

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 一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験 高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオ ジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発

三菱重工業(株)[旧 三菱パワー(株)], (株) JERA,
東洋エンジニアリング(株), (国研)宇宙航空研究開発機構
三菱重工業(株)(再委託), (国研)産業技術総合研究所(再委託)
日本航空(株)(再委託), 高知工科大学(再委託)

2021年10月

問い合わせ先
三菱重工業株式会社(担当: 篠田)
E-mail: katsuhiko.Shinoda.tp@mhi.com
TEL: 080-8388-1865

事業概要

1. 期間

開始 : 2017年 5月

終了 : 2021年 7月

2. 最終目標

本事業では、スケールアップに適した部分酸化式噴流床ガス化技術と、反応器容積を大幅にコンパクト化できるマイクロチャンネルFT合成技術を組み合わせたパイロットスケール一貫製造設備を設置し、検証運転により技術の検証を行うと共に、得られた燃料を実エンジンに供し評価する。また、実用化を睨み、純バイオジェット燃料製造設備の最適化および製造コスト低減に向けた検討を実施する。

3. 成果・進捗概要 (2020～2021年度)

- ・純バイオジェット燃料製造パイロット設備では、ガス化とFT合成の一貫運転について、長期連続運転を含め、合計10回のRunを行い、ASTMに定められる全品質項目に合致した純バイオジェット燃料(以下、純BJF)を合計2366リットル製造した。
- ・純BJFと従来燃料との混合燃料を使用し、高温高圧下での燃焼器による燃焼試験を実施し、燃焼特性及び排気特性を把握した。また、模型ジェットエンジンを使用したエンジン運転試験を実施し、エンジン性能特性を取得した。
- ・検証運転終了後解体研究を実施し、対象機器・部位の経年劣化度合いを調査した。
- ・実用規模システムの適正化検討では、国内の想定するバイオマス量に基づき、ヒートマスバランスを作成した。
- ・サプライチェーン具体化に関し、パイロット設備から空港内給油業者までのサプライチェーンと品質確保体系・証書を確認した。また、純BJFと従来燃料との混合を行い、国内定期便に搭載し、飛行に供した。

