

平成19年度 CDM/J I 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

報告書

平成20年3月

株式会社 K R I

目 次

| | | |
|------------|----------------------------------|-----------|
| 第1章 | 本事業の背景と目的 | 1 |
| 第2章 | タイ基本情報 | 3 |
| 2.1. | 概要..... | 3 |
| 2.2. | エネルギー..... | 10 |
| 2.3. | バイオマス資源..... | 14 |
| 2.4. | 環境..... | 19 |
| 2.5. | クリーン開発メカニズム..... | 24 |
| 2.6. | 離島観光..... | 27 |
| 第3章 | 燃料電池を用いたバイオマス発電システム | 31 |
| 3.1. | メタン発酵設備..... | 32 |
| 3.2. | バイオガスを利用可能な発電設備..... | 37 |
| 3.3. | PAFCの特徴..... | 44 |
| 第4章 | 現地調査 | 55 |
| 4.1. | ピピ・ドーン島関連サイトの現地調査..... | 55 |
| 4.2. | クラビ県内関連サイト..... | 65 |
| 4.3. | プーケット島関連サイト..... | 74 |
| 第5章 | 調査結果 | 81 |
| 5.1. | 事業の概要..... | 81 |
| 5.2. | ベースライン方法論の設定..... | 88 |
| 5.3. | プロジェクトバウンダリーの設定..... | 90 |
| 5.4. | GHG排出削減量の算出方法..... | 91 |
| 5.5. | ベースラインシナリオにおけるGHG排出量..... | 91 |
| 5.6. | プロジェクト実施によるGHG排出量..... | 93 |
| 5.7. | リーケージ排出量..... | 94 |
| 5.8. | モニタリング計画..... | 94 |
| 5.9. | プロジェクト実施によるGHG排出削減量事前試算..... | 94 |
| 5.10. | 環境影響分析..... | 96 |
| 5.11. | 波及効果..... | 97 |

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 第6章 | 経済性の検討 | 99 |
| 6.1. | プロジェクト活動の耐用年数..... | 99 |
| 6.2. | 資金計画..... | 99 |
| 6.3. | 経済性の評価・分析..... | 99 |
| 第7章 | 事業化に向けた課題 | 109 |
| 7.1. | 検討委員会による課題の抽出..... | 109 |
| 7.2. | GEC支援委員会による課題の抽出..... | 116 |
| 7.3. | 国内有識者へのヒアリングによる課題の抽出..... | 120 |
| 7.4. | まとめ..... | 124 |

第1章 本事業の背景と目的

タイ王国は、温暖な気候を生かした世界的なリゾートが点在しており、世界各地から観光客が訪れ、国の産業の柱の一つとなっている。その主な観光資源は、離島などに存する豊かな自然環境である。しかし、離島のビーチリゾートでは、大量の観光客がおしよせることにより、エネルギー需要の増大と大量の廃棄物の発生によって、大事な観光資源である自然環境の破壊が進んでおり、その問題は深刻である。

タイ王国ピピ・ドーン島は、タイ南部に位置する世界でも有数のリゾートアイランドで、豊かな自然を求めて、ヨーロッパ、東アジア等から多数の観光客が訪れ、経済的に潤っている地域である。しかし、当該地区は、マレー半島より船で90分間程度の沖合いに浮かぶ離島であるため、2つの問題を抱えている。一つは、電気供給の面でグリッドに繋がっていないため、島内の各リゾートに各々で発電機を設置し、島外から重油を運搬し発電を行っている。もう一つは、島内に廃棄物処理施設がないため、発生した厨芥等の廃棄物は、同じリゾート地域として著名なプーケット島まで運搬し、埋立て処理されている。

そこで、廃棄物をエネルギー化して燃料として活用することにより、廃棄物の減溶化処理を行うと同時に島内宿泊施設等への電気需要、熱需要に対応することで、化石燃料の消費量削減、廃棄物処理を行う。その結果、ピピ・ドーン島内から発生する廃棄物量を削減することで、現状、プーケット島で埋め立て処理時に発生する温暖化効果ガスであるメタンガスを抑制すると同時に、島内発電用のA重油などの化石燃料消費の削減による二酸化炭素排出量の削減を行うことが目的である。

第2章 タイ基本情報

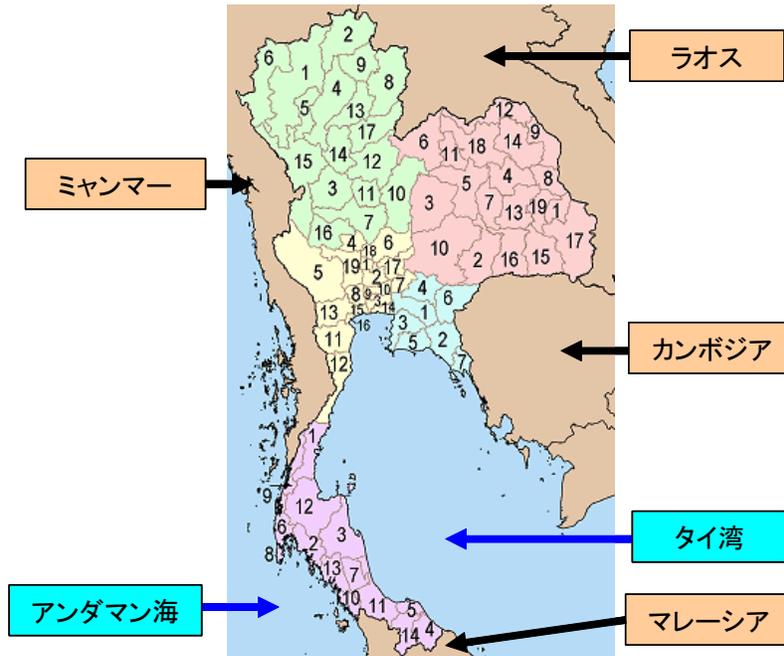
タイは日本と同様に米を主食とする仏教国である。国民の約95%は仏教（上座部仏教）を信仰し、男子は一生に一度は仏門に入り修行する習慣がある。熱帯の自然豊かな国であり、プーケット島やパタヤに代表される世界的なビーチリゾートを有し、豪華絢爛な寺院や世界遺産スコータイ、アユタヤなどが有名である。現在、経済発展を続ける東南アジアの中心国である。

2.1. 概要

2.1.1. 地理

タイはインドシナ半島の中央部に位置し、カンボジア、ラオス、ミャンマー、マレーシアの4国と国境を接する。国土面積は約51万km²（日本の1.4倍）で、南北に約2,500km、東西に1,250kmの幅がある。海岸線はタイ湾（南シナ海）に1,840km、アンダマン海（インド洋）に865kmある。大きな河川として、中央部を流れるチャオプラヤ川、東部にラオスとの国境線をなすメコン川がある。

タイは76の県からなり、北部、中央部、東北部、東部、南部の5つの地域に区分される（図2.1-1、表2.1-1）。チェンマイのある北部は、山脈と盆地からなり、ミャンマー、ラオスの影響を受けた独自の文化を形成している。バンコクのある中央部は、チャオプラヤ川の肥沃なデルタで、アジア有数の米作地帯である。イサーンと呼ばれる東北部は、痩せた高台の土地で、さらに洪水・干ばつの被害を受けやすく、タイでもっとも貧しい地域といわれている。プーケット島のある南部は、アンダマン海とタイ湾に挟まれた山脈の多いマレー半島で、ゴム、ココナッツ、錫などを産する。



出典: http://en.wikipedia.org/wiki/Provinces_of_Thailand

図 2.1-1. タイの5つの地域と76の県.

表 2.1-1. タイの5つの地域と76の県

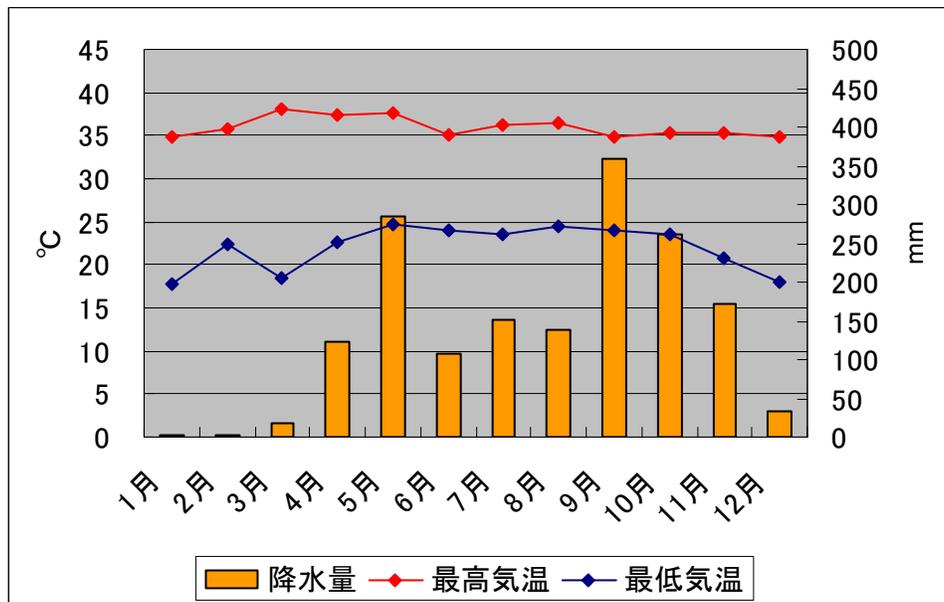
| | | | |
|---------------|-----------------------|---------------|------------------|
| 北部 | | | |
| 1. チェンマイ | 2. チェンライ | 3. カンペン・ペツ | 4. ランパーン |
| 5. ランプーン | 6. メーホンソン | 7. ナコンサワン | 8. ナーン |
| 9. バヤオ | 10. ペッチャブーン | 11. ピチット | 12. ピサヌローク |
| 13. プレー | 14. スコータイ | 15. ターク | 16. ウタイターニー |
| 17. ウタラディット | | | |
| 中部 | | | |
| 1. アートーン | 2. アユタヤ | 3. バンコク | 4. チャイナート |
| 5. カンチャナブリ | 6. ロブリー | 7. ナコンナーヨック | 8. ナコンパトム |
| 9. ノンタブリー | 10. パトゥムタニー | 9. ペッチャブリー | 12. プラチュアアップキリカン |
| 13. ラーチャブリー | 14. サムットプラカーン | 15. サムットサコーン | 16. サムットソクラーム |
| 17. サラブリ | 18. シンブリ | 19. スパンブリ | |
| 東北部 | | | |
| 1. アムナートチャルーン | 2. ブリーラム | 3. チャイヤブーム | 4. カーラシン |
| 5. コンケン | 6. ルーイ | 7. マハーサーラカーム | 8. ムクダハーン |
| 9. ナコンパノム | 10. ナコンラーチャシーマー | 11. ノンブアランプー | 12. ノーンカーイ |
| 13. ロイエット | 14. サコンナコン | 15. シーサケット | 16. スリン |
| 17. ウボンラチャタニ | 18. ウドンタニ | 19. ヤソートーン | |
| 東部 | | | |
| 1. チャチュンサオ | 2. チャンタブリー | 3. チョンブリ | 4. プラチンブリー |
| 5. ラヨー | 6. サケーオ | 7. トラート | |
| 南部 | | | |
| 1. チュンボン | 2. クラビ (調査サイト) | 3. ナコンシータマラート | 4. ナラティワート |
| 5. パッターニー | 6. バンガー | 7. パッタールン | 8. プーケット |
| 9. ラノー | 10. サトウン | 11. ソンクラ | 12. スラタニ |
| 13. トラン | 14. ヤラー | | |

出典: http://en.wikipedia.org/wiki/Provinces_of_ThailandよりKRI作成

2.1.2. 気候

タイは北半球の熱帯に位置し、高温・多湿の気候である。季節には雨季と乾季があり、乾季は更に寒季と暑季に分けられる（図 2.1-2）。

首都バンコクでは、5月から10月は雨季で、南西モンスーン（季節風）の影響を受け、毎日1-2時間程度の激しい雷雨を伴ったスコールが降る。特に雨季の始まりの5月と終わりの10月に降水量が多い。11月から2月は寒季で、乾燥した北東モンスーンの影響を受け、日中は30℃前後になるものの朝晩は涼しく湿度も低い。観光に適したシーズンである。3月から4月は暑季で、一年で最も暑い季節である。最高気温が40℃近くに達する日もある。

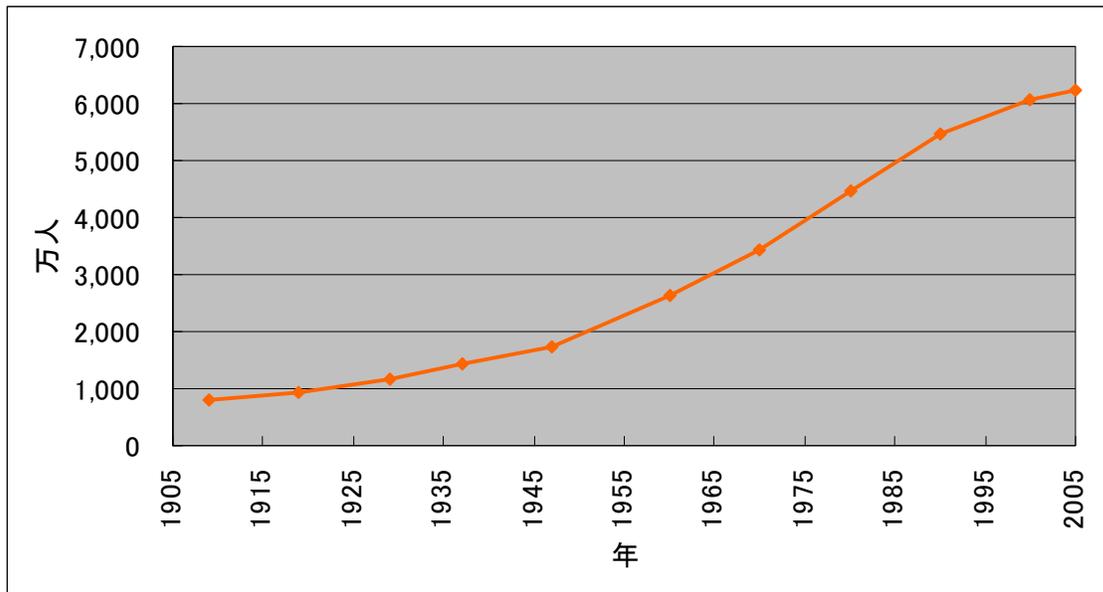


出典：タイ国経済概況 2006/2007年版より KRI 作成

図 2.1-2. バンコクの年間の気候変動.

2.1.3. 人口

2005年におけるタイの人口は、内務省によると6,241万人（男性3,081万人、女性3,159万人）である（図 2.1-3）。東南アジア諸国連合（Association of South-East Asian Nations, ASEAN）の中で、インドネシア（2億1,642万人）、フィリピン（8,266万人）、ベトナム（8,202万人）について4番目に人口が多い国である。



出典：タイ国経済概況 2006/2007年版より KRI 作成

図 2.1-3. タイの人口増加の推移.

2.1.4. 文化

1. 歴史

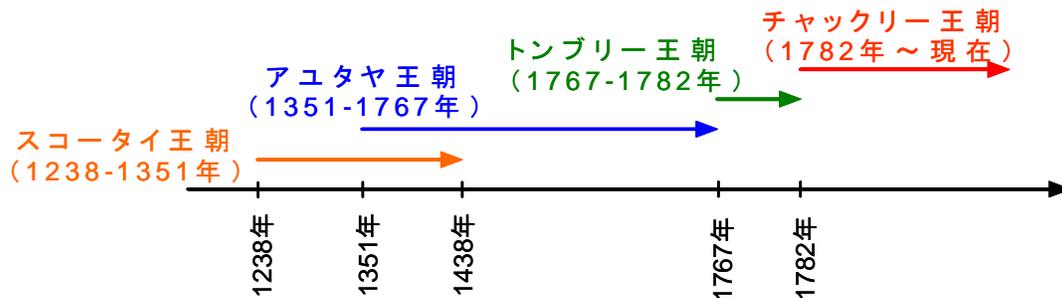
国名「タイ王国」は、それまでの「シヤム」に代わり 1949 年に制定された。「タイ」とは「自由」を意味する。

タイ族は、中国西南部を起源とする。中国西南部から徐々にインドシナ半島に南下したタイ族は、13 世紀にクメール人（カンボジア人）、モン人の王国からの独立を果たし、スコータイ王朝（1238-1438 年）を築いた。スコータイ王朝の中期から台頭してきたアユタヤ王朝（1351-1767 年）は、スコータイ王朝を吸収して領土を広げ、17 世紀には西欧、中国や日本などとも交易を行い繁栄した。しかしながら、1767 年にビルマ軍の侵入を受け、首都アユタヤが陥落し、滅亡する。その翌年、アユタヤの将軍タークシンがビルマ軍を撃退し、チャオプラヤ川の右側トンブリーに新都を建設、トンブリー王朝（1767-1782 年）を築いた（図 2.1-4）。

現王朝であるチャクラー王朝は、1782 年、乱心をきたしたトンブリー王朝のタークシン王を処刑したチャクラー将軍が興した。チャクラー将軍は自身をラーマ 1 世と号し、ドンブリーからチャオプラヤ川を挟んで対岸にあるバンコクに都を移した後、チャクラー王朝を創設した。首都バンコクの歴史はこの時から始まった。当時の勅命によるバンコクの名称は長く、「クルンテープマハーナコーン アモーンラッタナコーシン マヒンタラーユッタヤーマハーディロック ポップノッパラッタ ラーチャタ

ーニーブリーロム ウドムラーチャニウェート マハーサターン アモーンピマーン アワターンサティット サッカタッティヤウィサヌカムプラシット（日本語では“イン神がウィッサヌカム神に命じてお作りになった、神が権化としてお住みになる、多くの大宮殿を持ち、九宝のように楽しい王の都、最高・偉大な地、イン神の戦争のない平和な、イン神の不滅の宝石のような、偉大な天使の都”という意味）」であった。

1932年に立憲革命が起こり、タイは絶対君主制から立憲君主制に移行したが、チャックリー王朝は現国王ラーマ9世（1946年即位）に承継されている。



出典：タイ国経済概況 2006/2007年版より KRI 作成

図 2.1-4. タイの王朝の変遷.

2. 民族

国民の約8割がタイ族といわれ、他民族には華人（約1割）、マレー人、カンボジア人、インド人及び山岳民族などがある。政府が同化政策を進め、民族・宗教などの違いを超えてタイ国民の平等を維持してきたこともあり、他国にみられるような民族間の問題は少ない。

3. 言語

公用語はタイ語で、ほぼ全てのタイ人が話す。地方では方言が話されるほか、中国語やマレー語も話される。英語は官公庁、企業、観光施設などで一部通じる。

タイ語は言語学的には、シナ・タイ語に属する。表音文字であり、動詞の活用、語形変化がなく、単音節の単語も多い。5つの声調により意味が異なるのが特徴である。複音節の単語の多くはクメール語、古代インド語であるパーリ語、サンスクリット語から借用したものである。タイ文字は、1283年にスコートイ王朝のラームカムヘーン大王がクメール文字をベースに作ったものが改良されて現在の形になったとされ、44の子音と18の母音の組み合わせで表記される。

4. 宗教

国民のうち 95.4%が仏教徒で、イスラム教徒が 4.0%、キリスト教徒は 0.6%である。タイでは憲法により信仰の自由が保障されている一方、国教は仏教とされ、寺院の数が 3 万以上、僧侶の数が 30 万人以上といわれている。タイの仏教は南方上座部仏教で、僧侶と俗人の区別が厳格である。僧侶は 227 もの戒律を守り、厳しい修行に励み、俗人は寺院や僧侶への功德に努める。

5. 国旗

国旗は、5 本の赤、白、青の横縞からなる三色旗で、1917 年にラーマ 6 世により制定された。中央の青は王室を、その上下の白はタイの国教である仏教の潔白を、そして外側の赤は王室と仏教を守るタイ国民の血を表している。

2.1.5. 政治

サマック首相は 2008 年 2 月 18 日に下院本会議で施政方針演説を行い、この 1 年で取り組む 19 項目の重点政策を提示した（表 2.1-2）。タクシン政権と同じ「ばらまき政策」との批判的な声もあり、拡張的な財政政策と金融緩和でインフレ圧力が高まる懸念がある。

表 2.1-2. 重点政策

| | |
|----------|---|
| 基本理念 | 国民和解と民主主義の再構築 |
| 社会生活 | 麻薬問題の解決 南部暴動問題の解決 |
| 社会インフラ整備 | 首都圏大量輸送システム整備に代表される投資の刺激 灌漑システムの整備促進 機械修理センターと職業教育機関の役割の拡大 低所得者向け格安住宅の建設・住宅ローンの提供 国内不動産市場の公正な規制 |
| 経済対策 | パーツ相場の安定 消費者物価・燃料価格の監視 人口規模に応じたSML基金向け予算割当て 効果的な一村一品運動(OTOP)の推進 08~09年をタイ観光・投資キャンペーンとして観光産業を支援 |
| 企業支援 | 草の根レベルで企業資金など小口資金を融資する国民銀行事業 中小企業向け貸出支援 |
| 農村・農民支援 | 村落基金を村落銀行へ格上げすることによる機能強化 小規模・貧困農民層の債務返済猶予制度の緩和 農産品価格安定のための価格保証システム |
| 環境対策 | ガソール(バイオ燃料配合ガソリン)や バイオディーゼルのような代替燃料使用の促進 地球温暖化に対応する効果的な対策の実施 |

出典: JETRO HP より KRI 作成

2.1.6. 経済

2005年における名目国内総生産（Gross Domestic Product, GDP）は7兆877億 THBであり、日本の名目 GDP の約4%、ASEAN内では第2位である。また、国民一人当たりの GDP は3,138 USD であり、日本の約8%、ASEAN内では第4位である。産業別 GDP の構成比は、製造業が34.7%、商業が14.8%、農業が9.9%となっており、他のASEAN諸国と比べて工業化が進んでいる。

経済成長率に関しては、1960-1996年の間、年平均7.6%のペースで成長した。特に、製造業が1980年代前半の一時期を除くと年平均10%を上回る成長を続け経済を牽引した。1997-1998年の通貨危機の際は、経済成長はマイナスとなり平均成長率も低下したが、1960-1999年までの間の平均経済成長率は6.8%であった。

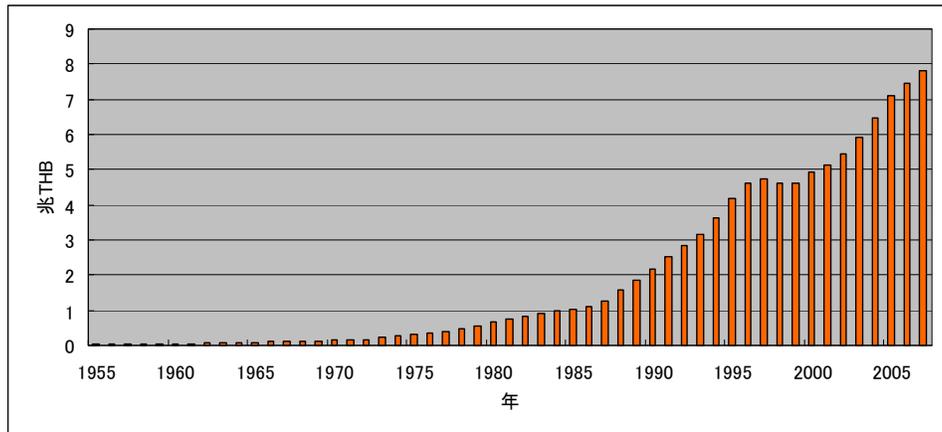
年代別に見ると、1960年代はベトナム戦争による需要拡大とアメリカからの援助が経済成長を促進し、年平均8%の伸びとなった。

1970年代には、前半に第一次石油危機、ベトナム戦争の終結に伴うアメリカからの援助の減少、インドシナ3カ国の社会主義化を背景とするタイへの投資減退から成長は鈍化したが、後半には高い伸びとなり、年平均で6.8%の成長となった。

1980年代も前半に第二次石油危機と世界同時不況の影響から成長は年平均5.4%にまで低下したが、後半は円高・ドル安を背景とする直接投資の流入、輸出製品の多様化による輸出の増加から二桁成長が3年間続き、1980年代平均では年7.8%と高い伸びを記録した。

1990年代は、前半に直接投資の大幅な流入が続き年平均8.6%と高い成長となったが、後半は1997年の経済危機以降の大幅な内需縮小によりマイナス成長に陥り、1990年代を通じた平均成長率は約4%となった。

2000年代は、2001年2月に発足したタクシン政権が、従来の輸出主導に加えて国内需要も経済の牽引力とすることを訴え、農村や中小企業の振興策を打ち出した。これらの内需拡大政策の奏功と見られる個人消費の活性化等により経済は回復し、2003年は7.1%、2004年は6.3%の成長を達成した。2005年はスマトラ沖大地震及びインド洋津波被害等により若干減速し、4.5%の成長となった。2006年は政変の影響が危惧されたが、5.1%の成長率を達成、2007年は後半に内需が低迷したものの輸出が伸びたことで、4.8%の成長率となった（図2.1-5）。



出典：タイ国経済データ集より KRI 作成

図 2.1-5. タイの GDP 増加の推移.

2.2. エネルギー

2.2.1. 政策

エネルギー政策の基本方針は、近年の燃料価格などの外部要因を考慮し、石油への過度の依存を避け、国内エネルギー源を有効に活用すると共に、近隣諸国を中心に安定的な供給先を確保することである。

1. エネルギーに関する政府組織

2002年10月の省庁再編によってエネルギー省が設立され、それまで首相府や各省庁に分散されていたエネルギー関連の業務の多くが一元化された。タイのエネルギー政策の最高意思決定機関は、国家エネルギー政策委員会（National Energy Policy Council, NEPC）である。これは首相が委員長となり、首相が指名したメンバーで構成される。その下部組織として実務をこなすのがエネルギー大臣を委員長とし、関係省庁・機関の次官・局長級で構成されるエネルギー政策立案委員会（Energy Policy Management Committee, EPMC）である。

2. 第9次経済社会開発計画におけるエネルギー政策

第9次経済社会開発計画（2002-2006年）は、先の経済危機からの教訓、世界情勢の現状の変化を踏まえたもので、国民の生活水準向上のための経済社会の基盤整備の促進や人材開発、競合力の向上などに重点を置き、「開発の中心は人」という考えのもと、人間・社会・経済・環境におけるバランスのとれた開発に重きをおいている。

エネルギー政策は、第3部「社会基盤の強化」の第5章「天然資源と環境の管理運

営戦略」、及び第4部「バランスのとれた持続的なものとするための経済構造の調整」の第7章「国家能力向上と競争力強化戦略」と第8章「科学技術面での強化に向けた開発戦略」において規定されている。

「天然資源と環境の管理運営戦略」においては、エネルギーの保護と効率的利用、節約の促進という項目で、外国からのエネルギー輸入削減促進、国内の石油資源の調査と開発の促進、循環型エネルギー生産の研究開発支援を規定している。

「国家能力向上と競争力強化戦略」においては、エネルギー分野を、輸送、電気通信などと同様にインフラシステムとして効率と質の向上を図るべき分野として位置づけられ、量的及び質的に十分なエネルギー供給、適切な価格レベルでの安定及び商業的利用のための再生可能エネルギー開発が規定されている。

「科学技術面での強化に向けた開発戦略」においては、エネルギー面での自立を目指し、化石燃料の消費を抑制するためのエネルギー節約技術研究、バイオエネルギー、太陽光エネルギーなど各種再生可能エネルギー技術の研究開発を促進するとされ、エネルギー消費増加率が経済成長率を下回ることを重視するとされている。

3. エネルギー問題解決への戦略

近年の石油価格の高騰を受けて、閣議が2006年5月にエネルギー省提案の「エネルギー問題解決への戦略」を承認している。

・石油代替エネルギー開発の促進・エネルギー有効利用の促進

総エネルギーの消費は2008年までに15%、2009年までに20%削減する。運輸セクターにおいては、天然ガス車(Natural Gas Vehicle, NGV)、ガソホル、バイオディーゼル(Bio Diesel Fuel, BDF)の利用、交通の改善により、2009年までに石油の消費を25%削減する。産業セクターにおいては、天然ガスへの燃料の転換、コージェネレーションシステムの導入により2008年までにエネルギー消費を25%削減する。公共セクターにおいては、エネルギーの消費を10-15%削減する。民間セクターにおいては、自家用車の省エネ運転や冷房の適正温度管理を促進するキャンペーンを行ない、エネルギーの消費を10%削減する。

・エネルギー資源の開発

長期的なエネルギー安定供給を図るために、ラオス、ミャンマー、中国で水力発電所建設への投資を行うとともに、ミャンマー、マレーシアで油田・ガス田の開発を進める。ガソホル、BDF、石油化学産業の開発のために2005-2008年の間に8,000億THBを投資する。

4. 省エネルギー政策

省エネルギーへの関心は高く、推進するための機関、法制度の整備が行なわれてい

る。1992年に省エネルギー法を制定し、省エネルギー基金を設置すると共に、エネルギー管理工場やエネルギー管理ビルの指定などの措置をとっており、これら指定施設はエネルギーに関する責任者の配置や、エネルギー診断の実施などが義務付けられている。この省エネルギー基金は、ガソリン、灯油、ディーゼル油、重油の国内販売から徴収した資金を原資としており、政府機関自らの省エネルギーキャンペーン活動や、省エネルギー法に基づく管理工場、管理ビルの省エネルギー活動を支援している。省エネルギー法の下、これまで2つの期間において省エネルギーの計画が実施され、成果を出してきた。

5. 再生可能エネルギーに関する政策

再生可能エネルギーに関しては、その利用を促進するために5つの政策が定められており、2011年におけるエネルギー消費の9.2%を賄うことを目標としている。

- ・ 税優遇による植物性エネルギーの利用の促進
- ・ 再生可能エネルギーによる発電の促進
- ・ 再生可能エネルギーによる熱生成
- ・ 再生可能エネルギーへの理解・広報
- ・ 政策的・技術的研究

2.2.2. 資源量

国内のエネルギー資源は多種にわたり、化石燃料としては原油・天然ガス・石炭・コンデンセートがある（表2.2-1）。

1. 原油

原油採掘源は陸上・海中の両方があり、陸上では北部および中部地方に、海中ではタイ湾沿岸に位置する。2002年には、国内の原油採掘源の調査と開発が行なわれ、確認埋蔵量として総計3.64億バレルが発見されている。この他、推定・予想埋蔵量としては3.50億バレルあると想定されており、現在の生産能力で計算すると、国内には今後13.1年消費できる原油資源が存在すると予想される。

2. 天然ガス

天然ガス採掘源は陸上・海中の両方がある。2002年における確認埋蔵量は計4,411億 m^3 である。この他、推定・予想埋蔵量としては4,949億 m^3 あると想定されており、現在の生産能力で計算すると、国内には今後45.5年間消費できる天然ガス資源が存在すると予想される。

3. コンデンセート

現在までに発見されたコンデンセートは全て海中に存在する。2002年における確認埋蔵量は3.28億バレルであり、この他、推定・予想埋蔵量としては4.63億バレルある。現在の生産能力で計算すると、国内には今後16.7年間消費できるコンデンセート資源が存在すると予想される。

4. 石炭

タイの石炭は低品質な石炭が多く、その熱量は1グラム当たり2,800-5,200 kcalである。国内の石炭の採掘地は北部が一番多いが、全国に拡散している。2002年における確認埋蔵量、推定・予想埋蔵量の合計は21.38億tで、北部に15.51億tがある。現在の生産量から考えると、今後109年間消費できる石炭資源が存在すると予想される。

表 2.2-1. タイ国内のエネルギー資源

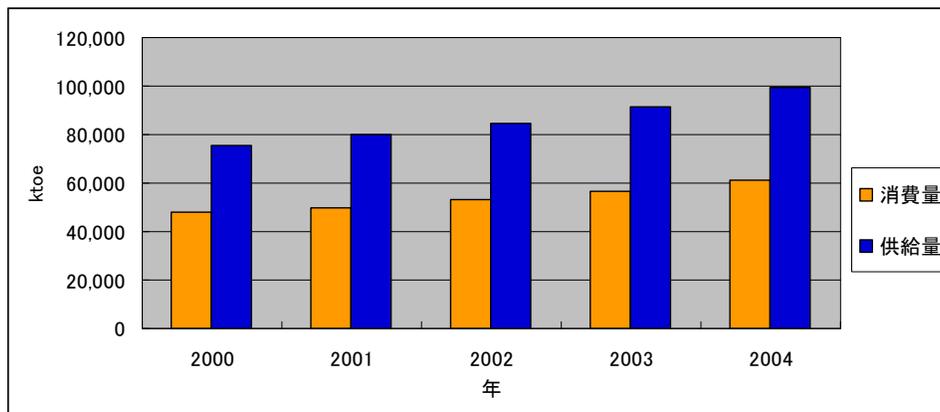
| 資源 | | 確認埋蔵量 | 推定・予想埋蔵量 | 全埋蔵量 | 消費可能年数 |
|----------------------------|----|-------|----------|-------|--------|
| 原油 (百万バレル) | 海中 | 277 | 243 | 520 | 13.1年 |
| | 陸上 | 87 | 107 | 194 | |
| | 計 | 364 | 350 | 714 | |
| 天然ガス (億m ³) | 海中 | 4,209 | 4,672 | 8,881 | 45.5年 |
| | 陸上 | 202 | 277 | 479 | |
| | 計 | 4,411 | 4,949 | 9,360 | |
| コンデンセート (百万バレル) | 海中 | 328 | 463 | 791 | 16.7年 |
| 石炭 (百万t) | 陸上 | 1,336 | 802 | 2,138 | 109年 |

出典: タイにおける代替エネルギーと省エネルギーより KRI 作成

2.2.3. 需要と供給

需要（消費量）に関しては、アジア経済危機の影響により1998年は前年を割り込んだものの、その後2004年まで6年連続して増加しており、2004年のエネルギー消費は61,262 ktoe（前年比8.8%増）で過去最高を更新している。

供給量に関しては、2004年は前年比8.7%増である。国内生産されているエネルギーとしては、天然ガス、薪・籾殻・バガスなどのバイオマス、石炭、原油、水力などがあるが、埋蔵量はそれほど大きくなく、原油や天然ガスを輸入している。2004年においては、輸入エネルギーの割合が53.5%であり、自給率は50%を下回った。エネルギー供給に関しては、2004年は前年比8.7%増であった（図2.2-1）。



出典：タイ国経済概況 2006/2007年版より KRI 作成

図 2.2-1. エネルギーの供給量と消費量.

