

# 平成 20 年度 CDM/JI 実現可能性調査 概要版

## 調査名

タイ王国ピピ・ドーン島における燃料電池を用いたバイオマス発電システム事業調査

## 団体名

株式会社 KRI

### 1. プロジェクトの概要

#### (1) ホスト国、地域

タイ王国クラビ県ピピ・ドーン島

#### (2) プロジェクトの概要

平成 19 年度に GEC CDM/JI 事業調査「タイ・ピピ島における燃料電池を用いたバイオマス発電システム事業調査」を実施した。タイ王国クラビ県のピピ・ドーン島にある Phi Phi Island Village Beach Resort & Spa (以下、Island Village) から排出される 0.9 t/d の生ゴミをメタン発酵によってバイオガスに変換し、100 kW の国産りん酸形燃料電池 (PAFC) に導入して発電を行うことで、ディーゼル発電用の軽油を約 216 kL/y、温室効果ガス (Green House Gas, GHG) 約 2,500～6,000 t-CO<sub>2</sub>/y を削減できる事が明らかになっている。一方、当該調査の検討委員会からは、生ゴミの組成や発生量が変動する、生ゴミからバイオガスへの変換原単位が生ゴミ組成やシステムに依存して変動する、近隣のホテルからも生ごみを収集してバイオマス資源の確保することが望ましいなどのバイオマスに関する課題や、初期投資額、運用コストなどの経済的な課題が指摘されている。

そこで本年度の調査では、指摘された課題の解決を行い、当該システムの導入を容易にするために、リゾートから排出される生ゴミ量のモニタリングやタイ国内のメタン発酵技術の調査、タイ国内の設備価格調査などエンジニアリングに特化した検討を行った。また、近隣のリゾートである Holiday Inn Resort Phi Phi Island (以下、Holiday Inn) などの生ゴミ収集も検討し、当該システム導入に資する調査を行った。

その結果、当該プロジェクト実施のための初期投資額は 102 M THB、GHG 削減量は 10,898 t-CO<sub>2</sub>/y (初年度) であることがわかった。さらに、し尿処理のために設けられているオープンラグーンをメタン発酵槽と排液処理設備に置換することにより、オープンラグーン周辺に発生していた NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S などに由来する悪臭を削減するとともに、回収したメタンの利用によりディーゼル発電機の運転時間の減少による NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 排出量の削減や、島外から海上輸送される軽油量の削減及び陸揚げ時の油流出による汚染リスク低減に貢献することができる。

### 2. 調査内容

#### (1) 調査課題

##### a. 生ゴミの組成の把握及び収集量の確保、収集方法の検討

昨年度調査結果から、Island Village から排出される生ゴミは 0.9 t/d であることがわかっている。本年度は、当該システムに必要な量の生ゴミを確保するために、他リゾートの協力も仰ぎ、最適な収集方法の検討を行う。さらに、生ゴミの組成分析を実施することで、生ゴミから得られるバイオガス発生量を推計し、当該システム導入によるメリットをより正確なものにする。

##### b. 初期投資額と経済性の検討

タイにおける当該システムの初期投資額を、ホスト国エンジニアリング会社 (Ecopros 社)

に見積り依頼することで明確にし、詳細な経済性の検討を実施する。

## (2) 調査実施体制

### a. 国内

#### ① (株) KRI

現地調査の実施、全体取りまとめ

#### ② 富士電機アドバンステクノロジー (株)

最新 PAFC の情報提供、附帯設備の概略設計、海外輸送時の条件提供

#### ③ 悠環境システム研究所 (株)

附帯設備の概略設計に基づき、現地のロジスティクスを含めて概算見積もりなどを作成

### b. 国外

#### ① タイ 国立科学技術研究所 (TISTR)

当該調査事業に関連するエネルギー省・省エネルギー代替エネルギー局などの関連省庁からの情報収集や打合せ調整、現地調査サイト周辺の調整や利害関係者へのヒアリングなどを実施。また、リゾートから排出されるバイオマスや雑排水の分析も実施

