

＜第3回グリーンLPガスの生産技術開発に向けた研究会(2021.1.22)＞

バイオマスからのDME等のクリーン燃料 の製造技術に関する産総研の取組み

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

エネルギー・環境領域 領域長補佐

坂西 欣也

ゼロエミッション国際共同研究センター(GZR)の設立

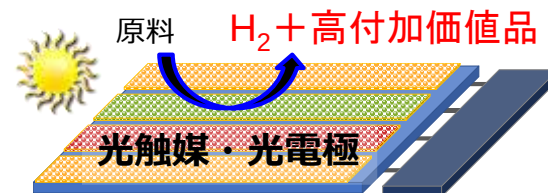
- 産総研臨海副都心センターに本部を設置し、つくばセンターで基礎研究を推進。
- 福島再生可能エネルギー研究所(FREA)、及び関西センターにて応用・実証研究を推進。



ゼロエミッション国際共同研究センター(GZR)の 主な研究テーマ

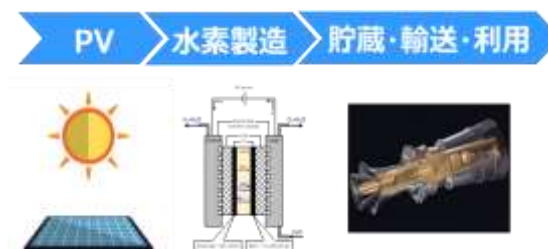
1) 人工光合成（ソーラーケミカル製造）の研究開発

【概要】低密度で変動する太陽光の革新利用技術として、面積単価が著しく低い光触媒や光電極を用い、CO₂フリー水素と高付加価値の化学品を同時生成して経済合理性のあるシステムを開発する。



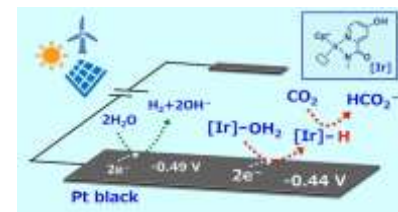
2) 再エネを利用した水素製造・利用技術開発

【概要】水素をCO₂排出量大幅削減と経済性とを満たすエネルギーとして社会導入していくための技術開発として、再エネ水素の製造に向けたタンデム太陽電池、低コスト高効率水電解装置、水素発電用高温材料、液化水素評価技術の開発を行う。



3) 革新的CCUS技術の研究開発

【概要】再生可能エネルギー・資源によるCO₂の資源化/固定化技術として、**革新的バイオマス利用技術**、再エネによるCO₂転換技術、LCAによる新たな低炭素技術の評価方法の開発を行う。



CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage, LCA: Life Cycle Assessment

