

平成 15 年度 CDM/JI 事業調査

タイ国におけるバガスとライスハスクを用いた  
熱電併給の事業化可能性調査

報 告 書 概 要

平成 1 6 年 3 月

株式会社 関西総合環境センター

# 目 次

1. 目 的	1
2. 調査結果の概要	
2.1 タイ国に基本的情報	1
2.2 プロジェクト概要	2
2.3 プロジェクトサイトの状況	2
2.4 燃料として使用するバイオマスの概要	4
2.5 設備設計	5
2.6 プロジェクト収支	7
2.7 プロジェクト実施方法	7
2.8 プロジェクト評価	9
3. その他	10

## 1. 目的

地球温暖化対策が緊急に取り組まなければならない課題として注目されている今日、京都議定書で認められた CDM（クリーン開発メカニズム）によるプロジェクト推進は有効な手法の一つと期待されている。

本プロジェクトの目的は、サトウキビ栽培の過程で収穫残渣として畑に残されているサトウキビの枯葉部分（trash）をバイオマス燃料とし、これにライスハスク（籾殻）も加えてバイオマス発電をすることによって地球温暖化対策に資することである。

対象サイトとしては 2002-2003 年（収穫期は 2002 年 12 月～2003 年 4 月）における Cane（砂糖成分が含まれているサトウキビの茎部分）の年産が 104 万トンであるタイの Rajburi 製糖工場を選定した。燃料としては、この工場が契約しているサトウキビ農家から新たに収集する trash を対象とする。本プロジェクトでは、主にこの燃料を製糖期に使用して発電するが、非製糖期はライスハスクを購入してバイオマス発電を継続し、これらを EGAT（Electricity Generating Authority of Thailand）に売電する計画を立てている。ただし、trash 部分は現在、畑に鋤き込んで肥料等に役立てていることから全量を燃料にすることはできない。砂糖の収穫に影響を与えない範囲でバイオマス燃料に利用できる妥当な量を検討し、農業面でもエネルギー面でも持続的発展可能なシステムを構築する。

また、廃糖蜜（砂糖を抽出した後に残る残渣液）にはまだ糖分が残っているため、これを原料としてアルコールを醸造することができる。発電に必要な蒸気の一部をこれらの工場に熱供給するコージェネレーション（熱電併給）も検討する。

本調査は以上のシステムをタイに導入し、CDM 案件として成り立つかどうかの可能性調査を行うものである。

## 2. 調査結果の概要

### 2.1 タイ国の基本的情報

タイは王国であるが、タクシン首相が強固な政治基盤を築いており、ASEAN 諸国の中でも積極的にリーダーシップを発揮している。政治、経済、宗教的には比較的安定しているものの、殺人、強盗、麻薬、テロ行為等の発生が少なくないのも現状である。

他方、タイは熱帯圏に属しているために農産物に恵まれており、特にサトウキビ（2003年は 7,407万トン）や米（同2,700万トン）の生産高が多いという特徴も有している。

同国は発展途上にあり、経済的にも電力需要の面でも高い成長率が見込まれている。1997年には通貨危機に見舞われたものの、1999年には再び回復し、今後も高い経済成長率が見込まれている（予想も含めて1999年～2003年の実質 GDP 成長率の平均値は4.6%）。これに呼応するように、電力需要も高い伸び率を示しており、EGAT によれば2007～2016年におけるタイの電力の伸び率は年6%前後と予想されている。政府は国営の発電所を民営化する一方、民間の電力事業参入を促進するため、IPP（Independent Power Producers）や SPP（Small Power Producers）からの電力購入を積極的に押し進める方針である。

しかし、経済発展に伴い、水質や大気汚染といった環境問題が発生し、住民運動の高まりを見せているといった状況もある。

このような中で、タイ政府は1995年3月に気候変動枠組条約を批准し、さらに2002年8月には京都議定書を批准している。CDM に関しては基本的にオープンなスタンスを取っており、タイの国