#### ② PAE タイランド社、Ecopros 社

悠環境システム研究所 (株) と共同で、当該システムの導入に向けて現地プラント見積りの作成

#### ③ Island Village、Holiday Inn、Phi Phi Hotel Group などのリゾート

電熱需要、生ゴミ発生量、雑排水の処理などのデータ提供

## (3) 調査内容

2008 年 10 月、12 月及び 2009 年 1 月に現地調査を実施した。第 1 回現地調査は、リゾートへの当該プロジェクトの説明及び協力依頼、プロジェクト実施可能場所の調査、第 2 回現地調査は、PAE タイランド社及び Ecopros 社との見積り検討、第 3 回現地調査は、協力リゾートへの調査結果報告と協力依頼を目的とし、実施した。

### a. 第 1 回現地調査

#### ① Holiday Inn への協力依頼

Holiday Inn の General Manager である Brendan Corcoran 氏、Front Office Manager である Suriya Jittaratsenee 氏、Director of Engineer である Phuritt Phantawong 氏に当該プロジェクトの説明を行った。Holiday Inn では、現在の 80 室のコテージに加え、50 室のコテージを増築中であり、大幅な電力需要の増加が見込まれている。新規にディーゼル発電機 2 台を導入する予定があるものの、それだけでは廃棄物処理や温水供給の問題は解決されないため、電気・温水の供給と同時に、廃棄物処理を行うことのできる本プロジェクトに興味を持って頂いた。

#### ② プロジェクト実施可能場所の調査

昨年度調査同様、Island Village をプロジェクト実施サイトとして想定している。その他に、プロジェクト実施の可能性のあるサイトとして Holiday Inn 及びトンサイ地区にある焼却場跡の調査を行った。

Island Village は、リゾートの裏手に廃棄物収集処分場があり、この敷地に当該システムの導入が可能であることが、同リゾートの Engineer Consultant である Olaf Clamer 氏より示された。設備の搬入に関しても、海岸の揚陸場所からの道幅の広い整備された道があるため、課題は無いと思われる。

Holiday Inn は、リゾートのバックヤードに 19 m (短い部分は 14 m) × 40 m の台形型の空き地があり、当該システムの導入場所として使用可能であることが Director of Engineer

である Phuritt Phantawong 氏より示された。設備の搬入に関しては、PAFC よりも重い 16t のディーゼル発電機を運搬する予定なので、課題は少ないと思われる。

島の中心部・トンサイ地区には、現在使用されていない焼却場（クラビ県所有）がある。クラビ県の Chief Administrator of Aonang SAO である Wichet Kwankhao 氏、Deputy Mayor of Aonang Administration である Suchart Kittithorakul 氏から、本プロジェクトの実施場所として使用しても構わないという話を頂き、調査を行った。焼却場跡は、既設の焼却炉を分解し搬出する必要はあるものの、当該システムの導入に十分な広さであった。入口は 4m と狭いが、入口脇のスパン間は広く搬入路として使用可能である。しかし、設備の揚陸からの搬入路は、道幅も狭く、低い位置に電線が張られているため、課題は多いと思われる（表 1）。

表 1. 導入候補地域概要

導入候補地域	トンサイ地区	ローバゴ湾	トン岬周辺
候補地	クラビ県所有 ごみ焼却炉跡	Phi Phi Island Village Resort 敷 地内	Holiday Inn Resort Phi Phi Island 敷地内
候補地所有者	クラビ県	同ホテル	同ホテル
使用可能敷地エリア m	17×25	十分な広さあり	14～19×40
現状	廃焼却炉設置 済	バックヤード	更地(砂利)
ロジスティクス	狭路、段差、 電線など	問題なし	坂は有るが問 題なし
電気需要先との距離	近	近	近
温熱需要先との距離	近	近	近
ホテル数	多数	2	4
生ゴミ量 t/d	Lowシーズン 10 Highシーズン 20	1 1	4 4
処理地域	クラビ	プーケット	プーケット
処理方法	埋め立て	埋め立て	埋め立て
処理費用 THB/t	1,333	1,300	調査中

b. 第 2 回現地調査

①PAE タイランド、Ecopros 社との第一次見積り検討

日本側が提出した仕様書を元に PAE タイランド社、Ecopros 社が現地で設計・据付を行った場合のプラントコストの試算を行い、その 1 次見積りの提示を受けた。現地調達ができない機器もいくつかあったため、それらを日本で調達した場合の概算コスト加え、プラントコストを試算した（表 2）。

