるが、行政機能が集中し、就業機会が多い首都マレに全人口の約35%にあたる約10.4万人が居住している。マレへの人口集中は治安の悪化や住民の生活環境の悪化等を生み出すなど、社会問題化している。

また、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、甚大な被害を受けた。その被害額はGDPの62%で、2005年のGDP成長率は-4.6%と落ち込んだが、観光・漁業等産業の回復により、2006年には23.5%の成長率となった。これにより、首都マレでは建設ラッシュがおこり、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へ流入するなど、人口集中が一層進むこととなった。

モルディブでは、主要28島で100%政府出資のモルディブ電力公社（State Electric Company Limited：STELCO）が電力供給を行っており、そのうちマレの電力供給は72%にも達する。またモルディブにおける電力供給は、ほぼすべてをディーゼル発電に依存しているため、昨今の原油価格高騰によりSTELCOの財政状況が悪化するだけでなく、国家としてのエネルギーセキュリティが危機にさらされている。

マレの電力需要は年率10%以上で伸び続け、増大する電力需要に対応するためにSTELCOはディーゼル発電機の新規導入等を図っているものの、土地に限られるマレでこれ以上の拡張は不可能な状況にある。

これら課題に対処するために、モルディブ政府はフルマレ島の浅瀬をしゅんせつしてフルマレ島を拡張（7.85km<sup>2</sup>）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。しかし、フルマレ島総合開発計画によると、住民の移転や商業地区、文教地区の建設、外国資本を呼び込んだ観光地区等の建設により、フルマレ島の電力需要が急速に増大することが想定される。

一方でモルディブは海拔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ひとつであるが、第7次国家5ヵ年開発計画（2006年～2010年）では、石油の代替エネルギーとして再生可能エネルギー、特に風力、バイオマス及び太陽光エネルギー利用を促進することを優先課題として掲げている。

このような状況のなか、モルディブ政府は、マレ島及びフルマレ島の中長期的な電力の安定供給を目的に、太陽光とディーゼル発電の併用による発電体制の整備、エネルギー消費の効率化と気候変動対策促進のために、わが国に開発調査を要請した。

## 1-2 調査の目的

本調査団では、要請内容、先方政府の実施体制、他ドナーの活動等を確認した上で、協力の必要性、妥当性、留意点及び協力内容の検討を行った。特にSTELCOのマレ既存ディーゼル発電系統の日負荷の状況や系統の安定性、維持管理状況、並びに電力事業の事業計画・財務状況を確認し、グリッド接続型の太陽光発電（PV）導入にかかわる技術的实施可能性と財務的实施可能性の検討を予備的に行った。

あわせてモルディブの電力需給状況等の実態把握のために、ノンプロ無償により供与されたグリッド接続型太陽光発電機器が導入されているラーム環礁・フォナドー島及びガン島の視察を実施した。

### 1-3 団員構成

団員構成は以下に示すとおりである。

氏名	担当分野	派遣期間	現職
林 俊行	団長・総括	2008年2月2日～ 2008年2月16日	独立行政法人国際協力機構 国際協力専門員
篠田 孝信	調査企画	2008年2月2日～ 2008年2月16日	独立行政法人国際協力機構 経済開発部第二グループ 資源・省エネルギーチーム職員
皆元 正博	集中型太陽光技術	2008年2月2日～ 2008年2月16日	ICONS 国際協力株式会社 水産開発部主任コンサルタント

### 1-4 調査日程

調査日程は以下に示すとおりである。

日付		林団長		篠田団員・皆元団員		
		時間	活動	時間	活動	
2月	2日	土	17:20 23:45	ダルエスサラーム発 (EK726) ドバイ着	11:30 17:55	成田発 (SQ637) シンガポール着
2月	3日	日	2:30 7:40 15:00	ドバイ発 (EK559) マレ着 JICA モルディブ駐在員事務所訪問：野々部駐在員表敬・協議	0:30 2:45	シンガポール発 (SQ452) マレ着
2月	4日	月	11:00 12:00 13:00	環境・エネルギー・水省 (MEEW) 訪問：副大臣表敬・協議 国連開発計画 (UNDP) モルディブ事務所訪問：副所長表敬・協議 MEEW 訪問・協議		
2月	5日	火	9:00 10:00 15:00	外務省外外部資源局 (DER) 訪問：副局長表敬・協議 モルディブ電力公社 (STELCO) 訪問：局長表敬・協議 ディーゼル発電所視察 (マレ島) JICA モルディブ駐在員事務所訪問：団内協議		
2月	6日	水	9:30 12:00 17:30	フルマレ島視察 フルマレ開発公社 (HDC) 訪問・協議 フルマレ島 STELCO 訪問 ディーゼル発電所視察 (フルマレ島) MEEW 訪問：副大臣・局長協議		
2月	7日	木		ラーム環礁視察 ・フォナドー島視察 島事務所訪問 ディーゼル発電所視察 アートル事務所訪問 ・ガン島視察 島事務所訪問 ディーゼル発電所視察		
2月	8日	金		M/M 作成、報告書作成		
2月	9日	土		M/M 作成、報告書作成		



(4) 国連開発計画 (United Nations Development Programme : UNDP) Maldives Office  
Ms. Melaia Vatucawaqa Deputy Resident Representative, UNDP Maldives  
Ms. A. Hudha Ahmed Assistant Resident Representative, UNDP Maldives

(5) 建設・公共インフラ省 (Ministry of Construction and Public Infrastructure : MCPI)  
Mr. Mohamed Ali Director of Construction Industry Development Section

(6) フルマレ開発公社 (Hulhumale' Development Corporation : HDC)  
Mr. Suhail Ahmed Director  
Nuha Mohamed Deputy Director

## 第2章 団長所感

### 2-1 技術協力の妥当性

#### 2-1-1 技術的・財務的観点

今回のプロジェクト形成調査の目的のひとつが既存系統の安定性の予備的調査であった。マレ島モルディブ電力公社（STELCO）の発電所を調査した結果、制御方式は電子制御ガバナとプログラマブル・ロジック・コントローラ（PLC）を併用しているとのことで、系統の周波数・電圧は安定しており、太陽光発電（PV）システムとの連系は技術的に可能であると判断された。また、予備的に財務分析を行ったが、PVシステム導入により節約されるディーゼル燃料と維持管理費用のプロジェクト期間（25年間）にわたる総額が、PVシステム設置に必要な投資額の数分の一程度にしかならなかった。また、この代わりに推計した平均電気料金を使って計算したが、ほぼ同じ結果となった。

このような結果となったのは、現在、急騰しているPVモジュールの価格がひとつの要因だが、本格調査では現地調査に基づいてPVシステム設置費用の積算と価格の検討を十分行う必要がある。特に今回の調査で、ディーゼル発電の燃料が価格の安いC重油ではなく、現在、リットルあたり10.17ルフィアするA重油であるため、現在の電気料金では、ほぼ燃料代しか回収できていないことがわかった。STELCO損益計算書によると、それまで黒字だった経営が2006年に約120億円の赤字となっており、その主要原因が高騰した燃料代であった。2007年も同じ状況が想定され、STELCOにとり、再生可能エネルギー導入による燃料代削減は非常に重要な経営課題であることが理解された。

#### 2-1-2 日負荷曲線

マレ系統の日負荷曲線は日中の冷房需要により、昼間の需要が大きい先進国型の需要構造で、昼間だけ発電する系統連系PVシステムはディーゼル燃料削減に大きく貢献できることがわかった。

#### 2-1-3 モルディブ政府の政策

モルディブ政府は第7次国家5ヵ年開発計画（2006年～2010年）で、再生可能エネルギー利用を促進することにより、エネルギー安全保障を拡大するとしている。そのために太陽エネルギーと風力エネルギーを導入し、実証するとしている。

#### 2-1-4 モルディブにおける再生可能エネルギー開発の現状

2004年にはデンマーク王国（以下、デンマークと記す）の協力で再生可能エネルギーの資源調査が行われ、調査結果がまとめられた。2005年12月には、環境・エネルギー・水省（MEEW）がドナーの協力によりマンドー島でPVとディーゼル発電のハイブリッドシステムを設置し、日本のノンプロ無償ではラーム環礁の2島に小規模PVシステムが設置された。モルディブで実用的な再生可能エネルギーはPVと太陽熱と思われるが、資源調査が行われパイロット設置はあるものの、まだほとんど実用的に利用されていない。

このため系統連系PVのフィージビリティ・スタディ（F/S）は、この国で再生可能エネルギーを具体的にどのように実用化できるのかという課題を明らかにするうえで有意義な調査と考えられる。

### 2-1-5 資金的目途

モルディブ側は、系統連系 PV システム設置資金源のために国際協力銀行（JBIC）の資金を考えているようである。

その他の資金源としてはアジア開発銀行（Asian Development Bank : ADB）、デンマークの資金などがあるとのことで、すでに実施された地方島の電化には ADB の資金が使われている。また STELCO は、マレ島でこれから設置するディーゼル発電の資金をデンマーク国際開発援助（Danish International Development Assistance : DANIDA）から確保しようとしている。

PV システムは大きなシステムを一時期に設置する必要はなく、目途のついた資金規模に従って段階的に設置していくことが可能な設備であるため、JBIC のような大きな資金の目途がはっきりしていなくても、モルディブ側が他のドナー、または自分たちの資金で実施する可能性は大きい。

また、新しく開発されているフルマレ島を含めて、マレ首都圏に系統連系 PV システムを設置するには家屋の屋根やビルの屋上に設置するしかなく、一度に設置できる面積が限られているため、資金を確保する前に設置場所も含めた F/S 調査を実施することは意味がある。

### 2-1-6 開発調査実施の妥当性

STELCO の既存系統は安定的であり、系統連系 PV システム導入のためにさらなる調査が有用なこと、マレ系統では日中の需要が大きく、系統連系 PV システムがディーゼル燃料節減に貢献できること、モルディブ政府は再生可能エネルギーの導入を政策目標としているが、実用的な再生可能エネルギー導入の具体的検討はまだ行なわれていないこと、PV システムは可能な資金規模に従って段階的に設置できることなどから、要請された開発調査を実施することは妥当であると考えられる。

## 2-2 モルディブ側の受け入れ態勢

要請元である MEEW には“Energy Section”があり、また同じ省内に“Maldives Energy Authority”がある。エネルギー担当の副大臣は仕事熱心で、この開発調査の実施を真剣に考えている。

しかし、モルディブでエネルギーを専門とする行政部門は2、3年前にできたばかりのようであり、“Energy Section”には局長がいるものの組織的構造が特に決っていないのが現状である。また局長以外6名いる人員もほぼすべてが事務系で、技術的なことは理解できない。

30万人という人口規模で、長期政権を維持している大統領に権力が集中する政治的背景で、モルディブの行政能力は一般的に非常に脆弱で、MEEW もその例にもれない。系統連系 PV 導入の F/S を実施するには、技術的検討とともに制度的検討・調整が必要であり、この点で MEEW の脆弱性が危惧される。

これに対し、STELCO はひとつの職能集団として問題なく機能しているようであり、技術的にも資格と経験のある人材がそろっていると思われる。特に STELCO としては、近年の燃料高騰と需要増に対応する手段として、本開発調査に対しかなりの期待を抱いている。

## 2-3 開発調査実施にあたっての考え方

### 2-3-1 政府及び一般の人々の気づきを促す手段としての F/S 調査

モルディブの大統領は、先進国に対して地球温暖化ガス削減の重要性を訴えている。しかし、国内ではこのメッセージを特に発していないようである。ラーム環礁の島々を調査したが、島を縦断する道路には街灯が贅沢に設置されて省エネの観点がないことが伺われた。マレ島でもエネルギーを節約しようという発想を観察できなかった。

第7次国家5ヵ年開発計画では省エネを促進する政策が示されているが、F/S 調査期間中に PV・省エネセミナーなどを開催し、また、F/S 終了後に実際に PV システムが屋根の上に設置されると、小さな社会であるマレ島で省エネの考え方が浸透することが期待できると思われる。この点で、モルディブの省エネ促進のきっかけとするという戦略をもってこの F/S を実施することが望まれる。

### 2-3-2 フルマレ島の大規模開発計画

モルディブ政府はフルマレ島を大規模に開発し、国際的な商業都市にする計画であり、もし計画が実現すると、電力需要はマレ島の数倍の規模になる。フルマレ島でも PV システムは屋根または屋上に設置する必要がある、大規模開発が始まる前に系統連系 PV システムの設置ガイドラインなどを整備して導入することで PV 設置をフルマレ島で促進し、地球温暖化対策を自ら行っているというアピールをモルディブ政府が国際社会に向けて行うことも将来的に可能ではないか。

### 2-3-3 制度的検討の必要性

今回の現地調査でよく理解できたことは、マレ首都圏で系統連系 PV システムを設置する場所は家屋やビルの屋上にしかないということである。つまり、実際に PV システムが設置される場合、必ずしも家屋やビルの所有者が設置を行うわけではなく、例えば STELCO がビルの屋上を借りる場合も考えられる。また、民間会社が自社ビルに設置する場合は、STELCO への売電料金制度など、さまざまな制度的検討が技術的検討とともに重要な課題となる。

### 2-3-4 CDM プロジェクトの可能性

マレ首都圏で系統連系 PV システムを設置する場合、いくつかのビジネスモデルが考えられるが、そのうちのひとつがクリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism : CDM）である。モルディブでは MEEW のなかに指定国家機関（Designated National Authority : DNA）がすでに設置されているが、CDM プロジェクトを実施した経験はない。このため、CDM 実施に必要な制度や条件整備なども視野に入れて調査をすることが必要となる。

### 2-3-5 包括的な財務的・経済的分析

今回の系統連系 PV システム F/S 調査で必要とされる財務的・経済的分析は、単にプロジェクトの内部収益率を求めるだけでなく、STELCO のマレ系統における財務的・経済的供給費用の計算と電気料金の分析、PV からの売電料金制度検討など、包括的な分析を行う必要がある。

## 第3章 調査結果概要

以下「3-1」から「3-4」までに示す各項目について、先方関係機関との協議、現地踏査により確認し、先方機関との合意内容を協議議事録（Minutes of Meeting：M/M）にまとめ、署名交換を行った。なお、M/M 冒頭に記載した「要請の背景」については、「第1章 1-1 調査の背景」を参照されたい。

### 3-1 調査結果

#### 3-1-1 マレ首都圏における電力需給状況

##### (1) マレ島

マレ首都圏はマレ島、フルマレ島、フルレ島（空港）、ビリンギリ島、テラフシ島からなっているが、電力送配電線は連系されておらず、それぞれの島でディーゼル発電し供給している。ディーゼル燃料はマレ島近くの燃料島から、マレ島へは1日に2、3回バージ船で搬送している。

マレ島では需要増に対応するため、緊急電源として1MWのクミンズディーゼル発電機6台が道路を封鎖して設置され、また8MWの発電機3台を設置予定だが、これ以上拡張するスペースがない状況にある。

##### (2) フルマレ島

フルマレ島は開発マスタープランにしたがって、大規模なしゅんせつを行い、住民移転用の住宅地、工業地区、文教地区、外国資本を呼び込んでの商業地区、観光地区などに利用される予定である。すでにマレ島からの移住が開始しており、開発計画のフェーズ1が終了する2020年ごろには、ひとつの大きな都市となり、マレ島の数倍の電力需要が見込まれている。

##### (3) マレ島ディーゼル発電所における電力負荷状況

マレにおける電力消費は、エアコンの使用等により日中の電力消費が大きい。この電力負荷構造は、日中発電する太陽光発電（PV）にとり理想的といえ、グリッドに接続してのPV発電導入の効果は大きいといえる。

