

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)  
研究領域「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステム  
に関する研究」

研究課題名「インドネシアにおけるバイオマス廃棄物の流動接触  
分解ガス化と液体燃料生産モデルシステムの開発」

採択年度：平成 25 年度/研究期間：5 年/相手国名：インドネシア

## 終了報告書

### 国際共同研究期間\*1

平成 26 年 6 月 13 日から平成 31 年 6 月 12 日まで

### JST 側研究期間\*2

平成 25 年 5 月 22 日から平成 31 年 3 月 31 日まで  
(正式契約移行日 平成 26 年 4 月 1 日)

\*1 R/D に基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

\*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた該年度末

研究代表者：野田玲治  
群馬大学大学院理工学府・准教授

## I. 国際共同研究の内容 (公開)

### 1. 当初の研究計画に対する進捗状況

#### (1) 研究の主なスケジュール(実績)

研究題目・活動	H25年度 (10ヶ月)	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度 (14ヶ月)
1-1) 高度安定型流動層の確立						
1-1-1. パルス制御ループシールの構造・制御方法検討	←→	←→	←→*1			
1-1-2. スケールアップ手法の検討		←→	←→	←→	←→*1	
1-1-3. パイロットスケールコールドモデル実験			←→		←→	←→*2
1-1-4. デモンストレーションプラントによる実証					←→	←→*3
1-2) 粘土触媒の探索・最適化						
1-2-1. 粘土鉱物試料の収集	←→	←→	←→*4			
1-2-2. 各種粘土鉱物の触媒活性評価		←→	←→	←→*5		
1-2-3. 物理化学的構造評価と活性機構解析			←→	←→	←→	←→*6
1-3) チャー抽出機構の開発						
1-3-1. チャー抽出機構の検討・設計		←→				
1-3-2. コールドモデルによる試験			←→	←→*7		
1-3-3. デモンストレーションプラントによる実証					←→*7	
1-4) バイオマスの前処理及び供給方法の確立						
1-4-1. 前処理・供給方法の検討		←→			←→*8	
1-4-2. プロトタイプによる試験			←→			←→*9
1-4-3. デモンストレーションプラントによる実証					←→	←→*3
1-5) ガス化残渣の肥料化技術の確立						
1-5-1. ガス化残渣の肥料としての物性評価		←→	←→			
1-5-2. ガス化残渣の肥料化プロセスの検討				←→	←→	
1-5-3. 肥料化デモンストレーションプラントによる実証					←→	←→
1-5-4. 製造した肥料のフィールド試験						←→
1-6) デモンストレーションプラントによる実証						
1-6-1. デモンストレーションプラントの設計				←→	←→	←→*10

1-6-2. デモンストレーションプラントの建設					←→	←→	*10
1-6-3. 実証試験						←→	*3
1-7) タール処理技術の開発 (*11)							
1-7-1. ラボ試験による検討							
1-7-2. プロトタイプ的设计							
1-7-3. プロトタイプの製作							
1-7-4. デモンストレーションプラントにおける実証							
2-1) 低コストメタノール合成触媒の開発							
2-1-1. 候補触媒の一次スクリーニング	←→						
2-1-2. 触媒機構の解明と触媒高性能化の検討		←→					
2-1-3. 実用機への適用検証						←→	
2-2) 低圧メタノール合成プロセスの確立							
2-2-1. 原料ガスの前処理方法の検討	←→						
2-2-2. <del>パイロットプラント</del> プロトタイプ的设计		←→				追加 (*13)	
2-2-3. <del>パイロットプラント</del> プロトタイプの製作・試験 (試験は2-2-4.へ)			←→			追加 (*13)	
2-2-4. プロトタイプによる試験				←→		追加 (*13)	
2-2-4. デモンストレーションプラント的设计				←→			
2-2-5. デモンストレーションプラントの建設					→		
2-2-6. 実証試験						←→	
2-3) ガス発酵法液体燃料生産プロセスの開発							
2-3-1. ガス発酵法液体燃料生産プロセスのフィジビリティ検討						←→	
2-4) デモンストレーションプラントによる検討							
2-4-1. デモンストレーションプラント的设计							
2-4-2. デモンストレーションプラントの建設							
2-4-3. 実証試験							
3-1) 人材育成							
3-1-1. 研修プログラムの準備	←→	↔	↔				
3-1-2. 研修プログラムの実施						←→	

1-7-2. ~4. は中止 (\*12)

2-2-4. ~6. は2-4へ (\*14)

2-4 は中止 (\*15)

3-2) ネットワーク形成 3-2-1. 国際的セミナー開催 3-2-2. ニュースレターの発行			○			○
--	--	--	---	--	--	---

- \*1 研究の過程で見出された別構造のアイデアについても検討するために期間を延長。
- \*2 ガス化炉形式の変更に伴う新型コールドモデルの竣工に合わせて実施期間を変更。
- \*3 ガス化デモンストレーションプラントの竣工にあわせて31年4月から実施。
- \*4 カウンターパートとの分担の調整のためH26年度開始とし、インドネシアの広範囲からサンプルを調達するために期間を延長。
- \*5 1-2-1 に合わせて実施期間を変更。
- \*6 29年9月より群馬大学大学院博士後期課程へBPPTから1名が入学し、博士後期課程のテーマとして設定したため、プロジェクト期間終了まで研究活動を延長。
- \*7 バイオマスの前処理形式の変更に伴って中止。
- \*8 当初予定の分割装置から低コスト粗粉碎システムに変更したため研究開発期間を延長。
- \*9 1-4-1 の延長に合わせて実施期間を変更。
- \*10 ガス化炉の形式変更に伴って設計・製作期間を変更
- \*11 29年7月のJCCにおいて、タール分解プロセスの開発を追加。
- \*12 プラント建設コストが想定以上に必要であることから中止。
- \*13 小規模メタノール合成プロセス（高純度メタノール合成システム）プロトタイプを検討を追加
- \*14 デモンストレーションプラントは2-2および2-3の結果を比較したうえで実施することとして別ワークパッケージへ。
- \*15 液体燃料合成デモンストレーションプラントを安全性を担保したうえで製作するためのコストが予算内に収まらないと考えられたため中止。2-2および2-3は現有の設備を拡張してプロトタイプを製作して試験を継続。

## (2) 中間評価での指摘事項への対応

- 試験装置を完成と、プロジェクト期間内およびその後の有効な試験の実施。

群馬大学およびBPPTの協働による50kWパイロットプラントの基本設計を基にした詳細設計仕様書に基づいてインドネシア国内のEPC企業による入札を実施し、技術水準ならびに調達価格を比較して建設企業を決定した。免税手続きに関連した3カ月程度の発注の遅れ、建設の1か月程度の遅れにより、パイロットプラントの竣工は2019年5月となった。プロジェクト終了時点で、所定の運転条件でプラントを稼働し、バイオマス投入フィーダで問題なく原料を供給できることを確認した。ただし、ガスの定量分析が可能な長時間の安定運転の実現までには至っておらず、安全性を確認しながら、バイオマス投入量を増加させる試験を実施中である。プロジェクト期間内に完了できなかったガス化実験については、BPPT独自予算で進めることが決定している。

- ガス化炉の規模縮小により、きめ細かな実験が可能となる一方で、社会実装に向けた一層の取り組みが求められる。実用化の際のガス化炉の規模とそれに至るシナリオを明確にした上で、研究開発を進めて欲しい。

1-6に本プロジェクトで開発するガス化プラントの規模と経済的導入シナリオの検討結果をまとめた。本プロジェクトで開発する50kWパイロットプラントは、ガス化原料として2t/日を提供し、不足する熱を補うための補助燃料として1t/日のEFBを燃焼室へ投入する形式とした。この条件での自立運転が実現できれば、発電に占める燃料コスト7円未満という、ペレット利用プロセスでは実現不可

能なガス化発電を実証できる。

- ガス化プラント能力の規模をスケールダウンすることで、多様な試験やアイデアを試すことができるようになり、インドネシア側の意欲が高まるプラスの効果もあるが、規模的には社会実装までの道のりが長くなった。事業期間内に明確に意義のある成果を挙げ、社会実装に結び付けられる内容になるように、ガス化デモプラントを軸に他の研究項目(メタノール合成、ガス発酵エタノール合成、ガスエンジン等)を見直す等、さらに具体的な計画の修正を検討し、経済性評価や社会実装への道筋をしっかりと示すことが大切である。

上述の通り、本プロジェクトでは無償の EFB をエネルギー転換するという発想から、低コスト前処理により非常に低コストで発電燃料を調達し、固定床のような繊維状 EFB を利用できないプロセスでは到底なしえない低ランニングコストのバイオマスガス化炉を実証することが目標である。1-6-2 に示した通り、120 万円/kW の建設は無謀という数字ではないことから、本プロジェクトで開発したパイロットプラントによる実証の結果をブランテーションサイトへ提示することで、次の開発へつなげることが期待できる。

- ガス化技術・タール除去技術開発にくらべ、メタノール合成の開発、ガスエンジンでの実証確認などの技術的問題は小さいと思う。テーマ毎に開発の優先順位を明確にして、スピーディーな開発を期待する。また社会実装のためのコスト評価なども行っていただきたい。そのためには事業化関係者との一層の連携強化を、図っていただきたい。

まさに指摘のとおりであると我々も考え、パイロットスケールデモンストレーションプラントによる運転のガス化運転の実現を第一に取り組んだ。1-6 で示した通り、燃焼炉へもバイオマス燃料を投入可能に設計されたガス化プラントにより熱効率は低下するものの、圧倒的に低価格で燃料を調達でき、熱効率が多少低くても経済的に成立する可能性を示した。残念ながら、最終的な実証まで到達はできていないが、プロジェクト終了後も継続して実証を進める状況を準備することができた。研究開発を継続する BPPT への技術移転も十分になされたものと判断しており、さらに JST の SDGs ビジネス化支援プログラムにおいて、具体的なビジネスモデルの検討も進みつつある。この 1 年で実装に向けた動きが加速するように協力体制を継続していく。

### (3) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

29 年 7 月 26 日に開催した第 4 回 JCC において、研究開発課題の再検討を行うとともに、研究推進体制の見直しを行った。研究課題の主要な変更点としては、①ガス化炉形式の見直し、②タール分解システム開発課題の追加、③メタノール合成プロセス開発の見直しの 3 点である。これらの変更は、若干、実装側に偏り気味であった技術開発内容に、学術的な視点からの成果を追加しやすくするために、実証装置の規模を縮小するとともに、現時点において必ずしも十分な技術開発が完了しているとは言えないタール分解プロセスの開発など、いくつかの要素研究をパイロットスケールで実証可能な装置とすることで、より学術的な研究の展開を図りつつ、プロジェクト終了後も開発したパイロットプラントによる研究開発を継続することを志向したものである。JCC における具体的な合意内容は以下のとおりである。

- ① これまで開発してきた粘土を流動媒体とする循環流動層ガス化デモンストレーションプロセスは、基本的な構造は維持しつつ、プロジェクト終了後も BPPT が継続的に研究を推進できるような拡張性の高いパイロットプラントとして整備する。設置場所は BPPT の研究拠点がある PUSPIPTEK, Serpong とし、2018 年 11 月ごろの竣工を予定している。バイオマス原料は、PUSPIPTEK に近い国営農園で調達できるように関係各所と調整済みである。
- ② パイロットプラントの規模は、当初の 250kW から 50kW に縮小し、その余剰予算を利用して、バイオマスの前処理、タール除去プロセス、チャー拔出し装置、粒子循環システムなどを取り替えつつ、個別の性能試験ができるようにする。バイオマスガス化のための要素技術のプロト

- タイプ実証を通じて、インドネシア適合方小規模バイオマスガス化プロセスを確立する。
- ③ 熱化学的メタノール合成プロセスは、小規模バイオマスガス化プロセスに適合的なプロセスの開発を目標として、ベンチスケールのプロトタイプ試験まで実施する。
  - ④ ガス発酵エタノール合成プロセスの基礎試験を通じて、小規模バイオマスガス化における実現可能性を明らかにする。

これらの変更により、JST 達成目標を次の通り修正した。

#### JST 達成目標

旧
<ul style="list-style-type: none"> <li>① インドネシアにおいて、能力 250kW 以上のバイオマスガス化プラントと能力 100L/時以上のメタノール合成プラントを設置し、継続的に運転する</li> <li>② バイオマスガス化と液体燃料製造プロセスの運転手法、ならびに人材育成とネットワーク形成を含めたインドネシアにおけるバイオマス利用スキームを確立する。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>① <u>インドネシアにおいて、能力 50kW 以上のバイオマスガス化パイロットプラントを稼働させ、バイオマスガス化において未解決の課題である流動層ガス化炉の安定化、タール除去プロセスの高度化、チャー抜き出し機構とチャーの資源化技術を確立する。</u></li> <li>② <u>小規模ガス化にマッチしたメタノール合成プロセスを提案し、プロトタイプ試験を行う。</u></li> <li>③ <u>ガス発酵エタノール合成プロセスの基礎的検討を行い、小規模ガス化における実効性を検証する。</u></li> <li>④ バイオマスガス化と液体燃料製造プロセスの運転手法、ならびに人材育成とネットワーク形成を含めたインドネシアにおけるバイオマス利用スキームを確立する。</li> </ul>

これらの変更は、両者の協議を通じて、日本およびインドネシアの共同研究成果をより高めることにつながるとして合意されたものである。また、この変更に合わせて、ワークパッケージと予算配分の見直しも行った。

熱化学的メタノール合成プロセスは、小規模バイオマスガス化プロセスに適合的なプロセスの開発を目標として、ベンチスケールのプロトタイプ試験まで実施することとした。実際にプロトタイプ的设计と製作を行うBPPTにおいて、設計および製作スケジュールについて再検討し、現実的なスケジュールを再設定した。ガス発酵エタノール合成プロセスについては、基礎的な研究を通じて、小型バイオマスガス化での利用におけるフィージビリティを明らかにすることとした。ガス発酵法の研究開始は、バンドゥン工科大学および群馬大学連携して進めることとした。

## 2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト (公開)

### (1) プロジェクト全体

本研究の目的は、インドネシアのプランテーションや農林産物集積・加工場等で比較的容易に設置・運転・保守が可能で、さらに現地の技術者らが自国の技術水準にあわせて自発的にプロセス改善を進めていくことのできる、「適正」なバイオマス廃棄物のガス化と液体燃料生産プロセスを開発し、人材育成、ネットワーク形成を含め、その普及のための基盤を整備することである。本研究プロジェクト期間内に、インドネシア国内において、ガス化装置能力 50kW の循環流動層バイオマスガス化パイロットプラントを設置し、パイロットプラントを用いて、循環流動層の安定化技術、バイオマス前処理技術、チャーおよび使用済み流動媒体の回収と肥料化プロセスについて、いくつかのプロトタイプの実証試験を行う。一連の実証試験を通じて、インドネシアにおいて適合的な小規模バイオマスガス化プロセスの明確化する。さらに、ガス化炉で得られたガスを液体燃料に転換するプロセスとして、熱化学的メタノール合成プロセスおよびガス発酵エタノール合成プロセスの検討を行う。メタノール合成プロセスは、小規模バイオマスガス化に適合的なメタノール合成プロセスを提案し、そのプロトタイプ試験を通じて、好適メタノール合成プロセスを明確化する。エタノール合

成プロセスは、基礎的な試験を通じて、小規模バイオマスガス化におけるフィージビリティを明確化する。さらに、開発した技術を担う人材を育成し、バイオマスエネルギー普及のためのネットワークを形成して、開発した技術の普及基盤を整備する。

バイオマスガス化プロセスについては、粘土を流動媒体とする循環流動層ガス化プロセスの基本的なコンセプトは維持しつつ、プロジェクト終了後も BPPT が継続的に研究を推進できるように、いくつかの試験デバイスを取り替え可能な拡張性の高いパイロットプラントとして整備することとした。これにより、当初の計画である低コストプロセスだけでなく、より先進的なプロセスの可能性も将来的に検討可能なパイロット試験設備となり、将来的にも日本およびインドネシア間で本パイロット試験装置を核とした共同研究を提案できるようにすることが目標である。そのため、パイロットプラントの規模を、当初の 250kW から 50kW に縮小し、その余剰予算を利用して、バイオマスの前処理、タール除去プロセス、チャー抜き装置、粒子循環システムなどの要素技術のプロトタイプ検証を行った。当初予定のガス化炉形式からの変更による時間的損失は、群馬大学が保有する外部循環流動層ガス化プロセスをベースとすることで、設計期間短縮しつつ設定した目標を達成可能な設計を完了した。設計したパイロットプラントと同一形状の循環流動層コールドモデルも竣工し、コールドモデル実験を通じて、詳細な粒子循環試験を実施し、インドネシア側に循環流動層の運転技術を移転するとともに、本プロジェクトにおいて開発した新規ルーブシールの有効性も実機レベルで確認することができた。パイロットプラントの建設発注に係る免税手続きに想定外の事態が発生したことや、インドネシアの建設企業の遅延等により、パイロットプラントの竣工が 5 月に遅延することとなったが、6 月からパイロットプラントの試運転を開始できた。パイロットプラントを構成する各要素が概ね設計通り稼働し、ガス化炉を昇温でき、バイオマスを流動層反応器に問題なく供給できることを確認した。プロジェクト終了段階で、パイロットプラントの安定的な長時間運転の実現に向けた試験を実施中である。当初計画では、本プロジェクト期間内でパイロットプラントの性能評価までを予定していたが、プロジェクト期間終了後に、BPPT が独自予算で開発を継続することが表明されており、BPPT において年内を目途に安定運転の確認と性能評価を実施することに決定している。BPPT への技術移転ならびに人材開発も順調に完了し、主体的な技術開発環境の整備が完了したものと判断している。

液体燃料転換プロセスは、プロジェクト開始段階では低圧多段式メタノール合成プロセスによるパイロットスケールの液体燃料転換デモンストレーションを想定していたが、プラントの安全性および予算上の制約から、低圧多段パイロットプロセスは中止とし、(1)メタノール合成触媒の高性能化・低コスト化の検討、(2)小規模バイオマスガス化と適合的な蒸留プロセスのないメタノール合成プロセスの検討、(3)常温常圧で合成ガスから生物学的にエタノールを生産するガス発酵プロセスの検討、を行った。(1)は、短期的なプロジェクト期間内の新規触媒の開発ではなく、将来的なインドネシア国内のメタノール合成技術の自主的な開発能力の涵養を目的とした。(2)については、従来の日量数千トン規模のメタノール合成プロセスではなく、小規模のメタノール合成プロセスにおいて、生産物の高付加価値化を狙いとして水分含有量の少ないメタノール合成プロセスの実現を目指した。(3)は、ITB と群馬大学が共同して、米国ランザテック社等で研究が先行しているガス発酵プロセスの適用可能性を明確化することが目的である。(1)については、群馬大学と BPPT により 10 種類以上の触媒の試作が準備され、BPPT が同一条件下で比較した。 $\gamma$  アルミナ処理を行った含侵法触媒が Cu 単位重量あたりのメタノール生成量が最も大きいことが確認された。(2)では、プロトタイプ 2 号機による試験により、 $\text{CO}=33\text{vol}\%$ 、 $\text{H}_2=67\text{vol}\%$ では、水の生成量が大幅に低減でき、 $270^\circ\text{C}$ で合成メタノール中の水分量は  $0.5\text{wt}\%$ 以下まで低減できた。(3)については、ITB において連続ガス発酵試験装置が完成し、一連のガス発酵試験が実施され、模擬ガスからのエタノール生産が確認された。ITB および群馬大学で得られた結果から、エタノール生産について反応機構などの重要なポイントが解明された。これらの活動をとおりしてフィージビリティスタディーのための実験結果が蓄積された。

(2) 研究題目 1 : 「粘土を流動媒体とするバイオマス接触分解ガス化プロセスの確立」

群馬大学グループ(リーダー:野田玲治)

APEX グループ(リーダー:井上 齊(田中 直))  
 BPPT グループ(リーダー:Adiarso → Sri Djangkung Sumbogo)  
 YDD グループ(リーダー:Anton Soejarwo)

① 研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

成果目標と達成状況		
1-1 高度安定流動層の確立(指標:高度安定型流動層が確立される)		
【総括=概ね達成】 ラボスケールの2次元流動層で詳細に検討されたパルス操作ループシール(POLS)機構が、パイロットスケールと同一サイズのコールドモデルにおいて当初の狙い通り安定的な粒子循環を実現することを確認した。一般的に、循環流動層の運転は低温でより不安定性が高いことが多く、パイロットプラントでも同様の性能が期待できる。パイロットプラントによる試験は、プロジェクト後にBPPTが独自予算で進めることとした。		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
1-1-1 新規ループシール構造の提案(従来構造よりも高い安定性の明示)	ループシールをパルス空気で運転することで外乱に対する影響が低減できることを確認した。本技術の特許申請した。	100%
1-1-2 新規ループシール構造のスケールアップ手法の確立	POLSの粒子循環機構をパルス空気による粒子排除埴土でモデル化することができた。このモデルにより、パイロットスケールに必要な粒子循環速度を実現するループシールのサイズを決定した。	100%
1-1-3 デモンストレーションプラント用ループシール構造の決定(粒子循環速度:24 kg/s以上)	コールドモデル試験により、1-1-2で設計したループシールが目標粒子循環速度を達成できることを明らかにした。	100%
1-1-4 新規ループシール構造による安定流動層の実証	パイロットスケールガス化試験装置への組み込みは完了している。パイロットプラントでの適用実験はBPPTが実施。	50%
1-2 粘土触媒の探索・最適化(指標:5種類以上の粘土触媒から、最も活性の高いものが選択される)		
【総括=達成】 12種類のインドネシア産粘土を調達しスクリーニングが行われた結果、バイオマスのガス化において好適な粘土触媒が3種類確認された。また、重質タール低減効果に最も寄与する物性が総酸量であることが判明した。		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
1-2-1 インドネシアで調達可能な粘土触媒候補5種類以上の調達	12種類のインドネシア産粘土を調達した。	100%
1-2-2 好適な粘土触媒の選択(油性タールの生成率(炭素換算)2%以下)	1-2-1で調達した粘土のスクリーニングを行い、パチタン産Caベントナイト、ボゴール産Caベントナイト、ブリタール産Caベントナイトで目標を達成できることを明らかにした。	100%
1-2-3 触媒反応機構の明確化と活性化手法	重質タール低減効果に最も寄与する物性が総酸量であり、天然ベントナイトのうち、総酸量が高いものが好適触媒であると判断された。	100%
1-3 チャー抽出/循環機構の開発(指標:チャー抽出機構が開発される)		



