

## 2021年度成果報告会

# 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/ 国産第二世代バイオエタノールからの バイオジェット燃料生産実証事業

(株) Biomaterial in Tokyo  
三友プラントサービス (株)

問い合わせ先  
株式会社 Biomaterial in Tokyo  
代表取締役 泉 可也  
E-mail: izumi.y@biomt.co.jp  
TEL: 092-558-2733

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2020年10月23日

終了（予定） : 2025年 2月28日

## 2. 最終目標

本事業では、ATJ (Alcohol to Jet) 技術による純国産バイオジェット燃料の製造から航空機への供給までの一貫したサプライチェーンモデルの構築を目的とする。最終的に、国内で1年を通じて安定的に発生する未利用バイオマスとして難再生古紙・古紙パルプ等を原料とし生産した純国産第二世代バイオエタノールを変換する事で得られる、純国産バイオジェット燃料を年間150KL生産する（2024年度）。そのために、2021年までに既設のAtJ設備を用いて連続運転を行い、大規模バイオジェット燃料製造プラントの設計を行う。

## 3. 成果・進捗概要

2020年度は、酵素糖化の安定化の試験および低濃度エタノールからのバイオジェット燃料生産最適化の各事業項目を行った。

酵素糖化の安定化については、酵素の再利用安定性評価を行い、糖化試験においては適度に酵素を外添することで酵素回収系でも十分に活性を維持することが確認できた。しかし、併行複発酵においてはエタノール生産性の低下が確認された。

バイオジェット燃料生産最適化については、2020年度から2021年度にかけてバイオジェット燃料製造の一段階目であるエチレンの製造を複数回行い、生産効率は悪いものの、純度の高いエチレンの製造に成功している。また、ジェット製造装置にてクルード炭化水素を取得し、ジェット分が含まれていることを確認した。

