

平成30年度

低炭素社会実現のための都市間連携事業委託業務

(フノンペン都気候変動戦略行動計画に基づく

交通・グリーン生産分野等における低炭素化推進事業

〔北九州市-フノンペン都連携事業〕)

報 告 書

平成31年2月

株式会社 日建設計シビル

北九州市環境局アジア低炭素化センター

平成 30 年度低炭素社会実現のための都市間連携事業委託業務
(プノンペン都気候変動戦略行動計画に基づく交通・グリーン生産分野等における
低炭素化推進事業〔北九州市-プノンペン都連携事業〕)

目 次

第 1 章 業務の目的と概要	1-1
1.1 業務の目的	1-1
1.2 業務の概要	1-1
1.2.1 業務の概要	1-1
1.2.2 業務の実施方法	1-1
1.2.3 履行期間	1-3
1.2.4 業務の実施体制	1-3
1.3 業務の背景	1-4
1.3.1 プノンペン都の概要	1-4
1.3.2 北九州市とプノンペン都の協力関係	1-8
1.3.3 プノンペン都気候変動戦略行動計画における本業務の位置づけ	1-8
1.3.4 カンボジア第 2 回国別報告書	1-11
第 2 章 JCM 案件化調査(交通分野：電動三輪によるタクシー事業)	2-1
2.1 現状把握	2-1
2.1.1 交通状況	2-1
2.1.2 タクシー事業を実施するまでの行政手続き等	2-8
2.2 導入技術の検討	2-9
2.2.1 導入技術の内容	2-9
2.2.2 CO2 削減効果	2-10
2.2.3 JCM 設備補助額・費用対効果	2-12
2.2.4 事業採算性	2-12
2.3 モニタリング方法の検討	2-17
2.4 事業実施体制の検討	2-17
2.5 資金調達方法の検討	2-18
2.6 事業実施スケジュールの検討	2-18
2.7 まとめ・今後の課題	2-18
第 3 章 JCM 案件化調査(グリーン生産分野：農業系バイオマス発電事業)	3-1
3.1 現状把握	3-1
3.1.1 バイオマス賦存量	3-1
3.1.2 精米所調査	3-8
3.2 導入技術の検討	3-13

3.2.1	導入技術の内容	3-13
3.2.2	CO2削減効果	3-19
3.2.3	JCM設備補助額・費用対効果	3-22
3.2.4	事業採算性	3-23
3.3	モニタリング方法の検討	3-31
3.4	事業実施体制の検討	3-31
3.5	資金調達方法の検討	3-32
3.6	事業実施スケジュールの検討	3-32
3.7	まとめ・今後の課題	3-32
第4章	JCM案件化調査(環境保全分野：有機系排水処理事業)	4-1
4.1	現状把握	4-1
4.2	導入技術の検討	4-5
4.2.1	導入技術の内容	4-5
4.2.2	CO2削減効果	4-8
4.2.3	JCM設備補助額・費用対効果	4-9
4.2.4	事業採算性	4-9
4.3	モニタリング方法の検討	4-11
4.4	事業実施体制の検討	4-13
4.5	資金調達方法の検討	4-13
4.6	事業実施スケジュールの検討	4-13
4.7	まとめ・今後の課題	4-13
■参考資料		
1.	現地関係機関への事業説明資料(現地ワークショップ資料を含む)	参考 1-1
2.	都市間連携に関する取組発表資料(都市間連携セミナー(2018年10月25日))	参考 2-1
3.	現地調査結果の概要	参考 3-1
4.	環境省への進捗報告・議事録	参考 4-1
5.	月次報告書	参考 5-1
6.	現地関係機関との協議記録	参考 6-1

第1章 業務の目的と概要

1.1 業務の目的

2015年12月にフランスのパリ郊外で開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）には196の国と地域が参加し、2020年以降の公平で実効的な気候変動対策の法的な枠組であるパリ協定が採択された。パリ協定では、地球の気温上昇を産業革命前に比べて2℃よりも低く抑え、さらには1.5℃未満に抑えるための努力を追求することが掲げられ、脱炭素に向けた取組の促進が求められている。またCOP21では、都市を含む非国家主体の行動を認知すること、そして全ての非政府主体（都市その他地方公共団体等）の努力を歓迎し、そのスケールアップを招請することが決定された。

都市は社会経済の発展を支える活動の場であり、多くの人が居住している。世界の全土地面積の2%を占める都市部に、世界人口の約半数が居住し、その割合は2050年には70%にまで増加すると予想されている。また2006年時点で世界のCO₂排出量の70%以上が都市から排出されていると推定されており、都市部が気候変動の緩和に果たす役割は大きく、都市部における気候変動対策の着実な実施、温室効果ガス排出量の削減が、パリ協定の目標達成のために重要となっている。

本業務は、平成28年度に北九州市とプノンペン都の都市間連携によって策定された「プノンペン都気候変動適応行動計画」で定められた施策の実現のため、主にプノンペン都を対象に、低炭素社会形成に関する経験やノウハウ等を有する北九州市とともに「交通分野」、「グリーン生産分野」および「環境保全分野」に着目し、JCM案件化調査を実施することを目的とする。

1.2 業務の概要

1.2.1 業務の概要

(1)調査内容

「交通分野」、「グリーン生産分野」及び「環境保全分野」において、以下のJCM案件化調査を行う。

- ・交通分野：電動三輪によるタクシー事業
- ・グリーン生産分野：農業系バイオマス発電事業
- ・環境保全分野：有機系排水処理事業

(2)調査対象地

プノンペン都及び周辺地域

1.2.2 業務の実施方法

(1)JCM案件化調査

「交通分野」、「グリーン生産分野」及び「環境保全分野」における具体的な調査内容は、以下のとおりである。現地調査は4回実施した。

【交通分野：電動三輪によるタクシー事業】

1)導入技術の検討

導入技術（電動三輪、充電ステーション）の内容、CO2削減効果、JCM設備補助金の費用対効果、事業採算性、モニタリング方法の検討を行った。導入技術の検討にあたっては、初期費用の低減を図り経済性を確保した。また、車検審査やタクシー事業の許認可など、事業実施に必要な行政手続きの調査を行った。

2)事業実施体制の検討

代表事業者、共同事業者および協力企業（メーカー等）を選定するための調査を行い、事業実施体制を検討した。

3)資金調達方法の検討

自己資本による調達、他機関からの出資、設備のリースなど、事業実施のための資金の調達方法を検討した。

4)事業実施スケジュールの検討

代表・共同事業者、協力企業と調整の上、JCM設備補助事業の実施スケジュールを検討した。

【グリーン生産分野：農業系バイオマス発電事業】

1)導入技術の検討

導入技術の内容、CO2削減効果、JCM設備補助金の費用対効果、事業採算性、モニタリング方法の検討を行った。導入技術の検討にあたっては、初期費用の低減を図り経済性を確保した。売電事業を行う場合には、許認可取得の可否および取得に関する手続きの調査を行った。

2)事業実施体制の検討

代表事業者、共同事業者および協力企業（EPC企業、O&M企業等）を選定するための調査を行い、事業実施体制や契約方式を検討した。

3)資金調達方法の検討

自己資本による調達、他機関からの出資、売電事業など、事業実施のための資金の調達方法を検討した。

4)事業実施スケジュールの検討

代表・共同事業者、協力企業と調整の上、JCM設備補助事業の実施スケジュールを決定した。

【環境保全分野：有機系排水処理事業】

1)導入技術の検討

畜産施設、食品工場等の有機系排水処理の実態・ニーズ調査を行った上で、導入技術の検討を行い、導入技術のCO2削減効果、JCM設備補助金の費用対効果、事業採算性、モニタリング方法の検討を行った。導入技術の検討にあたっては、初期費用の低減を図り経済性を確保した。

2)事業実施体制の検討

代表事業者、共同事業者および協力企業（EPC 企業、O&M 企業等）を選定するための調査を行い、事業実施体制や契約方式を検討した。

3)資金調達方法の検討

自己資本による調達、他機関からの出資など、事業実施のための資金の調達方法を検討した。

4)事業実施スケジュールの検討

代表・共同事業者、協力企業と調整の上、JCM 設備補助事業の実施スケジュールを決定した。

(2)その他

1)月次進捗報告（メールベース）

月次レベルの進捗の報告等

2)環境省への進捗報告会

東京都内 4回／年（5月、8月、11月、2月実施）

3)現地でのワークショップ

プノンペン都への報告会(ワークショップ)を3回実施した。

4)日本国内における都市間連携に関する取組発表

1回／年（東京都内）

5)環境省指定会議での発表および調整対応等（上記2）、3）、4）を含まず）

1.2.3 履行期間

2018年4月16日から2019年2月28日

1.2.4 業務の実施体制

本業務の実施体制は、次表のとおりである。

表 1.2.1 業務の実施体制

組織名	各組織の役割
北九州市	<ul style="list-style-type: none">・プノンペン都、環境省等の行政機関や現地企業への面談申し込み(レター発行)・プノンペン都、環境省等の行政機関や現地企業との協議・ワークショップの開催
日建設計シビル	<ul style="list-style-type: none">・JCM 案件化調査(現地調査)・その他(月次進捗報告、環境省への進捗報告、ワークショップの開催等)・本業務のとりまとめ

1.3 業務の背景

1.3.1 プノンペン都の概要

プノンペン都はカンボジア王国の首都であり、行政、文化、経済の中心地で、「東洋のパリ」と謳われたフランス植民地時代の美しい街並みが残っている。人口は、2016年現在、約190万人¹であり、内戦が終結していない約30年前の1986年と比べると約3倍に増加している。

2017～2018年に政情が不安定^{*}になったが、2018年におけるGDPの実質成長率は7.0%、国民一人当たりのGDPは1,485USD(ともにIMF推計値)に達すると見込まれており、経済面では安定して高い成長を維持している²(図1.3.1参照)。

プノンペン都はカンボジアの人口の約12%を抱え、GDPの約60%を生み出されていると言われており¹、都内では、ホテル、商業施設、高層マンション、オフィスビル等の建設が盛んに行われている。

しかし、プノンペン都では人口増加、経済成長が進む一方で、高まる電力需要に対する安定した電力供給、大気汚染、公共水域の水質汚濁、ごみ発生量の増大といった環境汚染への対策など、多くの課題を抱えている。

※2017年には最大野党の救国党の党首が国家反逆罪で逮捕され、党は解党させられた。2018年には、有力野党不在のまま下院総選挙が行われ、フン・セン首相が率いる与党カンボジア人民党は全議席を獲得したが、国際社会から非難を受けている。

■電力供給

- ・カンボジア国内の電化率は順調に推移しており、2017年の村落電化率は81.85%、世帯電化率は68.64%である。政府は、2020年までに村落電化率100%、2030年までに世帯電化率70%という目標を掲げ、取り組んでいる³。
- ・停電時間・停電回数についても、発電不足による停電が2014年で解消されたことから、大幅に改善されている。一戸当たりの年平均停電時間(SAIDI)及び停電回数(SAIFI)は、2006年にそれぞれ約9,500分、90回だったものが、2016年には1,370分、18.7回に改善された。しかしながら、日本や周辺国と比べると高い数値である。参考までに、日本(2019年)のSADI:14分、SAIFI:0.13回、タイMEA(2015年)のSAIDI:36分、SAIFI:1.37回、ベトナム(2015年)のSAIDI:2,110分、SAIFI:12.85回である³。
- ・また、電圧の安定性確保や電気料金の引き下げも課題となっており、生産活動に支障を来すことがある。電気代については、表1.3.1に示すように周辺国よりも割高であり生産活動の制約要因となっている。このため、潜在的に再生可能エネルギーや省エネルギーの需要は高い。

■大気汚染・騒音

- ・車、バイクの保有台数が増える一方で、整備が遅れている道路条件が加わり著しい渋滞が常態化している。このため、大気汚染や騒音が問題となっているが、十分なモニタリングが行われておらず現状把握ができていない。

■水質汚濁

・ 都では、一般家庭からのし尿については、セプティックタンクで処理されるもののほぼ未処理に近い水質のまま、公共下水道や開水路に直接放流される。このため、特に都内の水路や、水路下流の川沿いの池の水は黒く、悪臭が酷い状況にある。さらに、汚水は都の南側や北側の湿地に放流されるが、急激な人口増加や都市化に伴い汚水量が増加しているため、湿地の自然浄化作用を上回る汚濁物が流入し、都内の公共用水域の水質汚濁が進行している。

(写真 1.3.1、写真 1.3.2 参照)

・ プノンペン工業団地(PPSEZ)では、工場排水は、各工場で前処理された後、簡易曝気付の安定化池方式で、同国の排水基準を満足するよう処理されている。PPSEZ に入居していない大規模な工場は限られているが、行政による工場の定期的な立ち入り調査も行われていないため、適切に排水処理が行われていないものと推測される(写真 1.3.3 参照)。

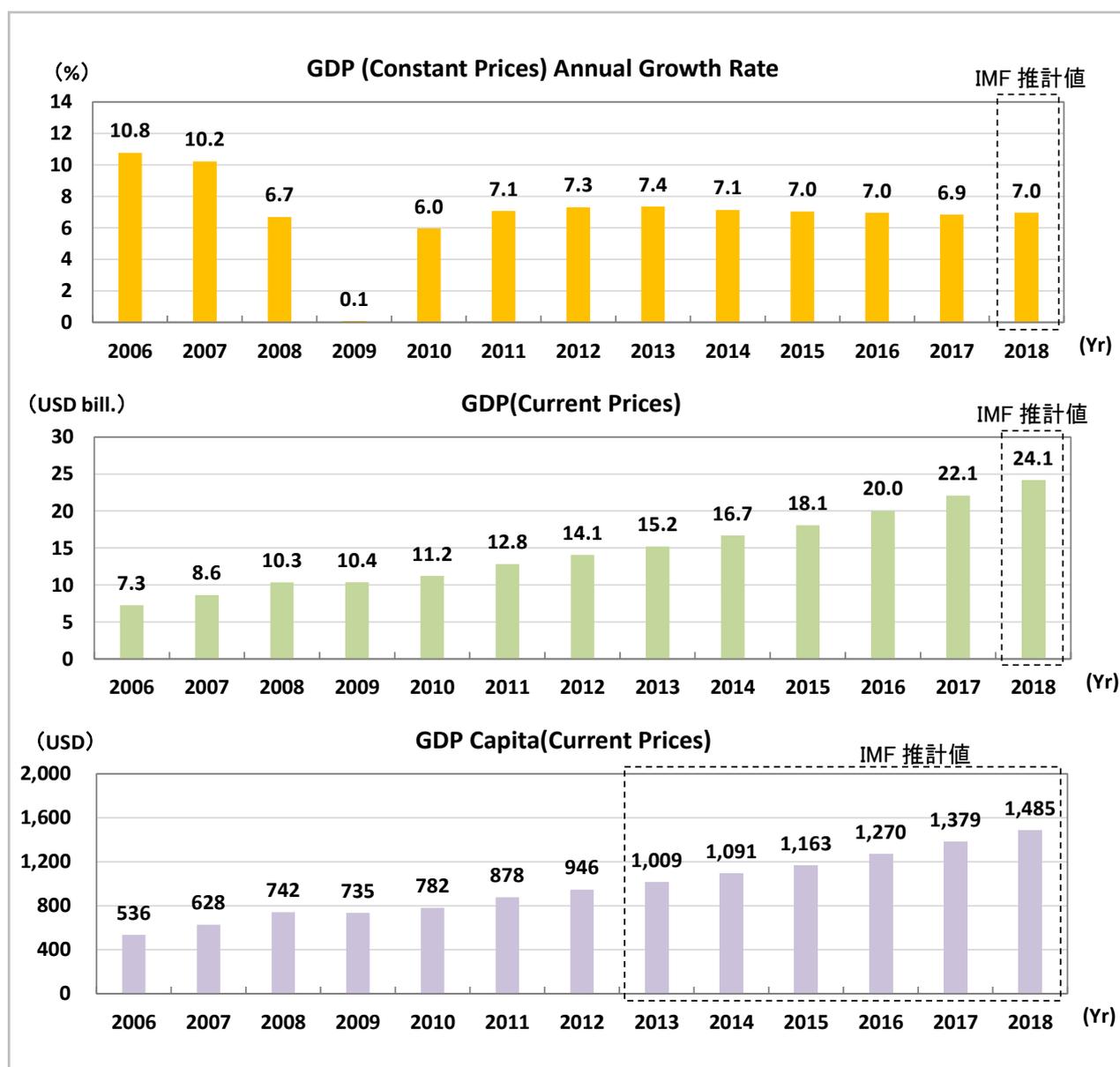


図 1.3.1 カンボジアの名目 GDP 成長率・名目 GDP・一人当たりの名目 GDP²

表 1.3.1 2017 年電気料金 カンボジアと周辺国との比較⁴

項目	料金	カンボジア	タイ	ミャンマー	ラオス
業務用	月額基本料(USD)	—	9.7	—	—
	1kWh 当たり料金(USD)	0.17	0.08~0.16	0.05~0.11	0.08~0.09
一般用	月額基本料(USD)	—	1.18	—	—
	1kWh 当たり料金(USD)	0.15~0.19	0.10~0.14	0.03~0.04	0.05~0.13

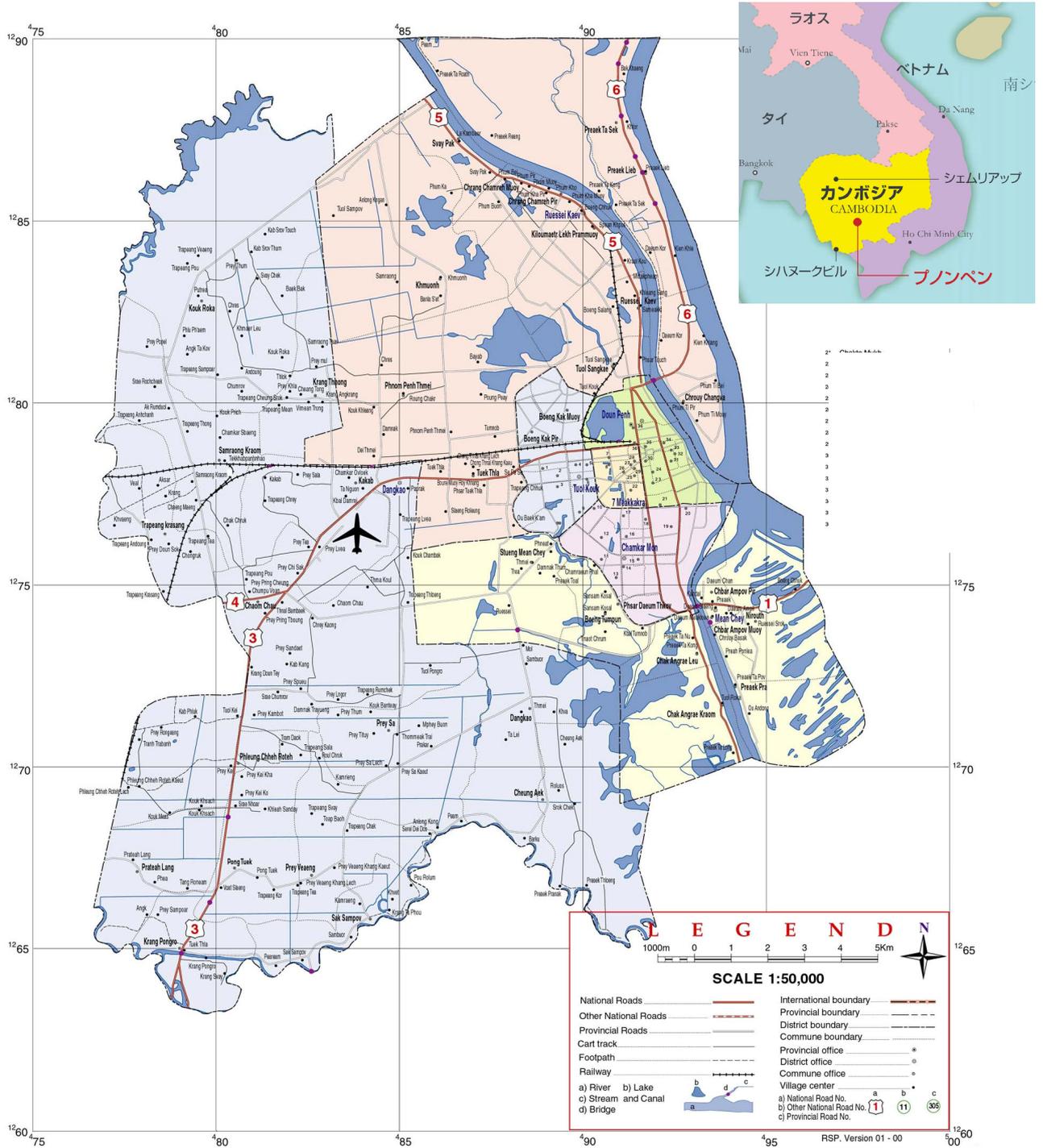


図 1.3.2 プノンペン都位置図¹・プノンペン都全体図⁵



写真 1.3.1 都内水路の樋門付近に大量発生した洗剤の泡



写真 1.3.2 ゴミが投棄され汚染された都内水路と近接するスラム街



写真 1.3.3 都内ビール工場からの排水
(着色排水、洗剤の泡)



写真 1.3.4 都内病院の排水処理施設
(液体医療廃棄物を含む排水が無処理のまま放流)

1.3.2 北九州市とプノンペン都の協力関係

北九州市は、1996年からプノンペン都に対し水道技術協力を実施し、その結果、漏水・盗水率が大幅に改善され、2005年には飲用可能となった。この北九州市の貢献は「プノンペンの奇跡」と呼ばれ、これ以降も北九州市は水道分野の専門家を派遣し技術支援を続けている。

2015年7月にフン・セン首相が北九州市を訪問した際、「プノンペン都との姉妹都市締結」について提案があり、これまでの技術協力により築いた信頼関係のもと、2016年3月29日、北九州市はプノンペン都と姉妹都市の関係を締結した。

この姉妹都市協定のもと、2016年度に北九州市は、プノンペン都全体の低炭素化、持続可能な発展に資する「プノンペン都気候変動戦略行動計画」(アクションプラン)を策定した。本事業は、このアクションプランに基づく案件形成のためのFS調査であり、詳細は次節に示す。

2017年度には、北九州市は「2017年度低炭素社会実現のための都市間連携事業」やJICA 草の根事業を通じて、プノンペン都の低炭素化、廃棄物の適正管理に向けた支援を行っている。

このように、1996年の水道技術協力以来、両都市の連携は継続・拡大されており、強い信頼関係が構築されている。



写真 1.3.5 北九州市 - プノンペン都
姉妹都市協定(2016年3月)⁶

1.3.3 プノンペン都気候変動戦略行動計画における本業務の位置づけ

プノンペン都気候変動戦略行動計画(アクションプラン)は、「平成28年度低炭素社会実現のための都市間連携に基づくJCM案件形成可能性調査事業」において、上位計画(国家計画)の四辺形戦略、カンボジア気候変動戦略計画2014-2023、UNFCCCに提出されたカンボジア第2回国別報告書や、プノンペン都の各種関連上位計画を踏まえ策定された(図1.3.3参照)。

アクションプランは、北九州市が有する公害克服から環境都市に至る北九州市の技術・ノウハウを体系的に整理した「北九州モデル」を活用して作成された。

アクションプランは、廃棄物、エネルギー、交通、上下水道・雨水排水、環境保全およびグリーン生産の6つの分野を対象とし、各分野の課題や計画全体の基本方針等を整理・検討し、分野ごとに具体的施策と優先して実施すべきパイロットプロジェクトを検討・提案した。

本事業では、アクションプランで設定された具体的施策やパイロットプロジェクトを実現するため、図1.3.4に示すようにJCMのスキーム適用が想定される<交通分野>、<環境保全分野>および<グリーン生産分野>に着目し、以下の案件化調査を実施した。