益に適う、社会・経済の持続的開発に寄与することが証明される案件であれば、事業を承認している。

## 2.2 プロジェクト概要

本プロジェクトは、主に製糖期には trash を、非製糖期にはライスハスクを燃料としてバイオマス発電をし、CDM プロジェクトとする計画である。trash の収集方法はハーベスタによる Cane の機械収穫時に、ハーベスタ後部に取り付けたコンテナに取り込むことで、人力による収集の手間を省き、コストダウンを図る。trash の量については年間を通して発電できる量を確保することが困難であるため、残りの期間については精米工場からライスハスクを購入して売電を継続する。また、蒸気の有効利用を図るために、発電所で使用した蒸気の一部を隣接する敷地に誘致するアルコール工場に供給する。ただし、アルコール工場の運営については本プロジェクトの対象外である。

## 2.3 プロジェクトサイトの状況

本調査の提案段階では、プロジェクトサイトの Rajburi Sugar Co., Ltd. が、将来、設備改造計画を持っているというヒアリング結果に基づき、以下のような計画を立てていた。

- ・既設のボイラー、タービン、発電機を高温高压の蒸気で発電できる設備に改善し、現在、余剰にあるバガスを燃料にしてバイオマス発電をし、温暖化対策プロジェクトにする。売電を通年で行うために、ライスハスクを購入してバイオマス発電を継続する。
- ・野積みのバガスから発生しているであろうメタン抑制方法や設備も検討する。
- ・余剰蒸気を利用してコージェネレーションを行う。

しかし、その後、Rajburi 社では発電機の一部が老朽化している事態を重く見て、緊急に改修する必要性を痛感し、2003年5月の時点で新たな10MW 発電機の建設を決定した。同設備が同年12月に完成したことを受けて、以下の点について計画の見直しを行った。

- ・余剰バガスは Rajburi 社が新設した10MW の燃料に使用されるため、対象燃料を trash に変更する。
- ・バガスは Rajburi 製糖工場で消費されることから、メタン抑制の検討は取り止める。

以上のような変更はあるが、Rajburi 社としても新たなバイオマス発電事業については興味を抱いている。Rajburi 社は図1に示すように、Ratchaburi 県の Ban Pong にある。同社のサトウキビの生産高は2002-2003年実績では1,043,477t/年、作付け面積は108,250Rai (1Rai=1,600m<sup>2</sup>)であった。2001-2002年のタイ全土のサトウキビ生産高は5,949万 t/年であり、この年の同社の生産高は86万 t/年であったので、タイ国内に占める生産高の割合は1.4%である。



図1 プロジェクト実施サイト (Rajburi 製糖工場)

Rajburi 社の会社設立は1985年12月、資本金は2億 Baht（2003年11月～2004年1月の平均為替レートは2.81円/Baht）である。製糖事業に関連した同社の取り組みは以下の通りである。

- ・ 農民によるサトウキビ栽培、収穫の効率改善や経費節減を助けるために、ハーベスタ、ケンピッカー、トラクタ、耕運機等の機器を用意している。
- ・ Norng Puchan Project と呼ばれる新しい灌漑システムを開始した。これはアジア開発銀行による9,600万 Baht の資金を受けて行ったもので、対象は630エーカー以上、147農家に及んでいる。
- ・ Financially Secured Cane Farmers Project の下で、研究機関とともに、ハーベスト計画、技術向上、機械化による省力化、土と環境のための化学肥料から有機肥料への移行等を通して農民への教育プログラムを開始した。
- ・ 1999年3月に ISO9002を、また、2001年4月には ISO14001を取得し、品質管理、環境管理に注力している。
- ・ 1994年から EGAT に電力供給している。

#### 2.4 燃料として使用するバイオマスの概要

Rajburi 契約農家において、本プロジェクトで燃料として考えている trash は以下のように使用されている。

- ・ 25%の農家では収穫前に焼かれている。これは人力収穫の畑では、主に収穫を容易にするために行われる火入れのためであるが、たばこや籾殻焼却による飛び火等も 5%程度含まれている。
- ・ 75%の農家では畑に鋤き込まれ、腐植による有機物の供給や通気性、保水性、陽イオン交換容量等の増大に寄与していると考えられる。