- 国内で発生した古紙パルプから生産される純国産バイオ燃料を原料に、純バイオジェット燃料を生産し、供給するモデルケースの実証を実施する。

古紙・パルプ供給



**純国産第二世代  
バイオエタノール生産事業**  
(3000kL/年)

**{bits}**

**PLANT SERVICE**



試験製造 (2020～)  
30L/日



**純国産ATJ燃料事業**  
150kL/年

**{bits}**

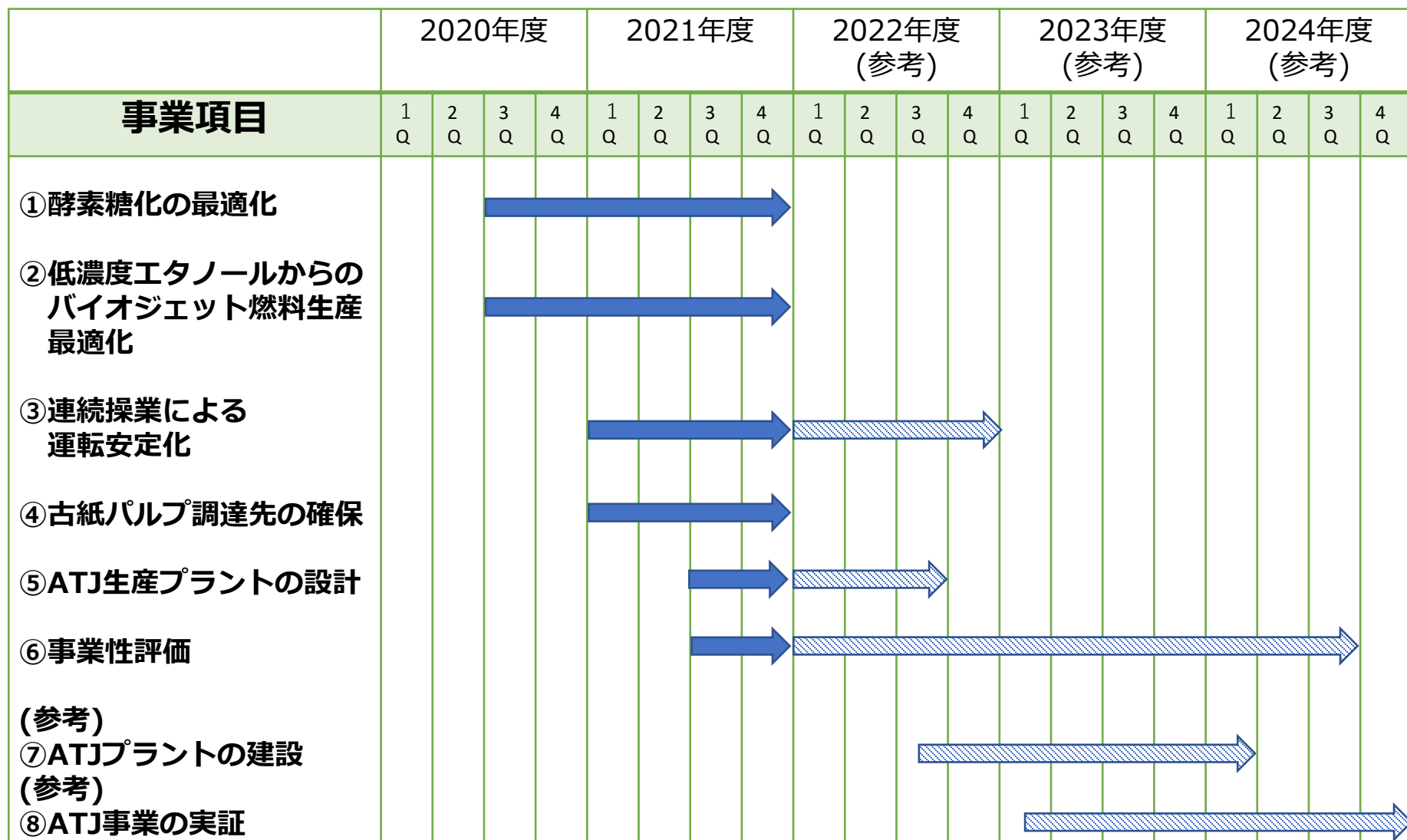
**PLANT SERVICE**



**バイオジェット  
燃料供給事業**

**ジェット燃料製造供給会社**

# 実施計画のスケジュール

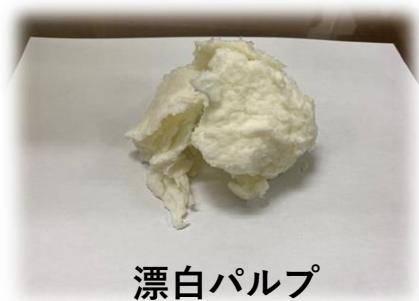
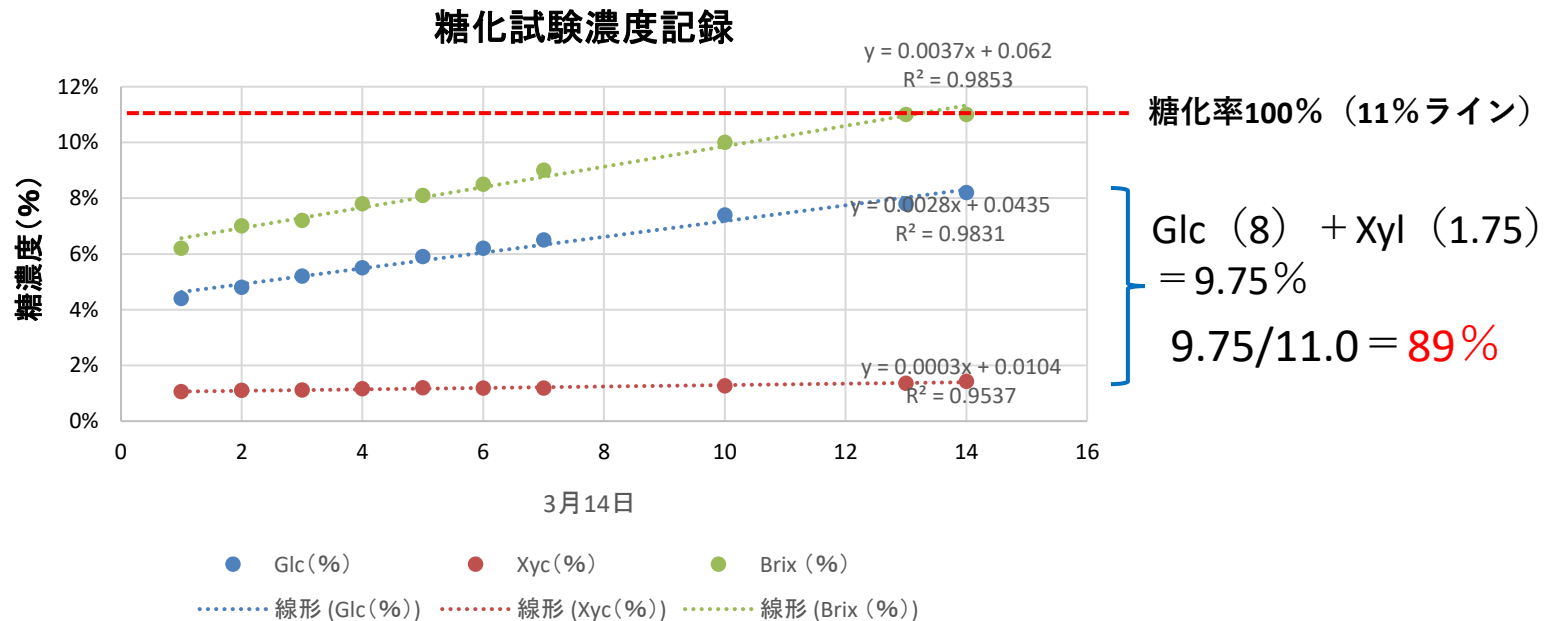


# PJ目標、これまでの成果及び見通し

事業項目 [担当]	2020年度までの成果	2021年度の実施内容
①酵素糖化の最適化 [BITS]	酵素の再利用安定性評価を行った。 糖化反応においては、回収酵素に 十分な活性を確認した。	バイオエタノールの製造技術に おける酵素の再利用方法の確立 を目指す。
②低濃度エタノール（30%～ 95%）からのATJ生産の最適化 [BITS・三友]	2021年度にかけて不純物の少ない 高濃度エチレンの取得に至った。 また、クルード炭化水素を分析し、 ジェット分を確認するとともに、 アロマ分の存在を確認した。	ATJ変換の最適条件の確立を目指 し、低濃度エタノールを用いた エチレン生産・ジェット生産試 験を行う。
③連続操業による運転安定化 [三友・BITS]	2021年度実施項目	②の知見を基に連続操業を行い 運転の安定化を図る。
④古紙パルプ調達先の確保 [三友・BITS]	2021年度実施項目	原料エタノールの生産のための 古紙パルプの確保を行うととも に、一年を通じた糖化効率の変 動を確認する。
⑤ATJプラントの基礎設計 [BITS・三友]	2021年度実施項目	連続操業試験を基に、生産量 150KL/年規模のATJプラントの 基礎設計を行う。
⑥事業性評価 [BITS・三友]	2021年度実施項目	航空機へのサプライチェーンモ デル構築の協力組織となる石油 元売との連携を行い、事業性を 評価する。

# 項目① 酵素糖化の最適化, 廃棄古紙、廃棄パルプ及び古紙パルプ等からバイオエタノール製造技術の確立

- ・ リグニン含量が少ない漂白パルプが原料であれば、酵素量を適正化することで80%以上の糖化率が達成可能である。
- ・ 酵素は糖液中より限外濾過膜にて回収可能である。