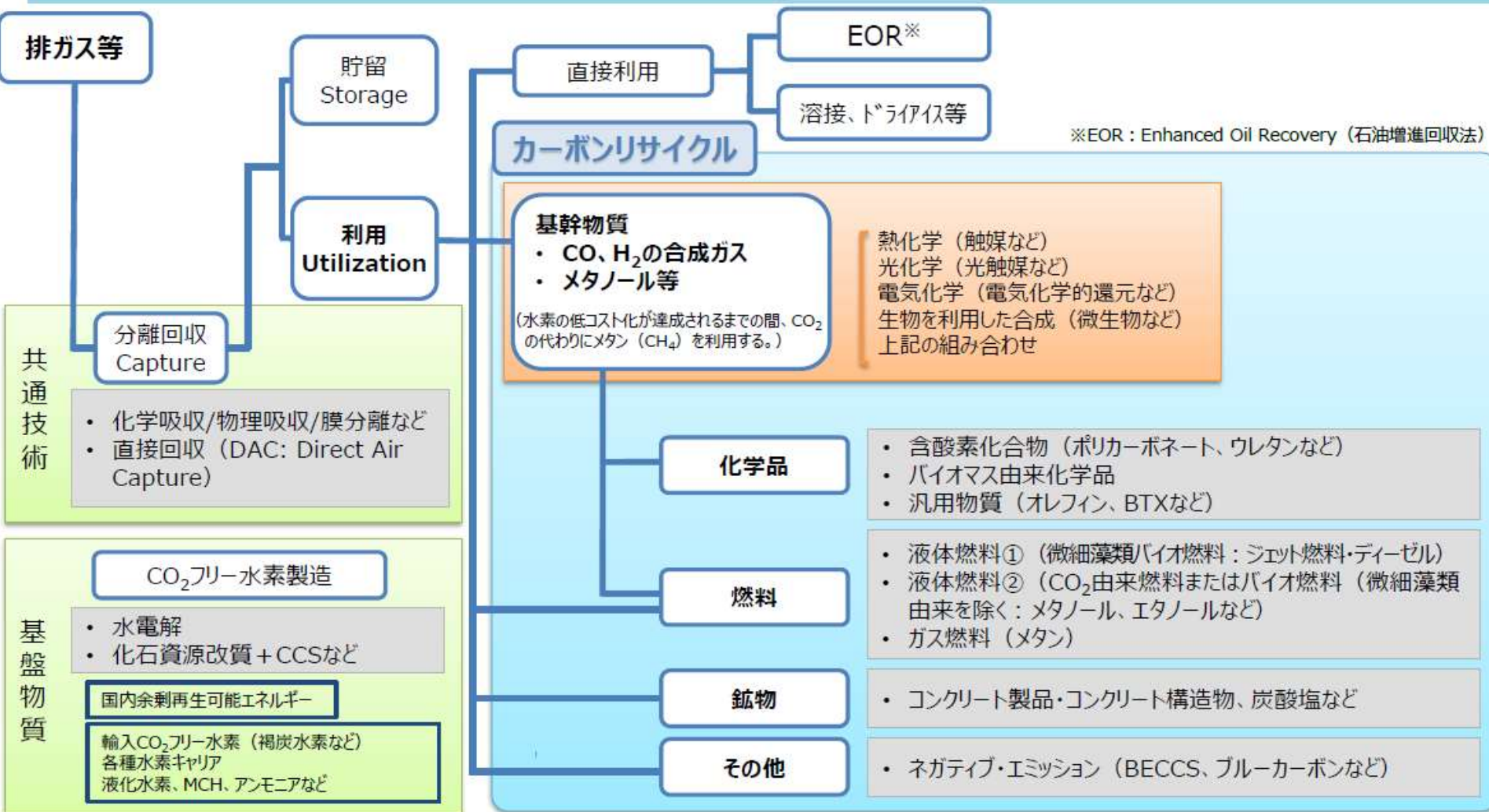
4) ゼロエミッション国際共同研究拠点の構築

【概要】つくば西事業所内の施設を整備し、国内外からの研究者の活動拠点にふさわしい環境整備を行う。

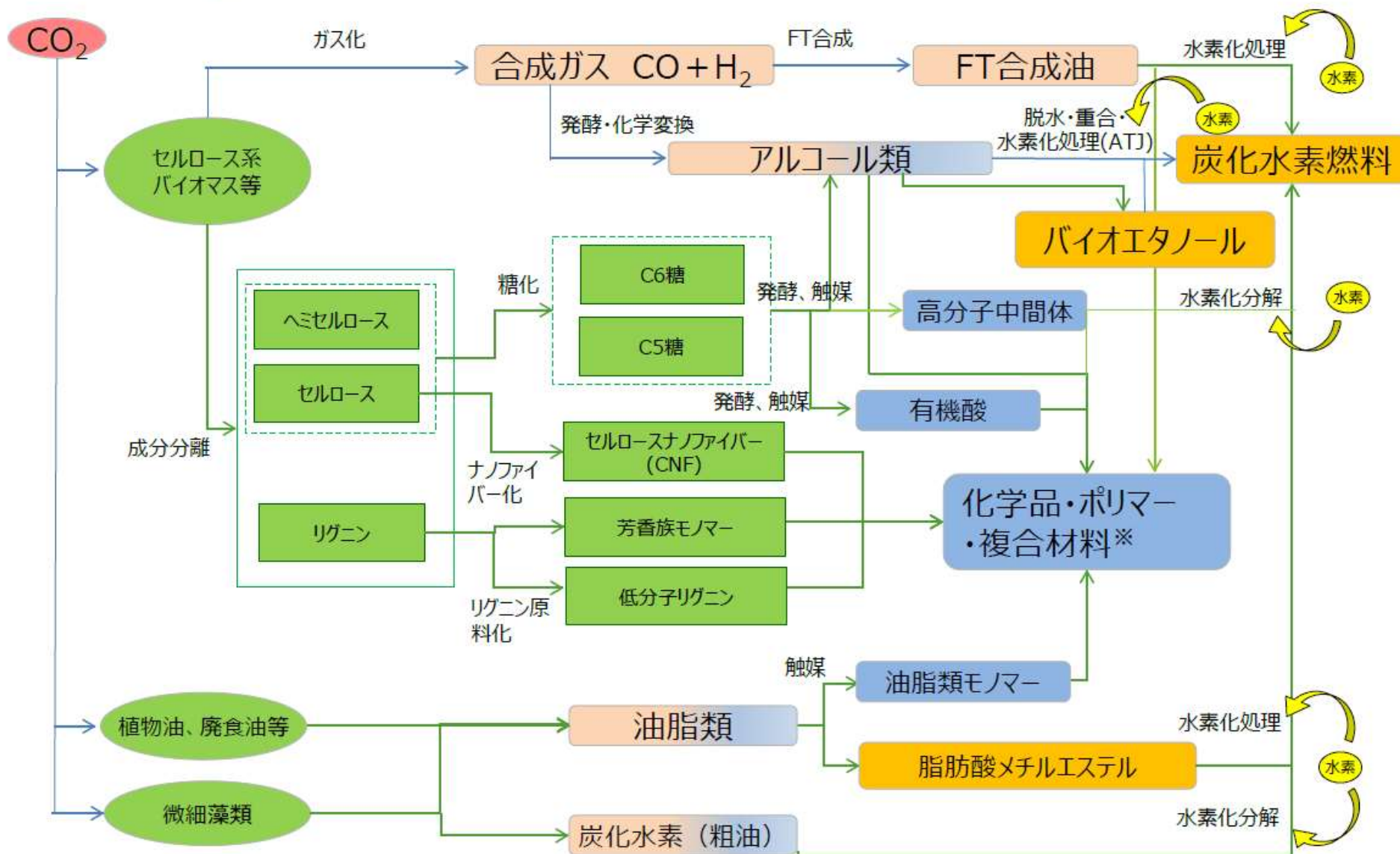


CCUS/カーボンリサイクル

- カーボンリサイクル：CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく。



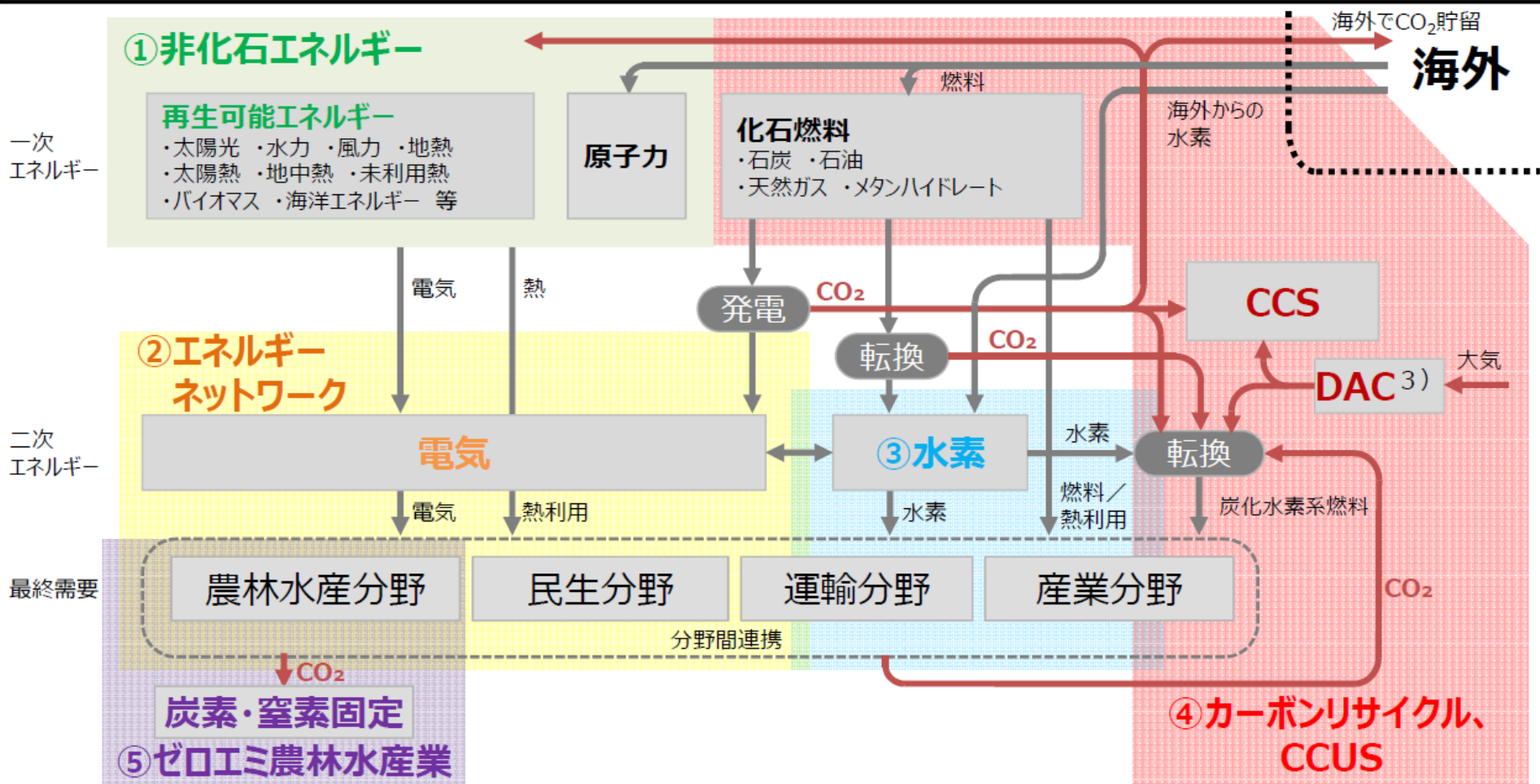
共通課題： 熱・圧力・物質等の全体最適化 (低コスト化など)、LCA (現行プロセスとの比較)



2

イノベーション・アクションプランの重点領域

技術領域で整理すると、①電力供給に加え、水素・カーボンリサイクルを通じ全ての分野で貢献する非化石エネルギー、②再生可能エネルギー導入に不可欠な蓄電池を含むエネルギーネットワーク、③運輸、産業、発電など様々な分野で活用可能な水素、④CO₂の大幅削減に不可欠なカーボンリサイクル、CCUS¹⁾、⑤世界GHG排出量の1/4²⁾を占める農林水産分野の5つが重点領域となる。



1) CCUS : Carbon Capture, Utilization and Storage (炭素の回収・利用・貯留)

2) 農業・林業・その他土地利用部門からのGHG排出量は世界の排出量の約1/4を占める (出典 : IPCC AR5 第3作業部会報告書)

3) DAC : Direct Air Capture (大気からのCO₂分離)

空気からの直接CO₂固定

大気中の低濃度CO₂も分離・回収

■ 目標コスト
■ CO₂吸収量

受容可能なコスト
80億トン～/年*

【技術開発】

- 大気中からの低濃度のCO₂を分離・回収する**DAC (Direct Air Capture)** 技術の追求
- CO₂分離回収後の固定化技術の開発

【施策】

- ムーンショット型研究開発制度等の活用を検討



DAC (Direct Air Capture) のイメージ

CO₂が原料のバイオジェット燃料

通常の1000倍早く育つ藻にCO₂を吸収させ、
ジェット燃料や軽油を製造

■ 目標コスト
■ CO₂削減量

既存製品と同等価格以下
20億トン/年*の内数

【技術開発】

- 自然環境でも大量・安定的に藻を培養するシステムを確立するため、様々な条件下で大規模実証を実施
- 広島に、石炭火力から回収したCO₂で培養実験を行う拠点を整備。**CO₂吸収効率最大化に向けた研究**を推進

【施策】

- 2030年にバイオジェット燃料フライトを実現
- 大規模培養池等の実証事業の実施



⑤ ゼロエミ農林水産業

農地や森林、海洋によるCO₂吸収

CO₂吸収源を革新技術で拡大

■ 目標コスト
■ CO₂吸収量

産業持続可能なコスト
119億トン～/年*

【技術開発】

- 海藻類の増養殖技術等、**ブルーカーボンの創出**
- **バイオ炭**の農地投入や早生樹・エリートツリーの開発・普及等
- 高層建築物等の木造化や改質リグニンを始めとしたバイオマス素材の低コスト製造・量産技術の開発・普及

【施策】

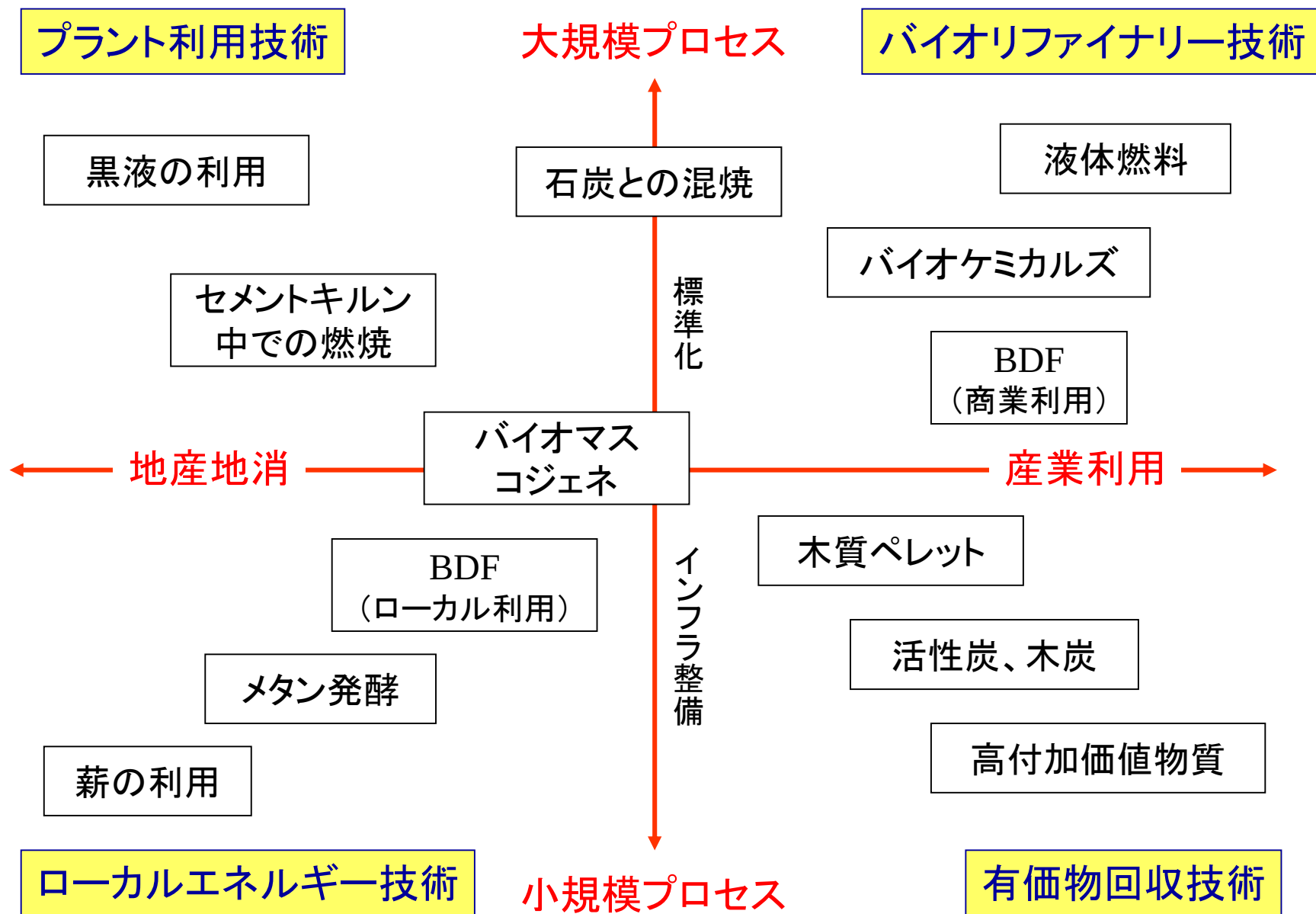
- バイオ技術による要素技術の高度化
- 先導的研究から実用化、実証までの一貫実施



上：ブルーカーボン
右：エリートツリー
下：改質リグニン

*削減量・吸収量は世界全体における数値をNEDO等において試算。

バイオマスの利用技術マップ



再生可能資源バイオマス

バイオマス(固体)