<p><b>【総括＝中止】</b>          チャー拔出・循環機構の開発においては、設計まで完了したが、バイオマスの前処理の検討の過程で油ヤシ空房 (EFB) の粉碎物をガス化原料とすることが決定したため、2018年度の時点でジョグジャカルタでのコールドモデル試験は中止され、その後予定されていたチャー拔出/循環機構のデモンストレーションも中止とした。</p>		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
1-3-1 チャー拔出/循環機構の概念設計	大径粒子の拔出機構を考案し、詳細設計を行った。	100%
1-3-2 コールドモデル実験によるチャー拔出/循環機構の安定運転の確認	コールドモデル試験装置の製作まで完了したが、1-4において粉碎物をガス化原料とすることが決定したため、コールドモデル試験は中止した。	-
1-3-3 チャー拔出/循環機構のデモンストレーション	中止	-
<p>1-4 バイオマスの前処理および供給方法の確立(指標:適応可能なバイオマス前処理システムが開発される)</p>		
<p><b>【総括＝概ね達成】</b>          EFBの各種前処理プロセスの得失の評価が行われ、カッターミルによる切断処理が有効と判断された。EBF粉碎装置のプロトタイプが製作され、目標としたサイズ(1～2cm)の繊維が生産できるようになった。処理速度に関しても概ね想定しているスピードを達成した。粉碎装置は一部カッター部分を調整することで処理速度が改善することがわかっており、その調整は今後2、3カ月で終了する予定である。</p>		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
1-4-1 原料バイオマスと前処理および供給プロセスの方針決定	EFBの各種前処理プロセスの得失を評価し、カッターミルによる切断処理が有効と判断された。数cmの繊維状物質が得られればスクリーフィーダによる供給が可能となると考えられ、2cmの繊維改修をプロトタイプの目標とした。	100%
1-4-2 プロトタイプ試験による50kW循環流動層ガス化に適用可能なバイオマス前処理および供給プロセスの確認(バイオマス処理量80kg/hr以上)	パームヤシ樹幹のチップパーを改造したEBF粉碎装置のプロトタイプを製作した。プロトタイプで1～2cmの遷移が回収できた。処理速度は60kg/h-EFBであり、2機並列とすることで50kWプラントに必要な原料を製造できる前処理プロセスを確立した。他方で、カッターの位置を調整することでさらなる処理速度の向上が見込まれることも明らかにした。	100%
1-4-3 バイオマス前処理および供給プロセスの実証	BPPTで開発したフィーダで短繊維EFBを安定的に供給できることを確認した。ただし、最大供給速度は設計値の1/5程度であり、当面の試験には支障ないものの設計の最適化が必要であった。	50%
<p>1-5 ガス化炉残渣の肥料化技術の確立(指標:ガス化残渣の肥料化技術が確立する)</p>		
<p><b>【総括＝概ね達成】</b>          ガス化炉残渣の分析結果から、EFBチャーおよび灰はKを豊富に含んでおり、肥料化には他のP、N原料を混合して利用することが有効であると確認された。EFBのサンプルから得たチャーや灰の混合レシピによる肥料が試作され、その結果、チャー残渣肥料では育成効果は商用肥料よりも優</p>		

<p>れていることが判明した。また、チャー残渣の混合肥料の経済性評価が行われ、30%のコスト削減が確認された。灰残渣の混合肥料については、プロジェクト終了時点では施肥効果の試験を実施中である。プロジェクト終了後、パイロットプラント運転で得られた残渣による規模を拡大した肥料による大規模な施肥効果試験の実施を予定している。</p>		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
1-5-1 残渣の分析データと肥料適合性の評価	EFBチャーおよび灰はKを豊富に含んでおり、K原として有効と考えられた。一方で、PあるいはNの含有量は肥料として不十分であり、他のP、N原料を混合して利用する必要があることが明らかとなった。	100%
1-5-2 肥料化試験プラントによる肥料化プロセスの確立	チャーおよび灰分に尿素、重過リン酸石灰およびゼオライトを混合して同流するレシピを確立し、肥料の試作を行った。NKPを調整したEFBチャー混合肥料の施肥試験を実施中であり、初期育成効果は商用肥料と遜色ないことが認められた。灰分今暁肥料の施肥試験も始まったところであり、6月のJICAプロジェクト期限までに施肥効果をまとめる予定である。	100%
1-5-3 デモンストレーションプラント残渣由来の肥料の調整	パイロットプラントの運転が4月以降となり、得られた残渣を利用した肥料の試験期間が不足するため、中止した。	0%
1-5-4 肥料化プロセスの経済性評価	チャー残渣の混合肥料の経済性評価が行われ、30%のコスト削減が確認された。	100%
1-6 デモンストレーションプラントによる実証(指標:パイロットプラントが稼働する)		
<p>【総括＝概ね達成】  群馬大学およびBPPTの協働により50kWのパイロットプラントの基本設計の開発が行われ、選定されたエンジニアリング企業による設計が行われた。免税手続きに関連した3カ月程度の発注の遅れ、建設の1か月程度の遅れにより、パイロットプラントの竣工は2019年5月となった。プロジェクト終了時点では所定の運転条件で動かし安全性の確認のための試運転が行われている。</p>		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
1-6-1 50kWデモンストレーションプラントの設計完了	群馬大学およびBPPTが協働して基本設計を確立し、エンジニアリング企業の選定を経て設計を完了した。	100%
1-6-2 50kWデモンストレーションプラントの完成	2019年5月3日に建設工事を完了した。その後、各要素の動作を確認し、5月中に概ね設計値通りに稼働することを確認した。	100%
1-6-3 50kWデモンストレーションプラントによる実証	安定運転条件を確立するための試験を実施中。	30%
1-7 タール処理技術の開発(指標:タール除去の技術が開発される)		
<p>【総括＝一部達成】  1)粘土粒子によるタールトラップ回収、2)タールの接触分解、3)バイオマスの灰を触媒としたタール除去、の3種類の炉内タール除去技術が検討され、ラボ試験結果から、これらの影響因子についての基礎研究が行われた。プロジェクト終了後、粘土炉内触媒によるタール除去の性能がパイロットプラントにおいて確認される予定である。  ガス化炉後段におけるタール除去装置の開発は2017年7月にプロジェクト活動に追加され、異なる処理方式の概念設計が行われた。しかし、炉内粘土触媒でのタール除去の性能が比較的高いこ</p>		

とがラボスケールの実験で明らかとなったことから、プロジェクト期間内のタール除去プロセスの開発は中止した。  
BPPTは独自でプロジェクト終了後もタール除去の性能をより高めるための研究を継続する予定である。

成果目標(28年度追加)	成果の概要	達成度
1-7-1 ラボ試験による検討	1)粘土粒子によるタールトラップ回収、2)タールの接触分解、3)バイオマスの灰を触媒としたタール除去、の3種類の炉内タール除去技術が検討され、ラボ試験結果から、これらの影響因子についての基礎研究が行われた。	100%
1-7-2 プロトタイプ的设计	中止	-
1-7-3 プロトタイプ制作	中止	-
1-7-4 デモンストレーションプラントにおける実証	中止	-

## 1-1 高度安定型流動層の確立

### 1-1-1 パルス制御ループシールの構造・制御方法の検討

循環流動層は安定的な粒子循環のために、プラントの複数のポイントの温度圧力条件をモニターしながら、例えば反応器排圧を制御するなどの、高度な運転管理が必要である。これらの問題を本質的に解決するためのループシール構造としてパルス操作ループシール機構 (Pulse Operated Loop Seal: POLS) を提案した。POLS は、ガス供給を連続からパルスに変更することで、粒子上昇部において、粒子層をパルスジェットで強制的に切り出す形式である。

確立を目指すループシールの粒子挙動の概念図を図 8 に示す。一般的なループシールでは、ループシールの運転条件(ガス吹き込み速度)を一定として粒子循環速度を変化させると、層高差が増加する。ループシールのガス吹き込み速度を調節して、より多くの粒子を循環させる条件としたときは、粒子循環速度と層高差の関係はそれほど変化せず、粒子循環速度が増加する、すなわち、層高差-粒子循環速度グラフは上方へ平行移動し、層高差の粒子循環速度に及ぼす影響は変化しない。一般に、層高差が粒子循環速度に及ぼす影響は大きく、安定した粒子循環を実現するためには、層高差を一定に保つ必要があった。これに対して、実現しようとするループシールは、外乱(層高差や背圧差)が変化しても、粒子循環速度に影響を与えないループシール(図 1-1-1(1))である。

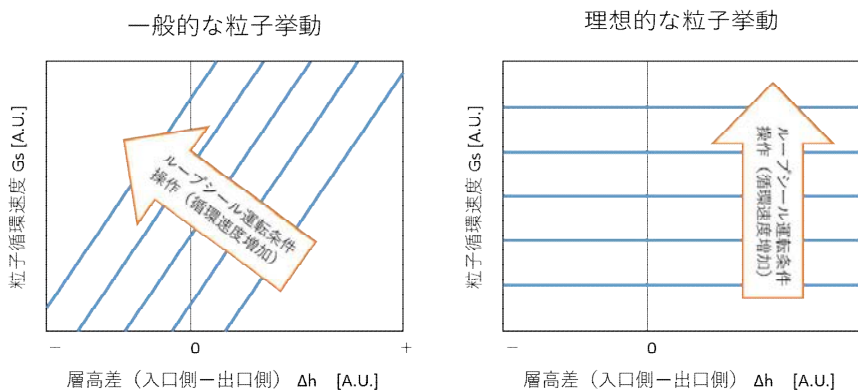


図 1-1-1(1) 一般的なループシールの粒子循環挙動と理想的な粒子挙動

実際には、理想的な粒子挙動にはならず、図 1-1-1(2)に示すような理想的な粒子挙動に近い運転条件範囲が存在するはずである。SATREPS プロジェクトでは、理想的な運転範囲の広いループ

シールの構造を明確化し、パイロットスケールのガス化プロセスにおいてその有効性を示すことである。

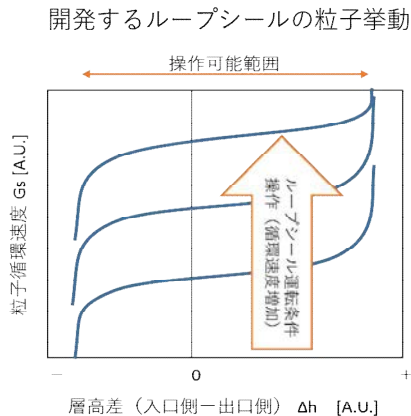


図 1-1-1(2) 確立を目指すループシールの粒子循環特性

1-1-1 では、ラボスケールの 2 次元ループシール試験装置を用いて POLS の可能性を検討した。ラボスケール試験装置を用いて、ガス吹き込み位置の異なるループシールの粒子循環速度と層高差の関係を調査した結果を図 1-1-1(3)に示す。試験装置は、2つの流動層が図 1-1-1(3)のループシール構造で接続されており、右側の流動層から粒子が流入し、左側の流動層へ排出される。ループシールの粒子出口は流動層よりも高い位置に存在しており、粒子循環量は入り口側流動層の層高にのみ影響を受ける。ループシールは、図 1-1-1(3)に示したポート位置 A~D からガスを吹き込むことで運転する。ガスは連続供給とパルス供給の 2 通りとし、出口側粒子上昇部(ライザー)の換算平均ガス空塔速度を  $8u_{mf}$  一定として実験を行った。横軸に、ライザー出口位置を基準とした入り口流動層高をとり、縦軸に粒子通過速度をとったものが図 10 のグラフである。曲線が上方へ移動するほど、粒子循環速度が高く、傾きが小さいほど入り口層高変化に対する安定性が高い。ポート A~E を比較すると、ポート A および B からガス供給することで、高い粒子循環を実現できることがわかる。これは、従来から行われてきたループシールに関する研究結果と類似の結果である。良好な粒子循環を実現可能なポート位置 A および B について、ガス供給を連続からパルスに変更することによって、傾きが減少することが確認された。

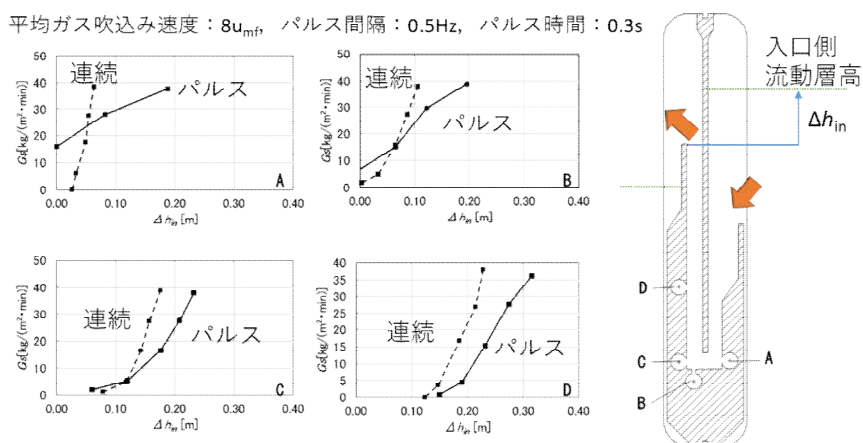


図 1-1-1(3) 試験したループシール構造と粒子循環特性

図 1-1-1(3)から、入り口層高  $\Delta h_{in}$  と粒子移動速度  $G_s$  の間にはおおむね直線関係が認められる。直線の傾きが小さいほど、入り口流動層高の影響を受けにくい(=安定性が高い)といえる。ポート B からのパルス供給条件が、粒子循環速度の安定性にどのように影響するか検討した結果を図

1-1-1(4)に示す。

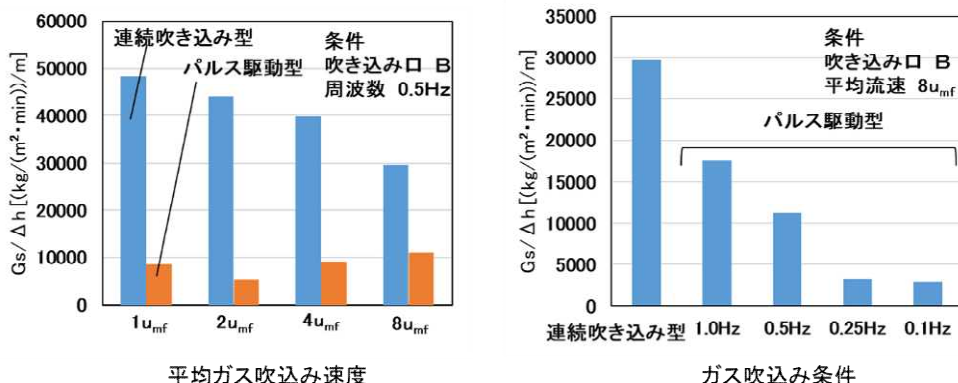


図 1-1-1(4) ガスの吹込み条件が粒子移動速度の層高依存性に及ぼす影響 (低いほど安定)

パルス運転条件(0.5Hz)では、ガス吹込み速度を変化させても安定性はほぼ一定であり、連続運転条件と比べて層高依存性は 1/3~1/5 であった。吹き込み周波数は安定性に大きく影響し、周波数の増加は層高依存性の増大につながる事が分かった。この原因は、パルスガスを供給する電磁弁の特性によるものと考えられた。すなわち、周波数の増加に伴って電磁弁の応答が間に合わなくなり、電磁弁の操作信号上はパルスのな運転条件であっても、実際のガス流れが連続流れに近づいていくことによる。以上の成果に基づいて特許申請を完了した。

#### 1-1-2 スケールアップ手法の検討

1-1-1 で得られたデータを基に粒子循環速度のモデル化を行った。粒子循環モデルは、ダウンカマ側かライザー側へ流入してきた粒子が瞬間的に供給されたパルス空気の体積によって排除されると仮定して構築した。粒子循環量予測モデルによる予測結果と実測値の関係を図 1-1-2(1)に示す。粒子循環量予測モデルから計算された粒子循環速度は実測された粒子循環量速度とよく一致しており、モデルの妥当性が示された。モデルの結果に基づいて、より低周波数で外乱に対する影響を低減できることも示された。スケールアップした場合も同様の現象が生じると仮定して、モデル計算から、パイロットスケール循環流動層ガス化装置で要求される粒子循環速度を得るためのループシールのサイズを決定した。

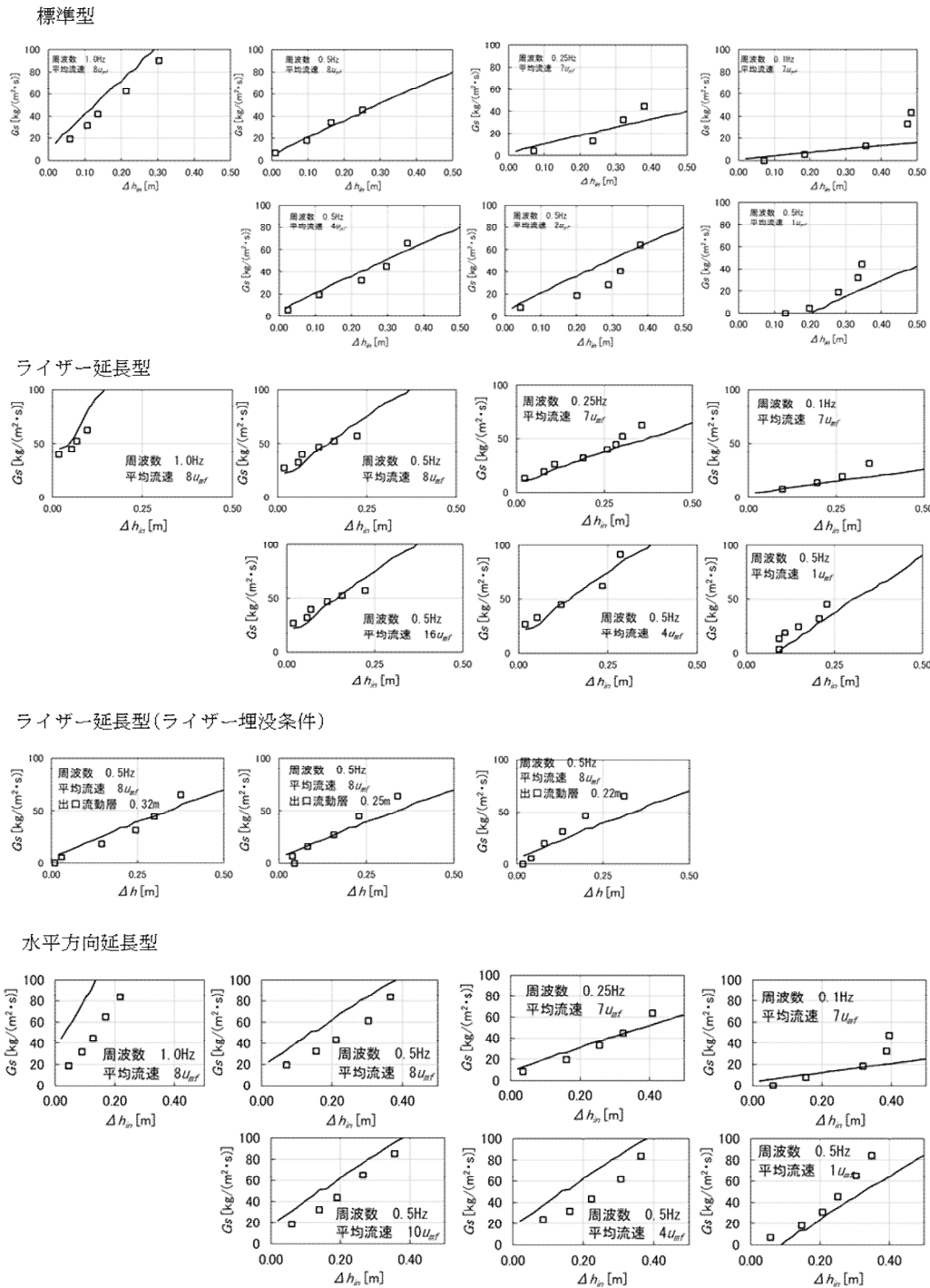
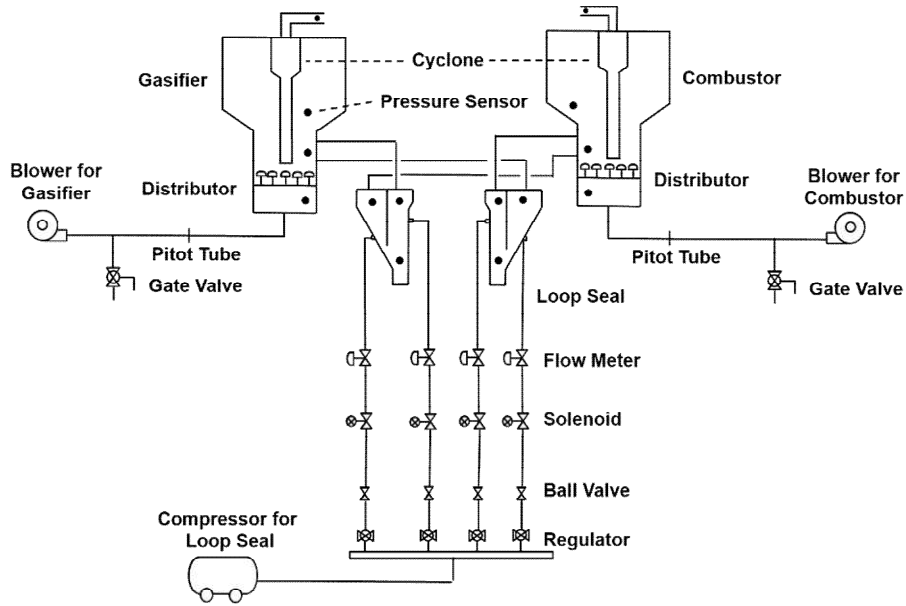


