

2023年度成果報告会 プログラムNo.20

バイオジェット燃料生産技術開発事業／
実証を通じたサプライチェーンモデルの構築／

BECCSを活用したガス化FT合成プロセスによる SAF製造技術のビジネスモデル検証

発表日：2024年2月1日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 吉田 章人

団体名 三菱重工業(株)

問い合わせ先 E-mail: akito.yoshida.wr@mhi.com

1. 目的

- ▶ ガス化FT合成プロセスの事業性（競争力）を確保し、日本国内での航空燃料の需要を担うためにBECCSを活用したビジネスモデルの成立性を検証する。(FY23)
- ▶ ビジネスモデルの検討過程において得られた新たな原料のガス化FT合成プロセスでの活用可能性を検討する。(FY24)

2. 期間

2023年7月5日 ～ 2025年3月31日

3. 目標（中間）

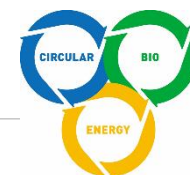
- ▶ ガス化FT合成プロセスの事業性（競争力）を確保し、日本国内での航空燃料の需要を担うためにBECCSを活用したビジネスモデルの成立性を検証する。(FY23)
- ▶ ビジネスモデルの検討過程において得られた新たな原料のガス化FT合成プロセスでの活用可能性を検討する。(FY24)

4. 成果・進捗概要

固有技術であるバイオマス直接加熱方式によるガス化炉とBECCS(Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)を組み合わせれば、SAF製造のCO2削減効果が大きい事が実証された。

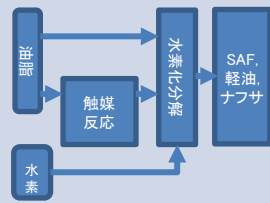
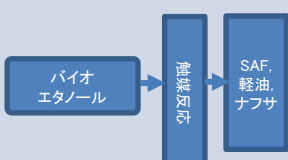
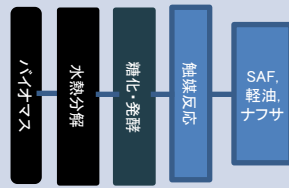
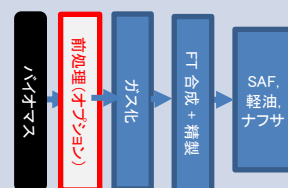
海外の安価で豊富な原料を用いれば、CO2削減の費用対効果はHEFA法と互角以上となる。コスト分析結果から、農業残渣等を用いる事が出来れば、更に競争が高まる可能性が解った。

国内では原料・エネルギー等から未だ十分な競争力を得られておらず、追加検討中。



1. SAF製造技術の現状

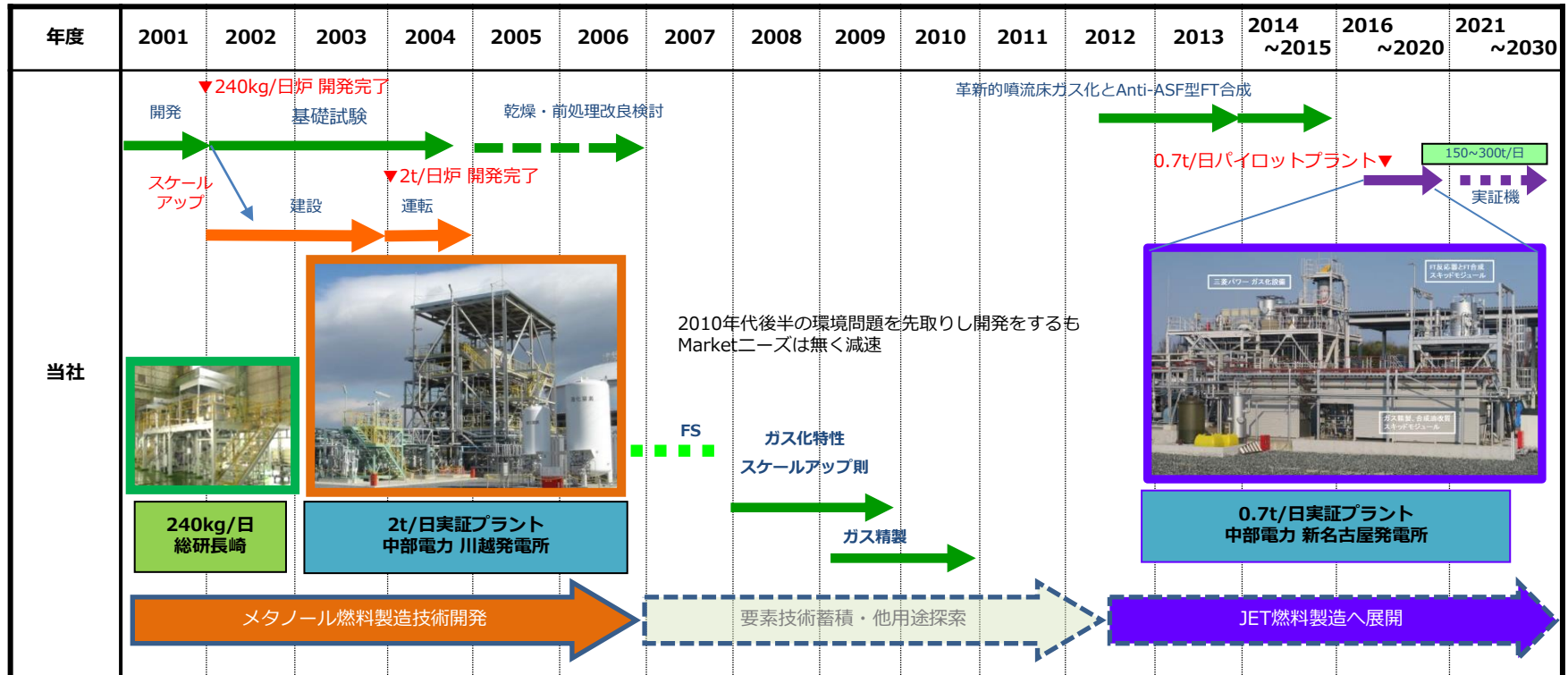
- 既に社会実装されているHEFA法によるSAFの2023年前半頃の欧州でのSAF市場取引価格は3000~3500USD/t FOB。(SAFの比重0.8、140円=1USDとすると、350~400円/リットル)
- HEFAは廃食用油や獣脂を原料としており、原料調達可能量に限りがあることからSAF需要が増えてくると不足する。
- 社会実装を控えているバイオエタノールを原料に用いたATJとバイオマスを原料とするガス化FT合成は、原料が重複していない為、SAF供給量が不足している現状では他の製法と共存可能。但し、設備が簡易なHEFAに比べて、OPEX/CAPEXが不利な為、リットルあたりの製造費用は相対的に高くなる。

