

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 : 2022年10月31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

本事業において、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、古紙調達先の確保、事業性評価 (サプライチェーンモデルの構築)の各事業項目を行った。

酵素糖化の安定化については、膜回収設備を用いて酵素の再利用、反応最適化を達成した。バイオジェット燃料生産最適化については、エチレン製造、ジェット燃料製造の各工程の単独運転を行い、ジェット燃料の製造とASTM D7566 Annex5規格準拠の分析を行った。

尚、本事業は2022年9月2日に助成事業「バイオジェット燃料生産技術開発事業／実装を通じたサプライチェーンモデルの構築／パルプからの国産SAFの一貫生産およびサプライチェーン構築実証事業」が交付決定され事業開始となったことを受けて、本事業は2022年10月31日をもって事業終了した。本事業で設定した最終目標は新規事業に引き継ぎ実施することとなった。

➤ 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



- 【課題】
- 原料調達先の確保

【成果】

- 150 kL/年のプラントに使用する原料の調達先は確保に至った

純国産二世世代
バイオエタノール生産



- 【課題】
- 製造コスト低減
(糖化酵素の回収/再利用)

【成果】

- 製造コスト低減につながる酵素回収および再利用技術をラボスケールの試験で達成した

純国産ATJ燃料



- 【課題】
- 一貫運転, 連続運転
 - ASTM D7566準拠
 - 大型化プラントの基礎データ取得
 - 事業性評価

【成果】

- エチレン製造およびSAF製造について10 kL/年プラントにてそれぞれの工程試験を完了し、ケロシンサンプルの取得に至った

バイオジェット燃料供給

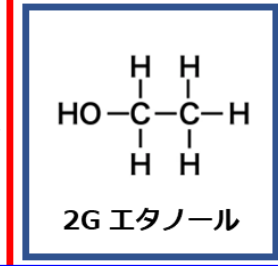
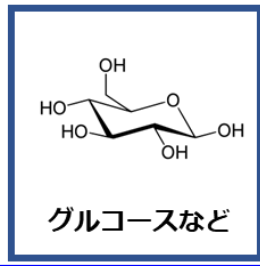
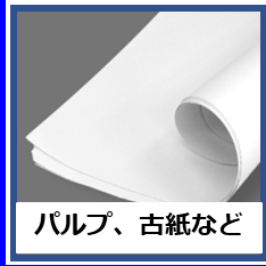


- 【課題】
- サプライチェーンの構築

【成果】

- 各工程の事業者との連携を進めており、協力体制が整った

エタノール生産プロセス



SAF生産プロセス (ATJ)

実施計画のスケジュール

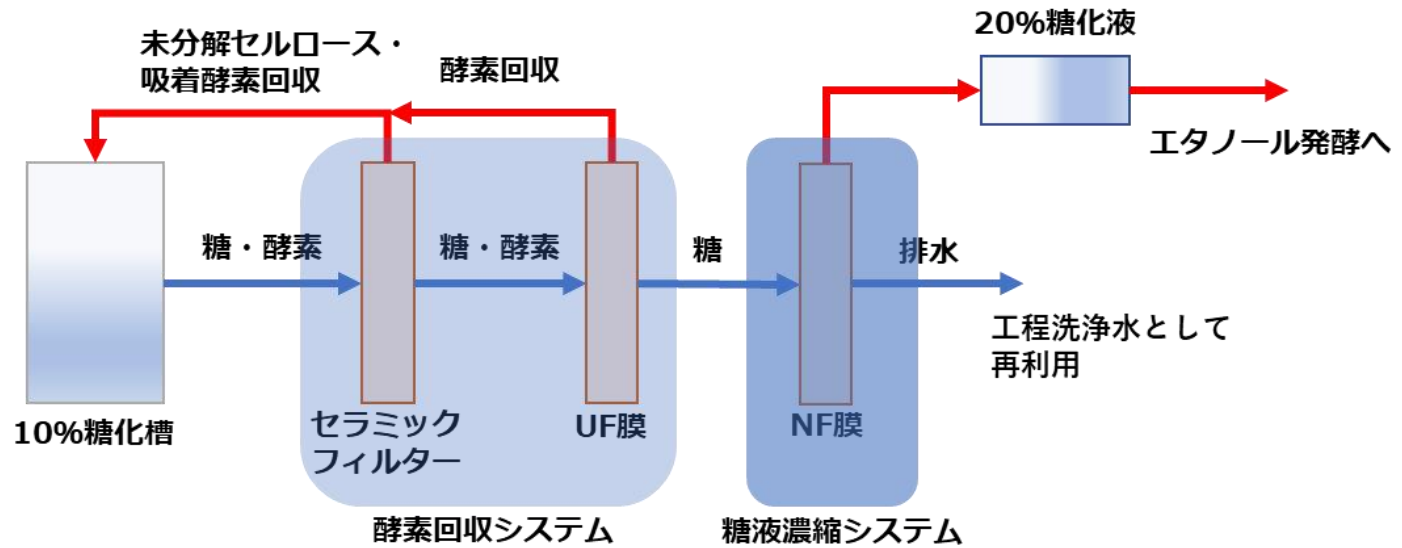
事業項目	2020年度				2021年度				2022年度 (11月以降は参考)				2023年度 (参考)				2024年度 (参考)				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
1. 酵素糖化の最適化			→																		
2. 低濃度エタノールからのバイオジェット燃料生産最適化			→								→										
3. 連続操業による運転安定化					→								→								
4. 古紙パルプ調達先の確保					→																
5. ATJ生産プラントの設計									→				→								
6. 事業性評価									→				→				→				
(2022年度以降) 7. ATJプラントの建設 (150kL/Y)									→				→								
(2023年度以降(参考)) 8. ATJ事業の実証 (150kL/Y)													→				→				
事業推進委員会の開催																					

2022年11月以降は参考(新事業へ引継ぎ)