表 2. 1 次見積り結果

項目	内訳	金額	
		M THB	M JPY
設備	設備費、労賃など	67.7	223.3
配管		5.1	16.8
電装		3.1	10.2
申請など		1.8	5.9
		77.7	256.3

1 THB=3.3 JPY

c. 第3回現地調査

①PAE タイランド、Ecopros 社との最終見積り検討

PAE タイランド社、Ecopros 社から最終見積りの提示を受けた（表3）。第2回出張時に提示された1次見積り結果に運送費や旅費などが加わり、より詳細な見積りとなった。しかしながら、前回からの懸案事項である現地調達先の見つからない設備に関して進展はなく、結果として設備費としては1次見積り金額と同程度であった。今後もコストダウンに向けて現地調達先の調査を進める。尚、全体の金額としては排水処理設備を加えた結果、1億 THB を超える金額となった。

表 3. 最終見積り結果

Description	Amount		
	M THB	M JPY	
Equipment and installation	Equipment and labor cost	62.3	205.7
Piping system	Pyping and labor cost	5.1	16.7
Electrical system	Mail power system, etc.	3.1	10.1
Civil work	Building, foundation, etc.	1.7	5.7
Site admin		0.9	3.0
Treatment Plant and Foundation Pad		10.3	34.1
Subtotal		83.4	275.4
Overhead	15%	12.5	41.3
Sub total		98.8	326.2
Travel expenses		0.4	1.2
Logistic		2.8	9.3
<b>Total</b>		<b>102.0</b>	<b>336.6</b>

1 THB=3.3 JPY

②北部リゾートの調査と協力依頼

Phi Phi Natural Resort（以下 Natural Resort）、Zeabora、P. P. Erawan Palms Resort（以下 Erawan）の北部3リゾートの調査を行った。生ゴミに関しては、各リゾートとも分別を行っているものの、実際の分別状況は各リゾートによって異なる。本調査中にも分別されたはずの生ゴミ中にプラスチックなどの発酵不適物が混ざっているケースが見受けられた。各リゾートにヒアリングしたところ、リゾートによって差はあるが10%程度は発酵不適物の混入が見られるようである。ゴミの運搬に関しては、各リゾートともに専用船を用いて、週に数回プーケットまで運搬している（表4）。

表 4. 各リゾートのゴミ処理方法調査

		Island Village	Holiday Inn	Zeabora	Erawan	Natural Resort	
ゴミ発生量	生ゴミ	t/d	1	0.45	0.4 t/w	0.6	0.5
	発酵不適物	t/d	0.2	0.05	0.07	0.2	0.5
生ゴミの運搬	方法		専用船	専用船	専用船	専用船(共用)	専用船(共用)
	回数	回/w	4	2	2	1	8-10 回/m
	量	t/trip	2	1.6	0.2	1	1
運搬船	燃料消費量	L/trip	160	2,000 THB/trip	6,000 THB/trip	200	180
	燃費	km/L	0.5	-	-	0.4	0.44
生ゴミ処理コスト		THB/m	-	16,000-20,000	48,000	29,000-32,000	-

### ③協力リゾートへの調査結果報告と協力依頼

各リゾートへ本年度調査結果報告を行い、プロジェクト実現のための意見交換を行った。プロジェクト実施サイトに関しては、満場一致で Island Village に決定した。以下にリゾートからのコメントを記載する。