Process	可食性バイオマス			非可食性バイオマス
	HEFA	ATJ(第一世代)	ATJ(第二世代)	ガス化 FT合成
原料	<ul style="list-style-type: none"> • 廃食用油、動植物性油/油脂 • 水素 	<ul style="list-style-type: none"> • バイオエタノール 	<ul style="list-style-type: none"> • 草本・パルプ・農業残渣等のセルロースを含む原料等 	<ul style="list-style-type: none"> • 木質バイオマス全般(木質チップ、おが粉、樹皮等)紙スラッジ • 農業残渣等(将来)
プロセス概略	<p>油や油脂の水素化分解</p> 	<p>バイオエタノールを用いた触媒合成</p> 	<p>セルロース由来の発酵エタノールを用いた触媒合成</p> 	<p>バイオマスガス化 + FT合成</p> 
予想価格(¥/L)	社会実装済	社会実装中	Pilot Plant開発中	商業実証段階
	350-400(*1)	不明 (HEFAより高価)	不明 (原理的に第一世代より高い)	検討中 (HEFAより高価)

(*1) 出典 Argus media 2023年3-7月頃の欧州アムステルダム市場のHEFA FOB取引価格。

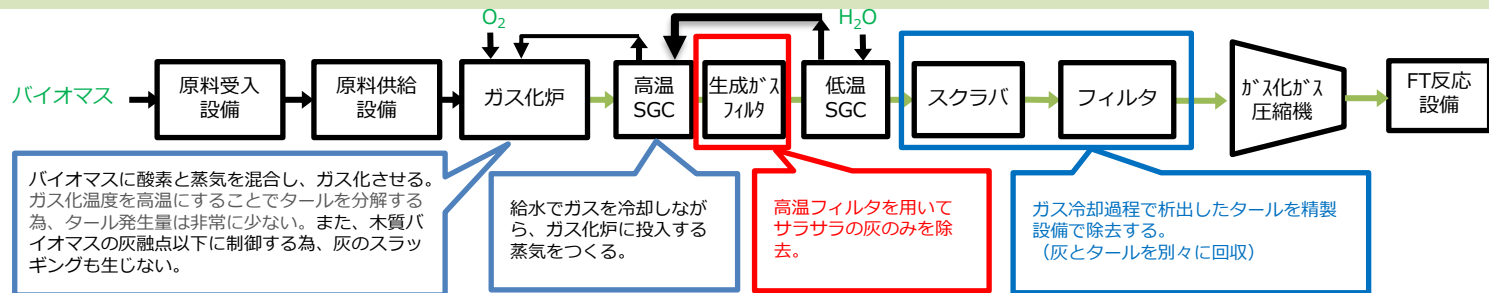
2. MHI/SAF製造技術のご紹介 - 開発経緯

- MHIでは、2001年からバイオマス噴流床ガス化技術の開発に着手。開発初期の段階では、メタノール製造向けとして川越発電所にて2t/日のプロジェクトを完遂。
- メタノール合成とSAF製造に必要な合成ガス組成がほぼ同一であり、同じガス化技術が適用可能であったことから、環境問題意識の高まりを受けて2012年よりSAF製造技術への展開を開始。
- これまで、総研長崎でのラボスケール(240kg/日)にて技術開発を進め、新名古屋発電所にてパイロットプラント(0.7t/日)のプロセス実証を成功裏に完了。ASTM規格の適合を受けて、2021/6/17に国内デモフライトを実施。
- 現在は日本での商業規模実証を実現するための活動を行っており、実証完了次第、2030年前後のCO2削減目標に寄与すべく市場投入を目指す。



3. MHI/SAF製造技術のご紹介 – 技術コンセプト

- 海外等で一般的なバイオマスガス化炉は、バイオマスを化石燃料等で蒸し焼きにして合成ガスを取り出す（間接加熱方式）。弊社技術のガス化炉はバイオマスがSAF原料・燃料を兼ねた直接加熱方式であり、化石燃料を用いない。
- 直接加熱方式は燃焼によるガス流れで、原料に含まれる灰が飛散することによるスラッシング(詰まり)・生成した合成ガス(CO+H₂)に含まれるタール成分による各種問題対策が技術課題であった。
- 弊社のガス化特許技術は次の設計コンセプトで課題をクリアできた。