##### (4) 電力の質

マレ及びフルマレのディーゼル発電では、周波数の変動に対しては、電子制御ガバナとプログラマブル・ロジック・コントローラ（PLC）を採用し、過渡応答と定常安定性を確保している。電圧やシステム保護の安定性から鑑みるにPVとの系統連系に耐えうることが確認された。

#### 3-1-2 モルディブ電力公社（STELCO）の電力料金及び政府補助金

STELCOのマレ島における設備稼働率は95%と高いものの、電気料金は他の途上国と比して安いとはいえない。2002年と2004年には需要家の要求で電気料金を下げたが、それ以後原油価格が上昇した結果、マレ島での電力経営が赤字となった。以前はマレでの黒字を地方島の赤

字に充てていたため、内部補填が成立していたが、現在は政府からの補助金を受けている。

### 3-1-3 マレ島・フルマレ島の土地の有効活用

PV で大規模な発電をするには大きな土地が必要だが、マレ島とフルマレ島では PV のために土地を占有することができず、設置する場所は屋根の上やビルの屋上しかないことがわかった。

PV を屋根や屋上に設置するためにはその所有者との合意が必要であり、また、建築基準の変更も必要と思われる。このため、PV を大規模に導入するにはエネルギー関係以外のさまざまな関係者との協議と制度の修正などが必要であることが理解された。

### 3-1-4 クリーン開発メカニズム（CDM）プロジェクトの可能性

PV システムの導入は CDM プロジェクトとしての実施可能性を視野に入れるべきである。モルディブでは CDM プロジェクトの実施経験はないが、環境・エネルギー・水省（MEEW）内に指定国家機関（DNA）がすでに設置されている。

### 3-1-5 エネルギー分野における人材育成の必要性

ノンプロ無償で PV とディーゼルとの系統連系システムが導入されているラーム環礁のガン島及びフォナドー島の視察を行った。アートル庁舎職員や政府関係者はエネルギー・電力関係の知識がほとんどないようであった。また、コミュニティが運営する発電所はきれいに掃除されていたが、運転維持管理のためにはさらなる人材育成が必要であることが今回の調査で理解できた。また、地方の発電所などのエネルギー関連施設を計画し、監督する立場にある MEEW の人材に対しても能力開発が必要と思われた。

## 3-2 想定される技術協力について

### 3-2-1 系統連系 PV システムに係る実施可能性調査（F/S）

PV システムの導入はマレ・フルマレ島において、ディーゼル燃料の消費を節減することが可能であると思われる。技術的な検討と組織・制度的な検討が調査のなかで必要である。技術的検討では、想定される PV 設置場所の選定や技術基準の整備、コスト試算や経済的・財務的分析等を行う。また制度的検討においては、建築基準や電気事業法の分析、電力売買契約の検討、CDM プロジェクトビジネスプランの検討等が含まれる。

### 3-2-2 人材育成

STELCO は職能集団として十分な技術力を有するが、MEEW をはじめとする関係省庁においてはプロジェクトを企画・運営する人材が不足している。本格調査で F/S が実施された場合、各省庁間での調整は必須となるため、特に MEEW におけるプロジェクト実施能力の強化とその人材育成が必要である。

## 3-3 他ドナーにおける活動

国連開発計画（UNDP）が地球環境ファシリテーター（GEF）による資金協力を受けて再生可能エネルギープロジェクトを実施している。人材育成を目的とした研修やパイロットプロジェクトによる PV 機器の設置を行っている。

### **3-4 今後のステップ**

本調査結果をもって、外務省、経済産業省等日本側関係機関で本件採択の協議を行い、採択された場合、事前調査で本格調査の調査内容に合意したのちに本格調査実施となる予定である。

## 第4章 モルディブの概要・エネルギー事情

### 4-1 モルディブの概要

モルディブはスリランカの南西約 750km 離れたインド洋に浮かぶ島嶼国で、1,192 の島々からなり、南北 823km(北緯 7° 6' 30"~南緯 0° 42' 24")、東西 130km(東経 72° 33' 19"~東経 73° 46' 13")に位置している。そのなかで住民が住む島は 194 島だけで、約 90 島は現地住民の住んでいないリゾート島、残りが無人島となっている。

国土の総面積は 298 km<sup>2</sup>で佐渡島の 0.35 倍、人口約 30 万人(2006 年)である。そのうち首都のあるマレ島は、面積わずか 1.77 km<sup>2</sup>に 10.4 万人と人口の 3 分の 1 が集中している。

モルディブの成り立ちとしては、英国保護国から 1965 年に独立し、1968 年に共和制に移行した。宗教はイスラム教である。主要産業は漁業と観光で、1 人あたりの GDP は 2005 年に 2,606 米ドル、2006 年には 3,090 米ドルに達している。

### 4-2 自然環境と気候

#### 4-2-1 気候・気温と降雨量

気候は高温多湿の熱帯性気候で、5 月~10 月は南西モンスーン季、11 月~4 月は北東モンスーン季になる。気温は年間平均気温 28 度で気温の変化は少ない。そのなかで、3 月~5 月は年間で最も暑い季節になる。年間降水量は 1,822mm で東京の 1,472mm と比べて多い。

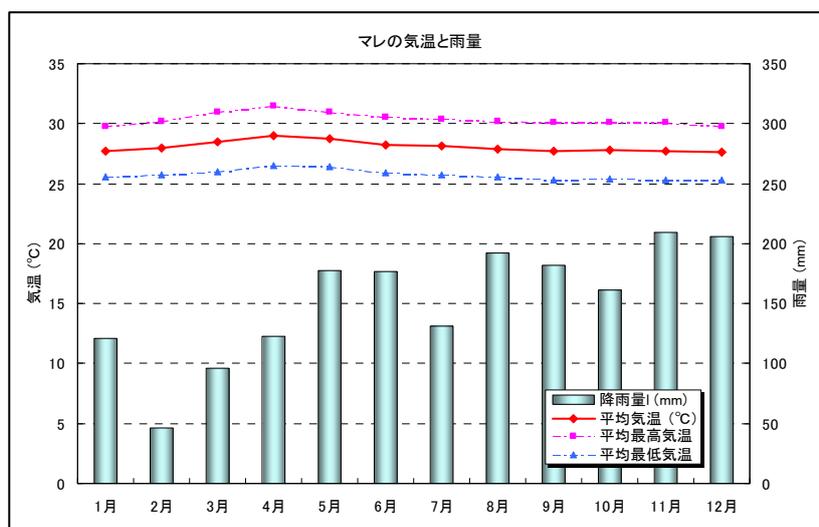


図3-1 マレの平均気温と降雨量

#### 4-2-2 日射量

日射量は太陽光発電 (PV) システムのエネルギー源であり、PV システム導入のためには最も重要なデータである。日射データは長期間の観測により得られたものである必要があり、アメリカ航空宇宙局 (NASA) のデータベースから 10 年間の平均値を利用する (東京のデータは気象庁 1998 年~2007 年の 10 年間平均を使用)。

これによると、マレの日射条件はきわめて良好で、1 日あたりの全天日射量の年間平均値は 5.85kWh/m<sup>2</sup>に達する。東京の全天日射量 3.44kWh/m<sup>2</sup>に比較すると 70% も多いことになる。ま

た、季節による日照量の大きな変動はみられない。

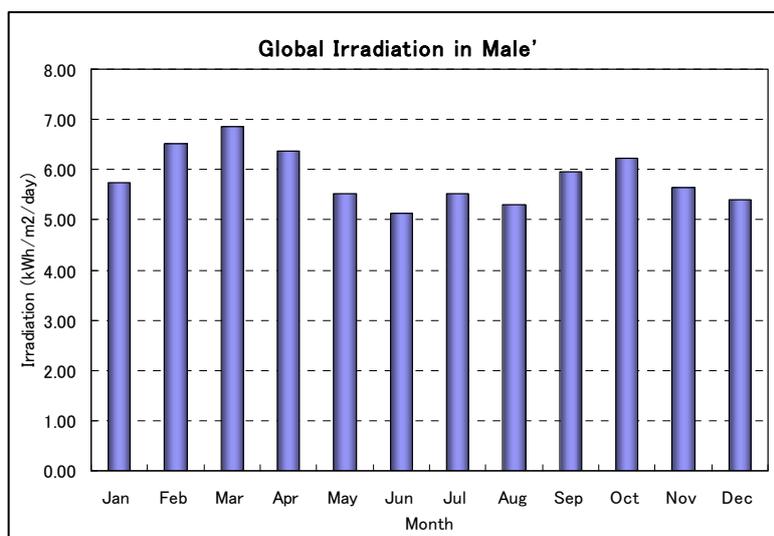


図 3-2 マレの全天日射量

### 4-3 経済・産業

モルディブの主要産業は水産及び観光産業であり、実質 GDP の約 40%にこれらの産業が寄与している。2001 年に発生した米国同時多発テロの影響で観光業が一時低迷した。その後、水産物輸出の増加等により、2001 年以降経済は順調に回復してきたが、2004 年末に発生したインド洋大津波の影響で甚大な被害を受け、被害額は GDP の約 62%に達し、2005 年の GDP 成長率は-4.6%と落ち込んだ。

しかし観光・漁業等産業の回復により 2006 年には 23.5%の GDP 成長率となった。1 人あたりの GDP は 1983 年の 771 米ドルから、2006 年には 3,090 米ドルに達している。

そのため、2004 年末に後発発展途上国 (Least Developed Country : LDC) 卒業が確定していたものの、津波被害により OECD により 3 年間 LDC 卒業国リストの対象国となることが猶予され、2008 年からさらに 3 年間の LDC 卒業移行期間を経て、2011 年に完全に卒業となる予定である。

### 4-4 エネルギー政策・法令

#### 4-4-1 エネルギー政策

モルディブは、現在「第 7 次国家 5 ヵ年開発計画 (2006 年~2010 年)」実行期間にある。この計画のなかにエネルギー分野の状況や政策が掲げられている。

モルディブ政府のエネルギーに関する現状認識は以下のとおりである。

- ① 過去 10 年間にわたり電力供給の改善が進んで、2006 年までにすべての住民居住島が電力供給可能になった。
- ② モルディブ電力公社 (STELCO) はマレ首都圏を中心に、主要 28 島で電力供給を行っている。残りの居住島は島のコミュニティや個人所有の発電機により電力供給が行われている。
- ③ STELCO が関わっていない居住島やリゾート島の電力供給に関するデータは入手困難なため、国全体の発電設備容量は不明。

- ④ モルディブで使われる全電力のおよそ 60%はリゾート島で消費されていると考えられる。
- ⑤ STELCO の 2006 年における全発電電力量 185.6GWh の約 72%はマレ都市部で消費された。さらに年率 11%で増加し続けている。
- ⑥ 土地に限られるマレ島ではこれ以上の電力供給増強は望めない。解決のためには近隣島で発電し、送電を検討しなければならない。

このようにさまざまな課題があるなかで、エネルギー政策として次の 4 項目が示されている。

政策1) すべての島で信頼性のある利用可能なエネルギー供給を行う。

2004 年の津波で破壊された電力インフラのリハビリやすべての住民島を 24 時間給電できる状態へのアップグレード、マレ首都圏の地域電力系統の設立などが記されている。

政策2) 省エネルギーとエネルギー効率化の推進と提供するサービスの質の向上

発電・配電・電力利用の面での効率化の促進、公共建物のような主要なエネルギー消費者に焦点を当てた需要家側管理の推進、すべての新築建物でエネルギー節約を達成するための「建築法 (Building Code)」などに言及している。

政策3) 再生可能エネルギーと環境対応エネルギー源の推進による国家エネルギーセキュリティの向上

対策として、持続可能な太陽エネルギー及び風力エネルギー応用装置の導入と実証、家庭ごみを利用した発電可能性の検証、バイオ燃料利用の奨励などが挙げられている。

政策4) エネルギーセクターの制度的枠組みの強化

ここではエネルギーセクターの管理機能の強化、発電所のオペレーターに対する訓練の実施、エネルギー消費を管理・評価するための基準の確立などを含んでいる。

#### 4-4-2 エネルギー関連法令・規則

電力関係法・規則に関し、モルディブ側から入手した現地語を英語訳した情報をもとに内容を調査した。含まれている規則及び法律は以下である。

- ・マレ及び外部環礁における電力供給に関する規則  
(Regulations on public supply of electricity in Male' and outer Atolls)
- ・公共サービス管理法 (Law governing public services)

「電力供給に関する規則」では電力供給者の登録、発電機設置時の事前報告、サービスの提供者と受益者の契約、契約違反とサービスの停止、発電所と発電機設置に関する仕様、制御室や配電盤などに関する仕様、配電系統に関する仕様、ワイヤリング規定、電力事業に携わる人の資格など、電力供給事業に関する一般的な基本事項が決められている。

「公共サービス管理法」はさらに基本的な考えの大枠を規定しているもので、電力供給に関

する具体的な規定は含まれていない。

上記規定のほか、電力機器に関する規則、基準などは特になく、すべての機器が輸入に頼っているため、国際標準規格 IEC 準拠といえる。

太陽光発電 (PV) 関係、特に系統連系に関する規則、基準などは当然整備されていない。PV システムを大量に導入する政策を進めようとするならば、先進国の基準をモデルとした系統連系に必要な保護機能、連系条件の基準などを整備していくことが必要となる。

#### 4-4-3 その他の関連法・規格

・「モルディブ国家建築法 2007」

(The Building Regulations 2007・Maldives National Building Code 2007)

PV システムを建物の屋根上やビルディングの屋上に設置する場合に関係するような条件は、今のところ想定されてはいないと思われる。モルディブにおいては、建物に要求される条件の優先度は、安全及びエネルギー効率となっている。

#### 4-5 再生可能エネルギー導入政策

モルディブ政府は第7次国家5ヵ年開発計画(2006年～2010年)の4つのエネルギー政策のなかのひとつとして「再生可能エネルギーと環境対応エネルギー源の推進による国家エネルギーセキュリティの向上」を図ることを明記している。このなかで政策実現のための対策として、以下を挙げている。

- ・持続可能な太陽エネルギー及び風力エネルギー応用装置の導入と実証
- ・家庭ごみを利用した発電の可能性開発
- ・バイオ燃料利用の奨励
- ・家庭や産業分野において再生可能エネルギー利用機器の使用を奨励

上記の目標のなかで、モルディブにおいて常時安定したエネルギー源になり得るのは、太陽エネルギーであることは疑いない。

#### 4-6 エネルギー需給状況

モルディブのエネルギーは、交通機関を除けば、ほぼすべてをディーゼル発電による電力に頼っている。マレ首都圏をはじめ、比較的人口の多い主要な島の電力供給を担っている STELCO は、近年発電に用いるディーゼル燃料の高騰に苦慮している。さらに、使用している燃料油は C 重油より良質であるが値段の高い A 重油のため、燃料代の影響が一層大きくなっている。

STELCO が運営する発電所の発電電力量は年々大きな伸びを示しており、年間総発電電力量は 2003 年の 141GWh に対し 2007 年には 244GWh に達している。伸び率で見ると、全体では対前年比 13%～15% 前後の高い伸びを示している。開発が進むにつれて、この傾向は今後もしばらく続くと思われる。

##### 4-6-1 マレ島の状況

マレ首都圏はマレ島、フルマレ島、フルレ島(空港)、ビリングリ島、テラフシ島からなっているが、電力送配電線は連系されておらず、それぞれの島でディーゼル発電し供給している。ディーゼル燃料は、マレ島近くの燃料島からマレ島へ1日に2、3回バージ船で搬送している。

人口集中が著しいマレ島の電力供給は、最近の10年間で年率10%～13%で伸び続けており、2007年には約177GWhに達した。ここ数年は12%を越える伸びを示しており、この傾向が続けば、毎年3MW強の設備増強が必要になり、第7次国家5ヵ年開発計画が終了する2011年までに、最低限11MW程度の追加設備が必要になる。