目次

1. 実施体制と実施内容概要

2. 実施項目とスケジュール

3. 研究成果

3.1 純バイオジェット一貫製造パイロットプラント試験

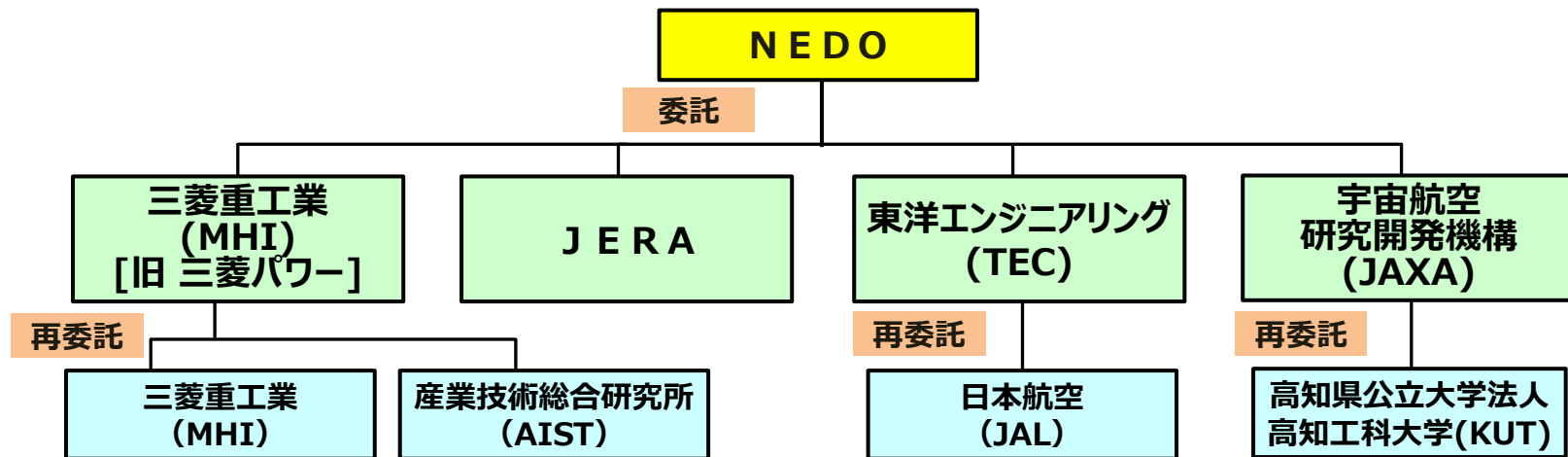
3.2 バイオジェット燃料に関わる特性検証

3.3 実用規模システムの適正化検討

3.4 純バイオジェット燃料製造プロセスの経年劣化特性評価

3.5 サプライチェーン具体化

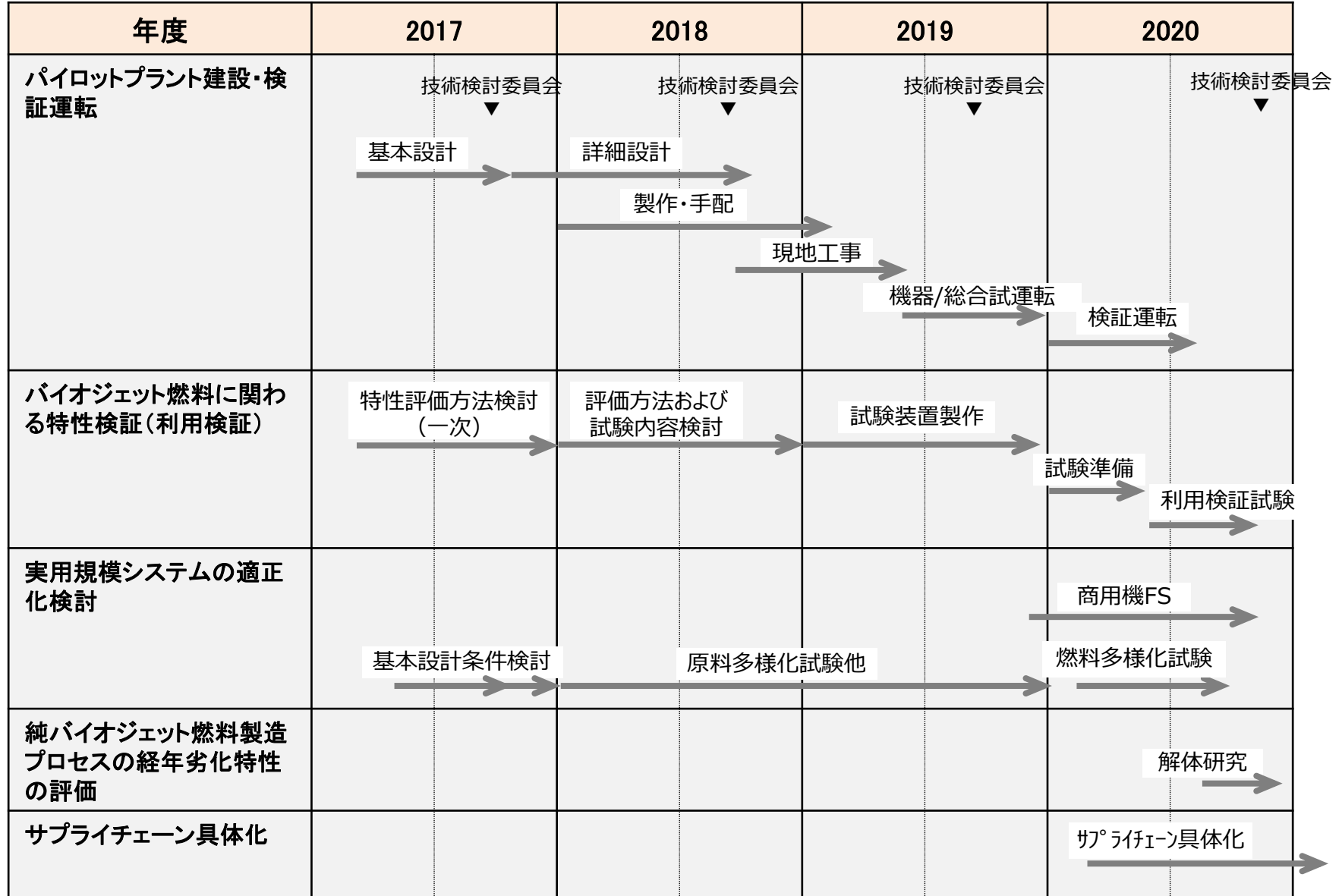
1. 実施体制と実施内容概要



MHI [旧三菱パワー]、JERA、TECおよび JAXAの4法人の共同研究として、下記を実施

- ガス化・FT合成による純バイオジェット燃料一貫製造パイロット設備を製作し、検証運転を通して安定製造運転技術を確立する。[MHI、JERA、TEC]
「ガス化・FT合成」: ASTM D7566 Annex1 (FT-SPK)にて製造方法として認証済み
- パイロット設備で製造した純バイオジェット燃料を使用して、エンジン試験等を行い、排気特性や燃焼特性を評価する。[JAXA(再委託:KUT)]
- 実用規模システムの適正化検討を行う。[MHI(再委託:三菱重工業、AIST)、TEC]
・製造システムの最適化、多様なバイオマスの適用性評価、経年劣化特性評価等
- バイオジェット燃料の航空機給油までの各施設の取り扱いやGHGに関するLCA評価等、サプライチェーン全体の具体化に着手する。[TEC(再委託:JAL)]

