

2024年度NEDO再生可能エネルギー一部成果報告会
プログラム No.10

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12月18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(企業・大学名など) 三菱重工業(株)

問い合わせ先 URL: <https://www.mhi.com/jp/inquiry>

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2023-2024のSAF市場取引価格は2500～3200USD/t(欧州・シンガポール)、700～1000USD/gal(米国)。
(SAFの比重0.8、150¥=1USDとすると、おおよそ300～400¥/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
	300-400(*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)

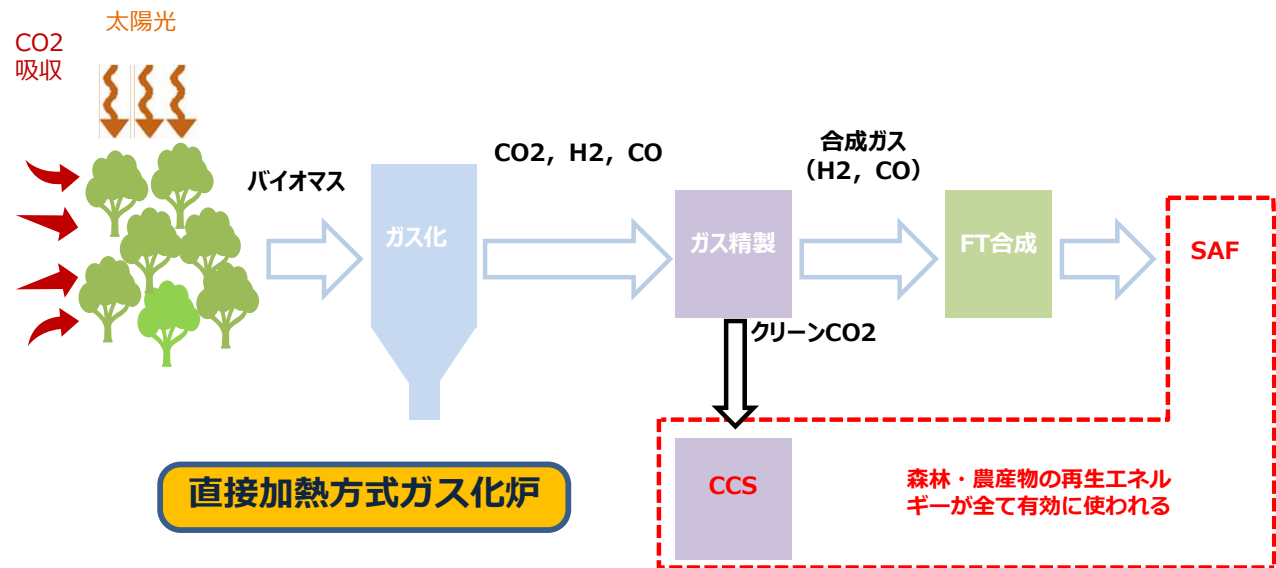
(*1) 当社調べ

2. 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。



2021年度NEDO事業
(0.7t/日実証プラント新名古屋発電所)