2.3. バイオマス資源

バイオマスとは、エネルギーに変化させることができる原料あるいは有機物のことである。バイオマスには、農業から発生する廃棄物、木材工業から発生する木片、家畜糞尿、農産物加工工場の廃棄物や自治体からの一般廃棄物などが含まれる。

農業系のバイオマスに関しては、タイは世界でも有数の農業国の一つであるため資源が豊富であり、それらを原料として用いるバイオエタノールやバイオディーゼルの開発・利用を政府が推進している。一般廃棄物に関しては、大都市だけでなくタイの各都市においてその処理問題が深刻化しており、有効な処分方法を模索しているところである。

2.3.1. 政策

タイでは、タピオカ・サトウキビ・米・ココナッツ・パームなど農産物が生産過剰であったため、これらの過剰を吸収する新たなマーケットをつくり出し、農作物価格の安定化を図る方策を採らざるを得ない状況であった。生産過剰にある農産物の用途拡大は、農業政策の大きな課題であり、バイオエタノールやバイオディーゼルなどのバイオマス利用研究が政府主導で進められた。

バイオエタノールに関しては、2003年12月、政府は、供給量を2006年までに100万L/d、2011年までに300万L/dとする政策目標を掲げ、2005年4月、バイオ燃料に関わる政策、規制及び実施を担当するバイオ燃料開発・促進委員会（The Committee on Biofuel Development and Promotion, CBDP）を設置した。バイオエタノールの普及促進策として、ガソール95の価格はオクタン95ガソリンよりも1.5 THB/L安く設定

され、その結果エタノール需要は 35 万 L/dまで増加し、2006 年 11 月には生産量は 48 万L/dとなった。2007 年 1 月には、CBDPを解散させ、効果的に、そして柔軟に一元的なバイオ燃料の管理が行なえるようにエネルギー政策局（the Committee on Energy Policy Administration, CEPA）を設置した。

BDFに関しては、原材料の安定的確保が重要課題の一つであるため、政府はパーム栽培面積を国内および隣接国々においてそれぞれ 64 万 ha、16 万 haまで拡大する計画を立てている。さらに、パーム以外の南洋アブラギリ、他の油性植物に関する研究開発を促進している。現在BDF5%含有のディーゼル油（B5）の販売価格は通常のディーゼル油より 1Lあたり 0.5 THB安い。2012 年以降は全てBDF10%含有のディーゼル油（B10）に切り替える計画がある（表 2.3-1）。

表 2.3-1 バイオエタノール、バイオディーゼル生産の政策目標

| 資源 | 単位 | 2006年6月現在 | 2011年 | 2020年 |
|----------|----|-----------|-------|--------|
| バイオエタノール | kL | 400 | 3,000 | 12,000 |
| バイオディーゼル | kL | 300 | 4,600 | 12,000 |

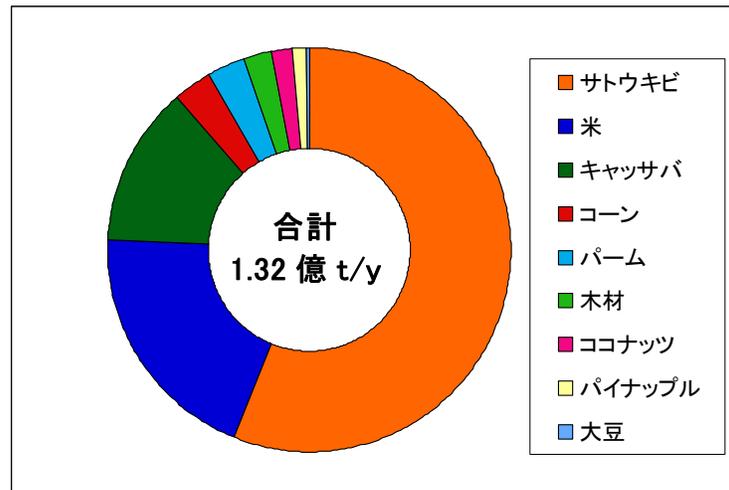
さらに政府は、現状未利用のまま廃棄されている農業系廃棄物、一般廃棄物、工場廃水を有効利用して、電気及び熱エネルギーを得る計画である（表 2.3-2）。

表 2.3-2 未利用バイオマス利用の政策目標

| 資源 | 単位 | 2006年6月現在 | 2011年 | 2020年 |
|--------|----|-----------|-----------|-----------|
| 農業系廃棄物 | kW | 1,761,290 | 2,800,000 | 3,620,000 |
| 一般廃棄物 | kW | 4,250 | 100,000 | 130,000 |
| 排水など | kW | 4,600 | 10,000 | 30,000 |

2.3.2. 農業系廃棄物

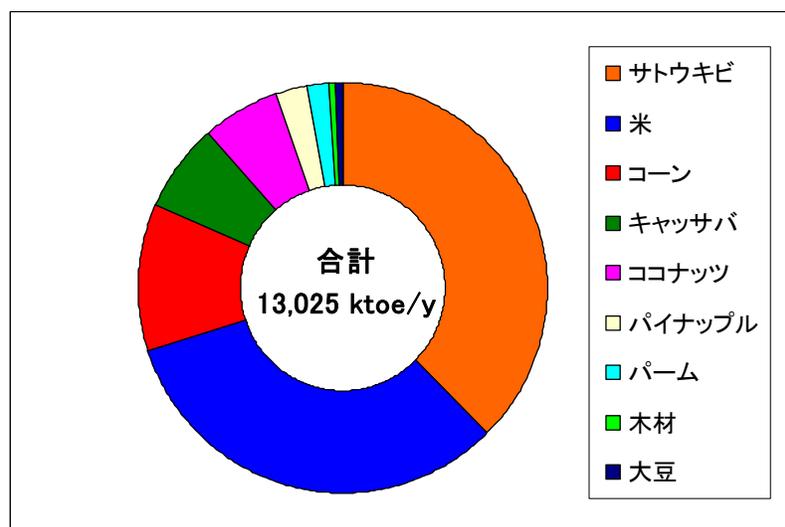
タイは国内・国外向けに様々な農産物が生産されており、バイオマスは豊富である（図 2.3-1）。特に、オイルパーム、サトウキビ、キャッサバ、米、とうもろこし、大豆、パイナップル、ココナッツは主要な農産物であり、生産量も多い。生産量が最も多いのはサトウキビで全体の 56%（7,425 万 t）である。次いで、米が 20%（2,608 万 t）、キャッサバが 13%（1,687 万 t）と続く。



出典: TISTR

図 2.3-1. 様々な農産物の生産量.

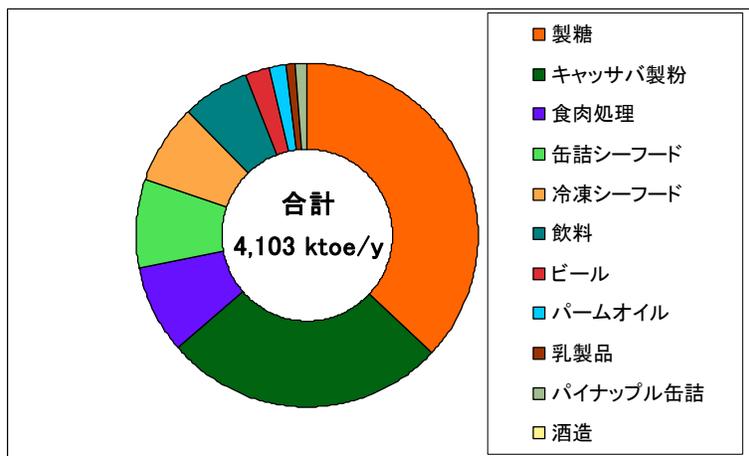
これら農産物からは、大量の農業系廃棄物が排出される。木材やサトウキビの絞り粕であるバガスなどは既に燃料として用いられているが、依然として未利用部分は多く、今後さらなる活用が期待されている（図 2.3-2）。前述の 9 つの農産物から得られる未利用廃棄物の総エネルギーは、13,025 ktoe/y であると試算されており、これは 2004 年におけるタイのエネルギー消費量の約 20%にあたる。



出典: TISTR

図 2.3-2. 様々な未利用廃棄物が有するエネルギー量.

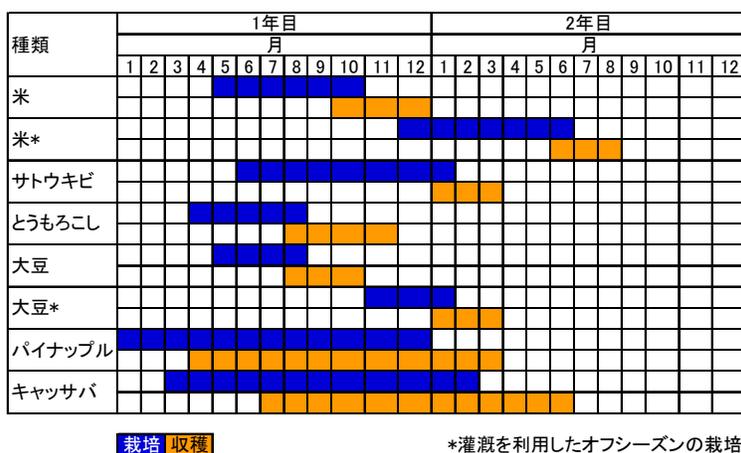
また、食品や繊維工場などの有機廃水もエネルギーとして利用可能であり、それらの総量は4,108 ktoe/yであると試算されており、これは2004年におけるタイのエネルギー消費量の約7%にあたる（図2.3-3）。



出典：TISTR

図 2.3-3. 未利用有機廃水が有するエネルギー量。

以上のように、バイオマスから得られるエネルギーは17,128 ktoe/yであり、タイの年間エネルギー消費量の約3割を未利用農業系バイオマス資源から得られる計算になる。しかし、農業系バイオマスは、季節変動が大きく、年間を通して一定した量を得ることは難しい（表2.3-1）。

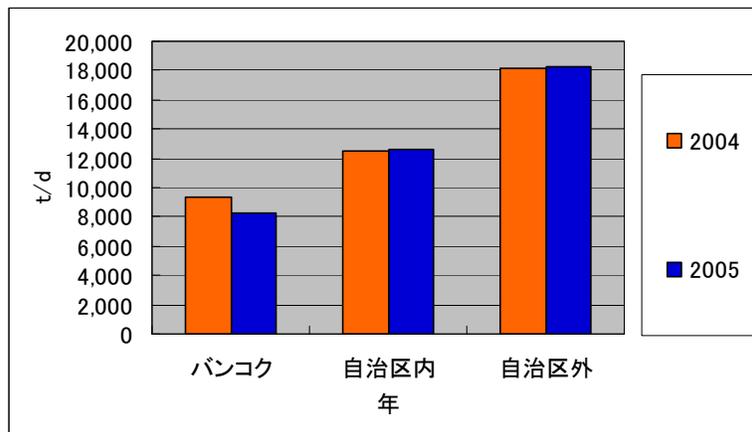


出典：TISTR

図 2.3-4. 農産物の栽培と収穫時期。

2.3.3. 一般廃棄物

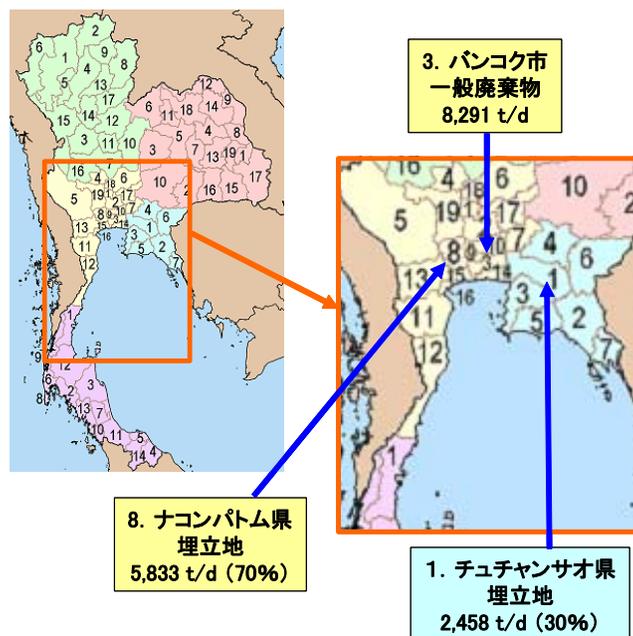
2005年の一般廃棄物量は全国で1,430万tであり、前年より30万t減少した。一日あたりの発生量は、39,221 t/dであった。バンコクでは、8,291 t/d、パタヤを含む自治区地域では12,635 t/d、自治区地域外では18,295 t/dであった。2004年と比較して、一般廃棄物の量はバンコクでは約10%削減されたものの、その他の地域では増加した（図2.3-5）。



出典：タイ国経済概況 2006/2007年版より KRI 作成

図 2.3-5. 1日あたりの一般廃棄物発生量の年次変化.

バンコクでは、一般廃棄物は委託された民間企業により収集され、衛生的な埋立地にて処理される。埋立地は近隣のナコンパトム県とチュチャンサオ県の2ヶ所にあり、それぞれ5,833 t/d、2,458 t/dを埋立している（図2.3-6）。



出典:PCD HP より KRI 作成

図 2.3-6. バンコク市内の一般廃棄物処分場の位置.

自治区では現在、91ヶ所の処分場が稼働している。そのうち、焼却炉を有しているのは3カ所（ランプーン市、プーケット市、スラタニー県サムイ島）である。この91ヶ所の処分場で、全国の自治区から発生する廃棄物の約36%を処分することが可能である。それ以外の多くの廃棄物は、違法な埋立てや焼却によって処分されている。また、処分場においては、誤った運転方法や管理方法によってトラブルが発生することもある。その原因としては、不十分な教育や経験が上げられるが、システム維持のための予算不足も問題となっている。自治区外では、廃棄物の収集システムはほとんどない。近隣の自治区と協力して廃棄物処理を行っているのは、6,636地区のうち300地区であり、わずか900 t/dが処分されているに過ぎない。そのため、違法な焼却、埋立を行なう住民は多い。埋立地には、金属やプラスチックなどの売却できるゴミを拾い生計を立てる人もいる（第4章参照）。

2.4. 環境

2.4.1. 政策

地球温暖化対策に関しては、エネルギー効率の改善、代替燃料と再生可能なエネルギーの開発、植林と森林保護政策を進めている。タイは、1992年6月に気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）に署名し、

1994年12月に批准、翌1995年3月にタイに対して条約が発効された。タイの温室効果ガス（Green House Gas, GHG）排出量は、世界の1990年排出量の1%にも満たないが、タイは熱帯地域の発展途上国であり、気候変動に対して非常に影響を受けやすい。また、人口の半分以上が農業に従事しており、気候変動が起これば国民の生活に深刻な影響が出るため、地球温暖化対策に熱心に取り組んでいる。タイ最初の国別報告書は、2000年11月にUNFCCC に提出され、1994年のGHGインベントリが示された。京都議定書は、1999年2月に署名し、2002年8月に批准した。

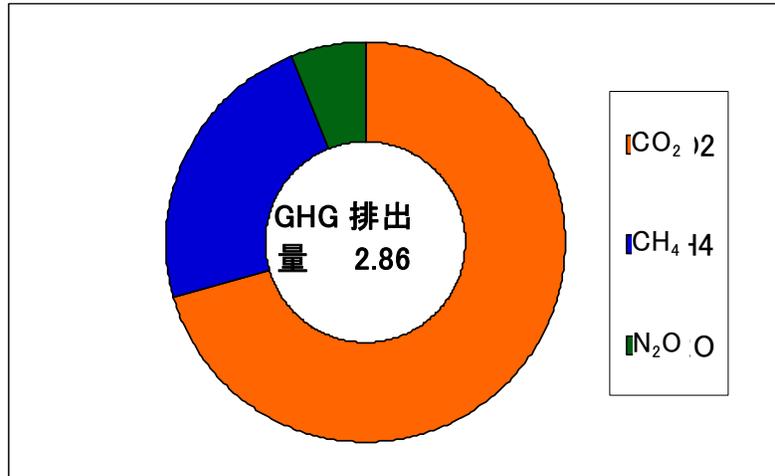
エネルギー効率改善へ向けての重要な政策の一つが、エネルギー需要最適マネジメント（Demand-Side Management, DSM）プログラムである。DSMプログラムは、第7次国家経済社会開発計画中に行われ、1994-1998年の5年間で、142兆kWhの電気及び106万tのCO₂排出量の削減を目標とした。このプログラム結果は非常に良好で、電気とCO₂排出量をそれぞれ目標値の1.65倍削減することに成功した。その後の第8次開発計画でも継続され、第9次開発計画では各家庭での電力消費の削減を呼びかける省エネプログラムが行われている。また、1992年からは統括的な省エネルギープログラムに着手し、以下の目標を掲げている。

- ・エネルギー利用効率の増進
- ・再生可能エネルギー源の開発と利用
- ・省エネルギー技術の開発と普及
- ・生物資源の持続可能な利用と環境保護の促進

2.4.2. 温暖化ガス排出量

2004年におけるタイの人口一人当たり二酸化炭素排出量は3.25 t（世界第72位）、総排出量は2.02 億 t（全世界のCO₂排出量の0.74%）であった。タイにおけるGHGインベントリに関しては、1990年度に最初の値が算出され、続いて1994年、1998年度に関して算出されている。

1994年の主なGHG排出源は、CO₂に関しては、化石燃料等の燃焼によるものが一番多く、次いで土地利用変化と林業、産業プロセスと続く。特に、燃料燃焼によるCO₂排出量は、総CO₂排出量の半分以上を占める。CH₄に関しては、農業、特に稲作からの排出量が多く、総CH₄排出量の73%を占める。1994年のGHGインベントリに基づいて、地球温暖化係数から総GHG排出量を換算した。総量はCO₂換算で2.86 億 tであり、CO₂、CH₄がそれぞれ71%、23%を占める（図2.4-1）。

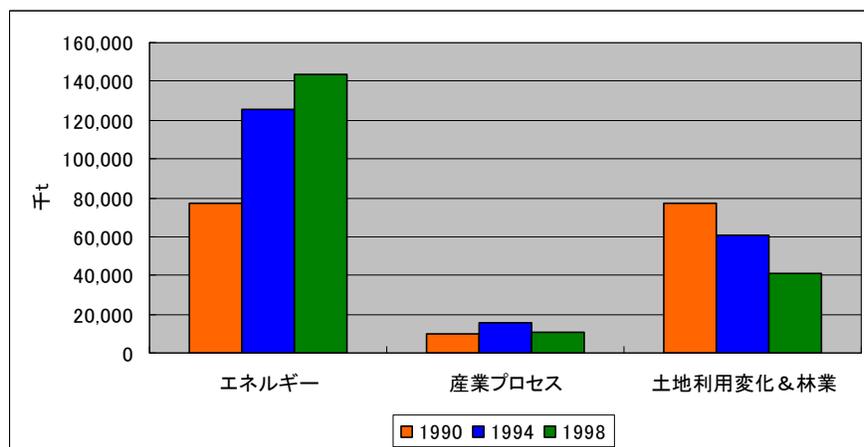


出典: Center for Applied Economic Research, 2000

図 2.4-1. 1994 年における CO₂ 換算の GHG 排出量.

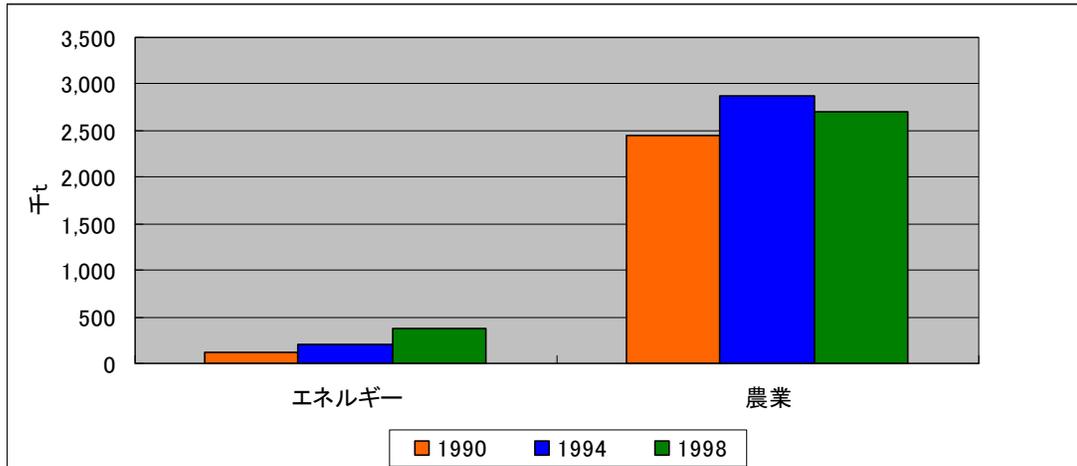
1990-1998年のCO₂ 排出量に関しては、年平均500万 tで増加しており、特に1990-1994年の増加率が大きい。1994年以降は年平均100万 t以下で増加していた。これは、政府による省エネルギー政策や森林面積の増加政策等の結果が表れたものと考えられる。どの年のインベントリでも、エネルギー分野の排出量が50%以上を占め、年々増加している。一方、土地利用変化や林業からの排出量は徐々に減少している（図2.4-2）。

1990-1998年のCH₄排出量に関しては、主な排出源は農業であるが、大きな変動はない（図2.4-3）。



出典: Center for Applied Economic Research, 2000

図 2.4-2. 1990、1994、1998 年の CO₂ インベントリ.



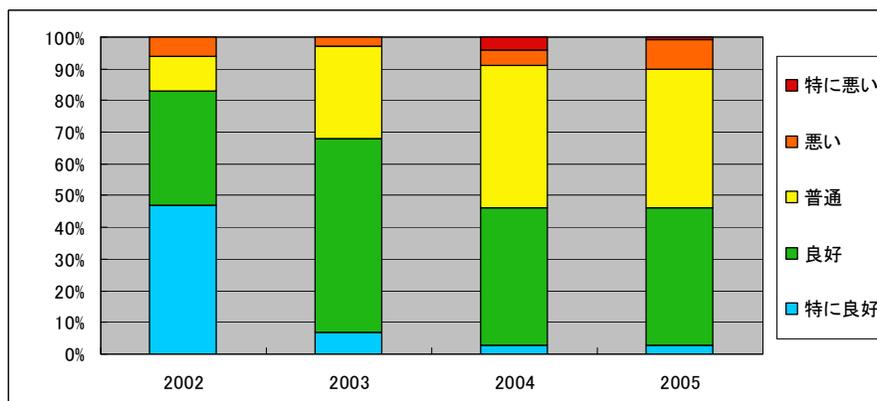
出典: Center for Applied Economic Research, 2000

図 2.4-3. 1990、1994、1998 年の CH₄ インベントリ.

2.4.4. 水質

2. 沿岸海洋の水質

天然資源環境省公害管理局 (Pollution Control Department, PCD) は 2005 年の乾季 (3-4 月) 及び雨季 (8-9 月) の 2 季節の 242 地点において、沿岸海洋水質モニタリングを行い、海洋水質指標を用いてその結果を評価している。結果は、「特に良い」「良好」「普通」「悪い」「特に悪い」で分類され、2005 年の各比率は 3%、43%、44%、9%、1%であった (図 2.4-4)。

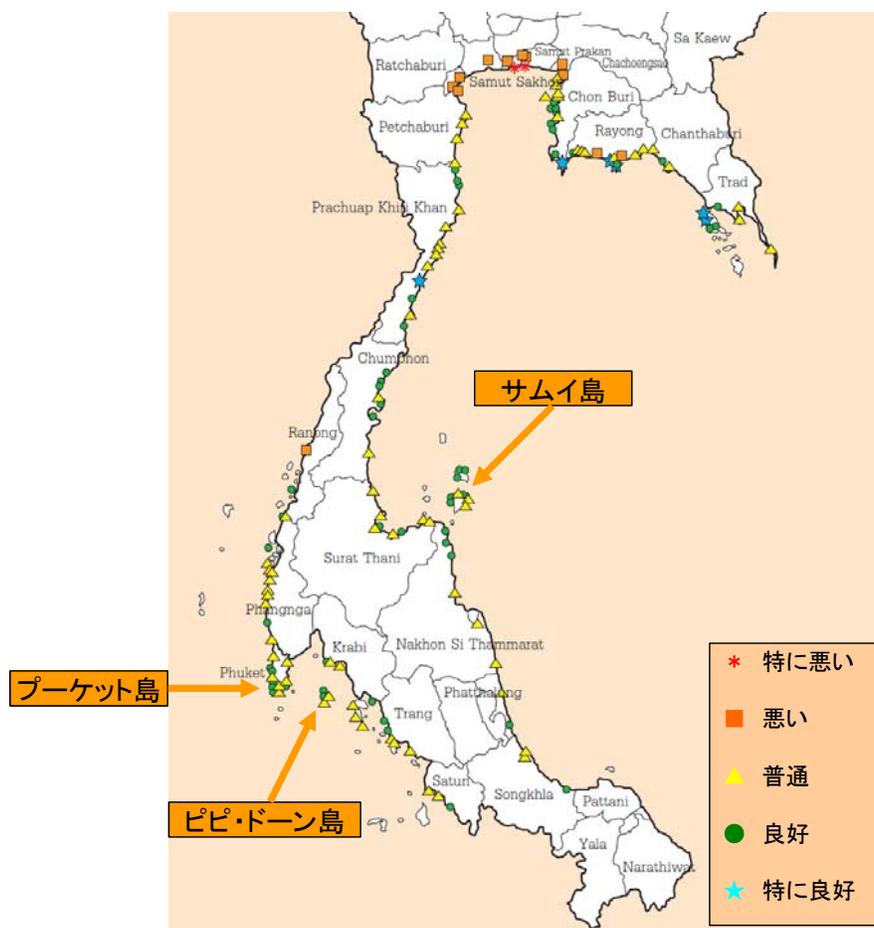


出典: PCD HP より KRI 作成

図 2.4-4. タイ全国の沿岸海水の水質の推移.

全般的に、全大腸菌数 (Total Coliform Bacteria, TCB) と糞便性大腸菌数 (Fecal Coliform Bacteria, FCB) による高レベルの汚染が問題であり、その他に、栄養塩 (硝酸性窒素、全リン、アンモニア態窒素など)、鉄なども沿岸海洋水質基準を超過していた。また、トリブチルスズ (TtriButylTin, TBT) については、サンプリングされた計 32 地点のうち 22 地点で水質基準を超過していることが認められた。4 主要河川 (チャオプラヤ川、タチン川、メークロン川及びバンパコン川) 河口は、特に汚染が深刻であった (図 2.4-5)。

離島リゾート沿岸の水質は、アンダマン海側、タイ湾側の主要リゾートであるプーケット島及びサムイ島、本調査の対象であるピピ・ドーン島は「良好」、「普通」がほぼ半々の結果であった。



出典:PCD HP

図 2.4-5. タイ全国の沿岸海洋の水質 (2005 年).

2.5. クリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism, CDM)

2007年7月6日、タイ王室勅令によりタイ温室効果ガス機構 (Thailand GHG Management Organization, TGO) 委員会がタイ国家指定機関 (Designated National Authority, DNA) として設置された。TGO 委員会は承認レターを3件出しているが、TGO 委員会が設立される以前は、天然資源環境政策計画事務局 (Office of Natural Resources and Environment Policy and Planning, ONEP) がDNAとして15件の承認レターを出している。よって、タイ政府は合計18件の承認レターを発出していることとなる。2008年3月1日現在、5件 (バイオマスプロジェクト4件及びバイオガスプロジェクト1件) が、国連CDM理事会に登録されている。この他、約20のCDMプロジェクトがTGOに提出され、現在承認待ちの状況である。

タイにおける国内政治混乱のため、CDMの承認に遅れが出ていたが、2007年7月にTGO委員会が新たに設立されたので、今後はCDM案件の承認が随時行われると期待される。学者及び政府の専門家がTGOの各部署に配置され、作業を開始する予定であるため、今後の活動が注目される。

2.5.1. 政策

ONEPによると、タイのCDM案件は、エネルギー部門に重点を置いており、エネルギー発電及び利用 (例: バイオマス発電及び再生可能エネルギー)、廃棄物、廃水等エネルギーに関連する環境、エネルギーに関連のある交通 (例: 交通改善)、エネルギーに関連のある工業 (例: 温室効果ガス削減の工業プロセス) が例としてあげられる。タイの国家政策でもエネルギー政策は、最優先事項の一つと位置づけられている。2006年11月21日に閣議承認された国家エネルギー政策及び発展計画はエネルギーの効率的利用及び再生エネルギーの利用強化のためにCDMを利用する旨を述べている。

2.5.2. 組織

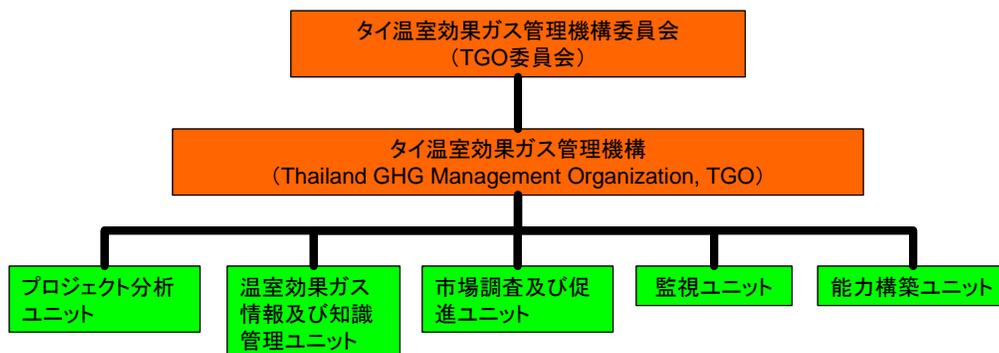
TGO委員会は、持続可能な開発基準を満たしているCDM案件について承認レターの発行を行う。TGO委員会の委員長は、民間部門から選ばれ、TGO委員会は政府及び民間の代表10名により構成される (表2-5.1)。

表 2.5-1. TGO 委員会構成メンバー

| メンバー | 要件 |
|------------|--|
| 委員長(1名) | 専門知識及び運営に関する高度な経験を有するものを内閣が任命 |
| 委員(4名) | 天然資源環境省次官 天然資源環境政策計画事務局局長 代替エネルギー開発及びエネルギー保護局局長 交通運輸政策計画局 |
| 専門委員(5名以内) | 政府および民間で、ビジネス、エネルギー、森林、科学技術、環境維持及び産業の専門知識・経験を有する者の中から大臣が任命 |

出典:IGES CDM 各国情報

TGOの組織は、TGO委員会をトップとし、下部組織としてTGO、TGOにはプロジェクト分析ユニット、温室効果ガス情報及び知識管理ユニット、市場調査及び促進ユニット、監視ユニット、能力構築ユニットの5つのユニットがある。事務局はONEP内におかれ、CDM 実施のための運営事務を担当する他関連省庁からの意見を聴取する（図2.5-1）。

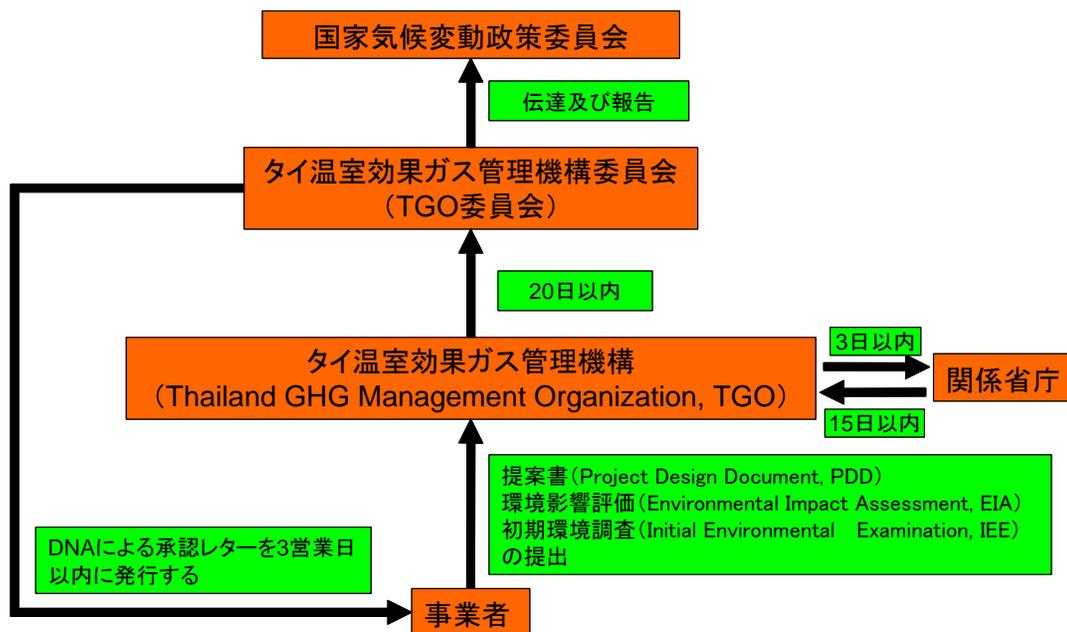


出典:IGES CDM 各国情報

図 2.5-1. TGO 組織図.

2.5.3. CDM承認フロー

CDMの承認フローに関して、TGOは、プロジェクトの事業者の要求を受けてから3営業日以内に、関連書類を関係省庁へ送付する。関係省庁は書類受領後、15日以内にTGOへコメントを行なう。TGOはコメントの集計を行い、20日以内にそれらの書類をTGO委員会に提出する。TGO委員会は、審査終了後、承認の場合は承認レターを事業者に発行し、その旨を国家気候変動政策委員会へ通知する。事業者は審査費用として15,000 THBを支払う。審査委員の報酬として10,000 THB、5,000 THBは種々の経費として使われる（図2.5-2）。



出典: ONEP HP

図 2.5-2. CDM 承認フロー.