数年から数十年で再生

Ref) 化石資源

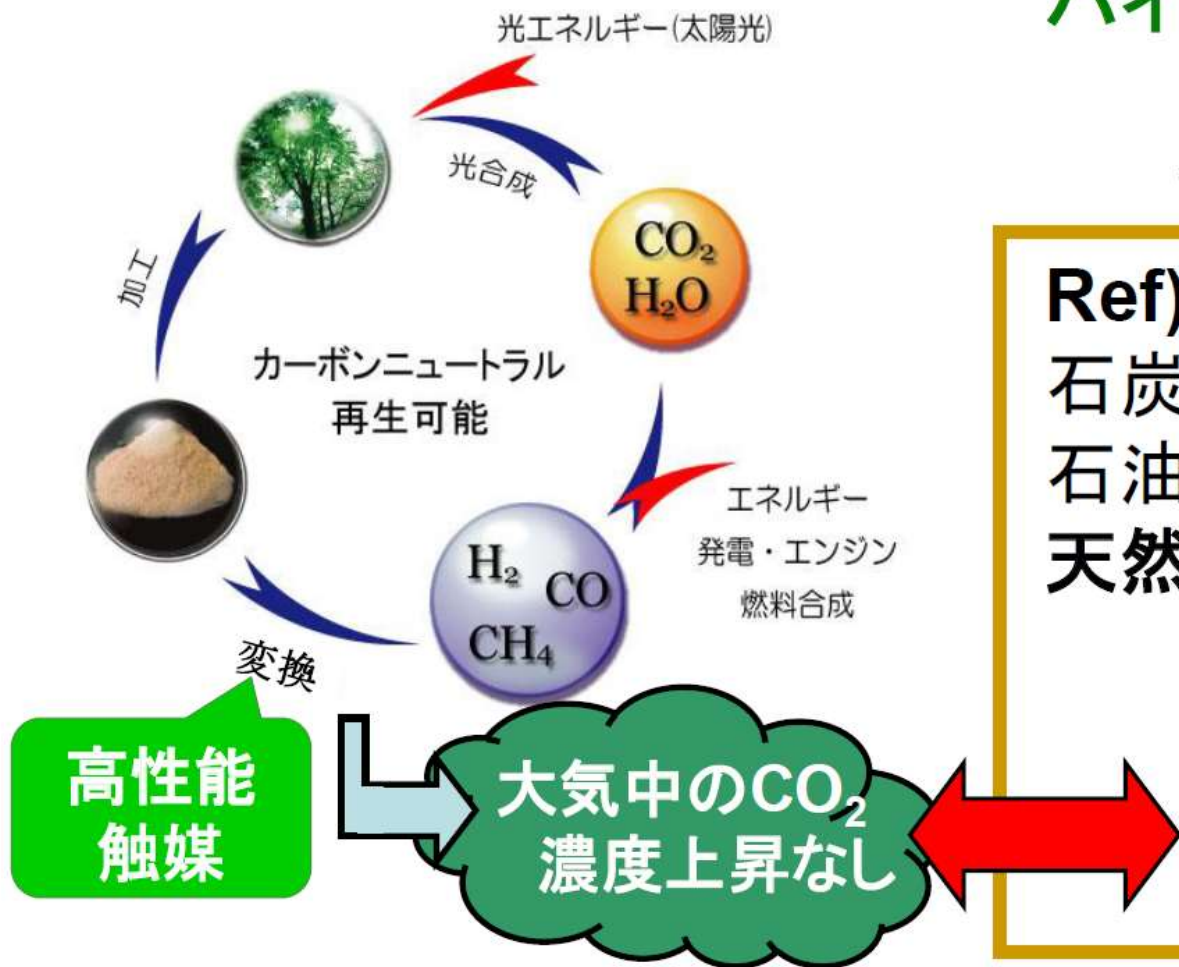
石炭(固体) $\text{CH}_{0.8}$

石油(液体) CH_2

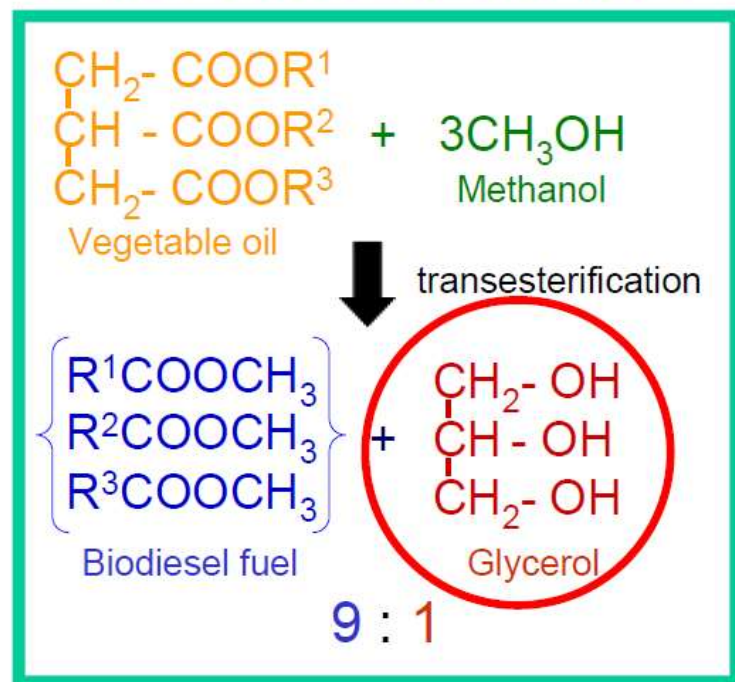
天然ガス CH_4

数千万～数億年で再生

現在の数倍～数十倍の
CO₂濃度の大气から
取り込まれたCO₂が放出

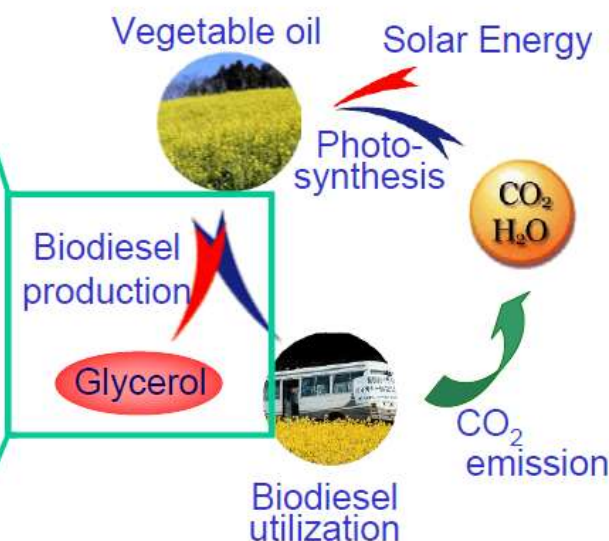


グリセリン水素化分解によるプロパンジオール製造

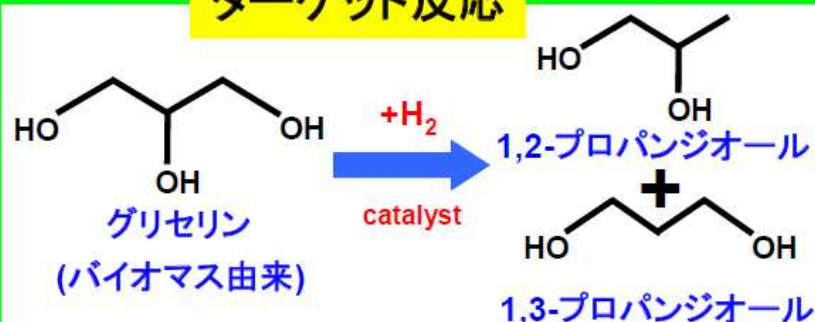


グリセリン

バイオディーゼル生産の際に
副生物として多量に生産される
→ 有効な利用法の確立が望まれる



ターゲット反応



水素化分解 (C-O結合解離)
 $\text{C-O-H} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C-H} + \text{H}_2\text{O}$

バイオマスのガス化中の反応

熱分解

バイオマス($C_nH_mO_l$)

→ チャー(固体炭化水素) + タール(揮発成分) + ガス

改質反応

タール, $CH_4 + H_2O(g) + O_2 \rightarrow CO + H_2$

燃焼・酸化反応

タール + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O(g)$

コーク + $O_2 \rightarrow CO_2$

Total: バイオマス($C_nH_mO_l$)

→ $CO + H_2 + CH_4 + CO_2 + H_2O$ (合成ガス他へ)

スケールアップしたバイオマスガス化設備での研究

固定床ダウンドラフト型
ガス化炉



スクラバー



脱硫・脱湿・
脱CO₂装置



圧縮機・ガスホルダー



合成ガス充填ボンベ

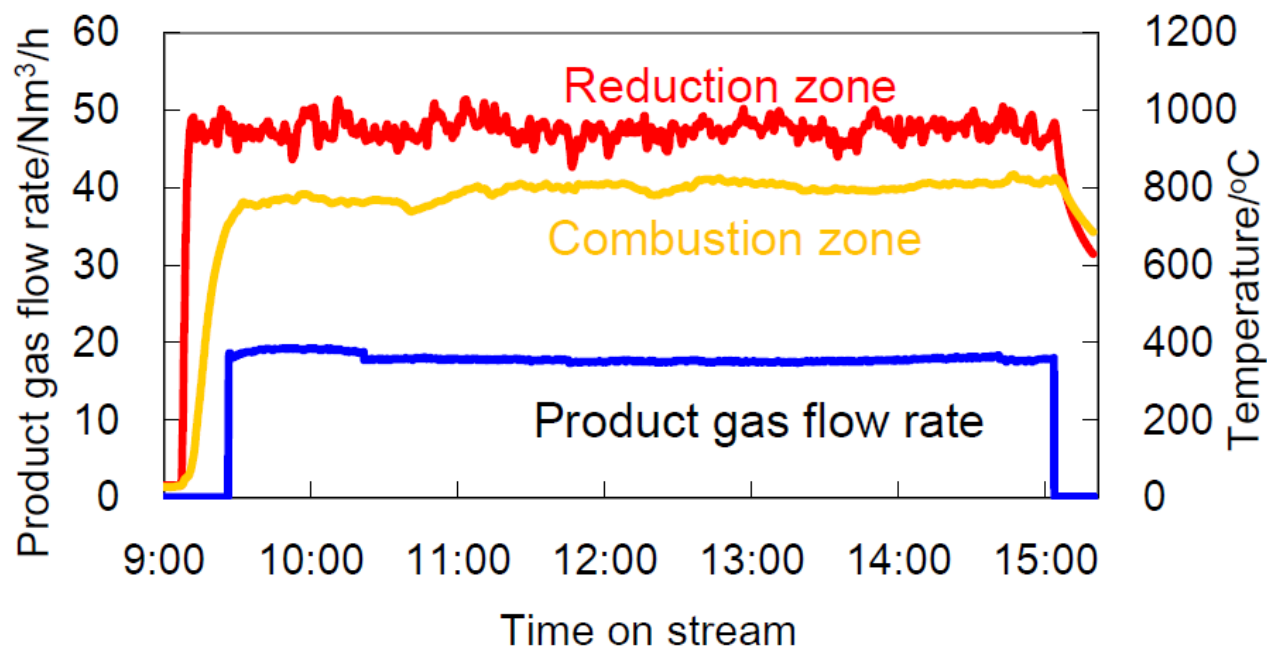
木材供給速度: ~40 kg/h
酸素富化空気: 28 O₂-vol.%
ガス化温度: 800-1000 °C

産総研 中国センター(呉)
BTLベンチ試験装置
(第二種高圧ガス製造設備)