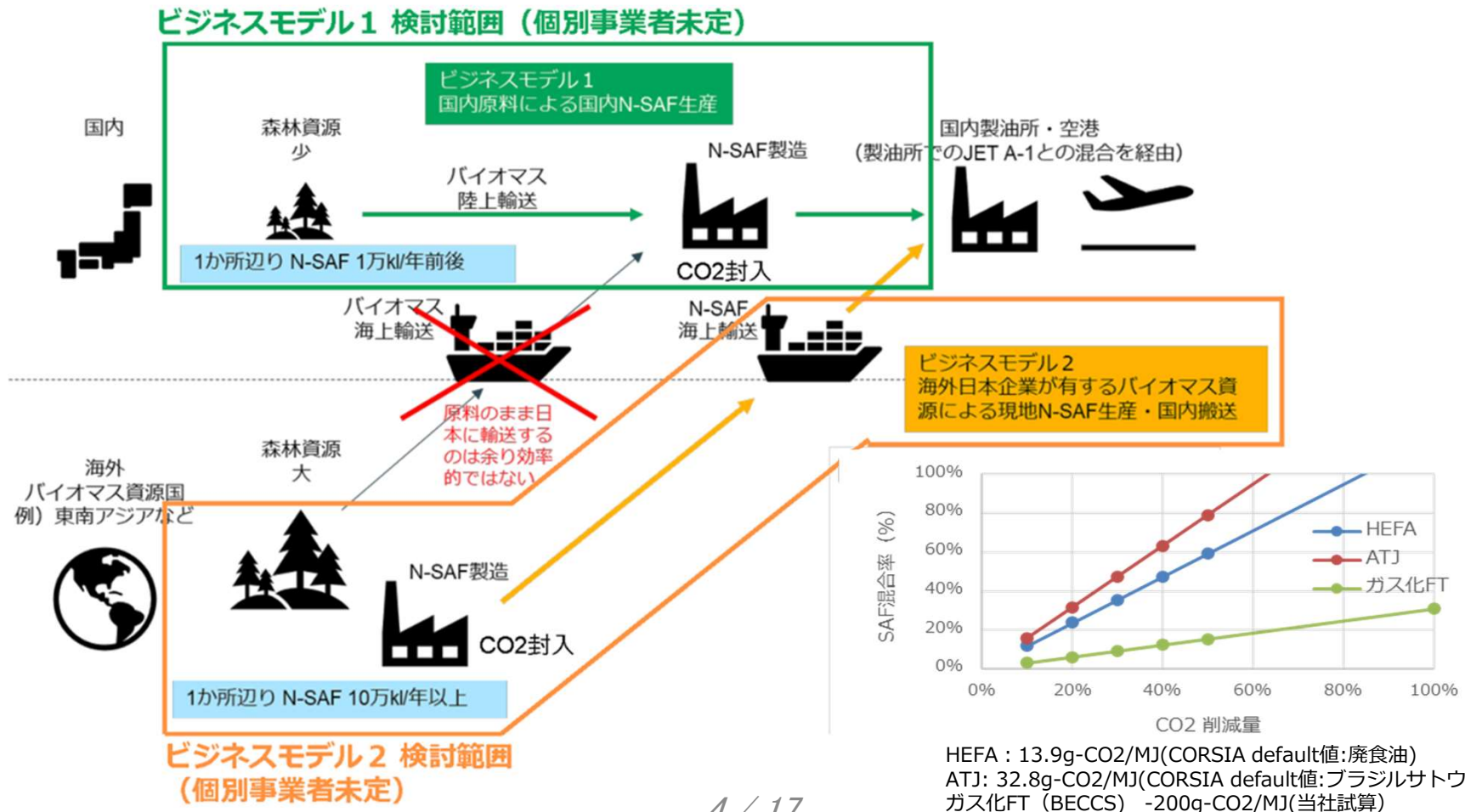
国産ガス化炉の固有技術（直接加熱方式）は、原料の多様性に優れているものの初期投資が大きく、従来技術の延長線であり、設備が簡易なHEFAに比べ、SAFの表面価格が高くなる。

投入したバイオマスの内、エネルギーに使われた結果であるCO₂をCCSで地中で封入すれば、森林・農産物が吸収したCO₂をネガティブとして、SAFのLCAに反映でき、表面価格は高くとも価値の高いSAFを製造可能。（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。）

3. 23年度の成果

2023年度NEDO事業では、国内（ビジネスモデル1）と海外（ビジネスモデル2）で地点を想定し、CCSを用いた木質バイオマスのガス化FTプロセスによるSAF製造のビジネスモデル成立性を評価した。結果、

- 国内では原料不足から大規模化出来ず、CO2削減効果の競争力は十分ではなかったが、海外ではHEFAを上回る競争力を有すると評価された。（尚、ガス化FTプロセスによるSAFはHEFAに比べて2.5倍以上のCO2削減効果を有するが、ICAO FTG委員会でCCS利用に向けたルール化途上で制度未実装。）
- 木質バイオマス以外のバイオマス原料の活用可能性を想定し、有望と思われた原料でSAF製造する為の原料評価及び前処理技術検証を2024年度事業で行う。