マレ島では需要増に対応するため、緊急電源として1MWのディーゼル発電機6台を発電所に隣接した道路を封鎖して設置して急場をしのいでいる。今後の設備増強は、設置場所の制限から、現在進められている発電機増設計画24MW(8MW×3台)が最後となり、その後は需要の伸びに対応できない。現状の需要増加が続けば10年以内に限界に達する可能性が高いが、マレ島はすでに飽和状態といえる程に開発が進んでおり、これ以上の大きな電力需要の伸びが継続する可能性は低いと思われ、いずれ電力需要も飽和に達することが予想される。この解決策として、現在進められているフルマレ島開発計画が促進され、上記限界に達する前に需要が飽和することが期待されている。

#### 4-6-2 フルマレ島の状況

フルマレ島は開発マスタープランに従って、大規模な埋め立てを行い、住民移転用の住宅地、工業地区、文教地区、外国資本を呼び込んでの商業地区、観光地区などに利用される予定である。すでにマレ島からの移住が開始しており、開発計画のフェーズ1が終了する2020年ごろには、ひとつの大きな都市となり、飛躍的な電力需要増が見込まれている。

#### 4-6-3 省エネルギー努力

電力需要急増の大きな原因のひとつに、効率の低い従来型エアコンの使用や国民の省エネルギー意識の低さがある。

モルディブ政府は第7次国家5ヵ年開発計画(2006年～2010年)の4つのエネルギー政策のなかのひとつに、「再生可能エネルギー」と同時に「省エネルギーとエネルギーの効率化」を掲げている。しかしながら、この政策が実質的に推進されているとは思えないのが実態である。必要以上の容量の旧式エアコンの使用、不要と思われる街路照明、狭い道路にひしめく車やモーターバイクなど、危機的状況に陥る前に取り組むべき課題ではないか。

### 4-7 エネルギー供給体制

モルディブでは、船、航空機及び車などの交通機関用のエネルギーを除けば、エネルギーのほぼすべてを輸入石油を燃料とするディーゼル発電電力に頼っている。燃料の石油はモルディブSTO(State Trading Organization)が調達し、STELCOに供給している。

STELCOが担っている電力供給事業は、マレ首都圏をはじめ、人口の比較的多い主要な島の28発電所である。STELCOの総設備容量は2007年現在60.9MWであり、2007年1年間の総発電電力量は234.8GWhであった。そのうち、首都のマレでは設備容量35.5MW(全体の58.3%)を有し、176.8GWh(全体の75.3%)の電力量を生産しており、極端な1極集中の状態になっている。

しかし、その他の住民島や、リゾート島などSTELCOが電力供給を行っていない島も数多く存在する。そのような島では、島独自に発電設備をもち住民に電力を供給している。これらの電力供給システムは、発電機の設置、運営、燃料の調達などすべてSTELCOとは無関係にそれぞれ独自に行われている。

## 4-8 エネルギー価格

### 4-8-1 STELCO の電力料金及び政府補助金概要

「3-1-2」に記載のとおり、電気料金は高く、マレ島での STELCO の電力経営は赤字である。STELCO は政府からの補助金を受けている。

### 4-8-2 STELCO の電力料金体系

STELCO が供給する電力の料金は、首都圏の島（マレ、フルマレ、ビリンギリ、テラフシ）の料金体系とその他の島の料金体系とで異なっている。マレ国際空港は STELCO に頼らず独自の発電でまかなっている。

#### (1) 首都圏の場合

- ① 家庭向け料金
- ② 政府、公立学校、私立学校
- ③ ビジネス、ビジネススペシャル
- ④ 特別料金

に区分され、それぞれの区分内で電力消費量によって料金単価が決っている。例えば家庭用の場合、100kWh までの 1.6 ルフィア（約 14 円）から 301kWh 以上になると 2.2 ルフィア（約 19 円）であるが、ビジネス用となると 100kWh までの 3.15 ルフィア（約 27 円）から 301kWh 以上になると 3.75 ルフィア（約 32 円）となる。

#### (2) 首都圏以外の島の場合

- ① 家庭、ビジネス、私立学校
- ② ビジネススペシャル、政府、公立学校
- ③ 特別料金

に区分され、それぞれの区分内で電力消費量によって料金単価が決っている。家庭、ビジネス、私立学校の場合は 100kWh までの 2.2 ルフィア（約 19 円）から 301kWh 以上になると 3.5 ルフィア（約 30 円）と、首都圏に比較して割高になっている。

ビジネススペシャル、政府、公立学校の場合は 100kWh までの 2.25 ルフィア（約 19.4 円）から 301kWh 以上になると 3.75 ルフィア（約 32 円）である。

北部の島のハニマアド空港には特別料金が適用され、電力使用量にかかわらず電力量料金単価は 3.5 ルフィア（約 30 円）である。

#### (3) ディーゼル燃料価格

STELCO が購入した燃料のディーゼル油の値段はマレ、ビリンギリ、フルマレの首都圏と、その他の島の発電用ではわずかながら違いがあり、首都圏用が少し低くなっている。燃料 1 ㍊あたりの購入価格は、首都圏で 2004 年 1 月では約 4.54 ルフィア（約 39 円）、2005 年 5 月が 6.15 ルフィア（約 53 円）、2006 年 4 月が 7.77 ルフィア（約 67 円）、2007 年 12 月が 10.17 ルフィア（約 88 円）となっている。しかし、これは市場価格ではなく、実際の STO の原油調達先や価格は機密事項となっているため公開されていない。

## 第5章 集中型太陽光発電導入の技術的検証

### 5-1 STELCO のディーゼル発電・電力送配電状況

#### 5-1-1 発電所の概要

モルディブ電力公社 (STELCO) はマレ首都圏をはじめ、主要な島に 28 カ所の発電所をもち、すべてディーゼル発電機で発電している。首都圏以外の小規模発電所 (140kW~1.8MW) は、ほかの発電所から移設された発電機を多く使用している。各発電所は、海を隔てて遠く離れているため、互いの系統を連系することは不可能であり、その結果、それぞれの島で独立した小規模電力系統で電力供給を続けている。人口が極端に密集したマレ島では、現在計画中の 8MW 発電機 3 台の増設を最後に、スペースがなく、電力供給の限界を迎えつつある。

設備の維持管理は STELCO が独力で行っており、発電設備のオーバーホールなど大規模な点検修理も自力で可能な技術力を有す。

#### 5-1-2 設備容量

モルディブでは近年電力需要の急増が続いている。STELCO による電力総供給量は 2003 年に 141.6 GWh であったが対前年比 13%~16% も増加し、2007 年には 243.8 GWh に達した。これに対して、発電設備は 2003 年の 49MW から 2007 年には 60.9MW に増強されている。このなかで、マレ首都圏では 2003 年に 32.8MW (全体の 67%) から 2007 年には 41.7MW (全体の 69%) となっている。

表 5-1 は STELCO が管理するすべての発電所設備容量、表 5-2 はマレ首都圏の発電設備容量、表 5-3 は STELCO の電力供給実績の推移を示している。

このような状況のもとで、モルディブ政府は、再生可能エネルギー活用による安定的なエネルギー供給を検討している。

表 5-1 STELCO 発電所設備容量

	Installed Capacity (kW)				
	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
首都圏以外合計	16,275	16,242	18,547	19,329	19,175
首都圏合計	32,790	32,790	34,010	38,730	41,730
合計設置容量	49,065	49,032	52,557	58,059	60,905

表 5-2 STELCO 発電所設備容量 (マレ首都圏)

	Installed Capacity (kW)				
	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
マレ (Male')	29,490	29,490	29,490	33,490	35,490
ビリンギリ (Villingili)	1,200	1,200	2,200	2,000	2,000
フルマレ (Hulhumale)	2,100	2,100	2,240	2,240	3,240
テラフシ (Thilafushi)	-	0	80	1,000	1,000

表 5 - 3 STELCO の電力供給実績

(GWh)

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
首都圏以外の合計	30.0	34.0	38.4	47.0	54.8
首都圏の合計	111.6	126.2	147.2	165.4	189.0
合計	141.6	160.1	185.6	212.5	243.8

(収集資料から調査団が作成)

## 5 - 1 - 3 モルディブの電力品質

マレ島の電力は適正に管理されており、大規模の太陽光発電 (PV) システムを系統連系する上で大きな技術的障害要因はみあたらない。特に、小規模電力系統で問題になることが多い周波数の変動に対しては、電子ガバナとプログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC) を採用し、過渡応答と定常安定性を確保している。

フルマレ島でも、制御装置はマレ島の「おさがり」を使用しているが、ディーゼルエンジンの速度は電子ガバナを使用して高速応答を実現し、基本的にマレ島と同一管理がなされており、現在のところ周波数、電圧変動なども PV システムの系統連系に支障はないと考えられる。今後、フルマレ島の開発が進み、急速に電力需要が増大すると思われるが、それに対応して、発電機の増設とともに、マレと同様、より高度な進化した制御システムが必要になるものと思われる。

その他の島は 2000 年以降に新設された設備のほか、1990 年代の設備や他の島の発電所から移設されたものも多く、最新の制御システムを採用していない所が数多くあり、電力の制御応答や精度が十分ではない可能性が多いと思われる。従って、PV システムを系統連系する場合には、各島の系統の状態を調査してケースバイケースで対応する必要がある。

## 5 - 1 - 4 電力送配電状況

送配電線はすべて地下埋設方式とすることが「電力供給に関する規則」で定められている。送電系統は 3 相 3 線式、11kV、50Hz で、低圧配電系統は各地に設置されたサブステーションで 3 相 3 線式、400V に降圧され、各線間電圧 (単相 230V) が需要家へ分配される。

マレ島の電力系統では、各地街角に設置されているサブステーションが発電所からリモートコントロールされ、安定な電力管理がなされている。

図 5 - 1 に STELCO が管理するマレ島の送電系統 (11kV 系統) のサブステーションの配置を示す。

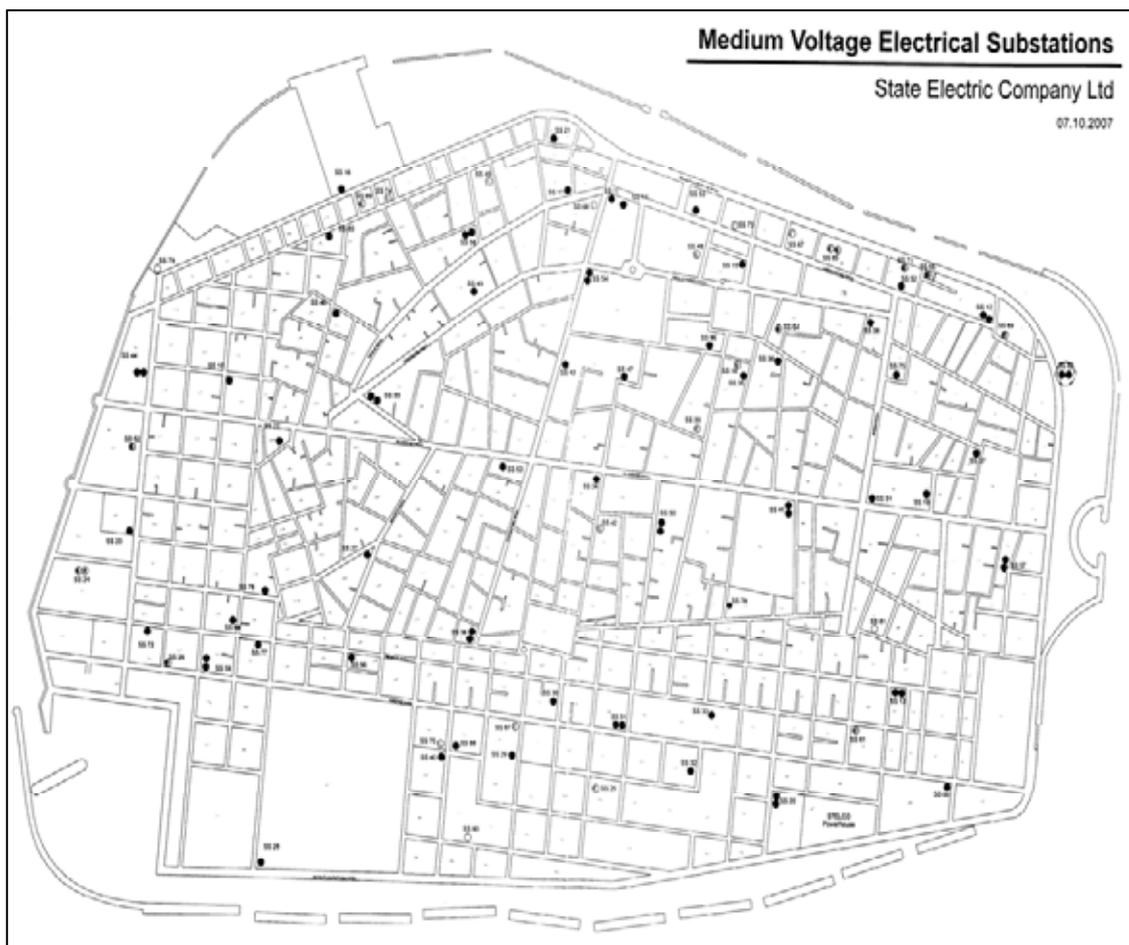


図 5 - 1 マレ島 11kV 系統サブステーション配置図

## 5 - 2 STELCO の需給制御システム

STELCO が運営する発電所は、すべてディーゼル発電機による発電を行っている。発電所の規模はホアラフシ島やグライド島発電所のような 200kW 足らずの発電機 2 台で運用している場合から、マレ発電所のような 6.5MW から 1.0MW まで大小 13 基の発電機で運用している所もあり、事情は異なる。

マレ発電所では、負荷の増減に対して所定の運転シーケンスに従い、運転発電機の起動停止を選択する通常の負荷対応の方法が行われている。そのほか、中小規模発電所でも、可能な限り同様の方法が採られていると思われる。

## 5 - 3 太陽光発電導入のための技術検討

### 5 - 3 - 1 日射量データ

PV システムのエネルギー源であり PV 導入を検討する際、最も重要なデータである。アメリカ航空宇宙局 (NASA) のデータベースから、マレにおける 10 年間の平均値が利用できる。これによると、マレの日射条件はきわめて良好で、1 日あたりの全天日射量の年間平均値は  $5.85\text{kWh/m}^2$  に達する。系統連系 PV システム設置の実績の多い東京の全天日射量  $3.44\text{kWh/m}^2$  に比較して 70% も多く、有利な条件を備えている。

表 5-4 マレの全天日射量

(kWh/m<sup>2</sup>/day)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
全天日射量	5.73	6.52	6.86	6.36	5.53	5.14	5.52	5.31	5.96	6.22	5.63	5.4	5.85

5-3-2 期待される発電電力量と波及効果

上記 NASA の日射データをベースに計算すると、系統連系 PV システム 1kW あたり、1 日 3.7kWh~5.2kWh、年間 1,600kWh の電力量が得られることが期待される。もし、1MW の PV システムを設置した場合には、1 日 3.7MWh~5.2MWh、年間 1.6GWh の電力量が得られることになる。この電力量は 2007 年度マレ発電所の年間発電電力量約 177GWh の 0.9% に相当し、フルマレ発電所の年間発電電力量 5.8GWh の約 28% になる。

マレ発電所の燃料消費は、発電電力 1kWh あたり約 0.255ℓ であるから、1MW の PV システムによる年間燃料節約は 約 400kℓ 程度になる。この燃料を排出係数 2,709.4kg-CO<sub>2</sub>/kℓ を適用して炭酸ガス排出量に換算すれば、およそ 1,100 トンになる。