図 1-1-2(1) 粒子循環量の予測値(実線)と実測値(□)の比較

### 1-1-3 パイロットスケールコールドモデル実験

見直しを行った新型ガス化炉のコールドモデルを PUSPIPTEK に製作した。コールドモデルでは、流動層内での粒子の流動化および粒子循環の確認、パルス制御ループシールの構造と操作手順の検討を目的にコールドモデルによりテストを行った。コールドモデルは、ガス化炉および燃焼炉の2つの流動層をループシールで接続したもので、循環流動層の粒子循環挙動の確認が可能である。製作したコールドモデルを図 1-1-3(1)に示す。



BPPT に設置したコールドモデル



流動化試験の様子

図 1-1-3(1) 50kW 循環流動層バイオマスガス化システムコールドモデル

パイロットスケールのループシール粒子循環特性を評価する実験を行った。実験装置および運転条件を図 1-1-3(2)に、実験結果を図 1-1-3(3)に示す。

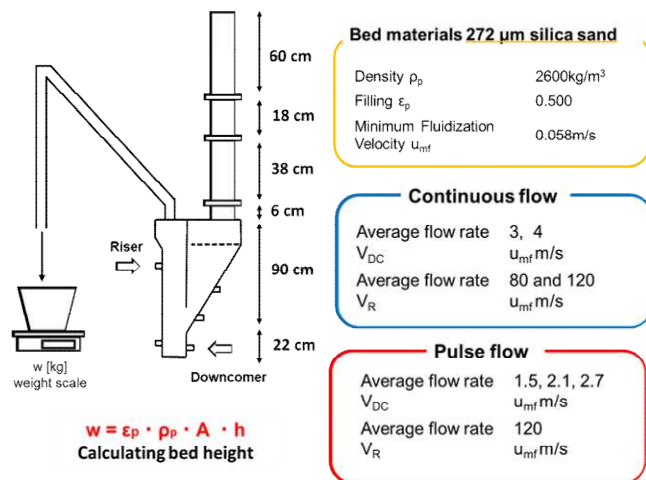


図 1-1-3(2) ループシール粒子循環特性評価試験

連続運転(①、②、③)の場合、ダウンカマー側の層高が大きいほど、粒子循環量も大きな値となった。ダウンカマー側の層高に大きな影響を受け、層高が減少するにつれて、粒子循環量も減少した。ライザー側、ダウンカマー側のガス速度を変化させても層高の依存症を受け、不安定な運転となった。一方パルス運転(④、⑤、⑥)の場合では、ダウンカマー側の粒子層高が変化しても概ね一定速度での粒子循環であり、ライザー側、ダウンカマー側のガス速度を変化させても安定的な循環を実現できることを明らかにした。連続運転とパルス運転で同様のガス吹込み量で比較した場合(③、④)、連続運転と比べて、パルス運転の方が、循環量が大きかった。また、パイロットスケールガス化炉で要求される粒子循環速度(20~25kg/min)もダウンカマー側ガス吹込み速度  $u_{DC}=2.7u_{mf}$ 、ライザー側ガス吹込み速度  $u_R=120u_{mf}$  で達成できることを明らかにした。

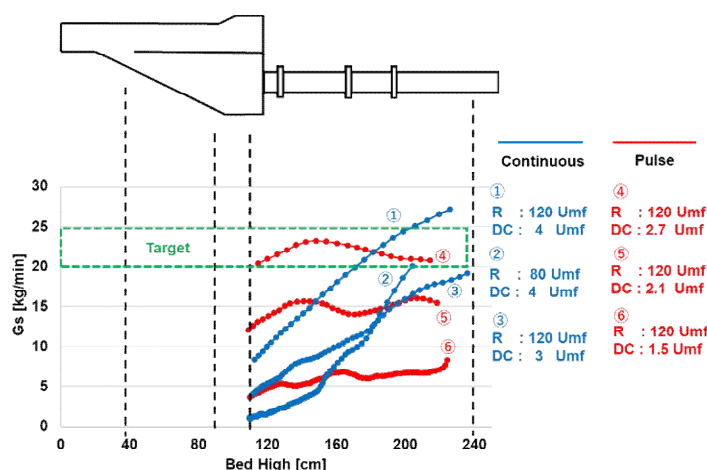


図 1-1-3(3) ダウンカマー側粒子層高と粒子循環速度の関係

また、ループシールで2つの流動層を接続した粒子循環試験を行い、良好な粒子循環を確認した。より少ないガスで粒子循環を実現するためのライザーサイズ、ダウンカマー側の吹き込み口の位置を明確化し、パイロットスケールガス化炉へ適用した。ビデオカメラシステムによる粒子循環速度測定手法は未確立であるが、目視による直接観測によって所定の粒子循環速度はループシール単独の場合と同程度であることが確認された。

#### 1-1-4 デモンストレーションプラントによる実証

1-6 で建設したパイロットスケールガス化試験装置には 1-1 で開発したループシール構造が組み込まれており、試験装置の竣工と同時に POLS による循環流動層試験運転が可能となっている。パイロットプラントにおいても粒子循環運転を実施し、測定された圧力データから不具合は確認されていない。一般的に、循環流動層では、低温状態で粒子循環が難しく、昇温により容易に粒子循環を実現できることが多いことから、パイロットプラントにおいて問題が発生することは少ないと考えられた。

### 1-2 粘土触媒の探索・最適化

#### 1-2-1 粘土鉱物試料の収集

当初目標として、インドネシア産粘土触媒候補5種類以上の調達をあげていた。26年度の段階で、既に目標の5種類を超える6種類の粘土は収集していたが、インドネシアでは粘土が広範な地域に存在するため、さらに探索を行って、27年度までに、表1-1-4(1)の12種類の粘土を収集した。

表1-1-4(1) 調達したインドネシア産粘土



No	入手日	産地	外観	入手先	備考
①	17 Nov.2014	Jampang, Banten	赤土状	Pusat Teknologi Sumber Daya Meneral, BPPT	
②	1 Des 2014	Cileungsi, Jawa Barat	白色パウダー	PT.Tohoma Mandiri	Ca-Bantonite 一度、熱的処理を行って粉砕、篩分けしたと見られる。化学処理はしていないことを確認済
③	8 Jan 2015	Kec.Leuwiliang, Bogor Jawa Barat	茶色パウダー	PT Bentonit Alam Indonesia	水分4.44%、かさ密度0.79、75μm以上の粒子30%
④	8 Jan 2015	Kec.Leuwiliang, Bogor Jawa Barat	黒色パウダー	PT Bentonit Alam Indonesia	水分4.73%、かさ密度0.70、75μm以上の粒子13%
⑤	20 Jan 2015	Kec.Punung, Kab.Pacitan, Jawa Timur	黄銅色がかった白色、土状	PT Indonesia Bentonite	Ca-Bentoniteという説明を受けた
⑥	20 Jan 2015	Kec.Punung, Kab.Pacitan, Jawa Timur	やや緑がかった黒色、土状	Dinas Pertambangan dan Energi, Kab.Pacitan	Na-Bentoniteという説明を受けた
⑦	6 May 2015	Kab.Pacitan, Jawa Timur	灰色がかった黒色、石状	CV. Manunggal Perkasa	Na-Bentoniteという説明を受けた
⑧	26 May 2015	Kab.Pacitan, Jawa Timur	灰色がかった黒色、石状	CV. Manunggal Perkasa	Ca-Bentoniteという説明を受けた
⑨	29 Mei 2015	Bogor, Jawa Barat	赤色がかった黒色、石状	PT.Sibelco Lautan Mineral	Ca-Bentoniteという説明を受けた
⑩	10 Dec 2015	Blitar, Jawa Timur Selata	茶色、粒子状	PT.Duta Alam Permai	Ca-Bentoniteという説明を受けた。
⑪	11 Dec 2015	Blitar, Jawa Timur Selata	やや緑がかった白色、石状	CV. Mitra Karya Utama	Na-Bentoniteという説明を受けた
⑫	11 Dec 2015	Trenggalek, Tulungagung, Pacitan	やや茶がかった白色、石状	CV. Mitra Karya Utama	Ca-Bentoniteという説明を受けた

### 1-2-2 各種粘土鉱物の触媒活性評価

収集した12種類のうち、パウダー状のサンプル(流動化が困難)を除く9種類の粘土について活性を評価した。結果を図1-2-2(1)に示す。評価した粘土のうち、パチタン産Caベントナイト(Indonesia Bentonite社)、ボゴール産Caベントナイト(Sibelco Lautan Mineral社)、ブリタル産Caベントナイト(Duta Alam Permai社)ベントナイトは、650℃、ER=0、Steam/Biomass比=1の条件下での油性タールの生成率(炭素比)が、それぞれ0.99%、0.68%、1.29%であり、目標の2%以下を充たした。これらは酸処理を行っていないにもかかわらず、酸処理をして活性を高めた活性白土(同条件下で油性タールの生成率1.07%)と同等かそれを上回るタール吸着能を示している。

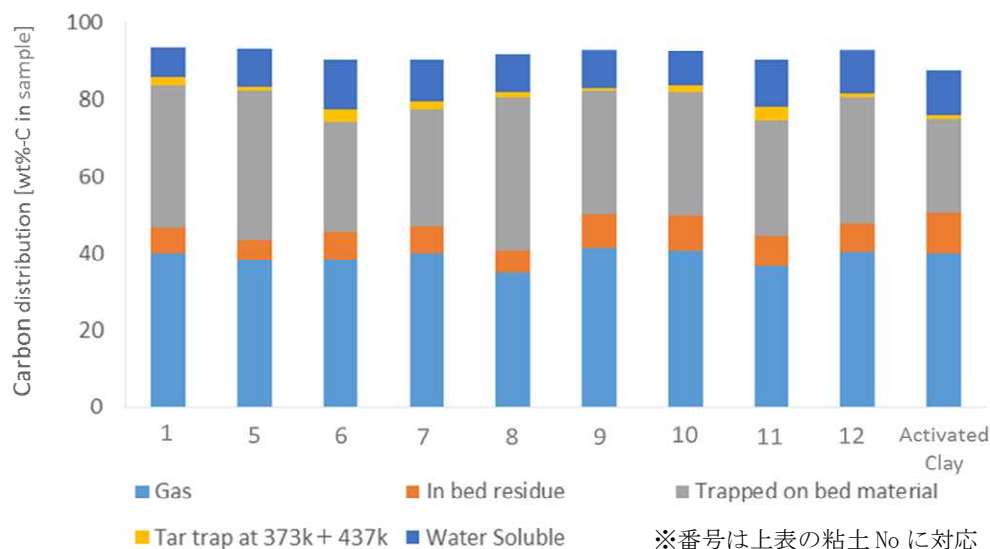


図1-2-2(1) 粘土触媒活性評価実験結果(炭素収率にもとづく生成物の分布)

### 1-2-3 物理化学的構造評価と活性機構解析

粘土粒子の物性 (Fe 含有率、Ca 含有率、比表面積、平均細孔径、細孔容量、総酸量) が、ターレットラップ回収物収量 (重質ターレット) に及ぼす影響を調べた結果を図 1-2-3(1)に示す。図中の■は、珪砂を流動媒体としたときの結果である。

粘土粒子の物性は相互に影響を及ぼし合うため、特定の物性を横軸にとり縦軸に重質ターレット量をとると、他の成分の変動によってデータにばらつきが生じる。その一方で、全体の相関係数から物性値が重質ターレット生成に正負いずれの影響を及ぼしているかを概観することが可能となる。さらに、相関関係の高い物性がより寄与度が高いこともわかる。図 6 の結果ら、Fe および Ca の含有量および比表面積は、重質ターレット生成に対して影響がほとんどないか、増加に伴ってわずかに抑制効果を持つことが分かった。他方で、平均細孔径および細孔容量は、増加により重質ターレット生成を促進することが分かった。ターレット生成抑制に対して最も効果的と考えられたのは総酸量であり、酸量の増加は重質ターレット生成抑制に強い相関を持つことが明らかとなった。

総酸量は、酸処理等によって増加させることが可能と考えられるが、大量の廃液の発生を考慮すると現実的ではないと考えられた。したがって、天然鉱物中で総酸量が高いものが好適触媒と考えられた。

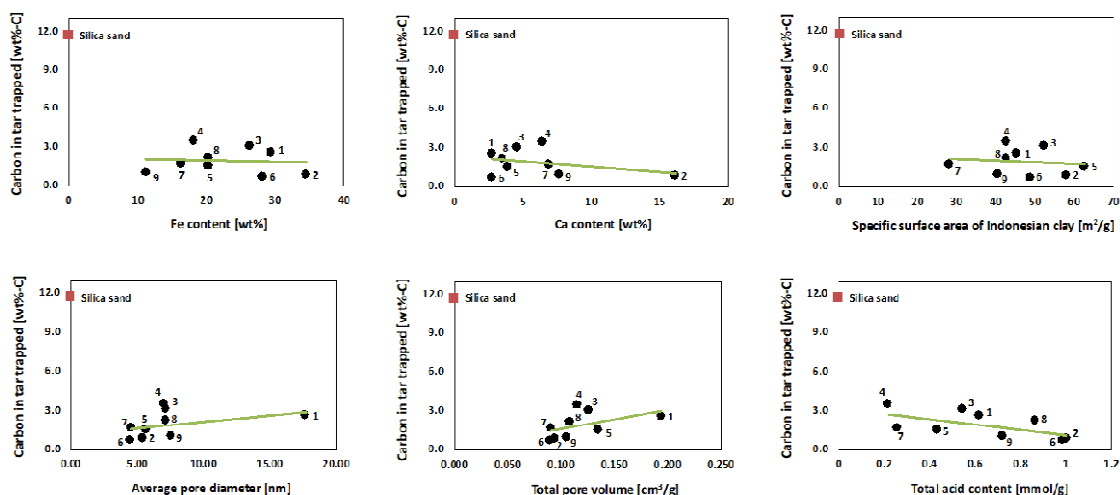


図 1-2-3(1) ターレット排出に及ぼす粘土流動媒体の効果

### 1-3 チャー抽出/循環機構の開発

#### 1-3-1 チャー抽出/循環機構の検討・設計

ガス化炉からチャーを抽出する、あるいは再生塔に循環するための機構の検討を行った。大径のバイオマス投入した場合の、バブリング流動層表面に浮遊する粗大チャーを抽出し土壌還元すれば、バイオマス中のミネラルの多くはチャーに移行するため、それを再び土壌に戻すことができ、チャーの微生物涵養作用とあいまって、バイオマスの持続可能な生産に資することができる。また、チャーの土壌還元は、大気中の二酸化炭素の固定にもつながる。このため、あらためて大径のチャーの抽出機構を検討し、シンプルなベルトコンベアタイプのものを考案し(特許申請済)、流動層パイロットプラントコールドモデルに組み込んだ。

#### 1-3-2 コールドモデルによる試験

1-3-1で考案したチャーの抽出機構を組み込んだ流動層パイロットプラントコールドモデルを設計し、製作を終えた。製作した試験装置の外観を図1-3-2(1)に示す。当該プラントは、流動層の相似則をふまえて、デモンストレーションプラントの2分の1のスケールで設計され、プロアー(2基)、ガス化炉、再生塔、チャー供給器、チャー抽出機構、サイクロンを具備している。



流動層パイロットプラントコールドモデル



チャー抽出機構

図1-3-2(1) チャー抽出試験装置

1-4の検討結果から、低コストでEFB粉砕物を調達できることが判明したため、大径粒子のガス化は行わないこととした。これに伴って、1-3の研究活動は中止することとした。試験プラント本体は、今後も研究を継続できるようにディアン・デサ財団に譲渡した。

#### 1-4 バイオマスの前処理方法の確立

##### 1-4-1 バイオマス前処理方法の検討

投入原料の形状は、安定供給の面から重要であることは言うまでもなく、ガス化反応速度や冷ガス効率に影響を与える。EFBを粉砕してペレット化したバイオマス原料はすでにインドネシア国内でも販売されているが、本プロジェクトではインドネシアのプランテーション農場におけるオンサイトガス化を想定しており、現地へのペレット製造プロセスの導入はコスト増加に直結する。また、開発する流動層ガス化は受け入れ可能な投入原料の形状が幅広く、層内に投入できればガス化が可能であるという特徴をもつ。そのため、まず、EFBの適切な粉砕度合いを検討した。EFBはほぼ繊維状の物質（繊維系は1mm程度）の集合体であり、EFBを引き裂く形で分割することで容易に数十cmの粗粉砕物を得ることができ、繊維をほぐすことで数十cmの繊維を得ることができる。また、繊維を切断することで粉砕物を得られるが、繊維長を短くしようとするほど、装置コストと動力が増加することが容易に想像できる。EFBの粉砕度合い別の得失について検討した結果を表1-4-1(1)にまとめる。

表 1-4-1(1) EFB 粉砕度合いの得失

粉砕度合い	分割	繊維化	切断	粉砕
形状	塊状(数十 cm)	繊維(数十 cm)	繊維(数 cm)	紛体(<1mm)
ハンドリング性	比較的良好	不良	比較的良好	良好
粉砕装置	ロールクラッシャ	ロールクラッシャ	ロールクラッシャ+ カッターミル	ロールクラッシャ +カッターミル +ハンマーミル
消費動力	小	小～中	中～大	大
装置コスト	小	小	中	大
適合 フィーダ	プッシャー	プッシャー	プッシャー or スクリュー	スクリュー
ガス化速度	小	大	大	大
冷ガス効率	小	大	大	大
生成物形状	粗大チャー	微粒子チャー	微粒子チャー	微粒子チャー

	(引き抜き必要)			
--	----------	--	--	--

分割によって得られる塊状物は、消費動力ならびに製造コストも低く抑えられるが、ガス化炉内で粗大チャーを生成し、これにより冷ガス効率が低下することや、燃焼室へ流動媒体とともに移動させることが困難でガス化炉から機械的に引き抜いてやる必要があることなどが考えられた。EFB をロールクラッシャーで複数回処理することで繊維状の原料が得られ、繊維状原料をガス化することで粗大チャーの生成を抑制することが期待できるが、ハンドリング性が悪く、原料供給プロセスの安定運転に課題があるものと考えられた。粗粉砕物をカッターミルで粉砕することで、繊維長を短くしてハンドリング性を向上させるプロセスは有望と考えられたが、粗粉砕+カッターミルの2段階プロセスとなり、装置コストが高いことが問題点である。短繊維をハンマーミルでさらに粉砕することで、粉体が得られると考えられるが、消費動力および設備コストがさらに高くなり、短繊維と比べて大きなメリットはない。そのため、切断による短繊維の製造プロセスに対して現地技術を適用することで低コストが可能かどうか検討を1-4-2において実施することとした。

#### 1-4-2 プロトタイプによる試験

インドネシア国内にはEFBの粉砕装置は存在しないものの、アブラヤシの幹を粉砕してチップ化する装置は存在する。BPPTの所有するアブラヤシの幹を粉砕するための装置でEFBの粗粉砕が可能かどうか検討したところ、4分割したEFBから長さ数cmの繊維状粉砕物を得ることが出来ることが確認できた。ただし、そのままでは粉砕物が装置内に滞留し、粉砕物の排出口を閉塞させることも判明した。この結果を踏まえて、粉砕機の製造企業を訪問し、販売している複数の粉砕機で、2cm以下を繊維の取得を目標とし、サイズ、含水率の異なるEFBを用いて、粉砕実験を行った。最終的に、EFBの粉砕・切断に最も効果的と考えられた製品を基に、より効率的な繊維の切断方法を取り入れ、閉塞が起らないような内部構造をもつプロトタイプを設計・試作した。試作機の構造を図1-4-2(1)に示す。試作機の性能は良好で、EFBをそのまま投入・処理することができ、1~2cmの繊維を安定して生産することができた。得られた短繊維を図1-4-2(2)に示す。原料は湿潤状態でも乾燥状態でもおおむね同様の短繊維を製造でき、短繊維はEFBに比べ容易に乾燥できることから、パームオイル工場で発生する湿潤EFBをそのまま粉砕前処理し、排熱等を利用してガス化装置に導入するまでに乾燥させるプロセスが有効と考えられた。

