

「国際エネルギー・消費効率化等システム実証事業」

(事後評価) 酵素法によるバガスからのバイオエタノール  
製造技術実証事業(タイ)

# 「酵素法によるバガスからのバイオエタノール 製造技術実証事業(タイ)」(事後評価) (2011年度～2016年度 6年間)

## 実証テーマ概要 (公開)

NEDO  
新エネルギー部

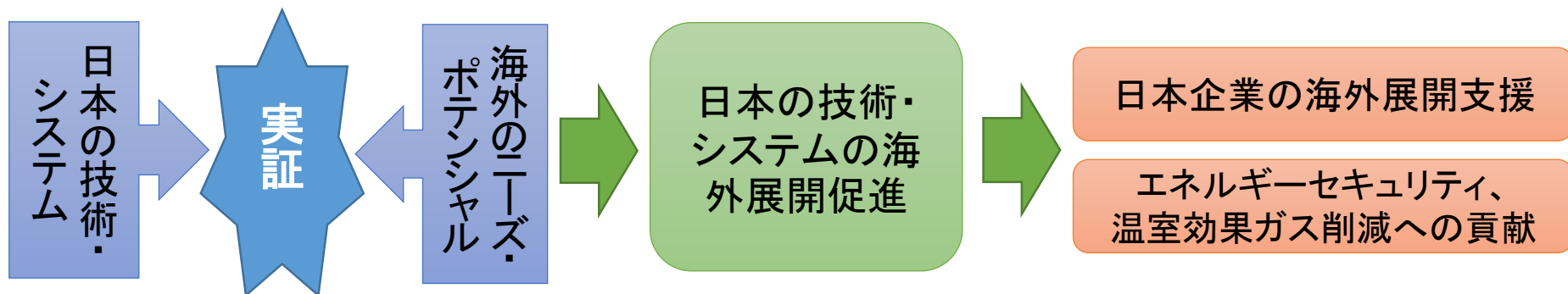
2017年 9月 15日

## 0. 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業」の目的

## ◆ 国際実証事業の目的

- ① 我が国が強みを有するエネルギー技術・システムを対象に、相手国政府・公的機関等との協力の下、海外の環境下にて技術・システムの有効性を実証し、民間企業による技術・システムの普及につなげる。
- ② これにより、海外でのエネルギー消費の抑制を通じた我が国のエネルギー安全保障の確保に資するとともに、温室効果ガスの排出削減を通じた地球温暖化問題の解決に寄与する。

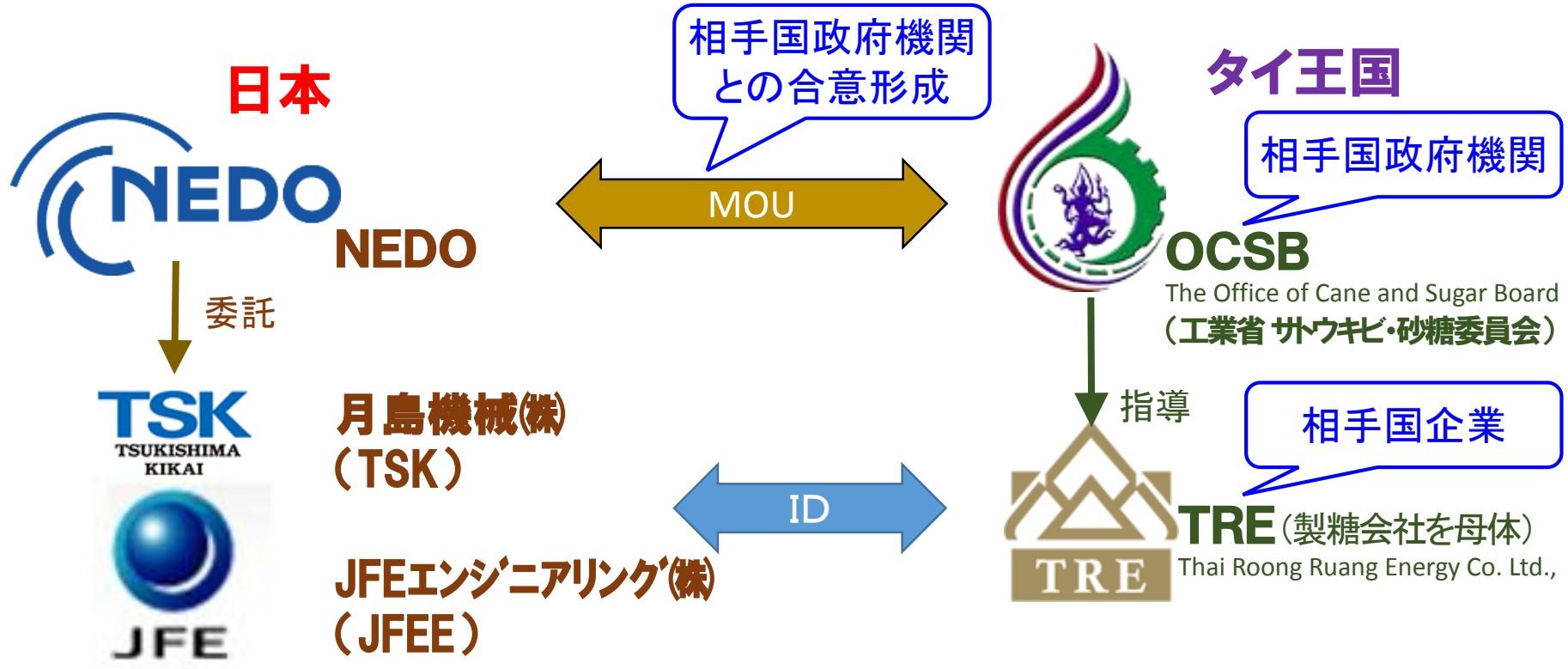
## 国際エネルギー実証のイメージ



# 0. 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業」の目的

## ◆ 実証事業のスキーム

○ 相手国政府機関との合意形成(MOU)により実証事業への協力を得る



【TSK】  
オンサイト酵素生産技術

【JFEE】  
総合エンジニアリング技術



【ニーズ】  
バイオエタノールの導入促進

【ポテンシャル】  
大量に発生するバガスの活用

# 0. 発表内容

大項目	中項目	ポイント、内容
1. 事業の位置づけ・必要性	(1) 事業の位置づけ・必要性 (2) 政策的必要性 (3) NEDO関与の必要性	・事業の背景と目的・意義 ・社会的背景、位置づけ ・NEDO関与の必要性
2. 実証事業マネジメント	(1) 実施体制の妥当性 (2) 相手との関係構築の妥当性 (3) 事業内容・計画の妥当性	・相手国との関係構築 ・実施体制 ・実施内容・計画 ・情勢変化への対応
3. 実証事業成果	(1) 事業内容・計画の達成状況と 成果の意義	・実施計画に対する取組結果 ・事業の成果・達成状況 ・設定された項目以外の成果
4. 事業成果の普及可能性	(1) 事業成果の競争力 (2) 普及体制 (3) ビジネスモデル、政策形成・ 支援措置 (4) 市場規模、省エネ・CO2削減効果	・タイ国における需要 ・既存のエタノールとの比較 ・既存技術との比較 ・普及に向けた体制 ・ビジネスモデル ・社会・経済への波及効果
5. 総括・まとめ		

# 1. 位置付け・必要性

---

# 1. 位置付け・必要性(意義)

## ◆ 事業の背景と目的・意義

### 〔背景〕

- タイ政府による**バイオエタノール導入義務化に伴う需要の増加**
  - 原料は主に製糖副産物のモラセスと澱粉用キャッサバ芋が使われており、**需要増を賄うために原料の増産が不可欠**
- タイでは、**食料と競合しないバガス(製糖(搾糖)副産物)からのバイオエタノール製造技術は未確立**
  - バガスエタノールの製造技術の**実用化**は、タイのバイオエタノールの増産、**安定供給**に資する