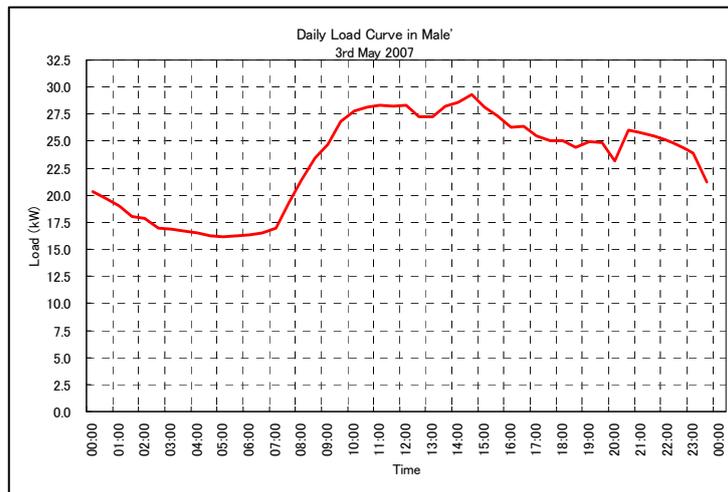


図 5-2 マレにおける日負荷曲線

5-3-3 電力需要傾向（日負荷曲線）

負荷需要傾向は 3 つのパターンに分かれる。これらのパターンの違いは PV システムを系統連系した場合、その効果に大きな違いをもたらす。

- (1) 需要のピークが昼間に現れる、先進国にみられるパターン

マレ、ビリンギリなどにみられる。日中に電力のピークが起こるこのパターンは、首都圏でも大きな産業用需要が乏しいモルディブでは、政府関連施設やアパート、商店などのエアコンによる電力需要が大きな割合を占めている。

- (2) 需要のピークが日没後に現れる、途上国にみられるパターン

Guraidhoo 島、Hoarafushi 島などにみられる（図 5-3 参照）。日没後に電力のピークが起こる (2) の場合は、比較的小規模発電所が多く、夜間の照明やテレビなどの負荷が中心で、エアコンなど電力多消費負荷は少ないと考えられる。

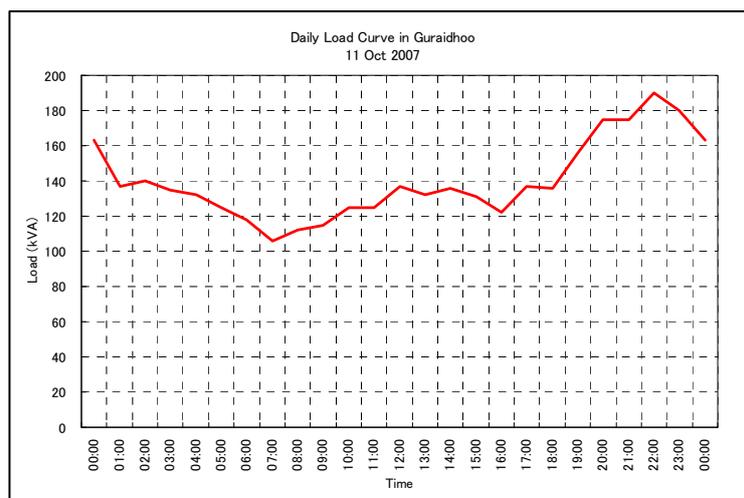


図 5-3 Guraidhoo 島における日負荷曲線

### (3) 日負荷曲線と PV システムの関係

PV は、日射強度に比例して昼間だけしか発電できない。電力は蓄電池など特別なエネルギー貯蔵装置を装備していない限り、昼間に発電した電力は発電と同時に消費しなければならない。従って、昼間にピークがある負荷の場合、PV により発電された電力はピーク電力の一部を担い、発電機の負担を減らす役割を果たし、ディーゼル発電と PV の相乗効果が発揮される。

一方、負荷需要のピークが日没後に現れるパターンでは、ピーク負荷に対して PV システムは全く役割を果たせず、発電機の負担軽減にはならない。逆に、日中の軽負荷時に PV による電力が供給されると、ディーゼル発電機はさらに軽負荷運転を強いられる事になり、好ましくない状況も起こりうる。

#### 5-3-4 PV システムに必要な敷地面積

太陽エネルギーはクリーンかつ無料で、場所を選ばず利用できる魅力的なエネルギー源ではあるが、はるか彼方の太陽からの放射エネルギーを利用するため、エネルギー密度が低く、大きなエネルギーを集めるためには、広大な面積を必要とする。

現在の大容量 PV モジュール（175W 型、200W 型など）は変換効率が 14% 弱のものが多く、1kW あたりの PV モジュール面積は約 7.2m<sup>2</sup>~7.5m<sup>2</sup> 程度になる。作業スペースなど、必要スペースをモジュール面積の 50%~60% 確保し、モジュールの集合体、すなわち所要 PV アレイ面積とする。

この基準で計算すると、1MW の PV システムに必要な面積は 1 万 m<sup>2</sup>~1 万 2,000m<sup>2</sup> 程度（例えば 100m×120m）になる。敷地はビルの谷間など日陰でなければ、地上である必要はなく、建物の屋根上などの遊休地が活用できる。

#### 5-3-5 PV システムの設置場所

それぞれの島の状況によって PV システムの設置可能な場所はさまざまな制約を受けるため、PV システムの設置場所については地域の事情をよく見極める必要がある。

### (1) マレ島の場合

一般的に、開発途上国は、PV システムを導入する場合には、太陽電池アレイを設置できる遊休地を探すのはそれほど困難ではない。しかし、モルディブのような島嶼国は、陸地そのものが狭く、大規模システムを設置できる場所を確保するのは容易ではない。貴重な土地を PV システムが単独占有することは、国土の有効利用の観点からも許容されない状況にある。

特に、モルディブの首都圏のマレ島は雑然としたビルが建ち並び、ほとんど空き地など広大な敷地は存在しない。ビルの屋上もさまざまに利用され、PV アレイを設置できる場所は限られる。公共のビルの屋上、船着場の屋根上、グラウンドの周囲などが可能性として考えられる。技術的には利用可能なこれらの場所も、建物の所有者、関係他省庁などとの調整、建築基準法との整合性などといった問題の解決が不可欠になると思われる。

パイロットプラントとして中規模の PV システムを設置する場合の設置場所としては、マレ島の STELCO の屋上もひとつの候補になりうる。

### (2) フルマレ島の場合

フルマレ島は、さんご礁の縁を削り、浅瀬を埋め立てて陸地を造成しており、現在、広大な空き地になっている。しかし、これらは開発計画が決められており、PV アレイを地上に設置できる余地はない。STELCO が所有する発電所に隣接した土地も、フルマレ島の開発につれて、電力供給を増強していかなければならない発電設備の予定地であり、PV アレイの地上設置は不可であることが明らかになった。このような状況のため、フルマレ島においても、今後建設される建物を含め、ビルや公共施設の屋根上など、スペースの有効利用が最も現実的な方法と考えられる。

これを可能にするためには、環境・エネルギー・水省 (MEEW) と STELCO だけではなく、フルマレ開発公社 (HDC) や建設・公共インフラ省 (MCPI) などとの調整が必要になるだろう。

フルマレ開発計画の早期に PV 設置について調整をつけることで、今後、フルマレ島における PV 設置を促進させることが可能であり。あわせて、モルディブの玄関口であるフルマレ島に、大規模開発と平行してクリーンなエネルギーである PV 設置を促進していることは、各国に対して気候変動へのモルディブの取り組みのアピールにもなりうる。

### (3) その他の島の場合

マレ首都圏の島を除けば、発電規模も小さく、PV システムを設置する場合でも、公共施設の屋根をはじめ地上の空き地も利用できると思われ、首都圏のような設置場所の制約は小さいと思われる。

## 5-3-6 モルディブに導入可能な系統連系 PV システム

モルディブ首都圏においては、地上の広大な土地に太陽光発電所を建設するための場所の確保が不可能であることから、1 ヶ所の発電所で発電した電力を送配電線を通して需要家に供給する「集中型 PV システム」は成立しないことが判明した。

それに代って、需要家の屋上などを利用して発電し、至近の電力系統に接続する「分散型 PV

システム」の方式が現実的となった。この方式は、日本をはじめ、多くの国ですでに実施されている。分散型 PV システムは、設置場所の制約にあわせて、大小さまざまな容量で設計できる自由度が大きく、また、発電場所が需要端に近いと、送電ロスの軽減にもつながるものであり、モルディブ、特に開発が始まったフルマレ島では、開発ペースにあわせて追加設置していくのに有効なシステムといえる。

需要家の屋根の上に PV システムを取り付けることを想定した場合、需要家、すなわち現地住民に対して PV 普及の意識啓発を行うことが重要である。あわせて PV により発電した電力に余剰が生じた場合、STELCO に売電することが想定される。

電力の売電については、料金設定等の規定について STELCO 及び MEEW 等関係機関の調整が必要になる。なお、売電のしくみについては、日本で運用されている規定も大いに参考になることが想定される。

#### 5-3-7 モルディブでの再生可能エネルギー導入に対する試算

第7次国家5ヵ年開発計画によると、モルディブ政府は運輸関係を除く全エネルギーの10%以上を再生可能エネルギー源に置き換えることを検討するとしている。すなわち、発電電力量の10%以上を再生可能エネルギー源に頼りたいというものである。

STELCO 全体の発電電力量の10%を PV システムから供給する場合、2007年ベースでは244GWhの10%、つまり24.4GWh分を発電するのに必要な PV システムはおよそ15MWになる。マレの発電電力量に適用してみると、2007年の発電電力量約177GWhの10%を置き換えるために必要な PV システムはおよそ11MWになる。PV システムを設置可能な場所が限られているマレでは、ほぼ絶望的な数字であり、フルマレ島への移住計画を進めている所以でもある。

確保すべき設置場所の面積は、少なくとも全体で18万 $\text{m}^2$ (例えば120m $\times$ 100mを15ヵ所)、マレ対応には13万2,000 $\text{m}^2$ (例えば120m $\times$ 100mを11ヵ所)と見積もられる。

## 第6章 予備的財務検討

### 6-1 STELCOの財務状況

モルディブの会計年度は1月から12月である。今回の調査では、2002年度から2006年度までの会計監査報告書を取得することができた。会計報告と発電部門の統計資料などを予備的に検討した結果、過去2、3年でモルディブ電力公社（STELCO）の財務状況は急速に悪化していることがわかった。その要因は高騰する燃料代と、急増する電力需要である。

表6-1に損益計算書を示す。ここに示されているように、STELCOは2006年度にネットで大幅な赤字となった。純益の減少は2004年度から始まっているが、2004年度の純益減少はその年に行われた料金値下げも影響を与えていると思われる。表6-2「売電収入と売電費用の変遷」に示されているように、売電収入は、2004年の電気料金値下げの年を除いて毎年高い増加率を示している。この売電収入増加は表6-3「供給費用と平均電気料金の分析」に示されている発電量（Total Generated）の増加が示すように、需要増がその要因となっている。しかし、売電費用の増加は売電収入の増加をはるかに凌駕して、毎年30%前後から2006年には48%の増加となった結果、売電収入は2006年に売電費用とほぼ同じになってしまった。

このような売電費用の急増は、燃料代の急増に起因している。表6-3に示されているように、売電できた単位kWhあたりの燃料費用（Fuel Cost for Unit Sale）は2003年度から継続的に上昇を続けており、前年度と比べた2006年度の上げ幅は特に大きかった。表6-3で、売電費用とともに減価償却費を含んだ管理費や支払利子である財務費用などを加えた総費用に対する単位売電量あたりの総費用（Total Cost for Unit Sale）も、2003年度から毎年増加を続けている。単位売電量あたりの総費用に占める燃料費用の割合（% of Diesel Cost in Unit Sale Cost）は2003年の41.7%から2006年度の60.6%へと大幅に増加しており、単位売電量あたりの総費用増加の主因は燃料の高騰であることが理解される。

また、表6-3では平均売電料金（Average Electricity Price）と単位売電量あたりの総費用を比べてみた。この表に示されているように、2003年度と2004年度は平均売電料金が単位売電量あたりの総費用より高かったものが2005年度に逆転し、総費用が平均売電料金よりも高くなり、その差は2006年度になってより拡大した。つまり、2005年度からは電気を売れば売るほど赤字が増えることになり、赤字の増加率は2006年度になりより増加した。2007年度の統計資料を今回入手できなかったが、この傾向はより悪化していると予想される。このようなSTELCOの費用構造にもかかわらず需要は増加し続けており、需要の増加がSTELCO収支の悪化に拍車をかけている。

また純益を検討する際に留意すべき点は、雑収入（Other Income）の項目である。表6-1に示すように、雑収入は2005年度に前年度と比べて大幅に増加して6,062万3,000ルフィアとなっている。これはこのなかに5,468万2,000ルフィアの政府からの無償供与があったためである。この政府無償供与がないと、2005年度もネットで赤字となっていた。この政府無償供与の内訳は2005年度について記述がなく不明だが、2006年度の政府無償供与額1,646万2,000ルフィアは、緊急電源として調達した一体型ディーゼル発電設備の資金であった。このように収支が急速に悪化した結果、2003年度まで支払われていた配当は、2004年度から支払われなくなった。

表6-1 モルディブ電力公社損益計算書 (INCOME STATEMENT)

(Unit: Thousand Rf)

	Year ended Dec 31 2002	Year ended Dec 31 2003	Year ended Dec 31 2004	Year ended Dec 31 2005	Year ended Dec 31 2006
Revenue	346,433	391,428	411,535	480,907	566,643
Cost of Sales	(169,068)	(216,014)	(278,288)	(374,227)	(555,280)
<b>Gross Profit</b>	<b>177,365</b>	<b>175,414</b>	<b>133,247</b>	<b>106,680</b>	<b>11,363</b>
Other Income	<b>2,631</b>	2,241	1,603	60,623	30,138
Administration Expenses		(73,945)	(80,328)	(115,803)	(84,412)
Other Expenses	(77,630)		(7,915)		(57,816)
<b>Profit/(Loss) from Operating Activities</b>	<b>102,366</b>	<b>103,710</b>	<b>46,607</b>	<b>51,500</b>	<b>(100,727)</b>
Finance Income			751	82	413
Finance Cost	(30,894)	(33,150)	(24,754)	(23,557)	(21,879)
<b>Net Profit/(Loss) for the Year</b>	<b>71,472</b>	<b>70,560</b>	<b>22,604</b>	<b>28,025</b>	<b>(122,193)</b>
Earnings per Share - Basic	476	470	151	187	(814)

※STELCO財務諸表より作成。

表6-2 売電収入と売電費用の変遷

(Unit: Thousand Rf)

	Year ended Dec 31 2002	Year ended Dec 31 2003	Year ended Dec 31 2004	Year ended Dec 31 2005	Year ended Dec 31 2006
Revenue	346,433	391,428	411,535	480,907	566,643
Increase in Revenue	n.a.	13.0%	5.1%	16.9%	17.8%
Cost of Sales	169,068	216,014	278,288	374,227	555,280
Increase in Sales Cost	n.a.	27.8%	28.8%	34.5%	48.4%
<b>% of Sales Cost in Revenue</b>	<b>48.8%</b>	<b>55.2%</b>	<b>67.6%</b>	<b>77.8%</b>	<b>98.0%</b>