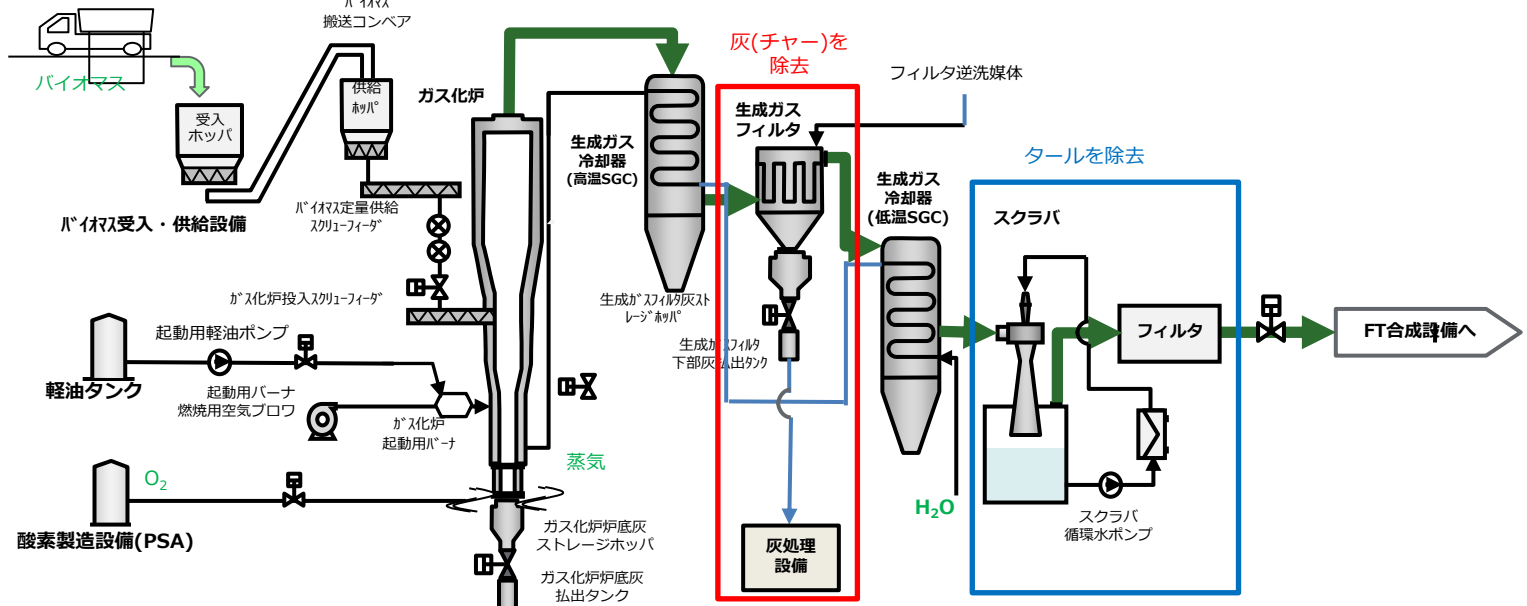


バイオマスに酸素と蒸気を混合し、ガス化させる。ガス化温度を高温にすることでタールを分解する為、タール発生量は非常に少ない。また、木質バイオマスの灰融点以下に制御する為、灰のスラッシングも生じない。

給水でガスを冷却しながら、ガス化炉に投入する蒸気をつくる。

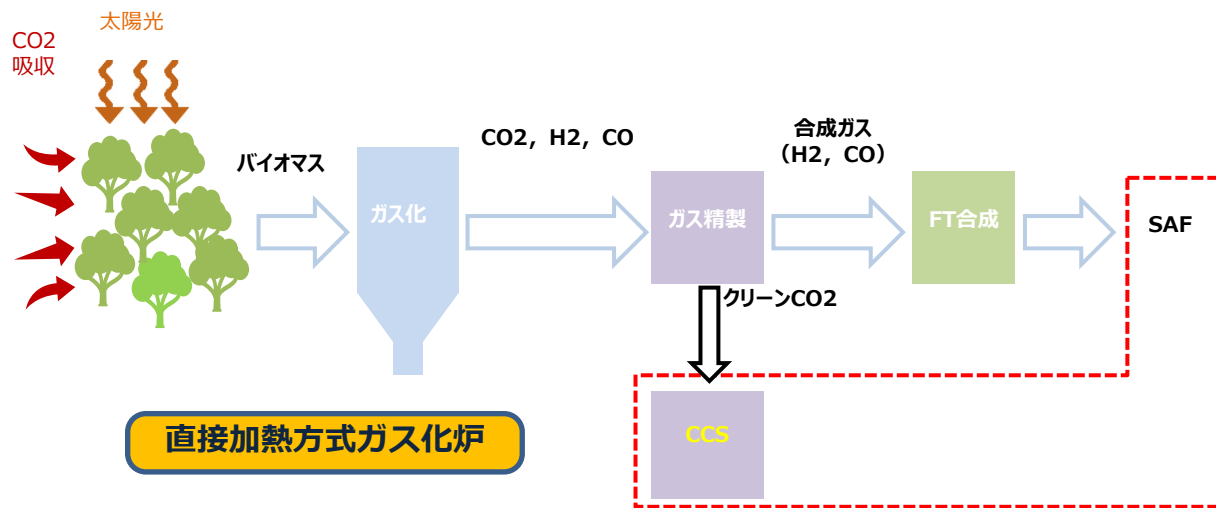
高温フィルタを用いてサラサラの灰のみを除去。

ガス冷却過程で析出したタールを精製設備で除去する。(灰とタールを別々に回収)



4. 研究目的・背景について

- 2021から2022年度でNEDO事業「バイオマスガス化FT合成によるSAF製造およびサプライチェーン構築」が、国内想定立地において商業規模実証機建設に進む前に中断となった課題は、次の通り報告されている。
 1. 原料安定調達リスク
 2. 市場競争力のあるSAF価格リスク
- 同時に、元々よりガス化FT合成法のCO2削減効果がHEFA法に比べて高い（LCAが低い）ことに加え、固有のガス化技術によりシステム構成上CO2回収が技術的に容易な特長を活かしたBECCS（Biomass Energy Carbon Capture Storage）活用によるマイナスLCA（ネガティブCO2排出）を実現することが解決策の一つとして挙げた。