4. 事業内容について

	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

5. 24年度実施内容：農業残渣利用

23年度の気づきとして、農業残渣活用のメリットが分かった。
 大量に副産されるバイオマス原料候補を調査し、最終的に次の原料候補の適合性技術評価・前処理技術検証を行った。

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。
- ・ 原料によって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。

項目	推定生産量 (2021年,億トン 15%水分)	主産物	残渣比率, 含水率 (富士経済 2014.2)	主産物の生産量 (2021年 億トンUSDA"world markets and trade)	現状
EFB	世界合計： 0.36	パームオイル	1.0倍 (含水率 60%)	世界合計:0.77 インドネシア:0.45、マレーシア:0.19、タイ:0.03	僅かな量が、ペレット化されている。 殆どが捨てられている。 CORSIA認証ルール上、原料生産に関わる LCAがゼロ
もみ殻	世界合計： 1.1	米	0.22倍 (含水率 15%)	世界合計:5.1 中国:1.9インド:1.30 バングラ:0.36、インドネシア 0.34、ベトナム:0.27、 タイ:0.20、フィリピン:0.12、 日本0.08、米国0.06	一部が、飼料やペレット化して バイオマス燃料になっている。 大部分が捨てられている。 CORSIA認証ルール上、原料生産に関わる LCAがゼロ
ミスカンサス	事業規模に応じて都度栽培	バイオエネルギー作物 (=ミスカンサス)		日本・北米・欧州等で荒地でバイオエネルギー作物としてスイッチグラス・ミスカンサス・エリアンサス等を栽培する検討がされている	荒廃地に植えた作物が成長中に吸収するCO2により、CORSIA認証ルール上、原料生産に関わるLCAが マイナス

* 林業白書によると世界の丸太消費量(≒生産量)は一定。内、燃料用は凡そ8~14億トン/年(比重:樹種によって0.4~0.7)

6. 事業進捗状況

木質バイオマス以外の有望な新原料としてEFB、もみ殻、ミスカンサス（エネルギー作物）の市場性・ガス化炉適合性評価まで完了。これらについて前処理技術の検証を遂行中。

事業項目	2023年度				2024年度				ステイタス	達成度	最終目標 に対する 進捗
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q			
STEP1											
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]							完了	○	100%
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]							完了	○	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]					完了	○	100%
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]							完了	○	100%
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]				完了	-	100%
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]	実施中	-	75%

本日
▼

7.1. 新規原料調査結果(サマリ)

木質バイオマス以外の有望な新原料としてEFB、もみ殻、ミスカンサス（エネルギー作物）の市場性・ガス化炉適合性評価まで完了。これらについて前処理技術の検証およびLCA等の評価を遂行中。

	調査場所	CORSIA Eligible fuels適合性,カテゴリー	生産の季節性	想定されるN-SAF製造プラント規模
乾燥EFB (24年度)	東南アジア	有、Residues	なし	1~2万kl/年/箇所 (EFB可搬距離50kmとした場合。 ポテンシャルを有す地点は多数存在する。)
もみ殻 (24年度)	東南アジア	有、Residues	全体では年中収穫可能だが、各地域では年間数か月程度収穫可能	他原料との混合利用 (精米所規模・分散性から、大規模に集約する流通プロセスが現状では存在しない。)
ミスカンサス (24年度)	日本	有、products	年間約6か月程度収穫可能	1~数万kl/年/箇所 (SAF製造プラントと大規模栽培をセットで事業化すべきもの。)
木質バイオマス (23年度)	日本 東南アジア	有、Products	なし	国内：1~2万kl/年/箇所 海外：数~十万kl/年箇所 (森林規模による。)