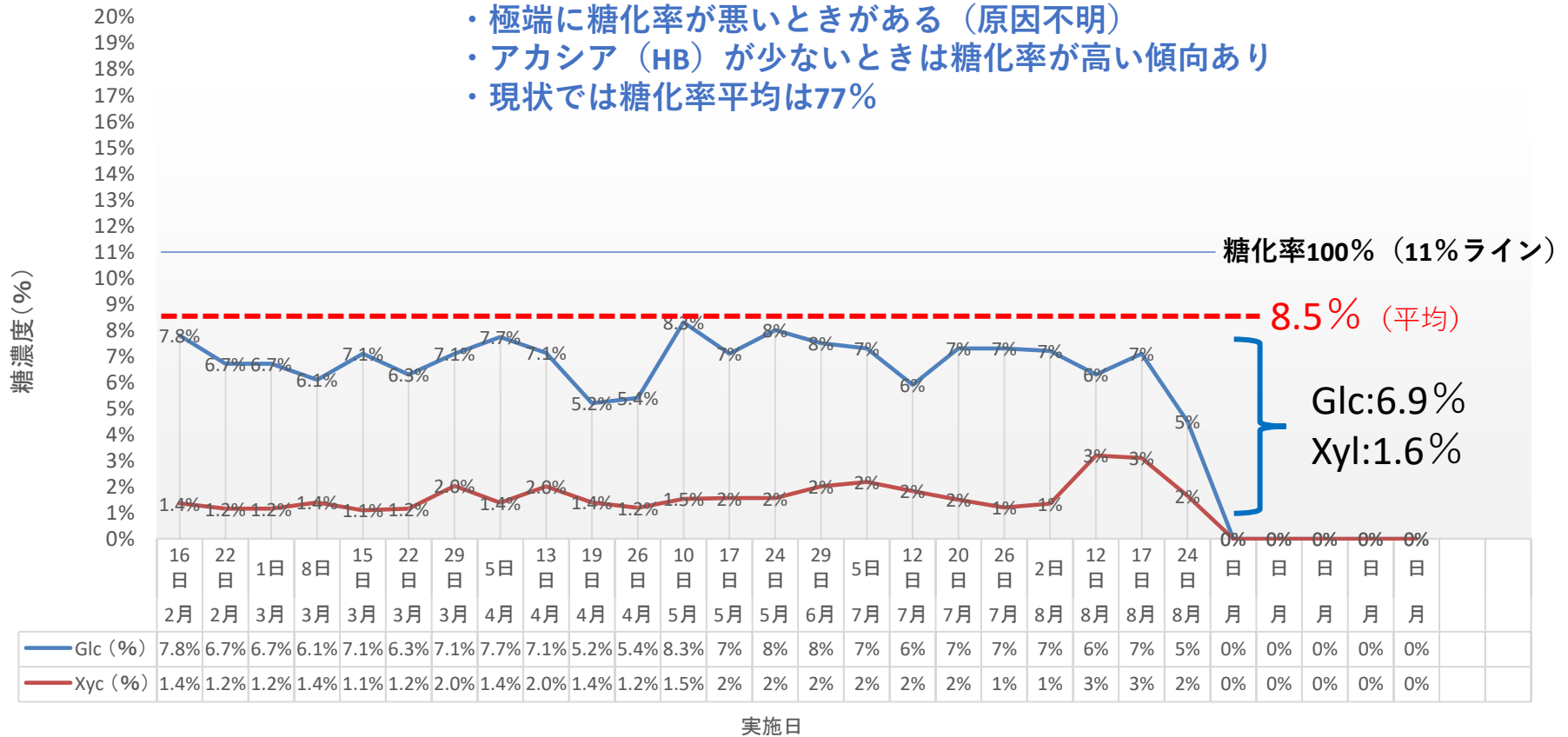


# 工場パルプでの糖化性の確認

## (年間でのばらつき確認)

### 糖化試験糖濃度年間記録

- ・ 極端に糖化率が悪いときがある (原因不明)
- ・ アカシア (HB) が少ないときは糖化率が高い傾向あり
- ・ 現状では糖化率平均は77%



# Novozymes社 Ctec3HSに含まれる酵素の再利用安定性評価結果

## ＜回収酵素による糖化実験＞

- ・ 八戸工場のLBKP（漂白pulp）を濃度10%で使用
- ・ Novozymes社 Ctec3HSを30FPU/g添加
- ・ 糖化温度 50℃、糖化時間 24時間
- ・ 糖化後の酵素をUF膜で回収し、次の実験に使用
- ・ 3回目、4回目は回収酵素にCtec3HSを3FPU/g追加

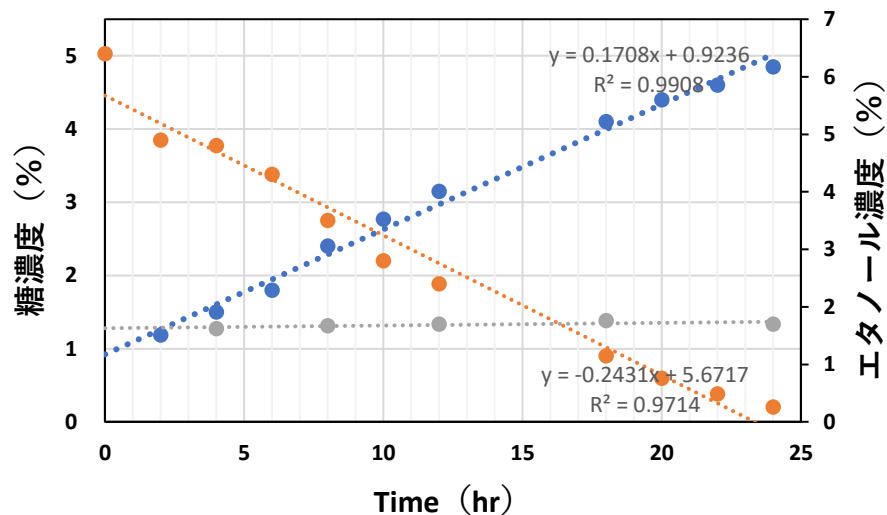
	Glucose (%)	Xylose (%)	糖化率 (%)	fold
1回目	7.54	1.51	90.5	1
2回目	7.12	1.35	84.7	0.94
3回目	7.09	1.4	84.9	1.00
4回目	7.22	1.4	86.2	1.02