※STELCO財務諸表より作成。

表6-3 供給費用と平均電気料金の分析

	Year ended Dec 31 2002	Year ended Dec 31 2003	Year ended Dec 31 2004	Year ended Dec 31 2005	Year ended Dec 31 2006
Total Generated (kWh)	n.a.	141,564,008	160,114,369	185,553,022	212,482,579
Increase in Total Generated		n.a.	13.1%	15.9%	14.5%
<b>Estimated Total Billed (kWh)<sup>※1</sup></b>	<b>n.a.</b>	<b>125,991,967</b>	<b>142,501,788</b>	<b>165,142,190</b>	<b>189,109,495</b>
Cost of Sales <sup>※2</sup> (Thousand Rf)	169,068	216,014	278,288	374,227	555,280
Administration Expenses <sup>※3</sup> (Thousand Rf)		73,945	80,328	115,803	84,412
Other Expenses (Thousand Rf)	77,630		7,915		57,816
Finance Cost (Thousand Rf)	30,894	33,150	24,754	23,557	21,879
<b>Total Cost (Thousand Rf)</b>	<b>277,592</b>	<b>323,109</b>	<b>391,285</b>	<b>513,587</b>	<b>719,387</b>
<b>Total Cost for Unit Sale (Rf/kWh)</b>	<b>n.a.</b>	<b>2.56</b>	<b>2.75</b>	<b>3.11</b>	<b>3.80</b>
Cost of Diesel (Thousand Rf) <sup>※4</sup>	135,373	134,811	201,970	293,477	436,283
<b>Fuel Cost for Unit Sale (Rf/kWh)</b>	<b>n.a.</b>	<b>1.07</b>	<b>1.42</b>	<b>1.78</b>	<b>2.31</b>
<b>% of Diesel Cost in Unit Sale Cost</b>	<b>n.a.</b>	<b>41.7%</b>	<b>51.6%</b>	<b>57.1%</b>	<b>60.6%</b>
Revenue	346,433	391,428	411,535	480,907	566,643
<b>Average Electricity Price<sup>※5</sup> (Rf/kWh)</b>	<b>n.a.</b>	<b>3.11</b>	<b>2.89</b>	<b>2.91</b>	<b>3.00</b>

※STELCO財務報告書及び発電統計より作成。

※1: 売電電力量のデータがなかったため、入手できた2007年の総発電量と請求された発電量から所内電力と配電損失を推計し、推計された損失率をこれらの年度に適用して総売電量を求めた。

※2: Cost of Salesには、ディーゼル燃料代に加え、顧客サービス経費、補助燃料、スペアパーツ、潤滑油、職員の給与と手当てなどが含まれる。

※3: Administration Expensesには、減価償却費、通信費、事務所など管理部門の維持管理などが含まれる。

※4: 2002年と2003年はディーゼル燃料代の項目がなかったため、燃料を一括して輸入しSTELCOへ供給しているState Trading Organization Plc.への支払額を燃料代とした。したがって、2002年と2003年の数値は実際の燃料調達費よりも大きくなっていると思われる。

※5: 平均電気料金(Average Electricity Price)は売電収入(Revenue)を請求されたkWh(Estimated Total Billed)で割って求めた。

## 6-2 プロジェクト財務性の予備的検討

### 6-2-1 諸条件

#### (1) プロジェクトの想定

5年間にわたり系統連系 PV システムを設置することとする。1年目は 100kW、それ以後 5年目まで 100kW ずつ年間設置容量が増加し、5年目には 500kW の設置となり、合計で 1,500kW 設置されて新規設置がマレ島で終了すると想定した。

#### (2) PV システムの経済的耐用年数

何年間の経済的耐用年数となるかは、系統連系 PV システムが比較的最近設置されているため、実証的データを探すのは難しい。ここでは一般的年数として 25 年を想定した。

#### (3) PV システムの建設費推計

現在の PV モジュール価格も、近年の高騰している原油価格に影響されてかなり高騰しており、モルディブで実際に国際入札にかけた場合いくらになるか予想することはかなり難しい状況にあるが、系統連系 PV システムのモジュール、インバーターなどの機器の価格を 1kW あたり 150 万円と想定した。この価格に輸送費、工事費、試験調整費として想定した 62 万円を上乗せした 212 万円をマレ島価格としてベースケースの建設費とした。分析ではルフィアを使用し、日本円とモルディブ・ルフィアの換算レートを 0.1 (ルフィア/円) とした。

#### (4) PV システムの発電量

米国航空宇宙局 (NASA) のデータをもとに、PV を担当した皆元団員が推計した 1kW あたりのモルディブでの年間発電量、1,600kWh を使う。

#### (5) 財務便益 (歳入)

財務便益は電気料金収入である。ベースケースの電気料金として、表 6-3 で計算された 2006 年の平均電気料金 3 (ルフィア/kWh) を使う。この平均電気料金と PV システムの年間発電量の積を財務便益とした。火力発電や水力発電など通常の発電プロジェクトでは、発電所の立地地点から需要家までかなり離れており、送配電損失を考慮するのが普通だが、このプロジェクトではマレ・システムという非常に小さな系統の需要家の屋根に PV システムが設置されることから、送配電損失は無視した。

#### (6) 内部収益率の計算

毎年の純便益 (純歳入) からなる 30 年間のキャッシュ・フローから内部収益率を求めた。この際に将来的な電気料金単価の増加や、PV システムの維持管理費用と将来的な再投資は無視した。

### 6-2-2 財務内部収益率計算のケースの設定

財務内部収益率は、建設費と電気料金により大きく変動する。ここでは 4 つのケースをそれぞれ下記のように想定した。

(1) ベースケース

上述のように、建設費を 212 万円/kW とし、電気料金を 2006 年度の平均売電料金 3 (ルフィア/kWh) として計算した。

(2) ケース 1

建設費はベースケースと同じとし、電気料金を 2006 年度の平均電気料金の 1.5 倍とした。

(3) ケース 2

建設費をベースケースの 80% とし、電気料金を平均電気料金の 1.5 倍とした。

(4) ケース 3

建設費をベースケースの 60% とし、電気料金を平均電気料金の 2 倍とした。

### 6-2-3 財務内部収益率計算の結果

ベースケースの内部収益率は-3.97%となった。これはプロジェクト期間中の電気料金収入総額が、PV システム建設費総額よりも小さいことを示す。建設費は同じで電気料金を 1.5 倍にしたケース 1 でも、内部収益率はやはり-1.22%だった。建設費を 80%まで下げ、電気料金を 1.5 倍にすると、内部収益率はやっとプラスに転じ、0.46%であった (ケース 2)。建設費をさらに下げて 60%とし、電気料金を 2 倍にすると、内部収益率は 5.63%となった (ケース 3)。

### 6-2-4 プロジェクト財務性の評価

このように財務内部収益率が計算されたが、系統連系 PV システムのプロジェクトは、一般発電設備と異なり規模の経済が働かず、初期投資が大きいため、財務性を確保することは非常に難しい。今回の例でも建設費を 80%まで下げ、電気料金を 1.5 倍の 4.5 (ルフィア/kWh) という、日本円で 45 円程度の電気料金にすることでやっとプラスの内部収益率を計算できた。このように、このプロジェクトは財務的採算性を取ることが難しく、クリーン開発メカニズム (CDM) による追加性を検討することは重要と考えられる。

## 6-3 本格調査へ向けた諸課題

(1) 経済分析の実施

今回は経済分析を行わなかった。国家経済の視点からプロジェクトの効率性を評価する経済分析を左右する要素は、建設費の経済費用と、経済便益計算の根拠となるモルディブ経済の経済的希少性を反映した経済電気料金である。しかし、今回の現地調査では十分な時間がなく、必要なデータなどを取得できなかった。本格調査では経済費用と経済便益を推計するための手法を検討し、必要なデータを取得して経済分析を実施する必要がある。

(2) 財務分析の課題

財務分析に求められる役割は 2 つある。今回予備的に検討したように、モルディブ電力公社 (STELCO) の事業体としての財務状況を分析するものと、系統連系 PV システムプロジェクト自体の財務的実施可能性を検討するものである。本格調査では STELCO 財務状況

をより多面的な側面から分析するとともに、プロジェクトの財務的実施可能性については、現実的なプロジェクトの実施計画をいくつか想定し、CDM の要素も含めて検討することが必要である。

### (3) 電気料金分析の重要性

電気料金はプロジェクトの経済的実施可能性と財務的実施可能性を検討する上で重要な要素である。既存の電気料金は経済的希少性を反映したレベルにあるのか、電力の供給費用を回収するために十分なレベルなのかなど諸条件を検討し、この検討結果を経済分析・財務分析に反映させる必要がある。また、民間が PV システムを設置し STELCO に売電することも想定し、民間が STELCO に電気を売るときの価格をどう決定するのか、その価格検討と決定の枠組みを提言し、その枠組みに従った売電料金の試算、及び民間がこのようなプロジェクトを実施するときの財務的採算性の可能性を CDM も考慮して検討するなど、経済財務分析には重要な役割が期待されている。

## 第7章 国際機関・各ドナーの協力状況

### 7-1 国際機関・各ドナーの協力状況

#### 7-1-1 UNDP との協力・再生可能エネルギーの基礎データの収集

国連開発計画（UNDP）の再生可能エネルギー技術開発及び応用プロジェクト（Renewable Energy Technology Development and Application Project）が3年前から地球環境ファシリティー（GEF）からの資金支援を受けて開始され、開始当初はモルディブの再生可能エネルギーの基礎データの収集を重点に実施した。ビリンギ島での太陽光発電に関してデータ収集を行い、風力データに関しても検討した。プロジェクトはカウンターパート（C/P）である環境・エネルギー・水省（MEEW）を支援し、プロジェクトのモニタリングを行う形で進められた。

また、現地の職業訓練校と連携して、再生可能エネルギーに関するトレーニングプログラムを実施した。

なお、現在 GEFⅢが終了し、GEFⅣが始まった段階である。

#### 7-1-2 フランスエネルギー環境機関資金によるパイロットプロジェクト

フランスエネルギー環境機関（French Agency for Energy and the Environment : ADEME）のタイド資金により、2005年にマレの南西約100kmに位置するアリフ環礁のマンド島に、パイロットプロジェクトとして、太陽光発電（PV）システムとディーゼル発電のハイブリッドシステムを設置した。このシステムはモルディブ電力公社（STELCO）により運営されている。

マンド島には約40家族が住んでいて、この電気を接続している。このハイブリッドシステムは、12.8kWの太陽光発電と既存の28kVAと43kVAの2セットのディーゼル発電機から構成されており、PVシステムは昼間に28kVAのディーゼル発電から電力供給を引き継ぎ、夜間は以前のおり43kVAのディーゼル発電から電力を供給する。このように、このシステムはディーゼル発電とPVは連系して運転されることはなく、それぞれ切り替えて単独で運転される。

国連開発計画（UNDP）によるパイロットプロジェクトの支援は、島のインフラ整備を目的としたものではなく、サイトエンジニアの維持管理技術向上など、キャパシティ・ビルディングに焦点を当てている。

この他、UNDPは技術支援の一環として、キャパシティ・ビルディングを目的としたエネルギー研修を実施した。研修の対象はMEEWや民間セクターなど広く募り、STELCO職員も参加した。

## 第 8 章 現地踏査結果

### 8-1 現地踏査概要

モルディブの発電、送配電、太陽光発電 (PV) システムを設置する際の設置環境などを調査する目的で、マレ島及びフルマレ島の現地調査を行った。また、ノンプロ無償により供与され、現在稼働中の系統連系 PV システムがあるラーム環礁のフォナード島及びガン島の視察を行い、既存システムの運転状況の実態を確認した。

マレ島は、モルディブ電力公社 (STELCO) の発電所を中心に、設備状況、運転管理状況、設備拡張スペースなどを確認した。フルマレ島、ラーム環礁については以下に詳細を記述する。

### 8-2 現地踏査結果

#### 8-2-1 フルマレ島の調査

フルマレ島のフルマレ開発公社 (HDC) を訪問し、フルマレ開発の現状について、説明を受けた。また、HDC の案内で、車によるフルマレ島一周の視察を行った。

フルマレ島の開発は現在第 1 段階 (フェーズ 1) であり、島の埋め立てはフェーズ 1 としてはほぼ完了し、街づくりが始まっており、2020 年の完成を目処に進められている。

街は、居住地区の他商業地区や産業地区などが計画されており、すでに HDC の本館をはじめ、病院や学校、モスクなどが外国の援助で完成し、多くの中層アパートなども建設されている。産業地区には、水産加工関係の会社の進出が予定されている。

居住地区へは 2004 年から入居が始まっており、同時に STELCO による電力供給も開始された。

フルマレ島の発電施設は、現在旧式の 800kW ディーゼル発電機 2 台と 640kW 及び 1,000kW をあわせて 4 台 3.24MW の能力で運営しているが、島の開発にあわせて発電設備の増強も計画され、現在の発電所に隣接して 1 MW のディーゼル発電設備の増設も計画されている。

開発の第 2 段階 (フェーズ 2) はフェーズ 1 の北側の海を埋め立てて土地を造成する計画である。



図 8-1 フルマレ開発計画 (フェーズ 1) 模型



図 8 - 2 フルマレ島の病院と学校（赤屋根）



図 8 - 3 フルマレ島の埋め立て工事

#### 8 - 2 - 2 ラーム環礁 PV 施設調査

津波復旧・復興支援プロジェクトで設置された系統連系 PV システムの設置後の運転状況を確認し本調査の参考にするため、ラームアトールを訪問した。ラームアトールには、ガン島の合同行政庁舎の多目的ビルの屋根に 11.2kW の太陽電池アレイが設置されており、フォナドー島の行政事務所の屋根に 5.6kW の太陽電池アレイが設置されている。

両システムとも順調な運転を続けていた。しかし、PV システムについて維持管理担当者は詳細にいたるまでは理解がいたっておらず、システムの恩恵や意味は理解されているとはいえない。

PV システムが連系されている発電所は STELCO とは無関係に島独自で運営している。フォナドー島の発電所は設備が新しく、所内は清潔に保たれていた。発電設備は、250kW1 台、200kW1 台で 2 台とも常時運転している。所内のメーター表示は午後 1 時頃、発電電力 170kW、力率 PF=0.58 を示していた。負荷は旧式（インバータ制御でない）エアコンが多く力率（PF）が悪く電力多消費型になっている。

ガン島の施設は現在古い発電所が主に使用されているが、新しい発電所も完成し、近く切り

替える予定である。新発電所は 320kVA (256kW) のディーゼル発電機が 3 セット設置されているが、無用な機能のはずの静音型発電機を使用したり、過剰といえる街路灯を設置したり、計画も運営も貧弱であった。STELCO との技術・管理レベルの差は非常に大きい。

## 付 属 資 料

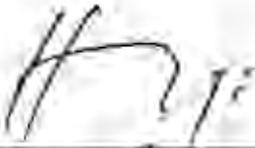
1. 署名した協議議事録 (M/M)
2. 収集資料リスト
3. 訪問議事録



1. 署名した協議議事録 (M/M)

MINUTES OF MEETING  
FOR  
THE PROJECT FORMULATION STUDY  
ON  
APPLICATION OF SOLAR ENERGY  
IN  
MALE' AND HULHUMALE' ISLANDS  
IN  
MALDIVES

MALE'  
(5<sup>th</sup> February, 2008)



Dr. Hussain Miyaz  
Executive Director  
Department of External Relations  
Ministry of Foreign Affairs  
Republic of Maldives



Mr. Toshiyuki Hayashi  
Leader,  
The Project Formulation Study Team  
Japan International Cooperation Agency

(Witness only)



Mr. Abdul Baseer Idris  
Deputy Minister  
Ministry of Environment, Energy and Water  
Republic of Maldives

The Project Formulation Study Team (hereinafter referred to as "the Team") organized by the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") and headed by Mr. Toshiyuki Hayashi was sent to Republic of Maldives, and had a series of discussions on "Application of Solar Energy in Male' and Hulumale' Islands" with the officials of Department of External Resources, Ministry of Foreign Affairs (hereinafter referred to as "DER/MOFA"), Ministry of Environment, Energy and Water (hereinafter referred to as "MEEW"), State Electric Company Limited (hereinafter referred to as "STELCO"), and other related ministries, divisions, organizations from 2<sup>nd</sup> February to 16<sup>th</sup> February, 2008. A list of participants attended the discussions is shown in Annex 1, and an itinerary of the Team is shown in Annex 2.