PJ目標、これまでの成果及び見通し

研究開発項目 [担当]	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①酵素糖化の最適化 ：廃棄古紙、廃棄パルプおよび古紙パルプ等からバイオエタノール製造技術の確立 [BITS]	酵素はセラミックフィルターを通過せず濃縮側にとどまるものの、連続糖化試験においても90%以上の糖化率を確認することができた。また、同時に20%糖液の製造を確認した。さらに、回収したセルラーゼを用いてSHFを行ったところ、想定通りのエタノール濃度を確認した。以上の結果から、20%糖液の製造と発酵性の確認ができた。	◎	バイオエタノール製造工程におけるプラント設計に利用可能なデータとして利用する予定である。
②低濃度エタノール(30%~95%)からのATJ生産の最適化 [BITS, 三友]	エチレン製造装置を用いて99.5%エタノールからのエチレン製造試験を行った。その結果、99.9%のエチレンの生産に至ったものの、リアクターの昇温が充分ではなく反応効率は想定の7割程度であった。	△	運転条件の見直し、プラント設備の修繕を進め、最適化を図る予定である。
③連続操業(10日/回×5回=50日)における運転安定化 [三友, BITS]	本年はSAF製造装置のオリゴマー化・蒸留・水素化の各工程の単独運転を順次実施し、各工程の運転についての知見を得た。また、得られたSAFに関しては、日本海事検定協会においてASTM D7566の分析を行った。一部スペックアウトしている項目もあり、引き続き運転条件の見直しと連続操業による運転の安定化を進めている。	○	各工程の単独運転は完了した。一部ASTM D7566からスペックアウトしており、運転条件の見直しを行い、連続操業における運転安定化を図る。
④古紙パプル調達先の確保 [三友, BITS]	東北地方、北陸地方、四国地方の製紙会社から原料調達に向けたヒアリングを行った。最終的に四国地方の丸住製紙(株)からの損紙を原料として利用できることとなり、原料調達先については確保に至った。	◎	150 kL/YのATJプラントにおける原料として使用する予定である。
⑤ATJプラントの基礎設計 [BITS, 三友]	川崎プラントのSAF製造設備の運転データをもとにByogy社(米)と共有し協議を行っている。今後Byogy社のライセンス契約に基づき年産量150 kL/年のSAF実証設備を建設予定である。	○	川崎プラントのデータをもとにByogy社と協議を進めている。
⑥事業性評価 [BITS, 三友]	原料からSAF製造、空港での航空機への搭載までのサプライチェーンモデル構築のための協力組織と連携を行い、サプライチェーンモデルの構築に至った。	○	新規事業において実証を進めていく。

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



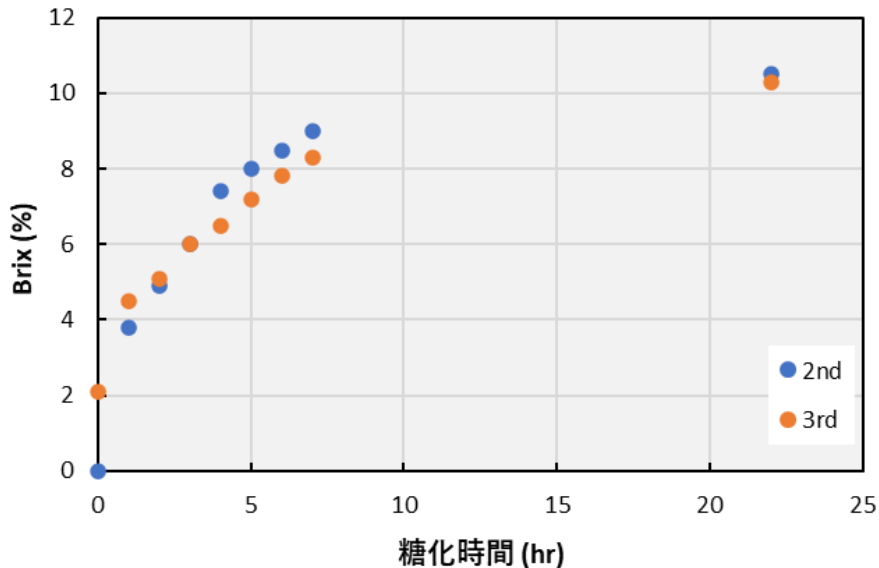
膜処理装置を用いたバイオエタノール製造技術の確立

試験①

糖化液からのセルラーゼ回収, 再糖化試験

原料: A社LBKP (広葉樹クラフトパルプ) 100 kg
酵素: 市販酵素 30 FPU/g-biomass

酵素はセラミックフィルターを通過することなく、パルプ残渣 (微細繊維) に吸着していると想定された。そのため、パルプ残渣を酵素と見立てて、2回目・3回目の糖化試験を行った。



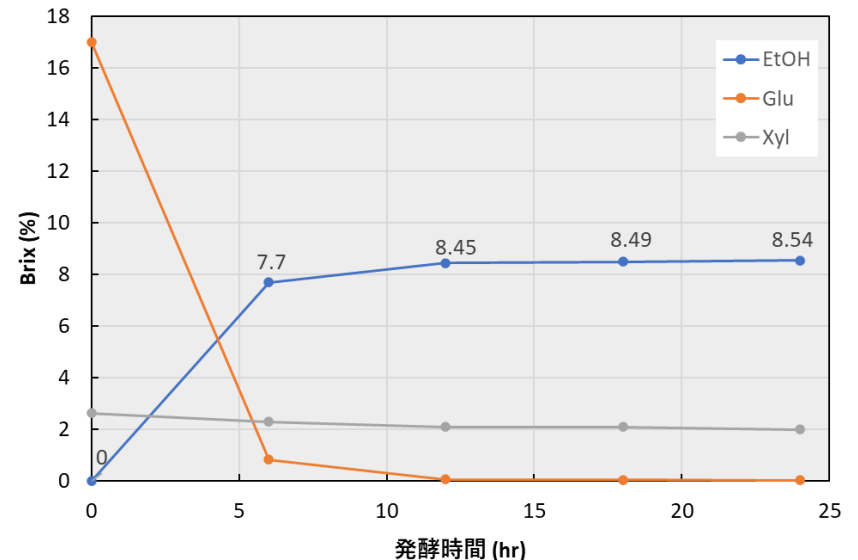
パルプ残渣に吸着した酵素を用いても十分な糖化反応を示すことを明らかにした。

試験②

回収したセルラーゼを用いたSHF試験

原料: 20%LBKP糖化液
酵母: *S. cerevisiae* sp. 反応系に0.5%
反応系: 200 mL (n=2)
回転: 100 rpm/min