土壌からの有機物消費量は、Rajburi 農家の腐植含量 2.38%（現地調査結果）、有機物の年間消失割合 1%（文献値）、trash の有機物含量 40%（文献値）を用いると 595kg/ha と推定される。投与されたバイオマス量の半分が有機物に分解されると言われているので、最低限 1,190kg/ha は畑に残す必要がある。

一方、単位面積当たりの Cane 生産高 62.5t/ha（現地調査結果）とそれに対する trash の乾燥ベースの重量比（文献値）から trash 量は以下のように推定できる。

$$62.5\text{t/ha} \times 29.5\% \div 69.5\% \times 22.2\% = 5.9\text{t/ha}$$

29.5% : Cane の乾燥重量率（すなわち、水分率 70.5% : 文献値）

69.5% : サトウキビ全体に占める Cane の乾燥ベースでの重量割合（文献値）

22.2% : サトウキビ全体に占める trash の乾燥ベースでの重量割合（文献値）

したがって、trash 量 5,900kg/ha と最低限残すべき 1,190kg/ha との差 4,710kg/ha が畑から収集できる trash の最大量となり、この割合は 80%となる。地力向上も考慮すると畑には 1,190kg の2倍の 2,380kg/ha を残すことが望ましいと考えられ、この場合の収集可能量は 60%となる。しかし、trash の燃焼灰を畑に還元することを考えれば、この中間値である 70%程度の収集は問題ないと考えられる。なお、タイ国環境省の Dr. Ampon からも trash 等のバイオマス資材の灰が優れた土壌肥料であるとの見解を得ている。

## 2.5 設備設計

本プロジェクトの設備を設計する前提条件を以下に示す。

- ・サトウキビの収穫高は Rajburi 契約農家の過去 5 年間における平均収穫量である 863,200 t-c/年 (t-c は Cane の重量トン、100t-c 未満は切り捨て) とする (最低は 755,400t-c/年、最高は 1,043,400t-c/年)。
- ・Rajburi 製糖工場では 9,880t-c/日のサトウキビを処理している実績があるので、製糖期間は 863,200t-c/年÷9,880t-c/日=87 日間とする。
- ・Rajburi 製糖工場に隣接する敷地に 10MW 規模のバイオマス発電所を新設する。
- ・設備条件は Rajburi 周辺の水が硬水であることを考慮し、ボイラーで使用する蒸気の条件は圧力 33barG、温度 425℃とする。
- ・昼間は 8MW、夜間は 6MW (昼間の 75%) を EGAT に売電する (実際に系統連係するのは PEA (Provincial Electricity Authority))。ただし、日曜、祝祭日は 24 時間とも 6MW の売電を行う。
- ・製糖期の燃料は主に trash、非製糖期はライスハスクを購入してバイオマス発電を行う。
- ・trash 利用に関しては、サトウキビ畑の地力低下を招かないように考慮し、畑から収集する trash の率は 70%とする。新発電所で発生する trash の燃焼灰はサトウキビ畑に肥料として還元する。
- ・trash は写真 1 及び図 2 に示すように、ハーベスタで Cane を機械収穫する際に収集し、袋詰めして新発電所敷地に搬入する。
- ・SPC (本プロジェクトを実施する現地の特別目的会社) は新たに 19 台の新ハーベスタを購入して、農家に貸し出す。新ハーベスタの能力は 240t-c/日とする。なお現在、Rajburi で所有しているハーベスタの能力は中古品ということもあり、平均 120t-c/日である。したがって、Rajburi 工場側が所有しているハーベスタ 16 台と合わせて 35 台で機械収穫をする。
- ・35 台のハーベスタを用いた場合の機械化率は 65%である。現在、Rajburi 社からの回答では機械化できる畑の割合は 40%程度であろうとの回答を得ているが、将来的にはハーベスタを導入できるように石礫を取り除くような畑の改善や機械化によるコストダウンのメリットが農家側に認知されれば、65%の導入は可能と見ている。