### 〔目的〕

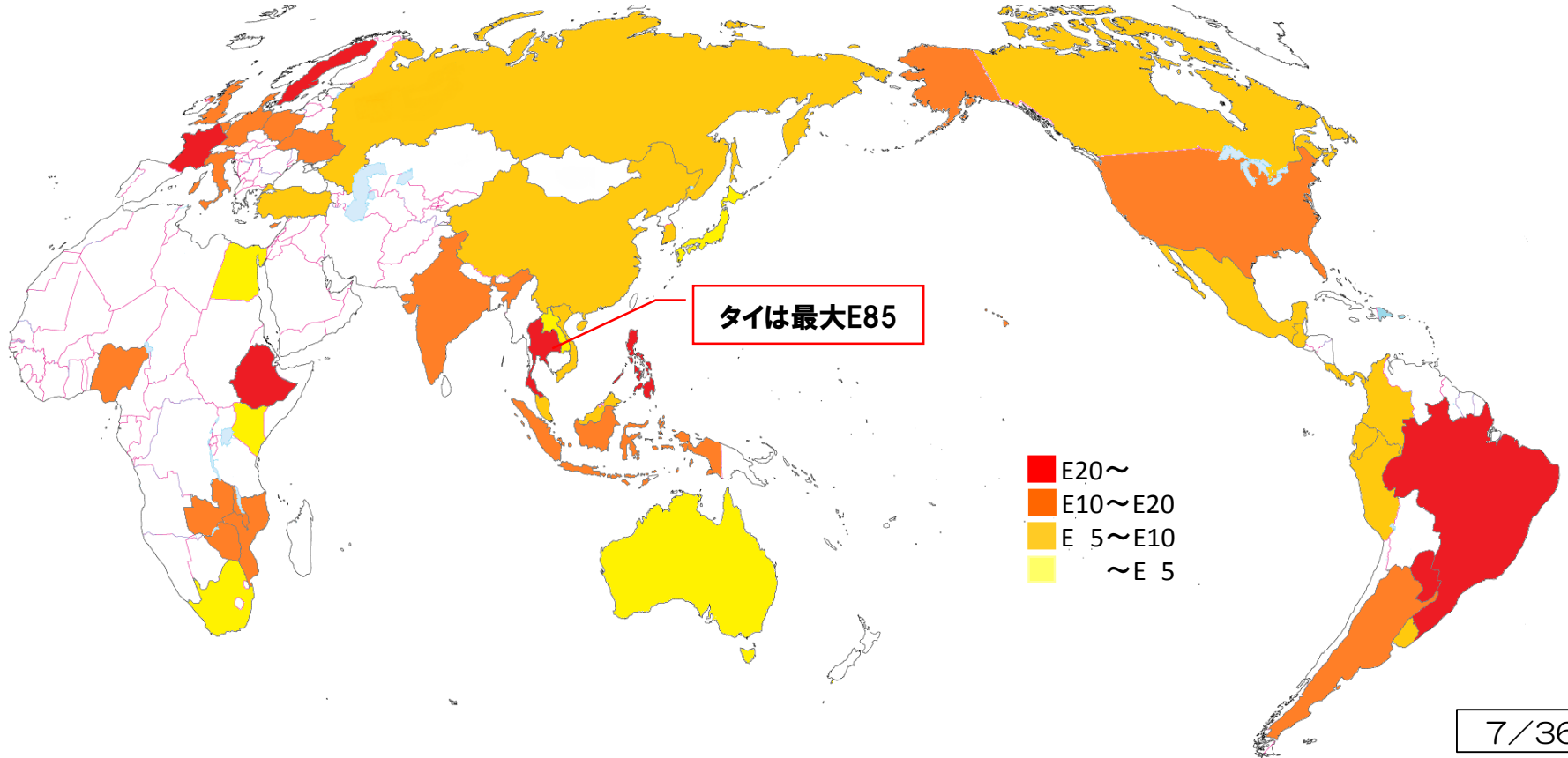
- 予め実施したFS調査により明らかにした**技術課題**に対し、**技術実証**でバガスエタノール製造技術の**有効性**を検証
  - タイでの**技術普及**を図る。

# 1. 位置付け・必要性(政策的必要性)

## ◆ 社会的背景・位置づけ

○地球温暖化への対策として、各国でバイオエタノールの導入が進んでおり、中でもタイ王国は最も導入に積極的な国の一つ。

各国のバイオエタノール導入政策 (2030年までの政策ベース)



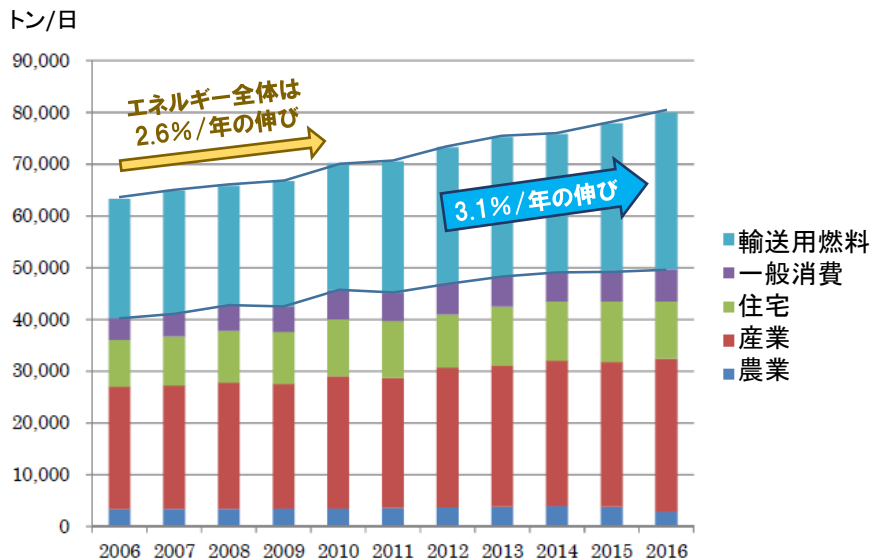
# 1. 位置付け・必要性(政策的必要性)

## ◆ 社会的背景・位置づけ

○タイ王国では経済発展に伴いエネルギー消費量が増大しており、特に輸送用燃料は3.1%/年で消費が増大している。

→ **バイオエタノールの生産量を20年で3.5倍に増産する方針**  
(AEDP2015)

タイにおけるエネルギー需要の伸び(石油換算)



AEDP2015に基づく目標値

再生可能液体燃料	単位	2014年実績	2036年目標
バイオディーゼル	百万L/日	2.9	14.0
<b>バイオエタノール</b>	<b>百万L/日</b>	<b>3.2</b>	<b>→ 11.3</b>
熱分解合成油	百万L/日		0.5
液化メタン	トン/日		4,800
その他	石油換算トン		10
再生可能液体燃料計	石油換算トン	1,782	8,712
総液体燃料消費量	石油換算トン	26,801	34,798
再生可能燃料比率		6.6%	25.0%



# 1. 位置付け・必要性(政策的必要性)

## ◆ 社会的背景・位置づけ

○バイオエタノールを増産するには、サトウキビ・キャッサバの増産が必要だが、サトウキビの栽培面積拡大は限られるため、政府はキャッサバの生産量拡大に期待

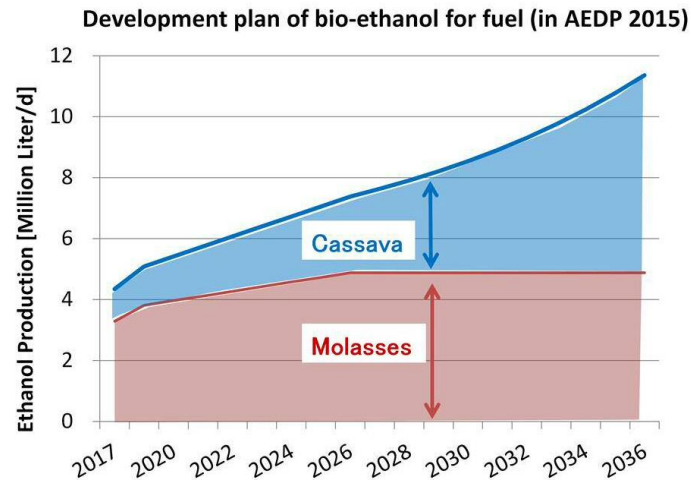
→然し、キャッサバの栽培面積拡大と単収増の両立は難しいとの指摘も

○そこで、**廃棄されているバガス**  
(サトウキビを搾った後の粕)から**バイオエタノールを生産する技術を提案**

年間5,000万t発生するバガスのうち、**1,000万tが未利用**と推定(月島調べ)