- ・ピピ島のリゾートは自然を売って商売しているため、環境にやさしい技術には非常に興味があり、このプロジェクトにも関心がある。
- ・ホテルのお客さんの多くは西洋人である。彼らは匂いや景観を非常に気にする。生ゴミを収集する際には、そのような点が問題とならないような方法を考えてもらいたい（現在は夜間に生ゴミの運搬を行っている）。
- ・生ゴミを毎日 6.6 t 集める必要があるが、それはホテルのビジネスとは関係ない話である。ホテルビジネスの負担にならないやり方を考えてもらいたい。
- ・現在でも分別は行っているが、完全にはできていない。完全に分別する必要がある場合は、生ゴミと異物を分別するような機械も導入してほしい。
- ・初期投資を先進国側に負担してもらっても、タイ側では運転管理費・メンテナンス費を捻出することは難しい。これまでもその費用が捻出できずに、廃墟となってしまった設備は数多くある。このプロジェクトを実施する際は、運転管理費・メンテナンス費をどのように調達するのかも明確にして欲しい。
- ・最終的なメリットとリスクを各リゾートでどのように配分するのか、明確にして欲しい。
- ・以上の点をクリアにしてくれれば、必要な費用を準備するつもりである。

## 3. プロジェクトの事業化

### (1) プロジェクトバウンダリー及びベースラインの設定

プロジェクトバウンダリーは、メタン発酵設備、燃料電池の発電設備が設置されるリゾート施設 (Island Village) を中心に、そのプラントまで生ゴミを持ってくる他の複数のリゾート施設、埋立処理場、リゾート施設から埋立処理場までの運搬経路を含む形で次のように設定する (図 1)。

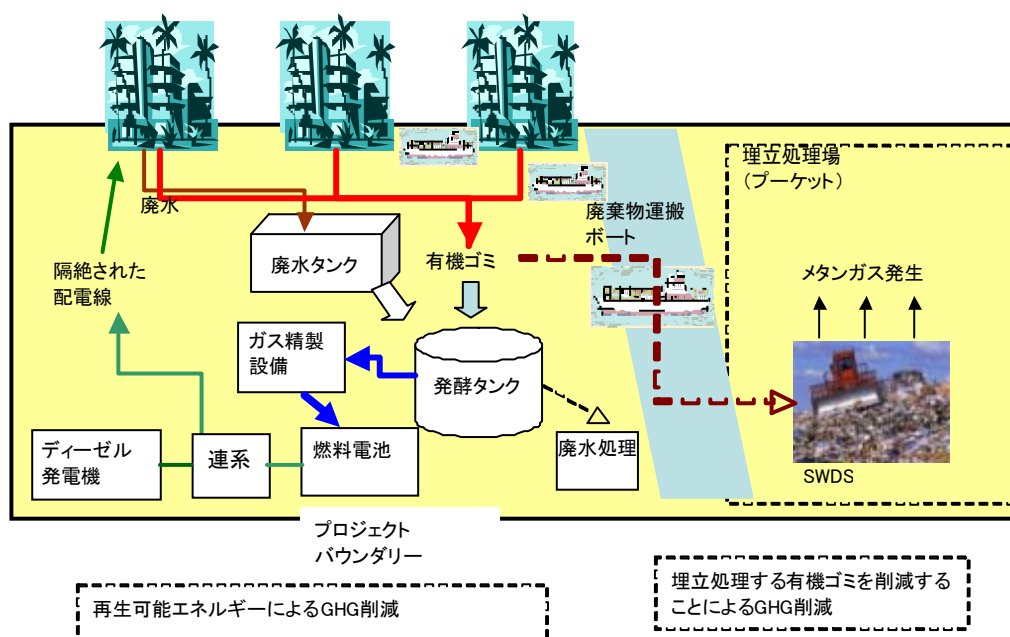


図 1. プロジェクトバウンダリー。

本プロジェクト実施によるGHG排出量のベースラインは、生ゴミの埋立処理によって発生するメタン量、プロジェクト内のリゾート施設で使用される電力をまかなうために運転される発電設備から発生するCO<sub>2</sub>量の合計である。