写真 1 現在のハーベスタによる Cane 収穫方法

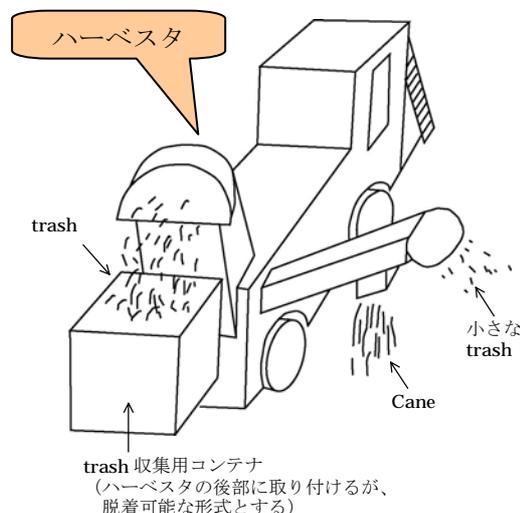


図 2 本プロジェクトで計画している trash 収集方法

- ・供給水は Rajburi 製糖工場が取水している地下水から追加取水し、排水は同工場排水に追加放流する。
- ・Rajburi 製糖工場の設備改造はしない。
- ・熱の有効利用のために、蒸気の一部をアルコール工場に供給する（アルコール工場は本プロジェクトのスコープ外）。
- ・アルコール工場では Rajburi 製糖工場の廃糖蜜を原料としてエタノールを醸造する。同工場で発生する廃糖蜜は Cane の 4.3～4.8%（同工場からのヒアリング結果）であるから  $863,200\text{t-c}/\text{年} \times 4.3\% = 37,100\text{t-m}/\text{年}$ （t-m は廃糖蜜の重量トン）とする。供給蒸気量はメーカー設計値である  $7\text{t-s}/\text{h}$ （t-s は蒸気の重量トン）とする。

以上により、表1に示すようなバイオマス発電量と温暖化対策効果が見込まれる。本プロジェクトのシステム概要図を図3に示す。

表1 本プロジェクトの設備概要と温暖化対策量

項目	試算結果	備考
1. 設備規模		
(1) ボイラー	60 t/h	このうち、7t/h はアルコール工場に供給
(2) 発電機	9.64 MW	昼間8MW、夜間6MW を売電
2. 燃料		
(1) trash	73,200 t/年	水分率49%、熱量1,800kcal/kg
(2) ライスハスク	64,300 t/年	熱量3,440kcal/kg
3. 発電と温暖化対策量		
(1) PEA への売電量	54,810 MWh/年	
(2) アルコール工場への売電量	2,341 MWh/年	
(3) 温暖化対策量	35,188 t-CO <sub>2</sub> /年	