**バイオエタノール生産量(2036)の10%相当を代替できる可能性あり**



サトウキビ

バガス

# 1. 位置付け・必要性(NEDO関与の必要性)

## ◆ NEDO関与の必要性

### ●本事業をNEDOが関与して実施する必要性

- ・バガスエタノールの生産には、技術的チャレンジがあり、民間企業のみで進出するにはリスクが大きいため、官民一体の取り組みが必要。
- ・タイ政府としてもバイオエタノールの増産を目論んでいる中、OCSBとの連携により、タイ側の強い協力を得て事業を実施することが有効。

**NEDOとOCSB間でMOUを締結し実証事業・普及活動等への支援を要請**

### ●NEDOによる関与の結果

- ・OCSB、TREの協力を得て、事業化に必要なノウハウ、データを取得しつつ、普及セミナー等により本技術を日本・タイの関係者に広く周知した。
- ・更に、事業終了後も(MOUの義務に関わらず)、OCSBから継続的に各種情報提供や技術の普及支援等の事業化への協力を得ている。

## 2. 実証事業マネジメント

---

## 2. 実証事業マネジメント(実施体制の妥当性)

### ◆ 相手国との関係構築(俯瞰図)

日本

タイ王国

#### 工程会議

実証運転期間中(2015/11~2017/3)に5回開催



OCSB  
The Office of Cane and Sugar Board



NEDO

委託



月島機械(株)

事業者から進捗を報告

指導

#### 進捗会議



JFEエンジニアリング(株)



TRE  
Thai Roong Ruang Energy Co. Ltd.,

## 2. 実証事業マネジメント(相手との関係構築の妥当性)

### ◆ 相手国との関係構築

#### ● 工程会議を通じてOCSBと実証運転の進捗を協議

- ・実証運転結果の報告に加え、コンタミ等の具体的な問題点も共有
- ・バガスエタノール製造技術の課題や対処方針を協議することでOCSBの技術に対する関心・理解が深まる。

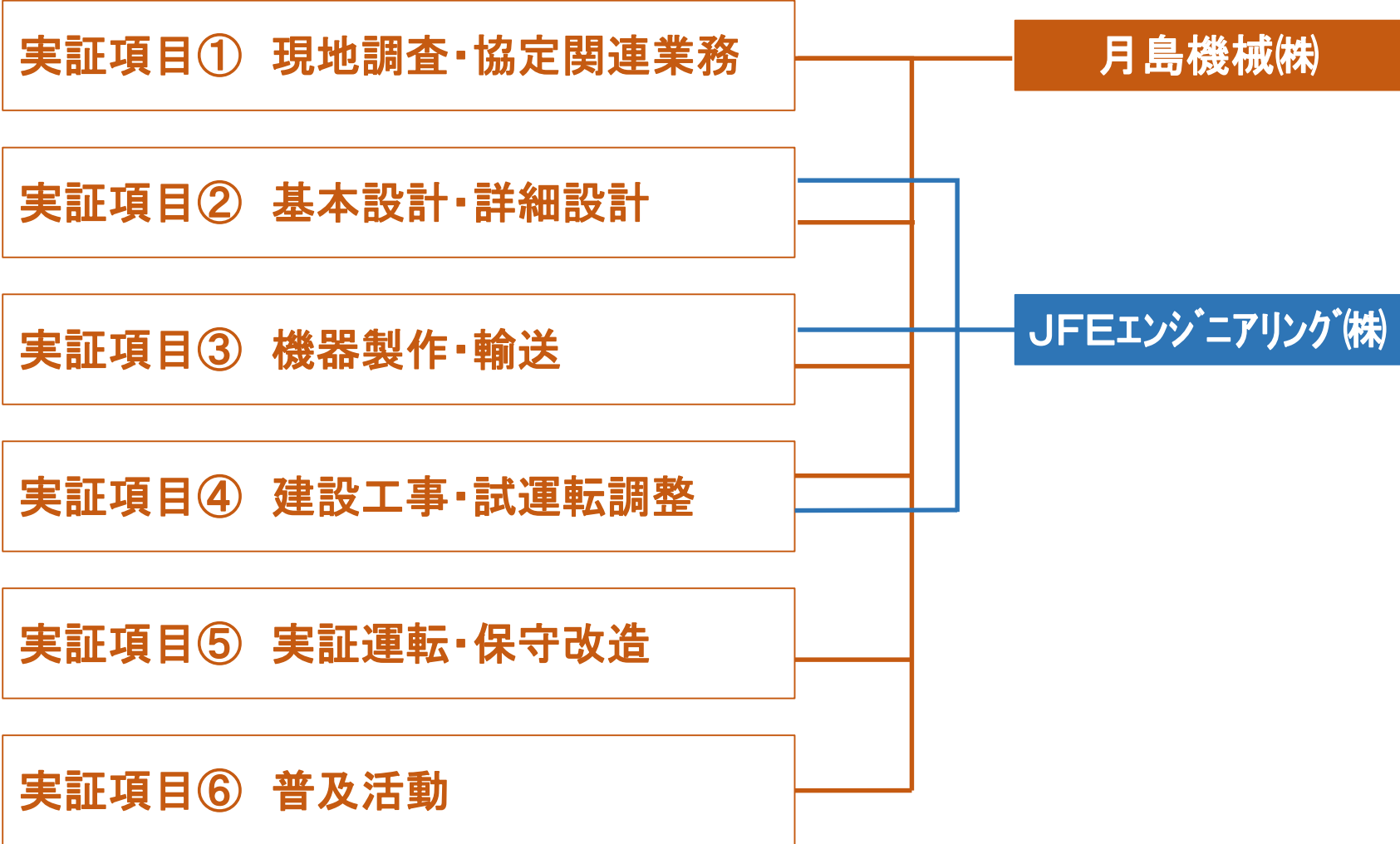


#### ● OCSBから自発的な関与を引き出す

- ・ソムサック局長が全ての工程会議に参加するだけでなく、自らプラントに赴き、実証運転状況を確認
- ・事業終了に伴う資産譲渡および活用を見据え、TSKの指導の下OCSB技術員が実証運転に参加し、技術研修を実施した。
- ・OCSBが製糖業界、研究者等の関係者200名を集めたセミナーを開催し、その後も継続的に技術の普及に協力している。

## 2. 実証事業マネジメント(実施体制の妥当性)

### ◆ 実施体制 実施者と実施項目



## 2. 実証事業マネジメント(実施体制の妥当性)

## ◆ 事業内容・計画 実施計画

○実施計画に基づき、以下6項目について実施

実施項目	実施内容
①現地調査・協定関連業務	事前調査、日泰事業者間の協定付属書(ID)の締結、及びNEDO-OCSB間の基本協定書(MOU)の締結を支援。
②基本設計・詳細設計	実証設備の基本・詳細設計、土木・配管電気計装等の付帯設備の各工事に関する基本計画、基本・詳細設計
③機器製作・輸送	実証設備の機械装置の製作及び現地への輸送、または現地にて機器の作製を行う。
④建設工事・試運転調整	実証設備の建設工事(土木、築据付配管・ダク電気計装等)、実証設備の試運転計画の立案と運転調整。
⑤実証運転・保守改造	計5回の実証運転を計画し、バガスの季節変動を把握すると共に、最適運転条件を明らかにする。 取得したデータから技術の優位性と経済性を評価する
⑥普及活動	普及セミナーを通じて、タイ国内で技術の普及を図る

## 2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

### ◆ 実施内容・計画 課題認識

○実証運転において、以下の課題に対する検証を実施

		技術面の課題	事業面の課題
原料	バガスの確保	貯蔵中に変化する成分変化を把握	安価で定量的に確保できるか
	ハンドリング	異物の除去と閉塞の防止	
製造行程	前処理	水熱処理条件の最適化	希硫酸法との経済性比較
	酵素生産	オンサイト生産技術の確立	酵素生産コストの把握
	糖化同時発酵	バガスに対する菌の有効性検証 攪拌等の機器の適合性を検証	糖化発酵コストの把握
	蒸留	もろみ液の蒸留性状把握	蒸留コストの把握
運転	人材育成	運転マニュアルの作成	現地人運転員のトレーニング
	安全対策		安全対策の周知徹底