膜処理設備を用いて濃縮した20%糖液を原料としてセルラーゼ生産を実施した。



エタノール濃度は8%を超え、濃縮した糖液を用いた場合における十分な反応を示すことを確認した。

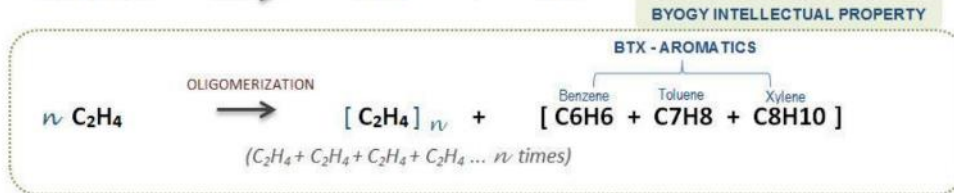
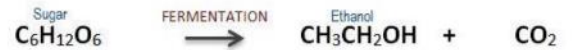
酵素回収および糖液濃縮についての知見が得られたため、大型化プラントにおいて事業性の向上が期待できる。

項目②ATJ生産の最適化、項目③連続操業による運転安定化 エタノール改質プロセス (エチレン製造装置, ジェット燃料製造装置)

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

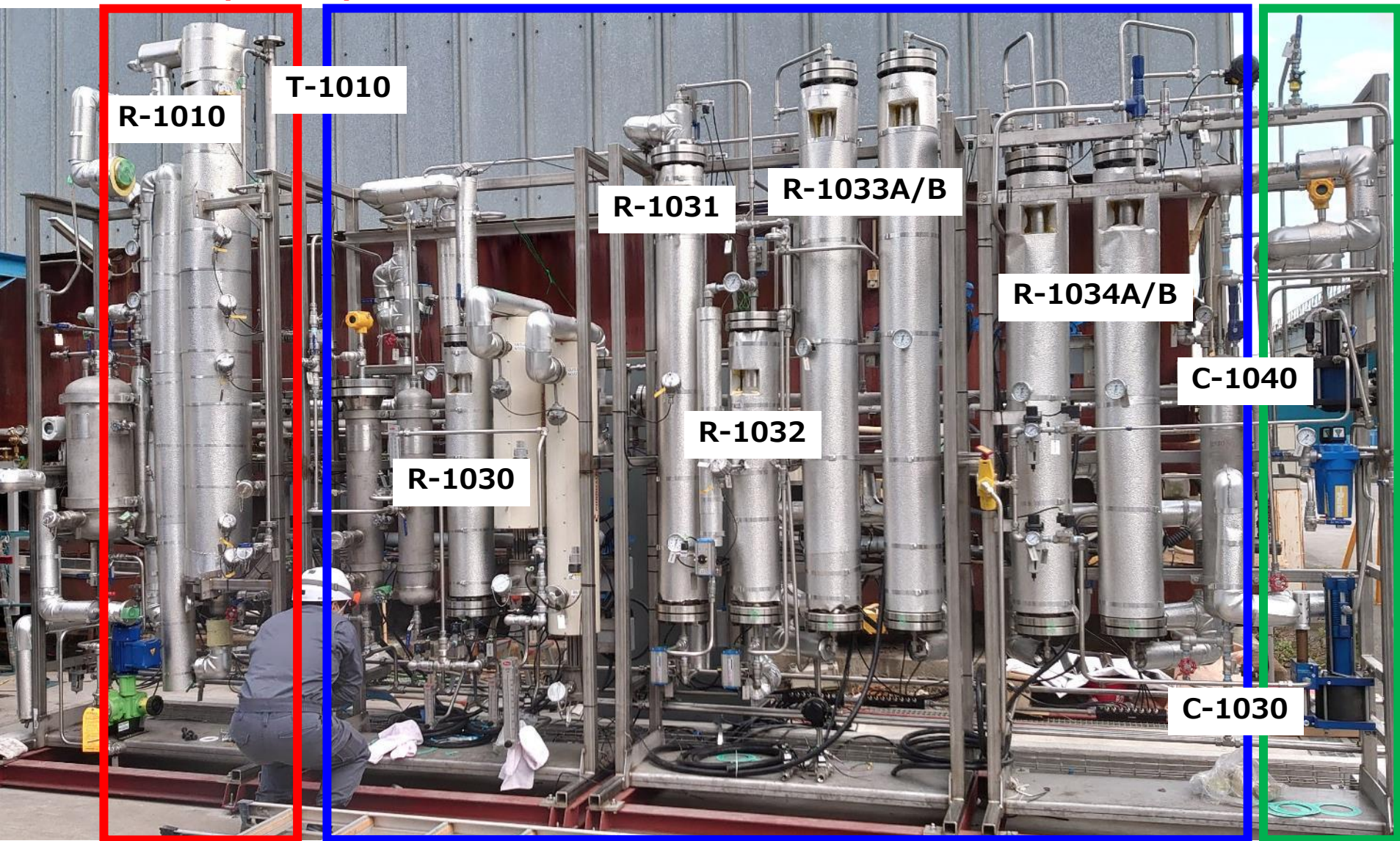
Ethanol
80 L/d



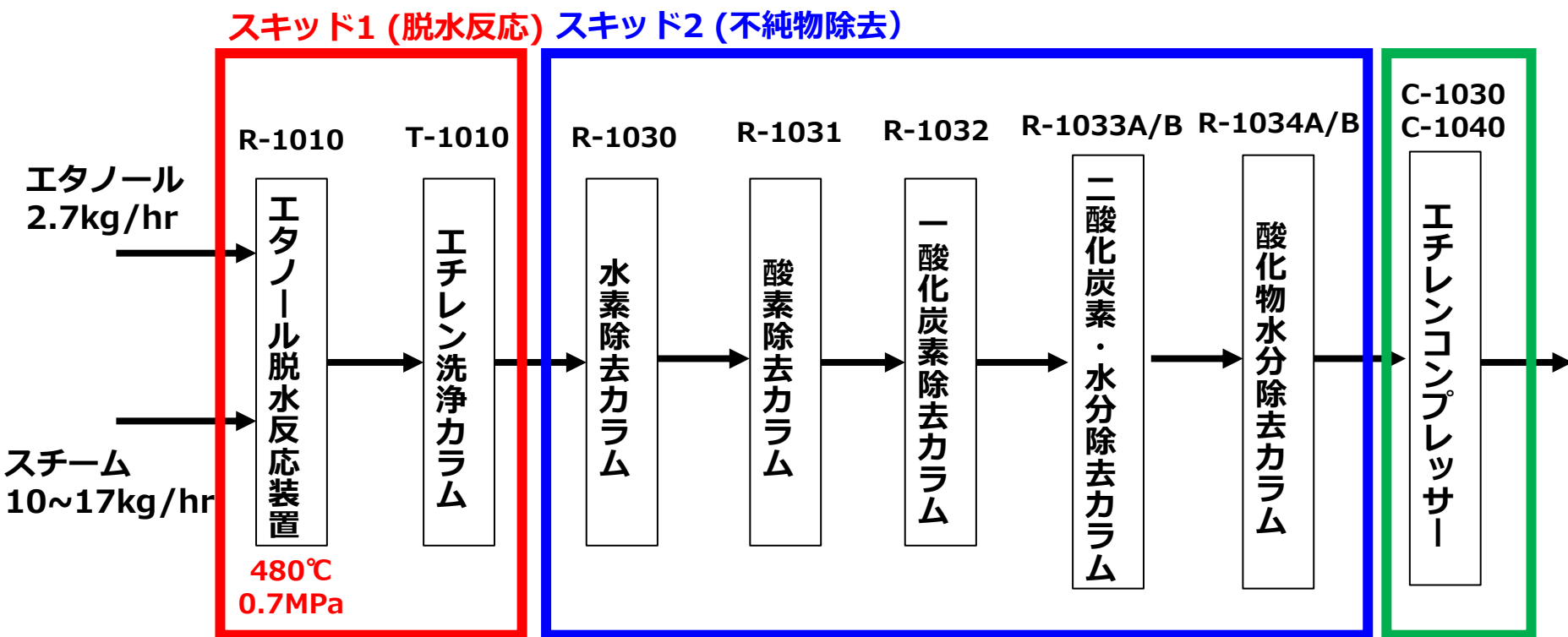
Biojet Fuel : 30 L/d
Diesel: 7.5 L/d

エチレン製造装置 (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)



エチレン製造装置 (エタノール to エチレン改質プロセス, Petron社)



