

## 平成 23 年度 CDM 実現可能性調査

# 「カンボジア・オフグリッド電力に関する標準化ベースライン開発を伴うバイオマス発電 CDM 実現可能性調査」

## 報 告 書

平成 24 年 3 月

日本エヌ・ユー・エス株式会社

# 平成 23 年度 CDM/JI 事業調査 報告書

## －目次－

1. 基礎情報	3
1.1 プロジェクトの概要	3
1.2 企画立案の背景	4
1.3 ホスト国に関する情報	6
1.3.1 プロジェクト実施地域	6
1.3.2 カンボジアの電力事情	7
1.3.3 カンボジアの気候	9
1.4 ホスト国のCDMに関する政策・状況等	10
1.4.1 DNAの設置状況	10
1.4.2 カンボジアのCDMに関する手続き	10
1.4.3 カンボジアにおけるCDMの状況	11
2. 調査の内容	13
2.1 調査実施体制	13
2.2 調査課題	14
2.3 調査内容	15
3. 調査結果	19
3.1 プロジェクトの内容	19
3.1.1 バイオマス燃料について	19
3.1.2 発電設備について	22
3.2 ベースライン・モニタリング方法論	28
3.3 ベースラインシナリオ及びプロジェクトバウンダリーの設定	29
3.4 モニタリング計画	36
3.5 温室効果ガス排出削減量	37
3.6 プロジェクト実施期間・クレジット獲得期間	40
3.7 環境影響・その他の間接影響	40
3.8 利害関係者のコメント	41
3.9 プロジェクトの実施体制	41
3.10 資金計画	42
3.11 経済性分析	42
3.12 追加性の証明	46

3.13 事業化の見込み .....	47
4. コベネフィットに関する調査結果.....	49
4.1 背景 .....	49
4.2 ホスト国における環境汚染対策効果の評価 .....	49
4.2.1 評価対象項目と結果概要.....	49
4.2.2 ベースライン/プロジェクトシナリオ.....	49
4.2.3 ベースラインの評価方法とモニタリング計画.....	50
4.2.4 プロジェクトを実施しない場合の定量化と結果.....	51
5. 持続可能な開発への貢献に関する調査結果.....	52

# 1. 基礎情報

## 1.1 プロジェクトの概要

本プロジェクトは、カンボジアのプレアビシア州（Preah Vihear）において、ネピアグラス（Napier Grass）をプランテーションによって確保する草本系バイオマス及び持続的な森林経営を行うために実施される択伐から得られる木質バイオマスを燃料とした総設備容量 50 MW のバイオマス発電プラントを導入するというものである。発電する電力の供給先として、世界遺産に登録されているプレアビシア寺院周辺の住民の居住区域であるエコビレッジとその周辺に建設される博物館やホテル等の観光施設等が予定されている。同地域はほぼ未電化地域であるため、送配電線等の電力供給設備も敷設する必要がある。

プロジェクト概念図を図 1-1 に示す。

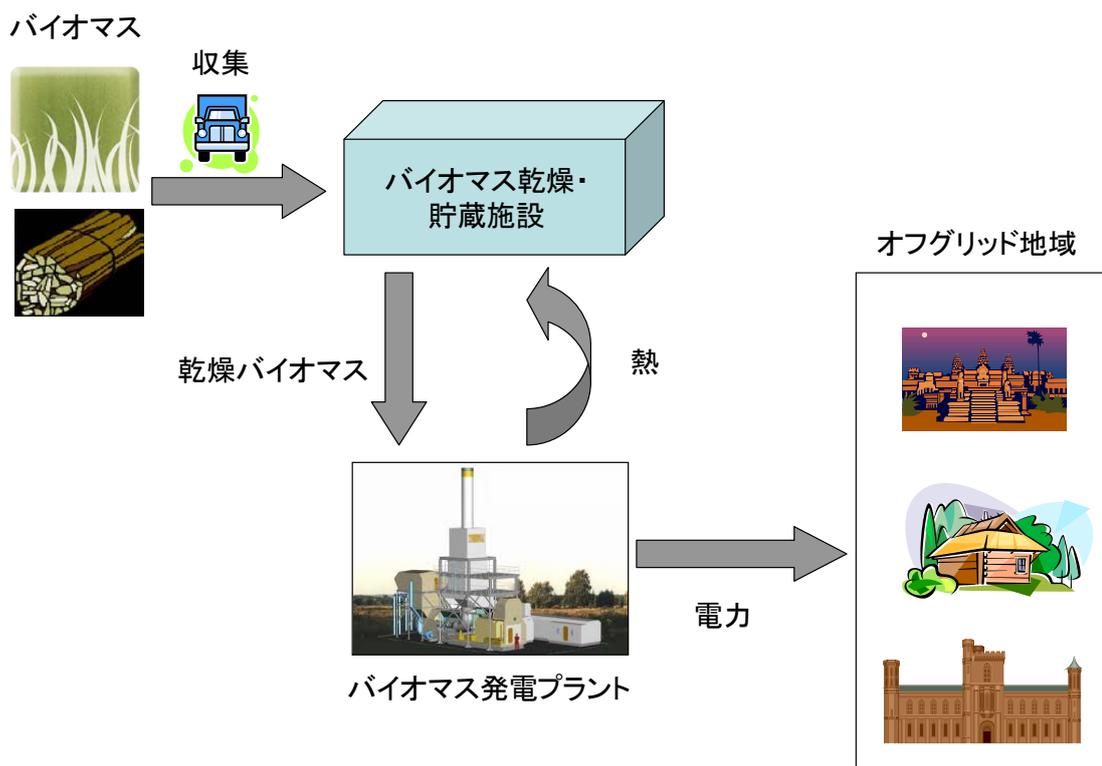


図 1-1 エコビレッジにおけるバイオマス発電プロジェクト概念図

本プロジェクトのような電力グリッドの整備されていない地域において、プランテーションによってバイオマス燃料を調達して実施する発電プロジェクトに適用可能な方

法論は存在しない。さらに、カンボジア国内にはエコビレッジのような未電化地域が多数存在することから、本調査においてオフグリッドのバイオマス発電プロジェクトに適用できるような標準化ベースラインの開発を行うこととしている。標準化ベースラインは、カンボジアDNAと協議をしながら開発を進めた。カンボジア地方部の電力事情について調査を実施し、その調査内容とUNFCCCが発行したガイドラインに従って設計した結果、200 kWのディーゼル発電機によるCO<sub>2</sub>排出量をベースラインとして想定することになった。

本プロジェクトにおける発電所の運営主体は、現地の民間電力事業者である Green Earth 社が候補となっている。運営体制はエコビレッジの管理を担当する政府機関であるプレアビヒア機構（National Authority of Preah Vihear）との協議の下で決定されるが、現地住民が燃料となるバイオマスの収集やプランテーションを担当することが予定されている。

本プロジェクトはプロジェクトサイトの発展にあわせて進められていく予定であり、50 MW 規模で実現するには解決しなければならない課題がいくつかあるが、一基目の着工を 2013 年度中に開始することを目指している。

## 1.2 企画立案の背景

世界遺産として登録されているプレアビヒア寺院の周辺地域は、政府の保護対象となっており、地域の管理機関としてプレアビヒア機構（National Authority of Preah Vihear）が設立された。プレアビヒア機構は、プレアビヒア寺院とその周辺地域から 10 km 程度離れた地域にエコビレッジを設置し、プレアビヒア寺院とその周辺地域を保護するために、その区域に暮らす人々をエコビレッジに移転させている。プレアビヒア機構が作成したプレアビヒア寺院周辺の開発計画マスタープランによれば、エコビレッジは全体で 440 km<sup>2</sup>の面積がある。主要エリアである 65 km<sup>2</sup>から開発を進め、そのエリア内に約 20,000 人の住民が居住し、歴史、文化を伝える博物館や、持続可能な経済発展をするためのインフラや産業施設が開発されていく予定である。

エコビレッジの開発計画では下記の方針が示されている。

1. 世界遺産であるプレアビヒア寺院とその周辺地域の歴史、文化、自然環境の保護及び継承
  - 博物館及び研究施設の創設
  - プレアビヒア寺院周辺の自然保護
2. 国際的な観光施設の創設
  - 広域交通ネットワークの開発
  - プレアビヒア寺院でのエコツーリズムの推進
3. 自然との共生

- 現地の文化や伝統的なライフスタイルが継承されつつ、先進技術とも融合したエコビレッジの開発
- 現地産業の育成

エコビレッジは5つのゾーンで構成されており、プレアビヒア寺院の内側から順にコアゾーン、緩衝ゾーン、保護ゾーン、森林・農業ゾーン、エコビレッジゾーンとなっている（図1-2）。各ゾーンの役割は以下の通りである。

- コアゾーン：世界遺産プレアビヒア寺院を保護し、観光客用の駐車場や売店などが設置される
- 緩衝ゾーン：歴史遺産や豊かな自然環境があり、森林保全プログラムによって保護される地域
- 保護ゾーン：プレアビヒア寺院周辺の環境を保護するための地域で、プレアビヒア寺院への交通量を制限し、入場ゲートが設置される
- 森林・農業ゾーン：農業インフラを整備し、環境に配慮した農業や森林経営の実施によってエコビレッジ周辺の経済発展をさせるためのゾーン
- エコビレッジゾーン：博物館、プレアビヒア寺院訪問者のための施設、現地住民の居住地域で構成されるゾーン

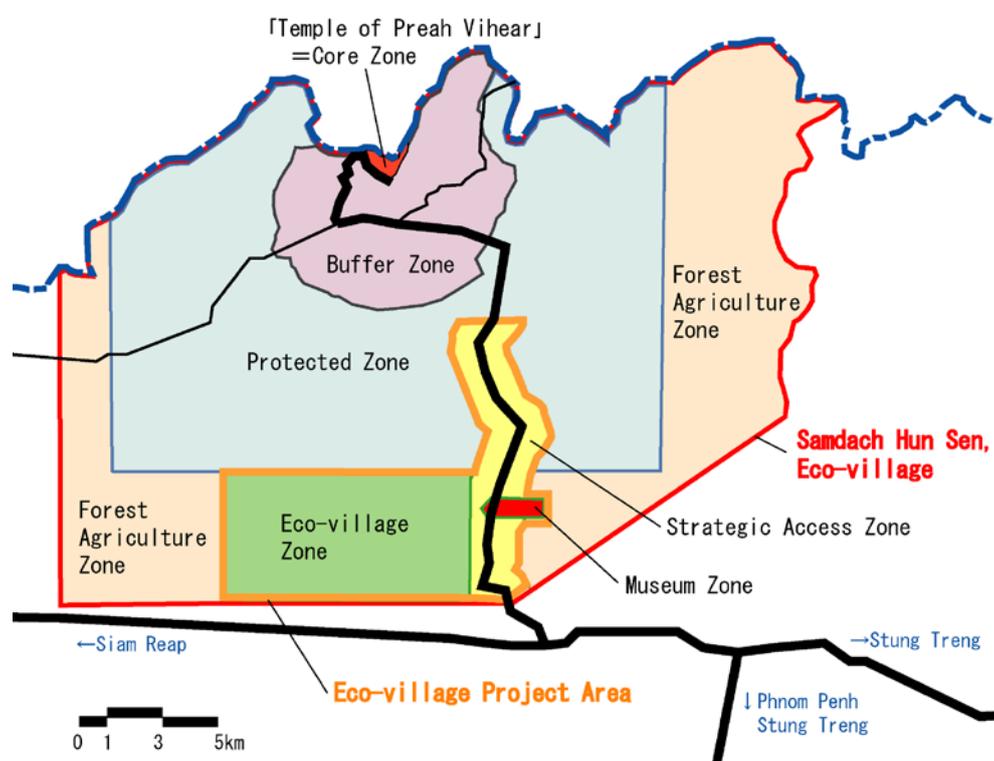


図1-2 エコビレッジのゾーン

エコビレッジはプレアビヒア寺院を中心として観光開発や産業開発が計画されており、今後プレアビヒア寺院周辺地域の発展に伴って電力需要が増大していくことが予測されている。プレアビヒア機構が策定したエコビレッジの開発計画では環境に配慮した持続可能な開発が要求されているため、増大していく電力供給の確保には化石燃料消費型の発電方式ではなく、可能な限り再生可能エネルギーを中心とした発電によって電力を調達していく必要がある。そうした背景をもとに、プレアビヒア機構は、プレアビヒア寺院地区周辺に多く存在し、現在、焼き畑の対象となっているネピアグラス等の草本系バイオマスや持続的な森林の成長を促進するための択伐によって得られる木質バイオマスを活用した発電事業を電力供給の最有力候補にしたいと考えている。また、プレアビヒア機構は、バイオマス発電事業の実施をするため CDM の制度を活用して排出権クレジットの売買によって運営のコストを一部賄うことを考えている。

## **1.3 ホスト国に関する情報**

### **1.3.1 プロジェクト実施地域**

プロジェクト実施地域は、カンボジア北部のトンレサップ湖とメコン河の間にあるプレアビヒア州のタイとの国境沿いに位置する。プレアビヒア州の面積は 13,788 km<sup>2</sup>、2008 年時点の人口は 17 万人である。プロジェクトサイト周辺の面積は約 440 km<sup>2</sup>、人口は約 20,000 人である。プロジェクト実施サイトの位置情報を図 1-3 に示す。

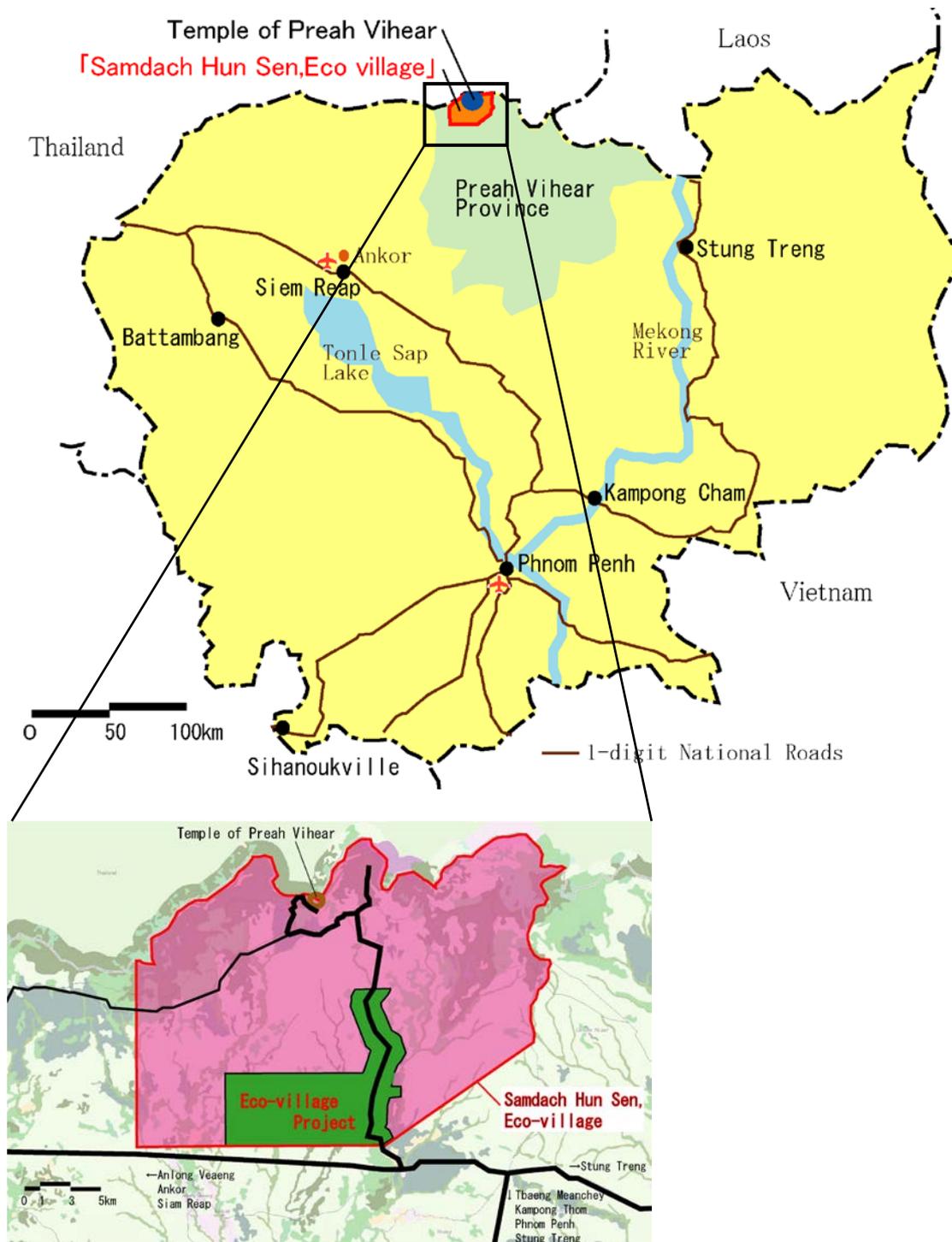


図 1-3 プロジェクト実施サイトの位置

### 1.3.2 カンボジアの電力事情

カンボジアの一般家庭における照明用エネルギー供給源の構成比を表 1-1 に示す。ノンペン及び都市部では都市電力の供給が 80%以上であり、電力網が整備されているが、