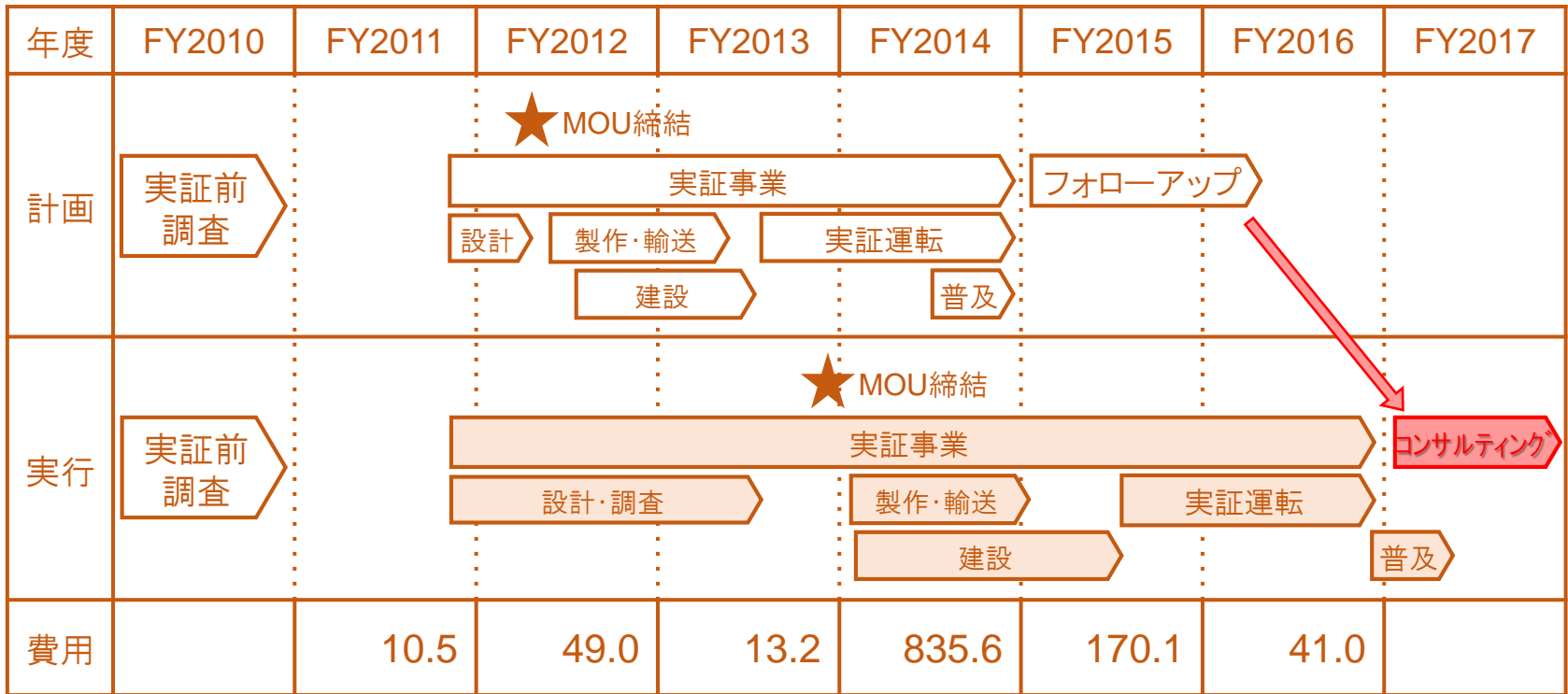


## 2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

### ◆ 事業内容・計画 スケジュール

- ・MOU締結が遅れ、事業期間を2年延長して事業を完遂
- ・NEDOの支援によるフォローアップは行わず、TSK・TRE間でコンサルティングを計画中(費用はタイ側負担で協議中)

実証事業のスケジュール



## 2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

### ◆ 情勢変化等への対応

#### ● タイ国政変の影響

- ・2011年8月の政権交代に伴うタイ政府方針の変更により、免税特権の行使に制限※を設けられ、さらに閣議承認の要否をタイ側で検討するために時間を要し、MOU交渉が難航した。

※ 新政府は、MOUにおける免税措置について、タイ-日本両政府の代表による署名を必要としたが、「日本政府代表による署名」は外務省所管につき、NEDOでの対応は困難

- ・結果的には関税をタイ側が負担することで関税問題を解決し、同時に閣議承認も回避した。

#### ● 事業環境の変化

- ・タイにおいて固定価格買い取り制度(FIT)が浸透し、**バガスの発電燃料としての利用が進み、バガスの価値が上昇。**

→当初、製糖工場からの無償供給を想定していたバガス、ユーティリティー(電気、蒸気)について、それぞれ有償購入、自前生産するシステムで事業採算性を再評価。

### 3. 実証事業成果(概要)

---

## 3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

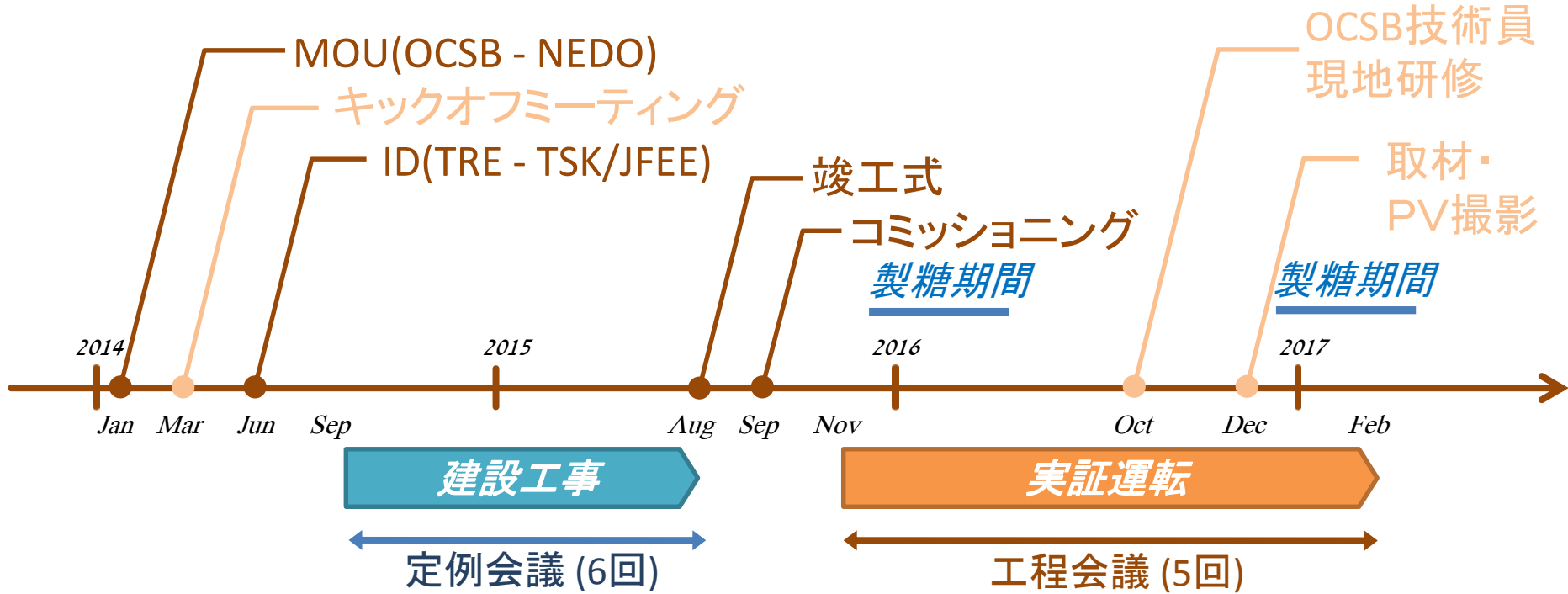
## ◆ 実施計画に関する取組結果(概要)

## 目標と成果

実施項目	取組結果	結果	備考
①現地調査・協定関連業務	事前調査により、TSK・JFEEとTRE間でIDを締結し、MOU締結を支援した。	○	21頁
②基本設計・詳細設計	実証設備および付帯設備の基本・詳細設計を実施し、各工事に関する基本計画を立案した。	○	22頁
③機器製作・輸送	実証設備のうち、培養関連設備および高圧反応器は日本および第三国で製作・輸送した。上述以外については現地に於て調達した。	○	23頁
④建設工事・試運転調整	実証設備の建設工事を遅滞なく実施した。 実証設備の試運転計画の立案と運転調整を行った。	○	24頁
⑤実証運転・保守改造	5回の実証運転で運転条件を明らかにした。 バガスの性状変化対応した設備の改造を実施。 <b>TREと協力して安全対策を講じマニュアルを整備した。</b>	◎	25頁
⑥普及活動	普及セミナーでタイ国内の製糖企業等に技術を紹介。 <b>OCSB研修生受入、TRE運転員のトレーニング等実施。</b>	◎	26頁