- 1回目、2回目の結果から、回収酵素系で約10%程度活性が低下
- 2～4回目の結果から、適度に酵素を外添することで回収酵素系でも活性を維持することが可能

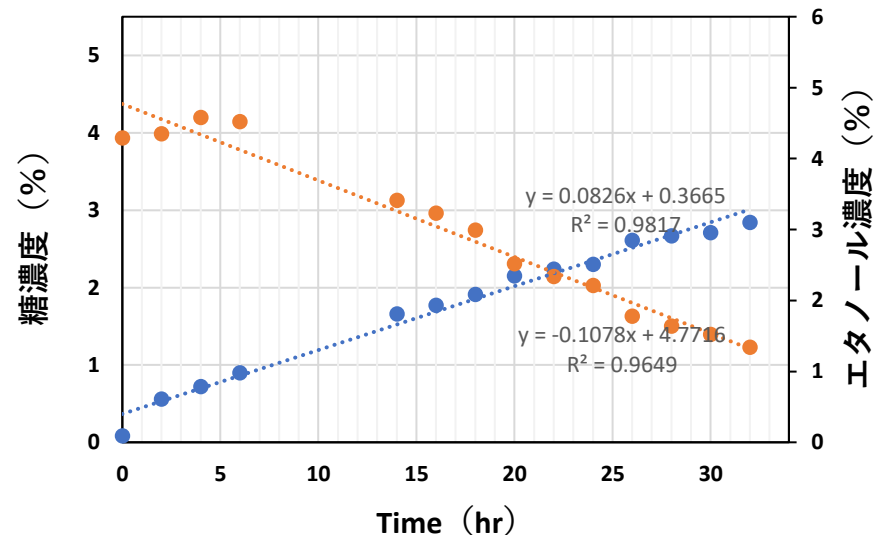


# 併行複発酵（SSF）でのエタノール生産確認

SSF1








SSF2



- 10%pulp、30FPU /g、0.5%酵母にて24時間SSF1を実施後、上清の酵素をUF膜にて回収し再度、10%pulpになるようにpulpを添加、同時に回収した酵母を再投入してSSF2を実施した。
  - >>>SSF2：エタノール生成速度が低下、遠心回収した酵母に問題がある可能性
  - >>>SSFではなくてSHF（糖生産後に酵母投入）の方が生産性が上がる可能性あり

## 項目② 低濃度エタノールからの純国産バイオジェット燃料生産の最適化 およびATJ技術の最適条件の確立

### ATJ（アルコールtoジェット）プロセスの技術比較

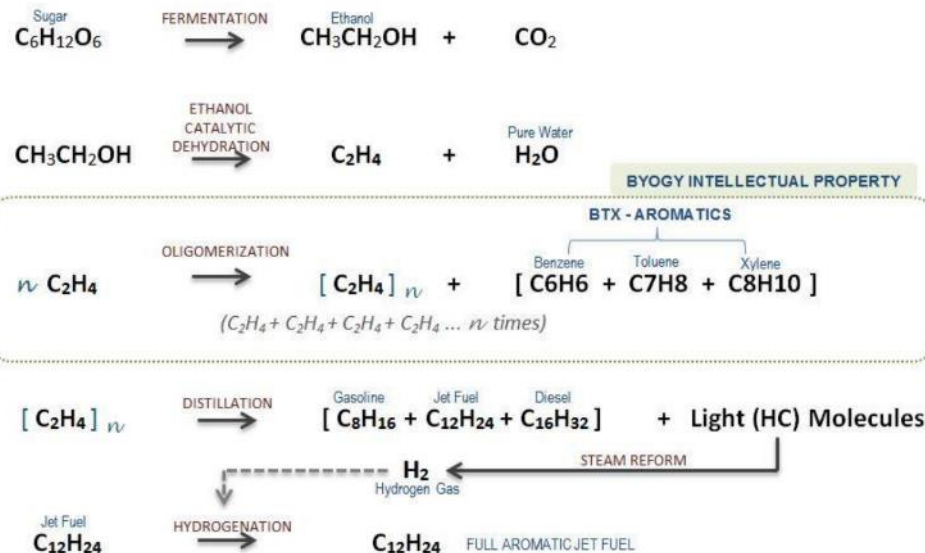
Company	Founded Headquarters	Feedstock	Oligomerization	BTX
	2000 Stockholm, Sweden	Ethanol	2-Step	Yes
	2006 California, United States	Ethanol	2-Step	Yes
	2005 Illinois, United States	Ethanol	2-Step	No
	2005 Colorado, United States	Isobutanol	1-Step	No
	2012 California, United States	Ethanol	1-Step	Yes