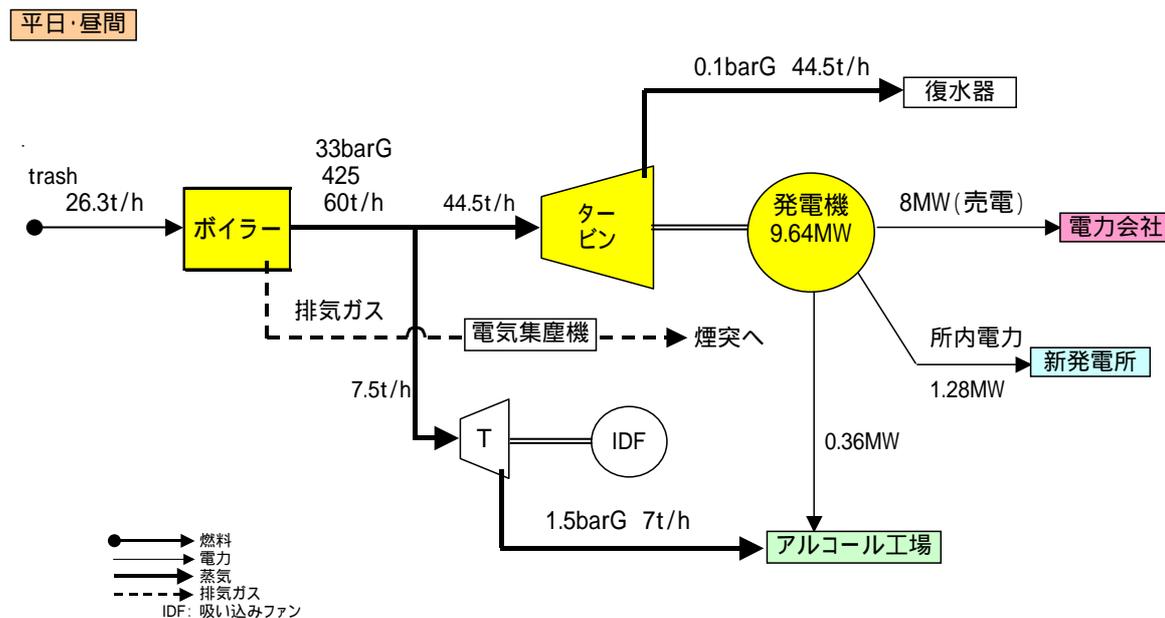


図3 システム概要図

## 2.6 プロジェクト収支

本プロジェクトの収支は表2に示す通りである。

ただし、収支を試算した条件は以下の通りである。

- ・設備費に関しては、必要最低限の設備に限定し、かつ、メーカー見積額の3割引を想定した。
- ・ライスハスクの購入価格については、現在は需要過多のために価格が高騰しているが、将来的に落ち着くであろう熱量に見合う妥当な価格と考えられる400Baht/t を設定した（現状は800～900Baht/t で取引されているが、タイのライスミル協会の意見も参考に想定した）。
- ・ライスハスクの燃焼灰についてはシリカが含まれていることから、半導体の原料として高値で売却できるとの情報を得ているが、その価格を正確に予測できない状況であるので、事業収支を検討する中には含めない。

表2 本プロジェクトの収支概要

(単位：百万円)

項目	金額	備考
1. 収入	<b>470</b>	
(1) 電力販売	349	EGAT の売電契約条件より算出
(2) アルコール工場からの収入	79	電力15百万円、蒸気64百万円
(3) ハーベスタ収入	42	ハーベスタ19台分
2. 営業経費	<b>160</b>	
(1) 燃料費等	89	trash 12百万円、ライスハスク 72百万円他
(2) その他	71	人件費、メンテナンス費、消耗品費、土地リース費、SPC 運営費、モックアップ経費
3. 初期投資（設備関係）	<b>2,064</b>	メーカー見積額の3割引きを想定
(1) ボイラー、タービン、発電機	910	
(2) 周辺機器	350	コンベア、取水・排水設備、シャベルローダー、トラックスケール
(3) ハーベスタ	475	19台分
(4) 現地建設費	329	電気・配管工事、送電線工事、輸送費含む
4. その他	<b>20</b>	SPC 設立費