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

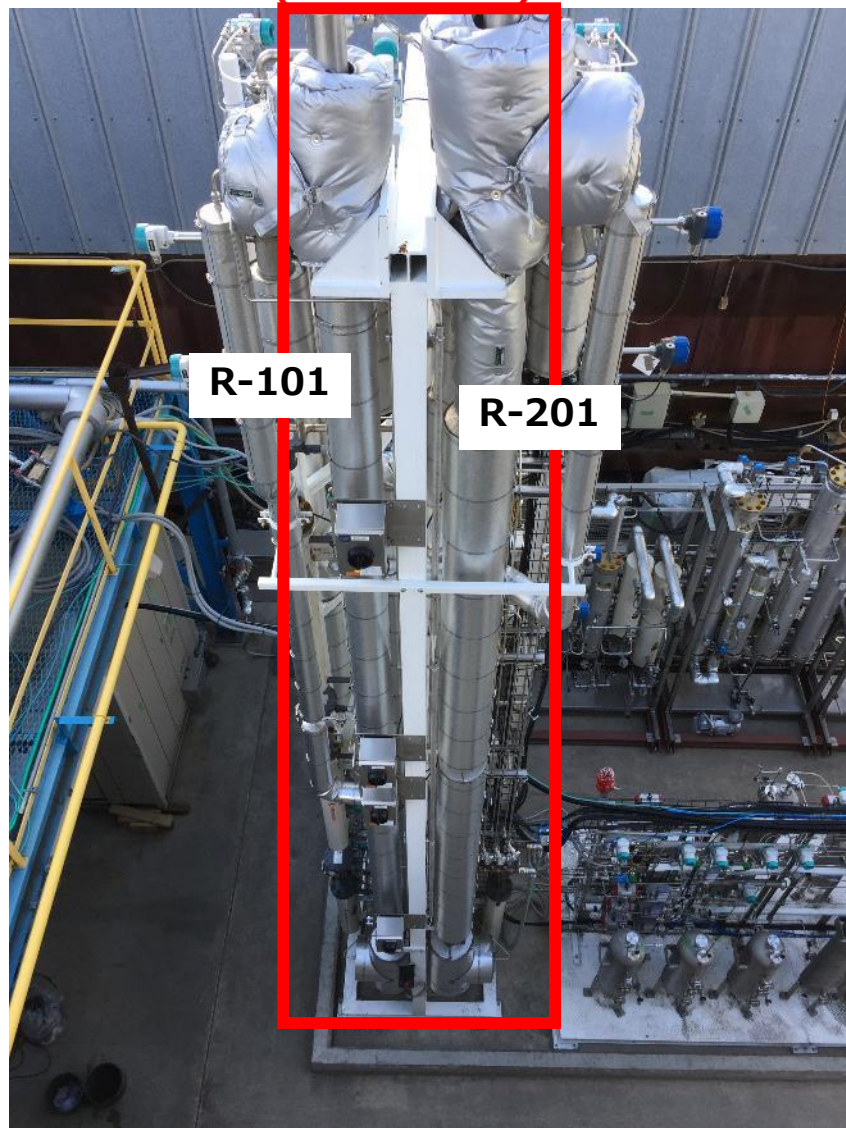
	Run1	Run4		Run5		Run6	Byogy 要求ス ペック
試験日程	210202-04	210608-10		210803-06		211012-15	
分析機関	弊社	社外A	社外B	社外A		社外A	
スキッド	スキッド1	スキッド1	スキッド1	スキッド1	スキッド2	スキッド2	
Ethylene (%)	95.3	98	97.4	95	99.4	99.9	99.5<
H ₂ (%)	*1	0.94	0.85	*1	*1	*1	<0.08
O ₂ (%)	*1	0.35	0.25	0.9	<0.0005	<0.0005	<0.1
CO (%)	*1	0.003	0.0026	0.005	<0.00001	<0.00001	<0.0005
CO ₂ (%)	*1	0.085	0.1	0.09	<0.0001	<0.0001	<0.001
Methane (%)	*1	0.0027	<0.01	*1	*1	*1	<0.1
Ethane (%)	*1	0.1	0.13	*1	*1	*1	<0.1
H ₂ O (%)	*1	0.043	0.042	*1	*1	*1	<0.001