定量的な評価は継続中ではあるが、未調整の試作機で60kg-dry EFB/h程度の処理速度を実現している。さらに条件を最適化すれば、80kg-dry EFB/hを実現できそうである。消費動力については未測定であるが、現在使用しているモータの出力が11.5kWであることから、これ以下の消費電力と考えられる。EFBの発熱量を19MJ/kg-dryと仮定すれば、処理に必要なエネルギーはEFBの持つエネルギーの3.7%(60kg-dry/hの時)以下に相当する。試作機のコストは、現地製作とすることで1基あたり40万円程度であり、これを実機規模の数百kg/hにスケールアップするための検討が必要ではあるものの、十分導入可能な価格範囲にある。プロジェクト終了段階で、BPPTにおいて消費動力を低減する構造や運転条件について検討を進めている段階にあり、将来的に低コストEFB前処理装置として商品化も視野に開発を進めている。

#### 1-4-3 バイオマス前処理および供給プロセスの実証

1-4-2で製造した短繊維EFBの供給プロセスの開発状況は1-6-2に記載した。

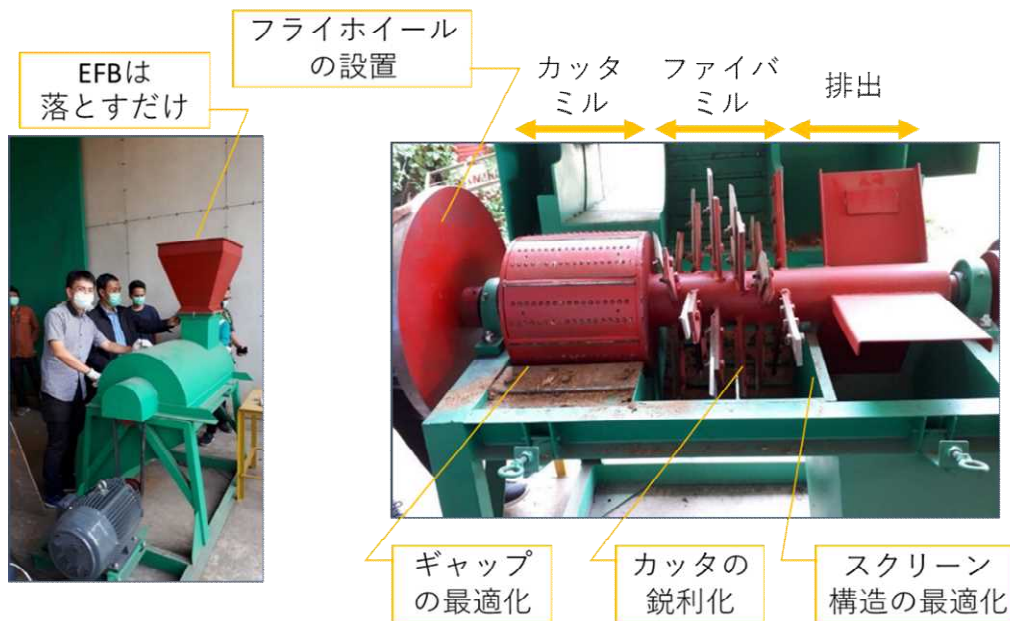


図 1-4-2(1) EFB 粉砕装置試作機



図 1-4-2(2) 粉砕試験結果

## 1-5 ガス化残渣の肥料化技術の確立

### 1-5-1 ガス化残渣の肥料としての物性評価

EFB を原料としたバイオマスガス化プロセスからの固体残渣の肥料として利用可能性を評価するとともに、利用技術を確認するための知見を得ることを目的として、EFB、チャーおよび灰の性状と肥料成分の特徴を実験的に調査した。原料ならびに調整したチャーや灰を試料として、ED-XRD 分析で無機成分組成の概略を調べるとともに、肥料元素であるリンおよびカリウムに対しては、肥料等試験法等に基づいて含有量ならびに溶出性を把握した。また、XRD および SEM-EDS 分析を行い、チャーや灰中でのカリウムの存在形態を調査した。

EFB に由来する各試料のリンおよびカリウム含有量を対照として用いた WS および PM での結果と合わせて表 1-5-1(1)に示す。EFB に由来する試料は、リン含有量が小さいもののカリウム含有量が高いことが特徴であり、灰においては重量比で 30%に達していることがわかる。これに対して、対照系の WS ではリン含有量が高いもののカリウムが非常に乏しく、PM では両元素がほどほどに含有されていた。また、原料の単位重量当たりに換算した数値の比較から、700℃程度での熱分解で

生成するチャー中には原料中のリンやカリウムがほとんど残留している一方で、800℃程度では減少傾向が認められ、高温条件での揮発等に伴う残留率低減の可能性が示唆された。

表 1-5-1(1) 各試料のリンおよびカリウム含有量

	P content	P content*	K content	K content*
	[mg-P/g-DS]	[mg-P/g-RM]	[mg-K/g-DS]	[mg-K/g-RM]
EFB-RM	0.8	0.8	14.2	14.2
EFB-Char	2.9	0.8	51.1	14.5
EFB-Ash	13.8	0.5	335	13.2
WS-RM	42.5	42.5	3.5	3.5
WS-Char	93.8	42.7	8.7	4.0
WS-Ash	137	43.1	10.5	3.3
PM-RM	29.9	29.9	37.8	37.8
PM-Char	56.3	29.6	61.9	33.4
PM-Ash	55.7	29.0	64.2	33.4

\* 原料の乾燥重量あたりでの換算値

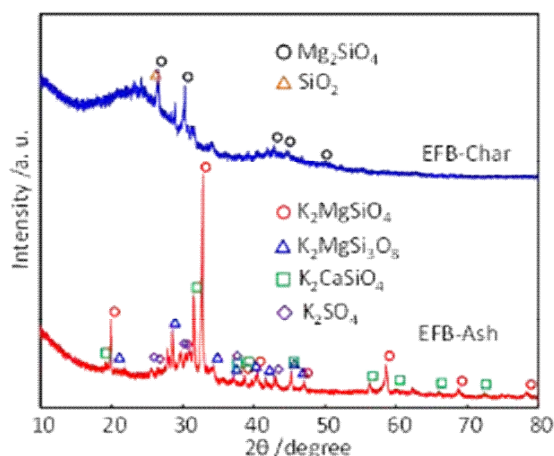


図 1-5-1(1) EFB 由来試料の XRD スペクトル

EFB に由来するチャーと灰の XRD チャートを図 1-5-1(1) に示す。灰中のカリウムは結晶性であり、マグネシウムやカルシウムを含むケイ酸化合物や硫酸塩として存在していることがわかった。一方、チャー中では、炭素質が豊富であることによる影響もあつてか、結晶性のカリウム塩を明確に検出することはできなかった。なお、ED-XRD による測定で EFB のチャーや灰には、1.5～3.0% 程度のケイ素のほか、鉄、カルシウム、マグネシウム、イオウ等が含有されていることが確認された。

EFB 由来の試料からのリンならびにカリウムの溶出性を下図に示す。なお、リンの溶出性における対照系とは、過リン酸石灰のことである。EFB 原料中でリンは水溶性が高いものの、チャーでは著しく水溶性が低下しており、熱分解過程でリン形態が変化していることが示唆された。可溶性ならびにく溶性については WS や PM 由来の灰試料と同様であった。一方、カリウムの溶出性については、原料とチャーで大差がなく、水溶性も比較的高いことがわかった。一般に肥料としての即効性は、水溶性が高いほど大きく、次いで可溶性、く溶性の順になることが知られており、例えば、高い代表的な化成肥料である過リン酸石灰中のリンはほとんどが水溶性である。上述した含有量データも考慮すると、EFB 由来の固体残渣は、カリウム源としての肥料効果が期待される。また、他のバイオマス由来残渣と混合することによりリン含有量が小さいことを補う効果も期待される。

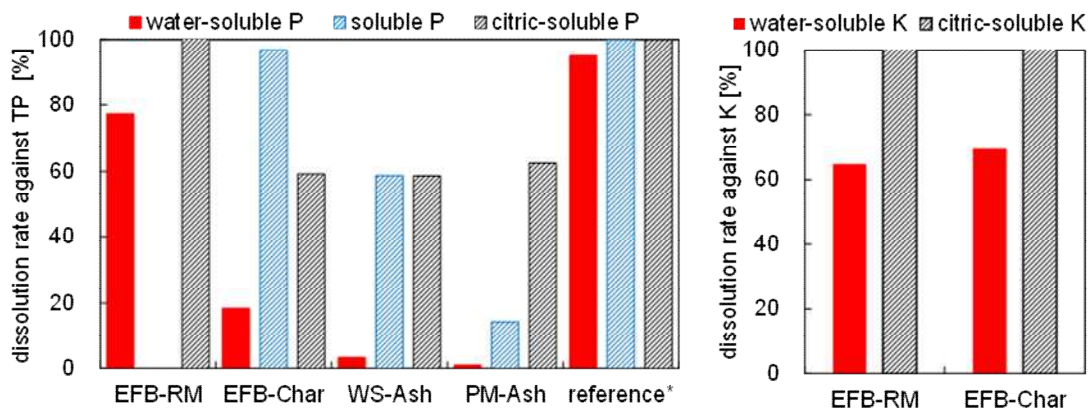


図 1-5-1(2) 各試料からのリンおよびカリウムの溶出性 a): リン, b): カリウム

### 1-5-2 ガス化残渣の肥料化プロセスの検討

PUSPIPTEK に設置している小規模ガス化実験装置を用い、インドネシア産の油ヤシ空房 (EFB) を原料としてガス化残渣および灰分を調整した。また、インドネシア産およびマレーシア産の EFB を原料として、群馬大学に設置されているガス化装置を用いてガス化残渣を得た。原料の EFB は、小型破砕機で破砕後、篩い分けして 0.5mm 以下にして使用した。ガス化温度は 450~700°C の間で設定し、降温後、ガス化残渣を装置から取り出して十分に乾燥させてから保管した。産地によらず原料の約 30% (重量基準) がチャーとして得られた。ガス化残渣に対し、元素分析、蛍光 X 線分析 (XRF)、窒素吸着法ならびに肥料等試験法に基づいた成分分析等を実施した。表 1-5-2(1) に肥料成分の含有量の例を示す。

表 1-5-2(1) ガス化残渣のカリウムおよびリンの含有量の例

	K [%]	P [%]
インドネシア産 EFB のチャー	55.2	15.7
マレーシア産 EFB のチャー	45.4	14.3

インドネシア産の EFB に由来するチャーにおいてカリウム含有量が高い傾向があった。ガス化残渣および灰分に対して得られた含有量データに基づき、稲作への利用を想定して N:P:K=2:1:1 となるように、尿素、重過リン酸石灰、チャー (ガス化残渣) およびゼオライトの配合を決定した。各原料を所定の粒径となるようにして、バインダーとして機能する糖蜜を所定量添加してよく混練したのち、造粒ならびに乾燥することにより、図 1-5-2(2) のような造粒物が得られ、ガス化残渣から肥料効果が期待される造粒物を得るプロセッシングフローが実証された。



図 1-5-2(2) 得られた造粒物の様子

3 月末の段階で、調整した肥料を使用して赤玉ねぎによる施肥試験を行っているところである。施肥試験の実施状況を図 1-5-2(3)に示す。10 日目の段階では、商用肥料と遜色のない生育状況が確認されており、肥料として十分利用可能なものと考えられた。

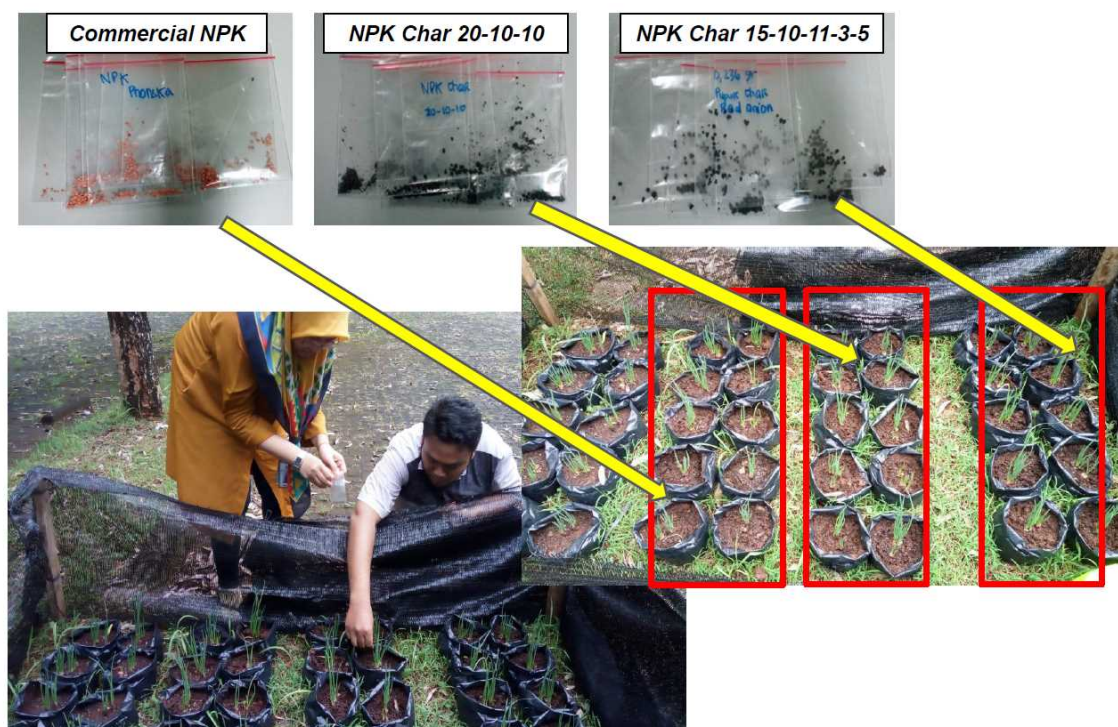


図 1-5-2(3) 肥料施肥試験の状況

### 1-6 デモンストレーションプラントによる実証

#### ■パイロットスケールデモンストレーションプラントの規模と導入シナリオ

バイオマスガス化プロセスのデモンストレーションを構想するとき、その規模は極めて重要である。一般的には、導入先のバイオマス発生量等から導き出される適切なバイオマス処理量に合わせたデモンストレーションを行うのが適切と考えられてきたが、他方でこのような思考に基づいて開発されたガス化プロセスで実装されたものはほとんど存在しないといつてよい。これは、いきなり実規模で決め打ちされたガス化プロセスでは、適用可能な技術オプションの範囲が限定的であり、想定できなかった様々な障壁によって実装段階に至らないケースが多いことを意味している。そのため、より幅広い技術オプションを想定しつつ、性能は限定的でも必要最小規模のスケールで技術開発を開始し、顧客の要望を受け入れつつ、最終的に目標に到達するというリーニースタートアップという手法が注目を集めている。本プロジェクトにおいても、このような考え方に基づいて、プロセスの運転を検討できる最小規模で様々な技術オプションを検討できるパイロットプラントを構想することとした。

具体的なプラントの規模を検討するために、プランテーションサイトで発生する EFB をペレット化し、これを利用してガス化発電を行うケースを考えてみる。マレーシアでペレットを生産している企業のデータを参考に、ペレットの調達価格を 15 円/kg とし、小規模ガス化発電 (50kWe)、中規模ガス化発電 (3MWw) および大規模専焼発電 (20MW) により発電した場合の電力にしめる原料コストの比較を表 1-6(1)に示す。

表 1-6(1) 発電における原料調達コストの比較 (ペレット利用ケース)



条件等		ペレット利用		
		小規模	中規模	大規模
ペレット調達価格	円/kg	15	15	15
含水率	wt%	20	20	20
発熱量	MJ-LHV/kg-dry	19	19	19
	MJ-LHV/kg-wet	14.7	14.7	14.7
プラント規模	t-wet/d	3	100	470
熱投入量	kW	511	17037	80000
発電規模	kW	50	3067	20000
発電効率	%	30		
電力価格（産業用）	円/kWh	12		
冷ガス効率	%	33	60	直接燃焼
総合効率	%	10	18	25
1日あたり発電量	kWh	1200	73600	480000
1日あたり燃料費	円	45000	1500000	7043469
発電量当たり燃料コスト	円/kWh	37.5	20.4	14.7

例えば、一般的な小型バイオマスガス化熱電併給システムに相当する中規模プロセスにおいても、燃料コストは 20 円/kWh 程度であり、発電コストのかなりの部分を占める。実際、バイオマス発電において燃料調達コストは 70%程度を占めるといわれており、その削減が重要である。木質バイオマスであれば、チップを利用することで燃料の調達価格を抑えることができるが、EFB のような繊維状物質では、流動層およびキルンを除いて、ペレット化以外に安定供給可能な技術は存在しない。そのため、現在、世界的に広く研究がおこなわれている固定床では、EFB の利用はそもそも不可能と考えたほうが良い。

他方で、本プロジェクトにおいて開発するガス化炉は流動層式であり、原理的に炉内へ供給できる燃料であれば形状の制約を受けない。そのため、プランテーションサイトのような発生源において 1-4-2 で開発した低コスト前処理技術を適用すれば、燃料価格を劇的に低減できると考えられる。1-4-2 で得られた前処理プロセスの性能と価格を基に、発電に占める燃料コストを試算した結果を表 1-6(2)に示す。試算の結果は、中規模プロセスで 3.4 円/kWh であり、総合効率が 10%(冷ガス効率=33%×発電効率=30%)の小規模プロセスであっても、6.2 円である。

図 1-6(2) FEB 低コスト前処理を適用したバイオマスガス化発電における燃料のコスト

条件等		EFB 低コスト粉碎	
		小規模	中規模
前処理設備規模	kg-wet/h	60	
前処理設備価格	円/機	400000	
消費電力	kW	12	
耐用年数	年	10	
運転時間	h	87600	
総処理量	kg-wet	5256000	
消費電力	kWh	1051200	

ブレード交換コスト	円/月	10000	
ライフタイムランニングコスト	円	13014400	
前処理コスト	円/kg-wet	2.48	
含水率	wt%	20	
発熱量	MJ-LHV/kg-dry	19	
	MJ-LHV/kg-wet	14.7	
プラント規模	t-wet/d	3	100
発電規模	kW	50	3067
熱投入量	kW	511	17037
発電効率	%	30	30
電力価格（産業用）	円/kWh	12	
冷ガス効率	%	33	60
総合効率	%	10	18
1日あたり発電量	kWh	1200	73600
1日あたり燃料費	円	7428	247610
発電量あたり燃料コスト	円/kWh	6.2	3.4

流動層式ガス化炉は固定床式に比べて構造が複雑であり、一般的なダウンドラフトガス化のターゲット価格(100万円/kW)よりも若干高価格の120万円/kWで設置できるとして、10年間の償却期間を想定すれば、発電に占める償却コストは17円/kWh程度となる。したがって、中規模ガス化では20円/kWh、小規模ガス化では24円/kWhが発電コストとなる。この価格は、インドネシアにおける産業用電力価格に比べてまだ効果ではあるものの、償却が完了した段階でランニングコストは産業用電力価格よりも安くなる。そのため、何らかの補助金を手当てして導入し、長期間にわたって稼働させることで、継続的なバイオマスの電力転換が実現できる可能性がある。ペレット価格が発電コストの7割を占めるような固定床システムでは、焼却後でもこの価格を達成することが不可能である。一方で、流動層プロセスでは、非常に熱効率の低い小規模ガス化プロセス(総合発電効率=10%)であっても、焼却後のランニングコストは10円を切る事が予想され、電力を購入するよりも低コストで電力を調達できるようになる。

本研究では、ここで検討した小規模プロセス(50kWe、バイオマス消費量3t/日)のプラントに相当する規模のパイロットプラントを構想することとした。

#### 1-6-1 デモンストレーションプラントの設計

プロジェクト開始当初は、APEX 保有の内部循環流動層技術をベースに技術開発を行うこととしていたが、内部循環流動層特有の拡張性の低さが、将来の様々な技術オプションの検討や実験条件範囲の修正に向いていないと判断し、また特定団体の特許に依存しない形式とするように設計変更を行った。また、前節で検討した通り、リーンスタートアップに適したプラント規模として50kWe(ガス化原料投入=2t/日、補助燃料投入=1t/日)を想定し、一般的な気泡流動層を連結した循環流動層を基本コンセプトとして、群馬大学およびBPPTが協力してパイロットプラント基本設計の再設計を行った。設計期間を短縮するために、群馬大学保有している外部循環流動層をベースとし、ガス化炉以外のプロセスについては、これまでの設計を踏襲することで、設計期間の短縮を図り、国内のエンジニアリング会社とも協力しつつ短期間で設計を完了することができた。

Process Flow Diagram  
Fluidized Bed Biomass Gasification (50k)