2. 実施項目とスケジュール

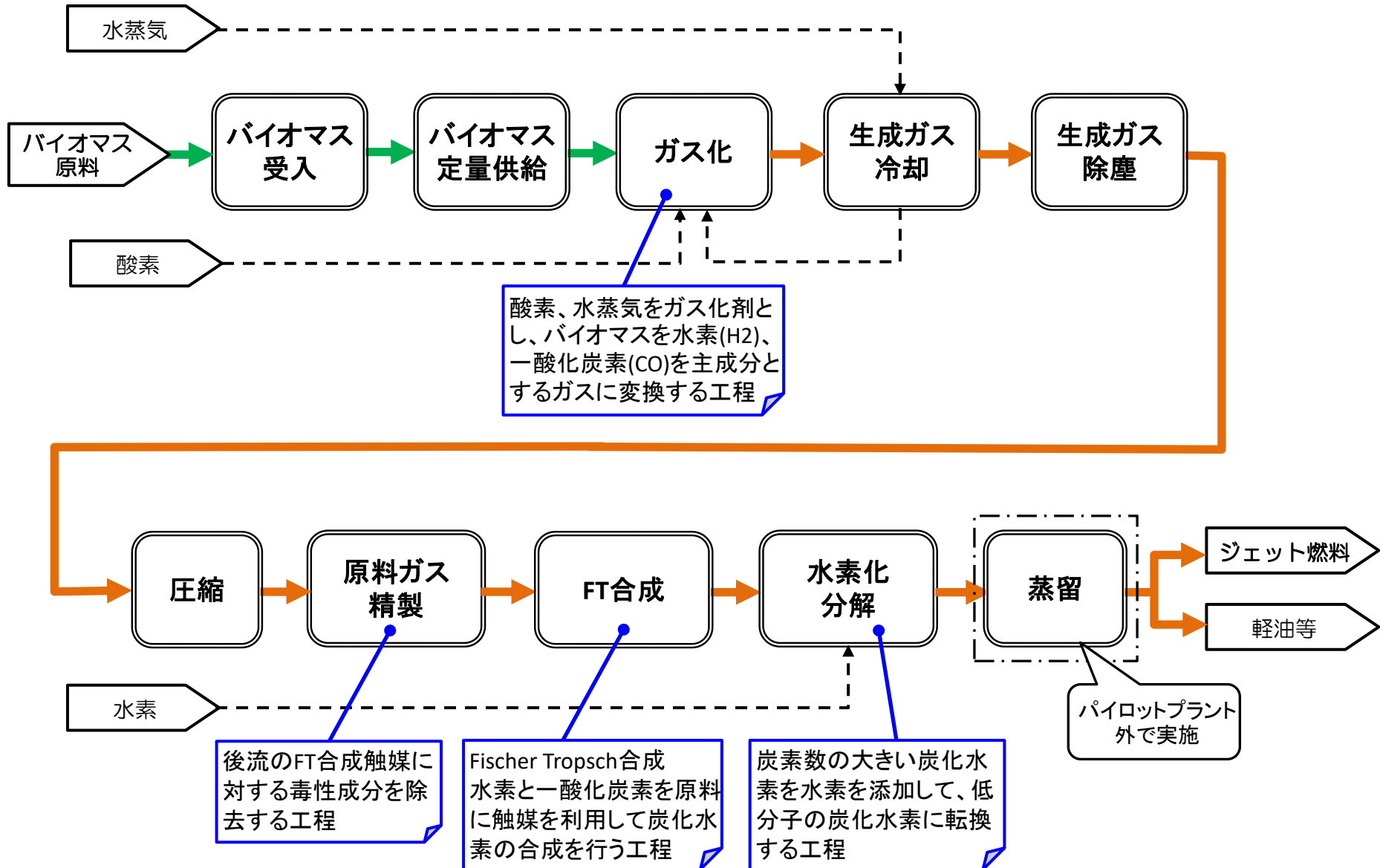


3. 1 パイロットプラント試験～(1) 建設地及び現地状況

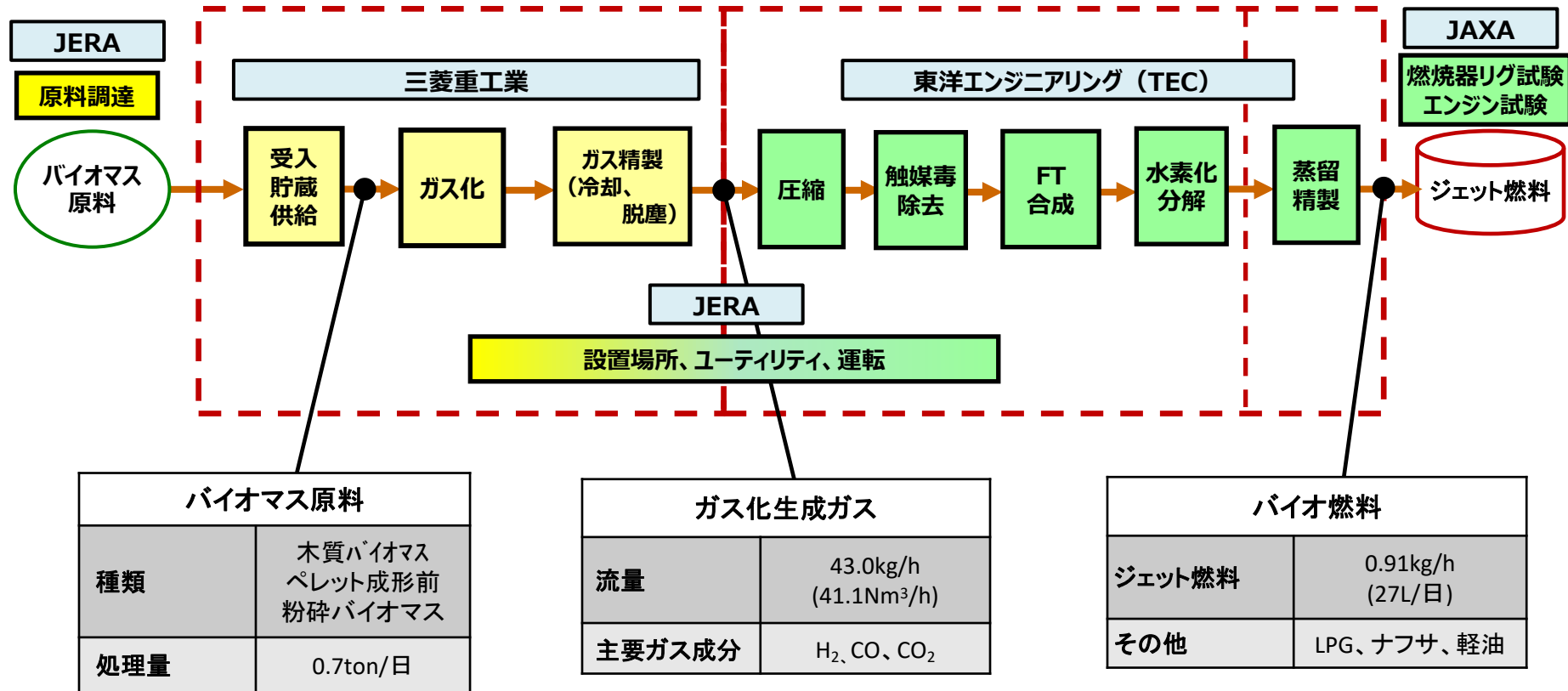
建設地:新名古屋火力発電所 敷地内(名古屋市港区)



3. 1パイロットプラント試験～(2) 全体プロセスフロー

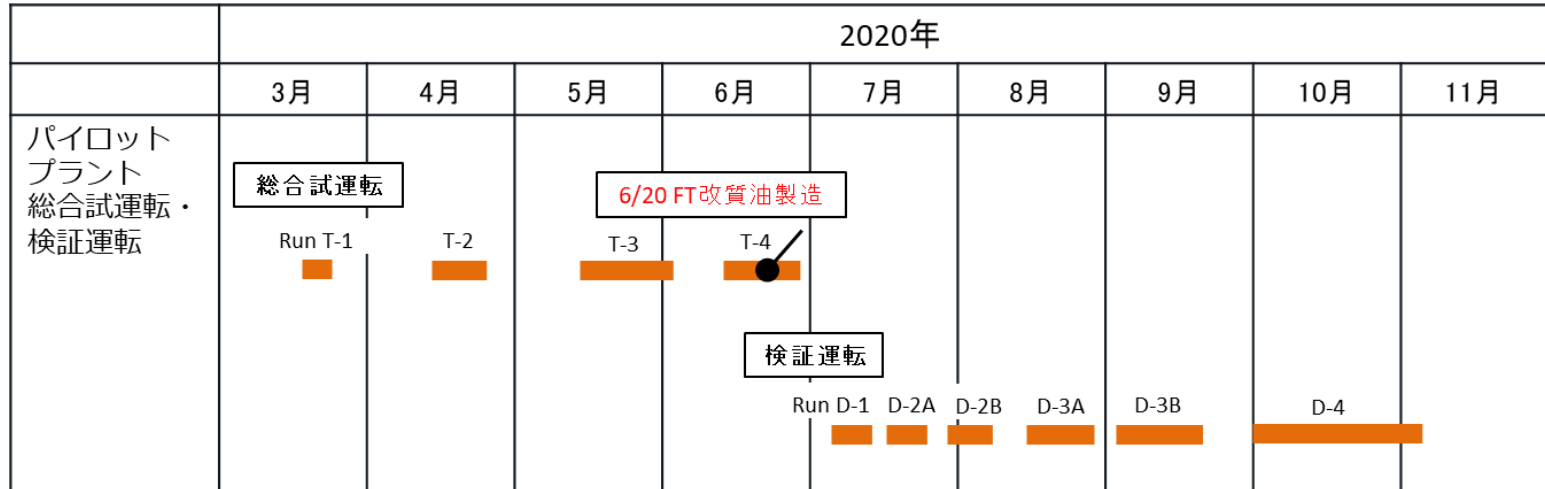


3. 1パイロットプラント試験～(3) 全体マスバランス(計画)



3. 1パイロットプラント試験～(3) 総合試運転及び検証運転工程

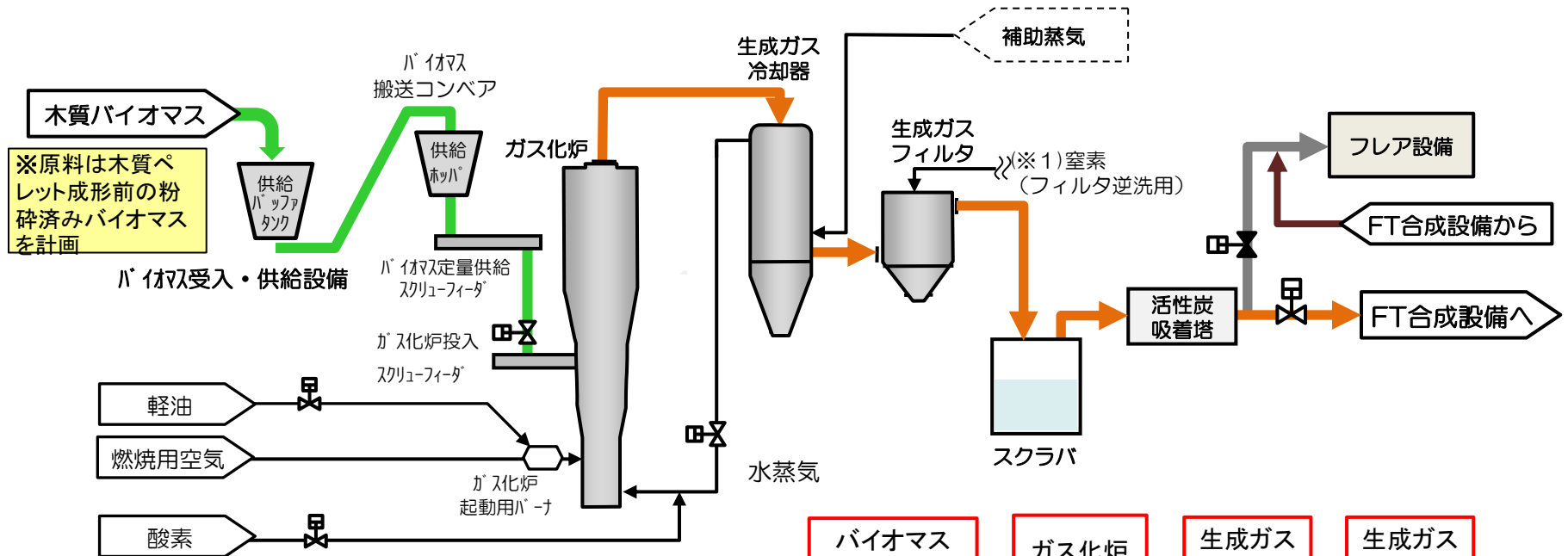
■ 総合試運転および検証運転工程



■ 純バイオジェット燃料の製造量

時期	改質油	純バイオジェット燃料	備考
	製造量(ℓ)	サンプル提供量(ℓ)	
2020年8月末	1527	736	・製造量の一部はASTM-D7566準拠確認および燃焼試験に使用
2020年11月末	2795	1630	
合計	4322 (3000)	2366 (1500)	()内は、実施計画書記載の目標値