*1:未測定

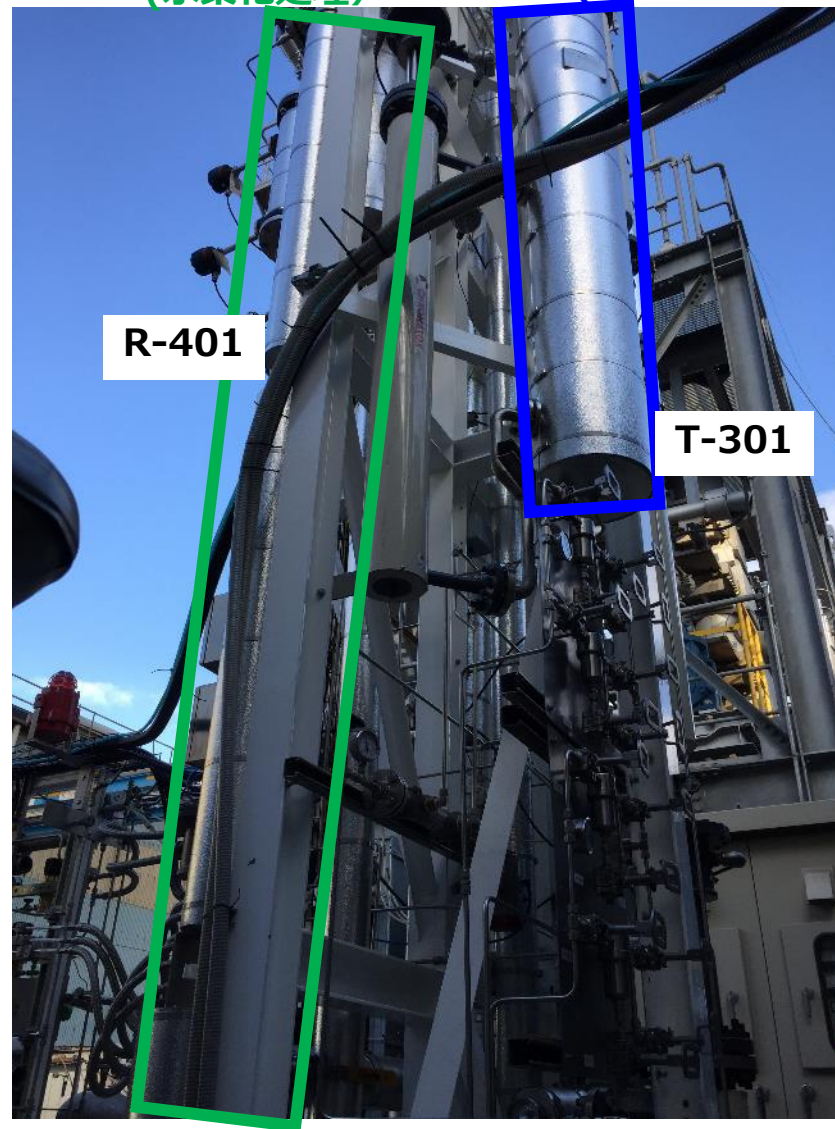
不純物除去スキッドを使用し、一部の不純物についてはByogy要求のエチレンスペックに達していることを確認した。しかし、反応率は設計仕様より低く、さらなる検討が必要である。

ジェット燃料製造装置 (エチレン to 炭化水素改質プロセス, Byogy社)

スキッド1
(オリゴマー化)