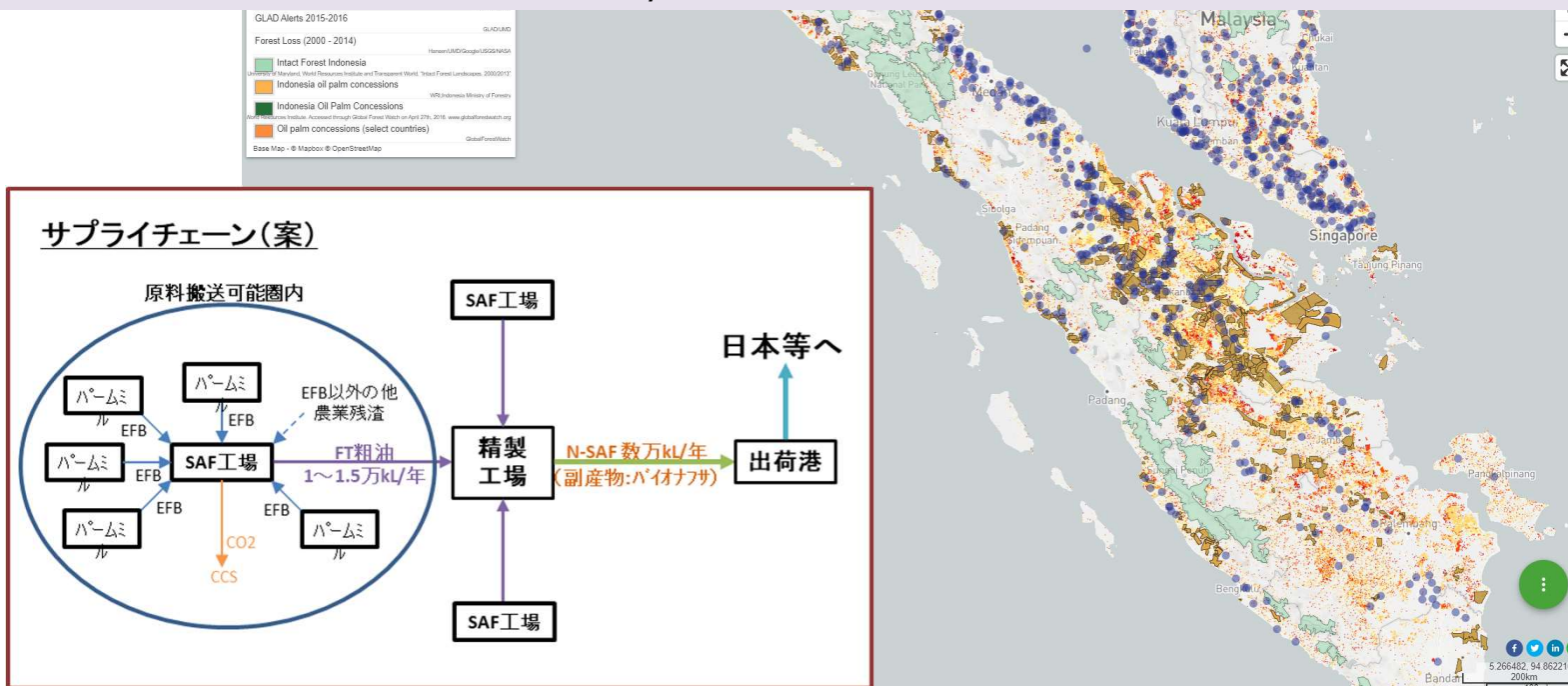
7.1. 新規原料調査結果(1/3 EFB)

原料適正調査（現地調査）

パームオイルの最大発生地(年間4400万kl)であるインドネシアを調査した。

- EFBの発生プロセス（パーム農園～CPOミル(Crude Palm Oil Mill : パームオイル生産)～EFBペレット工場）を調査。
- EFBは目的生産ではなく、プロセス上止む無く排出されるものであることを確認した。したがって、残渣として取り扱い、原料生産に関わるLCAおよび土地利用変化に伴うCO2排出量はゼロと評価する（CORISIAのPositive List上も残渣として掲載されている）。
- CPOミル1拠点あたりのEFBの発生量は100tpd/mill程度。年間を通じてほぼ一定。原料の陸上搬送距離50km内に多数のミルが存在する立地となっている。