2.5.4. 国連に登録されたCDMプロジェクト

2007年3月現在で、国連に登録されたCDMプロジェクトは5プロジェクトあり、バイオマスが4プロジェクト、バイオガスが1プロジェクトである(表2.5.2)。

表 2.5.2. 国連に登録された CDM プロジェクト

| 登録日 | プロジェクト名 | 分野 | 事業国 | 削減量 t-CO ₂ /y |
|------------|---|-------|------|-----------------------------|
| 2007/6/16 | Korat Waste To Energy | バイオガス | イギリス | 310,843 |
| 2007/6/18 | A.T. Biopower Rice Husk Power Project in Pichit, Thailand | バイオマス | 日本 | 70,772 |
| 2007/7/27 | Khon Kaen Sugar Power Plant | バイオマス | イギリス | 61,449 |
| 2007/10/19 | Phu Khieo Bio-Energy Cogeneration project (PKBC) | バイオマス | イギリス | 102,493 |
| 2007/10/19 | Dan Chang Bio-Energy Cogeneration project (DCBC) | バイオマス | イギリス | 93,129 |

出典: <http://www.vcharkarn.com/vcafe/90456>

2.6. 離島観光

観光産業は、2003年の重症急性呼吸器症候群（Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS）問題、2005年の津波の影響を除けば、年々成長している産業であり、タイにとって重要な産業の一つである。

2.6.1. 政策

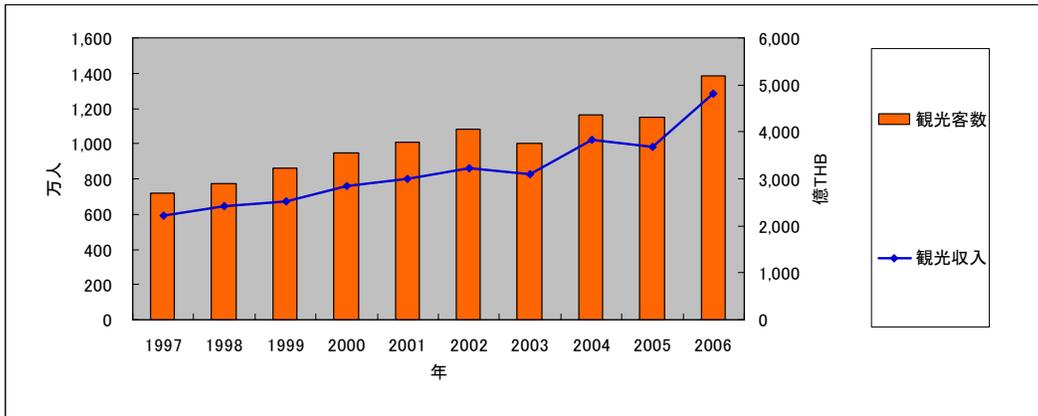
1960年3月18日、観光を振興することのみに特化したタイ観光庁（Tourism Authority of Thailand, TAT）が設立された。観光振興政策は、TATと観光スポーツ省（Ministry of Tourism and Sports, MOTS）が担っている。以前は、観光庁がすべての観光関連施策を進めていたが、2002年10月の省庁再編により、MOTSが誕生した。MOTSは、政策立案や観光地開発、隣国との連携等を行い、TATは国内及び海外における観光広報及びマーケティング等を専門に行う。TATは、チェンマイなど国内22カ所、ニューヨークなど海外15カ所に事務所を持つ。とりわけ、日本には東京、大阪、福岡の3カ所に事務所を構え、日本を重要なマーケットとして活動している。2003年における職員数は876人で年間予算は約33億 THB（約89億円）である。

TATは、2008年の観光事業方針として、現在のマーケットを維持しながら、ロシア、東ヨーロッパ、中東など新市場を開拓すると共に、健康ツアー、ゴルフツアー、ウェディングツアーなど長期休暇を過ごす旅行プランにも力を入れていくと発表した。さらなるタイの観光業の成長を目指し、旅行者からの信頼を得るための治安確保、ツーリストインフォメーションの増設、旅行者への詐欺問題の解決などに取り組んでいる。2007年の実績は、外国人観光市場による収入は5,475億 THBであり、前年比13.5%増であった。2008年には外国人観光客による収入を6,000億 THBとする目標を立てており、将来的に『アジアの観光の中心地（Tourism Capital of Asia）』となることを目指している。

2.6.2. 観光客数

1. タイ全体の観光客数

2006年の外国人観光客総数は約1,380万人であり、1997年の約720万人と比較し、ここ10年余で2倍近くに増加した。収入も、1997年の2,207億 THBから2006年には約2倍の4,823億 THBへと、この10年で飛躍的に増加し、観光産業は名目GDPの約6%を占めるに至っている（図2.6-1）。観光産業はタイにとって外貨獲得のための重要な産業である。



出典：TAT HP より KRI 作成

図 2.6-1. 外国人観光客数と観光収入.

2. 離島の観光客数

タイは多くの離島リゾートを有する。アンダマン海側にはタイ最大のリゾート、プーケット島、調査サイトであるピピ・ドーン島があり、タイ湾側には、湾内で3番目に大きいサムイ島がある（図 2.6-2）。

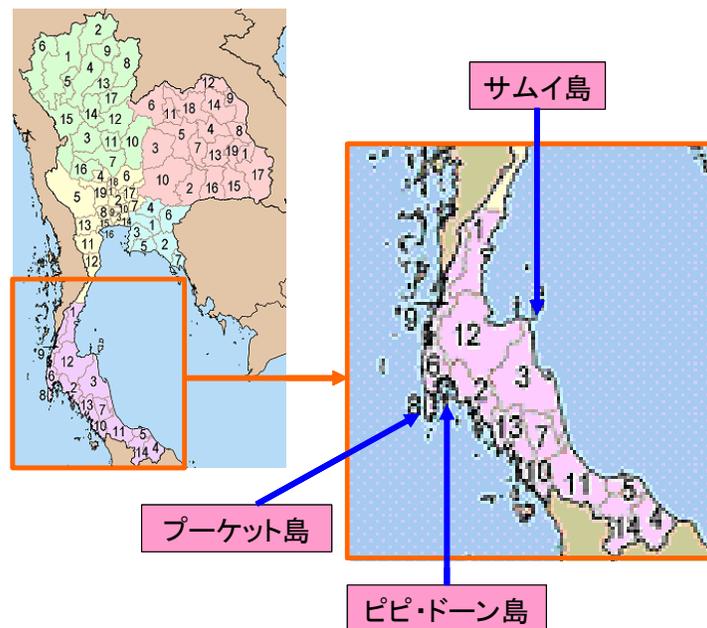
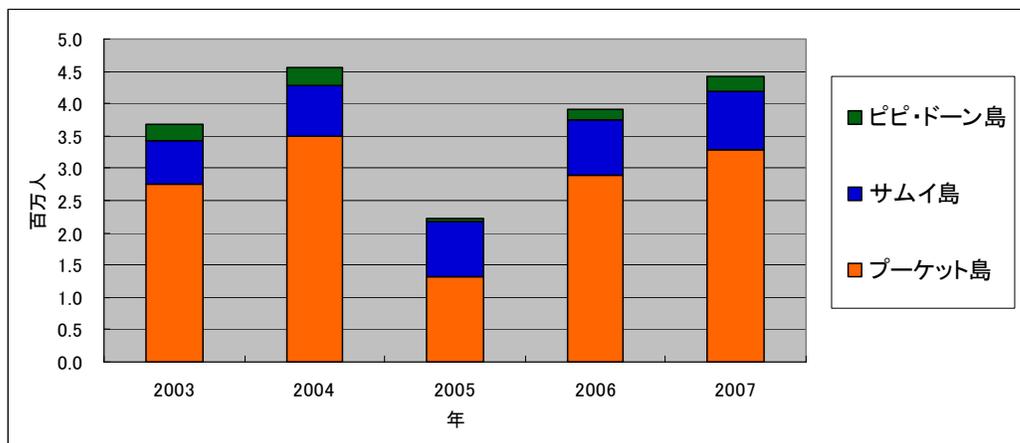


図 2.6-2. タイの離島リゾートの位置.

津波の被害を直接受けたアンダマン海側のプーケット島、ピピ・ドーン島の観光客数は、2005年に一旦減少したものの、徐々に回復し、2007年には津波以前の観光客数に戻った。津波の被害を受けていないサムイ島は、逆に年々観光客数を伸ばしている。2006年におけるプーケット島、サムイ島、ピピ・ドーン島の外国人観光客数はそれぞれ、288万人、87万人、16万人で、3島を合計するとタイ全体の外国人観光客数の約28%に上る（図2.6-3）。



TAT HP より KRI 作成

図 2.6-3. 離島の外国人観光客数.

観光収入に関しては、2007年の外国人観光客からのプーケットの観光収入は807億THB、サムイ島における観光収入は132億THBであった。2島の観光収入の合計はタイ国全体の観光収入の約20%となり、離島観光は観光業にとって重要な産業であることが分かる。

2.6.3. 観光産業による環境問題

上述のように、タイにとって離島リゾートにおける観光産業は外貨獲得のために非常に重要な産業である。年間何百万人も観光客がリゾートを訪れ、美しい自然を満喫する。離島リゾートが持続的に発展するためには、その美しい自然を維持することが最も重要であるが、近年では環境悪化を指摘する報告もある（国学院大学 荒木ら <http://kuin.jp/chuma/report03-5.htm>）。

本報告で提案するシステムは、離島において問題となる廃棄物処理、地下水汚染の問題を解決する。さらに、島内で発生する廃棄物を利用して発電を行なうことで、従来は島外から運搬していた化石燃料の使用量を削減し、大幅に二酸化炭素の排出量を削減することが可能である。当該システムは、日本側にもリゾート側にもメリットの

あるコベネフィット型のシステムであり、離島リゾートの持続可能な発展のためには理想的なシステムである。

第3章 燃料電池を用いたバイオマス発電システム

本章では、ピピ・ドーン島のリゾート施設で発生する生ゴミなどのバイオマスをエネルギー化するバイオマスシステム（プラント設備）の検討を行う。プラント設備は、バイオマスをエネルギー化（バイオガス化）するエネルギー化プラント設備と、得られたエネルギーを電力に変換するバイオガス発電設備に大別される（図 3.1-1）。メタン発酵設備は、国内外で導入実績が多い、湿式メタン発酵設備を中心に検討を行う。バイオガスを電力に変換するバイオガス発電装置は、上市されている国産燃料電池を中心に、他の発電装置とも比較を行いながら検討を行う。

なお、当該プラント設備では、当該設備から排出される固形分（敷き藁、余剰汚泥など）をリゾート内に既設堆肥化設備で堆肥化（リゾート内で消費する花卉類栽培圃場へ還元）、メタン発酵に必要な希釈水（淡水）は、余剰の液肥を還流することで代替することを想定している。

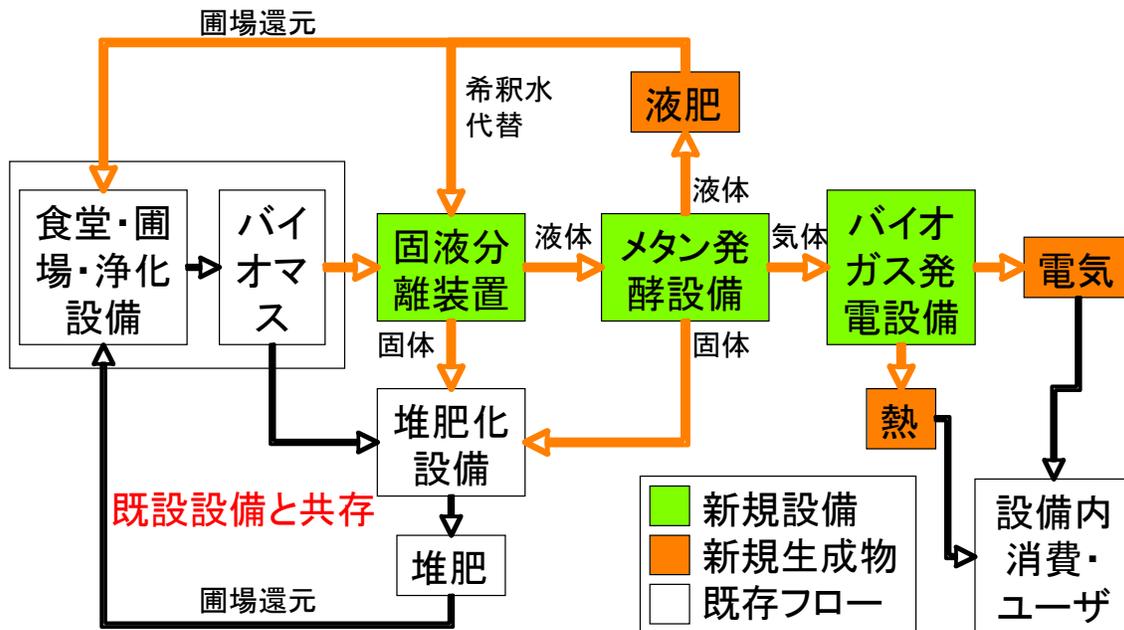


図 3.1-1. バイオマスシステム(プラント設備)の物質フロー.

バイオマスシステム（プラント設備）の導入は、ピピ・ドーン島リゾートに賦存するバイオマス資源を総合的に活用することによって、エネルギー、有機資源、淡水資源などが持続的に循環する環境調和型循環社会の構築を可能とする。最終的には、リゾートなど観光産業振興及び島及びリゾートの発電コスト及び環境負荷の低減並びに淡水資源の品質を確保し、安定した島民生活の維持が可能である。

現在、ピピ・ドーン島においても、豊かな社会生活を維持するには、何らかの形で大気、水圏、土壌などへ負の影響を与える環境負荷物質の発生に寄与せざるを得ない

状況にある（図 3.1-2）。

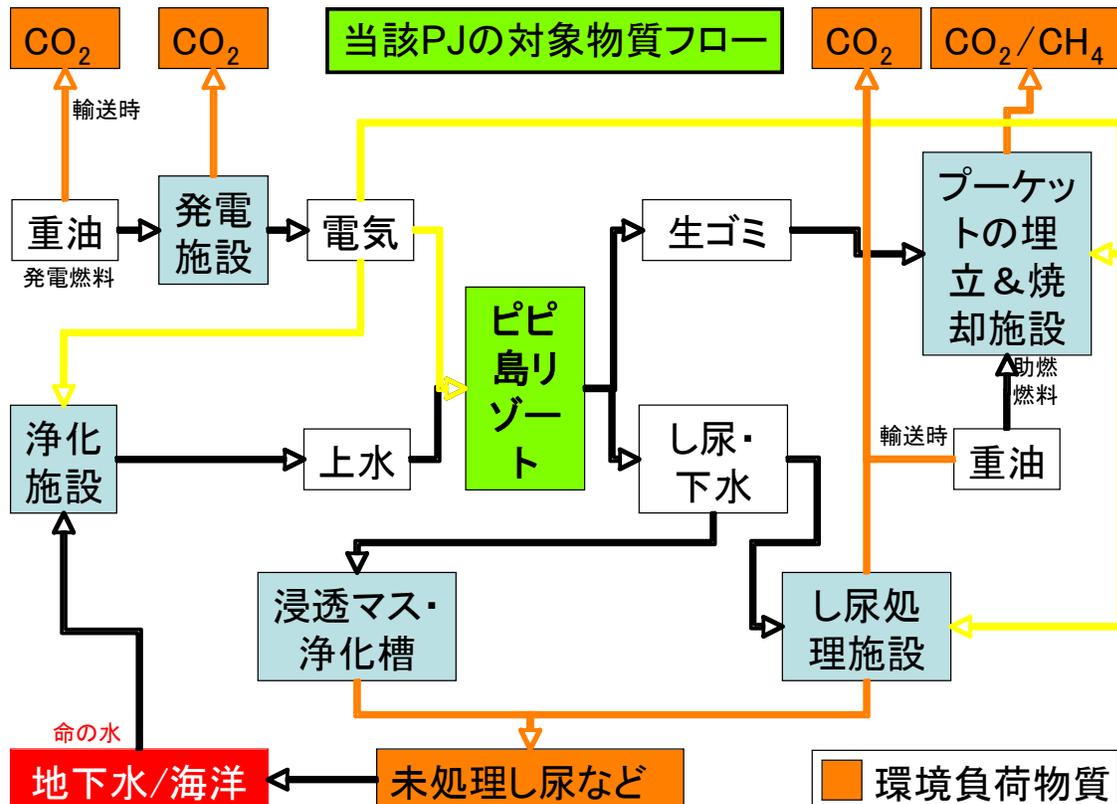


図 3.1-2. ピピ・ドーン島リゾートにおける環境負荷物質の発生源。

生活の質を維持するためには、電気や水や自家用車の使用は不可欠であるし、生活をしていけば、ゴミや排泄物の排出を抑制することは難しい。さらに、リゾート運営では、島を訪れる観光客のために大量のエネルギーと淡水を必要としている。

3.1. メタン発酵設備

メタン発酵設備は、農業に関する技術が高い欧州を中心に開発・普及しており、既に技術的に確立されている。国内においても、バイオマスの有効資源化の観点から、メタン発酵設備の導入・普及が畜産設備、食品工場や浄水場などで進んでいる。本項では、ピピ・ドーン島リゾートへの導入に適したメタン発酵設備の検討を行う。

メタン発酵設備は、滞留時間の短縮（通常数週間）や分解効率の向上を目指して、メタン発酵槽の温度を 60℃以上の高温（通常メタン発酵は 35℃程度、高温メタン発酵でも 55℃程度）に保つ事で高効率化（高温耐性メタン生成菌、高分解性微生物、高メタン生成菌などの探索・育種）するものや、発生する余剰な汚泥をオゾンによって分解し、余剰汚泥量を減少させるシステムなどが検討され、研究開発が進んでいる。

しかし、ピピ・ドーン島のリゾートへ導入するメタン発酵設備を検討する際には、導入想定地のリゾート施設のバックヤードは広いため、コンパクトで複雑な設備（高額・高技術）よりもシンプルな設備（低額・高信頼）で、且つメンテナンス費用が安価である事が重要であると思われる。また、ピピ・ドーン島リゾートへ導入するメタン発酵設備を検討する際には、ピピ・ドーン島リゾート内の淡水資源に制限があるため、希釈水の必要量も検討しなくてはならない。

3.1.1. メタン発酵設備の現状

メタン発酵設備は、湿式（固形分として約 6-10%）メタン発酵設備と乾式（固形分として約 25-40%）発酵設備に大別され、さらに発酵温度によって中温（約 35℃前後）発酵、高温（約 55℃前後）に分類されている（表 3.1-1）。

表 3.1-1. 国内導入されている主なメタン発酵設備

| 発酵方法 | 湿式 | | | | 乾式 | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|
| | 中温 | | | 高温 | 高温 | | |
| 主なメーカー | 三機工業 日立造船 三井造船 大林組 | コーンズ・エー ジー | JFEエンジ 神鋼環境ソ リユーション | 鹿島建設 | アタカ大機 荏原製作所 住友重機械工業 クボタ 三機工業 | 川崎重工 クボタ タクマ 日立造船 IHI NKK NSC 三井造船 | 栗田工業 |
| 基本技術 | エンテック (オーストリア) | シュマック・バ イオガス社(ド イツ) | ビガダン社(デ ンマーク) | 自社開発 | サイテック社(フ ィンランド) | コガス(元 ピューラー) (スイス) | O.W.S.(ベル ギー) |
| 導入事例(実 証) | 基本仕様 | 北海道A牧場 | 基本仕様 | 兵庫県・神戸 市 | 長野県・下伊那 郡 | 京都府・京都 市 | 鹿児島県・屋 久町 |
| 資源の種類と 投入規模 | 生ごみ 55 t/d (設計値) | 牛糞尿 18 m ³ /d(設計値) | 家畜糞尿 有機産廃 計 100 t/d(設計 値) | 生ごみ 6 t/d (設計値) | し尿 10 kL/d 浄化槽汚泥 6 kL/d 収集ごみ 4 t/d 事業系ごみ 4 t/d(設計値) | 生ごみ・剪定 ごみ・紙 計 3 t/d(設計値) | 豚糞尿 0.4 t/d、可燃ごみ 0.2 t/d、生ご み 0.07 t/d、 計 0.7 t/d(設 計値) |
| バイオガス発 生量 | 4,000 Nm ³ /d (目標値) | 600 Nm ³ /d (設計値) | - | 1,200 Nm ³ /d (目標値) | 135 Nm ³ /d (目標値) | 300 Nm ³ /d (目標値) | 88 Nm ³ /d (実績値) |
| バイオガス発 生効率(試算 値: 発生量/投 入量) | 73 Nm ³ /t-生 ごみ | 33 Nm ³ /m ³ -牛 糞尿 | - | 200 Nm ³ /t-生 ごみ | 403 Nm ³ /t- CODcr | 100 Nm ³ /t-投 入量 | 135 Nm ³ /t-投 入量 |
| メタン濃度 | 60%(設計値) | - | - | 65%(設計値) | 67%(実績値) | 60%(設計値) | 52%(実績値) |

これらのメタン発酵設備は、農業技術の高い欧州で開発されており、国内メーカーがメタン発酵設備を設計・販売していても、コア技術は海外メーカー由来であることが殆どである（図 3.1-3）。

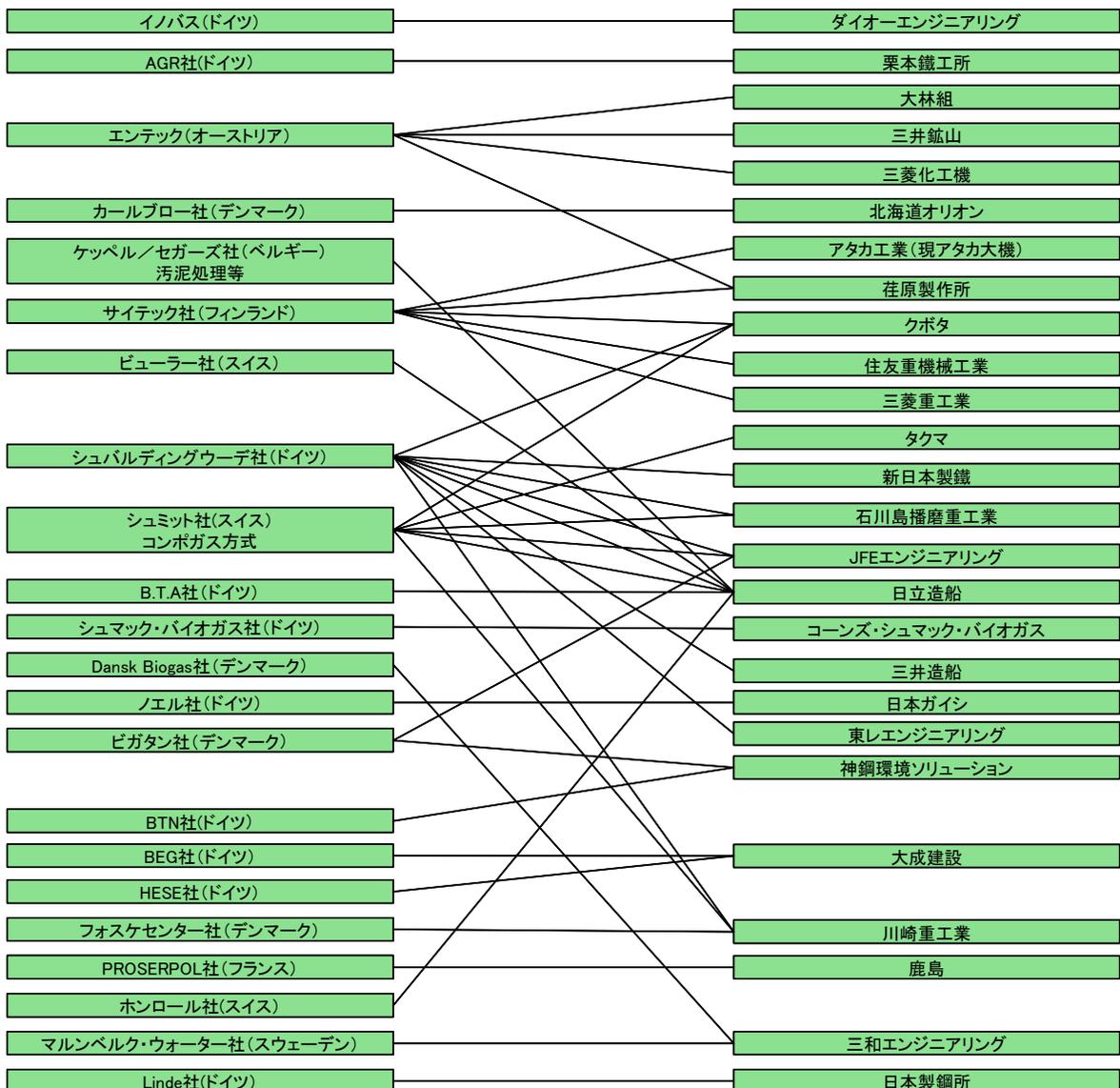


図 3.1-3. メタン発酵設備の国内外メーカーの相関。

また、湿式を中心に国内外を問わず数多くの実証研究・導入実績があることから、技術的な課題は乏しいと思われる。尚、希釈水を必要としない乾式メタン発酵設備に

については、エネルギーを多量に消費すること、実機の導入例が少ないことなどから、導入例を検討するに止めた。同様に、高温メタン発酵は、年平均気温の高いピピ・ドーン島リゾートといえども、発酵槽の温度を維持するのに多くのエネルギーを消費し、且つ設備を維持するのに高い技術を必要とするので、導入例を検討するに止めた。

ピピ・ドーン島リゾートへ導入するメタン発酵設備を検討する際には、限りある淡水資源を有効に活用するためにも、希釈率が低くても高効率でメタン発酵が行われることが必要であると思われる。また、地下水質の維持・向上を目的として、固液分離後の残渣（堆肥施設で堆肥化）、メタン発酵後の処理液（液肥）ともリゾート内で使用する花卉類を栽培している圃場に還元することが必要である（図 3.1-1）。

そこで、メタン発酵設備の現状を把握する為に、既に国内に導入されておりメタン発酵設備について分析・検討を行った。メタン発酵設備には、ピピ・ドーン島リゾートで利用が想定されている生ゴミと下水汚泥をバイオマス原料とするシステムを抽出してリスト化、1日の処理トン数と処理数トンあたりの設備価格について分析を行った（表 3.1-2）。尚、便宜上、処理トン数あたりの設備価格の分析を行ったが、その経費負担の方法や分担先は検討が必要である。

表 3.1-2. 導入済みのメタン発酵設備一覧

| 主たるバイオマス | 事業費 千円 | 処理量 | 単位 | 単価 | |
|----------|-----------|--------|-------------------|-------------------|-----------|
| | | | | 千円/m ³ | 千円/t |
| 食品工場廃水 | 19,600 | 11,000 | m ³ /d | 2 | 1,782 |
| 食品工場廃水 | 263,300 | 5,800 | m ³ /d | 45 | 45,397 |
| 食品工場廃水 | 415,000 | 5,500 | m ³ /d | 75 | 75,455 |
| 食品工場廃水 | 700,000 | 7,000 | m ³ /d | 100 | 100,000 |
| 食品工場廃水 | 650,000 | 6,400 | m ³ /d | 102 | 101,563 |
| 食品工場廃水 | 500,000 | 4,100 | m ³ /d | 122 | 121,951 |
| 食品工場廃水 | 700,000 | 5,000 | m ³ /d | 140 | 140,000 |
| 食品工場廃水 | 71,121 | 245 | m ³ /d | 290 | 290,290 |
| 食品工場廃水 | 200,820 | 480 | m ³ /d | 418 | 418,375 |
| 食品工場廃水 | 505,000 | 700 | m ³ /d | 721 | 721,429 |
| 食品工場廃水 | 450,000 | 470 | m ³ /d | 957 | 956,633 |
| 食品工場廃水 | 400,000 | 300 | m ³ /d | 1,333 | 1,333,333 |
| 食品工場残渣 | 1,800,000 | 700 | t/d | 3 | 2,571 |
| 食品工場残渣 | 77,630 | 18 | t/d | 4 | 4,313 |
| 食品工場残渣 | 1,470,000 | 300 | t/d | 5 | 4,900 |
| 生ゴミ | 170,000 | 15.0 | t/d | 11 | 11,333 |
| 生ゴミ | 1,640,000 | 50.0 | t/d | 33 | 32,800 |
| 生ゴミ | 957,264 | 22.0 | t/d | 44 | 43,512 |
| 生ゴミ | 928,790 | 16.0 | t/d | 58 | 58,049 |
| 生ゴミ | 1,460,000 | 24.4 | t/d | 60 | 59,836 |
| 生ゴミ | 300,000 | 5.0 | t/d | 60 | 60,000 |
| 生ゴミ | 2,300,000 | 23.0 | t/d | 100 | 100,000 |
| 生ゴミ | 150,000 | 1.0 | t/d | 150 | 150,000 |
| 生ゴミ | 509,325 | 3.0 | t/d | 170 | 169,775 |
| 生ゴミ | 550,000 | 3.0 | t/d | 183 | 183,333 |
| 生ゴミ | 5,528,970 | 4.8 | t/d | 1,152 | 1,151,869 |
| 生ゴミ・汚泥など | 111,720 | 4.8 | t/d | 23 | 23,130 |
| 生ゴミ・汚泥など | 3,270,000 | 93.4 | t/d | 35 | 35,011 |
| 生ゴミ・汚泥など | 1,200,000 | 30.0 | t/d | 40 | 40,000 |
| 生ゴミ・汚泥など | 3,633,000 | 42.0 | t/d | 87 | 86,500 |
| 生ゴミ・汚泥など | 2,321,376 | 10.0 | t/d | 232 | 232,138 |
| 生ゴミ・汚泥など | 2,208,822 | 5.0 | t/d | 442 | 441,764 |

NEDOバイオマスエネルギーデータブックよりKRI作成

また、多くの設備で、固形分は堆肥化、液体分の液肥は、原料の希釈水として循環させていることがわかった。よって、ピピ・ドーン島リゾートに導入するメタン発酵設備は、島内に賦存する生ゴミ、し尿・汚泥を活用できることが必要である。

また、メタン発酵設備の設備コストは、処理規模（計画処理量）が大きくなると、バイオマス単位重量あたりの設備コスト（建設費単価）が減少し、スケールメリットの存在が確認された。

尚、実際の維持管理費は、設置場所、設備仕様や原料バイオマスの別によっても総事業費の0.3-11.4%と大きく異なるので、システム設計やメーカー選定においては細心の注意が必要である（表 3.1-3）

表 3.1-3. 総事業費に占める維持管理の割合例

| | 単位 | 汚泥再生処理 | | 畜産実証設備 | |
|---------------|------|-----------|-----------|--------|---------|
| | | 新潟 | 奈良 | 北海道 | 京都 |
| 処理能力 | t/d | 248 | 81 | 4 | 46 |
| 総事業費 | 千円 | 8,715,000 | 3,578,862 | 32,000 | 568,000 |
| 維持管理費 | 千円/年 | 371,496 | 172,168 | 96 | 64,895 |
| 総事業費に占める維持管理費 | % | 4.3 | 4.8 | 0.3 | 11.4 |

3.2. バイオガスを利用可能な発電設備

本項では、ピピ・ドーン島リゾートで発生するバイオマスを原料に、メタン発酵設備によるバイオガス（主成分はメタンガス）製造を行い、バイオガスを燃料に利用可能なバイオガス発電設備を比較検討して検討する。バイオマスを出発原料とする発電は、ピピ・ドーン島リゾートでは年間を通じて牛糞や生ゴミが一定量得られること、メタン発酵技術は安定してバイオガスを製造することが可能なこと、得られたバイオガスは容易に貯蔵することが可能なことなどから、新エネルギーを使用しているにも関わらず、安定した電力供給システムになると考えられる。特に発電設備に燃料電池を用いることで、高効率且つオイル交換などメンテナンスが少なく年間稼働時間が長いシステムの構築が可能であった。さらには、太陽光発電、風力発電などの変動電源と組み合わせることで、変動電源の変動を吸収するバッファ機能として適用することも可能であると思われる。

3.2.1. バイオガスの特性

バイオマスをメタン発酵して得られるバイオガスは、使用する原料バイオマスの性状やメタン発酵の種類などによって異なるが、概ねメタンが60%程度含まれている

(表 3.2-1)。また、バイオガスを発電用燃料として用いる場合には、硫化水素やシロキサンなどを除去する脱硫や精製プロセスが必要となる。

表 3.2-1. 様々な装置から発生するバイオガスの特性

| 成分 | 設置地域 バイオマス 単位 | 関西 | 北海道 | 関東 | 東北 | 東北 |
|-----------|---------------------|-------|------|----------|-------|-------|
| | | 生ゴミ | 家畜糞尿 | ビール廃水 | 下水汚泥 | 生ゴミ |
| メタン | % | 55-60 | 53.2 | 65-75 | 60 | 60 |
| 二酸化炭素 | % | 45-40 | 33.4 | 25-35 | 40 | 40 |
| 窒素 | % | - | 6.13 | - | - | - |
| 酸素 | % | - | 1.26 | - | - | - |
| 硫化水素 | ppm | 654 | 514 | Max.5000 | - | - |
| 水素 | ppm | 0.1 | - | - | - | - |
| 塩化水素 | ppm | 5.5 | - | - | <1000 | <1000 |
| アンモニア | ppm | 27.6 | - | <1 | <1 | <200 |
| メチルメルカプタン | ppm | - | ND | - | - | - |
| 硫化メチル | ppm | - | ND | - | - | - |
| 二硫化メチル | ppm | - | ND | - | - | - |
| 塩類 | ppm | - | - | Max.30 | - | - |
| シロキサンD4 | ppm | - | - | - | - | - |
| シロキサンD5 | ppm | - | - | - | - | - |
| シロキサンD6 | ppm | - | - | - | - | - |

3.2.2. バイオガスを利用可能な発電装置の比較

家畜糞尿や厨芥などのバイオマスをメタン発酵して得られるバイオガス（メタン濃度約 60%の低カロリーガス）を燃料に発電が可能な発電装置を検討した。現在、バイオガスに適用可能な発電装置は多岐にわたり、ガスエンジンを始め、デュアルフェューエルのディーゼルエンジン、燃料電池やガスタービン（マイクロガスタービン）が実証実験、商用に供されている。これらの発電装置は、各々長所・短所を併せ持ち一概に比較することが難しいが、極めて一般的な項目で分類・比較を行った（表 3.2-2、図 3.2-1）。ピピ・ドーン島リゾートへの導入に際しての比較は後述する。当該システムに用いる燃料電池は、バイオガスの適用実績もあり、適用に際する技術的な課題は少ない。なお、ガスエンジンを製造、販売するメーカー数社にヒアリングを行ったが、一般にバイオガスを用いることでガスエンジンのメンテナンスコストが増加することが分かった。さらに、バイオガスが低カロリーガスであるので、ガスエンジンの場合 100 kW を発電するためには約 200 kW の設備容量が必要となる。

表 3.2-2. バイオガスを燃料に使用可能な発電装置

| 項目 | 燃料電池(りん酸型)発電 | ガスエンジン発電 | ガスタービン発電 | ディーゼルエンジン発電 |
|--------|---|--|--|--|
| 燃料 | 天然ガス、メタノール、LPG、灯油、ナフサ、バイオガス | 天然ガス、都市ガス、LPG、下水消化ガス、バイオガス | 灯油、A重油、LPG、バイオガス | 灯油、A～C重油、バイオガス |
| 出力範囲 | スタック 50～200 kW程度 | 15～1,200 kW | 400～100,000 kW | 100～13,000 kW |
| 発電効率 | 40～45% | 25～35% | 20～30% | 32～40% |
| 排熱回収形態 | 低温(60度C)、高温(90度C)の温水 | 排ガス: 温水または蒸気 冷却水: 温水または蒸気 | 排ガス: 温水主として蒸気 | 排ガス: 温水または蒸気 冷却水: 温水 |
| 総合効率 | 80%以上 | 75～85% | 70～80% | 70～80% |
| 排気煙(煤) | 無し | 有り | 有り | 有り |
| 騒音 | 65 dB | 100 dB(A)前後 102～105 dB | 高周波域が高い 105～110 dB | ディーゼルよりやや少 95～97 dB |
| 振動 | | 防振対策必要 | 防振対策不要 | 防振対策必要 |
| 価格 | 比較的高い | ガスタービンより安い | 比較的高い | ガスエンジンより安い |
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・CO含有率に制限 ・白金触媒使用 ・排熱利用が可能 ・中温型 ・オンサイト型 ・作動温度190～220℃ ・国内実績140基以上 | <ul style="list-style-type: none"> ・排ガスがクリーンであるので ・熱回収が容易 ・三元触媒による脱硝可能 ・排気の清浄化可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・発電効率が高い ・冷却水不要 ・定期点検(1回/年)義務付け ・小型軽量 | <ul style="list-style-type: none"> ・発電効率が高い ・実績が豊富 ・部分出力時の効率低下が少ない ・三元触媒による脱硝難 |

また、各々の発電設備に同熱量の燃料を投入した場合、発電効率の差異によって発電量が異なる(図 3.2-2)。また、内燃系の発電設備では、排気ガスのNO_x、SO_xなどの環境対策が必要となることが多いが、燃料電池は、前処理工程でガスを精製すること、反応温度が200℃と低いことなどから、排気ガスの環境対策は不要である。

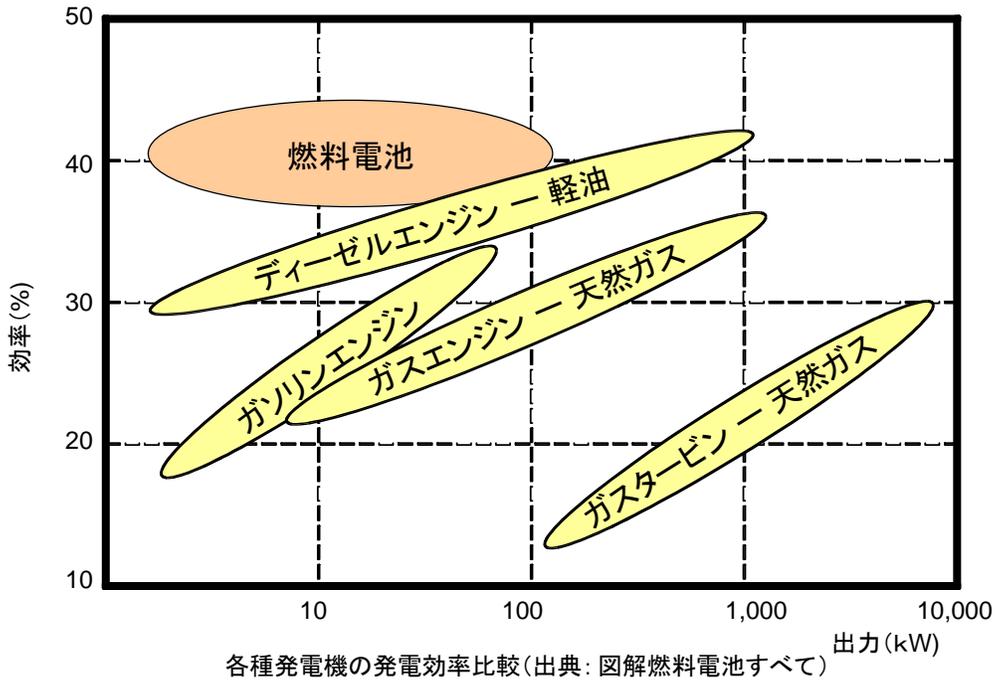


図 3.2-1. 様々な発電設備の規模と効率.