3. 1 パイロットプラント試験～(4)ガス化設備 <概略プロセスフロー>



バイオマス置き場 バイオマス供給バッファタンク バイオマス搬送コンベア



バイオマス供給ホッパ ガス化炉 生成ガス冷却器 生成ガスフィルタ



3. 1 パイロットプラント試験～(4) ガス化設備 <運転状況>

パイロット設備運転状況は下記の通り。

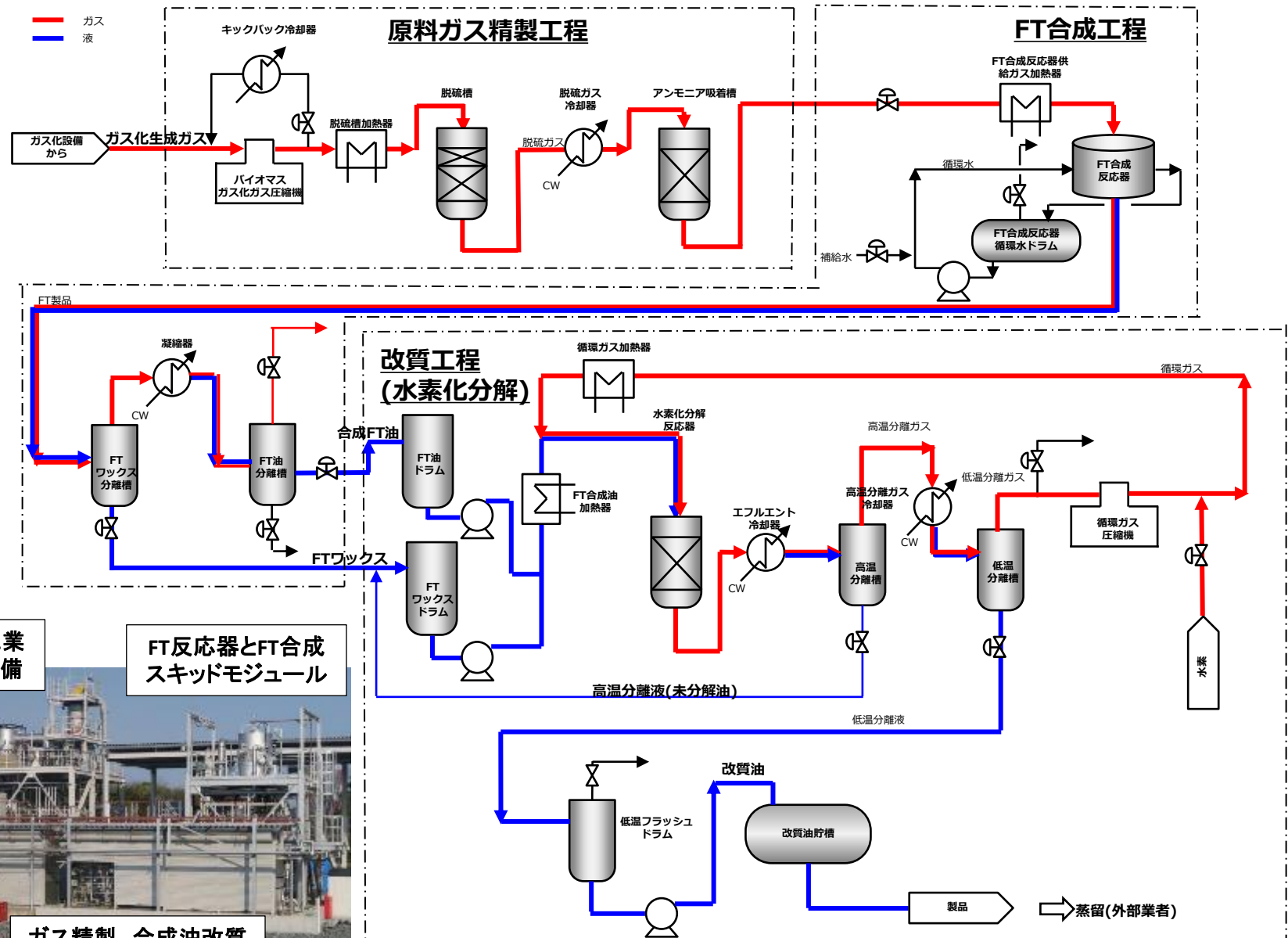
年度	ステージ	内容
2019年度	ガス化設備 試運転	10月7日 : ガス化炉火入れ 11月26日 : バイオマス投入、初ガス化運転 12月～3月 : Run G-1～G-5 ガス化運転 (ガス化運転時間 計442時間)
2020年度	総合試運転	～ 6月 : Run T-1～T-3 ガス化・FT合成一貫運転 6月20日 : Run T-4 初の改質油製造 →7月 : 蒸留完了(ジェット留分抽出) →8月 : ASTMに基づく分析を完了し、規定される全ての品質項目に適合していることを確認し、 純バイオジェット燃料生産に成功 (ガス化運転時間 計807時間)
	検証運転	7月～11月 : Run D-1～D-4 検証運転 (ガス化運転時間 計1830時間)
【ガス化運転時間総累計 3079時間】		

3.1 パイロットプラント試験～(4) ガス化設備 <成果まとめ>

パイロット設備運転を通して得られた主な成果は下記の通り。

項目	成果
バイオマスガス化炉運転特性把握	<ul style="list-style-type: none">➤ 連続運転30日以上(約33日)、累計運転時間3000時間以上(3079時間)の運転実績を達成➤ 安定的な起動・停止方法の確立(起動・停止操作手順の適正化、昇温時間・冷却時間の把握など)➤ 構成機器の適正な運転パラメータの把握
ガス化性能	<ul style="list-style-type: none">➤ 冷ガス効率は、ほぼ計画通りであることを確認➤ 炭素転換率は、ほぼ計画通りであることを確認➤ 運転パラメータの調整により、FT合成に好適なH₂/CO比の生成ガスを安定して製造可能なことを確認➤ 3銘柄、4種類のバイオマス原料についてのガス化特性を把握

3.1 パイロットプラント試験～(5) FT合成設備（概略プロセスフロー）



三菱重工業
ガス化設備

FT反応器とFT合成
スキッドモジュール

ガス精製、合成油改質
スキッドモジュール

3.1 パイロットプラント試験～(5) FT合成設備 <運転状況>

パイロット設備運転状況は下記の通り。





項目	実績	備考
FT合成通算運転時間	1576時間40分	
ガス化・FT合成連続一貫運転	30日間	
製造量		
改質油製造量	4322 L	・製造量の一部はASTM-D7566準拠確認および燃焼試験に使用
純バイオジェット燃料 サンプル提供量	2366 L 全量がASTM規格に適合	