<JCM 案件化調査>

- ・交通分野：電動三輪によるタクシー事業
- ・グリーン生産分野：農業系バイオマス発電事業
- ・環境保全分野：有機系排水処理事業

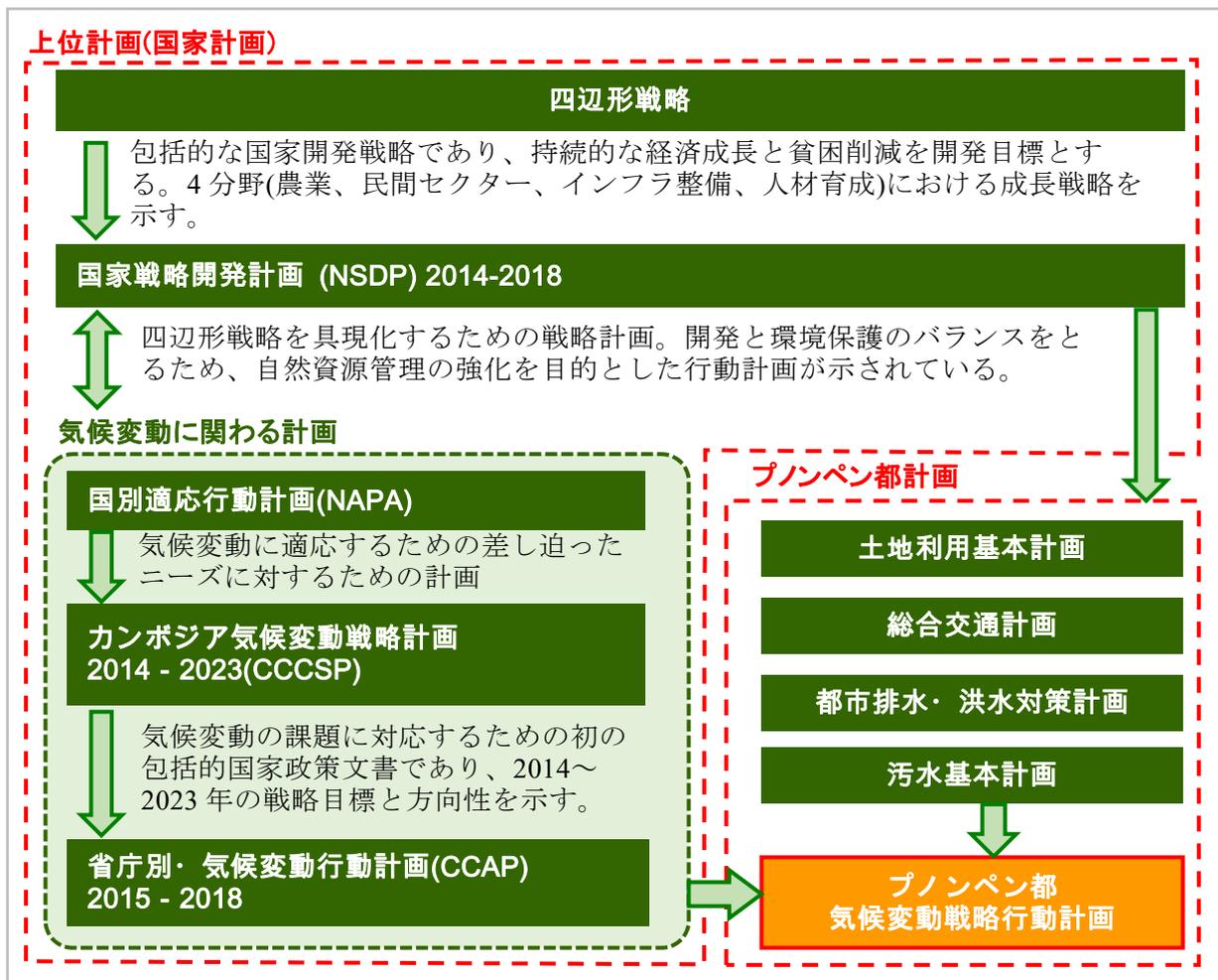


図 1.3.3 プノンペン都気候変動戦略行動計画の位置づけ

都市間連携「SDG17:パートナーシップで目標を達成しよう」に貢献

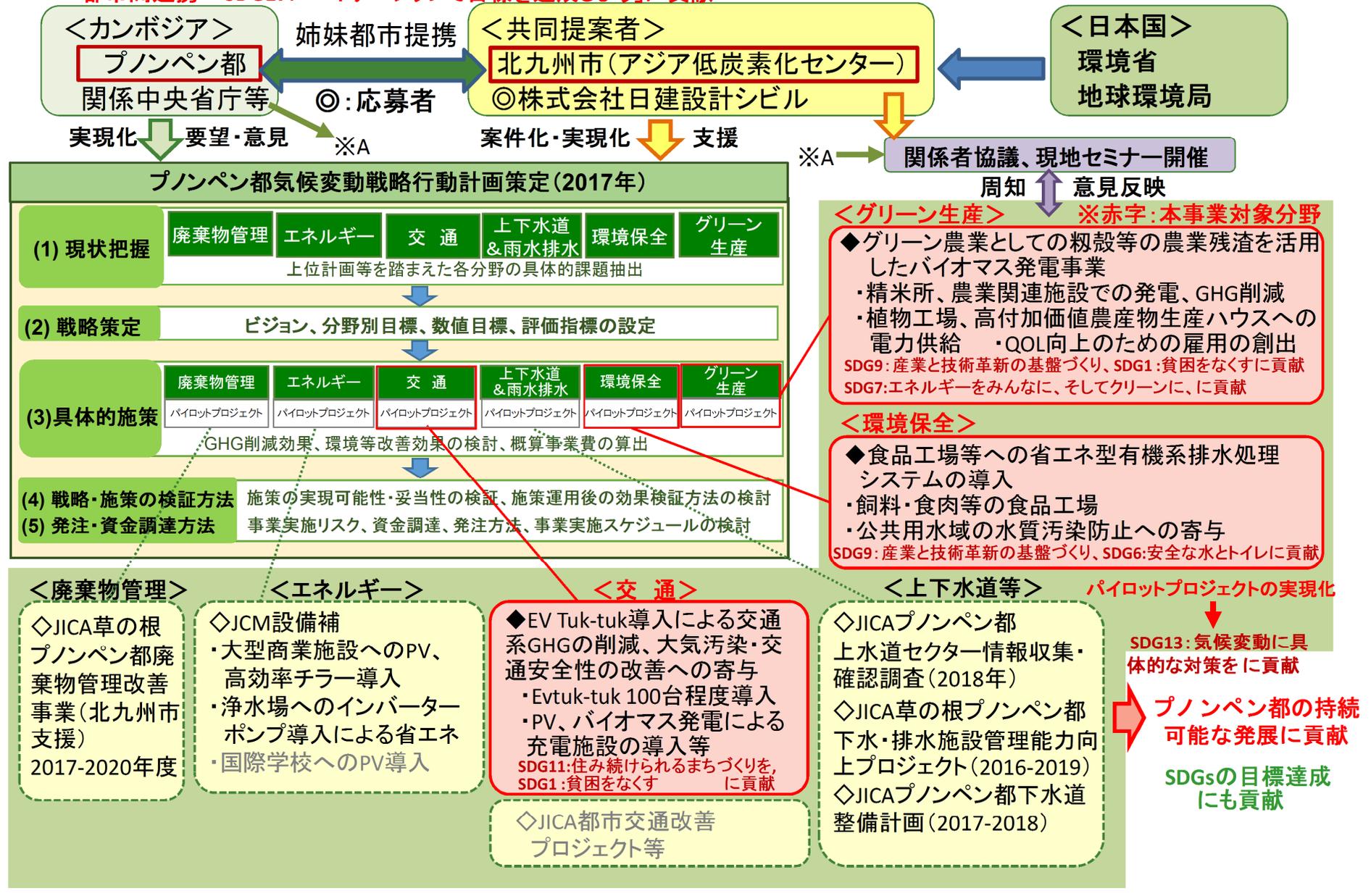


図 1.3.4 プノンペン都気候変動戦略行動計画(アクションプラン)における本業務の位置づけ

1.3.4 カンボジア第2回国別報告書

カンボジア政府は、自国の地球温暖化対策・施策や温室効果ガス排出量の将来予測、気候変動による影響および適応措置等を示した第二回国別報告書（Cambodia's Second National Communications(MoE、Nov.2015)）⁷を作成し UNFCCC に提出した。

報告書に示された国の排出削減目標を表 1.3.2 に示す。エネルギー分野では、籾殻発電による CO2 削減(2035 年*の削減目標：463GgCO2-eq、削減総量の 12.4%)、交通分野では電動スクーター・自転車による CO2 削減(2035 年の削減目標*：95GgCO2-eq、削減総量の 2.5%)が示されており、本事業はこの削減目標の達成に貢献するものである。※2035 年は前節のアクションプランの目標年である。

表 1.3.2 カンボジア第二回国別報告書(環境省、2015 年 11 月)
ベースライン比の最大 CO2 削減量⁷

[GgCO2-eq]

Year	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Total Baseline Emissions	5,533	5,987	7,551	9,601	11,599	14,043	17,075	20,848
Energy Industries								
Grid Connection REEs	3	12	30	51	80	106	140	172
Grid Connection Auto Producers	18	152	269	268	309	354	430	492
Grid Connection Battery Charging Stations		5	12	16	16	14	12	10
Solar Power Plant	0	0	1	2	5	9	18	36
Solar Home Systems	0	6	16	22	22	19	16	12
Mini and Micro Hydro		2	3	4	4	4	4	4
Rice Husks for Electricity Generation	27	67	167	417	445	463	481	498
Energy efficiency end users	22	55	138	344	592	797	1,002	1,264
Energy efficient buildings	50	85	193	285	354	443	557	702
Sub Total Savings	120	384	829	1,409	1,826	2,210	2,659	3,191
% savings compared to Baseline	2%	6%	11%	15%	16%	16%	16%	15%
Manufacturing Industries								
Rice milling, Garment, Rice Mills, Brick Works	326	373	429	497	580	681	803	953
Biofuel	13	32	79	147	147	147	147	147
Sub Total Savings	339	405	508	644	727	828	950	1,100
% savings compared to Baseline	6.1%	6.8%	7%	7%	6%	6%	6%	5%
Transport Sector								
Hybrid Cars			2	6	15	37	92	229
Motor Vehicle Inspection	62	154	192	238	297	369	461	574
Electric scooters and Bicycles	4	9	22	54	78	95	116	141
Sub Total Savings	66	163	216	298	390	501	668	944
% savings compared to Baseline	1.2%	2.7%	3%	3%	3%	4%	4%	5%
Other Sectors								
Efficient Cookstoves, Biogas, Water Filters	3	7	17	39	96	136	160	170
Solar Lanterns	0.6	6.2	31	56	50	44	44	44
Wind Water Pumping	0.0	0.4	3	5	9	11	14	16
Sub Total Savings	4	14	51	100	155	191	218	230
% savings compared to Baseline	0.1%	0.2%	0.7%	1.0%	1.3%	1.4%	1.3%	1.1%
Total Savings	528	966	1,603	2,452	3,098	3,730	4,495	5,465
% savings compared to Baseline	9.5%	16.1%	21%	26%	27%	27%	26%	26%

引用文献

- JETRO, プノンペンスタイル, 2017 年 3 月
- International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, October 2018
- JICA 専門家 広瀬匡一、カンボジアにおける電力の現状、2018 年 3 月 30 日
- JETRO、カンボジア最新電力事情、課題の解決に向けた日本の動き
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2018/3ef8f6062023c66e.html>
- CAMBODIA MAP, <http://keyfactorsales.com/cambodiamap.org/phnom-penh-map.html>
- 北九州市長 北橋 健治、SDGs 推進に向けた「環境未来都市北九州市」の取り組み、平成 29 年 10 月 4 日、http://future-city.jp/forum/2017_07/pdf/02_02_kitahashi_jp.pdf
- Ministry of Environment、Cambodia's Second National Communications、Nov.2015

第2章 JCM 案件化調査(交通分野：電動三輪によるタクシー事業)

本事業は、現地でタクシーとして利用されている化石燃料車のトゥクトゥクを電動三輪に代替することによって、CO2 排出量を削減するとともに大気汚染を抑制することを目的とする。電動三輪の電源としては、太陽光発電やバイオマス発電を想定する。

2.1 現状把握

トゥクトゥクについては、プノンペン都総合交通計画¹において、郊外のバスや軌道系のフィーダーシステムとしての活用の可能性が示されている。このことから、本章では、まず公共路線バスの現状把握を行った。つづいて、トゥクトゥクの現状やタクシー事業を実施するまでの行政手続き等に関する調査結果を示す。

2.1.1 交通状況

(1)公共路線バス

2014 年から運行が開始された公共路線バスは、日本や中国からの無償供与によって 57 台から 235 台に増え、路線数も 3 から 13 に拡大しており、利便性は向上している(図 2.1.1、図 2.1.2 参照)。

運賃は一律 1,500 リエル(約 0.4USD)で、学生、僧侶、障害者、お年寄り、工場労働者(2 年間限定)は無料となっている(利用者の 60%が運賃無料)。

このようなバス路線の拡大や運賃施策によって、公共路線バスの利用者数は、約 6,000 人/日(約 20 万人/月)から約 25,000 人/日(約 70 万人/月)に急増しているが、それでもなお、公共路線バスの分担率は 1%(利用者 25,000 人/日)に留まっている(図 2.1.3 参照)。これは、自動車保有台数の増加に伴い悪化する交通渋滞のために、公共路線バスの定時運行が確保できないことが原因である(図 2.1.4 参照)。

現在、JICA では、「プノンペン公共バス運営改善プロジェクト(2017 年 1 月～2020 年 12 月)」を実施している。当プロジェクトは、①路線バスの運行改善、②車両点検・整備の改善、③乗務員の育成、④経営管理の改善、⑤公共交通優先政策の 5 つの活動から成る。⑤に関連しては、バスの優先レーンの設置、公共車両優先システム、バスロケーションシステムの導入が進められている。バスロケーションシステムについては、トゥクトゥク等のタクシーの配車アプリを開発する企業との協議が進められており、バスとトゥクトゥクの相互利用が今後図られる予定である。

電動三輪によるタクシー事業を実施する際には、バスロケーションシステムを活用して、公共路線バスに結節するフィーダー(支線)交通として、公共路線バスの利用促進を図るとともに、公共路線バスが走行していない郊外の交通不便地域を解消していくことに寄与することが重要である。

Phnom Penh City Bus Route Map 2018

Bus Route / Operation Hour / Frequency

- Line 1 : Prek Pnov Market - Chbar Ampov/Kokir Market
- Line 2 : Kouch Kanong Roundabout - Takhmao Roundabout - Prek Somrong bridge
- Line 3 : Freedom Park - Borey Sontepheap 2
- Line 4 : Freedom Park - Borey Sontepheap/Ang Snoul/Dey Kro Hom Roundabout
- Line 5 : Bus Depot - Aeon Mall Sen Sok - Aeon Mall
- Line 6 : Kouch Kanong Roundabout - Bus Depot
- Line 7 : KMB - Boeung Chhouk
- Line 8 : Kouch Kanong Roundabout - Century Plaza
- Line 9 : Borey Son Ti Pheap2 - PPSEZ
- Line 10 : Century Plaza - Boeung Chhouk
- Line 11 : Sleng Pagoda - Steung Meanchey Intersection
- Line 12 : Cambodia Railway (circle)
- Line 13 : Kouch Kanong Roundabout - Derm Thkov Market Roundabout

Operation Hour	Frequency	by Route
05:30 to 20:30	5-10 minutes	: Line 4A, 4B, 4C, 9, 12
	10-15 minutes	: Line 1A, 2, 3, 5
	15-20 minutes	: Line 1B, 6, 7, 8, 10, 11

Guidance

- Pay fare to the conductor and receive the ticket for inspection
- Press Stop Button before alighting

Fare

1,500 Riel: Adult
 Free: Monk, Wheelchair User, Student, Elderly (70 yrs over), Child (below 1m height), Garment Factory Worker, Teacher, Sport Athlete



Bus Related App



Contact

Phnom Penh City Bus
 Tel: +855 11 471 038
 E-mail: info@phnomphenhcitybus.gov.kh

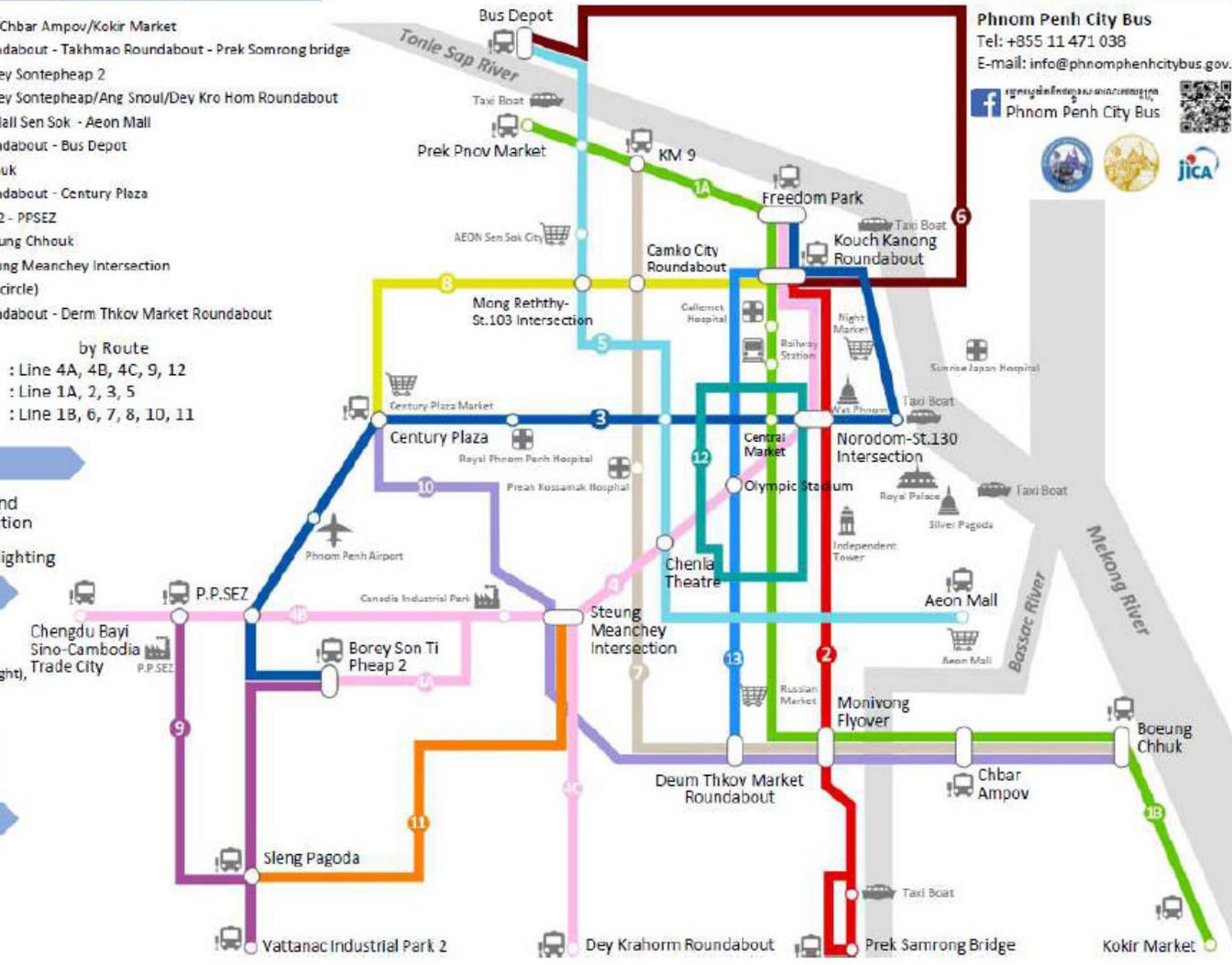
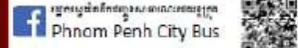


図 2.1.1 公共バス路線図²

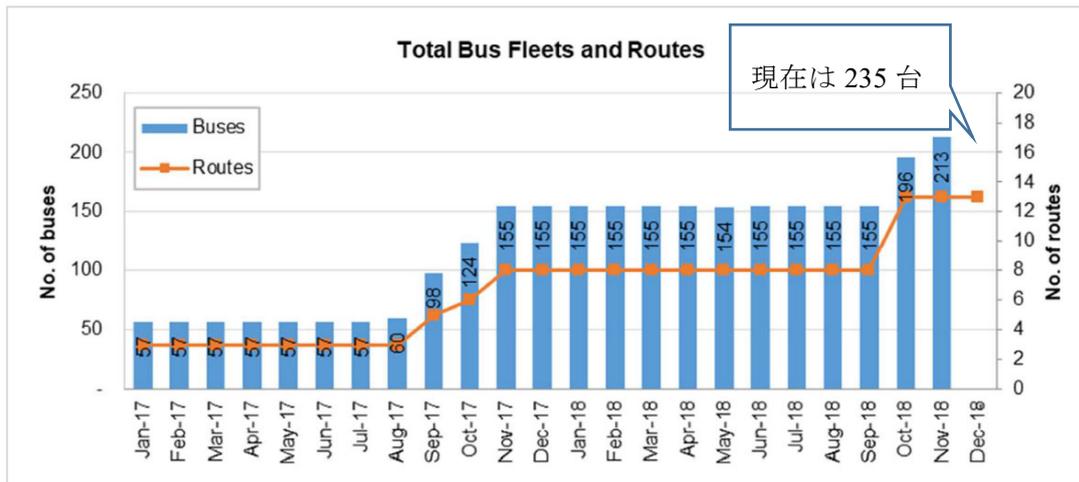


図 2.1.2 公共路線バス数・路線数²

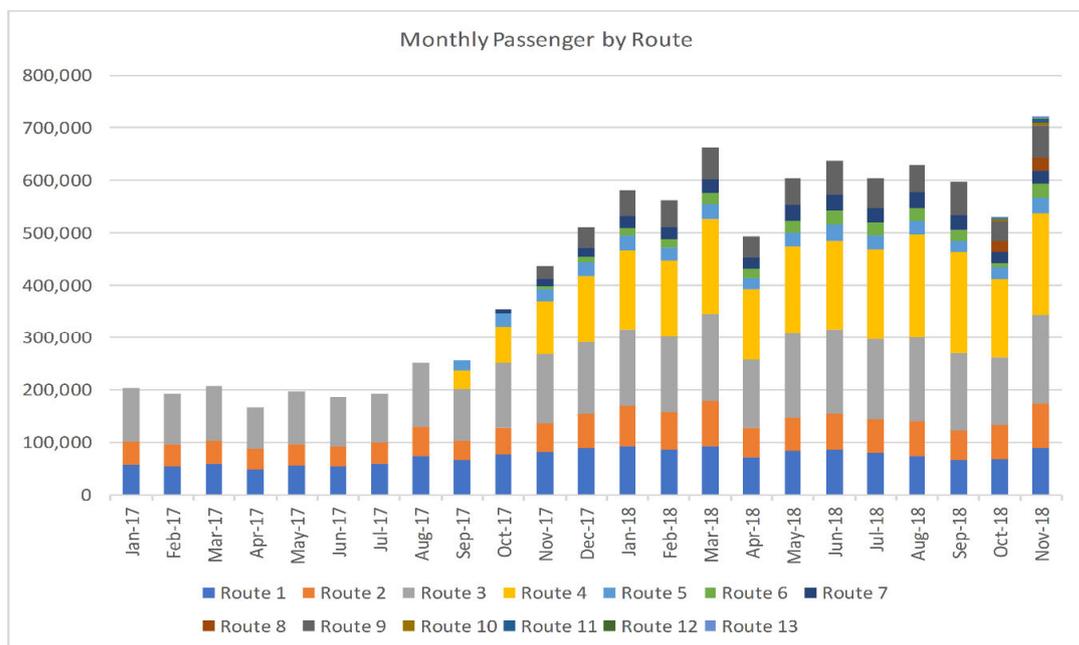


図 2.1.3 路線別・公共路線バスの月間利用者数²

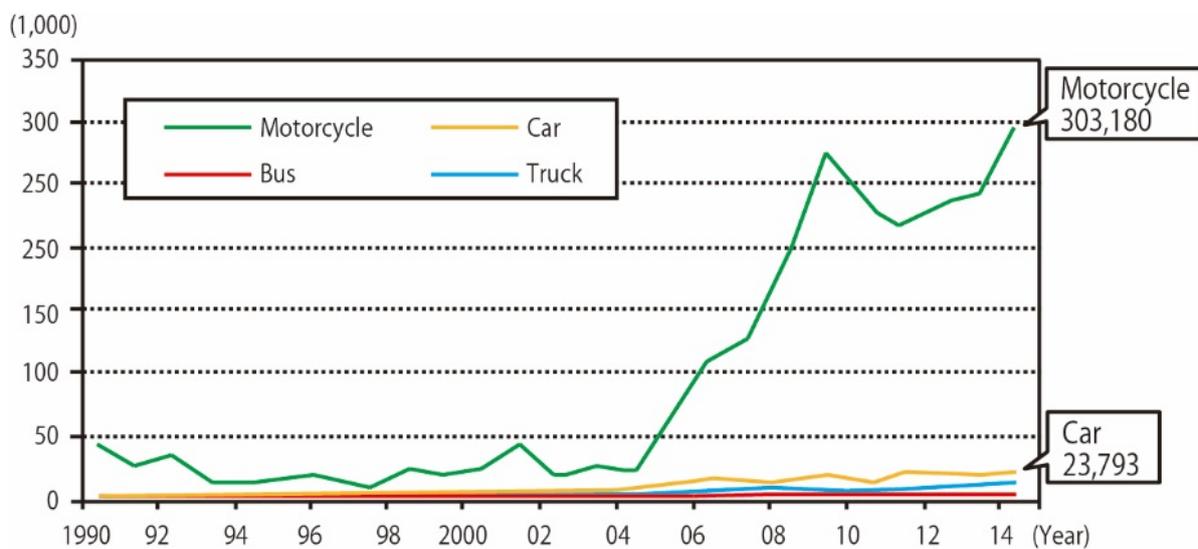


図 2.1.4 カンボジアにおける車両登録台数³



写真 2.1.1 公共路線バス(左：日本から供与されたバス、右：中国から供与されたバス)



写真 2.1.2 整備されたバス停

(2) トウクトウク

■ルモーモトから LPG 三輪へ

車を所有していない市民や観光客は、トウクトウクを利用する機会が多いが、近年このトウクトウクに大きな変化が起きている。

2016年頃まではトウクトウクといえば、ルモーモト(Remorque、写真 2.1.3 参照)と呼ばれる、ガソリンバイクで客を乗せたキャビンを牽引するカンボジア特有の乗り物であったが、現在ではインド等から輸入された LPG 三輪が主流となっている(写真 2.1.4 参照)。

LPG 三輪が主流となった要因は、車の燃費、走行性の良さに加え、スマートフォンの配車アプリ(PassApp 等)を運営する企業と連携することによって、乗客は近くを走行する LPG 三輪に直ぐに乗車することができるため利便性が高いこと、また、料金は運賃単価(1,000 リエル/km, 1,000 リエル≒28 円)×走行距離で決められ明朗会計であることなどである。したがって、ルモーモトのように乗車前に値段交渉を行う必要もなく、また、観光客や外国人在住者は、法外な値段を提示されることもなく安心して乗車することができる。



写真 2.1.3 カンボジア特有の
トゥクトゥク(ルモーモト)



写真2.1.4 LPG三輪・配車アプリ



約 3,100 人のルモーモトのドライバー(個人事業者)が会員となっているルモーモト協会にヒアリングを行ったが、空港や市場の停留所を占有しながら、LPG 三輪にタクシー市場を完全に奪われている状況である(表 2.1.1 参照)。

表 2.1.1 ルモーモト協会へのヒアリング結果

項目	内容
協会名	・ CAID(Cambodian Association for Informal Economy Development)
活動内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバー(個人事業者)に対する安全運転教育や市場開拓に関する支援を行っている。 ・資金力がないドライバーにはルモーモトをリースしている。 ・プノンペン都の許可を得て、空港や主要市場に停留所を確保しており CAID 会員はそこで営業を行うことが可能である。 ・空港については、プノンペン都からの許可を得た上で空港と契約を結び、空港に駐車料金を支払い、営業を行っている。契約は 3 年間有効であり、既に契約は 4 回更新している。
協会会員	・約 3,100 人
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・CAID 会員が乗る伝統的なルモーモトでは、燃費の良いインド製の LPG 三輪に太刀打ちできない。 ・LPG 三輪は、PassApp (パサップ、配車アプリ) により、自由に予約を受け空港に乗り入れ乗客を乗せている(空港で待機している CAID のルモーモトには乗車してもらえない)。 ・運賃は 1,000 リエル/km 程度である(空港～市内：10 km 程度→3USD 程度である)。一方、CAID は、空港から市内までの運賃は 7～9 USD と設定している。

また、LPG 三輪の人気を受けて、LPG 三輪を製造するメーカーも増えている。そこで、都内の LPG 三輪販売代理店等を調査し、都内で人気となっている車種の仕様や値段をヒアリングし表 2.1.3 に整理した。

LPG 三輪の価格は、約 3,500~3,900USD(税込)であり、ルモータ(1,000~1,800USD(税込み))と比べると高額であるが、1 日 3.5USD でレンタルする企業もあることから LPG 三輪のタクシードライバーは増えている(表 2.1.2 参照)。