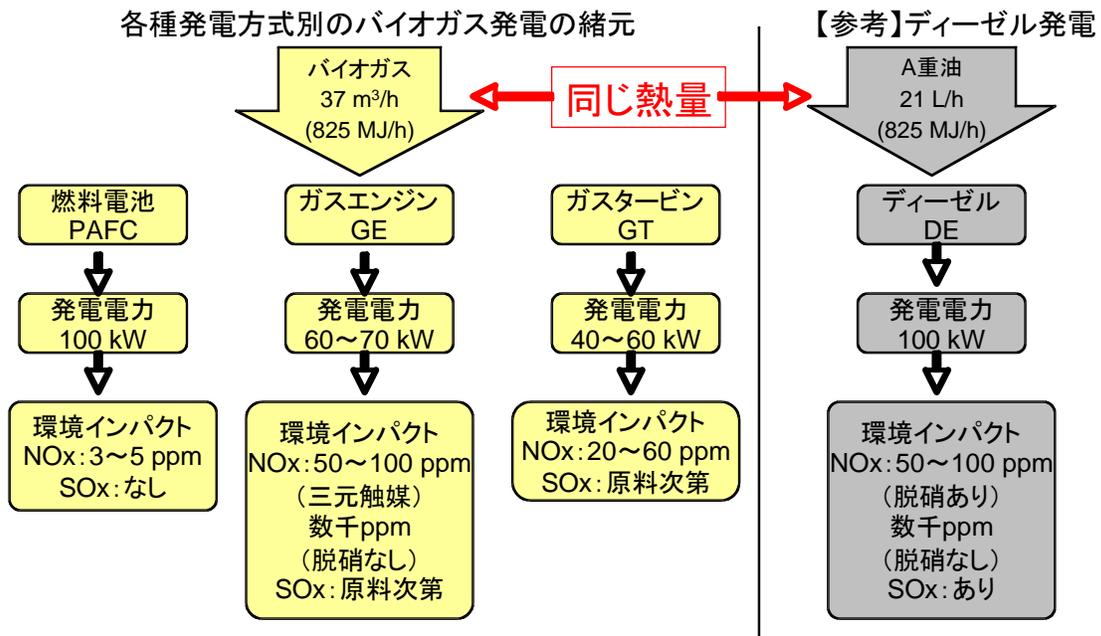


図 3.2-2. バイオガス発電設備による発電量などの差異.

ガスエンジン発電装置は、小規模メタン発酵設備などに導入が進んでいる。そこで、実際に稼働している設備をバイオマスエネルギー導入ガイド (NEDO)、メタン発酵情報資料集 2006 ((財) 廃棄物研究財団メタン発酵研究会) などより抜粋し、バイオマスの単位重量当たりのバイオガス (メタン主成分) 効率で整理した (表 3.2-3)。尚、150 Nm³/t 以上の設備効率であれば、環境省循環型社会形成推進交付金高効率原燃料回収施設 (交付率 1/2) に申請が可能となり、それ以下では同ごみメタン化施設 (同 1/3) として申請が可能となる。

各々の実施例は、バイオマス種、メタン発酵方法、発電設備、処理の規模などが異なるため、厳密な意味での比較は困難であるが、バイオマスの単位重量当たりのバイオガス発生効率を見ると、値が高いバイオマスは、生ゴミや食品残渣などの食品系廃棄物であり、逆に値が低いバイオマスは家畜糞尿などである事が分かる。

表 3.2-3. バイオガスを使用できる発電装置の導入事例

| バイオマス種 | 処理量 t/d | バイオガス Nm ³ /d | 発電設備 kW | 効率 | 効率 |
|-----------|------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | Nm ³ /t | kW/Nm ³ |
| 汚泥+生ゴミ | 10.0 | 3,340 | 80 不明 | 334.0 | 0.02 |
| 食品残渣 | 23.0 | 5,000 | 400 不明 | 217.4 | 0.08 |
| 動物性皮革廃水 | 4.8 | 846 | 20 ガスエンジン | 175.2 | 0.02 |
| 生ゴミ | 1.0 | 160 | 19 不明 | 160.0 | 0.12 |
| ジャガイモ皮 | 5.2 | 700 | 30 不明 | 134.6 | 0.04 |
| 生ゴミ+厨芥 | 16.0 | 1,928 | 94 47×1 | 120.5 | 0.05 |
| 食品廃棄物 | 24.4 | 2,500 | 90 マイクロガスタービン | 102.5 | 0.04 |
| 厨芥 | 3.0 | 300 | 50 ガスエンジン | 100.0 | 0.17 |
| 生ゴミ | 22.0 | 1,576 | 112 28×4 | 71.6 | 0.07 |
| 食品残渣+下水汚泥 | 40.0 | 1,700 | 130 不明 | 42.5 | 0.08 |
| 乳牛糞尿 | 13.0 | 550 | 65 デュアルフューエル | 42.3 | 0.12 |
| 家畜糞尿など | 5.0 | 181 | 30 マイクロガスタービン | 36.2 | 0.17 |
| 乳牛糞尿 | 2.6 | 80 | 30 不明 | 30.8 | 0.38 |
| 乳牛糞尿 | 3.6 | 110 | 11 燃料電池1、ガスエンジン9.8 | 30.6 | 0.10 |
| 乳牛糞尿 | 10.0 | 300 | 50 ガス25、デュアルフューエル25、温水ボイラー熱出力20 | 30.0 | 0.17 |
| 家畜糞尿など | 86.0 | 2,436 | 220 ガスエンジン70×2、80×1 | 28.3 | 0.09 |
| 乳牛糞尿 | 25.5 | 720 | 130 50+80 | 28.2 | 0.18 |
| 乳牛糞尿 | 50.0 | 1,200 | 567 ガスエンジン65×3、ガスボイラー186、補助熱源重油186 | 24.0 | 0.47 |
| 泡盛蒸留粕など | 18.0 | 150 | 10 ガスエンジン | 8.3 | 0.07 |
| し尿汚泥 | 79.6 | 355 | 70 不明 | 4.5 | 0.20 |

出典：NEDOバイオマスエネルギー導入ガイドブックより抜粋

3.2.3. 燃料電池の特徴

燃料電池は、電気化学的に燃料の酸化と酸化剤の還元を行い、化学エネルギーを電気および熱エネルギーに直接変換するシステムである。燃料電池の歴史は古く、1839

年のイギリスのグローブ卿が行った実験が始まりと言われている。

燃料電池では、基本的に酸化剤（空気）で酸化される気体や液体の燃料があれば、すべて発電に使用することが可能である。様々な燃料を燃料電池に使用した場合の25°Cにおける熱力学データ、酸素を酸化剤として燃料電池を作動させた時の理論電圧および後述する理論的な電気エネルギーへの変換効率を示す（表 5-2-4）。いずれの燃料も理論電圧は1ボルト程度であるが、電気エネルギーへの理論変換効率は水素で83%、他の燃料では約90%以上であり、室温作動のシステムとしては非常に高いものとなっている。他の発電装置が熱機関と言われるように、燃料が有する化学エネルギーを、熱エネルギー、機械エネルギー、電気エネルギーという段階を経て変換されるのに比べて、燃料電池は、直接変換のため、理論上変換ロスが少なく発電効率が非常に高い発電装置であることが特徴である。また、出力の大小にかかわらず高効率であり、定格運転から外れた部分負荷運転においても、効率が大きく下がらないことも特徴である。

表 3.2-4. 各種燃料の酸化反応・理論起電力・理論効率(25°C)

| 燃料 | 反応 | ΔH° (kJ/mol) | ΔG° (kJ/mol) | 理論起電力 (V) | 理論効率 (%) |
|------------|--|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|
| 水素 | $H_2(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ | -286 | -237 | 1.23 | 83 |
| メタン | $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$ | -890 | -817 | 1.06 | 92 |
| 一酸化炭素 | $CO(g) + 1/2O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ | -283 | -257 | 1.33 | 91 |
| 炭素(グラファイト) | $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ | -394 | -394 | 1.02 | 100 |
| アンモニア | $NH_3(g) + 3/4O_2(g) \rightarrow 3/2H_2O(l) + 1/2N_2(g)$ | -383 | -339 | 1.17 | 89 |

出典: 化学便覧基礎編より

燃料電池は、基本的に水素と酸素を電気化学的に反応させて電力を発生させるため、熱機関に存在する燃焼過程が存在しない。よって、燃料電池では、設備から排出されるのは水だけであり、燃焼に伴う高温状態で発生する窒素酸化物の発生はほとんどなく、極めてクリーンな発電設備である。また、エンジンなどの内燃機関で見られる爆発現象はなく、騒音、振動の原因となる大型の回転機器、可動部分もないので静かな発電装置である。

表 3.2-5. 主な燃料電池の特徴

| 燃料電池の種類 | りん酸形 (PAFC) | 熔融炭酸塩形 (MCFC) | 固体高分子形 (PEFC) | 固体酸化物形 (SOFC) |
|---------|--|---|----------------|---|
| 温度(°C) | 160~210 | 600~700 | 60~80 | 900~1,000 |
| 燃料 | H ₂ | H ₂ , CO | H ₂ | H ₂ , CO |
| 酸化剤 | 空気 | 空気, CO ₂ | 空気 | 空気 |
| 電解質 | 高濃度 H ₃ PO ₄ 水溶液 | Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ Li ₂ CO ₃ /Na ₂ CO ₃ | 陽ion交換膜 | ZrO ₂ (Y ₂ O ₃) |
| 電荷担体 | H ⁺ | CO ₃ ²⁻ | H ⁺ | O ²⁻ |
| 電極材料 | Pt/C | Ni NiO | Pt/C | Ni LaNiOx |

これらの特徴から、新しい時代を担う発電設備として期待され、我が国においても開発が進められてきている。

燃料電池には、使用する電解質により、りん酸形(Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC)、熔融炭酸塩形 (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)、固体高分子形 (Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC)、固体酸化物形 (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) などに分類され、我が国においても各々開発が進められている (表 3.2-5)。

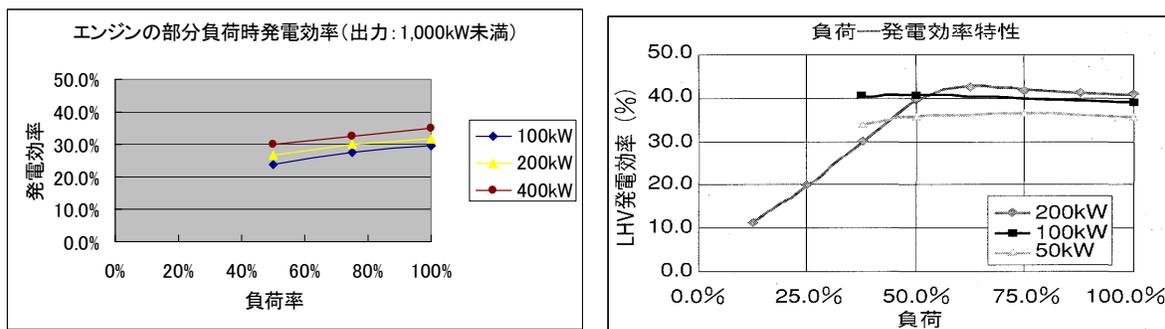
これらの燃料電池の中でも PAFC が最も先行して商用化されている。米国 UTC 社と (株) 東芝の合弁会社である IFC 社 (現 UTCFC 社) によって 200 kW 商用機 (PC-25C) の出荷が 1995 年から開始され、富士電機 (株) は 100 kW 第一次商品機 (40,000 時間対応) を 1998 年から、2001 年には第二次商品機 (60,000 時間対応) を出荷開始している (表 3.3-1)。UTCFC 社は、(株) 東芝が PAFC から撤退したことを受けて、拡販を進めていないが、拡販を再開するとの情報もある。

一方、より高温型の MCFC は、米国 FCE 社によって 250 kW 機が 2002 年から出荷が開始されている。石川島播磨重工業 (株) 製の国産機については 2005 年愛知万博のエネルギーセンターに導入され、万博期間中に電力と熱の供給を行い、性能を実証したところであるが、商用機出荷まではもう少し時間が必要と思われる。その他の方式の燃料電池では、PEFC は自動車搭載用として開発が進み、リース形式で商品化されているが、本格的な商用機とは、かなり性質が異なっている。また、家庭用分散電源として、1 kW 機がリース形式で個人住宅などに設置されているが、これも実証機での利用データ取得が主目的であり、本格的な商用機とは性質が異なる。SOFC は、多くの企業・研究機関で要素技術やシステム開発が進んでいるが、いわゆる商用化には至っていない。

よって、現状において、本格的な商用燃料電池システムで国産タイプも存在するの

は、PAFC が唯一の方式であり、当該調査では PAFC を対象としてピピ・ドーン島リゾートへの導入に適した新エネルギーシステムの構築を行うこととする。無論、その他の燃料電池が商用化された段階に至れば、目的に応じて選定して適用することが可能となる。

また、当該 PAFC は、最小出力が 40 kW であり、最小出力の 40 kW から最大出力の 100 kW に出力を増加させるために要する時間は約 6 分間で可能としており、部分負荷運転でも効率を低下させずに発電を行える設備である（図 3.2-3）。



出典: ガスコージェネレーションシステム資料KRI作成

出典: 図解燃料電池の全てより

図 3.2-3. 発電装置の部分負荷運転時の発電効率。

3.3. PAFC の特徴

前節で既述の通り、PAFC は、富士電機社によって市販され、導入が進んでいる。富士電機社製 PAFC は、大別して、改質器、CO 変成器、燃料電池本体（スタック）、インバータで構成されている（図 3.3-1）。

PAFC は、200℃付近で運転されるプロトン伝導性電解質（濃厚りん酸水溶液）を用いた燃料電池システムである。PAFC は、我が国の燃料電池開発において第一世代とされ、電極は、PTFE（テフロン）で撥水性を付与したカーボン製多孔質支持層と多孔質触媒層からなるガス拡散構造である。触媒層は電極触媒としてカーボンブラック担体に白金及び遷移金属が添加されたものを用い、PTFE バインダーで結着させて撥水性をもったシートとしている。電解質の濃厚りん酸は炭化ケイ素微粒子を少量の PTFE で結着させたマトリックスに含浸されて電解質膜として用いられている。電池構造体としては、高温の酸にふれる部分では金属の使用ができないため、炭素系の黒鉛製セパレータが主に用いられている。PAFC 単セルの電圧は 0.75 V 程度であるので、積層して燃料電池スタックを構成することにより出力電圧を高めるとともに空間利用効率を上げている。燃料電池スタックはセパレータ、電極、電解質膜、電極の順で順次積層されている（図 3.3-2、図 3.3-3、図 3.3-4）。

PAFCは、200℃付近で運転する事により、一酸化炭素による電極の被毒を克服している。また、電池は電流密度 0.3-0.4 A/cm²で運転を行っている。PAFCは、上市されて久しく、年々改良が成されており、燃料としては天然ガスから生成した都市ガスが主に利用されているものの、近年では下水処理場のメタン発酵設備から生産されるバイオガス（消化ガス）などに多く導入されている（表 3.3-1）。

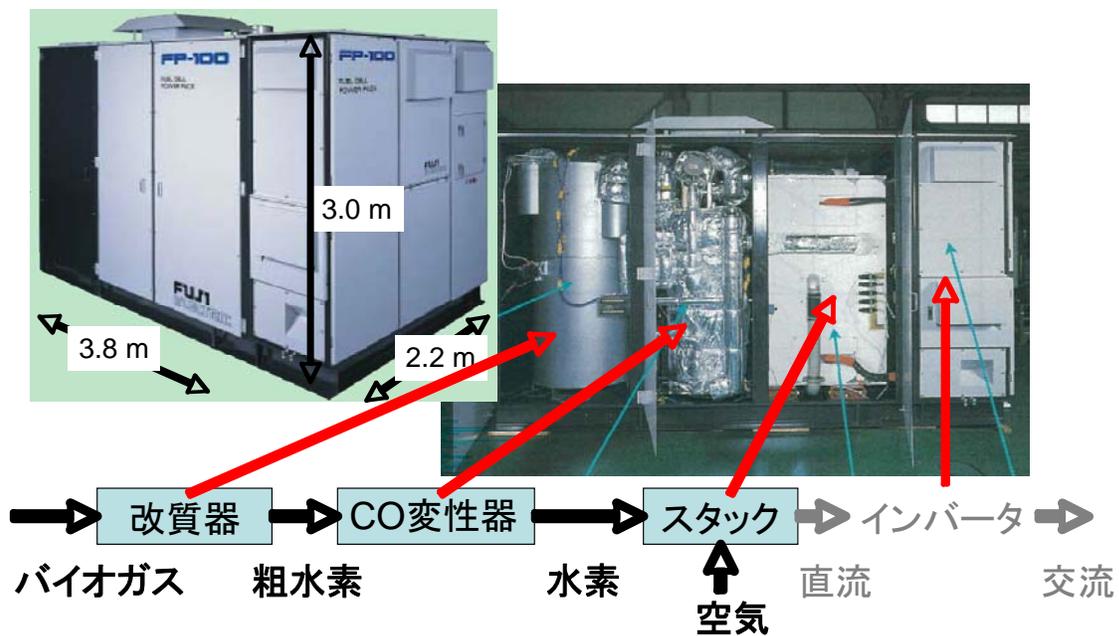


図 3.3-1. FES 社製 PAFC の外観と構成機器.

表 3.3-1. FES 社製 100 kW PAFC の導入実績

| | 設置場所 | 燃 料 | 納入時期 | 累積運転 時間 (h) | 熱利用 |
|----------------------------|-----------|---------------|--------------|----------------|---------|
| 第 一 次 商 品 機 | 病院 | 都市ガス (13A) | Aug. 1998 | 44,265 | 給湯 |
| | ホテル | | Mar. 1999 | 68,604 | 冷暖房, 給湯 |
| | 大学 | | Apr. 2000 | 41,735 | 冷暖房 |
| | オフィスビル | | Mar. 2001 | 51,677 | 冷房, 給湯 |
| | オフィスビル | | Mar. 2001 | 48,269 | |
| | オフィスビル | | Jul. 2000 | 42,666 | 給湯 |
| | オフィスビル | | Jul. 2000 | 48,670 | 給湯 |
| 研修施設 | Dec. 2001 | 41,311 | 冷房, 給湯 | | |
| 第 二 次 商 品 機 | 下水処理場 | 消化ガス | Mar. 2002 | 41,925 | 消化槽加温 |
| | | | | 42,223 | |
| | 病院 | 都市ガス (13A) | Jul. 2003 | 31,954 | 給湯 |
| | 大学 | | Oct. 2003 | 23,662 | 給湯, 冷暖房 |
| | 展示施設 | | Nov. 2003 | 26,840 | 給湯 |
| | 病院 | | Mar. 2004 | 22,549 | 給湯 |
| | オフィスビル | | Jan. 2004 | 25,388 | 給湯, 冷暖房 |
| | 展示施設 | | Mar. 2006 | 8,177 | 給湯, 冷暖房 |
| | 病院 | | Mar. 2006 | 6,067 | 給湯, 冷暖房 |
| | 病院 | Mar. 2006 | 5,987 | 給湯, 冷暖房 | |
| | 下水処理場 | 消化ガス | Sep. 2006 | 3,674 | — |
| 3,215 | | | | | |
| 3,281 | | | | | |
| 3,194 | | | | | |

2007年3月12日現在

現在、出荷されている PAFC は運転動作の圧力が常圧で、パッケージ化され(図 3. 3-2)、都市ガスなどの燃料を水素にするための燃料処理装置は、脱硫器、改質器、CO 変成器から構成されている(図 3. 3-3)。燃料処理装置のメインとなる改質器では、都市ガス、LPG など炭化水素系燃料を導入し、触媒の存在下、水蒸気との反応で水素リッチなガスを製造する。改質反応は、吸熱反応であり、この熱は燃料電池で使いきれなかった排燃料を改質器バーナーで燃焼させて供給される。

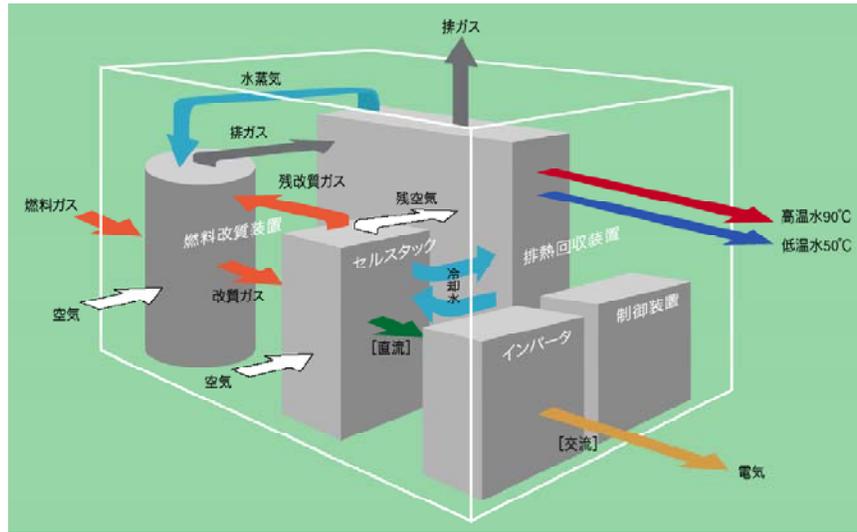


図 3.3-2. PAFC 構成機器と概略物質フロー.

■ 燃料電池発電のシステムフロー

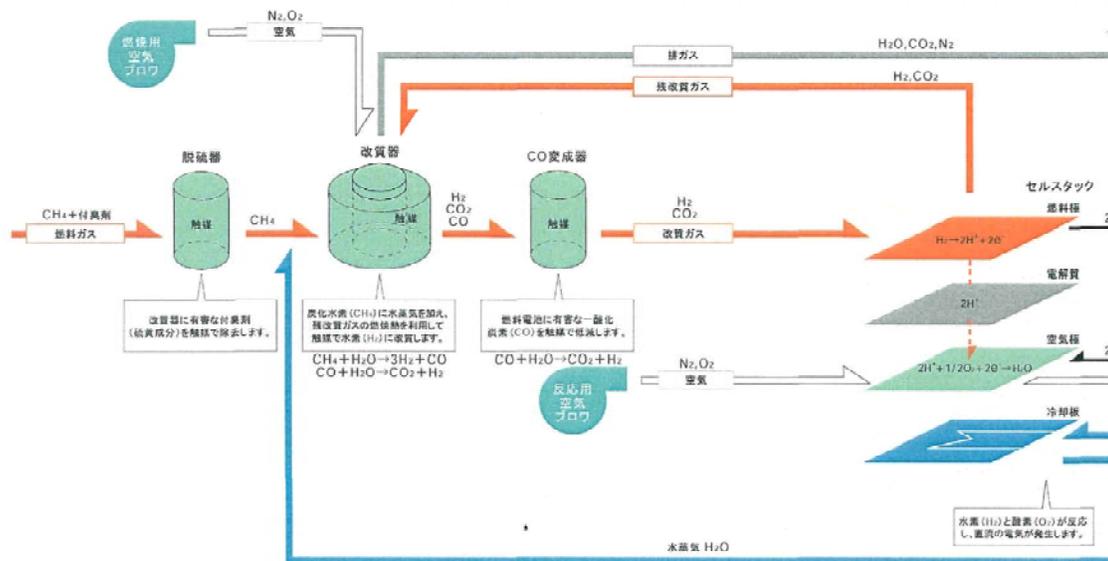
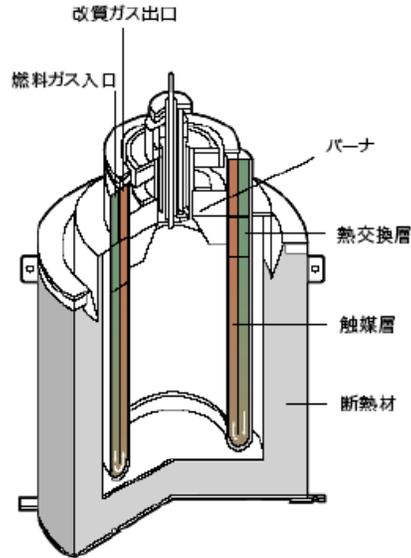


図 3.3-3. PAFC 構成機器別反応式と物質フロー.

■改質器の構造



■セルスタックの構造

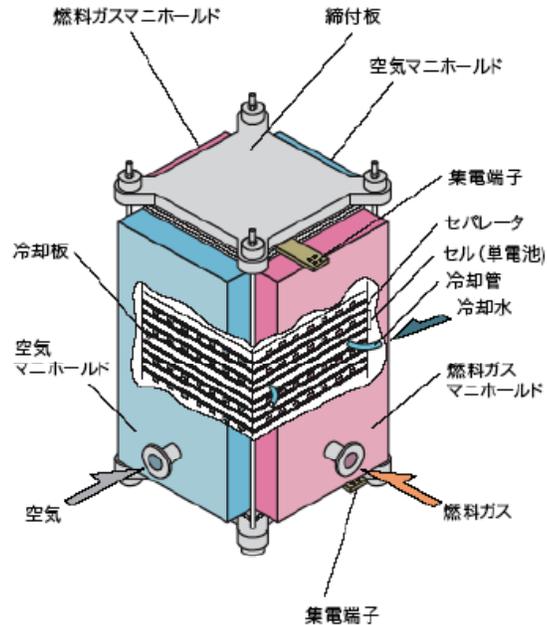


図 3.3-4. 改質器とスタックの構成.

3.3.1. 硫化水素除去システムの調査、検討

バイオマス由来のバイオガスを PAFC の原燃料として適用する場合、バイオガス中に含まれる約 3,000 ppm の硫化水素が改質器の触媒等を被毒するため、PAFC に導入する前に除去しなくてはならない。

硫化水素は火山ガスや温泉の随伴ガスにも含まれており、不快な強い刺激臭を有するとともに水に溶けると弱酸性となって、弱い腐食性を示す。硫化水素はそれ自体、悪臭の元であるとともに、水溶液による腐食、窪地等での滞留による通行者の窒息事故等の原因にもなる。

燃料電池発電装置にとって硫黄は改質触媒の被毒成分であり、発電装置にバイオガスを供給する前段で数 ppm のオーダーまで除去する必要がある。PAFC は装置内に脱硫器を有しているが、数 ppm の硫黄成分を数 ppb のオーダーまで除去するものであって、高濃度の硫黄成分（硫化水素）除去に対応できるものではない。

ピピ・ドーン島リゾートで得られるバイオマス（生ゴミ、汚泥）由来のバイオガスを PAFC の原燃料として利用することを目的に、PAFC へバイオガスを投入する前段で硫化水素を効果的に除去する方式を調査、検討した。

1. 調査結果

硫化水素の除去方法は、大別して3種類が導入されている事が多い(表3.3-2)。

表 3.3-2. 調査サイトに適用可能な脱硫方法

| 方法 | 原理 | 特徴 | 備考 |
|-----------------|--|---|---|
| 乾式脱硫 | 酸化鉄などと気固接触により硫化鉄として除去する | ・高い脱硫性能 ・脱硫剤の交換作業が必要 | ・市販の脱硫剤の例ではFe ₂ O ₃ 含有率は50%程度 |
| | $Fe_2O_3 \cdot xH_2O + 3H_2S \rightarrow Fe_2S_3 + (x+3)H_2O$ | ・脱硫剤がやや高価 | ・脱硫剤重量の約3割の硫化水素の除去が可能 |
| 湿式脱硫 (薬液洗浄法) | アルカリ(NaOH)や酸化剤(NaClO)の水溶液との気液接触により中和や酸化分解す | ・設備費が比較的安価 ・廃液処理が必要 ・薬液濃度の調整がシビアな場合が多い | ・薬液による装置の腐食対策が必要 ・CO ₂ を吸収しないようなアルカリ濃度管理が必要 |
| | $H_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2H_2O$ $Na_2S + 4NaClO \rightarrow Na_2SO_4 + 4NaCl$ (pH7-12) | | ・NaClOの場合、反応はpHによって変化 |
| 生物脱硫 (充填塔式) | 担体上の微生物の硫黄酸化作用により硫酸として除去する | ・設備費、ランニングコストが安い ・維持管理が容易 ・濃度変動に対し比較的安定 | ・代謝副産物(硫黄)の付着による閉塞対策が必要 |
| | $H_2S + 2O_2 \rightarrow H_2SO_4$ | | |

酸化鉄脱硫は、確立された技術であり、これまでも下水処理場や屎尿処理場で悪臭の除去を目的に用いられてきた方法である。除去率は90%以上であり、数ppmレベルまで除去することが可能である。この脱硫法では酸化鉄ペレットが硫化鉄に変化すると脱硫機能を喪失するので、ペレットの交換が必要となるため、通常は2基設置する場合が多い。ペレットの再生は可能であるが、脆くなるため再生利用はあまり行われず、そのまま廃棄処分される事が多い。

湿式脱硫は、アルカリ水や冷水を噴霧することにより硫化水素を除去する方式である。水酸化ナトリウム溶液の濃度調整や水処理が必要であるが、簡易で確立された技術であり、除去率は高い。例えば、H₂S濃度を3,000ppmから500ppmに削減することが可能である。

生物脱硫は1982年にドイツの技術者によって発見されたもので、バイオガスに空気を混入し、空気中の酸素、嫌気発酵後の消化液中に含まれる有機物とイオウ酸化細菌を利用し、H₂Sを硫黄あるいは硫酸イオンに変換する。

これらの硫黄あるいは硫酸イオンは消化液に戻される。消化液は液肥や希釈液として還元利用されるので、イオウ資源は圃場などに還元され、再び花卉作物などに吸収される。生物脱硫では、イオウ資源の循環が成立する。また、廃棄処分ではないため、環境保全的にも望ましい処理法と言える。しかしながら、生物脱硫ではイオウ酸化細菌の棲息活動条件(通気量、温度、水分、基質、生息場所、反応時間)の確保が不可欠であり、それが課題である。条件を整えば、生物脱硫のみでも数ppmレベルまでH₂S濃度を低下させることも可能ではある。

2. 検討結果

国内のバイオガスプラントにも上述の脱硫装置が導入されている。種類別の脱硫装置、メタン発酵方式で分類した国内の導入実績をまとめると、乾式脱硫は、湿式メタン発酵にのみ導入され、生物脱硫は、乾式・湿式メタン発酵両方に導入されている事がわかった（表 3.3-3）。

表 3.3-3. バイオガスの脱硫方式と国内実績

| 脱硫方式 | メタン発酵方式 | システム名 | 国内実績数 | 計 |
|----------|---------|---------|-------|----|
| 乾式 | 湿式 | METAKES | 4 | 15 |
| | | MEBIUS | 3 | |
| | | REM | 3 | |
| | | UHDE | 1 | |
| | | BEG | 1 | |
| | | BIOSCAN | 1 | |
| | | CarBro | 1 | |
| | | WISA | 1 | |
| | | AGR | 0 | |
| 生物 | 湿式 | BIGADAN | 1 | 5 |
| | | Folke | 1 | |
| | | SHMACK | 1 | |
| | 乾式 | LINDE | 0 | |
| | | DRANCO | 1 | |
| KOMPOGAS | 1 | | | |

また、国内に導入されている脱硫装置をバイオガスの発生規模別に分類してみると、比較的大規模な 10,000 m³/d クラスのメタン発酵システムでは乾式脱硫装置、比較的小規模な 1,000 m³/d クラスのメタン発酵システムでは生物脱硫装置が導入されている事がわかった（表 3.3-4）。