地方部では灯油（45.5%）及びバッテリー（40.0%）の使用が主流である。プロジェクトサイトのあるプリアビヒア州では灯油の使用比率が 55.3%を占めており、多くの地域が未電化の状態である。

表 1-1 カンボジアの一般家庭における照明用エネルギー供給源構成

供給源	カンボジア	都市部	地方部	プノンペン	プリアビヒア州
都市電力	22.5%	82.5%	9.3%	89.9%	7.6%
発電機	1.7%	1.9%	1.7%	1.8%	2.5%
都市電力+発電機	2.2%	2.7%	2.1%	3.1%	1.9%
灯油	39.0%	7.4%	45.5%	1.7%	55.3%
ロウソク	0.4%	0.4%	0.4%	0.3%	0.6%
バッテリー	34.1%	5.0%	40.0%	2.9%	14.4%
その他	0.5%	0.2%	0.6%	0.3%	17.6%

出所：National Institute of Statistics Cambodia (2008)

カンボジアの電力需要は、カンボジア電力公社（EDC）によれば、2009年の155,000万 kWh から 2020年には830,000万 kWhに増加すると予測されている。カンボジア国内には国内で運転されている3つのグリッドシステムがある。さらにタイのグリッド、及びベトナムのグリッドと接続しており、両国から電力の輸入も行っている。グリッドシステムの供給範囲に入っていない地域では、独立した事業者が小規模の地域や世帯を対象に電力を供給している。

カンボジア政府は、この急激な電力需要増に対応するため、2008年から2021年までの電力開発計画を策定し、その中には中長期の電力グリッド敷設計画も立てている（図1-4）。開発計画によると、プロジェクト実施予定地のあるプリアビヒア州は2020年時点においても基幹グリッドが設置される予定にはなっていない。

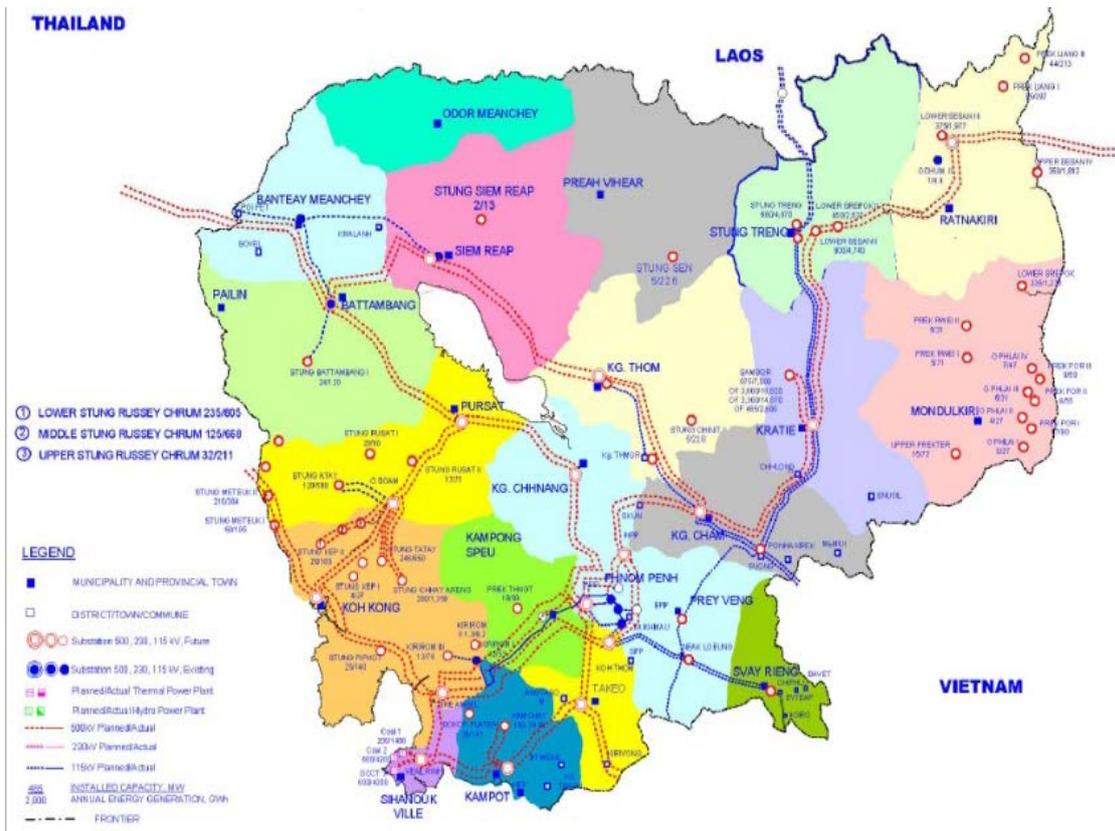


図 1-4 カンボジアの電力グリッド計画

### 1.3.3 カンボジアの気候

カンボジアの気候は、熱帯モンスーン型気候で高温多湿であり、雨季と乾季に分かれる。雨季は5月から10月まで続き、11月から4月までが乾季となる。気温は25℃～32℃程度と年間を通して大きな差は無い。年間降水量は地域によって1,000 ～ 3,500 mmとなる(図 1-5)。プロジェクトサイトのあるプレアビヒアは平均1,400 mmとなっており、カンボジアでは標準的な気候の地域であるといえる。年間降水量の75%は雨季の降雨である。

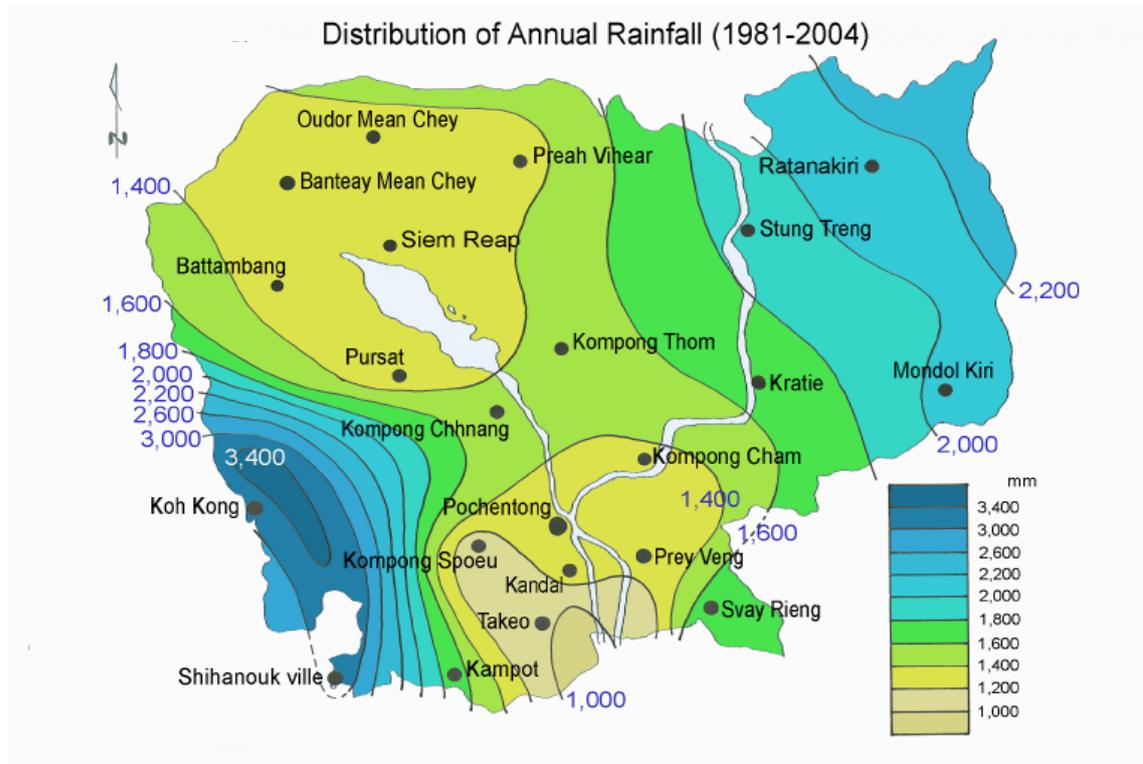


図 1-5 カンボジアの年間降水量

## 1.4 ホスト国の CDM に関する政策・状況等

### 1.4.1 DNA の設置状況

2003 年、カンボジア政府は環境省（MoE）を指定国家機関（DNA）として指定し、同年、カンボジア気候変動オフィス（CCCO）が設置された。CCCO は現在、気候変動局（CCD）に名称変更されており、DNA 事務局として CDM のプロジェクト開発者に対して CDM プロジェクト組成の助言、CER バイヤーの紹介等の支援を行っている。

### 1.4.2 カンボジアの CDM に関する手続き

#### (1) DNA 承認手続き

カンボジアで CDM プロジェクトを実施しようとする場合、プロジェクト開発者はカンボジア DNA に PDD を提出する必要がある。プロジェクト開発者は、DNA が作成した持続可能な開発基準に沿ってプロジェクトがカンボジアの持続可能な開発目標にどう適合しているかを PDD に記載しなければならない。DNA 承認手続きはフェーズ I ～ III に分かれており、申請から承認までおよそ 55 営業日を要する。各フェーズの手続きは以下の内容である。

フェーズ I（10 営業日）

- ・ CDM プロジェクト開発者は申請書類を DNA 事務局に提出する。申請書類には、PDD、(必要に応じて) 政府からの投資承認文書、(必要に応じて) 環境影響評価報告書を含める。
- ・ DNA 事務局は提出書類の不備の確認を行う。提出書類に不備があった場合は、DNA 事務局はプロジェクト開発者に再提出を求める。

#### フェーズ II (30 営業日)

- ・ DNA 事務局は PDD を受理した後、ウェブサイト等を使用して提出されたプロジェクトを公表し、ステークホルダーからのフィードバックを求める。コメントは公表されてから 20 営業日受け付けされる。
- ・ DNA 事務局は PDD をテクニカルワーキンググループに提出する。
- ・ ワーキンググループは PDD について持続可能な開発基準及びその他の適格性基準の審査を行う。必要に応じて現地往査が実施される。ワーキンググループは技術審査報告書を作成し、DNA 事務局に提出する。
- ・ ステークホルダーからのコメント及びワーキンググループからの技術審査報告書が提出された後、DNA 事務局は評価報告書を作成する。

#### フェーズ III (15 営業日)

- ・ DNA 事務局は評価報告書を DNA 理事会に提出する。
- ・ DNA 理事会は評価報告書をレビューし、最終決定をする。
- ・ プロジェクトがカンボジアの持続可能な開発目標に適合していると判断された場合、DNA 理事会はプロジェクトの承認レターを発行する。承認レターは DNA 理事会の決定後 5 日以内に行われる。
- ・ プロジェクトがカンボジアの持続可能な開発目標に適合していないと判断された場合、DNA 理事会はプロジェクトを却下する。DNA 事務局はその結果をプロジェクト開発者に連絡する。却下から 20 営業日以降であれば、プロジェクト開発者は PDD を改訂し、DNA 事務局に再提出してもよい。

## (2) CDM プロジェクトの投資許可

全ての CDM プロジェクトはカンボジア投資法に準じている必要がある。カンボジア開発評議会 (CDC) は、海外からの投資の促進と管理を担当する政府組織として、投資戦略の決定及び投資提案の採択に関する執行機関である。カンボジア国内で CDM プロジェクトへの投資を行う際は、CDC に申請書を提出しなければならず、CDC は 45 日以内に許可の判断をする。

### 1.4.3 カンボジアにおける CDM の状況

2012 年 1 月現在のカンボジアにおける CDM プロジェクトを表 1-2 に示す。カンボジアでは 5 件のプロジェクトが登録されている。また、バリデーション中のプロジェクト

は5件ある。それ以外で事前考慮（prior consideration）を提出しているプロジェクトが3件存在している。カンボジア DNA によれば、新規の水力発電プロジェクトに関しては鉱工業エネルギー省（MIME）において CDM を検討するように推奨しており、近年は水力発電の案件が増加傾向にあるとの事である。

表 1-2 カンボジアにおける CDM プロジェクト

プロジェクト名	プロジェクト種類	年間削減量 (t-CO <sub>2</sub> )	状況
Angkor Bio Cogen Rice Husk Power Project	発電（バイオマス）	51,620	登録済み(2006年)
TTY Cambodia Biogas Project	発電（バイオガス）	50,036	登録済み(2008年)
Methane fired power generation plant in Samrong Thom Animal Husbandry, Cambodia	発電（バイオガス）	5,593	登録済み(2008年)
Kampot Cement Waste Heat Power Generation Project (KCC-WHG)	発電（廃熱利用）	17,107	登録済み(2009年)
W2E Siang Phong Biogas Project Cambodia	発電（バイオガス）	26,592	登録済み(2011年)
Kamchay Hydroelectric BOT Project	水力発電	370,496	バリデーション中
Biogas Project at MH Bio-Ethanol Distillery, Cambodia	バイオガス発電	52,831	バリデーション中
Lower Stung Russei Chrum Hydro-Electric Project	水力発電	701,199	バリデーション中
Kamchay Hydroelectric BOT Project	水力発電	281,348	バリデーション中
Stung Tatay Hydroelectric Project	水力発電	563,074	バリデーション中
Phnom Penh Sugar with Cogeneration Bagasse-Fired Power Plant	バイオマス発電	不明	事前考慮
400 MW Lower Se San 2 Hydro Power Project	水力発電	不明	事前考慮
Cambodia Stung Atay Hydropower Project	水力発電	不明	事前考慮

出所：UNFCCC

## 2. 調査の内容

### 2.1 調査実施体制

本調査の実施に関わる組織は、日本エヌ・ユー・エス株式会社、兵庫県立大学佐々木研究室、カンボジアに本社を置く環境コンサルティング会社である Mekong Carbon 社、プレアビヒア機構の4機関である。各機関の関係を図 2-1 に示す。