国産ガス化炉の固有技術（直接加熱方式）とCCSを組み合わせることにより、森林が吸収したCO2をネガティブとして、SAFのLCAに反映できている。

（海外ガス化炉技術は、化石燃料によるバイオマス蒸焼き(間接加熱方式)が一般的であり、クリーンでないCO2が多く含まれる）

5. 実施内容について

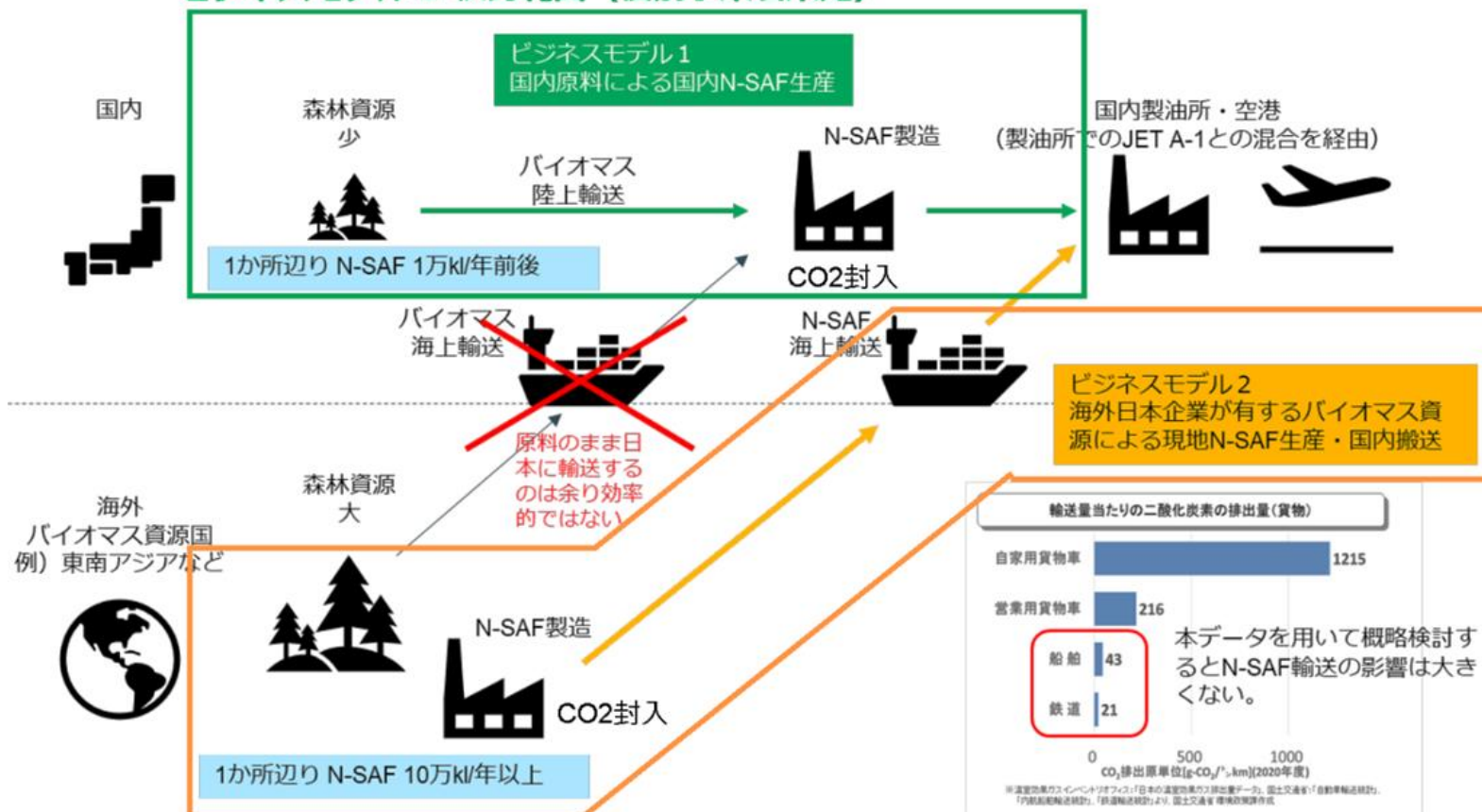
	ビジネスモデル1(国内)	ビジネスモデル2(海外)
目標	CCSをBECCSとして活用し、少ないSAF混合量で高いCO ₂ 削減を達成できる高付加価値SAFのビジネスモデルを検証。	日本企業が有する海外大規模森林の残渣を原料に用いた大規模ガス化FT合成プロセスのビジネスモデルを検証。
STEP1 (2023年度)	<ul style="list-style-type: none"> ● CORSIA認証に於けるBECCS活用方法論のルール化 ● BECCS活用の基礎検討 ● 国内候補地におけるガス化FT合成プロセス候補原料の利用可能性検証(賦存量・種類・CORSIA認証適合性等) ● 汚泥や森林の剪定枝等の特殊な原料もリストアップされる可能性を想定 ● 国内候補地におけるガス化FT合成プロセス候補原料の想定LCA検証 ● ガス化FT合成プロセスにおける2030年頃の合理化を反映した概算SAF製造コストを検証 (CAPEX/OPEXを2022試算より低減する) 	<p>—</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 海外日本企業の保有するガス化FT合成プロセス候補原料の利用可能性検証(賦存量・種類・CORSIA認証適合性等) ● 海外日本企業の保有するガス化FT合成プロセス候補原料の想定LCA検証 ● ガス化FT合成プロセスにおける2030年頃の合理化を反映した概算SAF製造コストを検証 (CAPEX/OPEXを2022試算より低減する)
STEP2 (2024年度)	<ul style="list-style-type: none"> ● 新しく候補として挙げた原料のガス化FT合成プロセスへの適用可能性技術実証 ● 同原料の前処理技術実証。 ● 事業化時点でガス化FT合成プロセスへの導入基準適合に有用で、量産事業化開発が必要となる技術を実証する。 	