Discussions were conducted in a friendly and cordial atmosphere, and both sides agreed to record the remarkable features of the discussions and field visits as summarized below.

### 1. Background

Tsunami in 2004 inflicted devastating effects on Maldives economy, and economic development had been reduced by 4.6% in 2005. However, Maldives economy soon recovered by tourism and fishery industries restored after the Tsunami, and economy developed by 19% in 2006.

Because of the economic development, power demand has increased rapidly at an annual rate of more than 10% in Male', which poses difficult problem of expensive fuel supply for diesel power generation to the Government of Maldives (hereinafter referred to as "GOM"). Under the present circumstances of energy supply in the world, GOM introduces the following sectoral development policies and strategies of the national/local governments.

Policy 1 - Provide a continuous and economically viable energy supply to all islands.

Strategy 1.1 - Upgrade electricity generation in islands.

Policy 2 - Promote energy conservation and efficiency without lowering the quality of services provided.

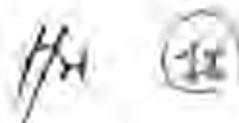
Strategy 2.1 - Promote energy conservation and efficiency in electricity production and usage.

Policy 3 - Enhance national energy security by promoting indigenous available renewable sources of energy.

Strategy 3.1 - Introduce sustainable alternative energy sources.

Strategy 3.2 - Promote the use of indigenous energy resources.

Because solar energy is considered one of the most promising indigenous renewables



energy in Maldives, GUM requested the Government of Japan (hereinafter referred to as "GOJ") to extend the technical cooperation of Feasibility Study (hereinafter referred to as "F/S") on "Application of Solar Energy in Male' and Hulhumale' Islands"

## **2. Findings**

### **2-1. Power Supply in Greater Male' Region**

#### **2-1-1. Male' Island**

Greater Male' Region consists of Male', Hulhumale', Hulhule' (Airport), Villingili and Tiniafushi islands. Except for Hulhule' Airport, STELCO supplies electricity on all islands by diesel generation, and these islands have not yet been interconnected. A large vessel delivers diesel fuel to Male' Island, a few times per day from the fuel island near Male' Island. Though STELCO has seven units of diesel generators with total capacity of 30.75 MW to supply electricity in Male' Island, STELCO recently had to close the street in front of the power station for installing six units of Cummins package diesel generators to meet the immediate need of supply increase. In addition, 7 units of 3MW power generators will be installed on STELCO's remaining piece of land to meet the power demand for coming several years. However, there is no land for further expansion on Male' Island.

#### **2-1-2 Hulhumale' Island**

According to Hulhumale' Island Development Master Plan, a large scale land reclamation will create one of the largest islands in Maldives in two phases. Phase I has already completed, and some people have moved to the newly expanded island. After completion of Phase II, land on Hulhumale' island will be utilized as residential areas, industrial areas, educational areas, and commercial and tourism areas, which would attract overseas investments. As Hulhumale' Island will develop as a big city by 2020 according to the Master Plan, electricity demand of Hulhumale' island will be estimated several times higher than that of Male' Island, which also poses a serious problem of fuel supply for diesel generation to the Government.

#### **2-1-3. Load Profile of Male Power System**

It has been observed that the power demand during daytime is large. The large power demand during daytime is caused by extensive use of air conditioners on Male' Island. It has been confirmed that this load profile on Male' Island is a suitable condition for introducing grid connected Photovoltaic (hereinafter referred to as "PV") systems

#### **2-1-4. Quality of Electric Power**

Grid connected PV systems require good quality of grid electricity. State Electric Company Limited uses an electric governor and a programmable logic controller (PLC) for engine speed control so as to improve the response and the stabilization in Male' Power Station. As a result, the stability and the accuracy of the frequency are kept in acceptable level for grid connected PV systems. The other factors such as the stability of voltage and the system protection are also acceptable levels.

#### **2-2. Electricity Tariff of STELCO and Government Subsidy**

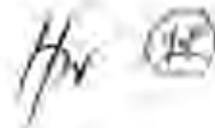
The Team visited STELCO diesel power station in Male' island, and found out the generating facilities are well maintained with the availability ratio of 95%. However, average electricity price of STELCO is among expensive electricity tariffs in developing countries, even though the previous tariff had been reduced in 2002 and 2004. Because of the recent high oil price, STELCO started suffering from deficits at present tariff and receiving subsidy from the government. During the previous years before the tariff reduction and high oil price, STELCO was able to produce profit in Male' island, and subsidize the deficits in STELCO island power stations using the profit. In this way, cross-subsidy was working during the previous years.

#### **2-3. Multiple Use of Land**

Installing grid connected PV systems requires large land tracts. However, there is not such a large land tract only for PV systems on Male' island. On Hulhumale' island, there are large land tracts at present. However, they will be occupied by various purposes, and occupying land tracts only for PV systems would not be efficient way of land utilization. Ministry of Environment, Energy and Water, STELCO and the Team understand that house roofs and building roof tops are only possible locations for grid connected PV systems on Male' and Hulhumale' islands. It is understood that houses and building owners have to agree with the installation of grid connected PV systems on their roofs and building rooftops. In addition, regulations such as building code would have to be revised in order to install PV systems on rooftops. In order to materialize the rooftop PV systems, MEEW, STELCO and the Team have understood that it is necessary to discuss and coordinate these issues with other concerned ministries and authorities, and modify some regulations or acts if required.

#### **2-4. Possibility of CDM Project**

Because all power in Maldives is supplied by diesel power at present, introduction and



utilization of grid connected PV systems can be materialized by Clean Development Mechanism (CDM). It has been confirmed that under MEEW, DNA (Designated National Authority) was already established, though they have not yet undertaken any CDM projects.

### **2-5. Human Resource Capacity for Energy**

For the field visits, the Team visited Laam Atoll where GOI installed PV systems interconnected with power systems of diesel generation on Gan Island and Fomadhoo Island. It has been observed that the PV systems were operating without any problems though it seems the technical conditions of the PV systems have not been monitored. It seems there are no technical people who have some knowledge of electric power and PV systems in Laam Atoll office, island office and community office. The Team also visited three community diesel power stations. All power stations were well cleaned and supplied power to their communities though it seems operators are required more training for appropriate and efficient power supply by diesel generation. It is important to note that MEEW has important responsibility for planning and implementing appropriate power supply both in Greater Male' Region and rural areas, so that efficiency of power supply can be improved for reducing import of diesel fuel for power generation. In summary, it can be concluded that substantial capacity development of human resources working for power supply including MEEW is necessary.

### **3. Envisaged Needs for Technical Cooperation**

Based on the findings, two major areas of technical cooperation have been envisaged for possible JICA's technical cooperation.

#### **3-1. Study for Grid Connected PV Systems**

It has been understood that extensive utilization of grid connected PV systems will reduce diesel fuel consumption on Male' and Hulhumale' islands. In order to utilize grid connected PV systems extensively, technical study and institutional study are necessary. The technical study would include identification of potential locations for installing the PV systems, preparation of technical standard, basic design, cost estimation, and financial and economic analysis. The institutional study would include investigation and analysis of building code and electricity act, suggestion of modification in building code and electricity act if necessary, preparation of power purchase and selling agreement, and business plans of CDM and other forms of private company participation.

### 3-2. Human Resource Development

Although STELCO has a good pool of human resources with good qualification and experience in technical and administrative fields, it seems government offices including MEEW do not have enough human resources for practical project planning and implementation. Even though the F/S for introducing and dissemination grid connected PV systems were completed, appropriate government initiatives would be essential for materializing the projects. Especially, because the PV systems will be installed on roof tops and building tops, relevant government departments and agencies will have to work in a collaborative manner. At this juncture, MEEW will be the focal point of these activities. As MEEW will be required efficient work for implementing grid connected PV projects, MEEW will have to increase its capacity for project implementation.

### 4. UNDP/GEF

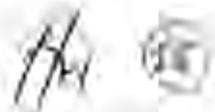
United Nations Development Program (UNDP) has implemented "Renewable Energy Technology Development and Application Project" (RETDAF) funded by Global Environment Facility (GEF). United Nations Development Program/GEF is under implementation process of installing PV systems as a pilot project on Mardhoo-Island and the technical training. The back ground data of renewable energy such as solar, wind and biomass have been collected under the project.

### 5. Way Forward

Based on the results of the Project Formulation Study, the Team will consult with the authorities concerned in Japan for the appropriateness of extending technical cooperation for the F/S. The final decision will be notified to GOM within several months. If the implementation of the F/S were authorized, JICA would dispatch the Preparatory Study Team for finalizing the Scope of Work of the F/S on "Application of Solar Energy in Male' and Hulhumale' Islands."

Annex 1: List of Attendance

Annex 2: Itinerary of the Team

Handwritten signature and a circular stamp.

## **ANNEX I**

### **List of Attendance**

#### **Department of External Resources, Ministry of Foreign Affairs**

Dr. Hussain Niyaz Executive Director  
Ms. Aishath Azema Deputy Director

#### **Ministry of Environment, Energy and Water**

Mr. Abdul Razzak Idri Deputy Minister  
Mr. Ahmed Nashed Director  
Dr. Abdul Shaheed Chairman of Maldives Energy Authority  
Mr. Abdulla Wahid Deputy Director General of Maldives Energy Authority  
Mr. Anjad Abdulla Director General

#### **State Electric Company Limited**

Mr. Mohamed Lailcef Director  
Mr. Azzam Ibrahim Senior Engineer  
Mr. Abdulla Mustrif Senior Engineer  
Mr. Ibrahim Athif Senior Engineer  
Mr. Mohamed Hameed Engineer  
Mr. Ahmed Mansoor Assistant Engineer  
Mr. Ibrahim Mashid Assistant Engineer

#### **Hulumale' Development Corporation**

Mr. Suhail Ahmed Director  
Ms. Nuha Mohamed Deputy Director

#### **Ministry of Construction and Public Infrastructure**

Mr. Mohamed Ali Director of Construction Industry Development Section

#### **JICA Project Formulation Study Team**

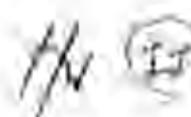
Mr. Toshiyuki Hayashi Team Leader  
Mr. Mr. Masahiro Kaimoto Concerning Photovoltaic technology  
Mr. Takanobu Shimada Study Planning

#### **JICA Sri Lanka Office**

Mr. Manabu Iida Assistant Resident Representative

#### **JICA/JOCV Maldives Office**

Mr. Makoto Nonobe Resident Representative  
Ms. Satoko Iwashige Coordinator



## ANNEX2: Itinerary of the Team

Date	Mr. Hayashi		Mr. Shinoda, Mr. Kaimoto	
	Time	Activities	Time	Activities
2	Sat	17:20	01:30	Mr. TALE (50637)
		23:45	17:45	Singapore
3	Sun	02:30	0:30	Singapore (094/2)
		07:40	2:45	Male
		15:00		Visit to JICA/JOCV Maldives Office Courtesy Call on Resident Representative of JICA/JOCV Maldives Office Japanese Study Team/JST Meeting in JICA/JOCV Maldives Office
		11:00		Visit to Ministry of Environment, Energy and Water (MEEW) Courtesy Call on Deputy Minister of MEEW
		12:00		Visit to United Nations Development Programme (UNDP) Maldives Office Courtesy Call on Deputy Resident Representative
		13:00		Visit to MEEW Meeting with MEEW
4	Tue	00:40		Visit to Department of External Resources (DER), Ministry of Foreign Affairs (MFA) Meeting with Deputy Director of DER/MFA
		00:00		Visit to State Electric Company Limited (STELCO) Courtesy Call on Director of STELCO Meeting with STELCO Site Visit to STELCO Diesel Power Plant in Male
		15:00		Visit to JICA/JOCV Maldives Office JST Meeting in JICA/JOCV Maldives Office
6	Wed	00:30		Visit to Hulhumale' Island Visit to Hulhumale' Development Corporation (HDC) in Hulhumale' Island Site visit in Hulhumale' Island
		12:00		Visit to STELCO in Hulhumale' Island Site Visit to STELCO Diesel Power Plant in Hulhumale' Island
		17:30		Visit to MEEW Meeting with Deputy Minister of MEEW
7	Thu			Field Survey in Laamu Atoll Site Visit in Focadhoo Island Visit to Island Office Visit to Diesel Power Plant Visit to Atoll Office Site Visit in Gan Island Visit to Island Office Visit to Diesel Power Plant
	Fri			Drafting M/M
8	Sat			Drafting M/M Report Writing
10	Sun	08:30		Visit to DER in Male Island Courtesy Call on Director of DER
		12:00		Visit to Ministry of Construction and Public Infrastructure Meeting with Director of Construction Industry Development Board
		14:00		Visit to JICA/JOCV Office JST Meeting in JICA/JOCV Maldives Office
11	Mon	10:00		Visit to DER/MFA Courtesy Call on Executive Director of DER/MFA Discussion on draft Minutes of Meeting (M/M)
		12:00		Visit to STELCO in Male Meeting with STELCO and Discussion on draft M/M
		14:00		Visit to JICA/JOCV Office JST Meeting in JICA/JOCV Maldives Office
12	Tue			Confirmation of M/M
13	Wed	09:30		Visit to STELCO
		10:30		Visit to JICA/JOCV Office JST Meeting in JICA/JOCV Maldives Office
		14:00		Visit to DER Signatures of M/M
14	Thu			Report to JICA Maldives Office
15	Fri	09:05		Male (UL02)
		11:00		Columbo Visit to JICA Sri Lanka Office Courtesy Call and Report on Resident Representative of JICA Sri Lanka Visit to Embassy of Japan Courtesy Call and Report on Ambassador of Embassy of Japan
		23:20		Columbo (UL05)
16	Sat	01:30		Nairobi

## 2. 収集資料リスト

No.	資料の名称	発行機関・入手機関
1	Design specifications of PV-diesel hybrid system for Mandhoo island	MEEW
2	National Energy Policy - MALDIVES 2005 (Draft)	MEEW
3	Technical Report Energy Supply and Demand	MEEW
4	Technical Report Action Plan	MEEW
5	Technical Report Assessment of Alternatives	MEEW
6	Technical Report Biomass Survey	MEEW
7	Final Report (DRAFT) Assessment of Least-cost, Sustainable Energy Resources	MEEW
8	MALDIVES SUSTAINABLE ENERGY PLAN(Proposed)	MEEW
9	Installation of a hybrid solar PV/diesel powerplant on Mandhoo Island, Republic of the Maldives	MEEW
10	The Implementation potential of Renewable Energy Technologies in the Maldives	MEEW
11	STELCO Financial Statement	STELCO
12	Company Profile (State Electric Company Limited)	STELCO
13	State Electricity Company Limited Organization Chart 2007	STELCO
14	Electricity Production for MALE' -Unit generated,	STELCO
15	Electricity Production for MALE' -Fuel Consumption,	STELCO
16	Electricity Production for MALE' -Maximum Demand	STELCO
17	Power Generation Department (Maximum Load in MALE' (Monthly data for 2005, 2006 and 2007)	STELCO
18	Generator Sets Specification	STELCO
19	STELCO Power Generating Capacity	STELCO
20	Electricity Production 2007 (Monthly data for each station)	STELCO
21	Electricity Production 2003	STELCO
22	Electricity Production 2004	STELCO
23	Electricity Production 2005	STELCO
24	Electricity Production 2006	STELCO
25	Male' Medium Voltage Distribution Network Hulhumale HV Ringmain Distribution System	STELCO
26	Medium Voltage Electrical Substations	STELCO
27	Capacity of Power Plants	STELCO
28	Quality of Electric Power Managed by STELCO	STELCO