表 3.3-4. バイオガスの脱硫方式と発生量

| 脱硫方法 | 施設 | ガスホルダ m ³ | ガス発生量 m ³ /d | 発電機 | |
|--------------------|----------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| | | | | 種類 | kW |
| 乾式 | カンボリサイクルプラザ | 200 | 7,500-12,000 | ガスエンジン | 310×2 |
| | 八木バイオエコロジーセンター | 500+350 | 2,211 | ガスエンジン 温水ボイラ | 70×2+80×1 - |
| 生物 | 開新牧場 | 85 | 1,016 | 発電機 温水ボイラ | 30 180 |
| | 富士ヶ嶺バイオセンター | - | 932* ² | ディーゼルエンジン | 55×2 |
| 生物酸化* ¹ | 葛巻バイオガスシステム | 100 | 300 | ガスエンジン | 35 |
| 乾式 30kg×2塔 | 滋賀県農業総合センター | 100 | 148 | ガスタービン | 28 |

*1生物酸化:メタン発酵槽内への微量空気注入による生物酸化脱硫方式

*2計算値(牛糞尿40 t/d×23.3 m³/t)

各々の脱硫方式単独でも数 ppm レベルまで硫化水素濃度を削減することは可能であるが、経済性を考慮すると、前段に湿式脱硫または生物脱硫、後段に乾式脱硫を設置することが一般的であると思われる。前項記載の3つの方法による硫化水素の除去率は、装置の設計・運転条件にもよるが、概ね、乾式脱硫は95%以上、湿式脱硫、生物脱硫は約90%である。なお、バイオガス中に約3,000 ppm含まれる硫化水素をPAFCへ投入する前段で数 ppm まで低減するには、各方式とも1段で処理することは困難であり、それぞれの脱硫方式の後段に乾式脱硫塔を設置する2段構成とすることが硫化水素を効果的に除去でき、かつ経済的である。

また、3つの方式の機器構成はいずれも、タンク、循環ポンプ、空気ブロワ、配管、制御装置等からなり大差はない。

3.3.3. バイオガス発電設備の検討結果

表 3.3-5. バイオガスを使用可能な発電装置の比較

| | 燃料電池(PAFC) | ガスエンジン(GE) | ガスタービン(GT) |
|----------|---|---|---|
| 外観 |  |  |  |
| 発電原理 | 水素と酸素が化合する際の化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換。 | 燃焼による熱エネルギーを利用。ピストンを通じて機械エネルギー、発電機を通じて電気エネルギーに変換。 | 燃焼による熱エネルギーを利用。熱エネルギーをタービン翼で機械エネルギー、発電機を通じて電気エネルギーに変換。 |
| 発電効率 | 40～50% (100kW級) 部分負荷時でも、効率一定 | ◎ 25～30% (～100kW級) 部分負荷時、効率低下 | ○ 15～25% (～100kW級) 部分負荷時、効率低下 |
| バイオガス活用時 | ◎ 天然ガス使用時とほぼ同じ性能 | △ 天然ガス使用時と比較して、出力が低下する。 | ◎ 天然ガス使用時とほぼ同じ性能 |
| メンテナンス | ○ スタック入替え必要(回/7.5年)。稼働部少なくコスト小(6円/kWh) | △ バイオガスの場合、メンテコストが大きい(7-9円/kWh) | ○ バイオガスの場合メンテコストが大きい。(4-6円/kWh) |
| 環境性 | ◎ 騒音小。NOx、SOx小 | ○ 騒音あり。NOx、SOx:原料次第 | △ 騒音大。NOx小、SOx:原料次第 |
| 導入実績 | △ バイオガスの実績有り | ◎ バイオガスの実績多数 | △ バイオガスの場合、実証レベル |
| 建設コスト | △ 高価(90～100万円/kW) | ◎ 安価(40～60万円/kW) | ○ 高価(70～90万円/kW) |

バイオガスを使用可能な発電装置としてPAFC、ガスエンジン、ガスタービンを検討し、その特徴を抽出することで比較・検討を行った(表3.3-5)。ガスタービンは、燃料電池と同等にメンテナンスコストが安価であるが、バイオガスを使用した実績は実証試験用に止まり、都市ガスレベルのガス精製が要求される可能性がある。ガスエンジンは、発電装置単体での初期投資が一番安価であり、バイオガスでの導入実績も多数存在する。しかし、排気ガスの環境対策、騒音・振動を拡散させないための据付・施設が別途必要となる。また、メンテナンスコストが高額である。PAFCは、比較した発電装置の中で一番効率が高いこと、環境対策が不要なこと、メンテナンスコストが安価であることが評価される。一方、公表されている現時点での建設コストが高額であるが、ガスエンジンと異なり据付工事などを含んだ価格であることを留意しなければならない。また、PAFCのコスト低減に向けて施策が進行中である。

最後に、PAFCとガスエンジンの経済性を、メタン発酵設備を包含させて比較した(表3.3-6)。事業主体によって人件費が異なるためコスト対象から除外する条件下において、一般に経済的に有利と評価されているガスエンジンは、PAFC同等の年間収支であることがわかったことから、新技術の導入など波及効果を加味し、バイオガス発電設備として燃料電池に検討した。また、発電設備に燃料電池を用いることで、高効率且つオイル交換などメンテナンスが少なく年間稼働時間が長いシステムの構築が可能で

ある。さらには、太陽光発電、風力発電などの変動電源と組み合わせることで、変動電源の変動を吸収するバッファ機能として適用することも可能であると思われる。

表 3.3-6. PAFC とガスエンジンの経済性比較

| | バイオガス発電 (燃料電池方式) | バイオガス発電 (ガスエンジン方式) | 【参考】ディーゼル発電 |
|-----------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 発酵設備 | あり | あり | なし |
| ガス発生量 | 292,000 m ³ /年 | ← | 0 m ³ /年 |
| 建設コスト | 454,500 千円 | ← | 0 千円 |
| 建設負担分 | 45,450 千円 (負担率 10%) | ← | 0 千円 |
| 固定費 | 3,409 千円 | ← | 0 千円 |
| 運用費 | 9,319 千円 | ← | 0 千円 |
| 発酵設備コスト小計 | 12,728 千円 | ← | 0 千円 |
| 発電設備 | 100 kW | 60 kW | 100 kW |
| 年間発電量 | 724 MWh | 362 MWh | 724 MWh |
| 建設コスト | 90,000 千円 | 5,000 千円 | 20,000 千円 |
| 建設負担分 | 9,000 千円 (事業者負担率 10%) | 5,000 千円 (事業者負担率 10%) | 20,000 千円 (事業者負担率 100%) |
| 固定費 | 5,368 千円 | 3,053 千円 | 346 千円 |
| 燃料費 | 0 千円 | ← | 15,800 千円 (60,800円/kl) |
| 発電設備コスト小計 | 5,368 千円 | 3,053 千円 | 16,146 千円 |
| 売電売上 | 3,330 千円 (418 MWh実質) | 1,665 千円 (55 MWh実質) | 3,330 千円 (724 MWh実質) |
| 年間収支 | ▲ 14,766 千円 | ▲ 14,116 千円 | ▲ 12,816 千円 |
| 温暖化ガス排出量 | 4,360 t-CO ₂ /年 | ← | 11,550 t-CO ₂ /年 |

※メタン発酵設備の所内動力の電力コストは、便宜上、沖縄電力高圧電力A料金で算定

※売電売上は、便宜上、発電全量を4.6円/kWhで売電するとして算定

※人件費は事業主体によって大きく変動するため、コストの対象から除外

※ディーゼル発電方式の燃料費は、A重油コスト（東京地区、ローリー渡し、2007年10月）で算定

第4章 現地調査

4.1. ピピ・ドーン島関連サイトの現地調査

4.1.1. Phi Phi Hotel 及びピピ・ドーン島トンサイ地区

【日時】

2007年10月20日

【調査場所】

Phi Phi Hotel 打合せ及び施設見学

【出席者】

Phi Phi Hotel Group, General Manager Veerapat Jantharo,
Engineering Consultant Olaf Clamer,
TISTR, Dr. Wirachai, Dr. Tannes
KRI 若山（記）
大阪大学グローバルコラボレーションセンター（GLOCOL）宮本特任教授
悠環境システム 久我

【提出資料】

タイ国ピピ島調査プロジェクトの概要
KRI プロシユア

【議事内容】

ピピ・ドーン島の中心街における廃棄物処理及び
ユーティリティの状況視察

1. 本調査の概要紹介（KRI 側より）

- ◆ 島嶼地域などの隔絶された地域において、現在、廃棄されているバイオマスを利活用して、エネルギーを取り出し、廃棄物の減容化を図ろうとするものである。
- ◆ CDM 獲得をにらんだ調査プロジェクトであり、実際にプラント建設などを行うような実プロジェクトには直接リンクしない。

2. Phi Phi Hotel Group の概要

- ◆ トンサイの埠頭一帯の商業地区の地主及び大家であり、自身もホテルを3軒所有している。さらに一軒を建設中であるが、いずれも高級リゾートではない。
- ◆ 商業地区は、飲食店、土産物店、その他様々な店があり、ピピ・ドーン島にくる観光客の玄関口になっている。

- ◆ ピピ島では宿泊施設が不足しているので、今後も増強したいとのことである。

3. Phi Phi Villa Resort 及びトンサイ地区視察

- ◆ 汚水は高床になっている床下の沼地を通じて、処理施設に流される。



コテージ床下の廃水処理池



左同(左の円筒形の装置は貯湯タンク)

4. 水処理、廃棄物処理について

- ◆ 当地区の廃水は、Phi Phi Villa Resort の裏手にある水処理施設で処理されている。(水処理施設は、津波の犠牲者となったデンマーク観光客を悼んでデンマークの支援で建設)
- ◆ しかし、技術者が不在のため適切な運用はされておらず、水処理は自然に任している。この水処理施設近傍では悪臭が感じられる。



水処理施設の計画図



実際の水路

- ◆ ゴミ焼却場が上記水処理施設に隣接してあるが、焼却炉の故障により使用されてはならず、単に各地の野で焼却されているとのこと。



右奥が焼却場（緑色屋根）、煙は野焼きされているゴミ



水処理施設のエントランス

5. 施設見学の所感

- ◆ 本地区は、ピピ島の玄関口であるにも関わらず、開発が急ピッチで展開しているため、処理能力以上の廃棄物が発生している。持続的なリゾートを目指すためには、処理施設の増強及び観光客の制限が不可欠である。

4.1.2. Phi Phi Island Village Beach Resort & Spa

【日時】

2007年10月21日

【調査場所】

Phi Phi Island Village Beach Resort & Spa 打合せ及び施設見

学

【出席者】

同リゾート Olaf Clamer Engineering Consultant
TISTR Dr. Wirachai, Dr. Tannes
KRI 若山（記）
大阪大学 GLOCOL 宮本特任教授
悠環境システム 久我

【提出資料】

タイ国ピピ島調査プロジェクトの概要
KRI プロシユア

【議事内容】

Phi Phi Island Village 配置図
リゾート各種ユーティリティ使用量

1. 本調査の概要紹介（KRI 側より）

- ◆ 島嶼地域などの隔絶された地域において、現在、廃棄されるバイオマスを活用して、エネルギーを取り出し、廃棄物の減容化を図ろうとするものである。
- ◆ CDM 獲得をにらんだ調査プロジェクトであり、実際にプラント建設などを行うような実プロジェクトには直接リンクしない。

2. Phi Phi village の概要

- ◆ 客室はコテージが約 100 室。ヒルサイドビラが 10 室（増築中）で、宿泊客は最大 300 人収容できる。
- ◆ ホテルのスタッフが 300 人程度であり、ゲスト 1 人に対して 1 人のスタッフの計算となる。
- ◆ 11-4 月が繁忙期で、5-10 月が閑散期だが、7-8 月は夏休みの賑わいがある。

3. ユーティリティ

- ◆ 汚水はバックヤードに設置してある水処理設備に導き、処理した後に海へ放流している（図 4.1-1）。

- ◆ 水の需要は、閑散期で1,000 L/d 繁忙期で2,000 L/d 程度である。
- ◆ 厨芥を中心とする廃棄物は、プーケットに運搬して焼却または埋立処理をする。コストは照会中である。
- ◆ ごみの量は、1.6 t/d 程度である。年間を通じて変動は少ない。

4. 電力供給について

- ◆ 電力供給は、新旧大小のディーゼルエンジンをローテーションさせて運用しており、年間の最大電力需要は600-750 kW、最低電力需要は350 kW 程度である。
- ◆ 太陽光発電は、8.7 kW が従業員用食堂上部に導入されているが、連系に問題が生じるため、大容量化できない状況にある。
- ◆ 発電及び運搬用重油消費量（平均60-70 kL/月）
- ◆ 電力消費量は、エアコンによる影響が大きいため、気温に大きく左右される。

5. 施設位置

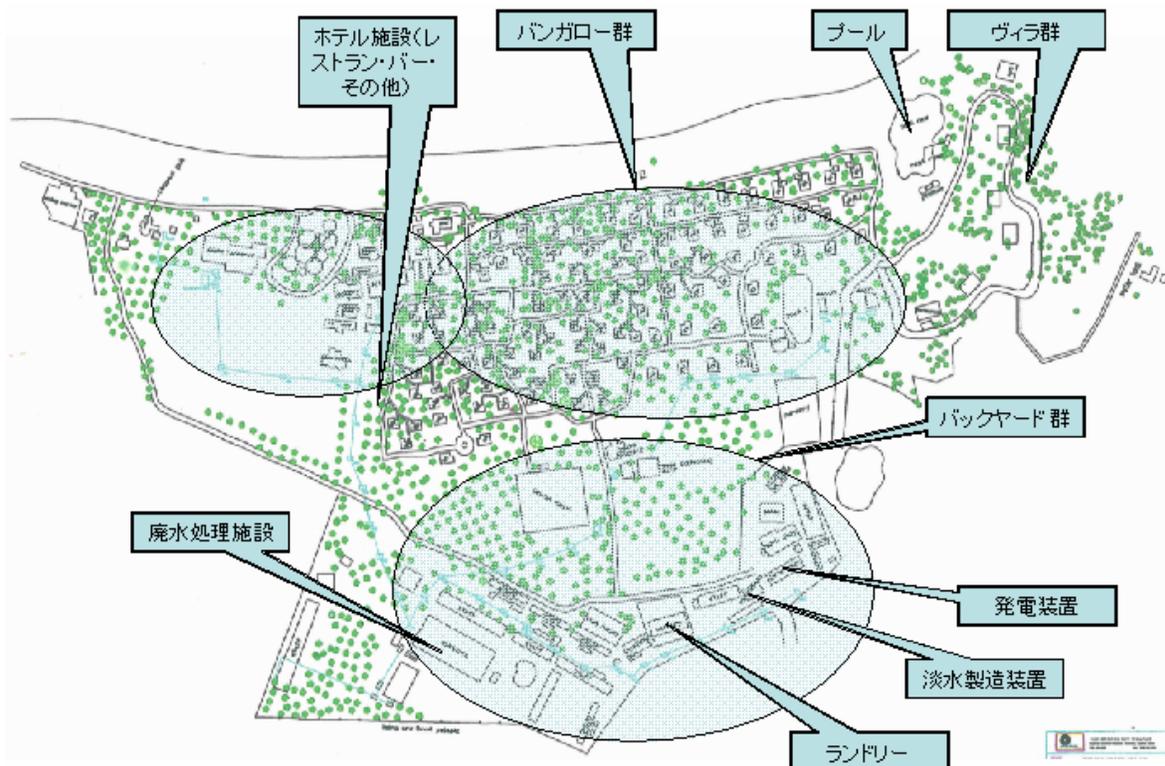


図 4.1-1. ピピ島リゾートの配置図.

6. 淡水系統

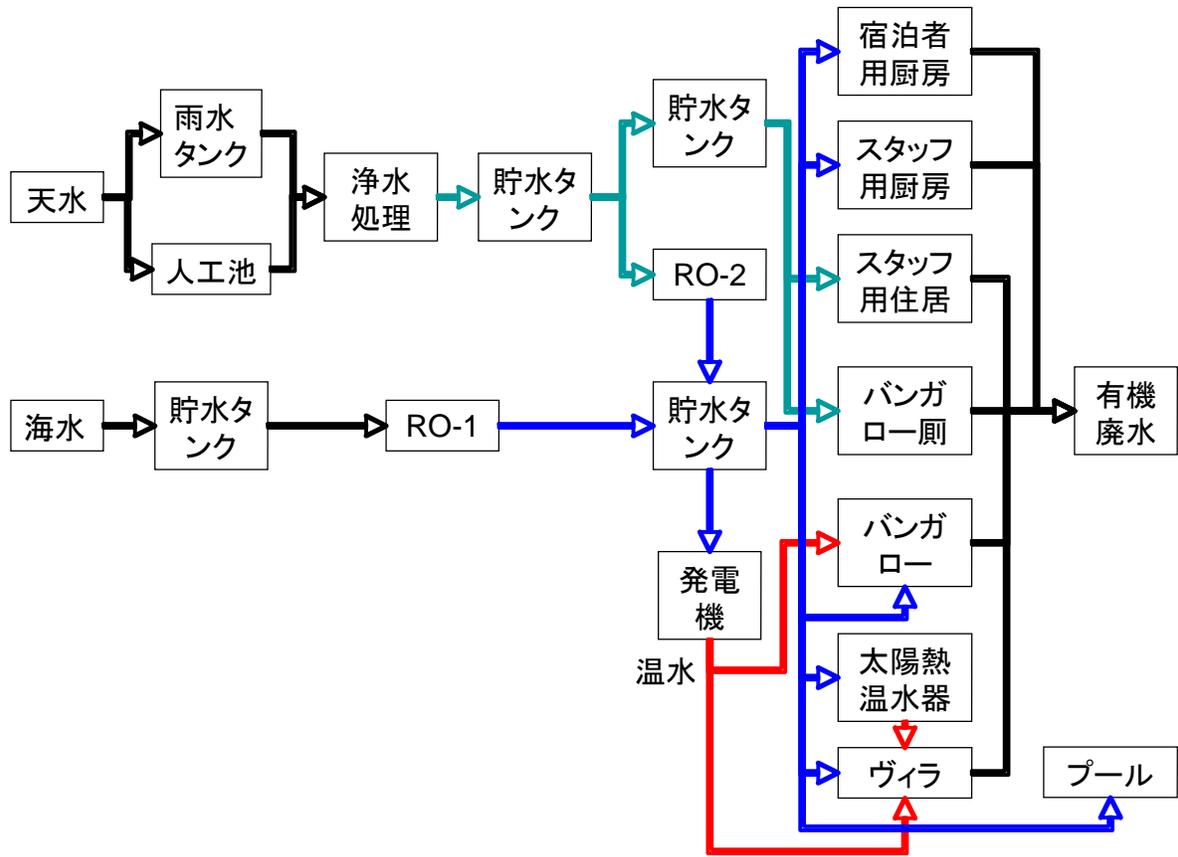
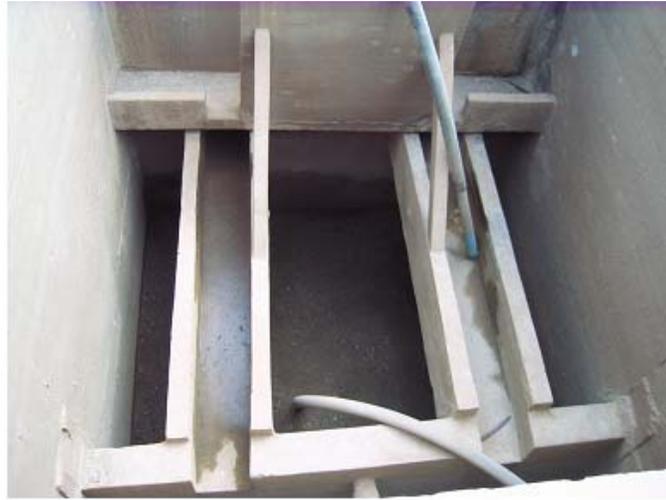


図 4.1-2. Phi Phi Island Village 水系統図.

- ◆ 給水：RO 造水設備で得られた上水は、ヴィラの上部に設置された水槽に送られ、そこから供給されている。
- ◆ 廃水：キッチンや客室から排出された廃水は、斜面を下ったところに設置された集合マスに流れ込み、その後、バックヤードの廃水処理施設へ導かれる。



薬注装置



貯水池や雨水由来の水浄化槽上部



RO 造水装置



上水タンク



グリーストラップ

7. 電気系統

電気系統

- ◆ 系統は、Villa 系統、コテージ系統、レストラン等業務系統に分かれている。
- ◆ 配電は 415 V である。
- ◆ ピーク電力は 600-750 kW、最低電力は 300-350 kW である。

発電設備

- ◆ 現在使用されていない発電設備も含めてディーゼルエンジン全 7 基。近々、1 基を増強予定である。太陽電池は 8.7 kW が設置済みである。
- ◆ 発電機の運用は、1 日毎にローテーション運転である。
- ◆ 6,000 L/基のオイルタンカーを所有しており、プーケットから重油を運ぶ。

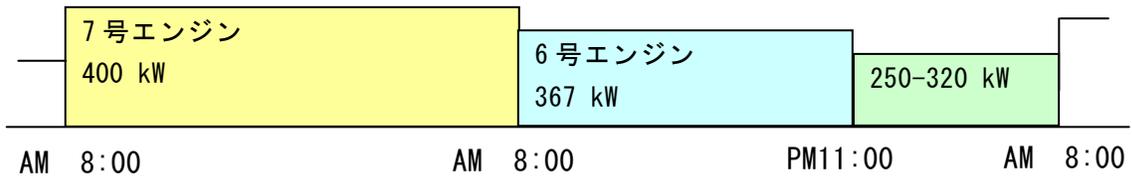


図 4.1-3. 発電機運転ローテーション.



ディーゼルエンジン発電(367 kW)



オイルタンク



ディーゼルエンジン発電機(480 kW)



発電設備熱交換器

8. 厨芥

- ◆ ゲストとスタッフを合わせた厨芥の量は 1.5-1.6 t/d である（年平均約 1.0 t/d）。厨芥の量は、ピーク時には 10%程度増加するが、ピーク時以外と比較して残飯が少ないため、年間を通じて変動は少ない。
- ◆ スタッフ用の食堂はバックヤードにある。
- ◆ この厨芥は廃棄物となり、プーケットへ運搬されて埋立処理される。



スタッフ食堂と太陽電池パネル



スタッフ宿舎



廃材の焼却風景とスタッフ宿舎



バックヤードのゴミ箱

4.2. クラビ県内関連サイト

4.2.1. Krabi 県担当課との打合せ

【日時】

2007 年 10 月 22 日

【調査場所】

Krabi Industrial Office

【出席者】

Provincial Industrial Officer, Daychar Kerkoon
TISTR, Dr. Wirachai, Dr. Tannes
KRI 若山（記）
大阪大学 GLOCOL 宮本特任教授
悠環境システム 久我

【提出資料】

タイ国ピピ島調査プロジェクトの概要
KRI プロシユア

【議事内容】

1. 本調査の概要紹介（KRI 側より）

- ◆ 本プロジェクトは環境省傘下の地球環境センター（GEC）の調査プロジェクトである。
- ◆ 島嶼地域などの隔離された地域において、現在、廃棄されているバイオマスを活用して、エネルギーを取り出し、廃棄物の減容化を図ろうとするものである。
- ◆ CDM 獲得をにらんだ調査プロジェクトであり、実際にプラント建設などを行うような実プロジェクトには直接リンクしない。

2. クラビ県の産業

- ◆ クラビ県の主産業は、ゴムやパーム椰子のプランテーション及びゴムの木の製材産業である。
- ◆ クラビ県は、タイのパームオイルの約 40%を生産している。将来的には、作付け面積を 4,400 万 Lai（750 万 ha）まで増やすことが可能である。
- ◆ ゴムのプランテーションは、労働条件や収穫率が悪い。近年、ゴムからパームへの転換が進んでいるが、価格安定を図るために、参入企業を制限している。
- ◆ パームは、収穫まで 5 年必要だが、作付面積 100 Lai（17 ha）で 100 万 THB（380 万円）の収入が見込める。

3. パーム工場と処理施設

- ◆ パーム抽出工場は、現在、90 ヶ所ある。そのうち、14 工場は水処理施設を設置し、バイオガス発電を行っている。
- ◆ クラビ県では、電力供給量の増加と環境保全を目的に、パーム工場での水処理施設の設置とバイオガスの活用を後押ししている。具体的な政策としては、政府からのソフトローンがある。
- ◆ クラビ県では、プランテーションと居住地域が近いため、プランテーションの環境への影響に配慮しており、居住地近郊ではタンクによる POME 処理が行われている。
- ◆ パーム工場の水処理施設及びバイオガス発電は、小規模発電設備 (Small Power Plant, SPP) として政府機関から援助を受けることができる。具体的には、エネルギー省 (Ministry of Energy, MOEN) 下のエネルギー開発局 (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, DEDE) から合計 700 万 THB のソフトローン支援がある。ただし、1 工場には 500 万 THB が上限である。

4. クラビ県の他の水処理施設計画

- ◆ ピピ島、アオナン、ランタン? においても水処理施設を設置する計画がある。
- ◆ 上述のようにファイナンス面でのサポートは可能であるので、当該システムの導入を Ministry of Industry あるいは DEDE に SPP の一つとして提案したらどうか?
- ◆ SPP からの売電単価は、約 2.7+0.3 THB/kWh である。

4.2.2. Asian Palm Oil CO.,LTD の視察

【日時】

2007 年 10 月 22 日

【調査場所】

Asian Palm Oil 工場

【出席者】

Factory Manager, Chanchit Nawongsri
TISTR, Dr.Wirachai, Dr.Tannes
KRI 若山 (記)
大阪大学 GLOCOL 宮本特任教授
悠環境システム 久我

【提出資料】

KRI ブロシュア

【受領資料】

Asian Palm Oil バイオマス活用についての紹介パンフレット

【目的】

クラビ県の主要産業であるパーム油工場の現状を視察すること

【議事内容】

1. 今回訪問の概要紹介（KRI 側より）

- ◆ 本プロジェクトは環境省傘下の地球環境センター（GEC）の調査プロジェクトである。
- ◆ 現在、廃棄されているバイオマスを利活用して、エネルギーを取り出し、廃棄物の減容化を図ろうとするものである。
- ◆ CDM 獲得をにらみ、現在は調査プロジェクトであるが、実際にプラント建設などを行うような実プロジェクトにしていきたいと考えている旨を報告した。

2. Asian Palm Oil 工場の水処理及びバイオマス活用について

- ◆ パーム廃液を発酵槽に導き、水処理を行うと同時に得られるバイオガスをガスエンジンにて発電し、工場の動力及びグリッドに供給している。
- ◆ 2007 年 10 月現在は、ガスエンジン 500 kW を交互に運転し、常時 500 kW の発電を行っている。
- ◆ 今後、現在オープンポンドになっている部分にカバーを掛けて、最大出力 1,000 kW とする予定である。
- ◆ Asian Palm Oil 工場は 2007 年タイ国エネルギー賞、2007 年 ASEAN エネルギー賞受賞した。



Asian Palm Oil オートクレーブ全景



Palm 果実房(FFB)の集積場



蒸された Palm 果房



Palm 廃液処理の発酵タンク



Palm 廃液(発酵タンクへ)



バイオガスエンジン 500 kW (中国製)

- ◆ バイオガスエンジンは 2006 年に設置した。建設コストは、制御装置など全てを含めて、700 万 THB/台であった。
- ◆ この工場では、500 kW のバイオガスエンジンの他に、1.2 MW のコジェネシステムが導入されている。
- ◆ ガスエンジンには、発酵槽から得られるバイオガス(メタン濃度約 60%)を、ガス精製設備を介することなく、ターボチャージャで過給して直接エンジンに供給している。

- ◆ メンテナンスは、エンジンのサプライヤ（中国メーカ）が担当している。オーバーホールは、1回/年の予定で、コストが50万 THB/台、また、通常のメンテナンス費は0.3 THB/kWh である。
- ◆ 売電単価は、2.7+0.3 THB/kWh である。



廃液の水処理フロー



廃液処理ラグーン(冷却用)



発酵タンク(緑)と廃液出口

3. 所感

- ◆ ガス精製を行わずにガスエンジンへバイオガスを投入しており、日本の常識では考えられないフローになっている。今後、3-5 年後にエンジンが稼動しているか疑問である。しかし、エンジンの購入コストも極めて安価であるので、経済的に問題は無いのかもしれない。
- ◆ 売電単価 (2.7+0.3 THB/kWh) は、かなり高価な買取価格になっており、政府・電力会社 (PEA) が SPP 事業を積極的に推進していることが分かる。

4.2.3. Krabi 市におけるリゾート開発地区の視察

【日時】

2007 年 10 月 23 日

【調査場所】

Krabi Rai Leh 地区

【出席者】

TISTR, Dr. Wirachai, Dr. Tannes
KRI 若山 (記)
悠環境システム 久我

【目的】

Krabi 市リゾート開発地区における環境破壊の実態を視察

【議事内容】

1. Krabi Rai Leh 地区概要

- ◆ Rai Leh 地区は、Krabi 県リゾート地区の基点にあたるアオナンビーチ (Ao Nang) から数 km の半島に位置するビーチリゾートである。半島ではあるが、ビーチは絶壁の下に広がるため、陸路は無く、海からエントリーすることしかできない。
- ◆ Rai Leh 地区は、高さ 100 m を越える絶壁とビーチによって形成された景観に、複数のリゾートホテル及びレストランが存在し、リゾートを形成している。
- ◆ Rai Leh 地区は東西にビーチがある。Rai Leh East ビーチは観光客がエントリーする場所になっており、West ビーチは海水浴に適した砂浜が広がっている。
- ◆ また、East ビーチ側は、レストラン、ショップなどがあり、West 側に客室が広がっており、廃水などは East ビーチに流れている。



Phala Nang ビーチ



Rai Leh West ビーチ

- ◆ Rai Leh West ビーチは、穏やかな海と遠浅な白砂が広がり、観光客が海水浴を楽しむ絶好のビーチリゾートとなっている。



East ビーチから陸に 30-50m(スタッフ居住地) 廃水による汚れ(Rai Leh East ビーチ)

- ◆ Rai Leh East ビーチは、穏やかな海と遠浅な海が広がるが、観光客等を運搬するボートの発着場になっている。また、緩やかな湾に沿って、レストラン、その他ショップ、スタッフの居住地区が広がり、その影響で海や浜は汚れている。



East 側に設置されたホテルの自家発電設備

自家発電設備への給油 (East 側)

- ◆ Rai Leh 地区は石灰岩の険しい山に囲まれているためグリッドと繋がっておらず、ホテル等は、独自の発電設備を保有している。そのため、給油を行う必要がある。

4.2.4. Krabi Resort area2 視察

【日時】

2007 年 10 月 24 日

【調査場所】

Poda Island

【出席者】

TISTR, Dr.Wirachai, Dr.Tannes
KRI 若山 (記)
悠環境システム 久我

【目的】

Krabi Resort 地区 (Poda Island) リゾートの視察

【議事内容】

1. Poda Island の概要

- ◆ Krabi 県リゾート地区の基点にあたるアオナンビーチ (Ao Nang) から約 10 km 沖合いに位置する島で、東側に広がるビーチと南側に位置する絶壁からなる。
- ◆ この島はプライベート・アイランドでクラビ・リゾートが所有している。レストラン、バンガローもあり、宿泊可能である。
- ◆ ビーチは穏やかな海と白砂が広がるパブリックビーチであるが、ホテルのゲ

スト以外も利用可能で、アオナン地区から訪れる観光客が多い。



Poda Island、Chicken Island の全景



Poda Island のビーチ

- ◆ レストラン等からの廃水は、建物の裏側から島の中に向かって導かれ、建物から 20 m ほどいったところで、浄化槽に入っている。
- ◆ その後は島の東側の浜から地下水となって海に流入している。



Poda Island のレストランからの廃水



島の東側の海に流れ込む地下水



点在するコテージ



コテージの奥に設置された発電機

- ◆ ディーゼルエンジン発電機が小屋の内部に設置されている。日中に訪問したため、発電機は運転していなかった（供給時間帯の設定有り）。
- ◆ 発電機小屋は、同型発電機をもう 1 台設置できるほどのスペースを持っているが、発電機は実際に 1 台しか設置されていない。スペースがあるため、物置になっている。

4.3. プークет島関連サイト

ピピ・ドーン島から発生するごみは、プークेत島へ運ばれて焼却または埋立処分されている。そこで本調査では、プークेतのごみ処理施設において、どのような管理体制、処理体制のもと、ごみ処理が行われているのか調査を行なった。

【日時】

2008 年 2 月 19 日

【調査場所】

Phuket Solid Waste Incineration Plant

【出席者】

TISTR Dr. Thanet
Phuket Solid Waste Incineration Plant, Mr. Prasak
KRI 藤間（記）

【提出資料】

KRI ブロシュア

【議事内容】

Phuket Solid Waste Incineration Plant 施設見学

4.3.1. 施設概要

当該施設は、プーケット島の中心部であるプーケットシティから車で20分ほどのところにある（図4.3-1）。タイ唯一の発電設備を有したごみ焼却場である。焼却場のほかに埋立地及びその貯水池、排水処理場も併設されている（図4.3-2）。



図 4.3-1. プーケットごみ処理施設の場所.

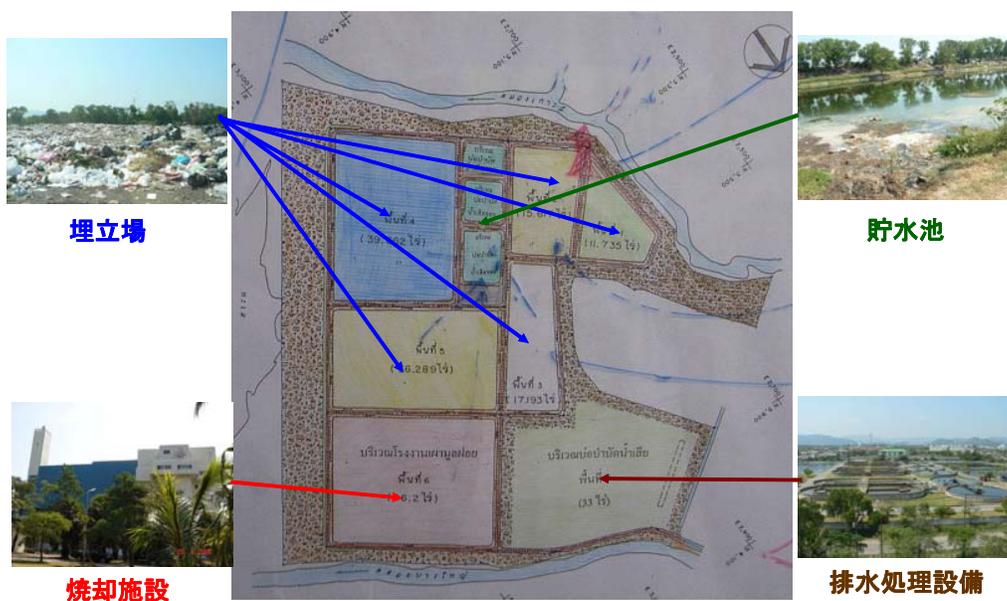


図 4.3-2. プーケットごみ処理施設全体図.