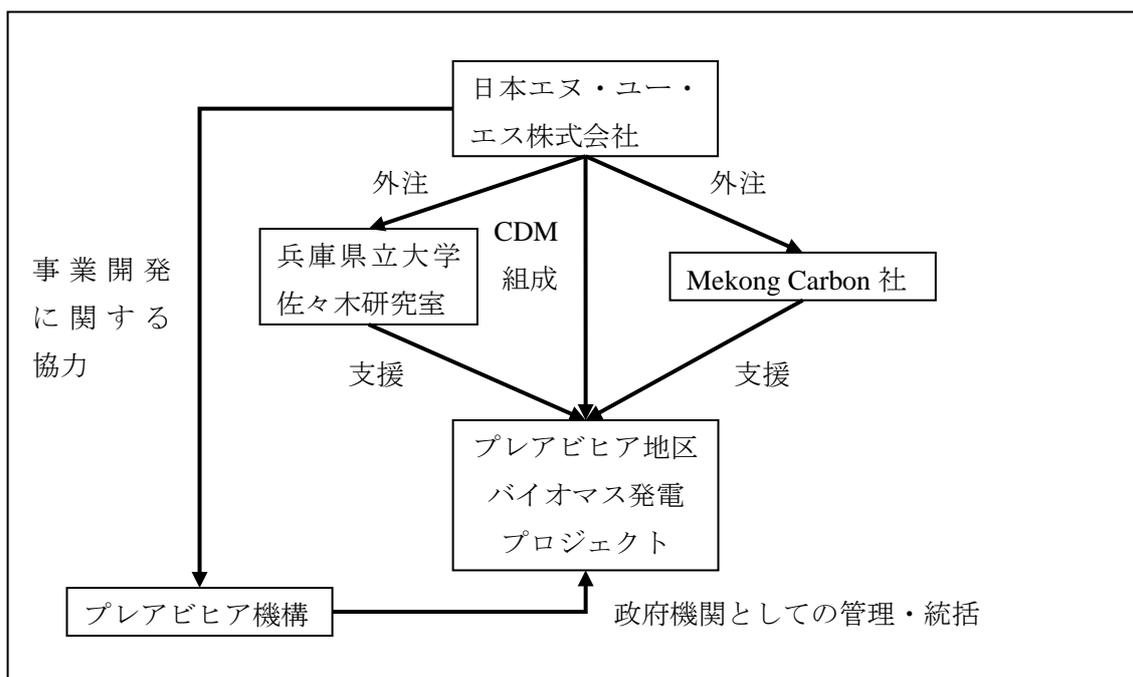


図 2-1 調査実施体制

各組織の役割は以下の通りである。

(1) 日本エヌ・ユー・エス株式会社

調査の統括、プロジェクトの評価、CDM 組成（標準化ベースライン開発、PDD 作成）を担当する。

(2) 兵庫県立大学佐々木研究室（外注）

バイオマス燃料に関する調査を担当する。

(3) Mekong Carbon 社（外注）

現地のバイオマス燃料に関する調査支援、カンボジアの独立電源事業者の調査支援、現地調査の支援を担当する。

#### (4) プレアビヒア機構

プレアビヒア地区の開発計画を統括する政府機関としてプロジェクトの管理、現地調査の調整を担当する。

## 2.2 調査課題

本調査において明らかにすべき事項は以下の通りである。

#### (1) ベースライン・モニタリング方法論

通常規模のCDMを対象としたオフグリッドのバイオマス発電プロジェクトに適用可能な方法論は現時点で存在しない。カンボジアでは電力の基幹グリッドが十分に整備されておらず、現地の電力事業者が小型のディーゼル発電機などを利用して周辺地域や周辺世帯に電力を供給している事が多い。このような状況を踏まえ、本プロジェクトだけでなくカンボジア全土で適用可能な標準化ベースラインの開発を行い、標準化ベースラインに対応した新方法論を作成する。

#### (2) ベースラインシナリオ及びプロジェクトバウンダリーの設定

本プロジェクトで採用するベースラインシナリオは、本調査で標準化ベースラインを開発し、その設定に従うことになる。プロジェクトバウンダリーについては、プレアビヒア地区のバイオマス発電事業計画を参考に設定する。

#### (3) モニタリング計画

プロジェクトのモニタリングに必要な項目を検討する。

#### (4) 温室効果ガス排出削減量

プロジェクト計画及び開発する標準化ベースラインに従って温室効果ガス排出削減量を算出する。

#### (5) プロジェクト実施期間・クレジット獲得期間

プロジェクト計画及び事業者の意向からプロジェクト実施期間を決定する。

#### (6) 環境影響・その他の間接影響

具体的な発電所設置計画は決定していないが、法的な側面から環境影響評価が必要となる場合を調査する。また、プレアビヒア開発計画自体が持続可能な開発をコンセプトとしており、環境影響については慎重に検討する必要がある。

#### (7) 利害関係者のコメント

本プロジェクトの利害関係者となるサイト周辺の住民に対してバイオマス発電計画に関するコメントの収集を行う。

(8) 資金計画

プロジェクトの資金調達スキームを検討する。

(9) 経済性分析

本プロジェクトを CDM として実施した場合と CDM でない通常のプロジェクトとして実施した場合の経済性について評価を行う。

(10) 追加性の証明

本調査で開発する標準化ベースラインに従って追加性の証明について検討する。

(11) コベネフィット

本プロジェクト実施によるコベネフィットを評価する。コベネフィットとしては、硫酸化物及び煤塵の削減が考えられる。

(12) 持続可能な開発への貢献

本プロジェクトの実施による持続可能な開発への貢献について検討する。

## 2.3 調査内容

事前調査として、プレアビヒア地区の開発計画に関連する文献調査及び標準化ベースラインに関する情報収集を行った。プレアビヒア地区の開発計画に関連する文献として、2008 年にプレアビヒア遺跡が世界遺産として登録された後に作成された同地域の開発方針となるマネジメントプラン及び開発計画となるマスタープランを整理した。マネジメントプランでは、「サステナブルなマネジメントを促進する」こと、マスタープランでは、「マネジメントプランの方針に沿って地域の電力供給に再生可能エネルギーを活用する」ことが明記されており、プレアビヒア地区の開発計画における本プロジェクトの意義を確認した。標準化ベースラインに関する情報については、「Guidelines for the establishment of sector specific standardized baselines」(UNFCCC)等を参照し、標準化ベースラインのルールや手続きを整理した。

現地調査は合計 4 回実施した。現地調査の日程と内容は表 2-1 のとおりである。

表 2-1 現地調査の内容

	調査期間	調査内容 (訪問先)
第 1 回	2011 年 8 月 15 日～	・本調査の説明、標準化ベースラインに関する協議

	8月20日	(DNA) <ul style="list-style-type: none"> <li>・現地状況についての協議 (プレアビヒア機構)</li> <li>・発電事業についての住民 (プレアビヒア地区)</li> <li>・プロジェクトサイト周辺のバイオマス視察 (プレアビヒア地区)</li> <li>・電力使用状況の調査 (アプサラ機構)</li> </ul>
第2回	2011年10月12日 ～10月13日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・標準化ベースライン開発に関する協議 (DNA)</li> <li>・電力事業計画に関する協議 (プレアビヒア機構)</li> </ul>
第3回	2011年11月27日 ～11月28日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマス燃料の調査 (プレアビヒア地区)</li> <li>・電力供給範囲に関する協議 (プレアビヒア機構)</li> <li>・独立グリッドに関する協議 (Mekong Carbon 社)</li> </ul>
第4回	2011年12月22日 ～12月23日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電事業計画に関する協議 (プレアビヒア機構)</li> <li>・標準化ベースラインの提出 (DNA)</li> </ul>

2.2 章で挙げた各調査課題に対して、本調査において実施した調査内容を以下にまとめる。

#### (1) ベースライン・モニタリング方法論

文献調査及び基幹グリッド接続のない地方部の電力使用状況の調査によってオフグリッド電源の原単位を検討し、カンボジア全土のオフグリッド地域におけるバイオマス発電プロジェクトに適用可能な標準化ベースラインを開発した。さらに、開発した標準化ベースラインが適用可能な方法論として、小規模 CDM 方法論 AMS-I.E 「Renewable energy generation for captive use and mini-grid」を参考にしながら、当該プロジェクトに適用可能な新方法論を作成した。

#### (2) ベースラインシナリオ及びプロジェクトバウンダリーの設定

標準化ベースラインを開発するために、ベースラインシナリオのバックグラウンドとなるカンボジアの電力供給事情に関する文献調査を実施した。地方部に対しては電力事業者への訪問調査を実施し、発電機の規模、燃料、運転状況といったオフグリッド電源の原単位と GHG 排出量の算定に必要な情報を収集した。UNFCCC から発行されている標準化ベースライン開発に関するガイドラインを参照し、カンボジアの DNA とも協議を行いながら標準化ベースラインを開発し、カンボジア DNA に対して標準化ベースライン (案) を提出した。

プロジェクトバウンダリーについては、プレアビヒア機構と発電事業計画に関して協議を行った上で設定した。

### (3) モニタリング計画

導入するバイオマス発電プラントの設計及び燃料調達計画について、プレアビヒア機構と協議し、CDM プロジェクトとして必要なモニタリング手法を開発し、それらと設備仕様や確保すべきデータの精度といった追加的な情報に基づき、モニタリング計画を作成した。

### (4) 温室効果ガス排出削減量

温室効果ガス排出削減量の算出にあたって、まずプレアビヒア機構との協議で作成したバイオマス発電プラントの設計計画、バイオマスに関する調査結果に基づいた燃料調達計画、プレアビヒア機構による電力の需要予測を考慮し、想定される発電量を推計した。そして、標準化ベースラインの設定により推計されるベースライン排出量、所内や燃料運搬で利用される化石燃料の量などから推計されるプロジェクト排出量の評価を実施し、これらベースライン排出量とプロジェクト排出量の差によりCO<sub>2</sub>削減量を計算した。

### (5) プロジェクト実施期間・クレジット獲得期間

プレアビヒア開発計画における電力供給のあり方について、プレアビヒア機構と協議し、さらに発電プラントの寿命等を考慮し、最も適しているプロジェクト実施期間及びクレジット獲得期間を設定した。

### (6) 環境影響・その他の間接影響

カンボジアの環境影響評価法制度に関する調査を実施し、考慮すべき環境影響項目を整理した上で、定性的な検討を実施した。また、現地のバイオマス関連情報に基づき、最も環境影響の少ない利用方法等について検討した。

### (7) 利害関係者のコメント

現地住民に対して、当該プロジェクトの説明を行い、当該プロジェクトに対する利害関係者コメントとしてヒアリングを通じてコメントを収集した。

### (8) 資金計画

バイオマス発電事業者として予定されているカンボジア本社の Green Earth 社とプレアビヒア機構を加えて資金計画について協議をし、さらに本プロジェクトへの出資に興味を示している Leopard Capital 社にその内容を説明した。

### (9) 経済性分析

販売電力価格など未だ具体的に決定されていない部分があり、不確定な部分が残って

いるため算出結果は参考情報となるが、CDM プロジェクトを実施した場合と CDM でない通常のプロジェクトとして実施した場合の経済性を分析した。プレアビヒア機構が主体となって決定した発電計画の仕様（供給範囲、供給電力量、設備容量、熱供給の有無、燃料製造設備、燃料消費量等）に基づき、発電設備の見積の作成、運転コスト（バイオマスの収穫・収集から運搬・燃料加工・貯蔵、発電プラントの運転管理費など）の想定、電力料金の設定等を実施し、内部収益率の計算を行った。

#### (10) 追加性の証明

開発した標準化ベースラインに基づいて本プロジェクトにおける追加性の証明について検討した。

#### (11) コベネフィット

ベースラインシナリオとなる小型ディーゼル発電機の運用状況を調査し、大気汚染物質である硫黄酸化物及び煤塵の削減について「コベネフィット定量評価マニュアル」に従って本プロジェクトによるコベネフィットを評価した。

#### (12) 持続可能な開発への貢献

プレアビヒア機構が作成したプレアビヒア地区のマスタープランを参考にして、本プロジェクトを通じて持続可能な開発に貢献できる事項を検討した。

### 3. 調査結果

#### 3.1 プロジェクトの内容

##### 3.1.1 バイオマス燃料について

本プロジェクトでは、プレアビヒア寺院周辺の管理区域として指定されている森林において、持続的に森林を維持するために不良木などを伐採して行う択伐によって得られる木質バイオマス、及びエコビレッジにおけるプランテーションによって得られる草本系バイオマスを発電用の燃料とする。収集したバイオマスを一定比率で混合し、バイオマスガス化コジェネレーションシステム及び内部循環流動床ボイラーで燃焼し、発電と熱生成を行う。プレアビヒア寺院周辺地域の管理区域を図 3-1 に示す。

本プロジェクトで燃料調達の対象とする地域は、図 3-1 のゾーン 4a (Zone 4a: Protected Zone for Natural) である。ゾーン 4a は総面積 10,500 ha のうちほとんどが落葉広葉樹林から構成されている。兵庫県立大学の佐々木ノビア准教授の調査に基づき、このゾーン 4a からの木質バイオマスの供給計画を策定した。計画は、この地域の落葉広葉樹林は約 10 年で再生できるということから、ゾーン 4a において 4,000 ha の土地を 400 ha ごとに 10 区画に区分し、1 年間で 1 区画の広葉樹林の 80% を択伐し、それを燃料として利用するというものである。1 度択伐を行った土地は再び森林に戻るよう、管理しながら 10 年間そのままにしておく。

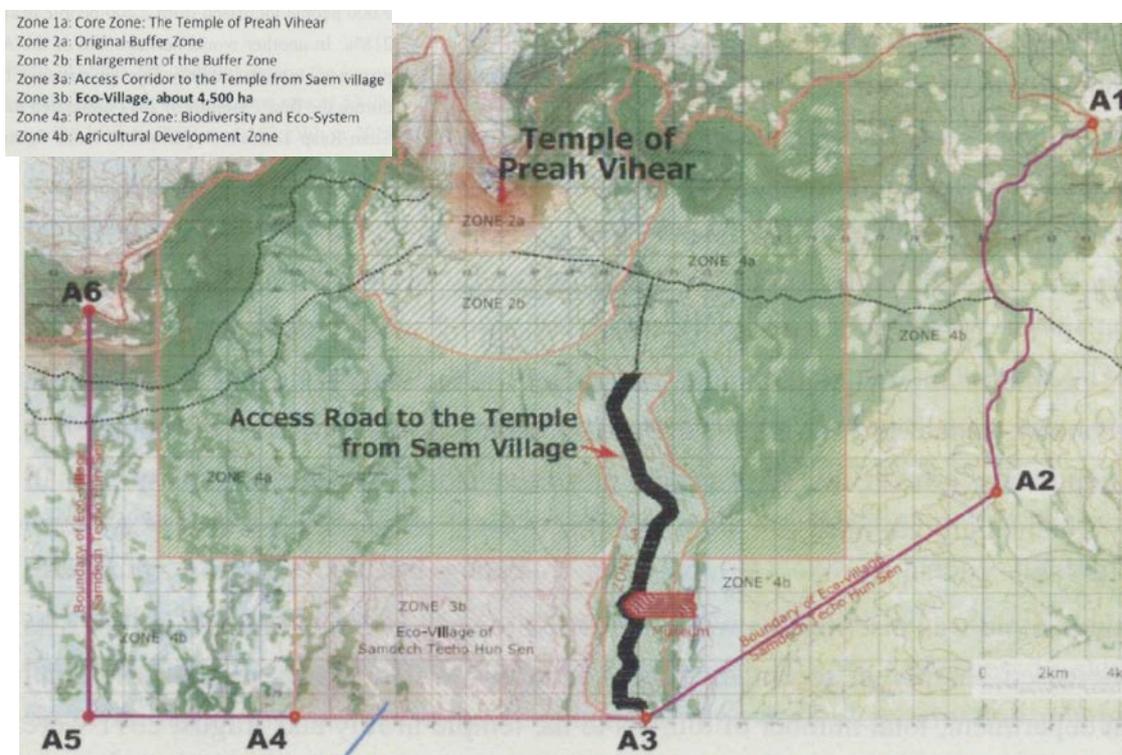


図 3-1 世界遺産登録のためのプレアビヒア寺院地域の管理区域

この 400 ha の落葉広葉樹林が生み出す木質系バイオマスの総量は、フィールド調査の結果、217.6 t/ha (±15%、90%信頼区間、幹、枝、葉を含む乾燥重量) となることがわかった。葉は使用することができず、総量の 80%を択伐で刈り取ることから、バイオマス燃料として使用できる量は、保守的に 160 t/ha とする。ここから得られる 1 ha あたりの電力量は、下記のように計算される。

$$EP_{\text{wood}} = 160 \text{ (t/ha)} \times 19.0 \text{ (GJ/t)} \times 277.78 \text{ (kWh/GJ)} \times 0.179 = 151,157 \text{ kWh}$$