以上のことから、JCM 設備補助事業を活用した電動三輪のタクシー事業者を実施する場合には、リファレンス車種は LPG 三輪にする必要がある。

表 2.1.2 LPG 三輪の配車・レンタル会社へのヒアリング結果

項目	内容
会社名	・ Cam Go
事業内容	・ LPG 三輪の手配サービス(スマートフォンのアプリ運営) ・ ドライバー(個人事業者)に対するレンタル(3.5USD/day)
会社規模	・ LPG 三輪 100 台 (TVS) ・ 都内に同業者は 4 社程度で、Cam Go(CG 社)は 1、2 位の規模
関係会社	【Three Wheel Motor 社(TWM 社、社長は同じ)】 ・ LPG 三輪の輸入販売を行い CG 社へ貸与。 ・ 修理工場、3 人のエンジニア(給与：250~300USD/月)
点検・修理	・ 10 日に 1 回、TWM 社で点検を受ける必要がある。 ・ TWM 社独自の基準で点検。 ・ 点検料金は無料だが、部品交換が必要になった場合には、ドライバーが負担する。
その他	・ 事業は好調 (修理中の車数台を除いて 100%稼働している状態) ・ ドライバーと乗客を被保険者とする傷害保険代(6USD/月台)を支払っている。

表 2.1.3 プノンペン都内で人気の高いLPG三輪の仕様・値段の一覧

LPG 三輪の名称	TVS	ATUL GEMINI CARGO	APE PIAGGIO	BAJAJ RE
会社名 (国名)	Ccs (India)	Atul Cambodia (India)	Piaggio Group (Italy)	BAJAJ Cambodia (India)
デザイン (写真)				
サイズ (L×W×H)	L 2.65m×W 1.3m×H 1.75m	L 2.72m×W 1.2m×H 1.7m	L 2.49m×W 1.26m×H 1.55m	L 2.6m×W 1.3m×H 1.7m
定員	3名(乗客)+1名(運転手)	3名(乗客)+1名(運転手)	3名(乗客)+1名(運転手)	3名(乗客)+1名(運転手)
最高速度 (km/hour)	80km/hour	80km/hour	65km/hour	70km/hour
航続距離(km) (満タン時)	480km (LPG 16L、ガソリン 4L)	600km (LPG 20L、ガソリン 3L)	450km (LPG 15L、ガソリン 3L)	378km (LPG 14L、ガソリン 3L)
燃費 (km/L)	LPG 30km/L	LPG 30km/L	LPG 30km/L	LPG 27km/L
特徴 (長所又は短所)	他車より低価格、品質が良い、十分大きい、軽量	安全な点火装置、200cc シリンダー、BAJAJ RE より大きい、後方のデザインが良くない、運転席位置が高い、品質が良くない	他車よりもデザインは良い、エンジンノイズが大きい、高価格、低加速	他社に比べやや燃費が悪い
排気量、気筒数	200cc 1 気筒	200cc 1 気筒	200cc 1 気筒	100cc×2=200cc 2 気筒
価格 (税込み)	3,380\$ (付加価値税込)	3,500\$ (販売促進期間中) 3,700\$ (付加価値税込)	3,850\$ (付加価値税込)	3,550\$ (付加価値税込)
評判	新型で状態も良く人気がある。	2018年4月以降現在まで300台販売された。	人気がある	2014年から輸入されている人気車種。

2.1.2 タクシー事業を実施するまでの行政手続き等

タクシー事業を実施するまでの行政手続き等に関して、公共事業運輸省・プノンペン局にヒアリングを行った。カンボジア法人(日系を含む)がタクシー事業を実施する際には、以下に示す「車検審査」、「自動車登録」、「運送業のライセンス取得」が必要となる。さらに、空港や市場等の公的な施設の停留所を使用する場合には、プノンペン都より許可を得る必要がある。なお、新規に会社を設立する際には、別途、商業登記(所管：商業省)、税務登録(所管：租税総局)を行う必要がある。

公共事業運輸省プノンペン局へのヒアリングによれば、LPG 三輪のタクシー事業は、個人事業者が多い。また、自動車登録や運送業のライセンス取得を行わずに営業を行っていることが多いとのことであった。また、ヒアリングによれば、現地では LPG 三輪による交通事故が多発している。運転に慣れていない地方出身者がドライバーとなって、交通量の多い都内の道路を走行することが主因となっている。

(1)車検審査

- ・電動三輪の輸入許可、売買契約をもって車検審査を受ける。
- ・車検は公共事業運輸省プノンペン局が行う。
- ・車検費用は、1台あたり 40,000 リエル(約 10USD)である。
- ・車検に要する時間は1台あたり半日程度であるが、100台などまとめて車検審査を受ける場合には、どの程度の時間を要するか明らかでない。

(2)自動車登録

- ・車検審査の内容をチェックした上で自動車登録が行われ、通常であれば当日ナンバープレートが交付され、公道での走行が可能となる。
- ・自動車登録手続は都内の各区役所で実施され、ワンストップサービスとなっている。費用は1台あたり 27,000(約 6.8USD)リエルである。

(3)運送業のライセンス取得

- ・公共事業運輸省から運送業のライセンスを取得するとともに、自動車等の登録が必要である。

(4)空港・市場等の停留所の使用許可

- ・空港、市場等の停留所を利用してタクシー事業を行うには、都からの許可が必要である。
- ・空港の停留所の場合には、都から許可を得た上で、空港と契約することになる。都の総務にレターを提出して都の指導を受ける必要がある。

2.2 導入技術の検討

2.2.1 導入技術の内容

(1) 電動三輪

テラモーターズ社の2車種を検討の対象とした。なお、テラモーターズ社は、バングラディッシュ、インド等で、安価な価格設定と性能の良さで現地のニーズと合致し、電動三輪(鉛蓄電池)の販売台数を伸ばしている日本企業である。

現地でのヒアリングの結果、デザインと性能(特に走行速度)の観点で、鉛蓄電池のY4Aよりもリチウムイオン電池のAutoの方が評判は良いことから、開発中ではあるものの、導入・普及の可能性が高いと考えられた。このため、本業務では、Autoを対象にCO2削減量、事業採算性等について検討を行った。なお、本プロジェクトの事業規模については、メーカーの製造能力を考慮し、電動三輪の導入台数を100台とする。

Autoは、LPG三輪と比べると高価な上、2年に1回程度はバッテリーの交換が必要となるため、事業コストでは競争できない。電動三輪の持つ先進性、環境配慮、話題性をアピールすることに加え、斬新な車体のデザインや、日本式のドライバーによる安全・安心な運転と、上質な接客サービスが必要となる。

表 2.2.1 導入検討の対象となった電動三輪の仕様(テラモーターズ)

名称	Y4A	Auto (開発中のため下記仕様は未定)
デザイン		
サイズ	L:2,790×W:990×H:1,735 mm	L:2,635×W:1,300×H:1,710 mm
乗車人数	4+1(ドライバー)	3+1(ドライバー)
バッテリー	鉛蓄電池 (寿命：500回充電/1.5年) (電圧60V、容量140Ah)	リチウムイオン電池 (寿命：1,500回充電/2年) (電圧48V、容量78Ah)
最高速度	25km/h	40km/h
走行距離	90km	80km
充電時間	8-12h	4h
価格 (関税前)	1,900USD (バッテリー：800USD)	4,500USD (バッテリー：1,600USD)
現地の評価	デザイン、最高速度に不満が多い ×	○

(2)充電ステーション

充電ステーションとしては、太陽光発電もしくはバイオマス発電を想定する。バイオマス発電については、第3章で検討を行うことから、本節では太陽光発電による充電ステーションの検討を行う。

本事業では、充電ステーションを都内に5か所設け、1か所あたり電動三輪20台分のバッテリーを充電することとする。電動三輪のバッテリーは取り外し可能で、1台の電動三輪に対して交換用バッテリーを1台用意し、バッテリーの少なくなった電動三輪が充電ステーションまで行き充電済みのバッテリーと交換して走行距離を確保する。

1か所あたり定格容量40kW程度の太陽光発電が必要であり、バッテリー20セット分の費用を加えると1か所あたり約162,000USDの初期費用が必要となる。

表 2.2.2 充電ステーションの導入費用(1か所あたり)

項目	仕様・数量等	概算費用
交換用バッテリー	<ul style="list-style-type: none"> ・リチウムイオン電池 ・電圧 48V、容量 78Ah ・20 セット 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 32,000USD (=1,600USD×20 セット)
太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定格容量：40kW ・ 設置面積：約 300 m² 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 130,000USD (土地代含まず)
概算費用合計		<ul style="list-style-type: none"> ・ 162,000USD

2.2.2 CO2削減効果

(1)リファレンス排出量

リファレンス排出量は、既往方法論(AMS-III.C)や既往調査報告書⁴を参考に次式より算出した。設定値は、表 2.2.3 に示すとおりである。

$$\begin{aligned}
 RE_y &= \sum_i ((DD_y / SFC_{RE}) \times IR^y \times NCV_{LPG} \times EF_{LPG} \times N_y) \\
 &= 11,999 / 30 \times 0.99^1 \times 23.4 \times 0.0616 \times 10^{-3} \times 100 \\
 &= 57 \text{ tCO}_2/\text{y}
 \end{aligned}$$

ここで

RE_y : リファレンス排出量(tCO₂/y)

DD_y : y年のプロジェクトで導入される電動三輪の平均走行距離(km)

SFC_{RE} : リファレンス車両の燃費(km/L)

IR^y : y年におけるリファレンス車両の燃費改善係数(-)

NCV_{LPG} : LPGの正味発熱量(MJ/L)

EF_{LPG} : LPGのCO₂排出係数(tCO₂/MJ)

N_y : Y年のプロジェクトで導入されるプロジェクト車両の台数(台)

表 2.2.3 リファレンス排出量・パラメータ設定値

パラメータ	値	設定根拠・出所
DD_y	11,999(km) (40km/day×300day 相当)	<ul style="list-style-type: none"> ・既往報告書⁴の調査結果 ・2016 年度に実施したルモータ協会へのヒアリング⁵では、平均 50～75km/day 走行しているとのことであったが、保守性を鑑みて上記報告書の数値を設定した。
SFC_{RE}	30(km/L)	・表 2.1.3 参照
IR^y	0.99	・既往報告書 ⁴ の設定値
NCV_{LPG}	23.4 (MJ/L)	・NCV：44.8MJ/kg 及び燃料密度：522.2kg/m ³ より算定 ^{6,7}
EF_{LPG}	0.0616×10^{-3} (tCO ₂ /MJ)	・既往報告書 ⁶ の設定値
N_y	100(台)	・プロジェクトで導入される車両台数

(2)プロジェクト排出量

電動三輪車のバッテリーの充電は、太陽光発電もしくはバイオマス発電を電源とする充電ステーションによって充電を行うため、プロジェクト排出量はゼロである。

$$PE_y = 0$$

ここで、

$$PE_y : \text{プロジェクト排出量(tCO}_2\text{/year)}$$

(3)排出削減量

排出削減量は、リファレンス排出量とプロジェクト排出量の差として算出される。プロジェクト期間については、電動三輪の法定耐用年数が「減価償却資産の耐用年数等による省令」に示されている「運送業用、貸自動車業用」、「自動車（二輪又は三輪自動車を含み、乗合自動車を除く。）」、「小型車(排気量はゼロであるが排気量 2L 以下のものをいう。）」に該当すると考えられることから、3 年と設定する。

1)年間排出削減量

$$\begin{aligned}
 ER_y &= RE_y - PE_y \\
 &= 57(\text{tCO}_2\text{/y}) - 0 \\
 &= 57 (\text{tCO}_2\text{/y})
 \end{aligned}$$

2)プロジェクト期間中の排出削減量

プロジェクト期間中(法定耐用年数)の排出削減量は、表 2.2.4 に示すとおりであり、合計で 168tCO₂ となる。プロジェクト排出量は一定だが、リファレンス排出量は、リファレンス車両の燃費改善により 1 年毎に小さくなるため、排出削減量も小さくなる。

表 2.2.4 プロジェクト期間中の排出削減量

年	1	2	3	合計
リファレンス排出量(tCO2)	57	56	55	168
プロジェクト排出量(tCO2)	0	0	0	0
排出削減量(tCO2)	57	56	55	168

2.2.3 JCM 設備補助額・費用対効果

JCM 設備補助額は、下記に示すように、JCM 設備補助事業の応募で採択の条件となっている費用対効果(4,000 円/tCO2)とプロジェクト期間中の CO2 排出削減量の積により求まることから、補助額は 672 千円となる。

$$\begin{aligned} \text{【JCM 設備補助額】} &= \text{【費用対効果(4,000 円/tCO2)】} \times \text{【排出削減量(168tCO2)】} \\ &= 672,000 \text{ 円} \approx 6,000\text{USD} \quad (1\text{USD}=111 \text{ 円として}) \end{aligned}$$

2.2.4 事業採算性

(1)初期費用

初期費用は、Case1(タクシー事業者が充電ステーションの整備費用を負担する場合)と、Case2(タクシー事業に充電ステーションの整備費用を含めない場合)の 2 ケースとした。

Case1 : タクシー事業者が充電ステーションの整備費用を負担する場合

本ケースの初期費用には、電動三輪等の導入費用に充電ステーションの整備費用が加わる。

表 2.2.5 初期費用(充電ステーションを含む)

項目	単価(USD)	数量	合計(USD)
電動三輪	4,500	100 台	450,000
交換用バッテリー	1,600	100 セット	160,000
充電ステーション (太陽光発電)	130,000	5 ヶ所	650,000
JCM 設備補助	—	—	-6,000
初期費用合計			1,254,000

※タクシー事業者が借地して充電ステーションを設置することを想定。

※プノンペン都と協議の上、電動三輪、交換用バッテリーへの関税がゼロとなることを想定。

Case2 : タクシー事業に充電ステーションの整備費用を含めない場合

本ケースでは、太陽光発電やバイオマス発電の再エネ発電事業者等が電動三輪事業を実施することを想定し、初期費用には充電ステーションの費用は含めないこととする。

表 2.2.6 初期費用(充電ステーションを含まない)

項目	単価(USD)	数量	合計(USD)
電動三輪	4,500	100 台	450,000
交換用バッテリー	1,600	100 セット	160,000
JCM 設備補助	—	—	-6,000
初期費用合計			604,000

※プノンペン都と協議の上、電動三輪、交換用バッテリーへの関税がゼロとなることを想定。

(2)支出

年間支出は、以下に示すとおりである。

表 2.2.7 年間の支出内訳

項目	単価(USD)	数量	合計(USD)	備考
充電	0	0	0	
維持管理	1,200	100 台	120,000	毎年
バッテリー交換	1,600	200 セット	320,000	2年に1回
人件費	—	—	220,000	毎年
借地料	72,000	5ヶ所	360,000	Case1 の場合のみ

(3)収入

年間運賃収入は、下記のケースを設定した。なお、年間の移動距離は既往報告書⁴を参考に設定し、年間運送回数は1日10回と仮定した(1回の運送距離4km程度×10回)。

年間収入 A : LPG 三輪の運賃の場合(現状)

年間収入 B : Case A の距離単価を 0.25USD/km から 0.5USD/km に増額した場合

年間収入 C : Case A の距離単価を 0.25USD/km から 1.0USD/km に増額した場合

年間運賃収入 A : 現状の LPG 三輪の運賃

本ケースは、現状の LPG 三輪の運賃で営業を行った場合に得られる年間収入である。

表 2.2.8 年間運賃収入 A(現状の LPG 三輪の運賃)

項目	数量	運賃単価	運賃	備考
年間運送回数	3,000 回/台	0.75USD/回	2,250USD/台	10 回/day×300days
年間移動距離	11,999 km/台	0.25USD/km	2,999USD/台	40km/day×300day 相当
運賃収入(1 台あたり)			5,249USD/台	
運賃収入(100 台)			524,900USD	

年間運賃収入 B : 距離単価を 0.5USD/km に増額する場合

本ケースは、初乗り運賃を現状の LPG 三輪の運賃として、距離単価を 0.25USD/km から 0.5USD/km に増額した場合に得られる年間収入である。

表 2.2.9 年間運賃収入 B(距離単価を 0.5USD/km に増額する場合)

項目	数量	運賃単価	運賃	備考
年間運送回数	3,000 回/台	0.75USD/回	2,250USD/台	10 回/day×300days
年間移動距離	11,999 km/台	0.5USD/km	5,999USD/台	40km/day×300day 相当
運賃収入(1 台あたり)			8,249USD/台	
運賃収入(100 台)			824,900USD	

年間運賃収入 C : 距離単価を 1.0USD/km に増額する場合

本ケースは、初乗り運賃を現状の LPG 三輪の運賃として、距離単価を 0.25USD/km から 1.0USD/km に増額した場合に得られる年間収入である。

表 2.2.10 年間運賃収入 C(距離単価を 1.0USD/km に増額する場合)

項目	数量	運賃単価	運賃	備考
年間運送回数	3,000 回/台	0.75USD/回	2,250USD/台	10 回/day×300days
年間移動距離	11,999 km/台	1.0USD/km	11,999USD/台	40km/day×300day 相当
運賃収入(1 台あたり)			14,249USD/台	
運賃収入(100 台)			1,424,900 USD	

(4)事業採算性

前段で設定した初期費用、経費、収入を基に、Case1(タクシー事業者が充電ステーションの整備費用を負担する場合)、Case2(タクシー事業に充電ステーションの整備費用を含めない場合)でキャッシュフローの計算を行い、事業採算性を評価した。結果は以下のとおりである。

- Case1、Case2 とともに年間運賃収入 A(現状の LPG 三輪の運賃)では事業は成立しない(表 2.2.11、表 2.2.12 参照)。
- Case1 は、年間運賃収入 C(距離単価を 1.0USD/km に増額する場合)とすれば事業は成立する。事業開始後 6 年間の IRR(内部収益率)は 48.5%、初期費用回収期間は 2.0 年である(表 2.2.13 参照)。
- Case2 は、年間運賃収入 B(距離単価を 0.5USD/km に増額する場合)とすれば事業は成立する。事業開始後 6 年間の IRR(内部収益率)は 65.7%、初期費用回収期間は 1.3 年である(表 2.2.14 参照)。

表 2.2.11 キャッシュフロー計算表(Case1：タクシー事業者が充電ステーションの整備費用を負担する場合・年間運賃収入 A(現状の LPG 三輪の運賃))

Year	0	1	2	3	4	5	6
1. Income(USD)	0	524,900	524,900	524,900	524,900	524,900	524,900
		524,900	524,900	524,900	524,900	524,900	524,900
2. Expenses(USD)	-1,254,000	-700,000	-1,020,000	-700,000	-1,020,000	-700,000	-1,020,000
Electric tricycle	-450,000						
Battery	-160,000						
Solar charging station	-650,000						
JCM Subsidy	6,000						
Fuel cost (electricity charge)		0	0	0	0	0	0
Maintenance cost		-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000
Battery replacement cost			-320,000		-320,000		-320,000
Personnel expenses		-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000
Ground rent		-360,000	-360,000	-360,000	-360,000	-360,000	-360,000
3. Profit before depreciation(USD)	-1,254,000	-175,100	-495,100	-175,100	-495,100	-175,100	-495,100
4. Depreciation(USD)	0	242,500	242,500	242,500	242,500	130,000	0
Depreciation of Electric tricycle		112,500	112,500	112,500	112,500		
Solar charging station		130,000	130,000	130,000	130,000	130,000	
5. Profit after depreciation(USD)	-1,254,000	-417,600	-737,600	-417,600	-737,600	-305,100	-495,100
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)		0	0	0	0	0	0
7. Profit of the current term(USD)	-1,254,000	-417,600	-737,600	-417,600	-737,600	-305,100	-495,100
8. Cash flow(USD)	-1,254,000	-175,100	-495,100	-175,100	-495,100	-175,100	-495,100
Accumulation of Cash	-1,254,000	-1,429,100	-1,924,200	-2,099,300	-2,594,400	-2,769,500	-3,264,600

表 2.2.12 キャッシュフロー計算表(Case2：タクシー事業に充電ステーションの整備費用を含めない場合・年間運賃収入 A(現状の LPG 三輪の運賃))

Year	0	1	2	3	4	5	6
1. Income(USD)	0	524,900	524,900	524,900	524,900	524,900	524,900
		524,900	524,900	524,900	524,900	524,900	524,900
2. Expenses(USD)	-604,000	-340,000	-660,000	-340,000	-660,000	-340,000	-660,000
Electric tricycle	-450,000						
Battery	-160,000						
Solar charging station	0						
JCM Subsidy	6,000						
Fuel cost (electricity charge)		0	0	0	0	0	0
Maintenance cost		-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000
Battery replacement cost			-320,000		-320,000		-320,000
Personnel expenses		-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000
Ground rent		0	0	0	0	0	0
3. Profit before depreciation(USD)	-604,000	184,900	-135,100	184,900	-135,100	184,900	-135,100
4. Depreciation(USD)	0	112,500	112,500	112,500	112,500	0	0
Depreciation of Electric tricycle		112,500	112,500	112,500	112,500		
5. Profit after depreciation(USD)	-604,000	72,400	-247,600	72,400	-247,600	184,900	-135,100
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)		-14,480	0	-14,480	0	-36,980	0
7. Profit of the current term(USD)	-604,000	86,880	-247,600	86,880	-247,600	221,880	-135,100
8. Cash flow(USD)	-604,000	199,380	-135,100	199,380	-135,100	221,880	-135,100
Accumulation of Cash	-604,000	-404,620	-539,720	-340,340	-475,440	-253,560	-388,660

表 2.2.13 キャッシュフロー計算表(Case1：タクシー事業者が充電ステーションの整備費用を負担する場合・年間運賃収入 C(距離単価を 1.0USD/km に増額する場合))

Year	0	1	2	3	4	5	6
1. Income(USD)	0	1,424,900	1,424,900	1,424,900	1,424,900	1,424,900	1,424,900
		1,424,900	1,424,900	1,424,900	1,424,900	1,424,900	1,424,900
2. Expenses(USD)	-1,254,000	-700,000	-1,020,000	-700,000	-1,020,000	-700,000	-1,020,000
Electric tricycle	-450,000						
Battery	-160,000						
Solar charging station	-650,000						
JCM Subsidy	6,000						
Fuel cost (electricity charge)		0	0	0	0	0	0
Maintenance cost		-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000
Battery replacement cost			-320,000		-320,000		-320,000
Personnel expenses		-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000
Ground rent		-360,000	-360,000	-360,000	-360,000	-360,000	-360,000
3. Profit before depreciation(USD)	-1,254,000	724,900	404,900	724,900	404,900	724,900	404,900
4. Depreciation(USD)	0	242,500	242,500	242,500	242,500	130,000	0
Depreciation of Electric tricycle		112,500	112,500	112,500	112,500		
Solar charging station		130,000	130,000	130,000	130,000	130,000	
5. Profit after depreciation(USD)	-1,254,000	482,400	162,400	482,400	162,400	594,900	404,900
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)		-96,480	-32,480	-96,480	-32,480	-118,980	-80,980
7. Profit of the current term(USD)	-1,254,000	578,880	194,880	578,880	194,880	713,880	485,880
8. Cash flow(USD)	-1,254,000	821,380	437,380	821,380	437,380	843,880	485,880
Accumulation of Cash	-1,254,000	-432,620	4,760	826,140	1,263,520	2,107,400	2,593,280

表 2.2.14 キャッシュフロー計算表(Case2：タクシー事業に充電ステーションの整備費用を含めない場合・年間運賃収入 B(距離単価を 0.5USD/km に増額する場合))

Year	0	1	2	3	4	5	6
1. Income(USD)	0	824,900	824,900	824,900	824,900	824,900	824,900
		824,900	824,900	824,900	824,900	824,900	824,900
2. Expenses(USD)	-604,000	-340,000	-660,000	-340,000	-660,000	-340,000	-660,000
Electric tricycle	-450,000						
Battery	-160,000						
Solar charging station	0						
JCM Subsidy	6,000						
Fuel cost (electricity charge)		0	0	0	0	0	0
Maintenance cost		-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000
Battery replacement cost			-320,000		-320,000		-320,000
Personnel expenses		-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000	-220,000
Ground rent		0	0	0	0	0	0
3. Profit before depreciation(USD)	-604,000	484,900	164,900	484,900	164,900	484,900	164,900
4. Depreciation(USD)	0	112,500	112,500	112,500	112,500	0	0
Depreciation of Electric tricycle		112,500	112,500	112,500	112,500		
5. Profit after depreciation(USD)	-604,000	372,400	52,400	372,400	52,400	484,900	164,900
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)		-74,480	-10,480	-74,480	-10,480	-96,980	-32,980
7. Profit of the current term(USD)	-604,000	446,880	62,880	446,880	62,880	581,880	197,880
8. Cash flow(USD)	-604,000	559,380	175,380	559,380	175,380	581,880	197,880
Accumulation of Cash	-604,000	-44,620	130,760	690,140	865,520	1,447,400	1,645,280

2.3 モニタリング方法の検討

リファレンス排出量、プロジェクトの計算式は以下に示すとおりである。パラメータの設定方法は、表 2.3.1 に示す

モニタリングが必要なパラメータは、プロジェクト車両の平均走行距離 DD_y である。 DD_y については、プロジェクトで導入される全ての電動三輪に毎日の走行距離を計測できる距離計測器(GPS)を設置し計測、集計して決定する。

【リファレンス排出量】

$$RE_y = \sum_i((DD_y/SFC_{RE}) \times IR_y \times NCV_{LPG} \times EF_{LPG} \times N_y)$$

【プロジェクト排出量】

$$PE_y = 0$$

表 2.3.1 リファレンス排出量算定式のパラメータの設定方法

パラメータ	データの説明	設定方法
DD_y	y 年のプロジェクトで導入されるプロジェクト車両の平均走行距離(km)	・プロジェクトで導入される全ての電動三輪に、毎日の走行距離を計測できる距離計測器(GPS)を設置し計測、集計する。
SFC_{RE}	リファレンス車両の燃費(Km/L)	・LPG 三輪の仕様(メーカーの公表値)
IR_y	y 年におけるリファレンス車両の燃費改善係数(-)	・CDMAMS-111.C のデフォルト値を確認する。 ・国の固有値が公開された場合は同データを用いる。
NCV_{LPG}	LPG の正味発熱量(MJ/L)	・既往報告書 ^{6,7} に示された NCV : 44.8MJ/kg 及び燃料密度 : 522.2kg/m ³ より算定する。 ・国の固有値が公開された場合は同データを用いる。
EF_{LPG}	LPG の CO2 排出係数(tCO2/MJ)	・既往報告書より設定する ⁶ 。 ・国の固有値が公開された場合は同データを用いる
N_y	Y 年のプロジェクトで導入されるプロジェクト車両の台数(台)	・プロジェクトで導入される車両台数

2.4 事業実施体制の検討

事業実施体制は、代表事業者(日本企業)と、実際にタクシー事業を行う共同事業者(日系現地企業)によって国際コンソーシアムを形成し、事業を行うことを想定する。図 2.4.2 には、代表事業者、共同事業者及び関係機関の役割を示す。