4.3.2. 焼却設備

- ◆ 収集したごみを集めるピットのキャパシティーは 4,000 t である。通常は約 3,000 t のごみがピット内に入っている。
- ◆ 一日平均で約 300 t のごみがピットに搬入される。
- ◆ ピット内は 40℃に加熱されており、搬入されたごみは 5 日間ピット内で乾燥させる。
- ◆ 5 日間乾燥させた後の重量は、300 t（搬入時）に対して、250 t（乾燥後）である。
- ◆ 焼却時の温度は 800-950℃で、酸素投入量は 7-10%程度である。
- ◆ 管理物質は SO_x、NO_x、HCl、TSP およびダイオキシンの 5 項目である。

表 4.3-1. 焼却施設からの排出化学物質管理項目

| 項目 | 単位 | 規制値 |
|-----------------|-------------------|--------|
| TSP | mg/m ³ | 120 以下 |
| SO _x | ppm | 30 以下 |
| NO _x | ppm | 180 以下 |
| HCl | ppm | 25 以下 |
| Dioxin | ng/m ³ | 30 以下 |

- ◆ 一日に 250 t（乾燥後重量）のごみを処理することができる。
- ◆ 一日に 500 t（乾燥後重量）のごみを処理できるように、増設の許可を政府に申請している。
- ◆ 収集車によってプラント内に運ばれたごみは、受付にて重量と収集場所、処理方法（埋立 or 焼却）が記録され、管理されている。
- ◆ プーケット島における処理施設は当該プラントのみであるため、離島などからプーケット島に送られてくるごみは、当該プラントで処理される。



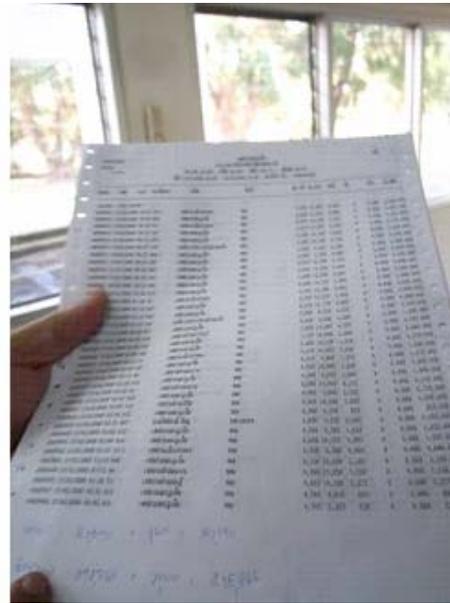
ピット内クレーンのオペレーター



焼却ピット内部



ゴミの受け入れ



重量などの管理データ



施設管理室

4.3.3. 埋立地

- ◆ 1日に約250 tのごみが埋立処理される。
- ◆ ごみ2.5 mに対して30 cmの灰を被せ、ドーザーにより整地を行なう（これを一層とする）。
- ◆ 最終的な埋立場の深さは10 m（4層分）を予定している。
- ◆ 敷地内に埋立用地は5ヵ所あり、合計で195,994 m²である。
- ◆ それぞれの面積は63,459 m²（埋立地A）、61,262 m²（埋立地B）、27,509 m²（埋立地C）、24,987 m²（埋立地D）、18,776 m²（埋立地E）である（埋立地の名前はKRIが任意に作成）。
- ◆ 現在は、埋立地Aの1層目に埋め立てを行っている。
- ◆ 埋立地C、D、Eはすでに1層の埋め立てが終わっている。
- ◆ 埋立地Bはまだ利用していない。
- ◆ 現状のまま埋立が進めば、5年ほどで埋立場が満杯になる（ヒアリング相手の予想）。
- ◆ 埋立地の下に3 mmの高密度ポリエチレンシートを敷き、ごみから出る廃水を重力を利用して集め、一時的に貯水池に貯めている。最終的には、排水処理場にポンプアップされ、処理される。
- ◆ 廃水のBODは50,000 ppmである。

表 4.3-2. 埋立地の状況

| 埋立地 | 面積 (m ²) | 状況 |
|-----|----------------------|-----------|
| A | 63,459 | 1層目を埋立中 |
| B | 61,262 | 未利用 |
| C | 27,509 | 1層目まで埋立済み |
| D | 24,987 | 1層目まで埋立済み |
| E | 18,776 | 1層目まで埋立済み |
| 全体 | 195,994 | - |



埋立場の様子



埋立場にてごみを回収する人々



埋立場のごみからでる 50,000 ppm の廃水



廃水処理設備

4.3.4. 排水処理施設

- ◆ プーケットごみ処理設備周辺 12 km² から排出されるおける排水 (36,000 m³/d) と、埋立場からの廃水 (50 m³/d) 及び、焼却場からの廃水 (50 m³/d) の処理を行っている。
- ◆ 処理前の排水の BOD は 120 ppm である。
- ◆ 焼却場と埋立場からの廃水の BOD は 50,000 ppm である。
- ◆ 処理後の BOD は 6 ppm (タイの規制値は 20 ppm) である。

4.3.5. プーケット市の廃棄物処理方針

- ◆ プーケット市における管轄は Public Works Department, Ministry of Interior である。
- ◆ 現在一日に 550 t 出るごみの量を、リサイクル、リユース、リデュース、堆肥化などを行うことにより、400 t にまで削減する方針を立てている。

第5章 調査結果

5.1. 事業の概要

当該事業は、タイ王国南部のクラビ県に属するピピ・ドーン島に立地しているリゾートホテルから排出されるし尿、厨芥などのバイオマスを嫌気性発酵によってバイオガス（メタンガス含有率60%）を発生させ、そのバイオガスを、既に商品化されている国産燃料電池であるPAFCに導入して発電を行い、当該リゾートホテルの電気・熱需要を賄う。現在、オープンラグーンあるいは埋立処理されているし尿、厨芥から生じるメタンガスを回収すると同時に、ホテルの電気需要を賄うために稼働されているディーゼル発電機の燃料使用量を減少させる。

5.1.1. 当該プロジェクト調査地域の選定

本調査プロジェクト実施前より、バイオマス発電システムの東南アジア諸国への展開可能性については、様々な検討がなされてきている。その中で、当該システムの離島への展開可能性については、平成18年度のNEDO地域研究開発技術シーズ育成調査委託事業「沖縄島嶼部における再生可能エネルギーと燃料電池を組み合わせたシステムに関する調査」、平成18年度NEDO「燃料電池を用いたシステムの適用拡大に向けた調査」において検討され、タイ国クラビ県下の離島（ピピ・ドーン島）への基礎調査が行われている。いずれの調査地域においても、廃棄物・エネルギーを地産地消する当該システムの導入によって、化石燃料の削減による二酸化炭素排出量の低減と廃棄物の処理が実現するとの結果が得られている。

上記調査を進めるにあたって、現地側カウンターパートとなるタイ国立科学技術研究所(Thailand Institute of Science and Technological Research, TISTR)と共同で、現場調査を行い、ピピ・ドーン島のリゾートホテルオーナーへ直接コンタクトした結果、タイの離島リゾート開発を進める事業者においても、廃棄物処理と燃料コスト増大を解決できる新たなシステムを求めていることが分かった。特に、調査対象サイトであるタイ国クラビ県ピピ・ドーン島にあるPhi Phi Island Village Beach Resort & Spaは、同島で2番目に大きいリゾートであり（最大のリゾートは2004年の津波で崩壊）、当該システムの導入によって削減される二酸化炭素量も大きい。また、当該システムの導入により、同島北部にある他のリゾート（Holiday Inn Resort）において排出される生ゴミなども収集可能なことから、島内北部の環境改善にも寄与する事が可能である。また、当該リゾートは、太陽熱利用や太陽光発電の設置など新エネルギーの導入に積極的であり、当該システムの導入に関しても当該リゾートオーナーの協力も得られている。

そこで、ピピ・ドーン島を調査対象とし、当該リゾートの協力を得て、TISTR、KRI共同で調査を行うこととした。

5.1.2. 当該プロジェクトの実施体制

本調査の協力機関としては、株式会社 KRI、TISTR、Phi Phi Island Village Beach Resort & Spa、富士電機グループの 4 社、団体である。

5.1.3. プロジェクト実施サイトの概要

1. ピピ・ドーン島の地理

プロジェクト実施サイトのピピ・ドーン島はクラビ県に属し、世界的なリゾートとして有名なプーケット島から東南東へ約 40 km、クラビから南南西へ約 42 km と、プーケット、クラビのどちらからでも船で約 2 時間のアンダマン海に浮かんでいる。その中でピピ・ドーン島は大小 6 つの島で構成されるピピ諸島の中心で唯一の有人島である（図 5.1-1、図 5.1-2）。



図 5.1-1. ピピ・ドーン島の場所.

2. ピピ・ドーン島の概況

ピピ・ドーン島は石灰石でできた島で、岩石の山のようなものが東西に二つあり、その間を砂が生めて島の平地部分を形成しており、この平地部分が島の主要な居住地となっており、観光客の主な宿泊施設などもここにある。島の平地部分は小さいため、山を切り開いて宿泊施設を建てることも行われ、観光客の増加に伴い、厨芥・廃水などの廃棄物量の増加により、環境負荷の増大と環境破壊が進行している。



図 5.1-2. ピピ・ドーン島の地図.

3. ピピ・ドーン島のユーティリティ

ピピ・ドーン島は唯一の有人島であるが、公共の電力供給網や上下水道は無く、上水、エネルギー供給、廃棄物・廃水の処理は、各リゾートの事業者が各々上水設備、自家発電設備、廃水処理設備を自前で設置している。

5.1.4. プロジェクトの内容

プロジェクト実施予定地の Phi Phi Island Village Beach Resort & Spa では、ゲスト及びスタッフによって排出される厨芥等の廃棄物は、スタッフによって収集されて最終的にプーケット島で埋立処分、発生する汚水は本リゾートの排水処理施設である程度処理されて海へ放流されている。また、リゾートで使用する電気などのエネルギーは、プーケット島から重油が運搬されてディーゼル発電機によって発電されている。そのため、当リゾートの前に広がる砂浜では、表層の白砂をはがすと、黒く臭気のある砂が出てくるほどに汚染が進んでいる（図 5.1-3）。



図 5.1-3. 黒く、臭気のある砂.

そこで、当該プロジェクトにおいては、当該リゾート内にメタン発酵設備を設置し、厨芥等の廃棄物・汚水を集めてメタン発酵を行い、発生したメタンガスを燃料電池に導き、発電用燃料として使用する。廃棄物を用いたバイオマス発電システムのフローを示す（図 5.1-4）。

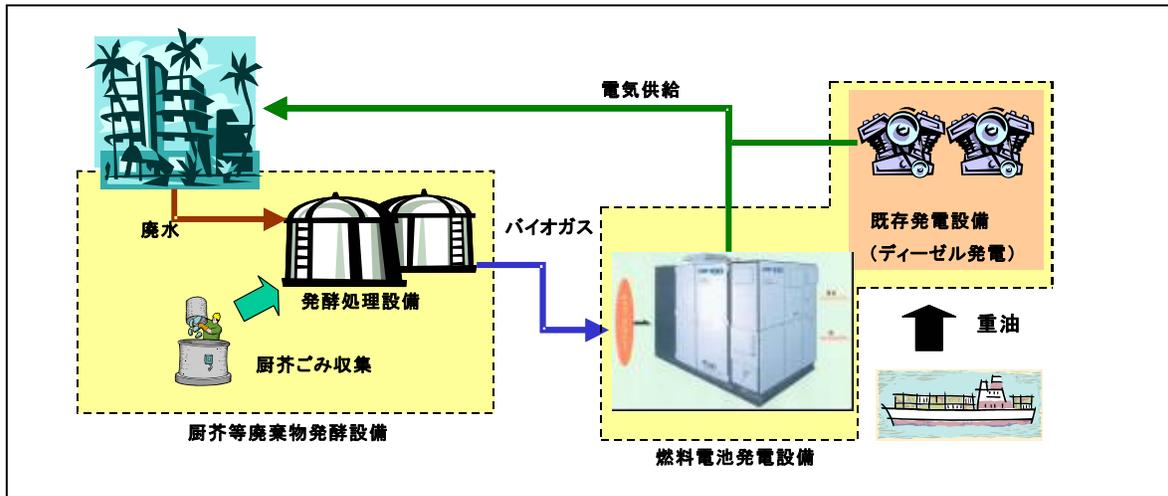


図 5.1-4. バイオマス発電システムのフロー.

当該プロジェクトの全体像は、Phi Phi Island Village Beach Resort & Spa から排出される廃棄物をリゾート内で処理することにより、プーケット島まで運搬されて埋立処分されている廃棄物を削減することで、その埋立地で排出される温暖化効果ガスのメタンガス排出を抑制し、同時に、廃棄物を処理する際に得られるバイオガスを利用して燃料電池によって発電することで既存のディーゼル発電用の重油消費量を抑制することである（図 5.1-5）。

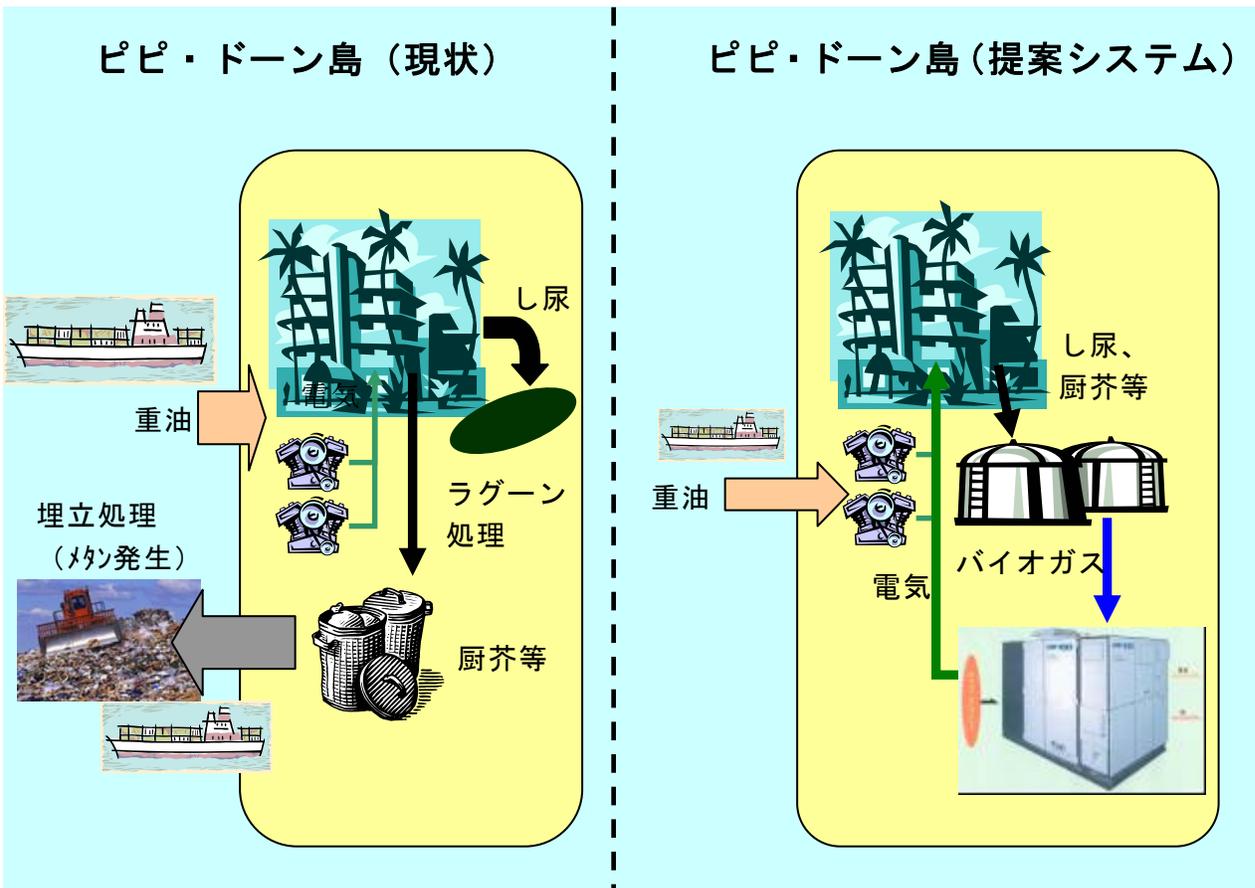


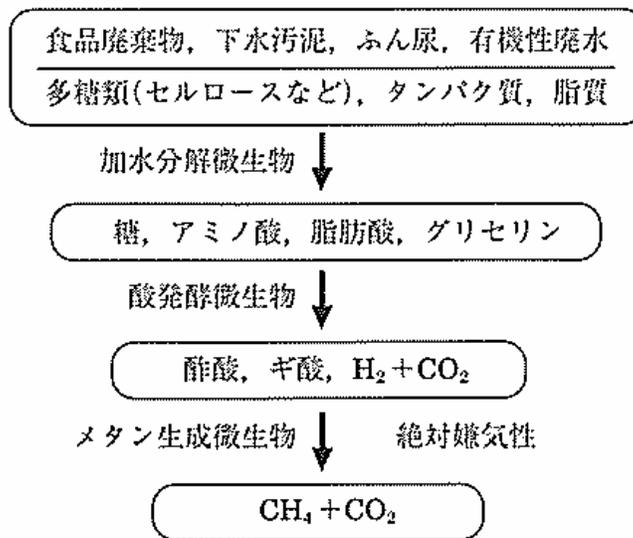
図 5.1-5. プロジェクトの全体像.

1. 発酵設備

厨芥、廃水等を収集してメタン発酵させて処理する設備である。メタン発酵は嫌気性発酵と呼ばれ、バイオマス（有機物）が酸素の存在しない（嫌気性）条件で雑多な微生物の働きにより有機物が分解され、最終的にメタンと二酸化炭素を生成する反応である。

廃棄物の埋立地などではこれらの条件が満たされるので、特に人工的な制御を行わなくてもメタン発酵が進行してメタンガスが発生する。生ごみや下水汚泥など固形状の有機性廃棄物は、多糖類、タンパク質や脂質などの高分子有機物の塊である。また、デンプンなどの多糖類、タンパク質や脂質などの有機物が溶解もしくは懸濁した状態で存在している。メタン発酵は有機物の分解反応なので、古くから廃棄物や廃水処理に用いられてきた。

メタン発酵は、前処理・メタン発酵・脱硫処理・バイオガス利用の各プロセスに大別され、発酵温度により高温（55℃）・中温（35℃）・低温に分類される。また、原料中の有機物濃度により湿式と乾式に分類される。メタン発酵により発生するバイオガスは、一般にメタンが約60%、二酸化炭素が約40%、微量の硫化水素などの混合気体となっている。当該プロジェクトのメタン発酵処理は、廃水も原料とすることから湿式とした（図5.1-6）。



出典:「バイオマスハンドブック」H15.7 (社)日本エネルギー学会編 P.203

図 5.1-6. メタン発酵処理の基本的なフロー.

2. 発電設備

発酵設備から発生したメタンを含むバイオガスは回収されて、一旦、バイオガスを貯留するガスホルダーに貯められた後に、発電用の燃料として利用される。発電設備では、メタンガスを含むバイオガスを燃料として燃料電池システムにて発電する。燃料電池システムを発電設備として利用するため、燃料電池システムから得られる直流をインバータで交流に変換し、既存のディーゼル発電機から発電された電気と連系して、リゾート内の配電線につながる。

リゾートの電気需要は、ゲストルームの照明・コンセント及びエアコン、レストラン・フロント・オフィス、上水製造・ポンプなどで、年間約 4,000 MWh/y である。

5.2. ベースライン方法論の設定

当該プロジェクトは、厨芥などの廃棄物を発酵設備に投入して埋立処分廃棄物を少なくすることによって抑制できるメタン量の算出に関しては、“Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site : ごみ処理場への埋立を回避することによるメタン放出量算出”を、得られたメタンを含むバイオガスを燃料として発電を行う部分については、AMS-I. A. “Electricity generation by the user : ユーザによる発電”を用いる。

【前提条件】

小規模 CDM は、通常の CDM に比べて簡易な手続きが利用できる。ただし、以下の条件を満たしている場合に限る。

タイプ I : 再生可能エネルギープロジェクト

最大出力（プラントの設備容量）が 15 MW 以下のもの。想定されるものとして、太陽光・太陽熱、風力、ハイブリッドシステム、バイオガス、水力、地熱、廃棄物等に関するプロジェクト。

タイプ II : 省エネルギープロジェクト

エネルギー供給側又は需要側における年間の削減エネルギー消費量が 60 GWh 以下のもの。想定されるものとして、産業・業務・家庭等に関するプロジェクト。

タイプ III : その他の（人為的な排出量を削減する）プロジェクト

排出削減量が二酸化炭素換算で年間 6 万 t 以下のもの。想定されるものとして、農業、燃料転換、低排出ガス車、メタン回収などに関するプロジェクト。

5.2.1. ごみ処理場への埋立を回避することによるメタン放出量算出手法

【適用条件】

プロジェクトがなかった場合にごみ処理場に埋立処理された廃棄物から発生するメタン排出量のベースライン算出手法を示す。メタン放出抑制量は、ファーストオーダー分解モデルで試算し、ごみ処理場に処分される廃棄物を明確にすることができた場合に適用可能としている。また、廃棄物に有害廃棄物を含んではいけない。本算出式の GHG 排出源を以下に示す。

| ガス種 | 単位 | 内容 |
|-----------------|---------------------|----------------------------|
| CH ₄ | t-CO ₂ e | プロジェクト期間中のごみ処理場からのメタン放出抑制量 |

5.2.2. 再生可能エネルギーを用いたユーザによる発電に関する CDM 方法論

【適用条件】

1. 系統電源がなく、ユーザが消費地で自家消費するために発電をおこなう場合で、発電出力が 15 MW を越えないものであること。太陽光、水力、風力などとユーザの消費地で電気として使うための風力蓄電池など付帯設備を含む。また、再生可能エネルギー発電は、新設でも従来化石燃料を使っていた発電設備をリプレースでも良い。
2. コージェネレーションシステムは適用しない。
3. 再生可能エネルギー発電と従来発電とを組み合わせる場合、小規模 CDM の出力範囲である 15 MW は、再生可能エネルギー発電装置にのみ適用する。バイオマスと化石燃料混焼装置の場合、発電出力は 15 MW を超えないものであること。
4. 再生可能エネルギー発電を設置するために既存設備の改良・改修するプロジェクトはこの方法論に含まれる。ただし、小規模 CDM となるためには、改良・改修した設備の合計出力は 15 MW を超えないものとする。
5. 従来からある再生可能エネルギー発電所に再生可能エネルギー発電設備を増強するプロジェクトの場合、そのプロジェクトで新設する発電設備は 15 MW 以下とし、既存設備と物理的に区別すること。

当該プロジェクトのリゾート施設から出される厨芥ごみは、現在、プーケット島のごみ処理場に運搬され、埋立処分されているので、タイプⅢ“その他の（人為的な排出量を削減する）プロジェクトに適合し、その厨芥ゴミから発生するバイオガスを燃料として系統電源が整備されていないユーザが自家消費のために発電を行っていることから、タイプⅠ“再生可能エネルギープロジェクト”に適合する。出力及び二酸化

炭素換算の排出削減量ともに、上記基準以下であるので、小規模 CDM に該当する。上記の条件を満たしており、本算出手法を適用することができる。

5.2.3. ベースラインシナリオ及び追加性

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。

そこで、ベースラインシナリオとして、リゾート施設から発生する汚水については最低限の浄化処理を行った後に周囲の海へ放流、厨芥等は収集しプーケット島まで運搬し、ごみ処理場での埋立処分とする。

5.3. プロジェクトバウンダリーの設定

プロジェクトバウンダリーは、次のように設定する（図 5.3-1）。

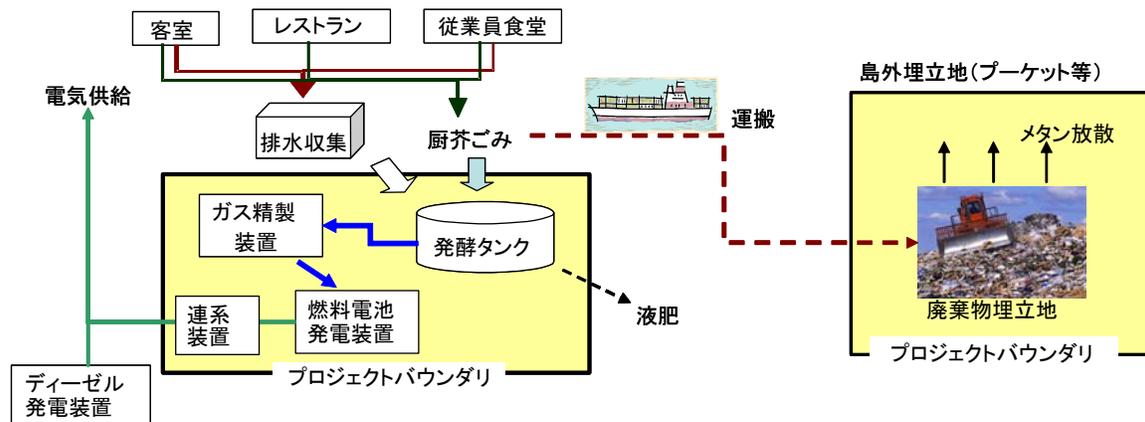


図 5.3-1. プロジェクトバウンダリー。

5.4. GHG 排出削減量の算出方法

当該プロジェクトの GHG の排出削減量は、小規模 CDM 用として承認済みの手法及び方法論によるベースラインシナリオにおける排出量、プロジェクトケースによる排出量、プロジェクト活動におけるリーケージ排出量を用いて、以下の式で算出される。

$$ER_y = BE_{CH_4, SWDS, y} + BE_y - PE_y - LE_y$$

$BE_{CH_4, SWDS, y}$: プロジェクト開始から終了する年 y までに、プロジェクトによって埋立処理を回避した事によって抑制できた GHG 発生量

ER_y : y 年におけるプロジェクト活動によって達成される CH_4 排出削減量 (t-CO₂e)

BE_y : y 年におけるベースラインシナリオにおける CO₂ 排出量 (t-CO₂e)

PE_y : y 年におけるプロジェクトケースにおける CO₂ 排出量 (t-CO₂e)

LE_y : y 年におけるプロジェクト活動におけるリーケージ GHG 排出量 (t-CO₂e)

5.5. ベースラインシナリオにおける GHG 排出量

ベースラインシナリオにおける GHG の排出量は、小規模 CDM のための承認済みの手法 “Tool to determine methane emission avoided from dumping waste at a solid waste disposal site” 及び承認済み方法論 “EB33:Electricity generation by the user” に よって定められた式で得られる。

5.5.1. メタン発生量

y 年の処理場で処理する廃棄物を削減することによって削減できるメタン発生量は

$$BE_{CH_4, SWDS, y} = \phi \cdot (1-f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1-OX) \cdot 16/12 \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{X=1}^y \sum_j W_{j, X} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-X)} \cdot (1-e^{-k_j})$$

$BE_{CH_4, SWDS, y}$ = プロジェクト開始から終了する年 y までに、プロジェクトによって埋立処理を回避した事によって抑制された GHG 発生量

ϕ = モデル式の不確定性の係数

f = 処理場において燃焼等で大気放散しない形で処理されるメタンの比率

GWP_{CH_4} = メタンの温暖化係数

OX = 処理場内で酸化されたメタンを反映した酸化ファクター

F = 処理場から発生するガスのメタン濃度

DOC_f = 分解可能な有機物の比

MCF = メタン修正係数

$W_{j, X}$ = X 年に処理場で処理されない有機ゴミタイプ j の総量 (トン, t)

DOC_j = 厨芥等有機ゴミ j の中の分解可能な有機物の比

- k_j = 有機ゴミ j の分解速度
 j = ゴミ種別
 x = クレジット期間：クレジットが発生する最初の年を 1 として y 年まで
 y = メタン排出量を算出する期間

有機ゴミ j の量は、そのゴミをサンプリングしてその量を算出する。

$$W_{j,x} = W_x \cdot \sum_{n=1}^z P_{n,j,x} / z$$

$W_{j,x}$ = x 年に処理場で処理されなかったある有機ゴミタイプ j の総量 (トン, t)

W_x = x 年に埋立処理されなかった有機ゴミの総量 (トン, t)

$P_{n,j,x}$ = x 年の 1 年間に得た廃棄物サンプル n 中にある有機ゴミタイプ j の比

Z = x 年の 1 年間に得た廃棄物サンプルサンプルナンバー

5.5.2. CO₂発生量

再生可能エネルギーを活用した自家発電による GHG 排出削減量は、再生可能エネルギーによる発電プロジェクトが無ければ使われていたはずの発電設備の燃料消費量をエネルギーベースラインとして定めて算出する (表 5.5-1)。そのベースラインの算出式は 2 つ選択できるが、今回はそのうちの 1 つの式を用いてベースとする。

$$EB = \sum_i O_i / (1-l)$$

EB = 年間のエネルギーベースライン (kWh/y)

\sum_i = プロジェクトとして設備された再生可能エネルギー設備 i の和

O_i = 導入された再生可能エネルギー設備 i の年間出力量予想

l = 隔絶された地域での配電系統における平均的な配電ロス (20%)

GHG 排出量のベースラインは、上記で算出された年間のエネルギーベースライン”EB”に CO₂ 排出係数 (EF_y) として使っても良いとされる以下の係数を掛けて算出する。

$$EF_y = 0.8^2 \text{ (kg-CO}_2\text{/kWh)}$$

表 5.5-1. ベースラインシナリオに利用したパラメータの値

| パラメータ | パラメータ値及び条件 | 根拠 |
|--------------|--|---|
| ϕ | 0.9 | Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site (version 02) EB35 |
| GWP_{CH_4} | 21 | 第1約束期間で決定された係数 |
| OX | 0 | IPCC2006ガイドライン |
| F | 0.5 | IPCC2006ガイドライン |
| DOC_f | 0.5 | IPCC2006ガイドライン |
| MCF | 0.8(埋立深さ5 m以上の処理場) 0.4(埋立深さ5 m未満の処理場) | IPCC2006ガイドライン |
| DOC_j | 15 生ごみ(水分込み) | IPCC2006ガイドライン |
| k_j | 0.4 平均温度20°C以上 平均降水量1,000 mm以上 | IPCC2006ガイドライン |

5.6. プロジェクト実施による GHG 排出量

プロジェクト実施に伴う GHG の排出量は次式で算出される。

$$PE_y = PE_{elec, heat, y} + PE_{ftL, y}$$

PE_y = プロジェクト実施に伴う年間の GHG 排出量

$PE_{elec, heat, y}$ = 発酵設備及び発電設備での所内動力及び熱利用

$PE_{ftL, y}$ = 発酵設備からの CH_4 および CO_2 発生量

5.6.1. 発酵設備及び発電設備での所内動力及び熱利用

厨芥等の有機廃棄物をメタン発酵させるためには、発酵タンクに導入する前の前処理、タンク内での攪拌といった動力が必要となる。この所内動力は機器を設置した後に、実測して決定する必要がある。

5.6.2. 発酵設備からの CH_4 および CO_2 発生量

当該プロジェクトの発酵設備は、完全密閉型の発酵タンクが設置される。そのため、基本的にメタンが漏洩することはない。しかし、発電設備等のメンテナンスの際に、発酵によって生成されるメタンガスの発生を止めることはできないので、1年のうち7

日間、生じたバイオガスをフレアリングして処理するものとする。

5.7. リークージ排出量

当該プロジェクトではバウンダリーからのリークージについては考慮する必要がない。

5.8. モニタリング計画

小規模 CDM のための承認済み手法“Tool to determine methane emission avoided from dumping waste at a solid waste disposal site”及び承認済み方法論”EB33:Electricity generation by the user”に基づいてモニタリング計画を設定する（表 5.8-1）。

表 5.8-1. モニタリング計画の設定

| 項目 | 備考 |
|--------------------|--|
| f | メタン排出削減量の算出に利用(1回/年) |
| GWP _{CH4} | メタン排出削減量の算出に利用(1回/年) |
| W _x | メタン排出削減量の算出に利用 (連続測定1年に1回以上集計) |
| P _{n,j,x} | メタン排出削減量の算出に利用 (1年に4回以上のサンプルを取ることに) |
| z | メタン排出削減量の算出に利用 (連続測定1年に1回以上集計) |
| 設備の運営状態 | バイオマス発電が稼働しているかどうかの確認 |
| バイオマスの総量 | バイオマス発電による寄与量に利用 |
| バイオマス燃料の消費量 | バイオマス発電による寄与量に利用 |

5.9. プロジェクト実施による GHG 排出削減量事前試算

5.9.1. メタン発生量

厨芥等の廃棄物を埋立処理することによって、プロジェクト開始から y 年間に発生するメタンの発生量（ベースラインの発生量）の合計は以下のとおりで示される。

y

$$BE_{CH_4, SWDS, y} = \phi \cdot (1-f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1-0X) \cdot 16/12 \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{X=1} \sum_j W_{j, x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1-e^{-k_j})$$

現在までの調査の結果、1日に発生する厨芥等の有機廃棄物

$$W1 : 0.9 \text{ t/d}$$

発電設備の日本国内の法定耐用年数15年をベースに、プロジェクト期間の厨芥等有機廃棄物の埋立回避によるGHG排出削減量を計算した(表5.8-2)。

表 5.8-2. 埋立回避によるGHG排出削減量合計

| プロジェクト期間 | GHG排出量(t-CO ₂ e) |
|----------|-----------------------------|
| 1年 | 2,047 |
| 2年 | 3,419 |
| 3年 | 4,339 |
| 4年 | 4,955 |
| 5年 | 5,368 |
| 6年 | 5,645 |
| 7年 | 5,831 |
| 8年 | 5,956 |
| 9年 | 6,039 |
| 10年 | 6,095 |
| 11年 | 6,132 |
| 12年 | 6,158 |
| 13年 | 6,174 |
| 14年 | 6,186 |
| 15年 | 6,193 |