### 3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

#### ◆ 事業の成果・達成状況① 相手国機関との協定



### 3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

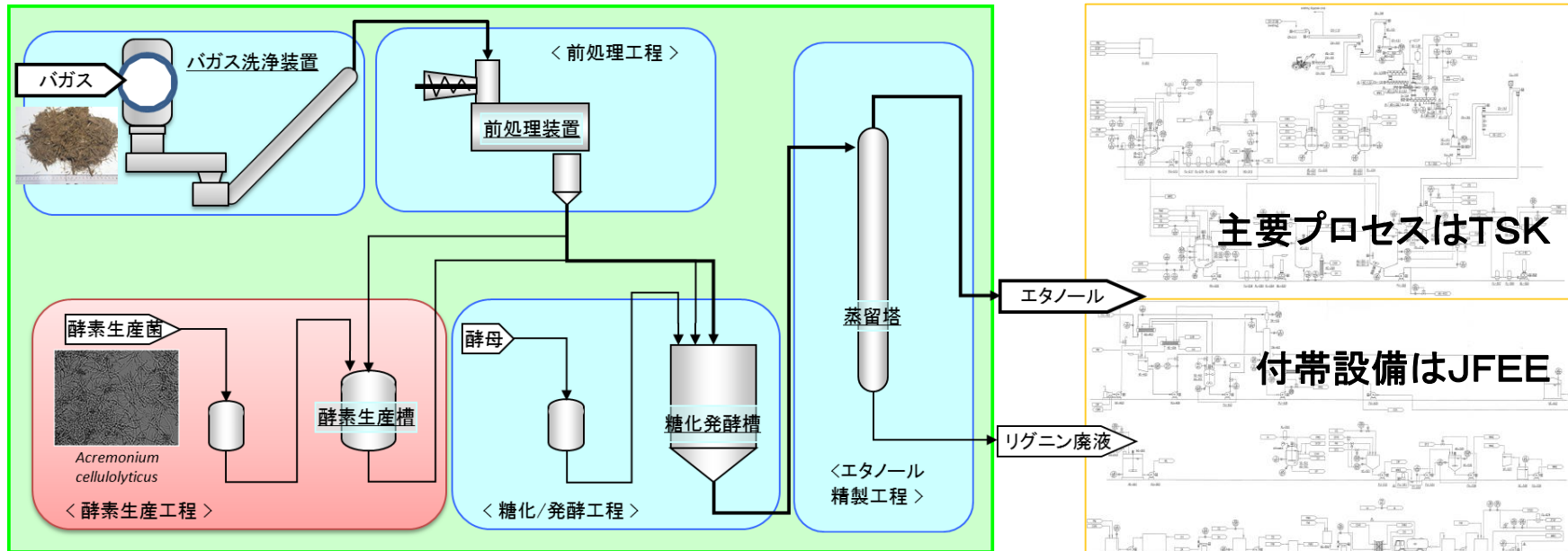
#### ◆ 事業の成果・達成状況② 基本・詳細設計

##### ● 基本設計

- ・商用機の1/20規模のプラントを想定し、酵素生産槽、糖化発酵槽を設計
- ・前処理は連続式とし、糖化発酵はバッチ式とする

##### ● 詳細設計

- ・TSK Engineering Thailand(月島のタイ現地法人)にて実施



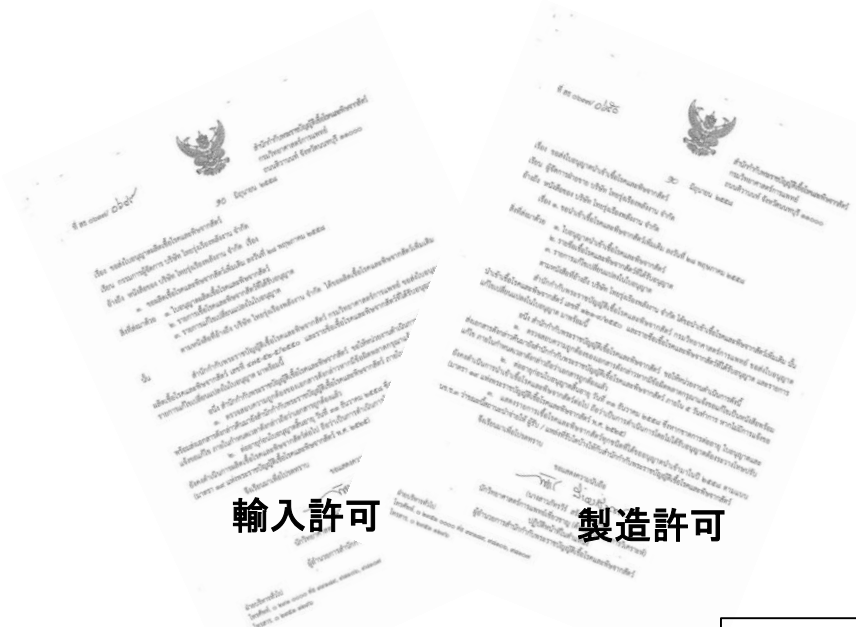
#### ◆ 事業の成果・達成状況③ 機器製作・輸送

##### ● 機器製作

- ・培養関連・前処理バガス搬送機器は事前に日本で洗浄性を検討し調達
- ・前処理反応器は、実績のある第三国のメーカーを採用

##### ● 輸送

- ・機械の輸送は、月島製糖機器輸出の機能を活用し通関を実施
- ・酵素生産菌、酵母等の微生物の輸入は、TREの支援を受け、タイ国保健衛生局の許可を取得





### 3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

#### ◆ 事業の成果・達成状況④ 建設工事・試運転調整

##### ● 建設工事

- ・TSK Engineering Thailandが主体となって建設を監督し遅滞なく工事を完了

##### ● 試運転

- ・プラント工事完了後、水運転により各機器の動作確認を実施

	2014年					2015年	
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
現場準備	■						
杭打・基礎工事		■	■	■	■		
架構建設工事					■	■	■
据付工事						■	■
配管工事							■
電気計装工事							■
水運転							
前処理装置試運転							

	2015年						
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
現場準備							
杭打・基礎工事							
架構建設工事					■		
据付工事	■	■					
配管工事	■	■	■				
電気計装工事			■	■	■		
水運転						■	■
前処理装置試運転							■

8月29日  
竣工式





## 3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

## ◆ 事業の成果・達成状況⑤ 実証運転

## 目標と成果

	目標	成果	達成度	残った課題／変更した場合はその内容など
項目1. バガスからのエタノール 生産システムの技術 確立	時期により変化するバ ガスの影響を考慮した 生産システムの構築。	前処理条件を時期により変えることにより、年間通して安定して、目標値より高い生産量を達成。商業モデルの設計因子を獲得。	◎	なし
項目2. オンサイト酵素生産の 技術確立	バガスから酵素を生産 する技術を確立	バガスを用いた酵素生産を実証。商業モデルの設計因子を獲得。	○	なし
項目3. 経済性の高い商業モ デルの構築	経済的に魅力がある商 業モデルを構築	・C5+C6より採算性が高いモデルとして、C6のみを選択。 ・事業期間中の環境変化に対応した採算性の高いモデルを提案。	○	更なる競争力のあるモデルモデルへのブラッシュアップ
項目4. 代エネ・CO2削減効果	150,000ton/年の設備で 代エネ効果量 301.6 TJ/年 CO2削減量 28,994 t-CO2/年	商業機一基(198,000ton/年)あたり 代エネ効果量 443TJ/年 CO2削減量 32,000 t-CO2/年	○	