# エタノール改質プロセスの設計データ

Petron社 : エタノール to エチレン改質装置

Byogy社 : エチレン to ジェット改質装置

Ethanol  
80L/d

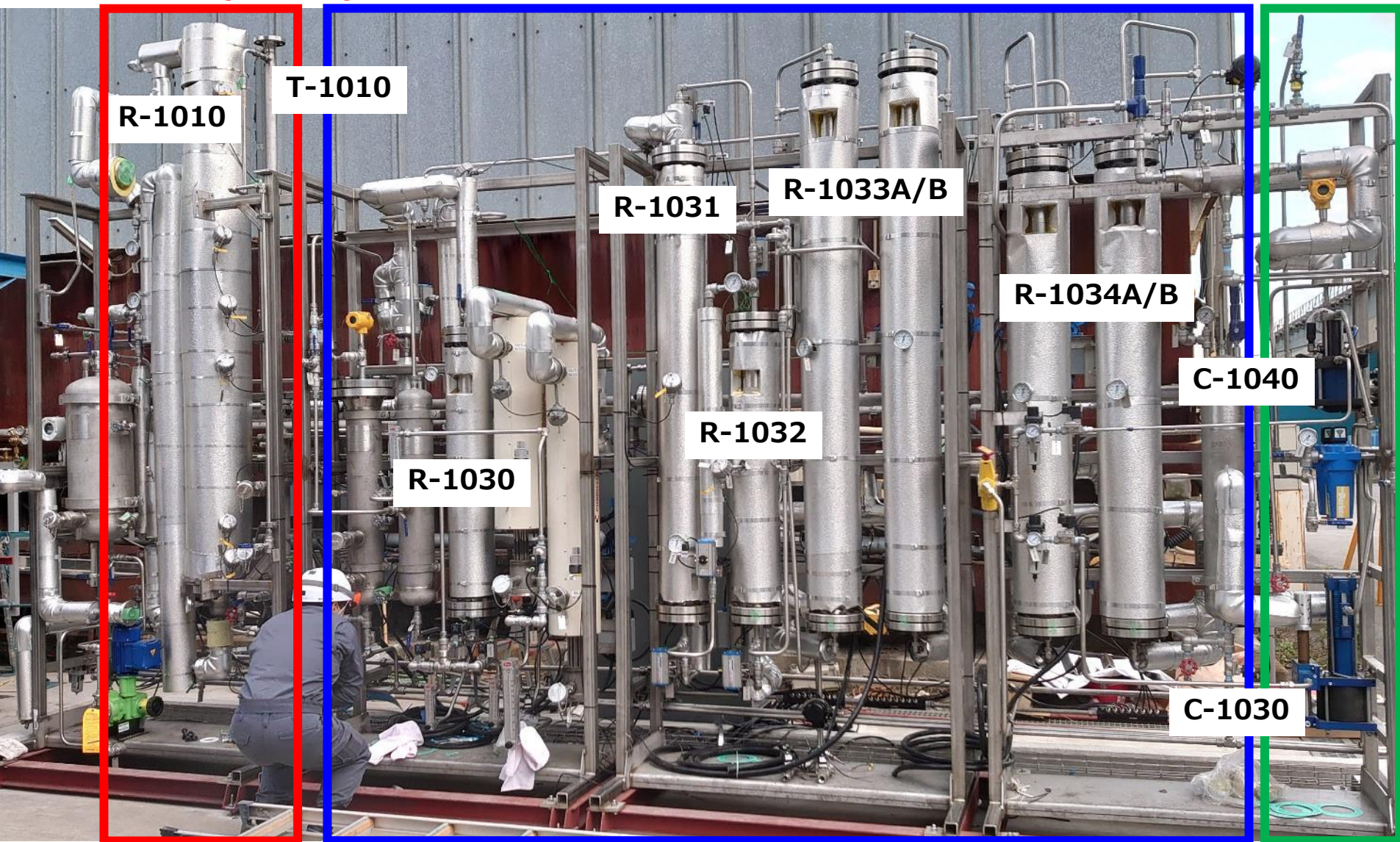


Biojet Fuel : 30L/d  
Diesel: 7.5L/d



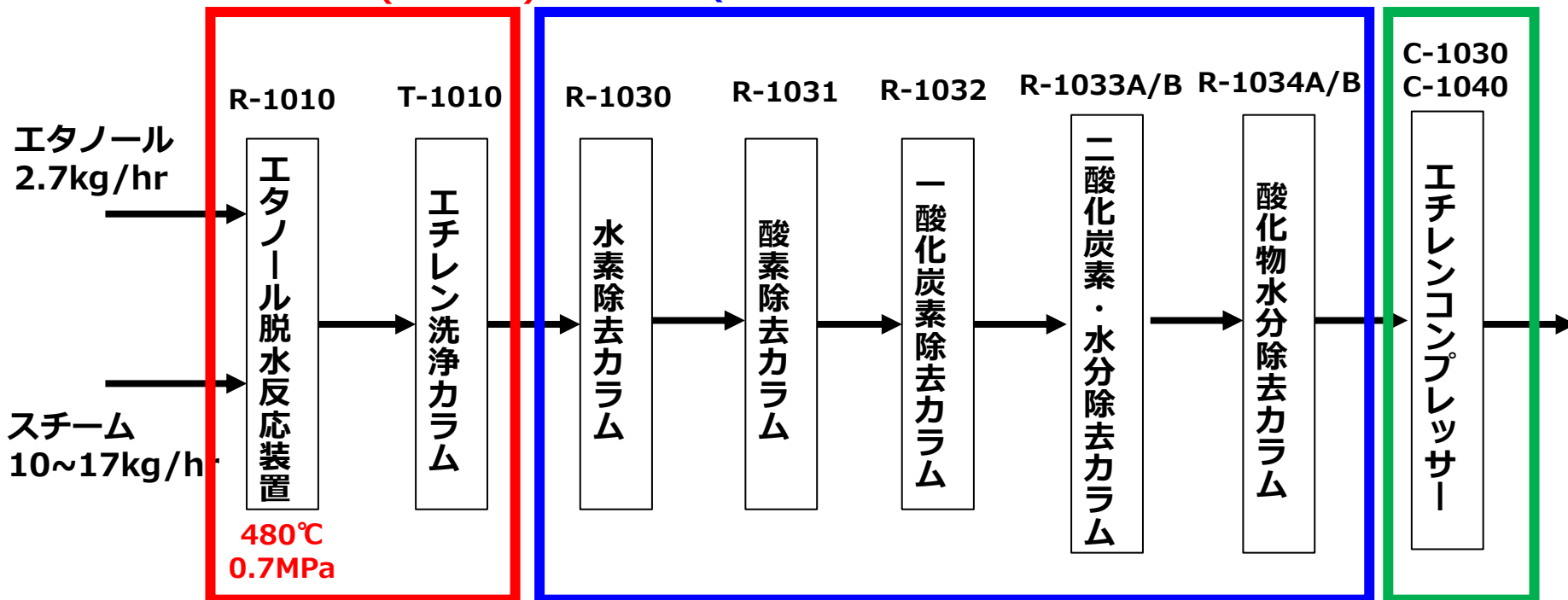
# エタノール to エチレン改質プロセス (Petron社)

スキッド1 (脱水反応) スキッド2(不純物除去)



# エタノール to エチレン改質プロセス (Petron社)

スキッド1 (脱水反応) スキッド2 (不純物除去)



エタノールに蒸気を加え、450℃以上にスーパーヒートしてエタノール脱水反応装置に投入する。その後、不純物を取り除き、高純度のエチレンを得る。エタノール脱水装置に投入するエタノール濃度は10~20w/w%程度。エタノール製造プロセスの精留・脱水工程の省略による環境性向上の可能性あり。しかし、現行装置では反応エネルギーから考え、低濃度エタノールからのエチレン製造は難しいと予想される。