3.1 パイロットプラント試験～(5) FT合成設備 <成果まとめ>

パイロット設備運転を通して得られた主な成果は下記の通り。

項目	成果
FT合成反応器・プロセスの最新技術の習得と運転・性能データの獲得	➤ FT合成は転化率、選択率、安定性、いずれも設計と同等もしくはそれを上回る性能を示した
FT合成油の改質技術の習得と運転・性能データの入手、蒸留精製後の燃料サンプル製造と分析	➤ 分析に供した純バイオジェット燃料(NBJF)はすべてASTM規格に適合 ➤ 改質工程運転条件の最適化によりスペックに合致するNBJF製造を実証 ➤ グリーンナフサ、グリーンディーゼルの物性・品質データと同サンプルを得た
バイオマスガス化とFT合成を組み合わせたバイオジェット製造一貫パイロットプラント(PP)の運転実証と解析	➤ ガス化炉の運転調整のみで、精製ガスH ₂ /CO比を所定の範囲に安定制御できた ➤ ガス化も含めた物質収支を解析、期待通りのデータが得られ、商用機の検討のベースデータを収集できた
FT合成触媒の再生運転の実証	➤ 触媒再生手順に従った運転操作を実証 ➤ 再生により見込み通りに触媒活性が回復する事を確認
ガス精製工程	➤ 選定した触媒、活性炭でガス化ガス中の不純物(触媒毒)を、FT合成触媒の指定値以下のレベルまで除去できることを確認

3. 1パイロット試験～(6) バイオマス原料調達及び運転

おが粉原料 (産地)	杉・松・桧 (岐阜県)	松 (北海道・ロシア)	同 左 (同左)	杉 (石川県)
外観				
選定の改善	<ul style="list-style-type: none"> ・初期導入原料 ・調達が安定しないため変更 	<ul style="list-style-type: none"> ・安定調達可能な原料として選定 ・粒形にばらつき、薄い粒が存在 ⇒流動性悪く、均等にガス化炉への投入困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・粒形を可能な限り揃え流動性向上を図るも平たい形状のものが存在 ⇒左記同様、ガス化炉への投入に難あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな調達先探索 ・粒形均一であり、流動性がよく、ガス化炉への投入もスムーズ ⇒主原料として採用

3. 1パイロット試験～(6) バイオマス原料調達及び運転くまとめ>

ガス化設備

【運転・保守技術の確立】

運転時間: 1830時間 (RunD-1以降)

- ・**連続1ヶ月程度の長期継続運転を実施**
- ・蒸気・酸素・バイオマス量調整によりH₂/CO比制御可能であることを確認

【運転配慮事項等】

- ・原料の水分量・かさ密度に応じた投入量の調整
- ・制御応答性は時定数が大きいため長時間監視要
- ・冷却器、フィルタ等のつまり兆候監視強化
- ・起動時、定常運転時ともに未燃分(チャー)によるフィルター閉塞等不具合への対応実施
⇒フィルター洗浄プロセス改善、ガス化炉温度調整等により対応

FT合成設備

【運転・保守技術の確立】

運転時間: 1364時間 (RunD-1以降)

- ・初期ワックスによる閉塞以外、**安定した運転を実現**
- ・ガス供給量、H₂/CO比、反応器温度調整によりCO転化率制御可能であることを確認

【運転配慮事項等】

- ・ワックスによる改質系統閉塞不具合
⇒事前に改質油系統にオフスペック油張込対応(起動時間短縮にも寄与)
- ・FT合成触媒活性状況に応じた反応器温度制御(触媒再生後要注意)

確立された技術の組合せによる一貫運転

ガス化・FT合成一貫運転

【運転・保守技術の確立】

運転時間: 1364時間 (RunD-1以降)

- ・ガス化炉生成ガス(H₂/CO比安定制御達成)+ガス中触媒毒成分除去(FT合成触媒要求水準達成)+FT合成(改質工程含)各設備(技術)を実証プラントとして組合せることにより**一貫運転可能であることを確認**
⇒**改質油生成達成**
- ・緊急停止時における各設備安全停止確認
- ・定期的なメンテナンスによる安定運転の実現

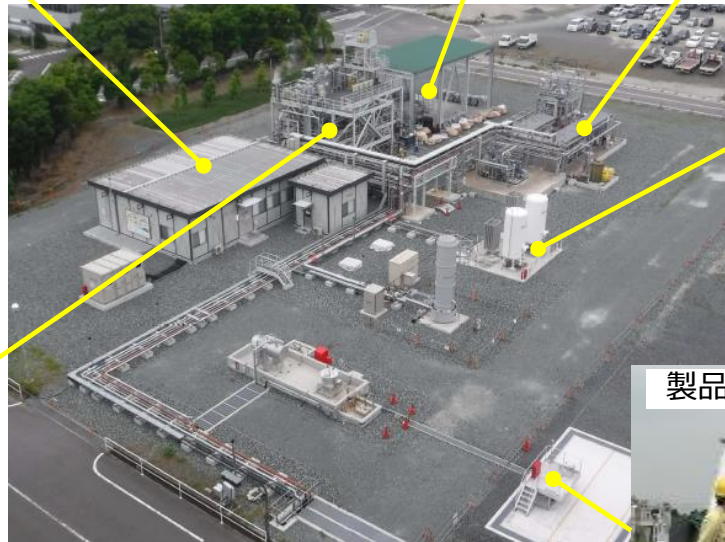
【運転配慮事項等】

- ・ガス化、FT合成設備とも制御・監視は個別に実施する仕様であり、設備間の運転状況共有を密にする必要
- ・いずれかの設備トラブル時、相互インターロックが無い場合人間系による各機器停止判断要
- ・FT合成触媒への悪影響防止のためガス供給量、H₂/CO比制御目標値を順守
- ・FT合成設備へのガス流量調整のため生成ガスの一部はグランドフレアに放出

【商業プラントへの課題】

- ・バイオマス原料の保管方法および安定供給
- ・ガス化設備、FT合成設備の協調制御が必要
- ・副生物(軽油、ナフサ、発生熱等)の有効利用

3. 1パイロット試験～(6) バイオマス原料調達及び運転(参考)