ここで、19 GJ/t は木質バイオマスが持つ熱量、277.78 kWh/GJ は熱量の電力量への換算値、0.179 はバイオマス発電の効率 (IPCC の文献より引用) である。1 年間の燃料供給のために割り当てられた森林は 400 ha あるので、木質バイオマスによる年間の電力供給量は、以下ようになる。

$$EP_{\text{wood/year}} = 151,157 \times 400 = 60,462,800 \text{ kWh}$$

この木質バイオマスから得られるエネルギーを用いて発電するために設置できる発電機の規模は、1 日 12 時間稼働の場合で 13.8 MW、1 日 24 時間稼働の場合は 6.9 MW となり、総設備容量 50 MW の発電機を稼働させるためには、択伐によるバイオマスの確保だけでは不足している。兵庫県立大学の佐々木研究室の調査では、ゾーン 4a の森林は 8,000 ha まで利用できるということであるが、それでも不足は避けられない。択伐によって調達するバイオマス燃料の不足分を賄うために、エコビレッジ地区においてネピアグラスのプランテーションを実施する。

ネピアグラスは、プレアビヒア寺院周辺に大量に自生していることが過去の調査等から明らかになっているが、その地域は、アクセス道路から遠いため、大量に採取し運搬することが難しいということがフィールド調査によって判明した。そのため、天然のネピアグラスではなく、エコビレッジ地区においてネピアグラスを栽培し、それを草本系バイオマス燃料として、本プロジェクトで使用することを考えている。エコビレッジ居住者に雇用を与えるという観点から、プレアビヒア機構の賛同も得ている。

ネピアグラスの栽培は、主に家畜の飼料やバイオマス燃料として実施されており、日本国内、南米、ベトナムなどで実績がある。1 ha あたりの収量は、気候や土質などの栽培地により大きく異なり、文献調査等から得られる情報では 10 ~ 200 t 超と大きな開きがある。本調査では、兵庫県立大学佐々木研究室の助言に基づき、1 ha あたりの収量を 40 t と仮定する。上記の木質バイオマスと同様の考え方から、1 ha で栽培されるネピアグラスから生み出される電力量は、

$$EP_{grass} = 40 \text{ (t/ha)} \times 19.0 \text{ (GJ/t)} \times 277.78 \text{ (kWh/GJ)} \times 0.179 = 37,789 \text{ kWh}$$

となる。10 MW の発電機を 24 時間稼働させる場合、木質バイオマスの不足分は 3.1 MW となることから、この不足分を賄うために必要なネピアグラスの栽培面積は、下記のように計算される。

$$A_{grass\_10} = 3.1 \text{ (MW)} \times 24 \times 365 \times 1,000 \text{ (kW/MW)} / 37,789 \text{ (kWh/ha)} = 719 \text{ ha}$$

50 MW の発電機を 24 時間稼働させる場合の必要面積は、次のようになる。

$$A_{grass\_50} = 43.1 \text{ (MW)} \times 24 \times 365 \times 1,000 \text{ (kW/MW)} / 37,789 \text{ (kWh/ha)} = 9,991 \text{ ha}$$

この 9,991 ha のネピアグラス栽培地の確保について考える。図 3-2 にエコビレッジの土地利用計画を示す。

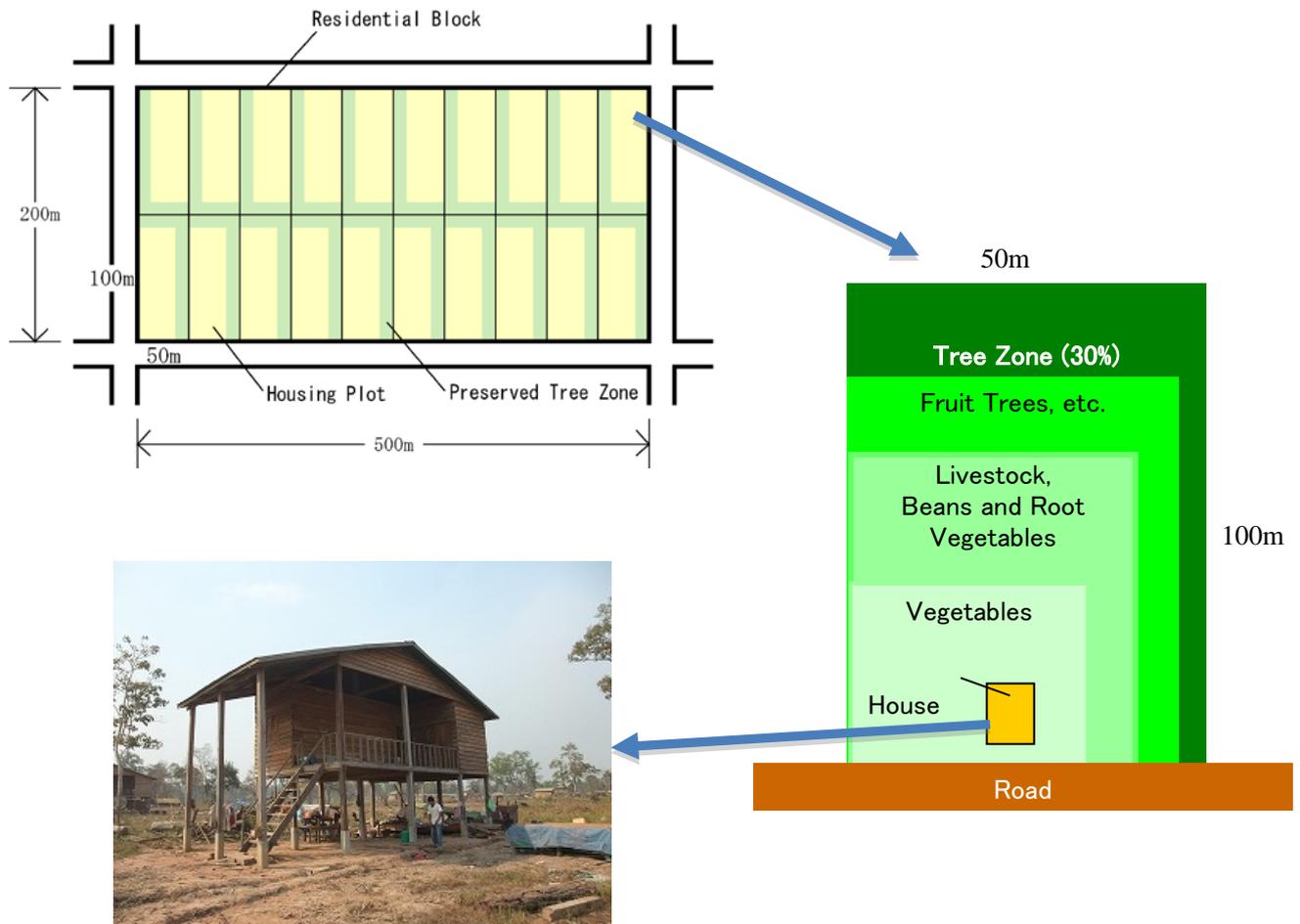


図 3-2 エコビレッジ地区における土地利用計画

図 3-2 に示されるように、エコビレッジにおいて、1 世帯に与えられる土地のうち、30%は林として維持し、残りは畜産や農業に割り当てるといった形式になっている。この中で林として維持する土地の 30%は、択伐によって発電用バイオマス燃料が確保できる。さらに、農業用地の一部をネピアグラスの栽培に割り当てることができる。これも土地の 30%を割り当てるとする。エコビレッジの総面積は 4,500 ha であることから、林とネピアグラス栽培に各 1,350 ha が使用できることになり、エコビレッジの土地からは  $1,350 \text{ ha} \times 2 = 2,700 \text{ ha}$  が燃料調達に確保できる。また、ゾーン 4a の木質バイオマス確保用の土地の間作物としてネピアグラスを栽培することも可能であり、ゾーン 4a の森林の発電用に寄与できる土地が 8,000 ha であることから、エコビレッジで確保できる 2,700 ha と合わせると 10,000 ha 以上が燃料用バイオマスの確保に利用可能だと考えられる。

以上のことから、プレアビヒア寺院地区のゾーン 4a 及びエコビレッジ地区の落葉広葉樹林の択伐から得られる木質バイオマスと同森林における間作とエコビレッジにおけるプランテーションから得られるネピアグラス（草本系バイオマス）による燃料供給は、50 MW の発電設備を稼働するための十分な供給量を確保できるものと言える。

### 3.1.2 発電設備について

本プロジェクトでは、最終的に 50 MW の総設備容量の達成を目指す、実際の発電機の設置はエコビレッジ、プレアビヒア寺院地区及びその周辺区域の発展に従って進められていく計画である。これには二つの大きな理由がある。現在、対象地区には、電力を大量に消費するような建物は存在せず、10 MW 級の高効率なバイオマス発電機（24 時間稼働が前提）を導入しても、発電量ほどの需要がないことが理由の一つである。もう一つは「水」の問題である。10 MW 級の蒸気タービン発電機は、主に復水器の冷却水として 1 日に約 700t の水を消費するが、プロジェクト対象地区には大きな河川がなく、乾期には住民の生活用水でさえも雨季に貯水池で確保するような状況にある。乾期は例年半年程度の長さがあり、その間の 10 MW 級発電機に必要な水の量は、

$$700 \text{ (t/day)} \times 180 \text{ (day)} = 126,000 \text{ (t)}$$

となる。これだけの量を貯水池で確保することは困難であり、大規模な発電機を導入するには、水の確保が急務となる。エコビレッジ開発のマスタープランでは地下水の調査が計画されているが、まだ実施されておらず、この水の確保状況は、最終的な総発電設備容量を決める要因となる。

こうした背景から、プロジェクトの第一段階では、空冷式バイオマスガス化発電機を 3 機導入し、その後、水の確保状況と地域の発展状況を見ながら 10 MW の蒸気タービ

ン発電システムを随時導入していき、総設備容量 50 MW を目指す計画である。空冷式バイオマスガス化発電システムは、エコビレッジ地区にある学校、プレアビビア機構オフィスの建物にそれぞれ併設する 2 機と大型発電機設置予定地に 1 機の合計 3 機設置する予定である。大型発電機設置予定地に置く 1 機は、当初は周辺住民への電力供給を行うが、大型の発電機の設置後は、その発電機の起動用として機能させる。これは、導入予定の発電機が内部循環流動床ボイラーを用いるものであり、流動床の昇温にエネルギー利用する必要があるためである。

以下、空冷式バイオマスガス化発電システム及び内部循環流動床ボイラーを用いた蒸気タービン発電システムについて述べる。

### 空冷式バイオマスガス化発電システム

本プロジェクトで導入を考えている空冷式のバイオマスガス化発電システムは、ヤンマー社のデュアルフューエル・コージェネレーションシステムである。システムの概要を図 3-3 に示す。本プロジェクトでは、コージェネレーションで得られた電気はミニグリッドを用いて、消費者へ供給するが、熱はすべてバイオマスの乾燥に利用する予定である。

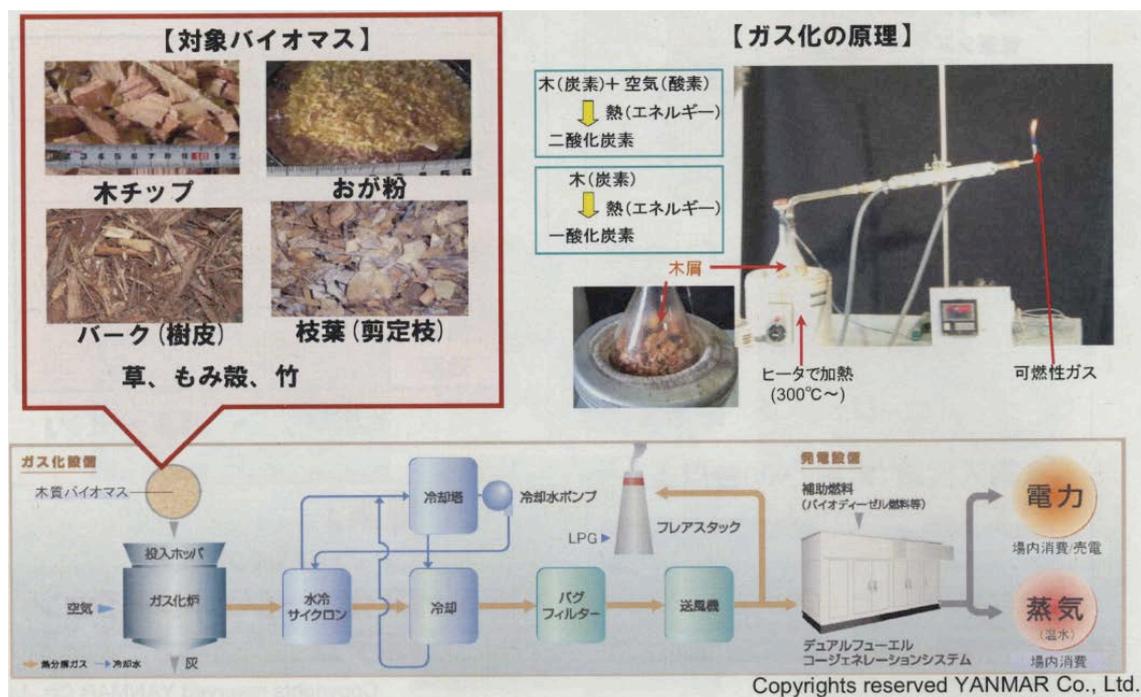


図 3-3 ヤンマーバイオマスガス化コージェネレーションシステム

このヤンマーのシステムは、下記のような優れた特徴を有する。

- すべて国産

- ・ 固形のバイオマス燃料だけでなく、バイオディーゼル（あるいは軽油）燃料の利用が可能
- ・ 空冷式であり、水の使用量が少ない（水の消費量は最大で 150 L/day、通常運転であればその 1/10 程度）
- ・ 起動停止が容易（ボタン一つで可能。起動後 30 分程度で定格運転可能）
- ・ 6,000 時間ごとにメンテナンス（通常は、メンテナンスフリーで運転管理が容易）
- ・ 屋外設置が前提のユニット式一体型システムとして販売