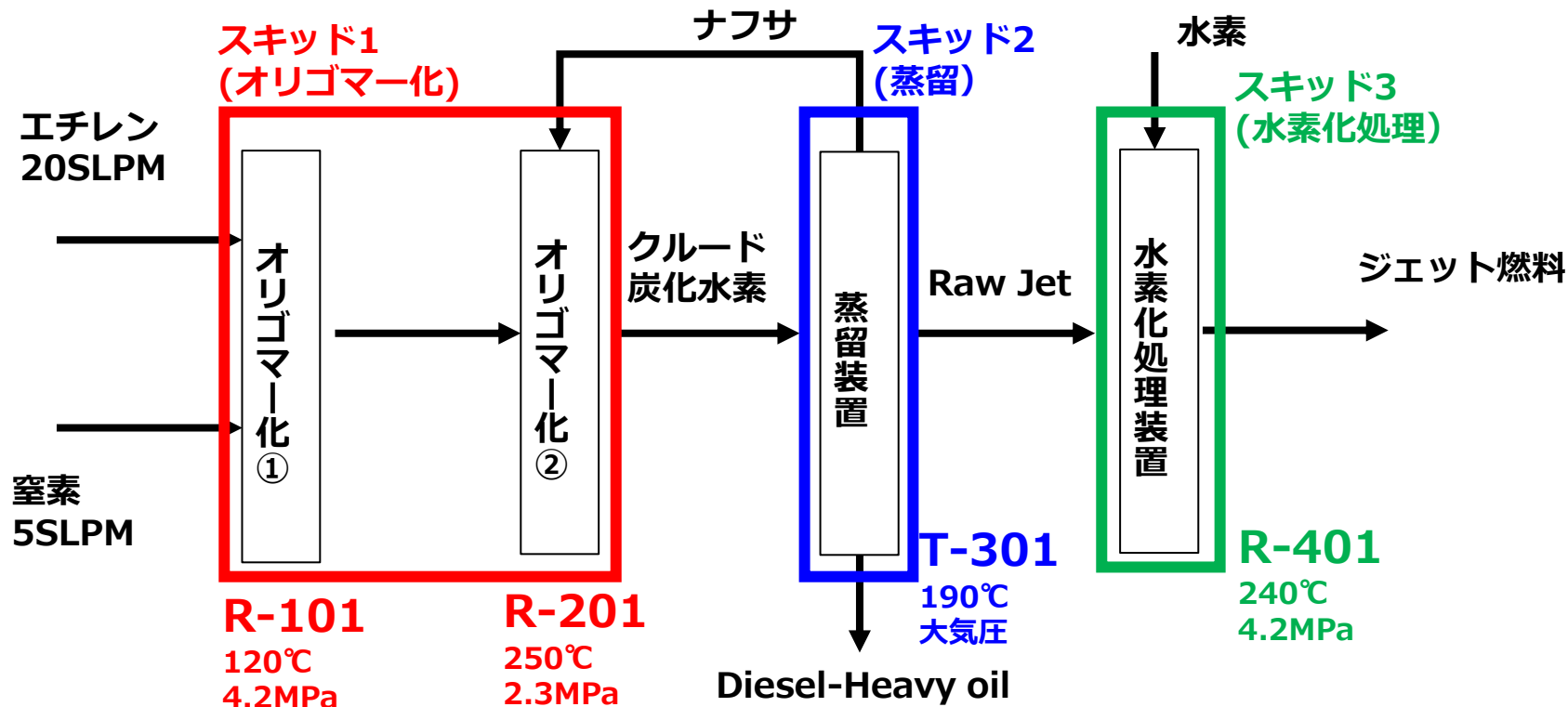


スキッド3
(水素化处理)



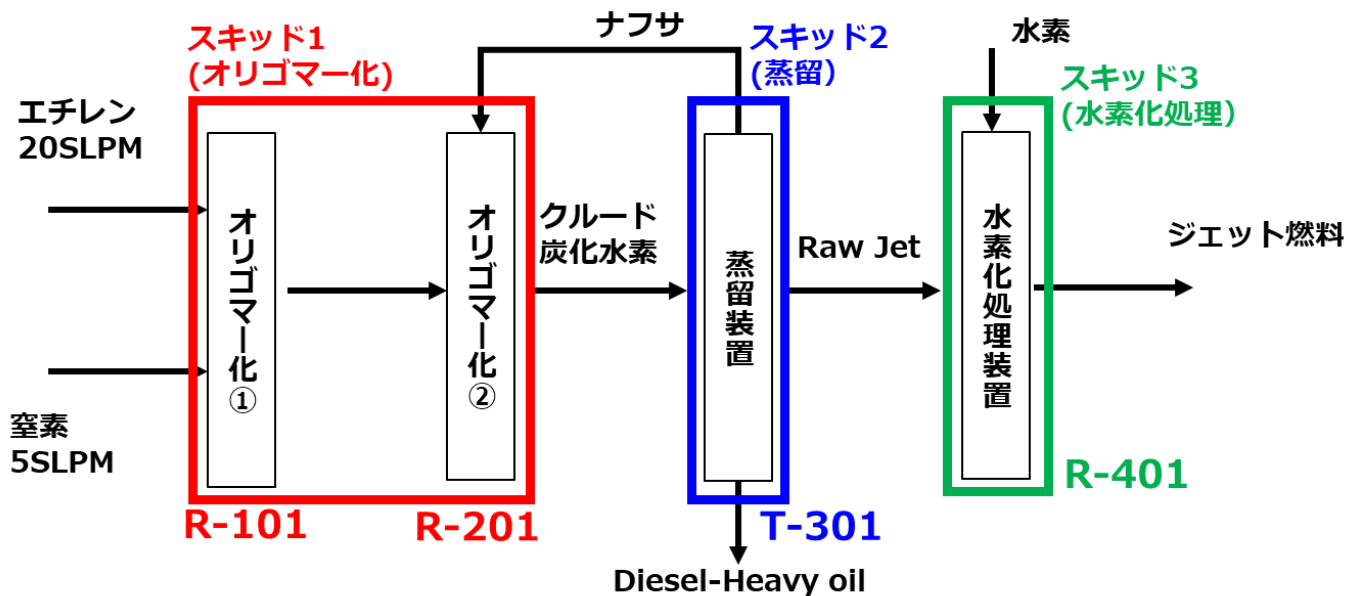
スキッド2
(蒸留)

ジェット燃料製造装置 (エチレン to 炭化水素改質プロセス, Byogy社)



オリゴマー化工程、蒸留工程、水素化工程の3工程からなる。
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する。
蒸留後の軽質ナフサはオリゴマー化②にリサイクルできる。
Raw Jetは水素化処理によってジェット燃料に改質される。