3. 2 バイオジェット燃料に関わる特性検証

高温高圧燃焼試験設備を用いた
燃焼器リグ試験

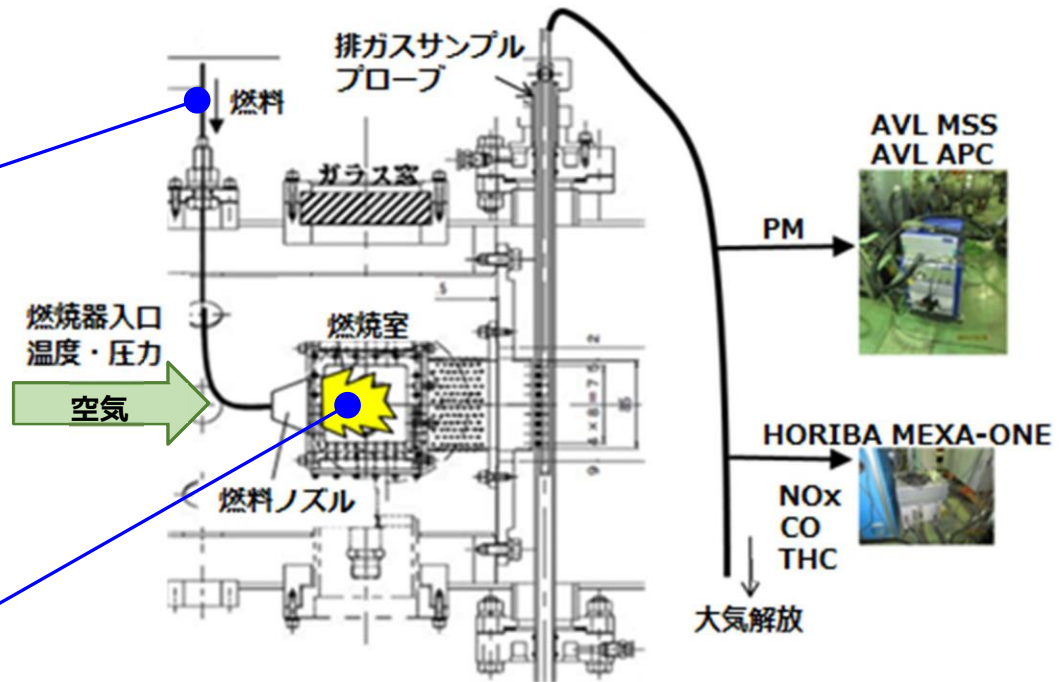
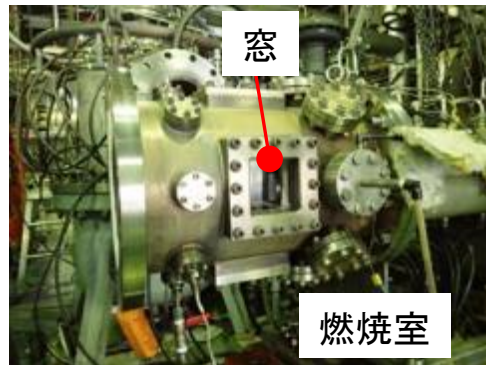
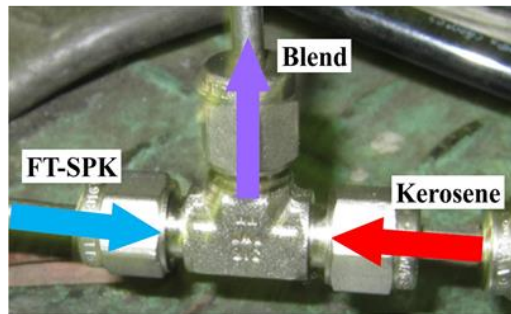
- バイオジェット燃料(SAF(FT-SPK))とケロシン燃料との混合燃料を燃焼器内で燃焼させ、バイオジェット燃料混合比、空燃比をパラメータとする燃焼特性および排気ガス組成の計測を実施

試験条件

燃焼器 入口温度	燃焼器 入口圧力	空燃比※ (質量比)	混合比SAF/(SAF+ ケロシン)(体積比)
450K	350kPa	50～150	0～100%

- ✓ 分岐管で燃料を混合(混合比は調整)し、燃焼器へ供給
 - ✓ 燃焼器出口で排気ガスサンプリング(NO_x、CO、THC、PM)
 - ✓ 燃焼器窓から燃焼状態を可視化
- ※ 空燃比: 空気と燃料の質量比

燃料の混合方法

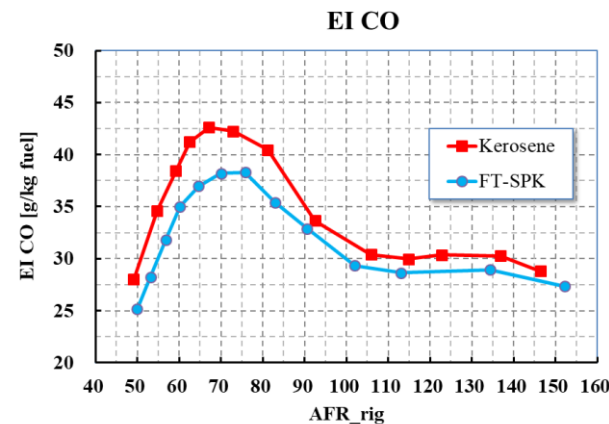
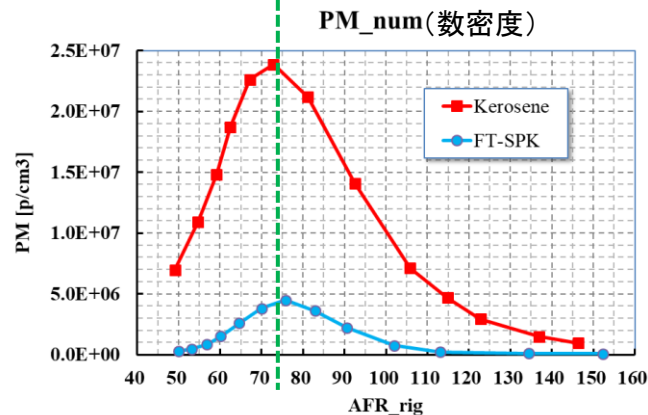
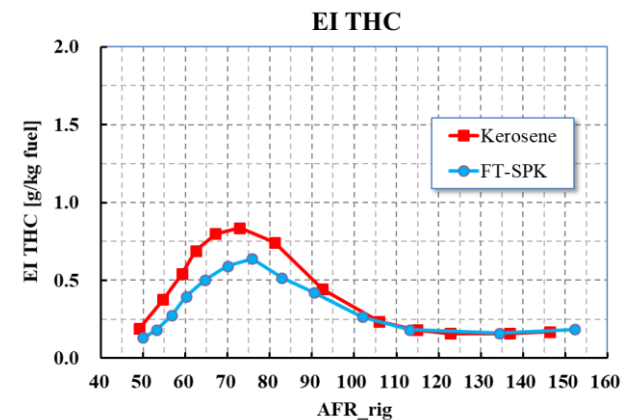
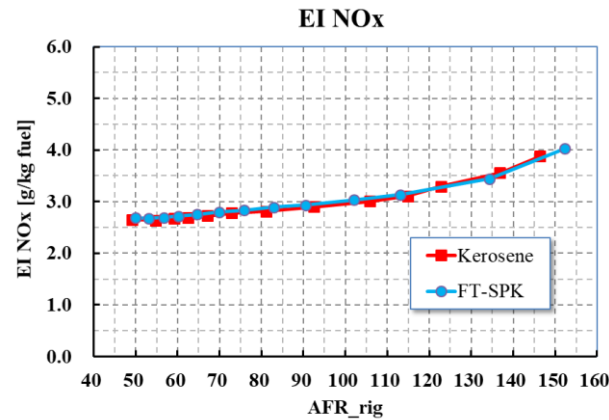
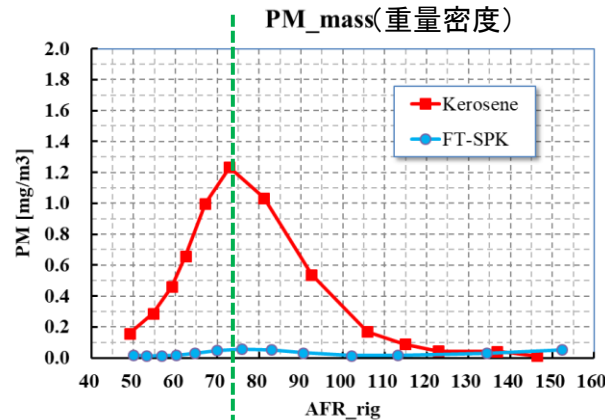