これらの中で、起動停止が容易、空冷で水の消費量が少ない、及び運転管理とメンテナンスが容易という特徴は、現在のエコビレッジ及びカンボジアの状況に合っている。プリアビヒア州を含め、カンボジアの農村地域や地方では、ディーゼル発電機を日中のみ運転し、電気をバッテリーに充電する事業（電気の小売り）や周辺住民への供給を行い、夜間は停止させるというのが一般的である。エコビレッジでも同様の状況にあり、開発が進むまでの間は、日中のみ運転が続くと思われる。このヤンマーのシステムは、そうした状況に柔軟に対応できる性能を有しており、導入候補となっている。

本プロジェクトでのバイオマス燃料は、木質系バイオマスと草本系バイオマスの混合となるため、双方とも細かく剪断し、事前に決めた比率で混合してから、ペレット化する必要がある。バイオマスの混合比率に合わせて発電システムの調整を行うため、事前に決めた混合比率は、以後一定に保つ必要がある。このバイオマス燃料のストックとペレット製造のために、コジェネレーションシステムの付帯設備として、燃料貯蔵用倉庫、バイオマス剪断機、ペレット製造設備を設置する。倉庫には、コジェネレーションシステムからの熱を利用した乾燥システムを取り付ける。倉庫は 1 週間分（24 時間運転を仮定）の燃料をストックできるよう 120 t（乾燥重量で 60 t）のバイオマスが貯蔵できるものを、コジェネレーションシステム付近に設置する。

このコジェネレーションシステムは扱いが容易であり、基本的には一人で運転できるよう設計されている。

### 内部循環流動床ボイラー利用コジェネレーションシステム

エコビレッジ及びその周辺地区の開発が進み、電力需要の増加（かつ 24 時間需要が安定して存在する）が見込め、水の確保ができれば、高効率な大型のバイオマス発電システムの導入が可能となる。導入候補として、荏原環境プラント（以下荏原）の内部循環流動床ボイラー（ICFB: Internally Circulating Fluidized-Bed Boiler、図 3-4 参照）を用いた 10 MW 級のコジェネレーションシステムを考えている。

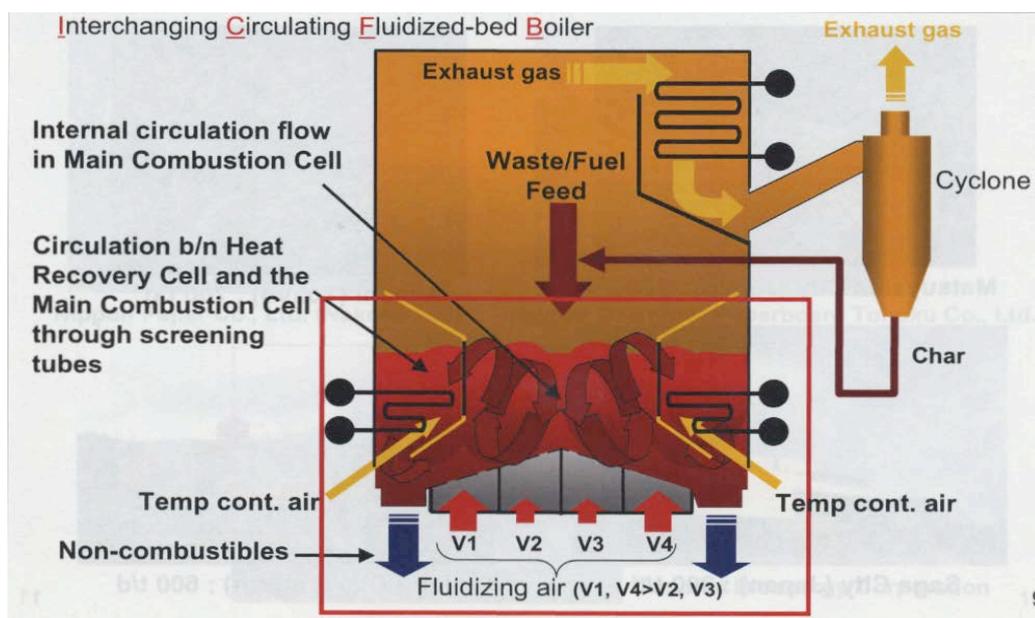


図 3-4 荏原内部循環流動床ボイラー概要図

内部循環流動床ボイラーは、様々な産業廃棄物の燃焼、石炭との混合燃焼が可能であり、建設後も燃料供給事情に応じて容易に燃料転換が可能であり、廃棄物に混ざっている非燃焼物の取り出しも容易という優れた特徴を持っており、次世代の廃棄物発電用ボイラーとして期待されている。また、主燃焼室と熱回収室が分離されており、伝熱量の制御ができるため、負荷調整が容易となっている。そうした特徴は、バイオマス利用にも非常に役立つものであり、国内でもバイオマス専焼内部循環流動床ボイラーを用いたコジェネレーションシステムが既に数機設置されており、年間運転時間 8,000 時間という実績を上げている。国内で導入されている 10 MW 級 (13.6 MW) の概要を図 3-5 に示す。





図 3-6 我妻バイオパワー発電所配置図

これに燃料貯蔵施設と燃料剪断設備などの付帯設備を加えると必要な敷地面積は約 30,000 m<sup>3</sup>ほどになり、10 MW級発電システム 1 つにつき 3 ha という広い土地が必要となる。バイオマス燃料は、ガス化発電システムと同様に落葉広葉樹とネピアグラスの混合物となるが、双方共に剪断し、一定比率で混ぜ合わせる必要はあるものの、ペレット化する必要はない。ただし、バイオマス燃料の混合比率は当初に決めた数字を守る必要があり、比率が変更される際には調整が必要となる。電力は敷設するミニグリッドを通して消費者へ供給し、熱はすべてバイオマス乾燥用に利用する。10 MW級のコージェネレーションシステムが消費するバイオマスの量は、国内実績に基づく約 400 t/day (乾燥重量では約 200 t/day) であり、5 日間の燃料ストックを考えると、2,000 t のバイオマスを貯蔵できる倉庫が必要となる。また、この 400 t/day という値は、おおよそバイオマス 1 kg で 1 kWh の電気を作るガス化発電システムよりも 20% 程度高効率と考えることができる。プラントの運転のためには、3 ~ 4 人の常駐運転員が必要であり、さらにその運転員はある程度の熟練が必要でもある。また、年 1 回のプラントのオーバーホール点検が必要で、このオーバーホールについては、国内でも荏原環境プラント社が自ら実施しており、カンボジアで導入した際のメンテナンス体制作りが重要となる。

10 MW 級の蒸気タービン発電システムを運用するための水の確保はシステム導入のための必須条件であるが、エコビレッジ地区の地下水調査や水資源開発計画の動向を見て、確保できる量を推計し、それに基づいて、最終的な導入規模を決定する。

### 3.2 ベースライン・モニタリング方法論

本プロジェクトのように、燃料をプランテーションにより調達し、かつ送電網が存在しない地域に大規模バイオマス発電プラントを導入するプロジェクトに適用できる方法論は存在しない。また、標準化ベースラインが適用可能な方法論が承認されていない。したがって、本プロジェクトが CDM として登録されるためには、標準化ベースラインの開発とともに方法論の開発が必要となる。本プロジェクトで適用可能な方法論の開発には、プランテーションによって燃料となるバイオマスを栽培する方法論 AM0042 「Grid-connected electricity generation using biomass from newly developed dedicated plantations」及び独立グリッド向けの再生可能エネルギープロジェクトを対象とした、方法論パネルで検討中の新方法論「Renewable energy power generation in isolated grids」を参考にしながら、当該プロジェクトに適用可能な新方法論を作成した。

AM0042 の適用条件には、以下の項目が記載されている。

- 専用プランテーションからの再生可能バイオマスを主に燃焼するグリッド接続発電施設を新規に導入するプロジェクト活動であること。
- プロジェクト実施以前に、プロジェクト実施場所で発電が行われていないこと。
- 関連電力グリッドの、地理的、及びシステムのなバウンダリーは明確に区別され、グリッド特性に係る情報が入手可能であること。
- プロジェクト施設で使用されるバイオマスは、1年以上貯め置かれたものではないこと。
- 専用プランテーションは、バイオマスをプロジェクトにのみ供給するために、プロジェクト活動の一環として、新たに設立されたものであること。
- プランテーションからのバイオマスについて、プロジェクト施設での燃焼前に化学的な加工が行われないこと。ただし、機械的加工や乾燥処理は行ってもよい。
- 土地造成によって、土壌炭素起源の長期的な純排出が起らないこと。
- 専用プランテーションの地区内では、直接植林又は播種が実施されること。
- 収穫後は、直接植林か自然発芽により再生産されること。
- プランテーション内で放牧が行われないこと。
- バイオマス栽培のための灌漑は行われないこと。
- プランテーションを開発する地域の土地は、プロジェクトが行われなければ農林業が行われることがない、深刻な劣化状態にあること。
- プロジェクトによる発電が、グリッド内の既存、又は新規の発電施設で行われること。

- プロジェクト施設で、バイオマス残渣が混焼されていること。

また、方法論パネルで検討中の新方法論は、以下の項目が適用条件となっている。

- 以下のいずれかに当てはまること。
  - ✓ 新規の再生可能エネルギープラントの建設及び／又は独立グリッドの設置
  - ✓ 再生可能エネルギーによる発電容量の追加
  - ✓ 既存の再生可能エネルギープラントの改良
  - ✓ 既存の再生可能エネルギープラントの更新
- 主要グリッドが存在しない地域であること。
- 最も可能性の高いベースラインシナリオが化石燃料由来の発電所であること。

上記二つの方法論の適用条件を参考に、本プロジェクトの方法論として適合する項目を検討し、以下の項目を新方法論の適用条件とした。

- プロジェクトが新規の再生可能エネルギープラントの建設及び／又は独立グリッドの設置もしくは再生可能エネルギーによる発電容量の追加であること。
- プロジェクト施設で使用されるバイオマスは、1年以上貯め置かれたものではないこと。
- 専用プランテーションは、バイオマスをプロジェクトにのみ供給するために、プロジェクト活動の一環として、新たに設立されたものであること。
- プランテーションからのバイオマスについて、プロジェクト施設での燃焼前に化学的な加工が行われないこと。ただし、機械的加工や乾燥処理は行ってもよい。
- 土地造成によって、土壌炭素起源の長期的な純排出が起らないこと。
- 専用プランテーションの地区内では、直接植林又は播種が実施されること。
- 収穫後は、直接植林か自然発芽により再生産されること。
- プランテーション内で放牧が行われないこと。
- バイオマス栽培のための灌漑は行われないこと。
- プランテーションを開発する地域の土地は、プロジェクトが行われなければ農林業が行われることがない、深刻な劣化状態にあること。
- 最も現実的なベースラインシナリオが「カンボジアにおけるオフグリッドバイオマス発電の標準化ベースライン」に適合すること。

また、ベースラインシナリオ及び追加性の証明に関しては開発した標準化ベースラインに従うこととした。

### 3.3 ベースラインシナリオ及びプロジェクトバウンダリーの設定

UNFCCC の第 62 回 CDM 理事会で発行された「Guidelines for the establishment of sector

specific standardized baselines (version 01)」(以下ガイドライン)を参考に、標準化ベースラインを設計した。ガイドラインでは、標準化ベースラインの意義について、手続きにかかるコストの削減、透明性、客観性、信頼性の向上、CDM への取り組みやすさの向上に貢献するとしている。また、標準化ベースラインの開発は、後発途上国(LDC)、小島嶼開発途上国(SIDS)、及び2010年12月31日現在でCDMプロジェクトの登録件数が10件以下の国を優先的に、関連国のDNAと協議しながら開発することがUNFCCCの方針となっている。カンボジアは、LDC国であり、かつCDMプロジェクトの登録件数が10件以下であるので、標準化ベースラインを優先的に開発すべき国の一つである。

標準化ベースライン申請の手続きは、UNFCCCの第63回CDM理事会で「Procedure for submission and consideration of standardized baselines (version 01.0)」が発行されている。

申請の手続きは、以下の手順で行われる。

- (1) プロジェクト参加者等は、標準化ベースラインを関連国のDNAに提案書を提出する。
- (2) 標準化ベースラインの提案を受けたDNAは、UNFCCCのCDM事務局に提案書を提出する。
- (3) DNAはUNFCCCのCDMウェブサイトに以下をアップロードする：
  - ① 標準化ベースライン申請書(F-CDM-PSB)
  - ② 申請内容をサポートする追加的な文書(関連データ、文書、統計、研究等)
  - ③ 標準化ベースラインを開発するために使用したデータの集計、処理、編集の質に関する評価報告書(2010年12月31日時点でCDMプロジェクト登録件数が10件未満の国は最初の3件までは省略可能)
- (4) CDM事務局は申請を受けてから21日以内に一次審査を実施し、以下の項目を確認する：
  - ① 申請書(F-CDM-PSB)の完全性
  - ② 標準化ベースラインの提案が承認方法論やツール、もしくは標準化ベースラインのガイドラインに基づいて作成されているかどうか
  - ③ 提案された標準化ベースラインを考慮するためにDNAが必要な情報を全て提出しているかどうか
  - ④ どのようにデータの集計、処理、編集が行われたかを示す評価報告書が提出されたかどうか
- (5) CDM事務局はDNAに対し、一次審査の結果を報告する。提出した書類及び情報に不備があった場合、DNAは通知を受けてから42日以内に提出しなければならない。不備の書類及び情報の提出後、CDM事務局は14日以内に一次審査の結果をDNAに報告する。
- (6) 一次審査で承認された場合、CDM事務局は28日以内に以下の事項を実施する。
  - ① 提案された標準化ベースラインの参照番号を割り当てる。

- ② 提出された文書を UNFCCC の CDM ウェブサイトに公表する。
  - ③ データの集計、処理、編集に関する評価報告書を準備する。
  - ④ 所定のフォーム (F-CDM-PSB-REC) を使用して提案された標準化ベースラインの推薦書のドラフトを作成する。
- (7) CDM 事務局は2名のワーキンググループメンバーを指名し、推薦書のドラフトを提出する。
  - (8) 指名されたメンバーは推薦書のドラフトを受領してから7日以内に各自で内容を審査する。
  - (9) 両方のメンバーが推薦書のドラフトを承認した場合、CDM 事務局は CDM 理事会に提出し、UNFCCC のウェブサイトに公表する。メンバーから追加的な情報提供の要求があった場合、DNA は28日以内に情報を提出する必要がある。メンバーの1人以上が推薦書のドラフトを却下した場合、CDM 事務局は推薦書のドラフトを関連するパネルもしくはワーキンググループに提出する。パネルもしくはワーキンググループは、提案された標準化ベースライン及び推薦書のドラフトを直近の会合で検討し、2回以内の会合で承認の可否について結論を出す。CDM 事務局は CDM 理事会に推薦書として提出し、UNFCCC のウェブサイトに公表する。
  - (10) 推薦書のドラフト受領から28日間に CDM 理事会の全員が異議を申し立てなかった場合、提案された標準化ベースラインは採択される。CDM 理事会メンバーから異議が出た場合、次回の CDM 理事会において議題として検討され、①承認、②非承認、③検討継続、④パネルもしくはワーキンググループへの再検討の要求、のいずれかが決定される。
  - (11) CDM 理事会の決定事項は、CDM 事務局によって DNA に通達され、UNFCCC の CDM ウェブサイトに公表される。
  - (12) 提案された標準化ベースラインが承認されなかった場合、DNA は再提出することが可能である。