## (2) モニタリング計画

モニタリング項目は、IPCC で全て規定されており、承認済み手法及び方法論に基づいてモニタリング計画を設定する必要がある（図2、表5）。

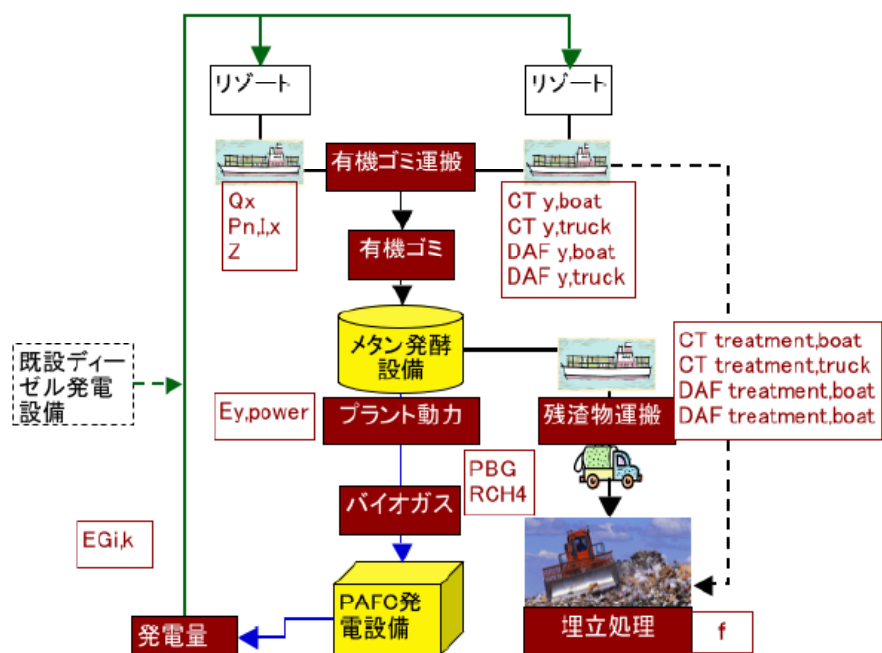


図2. モニタリング計画概要.

表 5. モニタリング項目

項目	モニタリング頻度	備考
f	1回/年	埋立処理場において燃焼等で処理されるメタンの比率
GWP_CH4	1回/年	メタンの温暖化係数
Qx	連続測定	埋立処理しなかった有機ゴミの総量
P <sub>n,j,x</sub>	4回/年以上	廃棄物サンプルN中の有機ゴミタイプiの比
z	連続測定	1年間に得た廃棄物のサンプル数
設備の運営状態	1回/年	バイオマス発電が稼動しているかどうかの確認
EG <sub>i,k</sub>	累積測定	バイオガス発電による発電量
P <sub>BG</sub>	1回/年	有機ゴミ1 kgから生じるバイオガス量
R <sub>CH4</sub>	連続測定	バイオガス中のメタン濃度
CT <sub>y,boat</sub>	1回/年	有機ゴミ運搬ボートの平均積載量
CT <sub>y,truck</sub>	1回/年	有機ゴミ運搬トラックの平均積載量
DAF <sub>w,boat</sub>	1回/年	有機ゴミ運搬ボートの運搬距離平均増加量
DAF <sub>w,truck</sub>	1回/年	有機ゴミ運搬トラックの運搬距離平均増加量
Q <sub>y,treatment,i</sub>	1回/年	残渣物の総量
CT <sub>treatment,boat</sub>	1回/年	残渣物運搬ボートの平均積載量
DAF	1回/年	残渣物運搬ボートの平均運搬距離
CT	1回/年	残渣物運搬トラックの平均積載量
DAF	1回/年	残渣物運搬トラックの平均運搬距離
E <sub>y,power</sub>	累積測定	プラント動力

(3) 温室効果ガス削減量

ベースライン GHG 排出量 ( $BE_y$ ) とプロジェクト実施による GHG 排出量 ( $PE_y$ ) との差がプロジェクト実施による GHG 削減量となる ( $ER_y$ )。プロジェクト 1 年目には、10,898 t-CO<sub>2</sub>e、10 年目には 31,183 t-CO<sub>2</sub>e の GHG 排出量を削減できる (表 6)。