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

### 3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

#### ◆ 事業の成果・達成状況⑥ 普及活動

##### ● OCSB研修生の受け入れ

- ・TSKが実証運転を通じてOCSB技術員を指導。実証事業後のプラント活用について協議・検討を行っている。

##### ● メディア・WEBで発信

- ・タイ国営放送の取材を基に作成した動画を工業省ホームページに掲載し事業を紹介

##### ● 普及セミナー・サイトツアー

- ・タイ国製糖関係者を中心に200の参加者を募り、OCSB主催による普及セミナーを開催。
- ・エタノール製造事業の周辺情報※についても紹介。

※ タイ国投資委員会(BOI)からエタノール製造事業への政府支援制度を説明、また、不良環境に強いサトウキビ新新種の紹介等の話題提供を行った。

タイ工業省のホームページ



セミナー・ツアーの様子

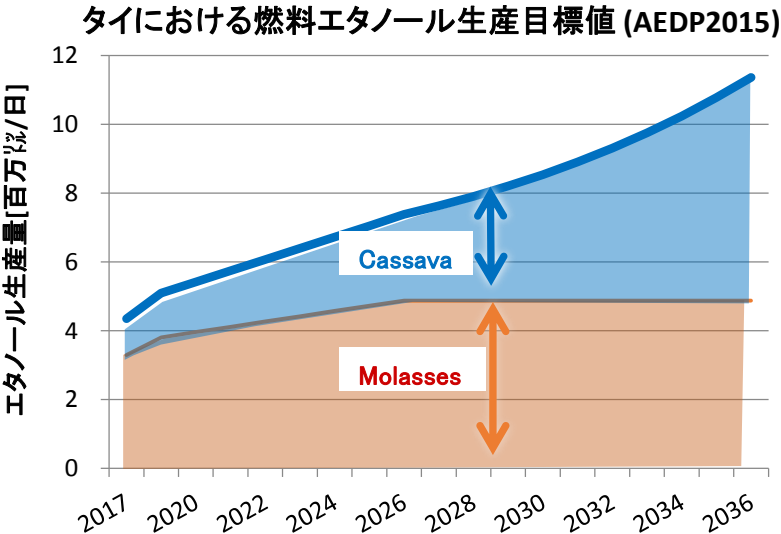
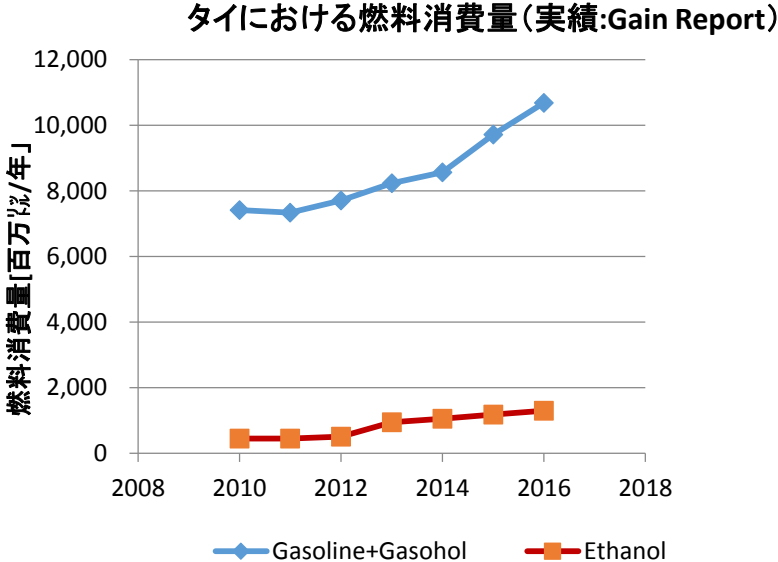
## 4. 事業成果の普及可能性(概要)

---

# 4. 事業成果の普及可能性(事業成果の競争力)

## ◆ タイ国における需要の見込み

○自動車燃料消費量、エタノール消費量が堅調に伸びており、振興政策(エタノール混合義務化、エタノール増産目標)も明確であることから、燃料用エタノールの需要は増加し続けると考えられる



## 4. 事業成果の普及可能性(事業成果の競争力)

## ◆ タイ国で流通する既存バイオエタノールとの比較

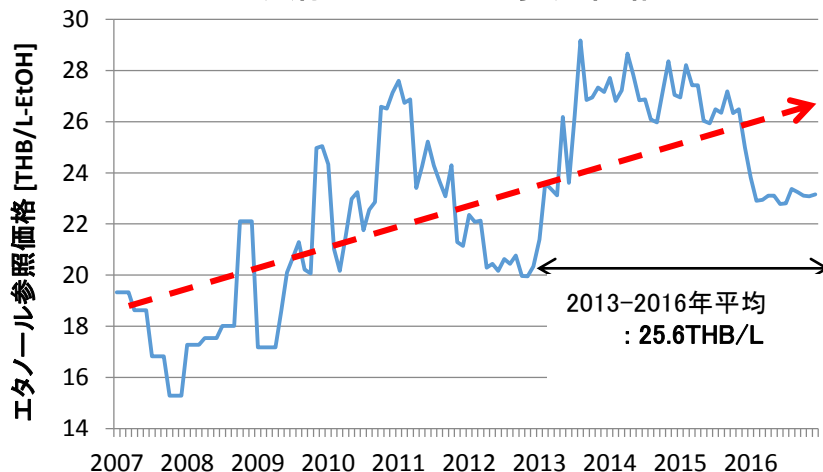
○タイ国内で流通しているモラセス、キャッサバエタノールと比較して競争力ある製造コストを達成。

		モラセス(*1)	キャッサバ(*1)	バガスエタノール(C6)	
				事業開始時	終了時
原料価格	[THB/ton]	3,600	2,500	0	400
単位生産量	[L-EtOH/ton-原料]	240	160	-	96(*2)
コストに占める原料費	[THB/L]	15.0~20.9	15.6	0	4.2
<b>生産コスト</b>	<b>[THB/L]</b>	<b>21.1</b>	<b>22.7</b>	<b>(17.0)</b>	<b>20.6</b>

(\*1) 出展: Alic レポート「タイのエタノール政策と砂糖及びでん粉業界への影響」参照

(\*2) 50%水分-tonあたりで表示

タイ政府 エタノール参照価格



## 4. 事業成果の普及可能性(事業成果の競争力)

## ◆ セルロースエタノール製造技術としての比較

○2万kl/年の設備で、採算レベル(3~5万kl/年)の商業機並みのコストを実現

プロセス保有会社	DDCE <sup>(*)</sup>	Beta Renewables	POET	IOGEN	TSK
事業会社	DDCE	GranBio	POET	Raizen	TRE
所在地	アメリカ ネバダ	ブラジル アラゴアス	アメリカ アイオワ	ブラジル サンパウロ	タイ サラブリ
原料	コーンコブ・茎葉	バガス	コーンコブ・茎	バガス	バガス
量 ton/y	375,000	400,000	285,000		
生産能力 kL/y	114,000	82,000	76,000	40,000	19,000
実績 kL/y	2017年本格稼働予定	停止中(2018年再開予定)	稼働状況不明	7,000(2016年)	-
生産コスト <sup>*2</sup> THB/L	30.0	23.8	30.4	19.4	20.6
投資額	7,000M THB	8,800M THB	9,200M THB	3,300M THB	-