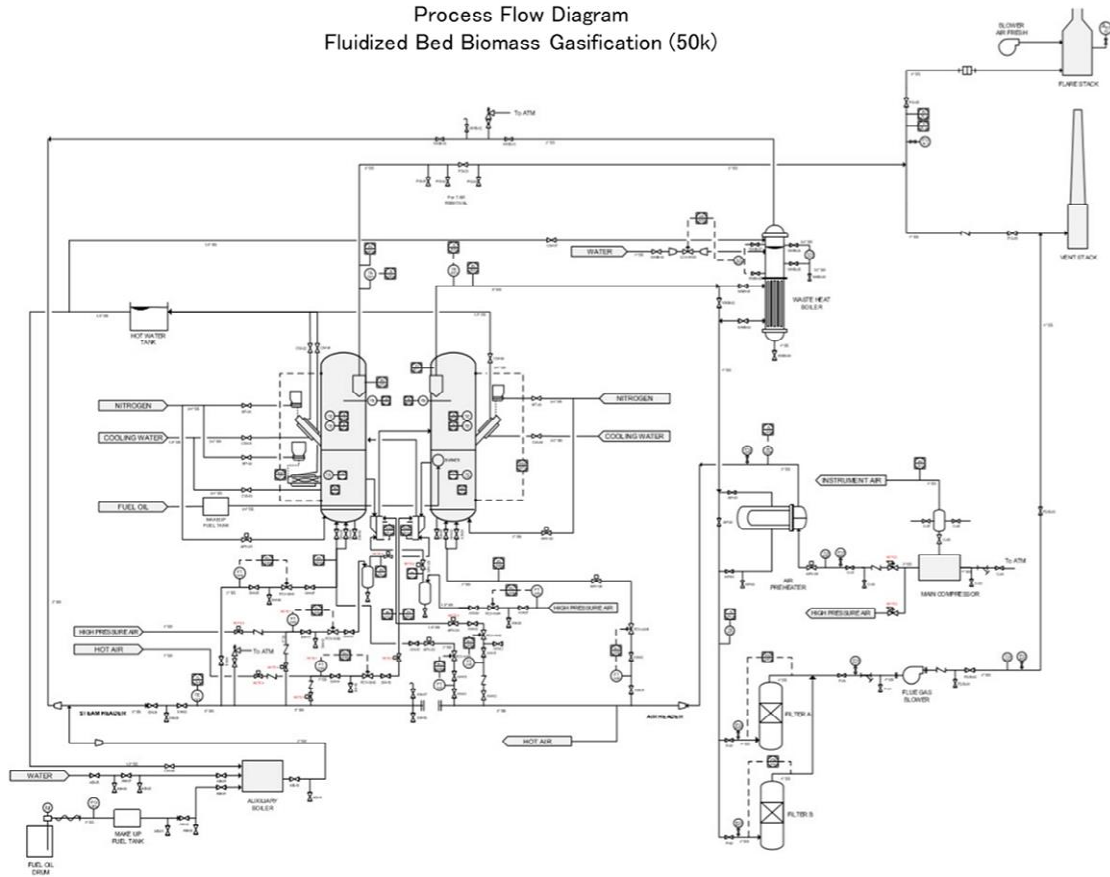


図 1-6-1(1) 50kW 循環流動層バイオマスガス化パイロットプラントのプロセスフローダイアグラム

1-6-2 デモンストレーションプラントの建設 (©BPPT・APEX・YDD・GU)

本体の建設とは別に、馬大学の内部循環流動層が持つ以下の問題について群馬大学およびBPPT チームが協力してその解決策を模索して、パイロットプラントへ適用した。

① 迅速昇温のための低コスト層内加熱システムの確立

群馬大学保有の流動層加熱用バーナは、迅速な昇温を目的として、層内に直接火炎を保持することができる特殊なバーナを利用している。このバーナは、インドネシアにおいて調達が困難であること、ならびに価格がバーナ本体で数十万円程度であり、また都市ガスの圧縮機を必要とするなど、非常に高コストである。そこで、汎用のオイルバーナを改造し、コンプレッサからの圧縮ガスで運転可能なバーナを試作し、その運転条件を確立することで、インドネシアにおいて容易に調達可能な低コスト加熱装置を完成させた。試作した加熱システムを下図に示す。粒子の逆流によるバーナの故障を防ぐために、火炎をいったん下向きに燃料させたのちに炉内へ導入する。運転条件を調整し、安定的に高温の燃焼ガスを直接炉内へ供給する条件を明確化した。



図 1-6-2(1) 低コスト加熱装置

- ② 短繊維状 EFB 供給フィーダの開発(1-4-3 バイオマス前処理および供給プロセスの実証)  
一般的なペレット用のスクリーフィーダに繊維状 EFB を供給した場合、内部の空隙率が大きくガス遮蔽性が不十分と考えられたため、ホッパー下部にダブルダンパーを追加し、ガス化炉内と外部との遮蔽性を確実にした。また、スクリーの詳細設計は、BPPT が持つ実績に基づいて設計した。製作したフィーダの試験状況を下図に示す。1-4-2 で製造した短繊維状 EFB を安定的に供給できることを確認した。ただし、最大供給速度は設計値の 1/5 程度であり、当面の試験には支障ないものの設計の最適化が必要であった。供給速度は、ギアボックスの変更とフィーダー形状の調整で可能と考えられ、プロジェクト終了後に BPPT が独自予算で開発を継続することとなった。



図 1-6-2(2) EFB 用フィーダ試験風景

1-6-1 の詳細設計をもとに、パイロットプラントの建設を行う会社の選定プロセスを経て 2018 年 12 月に建設を開始した。予定では 2018 年 8 月に発注の予定であったが、免税手続きのための契約に時間を要したため、発注までに約 3 か月の遅延が発生した。2019 年 5 月 3 日に建設を完了し、その後、各要素が設計値通り動作することを確認した。局所的なガスの漏洩や、流量計のスケールの調整、炉内バーナによる昇温およびフィーダの動作確認を含めて約 1 ヶ月の調整期間を経て装置が竣工した。パイロットプラントの建設コストは約 6000 万円であり、そのうち計装に 3000 万円近く

のコストがかかっている。これは、試験装置として非常に多くの測定点を設置していることに起因しており、最適化が進めば 4000 万円 (80 万円/kW、ただし発電機は除く) 程度までコストを圧縮できる可能性が示された。したがって、40 万円/kW でガスエンジンを調達できれば、本節の冒頭で検討した初期コストを達成できる。



図 1-6-2(3) 竣工したパイロットスケールデモンストレーションプラント

### 1-6-3 デモンストレーションプラントの実証試験 (©BPPT・APEX・YDD・GU)

6 月から、安定運転の実現粗ための運転を開始しており、プロジェクト期間内のガス化実験は間に合わなかったが、BPPT が主導してプロジェクト期間終了後も継続して実験をすすめることが決定している。完成したガス化プラントは、コールドモデル試験から詳細設計を経て竣工するまで、BPPT が主体性をもって開発してきており、開発段階で遭遇した問題も自ら解決し自らの開発能力に自信と責任をもって進めることができる状況に到達したと判断している。

## 1-7 タール処理技術の開発

### 1-7-1 ラボ試験による検討

1) 粘土粒子によるタールトラップ回収、2) タールの接触分解、3) バイオマスの灰を触媒としたタール除去、の 3 種類の炉内タール除去技術が検討され、これらの技術の基礎研究が行われた。1-2 のデータを基に統計的な解析から得られたタールの除去機構と粘土触媒物性の関係性を図 1-7-1(1) に示す。炉内粘土触媒によるタール除去は表面への固定機構 (図中 PC1) および分解機構 (PC2) に分類でき、これに対して影響を持つ因子は、粘土特有の表面固体酸によるタールトラップ効果 (図中 F1)、K および Al の含有率 (あるいは比表面積) (図中 F2) および灰中 Ti、Ca および Fe 含有率 (図中 F4) の 3 因子であることが示された。このうち、F1 はタール吸着と分解の双方へ強く影響し、F2 はタール分解に、F3 はタール吸着に影響することが明らかとなった。K および Al の含有率が比表面積と相関がある理由は現時点では明確ではないが、タール除去を考えたとき、表面酸量が豊富であるアルカリ金属が多い触媒が有効であるといえる。プロジェクト完了後、タール除去の性能がパイロットプラントにおいて確認される予定である。

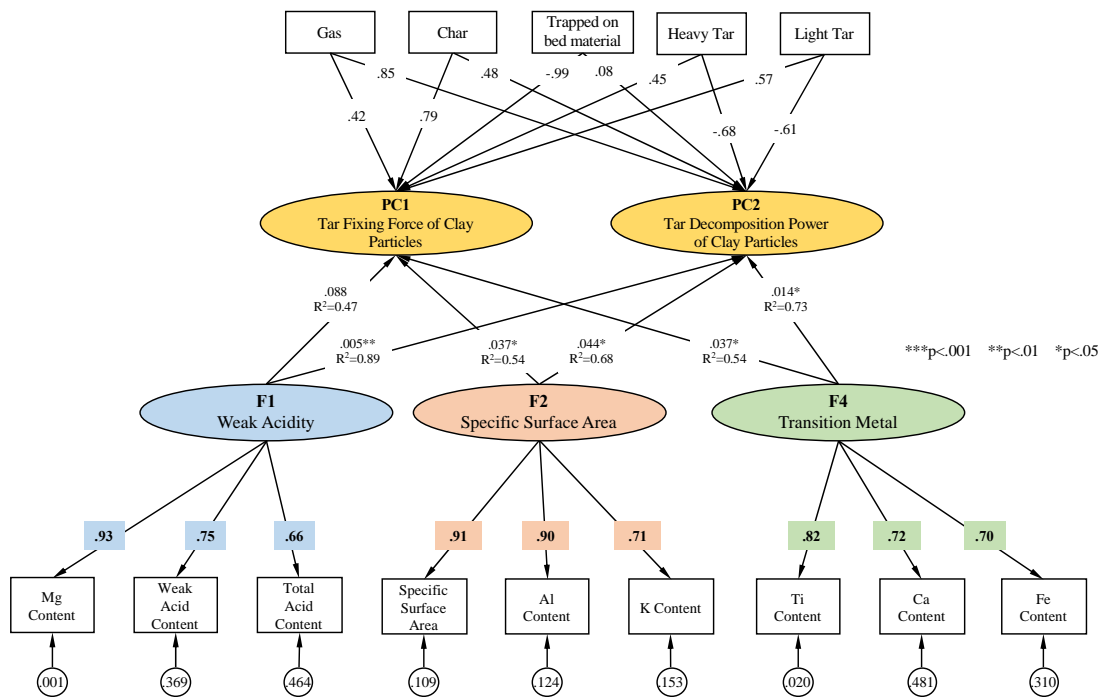


図 1-7-1(1) タール除去に及ぼす影響因子の整理

### 1-7-2 プロトタイプ的设计

ガス化炉後段におけるタール除去装置の開発は2017年7月にプロジェクト活動に追加され、サーマルクラッキング方式および接触分解方式および2種類のハイブリッド方式(サーマル→接触分解、接触分解→サーマル)の4つの概念設計が行われた。しかし、炉内粘土触媒でのタール除去の性能が比較的高いことがラボスケールの実験で明らかとなったことから、炉内タール除去を用いる場合、タール除去装置は不要であることが確認された。BPPTは独自でプロジェクト終了後もタール除去の性能をより高めるための研究を継続する予定である。

### ② 研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

粘土触媒評価用のラボスケール流動層ガス化装置は、基本設計を群馬大学が提示したうえでBPPT側と打ち合わせを行い、設計の原理やパラメーターについて理解を共有しつつ、設計をまとめた。ラボスケール流動層ガス化装置による評価実験は、BPPTの研究スタッフとともに行っており、実験手法を体得してもらっている。

アブラヤシ工場の視察のため、国営第4ヌサンタラ農園企業の搾油工場を、BPPTのメンバーと訪問し、アブラヤシ空房の前処理プロセスを調査して、それをふまえて、2015年2月23日に、BPPT側のプロジェクト参加メンバー14名と議論する中で、さまざまな前処理・供給方法の得失を検討し、テスト方針を決定した。

また、本邦研修において、ループシール内の粒子挙動のモデル化を日本側研究者とインドネシア側研究者で開始した。流動化挙動の評価装置の試作や実験を共同ですすめることで、インドネシア側研究者の流動化現象の理解を進めることができた。

粘土鉱物試料の収集や、収集した粘土触媒の活性評価実験は、BPPTの研究スタッフと共同で進めた。粘土鉱物試料の収集としては、協力してデータを集めた後、ワルギアントロ氏、イムロン氏とともに、スラバヤ市近郊、ポゴール市などの粘土製造会社計4社を訪問し、サンプルを入手した。

小規模流動層ガス化炉による評価実験は、イムロン氏、ノビオ氏、アティ氏らとともに行っており、現地側でも実験方法、分析方法を体得している。実験結果は 27 年 4 月 16 日、5 月 22 日、5 月 27 日、6 月 22 日、9 月 10 日、10 月 22 日、12 月 21 日、28 年 1 月 21 日、2 月 16 日に行われた BPPT との定例ミーティングで他の研究者と共有した。

粘土触媒評価方法として群馬大学で保有する BET 比表面積、蛍光 X 線分光分析、および X 線回折のうち、X 線分析操作を除いたすべての作業について、日本側研究者とインドネシア研究者（アティ氏）が共同して作業分担することで、インドネシア側の分析・解析方法の理解を進めるとともに、情報共有をスムーズに行うことができた。インドネシアでのラボ試験結果と日本側での触媒評価結果をもとに、現在、共著による論文作成を進めており、協働体制が順調に進展した。

デモンストレーションプラントの基本設計に当たっては、BPPT の研究者約 20 名、ジャナバドラ大学の研究者 3 名の参加を得つつ、設計原理の説明や演習等を行うワークショップ形式の設計作業を行った。その後、ガス化炉形式の変更を踏まえて、ガス化炉のコンセプトを群馬大学側から BPPT 側へ提示したうえで、BPPT 側が主体となってコールドモデルの製作を進めた。この際、致命的な間違い以外は、まずは BPPT 側が提示した設計どおり製作を進めてもらい、実験等による不具合に対応しながら設計の要点を身に付けてもらうことができたと判断している。これにより、進捗はやや遅くなったものの、その後のホットモデルの設計等でより迅速な判断が可能になったと考えている。また、パイロットプラントの運転についても、コールドモデル試験の経験に基づいて、圧力データ等から炉内の状況を判断することができ、今後の運転試験を円滑に進めることが期待できる。

### ③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

プロジェクト終了後に、BPPT が独自開発予算として年間 2000 万円を計上して開発を継続することを決定した。これは、ガス化試験には至らなかったけれども本ガス化プロセスの有用性を高く評価したこと、ならびにプロジェクト完了後も彼ら自身の技術として開発を進める自信がもてたことから、将来のインドネシア国内での実装を強く意識したためと想像できる。プロジェクト開発当初から、最終目標としてインドネシアでの実装を意識した計画ではあったものの、中間評価までは、当該技術の理解が不十分で BPPT 側の主体性を引き出せていなかったが、中間評価後の方針転換により、状況が劇的に変化したのは喜ぶべき最大の成果と考える。

インドネシアの粘土の産地を調査する中で、特にジャワ島においては、想定していた以上に多数の産地が存在することがわかり、当初予定の 5 種類のみならず、より多くの種類の粘土から、触媒として最適なものを選択する方針とした。

ジョクジャカルタのジャナバドゥラ大学の研究者が、本事業で開発に取り組んでいる、バイオマスの流動層ガス化技術に関心を持ち、自分たちも研究を始めたいと申し入れてきた。このため、流動層技術のワークショップを行い、また、本事業にいたる以前に用いていた流動層コールドモデルを譲り渡し、上記の設計ワークショップへの参加を促すなどして、同大学における研究開始を支援している。

### ④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

従来の先進国技術と比べて、設置コスト・運転コストが画期的に安価であり、インドネシアにおいて容易に入手・交換・修理が可能な部品で構成され、高度な制御に依存せずとも、広い運転条件で安定なバイオマスの接触分解ガス化技術を確立する。これまでに、APEX、ディアン・デサ財団らがインドネシアにおいて実証実験を行ってきた粘土触媒を用いた内部循環流動層ガス化プロセスを基に、より幅広い運転条件での安定運転を実現するための技術開発を行う。

（補足）

28 年度の JCC において、開発するガス化炉を APEX、ディアン・デサ財団らの保有する流動層技術から、群馬大学の保有する流動層技術をベースに開発することで合意されている。

### ⑤ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

群馬大学(GU)、APEX、BPPT、YDD が協力して以下のタスクを実施する。

#### 1-1 高度安定流動層の確立

##### 1-1-1 パルス制御ループシールの構造・制御方法の検討(◎GU)

背圧を調整可能な 2 次元流動層ループシール評価装置を製作し、パルス駆動ループシールと従来型ループシールの性能評価を行う。実験を通じて、ループシール構造の最適化(ガス吹き込み位置、パルス間隔等)の最適条件を明確化する。

##### 1-1-2 スケールアップ手法の検討(◎GU)

新型ループシール構造のスケールアップ手法を検討する。スケールアップしたループシール構造の粒子循環特性を実験的に把握し、スケールアップのための方法論を確立する。1-6-1 で確定するプロセスフローから要求される粒子循環量、背圧変化範囲、流入チャー粒径の範囲で安定的な粒子循環を実現することが最低目標であり、将来のプロセス拡張にも対応できるように可能な限り広い範囲で安定なループシール構造を確立する。

##### 1-1-3 パイロットスケールコールドモデル実験(◎BPPT・GU)

1-1-2 で決定した安定化ループシール構造を、パイロットプラント規模にスケールアップし、その動作を確認するためのコールドモデル実験である。このコールドモデルにおいては、1-3 のチャーの抽出/循環機構のテストも合わせて行うため、その機構との整合性に留意する。コールドモデル実験の結果が良好であれば、実証プラントにおいて広い運転条件範囲で安定なループシール構造を実証する。

##### 1-1-4 パイロットプラントによる実証(◎BPPT・YDD・GU)

パイロットプラントにおいて広い運転条件範囲で安定なループシール構造を確定する。

#### 1-2 粘土触媒の探索・最適化

##### 1-2-1 粘土鉱物試料の収集(◎BPPT・APEX)

インドネシア国内でタール分解触媒の候補となる粘土鉱物資源を収集する。

##### 1-2-2 各種粘土鉱物の触媒活性評価(◎BPPT・GU・APEX)

1-2-1 で収集した鉱物資源のタール分解活性および粉碎性、また粉碎物の流動化特性、流動層内での粉化特性等を実験的に評価し、実証プラントでの利用に最適な触媒を選択する。

##### 1-2-3 物理化学的構造評価と活性機構解析(◎GU・BPPT)

1-2-2 で選定した触媒のタール分解活性の発生機構を解明しつつ前処理等による高活性化について検討する。

#### 1-3 チャー抽出/循環機構の開発

##### 1-3-1 チャー抽出/循環機構の検討・設計(◎GU・BPPT・APEX・YDD)

前年度実施した現地調査ならびに各機関のもつ知見や技術を踏まえて、ガス化炉からチャーを抽出す、あるいは再生塔に循環するための機構の候補を確定させる。

##### 1-3-2 コールドモデルによる試験(◎BPPT・GU・YDD)

1-3-1 で決定した候補機構を、実機スケールのコールドモデルによって動作確認し、問題点に対する対策を確立し、パイロットプラントに適用するチャー抜き出し/循環機構を決定する。

##### 1-3-3 パイロットプラントによる実証(◎BPPT・GU・YDD)

パイロットプラントに当該機構を組み込み、運転を行って実証する。

#### 1-4 バイオマスの前処理および供給方法の確立

##### 1-4-1 前処理方法の検討(◎BPPT・GU)

ガス化炉を設置する国営農園企業等に設置されている空房を脱水・粗砕する装置等から排出される粗粉砕物に対して適用可能な前処理・供給システムを検討する。

##### 1-4-2 プロトタイプによる試験(◎BPPT・GU)

1-4-1 の結果に基づいて、1-4-2 としてハンドリングシステムとガス化炉投入システムのプロトタイプ



プを設計・製作し、試運転する。

#### 1-4-3 パイロットプラントによる実証(◎BPPT・GU)

当該システムをパイロットプラントに取り入れ、運転を行って実証する。

### 1-5 ガス化炉残渣の肥料化技術の確立

#### 1-5-1 ガス化残渣の肥料としての物性評価(◎GU)

パイロットプラントならびにデモンストレーションプラントから副生するチャーの化学的および物理的性状を把握して肥料としての潜在性や適合性を調査する。栄養塩類の含有率だけでなく、有害物質の含有量も調査することで安全性にも配慮した検討を行う。

#### 1-5-2 ガス化残渣の肥料化プロセスの検討(◎GU・APEX・BPPT)

パイロットスケールの肥料化プロセスを検討し、その設計と試作を行う。チャー中にはほとんど残存しないと考えられる窒素分を追加することを目的とするコンポスト等との混合肥料化の検討、ならびに、チャー中の有害物質が許容値を超えていた場合のチャーの前処理方法等の検討を実施し、安全で有効な肥料を生産する手法を確立する。

#### 1-5-3 肥料化デモンストレーションプロセスによる実証(◎BPPT・GU)

1-5-2 で設計した肥料化プロセスの設備を使用してデモンストレーションプラントから発生するガス化残渣の肥料化を行う。

#### 1-5-4 製造した肥料のフィールド試験(◎BPPT・GU)

得られた肥料を実際にフィールドで使用し、その効果を確認する。

### 1-6.パイロットプラントによる実証

#### 1-6-1 パイロットプラントの設計(◎BPPT・GU)

1-1～1-5 の成果を検証可能なパイロットプラントの設計を行う。パイロットプラント設計のための設計ワークショップを、エンジニアリング会社の参加も得て実施し、基本設計を行う。当該基本設計にもとづく詳細設計は外注する。

#### 1-6-2 パイロットプラントの建設(◎BPPT)

1-6-1 の設計に基づいたパイロットプラントを国営農園企業のアブラヤシ搾油工場等に設置する。

#### 1-6-3 実証試験(◎BPPT・YDD・GU)

1-6-2 で設置したパイロットプラントの連続運転を行って、技術を実証する。それを通じて、技術的問題点の有無を確認するとともに、経済性の評価ならびに商用化に向けたプロセスの改善点を明確化する。

### 1-7.タール除去プロセスの開発

#### 1-7-1 ラボ試験装置試験(◎BPPT・GU)

サーマルクラッキング方式および接触分解方式の2つの方法それぞれについて、ラボスケールの試験装置を製作し、タール分解装置設計のためのデータを採取する。

#### 1-7-2 プロトタイプ的设计(◎BPPT・GU)

1-7-1 の結果に基づいて、パイロットプラントで試験を行うタール分解プロセスの設計を行う。

#### 1-7-3 プロトタイプの製作(◎BPPT)

1-7-2 で設計したプロトタイプの製作を行う。

#### 1-7-4 パイロット試験装置における検証(◎BPPT・GU)

1-7-3 で製作したプロトタイプをパイロットプラントに設置し、性能評価と性能改善を行う。複数のプロセスの組み合わせから、好適な組み合わせを明確化する。

(3) 研究題目 2 : 「低コストメタノール合成プロセスの確立」

群馬大学グループ(リーダー:野田玲治)