燃焼試験装置概要

3. 2 バイोजェット燃料に関わる特性検証

高温高圧燃焼試験設備を用いた
燃焼器リグ試験

空燃比変化時の排気成分結果



- ✓ PM(Particulate Matter)以外の排気成分は大きな違いは無い
- ✓ バイオ燃料のPM低減量が顕著
- ✓ 燃料成分分析結果で示される通り芳香族成分が無いことがPMの減少に影響したと考えられる

空燃比73の時のPM平均粒径

	PM平均粒径
Kerosene	127nm
FT-SPK	68nm

ASTM D7566 Table A1.2 Other Detailed Requirements: Fischer-Tropsch Hydroprocessed SPK

Method	Property	Result	Spec	Remarks
Hydrocarbon Composition				
2110 D2425	Cycloparaffins, mass %	3.9	Max. 15	
2120 ↓	Aromatics, mass %	0.0	Max. 0.5	
2130 ↓	Paraffins, mass %	96.1	report	
2150 D5291	Carbon and Hydrogen mass %	100.0	Min. 99.5	

3.2 バイोजェット燃料に関わる特性検証

模型ジェットエンジンを用いた燃焼試験

- FT-SPK と JetA-1 との混合燃料を使用し、模型ジェットエンジンで性能計測を実施



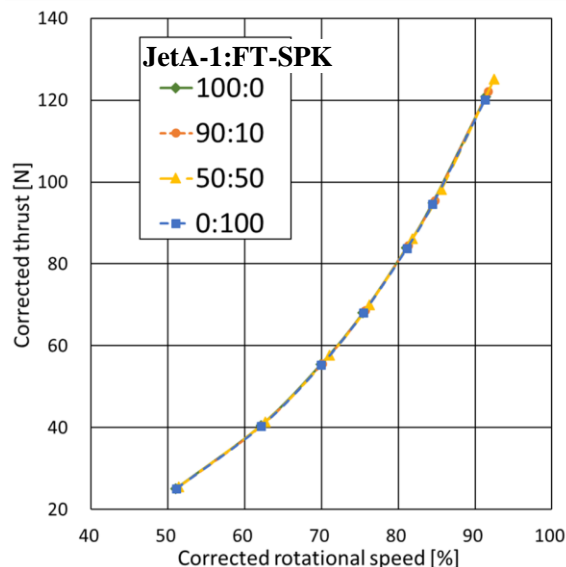
試験時のエンジン周りの様子

※混合した燃料に対し、タービンオイルを5%混合
 ※※ICD: Inflow Control Device

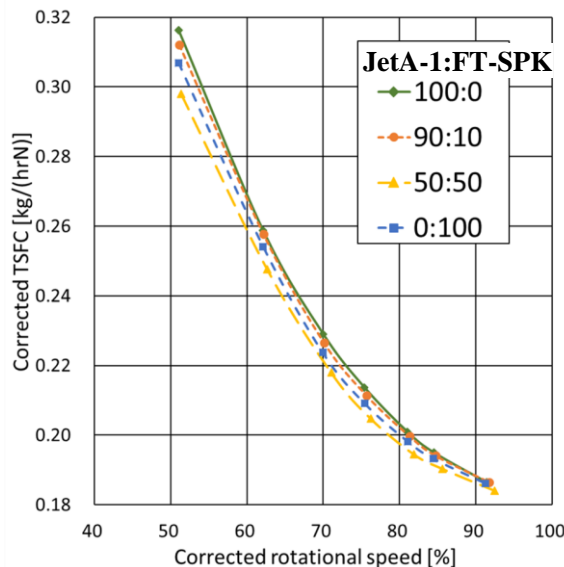
燃料混合比の違いによって

- エンジンの始動特性
- 推力、吸気流量、燃料消費率、排気温度等の性能特性

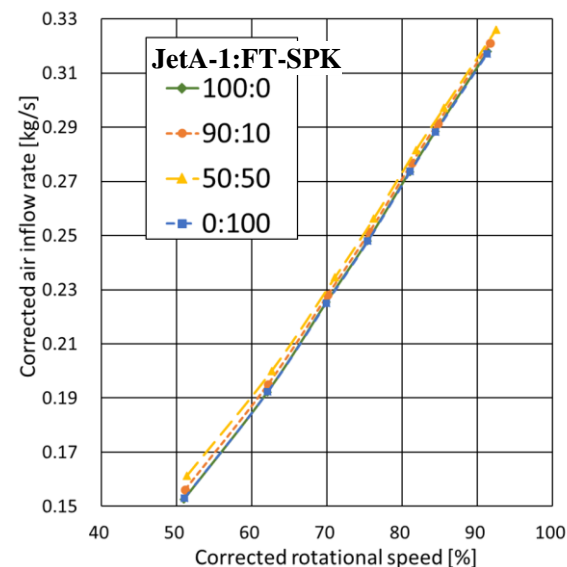
に大きなばらつきは確認されず



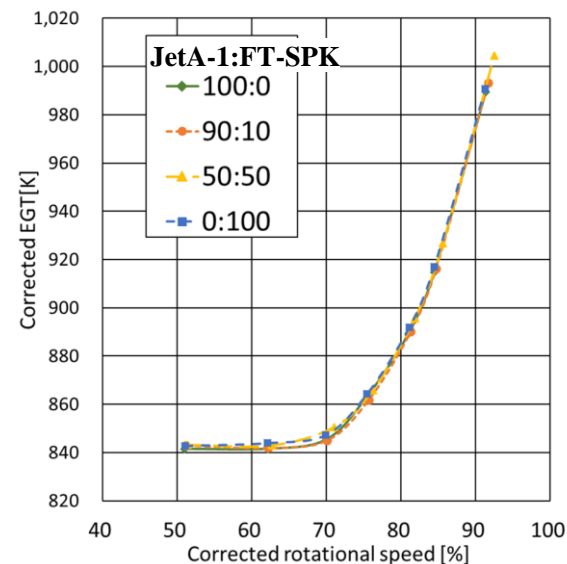
エンジン回転数と推力の関係



エンジン回転数と燃料消費率の関係



エンジン回転数と流入空気流量の関係

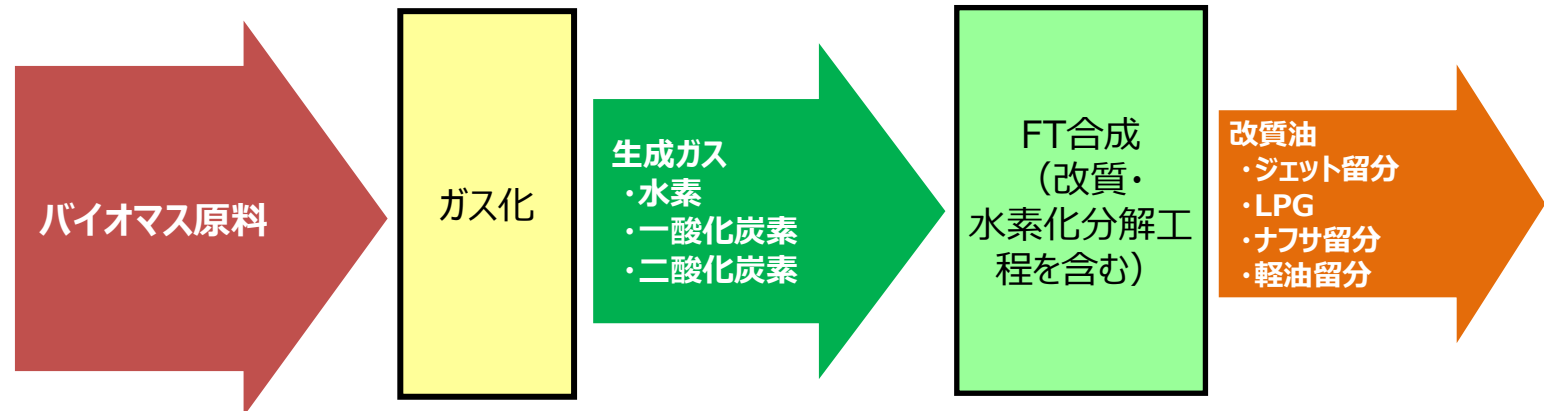


エンジン回転数と排気温度の関係

3.3 実用規模システムの適正化検討

全体物質・熱収支

検討ケース	A	B	C
原料バイオマス	廃棄物系 木質バイオマス	廃棄物系 木質バイオマス	木質チップ