29	Supplied Electric Power, Fuel Consumption	STELCO
30	Fuel Price for STELCO	STELCO
31	Main Household Electrical Appliances Used in Male'	STELCO
32	Male' Daily Load Curve	STELCO
33	Male' Load Curve	STELCO
34	Thilafushi Load Curve	STELCO
35	Villingili Load Curve	STELCO
36	Thinadhoo Load Curve	STELCO
37	Gadhdhoo Load Curve	STELCO
38	Kudahuvadhoo Load Curve	STELCO
39	Guraidhoo Load Curve	STELCO
40	Maafushi Load Curve	STELCO
41	Kaashidhoo Load Curve	STELCO
42	Naifaru Load Curve	STELCO
43	Eydhafushi Load Curve	STELCO
44	Hulhudhuffaaruu Load Curve	STELCO
45	Hoarafushi Load Curve	STELCO
46	Milandhoo Load Curve	STELCO
47	Thuraakunu Load Curve	STELCO
48	Kulhudhuffushi Load Curve	STELCO
49	Hanimaadhoo Load Curve	STELCO
50	Dhidhoo Load Curve	STELCO
51	Velidhoo Load Curve	STELCO
52	Holhudhoo Load Curve	STELCO
53	Hulhumeedhoo Load Curve	STELCO
54	Fuvahmulah Load Curve	STELCO
55	Himmafushi Load Curve	STELCO
56	Thulusdhoo Load Curve	STELCO
57	Hinnavaru Load Curve	STELCO
58	Central PowerStation Load Curve	STELCO
59	Monthly Electric Supply	STELCO
60	Electricity Tariff Rates	STELCO
61	Maintenance Cost of Diesel Power Generation System	STELCO
62	Male' Peak Load Projections	STELCO
63	STELCO Power Generating Capacity 2008	STELCO
64	Regulations on public supply of electricity in Male' and outer Atolls	STELCO
65	Agreement for the connection of electricity	STELCO
66	Hulhumale': A Spectrum of Investment Opportunities	STELCO

67	Hulhumale' Tour Map and Guide	Hulhumale' Development Corportation Ltd.
68	Hulhumale' Information Booklet	Hulhumale' Development Corportation Ltd.
69	Hulhumale' brochure	Hulhumale' Development Corportation Ltd.
70	Basic Data and Information for the Consultative Committee concerning Japan's Food Aid(KR) in Fiscal Year 2006 (The Government of the Republic of Maldives, Japan International Cooperation System)	JICA モルデュー駐在員事務所

### 3. 訪問議事録

日時 : 2008年2月4日 11:00 ~

訪問先 : 環境・エネルギー・水省 (MEEW)

先方対応者 : Mr. Abdul Razzak Idris (Deputy Minister, MEEW)、Mr. Ahmed Nasheed (Director, MEEW)、  
Dr. Abdul Shaheed (Chairman, Maldives Energy Authority)、Mr. Abdulla Wahid (Deputy  
Director General, Maldives Energy Authority)

訪問者 : 林団長、皆元団員、篠田 (記)、野々部駐在員

概要 : 冒頭、双方から挨拶、及び林団長から今回の調査の概要説明があったのち、協議を行った。  
主な協議概要は以下のとおり。

(要請の背景について)

- ・2004年の津波発生により協議に遅延が発生したが、本要請はマレ島・フルマレ島を対象に実施可能性調査 (F/S) を行うものである。特にマレ島は土地が限られているため、これ以上の発電所の拡張は難しい一方、エアコンの使用等により電力需要が増大している。マレ島はモルディブで電力消費の最も多い島で、ピーク時には 24.5MW ほどの消費があり、年 8% の割合で電力消費量が増加している。

そこで、環境にやさしい再生可能エネルギーの導入が必要で、太陽光発電 (PV) に限定しての調査実施を要請するものである。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(M/M のサイナーについて)

- ・協議を経て 2 月 14 日に協議議事録 (M/M) に双方署名することを考えているが、モルディブ側のサイナーは誰となる予定か。本調査の実質的なカウンターパート (C/P) は MEEW 及びモルディブ電力公社 (STELCO) であると認識している。(林団長)

→サイナーは外務省外部資源局 (DER) になると思われる。DER に確認する必要がある。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(マレ島・フルマレ島の系統連携について)

- ・フルマレ島に集中型太陽光を設置する場合、マレ島と系統を連系することでマレ島の電力供給を補うことが可能であるが、両島の系統連系については議論がなされているのか。(林団長)

→2006年に貿易工業省 (Ministry of Trade and Industry) と協議した。発電所をマレ島の外に設置して、近隣島と系統を接続することを検討した。フルマレ島・空港島・マレ島・ビリンギリ島 (住民島) 及びティラフシ島 (工場島) を結ぶもので独立系発電事業 (Independent Power Producer : IPP) で実施する予定である。IPP に興味のある民間会社を募ったが、2社から応募があった。ディーゼル発電と海底ケーブルの F/S も含めて、民間会社が実施する予定である。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(公社の屋根利用について)

- ・マレの電力の需要曲線は PV を導入するにあたり、理想的であるが、マレ島は設置場所が限られている。(林団長)

→公官庁の庁舎を含め屋根などの設置場所があると思料。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(PV に対する規制について)

- ・ PV 導入には資金が必要で、初期設置費用は高い。民間による導入を促すための規定等は検討されているのか。(林団長)
- グリーン電力規制のようなものを電力局 (Maldives Energy Authority) が検討している。また民間企業による PV 設置が可能となる規制についても検討が必要と認識しており、本調査の一環として関連規定についてもデザインができればよいと考えている。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(CDM について)

- ・ 要請ではクリーン開発メカニズム (CDM) についても言及があり、UNPCCC の HP によるとモルディブは Ministry of Home Affairs, Housing and Environment が指定国家機関 (Designated National Authority : DNA) に登録されているようであるが CDM プロジェクトとして進行しているものはあるか。(篠田)
- 登録の省庁は 2004 年に改編になっている。DNA にあたる機関は存在しないものと思われる。環境セクションの担当に聞けば情報を得られるかもしれない。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(フルマレ島開発について)

- ・ フルマレ開発ユニット (HDU) が開発を担当しているようだが、訪問する意義はあるか。(林団長)
- 大いにある。滞在中に計画の全体像 (M/P) を把握することは非常に有意義である。(Mr. Abdul Razzak Idris)

(UNDP によるパイロット・プロジェクトについて)

- ・ PV の導入事例としては、国連開発計画 (UNDP) のパイロット・プロジェクト (PP) によりマンド島 (離島) に 15kW の PV システムが導入されている。ディーゼルとのハイブリッドシステムである。(Mr. Abdul Razzak Idris)

以上

日時 : 2008年2月4日 12:00~

訪問先 : 国連開発計画、モルディブ事務所 (UNDP Maldives Office)

参加者 : Ms. Melaia Vatucawaqa (Deputy Resident Representative, UNDP Maldives)、Ms. A. HudhaAhmed (Assistant Resident Representative, UNDP Maldives)、Mr. Ahmed Nasheed (Director, MEEW)

概要 : 冒頭、双方から挨拶、及び林団長から今回の調査の概要説明があったのち、協議を行った。主な協議概要は以下のとおり。

(新しいプロジェクトについて)

- UNDP は 2008 年 1 月から持続可能な技術の移転、気候変動対策等を目的に環境セクターに対しての新たなカントリープログラムを実施しているところである。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

(UNPD-Renewable Energy Technology Development and Application Project の概要)

3 年前から開始され、モルディブの再生可能エネルギーについての基礎データの収集を行った。協力は、MEEW を支援し、またプロジェクトのモニタリングを行う形で実施され、再生可能エネルギーのアセスメントを行っている。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

- パイロット・プロジェクトについて (マンド島)

マンド島ではフランス (ADEME) からのタイド資金により、2005 年にパイロットプロジェクト (PP) を実施し、PV とディーゼルのハイブリッドシステムの導入を行った。ただし、現在の島の電力消費は導入した PV システムよりも大きくなっている。なお PP は STELCO により運営されている。

なお、UNDP によるパイロットプロジェクトによる支援は、大きなインフラ整備を目的としておらず、サイトのエンジニアのメンテナンス技術向上など、キャパシティビルディングに焦点を置いている。

- 研修について

支援の一環として MEEW や民間セクターを対象にエネルギー研修を実施し、3 年間で延べ 200 名以上の参加があった。

キャパシティビルディングを目的としているため、研修の参加者は省庁職員に限ることなく、民間セクターのエンジニア等から広く募り、STELCO 職員も参加した。

また、インドへのスタディツアーを実施し、UNIDO が実施している先進的なバイオガス事例の視察及びインド関係政府を訪問した。視察は 7 名参加した。

- 職業訓練校との連携

職業訓練校と連携して、再生可能エネルギーについてのトレーニングプログラムを組み、教材の作成等を行い、再生可能エネルギー分野の人材育成を 3 年間の活動の最後として計画している。UNDP では民間セクターのエンジニアや技術学校と連携し、再生可能エネルギーに精通した人材を育てることが重要と認識している。

(プロジェクトの出口戦略について)

- 本プロジェクトの出口戦略として、小規模なファンドを設立し、PV メンテナンス等に使用する予定である。ファンドの規模は 2 万 5,000 米ドルで、地球環境ファシリティー (GEF) から

の出資である。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

(UNIDO による協力)

- 昨年、離島（バーチョ島）においてキャパシティビルディングを主な目的として PV の PP を実施。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

(アセスメントの実施について)

- ビリンギリ島で PV データを収集した。その他に風力のデータについても算出を行った。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

(リゾート島について)

- リゾート島では海洋温度差発電を試みているところもあるようである。(Ms. Melaia Vatucawaqa)  
→ 今回の JICA での調査をリゾート島での PV 導入のモデルケースとして適応できる可能性があるため、場合によってはプロジェクトの対象範囲に含めることも考えられる。(林団長)

(GEF 及び CDM について)

- 現在 GEFⅢが終了し、GEFⅣが始まったところである。ただし、GEFⅣについてはモルディブ政府からは要請がまだない。また CDM については 3 年のプロジェクト期間では短かすぎるため、着手していない。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

(パートナーシップフォーラムについて)

- 持続可能な環境開発に向けての資金メカニズムについて協議するフォーラムで、第 2 回が 2007 年 6 月に開催された。JICA スリランカ事務所からも出席があった。(Ms. Melaia Vatucawaqa)

以上

日時 : 2008年2月4日 13:00～

訪問先 : 環境・エネルギー・水省 (MEEW)

参加者 : Mr. Amjad Abdulla、Mr. Ahmed Nasheed (Director, MEEW)

概要 : 冒頭、林団長から今回の調査の概要説明があったのち、CDM についての協議を行った。

主な協議概要は以下のとおり。

(CDM プロジェクトの進捗状況)

- ・ 現在までに多くの機関と協議を行っているが、まだ CDM プロジェクトはない。モルディブは温室効果ガス (GHG) の排出量は少ないものの、気候変動の影響を大きく受ける国であり、自ら積極的に CDM を進めることを考えている。

(DNA について)

- ・ MEEW の環境セクションが DNA の登録を行った。CDM プロジェクトがないため、プロジェクト設計書 (PDD) 作成の経験はないが、PDD 作成の困難性については特段問題視していなかった。

(CDM プロジェクト実施のためのコストについて)

- ・ CDM を考慮して本調査を実施した場合、PV システムを屋根に設置するためには応分のコストが必要であるが、コストの捻出については財務省及びドナーと相談する必要がある。また、民間企業の投資も想定している。

(原油高の影響)

- ・ 昨今の原油高で原油の値段が高騰しているが、STELCO は政府の補助金を得て電気料金を据え置きにしている。補助金による支援がいつまで続くか不透明である。

以上

日時 : 2008年2月5日 9:00～

訪問先 : 外務省外部資源局 (DER)

参加者 : Ms. Aishath Azeema、Mr. Mohamed Ifah

訪問者 : 林団長、皆元団員、篠田 (記)、野々部駐在員

概要 : 冒頭、双方から挨拶、及び林団長から今回の調査の概要説明があったのち、協議を行った。  
主な協議概要は以下のとおり。

(M/M のサイナーについて)

- ・通常、Executive Director の Dr. ニアスがサインし、あわせて C/P となる省庁もサインすることになるだろう。(Ms. Aishath Azeema)
- MEEW もサイナーに加えてほしい。STELCO は入れる必要があるか。(林団長)
- 了解した。MEEW をサイナーに入れるのであれば、STELCO は入れる必要はないであろう。(Ms. Aishath Azeema)

(PV 設置資金の捻出について)

- ・ JICA による開発調査で F/S がなされた後の事業化、特に資金の捻出について、具体的な検討はなされているか。(林団長)
- 2004年、津波前に国際協力銀行 (JBIC) からの支援を検討していた。しかし、津波の復興により延期となった。再生可能エネルギーは優先項目事項である。モルディブの温暖化ガス排出量は先進国と比して少ないが、モルディブ政府の姿勢を世界に示すためにも再生可能エネルギーを有効利用したい。JBIC 等日本の支援に期待したい。(Ms. Aishath Azeema)
- JBIC による円借款で現在、津波復興支援を行っていることから、新規供与は現段階では困難なものと思われる。(林団長)
- 理解している。また JBIC プロジェクトについても遅延しているのが現状である。モルディブにとり初めての円借款供与であり、プロジェクトを進めるプロセスを実施しながら学んでいるのが現状である。(Ms. Aishath Azeema)
- 他のドナー等による支援の検討は如何。(林団長)
- UNDP-GEF による支援や商業ベースでの PV 設置は考えられる。(Ms. Aishath Azeema)
- 現在の GEFIII プロジェクトは近く終了となり、GEFIV についてはモルディブ政府からの要請待ちの状況であると UNDP から聞いた。(林団長)
- JBIC 以外の資金調達の見込みについてより多くの情報を得たい。本件については M/M に加えることを考えている。MEEW や DER のなかで検討いただきたい。(林団長)
- 了解した。(Ms. Aishath Azeema)

以上

日時 : 2008年2月5日 10:00 ~

訪問先 : モルディブ電力公社 (STELCO)

先方対応者 : Mr. Mohamed Latheef (Director, STELCO)、Mr. Azzam Ibrahim (Senior Engineer, STELCO)、Mr. Ahmed Marsoom (Assistant Engineer, STELCO)、Mr. Ibrahim Nashid (Assistant Engineer, STELCO)、Mr. Abdulla Mushrif (Senior Engineer, STELCO)、Mr. Ibrahim Athif (Senior Engineer, STELCO)

訪問者 : 林団長、篠田職員、皆元 (記)

概要 : 冒頭、先方の Director から挨拶、及び林団長から今回の調査の目的、調査スケジュールなど概要説明があったのち、双方で協議を行った。協議のなかで、下記資料を受領した。主な協議概要は以下のとおり。

受領資料 :

- ① Company Profile (State Electric Company Limited)
- ② State Electricity Company Limited Organization Chart 2007
- ③ Electricity Production for MALE' (Unit generated, Fuel Consumption, Maximum Demand)
- ④ Maximum Load in MALE' (Monthly data for 2005, 2006 and 2007)
- ⑤ Generator Sets Specification
- ⑥ STELCO Power Generating Capacity
- ⑦ Electricity Production 2007 (Monthly data for each station)

(STELCO のシステム全般概要について)