共同事業者については、既存の現地タクシー事業者ではなく、日本式のタクシー運営(ドライバーの勤怠管理、ドライバーへの運転研修、事故時への対応、車体の維持管理等)が可能な日系企現地企業が望ましい。

また、電動三輪によるタクシー事業単独では、CO2 排出削減量が小さく JCM 設備補助は受け

にくいため、太陽光発電やバイオマス発電事業と組み合わせることで(発電事業者が代表事業者になる)、補助金を確保し事業性を高める必要がある。

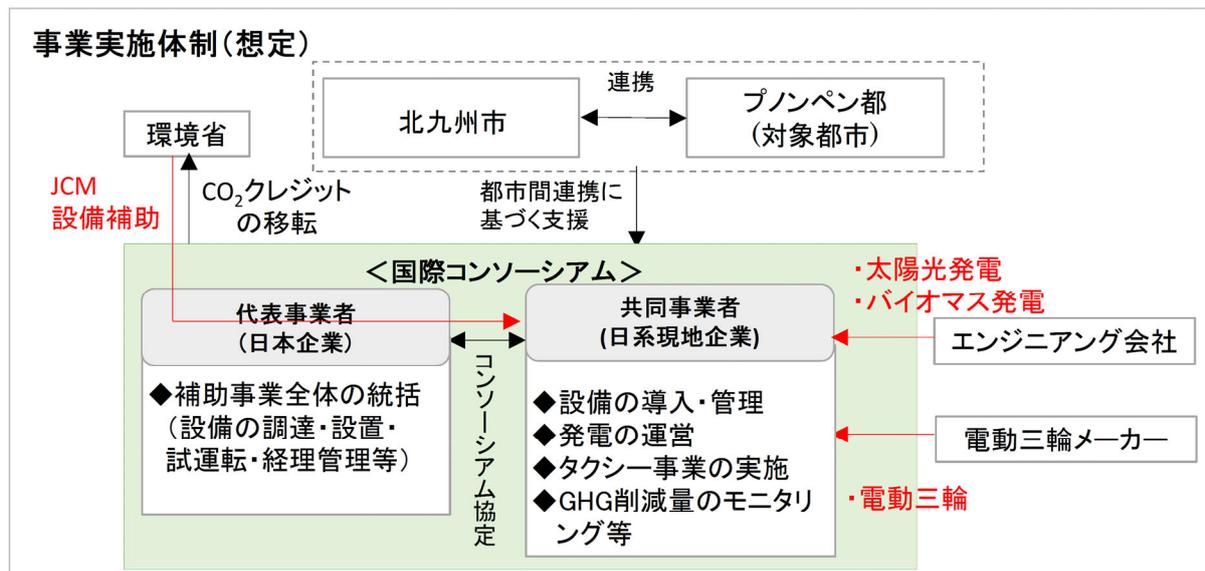


図 2.4.3 事業実施体制(電動三輪によるタクシー事業)

2.5 資金調達方法の検討

JCM 設備補助金を除いた残りの事業資金(初期費用)は、基本的には、共同事業者の自己資金となるが、その他、車体の広告収入等により資金調達を行う。

2.6 事業実施スケジュールの検討

JCM 設備補助事業の採択後、以下のようなスケジュールを想定している。

1)充電ステーション

- ・太陽光発電の場合：設計・調達・設置・試運転：6ヶ月程度
- ・バイオマス発電の場合：設計・調達・設置・試運転：1.5年程度

2)電動三輪

- ・電動三輪の調達：2ヶ月程度
- ・ドライバーへの勤怠管理・運転研修等のシステム構築、実施：1年程度

2.7 まとめ・今後の課題

- ・電動三輪事業では、既存 LPG 三輪と同様に、配車アプリサービスや、JICA が導入を進めているバスロケーションシステムとの連携が必要不可欠である。
- ・電動三輪の事業採算性を検討すると、既存の LPG 三輪の運賃では事業が成り立たないが、距離単価をわずかに 0.25～0.5USD/km (28～56 円/km) を増額するだけで事業性が高まる。このことから、ターゲットは、カンボジアの富裕層や観光客を想定する。電動三輪が持つ環境保全・先進性、日本式のドライバーによる安全・安心な運転と、上質な接客サービスによって、LPG 三輪と差別化を図る必要がある。
- ・電動三輪によるタクシー事業単独では、CO₂ 排出削減量が小さいため、JCM 設備補助事業の

採択の目安をクリアできない。JCM 設備補助を活用するためには、太陽光発電・バイオマス発電事業等と組み合わせ、CO2 排出削減量を確保する必要がある(発電事業者が代表事業者になる)。

- トックトックは、プノンペン都総合交通計画において、郊外部のバスや軌道系のフィーダーシステムとしての活用が期待されている。単に電動三輪を導入するだけでなく、JICA の「プノンペン公共バス運営改善プロジェクト」と連携して、公共路線バスの利用促進に貢献するなど、環境的に持続可能な交通(EST)に取り組むことが重要である。

引用文献

- ¹ JICA、カンボジア国プノンペン都総合交通計画プロジェクト(開発調査型技術協力) 最終報告書(概要版)、2014 年 12 月
- ² CBA and JICA PiBO Expert, The Project for Improvement of Pubcic Bus Operation in Phnom Penh Progress Report, 14th Dec, 2018
- ³ JETRO、カンボジア 経済の基礎知識、Department of Public Works and Transport
- ⁴ (一社)海外環境協力センター、平成 26 年度 アジアの低炭素社会実現のための JCM 大規模案件形成可能性調査事業 「カンボジア・アンコール遺跡地域における JCM を活用した環境文化都市形成支援調査」報告書、平成 27 年 3 月
- ⁵ 株式会社日建設計シビル、北九州市環境局アジア低炭素化センター、平成 28 年度低炭素社会実現のための都市間連携に基づく JCM 案件形成可能性調査事業委託業務 (プノンペン都気候変動戦略行動計画策定支援事業(北九州市-プノンペン都連携事業))、平成 29 年 3 月
- ⁶ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- ⁷ IEA、Energy Statistics Manual

第3章 JCM 案件化調査(グリーン生産分野：農業系バイオマス発電事業)

3.1 現状把握

3.1.1 バイオマス賦存量

バイオマス発電事業を検討する上で、燃料となる農業残渣の確保が非常に重要であることから、まずはカンボジア国内の農業残渣の賦存量について調査を行った。

図 3.1.1、図 3.1.2 に、2016 年のカンボジアの農作物の栽培面積、生産量を示す。栽培面積については米が群を抜いて多く、次に、キャッサバ、天然ゴムとなっている。生産量については、キャッサバ、米が群を抜いて多い。現地の大型スーパーや仲買人へのヒアリングによれば、野菜や果物を大量に安定供給できるような農業法人は無く、これらの多くは海外からの輸入に頼っている状況にあり、野菜や果物の農業残渣の確保は難しいと考えられる。

一方、カンボジア政府は、「National Strategic Development Plan 2014-2018」において、農業生産性の向上に加え「農作物の多様化」を掲げているが、現状ではバイオマス発電の燃料となる農業残渣を安定的に確保できるのは、米、キャッサバ、天然ゴムの 3 種類に関連する農業施設であると思われる。

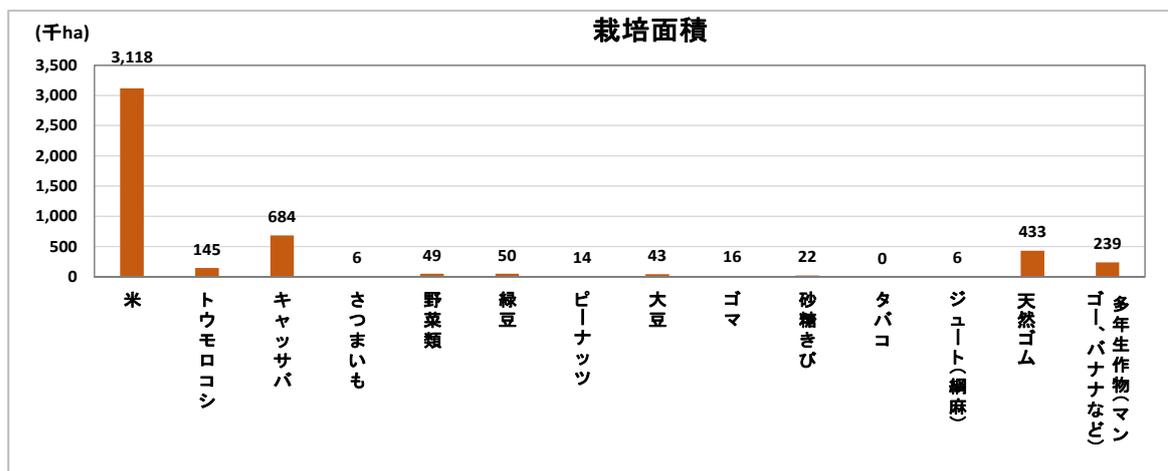


図 3.1.1 農作物の栽培面積(2016 年)¹

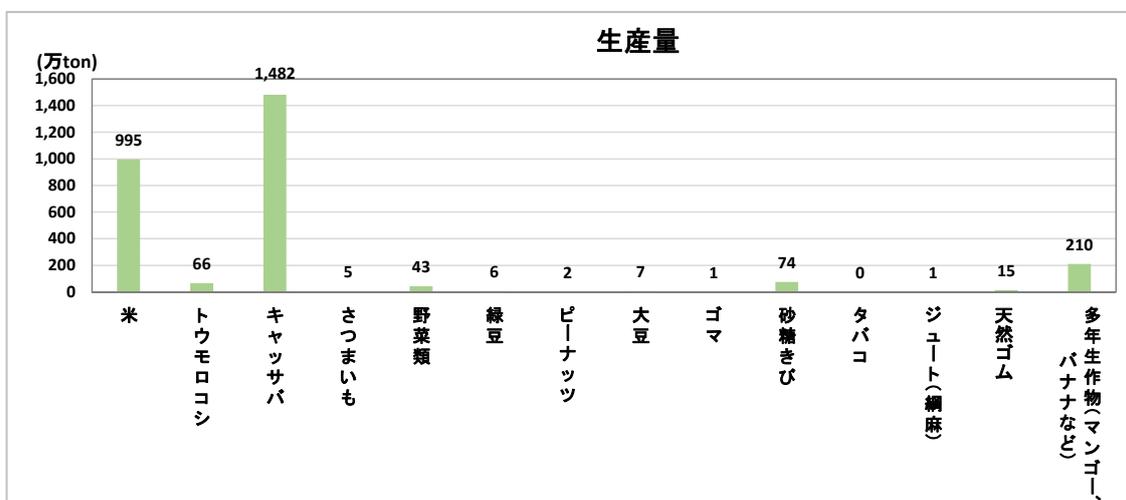


図 3.1.2 農作物の生産量(2016 年)¹

くわえて、現地調査によると、パーム油工場において未利用残渣が大量に残っていることを確認した。このことから、これらをバイオマス発電の燃料として活用できる可能性もある。

以下に、米、キャッサバ、天然ゴムの農業残渣、パーム油工場からの未利用残渣に関して、生産状況やバイオマス燃料としての利用可能性と利用方法を整理した。

(1)米

■生産量

米の生産量および栽培面積の経年変化は図 3.1.3 に示すとおりであり、生産量、栽培面積ともに増加傾向にある。

また、1haあたりの収量も増加しており、周辺国と比較するとタイを抜いてミャンマーに迫る勢いであるが、ベトナムと比べるとその60%程度に留まっている(図 3.1.4 参照)。これは、2~3期作が普及しているベトナムと比べて、灌漑設備が整っていない地域が多く雨期(5~10月)の1期作に留まっているためである。将来、灌漑設備を整えば、さらに、米の生産量が増加するものと考えられる。

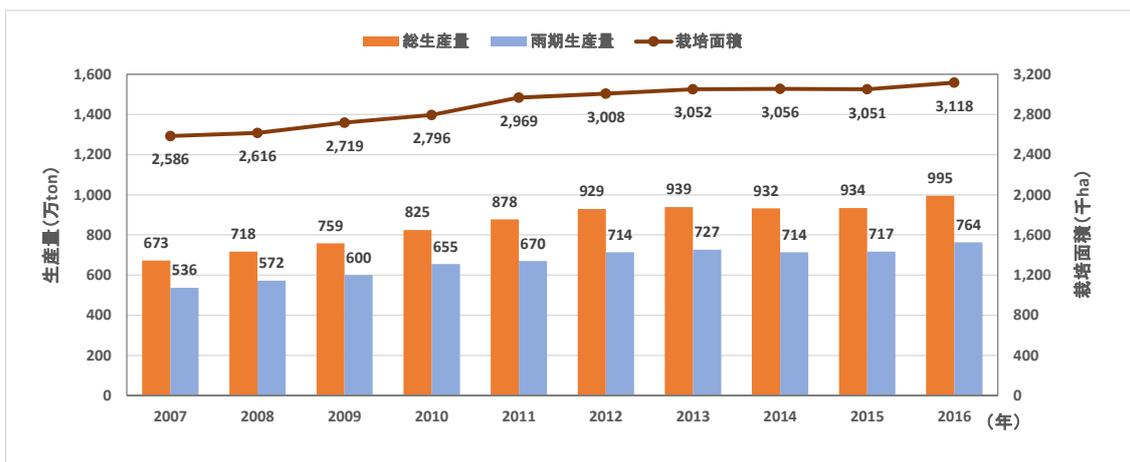


図 3.1.3 カンボジアにおける米の生産量及び栽培面積の経年変化¹

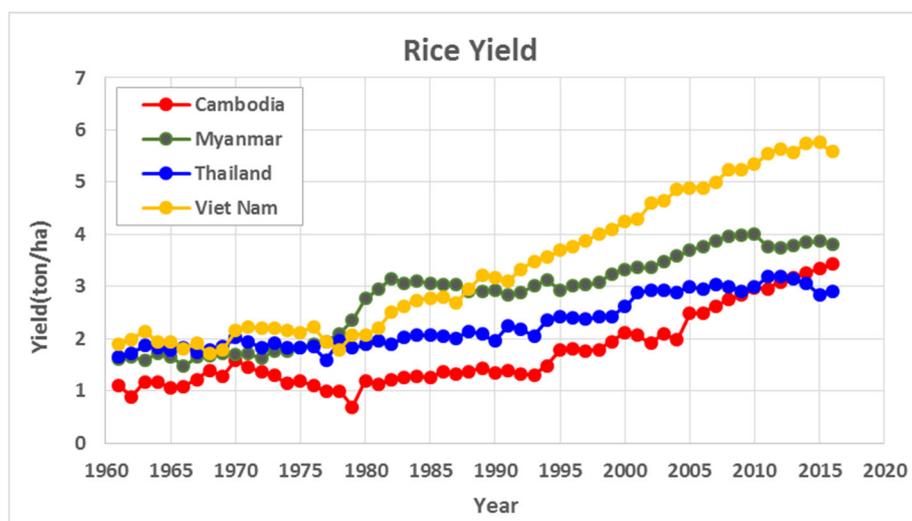


図 3.1.4 周辺国との米の1haあたりの収量の比較²

■バイオマス燃料としての利用可能性と利用方法

米の精米過程で発生する籾殻をバイオマス発電の燃料として利用可能である。籾殻発電方式としては、主に直接燃焼方式と、ガス化方式の2種類がある。

直接燃焼方式は、燃料をボイラーで燃やして高温・高圧の蒸気をつくり、タービンを回し発電する方式である。

ガス化方式は、籾殻を通常の燃焼よりはるかに少ない空気量で蒸し焼きにして、可燃性ガス(一酸化炭素や水素)を回収し、ガスエンジンに送って発電する方式である。

籾殻発電の導入先としては、籾殻の確保が容易で電力需要のある精米所が最も効果的で効率的である。

(2)キャッサバ

■キャッサバの特徴・生産量

トウダイグサ科に属する多年生作物であり、地上部は灌木状で、地下に塊根を形成し、芋になる作物である。食用、飼料用、デンプン原料用などに用いられる。単位面積当たりの収量や乾物率が高いだけでなく、干ばつなどの自然災害にも強く栽培もしやすいことから、安定した生産量を確保することができる³。

図 3.1.7 に示すように、カンボジアでのキャッサバの収穫面積や生産量は 2006 年から大幅に増大している。2006 年以降、堅調な需要が国内キャッサバ価格を下支えしたことで収益が改善したことや、キャッサバは栽培期間が一年未満と換金性が高いことなどがキャッサバ生産者の作付意欲を高め、作付面積の大幅な拡大につながった⁴。

しかし、現在では、乾燥キャッサバの取引価格が大きく下落しており、カンボジアの生産者は厳しい状況におかれている。カンボジアでは、2カ所の小規模なキャッサバ加工工場しかなく、多くの生産者は、未加工のまま安価で、隣国のタイやベトナムに出荷せざるを得ないという構造的な問題を抱えている⁵。

現地でのヒアリングにおいても、カンボジアでは、収穫後の芋はドライチップにして輸出され、儲けが生まれるでんぷん生産はタイ等で行われているとの情報を得ている。

■バイオマス燃料としての利用可能性と利用方法

芋を除く茎葉の部分については、次回植え付けの苗木分を除き、農園付近に野積、廃棄されていると考えられることから、バイオマス発電の燃料として活用できる可能性がある。一方で、農園のあらゆる場所に野積、廃棄された葉茎を収集、運搬するコストが必要となる。

キャッサバは、デンプンを生産する植物であることから、糖化を経てエタノールを製造することができる。NEDO は、タイにおいて、キャッサバデンプン製造工場から排出される残渣(キャッサバパルプ)からバイオエタノールを製造する技術の実証事業を行っている⁶。

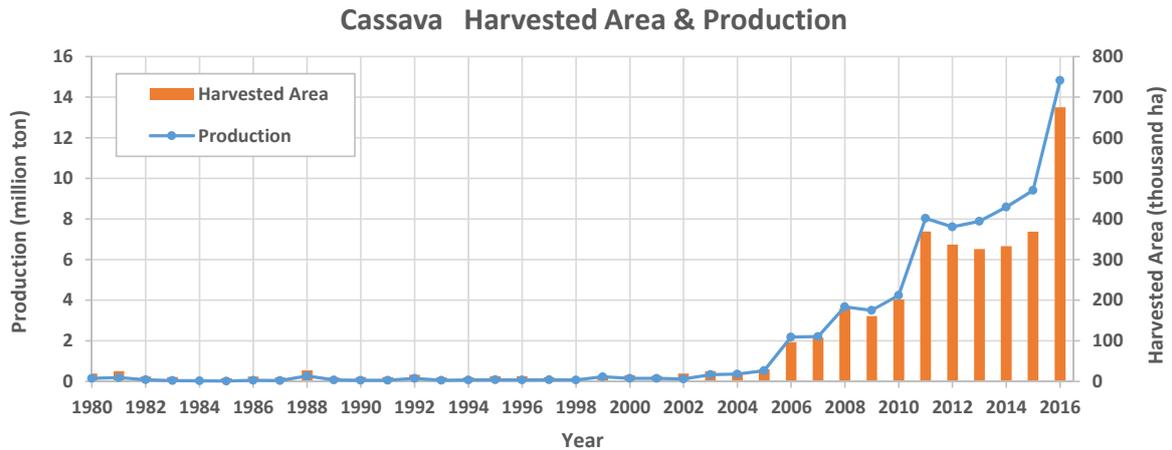


図 3.1.5 キャッサバの収穫面積及び生産量

(1980~2015年：FAO データ(ただし 2012~2015 年は推定値)²、2016 年のみ Annual report for Agriculture forestry and fisheries 2016-2017 のデータ¹)

(3)天然ゴム

■天然ゴムの特徴・生産量及び輸出量の増加

天然ゴムは、ゴムの木の樹液に含まれるポリイソプレン((C₅H₈)_n)を主成分とする高分子化合物で、原産地はブラジルであるが、現在はタイ、インドネシア、ベトナムなどのアジア諸国を中心に植林・栽培されている⁷。

カンボジアにおける天然ゴムの植林は 1898 年にフランス人により始められ、本格的な植林は、国有地が欧州企業へ払い下げが行われた 1920 年以降である。第二次世界大戦後にフランス企業により植林が進められ、天然ゴムの植林面積は 1970 年に約 70,000ha に達した⁷。

以降、内戦、国際市場価格の下落等により天然ゴムの植林・栽培は低迷したが、天然ゴム産業を重要産業と位置付けているカンボジア政府によって 1997 年に設立された公営公社 7 社⁷は、2016 年現在では公営公社は 10 社に増え、植林面積は拡大している(公営公社、その他企業及び家族経営の植林面積の合計は約 433,000ha¹)。

天然ゴムの輸出は、年々増加しており、2017 年は 2016 年と比べて、53.4%増と大きく伸びを見せた。農林水産省の発表によると天然ゴムの生産量は 18 万 9,000 トンで、1 トン当たりの価格は 1,586 ドルと前年より 24%上昇している。同輸出は主に中国向けとなっており、2018 年も増加が予想される⁸。

■バイオマス燃料としての利用可能性と利用方法

ゴムの木は樹液採取の寿命を終えると伐採され製材工場に売却される。製材工場での製材過程で生じる大量の廃材は、バイオマス発電の燃料として利用できる可能性がある。

カンボジアでは、ゴム園周辺にゴムの木を原木とする製材工場が存在することから、このような製材工場へのバイオマス発電施設の導入が考えられる⁹。

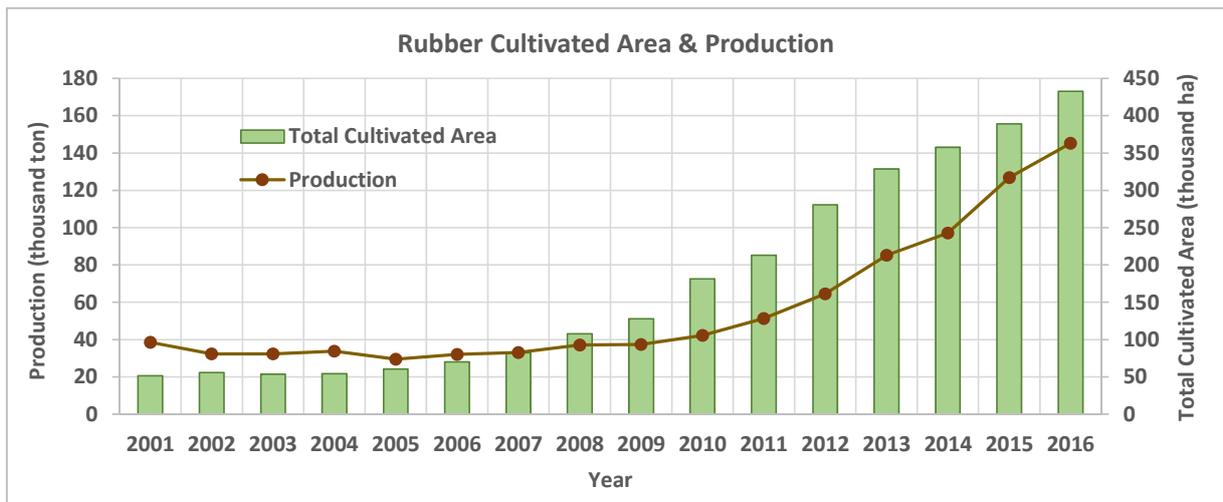


図 3.1.6 天然ゴムの植林面積及び生産量¹



写真 3.1.1 ゴム農園(モン・リティ・グループの農園)

(4)パーム油工場からの未利用残渣

■パーム油工場(モン・リティ・グループ)の調査結果

幼少期にフン・セン首相とプノンペンの寺院で寄宿した同窓生であるモン・リティ(Mong Reththy)氏が、輸出入業と建設業によって一代で築いたカンボジア有数の財閥モン・リティ・グループ(Mong Reththy Group)¹⁰は、Preah Sihanouk 州に約 16,000ha のパーム農園と 2 つのパーム油工場を有している。

また、各パーム油工場には、パーム油の製造過程で排出される PKS (核殻)、中果皮繊維を燃料とするバイオマス発電施設(直接燃焼方式)が設けられ、工場の電源として活用されている。また、余剰の PKS は、同グループが形成する豚の飼料としても活用されている。さらには、POME(液体廃棄物)からメタンガスを生成する施設を建設する予定となっており、工場からの残渣物の有効活用が進められている。

しかし、燃料としての利用も可能な EFB(空房)については、その 7 割程度は最終的にはパー

ム農園内にオープンダンプされている状況である。

表 3.1.1 パーム油工場規模・バイオマス発電容量

項目		第一工場	第二工場
パーム油工場規模		果房 27t/h (能力は最大 30t/h) 消費、20%がパーム油になる。	果房 45t/h 消費、20%がパーム油になる。
操業開始年		2011 年	2014 年
稼働時間		24h/day×28days/month	同左
発電施設	発電容量	750KW	1.5MW (実際には 1.0MW 発電)
	導入費用	1.5million USD (中古)	2.5million USD (新品)
	燃料	パーム油残渣 (PKS、Plam Fiber)	同左
特記事項		—	液体廃棄物からメタンガス生成施設を建設予定 (予算 2million USD)。



写真 3.1.2 パーム油工場外観・野積みされた EFB 写真 3.1.3 ボイラー(マレーシア製)



写真 3.1.4 EFB



写真 3.1.5 タービン・発電機



写真 3.1.6 PKS(飼料用に加工したもの)



写真 3.1.7 Palm Fiber



写真 3.1.8 パームの実



写真 3.1.9 パーム油 (Crude Palm Oil)

■未利用残渣の利用可能性と利用方法

EFB が一般的にバイオマス発電の燃料として利用されないのは、EFB にカリウムが多く含まれるためである。カリウムは燃焼灰の融点を下げる作用があり、木質灰の融点は 1,300～1,500°Cであるのに対し、カリウムの多い草本灰の融点は 500°Cも低いことが知られている。焼却灰はその融点以上の温度に長時間曝されると溶け、冷やされては固まり、これが繰り返されることによってクリンカへ成長する。このため、EFB に対応していないボイラーの場合には、クリンカが大量に発生し、燃焼空気孔及び灰搬出口の目詰まりを引き起こし、ボイラーが正常に稼働しなくなる。したがって、炉内温度が 800°Cを超えないような温度調整が可能で、焼却灰が長時間曝されにくい火格子を有する EFB 対応のボイラーが必要となる。

参考までに、モン・リティ・グループの 2 つのパーム油工場で消費される果房から EFB の発生量を推定すると 16t/h 程度となり、8WM 程度の発電が可能である。ただし、現在、カンボジアでは、再生可能エネルギーを対象とした固定価格買取制度(FIT)が存在しないため、売電価格の確保が課題となる。

その他、日本企業によって、EFB を半炭化やペレット化して火力発電所に供給するなどの試みが始められている。^{11, 12}

3.1.2 精米所調査

3.1.1 項では、バイオマス発電の燃料として、米の籾殻、キャッサバの茎葉、天然ゴムの老木、及びパーム油工場からの未利用残渣(EFB)を利用することの可能性を示したが、以下の理由から、籾殻を燃料としたバイオマス発電施設を精米所に設けることが最も実現性が高いと考えた。