DME合成装置

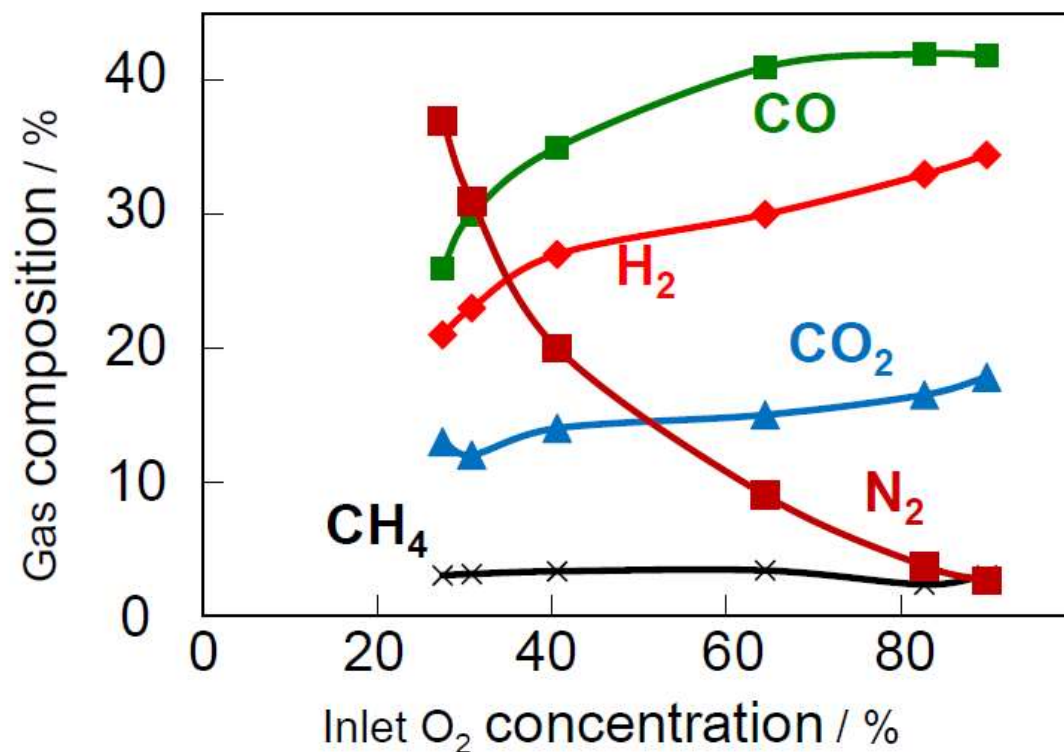
木材供給速度: **9 kg/h**
 酸素富化空気: 28 O₂-vol.%
 ガス化温度: 800-1000 °C



Product distribution/C-mol%				Product gas composition/vol%					
Gas	Wood vinegar	Dust	Char	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	Sulfur compound
96.1	0.1	0.2	3.6	31.2	25.6	2.7	0.4	40.1	<5ppb

安定したガス化が可能だったが、不活性ガス濃度高い

木材供給速度: 9-18 kg/h
 酸素富化空気: 28-90 O₂-vol.%
 ガス化温度: 800-1100 °C



ガス化剤の酸素濃度を高めることで、
 精製ガス中のN₂濃度の大幅な低減が可能

木質系バイオマスからのジメチルエーテルプロセスの開発

【目的・背景】

LPG代替となるDMEを
カーボンニュートラルな
バイオマスから合成し、
バイオDMEとして利用

【研究内容】

バイオマスのガス化及び
メタノールの脱水を経由
してのDME合成までを
一貫して運転・実証



メタノール合成反応

メタノール脱水反応

水性シフトガス反応

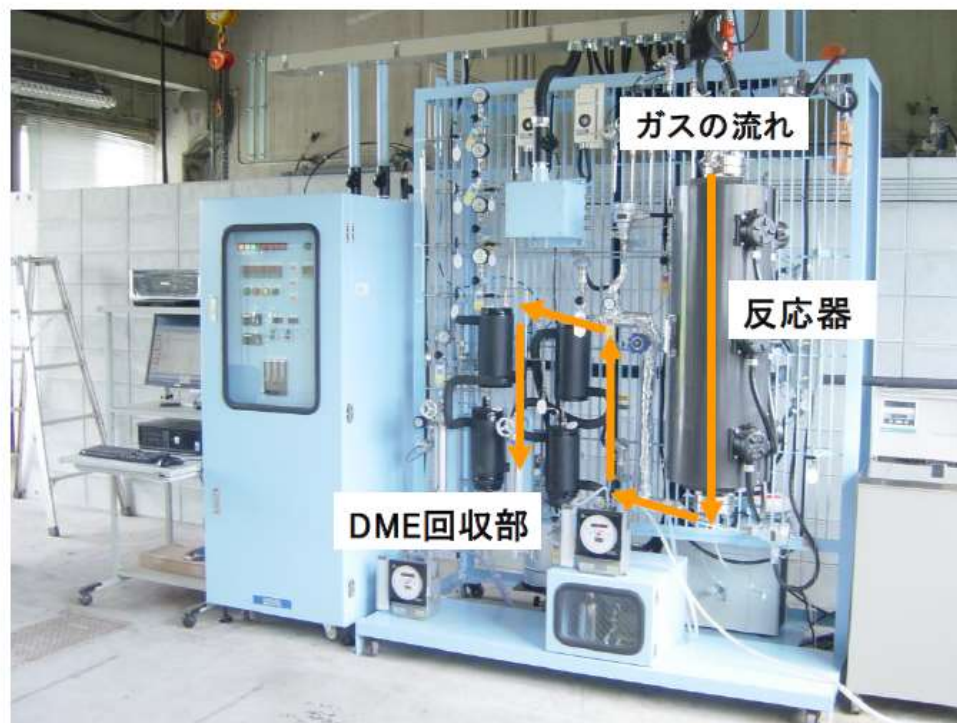
総括反応

Cu-Zn触媒

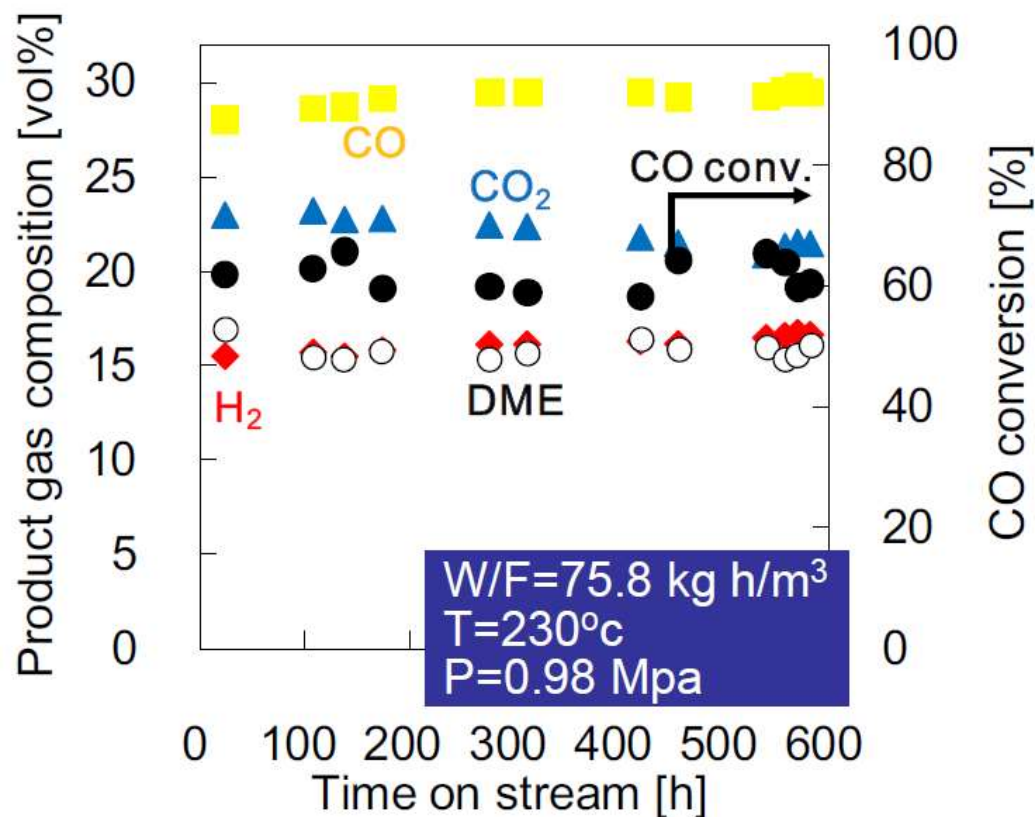
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Cu-Zn触媒

連続式DME合成装置



長時間の定常運転によるDME回収



酸素富荷空気ガス化による
高濃度合成ガス

Feed gas composition/%				
CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂
48.9	39.8	4.3	2.6	4.1



計600時間を超える定常運転により、
バイオマスのガス化由来のバイオDME約1.1kgを回収

DME自動車による実証走行試験へ提供



- DME自動車普及推進委員会の主催したバイオDME自動車走行会において、実際にDME自動車(トラック)の燃料に混合し、実車走行試験が実施された(2010.5.18)

軽油製造を目的としたBTLプロセスの開発

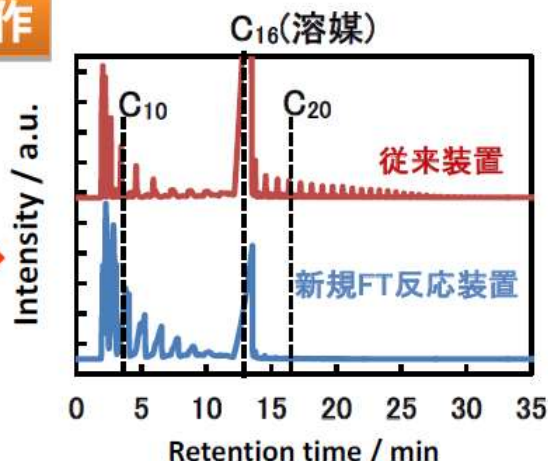
研究課題

- ・小型化、高効率化、低コスト化を目指した研究開発
- ・スケールアップと実用化にあたって必要な技術課題の明確化

本研究での解決策

- ・蒸留工程の簡略化に複数箇所からの生成物の回収方式を導入
- ・拡散リングスパージャーとディスクタービン翼により攪拌性を向上
- ・一貫運転で得られたデータから実用化規模の収支・コストを算出