⇒季節性が無く、陸上搬送圏内で数百t/d程度確保可能。従い、下図の様なビジネスモデルが有効



[出典] Map Hubs, Palm Mills and Concessions in Indonesia, <https://mapforenvironment.org/map/view/161/Palm-Mills-and-Concessions-in-Indonesia#5.78/-0.318/102.22> (2023.12.21閲覧)

7.1. 新規原料調査結果(2/3 もみ殻)

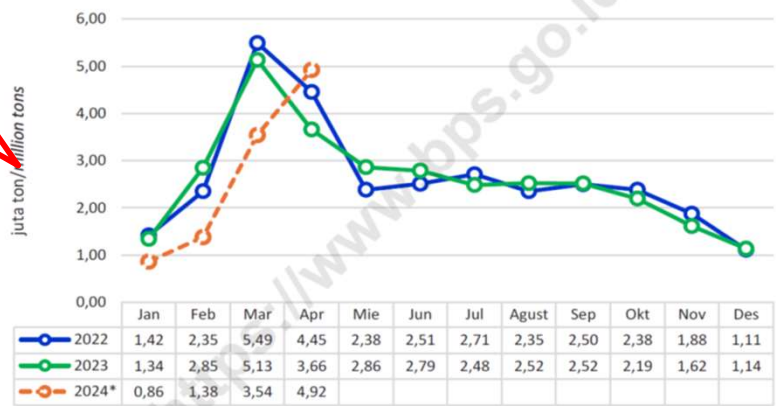
原料適正調査（現地調査）

年中稲作されている東南アジアを代表してインドネシアを調査した。

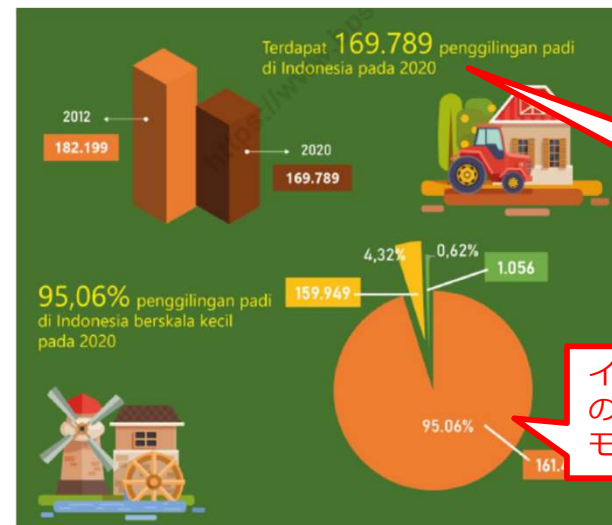
- インドネシアでは雨季を除いて気候が一定なので、三期作や栽培時期の意図的なずらしにより、国全体で見ると米収穫量(=もみ殻発生量)がほぼ年間を通じて安定している(雨季の影響で1,12月は生産量が低い)。米は収穫後に地区の精米ミル(集約地点)に搬送されて乾燥・精米される。
- インドネシア内の凡そ95%はスモール精米ミル(零細企業)で、1つのミルがカバーしている地域は小さく、得られるもみ殻は2tpd程度。これら地域内では収穫の季節性がある。スモールミルの運営は年間6ヶ月以下。
- もみ殻の内、30~40%程度は粃米の乾燥の為、燃料として消費され、残りを他用途に活用可能。
- もみ殻は目的生産ではなく、プロセス上止む無く排出されるものであることを確認した。したがって、残渣として取扱い、原料生産に関わるLCAおよび土地利用変化に伴うCO2排出量はゼロである。

⇒季節性が有り、陸上搬送圏内で数~数十t/d程度確保可能。従い、他原料と混焼する使い方が最適と判断

1,12月は低いが、年間を通して米収穫量が安定している。



インドネシア内での月別2022~2024年米収穫量の実績
(Paddy Harvested Area and Production in Indonesia 2023BPS-Statistics Indonesia)