## 2.7 プロジェクト実施方法

以下に、本プロジェクトの領域（図4）、実施体制案（図5）、スケジュール案（表3）、資金調達案（図6）を示す。

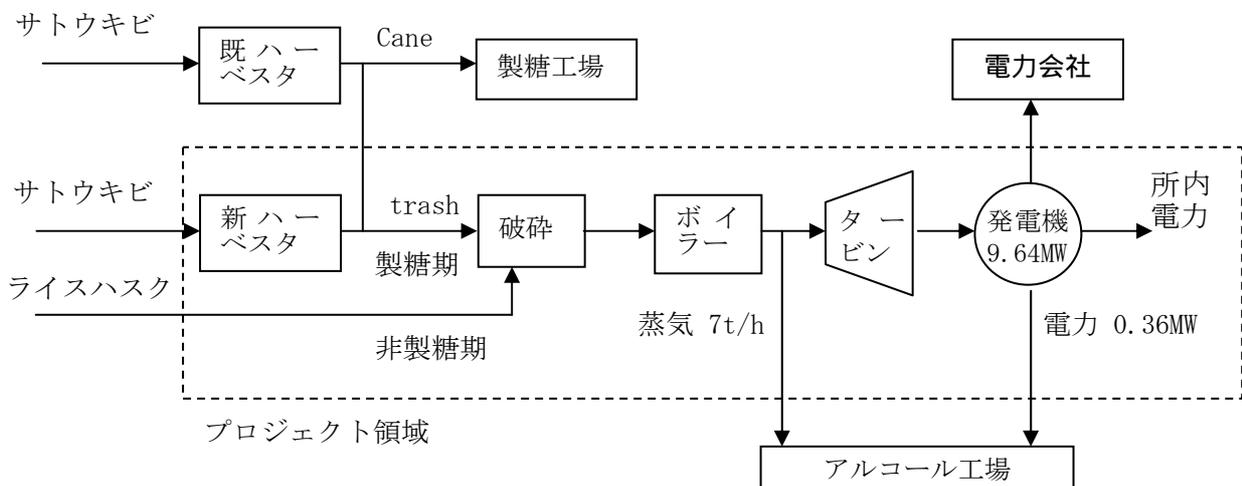


図4 プロジェクト領域説明図

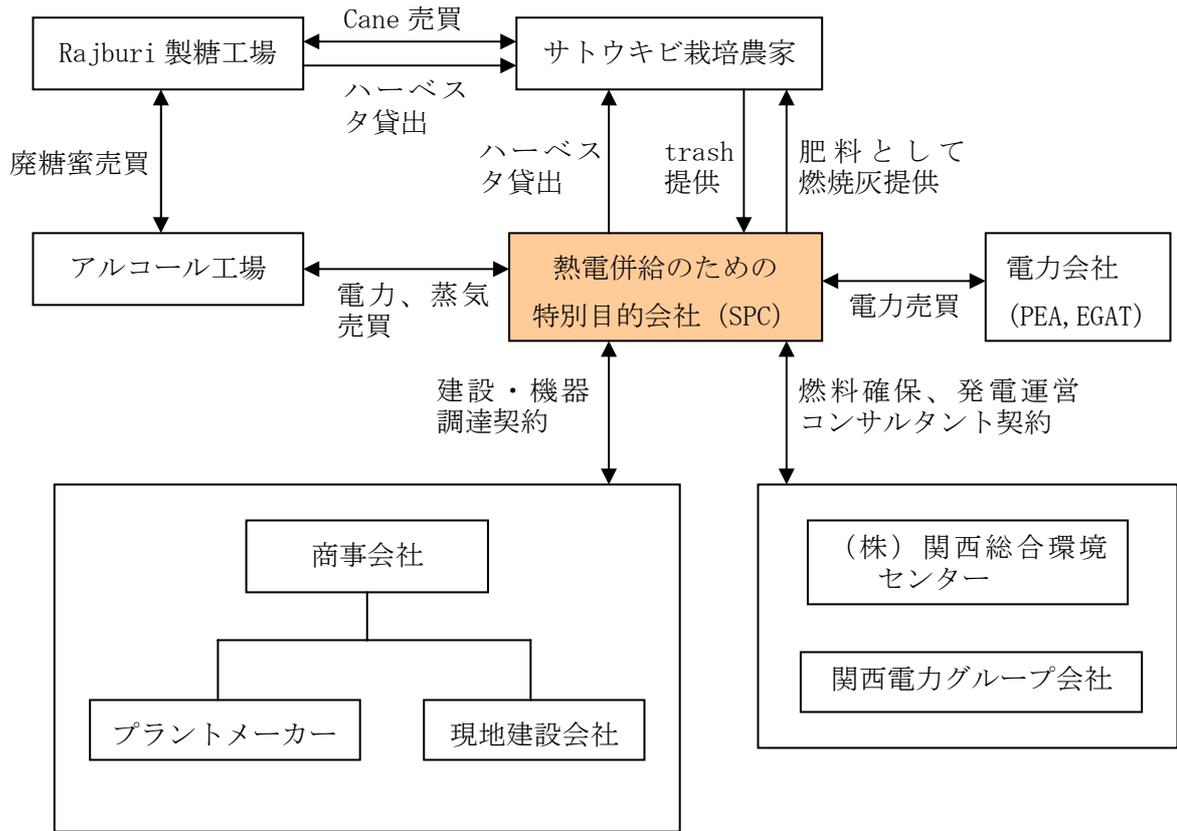


図5 実施体制図 (案)