新規FT反応装置の設計・製作

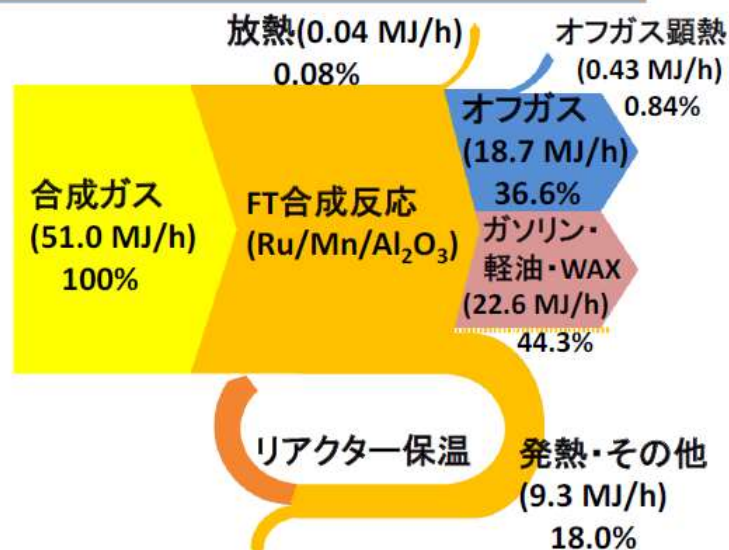


回収生成物のガソリン/
軽油分の分離性向上

気/液/固体の接触改善により
低温での反応性が向上



収支・効率計算、システム検討



プロセスの収支とコストを算出

FT合成に適した組成の合成ガスの製造



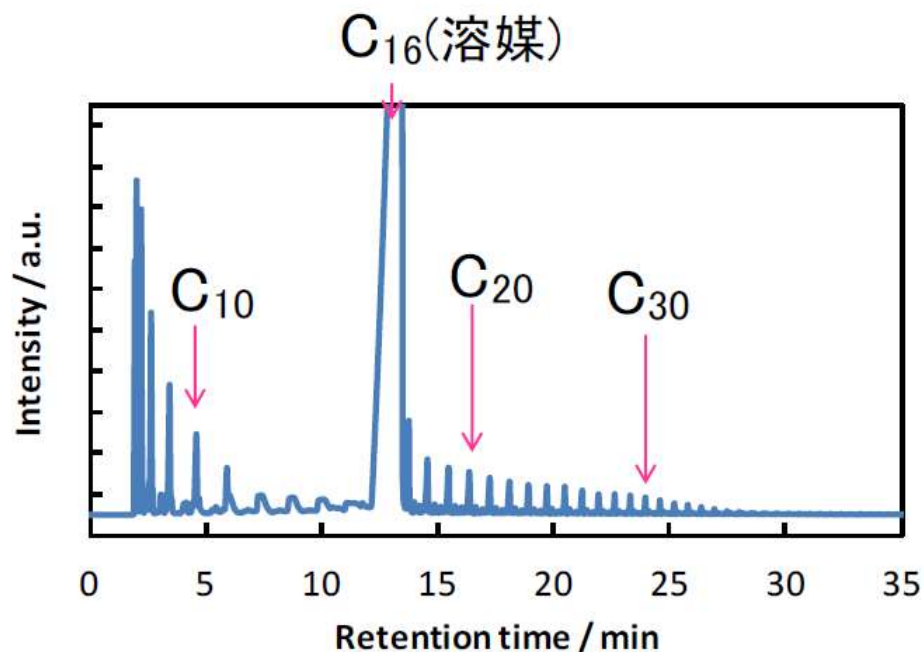
製造した実ガスの組成

H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ +H.C	N ₂	H ₂ S
vol%						ppmv
60.0	30.8	0.1	4.8	0.1<1	4.3	<1

H₂/CO≒2.0、合成ガス分率90%以上のFT合成に適したガスを得る

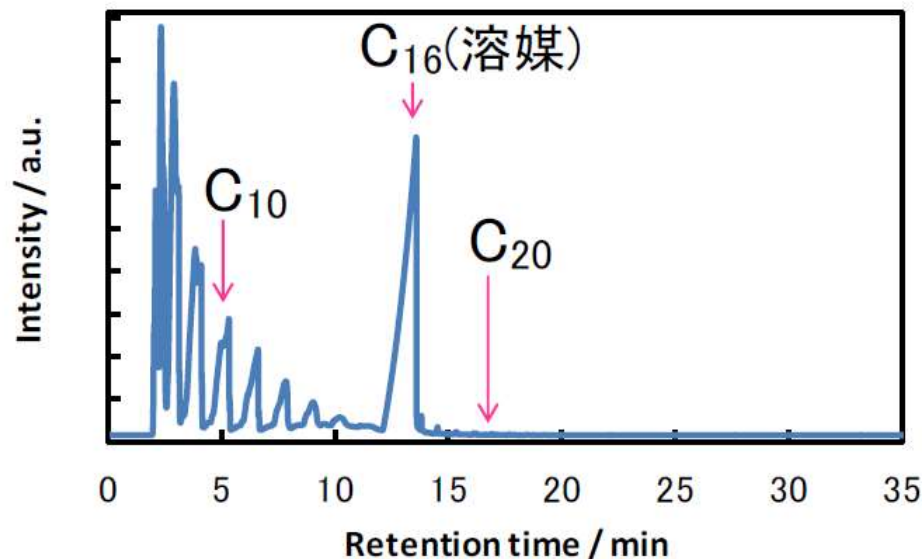
生成物の分離性能の確認

以前までの装置での生成物



冷却トラップ内生成物

新規FT反応装置での生成物



冷却トラップ内生成物

従来装置ではC10以下のガソリン留分とC30以上までの重質分が混在
新装置ではC14未満とそれ以上をほぼ分離して取出可能

次世代航空機燃料
イニシアティブ報告資料
(2015/07/08)より抜粋



合成ガスのエネルギーの
20%をジェット燃料に変換

排出原単位を400kg/人・年
とすると
人口27万人分に相当

他の液体燃料
16,000L/日
(ドラム缶80本)

ジェット燃料
9,500L/日

B737機 1フライト(約1時間)
で使用する燃料は、4,000L

100円/L

分解精製・蒸留

従来型燃料に10%混合
すると、24便分相当

ゴミが持つエネルギーの
40%を合成ガスに変換

FT合成反応

ガス精製・成分調整 — 発電 2,800kW

地方空港でも展開可能

ガス化

合成ガスのエネルギーの
35%を電力に変換

25円/kWh

原料

300t/日

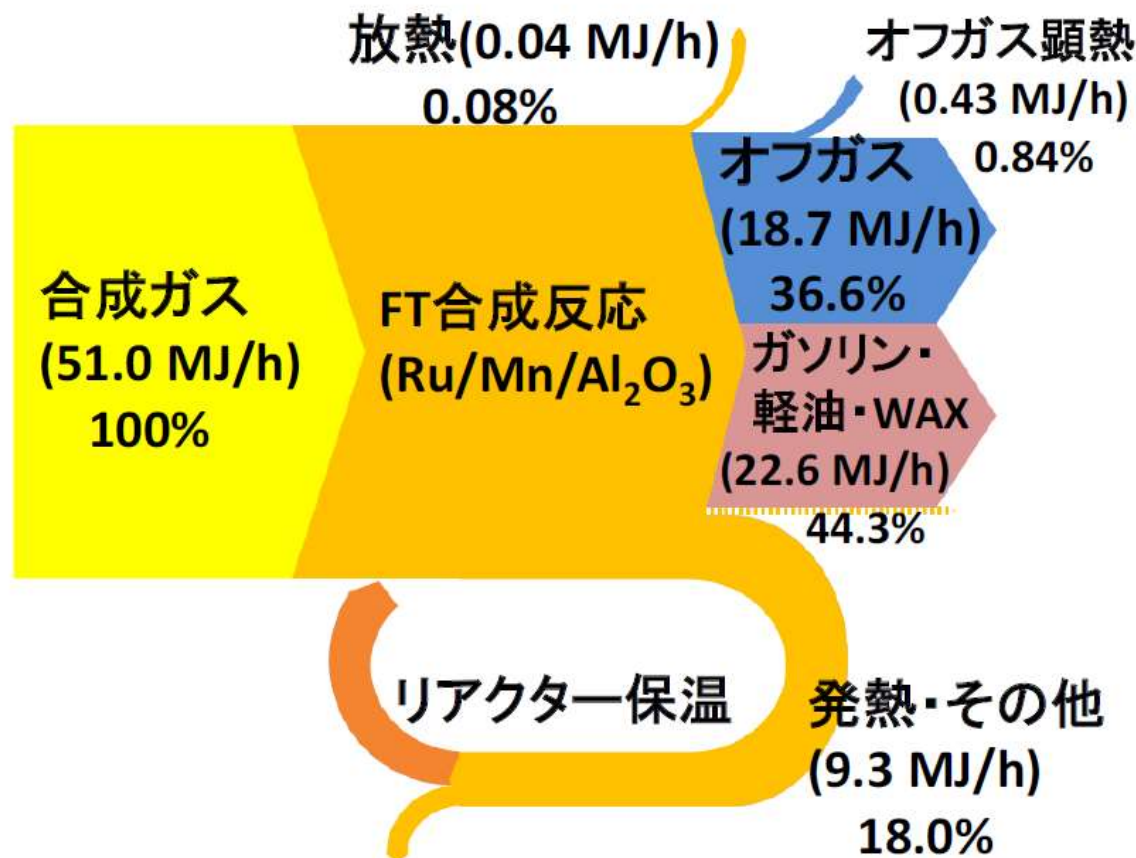
—?円/t

すべてのエネルギーをジェット燃料に変換するのではなく
トータルで経済性が出るプロセスを検討すべき



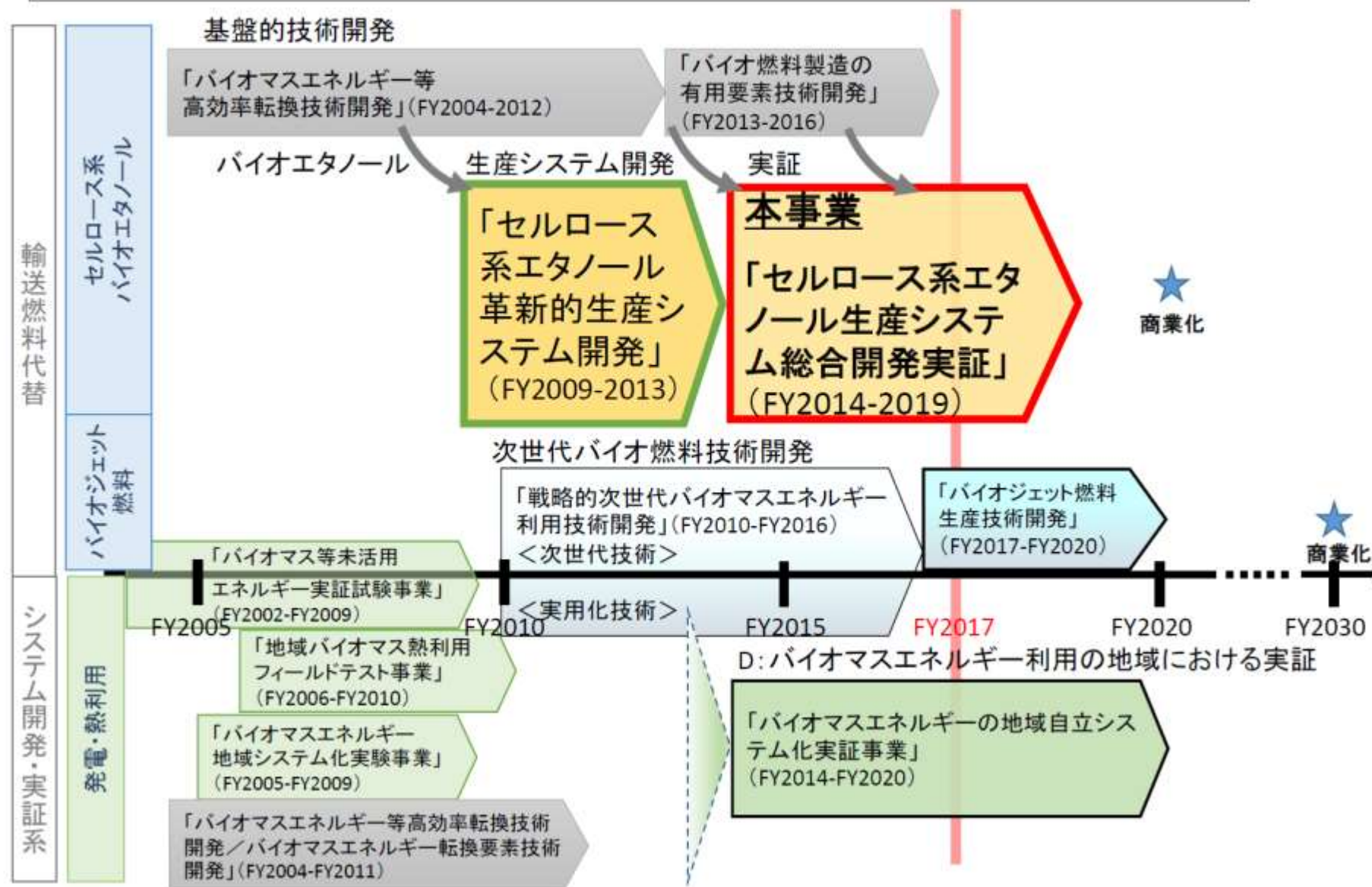
新規FT合成装置の開発 FT反応装置の熱収支

実験結果に基づいてFT反応の物質収支・熱収支を検討



熱量基準での原料ガスから液体燃料(C5以上の炭化水素)への転換率は44.3%
原料ガス熱量からFT反応に寄与しないメタンの熱量を除いた場合、転換率は51.6%に相当