APEX グループ(リーダー:井上 斉(田中 直))

BPPT グループ(リーダー:Adiarso → Sri Djangkung Sumbogo)

ITB グループ(リーダー:Tjandra Setiadi)

YDD グループ(リーダー:Anton Soejarwo)

① 研究題目 2 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

成果目標と達成状況		
2-1 低コストメタノール合成触媒の開発(指標:独自の好適メタノール合成触媒が開発される)		
【総括=達成】 群馬大学とBPPTにより10種類以上の触媒の試作が準備され、BPPTが同一条件下で比較した。 $\gamma$ アルミナ処理を行った含侵法触媒がCu単位重量あたりのメタノール生成量が最も大きいことが確認された。		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
2-1-1 低コスト触媒候補物質の選定、低コストアルコール合成プロセスの提案	低コスト化の手法として、含侵法、蒸発乾固法および担体に共沈法で活性主と担持するハイブリッド法について検討した結果、含侵法が比較した3種類の触媒の中で最も高活性であった。含侵法のメタノール生成速度は、共沈法で調整した触媒の約半分であり、小規模プラントでは適用できる可能性があることが明らかとなった。	100%
2-1-2 反応機構の解明と高性能化の検討	CuおよびZnを高分散させた炭素担体触媒について検討した結果、Cuの酸化状態がメタノール合成活性に影響し、酸化状態をコントロールすることでCu質量当たりのメタノール生成量を商用触媒の2倍程度まで高めることができた。ただし、担持量を高めることが困難であるため、触媒量当たりでは商用触媒の半分程度の活性となった。	100%
2-1-3 実用規模での利用の可否の決定	2-1-1および2-1-2において調整された触媒およびBBTで調整した触媒の反応活性を比較した。 $\gamma$ アルミナ処理を行った含侵法触媒がCu単位重量あたりのメタノール生成量が最も大きいことが確認された。	100%
2-2 低圧メタノール合成プロセスの確立(指標:低コストの小規模メタノール合成プロトタイプが開発される)		
【総括=達成】 合成ガス前処理プロセスとしてアルカリ洗浄によるCO <sub>2</sub> 除去方法が開発され、模擬ガス試験により90%以上のCO <sub>2</sub> 除去が確認された。 メタノール合成プロトタイプ1号機は2015年に製作され、実験により模擬合成ガスからのメタノール生成が確認された。しかし、1号機はより高純度のメタノール合成プロセスの検討には実験条件の自由度が低く精度が不十分であった。よって、さらに詳細な研究を進めるためにプロトタイプ2号機		

が設計され、製作された。CO=33vol%、H <sub>2</sub> =67vol%では、水の生成量が大幅に低減でき、270℃で合成メタノール中の水分量は0.5wt%以下まで低減できた。		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
2-2-1 合成ガス前処理プロセスの概念設計	低コストアルカリ洗浄試験装置を製作し、模擬ガス試験により90%以上のCO <sub>2</sub> を除去する条件を確立した。	100%
2-2-2 プロトタイプメタノール合成試験装置の設計	低圧でメタノールを合成できる低圧多段式のプロトタイプ1号機を設計した。より詳細な検討を行うためのプロトタイプ2号機を設計した。	100%
2-2-3 プロトタイプによるメタノール合成試験装置の完成	プロトタイプ1号機を完成させた。プロトタイプ2号機を完成させた。	100%
2-2-4 プロトタイプによるメタノール合成試験 プロトタイプ1号機:メタノール収率:60%(炭素換算) プロトタイプ2号機:メタノール濃度98%以上の実現	プロトタイプ1号機による試験の結果、平衡組成の55%でのメタノール回収に成功した。この結果に基づいて、メタノール収率が60%以上となるガス供給速度を求めた。 プロトタイプ2号機によるメタノール合成試験の結果、製品メタノール中の水分は原料中のCO <sub>2</sub> 量に依存し、理想的な反応条件であるCO=33vol%、H <sub>2</sub> =67vol%では、水の生成量が大幅に低減でき、270℃で合成メタノール中の水分量は0.5wt%以下まで低減できた。	100%
2-3 ガス発酵法液体燃料生産プロセスの開発(指標:ガス発酵プロセスの基礎実験が実施され、フィージビリティスタディーに必要なデータが収集される)		
【総括=達成】 ITBにおいて連続ガス醗酵試験装置が完成し、一連のガス醗酵試験が実施され、模擬ガスからのエタノール生産が確認された。ITBおよび群馬大学で得られた結果から、エタノール生産について反応機構などの重要なポイントが解明された。これらの活動をとおりしてフィージビリティスタディーのための実験結果が蓄積された。		
成果目標(28年度追加)	成果の概要	達成度
2-3-1 ガス発酵法液体燃料生産プロセスのフィージビリティ検討	ITBにおいて連続ガス醗酵試験装置が完成し、ガス醗酵試験を実施した。ガス発酵試験により、フィージビリティスタディーのためのデータを蓄積できた。	100%
2-4 デモンストレーションプラントによる検討		
【総括=中止】		

## 2-1 低コストメタノール合成触媒の開発

### 2-1-1 低コスト触媒候補物質の選定、低コストアルコール合成プロセスの提案

群馬大学において蒸発乾固法、含浸法および担体に共沈法で活性主を担持するハイブリッド法による低コスト触媒の調整法により、メタノール合成触媒を調整し、その活性を評価しつつ、スクリーニングを行った。各調整方法において最も活性の高い触媒のメタノール合成実験結果を図2-1-2(1)にまとめる。

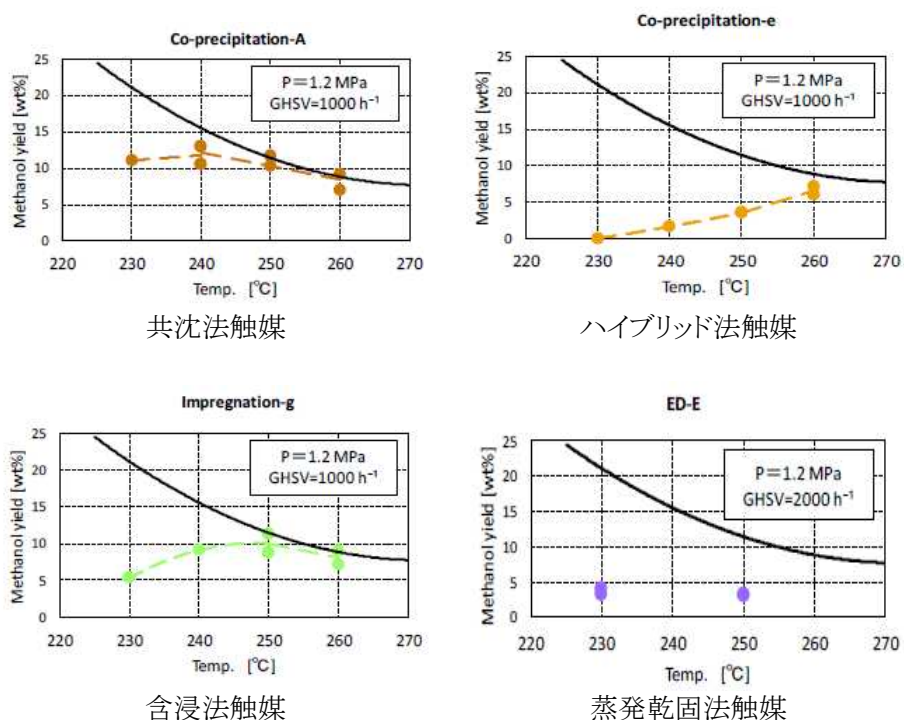


図 2-1-2(1) 調整方法別メタノール収率

実験の結果、ハイブリッド法および蒸発乾固法で調整したメタノール合成触媒は基準となる共沈法触媒に比べて活性が大幅に低下することが明らかとなった。一方で、含浸法触媒では、基準となる共沈法触媒のおおむね半分程度の収率が得られており、低コスト触媒調整法として最も可能性が高いと判断された。特に、小型プラントではリアクターサイズが小さく、反応容器が2倍のサイズになったとしても、コストに対するインパクトが大きくないと判断された。

#### 2-1-2 触媒機構の解明と触媒高性能化の検討

バイオマスから製造可能な活性炭を触媒担体として活性金属を高分散化させた炭素単体触媒の可能性を検討した。銅と亜鉛を同時に担持した触媒のメタノール合成活性を評価することを検討した。この際、触媒を酸化処理することにより、銅の酸化状態が活性に及ぼす影響を評価した。

メタノール合成実験はオートクレーブによるバッチ試験で行った。オートクレーブを 160°Cまで昇温し、5 h 保持した後、リアクター内を室温まで降温させ、GC により液体生成物の定性・定量を行った。

表 2-1-2(1)に原子吸光測定より求めた Cu および Zn の担持量を示す。これらの金属の担持量は 10-11 wt%程度であり、仕込み担持量である 10 wt%と一致した。

表 2-1-2(1) AC-Cu-Zn 触媒の Cu および Zn 担持率

AC-Cu-Zn	Cu 担持率 (wt%)	Zn 担持率(wt%)
還元処理	10.5	9.6
4hr 酸化処理	11.9	10.7
8hr 酸化処理	11.2	11.1

図 2-1-2(1)に触媒重量当たりメタノール生成量および Cu 重量当たりのメタノール生成量を示す。触媒重量あたりのメタノール生成量を比較すると、還元のみを行った触媒と比較し、4 h 酸化処理し

た試料では生成量が 1.6 倍となった。他方で、8 h 酸化処理した試料は活性が低下した。銅のみを活性炭に担持した触媒である AC-Cu を用いた検討では、前処理時間の増加とともに、メタノール生成量が増加する結果であった。すなわち、AC-Cu-Zn と、昨年度用いた AC-Cu では異なる傾向であった。また、いずれの AC-Cu-Zn 触媒においても、市販触媒と比較し、少ないメタノール生成量を示した。Cu 単位重量あたりのメタノール生成量を市販触媒と比較すると、AC-Cu-Zn 4 h、8h 前処理触媒いずれも高い値を示した。AC-Cu-Zn 4 h 前処理試料は、市販触媒の 2 倍の単位 Cu 重量あたりのメタノール生成量を示し、AC 上では、市販触媒と比較し、銅が活性化していることが明らかになった。

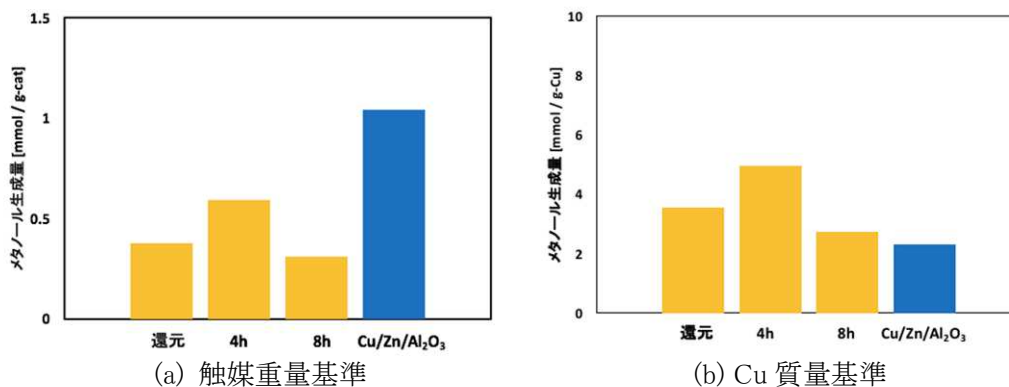


図 2-1-2(1) AC-Cu-Zn 触媒のメタノール合成活性

図 2-1-2(2)に AC-Cu-Zn の XRD 回折パターンを示す。AC-Cu-Zn は 8 h 酸化前処理を行うことで、銅が酸化 Cu の状態となることが明らかになった。すなわち、AC-Cu-Zn は、還元処理試料で Cu、ZnO、4 h 前処理試料で Cu、ZnO、8 h 前処理試料で Cu<sub>2</sub>O、CuO、ZnO に帰属されるピークが観察された。また Fig. 2 に示すメタノール生成量については、前述の通り、4 h 前処理で最大値を示し、8 h 前処理を行うと減少した。すなわち、Cu、Zn 複合担持活性炭では、Cu、ZnO を含む触媒が高い活性を示すことがわかった。一方、昨年度行った Cu 担持活性炭を用いた結果では、8 h 酸化処理を行った触媒が最も高い活性を示し、この活性は CuO、Cu<sub>2</sub>O によりもたらされることを明らかにしている。以上より、Cu、Zn 複合担持活性炭では、触媒活性発現に最適な銅の状態が Cu 担持活性炭の場合とは異なることが明らかになり、これは共存する ZnO の影響であると考えられた。

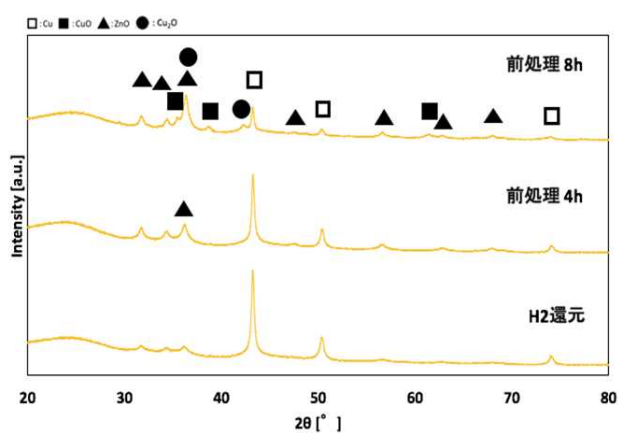


図 2-1-2(2) AC-Cu-Zn 触媒の XRD 回折パターン

### 2-1-3 実用規模での利用の可否の決定

当初計画では、2-1-1 および 2-1-2 において調整された有望な触媒をデモンストレーションプラントへ適用することを想定して本研究活動が設定されたが、メタノール合成についてはプロトタイプ試験までで、パイロット規模のデモンストレーションは行わないこととなったため、本活動において利用の可否を決定する意義が失われた。その一方でプロトタイプ試験装置であれば、種々の触媒を同一条件で相互に直接比較できることから、2-1-1 および 2-1-2 さらに BPPT において調整している新規共沈触媒を含めて、比較を行うこととした。実験の結果を表 2-1-3(1)に示す。図中の Relative performance は、参照触媒 (ID=1) の担持 Cu 当たり反応速度に対する比を示している。含浸触媒は、Cu 当たりの活性では共沈触媒と同程度か上回ったものを調整できている。他方で、Cu の担持量を増加させることが難しく、実際の反応速度では共沈触媒の数分の一程度となった。ただし、 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を担体とした触媒において、共沈触媒を上回る活性を持つものが確認された。この原因については、プロジェクト終了段階では不明であり、BPPT および群馬大学で研究を継続する。

表 2-1-3(1) 調整したメタノール合成触媒の性能比較

ID	Method	Composition of catalyst[wt%]					Relative performance	Note
		CuO	ZnO	Support catalyst				
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AC		
1	C-P	42.5	47.5	10			1	Reference
2	C-P	42	47	11			0.049	
3	C-P	48	37	15			0.191	
4	C-P	53	33	14			0.042	
5	C-P	10	10	80			0.054	
6	IMP	10	10		80		0.999	Bohmite 650°C
7	IMP	10	10		80		1.039	Bohmite 750°C
8	IMP	10	10			80	1.773	PKS w/ H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
9	IMP	10	10			80	0.000	PKS w/ H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
10	IMP	10	10			80	5.201	ITB support

#### 2-2-1 原料ガスの前処理方法の検討

バイオマスのガス化により得られる生成ガスは、メタノール合成の原料となる一酸化炭素と水素の他に、二酸化炭素や硫化水素を含む。二酸化炭素は、合成の際に水素と反応し水を生じるため、水素：一酸化炭素比を不利にするだけでなく、生成されたメタノール純度を低下させる。また、硫化水素はメタノール合成触媒を被毒する。これらの夾雑ガスの安価でシンプルな除去方法として、アルカリ溶液を用いたスクラバー洗浄を試みた。実験は、二酸化炭素の単独除去、硫化水素の単独除去、二酸化炭素と硫化水素の同時除去をそれぞれ実施した。二酸化炭素の単独除去実験では、液ガス比 500 L/m<sup>3</sup> 以上で除去率 80%を達成し、硫化水素の単独除去実験においても、検出限界以下(<0.05 ppm)まで除去された。ガス化ガスの組成を模した模擬ガスによる二酸化炭素と硫化水素の同時除去実験では、二酸化炭素の単独除去実験と比較すると二酸化炭素除去率が全体的に低下したが、液ガス比 673 L/m<sup>3</sup> 以上で 80%の二酸化炭素除去と検出限界以下までの硫化水素除去が同時に達成できた。アルカリ溶液による一酸化炭素の吸収も懸念されたが、同時除去実験における一酸化炭素の減少率は 10%程度であることが確認された。これらの実験により、安価でシンプルなアルカリ溶液を用いたスクラバー洗浄法がガス精製に有効であることが示唆された。

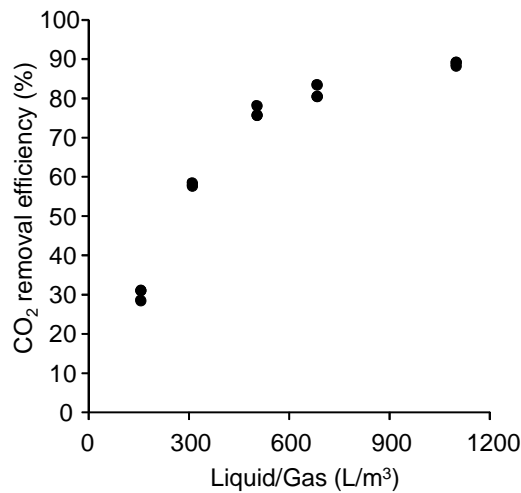


図 2-2-1(1) 二酸化炭素単独除去実験における液ガス比と二酸化炭素除去率の関係

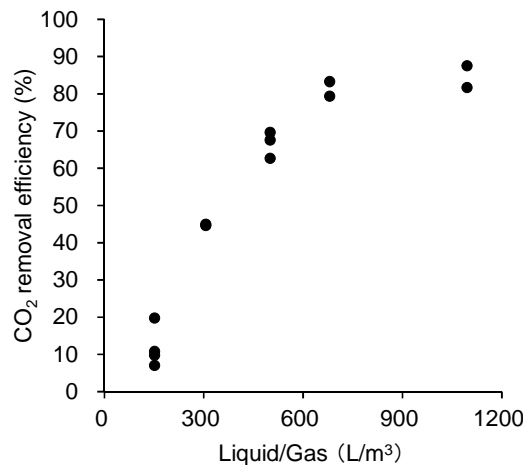


図 2-2-1(2) 二酸化炭素と硫化水素共存下の液ガス比と二酸化炭素除去率の関係

### 2-2-2 プロトタイプ的设计

ガス化生成ガスからの液体燃料生産プロセスとして、まず、10～15 気圧程度でメタノールを合成できる低圧多段式メタノール合成プロセスを検討することとし、当該技術を保有するバイオマスエナジー社の指導を受けつつ、プロトタイプ 1 号機的设计を終えた。

29 年度の JCC において、熱化学的メタノール合成プロセスは、小規模バイオマスガス化プロセスに適合的なプロセスの開発を目標として、ベンチスケールのプロトタイプ試験まで実施することとしたため、開発目標の再検討を実施した。商用のメタノール合成プロセスが日量数千トン規模でメタノールを合成しているのに対して、本プロジェクトで開発する技術は、日量～数十トン規模と想定され、この規模で経済性を持たせるためには、合成プロセスに蒸留・精製工程を持たなくても直接市場での取引が可能なレベルのメタノールを合成するプロセス開発が一つの方向性であることが重要である。そのため、メタノール収率の若干の低下は容認しつつ、合成工程での水の副生を抑制し、高純度のメタノール合成プロセスの確立を新目標とした。

上記の視点から、これまでに製作した低圧多段メタノール合成設備の改修を行い、メタノール合成試験を行った。しかし、実験操作に時間がかかること、水の定量に必ずしも適した装置でないことなどから、あたらしく小型のメタノール合成試験装置的设计を行った。プロトタイプ 2 号機のフロー図を図 2-2-2(1)に示す。