# エチレン分析結果

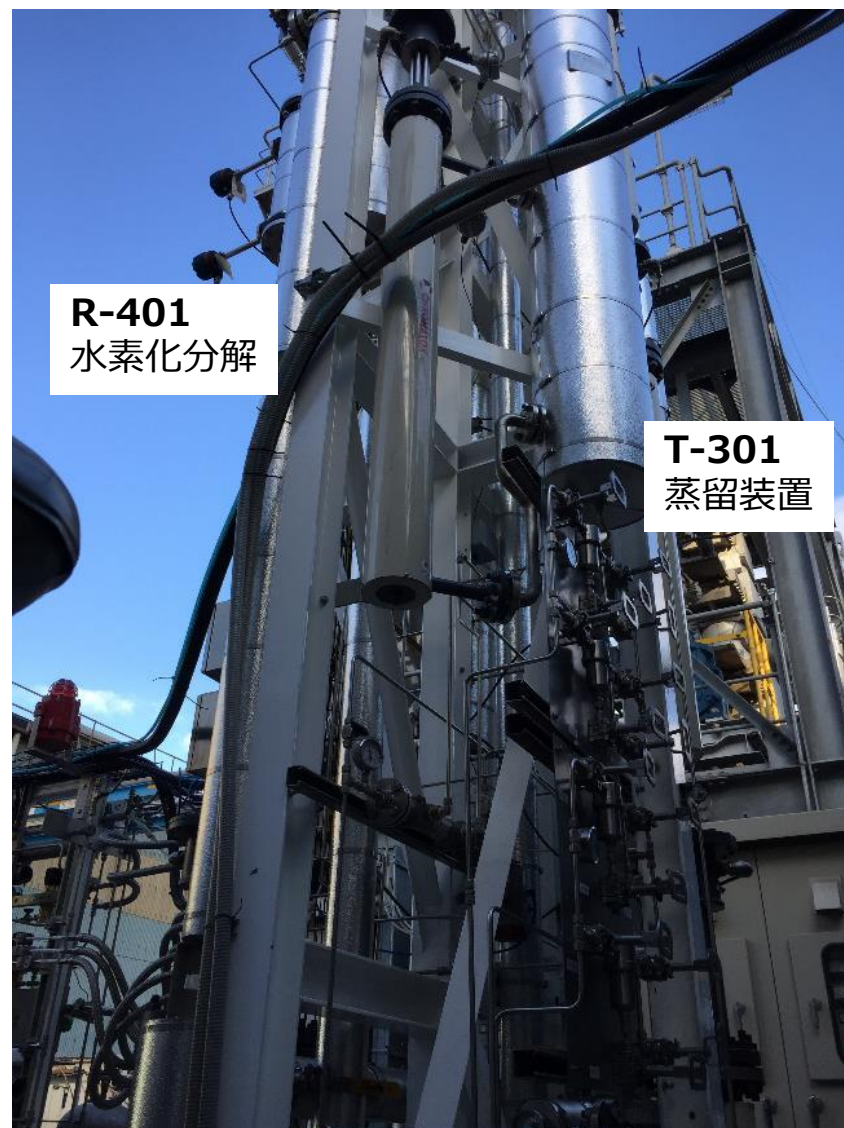
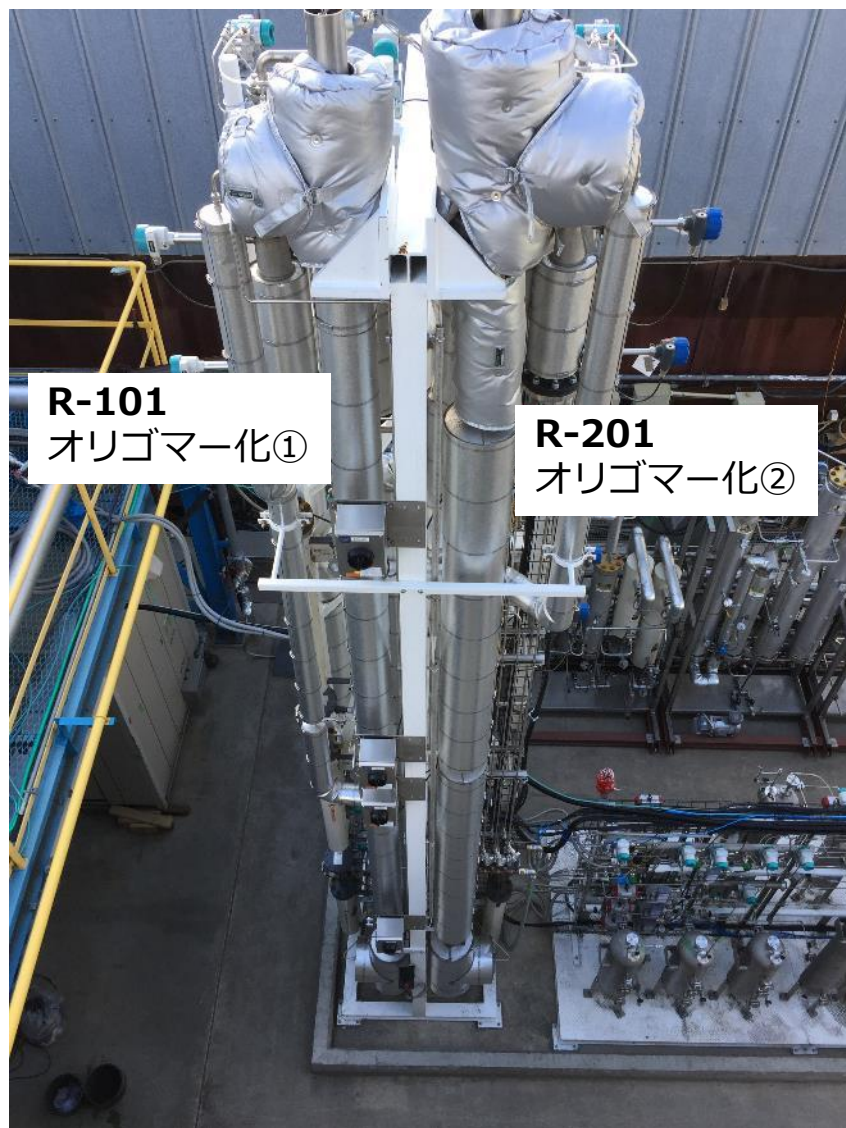
	Run1	Run4		Run5		Byogy 要求スペック
試験日程	210202-04	210608-10		210803-06		
分析機関	弊社	社外A	社外B	社外A		
スキッド	スキッド1	スキッド1	スキッド1	スキッド1	スキッド2	
Ethylene [%]	95.3	98	97.4	*2	*2	99.5<
H <sub>2</sub> [%]	*1	0.94	0.85	*2	*2	<0.08
O <sub>2</sub> [%]	*1	0.35	0.25	0.9	<0.0005	<0.1
N <sub>2</sub> [%]	*1	1.4	1.2	5.8	0.51	—
CO [%]	*1	0.003	0.0026	0.005	<0.00001	<0.0005
CO <sub>2</sub> [%]	*1	0.085	0.1	0.09	<0.0001	<0.001
Methane [%]	*1	0.0027	<0.01	*2	*2	<0.1
Ethane [%]	*1	0.1	0.13	*2	*2	<0.1
Acetylene [%]	*1	<0.005	<0.01	*2	*2	—
H <sub>2</sub> O [%]	*1	0.043	0.042	*2	*2	<0.001