◆ バイオマスエネルギーに関するNEDO取組みの全体像



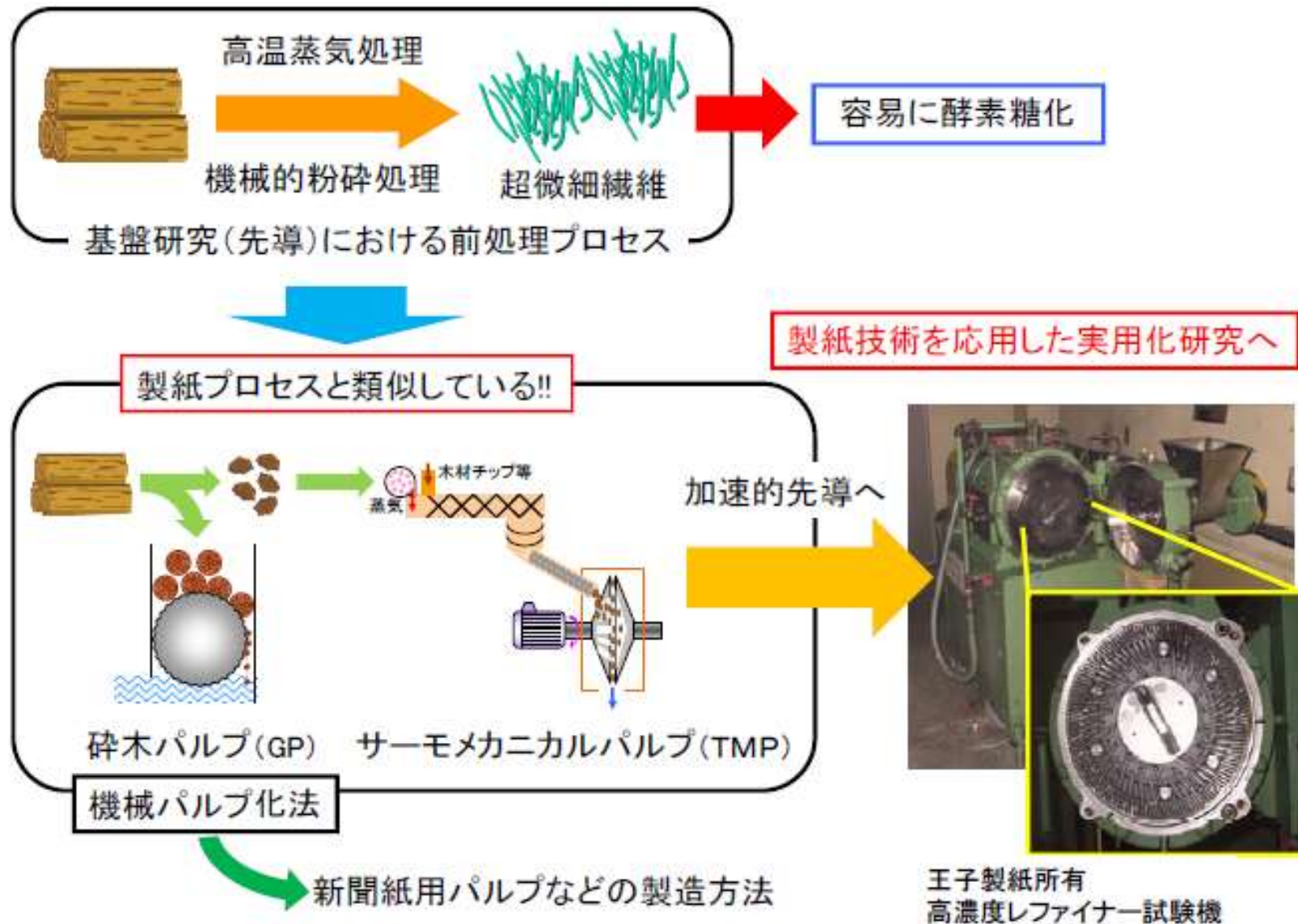
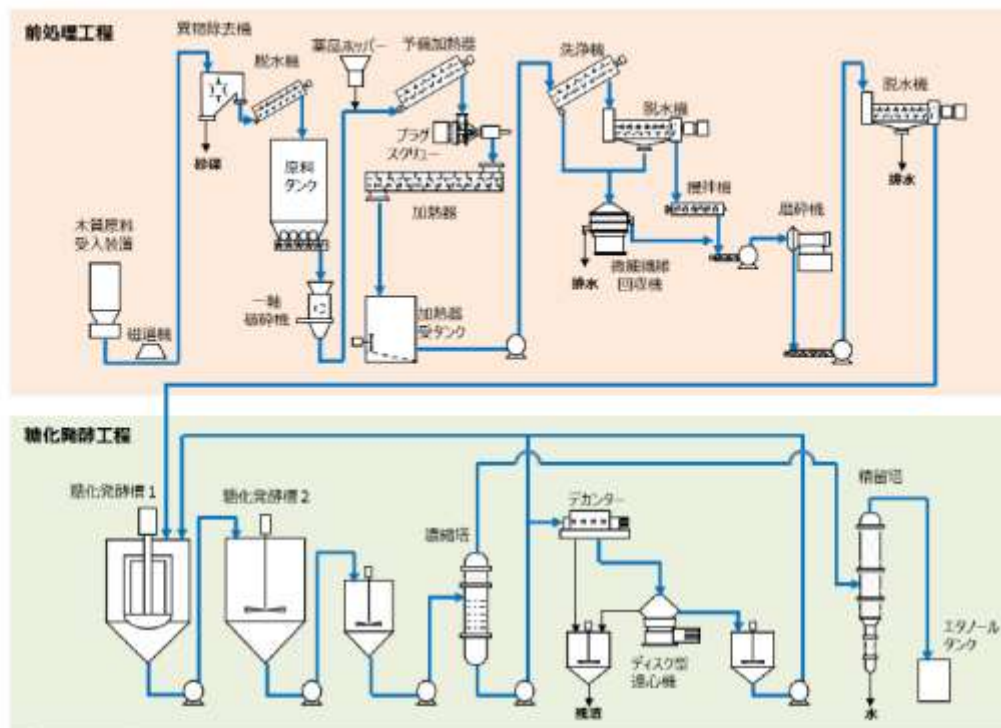