- ・精米所では、まとまった籾殻を確保することが容易で、精米所には精米機器や乾燥機などの電力需要がある。
- ・カンボジア国内には、過去に籾殻発電を導入した経験のある精米所が多い(後述するが、現在は故障して動いていない場合が多い)。また、CDM 事業として籾殻発電が実施されている(CMD Project 0363 : Angkor Bio Cogen Rice Husk Power Project)。
- ・カンボジアの国連気候変動枠組条約に基づく国別報告書において、籾殻発電施設の導入による CO2 排出削減量の目標値が示されており、同国においても普及の可能性が高いと考えられている。

したがって、本業務では、主に精米所を対象に、籾殻発電施設の導入に関する FS 調査を実施した。今後、カンボジア国内のそれぞれの地域に合った様々なバイオマス利用を広く普及させていく観点から、キャッサバの茎葉、天然ゴムの老木、EFB 等の農業残渣を燃料とした場合についても、FS 調査を実施していくことが望ましい。

(1)精米所の規模及び数

既往報告書¹³によれば、カンボジア国内に 2012 年時点で、鉱工業エネルギー省(MIME)が把握している精米所は約 20,000 ヶ所である。しかし、他の報告書¹⁴によれば、実際に稼働している精米所はこの 1/10 程度であり、表 3.1.2 に示すようにバイオマス発電施設導入の対象となりうる大規模・中規模精米所はさらに限られている。本調査においても、2016~2017 年でカンボジア第 2 位の生産量を誇る Takeo 州でヒアリングを行ったところ、中堅~大規模精米所は 2 か所程度と、その数は限られていることを確認した。

また、カンボジアでは、中堅~大規模精米所の販売先は主に輸出で、中小規模、零細企業は国内向けであることが特徴的である。

表 3.1.2 規模別の精米所数(2012 年想定)¹⁴

セグメント	精米規模	販売先	精米所数 (箇所)
大規模	10t/h 以上	直接輸出	10 程度
中堅	4~8t/h	輸出企業の下請け	30 程度
中小規模	1~2t/h	国内市場向け	200 程度
零細	1t/h 以下	地元の消費者向け	1,000~1,500 程度

(2)現地調査結果

■精米協会

バイオマス発電施設の導入可能性が高い精米所を探すために、第1回渡航時にカンボジア米協会(Cambodia Rice Federation)を訪問し、中堅～大規模精米所の紹介を依頼するとともに、事業化に向けた課題や精米所の現状についてヒアリングを行った。

表 3.1.3 に、同協会の概要とヒアリング結果を示す。カンボジアの精米所は、国家グリッドの電気代が高いことを問題視していることから、籾殻発電の導入による電気代削減のニーズは高いと考えられる。

一方で中国やタイの企業が籾殻を購入するようになって、籾殻の値段が上がっているため、バイオマス発電を実施する場合には、籾殻の確保が難しくなる可能性がある。しかし、本調査において、現時点での籾殻売却益とグリッドの電気代を基に収支を計算すると、籾殻を売却するよりも発電の燃料として利用するほうが経済的なメリットはあることが明らかになった。

■バイオマス発電施設導入の候補の精米所

同協会の紹介により、精米所3社を訪問し協議を行うことができたが、現時点では、バイオマス発電施設導入に前向きな2社(Khmer Foods Group Co., Ltd 及び Golden Daun Keo Rice Mill Co.,Ltd)と引き続き協議を行っている。この2社に対する調査結果を表 3.1.4、表 3.1.5 に整理した。

Khmer Foods Group は 500KW 規模、Golden Daun Keo Rice Mill は 1～2MW 規模の籾殻発電所の導入を望んでいる。また、事業実施体制については、両社とも日本企業等の出資による特別目的会社(SPC)による売電事業を希望している。

表 3.1.3 カンボジア米協会(Cambodia Rice Federation)の概要・ヒアリング結果

項目	内容
設立年	・ 2014 年
加盟企業	・ 輸出業、精米業、銀行、農協、各協会等、310 の組織が加盟している（内、60 社が輸出業、169 社が精米業である）。 ・ 加盟が認められている精米所は、中～大規模である。
役割	・ 国から正式に認定された民間の協会であり、米に関わる政策づくりを行ったり、諸問題に関して国との協議を行ったりしている。 ・ 情報・広報センターとしての役割がある。 ・ 最近では、電気代が隣国と比べて高いため、精米所の要請を受け、電気代を下げることを国に対して要望した。 ・ 農業経済特区の設立を提案したことがある。
ヒアリング結果	・ 籾殻は今では価値があり、確保することが難しくなっている。タイや中国の倉庫企業が契約を結んで籾殻を確保している。 ・ Battambang 州と Banteay Meanchey 州を合せて 60～75 の精米所がある。また、Prey Veng 州、Kampong Cham 州、Tboung Khmum 州にも精米所は多い。

表 3.1.4 精米所(Khmer Foods Group Co., Ltd)の概要

項目	Khmer Foods Group Co., Ltd		
精米所の所在地	Kam Pong Speu 州	Battambang 州	Prey Veng 州
精米量	240t/day	480t/day	240t/day
籾殻発生量	60t/day	120t/day	60t/day
籾殻の利用状況	35t/day : 籾の乾燥機の燃料として利用 25t/day : 売却	35t/day : 籾の乾燥機の燃料として利用 85t/day : 売却	35t/day : 籾の乾燥機の燃料として利用 25t/day : 売却
消費エネルギー	グリッド : 100%	グリッド : 100% (625kW の自家発有)	グリッド : 100%
グリッド電力の電力料金単価	0.126USD/kWh	0.162USD/kWh	0.162USD/kWh
稼働時間	20hours/day×300days	20hours/day×300days	20hours/day×300days
発電規模	・希望するバイオマス発電容量は 500kW		
事業実施体制	・同精米所より、日本企業と共同で SPC を設立し、精米とバイオマス発電事業を実施する案が提案された。		
その他	・まずは 500kW 規模の発電施設を導入し、うまく行けば他の籾殻施設に規模を大きくして導入したい。		

表 3.1.5 精米所(Golden Daun Keo Rice Mill Co.,Ltd)の概要

項目	内容	
精米所の所在地	Battambang 州	Takeo 州
精米量	65,000~75,000 t/year	56,000 t/year
籾殻発生量	16,250~18,750 t/year	14,000 t/year
籾殻の利用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント工場への売却(18USD/t) ・一部、籾を乾燥させるためのボイラーの燃料として利用 	
消費エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・グリッド電力 ・一部、発電機の燃料としてディーゼルを利用 	
グリッド電力の電力料金単価	・0.16USD/KWh	
稼働期間	10hours/day×180days	10hours/day×210days
発電規模	・希望するバイオマス発電容量は 1~2WM(導入先 : Battambang 州)	
事業実施体制	・日本企業等が出資する SPC が初期費用を負担し、SPC が精米所に売電する体制が望ましい。	

表 3.1.6 精米所(Golden Daun Keo Rice Mill Co.,Ltd)の概要 (つづき)

項目	内容
<p>写真 (Takeo 州)</p>	<div data-bbox="477 297 1366 629" style="text-align: center;">  <p>写真 精米所外観</p> </div> <div data-bbox="462 663 919 963" style="text-align: center;">  <p>写真 精米機</p> </div> <div data-bbox="948 663 1398 963" style="text-align: center;">  <p>写真 色彩選別機 (サタケ製)</p> </div>

■精米所におけるバイオマス発電施設の普及状況

既往調査¹⁵では、国内の大・中規模精米工場では、過去に 8 割程度と同規模精米工場で籾殻のガス化発電設備（インド技術・カンボジア製造）を導入した経験があると報告されている。一方、この時点での籾殻ガス化発電設備は、籾殻炭やタール除去を含めた洗浄水の処理等管理面で問題があったことを指摘している。

本調査で訪問した 3 社も、過去にバイオマス発電施設を導入していたが(2 社はガス化方式、1 社は直接燃焼方式)、故障したため現在は撤去されている。

また、2016 年度¹⁶に調査した精米所(Golden Rice Co.,LTD)では、当時は国家グリッドが整備されていない地域であったため、ガス化発電とディーゼル発電を併用していた。ガス化発電は、10 日に 1 回程度はエンジン等に溜まるタールを洗浄する必要があり発電ができない状況であった(タールは無処理のまま排水)。なお、同精米所には翌年の 2017 年から国家グリッドから電力が供給されることになるため、既存ガス化発電は今後使用しないとのことであった。

以上のように、既往調査が実施された 2012～2013 年当時は、バイオマス発電施設は、大・中規模の精米所に普及していたが、精米所のある農村地帯にも電化が進んだことなどから、精米所において故障しやすいインドメーカーの発電施設は使用されなくなったとの経緯がある。

(3)今後の懸念事項(EU による特恵関税の見直しの影響)

バイオマス発電施設導入の対象となる中堅～大規模精米所の将来の経営状況に関して、今後

の懸念材料となるのが、EUによる特惠関税の見直しの影響である。

現在、カンボジアの米は65の国々に輸出され、その輸出量は近年大幅に増加している。2016年の輸出量は2010年と比べ5倍程度となっている(図3.1.5参照)。

輸出好調の要因として、カンボジアの香り米(ジャスミンライス)が2012年から3年連続で、世界規模のコメ産業調査機関ライストレーダーが主催する世界コメ会議(品評会)で最優秀賞を獲得する¹⁷など、カンボジア産米の品質が高いことに加えて、EUとのEBA協定(Everything But Arms trade agreement)によって、カンボジア産米は無関税となり価格競争力があつたことがあげられる。図3.1.6の国別の輸出量と比率(2016)に示すように、輸出量全体に占める対EU輸出量の割合は非常に大きく、2017年の対EU輸出量は約43%であった(Khmer Times)。

しかし、EUは、2019年1月より3年間、EU国内の米生産者の保護のため、カンボジアとミャンマー産の米に対し関税をかけることを決めた。現地報道や精米所へのヒアリングによれば、今後、カンボジア国内の米生産者、米輸出会社等に大きな影響が及ぶことが危惧されており、今後の動向に注意が必要である。

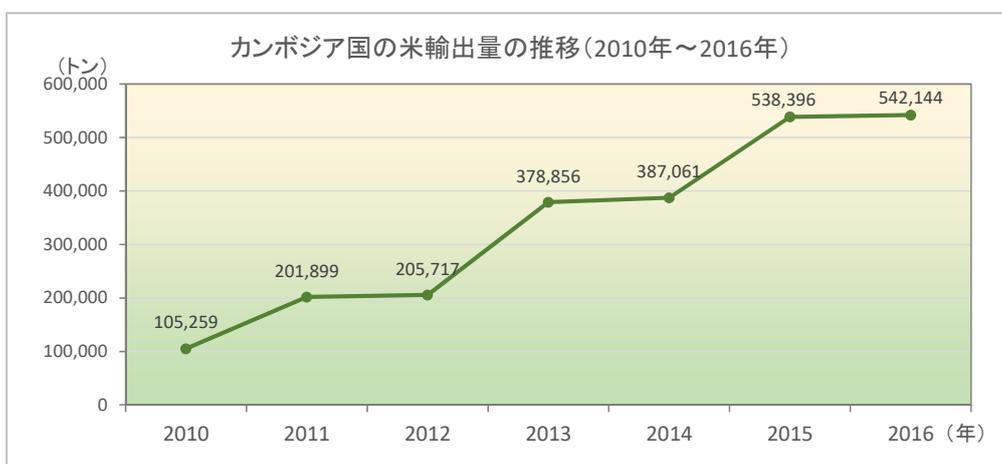


図 3.1.7 米の輸出量(2010年~2016年)¹

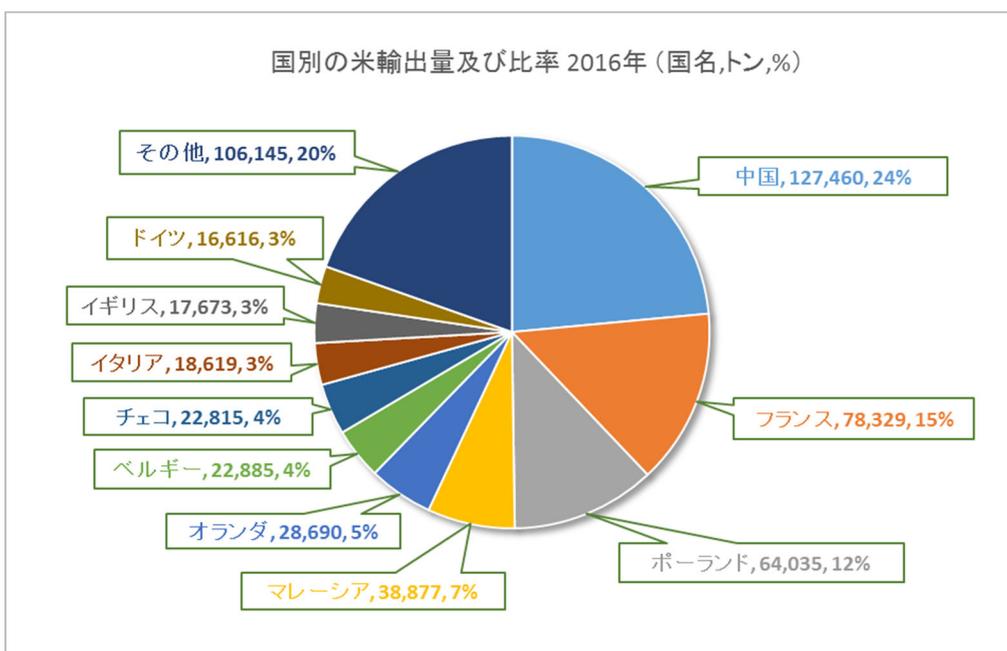


図 3.1.8 カンボジアにおける国別の米の輸出量と比率(2016年)¹

3.2 導入技術の検討

本事業では、精米所に籾殻を燃料としたバイオマス発電施設を導入して、現在、所内の機器が消費しているグリッド電力をバイオマス発電の電力に代替することでCO₂を削減する。導入の対象とする精米所と発電規模（ヒアリングに基づく）は以下のとおりである。また、それぞれ直接燃焼方式及びガス化方式の両方式で検討を行った。

- 1) Khmer Foods Group 発電規模： 500kW
- 2) Golden Daun Keo Rice Mill 発電規模： 1,000kW

3.2.1 導入技術の内容

(1) 直接燃焼方式

直接燃焼方式は、燃料をボイラーで燃やして高温・高圧の蒸気をつくり、タービンを回し発電する方式である。発電効率は燃料の燃焼効率、タービン効率、発電機効率、補機類の電力消費量などで決まる。当方式は、補器類が多く発電した電力の10～12%程度が所内動力として消費され、500kW～2MWクラスの場合、発電効率は10%台である。

図 3.2.1 にシステム図を、図 3.2.2 に施設平面・立面図(500kW)を、図 3.2.3 に施設平面・立面図(1,000kW)を、表 3.2.1 に設備仕様を、表 3.2.2 に設備費用をそれぞれ示す。

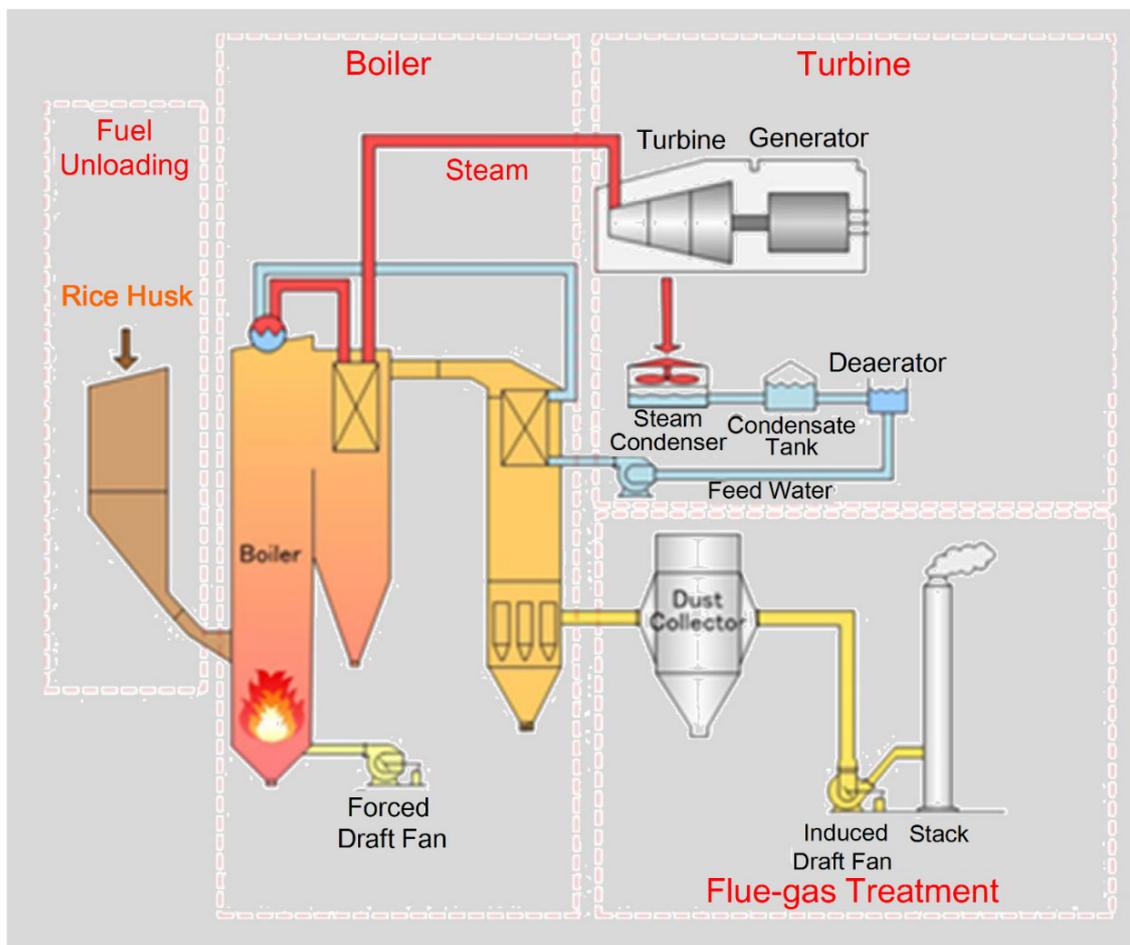


図 3.2.1 システム図(直接燃焼方式)

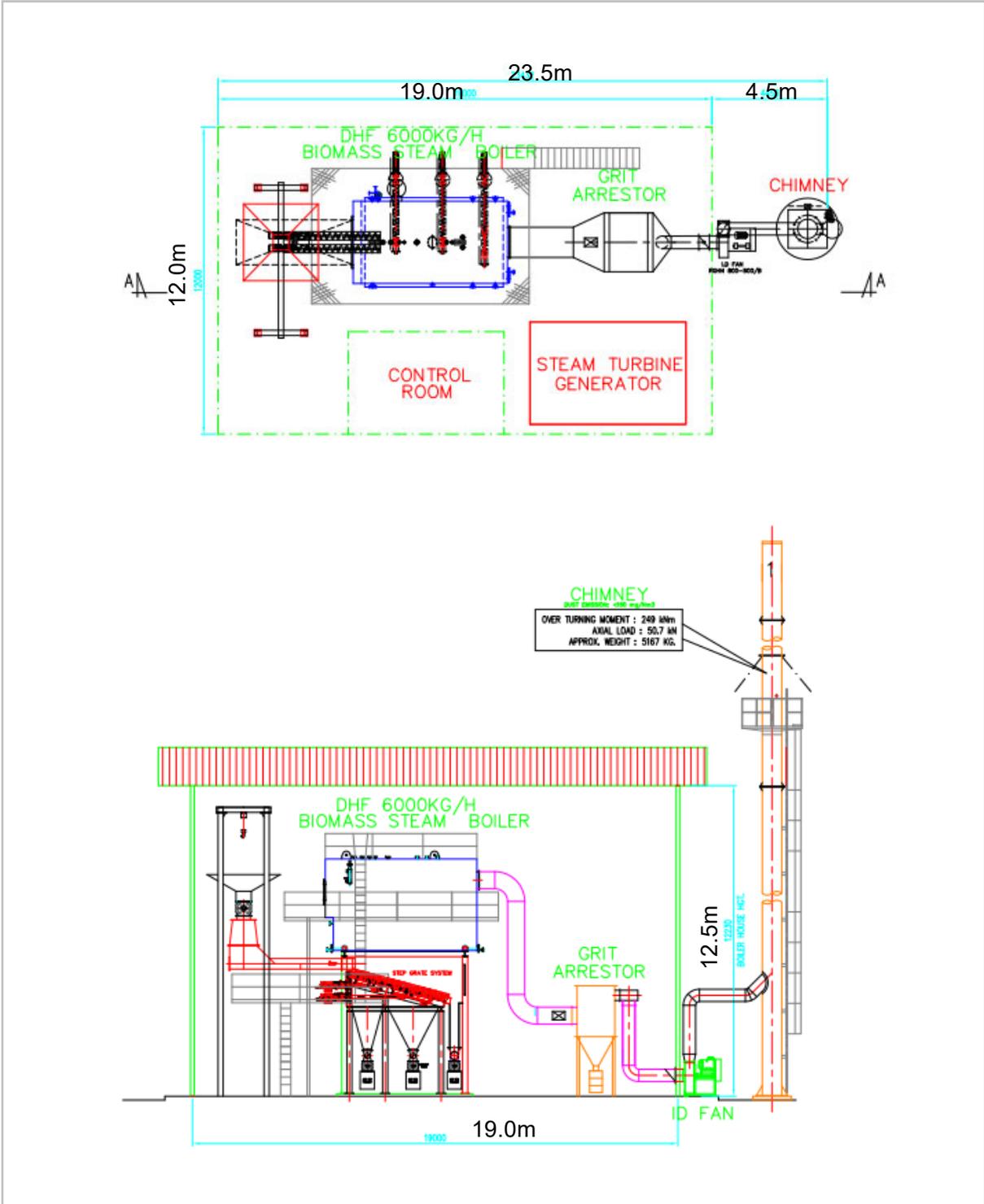


图 3.2.2 施設平面図・立面図(直接燃烧方式 500kW)

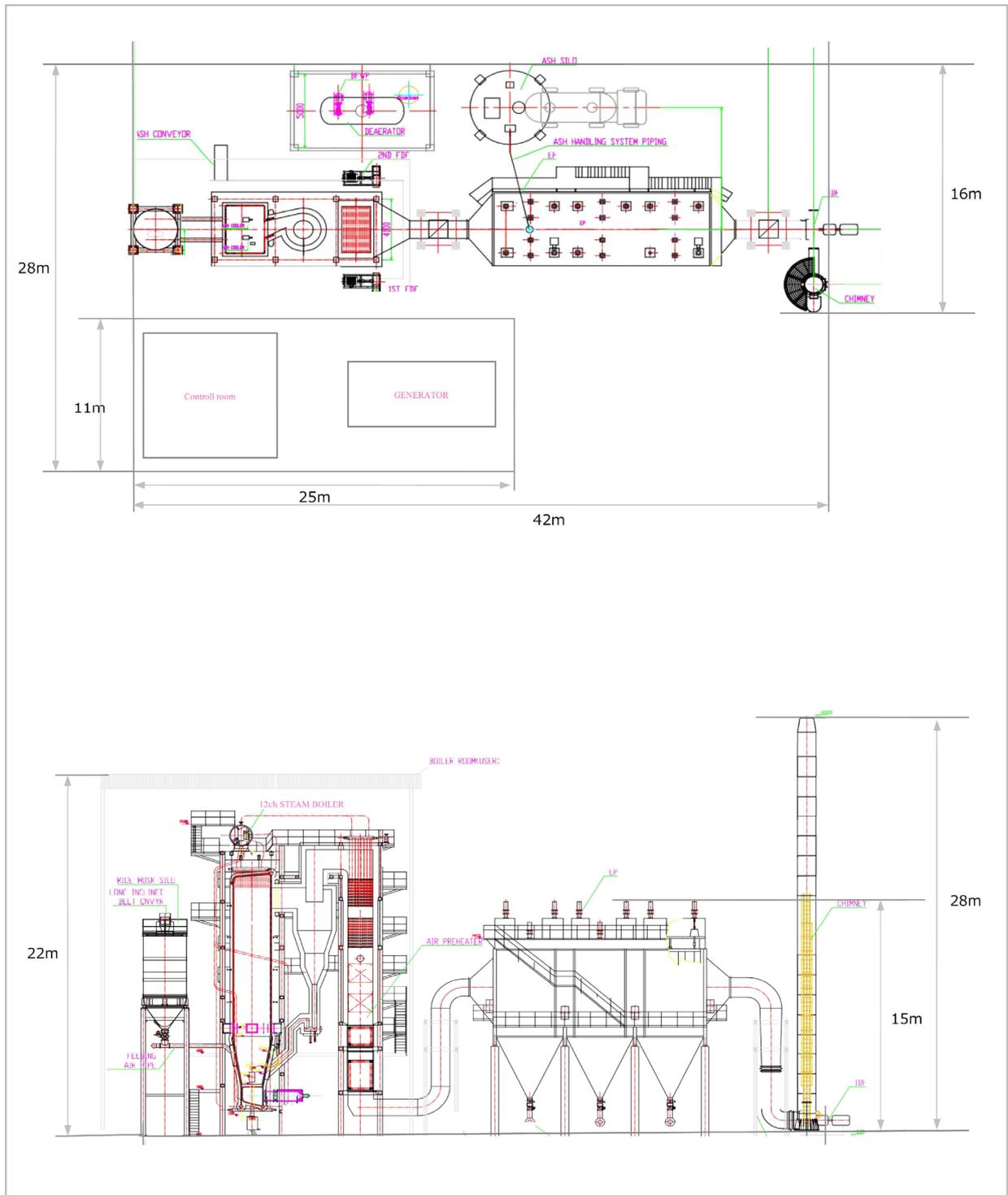


图 3.2.3 施設平面図・立面図(直接燃烧方式 1,000kW)

表 3.2.1 設備仕様(直接燃焼方式)

分類	項目	単位	500kW	1,000KW
主要項目	発電端出力	kW	500	1,000
	所内動力	kW	75	150
	所内率	%	15	15
	送電端出力	kW	425	850
	発電端効率	%	18	18
	送電端効率	%	15	15
燃料	燃料	—	籾殻	籾殻
	燃料発熱量(LHV)	MJ/kg	13.4	13.4
	燃料中水分	%(WB)	10	10
	燃料消費量	kg/h	800	1,600
稼働時間	年間運転時間	hours/year	7800 (=325*24)	7800 (=325*24)
	年間日数	Days/year	325	325
蒸気タービン	タービン入口蒸気	t/h	6	12
		Mpa.g	4	4
		°C	350	350
ボイラー	燃焼方式	—	順送式ストーカー	順送式ストーカー
	ボイラー効率	%	85	85
	補給水量(原水)	t/day	10	10