UNFCCC の方針に従い、カンボジアの DNA と協議をしながら、標準化ベースラインの開発を行った。その内容と結果は以下のとおりとなった。

#### (1) 対象範囲の設定

対象国はカンボジアに限定した。開発した標準化ベースラインの登録申請は対象国の DNA から UNFCCC に提出することになっており、周辺国も含めて開発すると各国の DNA 間で調整が必要になってくると、周辺国であるベトナム及びタイに比べて後発途上国 (LDC) であるカンボジアでは経済状況が大きく異なり、統一的なベースラインの設定が困難であると判断したためである。

対象分野はグリッドシステムに接続されていない地域での発電事業とした。カンボジ

アにはベトナム及びタイから輸入しているものも含めて 5 つのグリッドシステムが存在するが (The Phnom Penh Grid System、The Banteay Meanchey Grid System、The Kampong Cham Grid System、 The Vietnam MV Grid System)、本調査で開発した標準化ベースラインの対象範囲は、グリッドシステムの供給範囲から外れており、コミュニティや複数世帯を対象としたミニグリッドによって電力事業が行われている地域や、未電化地域のある地方部となる。

適用可能な技術は再生可能エネルギーの中でも木質系バイオマス、草本系バイオマス、及び木質系と草本系の混合物を燃料とするバイオマス発電事業とした。

## (2) 追加性の証明

追加性の証明については対象国が LDC であることを考慮し、プロジェクトの規模によって証明方法を区別することとした。詳細は 3.11 章で記述する。

## (3) ベースラインシナリオの同定

各種文献調査の結果、カンボジア地方部には無認可の事業者も含めると約 700 の独立電力事業者があり、それぞれ周辺世帯等の狭い範囲で電力供給を行っていることが確認された。カンボジア電力庁のデータによれば、営業が認可されている独立電力事業者の 70% が 200 kW 未満の発電機を使用している (表 3-1)。

表 3-1 カンボジアの独立電力事業者

設備容量 (kW)	事業者数	割合 (%)
1～19	2	1.2%
20～29	4	2.5%
30～39	2	1.2%
40～49	2	1.2%
50～59	5	3.1%
60～69	6	3.7%
70～79	7	4.3%
80～89	6	3.7%
90～99	37	22.7%
100～199	42	25.8%
200～299	20	12.3%
300～399	14	8.6%
400～499	5	3.1%
500～599	1	0.6%
600～699	3	1.8%

700～799	3	1.8%
800～899	1	0.6%
900～999	3	1.8%
1,000～	2	1.2%

地方部の独立電源事業者の大部分が 200 kW 未満であるため、200 kW のディーゼル発電機の使用がベースラインシナリオとして適切であると判断した。

#### (4) ベースライン排出係数の設定

ベースライン排出係数は 0.81 tCO<sub>2</sub>/MWh となった。ベースライン排出係数は次のように算出した。

$$BE_y = EG_{BL,y} \times EF_{CO_2,BL,y}$$

- $BE_y$  = ベースライン排出量 (tCO<sub>2</sub>/yr)  
 $EG_{BL,y}$  = プロジェクト実施により代替される発電量 (MWh/yr)  
 $EF_{CO_2,BL,y}$  = ベースライン排出係数 (tCO<sub>2</sub>/MWh)

続いて、ベースライン排出係数 ( $EF_{CO_2,BL,y}$ ) を以下のように複数の要素に分解した。

$$EF_{CO_2,BL,y} = FC_{BL,y} \times DST_{DO} \times E\_INT_{DO} \times C\_INT_{DO} \times CF$$

- $FC_{BL,y}$  = 0.3 (L/kWh) 発電量あたりのディーゼル燃料消費量 (Sustainable Rural Electrification Plans for Cambodia: National level plans)  
 $DST_{DO}$  = 0.847 (kg/L) ディーゼルの比重 (EIA Documentation for Emissions of GHG in the USA 2006)  
 $E\_INT_{DO}$  = 0.043 (GJ/kg) ディーゼルの真発熱量 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)  
 $C\_INT_{DO}$  = 20.2 (kg/GJ) ディーゼルの単位発熱量あたりの炭素排出量 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)  
 $CF$  = 44/12 炭素と二酸化炭素の分子量の比率 (炭素 : 12、二酸化炭素 : 44)

以上より、

$$\begin{aligned}
 EF_{CO_2, BL, y} &= FC_{BL, y} \times DST_{DO} \times E\_INT_{DO} \times C\_INT_{DO} \times CF \\
 &= 0.3(L/kWh) \times 0.847(kg/L) \times 0.043(GJ/kg) \times 20.2(kg/GJ) \times 44/12 \\
 &= 0.81tCO_2/MWh
 \end{aligned}$$

となる。

発電量あたりのディーゼル燃料消費量（0.3 L/kWh）は、カンボジア鉱工業エネルギー省（MIME）の文献である「Sustainable Rural Electrification Plans for Cambodia: National level plans」の調査結果に基づいた二次データを採用している。MIME の調査によると、発電量あたりのディーゼル燃料消費量は表 3-2 のとおりである。

表 3-2 発電量あたりのディーゼル燃料消費量

設備容量 (kW)	燃料消費量 (L/kWh)
20	0.40
30	0.38
40	0.37
50	0.36
60	0.35
70	0.35
80	0.34
90	0.33
100	0.33
150	0.31
200	0.30
250	0.29
300	0.28
400	0.27

#### (5) ベースライン排出係数の妥当性検証

ベースライン排出係数の妥当性を検証するために必要なカンボジア固有の要素として、200 kW のディーゼル発電機による発電量あたりの燃料消費量（0.3 L/kWh）が挙げられる。このデータの信頼性を検証するため、カンボジア電力公社（EDC）が運営する地方の独立グリッド 19 件及びコンポンチナン州の独立電力事業者 31 件の合計 50 事業者を対象にヒアリング調査を、外注先である Mekong Carbon 社と共同で実施した。ヒアリング調査では、燃料の種類、月あたりの発電量と燃料消費量を確認した。燃料の種類は、50 事業者のうち 46 事業者が軽油、2 事業者が重油、2 事業者がガソリンを使用し

ていた。設備容量は10 kW未満が20事業者、11 kWから100 kW未満が15事業者、100 kWから1,000 kW未満が8事業者、1,000 kW以上が7事業者であった。発電量あたりの燃料使用量は、10 kW未満が0.36～0.91 L/kWh、11 kWから100 kW未満が0.35～0.82 L/kWh、100 kWから1,000 kW未満が0.25～0.31 L/kWh、1,000 kW以上が0.24～0.28 L/kWhであり、標準化ベースラインに採用した200 kWのディーゼル発電機による発電量あたりの燃料消費量（0.3 L/kWh）はデータとして保守的であると判断した。



独立電力事業者の発電機

また、財団法人 地球環境戦略研究機関（IGES）がプノンペン周辺の電力グリッドのグリッド排出係数を計算しており、その値と開発した標準化ベースラインの値を比較した（表 3-3）。最も高いビルドマージン（2009年）のグリッド排出係数が0.7584 tCO<sub>2</sub>/MWhであるのに対し、標準化ベースラインの排出係数が0.8092 tCO<sub>2</sub>/MWhであり、標準化ベースラインが1 MWhあたり0.05 tCO<sub>2</sub>程度高い排出量となっている。これは、両者の発電効率の違いによるものである。プノンペン周辺の電力グリッドに接続される発電機は重油、石炭、ディーゼルを燃料とした数MW規模の設備であるのに対し、標準化ベースラインは200 kWのディーゼルを前提としており、発電効率に差が生じている。

表 3-3 プノンペン周辺のグリッド排出係数との比較

項目	排 出 係 数 (tCO <sub>2</sub> /MWh)
オペレーティングマージン（2007-2009年）	0.6379
ビルドマージン（2009年）	0.7584
コンバインドマージン：風力、太陽光発電	0.6680
コンバインドマージン：その他プロジェクトの最初のクレジット期間	0.6981
コンバインドマージン：その他のプロジェ	0.7283

クトの第2、第3クレジット期間	
標準化ベースラインの排出係数	0.8092

出所：Grid Emission Factor of the Phnom Penh Electricity Grid (IGES)

開発した標準化ベースラインは、カンボジア DNA に対して提出し、DNA から UNFCCC へ申請するように依頼した。2011 年 12 月時点では UNFCCC で標準化ベースラインの申請フォーマットが準備されていないため、UNFCCC でフォーマットが準備されてから申請となる。カンボジア DNA から UNFCCC の CDM 事務局にフォーマットの準備状況について問い合わせをしたところ、CDM 理事会の議論すべきテーマとして掲げられているため、近い将来にはフォーマットの準備がされる見通しとのことである。

プロジェクトバウンダリーは、燃料となるバイオマス収集及び育成地域、バイオマスの輸送車両、バイオマスの貯蔵、乾燥施設、発電施設、エコビレッジを中心とした電力供給地域が含まれる。プロジェクトバウンダリーの概念図を図 3-7 に示す。

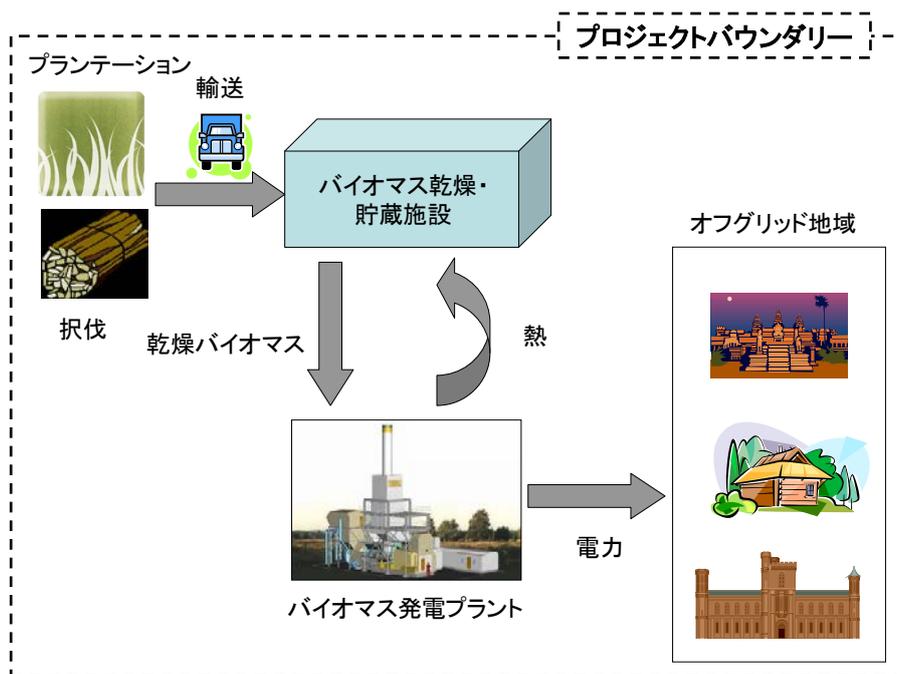


図 3-7 プロジェクトバウンダリー

### 3.4 モニタリング計画

本プロジェクトのモニタリングは、標準化ベースラインを適用した新方法論に従うことになる。新方法論のベースとなる AM0042 及び方法論パネルで検討中の新方法論に指定されているモニタリング項目を参考に、下記の項目を設定した（表 3-4）。

表 3-4 本プロジェクト実施において必要なモニタリング項目

項目	内容	頻度	モニタリング計画
$EG_{PI,y}$	正味発電量	継続	電力計による発電量及び販売量を計測
$EC_{PI,y}$	プロジェクトバウンダリー内電力消費量	継続	発電機の稼動にかかる所内電力量を電力メーターで計測
$BF_{PI,y}$	プロジェクトで利用するバイオマス残渣の量	継続	サイト内の燃料貯蔵庫からボイラーへ輸送する際、計量器で軽量
$NCV_i$	バイオマス $i$ の純熱量値	6ヶ月毎	信頼性の高い研究機関に計測を委託
$N_y$	トラックの輸送回数	毎回	バイオマスの運搬に利用したトラックの輸送回数を記録
$AVD_y$	バイオマス収集地からサイトまでの輸送トラックの平均移動距離	毎回	バイオマスの運搬に利用したトラックの平均往復移動距離を記録
$EF_{km, CO_2, y}$	トラックの移動距離あたりの $CO_2$ 排出係数	毎年	現地で試用される輸送用トラックの燃料使用による $CO_2$ 排出係数を確認
$FC_y$	標準化ベースラインの発電量あたりの燃料消費量	毎年	3年ごとに見直される標準化ベースラインの値を確認

プロジェクト実施時には、モニタリング管理者がこれらのモニタリング項目を記録、管理することになる。

### 3.5 温室効果ガス排出削減量

温室効果ガス（GHG: Greenhouse Gas）排出削減量は、本調査で提案している標準化ベースラインの原単位とバイオマス発電による電力の総供給量の積から計算されるベースライン排出量を算出し、ベースライン排出量とバイオマスの運搬及び前処理によるプロジェクト排出量の差によって表されることになる。現在のところ、本プロジェクトにおけるリーケージは想定していない。

現在、想定している発電機の導入シナリオは、下記のとおりである。

- ・ 1年目：320 kW バイオマスガス化コジェネレーションシステム 3機導入、1日

12 時間運転を実施

- ・ 2 年目：上記の 320 kW 機 3 機を 24 時間運転で運用
- ・ 3 年目：10 MW バイオマスコージェネレーションシステム 1 機導入。24 時間 330 日運転
- ・ 4 年目：上記 10 MW 機を 1 台追加。合計 20 MW
- ・ 5 年目：同様に 10 MW 機を 1 台追加。合計 30 MW
- ・ 6 年目：同様に 10 MW 機を 1 台追加。合計 40 MW
- ・ 7 年目：同様に 10 MW 機を 1 台追加。合計 50 MW
- ・ 8 年目以降：総設備容量 960 kW + 50 MW で運転

320 kW バイオマスガス化コージェネレーションシステムの基本情報を表 3-5 にまとめる。

表 3-5 320 kW バイオマスガス化コージェネレーションシステム基本情報

項目	データ	備考
設備容量	320 kW	
燃料消費量	8 t/day	1 日 12 時間運転、乾燥重量 4 t
所内率	20 %	主に燃料製造に電力を利用
年間運転時間	4,380 時間	1 日 12 時間運転
年間総発電量	1,401,600 kWh	
年間販売電力量	1,121,280 kWh	

10 MW バイオマスコージェネレーションシステムの基本情報を表 3-6 にまとめる。

表 3-6 10 MW バイオマスコージェネレーションシステム基本情報

項目	データ	備考
設備容量	10,000 kW	
燃料消費量	800 t/day	1 日 24 時間運転、乾燥重量 4 t
所内率	15 %	主に燃料製造に電力を利用
年間運転時間	7,920 時間	1 日 24 時間 330 日運転
年間総発電量	79,200,000 kWh	
年間販売電力量	67,320,000 kWh	

バイオマス燃料を輸送するトラックに関する基本情報を表 3-7 に示す。

表 3-7 バイオマス輸送基本情報

項目	データ	備考
----	-----	----

運搬能力	8 t/台	佐々木研究室の調査による
燃費	5 km/liter	佐々木研究室の調査による
平均移動距離	20 km/台	8 t のバイオマスを運搬
燃料CO <sub>2</sub> 原単位	0.003128 tCO <sub>2</sub> /liter	佐々木研究室の調査による