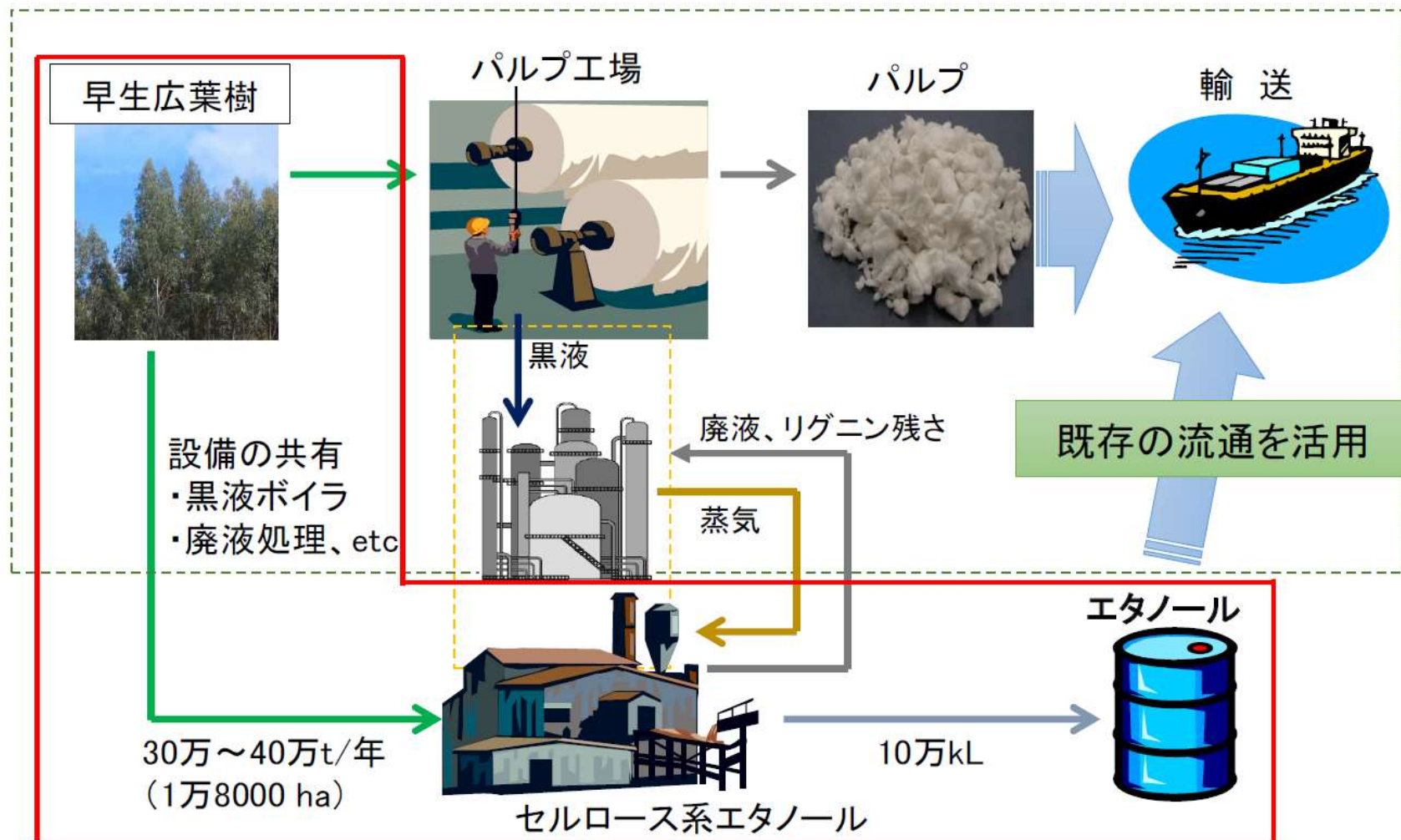
Fig. 1-1-51 製紙技術を応用した前処理技術への展開



発酵槽: 10m³

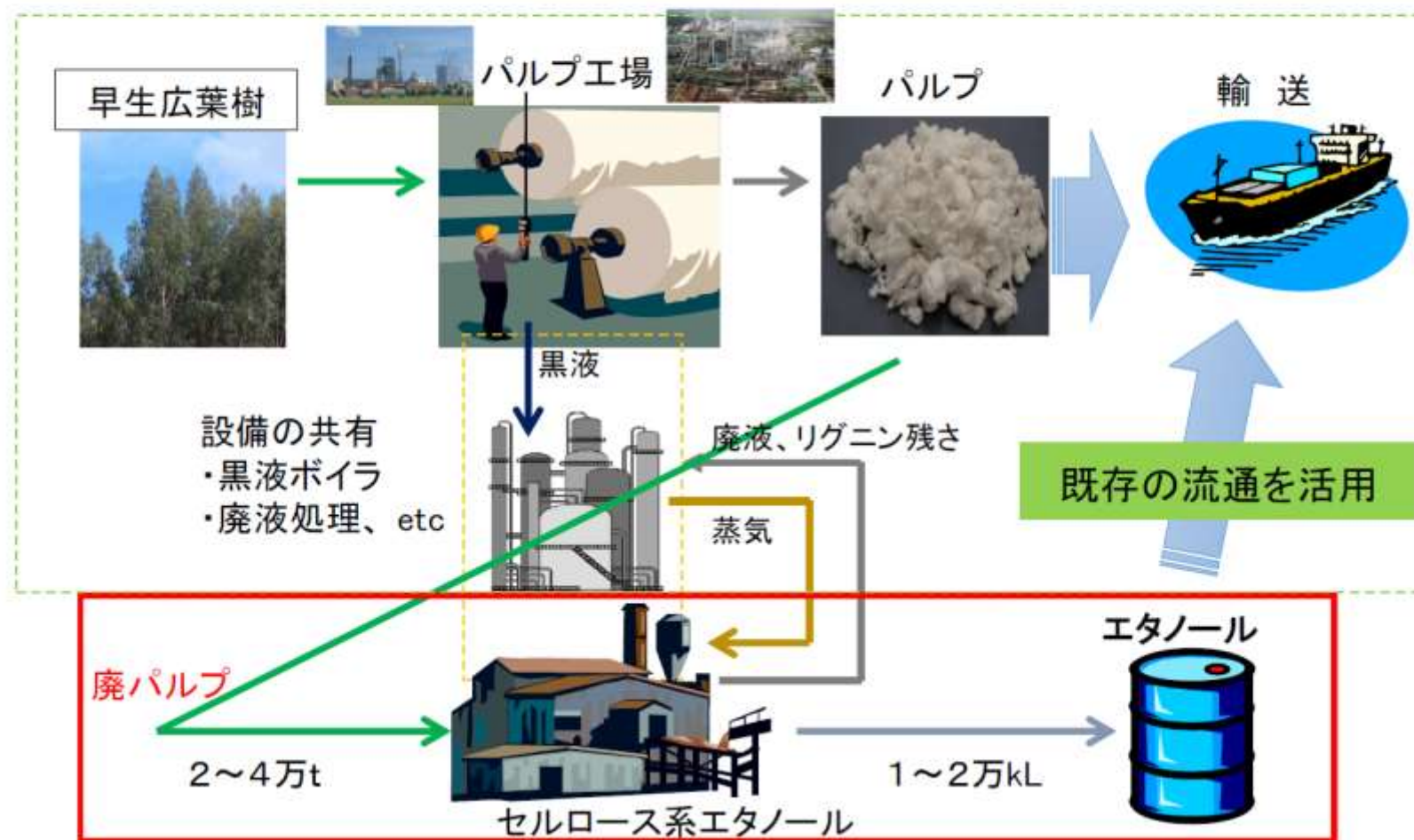
◆ Aチーム 海外のパルプ工場併設モデル(実用化時)

- 王子製紙の海外の既存植林地内にあるパルプ工場にセルロース系エタノール工場を併設することにより、原料調達の効率化、設備の共有化による設備費の削減、既存流通インフラの活用を可能とし、コスト競争力を高める。



◆ Bチーム／①海外の廃パルプ利用モデル(実用化時)

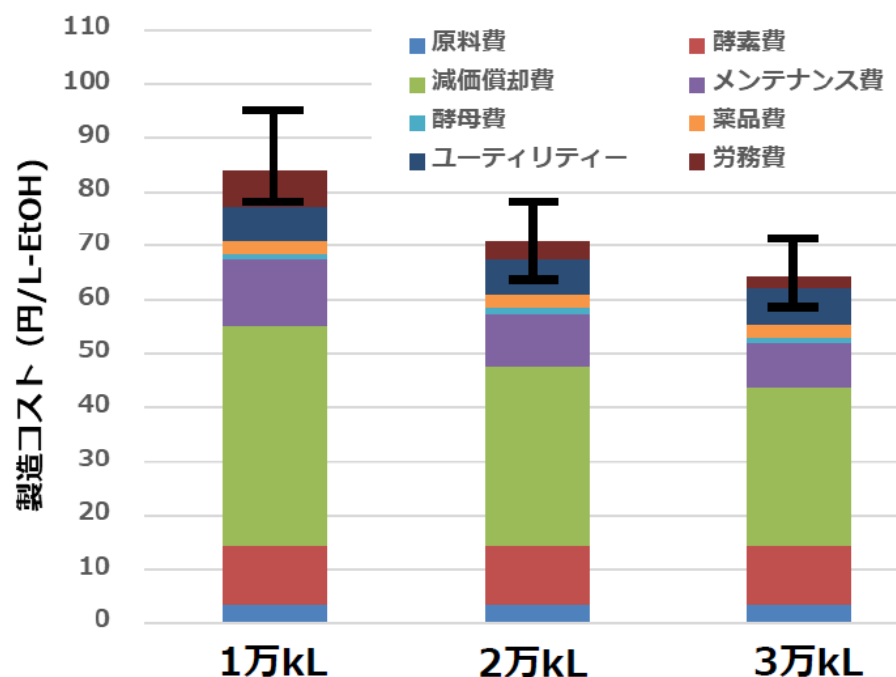
- 海外のパルプ工場に廃パルプからのセルロース系エタノール工場を併設する。原料価格の低減と設備の共有化による設備費の削減、既存流通インフラの活用により、コスト競争力を高める。



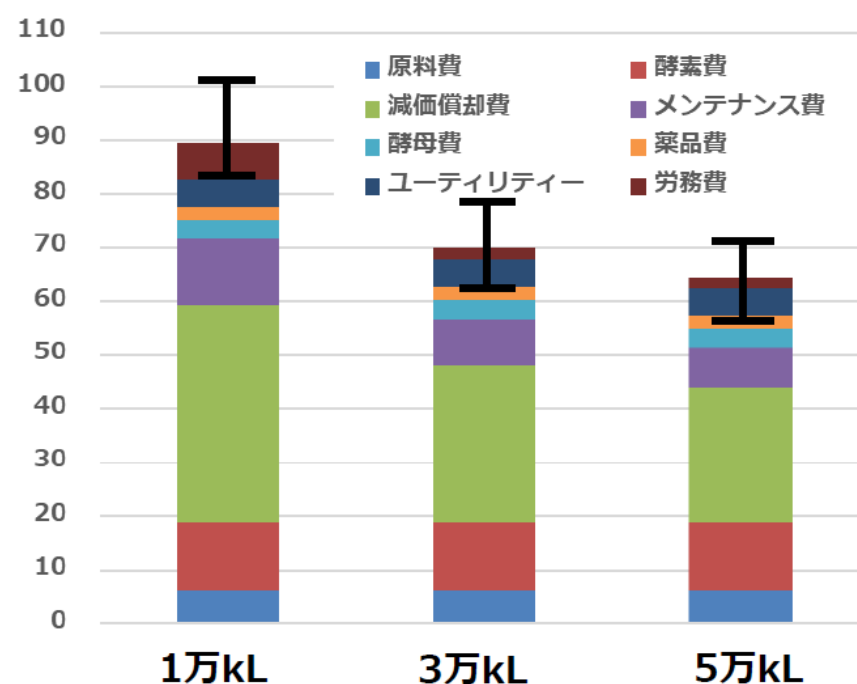
◆ Bチーム事業性評価(エタノール製造コスト)

- 償却年数: 15年、メンテナンス費: 設備費総額の2%(主要機器3%)
- コスト下限値: 酵素添加量削減、エタノール収率向上達成見込みケース
- コスト上限値: 設備稼働率80%低下ケース