表 3.2.2 設備費用(直接燃焼方式)

No.	項目	500kW	1,000kW
1	籾殻ボイラー	330,000	600,000
2	付帯設備一式	90,000	150,000
3	ボイラー給水設備及び冷却塔	55,000	70,000
4	供給装置	55,000	60,000
5	蒸気タービン及び発電機	500,000	900,000
6	電気設備一式	90,000	150,000
7	土木工事費	200,000	400,000
8	設計費	70,000	100,000
9	現場管理費	80,000	100,000
10	一般管理費	70,000	100,000
11	輸送費	90,000	180,000
12	関税	168,000	289,500
設備費用合計(No.1 ~12 の合計)		1,798,000	3,099,500
設備費用合計(JCM 設備補助対象)※		1,568,800	2,660,784

※土木工事費は、JCM 設備補助の対象とならない。現場管理費、一般管理費は、部分的に JCM 設備補助となる。

(2)ガス化方式

本方式は、燃料を通常の燃焼よりはるかに少ない空気量(理論燃焼空気量の 25~40%)で蒸し焼きにして、可燃性ガス(一酸化炭素や水素)を回収し、ガスエンジンに送って発電する¹⁸。直接燃焼方式と比較して、設備費用は安く、発電効率は 20~30%と高い。

ガス化方式は、ガス化炉から発生するタールについて、ガス内のタールを十分に分離、除去できないためにエンジンが停止するといった失敗事例が多い。本事業では、タールの発生量が少ないダウンドラフト型を採用し、発生したタールは、サイクロン、電気集塵装置、水洗浄化装置により物理的に除去することとし、維持管理の手間やコストを軽減する。

図 3.2.4 にシステム図を、図 3.2.5 に 3D モデル図(500kW)を、図 3.2.6 に 3D モデル図(1,000kW)を、表 3.2.3 に設備仕様を、表 3.2.4 に設備費用をそれぞれ示す。

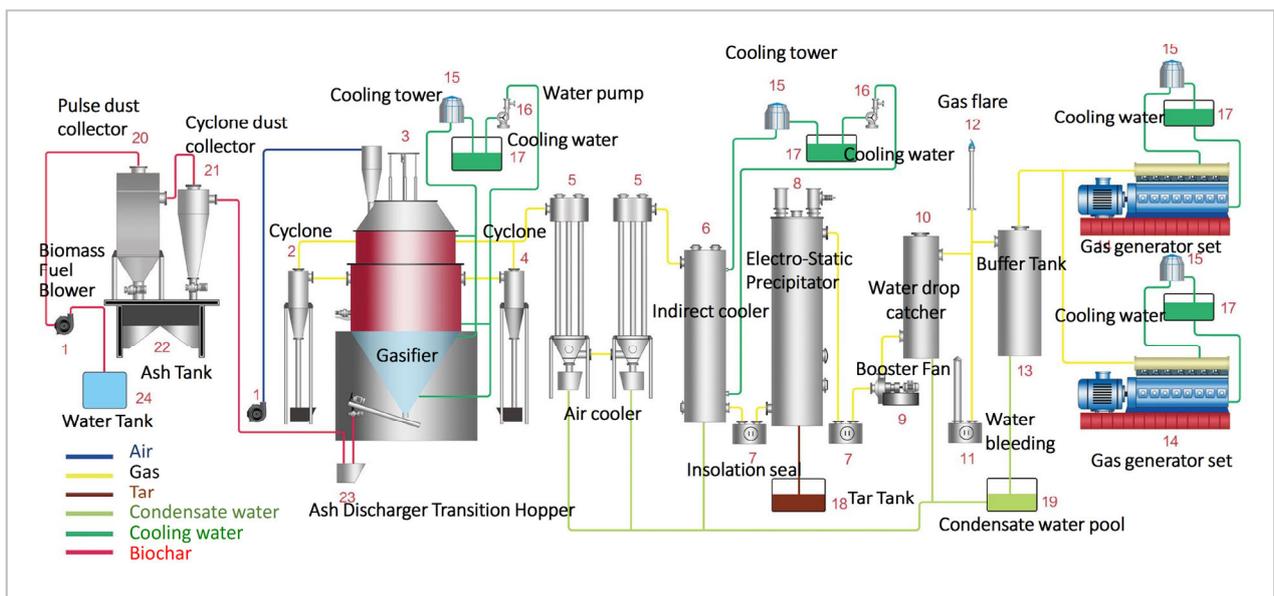


図 3.2.4 システム図(ガス化方式)

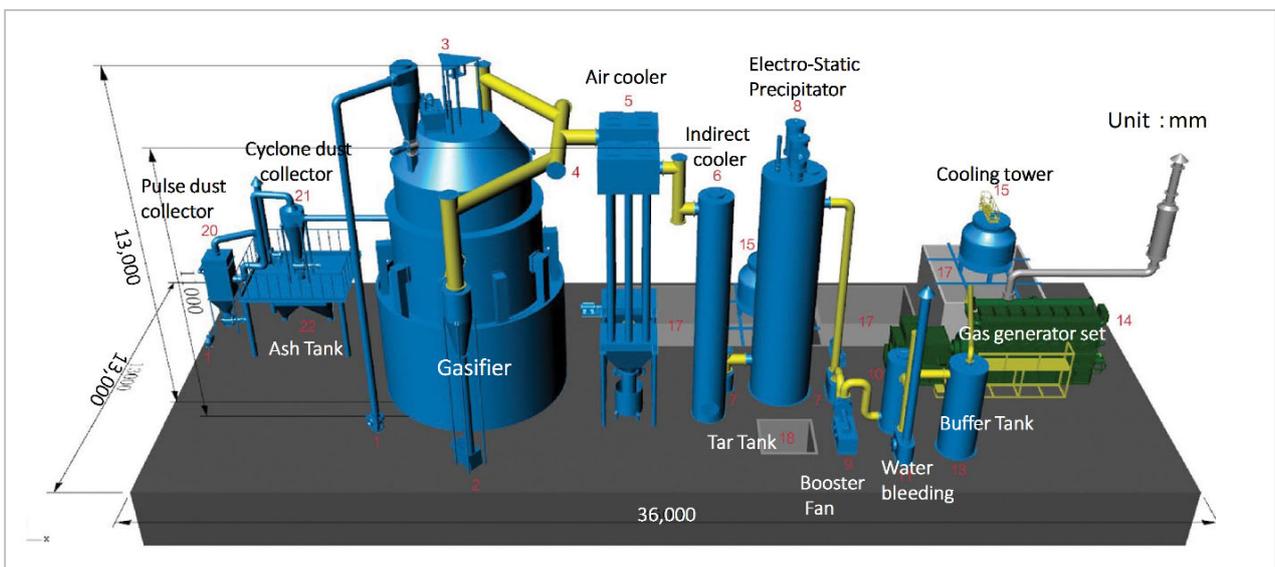


図 3.2.5 3D モデル図(ガス化方式 500kW)

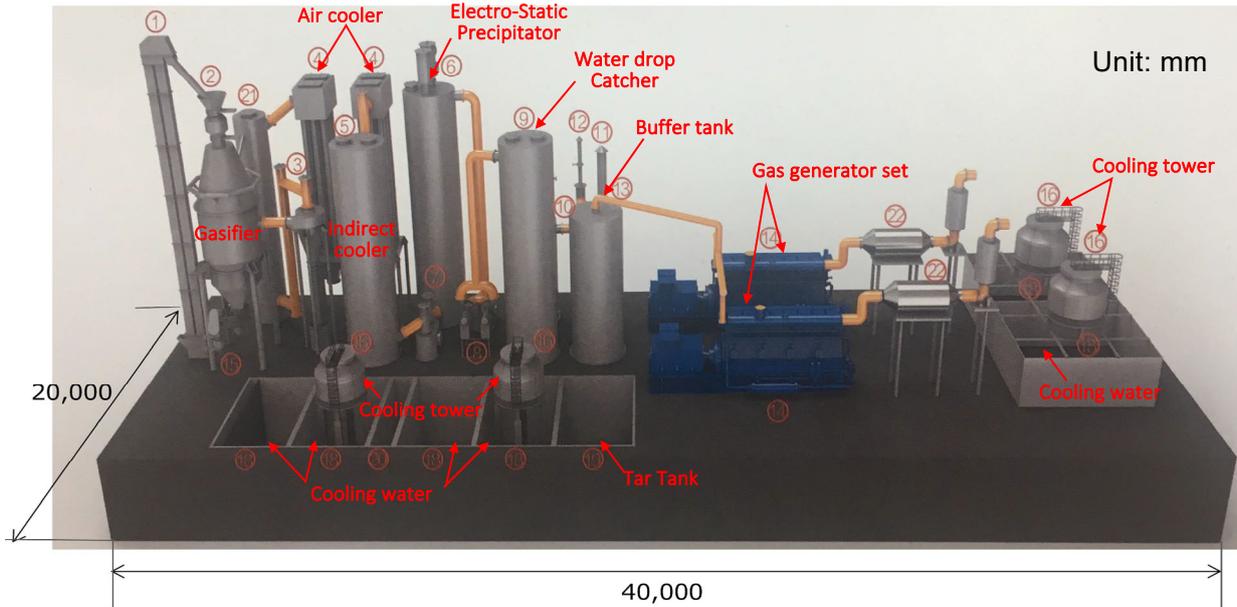


図 3.2.6 3D モデル図(ガス化方式 1,000kW)

表 3.2.3 設備仕様(ガス化方式)

Item	500kW	1,000kW
ガス化発電型番	500DFBG	1000DFBG
ガス化タイプ	Downdraft Fixed Bed Gasifier	Downdraft Fixed Bed Gasifier
ガスクリーニング	Dry Type ESP	Dry Type ESP
燃料スペック	籾殻・燃料中水分 <16%	籾殻・燃料中水分 <16%
発電出力	500 kW	1,000kW
所内率	10%	10%
送電端出力	450kW	900kW
ガス発生量	1,250-1,500N m ³ /hr	2,500-3,000N m ³ /hr
ガス平均熱量	1,050kcal	1,050kcal
最大燃料消費量	800kg/hr <	16,00kg/hr <
タール含有量	< 10 mg /N m ³	< 10mg/N m ³
ガス化温度	800°C	800°C
ガス化炉出口温度	300-400°C	300-400°C
ガス組成	CO : 15±2% H ₂ : 10±2% CO ₂ : 10±2% CH ₄ : 3±2% N ₂ : 50±5%	CO:15±2% H ₂ :10±2% CO ₂ :10±2% CH ₄ :3±2% N ₂ :50±5%

表 3.2.4 設備費用(ガス化方式)

No.	項目	費用 USD (発電容量:500kW)	費用 USD (発電容量:1,000kW)
1	ガス化設備	350,000	550,000
2	ガス発電機	280,000	450,000
3	付帯設備一式	60,000	100,000
4	水処理装置一式	50,000	60,000
7	土木工事費	180,000	300,000
8	設計費	40,000	60,000
9	現場管理費	100,000	150,000
10	一般管理費	80,000	150,000
11	輸送費	90,000	180,000
12	関税	111,000	174,000
設備費用合計(No.1 ~12 の合計)		1,341,000	2,174,000
設備費用合計(JCM 設備補助対象)※		1,161,000	1,874,000

※土木工事費は、JCM 設備補助の対象とならない。現場管理費、一般管理費は、部分的に JCM 設備補助となる。

3.2.2 CO2 削減効果

小規模 CDM の方法論 AMS-I.F. 「自家消費及び小規模送電系統への再生可能電力発電 (Renewable electricity generation for captive use and mini-grid)」を参考にして CO2 排出削減量を求める。

(1)リファレンス排出量

対象となる精米所の現在の電源はグリッド電力であることから、リファレンス排出量は、所内のグリッド電力消費による CO2 排出量となる。gross 発電容量 500kW、1,000kW それぞれのパラメータ設定値およびリファレンス排出量を表 3.2.5、表 3.2.6 に示す。

$$RE_y = EG_{PJ,y} \times EF_{elec,y}$$

ここで、

RE_y : y 年におけるリファレンス排出量(Reference emissions in year y) (tCO₂/y)

$EG_{PJ,y}$: y 年におけるプロジェクト活動によるネット発電量(Quantity of net electric power generation under the project activity in year y)(MWh/y) ;

$EF_{elec,y}$: カンボジアにおけるグリッド排出係数 (Grid power CO₂ emission factor of Cambodia) (tCO₂/MWh)

表 3.2.5 リファレンス排出量・パラメータ設定値(発電容量〔グロス〕：500kW)

パラメータ	直接燃焼方式	ガス化方式	設定根拠・出所
RE_y	1,272.9(tCO ₂ /y)	1,347.8(tCO ₂ /y)	—
$EG_{PJ,y}$	425kW×7,800hours =3,315 (MWh/y)	450kW×7,800hours =3,510 (MWh/y)	<ul style="list-style-type: none"> ・直接燃焼方式の発電容量(ネット)：425kW ・ガス化方式の発電容量(ネット)：450kW ・プロジェクト設備の年間稼働時間：7,800 時間
$EF_{elec,y}$	0.384(tCO ₂ /MWh)	0.384(tCO ₂ /MWh)	・カンボジアのグリッド電力の排出係数(平成 30 年度 JCM 設備補助事業・二次公募・公募要領)

表 3.2.6 リファレンス排出量・パラメータ設定値(発電容量〔グロス〕：1,000kW)

パラメータ	直接燃焼方式	ガス化方式	設定根拠・出所
RE_y	2,545.9(tCO ₂ /y)	2,695.6(tCO ₂ /y)	—
$EG_{PJ,y}$	850kW×7,800hours =6,630(MWh/y)	900kW×7,800hours =7,020(MWh/y)	<ul style="list-style-type: none"> ・直接燃焼方式の発電容量(ネット)：850kW ・ガス化方式の発電容量(ネット)：900kW ・プロジェクト設備の年間稼働時間：7,800 時間
$EF_{elec,y}$	0.384(tCO ₂ /MWh)	0.384(tCO ₂ /MWh)	・カンボジアのグリッド電力の排出係数(平成 30 年度 JCM 設備補助事業・二次公募・公募要領)

(2)プロジェクト排出量

プロジェクト排出量は、発電施設で消費するディーゼルから発生する排出量となり、次式より算定する。

$$PE_y = \sum_i FC_{i,y} \times EF_{i,y}$$

ここで、

PE_y : y 年におけるプロジェクト排出量(Project emissions due to fossil fuel in year y) (tCO₂/y)

$FC_{i,y}$: y 年における化石燃料の消費量(Fossil fuel i consumed in year y)(L/y)

$EF_{i,y}$: 化石燃料の排出係数(Emission factor of fossil fuel i) (tCO₂/L)

表 3.2.7 プロジェクト排出量・パラメータ設定値(発電容量 [グロス] : 500kW)

パラメータ	値	設定根拠・出所
PE_y	直接燃焼 : 0.4(tCO ₂ /y)	—
	ガス化 : 0.1(tCO ₂ /y)	
$FC_{i,y}$	直接燃焼 : 180(L/y)	・ スタートアップ時のディーゼル使用量 = 45L/回×4 回
	ガス化 : 40(L/y)	・ スタートアップ時のディーゼル使用量 = 10L/回×4 回
$EF_{i,y}$	2.54×10^{-3} (tCO ₂ /L)	・ ディーゼル燃焼時の排出係数(kgCO ₂ /L) = 単位発熱量(TJ/Gg) ¹⁹ ×燃料の密度(kg/m ³) ²⁰ ×単位 発熱量あたりの CO ₂ 排出係数(kgCO ₂ /TJ) / 10 ⁹ = 41.4(TJ/Gg)×843.9(kg/m ³)×72,600(kgCO ₂ /TJ) / 10 ⁹ = 2.54(kgCO ₂ /L)

表 3.2.8 プロジェクト排出量・パラメータ設定値(発電容量 [グロス] : 1,000kW)

パラメータ	値	設定根拠・出所
PE_y	直接燃焼 : 0.9(tCO ₂ /y)	—
	ガス化 : 0.2(tCO ₂ /y)	
$FC_{i,y}$	直接燃焼 : 360(L/y)	・ スタートアップ時のディーゼル使用量 = 90L/回×4 回
	ガス化 : 80(L/y)	・ スタートアップ時のディーゼル使用量 = 20L/回×4 回
$EF_{i,y}$	2.54×10^{-3} (tCO ₂ /L)	・ ディーゼル燃焼時の排出係数(kgCO ₂ /L) = 単位発熱量(TJ/Gg) ¹⁹ ×燃料の密度(kg/m ³) ²⁰ ×単位 発熱量あたりの CO ₂ 排出係数(kgCO ₂ /TJ) / 10 ⁹ = 41.4(TJ/Gg)×843.9(kg/m ³)×72,600(kgCO ₂ /TJ) / 10 ⁹ = 2.54(kgCO ₂ /L)

(3)排出削減量

排出削減量は、下記のようにリファレンス排出量とプロジェクト排出量の差として算出される(図 3.2.9 参照)。また、プロジェクト期間中(法定耐用年数)の排出削減量は、年間排出削減量にプロジェクト期間(年数)を乗じて求めた(図 3.2.10 参照)。

なお、法定耐用年数については、本事業が精米所への売電事業となることから、直接燃焼方式は「減価償却資産の耐用年数等による省令」の「電気業用設備・汽力発電設備」に、ガス化方式は同省令の「電気業用設備・内燃力発電設備」に該当し、それぞれ 15 年と設定した。

1)年間排出削減量

$$ER_y = RE_y - PE_y$$

ここで、

ER_y : y 年における年間排出削減量(Emission reductions in year y) (tCO₂/y)

RE_y : y 年における年間リファレンス排出量(Reference emissions in year y) (tCO₂/y)

PE_y : y 年における年間プロジェクト排出量(Project emissions due to fossil fuel in year y) (tCO₂/y)

表 3.2.9 年間排出削減量

発電容量	グロス 500kW		グロス 1,000 kW	
	直接燃焼	ガス化	直接燃焼	ガス化
ER_y	1,272(tCO ₂ /y)	1,347(tCO ₂ /y)	2,545(tCO ₂ /y)	2,695(tCO ₂ /y)
RE_y	1,272.9(tCO ₂ /y)	1,347.8(tCO ₂ /y)	2,545.9(tCO ₂ /y)	2,695.6(tCO ₂ /y)
PE_y	0.4 (tCO ₂ /y)	0.1(tCO ₂ /y)	0.9(tCO ₂ /y)	0.2(tCO ₂ /y)

2)プロジェクト期間中の排出削減量 ER_p

$$ER_p = ER_y \times P$$

ここで、

ER_p : プロジェクト期間中の排出削減量(Emission reductions during the period P) (tCO₂)

P : プロジェクト期間(Project Period) (y) : 15years

表 3.2.10 プロジェクト期間中の排出削減量

発電容量	グロス 500kW		グロス 1,000 kW	
	直接燃焼	ガス化	直接燃焼	ガス化
ER_p	19,080(tCO ₂)	20,205(tCO ₂)	38,175(tCO ₂)	40,425(tCO ₂)
ER_y	1,272(tCO ₂ /y)	1,347(tCO ₂ /y)	2,545(tCO ₂ /y)	2,695(tCO ₂ /y)
p	15(y)	15(y)	15(y)	15(y)

3.2.3 JCM 設備補助額・費用対効果

JCM 設備補助額は、JCM 設備補助事業の応募で採択の条件となっている費用対効果(4,000 円/tCO₂)とプロジェクト期間中の CO₂ 排出削減量の積により求まる金額と、設備費用(JCM 設備補助対象)の合計の 50%を比較して、少ない方となる(表 3.2.11 参照)。

表 3.2.11 JCM 設備補助額

発電容量	グロス 500kW		グロス 1,000 kW	
	直接燃焼	ガス化	直接燃焼	ガス化
JCM 設備補助額(USD)	687,567	580,500	1,330,392	937,000
費用対効果×排出削減量(USD)	687,567	728,108	1,375,675	1,456,756
設備費用の合計(JCM 設備補助対象)の 50%(USD)	784,400	580,500	1,330,392	937,000

※1USD=111 円

3.2.4 事業採算性

本事業では、日本企業等が出資した特別目的会社(SPC)が、籾殻を燃料としたバイオマス発電施設を導入し、精米所に対して売電を行う。事業採算性の検討は、下記を前提条件とした。

<前提条件>

- ・本事業は SP C による精米所への売電事業で、事業期間は 15 年とする。
- ・ SP C はバイオマス発電施設の導入に関わる初期費用を全額負担する。
- ・ SP C から精米所への売電単価は、事業サイトにおけるグリッドの電力料金単価よりも安価とするが、事業期間一定額とする。
- ・ SP C がバイオマス発電施設の運用、維持管理を行い、その経費は SP C が負担する。
- ・精米所は SP C に対して無料で事業サイト、籾殻を提供する。
- ・ SP C は年間 7,800 時間(24 時間×325 日)、バイオマス発電所を稼働させる。

(1)初期費用

SP C が負担する初期費用は、設備費用合計から JCM 設備補助額を差し引いた額となる(表 3.2.12 参照)。

表 3.2.12 JCM 設備補助額と SP C の初期費用負担額

発電容量	500kW		1,000 kW	
	直接燃焼	ガス化	直接燃焼	ガス化
1)設備費用の合計(USD)	1,798,000	1,341,000	3,099,500	2,174,000
2)JCM 設備補助額(USD)	687,567	580,500	1,330,392	937,000
3)初期費用(USD)(=1-2)	1,110,433	760,500	1,769,108	1,237,000

※1USD=111 円

(2)収入・支出

下記の 4 ケースにおける SP C の収支および精米所のバイオマス発電施設の導入前後の収益変化を表 3.2.13~表 3.2.20 に示す。精米所の収益については、バイオマス発電施設の導入により、籾殻の売却益は無くなるが、電気を安く利用できるため収益が増加する。

- ・直接燃焼方式：500kW → SP C の収支：表 3.2.13、精米所の収益：表 3.2.14
- ・ガス化方式：500kW → SP C の収支：表 3.2.15、精米所の収益：表 3.2.16
- ・直接燃焼方式：1,000kW → SP C の収支：表 3.2.17、精米所の収益：表 3.2.18
- ・ガス化方式：1,000kW → SP C の収支：表 3.2.19、精米所の収益：表 3.2.20

表 3.2.13 SPC の年間収支(直接燃焼・500kW)

< Income >	
Selling Electricity (to Rice Mill)	265,200 USD (= 425 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.08 USD/kWh)
< Expenditure >	
Buying Rice Husk	0 USD (= 0.8 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)
Diesel Consumption	-167 USD (= 45 L/time 4 times× 0.93 USD/L)
O&M	-78,000 USD (= 500 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.02 USD/kWh)
< Profit >	
187,033 USD	

表 3.2.14 事業実施前後の精米所の年間収益(直接燃焼・500kW)

【事業実施前】	
< Income >	
Selling Rice Husk	112,320 USD (= 0.8 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 18 USD/ton)
< Expenditure >	
Electricity Charge (Grid)	-417,690 USD (= 425 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.126 USD/kWh)
< Profit >	
-305,370 USD	
【事業実施後】	
< Income >	
Selling Rice Husk	0 USD (= 0.8 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)
< Expenditure >	
Electricity Charge (Biomass Power)	-265,200 USD (= 425 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.08 USD/kWh)
< Profit >	
-265,200 USD	
< Benefit (After-Before) >	
40,170 USD	

表 3.2.15 SPC の年間収支(ガス化・500kW)

< Income >	
Selling Electricity	280,800 USD
(to Rice Mill)	(= 450 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.08 USD/kWh)
< Expenditure >	
Buying Rice Husk	0 USD
	(= 0.8 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)
Diesel Consumption	-37 USD
	(= 10 L/time 4 times× 0.93 USD/L)
O&M	-78,000 USD
	(= 500 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.02 USD/kWh)
< Profit >	
	202,763 USD

表 3.2.16 事業実施前後の精米所の年間収益(ガス化・500kW)

【事業実施前】	
< Income >	
Selling Rice Husk	112,320 USD
	(= 0.8 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 18 USD/ton)
< Expenditure >	
Electricity Charge	-442,260 USD
(Grid)	(= 450 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.126 USD/kWh)
< Profit >	
	-329,940 USD
【事業実施後】	
< Income >	
Selling Rice Husk	0 USD
	(= 0.8 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)
< Expenditure >	
Electricity Charge	-280,800 USD
(Biomass Power)	(= 450 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.08 USD/kWh)
< Profit >	
	-280,800 USD
< Benefit (After-Before) >	
	49,140 USD

表 3.2.17 SPC の年間収支(直接燃焼・1,000kW)

< Income >	
Selling Electricity (to Rice Mill)	663,000 USD (= 850 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.10 USD/kWh)
< Expenditure >	
Buying Rice Husk	0 USD (= 1.6 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)
Diesel Consumption	-335 USD (= 90 L/time 4 times× 0.93 USD/L)
O&M	-156,000 USD (= 1,000 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.02 USD/kWh)
< Profit >	
	506,665 USD

表 3.2.18 事業実施前後の精米所の年間収益(直接燃焼・1,000kW)

【事業実施前】	
< Income >	
Selling Rice Husk	224,640 USD (= 1.6 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 18 USD/ton)
< Expenditure >	
Electricity Charge (Grid)	-1,060,800 USD (= 850 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.16 USD/kWh)
< Profit >	
	-836,160 USD
【事業実施後】	
< Income >	
Selling Rice Husk	0 USD (= 1.6 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)
< Expenditure >	
Electricity Charge (Biomass Power)	-663,000 USD (= 850 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.10 USD/kWh)
< Profit >	
	-663,000 USD
< Benefit (After-Before) >	
	173,160 USD

表 3.2.19 SPC の年間収支(ガス化・1,000kW)

< Income >		
Selling Electricity (to Rice Mill)	702,000	USD
	(= 900 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.10 USD/kWh)	
< Expenditure >		
Buying Rice Husk	0	USD
	(= 1.6 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)	
Diesel Consumption	-74	USD
	(= 20 L/time 4 times× 0.93 USD/L)	
O&M	-156,000	USD
	(= 1,000 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.020 USD/kWh)	
< Profit >		
	545,926	USD

表 3.2.20 事業実施前後の精米所の年間収益(ガス化・1,000kW)

【事業実施前】		
< Income >		
Selling Rice Husk	224,640	USD
	(= 1.6 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 18 USD/ton)	
< Expenditure >		
Electricity Charge (Grid)	-1,123,200	USD
	(= 900 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.16 USD/kWh)	
< Profit >		
	-898,560	USD
【事業実施後】		
< Income >		
Selling Rice Husk	0	USD
	(= 1.6 ton/h× 24 hours/day× 325 days× 0 USD/ton)	
< Expenditure >		
Electricity Charge (Biomass Power)	-702,000	USD
	(= 900 kW× 24 hours/day× 325 days× 0.10 USD/kWh)	
< Profit >		
	-702,000	USD
< Benefit (After-Before) >		
	196,560	USD