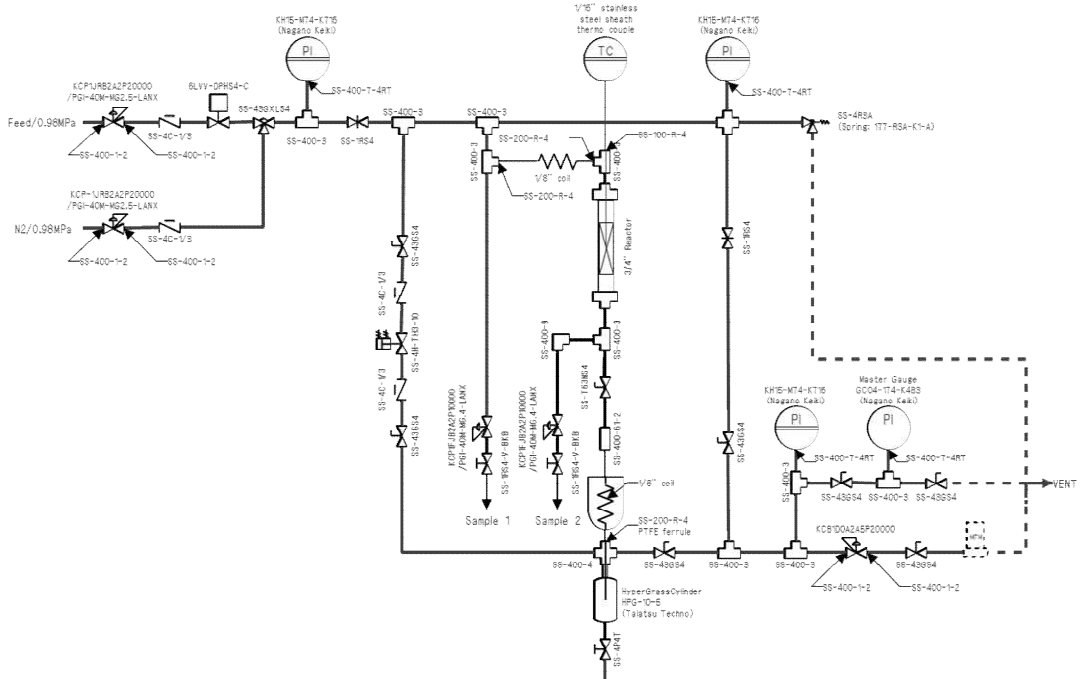


図 2-2-2(1) 製作したメタノール合成試験装置のフロー図

### 2-2-3 プロトタイプ製作

2-2-1 で製作したプロトタイプ 1 号機的设计図をもとに、パイロットプラントを外注して製作した。プロトタイプ 1 号機の外観を図 2-2-3(1)に示す。

プロトタイプ 2 号機は、日本国内において BPPT メンバーと群馬大学のメンバーが協働して組み立て作業を行い、予備試験まで実施した後にインドネシアへ移送した。製作したプロトタイプ 2 号機の外観を図 2-2-3(2)に示す。



図 2-2-3(1) 低圧メタノール合成プロトタイプ 1 号機



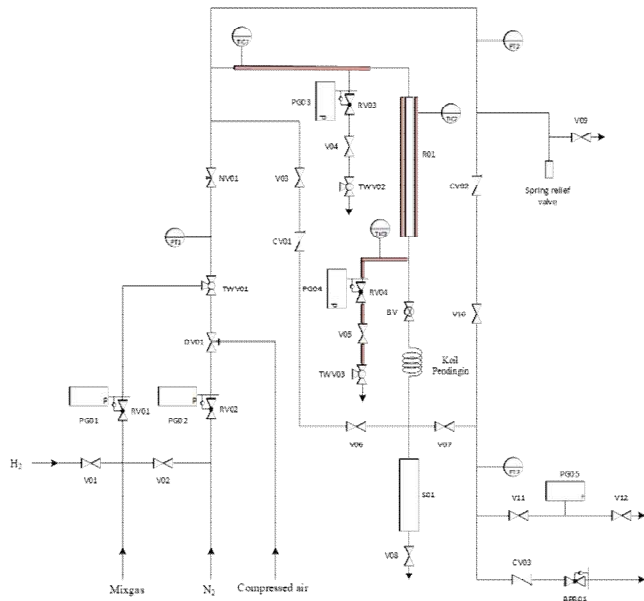


図 2-2-3(2) メタノール合成プロトタイプ 2 号機

#### 2-2-4 プロトタイプ試験

製作したプロトタイプ 1 号機によるメタノール合成実験を行った。実験には、濃度の異なる 3 種類の模擬ガスを用いた(水素濃度 11%~34%)。その結果、液体としてメタノールが回収できたのは、水素濃度が最も高い模擬ガスのみであった。回収されたメタノールを図 2-2-3(2)に示す。当該模擬ガスを用い、ガス流速 1 L/min、1.5 L/min、3.5 L/min の 3 条件で 3 回ずつ実験を行った。各条件で回収されたメタノール量は、ガス流速 1 L/min で 4~5 g、流速 1.5 L/min で 4~5 g、流速 3.5 L/min で 11~14 g であった。回収されたメタノール純度は約 90~100%であった。実験結果のばらつきが大きく、各条件におけるメタノール収率に有意な差は認められなかったが、平衡計算にもとづく理論値の 30~55%のメタノールが回収された。得られた結果から、ターゲットを満足する原料流量を求めた。

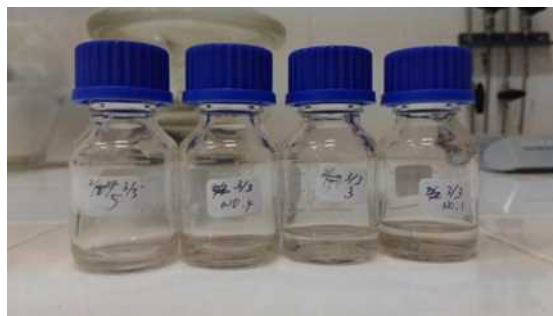


図 2-2-3(2) メタノール合成プロセスプロトタイプ 1 号機で得られたメタノール

上記設備によるメタノール合成試験は完了したが、より高純度のメタノール合成プロセスの検討に利用するには実験条件の自由度が低く、また格段の反応温度を一定できないなど精度が不十分であった。そのため、プロトタイプ 2 号機により、参照となる共沈触媒において、CO<sub>2</sub> が含有する原料と含有しない原料で生成物中の水の含有率を比較した。実験結果を表 2-2-3(1)に示す。

実験では、ガスクロマトグラフィで定量された生成ガス中のメタノールと水の量から含水率を計算したものであり、メタノール以外の生成物については考慮していない。実験は、各条件で複数回実施し、水分が検出されなかった条件においては検出下限値で水が生成したものとして平均値を計

算し、結果には記号「<」を付している。

実験結果から、CO<sub>2</sub> を含まない系において、水の生成量が大幅に低下し、270℃の合成条件では合成メタノール中の水分は 0.5wt%未満となることが示された。商用規模のメタノール合成プラントでは日量数千トンのメタノールを合成しており、この規模のプロセスから CO<sub>2</sub> を除去することは不可能であるのに対して、小規模バイオマスガス化からのメタノール合成プロセスでは、日量数百 kg から数十トンのメタノール合成プロセス規模と想定される。この規模であれば、反応系からの PSA プロセスによる CO<sub>2</sub> 除去は技術的に大きな問題はないと考えられる。CO<sub>2</sub> 除去により、99.5%のメタノールが直接合成できれば、そのまま市場取引ができる可能性があり、採算性の面から非常に興味深いプロセスになりうる。

表 2-2-3(1) メタノール合成条件の違いによる生成物中の含水率変化

Run#	Gas composition [vol%]			Temp. [°C]	Water content [wt%]
	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>		
1	40	20	40	230	39.4
2				250	14.4
3				270	22.5
4	33	0	67	230	<1.79
5				250	<1.36
6				270	<0.46

### 2-3 ガス発酵法液体燃料生産プロセスの開発(28 年次計画で追加)

ガス発酵技術は、CO、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 等を含有するガスから、エタノール、ブタノール、酢酸塩、酪酸塩等(生成物は、微生物の選択と培養条件により選べる)を生産する、微生物発酵プロセスである。通常の化学触媒によるメタノール合成が 50~100 気圧、本事業で開発をめざしてきた低压多段式メタノール合成でも 10~15 気圧の高圧と 200℃程度の高温を必要とするのに対して、微生物の働きを利用した生化学的プロセスであるガス発酵では、常温・常圧~数気圧程度のマイルドな条件で反応を行うことができる、原料の組成に関する制約が緩い、原料中の不純物に対する耐性が強いなどの特長がある。この技術は、近年、急速に開発が進んでおり、途上国に適した方法としても有望であることから、低压メタノール合成技術とともに検討を行うこととした。技術的課題としては、目的生成物への転換効率の高い微生物の選択、最適な培養条件の探索、リアクターの設計(菌体の高密度化、ガスの反応液への効率的溶解、高効率の転換)、リアクターの下流のアルコール分離プロセスの省エネルギー化、途上国に適合的なプロセスの開発などがある。研究を進めるに当たり、微生物発酵の研究で実績のある、バンドゥン工科大学(ITB)のチャンドラ・スティアディ教授の研究室と群馬大学渡邊研究室において共同で研究を行うこととした。

#### 2-3-1 ガス発酵法液体燃料生産プロセスのフィージビリティ検討

ITB では、バイアル試験により 4 種類の微生物株のうちメタノール合成に最も高活性な *Clostridium ljungdahlii* DSM 13258 株を選定し、ジャーファーメンターにより *Clostridium ljungdahlii* 株によるガス発酵実験を実施している。実験装置図を図 2-3-1(1)に、実験結果を表 2-3-1(1)に示す。ジャーファーメンターと膜分散器の間で発酵液を循環させ、合成ガス(模擬ガス)を膜分散器により発酵溶液中に溶解させる。膜分散器なしの場合、メタノール濃度が 0.35 g/L であったのに対して、膜分散器を導入することで 2.7 g/L まで大幅に向上できた。これは、ガス発酵が CO の液中への分散速度に律速されているためと考えられた。現在、培養液も連続供給することで *Clostridium ljungdahlii* 株の活性を向上させるような培養条件の明確化を目指している。

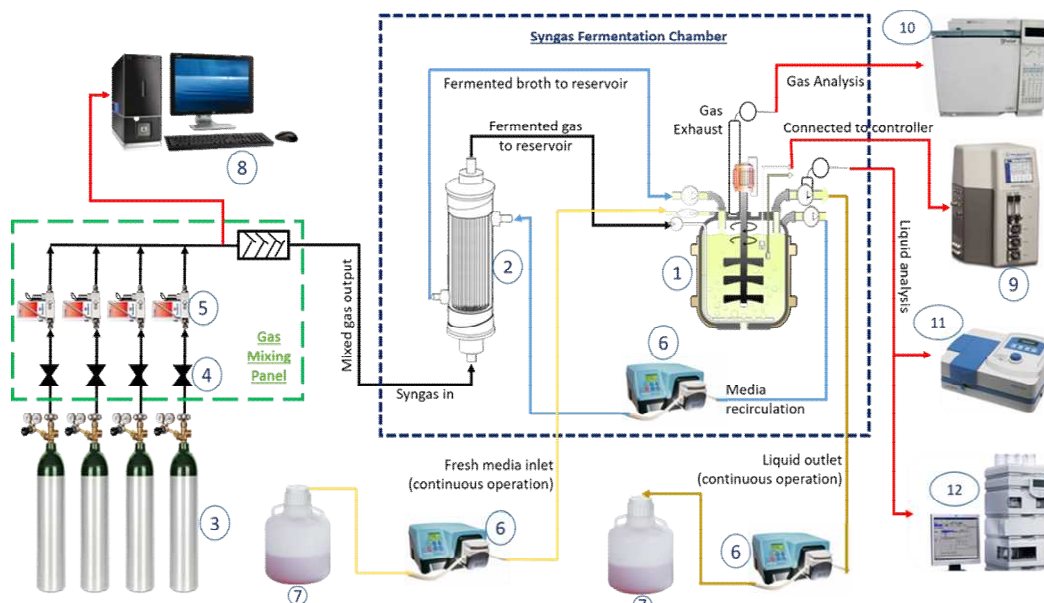


図 2-3-1(1) ガス醗酵試験装置 (ITB)

表 2-3-1(1) ガス醗酵試験結果 (ITB)

Fermentation parameter	STR without membrane, $F_{\text{gas}}$ 80 mL/min	STR with membrane, $F_{\text{gas}}/F_{\text{med}}$ (mL/min)		
		40/120	80/120	80/240
CO consumed (mole)	1.5	1.26	1.2	1.14
Max ethanol concentration (g/L)	0.35	1.67	1.09	2.7
Ethanol yield from CO (mol/mol)	0.01	0.04	0.03	0.08
Max cell density (g/L)	0.47	0.61	0.65	1.22
Max growth rate ( $\text{jam}^{-1}$ )	0.005	0.005	0.004	0.019
Max ethanol/acetate ratio	0.295	1.37	1.44	2.32

群馬大学では、*Clostridium carboxidivorans* P7 株を用いて、バイアル試験によるガス醗酵試験を実施した。CO分圧の影響について調査した結果を図2-3-1(2)に示す。合成ガスと純COガスの結果を比較すると、純COの場合でEtOH/Acetate比が3倍程度向上することが明らかとなった。このことから、反応経路と考えられるWood-Ljungdahlii経路において、水素およびCO<sub>2</sub>が優先的に酢酸に転換される可能性を明らかにした。また、各成分濃度の揭示変化化から、生成した酢酸が蓄積してくると、酢酸からアセトアルデヒドを経てエタノールへ転換する反応が進むことも明らかとなった。培養液中にグルコースの添加する実験を行い、グルコース供給がエタノール生成に及ぼす影響を調査した。実験の結果を図2-3-1(3)に示す。グルコースの添加によってCO消費とエタノール収率が大幅に増加することを示した。エタノールの生成は、グルコースの消費後も継続しており、蓄積した酢酸から還元によりエタノールへ転換される反応が進んだものと考えられた。グルコースを添加した系で、エタノール濃度は1.5 g/Lとなった。

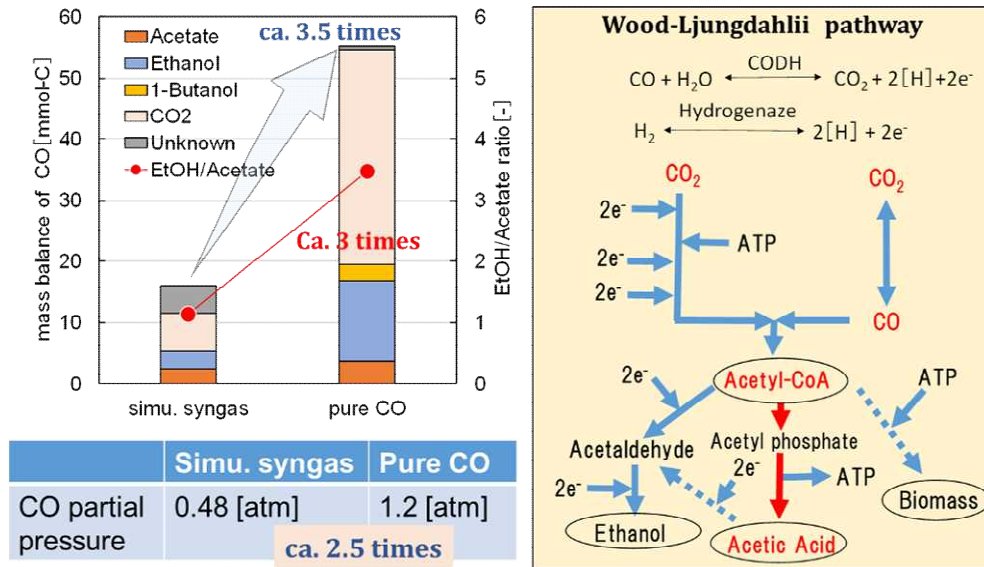


図 2-3-1(2) エタノール生成に及ぼす CO 濃度の影響

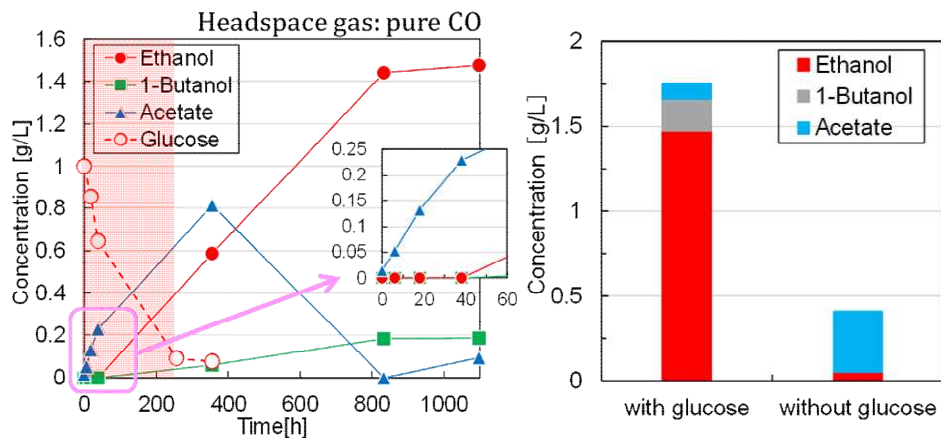
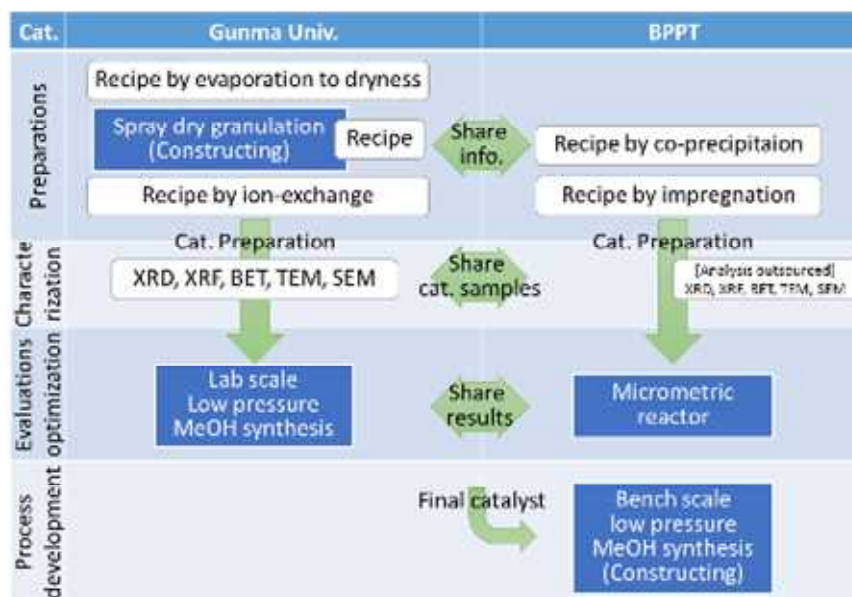


図 2-3-1(3) エタノール生成に及ぼすグルコース添加の効果

これらの活動をとおりしてフィージビリティスタディーのための実験結果が蓄積された。

## ② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

低コストメタノール合成触媒開発の方向性を群馬大学および BPPT 間ですり合わせを行い、以下のような枠組みで研究を進めることで合意した。本枠組みによって、インドネシア側研究者も主体的に触媒開発に従事するとともに、日本側との情報共有も円滑に図ることができた。



上記枠組みに基づいて、本邦研究において3名のインドネシア研究員を受け入れ、特に触媒の基礎物性評価(比表面積、元素組成分析、表面観察等)方法の体得を中心に研修を行った。また、連続メタノール合成試験装置を用いて、インドネシアで製作した触媒の活性評価を行い、インドネシア側での研究結果との比較ならびに意見交換を行うことで、両者の情報共有を進めた。

メタノール合成原料ガス前処理実験は、BPPTの研究スタッフ(ハディ氏、プリマ氏)とともに行っており、研究の遂行を共有するとともに、実験手法を体得してもらった。低圧多段式メタノール合成装置の設計に当たっては、27年6月22日、8月20日、9月10日、10月22日にBPPT側と打合せを行い、設計原理やパラメーターについて理解を共有しつつ、設計をまとめた。

プロトタイプ2号機については、まず、日本側へBPPTメンバーを招へいし、日本国内で部品の調達および組み立ておよび予備試験まで実施することで、従来、BPPT側のメンバーが得意としていなかった研究者自身による装置の組み立てならびに改造を体験してもらおう形とした。日本で組み立てた装置は、解体してインドネシアへ移設して利用する形とした。これによって、将来のBPPTにおける継続的な研究が円滑に進められるようになり、プロトタイプ開発が容易に行われることが期待できる。

### ③ 研究題目2の当初計画では想定されていなかった新たな展開

プロジェクトの計画段階では、低コストメタノール合成触媒の開発は、もっぱら群馬大学で行う計画であったが、関係機関でのミーティングを通じて、BPPTの触媒開発への参加の要望があり、群馬大学と並行して、BPPTも独自の開発戦略を持って開発を行い、両者が情報交換しながら進めることとなった。

一方、最近、ガス発酵法の技術の開発が進んできており、常温・常圧～数気圧のマイルドな条件で実施できること、原料ガスの組成に関する制約が少ないこと、原料ガス中の不純物に対する耐性が高いことなどから、この技術は、本事業のガス化プロセスと組み合わせ、インドネシアで社会実装するための、液体燃料生産の技術選択肢として有望と考えられた。

以上のことから、ガス化炉に合わせた規模のデモンストレーションプラントによる試験は取りやめ、その余剰予算を使って、ベンチスケールメタノール合成プロトタイプ試験設備およびラボスケール連続ガス発酵試験装置を製作することとした。

### ④ 研究題目2の研究のねらい(参考)

研究題目 1 で開発された粘土を流動媒体とするバイオマス接触分解ガス化プロセスから得られる生成ガスを原料とする、現地に適合的な液体燃料生産プロセスを開発する。

## ⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

### 2-1 低コストメタノール合成触媒の開発

#### 2-1-1 候補触媒の一次スクリーニング(◎GU・BPPT・APEX)

次の二つの方針で、日本、インドネシア相互で開発に取り組み、情報交換しながら進める。

##### a. 粘土担体の含浸法による低コスト触媒の開発

文献調査によれば、最も活性の高いメタノール合成触媒は、アルミナ担体の CuO/ZnO 触媒で、そのモル組成は Cu:Zn:Al=6:3:1 である。従来は、比表面積と活性種である Cu の分散性を向上するために共沈法で合成しているが、調整に手間がかかる。含浸法についての研究も行われており、アルミナ担体に Cu および Zn を含浸させて調整した触媒でも一定の性能が得られるという報告がある。これらをふまえて、現地調達した粘土を担体とし、大量調整が容易な含浸法で金属を担持して、安価なメタノール合成触媒を調整・製造する手法を確立する。