参考として、京都議定書で定められた第1約束期間の2012年までの排出削減量は
y : 4年 (2009-2012 : 第1約束期間) とすると

$$BE_{CH_4, SWDS, y} = 0.9 \cdot (1-0.5) \cdot 21 \cdot (1-0) \cdot 16/12 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.4 \cdot \sum_{X=1}^4 W_1 \cdot 15 \cdot e^{-0.4 \cdot (y-1)} \cdot (1-e^{-0.4})$$

$$= 14,760 \text{ t-CO}_2\text{e とする。}$$

5.9.2. 電力量

厨芥等の廃棄物から生じるメタンを含むバイオガスを燃料として発電し、リゾート施設へ供給する年間の電力量の試算は、以下のとおりとなる。

$$O_i = G_{FC} - CE_{FT}$$

O_i : 導入された再生可能エネルギー設備の年間出力量予想

G_{FC} : バイオマスを燃料とした燃料電池発電設備の発電量

CE_{FT} : 発酵設備の電力消費量

1. バイオマスを活用した燃料電池の発電量

$$GFC = \eta_{FC} \cdot W1 \cdot PBG \cdot R_{CH_4} \cdot 365 \text{ (d/year)}$$

η_{FC} : 38% バイオマスを燃料とした燃料電池の発電効率

$W1$: 0.9 t/d 1日に発生する厨芥等の有機廃棄物

PBG : 0.74* m³/kg 1kgの厨芥等の有機廃棄物からバイオガス発生量
(*NEDO「エネルギー量/エネルギー需要量の説明と推計方法」)

R_{CH_4} : 60% 1m³のバイオガス中のメタンガス量

T_{CH_4} : 37,180 kJ/m³ メタン発熱量

$$GFC = 0.38 \cdot 0.9 \cdot 0.74 \cdot 0.6 \cdot 37,180 \cdot 365$$

$$= 2,061 \text{ GJ} = 572 \text{ MWh}$$

2. 発酵設備の動力において消費する電力量及び熱利用量

発酵設備への熱は、発電の際に生じる排熱を用いるのでエネルギーを消費しない。

$$CE_{FT} = W_1 \cdot IE_{FT} \cdot 365 \text{ (d/year)}$$

IE_{FT} : 350* kWh/t (1tの厨芥等の廃棄物を処理するために必要な電力量)
(*環境省「生ゴミバイオガス化発電施設」などからのKRI試算)

$$CE_{FT} = 0.9 \cdot 350 \cdot 365$$

$$= 115 \text{ MWh}$$

$$O_i = G_{FC} - CE_{FT} = 457 \text{ MWh}$$

バイオマスを燃料とした燃料電池発電を導入する当該プロジェクトに対する発電におけるベースラインのGHG発生量は、

$$GHG_B = \sum_i O_i / (1-1) \cdot EF_y = 457 \text{ t-CO}_2$$

5.9.1、5.9.2のGHG排出削減量を合計して、2008-2012年のクレジット期間の合計は、2009-2012年の4年間とすると

$$GHG \text{ 排出削減量} = 16,582 \text{ t-CO}_2e$$

5.10. 環境影響分析

当該プロジェクトを実施することで実施サイト及びその周辺地域への環境影響を分析する。タイでは、電気事業者に一定割合で再生可能エネルギーの利用を義務付けるRPS制度を、2011年を目途に導入予定である。政府は、再生可能エネルギーの導入を推進しており、当該プロジェクトは政府の政策に沿った事業である。

5.10.1. 地域環境への影響

当該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」を資源化できる。当該地域は、タイ国内でも有数のリゾートであり、皮皮・ドーン島においても多数の宿泊施設が存在する。そのため、周辺に立地する宿泊施設でも

当該システムを導入することが可能であり、現在、各施設にて最低限の処理しかなされていらない排水処理システムを高度化することが可能である。結果としてリゾートの環境を維持することができる。また、現在は、厨芥などの廃棄物をプーケット島まで船で輸送して埋立処理しているが、当該システムにより廃棄物を有効利用することで、埋立量を削減することが可能である。さらに、当該システムによる発電によって、従来のディーゼル発電の燃料を削減でき、燃料輸送回数も減らすことが可能である。

5.10.2. 技術移転・開発への影響

当該プロジェクトでは、生ゴミメタン発酵設備、バイオガスの回収・精製設備、燃料電池発電設備を導入する。発酵設備及びガス回収・精製設備に関する技術は、基本的に難しい技術ではない。燃料電池に関しては、スタックの製造については高い技術が必要であるが、メンテナンスに関しては、スタック以外はメンテナンスの必要がないため、エンジン等と比較してオペレーションは容易である。

普及の面から見ると、当該システムは、最近に至るまで、従来の化石燃料が安価であったため、コストメリットが少なく導入は進んでいなかった。特に、リゾート施設を運営する事業者においては、直接的に宿泊客を誘致する設備ではないため、導入に積極的ではなかった。しかし、化石燃料価格の高騰と地球環境に対する関心の高まりは、観光産業にも影響を与え、欧米の有名ホテルチェーンでは環境配慮がテーマになってきている。そこで、当該プロジェクトで本技術の効果が認知されれば、高級リゾートが多数立地するタイ国内で自主的に採用する動きがでるものと期待される。

5.11. 波及効果

当該プロジェクトを実施した結果、当該システムの普及が進めば、地域の環境インパクトを低減した形で、宿泊客を増加させることが可能となる。本地域の更なる経済発展が期待される。

第6章 経済性の検討

6.1. プロジェクト活動の耐用年数

当該プロジェクトの主な設備は、生ゴミメタン発酵設備、バイオガス回収・精製設備、燃料電池発電設備から構成される(図 6.1-1)。

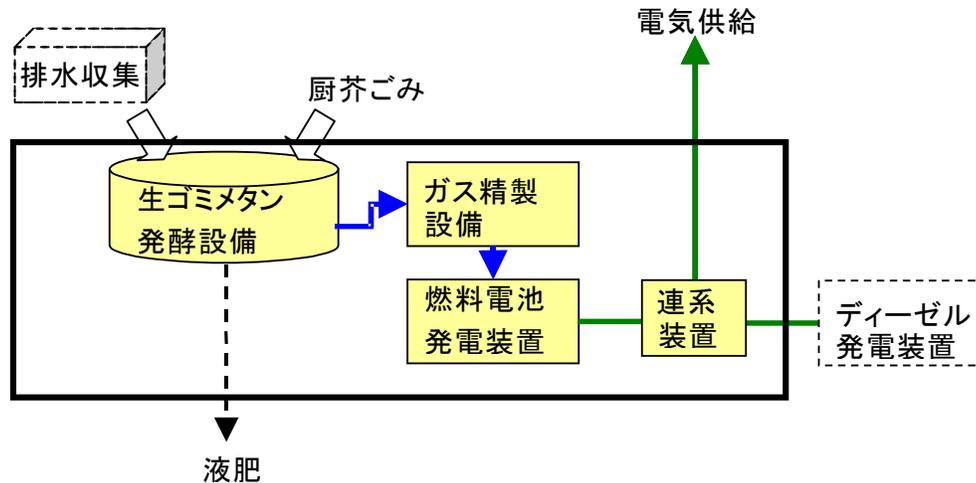


図 6.1-1. 当該プロジェクトの主な設備.

日本における法定耐用年数を記すと、以下のとおりである。

| | |
|------------------|-------|
| 生ゴミメタン発酵設備 | : 21年 |
| ガス回収・精製設備 | : 15年 |
| 燃料電池発電設備(連系装置含む) | : 15年 |

であるため、定期的な点検整備を計画し、プロジェクト期間は15年とする。

6.2. 資金計画

当該プロジェクトの総事業費は、約1,080,000 USDである。現在のところ、リゾート運営事業者自らが、総事業費全額の資金を調達することを想定している。ただし、タイの政策で、再生可能エネルギー源を利用したSPPに総額50,000,000 USDにのぼる補助金を出す等の促進策を行っており、この補助金の支援が見込まれている。

6.3. 経済性の評価・分析

当該プロジェクトの事業性を検討するための前提条件を以下のように定めた。

6.3.1. 前提条件

減価償却費

償却期間：15年 償却方法は定額法。残存簿価0%。

金利等

金利7%と設定。

税制*

法人所得税として、実効税率と30%設定。

(*JETRO HP「投資コスト比較」)

6.3.2. イニシャルコスト

当該プロジェクトの主な設備は、生ゴミメタン発酵設備、バイオガス回収・精製設備、燃料電池発電設備から構成される。実際の現地での見積もりが必要であるが、現段階において見積を取っていないため、日本国内での各設備のイニシャルコストを現場での労務費とそれ以外とに分けて算出する。労働者の賃金が日本国内コストの1/10 (JETRO「投資コスト比較」より) であることから、現場労務費は1/10とし、それ以外の部分は日本国内と同等として試算する。

1. メタン発酵設備 : 80,000千円 (日本国内)
建設施工・基礎工事等の現場労務費割合 90%
タイ現地コスト ⇒ 138,000 USD(約15,200千円)
2. ガス回収・精製設備 : 5,000千円 (日本国内)
配管施工・基礎工事等の現場労務費割合 60%
タイ現地コスト ⇒ 21,000 USD(約2,300千円)
3. 燃料電池発電設備 : 163,000千円 (日本国内)
配管施工・基礎工事等の現場労務費割合 40%
タイ現地コスト ⇒ 948,000 USD(約104,000千円)

イニシャルコスト合計 = 1,107,000 USD (約121,500千円)

6.3.3. ランニングコスト

当該プロジェクトの主なランニングコストとしては、施設の運営・管理に伴う人件費、設備のメンテナンス費、法人税がある。

1. 人件費

施設の運営・監理については、既にディーゼル発電設備を所有し、運転している、また、廃棄物の収集・運搬を既に行っているため、従来からの運転員及び人員が兼ねることとするため、新たに発生する人件費はない。

2. メンテナンス費

各設備についてメンテナンス費が発生する。

| | |
|---------|--------------|
| メタン発酵設備 | : 3,000 USD |
| ガス精製設備 | : 2,000 USD |
| 燃料電池設備 | : 10,000 USD |
| 合計 | : 15,000 USD |

3. 法人税

事業者の利益に対する法人税は、実効性率 30%程度であるが、当該プロジェクトについては、発電された電力は全て自家消費されるので、本事業単独で試算するのは適当ではないので、法人税について考慮しない。

6.3.4. プロジェクトの実質収入

当該プロジェクトにおける収入源は、バイオマス発電を行うことによるディーゼル発電の焚き減らしによるメリット、プロジェクト実施によって得られる CER 収入である。CER の価格は、CDM の状況を勘案して 10 USD/t-CO₂ と設定する。

1. 発電によるメリット額

| | | |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------|
| M_{DOR} | $= P_{do} \times C_{dor}$ | ディーゼル発電の焚き減らしによるメリット額 |
| C_{dor} | $= T_{do} \times O_i / \eta_{DE}$ | ディーゼル発電の焚き減らし軽油量 |
| η_{FC} | : 20% | ディーゼル発電の発電効率 |
| T_{do} | : 36.7 MJ/L | ディーゼル用軽油発熱量 |
| O_i | $= 457 \text{ MWh}$ | バイオマス燃料による燃料電池発電量 |
| P_{do} | $= 0.9 \text{ USD/L}$ | ディーゼル用軽油価格 (現地報告) |
| M_{DOR} | $= 216,300 \text{ USD}$ | 年間メリット額 |

2. CER 収入

CER 収入は、廃棄物の埋立を回避することによって、抑制できるメタン排出量に比例する。メタン排出抑制量は、前述の方法論によって決定され、2,000-6,200 t-CO₂e である。例えば、CER 単価を 10 USD/t-CO₂e と仮定すると、年間の CER 収入は、25,000-66,500 USD/年となる。

表 6.3-1. 当該プロジェクト実施による GHG 排出削減量

| プロジェクト期間 | GHG排出削減量(t-CO ₂ e) (埋立回避による) | GHG排出削減量(t-CO ₂ e) (バイオマス発電による) | CER収入 10 USD/t-CO ₂ |
|----------|--|---|-----------------------------------|
| 1年 | 2,047 | 457 | 25,039 |
| 2年 | 3,419 | 457 | 38,759 |
| 3年 | 4,339 | 457 | 47,956 |
| 4年 | 4,955 | 457 | 54,121 |
| 5年 | 5,368 | 457 | 58,254 |
| 6年 | 5,645 | 457 | 61,024 |
| 7年 | 5,831 | 457 | 62,881 |
| 8年 | 5,956 | 457 | 64,126 |
| 9年 | 6,039 | 457 | 64,960 |
| 10年 | 6,095 | 457 | 65,519 |
| 11年 | 6,132 | 457 | 65,894 |
| 12年 | 6,158 | 457 | 66,146 |
| 13年 | 6,174 | 457 | 66,314 |
| 14年 | 6,186 | 457 | 66,427 |
| 15年 | 6,193 | 457 | 66,503 |

6.3.5. 損益

当該プロジェクトの収入は、CER を販売することによって得られる収入だけである。しかし、実際には、発電燃料として使用する軽油の消費量削減によるメリット、廃棄物の削減による廃棄物処理費用抑制のメリットも考慮に入れる必要がある。実質収入を試算すると、約 260,000-300,000 USD であり、実質収入のうちの 2/3 以上は、発電燃料の軽油の焚き減らしによって得られるメリットである。

一方、発生する費用は、設備の減価償却費、借入金金利、メンテナンス費、燃料電池を導入により発生する燃料電池スタックのオーバーホール費用で構成される。オーバーホールの間隔は 60,000 時間とされるので、プロジェクト期間を 15 年とすると、期間中に 1 回オーバーホールを行う必要がある。

ガスエンジンと燃料電池の経済性を比較すると、長期的に見れば燃料電池の方が優れる。燃料電池はガスエンジンに比較して発電効率が高く、軽油焚き減らし量が多い

ことが要因である。そのため、昨今の石油価格の高騰は、当該プロジェクトの優位性を増大させている。

【当該プロジェクトの損益】

損益計画

| | 前提条件 | 2009 1年目 | 2010 2年目 | 2011 3年目 | 2012 4年目 | 2013 5年目 | 2014 6年目 | 2015 7年目 | 2016 8年目 | 2017 9年目 | 2018 10年目 | 2019 11年目 | 2020 12年目 | 2021 13年目 | 2022 14年目 | 2023 15年目 |
|----------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 実質収入 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 発電による実質収入 | 軽油単価 0.85 USD/L | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 | 216,300 |
| 廃棄物削減による実質収入 | 処理単価 56 USD/t | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 | 18,500 |
| CER販売収入 | CER単価 10 USD/t-CO ₂ | 25,369 | 39,089 | 48,286 | 54,451 | 58,584 | 61,354 | 63,211 | 64,456 | 65,290 | 65,849 | 66,224 | 66,476 | 66,644 | 66,757 | 66,833 |
| 合計 | | 260,169 | 273,889 | 283,086 | 289,251 | 293,384 | 296,154 | 298,011 | 299,256 | 300,090 | 300,649 | 301,024 | 301,276 | 301,444 | 301,557 | 301,633 |
| 費用 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 減価償却費 | | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 |
| 借入金利息 (マイナスは預金利息) | 借入金利率 7% | 77,490 | 72,580 | 67,327 | 61,706 | 55,692 | 49,257 | 42,371 | 35,003 | 27,119 | 18,684 | 9,658 | 0 | -10,334 | -21,391 | -33,222 |
| 法人税支払 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 人件費 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| メンテナンス費 | | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 |
| FCオーバーホール | 1回/7年半 | | | | | | | | 400,000 | | | | | | | |
| 合計 | | 166,290 | 161,380 | 156,127 | 150,506 | 144,492 | 138,057 | 131,171 | 523,803 | 115,919 | 107,484 | 98,458 | 88,800 | 78,466 | 67,409 | 55,578 |
| 当期実質利益 | | 93,879 | 112,509 | 126,959 | 138,745 | 148,892 | 158,098 | 166,840 | -224,547 | 184,171 | 193,166 | 202,566 | 212,475 | 222,978 | 234,148 | 246,055 |
| 法人税 | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 当期利益 | | 93,879 | 112,508 | 126,957 | 138,742 | 148,888 | 158,093 | 166,834 | -224,554 | 184,163 | 193,157 | 202,556 | 212,464 | 222,966 | 234,135 | 246,041 |

資金計画

| | | 2009 1年目 | 2010 2年目 | 2011 3年目 | 2012 4年目 | 2013 5年目 | 2014 6年目 | 2015 7年目 | 2016 8年目 | 2017 9年目 | 2018 10年目 | 2019 11年目 | 2020 12年目 | 2021 13年目 | 2022 14年目 | 2023 15年目 |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 調達 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期借入金 | 1,107,000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 実質収入 | | 260,169 | 273,889 | 283,086 | 289,251 | 293,384 | 296,154 | 298,011 | 299,256 | 300,090 | 300,649 | 301,024 | 301,276 | 301,444 | 301,557 | 301,633 |
| 調達合計 | 1,107,000 | 260,169 | 273,889 | 283,086 | 289,251 | 293,384 | 296,154 | 298,011 | 299,256 | 300,090 | 300,649 | 301,024 | 301,276 | 301,444 | 301,557 | 301,633 |
| 使途 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 初期投資 | 1,107,000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期元本支払い | 10年返済 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 長期借入金利息支払い | | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 費用(償却、利子除く) | | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 415,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 |
| 剰余積立 | | 97,543 | 111,263 | 120,460 | 126,625 | 130,758 | 133,528 | 135,385 | -263,370 | 137,464 | 138,023 | 286,024 | 286,276 | 286,444 | 286,557 | 286,633 |
| 使途合計 | 1,107,000 | 260,169 | 273,889 | 283,086 | 289,251 | 293,384 | 296,154 | 298,011 | 299,256 | 300,090 | 300,649 | 301,024 | 301,276 | 301,444 | 301,557 | 301,633 |
| 借入残高 | | 1,036,864 | 961,818 | 881,520 | 795,600 | 703,666 | 605,297 | 500,042 | 387,418 | 266,912 | 137,970 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 内部留保 | | 97,543 | 208,806 | 329,266 | 455,892 | 586,650 | 720,178 | 855,563 | 592,193 | 729,657 | 867,680 | 1,153,704 | 1,439,980 | 1,726,424 | 2,012,981 | 2,299,613 |
| キャッシュ残高(▲は借入超過を表す) | | ▲ 939,321 | ▲ 753,013 | ▲ 552,253 | ▲ 339,708 | ▲ 117,016 | 114,881 | 355,521 | 204,774 | 462,745 | 729,710 | 1,153,704 | 1,439,980 | 1,726,424 | 2,012,981 | 2,299,613 |

損益計画

(燃料電池の場合)

| | | 前提条件 | 2009 1年目 | 2010 2年目 | 2011 3年目 | 2012 4年目 | 2013 5年目 | 2014 6年目 | 2015 7年目 | 2016 8年目 | 2017 9年目 | 2018 10年目 | 2019 11年目 | 2020 12年目 | 2021 13年目 |
|---------------|----------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 実質収入 | 発電による実質収入 | 軽油単価 0.85 USD/L | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 | 183,145 |
| | 廃棄物削減による実質収入 | 処理単価 59.2 USD/t | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 |
| | CER販売収入 | CER単価 10 USD/t-CO ₂ | 25,043 | 38,764 | 47,961 | 54,126 | 58,258 | 61,029 | 62,885 | 64,130 | 64,964 | 65,524 | 65,899 | 66,150 | 66,318 |
| | 合計 | | 227,732 | 241,453 | 250,650 | 256,815 | 260,948 | 263,718 | 265,575 | 266,819 | 267,654 | 268,213 | 268,588 | 268,839 | 269,008 |
| | 費用 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 減価償却費 | | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 | 73,800 |
| | 借入金利子 (マイナスは預金利子) | 借入金利率 7% | 77,490 | 72,580 | 67,327 | 61,706 | 55,692 | 49,257 | 42,371 | 35,003 | 27,119 | 18,684 | 9,658 | 0 | -10,334 |
| | 法人税支払 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 人件費 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | メンテナンス費 | 0.025 D/kWh | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 |
| | FCオーバーホール | 1回/7年半 | | | | | | | | 363,636 | | | | | |
| | 合計 | | 166,290 | 161,380 | 156,127 | 150,506 | 144,492 | 138,057 | 131,171 | 487,439 | 115,919 | 107,484 | 98,458 | 88,800 | 78,466 |
| 当期実質利益 | | | 61,442 | 80,072 | 94,523 | 106,309 | 116,456 | 125,661 | 134,404 | -220,620 | 151,734 | 160,729 | 170,130 | 180,039 | 190,541 |
| 法人税 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 当期利益 | | | 61,442 | 80,072 | 94,523 | 106,309 | 116,456 | 125,661 | 134,404 | -220,620 | 151,734 | 160,729 | 170,130 | 180,039 | 190,541 |
| 割引率 0.1305 | | NPV= | 119,636 | 120,409 | 116,517 | 110,288 | 103,058 | 95,576 | 88,253 | -55,052 | 74,808 | 68,815 | 63,314 | 58,283 | 53,691 |
| Σ NPV = 5,780 | | | | | | | | | | | | | | | |

資金計画

| | | 2009 1年目 | 2010 2年目 | 2011 3年目 | 2012 4年目 | 2013 5年目 | 2014 6年目 | 2015 7年目 | 2016 8年目 | 2017 9年目 | 2018 10年目 | 2019 11年目 | 2020 12年目 | 2021 13年目 | |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| 調達 | 長期借入金 | 1,107,000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 実質収入 | 227,732 | 241,453 | 250,650 | 256,815 | 260,948 | 263,718 | 265,575 | 266,819 | 267,654 | 268,213 | 268,588 | 268,839 | 269,008 | |
| | 調達合計 | 1,107,000 | 227,732 | 241,453 | 250,650 | 260,948 | 263,718 | 265,575 | 266,819 | 267,654 | 268,213 | 268,588 | 268,839 | 269,008 | |
| 使途 | 初期投資 | 1,107,000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 長期元本支払い | 10年返済 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 110,700 | 0 | 0 | |
| | 長期借入金利息支払い | | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 36,926 | 0 | 0 | |
| | 費用(償却、利子除く) | | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 378,636 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 15,000 | |
| | 剰余積立 | | 65,106 | 78,827 | 88,024 | 94,189 | 98,322 | 101,092 | 102,949 | -259,443 | 105,028 | 105,587 | 253,588 | 253,839 | 254,008 |
| | 使途合計 | 1,107,000 | 227,732 | 241,453 | 250,650 | 256,815 | 260,948 | 263,718 | 265,575 | 266,819 | 267,654 | 268,213 | 268,588 | 268,839 | 269,008 |
| 借入残高 | | | 1,036,864 | 961,818 | 881,520 | 795,600 | 703,666 | 605,297 | 500,042 | 387,418 | 266,912 | 137,970 | 0 | 0 | |
| 内部留保 | | | 65,106 | 143,933 | 231,957 | 326,147 | 424,468 | 525,560 | 628,509 | 369,066 | 474,094 | 579,681 | 833,269 | 1,087,108 | 1,341,116 |
| キャッシュ残高(▲は借入超過を表す) | | | ▲ 971,758 | ▲ 817,885 | ▲ 649,562 | ▲ 469,454 | ▲ 279,198 | ▲ 79,737 | 128,467 | ▲ 18,353 | 207,182 | 441,711 | 833,269 | 1,087,108 | 1,341,116 |

損益計画

(ガスエンジンの場合)

| | | 前提条件 | 2009 1年目 | 2010 2年目 | 2011 3年目 | 2012 4年目 | 2013 5年目 | 2014 6年目 | 2015 7年目 | 2016 8年目 | 2017 9年目 | 2018 10年目 | 2019 11年目 | 2020 12年目 | 2021 13年目 |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 実質収入 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 発電による実質収入 | 軽油単価 0.85 USD/L | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 | 74,587 |
| | 廃棄物削減による実質収入 | 処理単価 59.2 USD/t | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 | 19,545 |
| | CER販売収入 | CER単価 10 USD/t-CO ₂ | 22,332 | 36,052 | 45,249 | 51,414 | 55,547 | 58,317 | 60,174 | 61,419 | 62,253 | 62,812 | 63,187 | 63,438 | 63,607 |
| | 合計 | | 116,463 | 130,184 | 139,381 | 145,546 | 149,679 | 152,449 | 154,306 | 155,550 | 156,385 | 156,944 | 157,319 | 157,570 | 157,738 |
| 費用 | 減価償却費 | | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 |
| | 借入金利息 (マイナスは預金利息) | 借入金利率 7% | 31,500 | 29,504 | 27,369 | 25,084 | 22,639 | 20,023 | 17,224 | 14,229 | 11,025 | 7,596 | 3,927 | 1 | -4,200 |
| | 法人税支払 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 人件費 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | メンテナンス費 (メンテ費にオーバーホール込) | 0.073 D/kWh | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 |
| | 合計 | | 83,500 | 81,504 | 79,369 | 77,084 | 74,639 | 72,023 | 69,224 | 66,229 | 63,025 | 59,596 | 55,927 | 52,001 | 47,800 |
| | 当期実質利益 | | 32,963 | 48,679 | 60,012 | 68,462 | 75,039 | 80,425 | 85,081 | 89,321 | 93,360 | 97,348 | 101,392 | 105,569 | 109,938 |
| 法人税 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 当期利益 | | 32,963 | 48,679 | 60,012 | 68,462 | 75,039 | 80,425 | 85,081 | 89,321 | 93,360 | 97,348 | 101,392 | 105,569 | 109,938 | |
| | 割引率 0.2014 | NPV= | 52,408 | 54,511 | 51,908 | 47,263 | 41,968 | 36,723 | 31,856 | 27,493 | 23,658 | 20,329 | 17,458 | 14,994 | 12,882 |
| Σ NPV = 4,059 | | | | | | | | | | | | | | | |

資金計画

| | | | 2009 1年目 | 2010 2年目 | 2011 3年目 | 2012 4年目 | 2013 5年目 | 2014 6年目 | 2015 7年目 | 2016 8年目 | 2017 9年目 | 2018 10年目 | 2019 11年目 | 2020 12年目 | 2021 13年目 |
|--------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 調達 | 長期借入金 | 450,000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 実質収入 | | 116,463 | 130,184 | 139,381 | 145,546 | 149,679 | 152,449 | 154,306 | 155,550 | 156,385 | 156,944 | 157,319 | 157,570 | 157,738 |
| | 調達合計 | 450,000 | 116,463 | 130,184 | 139,381 | 145,546 | 149,679 | 152,449 | 154,306 | 155,550 | 156,385 | 156,944 | 157,319 | 157,570 | 157,738 |
| 使途 | 初期投資 | 450,000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 長期元本支払い | 10年返済 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 45,000 | 0 | 0 | 0 |
| | 長期借入金利息支払い | | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 15,010 | 0 | 0 | 0 |
| | 費用(償却、利子除く) | | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 |
| | 剰余積立 | | 34,453 | 48,174 | 57,371 | 63,536 | 67,669 | 70,439 | 72,296 | 73,540 | 74,375 | 74,934 | 135,319 | 135,570 | 135,738 |
| | 使途合計 | 450,000 | 116,463 | 130,184 | 139,381 | 145,546 | 149,679 | 152,449 | 154,306 | 155,550 | 156,385 | 156,944 | 157,319 | 157,570 | 157,738 |
| | 借入残高 | | 421,490 | 390,984 | 358,343 | 323,417 | 286,046 | 246,060 | 203,274 | 157,493 | 108,508 | 56,093 | 0 | 0 | 0 |
| 内部留保 | | 34,453 | 82,627 | 139,998 | 203,534 | 271,202 | 341,641 | 413,936 | 487,477 | 561,851 | 636,785 | 772,104 | 907,674 | 1,043,412 | |
| キャッシュ残高(▲は借入超過を表す) | | ▲ 387,037 | ▲ 308,357 | ▲ 218,345 | ▲ 119,883 | ▲ 14,844 | 95,581 | 210,663 | 329,984 | 453,344 | 580,692 | 772,104 | 907,674 | 1,043,412 | |

導入効果

| | 燃料電池 | ガスエンジン |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Oi: 再生可能エネルギー年間出力量 | 457 MWh | 186 MWh |
| GHGB: 温暖化効果ガス排出削減量 | 457 t-CO ₂ | 186 t-CO ₂ |
| W1: 1日の有機廃棄物処理量 | 0.9 t/d | |

経済的なメリット比較

| | | 燃料電池 | ガスエンジン |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 軽油 焚減らし | 再生可能エネルギー年間出力量 | 457 MWh | 186 MWh |
| | ディーゼルエンジンの年間平均発電効率 | 20% | |
| | 軽油発熱量 | 38.2 MJ/L | |
| | 再生エネルギー活用による軽油焚き減らし量 | 216 kL/y | 88 kL/y |
| | 軽油単価 | 26.34 THB/L | |
| | | 849.7 USD/kL | |
| | 焚き減らしによる二酸化炭素発生削減量 | 457 t-CO ₂ /y | 186 t-CO ₂ /y |
| 焚き減らしメリット | 183,145 USD | 74,587 USD | |
| 廃棄物 処理 | 有機廃棄物処理量 | 330 t/y | |
| | 廃棄物 1tonあたりの運搬埋立コスト(従来) | 1,836 THB/t | |
| | | 59.2 USD/t | |
| 発酵処理によるコスト削減メリット | 19,545 USD/y | | |
| C E R 収入 | 有機廃棄物埋立削減量 | 330 ton/y | |
| | 埋立による予想メタン発生量 | 2050-6050 t-CO ₂ /y | |
| | CER単価(=EUAの8割と想定) | 10 USD/t-CO ₂ | |
| | CER収入 | 25,070-65,070 USD | 22,360-62,360 USD |
| | | 為替レート | 31.0 BHT/US\$ |

第7章 事業化に向けた課題

当該プロジェクトの事業化に係る課題を、2回の検討委員会、2回のGEC支援委員からのコメント、2回の国内有識者へのヒアリングなどから抽出し、検討を行った。

7.1. 検討委員会による課題の抽出

2月7日および2月25日の2回にわたり、国内有識者による検討委員会を行なった。議事録中の文頭に示した「→」は各委員の先生からのコメント、「・」は事務局のコメントを表している。

尚、各検討委員が全員出席した公式の検討委員会は、調査期間終了間際の開催となったが、KRI担当者と各検討委員との間では、調査期間を通して個別の会議を適宜開催し、情報の共有化・意見の収集などに努めてきたため、調査の進捗に不都合は無い。

7.1.1. 第一回検討委員会

【日時】 2008/2/7 13:30～19:30

【場所】 株式会社KRI 大会議室

【出席者】 大阪大学特任教授 宮本 和久氏
沖電設計株式会社取締役 安里 貞夫氏
東京大学工学研究科准教授 荒巻 俊也氏
株式会社KRI 若山、藤間
悠環境システム研究所 久我

1. 事業調査結果の説明

対象地域の紹介

タイの観光業のデータについて

→当該調査が対象地域の開発による環境悪化軽減を検討するので、離島の観光データも報告書に記載した方がよい。

・TATなどから情報を収集して報告書に記載する。

2. 対象地域の現状

対象地域の排水処理の状況

・コテージなどの客室からの排水は、コテージ下部で集めた上で、バックヤードの廃水処理設備で処理をしている。一見、処理後の排液は、処理前と変化がないように見えるが、リゾート側はBODで150 mg/L程度まで落ちていると言っている。

→BOD 150 mg/Lは、国内では施設に入る原水の濃度である。

- ・このリゾートオーナーは、調査に協力的であり、殆どのデータを我々に公開してくれている。一方で、データ化されていない情報もあり、廃水量などもその一つである。

対象地域の発電機

- ・新旧2タイプのディーゼル発電機がある（旧型はパーム油を利用可能）。現状では、最新の効率が高いエンジンをメインに利用している。
 - ・タイにおけるパーム椰子栽培はクラビ地方で盛んである。パーム油をクラビから調達可能であるが、結果的に輸送はする必要がある。
- タイは政府がBDFを奨励しているが、企業として参画している所は少ない。
- 化石燃料が高騰したのでパーム油が注目されたが、注目された故にパーム油も高騰したのは皮肉な結果である。
- ・ディーゼル発電機は2台を交互に動かしており、大きいものは500kW。現状は、新型の発電機と、古い発電機を日ごとに交互に動かしている。
 - ・完全に使われていない発電機もある。

太陽光発電装置（PV）の設置理由

- ・PVは、8.7kWで従業員用食堂の屋根に設置されている。太陽熱温水装置も設置されているが、現在は故障しており稼働していない。PVの出力変動は、電力系統へ影響を与えるので、保護装置を設けている。リゾートとしては、PV増設の気持ちは希薄であると感じた。

サイトの選定について

- ・ピピ島は欧米人（バックパッカー）が多く、アジア人は少ない。
- バックパッカーが多いサイトでは、日本の技術のPR効果は低いのではないかと。最終的なサイトに関しては、いろんな角度から考えるべきである。当該プロジェクトは、タイの富裕層がいるサイトで実施したほうがよりPRには効果的であると考えられる。

3. プロジェクトの事業性

プロジェクトの事業性

- 当該プロジェクトの実施によって、サイトにおける現状の廃棄物処理コストが削減されるのであるから、プロジェクトの評価に組み込む必要があるのではないかと。
- 当該システムにおいて、常にエンジンが最大出力で動くような形で燃料電池を利用すれば、よりエネルギーの削減が可能になるのではないかと。
- （パワーポイントで示した）シーソーの図については、概算でもよいので各々メリット・デメリット計算をし、個々のブロックの大きさを計算値に比例させておく（定量的な表現とする）。
- （パワーポイントで示した）CERの収入と排出権の獲得は同じ意味なので、同一のブロ

ックにする。

→メタンの削減部分と、自家発電の部分について、試算に含めている箇所に関しては、プロジェクトバウンダリーとして図示しておく。

→比較のためにガスエンジンを導入した場合のコスト計算も行い、燃料電池のメリットを書いた方がよい。

- ・ 上述について、次回の検討委員会で報告する。

液肥の利用について

・液肥は島内では利用しきれないため、メタン発酵の希釈液などで還流する。メタン発酵残渣は、堆肥化して圃場などで使用する。

→一般的なパームのプランテーションでは、肥料に何を利用しているのか？

- ・パームのプランテーションでは、POME の利用や EFB を燃やした灰を利用する場合もあるが、基本的には化学肥料を利用している。

→当該プロジェクトでは、離島にて廃棄物を発酵処理し、その残渣を島外にて埋め立て処理する。従来、未処理であった廃棄物が発酵処理され、埋め立て時に腐敗しやすい廃棄物が減るのは大きなメリットになるはず。

- ・生ごみのメタン発酵処理施設の成功事例を集めておく。

4. CDM 事業について

- ・生ごみのメタン発酵の原単位は、収集する生ごみの成分によって変動してしまうが、どのように試算すべきか？

→CDM 化に際しては、メタン発生量の削減によるクレジットの割合が大きい。生ごみのメタン発酵の原単位が一定でないのであれば、バイオガス発電によるクレジットに関しては、計算から除外するのも一つの手ではないか。

→ IPCC のガイドラインにあるバイオガスの発生量・分解速度を考慮して原単位を計算してみたらどうか。

- ・検討する（結果的には IPCC にデータ無し）。

5. 当該システムの他サイトへの導入

→大学への導入

→大学は一つのキャンパスで何万もの人口を擁している。環境問題への意識が高いため学生、教職員の協力も得やすい。ごみの分別は、生協が中心になって行っており、生ごみの成分も比較的均一である。多くの大学がこのようなシステムに興味をもつのではないか。