海外モデル



国内モデル

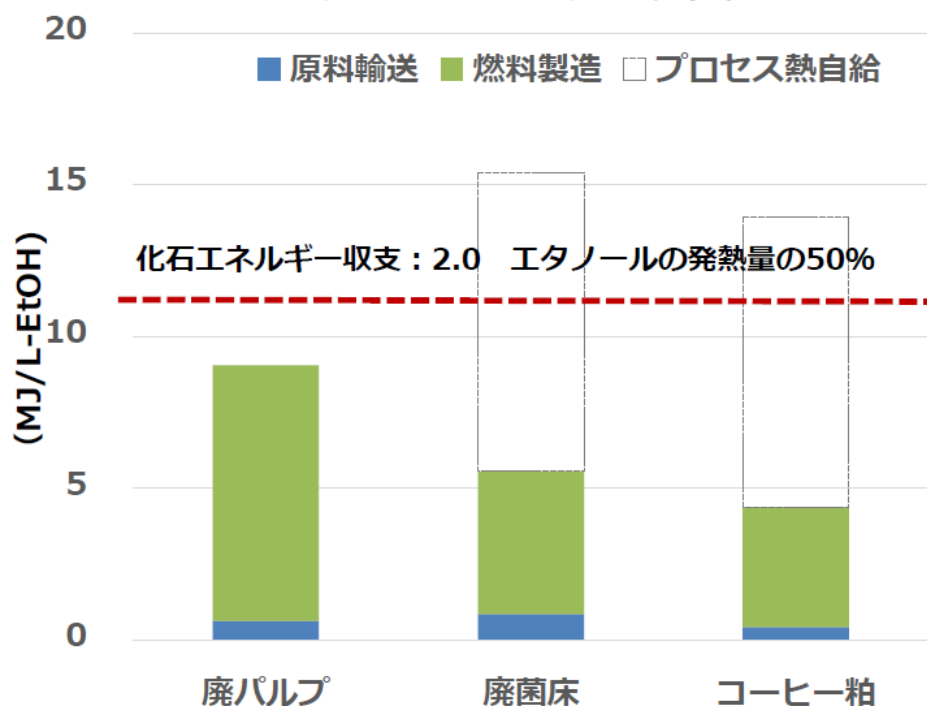


海外モデルで年産2万kL、国内モデルで年産3万kLで展開できれば、エタノール製造コスト70円/L未満を達成可能。

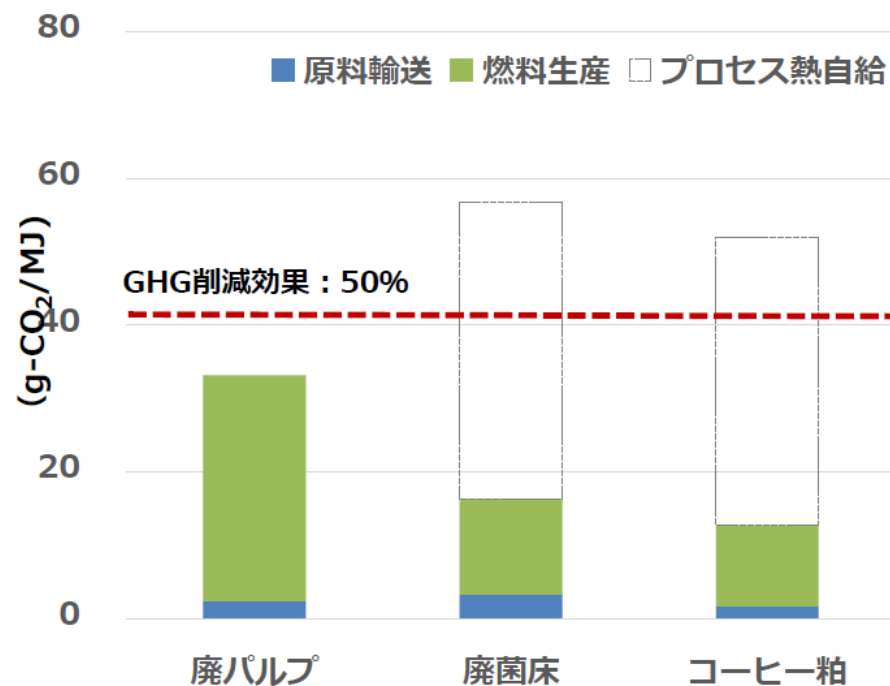
◆ Bチーム事業性評価(エネルギー収支、GHG削減効果)

- 連続爆砕装置からの排蒸気は蒸留工程で利用
- プロセス残渣はバイオマスボイラーでエネルギー回収

化石エネルギー収支



GHG削減効果



いずれの原料においても
化石エネルギー収支2.0以上、GHG削減効果50%以上を達成可能。

■ 技術課題

日本では、従来、エタノールを①脱水し、②低重合し、多様な製品（潤滑油や洗剤）の原料が生産されてきたが、燃料用途の開発は全く取り組まれてこなかった。

燃料用途の開発には②低重合（オリゴマー化）により燃料の炭素分布を効率よく生産する触媒や、スケールアップしても安定的に制御可能なプロセスの開発が課題。（図2参照。）

エタノールが余剰する米国では、この高効率化の研究開発が進められてきた。

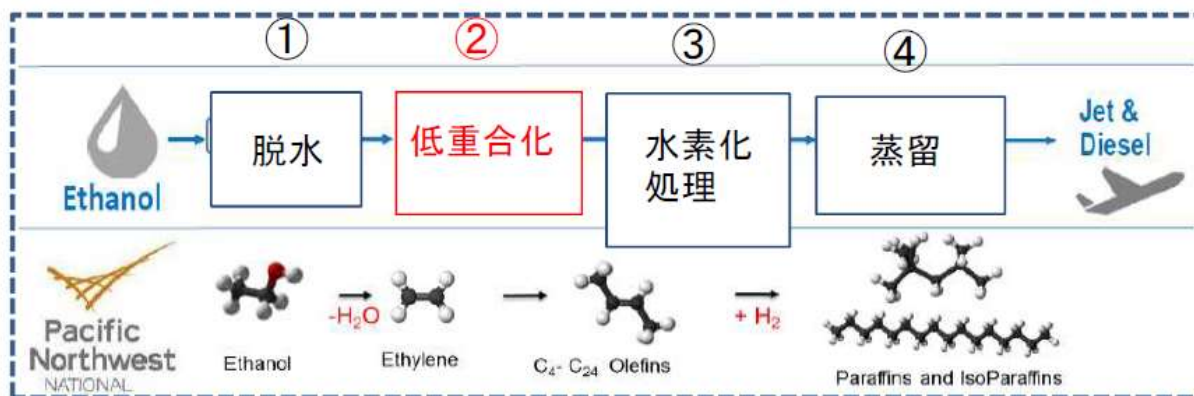


図1 エタノールからJet燃料を生産するプロセス
出典: LanzaTech資料に技術戦略センター加筆

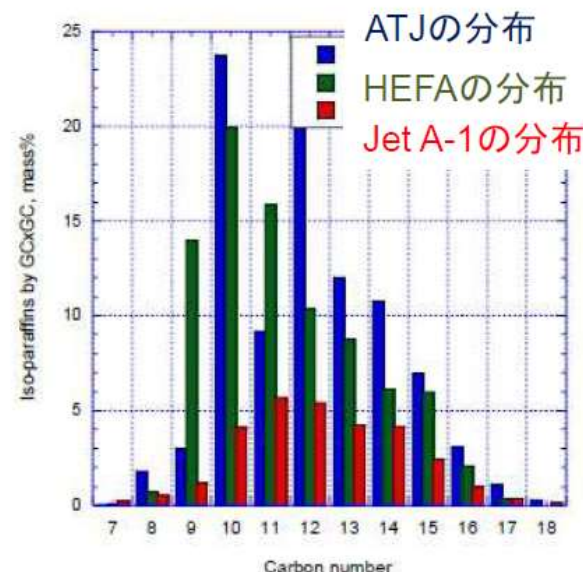
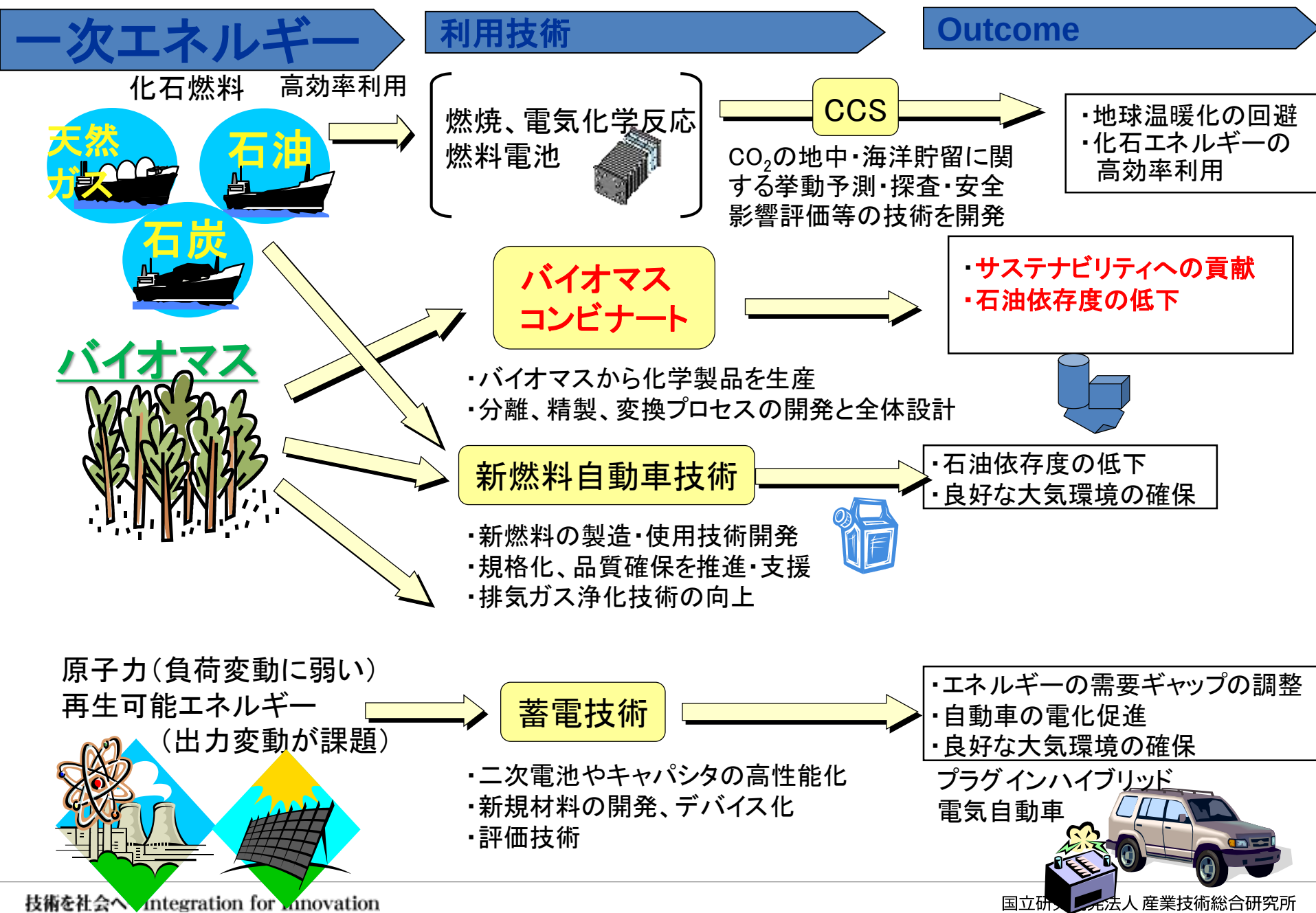


図2 ジェット燃料の炭素数分布

出典: LanzaTech資料

国立研究開発法人 産業技術総合研究所



バイオマス利活用のこれまでとこれから

2005年

廃棄物系

分散型エネルギー源 & スマートグリッド

ガス転換

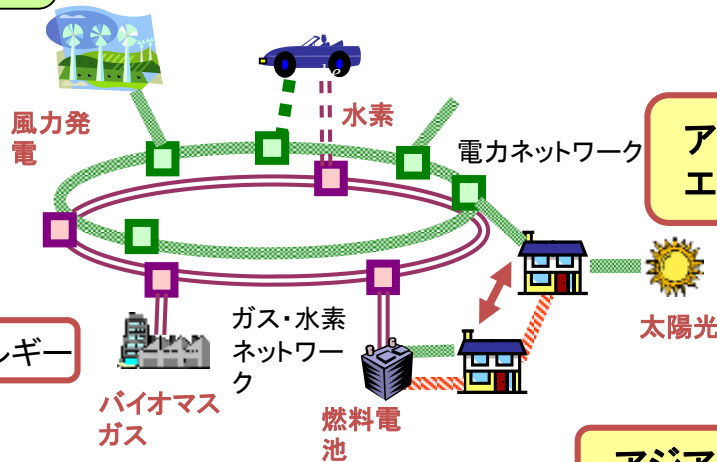
水素転換

国内ローカルエネルギー

地域連携課題

国際展開

アジアのローカルエネルギー



2020年

運輸用液体燃料製造

重点課題

アジアのプランテーション

木質系
草本系

ガス転換

軽油転換

BTL技術

ディーゼル、バイオジェット

エタノール発酵

バイオETBE, ATJ等

新グリーン燃料



2030年

石油代替化学原料

中・長期的課題：
バイオマスコンビナート
への展開

バイオマスリファイナリー