インドネシア内のミル数は17万程度

インドネシア内の95%がスモールミル。

インドネシア内の精米所の数と規模
(Ringkasan Eksekutif Pemutakhiran Data Usaha/Perusahaan Industri Penggilingan Padi 2020BPS-Statistics Indonesia)

7.1. 新規原料調査結果(3/3 ミスカンサス)

原料適正調査（現地調査）

日本国内のミスカンサス試験農場を調査した。

- 多年生植物であり、欧州では一般的に20年以上収穫可能とされている。毎年収穫が可能。収穫時期は11月～翌年4月（収穫期間は年間6ヶ月）。
- 栽培は需要次第で、荒廃地に植栽することが可能であり、基本的に施肥が不要。1haあたり凡そ14t-dry収穫可能。
- 栽培適地は福島県以北。北海道でも越冬し収穫が可能。福島以南だとエリアンサスを栽培。
- CORSIAのDefault値が存在し、主産物に該当する為、原料生産に関わるLCA評価が必要。但し、土地利用変化に伴うCO2排出量がマイナスであることから、他原料に比べてLCAが低い特長（価値）を有する。

⇒荒地に栽培可能な為、SAF製造計画に併せて必要量を栽培する。季節性はあるが半年収穫可能。保管場所確保や他原料との混焼により季節性課題をクリアする。



立毛乾燥後のミスカンサス（長さ3～4mほどに生長）