\*1:未測定, \*2:分析中

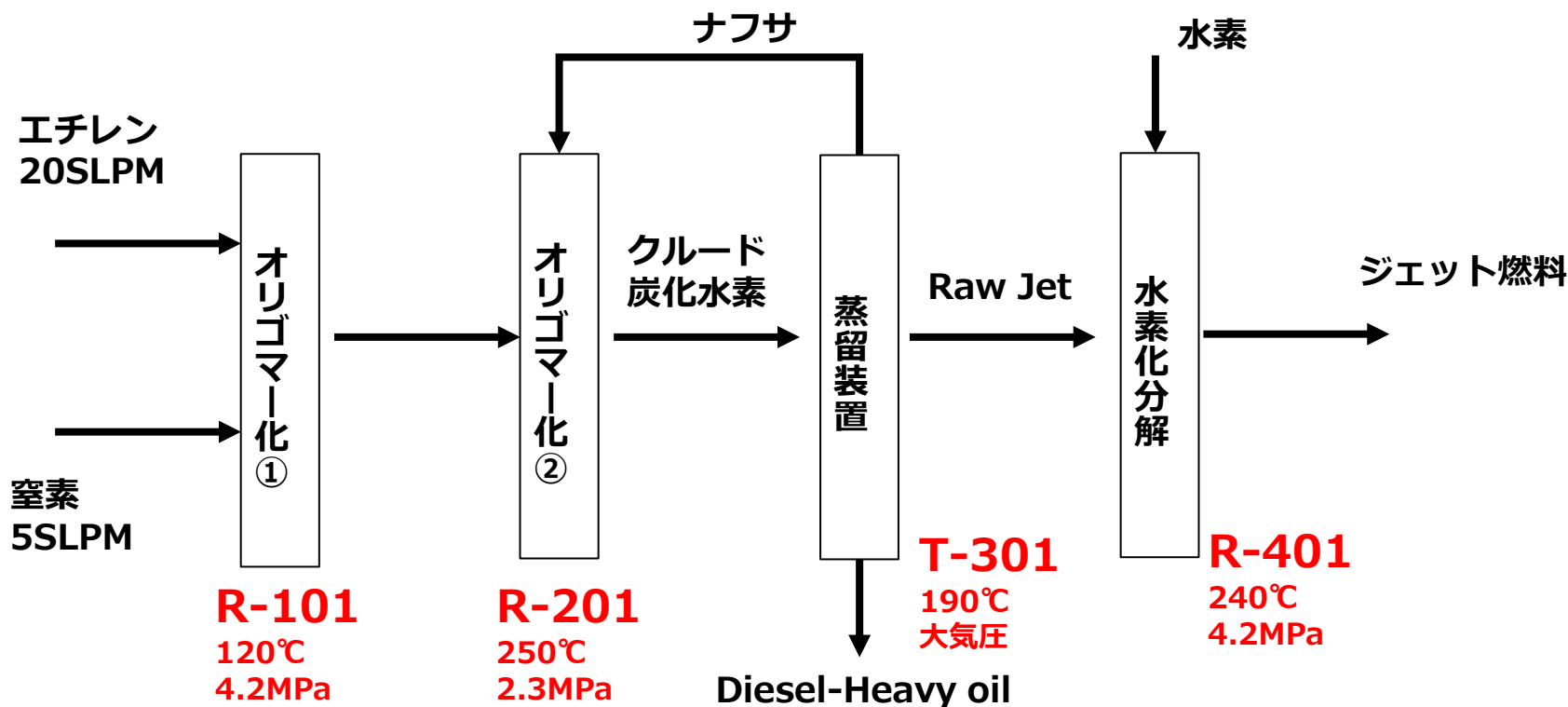
不純物除去スキッドを使用し、一部の不純物についてはByogy要求のエチレンスペックに達していることを確認した。しかし、反応効率設計仕様より低く、さらなる最適化が必要である。



# エチレン to 炭化水素改質プロセス (Byogy社)



# エチレン to 炭化水素改質プロセス (Byogy社)



エチレンを2-stepのオリゴマー化プロセスでクルード炭化水素に改質。蒸留後の軽質ナフサはオリゴマー化②にリサイクル。Raw Jetは水素化分解によってジェット燃料に改質される。

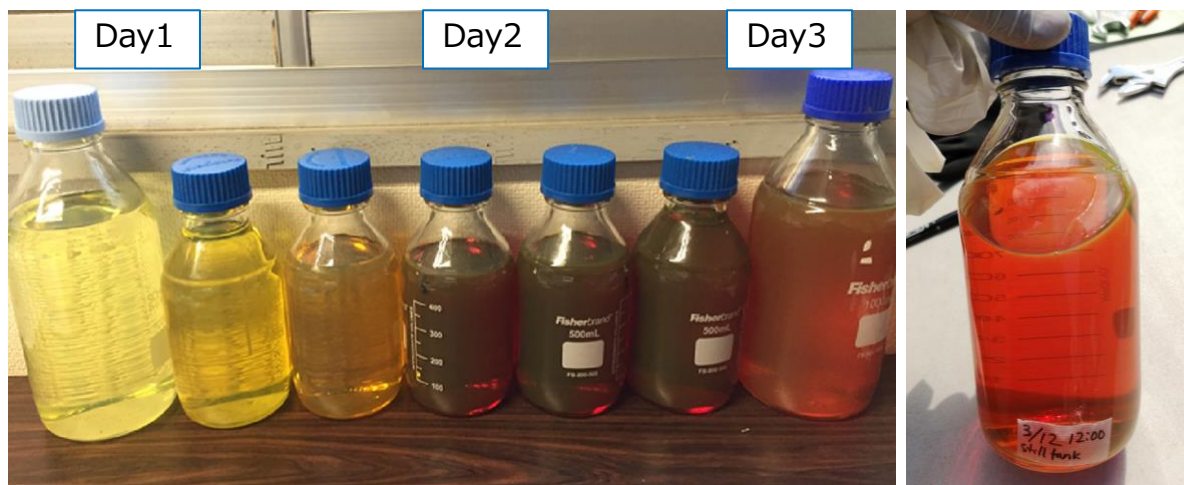
石油元売会社の協力により、クルード炭化水素の成分分析を行った。

オリゴマー化①&②、水素化分解の反応プロセスは発熱反応であり、エタノール製造プロセスとの熱エネルギー最適化によって環境性向上の可能性あり。



# クルード炭化水素の分析結果① (ASTMカラー・密度)

オリゴマー化①・②で得られたクルード炭化水素を、石油元売会社の協力のもと、ASTMカラー、密度、ガスクロ蒸留による分析を行った。



## ・ASTMカラー

**L4.0** (3.5と4.0の間)

\*水素化・分留後に変化あり

ASTM (米国試験材料協会) D5100 色相チャート例

\*下記の色は参考の色である。

0.5	...	3.0	3.5	4.0	...	8.0
	...				...	