表 6. プロジェクト実施による GHG 排出量及び削減量

プロジェクト 期間	プロジェクト実施によるGHG削減量(t-CO <sub>2</sub> e)		
	BE <sub>y</sub>	PE <sub>y</sub>	ER <sub>y</sub>
1年目	17,053	6,156	10,898
2年目	27,115	9,342	17,773
3年目	33,860	11,478	22,382
4年目	38,381	12,909	25,471
5年目	41,411	13,869	27,542
6年目	43,443	14,512	28,930
7年目	44,804	14,944	29,861
8年目	45,717	15,233	30,484
9年目	46,329	15,426	30,903
10年目	46,739	15,556	31,183

#### (4) プロジェクト期間・クレジット獲得期間

発電設備の耐用年数が15年であるため、プロジェクト期間は15年と設定した。クレジット獲得期間に関しては、第一約束期間以降、どのような状況になるのか不明であるため、10年とした。プロジェクト開始日に関しては、設備設計・据付まで1年以上要することから、2010年程度を想定しているが、資金調達その他の影響により異なる。

#### (5) 環境影響・その他の間接影響

本プロジェクトの実施により、リゾート施設において大量に発生している「生ゴミ」をエネルギーや堆肥などとして有効資源化するばかりでなく、様々な環境にインパクトを与える物質の低減が可能である。

#### (6) 利害関係者のコメント

##### (a) クラビ県知事からのコメント

既存埋立場の残余埋立年数が残り少ない。新規埋立場の選定を始めているが、地域住民の反対から難航している。また、ピピ島からのごみ処分については、輸送コストが高額であり、当該プロジェクトの実施によってごみ量が減少するのは県としては大歓迎である。他の島でも是非実施して欲しい。

##### (b) ピピ島リゾートオーナーからのコメント

第3回現地調査参照

#### (7) プロジェクトの実施体制

KRIはIsland Villageと共同で当該事業をプロジェクト化するべく、日本政府機関やタイ政府機関からの補助金の獲得を目指す。また、国内のエネルギー関連企業などに働きかけ、プロジェクトへの出資を募る（図3）。

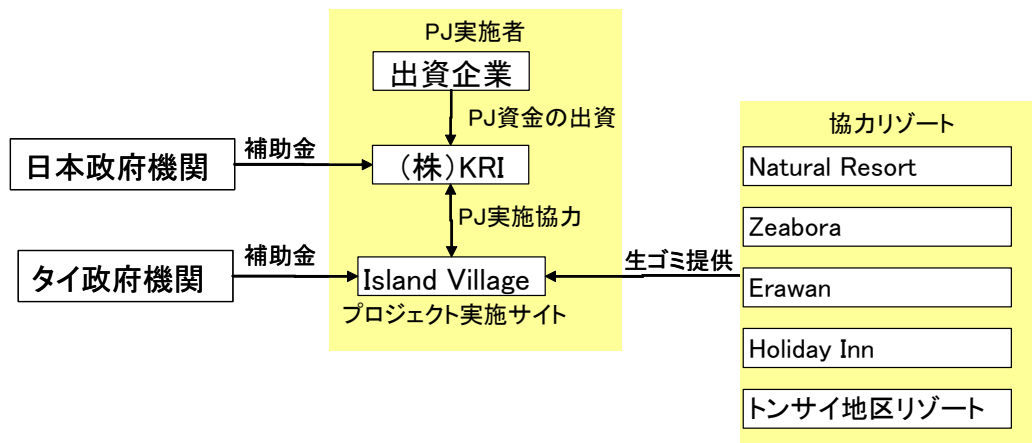


図3. プロジェクトの実施体制.

#### (8) 資金計画

タイ国（エネルギー省エネルギー政策計画局（EPPO）中小企業向けバイオガス導入支援事業-20%補助）や日本国（NEDO-国際省エネモデル事業-100%補助や環境省のコベネフィット CDM モデル事業-50%補助など）の政策的予算を使用することで、事業性を向上させることを検討している。すでに、日本国の環境省とはコンタクトを行っており、興味を持って頂いている。政策的予算以外に関しては国内のエネルギー関連企業を検討している。