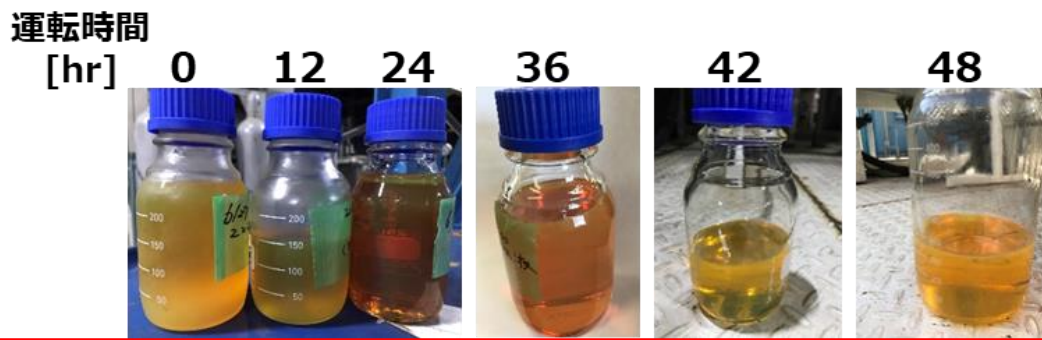
ジェット燃料製造装置：オリゴマー化、蒸留工程における生成物



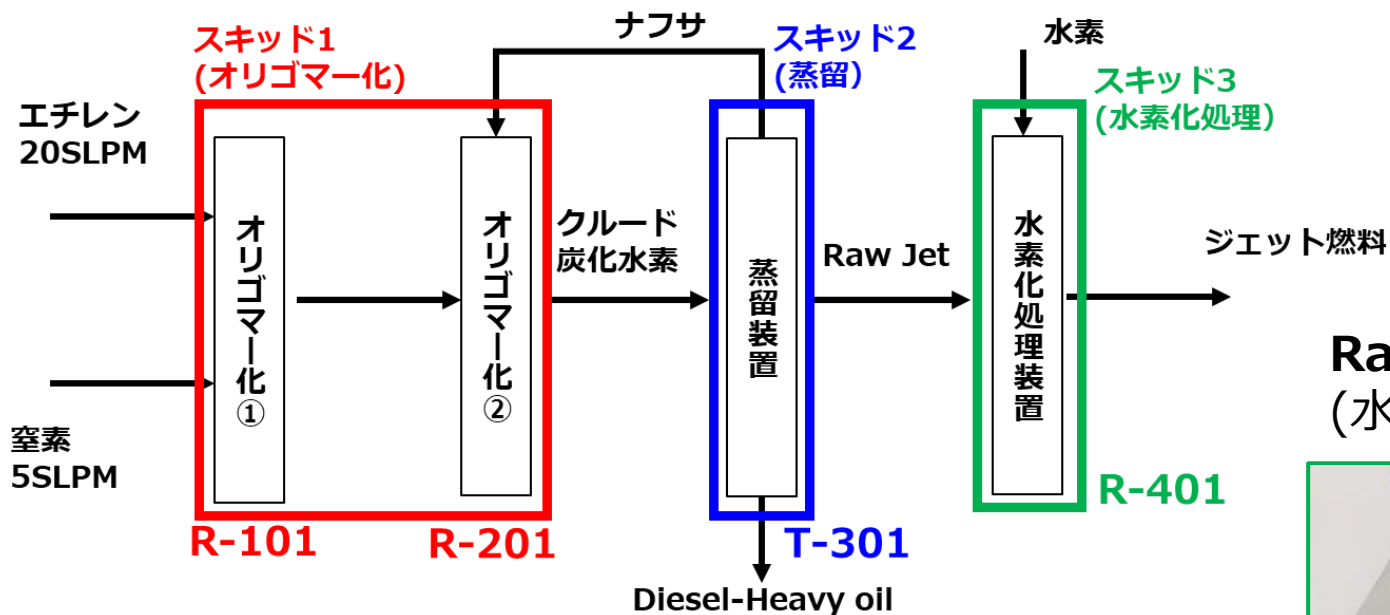
スキッド2 (蒸留) による各留分サンプル



スキッド1 (オリゴマー化) による生成クールド炭化水素



水素化処理により得られたJet燃料



Raw Jet (水素化前) Jet (水素化後)