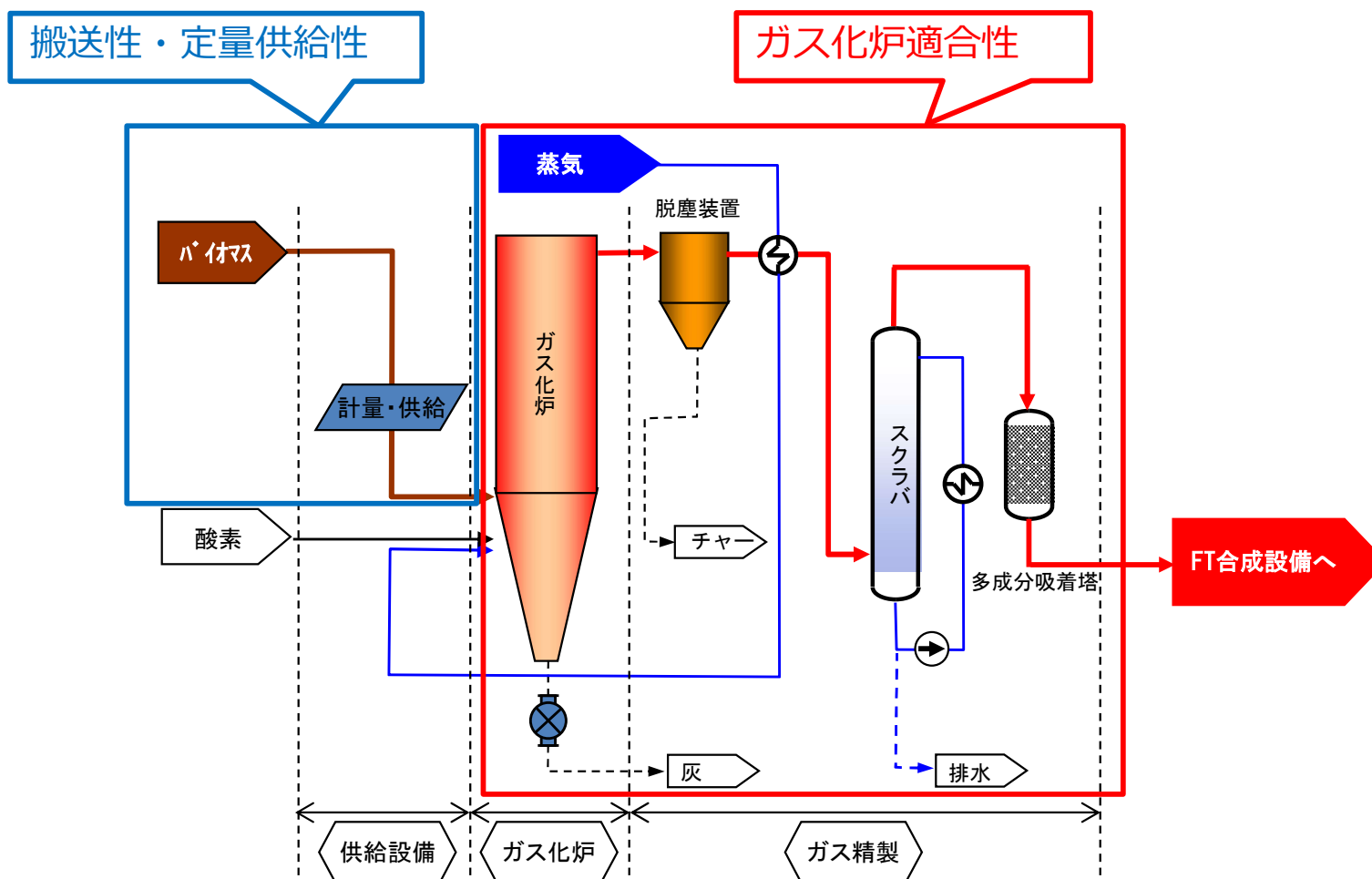


ミスカンサス収穫の様子（刈取り機1台で収穫・ロール成型を行う）

7.2. ガス化設備の適合性(1/2)

原料適正調査（ラボ調査）

EFB, 稲わら, ミスカンサスが、受け入れままでガス化設備で利用可能か否か評価します。
利用できないものについては、ガス化炉適合性（主に成分）、搬送性/定量供給性(主に物性) に関わる改善前処理技術を検証しています。



7.2. ガス化炉への適合性 (2/2)

原料適正調査 (ラボ調査)

受け入れままの原料を木質バイオマスと比較評価した結果は次の通りで、△～×のものについて前処理技術検証を行います。(◎：木質バイオマスに勝る、○：同等、△：劣る、×：大きく劣る)

	評価	ガス化設備への影響	EFB	もみ殻	ミスカンサス
水分	少ない程良い。	エネルギー効率	×	◎	◎
灰分	少ない程良い。	灰処理量・エネルギー効率	○	○	○
灰軟化温度	高いほど良い。	スラッキング性	×	○	○
腐食成分	少ない程良い。	耐食性・脱硫設備能力	○	○	○
粉碎性	容易に粉碎できるものが良い。	粉碎装置の安定運転・動力	検証中 (△)	検証中 (○)	検証中 (△)
形状(粉碎後)	絡まりにくいものが良い。	原料供給設備の安定運転	検証中 (×)	検証中 (○)	検証中 (○)
かさ比重	大きい程良い。	定量供給性・計量性	×	△	×