320 kW 機を表 3-5 の諸元に従って運用した場合のバイオマス燃料のトラック輸送から排出される温室効果ガスの年間排出量は、

$$8 \text{ (t/day)} / 8 \text{ (t/台)} \times 20 \text{ (km/台)} / 5 \text{ (km/liter)} \times 0.003128 \text{ (tCO}_2\text{/liter)} \times 365 \text{ (日)} = 4.6 \text{ tCO}_2$$

となる。

10 MW 機を表 3-3 の諸元に従って運用した場合のバイオマス燃料のトラック輸送から排出される温室効果ガスの年間排出量は、

$$800 \text{ (t/day)} / 8 \text{ (t/台)} \times 20 \text{ (km/台)} / 5 \text{ (km/liter)} \times 0.003128 \text{ (tCO}_2\text{/liter)} \times 330 \text{ (日)} = 412.9 \text{ tCO}_2$$

となる。

これらの値に加え、本調査で提案している標準化ベースラインのオフグリッド電源のCO<sub>2</sub>排出源単位は0.81 tCO<sub>2</sub>/MWhを用いて、上記の設備導入シナリオに従ってプロジェクトを実施した場合の排出削減量の計算を行う。計算結果を表 3-8 にまとめる。

表 3-8 温室効果ガス排出削減量

年度	温室効果ガス排出削減量(tCO <sub>2</sub> e)
1年目	2,711
2年目	5,422
3年目	59,538
4年目	113,655
5年目	167,771
6年目	221,887
7年目	276,004
8年目	276,004
9年目	276,004
10年目	276,004
10年間合計	1,674,998
10年間の年平均	167,500

最初の7年間の合計	846,988
最初の7年間の年平均	120,998

表 3-8 に示されているように、導入される発電機の設備容量の増加に従って、GHG排出削減量も増加していく。10年間の総削減量は1,674,998 tCO<sub>2</sub>eであり、その10年間における温室効果ガスの年間平均削減量は167,500 tCO<sub>2</sub>eとなる。本プロジェクトでは、CDMクレジット期間について、更新2回を前提とした7年間を選択する予定であることから、最初の7年間の削減量を考えると、7年間の総削減量は846,988 tCO<sub>2</sub>eであり、年間平均削減量は120,998 tCO<sub>2</sub>eとなる。

本プロジェクトは、7年間という期間で見ても、年間平均GHG排出削減量が10万tCO<sub>2</sub>を超える、大型のCDMプロジェクトであると言え、カンボジアには、大規模水力発電プロジェクトを除けば、まだその規模のCDMプロジェクトは存在しないことから、プロジェクトの実施に対する同国の期待は極めて大きい。

### 3.6 プロジェクト実施期間・クレジット獲得期間

プロジェクト実施期間は、プレアビヒア地区の開発計画とハードウェアの寿命を考慮して25年と考えている。クレジット獲得期間は、その期間に合わせ、7年×3回（2回の更新含む）を想定している。

### 3.7 環境影響・その他の間接影響

環境影響については、5 MW よりも大規模な発電事業はカンボジア王国「環境保護及び資源管理法」及び「環境影響評価（EIA）プロセスに関する閣僚会議令」（Sub-Decree No. 72 ANRK.BK）において事業者による環境影響評価が義務付けられている。したがって、本プロジェクトは環境影響評価の実施が必須となる。実施時期や実施方法等については、プロジェクト事業者と協議した上で決定する。現時点で考えられる主な環境影響とその他の間接影響項目は以下の通りである。

- 発電による排ガス：バイオマスには硫黄分がほとんど含まれていないので、硫黄酸化物の排出はほとんどない。また、本プロジェクト採用予定のバイオマス発電方式は超高温発電をしないため、窒素酸化物の発生はないと考えられる。よって、排ガスによる環境影響は極めて低いと考えている。
- バイオマス燃焼後の灰分：埋め立て処理、肥料として利用等を想定している。
- バイオマス乾燥用エネルギー：コジェネレーションの導入で、発電廃熱をバイオマス乾燥に利用するので、追加的なエネルギー消費はないと想定している。
- 水の大量使用：本プロジェクトの計画している発電規模（10 MW）では、設備の冷却方式は現実的に水冷しか考えられないため、大量冷却水の確保が必要である。一方、現地には水源地としての川や湖が存在せず、気候は雨季と乾季は明確に分かれ

ているため、貯水槽の整備と冷却水の循環利用は不可欠となる。

### 3.8 利害関係者のコメント

2011年8月の現地調査において、発電所建設予定地周辺の住民10名に対し、インタビュー形式でプロジェクトに対するコメントを収集した。回答者のうち6名が農家、2名が専業主婦、1名が警察官、1名が兵士であった。回答者全員が発電事業に対して賛成をしており、電力使用に対する支払いに前向きであった。電力が供給されることによって期待する事として時間の節約と動力の確保という意見が多かった。その他のメリットとして10名が現地の雇用への貢献に期待すると回答した。懸念点としては、全員が電力価格の高さであると回答した。全員の懸念点である電力価格については、プリアビヒア機構も相場より低い価格にすることを想定しているが、住民の要望を勘案して決定するように事業者に要求する。

住民インタビューの結果は下記に示す表3-9のようになった。尚、アンケート仕様は参考資料に添付する。

表 3-9 住民インタビュー結果

質問	回答者1	回答者2	回答者3	回答者4	回答者5	回答者6	回答者7	回答者8	回答者9	回答者10
年齢	20-40代	60代	20-40代	20-40代	20-40代	60代	20-40代	60代	20-40代	20-40代
性別	男	女	女	女	女	女	男	女	女	男
職業	農家	農家	農家	農家	主婦	主婦	警察官	農家	農家	兵士
世帯人数	5	6	8	5	4	2	4	3	8	
電気利用の有無	いいえ	いいえ	いいえ	いいえ	いいえ	いいえ	いいえ	いいえ	いいえ	はい
電気は役に立つか	はい	はい	はい	はい	はい	はい	はい	はい	はい	はい
電気のメリット	時間節約、動力提供	多目的の動力	時間節約、動力提供							
電気以外のメリット	雇用	雇用	雇用	雇用	雇用	雇用	雇用	雇用	雇用	雇用
懸念点	高電気料金	高電気料金	高電気料金	高電気料金	高電気料金	高電気料金	高電気料金、水不足	高電気料金、水不足	高電気料金、水不足	高電気料金

### 3.9 プロジェクトの実施体制

本プロジェクトの実施体制は下図3-7に示すとおりである。プロジェクトオーナーはカンボジア資本の Green Earth 社になる予定である。カンボジアの投資会社である Leopard Capital 社も本プロジェクトへの出資に興味を示している。プリアビヒア機構が

プロジェクトサイトの管轄政府としてプロジェクト管理を担当し、現地住民のプロジェクトへの参加や土地利用等について関与する。日本エヌ・ユー・エス株式会社はプロジェクト支援及び PDD 作成を担当し、一部業務は現地コンサルティング会社である Mekong Carbon 社に委託する。

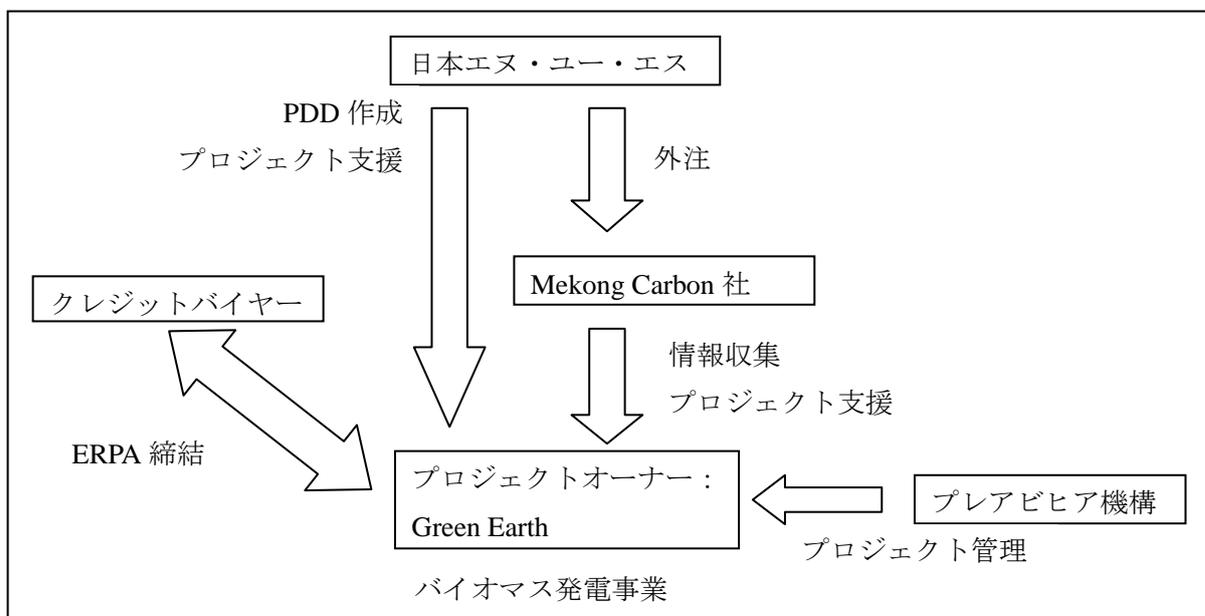


図 3-7 プロジェクト実施体制

### 3.10 資金計画

プロジェクトの資金計画は二つの方向性で検討されている。ひとつは、発電事業者となる Green Earth 社が自己資金と銀行からの融資で実施する方法である。Green Earth 社は自社単体でプロジェクトを実施する意欲を示している。もうひとつの方向性は、カンボジア現地の事業投資会社である Leopard Capital 社が資本参加する方法である。Leopard Capital 社は本プロジェクトに興味を示しており、事業計画の説明を希望している。資金計画は事業計画の決定後に詳細に協議される見込みである。送電線などのインフラ整備には ODA など政府支援を要請することも検討しており、プレアビヒア機構が内閣府との調整を行うことになっている。

### 3.11 経済性分析

これまでに述べたように、本プロジェクトでは、プロジェクト初期に小規模なバイオマスガス化コジェネレーションシステムを、地域の開発の進展と水の確保状況を見て、内部流動床ボイラーと蒸気タービンを用いた大規模なバイオマスコジェネレーションシステムを導入する計画となっている。これは、プロジェクトサイトの現状を考慮すると、大規模な蒸気タービン発電システムの導入ができないことによるものである。以下、

これら二つのシステムの経済性について考えてみる。

本プロジェクトは、未電化地域における発電プロジェクトであり、発電した電力はミニグリッドを形成して、消費者まで送ることになる。カンボジア鉱工業エネルギー省(MIME)で試算した送配電設備に関する経済データを表 3-10 にまとめる。

表 3-10 送配電設備に関する経済データ

項目	値
中圧送電	10,000 USD/km
低圧送電	7,759 USD/km
変圧器	
30 kVA	2,935 USD
50 kVA	3,339 USD
100 kVA	4,787 USD
160 kVA	6,377 USD
250 kVA	8,260 USD
315 kVA	9,499 USD
400 kVA	10,630 USD
500 kVA	12,430 USD
630 kVA	15,145 USD
800 kVA	16,770 USD
1,000 kVA	19,888 USD
1,250 kVA	23,162 USD
1,500 kVA	26,440 USD
2,000 kVA	38,117 USD

続いて、バイオマスの収穫及び人件費に関する経済データを表 3-11 にまとめる。

表 3-11 バイオマスの収穫及び人件費に関する経済データ

項目	データ	備考
木質系バイオマス購入費用	1,025 円/t	佐々木研究室の調査による
草本系バイオマス購入費用	760 円/t	佐々木研究室の調査による
人件費	4,560 円/月	カンボジア商工会最低賃金 自主規制
バイオマス運搬費用	800 円/t	想定値

320 kW バイオマスガス化コージェネレーションシステムの経済データを表 3-12 に示す。

表 3-12 320 kW バイオマスガス化コージェネレーションシステムの経済データ

項目	データ	備考
コージェネレーションシステムの価格	250,000,000 円	メーカーへのヒアリングに基づく
剪断設備及びペレット製造設備	30,000,000 円	メーカーへのヒアリングに基づく
燃料貯蔵倉庫	20,000,000 円	現地でのヒアリングに基づく
低圧送電	1 km	
配電線コスト	620,000 円	1 km = 7,750 USD、1 USD = 80 円を想定
木質系バイオマス単価	1,025 円/t	1 ha 収量 160 t、1 USD = 80 円を想定
年間木質系バイオマス必要量	1,460 t	
燃料運搬費用	1,168,000 円	1 USD = 80 円を想定
燃料調達人員	20 名	1 t あたり 5 名、1 日 4 t 調達、乾燥重量
運転員	1 名	メーカーへのヒアリングに基づく
年間 O&M 費	10,000,000 円	年 1 回オーバーホール込み、メーカー情報を物価差で割引
年間運転時間	4,380 時間	1 日 12 時間、365 日運転
年間発電量	1,401,600 kWh	
所内率	20%	主にバイオマス燃料加工に利用
年間販売電力量	1,121,280 kWh	
電力価格	48 円/kWh	0.6 USD/kWh

最後に 10 MW バイオマスコージェネレーションシステムの経済データを表 3-13 に示す。

表 3-13 10 MW バイオマスガス化コージェネレーションシステムの経済データ

項目	データ	備考
コージェネレーションシステムの価格	4,000,000,000 円	メーカーへのヒアリングに基づく
剪断設備及びペレット製造設備	1,000,000,000 円	メーカーへのヒアリングに基づく
燃料貯蔵倉庫	200,000,000 円	現地でのヒアリングに基づく
中圧送電	30 km	

送電コスト	24,000,000 円	1 km = 10,000 USD、1 USD = 80 円を想定
低圧送電	30 km	
配電線コスト	1,860,000 円	1 km = 7,750 USD 及び 1 USD = 80 円を想定
草本系バイオマス単価	760 円/t	1 ha 収量 160 t、1 USD = 80 円を想定
年間草本系バイオマス必要量	264,000 t	
燃料運搬費用	116,800,000 円	1 USD = 80 円を想定
燃料調達人員	2,000 名	1 t あたり 5 名、1 日 4 t 調達、乾燥重量
運転員	4 名	メーカーへのヒアリングに基づく
年間 O&M 費	100,000,000 円	年 1 回オーバーホール込み、メーカー情報を物価差で割引
年間運転時間	7,920 時間	1 日 12 時間、365 日運転
年間発電量	79,200,000 kWh	
所内率	15%	主にバイオマス燃料加工に利用
年間販売電力量	67,320,000 kWh	
電力価格	24 円/kWh	0.6 USD/kWh

320 kW 機を 3 台、10 MW 機を 5 台導入した場合、総設備投資額は約 271 億円となる。10 年間における内部収益率（IRR: Internal Rate of Return）を算出すると、320 kW 機で 6%、10 MW 機で 7% となり、両方を合わせると 7% となる。3.4 章で述べたような CER の販売ができたとすると（1 tCER = 5 EUR、1 EUR = 100 円）、320 kW 機の IRR は 6% のまま、10 MW 機は 1% 増加し、8% となる。両方を合わせて IRR を算出すると 8% となる。従って、0.3 USD/kWh の電力料金では、事業の経済性は高い水準にあるとはいえない。プレアビヒア機構及び電力事業者である Green Earth 社も 0.3 USD/kWh では経済性が高くないことは認識しているが、世界遺産であるプレアビヒア遺跡の周辺地域ということによる将来性や社会的意義の高さから、現在よりも低い電力料金で事業を行うことに前向きである。また、送電線の整備など事業の一部が政府の資金によって賄われることになれば、経済性は改善される。