表3 実施スケジュール表 (案)

項目	2004年度	2005年度	2006年度	2007年度
a) 詳細調査・アセス	■			
b) 投融資者確保	■			
c) PDDの認証		■		
d) 設計		■		
e) 機器製作		■		
f) 建設・輸送・据付		■		
g) 性能試験・試運転			■	
h) 本格運転				■
i) モニタリング				■■■■■■

(注) PDD: プロジェクト設計書

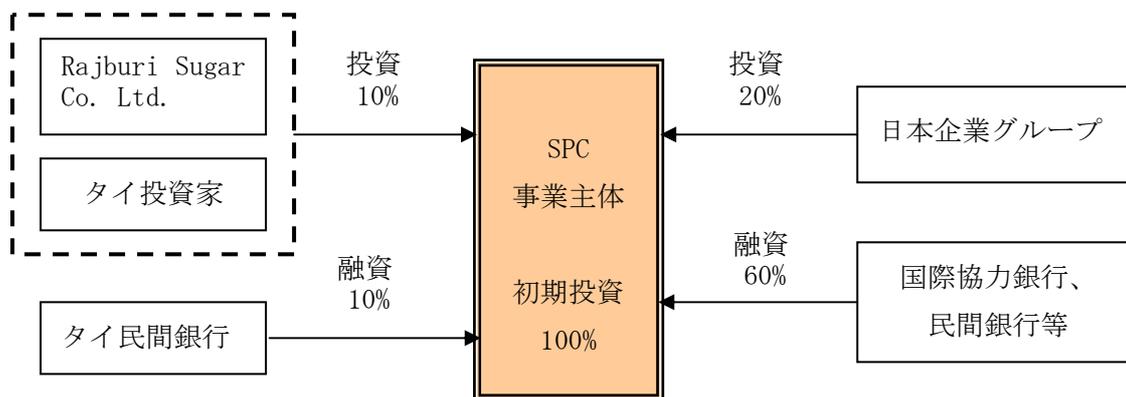


図6 資金調達（案）

## 2.8 プロジェクト評価

本プロジェクト評価に関する要点は以下の通りである。

### a. CDM プロジェクトの方法論

一次ボイラーの定格出力は60t/h であり、蒸気1kg/h $\approx$ 0.7kW で換算するとこれは約42MW (<45MW) に相当することから、コージェネレーション設備容量に関しては小規模 CDM 活動としての適格性を有する。また、本プロジェクトについてはその内部利益率（IRR）の低さに起因する「投資のバリア」が存在し、投資上より実効性の高い代替案からのより多い GHG 排出が生じていたかもしれないというベースラインシナリオからの追加性を主張できる。

### b. ベースラインの選定

本 CDM プロジェクトのベースラインとしては、小規模 CDM タイプ I.D における適用可能な簡易ベースラインのうち、「現状の発電ミックスの加重平均排出量」を選定する。すなわち、現状（現時点で2002年の EGAT 実績データが最新）の発電ミックスの加重平均排出量（本プロジェクトの売電量にグリッド電源の加重平均排出係数を乗じた値）をベースラインとする。

### c. リークージの検討

本小規模 CDM プロジェクトが該当するタイプ I.D の規定によると、当該プロジェクトが既設の発電設備をどこからか移転、導入するケースに該当する場合にリークージを計算することとされている。本プロジェクトはバイオマス発電の新設プロジェクトであり、ホスト国における既設の発電設備を移転、導入するケースには該当しない。したがって、リークージを考慮する必要はない。参考までに本プロジェクトに起因する可能性のあるリークージについて考察する。