(3)事業採算性

前節までに設定した4ケースについて、初期費用、収支を基に、キャッシュフローの計算を行い、初期費用の回収期間と内部収益率(IRR)を求め、SPCの事業採算性を評価した。

表3.2.21に示すように、どのケースも事業採算性は高いと評価できるが、直接燃焼方式は発電規模が小さい500kWの場合には若干採算性が低い。ガス化方式は、直接燃焼方式と比較して、初期費用が安いいため、直接燃焼と比べて6割程度の期間で、初期費用を回収することが可能である。

各ケースのキャッシュフロー計算表は、表3.2.22～表3.2.25に示す。

表 3.2.21 ケース別・SPCの事業採算性

発電容量	グロス 500kW		グロス 1,000 kW	
	直接燃焼	ガス化	直接燃焼	ガス化
燃焼方式				
初期費用回収期間	6.2年	3.8年	3.5年	2.4年
内部収益率(IRR)	12.2%	23.5%	25.7%	40.0%

表 3.2.22 SPC のキャッシュフロー計算表(直接燃焼・500kW)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Income(USD)	0	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200
Selling Electricity to the rice mill		265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200	265,200
2. Expenses(USD)	-1,110,433	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167	-78,167
Total Equipment Cost	-1,798,000															
JCM Subsidy	687,567															
Diesel Consumption		-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167
O&M		-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000
3. Profit before depreciation(USD)	-1,110,433	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033
4. Depreciation(USD)		359,600	359,600	359,600	359,600	359,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Profit after depreciation(USD)	-1,110,433	-172,567	-172,567	-172,567	-172,567	-172,567	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)	0	0	0	0	0	0	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758	-46,758
7. Profit of the current term(USD)	-1,110,433	-172,567	-172,567	-172,567	-172,567	-172,567	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275
8. Cash flow(USD)	-1,110,433	187,033	187,033	187,033	187,033	187,033	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275	140,275
Accumulation of Cash	-1,110,433	-923,400	-736,367	-549,334	-362,301	-175,268	-34,993	105,282	245,556	385,831	526,106	666,381	806,655	946,930	1,087,205	1,227,480
IRR・Recovery period of initial investment																
Project IRR(15years)		12.2%														
Recovery period of initial investment(year)		6.2														

表 3.2.23 SPC のキャッシュフロー計算表(ガス化・500kW)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Income(USD)	0	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800
Selling Electricity to the rice mill		280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800	280,800
2. Expenses(USD)	-760,500	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037	-78,037
Total Equipment Cost	-1,341,000															
JCM Subsidy	580,500															
Diesel Consumption		-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37
O&M		-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000	-78,000
3. Profit before depreciation(USD)	-760,500	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763
4. Depreciation(USD)		268,200	268,200	268,200	268,200	268,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Profit after depreciation(USD)	-760,500	-65,437	-65,437	-65,437	-65,437	-65,437	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)	0	0	0	0	0	0	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691	-50,691
7. Profit of the current term(USD)	-760,500	-65,437	-65,437	-65,437	-65,437	-65,437	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072
8. Cash flow(USD)	-760,500	202,763	202,763	202,763	202,763	202,763	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072	152,072
Accumulation of Cash	-760,500	-557,737	-354,974	-152,211	50,552	253,315	405,387	557,460	709,532	861,604	1,013,676	1,165,749	1,317,821	1,469,893	1,621,965	1,774,038
IRR・Recovery period of initial investment																
Project IRR(15years)		23.5%														
Recovery period of initial investment(year)		3.8														

表 3.2.24 SPC のキャッシュフロー計算表(直接燃焼・1,000kW)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Income(USD)	0	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000
Selling Electricity to the rice mill		663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000	663,000
2. Expenses(USD)	-1,769,108	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335	-156,335
Total Equipment Cost	-3,099,500															
JCM Subsidy	1,330,392															
Diesel Consumption		-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335	-335
O&M		-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000
3. Profit before depreciation(USD)	-1,769,108	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665
4. Depreciation(USD)		619,900	619,900	619,900	619,900	619,900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Profit after depreciation(USD)	-1,769,108	-113,235	-113,235	-113,235	-113,235	-113,235	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)	0	0	0	0	0	0	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666	-126,666
7. Profit of the current term(USD)	-1,769,108	-113,235	-113,235	-113,235	-113,235	-113,235	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999
8. Cash flow(USD)	-1,769,108	506,665	506,665	506,665	506,665	506,665	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999	379,999
Accumulation of Cash	-1,769,108	-1,262,443	-755,778	-249,113	257,552	764,217	1,144,216	1,524,215	1,904,213	2,284,212	2,664,211	3,044,210	3,424,208	3,804,207	4,184,206	4,564,205
IRR - Recovery period of initial investment																
Project IRR(15years)		25.7%														
Recovery period of initial investment(year)		3.5														

表 3.2.25 SPC のキャッシュフロー計算表(ガス化・1,000kW)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Income(USD)	0	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000
Selling Electricity to the rice mill		702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000	702,000
2. Expenses(USD)	-1,237,000	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074	-156,074
Total Equipment Cost	-2,174,000															
JCM Subsidy	937,000															
Diesel Consumption		-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74
O&M		-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000	-156,000
3. Profit before depreciation(USD)	-1,237,000	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926
4. Depreciation(USD)		434,800	434,800	434,800	434,800	434,800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Profit after depreciation(USD)	-1,237,000	111,126	111,126	111,126	111,126	111,126	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926	545,926
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)	0	-27,782	-27,782	-27,782	-27,782	-27,782	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482	-136,482
7. Profit of the current term(USD)	-1,237,000	83,345	83,345	83,345	83,345	83,345	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445
8. Cash flow(USD)	-1,237,000	518,145	518,145	518,145	518,145	518,145	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445	409,445
Accumulation of Cash	-1,237,000	-718,856	-200,711	317,434	835,578	1,353,723	1,763,167	2,172,612	2,582,056	2,991,501	3,400,945	3,810,390	4,219,834	4,629,279	5,038,723	5,448,168
IRR - Recovery period of initial investment																
Project IRR(15years)		40.0%														
Recovery period of initial investment(year)		2.4														

3.3 モニタリング方法の検討

リファレンス排出量、プロジェクトの計算式は以下に示すとおりである。パラメータの設定方法は、表 3.3.1 および表 3.3.2 に示すとおりである。

モニタリングが必要なパラメータは、プロジェクト活動による年間発電量 $EG_{PJ,y}$ と年間の化石燃料消費量 $FC_{i,y}$ である。 $EG_{PJ,y}$ については、プロジェクトで導入される発電施設の発電量を電力計により計測、集計する。 $FC_{i,y}$ については、プロジェクトで導入する発電施設の化石燃料消費量を流量計等により計測、集計する。

【リファレンス排出量】

$$RE_y = EG_{PJ,y} \times EF_{elec,y}$$

【プロジェクト排出量】

$$PE_y = \sum_i FC_{i,y} \times EF_{i,y}$$

表 3.3.1 リファレンス排出量算定式のパラメータの設定方法

パラメータ	データの説明	設定方法
$EG_{PJ,y}$	プロジェクト活動による年間発電量(MWh)	プロジェクトで導入する発電施設の発電量を電力計により計測、集計する。
$EF_{elec,y}$	グリッド排出係数	カンボジアの公的資料等を基に設定。

表 3.3.2 プロジェクト排出量算定式のパラメータの設定方法

パラメータ	データの説明	設定方法
$FC_{i,y}$	年間の化石燃料消費量	プロジェクトで導入する発電施設の化石燃料消費量を流量計等により計測、集計する。
$EF_{i,y}$	化石燃料の排出係数 (tCO ₂ /y)	既往報告書を基に算定する。カンボジアの固有値が公開されている場合には同データを用いる。

3.4 事業実施体制の検討

本事業では、精米所のバイオマス発電施設の導入に係る初期費用負担を軽減するため、代表事業者(日本企業)が共同事業者となる SPC を設立し、SPC が初期費用を負担することを想定する。SPC は精米所にバイオマス発電施設の電力を売ることによって、初期費用を回収する。

代表事業者及び SPC は国際コンソーシアムを形成し、設備導入、設備導入後のモニタリング等を実施する。図 2.4.1 には、代表事業者、共同事業者及び関係機関の役割を示す。

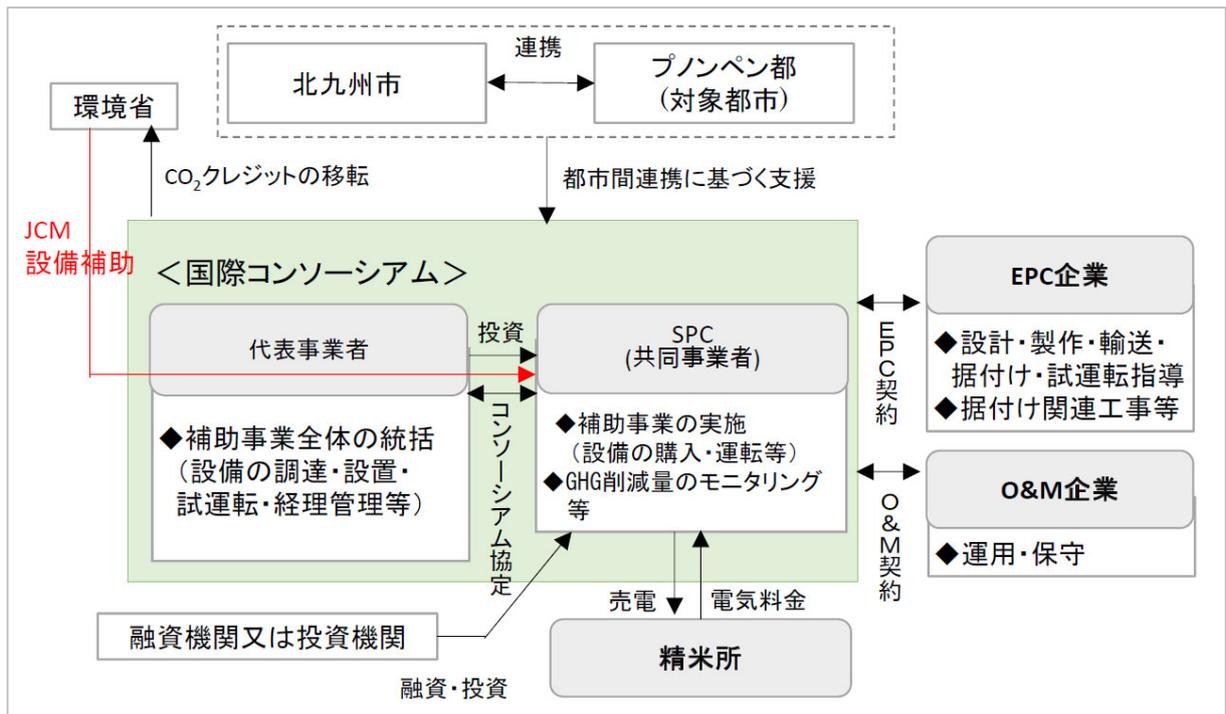


図 3.4.1 事業実施体制図

3.5 資金調達方法の検討

JCM 設備補助金を除いた残りの事業費(初期費用)は、代表事業者(日本企業)が設立した SPC が負担し、SPC は精米所への売電により初期費用を回収する。

3.6 事業実施スケジュールの検討

JCM 設備補助事業の採択後、以下のようなスケジュールを想定している。

- ・設計：6 ヶ月程度
- ・設備調達・建設・試運転：1 年程度

3.7 まとめ・今後の課題

- ・本調査において、精米所に対し、事業採算性の高い安価なバイオマス発電施設を提案することができた。今後、設備導入に向けて、季節的に変動する籾殻発生量、電力需要等、詳細なデータを収集して、導入設備、事業実施体制について、更に具体的に検討を行う必要がある。
- ・燃焼方式については、経済的にガス化方式が有利であるが、直接燃焼、ガス化の両方式の実績や維持管理の内容、コスト等を調査・比較した上で決定する。
- ・課題は、精米所の非稼働時間帯における、バイオマス発電の電力供給先の確保である。燃料の籾殻は十分に確保できるので、長時間発電させることが事業の収益性の向上に繋がる。現状の籾殻売却単価(18USD/t)の場合には、売却するよりも発電施設の燃料にする方が収益性は良い。例えば、木質ペレットの製造機を導入して、この製造機に電力を供給するなどして、精米関連機器以外の電力の利用方法を検討する(図 3.7.1、表 3.7.1 参照)。

- ・本調査の事業採算性の検討については、EDC(カンボジア電力公社)への売電単価が安いことから、バイオマス発電の電力を精米所内部で消費するビジネスモデルを対象としているが、今後、排熱を有効利用するモデルを検討することが望ましい。例えば、熱を必要とする工場が隣接する精米所をターゲットとするなどが考えられる。
- ・また、バイオマス発電施設から排出される灰の利用方法についても検討していくことが求められる。ガス化発電の場合には、灰に40～50%程度のカーボンが残るよう運転操作することが可能であり、これを加工して燃料として売ることができれば、事業者の収益の向上に繋がる。

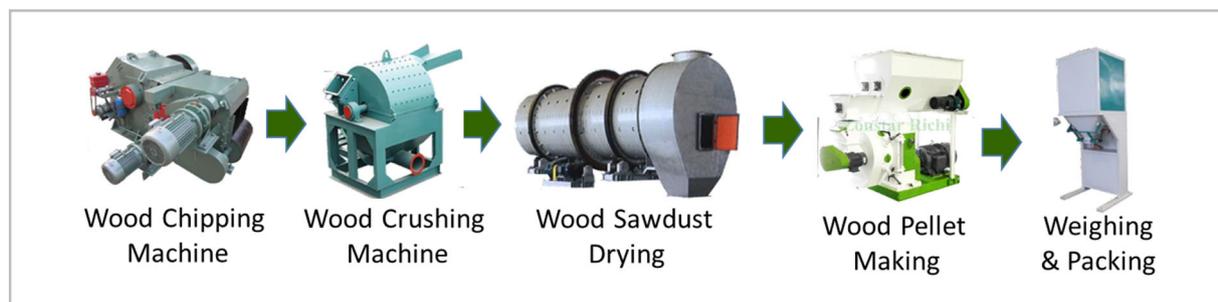


図 3.7.1 木質ペレット製造ラインを構成する各種機器

表 3.7.1 木質ペレット製造機器の導入コスト・年間売り上げ

No.	項目	値	備考
1	導入費用	500,000USD	
2	生産能力	2t/h	
3	年間稼働時間	2,160h/y	=24hours×30days×3months
4	年間生産量	4,320t/y	=2)×3)
5	ペレット価格	70USD/t	
6	年間売り上げ	302,400USD/y	=4)×5)

引用文献

- ¹ Kingdom of Cambodia、 Annual report for Agriculture forestry and fisheries 2016-2017 and direction 2017-2018 のデータを基に図を作成
- ² Food and Agriculture Organization (FAO)(<http://www.fao.org/faostat/en/#home>)のデータを基に図表を作成した。
- ³ 社団法人 日本エネルギー学会 [編]、バイオマス用語辞典、平成 18 年 1 月 20 日
- ⁴ 農畜産業振興機構、カンボジア、ラオスにおけるキャッサバ事情
https://www.alic.go.jp/joho-d/joho08_000290.html
- ⁵ 農畜産業振興機構、カンボジアのキャッサバ生産増加も輸出価格の低迷が課題
https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01_001914.html

-
- ⁶ NEDO、タイ初のタピオカ残渣からのバイオエタノール製造技術実証、
http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100163.html
 - ⁷ 廣畑信雄、福代和宏、初鹿野直美、新・カンボジア経済入門、2016年7月15日
 - ⁸ JETRO、世界貿易投資報告(カンボジア) 2018年度版
 - ⁹ 佐藤隆幸、カンボジアの森林・林産業・林産物、海外の森林と林業 No.80(2011)
 - ¹⁰ JETRO 道法清隆、林憲忠、カンボジア経済の基礎知識、2016年2月29日
 - ¹¹ 一般財団法人石炭エネルギーセンター、みずほ情報総研株式会社、株式会社大和三光製作所、平成27年度地球温暖化対策技術普及等推進事業 インドネシア国バイオマスを使用した半炭化システムによるJCMプロジェクト実現可能性調査 報告書、平成28年(2016)3月
 - ¹² 環境ビジネスオンライン、燃料に適さないパーム椰子空果房(EFB)、木質ペレットへの加工スタート、2017年03月02日掲載、<https://www.kankyo-business.jp/news/014447.php>
 - ¹³ プロマテリアル株式会社、平成24年度 二国間オフセット・クレジット制度の実現可能性調査「スターリング・エンジンを用いた小規模バイオマス発電」(カンボジア)最終報告書、平成25年3月
 - ¹⁴ JICA、株式会社タイワ精機、株式会社日本開発政策研究所、カンボジア国精米機製造・販売・輸出事業調査(中小企業連携促進)報告書、平成25年2月
 - ¹⁵ JICA、株式会社EJビジネス・パートナーズ、株式会社エイト日本技術開発、カンボジア国精米工場を対象とした籾殻発電技術と事業化スキームのパッケージサービス展開事業調査(中小企業連携促進)、平成25年5月(2013年)
 - ¹⁶ 株式会社 日建設計シビル、北九州市環境局アジア低炭素化センター、平成28年度低炭素社会実現のための都市間連携に基づくJCM案件形成可能性調査事業委託業務(プノンペン都気候変動戦略行動計画策定支援事業(北九州市-プノンペン都連携事業))
 - ¹⁷ SankeiBiz、<http://www.sankeibiz.jp/macro/news/141209/mcb1412090500001-n1.htm>
 - ¹⁸ 熊崎実、熱電供給システムではじめる木質バイオマスエネルギー 発電、日刊工業新聞社
 - ¹⁹ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
 - ²⁰ IEA、Energy Statistics Manual

第4章 JCM 案件化調査(環境保全分野：有機系排水処理事業)

4.1 現状把握

有機系排水処理が課題となるのは、環境への影響が大きい大規模な食品工場や畜産施設である。以下に、食品工場、畜産施設に調査結果を示す。

(1)食品工場

規模の大きな工場の多くは、プノンペン工業団地(PPSEZ)に入居しており、PPSEZにおいて、工場排水は各工場で前処理された後、簡易曝気付の安定化池方式で、同国の排水基準を満足するように処理されている。

PPSEZに入居していない大規模な食品工場は、都内ではビール工場などに限られているが、行政による定期的な立ち入り調査も行われていないため、排水は適切に処理されていない。

複数のビール工場への訪問・調査を依頼したが、適切に処理されているとの回答だけで断られ実現はしなかったが、あるビール工場では、着色した排水と洗剤の泡を隣接する池に排出しているのを現地にて確認した。



写真 4.1.1 都内ビール工場からの排水(着色排水、洗剤の泡)

(2)畜産施設

図 4.1.1 に示すように、カンボジア国内の家畜頭数は増加している。これは、経済成長、人口増加、カンボジア人の食習慣の変化によるものと考えられており、今後も増加すると見込まれている。2016年の国内の養豚施設数は575、牛舎施設数は93である²。ただし、カンボジアでは、家庭において自家消費や耕作用に飼育されているケースが多く、企業が畜産を行っているケースは少ない。2016年における企業が飼育する家畜頭数は、全体家畜頭数の約19%である。

図 4.1.2 に示すように、需要のある豚に着目すると、カンボジアでは、全体の養豚数も、企業の養豚数も増加傾向にある。しかし、養豚数が増加する一方で、畜産排水は適切に処理されていないのが現状である(後段の養豚施設に対する調査結果を参照)。

カンボジアの環境省の資料¹によれば、現在、国内の豚肉の需要は約4,000頭/dayであるのに対し、国内の養豚場からの供給能力は約2,000頭/dayに過ぎない。不足分は隣国からの輸入に頼っている状態にあるが、今後も増加する食肉の需要に伴い、国内において畜産施設の大規模

化、増加が進むものと考えられ、早期に適切な排水の処理方法を普及させることが重要である。カンボジアの環境省も、畜産排水による周辺環境(水域・土壌・大気)の汚染は、周辺住民の健康被害、生態系の破壊、都市景観の喪失に繋がるため問題視をしている。対策として、排水処理施設の導入、行政による環境管理の強化と、畜産施設におけるモニタリングの徹底を示している¹。

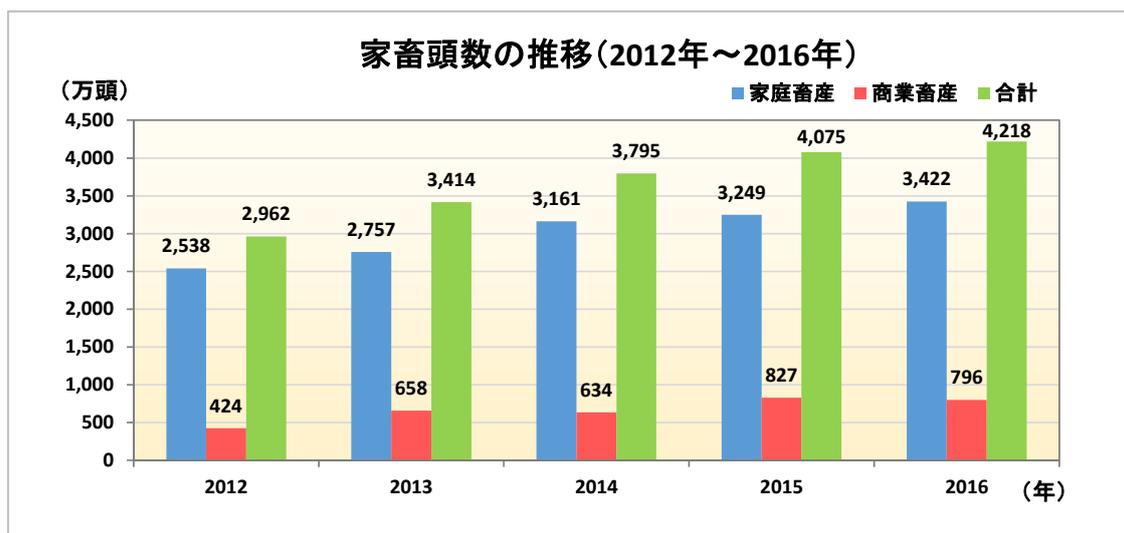


図 4.1.1 カンボジア国内の家畜頭数の推移(牛、水牛、豚、鶏、馬、羊、山羊、象)²

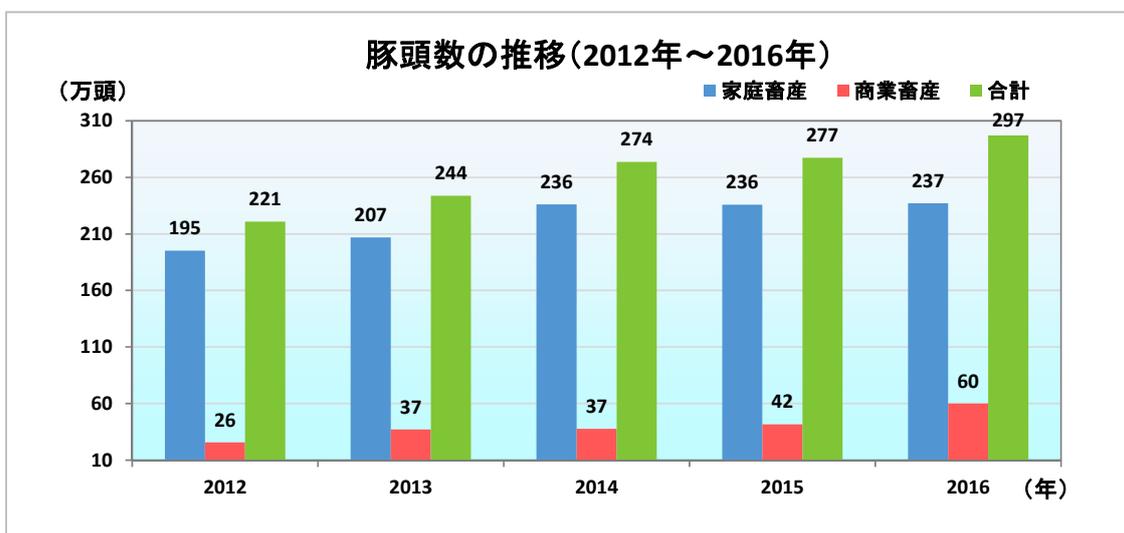


図 4.1.2 カンボジア国内の豚頭数の推移²

■養豚施設調査(現地調査)

本業務では、養豚企業 3 社を訪問し、ヒアリングを実施した。ヒアリング結果を表 4.1.1～表 4.1.3 に示す。

各養豚施設では、排水はメタン発酵処理(嫌気処理)され、バイオガスの回収後の排水(消化液)は、池にしばらく貯留された後、適切に処理されることなく隣接する河川等に放流されている。

日本の養豚施設においては、一般的に、メタン発酵処理ではなく、好気処理が行われる。それは、養豚施設の場合には、牧草地に放牧する牛舎施設と異なり、メタン発酵処理後に残る消化液の使い道が無いように、消化液の処理に費用がかかるためである。また、メタン発酵槽が高価であることも大きな理由となっている。

一方、カンボジアの場合には、バイオガスを回収し所内電源として活用することが、排水処理水質が環境基準を満たすことよりも優先されることから、メタン発酵処理が採用されている(消化液の処理が不十分)。国が定めた排水基準があるものの、行政による指導や管理が不足しているため、養豚施設では、適切な処理が行われていないのが実状である。

表 4.1.1 養豚施設へのヒアリング結果(A 社)

項目	内容
養豚数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第一施設：母豚；3,000 頭、肉豚；12,000 頭 ・ 第二施設：母豚；3,000 頭、肉豚；17,000 頭
処理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタン発酵処理 ・ 豚の糞尿をメタン発酵させ、排水を大きな 2 池で処理し、隣接する河川に放流している。第 1 池では曝気を行っているが、曝気時間はわずか 2 時間で限定的である。技術はベトナムから導入している。第 2 池は第 1 池より大きく、汚濁物の沈殿を行う。 ＜第一施設＞ <ul style="list-style-type: none"> 第 1 池 20m×24m×3m (深さ) エアレーションあり 第 2 池 40m×60m×5-6m (深さ) エアレーションあり ＜第二施設＞ <ul style="list-style-type: none"> 第 1 池 22m×50m×6m (深さ) エアレーションあり 第 2 池 32m×80m×6m (深さ) エアレーションあり ・ 社長自身が、各施設とも処理水の水質検査を行っているが、検査結果の精度に疑問を持っている。
発電量	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタン発酵で得られたメタンガスで発電を行い電力需要量の約半分を賄う。 ・ 400KW×12 時間
要望	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適切な排水処理方法の導入