原料バイオマス 処理量 (ton/日)	242	261	300
FT合成改質油 生産量 (バレル/日)	171	163	366
熱効率	原料バイオマス熱量を100として		
生成ガス熱量	68.8	67.7	77.6
バイオ燃料熱量	31.9	30.3	42.0



上記に加えて、オフガスはボイラー燃料等に充当しエネルギーを回収

3. 4 純バイオジェット燃料製造プロセスの経年劣化特性評価

検証運転終了後、解体研究を行い、対象機器・部位の経年劣化（摩耗、腐食、熱影響等）に関して、調査・分析を実施した。

ガス化設備

【対象機器・部位】

バイオマス又は高温の生成ガスが接触する機器・部位を対象とした。主な対象機器・部位は下記の通り。

- ・バイオマス搬送コンベア（ケーシング、フライト）
- ・ガス化炉投入スクリュウフィーダ（ケーシング）
- ・ガス化炉（耐火材、断熱材）
- ・生成ガス冷却器（伝熱管）
- ・生成ガスフィルタ（フィルタエレメント）

【調査内容】

外観・寸法調査、及び部位に応じて顕微鏡観察、X線分析、付着物の組成分析などを実施した。

【結果】

特に大きな問題がないことを確認した。

FT合成設備

【対象機器・部位】

塔槽類、熱交換器を対象とし、特に水素ガスや酸性水を扱う設備および内部に付着物が認められた設備においては試験片を切り出して調査を行った。

また、ガス精製工程と改質工程の触媒・吸着剤を対象とした。

【調査内容】

塔槽類、熱交換器は、内部目視検査、浸透探傷試験、及び部位に応じて、顕微鏡観察、元素分析、断面観察などを実施した。

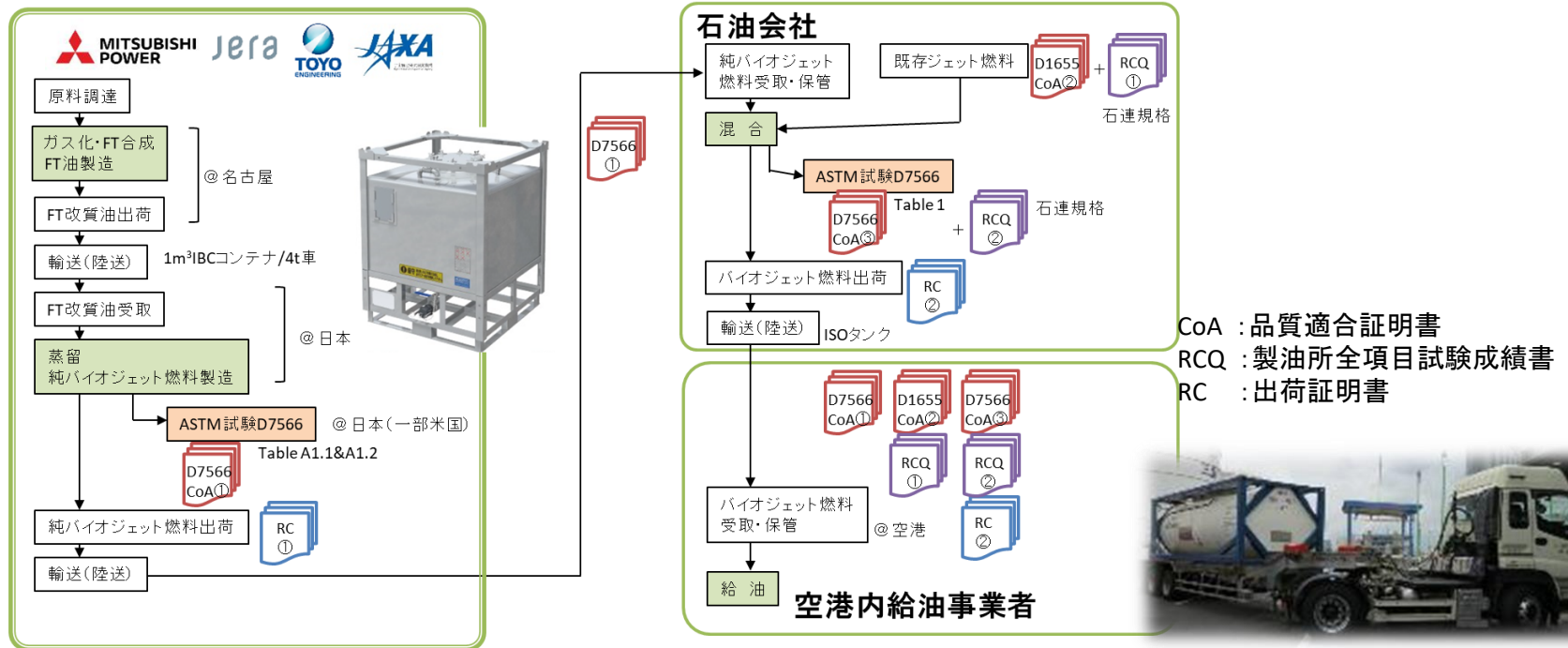
触媒・吸着剤は、CHN分析と吸着物分析などを実施した。

【結果】

特に大きな問題がないことを確認した。

3.5 サプライチェーン具体化

SAFを製造する一貫体制の実証と、燃料を航空機に給油するまでのサプライチェーンを具体化した。



2021年6月17日
日本航空 JL515
東京発札幌行に製造
したSAFを給油



NEDO委託事業

高性能噴流床ガス化とFT合成による 純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発 木くずから作った燃料でジェット機を飛ばそう!



産み出す量はわずかでも地球を守る大きな一歩!

私たちは将来の商品化に向け
このプロジェクトに「安全第一」で取り組みます

事業委託者

事業実施者 (共同実施)



設置場所: 株式会社JERA 新名古屋火力発電所構内 (2020年6月竣工)