・仰るとおりである。大学に限らず国立の研究所などでも同様である。産総研でも所内の職員食堂から得られる厨芥からエネルギー化する PJ を実施した経験がある。

→当該システムの国内離島への適用拡大

- 沖縄の離島では新エネルギーを積極的に取り入れようとしている。このシステムを沖縄の離島に導入し、日本初、沖縄発の技術という事で発信したらどうか。
- 沖縄の離島においては、島内のエネルギーを全て自然エネルギーで賄うという究極のエコをコンセプトとしたデベロッパーが増えてきている。そのようなコンセプトがあれば、多少価格が高くても、集客が見込めるはずである。従来の経済性とは違った、別の視点を持つことも可能ではないか。
- トンガに CDM の調査に行った際、「太陽光もいいが、廃棄物をなんとかしてくれ」と言われた。小さい島には廃棄物の問題がある。このプロジェクトはエネルギーの獲得と廃棄物の処理の両方を同時にできるので、方向性は非常によい。残る問題はコストをいかに下げるかである。
 - ・ 離島への新エネルギーの導入は、最初は風力発電、太陽光発電であったが、それぞれ出力の変動が大きく、コストを下げるのが難しかった。今後は、燃料電池のような調整能力の高い発電機をどのように組み合わせるのが課題である。
- 離島においては、昔ながらの生活をしている分には問題はないが、畜産業、過密した都市化、開発を必要とする観光業などにより、島のキャパシティ以上に人間が増えるとさまざまな問題がおきる。タイの北部の観光地の山岳地帯では、人口も少なく、観光客が来たとしてもエコツーリズムであるため、問題はなかった。当該プロジェクトのシステムは、離島が一番のターゲットである。
- 手つかずの自然が残っている黒島は、新エネルギーを利用したエコアイランド化に対して積極的である。事業コストが高いことは島民も理解しており、ある程度補助があるのなら、新エネルギーを導入する意思がある。

7.1.2. 第二回検討委員会

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| 【日時】 | 2008/2/25 13:30~17:30 | |
| 【場所】 | 株式会社 KRI 大会議室 | |
| 【出席者】 | 大阪大学特任教授 | 宮本 和久氏 |
| | 沖電設計株式会社取締役 | 安里 貞夫氏 |
| | 東京大学工学研究科准教授 | 荒巻 俊也氏 |
| | 株式会社 KRI | 若山、藤間 |
| | 悠環境システム研究所 | 久我 |

1. プーケット焼却施設訪問

- 発電は所内動力として利用しているのか？また、所内の何割程度の電力を賄っているのか？
- ・ 現地に確認中である。
- ピットの保温は廃熱を利用しているのか？

- ・焼却炉排熱をしようしているが、気温も高いので自然発酵でも温度が上昇している可能性がある。

→ごみを拾っている人の賃金が1,000 パーツは高すぎないのか？

- ・タイの平均賃金を考慮すると、高いと思われる。現地担当者に確認中である。

2. ピピ島調査結果報告書

- ・(導入におけるメリットの図において) ブロックの大きさ、シーソーの向きを変更し定量的な表現にした。

- ・バウンダリーにプーケットの埋立地も含めた。埋立時の輸送の部分もバウンダリーに含まれるが、現状ではどの程度、燃料を使っているのかが不明であるため除外している。

- ・燃料電池とガスエンジンのコスト計算を行った。割引率を含めるとガスエンジンの方が有利だという結果になる。

- ・IRR (内部投資収益率) で重要なのは、キャッシュがどのくらい得られるかである。バイオガスを使ったガスエンジンはメンテナンスコストが高くなる。燃料電池メーカーが初期投資コストを下げるよう努力しているのでそれに期待したい。

- ・MCF の値は埋立深さ 5 m 未満の処理場に適用される 0.4 を利用した。

→CER 収入が得られない場合はどのような試算になるのか？CER 収入を考慮せずに、どのような結果になるのかが重要になる。

3. 今後のプロジェクト方針

今後の案

→今後、どのように次につなげていくかについて案はあるのか？

- ・ピピ島はバイオマスの量が少ないので 100 kW PAFC をフルロードで 24 時間稼働させるのは難しいのではないかと考えている。調査サイトの隣接ホテル (ホリデーイン) と共同でプロジェクトを実施することも考えられる。

- ・厨芥生ごみ等は質が一定ではないので、組成を測定しても再現性が全く得られない。メタン発酵についても生ゴミあたりのメタン発生量は大きく異なる。よって、これらをどのように評価するのが重要になる。質が平均化されて得られるのであれば、NEDO に提案していきたいと考えている。

- ・リゾート全体は、環境保全を図ることが命題だという話はあるし、リゾートもゼロエミッションを売りにしているところがでてきている。我々のシステムを入れればこうなるということは提案できる。是非、調査サイト・カウンターパートと協力し、調査だけでなく実機の導入を進めていきたい。

生ごみの原単位

→生ごみの量が、どの程度の量であれば安定して運転できるのか。そのラインを明確にす

る必要があるのではないか。

- ・前回委員会で議題にあがった IPCC のデータを探してみたが見つからなかった。生ごみからのバイオガスの発生量の原単位をどのようにするのか。これが決まれば、これだけの量の生ごみがあれば運転可能だという話是可以する。
- 燃料電池の技術以前に、生ごみの収集方法などが重要になる。
- ・リゾート内では、すでに収集システムは構築されているので問題ない
- パーム油の廃液を利用するプロジェクトについてはどうなのか？
- ・九工大の白井先生が検討しており、COD ベースの発生量は把握している。しかし、パーム油廃液と生ゴミの組成は大きく異なるので参考には出来ないと考える。

燃料電池の利用方法

- ガスエンジンとの比較では、ガスエンジンは定格で運転しているのであればよいが、出力が下がると効率が大幅に下がってしまう。燃料電池はハーフロードでも効率高い。リゾートの場合、シーズンによってお客さんの数も変わり、生ごみの量も変動するので、そういう視点で考えることも重要である。
- 当該プロジェクトは小規模なサイトを想定していることから、ガスエンジンよりも燃料電池のほうが適している。
- 今後の方向性として、どのようなサイトをターゲットにするのかを絞り込む。離島で、かつパーム農園があるところや、タピオカのでんぷん工場があるところなどはどうか。ホテルだけをターゲットとすると難しいので、農場や工場にターゲットを絞るというのも一つの手ではないか。
- 燃料電池によって発電した電気をバッテリーカーの充電に利用する等はどうか。液体燃料の代わりになればアピールになるのではないか。

4. 多良間島への当該システムの適用拡大について

- ・多良間島では、牛糞尿を利用し、実際に沖縄電力が発電を行っている島に当該システムを導入する調査を別途行っている。来年には実機を入れたいと考えている。技術開発的要素が無いと思われているため、100%の委託費（補助金）は、難しいと言われており、予算について調整中である。前回の委員会で伺ったサイトに導入するのもよいと考えている。

風力発電の利用

- 現在のシステムでは技術開発要素がないというのであれば、燃料電池は負荷範囲が広いので、風力と燃料電池を組み合わせたシステムにしてみてもどうか。風力発電による変動を燃料電池で吸収させる。
- 現在ディーゼルエンジンを風力発電とともに運用しているが、風力発電の変動が大きいために、エンジンの効率は犠牲になっている。

・小さい風車が系統につながったらどうなるのか？単独運転防止装置は個々につける必要があるのか？

→大きい分散電源よりも小さい分散電源のほうが、変動が小さいので電力会社にとってはよい。単独運転防止装置は個々の分散電源に必要であるが、離島では、分散電源は系統ではなく発電所に直接つなげている。

補助金の獲得

・国のプロジェクトとする場合、NEDO では、一年前からプロジェクトの計画を立てて行っている。環境省委託の実証事業の方が、平成 20 年度にプロジェクトを行うというのであればよいのではないか。

・環境省と経産省には、プロジェクト内容の線引きはあるのか？

→NEDO では、海外事業はモデル事業のみになる。その場合、一号機は補助が得られるが、二号機からは企業が自分で売らなければいけない。環境省では、当初の補助率は低いが、NEDO のような縛りはない。

国にとっては、プロジェクトの経費よりもその結果得られる PR 効果の方が重要である。2012 年までに二酸化炭素の削減をすることが最重要である。

例えば、当該プロジェクトに加えて、稚内で行っている太陽電池の実証試験を南の島でも行うことを提案してみる。当該システムだけでなく、今まで行われていない南での太陽電池の実証も含めて、一式評価を行う。

藻類の利用

→すでに設備が入っているところに新たな設備を導入しようとするのは難しい。農業と競合しない土地を利用するなど。私が行った藻類を利用した排水処理はその一つ。多良間の古い空港は藻類の培養にちょうどよい。ブロックを積むだけで簡単に建設ができる。ハワイでは、溶岩台地で他に利用できない土地を藻類の培養に利用している。

すでに農業から漁業までカバーする循環型システムを井村屋が作っている。液肥で藻類を培養して、水産稚魚の餌にしている。

→熱帯雨林の二酸化炭素固定量は $6 \text{ g/m}^2/\text{d}$ (炭素換算?)、藻類だと $20\text{g/m}^2/\text{d}$ である。多良間の空港でどの程度の二酸化炭素が固定できるかは、計算で出せる。

→多良間島は、常に風が常に吹いているので藻類を育てるのによい。風があれば、攪拌にエネルギーを使わなくてすむ。藻類を育てるには、農業同様、気候などの諸条件が大きく影響する。

→藻類を利用すれば、二酸化炭素を全量固定でき、さらに付加価値が生まれれば、貧困対策的なことも出来るのではないか。

・藻類を利用した案を考えて環境省に提案するのがよいのか？

→外務省の方が良いのでは？

→JICA はタイからは引き上げているが、タイで受け入れてくれるのか？

・タイの予算は削減されており、アフリカの予算が増えている。

→タイ一国で難しいが、タイには JICA のアジア地域支援事務所があるので、タイと一緒に周辺国に援助するプロジェクトであれば受け入れてもらえる可能性が高い。

5. 報告書

- ・当該プロジェクトは3月7日が締め切りなので、その時点で一度報告書をまとめて、先生方にお送りする。その後、意見を頂いて、4月上旬に最終的に提出を行う。

7.2. GEC 支援委員会による課題の抽出

7.2.1. 電力需要の変化による発電システムの運用

バイオガスは24時間発生するため、バイオガスを活用する発電設備もメンテナンスなどの停止期間を除く24時間運転を行うことが望ましい。しかし、運用によっては当該システム（メタン発酵+発電システム）で消費する電力を超える発電を行わないようなオペレーションを行う必要がある。バイオガスで発電した電力のうち、当該システムの消費分（当該システムを稼働させるために必要な電力消費）を除いた全量は、リゾート内の電力系統へ流すことになる。そのため、リゾート施設の電気需要によって当該システムから系統へ流す電力を停止させなければいけない場合が生じる。また、発電した電力を供給する消費施設の電力需要がある一定の需要量を下回ると当該システムの消費分を超える発電はできなくなる。

7.2.2. 燃料電池（PAFC）を導入した場合の運用例

現在、商用機として販売されている燃料電池装置のPAFCは、PAFCユニット内の改質部および電池スタックの温度などを上げる必要があるため、完全に停止して冷えてしまった状態から立ち上げるまでに1時間程度の時間を有し起動性は良くない。そのため、PAFC国産機では、完全に停止させることなく改質部及び電池スタックの温度などを維持する「待機運転」モードが設定されている。一般に、電気の需要は昼間に増大し夜間に減少する。ピピ島リゾートにおいても、同様の動きを示し、系統へ電力を流さないなどの状態は、1日のうちに夜間の数時間程度であることを考えると、この待機モードで運転することになる。

待機モード運転では、PAFCユニット各部の温度などが維持できるよう外部からのエネルギー投入が必要であるが、当該システムの場合、バイオガスが24時間発生していることが想定されるため、この待機モードでの運転が可能である。また、待機モードから外部へ電力を供給する発電モードへの遷移は、数分以内で完了する。

一方、売電量を制限する必要がある場合、燃料電池ユニットに組込まれた制御によって発電量を制御する。その時、バイオガスの発生量が発電に必要な量よりも多い場合、ガスホルダーに貯留されることとなり、ガスホルダーの容量を超えて貯留する必要がある場合には、余剰ガスとして燃焼して二酸化炭素に変換して大気へ放出する事になる。

7.2.3. 発電設備のメンテナンス・故障時の運用

発電設備はPAFCであっても、メンテナンスを行う必要があり、またPAFC自体が故障することも考えられる。その場合でもメタン発酵設備は順調に運転し、メタンが発生していることを想定してシステムを検討する必要がある。理想的には、発電装置のメンテナンス及び故障時において発生したバイオガス全量を貯留するだけの容量を持つガスホルダーが設置されていることであるが、メンテナンス時はともかく故障時は、発電しない期間が予測できない以上、発生ガス全量を貯留する容量のガスホルダーを設置することは現実的ではない。このようなことを考慮して、バイオガスホルダーには、発電設備が稼動していないときにバイオガスを放散させる設備が必要であり、放散させるバイオガスがメタンを主成分とするガスであるので、そのまま放散させると危険であるため、燃焼させて放散させるフレアスタック設備が必要である。一方、バイオガスホルダーの容量については、導入する発電方式とそのメンテナンスに要する期間などから検討する必要がある。

なお、発電設備が稼動していない場合のメタン発酵設備の動力は、システムの外部からエネルギーを投入する必要がある。その場合、このシステムをどのような設備と位置づけるかによって様々な方法が考えられるが、一般的な方法としては、リゾート内の系統と当該システムからの発電とを連系して運用しておき、発電設備が停止した際には、系統からの電気で動かす方法である。その際の電気の契約は、前章までに示した事業形態によって異なる。

メタン発酵設備と発電設備が同じ事業者によって所有されている場合、発電設備が停止するメンテナンス時および事故時に他の系統連系されている発電装置からの電力供給が受けられるようにシステムを構築することが一般的である。ただし、現段階では、系統電源が停電時においても当該システムを動かすことが必要かどうかといったシステム全体の位置づけを決定することが先決である。

7.2.4. メタン発酵設備のメンテナンス・故障時の運用

メタン発酵設備についても発電設備と同様にメンテナンスをする必要があり、また故障時の対応が必要である。まずは電氣的な面からその対応を記し、その後、廃棄物の収集の面から記述する。

メタン発酵設備のメンテナンス時及び故障時は、メタンを含むバイオガスが発生しないことになるため、発電設備に供給すべき燃料がなく、発電設備側も停止することになる。この場合、発電設備として燃料電池を導入したケースにおいても、待機運転モードをとることはできず完全に停止せざるを得ない。また、メタン発酵設備、発電設備ともに完全に停止しているため、大きな電力消費はないが、他設備の保安用に電気が必要になると考えられる。系統連携している他の発電機より電気供給を受けることになる。

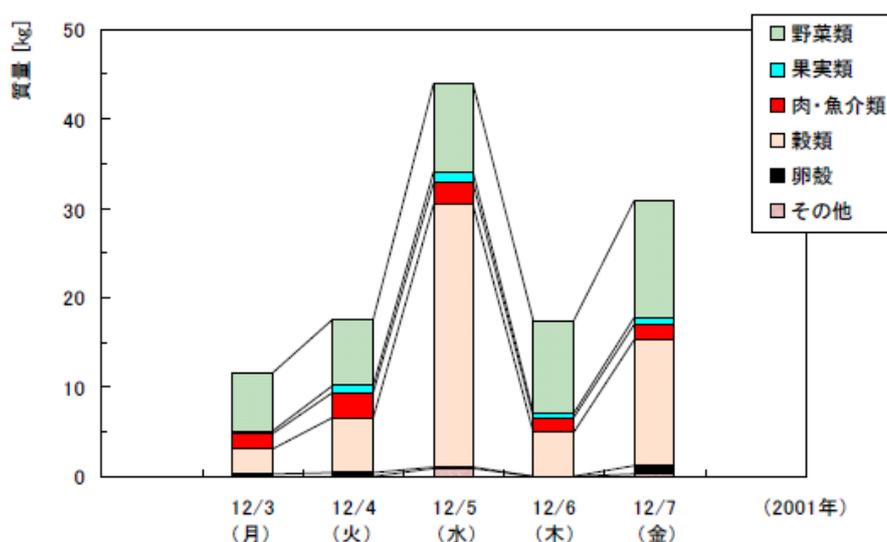
メタン発酵設備には、畜産廃棄物、厨芥等を受け入れる貯蔵タンクが設置されるので軽度の故障や短時間で終了するメンテナンス時には、通常どおり廃棄物を受け入れることになる。しかし、故障が長期にわたる場合、例えば、発酵設備が倒壊するなどの場合は、当

然、廃棄物を受け入れられないのは当然である。リゾートの事業者が、本発酵設備をどのようにとらえるかによって、廃棄物等の受入貯蔵タンクの容量が決まり、その後の対応も変わってくると考えられる。

7.2.5. 当該システムの原因となる生ゴミの性状について

当該システムでは、生ゴミを原燃料（バイオマス）としてメタン発酵を行い、得られたバイオガス（メタンガス）をPAFCによって発電する。安定したPAFCによる発電には、安定したメタン発酵、安定した原燃料（生ゴミ）の収集が必須となる。

一般に生ゴミは、その発生量、組成などなどの性状が、排出源、地域、季節などによって大きく変化することが知られており、その再現性は無いに等しいと判断されていることが多い。排出源や排出源を構成する年齢層や男女比が比較的一定の社員食堂（三機工業（株））であっても、生ゴミの発生量や組成が大きく変動することが知られている（図7.2-1）。



出典:三機工業「社員食堂用廃水処理システムにおける生ゴミの性状調査」

図 7.2-1. 事業系生ゴミの組成変動.

また、原燃料の生ゴミの組成が一定でない事、発生量も変動するなどのため、メタン発酵により得られるバイオガスの量も様々である（表7.2-1）。

表 7.2-1. 国内に導入されている厨芥を原燃料とするメタン発酵設備

| バイオマス種 | 発酵温度 | 処理量 t/d | バイオガス量 | | FC稼働可能時間 | |
|--------------|------|------------|--------------------|--------------------|----------|-----|
| | | | Nm ³ /t | Nm ³ /d | h/t | h/d |
| 生ごみ | 中温 | 0.5 | 450 | 225 | 10 | 5 |
| | | 1.0 | 150 | 150 | 3 | 3 |
| | | 3.4 | 241 | 820 | 5 | 18 |
| | | 5.0 | 145 | 726 | 3 | 16 |
| | | 6.6 | 60 | 394 | 1 | 9 |
| | | 7.2 | 11 | 80 | 0 | 2 |
| | | 27.0 | 160 | 4,327 | 4 | 96 |
| | 高温 | 0.1 | 108 | 7 | 2 | 0 |
| | | 0.3 | 53 | 16 | 1 | 0 |
| | | 0.3 | 213 | 64 | 5 | 1 |
| | | 2.0 | 160 | 320 | 4 | 7 |
| | | 2.4 | 137 | 329 | 3 | 7 |
| | | 3.0 | 125 | 375 | 3 | 8 |
| | | 3.0 | 125 | 375 | 3 | 8 |
| 4.3 | | 267 | 1,150 | 6 | 26 | |
| 9.0 | | 167 | 1,500 | 4 | 33 | |
| 9.3 | | 173 | 1,608 | 4 | 36 | |
| 生ごみ+ 下水汚泥 | 高温 | 10.0 | 74 | 735 | 2 | 16 |
| | | 11.7 | 208 | 2,433 | 5 | 54 |
| | | 13.0 | 139 | 1,810 | 3 | 40 |
| | | 37.5 | 267 | 10,000 | 6 | 222 |
| | | 7.6 | 33 | 251 | 1 | 6 |
| | | 4.2 | 87 | 365 | 2 | 8 |
| | | 5.3 | 64 | 339 | 1 | 8 |
| 生ごみ+ 下水汚泥 | 高温 | 5.9 | 33 | 196 | 1 | 4 |
| | | 10.7 | 29 | 310 | 1 | 7 |
| | | 39.8 | 31 | 1,234 | 1 | 27 |

よって、当該リゾートにおいても、宿泊者数、季節などにより生ゴミの発生量や性状が日々変動することが容易に推察される。当該システムの導入の際には、スポット的な性状分析ではなく、年間を通じた発生量や性状の分析を行ない、導入サイトで発生する生ゴミの特性を把握する必要がある。

7.3. 国内有識者へのヒアリングによる課題の抽出

当該プロジェクトに係る国内有識者を訪問してヒアリングを行い、当該プロジェクトの説明、事業化のための課題などを指摘頂いた。また、ヒアリングによって様々な情報の収集が可能となり、有識者から得られる当該技術領域の最新情報は、当該プロジェクト進捗に大きく貢献した。

7.3.1. 大阪大学グローバルコラボレーションセンター (GLOCOL)

【日時】 2007年11月29日

【場所】 大阪大学 GLOCOL

【出席者】 大阪大学グローバルコラボレーションセンター 特任教授 宮本和久氏
(株)KRI 若山

【提出資料】 KRI プロシユア
GEC ピピ島 プロジェクト事業計画
富士電機(株)燃料電池パンフレット

【議事内容】

(a) GEC CDM/JI 事業内容について

- ◆ 今回の調査は、地球環境センターさんの事業である。
- ◆ ピピ島のリゾートから排出されるバイオマスをメタン発酵に活用してバイオガスを得る。そのバイオガスを 100 kW PAFC に導入して発電を行う。現状の発電に使用している化石燃料、排出される二酸化炭素量の削減が可能となる。
- ◆ 当該事業では、2 回の現地調査が想定されており、TISTR にも調査の一部をお願いするつもりであるので、ご協力をお願いしたい。←了解した。現地調査はいつ頃実施予定か？
- ◆ 現在、TISTRと現地調査サイトと調整しているが、ハイシーズン前の10-11月には実施したいと考えている。

(b) 検討委員会への委員委嘱

- ◆ 当該事業では、有識者からなる検討委員会の設置を考えており、GEC にも確認が取れた。想定している委員は、NEDO 辻首席研究員(元企画調整部長:燃料電池の機能モジュール化・標準化による低コスト化支援)、東京大学花木教授(同大学荒巻助教授:炭素や環境汚染物質(硝酸性窒素など)の導入サイト及び周辺環境への影響についての助言)、電力会社(沖電設計(株)安里常務:離島電力供給の現状・問題点の指摘)である。
- ◆ そこで、宮本先生にも是非当該検討委員会に参画頂きたい。←了解した。検討委員会はいつ頃開催予定か？
- ◆ なるべく早く検討委員会のキックオフを開催したいと考えているが、皆お忙しい方なので、全員揃っての委員会を行うのはなかなか難しいと考えている。よって、メールの活用や KRI が委員個人打合せを行い、情報の共有化を図る予定である。

7.3.2. 大阪ガス（株）エンジニアリング部

【日時】 2007年11月30日

【場所】 大阪ガス(株)本社

【出席者】 大阪ガス(株)エンジニアリング部

ECO エネルギーチーム環境ビジネスグループ リーダー 大隅 省二郎氏
(株)KRI 若山

【提出資料】 KRI プロシユア

GEC ピピ島 プロジェクト事業計画

富士電機(株)燃料電池パンフレット

【議事内容】

1. KRI について

- ◆ 東京では、アジア地域へのモデル事業、燃料電池普及のための調査など、アジアの環境・エネルギー技術の調査を数多く手がけている。
- ◆ 特に、エネルギー単価の高い箇所において、バイオマスの活用、りん酸形の燃料電池の普及に絡んだ調査事業を多く実施している。
- ◆ マレーシアのパーム油廃水の活用に関してもメタン発酵+燃料電池システムの導入を考えている。

2. GEC CDM/JI 事業について

- ◆ 今回の調査は、地球環境センターさんの事業である。
- ◆ ピピ島のリゾートから排出されるバイオマスをメタン発酵に活用してバイオガスを得る。そのバイオガスを 100 kW PAFC に導入して発電を行う。現状の発電に使用している化石燃料、排出される二酸化炭素量の削減が可能となる。
- ◆ アジア地域では、ディーゼル発電が多いので効率は非常に低い。
- ◆ 当然小規模であるが CDM 事業に発展する可能性がある。また、バイオマスが豊富な島嶼国は多く、燃料電池の普及が見込める。1 サイトに複数の燃料電池を導入できる箇所では、された場合、大型化する可能性はある。
- ◆ 国産 PAFC は、上市されて久しく、性能は安定している。既に国内の実績も多数有り、設計通りの運転(稼働)時間が実用レベルで実証されている。
- ◆ バイオガスを原燃料に使用した場合、ガスエンジンの適用は、組成変動への追従が困難、メンテナンスコストの増加などから難しく、燃料電池が適している試算をしている。

7.3.3. 新エネルギー導入促進セミナーでの情報収集

- 【日時】 2008年2月19日
- 【場所】 ホテルアトールエメラルド宮古島
- 【講演者】 (株)ユニバーサルデザイン総合研究所 代表取締役所長 赤池 学氏
琉球大学農学部 教授 上野 正実氏
(株)りゅうせき バイオエタノールプロジェクト推進室 室長 奥島 憲二氏
沖縄電力(株)研究開発部 係長 銘苺 壮宏氏
宮古島市 経済部農村総合整備課 主任技師 平良 研三氏
多良間村 主任調査員 兼城 克夫氏

【講演&打合せ内容】

1. 赤池代表取締役所長

- ◆ 日本各地でのバイオマスなどの取り組みを紹介する。この中からバイオマスに関するビジネスを進めていくコンセプトや動かし方を感じ取って頂きたい。
- ◆ これまで、「邪魔だった」、「無駄だった」もの(バイオマスを含めて)を再利用し、付加価値のついた商品開発につなげた地域が成功している(新エネだけでは無く付加価値の賦与が必要)。
- ◆ 三重県の井村屋さんでは、メタン発酵後の消化液を液肥として使用するばかりでなく、藻類の培養にも利用。得られた藻体バイオマスを餌として高級魚を養殖している。
- ◆ バイオマスの利用は階段を降りるように余計な技術を加えずに進めることがポイントとなるだろう。技術の合わせ技が有効であると考えている。イベント性のあるチャームングな取り組みを展開すれば内外にインパクトがあるので島のPRにもつながると思う。

2. 上野教授

- ◆ 世界のエネルギー事情はますます逼迫し、食料との競合が大変な問題となっている。また、実効ある温暖化対策も必要であり、これにはバイオマスの利用が最も効果的である。
- ◆ ブラジルでは、ガソリン、エタノール、ガスの三種類に対応可能なトレックス車が既に走行している。エタノールに関しては全ての混合比に対応が可能である。E3程度で一本化できない日本は大きく遅れている。
- ◆ 宮古島市はバイオマスエネルギー利用の先進地となっているが、「新エネ特区」として認定され、E10燃料が展開されると、サトウキビの廃糖蜜だけでは足りない。そこで、食料との競合を避けるためにも新たなエネルギー(資源)作物(ひまわり、ソルガム、芋類)の栽培はどうか。

3. 奥島室長

- ◆ 今年度以降、商品化足るべき設備を導入する予定である。アメリカでは20万kLが最低

の工場規模である。

- ◆ 現時点では、石油連盟の全面的協力が得られていないが、JA 上野給油所、JA 平良給油所に専用の E3 供給施設を構築中である。また、E3 専用の給油所も新設する予定である。
- ◆ 他国では、バイオエタノールの実証研究を進めながら法整備を行っている。日本では法整備はまったく進んでおらず非常に遅れている。国が制度的な改革を進め、サトウキビ増産につながるような仕組み作りが必要。
- ◆ ブラジルは、最初お金がなくて中東の油が買えずやむなくバイオエタノールの開発を進めた。一方、海底油田の開発に成功(メジャーを入れても第四位の生産量、近々 OPEC 入りを検討中)し、バイオエタノールが余剰となっているため、価格が安い。
- ◆ 中国では、トウモロコシベースであるが、農業生産はカーギル(米穀物メジャー)、エタノール生産は BP がバックアップしている。

4. 銘苅係長

- ◆ 風力・太陽光発電は、風や天候に左右される変動電源であるので、出力が安定せず電力品質の低下が問題である。電力品質の低下は、利用者・電力会社に色々な弊害をもたらす影響がある。
- ◆ 特に全体の出力の小さい沖縄では変動の影響も大きいので、近い将来導入量の限界に達する可能性がある。
- ◆ 風車は、台風による倒壊、羽の破損など事故が多発しているため、設計風速の見直し、地点毎設定、基礎形状の見直し、鉄筋の補強などの対策を講じている。
- ◆ 太陽光発電も、風車倒壊の飛来物、による破損、腐食などの影響を受けているので、飛来可能性のあるものの除去、防錆対策を講じている。
- ◆ 2007 年 12 月の風力・太陽光発電の実績は、全使用電力の 3.1%に達した。
- ◆ 冬場は比較的風が強いので、値は大きくなり、逆に夏場は弱いので値は小さくなる。

5. 平良主任技師

- ◆ 宮古島では、地下水の保全、地域循環型社会の構築、農地の地力増強、地球温暖化対策への貢献の 4 つを目的としてバイオマスタウン構想に取り組んでいる。
- ◆ 具体的には、資源リサイクルセンターによる堆肥化事業、液肥化実証事業、製糖工場における資源有効利用事業、バイオエタノール生産事業(りゅうせきさん)、泡盛蒸留粕メタン発酵事業(菊の露さん)、廃食用油からの BDF 事業の 6 つに取り組んである。
- ◆ 宮古島に賦存するバイオマスを炭素換算すると約 6 万トンと試算され、既に半分が燃料として使われている。えねるぎー1 に対して循環が 5 が理想という理論からすると、これ以上のバイオマスのエネルギー使用は難しいのではないかと。
- ◆ よって、今後は、風力・太陽光発電などの自然エネルギーの導入にもっと進むべきと考える。

6. 兼城主任研究員

- ◆ 2006 年度に実施した多良間村内の畜産廃棄物などのバイオマス資源は 300 kW 発電し資するポテンシャルを有していることが解っている(畜産廃棄物のメタン発酵及びリン酸形燃料電池による発電)。
- ◆ また、経済効果や環境負荷低減に貢献でき、導入の意義は高いことが解っている。
- ◆ 循環型社会の構築には、村民のほぼ是認、製糖工場を含めた全企業参加がないと出来ない。
- ◆ 多良間村としてトータルでどれだけ二酸化炭素の削減に貢献しているかはっきりさせ、事業実施主体も明確化しなくてはならない。
- ◆ 国にリードして貰い、島嶼形のモデル事業として実行してくれれば多良間村は全力を挙げて取り組んでいく。

7.4. まとめ

本章で抽出した当該プロジェクトの事業化に係る課題をメリットやリスク（コスト）によって軽重を分類し、値が解る部分については定量的に表記した（図 7.4-1）。

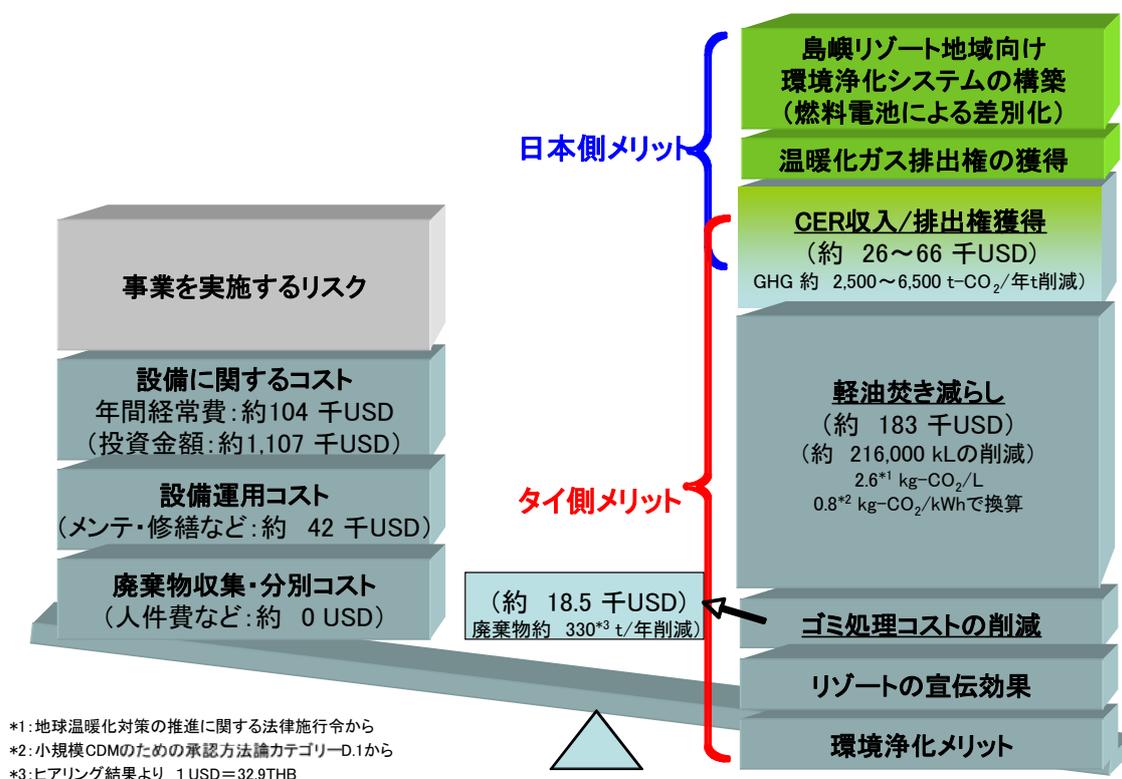


図 7.4-1. 当該プロジェクトの事業化に係るメリットとリスク。

当該プロジェクトは、燃料電池を導入する日本側、メタン発酵装置と燃料電池の導入を図るタイ側双方にメリットがあるコベネフィット型の CDM 事業として位置付けられる。導入を想定しているピピ島のリゾートでは、当該事業によって、年間に発生する食品系廃棄物 330 t の処理に係る費用などを削減するなど約 24 万 USD の価値（廃棄物処理費＋発電のための軽油の燃費減らし＋CER 収入）であると試算された。これは、有機廃棄物の価値が高い事を示し、約 730 USD/t にもなる。しかし、メタン発酵に必要な生ゴミを収集出来るか、燃料電池に必要な量のメタンガスが発酵によって得られるかが大きな課題である。リゾートから排出される生ゴミは、季節やゲスト数に応じて組成や発生量が変動し、一般的に再現性が得られない。導入を想定しているリゾートや近隣のリゾート（当該リゾートの北側に位置する 100 部屋からなる米国系ホテルチェーン）との共同運用によってバイオマスの資源量を確保することも必要だと思われる。また、当該リゾートのような離島では、実質的に電力単価が高いため、発電効率の高い燃料電池で発電するメリットが大きく評価され、このような島嶼国は、アジアのみならず世界中に存在する。よって、これらの島嶼国が当該システムの導入普及先として想定出来る。