ガス化炉
適合性



EFB



もみ殻



ミスカンサス

搬送性・
定量供給性

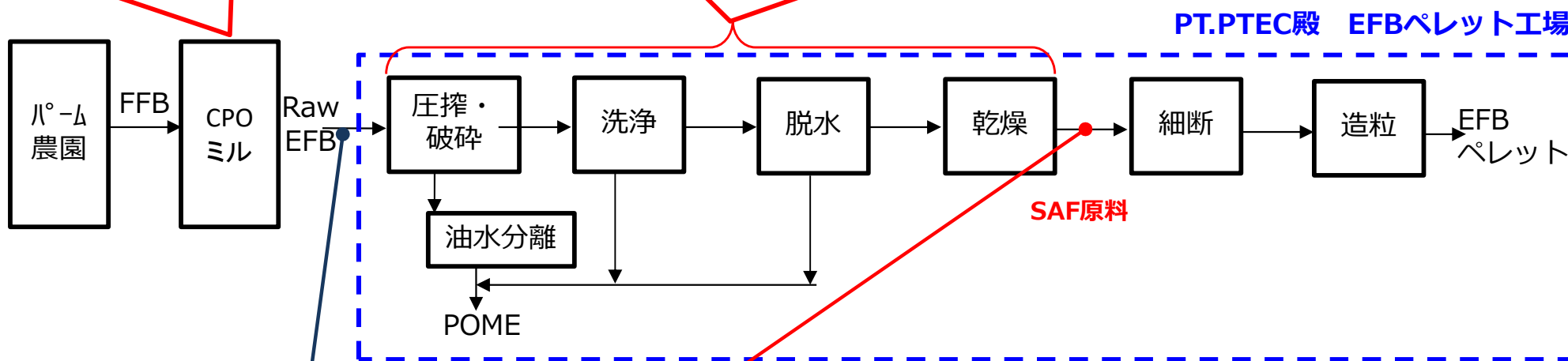
7.3. 前処理技術検証(ガス化炉適合性(EFB))

原料適正調査 (前処理技術)

EFBの高水分・低灰軟化点対策として、テス・エンジニアリング (株) 様が有する国産技術を使わせていただき、経済性・LCAを維持しつつ課題をクリアした乾燥EFBを製造できております。

水熱分解設備を実装しているミルが多く、EFBが乾燥しやすく改質された状態で出荷される。
実装されていない場合は、同設備を前処理工場に実装する。

解砕・洗浄・脱水プロセスの最適化により、規定値の水分・灰軟化点を達成できる見込み。



7.3. 前処理技術検証(搬送・定量供給性)

原料適正調査 (搬送・定量供給技術)

ガス化炉に安定的に原料を投入する為の設備開発の為、以下を検証しています。
現時点で試験遂行中ですので、取組み概要のみご紹介します。

項目	現象論	取組み
粉碎性	原料をガス化炉内で反応完了する規定値以下の均一なサイズに粉碎する必要がある。 また、一時貯蔵、搬送システムで安定的にハンドリング可能なサイズにする必要がある。 原料性状によって、これらを達成する最適な粉碎手法や条件が異なる。	複数の粉碎手法・試験装置を用い、最適条件を見出す試験を実施中。
形状 (粉碎後)	原料形状・保管/搬送設備仕様によっては、一時貯蔵、搬送システムにおいて、原料のスタックや閉塞を生じたり、定量供給の制御が困難な場合がある。上述の粉碎サイズおよび、システムのハードウェア仕様の最適化が必要。	貯蔵・搬送システムの各種試験を実施中。
かさ比重	かさ比重が小さい原料は、①搬送中に飛散しやすい、②計量しにくい等の問題がある。安定的に定量性を確保するハードウェア仕様の最適化が必要。	

7.4. CO2削減費用対効果

CO2削減費用対効果

原料発生地を現場調査した結果、及びガス化設備でのヒート・マスバランス(HMB)を考慮し、木質バイオマスと比較したCO2削減費用対効果を検討中です。ガス化設備への適合性評価結果を反映したHMBを用いてLCAを評価する必要がありますが、現時点での暫定的な予想は次の通りです。

	EFB	もみ殻	ミスカンサス
CO2削減費用対効果 (木質バイオマス比)	優れる (検証中)	優れる (検証中)	優れる (検証中)
詳細	前処理技術、搬送/ 定量供給性試験の検証結果を評価する必要がある。	農業残差の為、木質チップより高いCO2削減効果が期待できる。	木質チップと同等の成分・物性を有し、荒地に栽培することによるCO2削減効果が期待できる。

8. 23/24年度NEDO事業まとめ

23年度

- 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CORISIA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HEFA法に対して優位性がある。
- 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。

24年度

- 原料を農業残渣等の木質バイオマス以外の活用に広げると、用途が少ない原料を有効活用できる為、原料ポテンシャルを更に大きくできるケースがあることが分かった。
- 木質バイオマス以外の原料を活用する為の前処理技術検証及び、CO₂削減費用対効果の評価を実施中である。