表 4.1.2 養豚施設へのヒアリング結果(B 社)

項目	内容
養豚数	<ul style="list-style-type: none"> ・第一施設：母豚；700 頭、肉豚；8,000 頭 ・第二施設：母豚；1,300 頭、肉豚；1,000 頭
処理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・メタン発酵処理 ・メタン発酵後の廃液は、一旦、ため池に貯めて 1 回/日の頻度で隣接する河川に放流している。
要望	<ul style="list-style-type: none"> ・糞尿をバイオガスや肥料として活用し、これを前提に効果的な排水処理施設を導入したい。

表 4.1.3 養豚施設へのヒアリング結果(C 社)

項目	内容
養豚数	<ul style="list-style-type: none"> ・第一施設：母豚；3,200 頭、肉豚；37,000 頭 ・第二施設：母豚；600 頭、肉豚；7,000 頭
処理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・メタン発酵処理(タイ製、導入費用：50 万 USD) ・メタン発酵後の廃液は、池に貯留後にそのまま人工水路に放流する。その後は川、海へ流れる。メタン発酵槽に溜まる汚泥は 2 年に 1 回程度引き抜き肥料として散布している。
発電量	<ul style="list-style-type: none"> ・既存メタン発酵処理施設から 21 万 kWh/month を発電 ・30 万~35 万 kWh/month の電力が欲しい。余れば売電する。
要望	<ul style="list-style-type: none"> ・メタン発酵処理施設を新設したい。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真 メタン発酵槽</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 発電機(800KVA)</p> </div> </div>

4.2 導入技術の検討

本調査では、養豚施設への高効率メタン発酵処理施設の導入の検討を行った。ここで、既存施設よりもバイオガスの回収率の高い施設を導入することで、再エネ由来の発電量を増やすことができる。その結果、養豚施設内のグリッド電力の消費量が削減され、CO₂ 排出量も削減される。なお、メタン発酵処理施設の処理規模については、C社の2つの養豚の飼育頭数(母豚；3,800頭、肉豚；44,000頭)を対象とする。

4.2.1 導入技術の内容

メタン発酵処理とは、嫌気性微生物の働きにより有機物を分解し、バイオガス(メタンガス等)を回収する技術である。有機物分解経路は、1)有機物を酸生成反応により単糖類や有機物(低級脂肪酸)、アミノ酸に分解し、2)それらを酢酸生成反応により酢酸に分解し、3)酢酸からメタン生成反応によりメタンガス、炭酸ガスに分解する機能の異なった3工程の反応に分けられる³。

図4.2.1にシステム図を示す。豚舎から排出される糞尿等を固液分離した後、pHを調整してメタン発酵槽に送りメタン発酵させバイオガスを回収する。回収したバイオガスを燃料として発電装置(ガスエンジン)により発電を行う。メタン発酵処理施設に関し、図4.2.2には施設平面図を、表4.2.1に設備仕様を、表4.2.2に設備導入費用をそれぞれ示す。

メタン発酵後に残る発酵残渣(消化液)を河川で放流する場合には、カンボジアの排水基準(表4.2.3)に適合するよう、活性汚泥法等で浄化処理する必要がある。しかし、消化液の処理には費用がかかることから、本調査では、消化液を殺菌した後、周辺のパーム農園(C社のグループ企業が所有)に液肥として散布することを想定する。

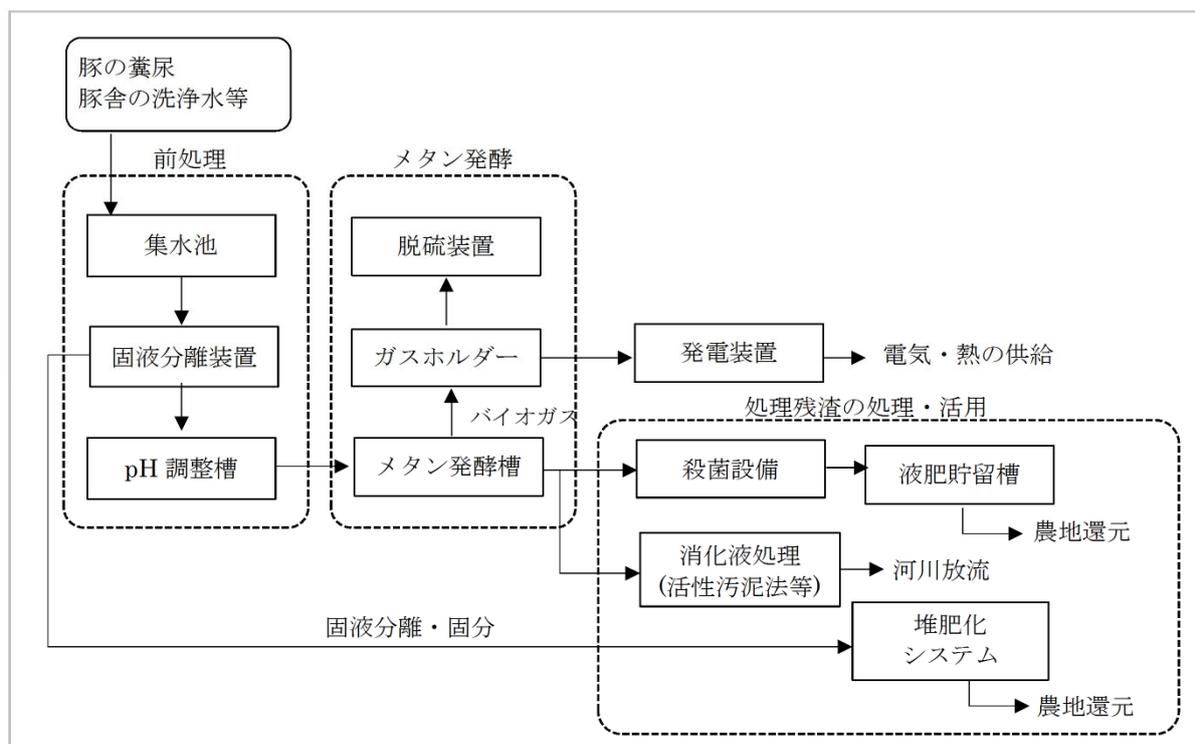


図 4.2.1 メタン発酵処理システム

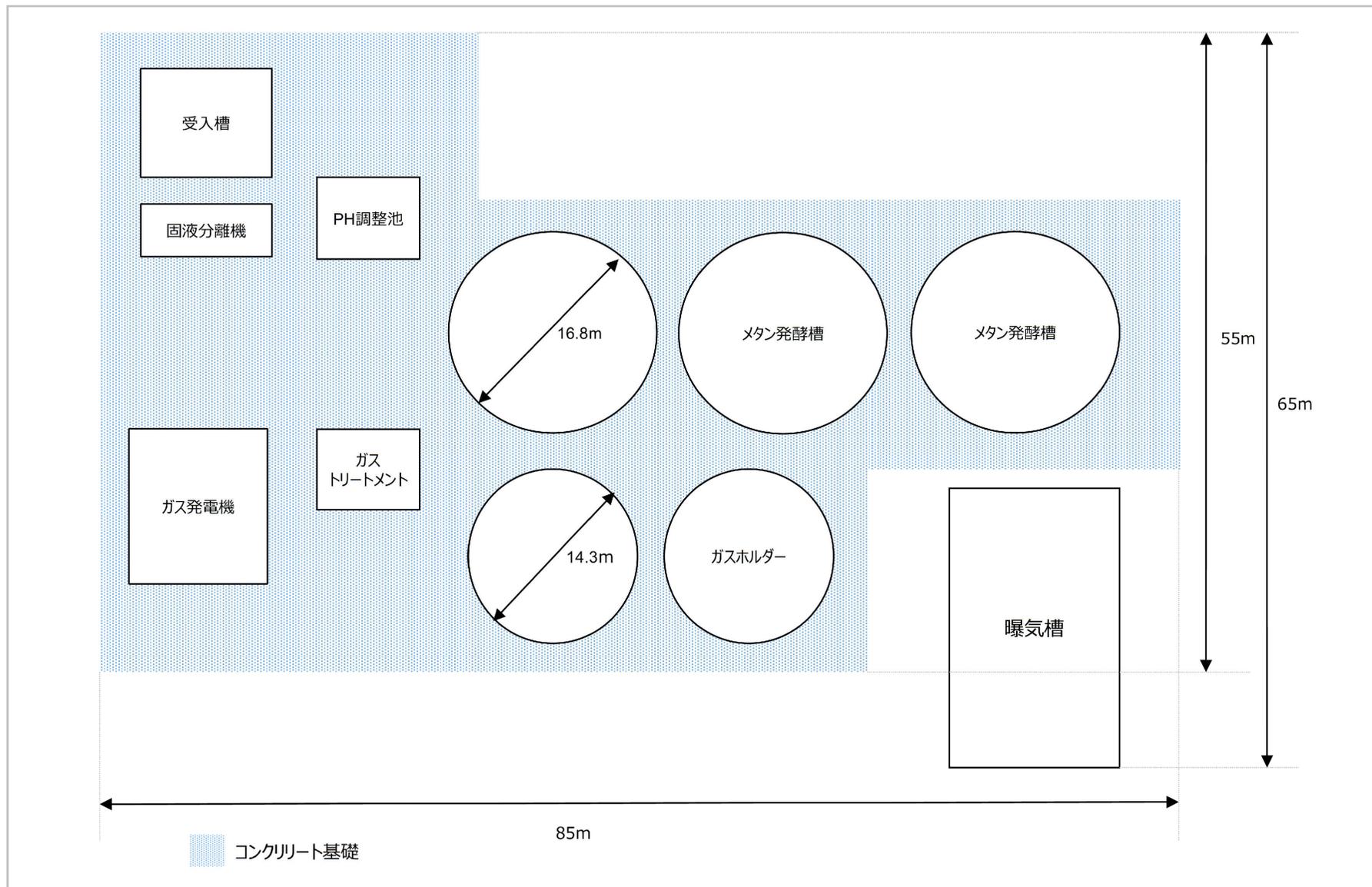


図 4.2.2 メタン発酵処理施設の平面図

表 4.2.1 設備仕様(湿式中温メタン発酵)

No.	設備	仕様	備考
1	集水池 (原料受入槽)	50 m ³	
2	固液分離装置	40t/hr	
3	pH 調整池	600 m ³	
4	メタン発酵槽	8,800 m ³ (2928 m ³ ×3 基)	直径：約 16.8m 高さ：約 13.2m
5	バイオガスホルダー	3,000 m ³ (1500 m ³ ×2 基)	直径：約 14.3m 高さ：約 10.72m
6	脱硫及び脱水装置		
7	ガスエンジン	800kW	



写真 4.2.1 メタン発酵槽※



写真4.2.2 バイオガスホルダー※

※ Boselan Tanks Co.,Ltd

表 4.2.2 設備導入費用(湿式中温メタン発酵)

No.	設備	費用(USD)
1	発酵・発電設備	1,400,000
2	電気・計装品	100,000
3	工事費	500,000
4	設計・工事管理費	200,000
5	一般管理費	200,000
6	輸送費	300,000
7	関税	225,000
合計		2,925,000

表 4.2.3 カンボジアの排水基準¹

No.	Item	Unit	Allowable limits for pollutant substance discharging to	
			Protected public water area	Public water area and sewer
1	Temperature	°C	< 45	< 45
2	pH	—	6 – 9	5 - 9
3	BOD5 (5 days at 20 °C)	mg/L	< 30	< 80
4	COD	mg/L	< 50	< 100
5	Total Suspended Solids	mg/L	< 50	< 80
6	Total Dissolved Solids	mg/L	< 1,000	< 2,000
7	Grease and Oil	mg/L	< 5.0	< 15
8	Detergents	mg/L	< 5.0	< 15
9	Phenols	mg/L	< 0.1	< 1.2
10	Nitrate (NO ₃)	mg/L	< 10	< 20
11	Chlorine (free)	mg/L	< 1.0	< 2.0
12	Chloride (ion)	mg/L	< 500	< 700
13	Sulphate (as SO ₄)	mg/L	< 300	< 500
14	Sulphide (as Sulphur)	mg/L	< 0.2	< 1.0
15	Phosphate (PO ₄)	mg/L	< 3.0	< 6.0
16	Cyanide (CN)	mg/L	< 0.2	< 1.5
17	Barium (Ba)	mg/L	< 4.0	< 7.0
18	Arsenic (As)	mg/L	< 0.10	< 1.0

4.2.2 CO₂ 削減効果

リファレンス設備は、既存のメタン発酵処理施設とし、プロジェクト設備は本調査における提案設備であり(表 4.2.1 参照)、リファレンス設備よりもバイオガスの回収率が高く発電量大きい。排出削減量は、既存施設の発電量実績(ヒアリング結果)及び提案設備の計画発電量を用いて、下記式より算定した。

(1)年間排出削減量

$$ER_y = (EG_{PJ,y} - EG_{RE,y}) \times EF_{elec,y}$$

ここで、

ER_y : y 年における年間排出削減量(Emission reductions in year y) (tCO₂/y)

$EG_{PJ,y}$: y 年におけるプロジェクト活動による発電量(MWh/y)

$EG_{RE,y}$: y 年におけるリファレンス活動による発電量(MWh/y)

$EF_{elec,y}$: カンボジアにおけるグリッド排出係数(tCO₂/MWh)

表 4.2.4 排出削減量・パラメータ設定値

パラメータ	値	設定根拠・出所
ER_y :	2,527(tCO ₂ /y)	—
$EG_{PJ,y}$	6,451.2 (MWh/y)	・ C 社養豚場の飼育頭数を前提条件として検討した提案設備の計画発電量(=800kW×24hours×28days×12months)
$EG_{RE,y}$	2,520.0 (MWh/y)	・ 既往設備の月間発電量(C 社へのヒアリング結果: 210,000kWh)×12months
$EF_{elec,y}$	0.643(tCO ₂ /MWh)	・ カンボジア・Kampot-Sihnouk グリッド電力の排出係数(平成 30 年度 JCM 設備補助事業・二次公募・公募要領)

(2)プロジェクト期間中の排出削減量 ER_p

プロジェクト期間中(法定耐用年数)の排出削減量は、年間排出削減量にプロジェクト期間(年数)を乗じて求めた。なお、法定耐用年数については、畜産施設に導入するメタン発酵処理施設は「減価償却資産の耐用年数等による省令」の農業用設備（改正前は家畜飼養管理用器具に該当）に該当するため、7年と設定した。

$$\begin{aligned} ER_p &= ER_y \times P \\ &= 2,527 \times 7 \\ &= 17,689(\text{tCO}_2) \end{aligned}$$

ここで、

ER_p : プロジェクト期間中の排出削減量(Emission reductions during the period P) (tCO₂)
 p : プロジェクト期間(Project Period) (y) : 7years

4.2.3 JCM 設備補助額・費用対効果

JCM 設備補助額は、下記に示すように、JCM 設備補助事業の応募で採択の条件となっている費用対効果(4,000 円/tCO₂)とプロジェクト期間中の CO₂ 排出削減量の積により求まることから、補助額は 637 千 USD となる。

$$\begin{aligned} \text{【JCM 設備補助額】} &= \text{【費用対効果(4,000 円/tCO}_2\text{)]} \times \text{【排出削減量(17,689tCO}_2\text{)]} \\ &= 70,756,000 \text{ 円} \approx 637,000\text{USD} \quad (1\text{USD}=111 \text{ 円として}) \end{aligned}$$

4.2.4 事業採算性

リファレンス設備の代わりにプロジェクト設備を導入することによって、1)増加する初期費用の負担額と、2)増大する再生可能エネルギー由来の発電量の増大、すなわちグリッドの電気料金削減額を用いて、初期費用回収年数及び内部収益率の計算を行う。

(1)初期費用増加額

プロジェクト設備を導入することで増える初期費用負担額は、JCM 設備補助が得られること

を考慮すると、1,788,000 USD となる(表 4.2.5 参照)。

表 4.2.5 初期費用増加額

No.	項目	費用	備考
1)	初期費用(プロジェクト設備)	2,288,000USD	=設備費用合計 2,925,000 -JCM 設備補助 637,000
2)	初期費用(リファレンス設備)	500,000USD	ヒアリング結果に基づく
3)	初期費用増加額	1,788,000USD	=1)-2)

(2)年間電気料金削減額

プロジェクト設備は、リファレンス設備と比較すると、年間 3,931,200kWh/y の発電量の増加が見込まれる(プロジェクト設備の年間発電量：6,451,200 kWh/yーリファレンス設備の年間発電量：2,520,000 kWh/y)。

したがって、電気料金削減額(年間)は、年間の発電量増加分にグリッド電気料金単価を乗じた金額となる。

電気料金削減額(年間)

=発電量増加分(3,931,200kWh/y)×グリッド電気料金単価(0.16USD/kWh)

=628,992 USD/y

(3)維持管理費

プロジェクト設備の維持管理は、リファレンス設備の維持管理と比べて、容易になりコスト削減を図ることができると考えられるが、本調査では、保守的に、維持管理費のコスト削減は見込まない。

(4)事業採算性

以上の初期費用増加額、電気料金削減額(年間)を用いて、キャッシュフローの計算を行った。その結果、事業期間7年間のIRR(内部収益率)は27.2%、初期費用回収期間は2.9年となった(表 4.2.6 参照)。

表 4.2.6 キャッシュフロー計算書(メタン発酵処理施設)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Income(USD)	0	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992
Reduction of electricity charge		628,992	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992
2. Expenses(USD)	-1,788,000	0	0	0	0	0	0	0
Total Equipment Cost (Project case)	-2,925,000							
Total Equipment Cost (Reference case)	500,000							
JCM Subsidy	637,000							
3. Profit before depreciation(USD)	-1,788,000	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992	628,992
4. Depreciation(USD)		585,000	585,000	585,000	585,000	585,000	0	0
5. Profit after depreciation(USD)	-1,788,000	43,992	43,992	43,992	43,992	43,992	628,992	628,992
6. Tax(USD) Corporation Tax(20%)	0	-10,998	-10,998	-10,998	-10,998	-10,998	-157,248	-157,248
7. Profit of the current term(USD)	-1,788,000	32,994	32,994	32,994	32,994	32,994	471,744	471,744
8. Cash flow(USD)	-1,788,000	617,994	617,994	617,994	617,994	617,994	471,744	471,744
Accumulation of Cash	-1,788,000	-1,170,006	-552,012	65,982	683,976	1,301,970	1,773,714	2,245,458
IRR・Recovery period of initial investment(year)								
Project IRR(7years)	27.2%							
Recovery period of initial investment(year)	2.9							

4.3 モニタリング方法の検討

年間排出削減量は、下記式に示すように、リファレンス設備からプロジェクト設備に更新することで増加する発電量にグリッド排出係数を乗じて算出する。

プロジェクト設備の発電量 $EG_{PJ,y}$ については、プロジェクト期間中のモニタリング値を用いる。リファレンス設備の発電量 $EG_{RE,y}$ については、プロジェクト期間中の家畜頭数もしくは糞尿量に、所定の係数を乗じて求めるようにする(表 4.3.1 参照)。

■年間排出削減量の算定式 ER_y

$$ER_y = (EG_{PJ,y} - EG_{RE,y}) \times EF_{elec,y}$$

ここで、

ER_y : y 年における年間排出削減量(Emission reductions in year y) (tCO₂/y)

$EG_{PJ,y}$: y 年におけるプロジェクト活動による発電量(MWh/y)

$EG_{RE,y}$: y 年におけるリファレンス活動による発電量(MWh/y)

$EF_{elec,y}$: カンボジアにおけるグリッド排出係数(tCO₂/MWh)

表 4.3.1 排出削減量を算定するための係数・パラメータの設定方法

係数 ・パラメータ	データの説明	設定方法
$EG_{PJ,y}$	設備導入後の年間発電量(kWh/y)。	・実測値
$EG_{RE,y}$	設備導入後の養豚数から推定されるリファレンス設備の年間発電量(kWh/y)。	・設備導入後の家畜頭数もしくは糞尿量に、所定の係数を乗じて求める。 ・係数については、既往設備の仕様で設定された数値を用いるか、下記の「 ■リファレンス設備の発電量 $EG_{RE,y}$ を推定する係数 」を用いる。
$EF_{elec,y}$	カンボジアの当該地域におけるグリッド電力のCO2排出係数	・カンボジアの公的資料等を基に設定。

■リファレンス設備の発電量 $EG_{RE,y}$ を推定する係数

リファレンス設備の発電量は、基本的には下記式に示すように、家畜糞尿量(強熱減量)によって線形的に変化することから、既往の家畜糞尿量(家畜頭数から推定)と発電量のデータから、家畜頭数1頭あたり、もしくは家畜糞尿量1tあたりの発電量(係数)を求めることが可能である。

$$EG_{RE,y} = MRA \times NCV \times EF_{generator} \times 10^6 / 3,600$$

ここで、

MRA : メタンの回収量(Methane recovery amount)(t/y)

NCV : メタンの真発熱量(NET calorific value)(GJ/t) : 50.0(GJ/t)

EF : 発電機の発電効率(Efficiency of generator) : 発電機のカタログ値

なお、メタン回収量 MRA は次式より求める(参考 : AMS-III.D.Methane recovery in animal manure management systems)。

$$MRA = UF \times D_{CH_4} \times \Sigma(MCF \times B_{0,LT} \times N_{LT,y} \times VS_{LT,y})$$

ここで、

UF : モデル修正係数(Model correction factor)

D_{CH_4} : メタンの密度(CH4 density)(t/m³) 0.00067 t/m³

MCF : リファレンス設備のメタン発生係数(Annual methane conversion factor of the reference facility)

$B_{0,LT}$: 家畜種類別の家畜糞尿の単位強熱減量の最大CH₄発生ポテンシャル(m³/kg-dm)

$N_{LT,y}$: y年における家畜種類別の家畜頭数(animals)

$VS_{LT,y}$: y年における家畜種類別の家畜頭数1頭あたりの強熱減量 (kg-dm/animal/y)

4.4 事業実施体制の検討

日本企業（代表事業者）と現地畜産企業（共同事業者）が国際コンソーシアムを形成し、当コンソーシアムが設備導入、設備導入後のモニタリング等を実施する。図 4.4.1 には、代表事業者、共同事業者および関係機関の役割を示す。

初期費用の負担等が事業実施の障害になる場合には、代表事業者が初期費用を負担して設備を導入し、共同事業者にリースすることで事業を行う。

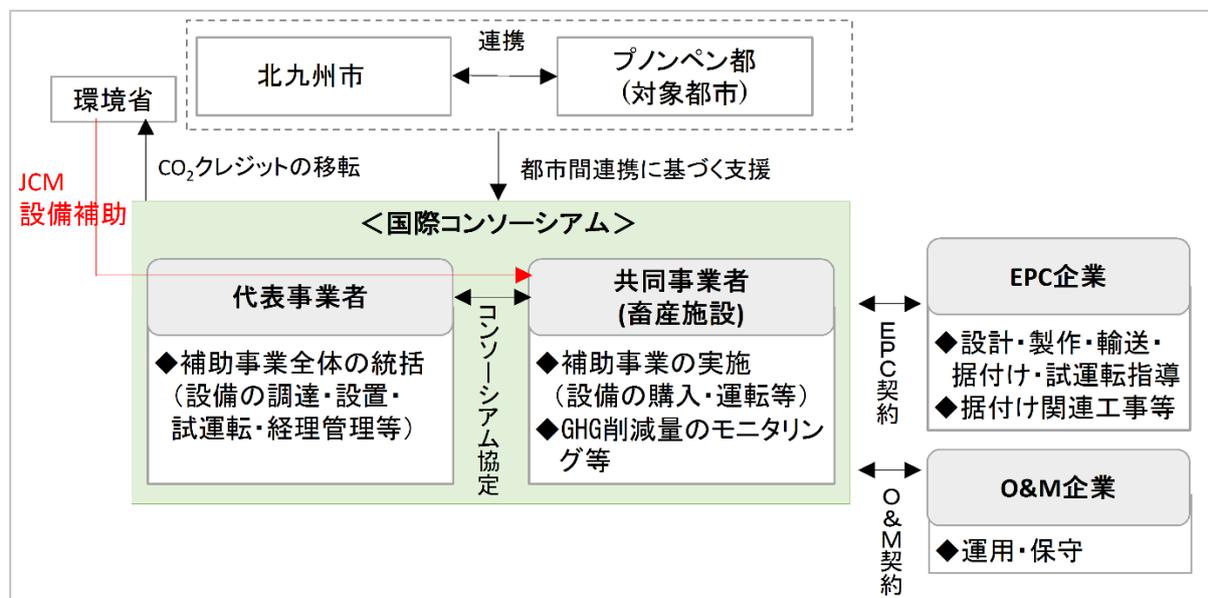


図 4.4.1 事業実施体制

4.5 資金調達方法の検討

JCM 設備補助金を除いた残りの事業資金(初期費用)は、共同事業者が負担する。初期費用の負担等が事業実施の障害になる場合には、代表事業者が初期費用を負担して設備を導入し、共同事業者にリースすることで、初期費用を回収する。

4.6 事業実施スケジュールの検討

JCM 設備補助事業の採択後、以下のようなスケジュールを想定している。

- ・ 調査・設計：1ヶ月程度
- ・ 設備調達・建設・試運転：6ヶ月程度

4.7 まとめ・今後の課題

- ・ 本調査により、事業採算性の高い安価なメタン発酵施設を提案することができた。本提案施設の導入によって、既存施設(ラバー製のメタン発酵槽)よりもバイオガスを効率的に回収し、発電量を増やすことが可能となる。
- ・ 今後、設備導入に向けて、畜産施設からの排水の成分と量、既存設備の導入費用、発電量等、詳細なデータの収集を行い、導入設備、事業実施体制について、更に具体的に検討を行う必要がある。
- ・ また、現在、消化液は、適切な処理が行われぬまま水路を通して河川に放流されている状態

であるので、バイオガス回収後の排水(消化液)は、周辺のパーム農園、ゴム農園に散布することを検討する。

- ・ 本提案によって、安価でバイオガスの回収効率の高いメタン発酵処理施設と、排水の適切な利用・処理方法を確立すれば、今後、畜産施設の大規模化・増加が見込まれるカンボジア国内に普及する可能性がある。

引用文献

- ¹ Mr. PHIN Rady (Director of Water Quality Management Dept., EPA, MoE), Pig Wastewater Management in Cambodia, WEPA Group Workshop on Pig Wastewater Management in Asia 21-22 February 2017, Chiang Mai, Thailand
- ² Kingdom of Cambodia、 Annual report for Agriculture forestry and fisheries 2016-2017 and direction 2017-2018 のデータを基に図を作成
- ³ 北川幹夫、岡崎稔、省エネと環境に配慮した産業排水処理施設、日刊工業新聞社