本日の内容

6. ビジネスモデル1及び2の概念

市場競争力のあるSAF価格リスク対応策：BECCCSの利用可能性の検証及びLCA低減効果を反映
 SAF原料安定調達リスク対応策：国内原料調査を地点を変えて見直しし、海外日系企業が所有・調達する原料調査を実施

ビジネスモデル1 検討範囲（個別事業者未定）



ビジネスモデル2 検討範囲（個別事業者未定）

7. 事業進捗状況

23年度実施計画に基づき順調に進捗中。24年度実施内容に関する予備調査を一部遂行。

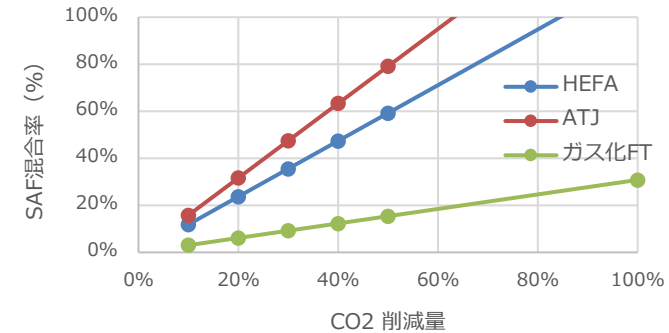
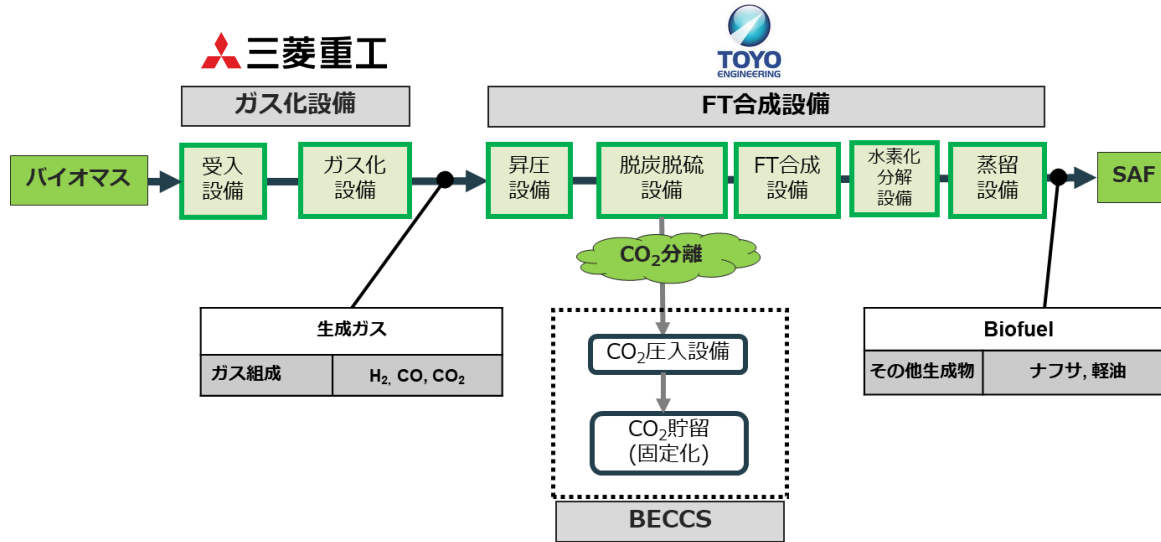
事業項目	2023年度				2024年度				ステータス	達成度	最終目標 に対する 進捗
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q			
STEP1				本日 ▼							
1. BECCS活用方法論のルール化(ビジネスモデル検討の中で実施)		[進捗バー]							実施中	○	70%
2. BECCS活用の基礎検討 (ビジネスモデル検討の中で実施)		[進捗バー]							実施中	○	100%
3. 国内想定適地におけるガス化FT合成プロセス想定原料の利用可能性調査・分析 (ビジネスモデル1)		[進捗バー]		[進捗バー]					実施中	○	80%
4. 国内想定適地におけるガス化FT合成プロセス原料の想定LCA検証 (ビジネスモデル1)		[進捗バー]							実施中	○	70%
5. 海外日本企業の保有するガス化FT合成プロセス想定原料の利用可能性調査・分析 (ビジネスモデル2)		[進捗バー]							完了	○	100%
6. 海外日本企業の保有するガス化FT合成プロセス原料の想定LCA検証 (ビジネスモデル2)		[進捗バー]							完了	○	100%
STEP2											
7. 新しく候補として挙げた原料のガス化FT合成プロセスへの適用 可能性技術検証			[進捗バー]	[進捗バー]	[進捗バー]	[進捗バー]	[進捗バー]	[進捗バー]	実施中	-	20%
8. 新しく候補として挙げた原料の前処理技術実証					[進捗バー]	[進捗バー]	[進捗バー]	[進捗バー]	実施予定	-	-

× : 中止 △ : 未達 ○ : 計画通り

7.1. ビジネスモデル1 進捗状況 (1/4)

【ビジネスモデル1】

日本国内の地産SAF原料を用い、CCSをBECCSとして活用して、少ないSAF混合量で高いCO2削減を達成できる高付加価値SAFとして販売（プレミアムSAF）



HEFA : 13.9g-CO2/MJ(CORSIA default値:廃食油)
 ATJ: 32.8g-CO2/MJ(CORSIA default値:ブラジルサトウキビ)
 ガス化FT (BECCS) -200g-CO2/MJ(当社試算)



現在LCAFにのみCCSを活用したLCA計算式が用意されている。SAFに於けるCCS利用可能性の調査・検証

7.1. ビジネスモデル1 進捗状況 (2/4)