### (9) 経済性分析

経済性の検討を実施するにあたって、投資案件として魅力的かどうかを判断する閾値を、「IRR25%以上（10年）かつ5年以内に累計黒字」とした。上述の通り、本プロジェクトのイニシャルコストは102 M THB、収入は10.7 M THB/y + CER（プロジェクト年・価格によって変化）、支出は4 M THB + 12 M THB/7.5y（オーバーホール費）+ 金利（補助金の有無によって変化）であり、CER 価格及び補助金の有無により、経済性は大きく変化する。よって、CER 価格が0、8、16.5、25 EUR/t、補助金が0、50%のケースを想定して経済性の検討を行った（表7）。その結果、CER 価格が16.5、25 EUR/tの時、イニシャルコストの50%の補助が得られれば、投資するに足るプロジェクトであることが分かった。

表 7. ケース別経済性の検討

		補助金(%)			
		0%のケース		50%のケース	
		IRR	投資回収年	IRR	投資回収年
CER価格 (EUR/t)	0	-	-	-	-
	8	-	-	13%	8
	16.5	7%	-	28%	5
	25	15%	8	40%	4

### (10) 追加性の証明

タイの離島リゾートにおいては、公共の下水処理施設や系統電源等は整備されておらず、リゾートの運営事業者が、自前で下水処理・廃棄物処理設備や発電設備を設置し、施設内の下水処理、廃棄物処理、発電などを行うのが一般的である。そのため、施設から発生する汚水や厨芥等の廃棄物は、最低限の処理がなされただけで周囲の海へと放流され、厨芥などの固形廃棄物は処分場へ運搬され埋立処理される。また、発電については、大規模リゾートであっても最大電力で数 MW 程度であり、その出力範囲において、安価で実績のあるディーゼル発電機が設置されるのが一般的である。

リゾートの運営事業者にとって、開発を開始してから20年以上の間、自らが運営するリゾートから発生する汚水、厨芥等の廃棄物は、最低限の処理を行い、周囲の海へ放流するか、プーケット島のごみ処理場で埋立処分をすることで処理されてきている。また、それら廃棄物からメタンを主とするバイオガスを取り出しても、従来のガスエンジン発電機は、発電効率が低く、メンテナンスコストも天然ガス専焼のガスエンジンと比較しても高価になるため、エネルギー収支、経済収支のいずれの面からも廃棄物をバイオマスとして活用する設備を設置することは難しい。

### (11) 事業化の見込み・課題

本調査によって初期投資額が判明したため、詳細な経済性の分析を行なうことができた。経済性の分析結果から、初期投資額の50%の補助を得ることができ、CER 価格が16.5 EUR/t程度であれば、投資するに足るプロジェクトとなることが分かっている。しかしながら、現在の100年に1度と言われる不景気の中、初期投資額の半分、約1.5億円を出資する企業を探すのは至難の業である。GHGの削減だけではないコベネフィット性は高く評価されるものの、現実的な出資の話となると二の足を踏む企業も多いのが現実である。早期の事業化のためには、景気回復は必須条件である。

#### 4. (プレ)バリデーション(実施した場合のみ)

##### (1) (プレ)バリデーションの概要

なし

##### (2) DOEとのやりとりの経過

なし

#### 5. ホスト国におけるコベネフィットの実現

##### (1) ホスト国における公害防止の評価

生ゴミを活用する本プロジェクトの実施により、生ゴミの運搬(ボートやトラック)に係るエネルギー、運搬時のCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の排出抑制、埋立量の減少によるランドフィルガス(メタン)発生の抑制、埋立浸出水の削減などの効果が創出可能である。また、生ゴミをメタン発酵することでエネルギー化し、PAFCによる発電を行うことで、既設のディーゼル発電の稼働を抑制でき、燃料や稼働時のCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の削減、タンカーなど燃料運搬時のCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、運搬時の化石燃料の漏出など抑制可能である。さらに、当該メタン発酵設備は、高度な廃水処理施設を付帯しているため、リゾート施設から排出される有機性の廃水を高度に処理することが可能である。現在では最低限の処理後に地下浸透され砂浜や海洋を汚染している有機廃水を高度に処理することによって、リゾート周辺の土壌海洋環境を維持することが可能となる。

##### (2) コベネフィット指標の提案(提案できる調査結果がある場合)

なし