本プロジェクトで使用する trash が境界外のどこかで化石燃料の代替となっている事実あるいは情報はまったくない。他方、ライスハスクの一部については、すでにホスト国内でバイオマス発電燃料として使用されている。しかし、本プロジェクトで使用する量が年間 64,300t であって、タイ全土で発生するライスハスクの1.3%程度であることから、本プロジェクト実施によって供給量に支障を来し、領域外で新たな化石燃料の使用を引き起こすとは考えにくい。また、本プロジェクトでは燃料として使用した trash の灰をそのまま肥料としてサトウキビ畑に還元することから、trash を回収した畑での化学肥料の追加施肥は必要なく、したがって追加的な施肥に起因した亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）発生によるリークージはないと考える。結論として、現時点で本プロジェクト実施に起因するリークージはない。

#### d. 温室効果ガス排出削減効果が発生する技術的根拠

EGAT グリッドの電源構成に化石燃料（天然ガス、石油、石炭等）による火力発電が含まれているため、グリッドの排出係数はゼロでないことと、本プロジェクトで使用する燃料がバイオマスであるために排出係数がゼロ（カーボンニュートラル）であることから、これらの差が温室効果ガス削減量となる。

#### e. 温室効果ガス排出削減効果量

EGAT グリッドの平均 CO<sub>2</sub>排出係数（2002年のデータから推定）は0.642t-CO<sub>2</sub>/MWh と算出され、本プロジェクトによる EGAT への年間売電量が54,810MWh であることから、これらを乗じた値、すなわち35,188t-CO<sub>2</sub>が年間のベースライン排出量となる。

バイオマス燃料の排出係数はゼロである。本プロジェクトが該当する小規模 CDM プロジェクトのタイプ I.D の規定によると、売電量やバイオマス燃料使用量（化石燃料との混焼発電の場合）だけがこのタイプのプロジェクトに関わるモニタリング対象項目となっていることから、ここではボイラー起動時の始動燃料使用やバイオマス燃料運搬に伴う軽油燃料使用などの付随的な活動からの GHG 排出量は考慮する必要はないと解釈する。また、リーケージによる GHG 排出もない。

したがって、本プロジェクト活動による CO<sub>2</sub>排出削減量は年間35,188t-CO<sub>2</sub>となる。

#### f. 収益性検討

事業収支計画表から、本 CDM プロジェクトの IRR（10年間）は4.98%と計算される。また、炭素クレジット（CER）の価値を US\$5（¥550）とした場合では、IRR は1.15%上昇して6.13%となる。参考までに、サトウキビ収穫量が過去5年間の平均値ではなく最低値および最高値とした参考ケースでは、IRR はそれぞれ3.59%および6.67%となり、プロジェクト実施期間中のサトウキビ収穫量の変動による IRR の変動はおそらくこの範囲に収まると予想される。また、累積損失が解消して黒字を計上できるのは9年目である。

なお、本プロジェクトについては、燃料として使用するライスハスクの燃焼灰が高値で売却できる可能性もあることから、この収益を含めると事業性はある程度改善するものと期待される。一方、ライスハスクの購入価格は近年の需要過多を反映して高騰しているため、事業経費の一部である燃料購入費用に不確定要素を含んでいる。

### 3. その他

本プロジェクトの意義は、trash の燃焼灰をサトウキビ畑に還元し、肥料としての有効利用をすることによってサトウキビ栽培の持続的発展可能な状況の中で、燃料を確保しバイオマス発電を実現することができるという新たな試みにある。同時に経済成長を遂げつつあるタイでも今後予想される人件費の上昇の中で、いかに収穫経費を抑えるかという問題に対して導入されるであろう機械化を進める一助ともなることである。

また、新設発電所による排煙、排水、騒音、振動等に関する環境影響については十分な対策を講じることにより、周辺環境への影響を抑えた設備とするが、Rajburi 製糖工場周辺には住宅地等が存在しないことから大きな問題は生じないものと考えられる。

以上