【 FTG委員会の動向を想定したCCS利用可能性調査】

- ICAO FTG委員会でCCS利用に向けたルール化途上であり、欧米の事業者はCCS活用をLCA評価にPRしている事例が散見されている。
- 未だ具体的なLCA計算式が策定されていないが、CCSに関わる欧米の制度を調査し、仮のLCA計算を行う準備を行った。

MRI

各種制度概要

	米国			カナダ	国際		
	ACR (CORSlA 適格)	LCFS	GHGRP	アルバータ州 TIER/AEOS	ISO 27914	CDM (CORSlA 適格)	VCS (CORSlA 適格)
制度概要 (制度の位置づけを明記。クレジット制度/国の報告制度、etc)	クレジット	規制及びクレジット	GHG算定報告方法	クレジット	規格	クレジット	クレジット
削減量算定方式	自主参加型炭素取引市場 (NPO運営)	カリフォルニア州内で輸送用燃料を製造・販売する事業者に対する炭素強度ベンチマーク値の削減義務制度。	CO2地中貯留用坑井を有する施設も対象。	アルバータ州内の排出量取引 (TIER)とクレジット制度 (AEOS)。	CO2ストリームの地質学的貯蔵に関する要件と推奨事項	京都議定書に基づいた、目標を有していない国(途上国)から目標を持つ国(先進国)へのクレジット移転制度。	2014年に導入されたオフセット・クレジット制度。
漏洩時の補填	リザーブ	バッファークレジット	なし	デイスカウント	なし	リザーブ	バッファークレジット

※：三菱総研調査結果

CCS利用にあたって、監視の厳格化または(及び)CO2の漏れ量予測を計算式に含めることがCORSlA認証で求められる可能性あり。本事業では上記の通り、類似の欧米の制度・国際的な制度を調査し、多めに仮設定したCO2漏れ量をLCA計算に折り込む事にする。

国内BECCS利用にあたって、計画されているCCS事業にパイプラインでCO2を送ることを想定し、取合条件を仮設定した。他国に比べて(海洋汚染防止法を参照した)厳しい封入ガス条件が想定されることを検討に考慮した。

出所)各種制度文書よりMRI作成

Copyright © Mitsubishi Research Institute

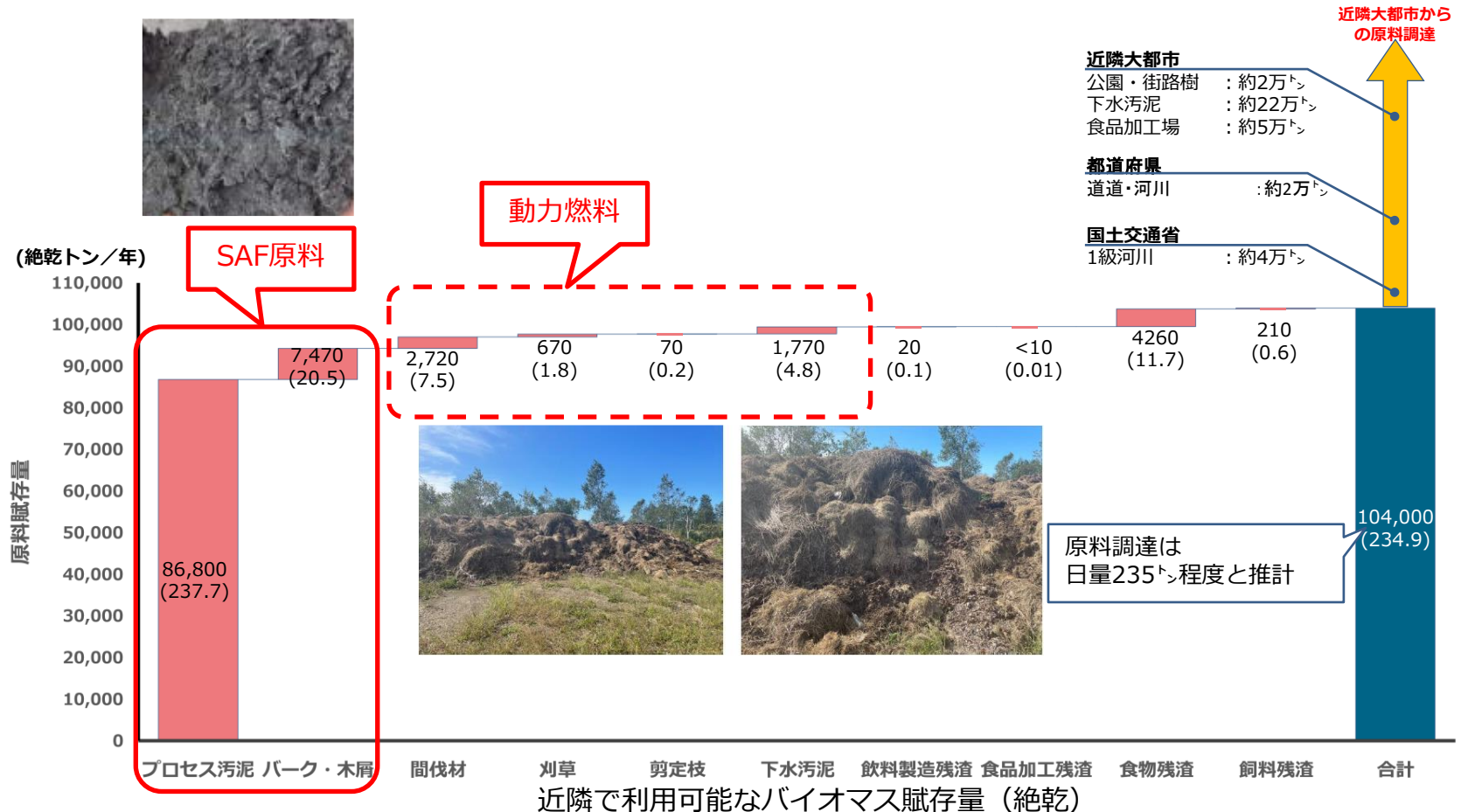
3

欧米のCCSに関わる事業のルール、規制等により
CO₂封入量に関する考え方を抜粋

7.1. ビジネスモデル1 進捗状況 (3/4)