(\*) DDCE : Dupont Danisco Celulosic Ethanol

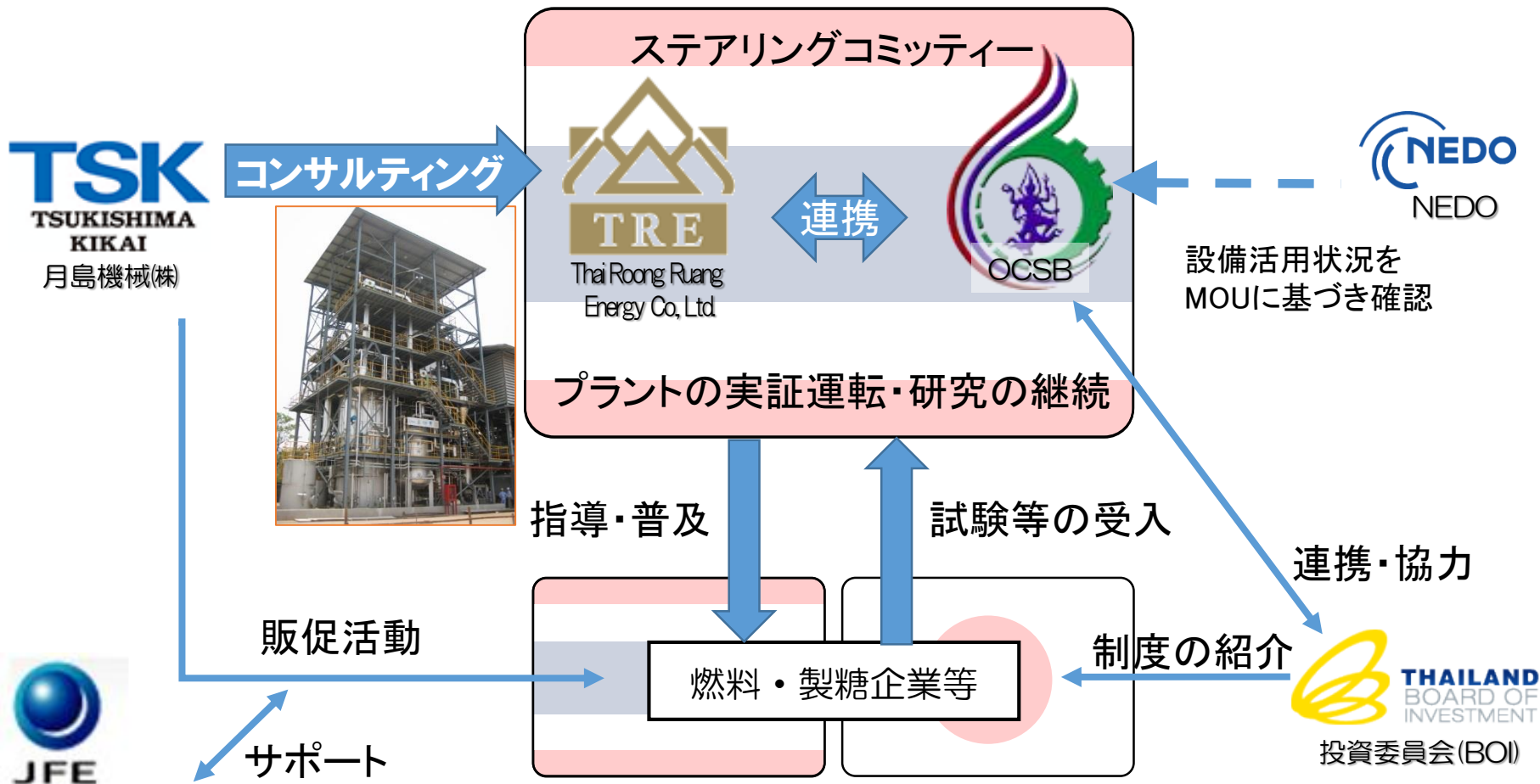
(\*)2 生産コストはLux Researchのレポートを、0.03[THB/\$]として算出

○2万kl/年のプラントが導入できる規模の製糖工場は24工場  
→タイでの普及可能性を広げる(3万kl/年なら3工場)

# 4. 事業成果の普及可能性(普及体制)

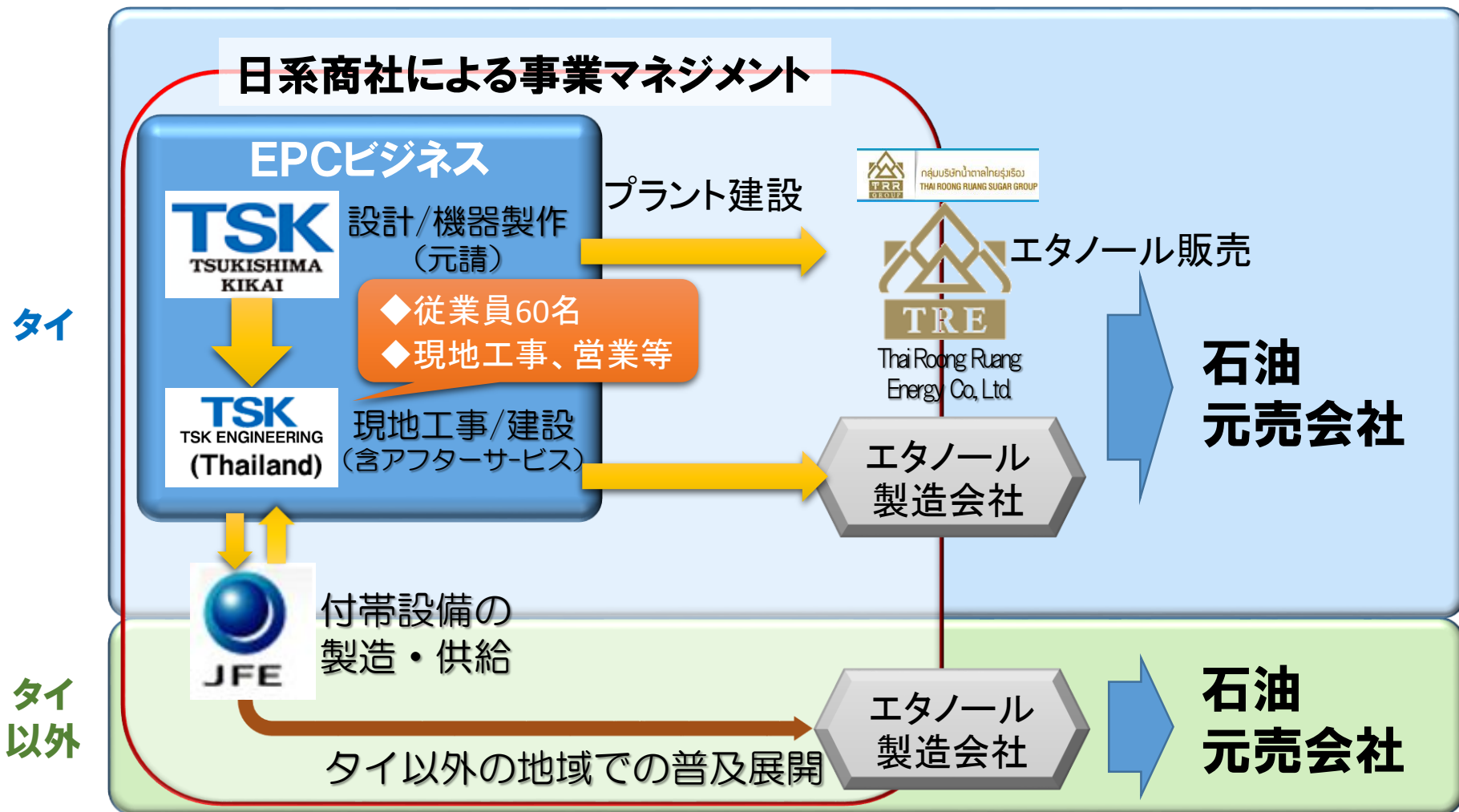
## ◆ 普及に向けた体制(普及モデル)

○月島の支援のもと、OCSBとTREがプラントの実証運転を継続  
本技術に関心を持つ企業の試験・研修を受け入れ、普及を図る



◆ ビジネスモデル

○ 月島を幹事会社としてEPCビジネスを展開(1号機はTREを想定)