下記のような STELCO の電力運営全般に関して、ディスカッションを行うとともに、発電所内部の視察を行った。

- ・モルディブ (マレ島) の送配電線が地下方式を採用していることに対して、システムが小規模であるがゆえに可能になった。(STELCO)
- ・モルディブの電力システムは各島で独立に運用されているが、おのおののシステムサイズが小さく、システムを連系させることは困難な状況にある。
- ・モルディブの電力システムは高圧送電システムが 11kV、低圧配電システムは 400V (3相3線方式) が採用されている。
- ・マレの発電所で採用しているディーゼル発電セットの制御方式は、電子制御ガバナと、プログラマブルロジックコントローラ (PLC) を併用している。急激な負荷変動による発電機の回転速度すなわち発電機の周波数の変動には電子制御ガバナが高速応答し、エンジンの回転速度の変動を補償し周波数の変動を抑制する。さらに PLC により定常安定を保つ。負荷変動に伴う電圧変動に対しては、当然 AVR (Automatic Voltage Regulator) が対応する。負荷急変などに起因する周波数変動に対して、上記制御の対応力を超えた場合には、周波数ダウンに対して、2段階で保護機能が働く。

第1段階 :  $f < 49\text{Hz}$  の状態が2秒継続した場合

第2段階 :  $f < 48\text{Hz}$  の状態が1秒継続した場合

注)  $f=49\text{Hz}$  は定格周波数  $50\text{Hz}$  の2%低下、 $f=48\text{Hz}$  は4%にあたり大きな変動

といえる。PV システムをこの系統に連系する場合には、PV システムの保護レベルのチューニングが必要になる。

なお、周波数上限の保護設定レベルは 51Hz とのことであった。

変動幅が上記保護レベルに到達し、システムダウンする経験は多くはないが、今年はずでに 2 回発生したとの事であった。

電力系統保護に使用している装置は SePam-Controller で上述の PLC である。これにより、過電圧、過電流、周波数異常、地絡事故などすべてに対応していると説明を受けた。

- STELCO の電力供給量は年々急速に増加しており、マレの発電所に 8MW のディーゼル発電設備を 3 台増設する準備を行っている。建設工事は 18 ヶ月を見込んでいる。

発電設備の増設に伴い、貯油タンクも 800kℓ容量 4 基増設する。この増設工事を最後に、マレでは場所がなく増設できない状況にある。

緊急電源として高速回転エンジンの 1MW のディーゼル発電機を、発電所前の道路を封鎖して 6 基設置している。これ以外に発電所建屋には 2.25MW (2 基)、4.5MW (1 基)、6MW (1 基)、6.75MW (2 基) のディーゼル発電機が設置されており、維持管理の状態は良好と観察された。

- 燃料油はマレ島とフルマレ島の間にある小島の貯油施設から、毎日 2~3 回マレ発電所の貯油タンクに運んでいる。STELCO は STO (政府出資企業) からオイルを買っている。オイル価格や調達方法は機密事項である。リゾート島の発電用燃料油は STELCO との関係はなく独自に調達している。

- 6.75MW のディーゼル発電機は重油を燃料として使っていたこともある。しかし、重油から混ざり物を除去し、粘性を高めたりという手間があり、また、購入量が非常に少ないので供給業者が料金を下げず、ディーゼル燃料とあまり変わらない値段であるため、現在、すべてディーゼル燃料で運転している。このため燃料の高騰がより大きな問題となっている。将来、別の島でディーゼル発電する際は重油を考えるが、今のところディーゼルで発電を続ける。

- STELCO のマレ発電所の設備稼働率 (Availability Ratio) は 95% である。1947 年に設立された STELCO は、現在では、発電所の維持管理は、設備の故障修理、機器のオーバーホールを含めてすべて自力で行っている。

注) PV システムに関しても、技術の伝承を行うことにより、モルディブサイド独自で維持管理できるポテンシャルは十分に感じられる。

- 2002 年と 2004 年に電気料金が引き下げられたが、それ以後原油価格が上昇し、2004 年から電力料金の補助を政府から受けている。原油価格がこれほど高騰する前は、マレ島で利潤を出し、その利潤で他の島の赤字を補填する内部補助が機能していた。

(STELCO 関係施設の運転データなどについて)

本調査に先立ち提出していた質問表についての解答データの不足分や追加依頼を行った。

口頭での回答、後日資料をもらう確認などを行った。

- 電力のピークデマンドがシーズンによって差があることに関して、3 月、4 月はエアコン需要などで若干の増加があると思われるが、大きな差があるとは認識していない (受領した月別供給電力データで詳細分析可)。

- ・1日の電力需要の推移データのうち、すでに入手済のマレ発電所以外の何点かのデータ（フルマレ他）を入手する。
- ・主要電力系統図（マレとフルマレ）が入手可能を確認した。

（PVシステム関係について）

PVシステムの概要や、システムの導入、課題などに関してディスカッションを行った。

- ・モルディブサイドとしては、昨今の石油の価格上昇や、100%輸入に頼っているエネルギーセキュリティの観点からも、再生可能エネルギー利用の可能性を検討する必要性を認識している。
- ・PVシステムの導入を促進するためには、個人が設置できるようにし、発電した電力をSTELCOが通常の電力料金と同等の値段で買い取る制度を整備する必要がある。（日本側より提案）
- ・PVシステムを系統に接続するためには、STELCOと接続者との合意が必要になるが、現在は、その規制などはまだ整備されていない。
- ・PVシステムのコストは、現在のPVモジュールの供給不足による相場の高騰を受け、1,500万円/kW程度である。
- ・PVシステムの設置に必要な用地面積の目安は、現在流通しているPVモジュールの面積より算出し、1kWのPVシステムあたり、モジュール面積で7.5m<sup>2</sup>、作業スペースを含めると11~12m<sup>2</sup>と説明した。  
例えば1MWのシステムに必要なPVモジュール設置面積は1万2,000m<sup>2</sup>ということになる。
- ・モルディブの日射エネルギーは日本に比べて約50%~60%も大きく、太陽光発電には好ましい条件を備えている。日本と同じ設備で、50%~60%も大きな電力が得られる。（日本側説明）
- ・マレ島の典型的な電力需要曲線は、STELCO提供のデータによれば、昼間の電力需要が大きく、夜間が小さい先進国型のパターンを示している。このことは、電力需要の多い昼間だけに発電するPVシステムの導入は、ディーゼル発電機の負荷率の平準化に役立ち大変好ましい状況にある。（日本側説明）  
同様な検討のために、PVシステム導入サイトと考えられているフルマレ島の電力需要曲線のデータが不足しているので、STELCOから提出してもらうことにした。
- ・PV用パーツの購入（輸入）に関してSTELCOの輸入であれば関税免除を適用できる可能性がある。

（屋上PVシステム設置場所について）

- ・マレ島は地上の空き地がほとんどなく、PVシステムを設置する場合は、屋上など既存施設の空スペースの有効利用を考える必要がある。モデルケースとして、STELCOの建屋の屋上を視察した。詳細は今後の検討課題として、およそ数十kWのシステム設置が可能と思われる。実証設備として好都合であろう。

(STELCO の人材について)

- STELCO の重要な位置を占める Engineer の人数を調査し、連絡してもらうことを確認した。

以上

日時 : 2008年2月10日 8:30~

訪問先 : フルマレ開発公社 (HDC) (マレ島で)

参加者 : Mr. Suhail Ahmed (Director)、Nuha Mohamed(Deputy Director)

訪問者 : 林団長、皆元団員、篠田 (記)、Mr. Ahmed Nasheed (MEEW)

概要 : 冒頭、双方から挨拶、及び林団長から今回の調査の概要説明があったのち、協議を行った。  
主な協議概要は以下のとおり。

- ・フルマレ島開発計画における電力供給についてはどのように考えているのか。(林団長)  
→電力供給については原則的に STELCO が担当するものと考えている。もちろん、STELCO と共同で開発にあたっていく必要があると感じている。(Mr. Suhail Ahmed)
  
- ・土地が限られるため、屋根に PV システムを設置することを考えている。玄関口であるフルマレ島の屋根に PV が導入されることは、気候変動への取り組みとしてモルディブ政府から全世界へのメッセージとなる。ただし、屋根への設置は建築基準等の変更が必要であると思われるが HDC としては如何に考えているか。(林団長)  
→再生可能エネルギーを導入することに対して関心があるが、建築基準は現在いまだ起草段階で、既存のガイドラインは包括的なものではない。建築基準については建設・公共インフラ省 (MCPI) が現在ドラフトを終えたところであると聞いている。(Mr. Suhail Ahmed)
  
- ・シンガポールの支援で建設される学校の屋根は PV 設置に最適であると思料。(林団長)  
→現在まだ建設は開始されていない。以前は屋根から飲料水を取っていたが、現在はその必要はないため、PV 設置は考えられる。(Mr. Suhail Ahmed)

以上

日時 : 2008年2月10日 12:00~

訪問先 : 建設・公共インフラ省 (MCPI)

参加者 : Mr. Mohamed Ali (Director of Construction Industry Development Section)

訪問者 : 林団長、皆元団員、篠田 (記)、Mr. Ahmed Nasheed (MEEW)

概要 : 冒頭、双方から挨拶、及び林団長から今回の調査の概要説明があったのち、協議を行った。

主な協議概要は以下のとおり。

- ・今回の調査で、土地に限られるため屋根の上に PV を設置することが効果的と考えられる。建築基準の整備状況及びその内容は如何。(林団長)
  - 現在、6 ヶ月のパブリックコメント聴取が終わり、原稿が完成したところである。今後、建築理事会 (Construction Board) を経て制定予定。約3 ヶ月後に施行するものと思われる。規定については MCPI 及び CIDB が行い、運営はマレ市に任される。  
また内容としては、現在建築基準がないため、ビル建設における安全性の確保が最重要であり、並んで省エネ促進について盛り込んでいる。(Mr. Mohamed Ali)
- ・マレ島で今後、PV を屋根に設置していくことはますます難しくなる。新しいビル建築、特に個人所有の家では、土地・空間の有効活用のためにビルの屋上にテラスをつくるのが主流となってきた。そのため屋根は非常に小さくなっている。一方で政府機関は屋根をもつ建築のため設置にはよいものと思料。(Mr. Mohamed Ali)
  - テラスに設ける日よけに PV を設置することが考えられる。PV を設置したとしても日よけの下は暑くなったりせず涼しい。日よけにも十分 PV は設置できる。(皆元団員)
  - それは良いアイデアかもしれない。(Mr. Mohamed Ali)
- ・PV は初期投資にかかる費用が非常に大きい。だれが初期投資を負担するのか。(Mr. Mohamed Ali)
  - モルディブ政府側で検討する必要のある課題であるが、初期投資は確かに高い。まず、モデルとして政府のビルに設置することが考えられる。
  - 費用便益分析の F/S をすることが必要と思料するが、政府ビルは設置する場所のよい選択肢のひとつである。初期費用の高さから勘案するに、各家庭による設置を想定するには時期尚早で、電力会社による設置、または国際機関による支援があって初めて実現の可能性があるものと思われる。(Mr. Mohamed Ali)
  - CDM プロジェクトとして実施することで民間セクターにとって魅力的になるかもしれない。(林団員)
- ・マレ首都圏の島を海底ケーブルで結んでの電力供給計画が MCPI で進んでいると聞いたが、進捗は如何。(篠田)
  - ティラフシ島に発電所をつくりそこから電線を引くという計画らしいが、現在はまだ発想段階である。数年かけての計画になろう。(Mr. Mohamed Ali)

- ・ マレの消費電力は大きいため、PV による発電効果は小さい。一方で離島は消費電力が小さいため、PV 設置が大きなインパクトとなる。マレ島以外の離島またはリゾート島での PV 設置を検討することがよいと思われる。(Mr. Mohamed Ali)

以上

日時 : 2008年2月11日 10:00~

訪問先 : 外務省外部資源局 (DER)

参加者 : Dr. Hussain Niyaz, Ms. Aishath Azeema

訪問者 : 林団長、皆元団員、篠田 (記)、Mr. Ahmed Nasheed (MEEW)

概要 : 冒頭、双方から挨拶、及び林団長から今回の調査の概要、及び協議議事録 (案) の説明があったのち、協議を行った。主な協議概要は以下のとおり。

・ PV はこれまで初期投資、維持管理費が大きいといわれていた。今回の F/S で PV 設置や財務的観点から基礎調査を行うことの意義は大きいと思料。ディーゼル燃料を節減できることは魅力的である。(Dr. Niyaz)

→現在、モルディブはディーゼル燃料調達コストとディーゼル燃料依存という2つの問題を抱えている。10%の再生可能エネルギーの導入を政府の優先課題としているなか、PV を導入する意義はある。(林団長)

→エネルギー節減に対しての人々の啓発も必要であると感じている。(Dr. Niyaz)

・ 本格調査実施を検討するにあたり、ひとつの大きな問題は開発調査の結果をいかに事業化するかである。事業化、特に資金について現在の想定は如何。(林団長)

→現段階では明確な回答はできないが、国際協力銀行 (JBIC) はひとつの選択肢となろう。また、伝統的に支援を続けているドナーやアジア開発銀行 (ADB)、デンマーク等も考えられる。デンマークは STELCO へのソフトローンによる支援実績もある。ただし、他の援助機関等による支援も検討していきたい。(Dr. Niyaz)

→JBIC については円借款による津波復興が 2011 年まで続くものと思われる。その間の新規支援は難しいものと思われる。(林団長)

・ 食料支援無償 (KR) による見返り資金を PV 設置に活用することはできないか。(篠田)

→見返り資金については現在モルディブ政府内でガイドラインを整備し、主にコミュニティー開発を目的にした活用を考えている。マレにおける PV 設置への活用は検討を要する。日本政府との調整も必要であろう。ただ、集中型太陽光設置の資金としては不十分ではないか。(Dr. Niyaz)

→マレ島、フルマレ島は特に土地が限られるため、集中型の太陽光発電設備を平地に据え付けることは現実的ではなく、屋根の上の設置が想定される。また段階的な PV 設置を行っていく必要があるため、必ずしも大きな資金ではなくても導入は可能である。(林団長)

以上

日時 : 2008年2月11日 12:00 ~

訪問先 : モルディブ電力公社 (STELCO)

先方対応者 : Mr. Mohamed Latheef (Director, STELCO)、Mr. Azzam Ibrahim (Senior Engineer, STELCO)、Mr. Ibrahim Nashid (Assistant Engineer, STELCO)、Mr. Abdulla Mushrif (Senior Engineer, STELCO)、Mr. Ibrahim Athif (Senior Engineer, STELCO)

訪問者 : 林団長、皆元団員、篠田 (記) Mr. Ahmed Nasheed (MEEW)

概要 : 冒頭、林団長から調査の進捗状況の説明があったのち、協議議事録 (案) について双方で協議し修正点等の確認を行った。また前回訪問時に依頼していた下記資料を受領した。

受領資料 :

- ① Electricity Production for MALE' 2003, 2004, 2005, 2006 (Unit generated, Fuel Consumption, Maximum Demand)
- ② STELCO Power Generating Capacity 2008
- ③ Load Curve (Male', K.Thilafushi, K. Villingil, Gdh.Thinadhoo, Ga. Villingili, Dh. Kudahuvadho, K. Guraidhoo, K.Maafushi, K. Kaashidhoo, Lh. Naifaru, B. Eydhafushi, R. Hulhudhuffaaru, Ha. Hoarafushi, Sh. Milandhoo)
- ④ Male' Daily Load Curve
- ⑤ Central Powerstation Load Curve

その他

財務諸表の提出については JICA からの正式なレターの依頼が必要である旨説明を受けた。本日中にレターを FAX で送付することを STELCO 側に伝え、早急に準備するよう依頼した。

以上