【地産地消の原料調査結果】

国内CCS活用を想定した立地であるビジネスモデル検討は、バイオマス原料も豊富と考えていたが、エネルギー有効利用が進んでおりプロセス汚泥が殆どだった。



※ 現在の電力料金は通常電力でも25~30¥/kwhであり、足下の再エネ電力確保の為にはバイオ原料を用いた自家発を想定。

7.1. ビジネスモデル1 進捗状況 (4/4)

ビジネスモデル1の検討結果から以下の結果が得られた。

【全体】

- ICAO FTG委員会でCCS利用に向けたルール化途上であることが分かった。
- 国内想定地点におけるBECCS適用の技術条件及びLCA検討手法が得られた。
- CCS想定地点の周辺にはバイオマス資源が豊富と想定していたが、実際にはエネルギーの有効利用が進んでおり、新たにSAF製造に供せる原料の量が限られていた。

【LCA】

- BECCSにより、ICAO資料記載のHEFA方式と比較して3倍以上のCO₂低減効果が得られた。

【SAF価格】

- 地産地消型 且つ 安価な廃棄物系原料を志向して材料調査し、適用するSAF製造技術を検証した。その結果、廃棄物系原料による価格低減よりもCAPEX/OPEX増加の影響が大きくなった。
- BECCS活用の為にはCO₂削減効果をSAF価格に反映する価格制度が必要。

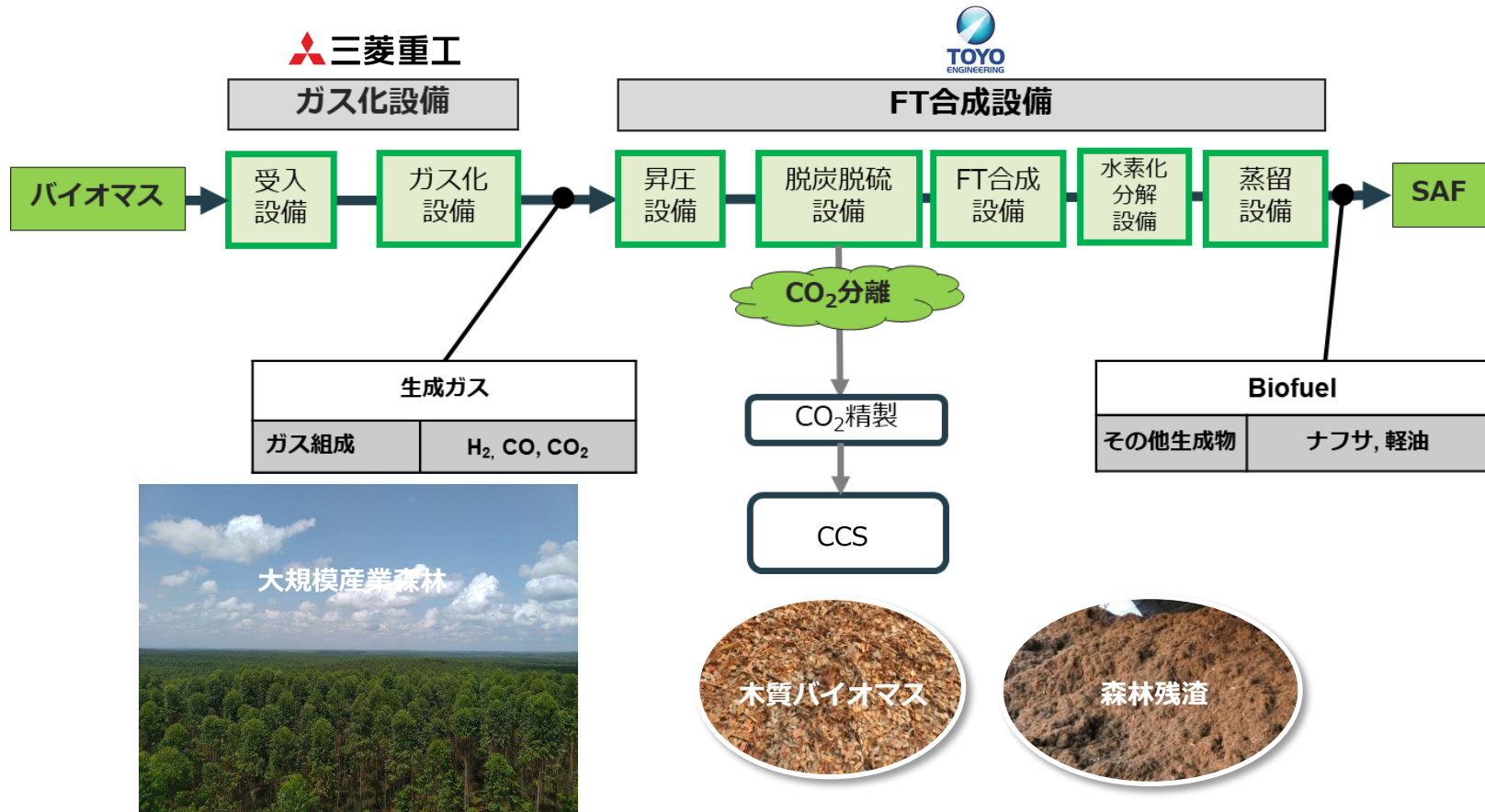
【課題と今後】

廃棄物系原料による価格低減よりもCAPEX/OPEX増加の影響が大きくなったが、技術検討を通じて叩きどころが判明した為、総合的な原料の使い方を見直し、再検討中。

7.2. ビジネスモデル2 進捗状況 (1/2)