## ・密度

**0.7731 g/cm<sup>3</sup>**

\*水素化後に変化あり

■石油製品の密度 単位:g/cm<sup>3</sup>

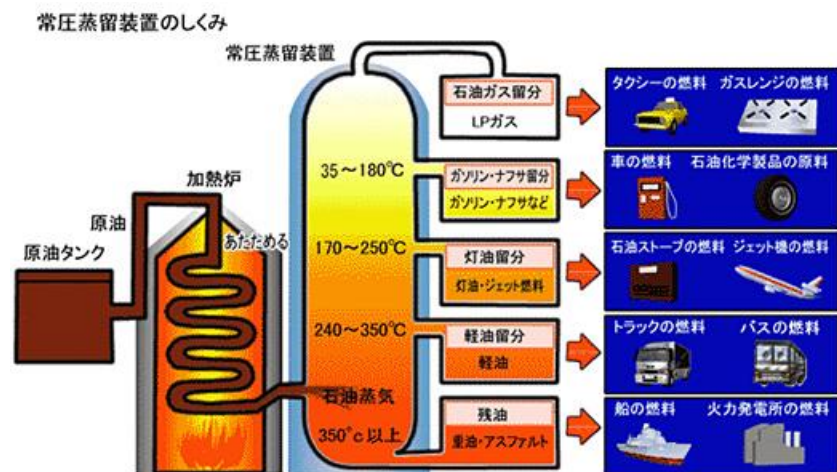
LPG	0.50～0.60
自動車用ガソリン	0.72～0.76
ジェット燃料油	0.76～0.80
灯油	0.78～0.80
軽油	0.80～0.84

重油	0.80～0.96
軽質潤滑油	0.82～0.91
重質潤滑油	0.88～0.95
アスファルト	1.02～1.06

石油連盟HPより抜粋

(<https://www.paj.gr.jp/statis/kansan/>)

# クルード炭化水素の分析結果② (蒸留・タイプ分析)

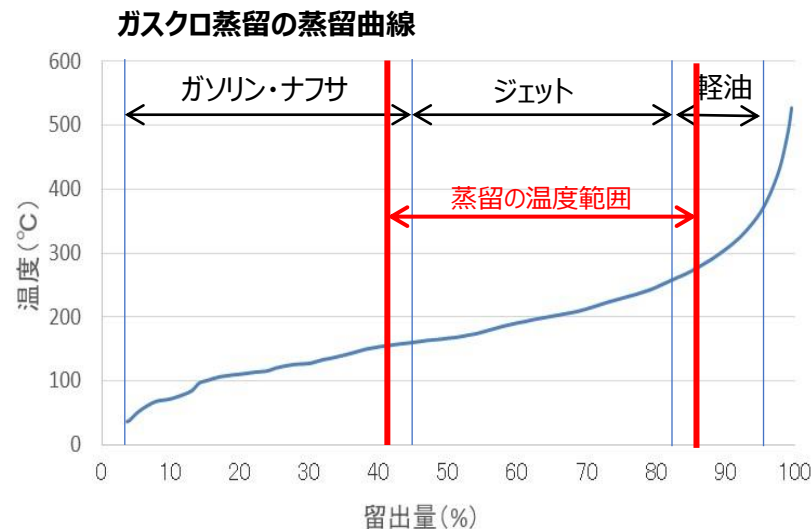


一般財団法人日本エネルギー経済研究所 石油情報センターHPより抜粋  
([https://oil-info.ieej.or.jp/whats\\_sekiyu/1-11.html](https://oil-info.ieej.or.jp/whats_sekiyu/1-11.html))

## 15段蒸留の結果 (JIS K2601準拠)

留分	温度 (°C)	割合 (重量%)
LPG		2.7
ナフサ	IBP~150	36.7
ジェット (灯油)	150~270	46.7
軽油および重質分	> 270	13.9
		計 100

## <蒸留分離結果>



## ジェット留分のタイプ分析結果

タイプ	割合 (容量%)
飽和分	0.1未満
オレフィン分	93.5
1 環アロマ	5.8
2 環アロマ	0.7
3 環アロマ	0.1未満

クルード炭化水素の成分分析の結果、ジェット留分が46.7%であり、アロマ成分についても確認に至った。

# 進捗まとめ及び今後の課題

## 項目① 酵素糖化の最適化

酵素の再利用安定性評価を行った。糖化反応においては、回収酵素においても90%以上の活性を有しており、適度な酵素の外添において活性を維持することを明らかにした。しかしながら、併行複発酵（SSF）時には、酵素・酵母の再利用時にエタノールの生成速度が低下が確認でき、引き続きバイオエタノールの製造技術における酵素の再利用方法の確立を目指す。

## 項目② 低濃度エタノールからの純国産バイオジェット燃料生産の最適化 およびATJ技術の最適条件の確立

2020年～2021年度にかけて、エタノール to エチレン改質装置を用いて、エチレン製造を行った。一部の不純物の値はエチレン to ジェット改質装置に用いることのできるスペックに達した。しかしながら、現在でもなお反応効率が想定50%程度と低く、製造元であるPetron社および日本のエンジニアリング会社の協力のもと、改善を行っている。

また、エチレン to ジェット改質装置において製造したクルード炭化水素を分析した結果、ジェット留分およびジェット留分内にアロマ分の存在を確認した。今後、蒸留・水素化分解の工程を行い、さらなる検証を進めていく予定である。

## 今後の課題

上記の事業項目を引き続き遂行するとともに、2021年度の事業項目である「連続操業の安定化」「古紙パルプ調達先の確保」「ATJ生産プラントの設計」「事業性評価」を行うことで、大規模バイオジェット燃料製造プラントの建設および実証に繋げるとともに、サプライチェーン構築に向けた供給先との連携を行っていく。