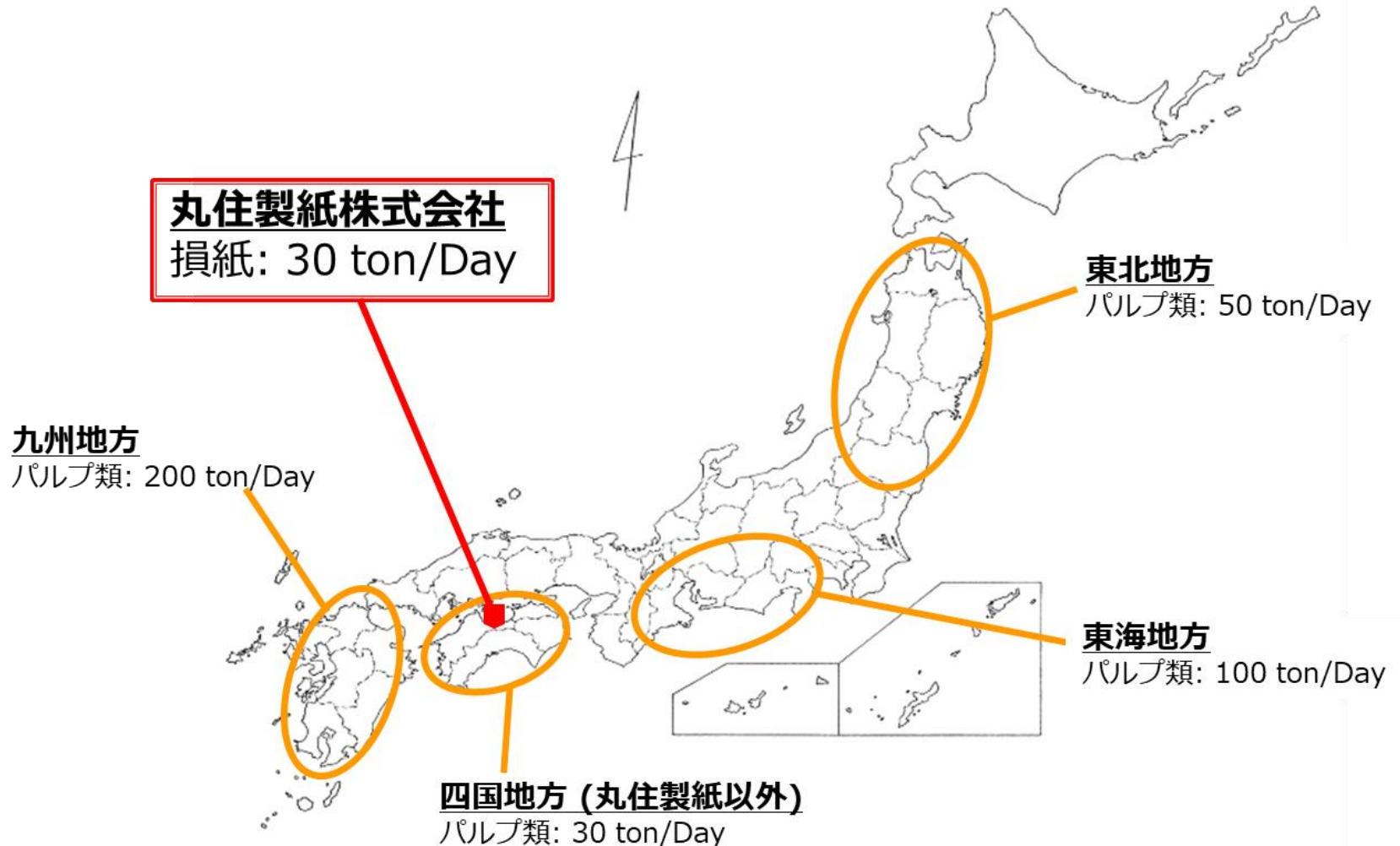


アロマティクス含量などの項目でスペックアウトしていた。
今後、新規事業における製造試験において改善を進めていく予定である。

項目④ 古紙パルプ調達先の確保

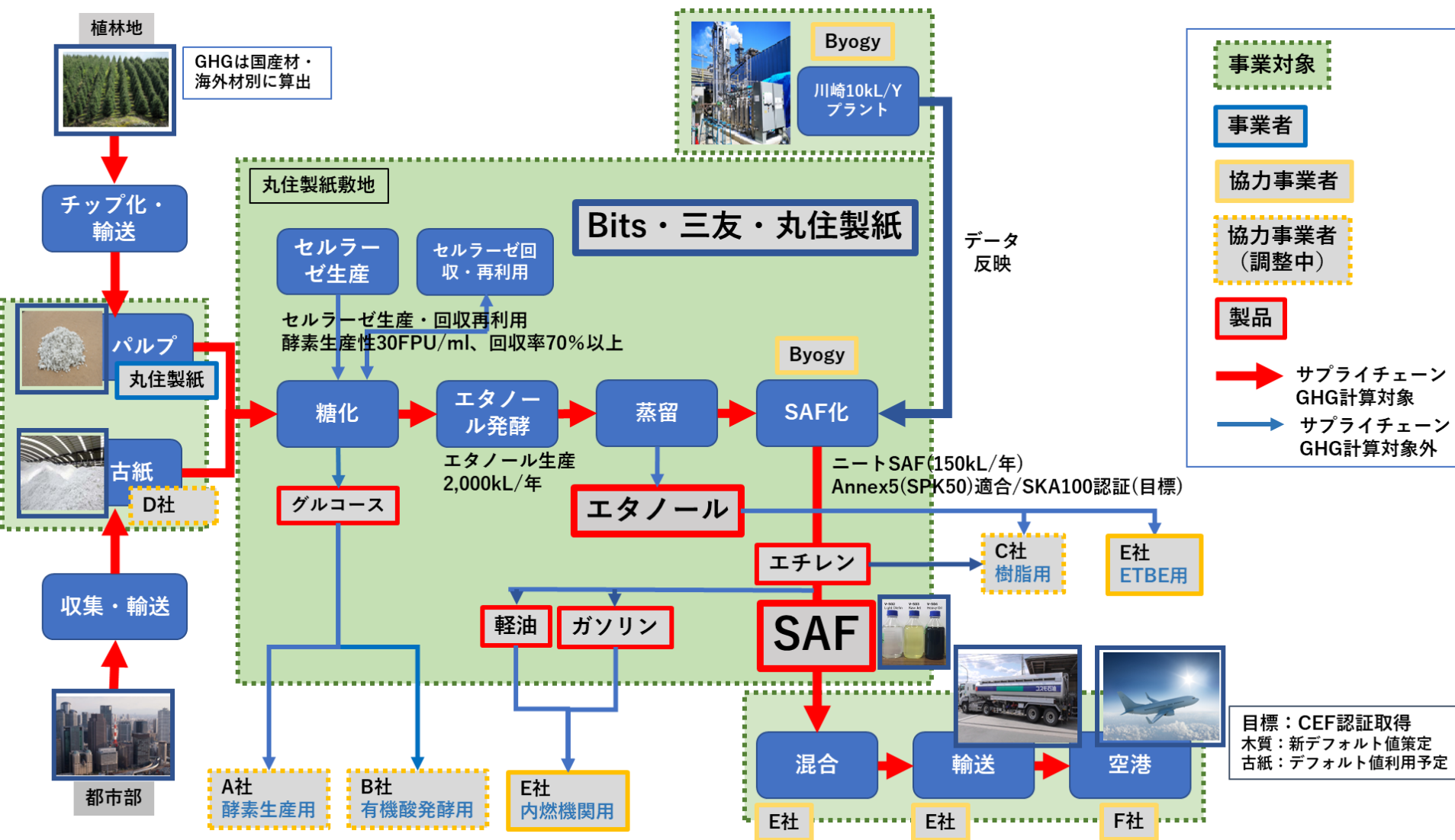
本事業規模である150 kL/年および将来的な規模である1万kL/年の生産規模を担保するために、各地の製紙会社からの原料調達の可能性を検討した。

本事業において、丸住製紙株式会社（愛媛県四国中央市）の原料を使用できることになり、また、150 kL/年のSAF製造プラントも丸住製紙川之江工場内に設置することとなった。



項目⑥ 事業性評価: サプライチェーンモデル構築

本事業および新規事業におけるサプライチェーンモデルを構築した。
実証は新規事業において実施する予定である。



進捗まとめ及び今後の課題

項目① 酵素糖化の最適化

酵素はセラミックフィルターを通過せず濃縮側にとどまるものの、連続糖化試験においても90%以上の糖化率を確認することができた。また、同時に20%糖液の製造を確認した。さらに、回収したセルラーゼを用いてSHFを行ったところ、想定通りのエタノール濃度を確認した。酵素の再利用および効率的な反応系を確立したため、バイオエタノール製造プラントの設計に利用する。

項目② ATJ技術の最適条件の確立、項目③ 連続操業による運転安定化

エチレン製造装置を用いて99.5%エタノールからのエチレン製造試験を行った結果、反応効率に課題を残すものの、純度99.9%のエチレンの生産を確認した。SAF製造装置のオリゴマー化・蒸留・水素化の各工程の単独運転を順次実施し、各工程の運転についての知見を得た。得られたSAFは、日本海事検定協会にてASTM D7566の分析を行い、一部スペックアウトしている項目について引き続き運転条件の見直しと連続操業による運転の安定化を進めている。

項目④ 古紙パルプ調達先の確保

新規事業において設置する150 kL/年のSAF製造に必要な原料調達に至った。

項目⑥ 事業性評価: サプライチェーンモデル構築

原料調達からSAF製造、SAFの利用に関わるサプライチェーンモデルの構築に至った。引き続き実証を進める予定である。

今後の課題

今後、新規事業において150 kL/年のSAF製造装置の設置、運転を行う。本事業において構築したサプライチェーンモデルについても実証を進める。