【ビジネスモデル2】

東南アジア等に大規模農園・産業森林等を保有又はサプライチェーンを有する日本企業に提案し、BECCS活用に加え、豊富、且つ、低価格・低LCAなサステナブル原料を用い、大規模化とローカル化による低CAPEX/OPEXを目指し、より日本国のニーズに適ったビジネスモデルにする。



7.2. ビジネスモデル2 進捗状況 (2/2)

ビジネスモデル2の検討結果から以下の知見が得られた。

【全体】

- 海外想定地点におけるBECCS適用の技術検討及びLCA検討手法が得られた。
- 海外で調達可能な豊富な森林資源量から、1地点で5～10万kl/年規模のSAF製造ポテンシャルが得られた。(CO2削減効果を考慮すると12.5～25万kl/年に相当する)

【LCA】

- BECCSにより、ICAO資料記載のHEFA方式と比較しての2.5倍以上のCO2低減効果が得られた(最大4.5倍の削減効果)。

【SAF価格】

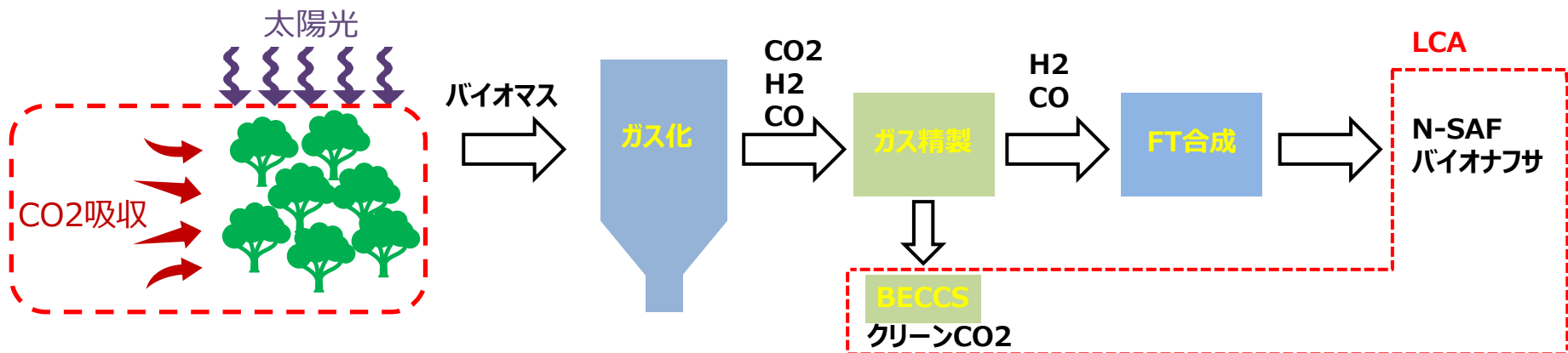
- 海外森林農園等の原料を用いて地産地消型SAF製造技術を検証した。原料調達価格、大規模原料調達、性能改善等の結果、想定SAF価格は前事業比で2/3以下となった。CO2削減効果を考慮すると優位性がある結果が得られた。

【課題】

- 海外産木材は前事業と比較し優位な原料調達価格が得られたが、SAF価格に約100¥/L程度のウェイトを占める。今後の課題として更に安価な農業残渣の活用によって生産コストを更に下げることが考えられる。

8. 23年度NEDO事業まとめ

- 国産独自技術のガス化FT合成プロセスでは、「①BECCSを活用したLCAのCORSlA認証」の制度が導入されれば、森林資源が吸収したCO2は全てSAFの炭素強度低下に有効利用される。
- 森林資源の豊富な海外においても、表面的なリットルあたりのSAF価格は高い見込みである。しかし、「②LCAに応じたSAF価格買取制度」を条件とすると実質的な優位性がある。
- 森林資源豊富な海外では一カ所あたりのSAF供給量、5～10万kL/年以上が期待でき、CO2削減効果を考慮すると、実質的にHEFA法換算で12.5～25万kL/年に相当する。
- 木質バイオマスのならず、農業残渣の活用に広げると、2030年以降は100¥/L程度の更なる低減可能性がある。（農業残渣の活用可能性はFY24に技術検証予定）
- 国内においてはバイオマス調達の変制とCCS活用目的から周辺のプロセス汚泥を検討した。炭素強度は低くなることは確認出来たが、経済的には厳しい状況であった為、再検証中。



9. 24年度実施計画案：農業残渣利用

23年度の気づきとして、次の農業残渣活用のメリットが分かった。
24年度に以下等の農業残渣の活用可能性を検証する。

農業残渣利用のメリット：

- 木質バイオマスと比較して、価格が安い。
- 原料が1か所に集約する為、原料の安定供給が期待できる。
- CORSIA認証で副産物・廃棄物として認められる原料は、CO2削減効果が高い。

	内容	長所	短所	24年度目標
EFB (Empty Fruit Bunch)	油ヤシの実を除去した未利用部分	量が多い。 他に用途が無い。	Na,Kを多く含む。 含水率が高い。	パーム農園・パーム工場の生産に関わる状況を調査。 技術課題解決の可能性を検証予定。
OPT (Old Palm Trunk)	油ヤシの老木	量が多い。 他に用途が無い。	Na,Kを多く含む。 含水率が高い。	
わら	稲・小麦等の茎等の農業副産物	量が多い	季節性がある。 飼料に使われている。 灰分が多い	以下の内容の実実施計画検討中。 • ビジネスモデルの成立性 • 前処理等の技術検証
籾殻	籾の最も外側にある皮の部分で農業副産物	量が多い	季節性がある。 ボイラ用燃料として使いやすい為、他用途が存在し、入手性に課題が有る可能性がある。 灰分が多い	