ここで、電力価格について考える。320 kW 機の電力価格を 0.6 USD/kWh、10 MW 機の電力価格を 0.3 USD/kWh と設定しているが、この価格はまだ決定したものではない。プロジェクトサイト周辺では、電力は一部の住民のみ（10% 以下）が利用しているのみ

であり、電力の販売形態はバッテリーへの充電がほとんどである。電気事業者は、日中のみディーゼル発電機を運転し、またバッテリーを持参してくる人々に電気を販売している。その販売価格は、0.7 ～ 1.1 USD/kWh という極めて高いところで推移している。これは、ディーゼル燃料の調達も難しく、日中のみの運転で稼働率も低いという状況からやむを得ずその価格にとどまっているという背景がある。320 kW 機を導入するプロジェクトの初期段階は、まさにそのような運用を行わなくてはならない状況にある。低稼働率なため、事業として成立させるには価格を上げざるを得ない。しかし、プレアビヒア機構は、より多くの住民に電気を利用してもらうために電力価格はカンボジアの都市部と同水準である 0.25 USD/kWh 以下にしたいという意向がある。採算性の面から非常に厳しいという意見が電力事業者や投資家から出ており、価格は決定していない。現在のところ、電力事業者である Green Earth 社からは、10 MW 機の導入に合わせて段階的に価格を下げていくことが提案されているが、最終的には、プレアビヒア機構と電力事業者による協議の上、決定される。

### 3.12 追加性の証明

追加性の証明に関しては、開発した標準化ベースラインに従うことになる。標準化ベースラインでは、対象国であるカンボジアが LDC のため、5 MW 以下のプロジェクトについては「マイクロスケールプロジェクトの追加性証明ガイドライン (Guidelines for demonstrating additionality of microscale project activities)」(UNFCCC) の適用となり、追加性の証明が免除される。5 MW を超える規模のプロジェクトに関しては追加性の証明が必要となるが、標準化ベースラインの趣旨である「手続きの簡素化」を確保するため、ポジティブリスト方式を採用した。ポジティブリストの内容は以下のとおりである。

- バイオマスを燃料とした発電事業であること
- 「追加性の証明及び評価のためのツール (Tool for the demonstration and assessment of additionality)」(UNFCCC) における「投資分析 (Investment Analysis)」において、CERからの収入がなければ経済的にプロジェクトとして適格でない、という結果になっていること
- 適用する技術の使用が国、地方レベルの規制によって義務付けられていないこと
- 適用するバイオマス燃料の使用が国、地方レベルの規制によって禁止されていないこと

本プロジェクトは 5 MW を超えるプロジェクトであるため、ポジティブリストに全て当てはまる条件であることが求められる。投資判断基準としては、現地外注先である Mekong Carbon 社へのヒアリングによれば、現在のカンボジアの民間銀行による企業への貸出金利が 15%程度であることから、これをベンチマークとする。

### 3.13 事業化の見込み

本プロジェクトでは、2013年度中の320 kW バイオマスガス化コジェネレーション設置工事の開始を目指し、作業を進めている。この作業と平行して、プロジェクトサイト周辺における地下水調査を実施する予定である。地下水調査の結果、及びエコビレッジ地区の水資源確保政策の進捗を見ながら、2015年には、10 MW バイオマスコジェネレーションの1号機を導入できればと考えている。この大規模バイオマス発電プロジェクトを事業として実施するにあたっては、いくつかの課題が存在する。それらを下記にまとめると。

- 10 MW機導入のための乾期（6ヶ月程度）の水の確保。主に蒸気タービンシステムの復水器で消費され、日量700～800 t程度必要。エコビレッジ地区は、水源となる大きな河川や湖がなく、乾期は周辺の水源はすべて干上がってしまうため、生活用水も大規模な貯水池を設置することで確保している。10 MW機の水の消費量は、乾期の間で126,000 tを超え、貯水池での確保は非現実的であることから、地下水などの確保が課題となる。なお、320 kW機は、既存の貯水池で対応できる。
- 電力需要の不足。エコビレッジ地区は元々プレアビヒア寺院周辺に住んでいた住民を、同寺院が世界遺産に登録されたことから強制的に移転させられてきた人々が主に居住している。同地区はほぼ未電化地域でもあることから、ほとんどの人が電気を使わない生活をしている。プレアビヒア寺院の観光拠点として将来的に伝統文化施設、レストラン、ホテルなどの観光インフラ開発が計画されているものの、今後数年以内に電力需要が大きく増加することは期待できない。
- 大規模プランテーションの実施上の問題。本プロジェクトでは、10 MW機の導入にあたり、ネピアグラスの大規模栽培を燃料供給の中心と考えている。そのプランテーションでの労働者として、エコビレッジ地区の住民が考えられるが、彼らには農業経験や就労経験がほとんどない。そういった人々を森林保護や生態系保護の視点を取り入れたプランテーションで採用するためには、かなりの教育が必要であり、最終的に数千人規模の労働者が必要であることを考えると、プランテーションのための労働力確保は容易ではない。
- 電力価格の問題。今回の調査では、320 kW導入時期は0.6 USD/kWh、10 MW機導入時期に0.3 USD/kWhと設定しているが、この価格で政府と合意できているわけではない。プレアビヒア州の電力価格は0.7～1.1 USD/kWhと極めて高く、今回の価格設定は相場よりも低い水準となっている。しかし、未電化地域であるエコビレッジ周辺地域で電気の利用を広げるといった目的かつ福祉的な視点から、電力価格引き下げの要望は政府から常にあり、今後の交渉は事業としての成立性と公共の福祉の両立を考慮して実施していくことになる。

ここに挙げている4つの課題のうち、最初の3つはプレアビヒア寺院周辺及びエコビレッジ地区の開発と密接に関係するものであり、本プロジェクトを実行に移すためには極めて重要な要素である。ゆえに、同地域の監督官庁であるプレアビヒア機構及び内閣官房と密な議論を継続しながら、実現に向けた努力を継続していく。320 kW 機の導入に関しては、課題は需要と電力価格であり、こちらは早期に建設を始められるよう、同機構に働きかけていく。

## 4. コベネフィットに関する調査結果

### 4.1 背景

現地調査により、本プロジェクトサイトの現状としては、大半が未電化地域であり、一部で小型ディーゼル発電機が使用されていることが確認されている。一方、プレアビヒアのエコビレッジ地区開発マスタープランにより、伝統文化施設、ホテルやレストラン等観光インフラ施設、定住者住宅、学校や行政機関等公共施設等の大規模整備がこれから実施される見通しであり、それに伴う電力需要が今後増加すると考えられる。本プロジェクトが実施されなかった場合、ディーゼル発電で電力需要を賄うことが想定される。よって、本プロジェクトの実施により、ディーゼル発電による硫黄酸化物及び煤塵の発生量が大幅に削減されると考えられる。

また、社会的効果として、発電所運営及び燃料プランテーション事業により、現地の雇用創出が期待できる。プロジェクトサイトであるエコビレッジ周辺地域には雇用機会となるような産業がほとんど存在しないため、現地住民にとって雇用創出は喫緊の課題となっている。

### 4.2 ホスト国における環境汚染対策効果の評価

#### 4.2.1 評価対象項目と結果概要

ホスト国における環境汚染対策効果について、「コベネフィット定量評価マニュアル 第 1.0 版」の「コベネフィット方温暖化対策評価手法 評価シート案」(表 1-4)、及び「Tier 1 による評価基準案 (大気質改善)」(表 2-5) に従い、ホスト国における便益を表 4-1 のようにまとめた。

表 4-1 プロジェクト実施によるコベネフィット

コベネフィット分類		具体的なコベネフィット分類	評価指標	評価指標レベル	評価手法	評価結果
大分類	中分類					
環境保全	環境汚染防止	大気質改善	硫黄酸化物	2	Tier 2	年間約 60 t 削減
			煤塵	1	Tier 1	5 (発電技術・燃料転換該当、排出削減見込み「大」)

#### 4.2.2 ベースライン/プロジェクトシナリオ

ベースラインシナリオ：

エコビレッジ開発マスタープランにより、今後、伝統文化施設、ホテルやレストラン等観光インフラ施設、定住者住宅、学校や行政機関等公共施設等の大規模整備が実施される見通しである。エコビレッジ周辺地域は大部分が未電化地域で、カンボジア王国電

力整備中長期計画によれば、エコビレッジ開発マスタープランが実施済みとなる 2020 年の時点においても、その地区までの送電網は敷設されない見通しである。よって、開発に伴う電力需要の増加分は電力グリッドに頼らない現地発電で賄うしかない。本プロジェクトを実施しない場合、現地発電能力の増強は燃料効率が低く汚染度の高い小型ディーゼル発電機の大量増設に頼らざるを得ない状況にある。小型ディーゼル発電機はコスト面と構造上の問題で、排煙脱硫・集塵装置の設置が極めて困難であると考えられる。また、小型ディーゼル発電機の個人業者による運営形態を鑑みると、上述装置の運転・管理上、高い技術ハードルが存在する。よって、ベースラインシナリオでは、硫黄酸化物と煤塵による大気環境汚染は避けられないものとする。

プロジェクトシナリオ：

プロジェクトシナリオでは、現地で豊富に存在するバイオマスを利用し、エコビレッジの発展に合わせ、段階的に 10 MW 規模のバイオマス発電所を建設する。発電された電気を小規模独立送電網で、エコビレッジ各施設、住民住宅等へ配電する。発電設備と独立送電網の運営と保守等は Green Earth 社が担当することを想定している。

また、燃料であるバイオマスの収穫・前処理・運搬等作業は現地住民に委託することで、雇用創出による現地住民の生活水準向上と技術能力向上に大いに貢献できると考えている。

#### 4.2.3 ベースラインの評価方法とモニタリング計画

評価方法：

Tier 1 評価対象である煤塵に対して、「コベネフィット定量評価マニュアル第 1.0 版」の表 2-10 に従い、評価を行う。

Tier2 評価対象である硫黄酸化物に対する定量評価は本調査で開発した標準化ベースラインを適用することで行う。具体的には、標準化ベースラインにより指定されたベースライン発電機の燃費をベースライン発電燃料消費率として利用する。その燃料消費率と本プロジェクトの年間発電量から、年間燃料使用量を導く。カンボジアで使用しているディーゼル燃料硫黄成分割合に関する統計データは確認されていないので、ベースラインシナリオでの硫黄酸化物排出量の算出に必要な他諸係数には IPCC や EPA のディフォルト値を使用する。計算詳細は 4.2.4 章に示す。

モニタリング計画：

Tier 1 評価対象である煤塵に対し、バイオマス発電設備の稼動状況等をモニタリングし、正常に稼動していれば、煤塵の排出削減効果があると判断する。

Tier 2 評価対象である硫黄酸化物のモニタリング計画については、コベネフィットを計算する際に本調査で開発した標準化ベースラインを利用するので、その関連データの

モニタリングは単独では行わず、標準化ベースラインのモニタリング結果を使用し、コベネフィット効果を更新する。詳細は以下にまとめた（表 4-2）。

表 4-2：コベネフィットのモニタリング計画

対象物質	モニタリング項目	モニタリング方法	モニタリング頻度
硫黄酸化物	本プロジェクト年間発電量	直接計測	年 1 回
	カンボジア未電化地域ディ ーゼル発電機燃料消費率	標準化ベースライ ン更新結果を利用	3 年ごと（標準化ベー スライン更新頻度）

#### 4.2.4 プロジェクトを実施しない場合の定量化と結果

煤塵に対して、Tier 1 評価方法で定性評価を行ったので、本節では硫黄酸化物定量評価の具体計算過程と結果を示していく。

ベースラインシナリオにおける硫黄酸化物排出量の計算式と説明は以下に示すとおりである。

$$BE_{SO_x,y} = 1/1000 \times EG_y \times FC_{BL,y} \times DST_D \times E\_INT_D \times EF_{SO_x}$$

$BE_{SO_x,y}$	= (Ton) ベースライン硫黄酸化物排出量
$EG_y$	= 43,800,000 (kWh/year) 年間発電量 (10 MW 10hr 365d)
$FC_{BL,y}$	= 0.3 (L/kWh) 発電量あたりの燃料消費量 出所：Sustainable Rural Electrification Plans for Cambodia: National level plans
$DST_D$	= 0.847 (kg/L) 軽油の比重 出所：EIA Documentation for Emissions of GHG in the USA 2006
$E\_INT_D$	= 0.043 (GJ/kg) 軽油発熱量 出所：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
$EF_{SO_x}$	= 0.1247 (kg/GJ) 硫黄酸化物の排出原単位 出所：EPA AP 42 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines

計算の結果、ベースラインシナリオでの硫黄酸化物排出量は 59.7 t/年となった。バイオマスの硫黄分含有量は実質ゼロに等しいため、プロジェクト実施により硫黄酸化物の排出はなくなると考えられるので、硫黄酸化物の排出削減量は 59.7 t/年となる。

## 5. 持続可能な開発への貢献に関する調査結果

現地住民へのインタビューにおいて、プロジェクトに期待する事項として「雇用への貢献」が多く挙げられた。燃料となるバイオマスの収穫を現地住民に請け負ってもらうことが現地の雇用創出へと繋がり、持続可能な開発に貢献できると考えられる。

また、ディーゼル発電が中心の電力供給に対して、現地での燃料調達が可能で、かつCO<sub>2</sub>排出及びその他の汚染物質の排出が極めて少ないバイオマス発電の導入は、大気汚染の防止を中心とした環境の改善に寄与することができ、持続可能な開発へも大きく貢献することができると考えている。

プレアビヒア機構が主体となり、世界遺産であるプレアビヒア寺院とその周辺地域の持続可能開発に関するマスタープランが作成されている。マスタープランは環境保全、観光業振興から、定住地コミュニティ形成、産業発展、雇用創出まで、その地域における持続可能な開発に関するガイドラインに位置付けられる。本プロジェクトサイトであるエコビレッジ地区に関して、マスタープランは以下の計画を明記している。

- 博物館パークと伝統スポーツ競技場パークの建設
- ホテル、レストラン等観光施設の整備
- 移住者向けのエコ住宅整備
- 行政センター、医療センター・クリニック、学校、住民公園等公共施設の整備
- 紡織業と手芸業を中心とする軽工業の育成
- 自然エネルギーの利用

本プロジェクトは、上記全ての具体的な計画についてはマスタープラン全体の実現に直接・間接的に貢献できると考える。

まず、本プロジェクトは大量の電力を安定的に供給することで、エコビレッジインフラ整備と各施設運営、住民生活、産業発展等経済・社会活動を直接支える。そして、自然エネルギーであるバイオマス発電の導入は、ベースラインシナリオであるディーゼル発電に比べ、CO<sub>2</sub>の排出及びその他の汚染物質の排出は極めて少ないので、大気汚染の防止を中心とした環境の保全・改善に寄与することができる。さらに、燃料であるバイオマスの現地調達が可能で、その収穫・運搬作業を現地住民に任せることが現地の雇用創出へと繋がり、現地住民を対象にするインタビューに多く挙げられた期待事項である「雇用への貢献」に直接寄与することが出来る。

また、本プロジェクトの実施にあたって、計画・建設・運営と CDM プロジェクト関連の申請・モニタリング等作業を通じて、現地人材の育成、技術水準の向上、環境 NGO の発展等も期待できる。

よって、本プロジェクトは一般発電事業の領域を超え、プロジェクトサイトの経済・

社会発展に直接寄与する総合開発プロジェクトであり、現地の持続可能な開発に大いに貢献できると考えている。