## ◆ 社会・経済への波及効果 代エネ・CO<sub>2</sub>削減効果

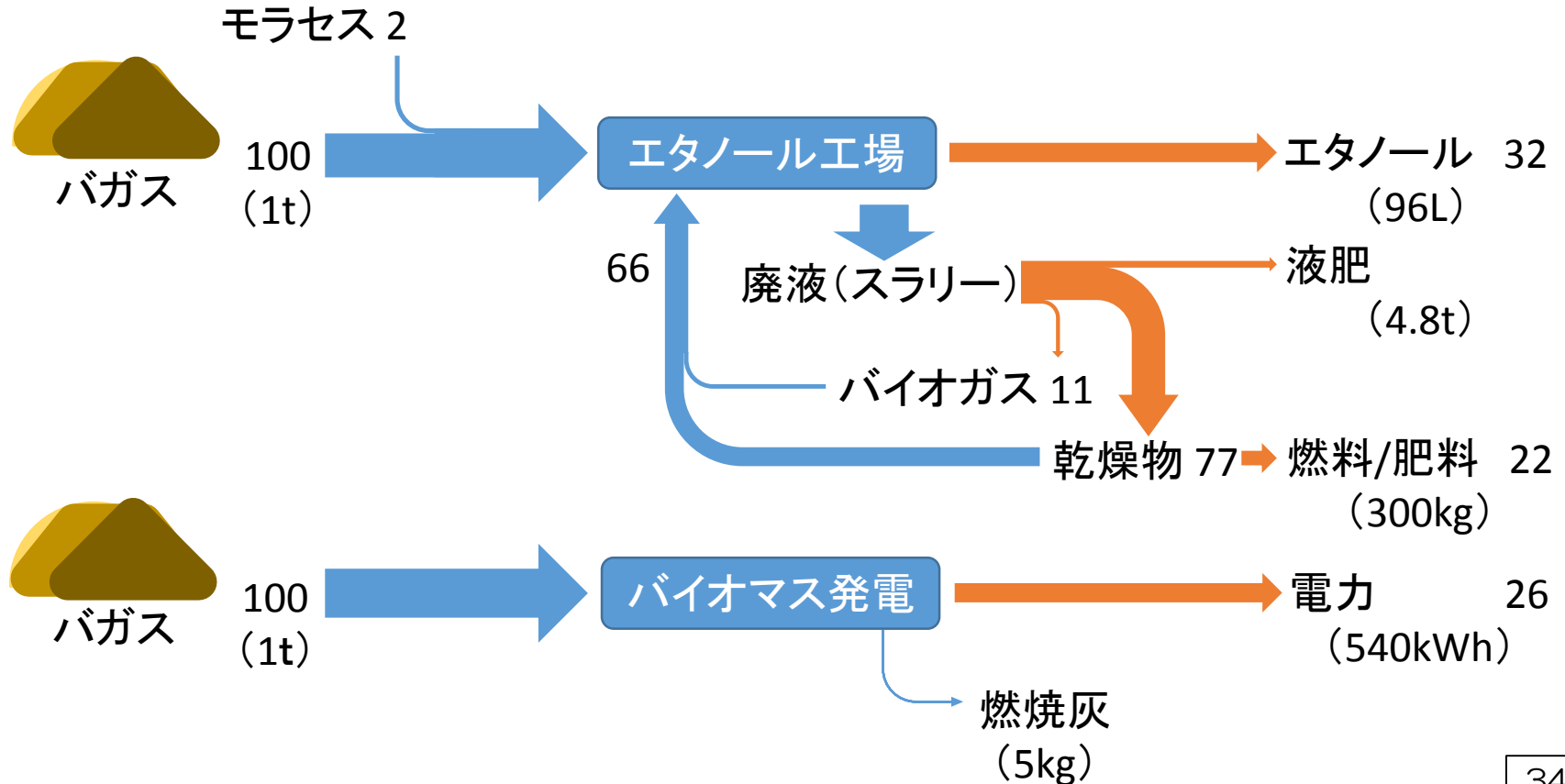
・初号機をTREに建設、2基/年の受注を目指し地球温暖化防止に寄与

年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	.....	2035	2036	備考	
TRE	実証運転		初号機建設		エタノール生産								
拡販	プラントの最適化検討				2,3号機建設		4,5号機建設	2基/年の受注獲得を目指し 機器拡販活動を推進				受注数 25件を 目指す	
バガス エタノール 生産量	<p>政府目標(最終) : 11.3百万ℓ/日</p> <p>1.5百万ℓ/日 総生産量の13%</p> <p>エタノール生産量 [百万ℓ/日]</p> <p>2017 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036</p> <p>◆ 計画生産総量    -★- バガスエタノール生産量</p>												
CO <sub>2</sub> 削減・ 代エネ効果	-	-	-	-	32.1	32.1	64.2	.....				802.1	千t/年 百万ℓ/年
	-	-	-	-	11.6	11.6	23.2	.....				289.5	

◆ 社会・経済への波及効果 持続可能なモデルの提案

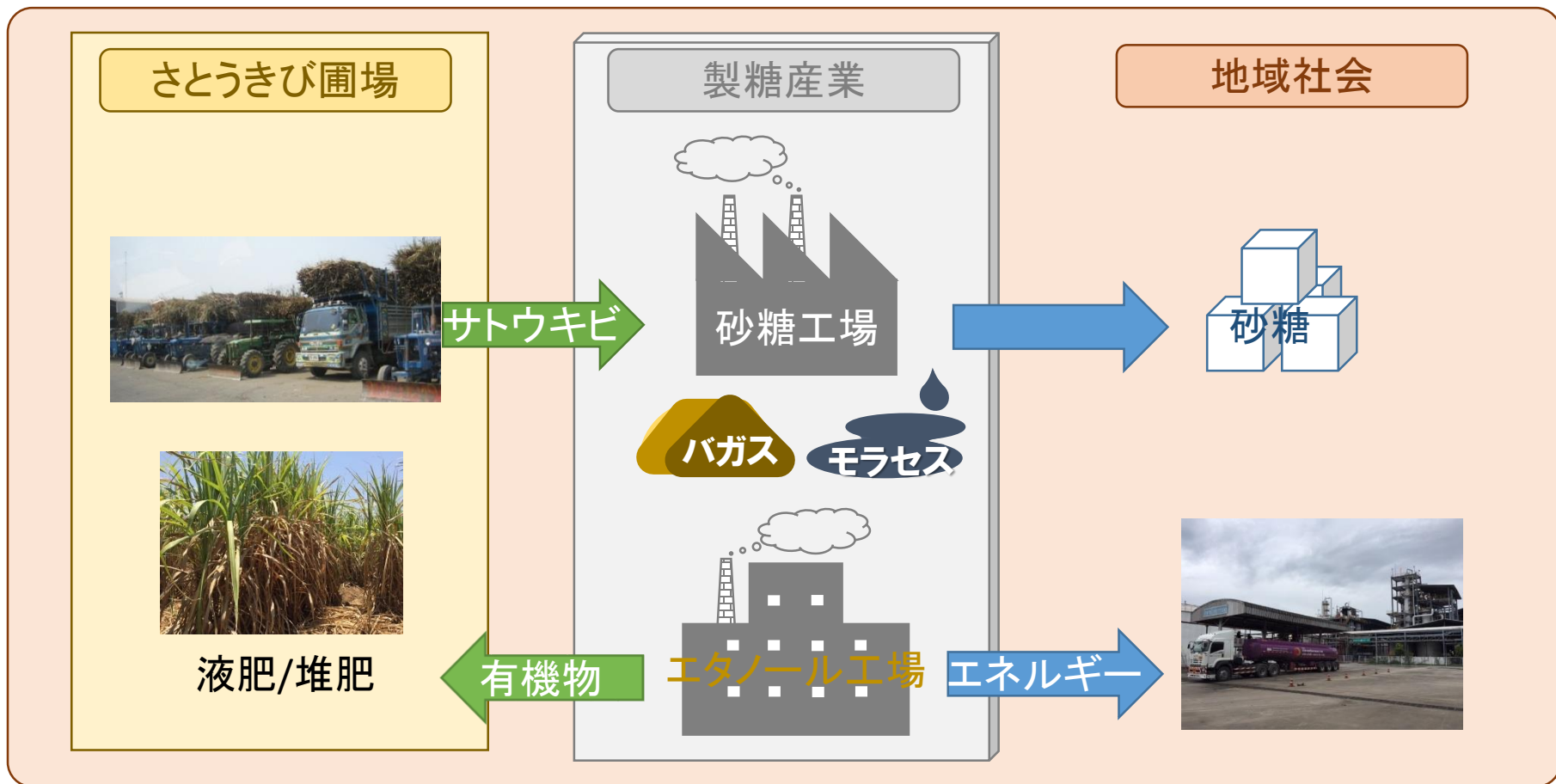
● 発電とエタノールの比較

- ・発電は、FIT制度による支援もあり経済性に優れる。
- ・エタノールは熱量回収率が高いうえ、有機物の圃場還元が可能。



## ◆ 社会・経済への波及効果 持続可能なモデルの提案

○製糖産業が食料とエネルギーを併給しつつ、サトウキビ圃場へ有機物を還元し、持続可能な生産に寄与する。



## ◆ まとめ

評価項目	取り組み内容	結果
1. 事業の位置づけ ・必要性	ニーズとシーズの適合性と 温室効果ガス削減への寄与	バガスを原料とすることで、タイ国のバイオエタノールの増産に貢献し、タイ国のエネルギー事情の改善と温室効果ガス削減に寄与できる
2. 実証事業 マネジメント	相手国政府機関と連携して 実証事業を計画通り遂行する	OCSBと緊密な連携を図り、実証運転期間中の課題を共有することで、実証を完遂するだけでなく、相手国側(OCSB・TRE)の積極的な関与を引き出した
3. 実証事業成果	実用可能なプラントを建設し 5回の実証運転を行う	バガスエタノール製造における技術面・商業面での課題を洗い出し、バガスの成分の季節変動にも対応したバイオエタノールの製造プロセスを構築した。
4. 事業成果の普及 可能性	普及可能なビジネスモデル の提案	事業環境の変化にも対応した商業モデルを構築し、普及に向けオペレーションマニュアルの整備や、事業化に向けた体制作り、市場調査等を継続している