##### b. 新規金属担持触媒(◎BPPT, APEX)

従来用いられていなかった、Ni, Fe, Ga, Mo 等の金属を、非晶質シリカアルミナやゼオライトなどの担体に担持し、マイクロリアクターによってその活性を評価しつつ、スクリーニングを進める。

#### 2-1-2 触媒機構の解明と触媒高性能化の検討(◎GU・BPPT・APEX)

2-1-1 の成果に基づいて、現地で調達・製造可能な低コスト触媒の絞り込みを行い、デモンストレーションプラントでの使用の可否を決定するとともに、新規低コスト触媒機構の解明と高性能化の検討を行う。

#### 2-1-3 プロトタイプでの適用検証(◎GU・BPPT)

2-1-1 および 2-2-2 で、良好な成果が得られれば、開発した低コストメタノール触媒を用いて、メタノール合成プロトタイプ試験設備による試験を行う。

### 2-2 低圧メタノール合成プロセスの確立

#### 2-2-1 原料ガスの前処理方法の検討(◎APEX・BPPT・YDD・GU)

構造がシンプルで現地でも製造・保守が容易な原料ガスの前処理プロセスの概念設計を行う。

#### 2-2-2 プロトタイプの設計(◎BPPT・GU)

小規模での液体燃料転換に適したベンチスケールメタノール合成プロトタイプの設計を完了する。

#### 2-2-3 プロトタイプの製作・試験(◎BPPT・GU)

2-2-2 で設計したベンチスケールプロトタイプ試験設備を製作・据付して、商用触媒あるいは本プロジェクトで調整した新規触媒を使用して、低圧メタノール合成プロセスの運転試験を実施する。平衡計算と運転試験を通じて、好適運転条件を明確化する。

### 2-3 ガス発酵法液体燃料生産プロセスの開発(28 年次計画で追加)

#### 2-3-1~2-3-6 (◎ITB・GU)

ラボスケールの発酵装置を用いて模擬ガスを使用したガス発酵試験を実施する。得られた結果等をもとに、ラボスケールの連続ガス発酵プロセス試験まで行う予定である。得られた結果から、ガス発酵エタノール合成プロセスのフィージビリティを明確化する。

### 2-4 デモンストレーションプラントによる検討

液体燃料製造プロセスについては、メタノール合成ではプロトタイプ試験まで、ガス発酵プロセスは、ラボスケール試験までとし、デモンストレーションプラントの建設は中止する。

(4) 研究題目 3 : 「人材育成とネットワーク形成」

群馬大学グループ(リーダー:野田玲治)  
 APEX グループ(リーダー:井上 斉(田中 直))  
 BPPT グループ(リーダー:Adiarso → Sri Djangkung Sumbogo)  
 ITB グループ(リーダー:Tjandra Setiadi)  
 YDD グループ(リーダー:Anton Soejarwo)

① 研究題目 3 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

成果目標と達成状況		
3-1 人材育成とネットワーク形成 (指標1:バイオマスのエネルギー利用に関するローカル研修が2回以上、オペレーション研修が1回以上開催される、指標2:合計10名以上の日本・インドネシア双方の研究者・学生が研究実施のための交換に参加する。)		
<p><b>【指標1総括＝概ね達成】</b>            バイオマスエネルギーの利用に関するローカル研修が2回(2015年11月および2019年5月)実施された。            国営農園やその他企業や大学などの研究者など、バイオマスのガス化技術に関心を持つ人材を対象としたオペレーション研修が計画されていたが、パイロットプラントの設置が遅れたため期間中の実施はできなかった。BPPTは今後パイロットプラントに関連した研修やセミナーを実施する予定である。            オペレーション技術に関連した研修としては、ガス化プロセスの設計ワークショップが2016年に4回実施され、計120名が参加した。</p> <p><b>【指標2総括＝達成】</b>            インドネシア人研究者16名が群馬大学での研修に参加し、日本人研究者・学生と共に研究に従事した。また、日本人の若手研究者3名がBPPTでの研究活動に参加した。</p>		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
3-1-1 研修プログラムの確定		100%
3-1-2 研修プログラムの実施(技術研修4回、参加者計100名以上、運転研修2回、参加者計20名以上)	1. 本邦研修(BPPT研究員対象) 2014年12月～2015年3月:2名 2015年12月～2016年1月:3名 2016年2月～2016年3月:3名 2016年9月～2016年10月:3名 2016年12月～2017年2月:2名 2017年10月～2017年12月:3名 2. バイオマスのガス化パイロット・プラントの設計技術研修(BPPT研究員対象、2016年7月、8月、9月、12月の計4回、のべ約120名) 3. 現地技術研修(公開) ➤ 2015年11月”Technical Training Program for Utilizing Biomass as an Energy Resource”(下記3-1-2参照) ➤ 2019年5月”Biomass Gasification (including experiment by Cold Model)”と”Methanol Synthesis”を実施。延べ約100名が参加。	100%

3-2 ネットワーク形成(指標1:国際的セミナーが2回以上、計200名以上の参加者を得て実施される、指標2:ニュースレターが10回以上、各750部以上発行される、指標3:10件以上の学術論文が発行される)		
【指標1総括＝達成】 以下の国際セミナーがプロジェクト期間中に実施された。 ➤ 国際セミナー「バイオマス由来燃料生産のための適正技術」(2016年2月) ➤ 国際セミナー「バイオマスエネルギー」(2019年5月)		
【指標2総括＝達成】 ニュースレターはプロジェクト期間中に10回、各750部発行された。		
【指標3総括＝達成】 ➤ 日本側の研究者により10件の学術論文(国内誌2件、国際誌8件)が発行された。 ➤ ITBと群馬大学の研究者の共著論文が1件発行された。 ➤ インドネシア側研究者により10件の論文が作成され、国際セミナー等で発表された。また、6件の論文が現在作成中である。		
成果目標(全体計画書)	成果の概要	達成度
3-2-1 国際セミナーの開催(2回、参加者計200名以上)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 2016年2月“Appropriate Technology for Biomass Derived Fuel Production”参加者約120名</li> <li>➤ 2019年5月“Baiomass to Energy”参加者約150名</li> </ul>	100%
3-2-2 ニュースレターの発行(2回/年、各750部以上)	第10号まで各750部発行した。	

### 3-1-1 研修プログラムの準備

バイオマスのエネルギー利用技術の体系とガス化・液体燃料合成、インドネシアのバイオマス資源とエネルギー利用の現状、熱化学的ガス化、流動層技術、合成ガスからの液体燃料生産、現地に適合的な技術などをテーマとする技術研修プログラム素案を作成した。また、群馬大学で実施する高度研修プログラムの準備を行った。

### 3-1-2 研修プログラムの実施

バイオマス廃棄物のエネルギー利用技術に関する研修プログラムを、“Technical Training Program for Utilizing Biomass as an Energy Resource”と題し、27年11月10、11、12日の3日間にわたって、ジャカルタのBPPT本庁において開催した。席に限りがあることおよび研修の内容を鑑み、対象者を大学、国営農園、地方政府研究開発機関に絞った。参加者30名を想定していたところ、最終的には約50名が参加した。研修後に実施したアンケートでも概ね好評であった。







図 3-1-2(1) 研修プログラムの様子

### 3-2 ネットワーク形成

#### 3-2-1 国際セミナーの開催

日本とインドネシアの最新のバイオマス・エネルギー政策および研究について知見を深めるとともに、バイオマス・エネルギー関係者のネットワークを構築することを目的として、2016年2月17日に“Appropriate Technology for Biomass Derived Fuel Production”と題する国際セミナーを、ジャカルタのBPPT本庁で開催した。内容を鑑み、全国の大学、国営農園、地方政府研究開発機関およびバイオマス・エネルギー関連の民間企業に招待状を配布し、最終的に約120名が出席した。セミナー終了後に実施したアンケートでも概ね好評であった。また、このセミナーの様子は、現地のテレビ局(TVRI、インドネシア国営テレビ)で放映され、またウェブニュースやBPPTのウェブサイトに掲載された。



#### 3-2-2 ニュースレターの発行

これまでに、ニュースレターの第1号から第4号を各750部発行し、うち約600部を関係機関に配布した。内容は、技術開発や実験に関する進捗報告、関連する技術の解説、JCC、セミナーな

どの報告等である。



図 3-2-2(1) ニュースレター(GREEN FUEL)1号~4号

## ② 研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

ニュースレターには第2号からISSN(International Standard Serial Number)を取り付けており、これによって寄稿や編集に携わったことが人事考課の際ポイントとして加点されるため、C/Pは原稿の執筆や編集に協力的である。

C/P側からの提言により、第7号からは各Put-putごとに記事をまとめた。

## ③ 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

上述したようにニュースレターを関係各機関に送付しており、他のSATREPSバイオマスプロジェクトにも送っている。他のSATREPSバイオマスプロジェクトからもニュースレターを受け取るようになり、今後の情報共有や相互理解に役立つと思われる。

2018年5月に、同じくSATREPSである「インドネシアにおける統合バイオリファイナリーシステムの開発」プロジェクトを訪問し、情報交換をした。また、2019年5月の国際セミナーに、同じくSATREPSである「熱帯荒廃草原の植生回復によるバイオマスエネルギーとマテリアル生産」の研究者らを招待し、情報交換する予定。これらの交流により、インドネシアにおけるバイオマス資源の活用を研究している研究者たちのネットワークが構築されることが期待できる。

## ④ 研究題目3の研究のねらい(参考)

現地で、バイオマス廃棄物のエネルギー利用を推進しようとする人材に対して、バイオマス廃棄物のエネルギー利用とそれに関わる技術に関する理解を深め、関連する人々や組織の間の連携を深めて、開発したプロセスを始めとするバイオマスエネルギー利用技術の発展と適用拡大をはかる。

## ⑤ 研究題目3の研究実施方法(参考)

### 3-1 人材育成

#### 3-1-1 研修プログラムの準備(©APEX・BPPT・YDD・GU)

現地で、バイオマス廃棄物のエネルギー利用を技術的に担う人材ならびに、プラントのオペレーターを育成するために、技術研修用、運転研修用の研修プログラムをそれぞれ準備し(3-1-1)、技術研修を計4回、運転研修を計2回にわたり実施する。

#### 3-1-2 研修プログラムの実施(©APEX・YDD・BPPT・GU)

3-1-1で準備した、現地でバイオマス廃棄物のエネルギー利用を技術的に担う人材を育成する

ための技術研修をプロジェクト期間全体で計4回、運転研修を計2回実施する。

### 3-2 ネットワーク形成

#### 3-2-1 国際セミナーの開催(◎BPPT・APEX・YDD・GU)

#### 3-2-2 ニュースレターの発行(◎BPPT・APEX・YDD・GU)

バイオマス廃棄物のエネルギー利用に関する理解を深め、それに関与し、推進しようとする人々や組織の間の連携を深めて、開発したプロセスを始めとするバイオマスエネルギー利用技術の発展と適用拡大をはかるため、国際的なセミナーを計1回開催し(3-2-1)、また、ニュースレターを年2回(各号750部以上)発行する。

## II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

### (1) プロジェクト全体

本プロジェクトの眼目は、現地の社会的・経済的等の条件に適した〈適正技術〉の開発にあり、そのような技術こそが、まさに社会実装につながると考えられる。開発した技術が実際に普及し、継続的に使われていくためには、現地の社会に受け入れられる程度に低コストであること、技術が適用される地域の産業基盤と人材において、運転と保守管理が可能であることが重要である。

本事業では、そのような条件を充たすために、通常の触媒と比べて格段に安価であり、入手も容易な粘土を触媒としたバイオマス接触分解ガス化技術の確立を目指している。それにより、タールの削減をはかるとともに、大径・不定形な多種のバイオマスの投入を可能とし、原料の粉砕費用も削減している。さらに、設計を極力自主的に行い、無駄を省いたシンプルな構造とし、装置のほとんどすべてを現地生産が可能なものとして、設計・製作費用も格段に安価で、かつ地元で製造と補修をコントロールできるプロセスとする計画である。さらに、バイオマスガス化炉後段に設置可能な液体燃料製造プロセスのオプションとして、現地で製作・運転しやすいメタノール合成プロセスとシンプルな構造、かつ温和な条件でアルコール合成が可能なガス発酵技術の開発を行い、ユーザーが適切な技術オプションを選択できることを目指す。

上記のような技術の開発は、日本側の技術に全面的に依拠するものでもなければ、単にインドネシア側が独自で技術開発するものでもない。両者がもつ技術を持ち寄り、新しい発想を求めながら、技術的背景や経済状況等を理解することによってはじめて、真にインドネシアに実装可能なプロセスを創出しうると考えられる。そのような考え方を相手国研究機関と共有し、実践していくために、(2)、(3)で述べるような工夫をしている。

また、プロジェクトの完遂には、両国研究機関の本プロジェクトへの積極的な関与が重要であり、プロジェクト開始時設定したプロジェクト全体の役割分担について、進捗に伴って各機関でコミット可能な課題が発生した場合には、積極的に関与してもらえよう運営に務めている。実際に、(2-2)メタノール合成触媒開発では、群馬大学と BPPT で役割を分担し、両拠点で情報共有しながら研究をすすめる体制が構築されている。

### (2) 研究題目1:「粘土を流動媒体とするバイオマス接触分解ガス化プロセスの確立」

群馬大学グループ(リーダー:野田玲治)

APEX グループ(リーダー:井上 斉(田中 直))

群馬大学、APEX、BPPT だけでなく本プロジェクトに興味のある研究者を含めた設計ワークショップを実施し、開発するプロセスの深い理解に勤めた。7月のJCCでは、BPPTの関与をより大きくするために、各ワークパッケージについて、BPPTの起用が可能なサブテーマを追加し、課題の推進担当者を明確に指名するなどして、責任体制も明確化した。これにより、従来、特にインドネシア側であいまいであった責任体制が明確となり、BPPTの関与が大きく広がった。特に、パイロットプラントの設計においては、コールドモデルの製作から実験までほぼすべてをBPPTの責任で進めてもらうことで、多くの失敗を経つつ、流動層技術の蓄積につながったものと判断している。

### (3) 研究題目2:「低コスト液体燃料生産プロセスの確立」

群馬大学グループ(リーダー:野田玲治)

APEX グループ(リーダー:井上 斉(田中 直))

(2)「低コストメタノール合成触媒の開発」では、群馬大学とBPPTでの役割分担を情報共有の仕組みに基づいて、各種触媒の調整、物性分析ならびにメタノール合成反応活性評価の役割分担が明確化され、触媒評価が大きく進展してきた。その一方で、試験装置の改良等にかかる時間が全体の進捗を妨げている状況となってきた。従来、インドネシアでは、研究者が実験装置そのものを改造するケースは少なく、経験が不足していることが要因として考えられた。そのため、反応装置を自ら組み立てる訓練も含めた、メタノール合成試験装置の設計と組み立て作業を群馬大学と共同

で実施した。これによって、自らが実験装置を改造する技術を身に着けることができ、軽微な作業であれば自身で実験装置の改良を進めることができるように配慮した。

### Ⅲ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

#### (1) 成果展開事例

パルス制御ループシールについては、国内特許申請が完了した段階である。

#### (2) 社会実装に向けた取り組み

JST が支援する SDGsビジネス化支援プログラムにおいて、本プロジェクトで開発を進めている EFB のガス化発電プロセスを核としたビジネスモデルが採択となり、インドネシアにおける EFB ガス化システムのビジネス化についての検討が進められている。この中で、ガス化技術をコアとしたビジネスモデルの具体案が検討されており、BPPT を巻き込んでインドネシアにける当該ガス化プロセスの展開について議論が進んでいる。

これまでに、デモンストレーションプラントの設置先についての交渉を通じて、いくつかの企業から受け入れに関する期待が表明されている。PT Perkebunan Nusantara III (PTPN III、国営第三農園企業) を最終候補として交渉しておりは、インドネシア全国の国営農園企業を統括するホールディングカンパニーであり、我々の技術の受け入れについて歓迎の意向を示している。また、巨大企業グループであるシナル・マスグループの、PT Sinar Mas Agro Resources and Technology (PT SMART)社からも、受け入れを歓迎する旨の表明がある。

国内においても、我々の技術を利用してインドネシアでバイオマスを利活用した事業を検討したいとする企業からの問い合わせがある。

本年度設置するパイロットプラントが順調に稼働すれば、それは技術が広範な波及力を持つことにつながると考えられる

### Ⅳ. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- ◆ 29 年 9 月 22 日、群馬大学－韓国慶熙大学校合同シンポジウム（韓国）において、須藤裕太が招待講演で SATREPS プロジェクトの研究内容について講演した。参加者約 80 名。
- ◆ 28 年 6 月 12 日、エネルギー学会 三部会（リサイクル、バイオマス、ガス化）（RGB）シンポジウム ～廃棄物、バイオマス、石炭等利用技術の最新動向～（東京）において、野田が「インドネシア適合型バイオマスガス化システムの開発」というタイトルで講演した。参加者約 30 人
- ◆ 29 年 10 月 3、4 日、インドネシアのバリにおいて、第 2 回国際熱帯再生エネルギー会議に出席し、SATREPS プロジェクトの研究内容として成果発表を行った。参加者約 100 名
- ◆ 29 年 11 月 9、10 日、インドネシアのジョグジャカルタで、第 9 回熱流体国際会議で、須藤裕太が共同研究内容「Study on the Activities of Indonesian Clay as Catalyst for Biomass Gasification」について発表し、最優秀論文賞を受賞した。参加者約 80 名

### Ⅴ. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

### Ⅵ. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

### Ⅶ. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2018	SD Sumbogo, Y. Sudo, Yan Sun, Adiarso, R. Noda, Investigation of biomass gasification using Indonesian clay as catalyst, IOP Conf. Ser., Earth and Env. Sci., 105, 0012105 (2018)		国際誌	発表済	
2019	ID Anggraini, Keryanti, M. Kresnowati, R. Purwadi, R. Noda, T. Watanabe, T. Setiadi, Bioethanol Production via Syngas Fermentation of Clostridium Ijungdahlii in a Hollow Fiber Membrane Supported Bioreactor, Int. J. Tech., 10, 3, 481-490 (2019)		国際誌	発表済	

論文数 2 件  
 うち国内誌 0 件  
 うち国際誌 2 件  
 公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2014	Ben-Shui Wang, Jing-Pei Cao, Xiao-Yan Zhao, Yue Bian, Chong Song, Yun-Peng Zhao, Xing Fan, Xian-Yong Wei, Takayuki Takarada, "Preparation of nickel-loaded on lignite char for catalytic gasification of biomass", Fuel Processing Technology, 136 (2015) 17-24.		国際誌	出版済み	
2014	Suparin Chaiklangmuang, Keisuke Kurosawa, Liyun Li, Kayoko Morishita, Takayuki Takarada, " Thermal Degradation behavior of coffee Residue Comparison with Biomasses and Its Product Yields from Gasification, Journal of the Energy Institute, 88 (2015) 323-331.		国際誌	出版済み	
2014	Cheewasu Phuhiran, Takayuki Takarada, Suparin Chaiklangmuang, "Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of eucalyptus using nickel-loaded Thai brown coal char catalyst", International Journal of Hydrogen Energy, 39 (2014) 3649-3656.		国際誌	出版済み	

2015	Boodsakorn Kongsomart, Takayuki Takarada, "Preparation of activated carbons from teak sawdust using chicken dropping compost and empty fruit bunch ", International Journal of Biomass and Renewables, 4 (2015) 1-7.		国際誌	発表済	
2015	Boodsakorn Kongsomart, Naokatsu Kannari, and Takayuki Takarada, "Catalytic effects of biomass-derived ash on Loy Yang brown coal gasification", International Journal of Biomass and Renewables. 5 (2016) 12-22		国際誌	発表済	
2015	田中直(井上齊)、アジア地域に適合的な、粘土触媒を用いたバイオマスの流動層ガス化技術の開発、太陽エネルギー、2016年3月、Vol42, No.2, 通巻232号		国内誌	発表済	
2016	Naokatsu Kannari, Yuya Oyama, Takayuki Takarada, Catalytic decomposition of tar derived from biomass pyrolysis using Ni-loaded chicken dropping catalysts, International Journal of Hydrogen Energy, 42 (2017) 9611-9618.		国際誌	発表済	
2016	Suparin Chaiklangmuang, Liuyum Li, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada, Performance of Active Nickel Loaded Lignite Char Catalyst on Conversion of Coffee Residue into Rich-synthesis Gas by Gasification, Journal of Energy Institute 91 (2018) 222-232		国際誌	発表済	
2016	Tetsuya Hatori, Kayoko Morishita, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada, Study of nickel adsorption properties of chemically treated woody biomass, Journal of the Japan Institute of Energy, 96 (2017) 519-524.		国内誌	発表済	
2017	Naokatsu Kannari, Chika Satomi, Yuya Oyama and Takayuki Takarada, Durability studies of limonite ore for catalytic decomposition of phenol as a model biomass tar in a fluidized bed, Biomass Bioenergy, 107 (2017) 86-92		国際誌	発表済	

論文数	10 件
うち国内誌	2 件
うち国際誌	8 件
公開すべきでない論文	件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2014	GREEN FUEL (Vol.1,2014)		機関紙	出版済み	
2015	GREEN FUEL (Vol.2, 2015)		機関紙	出版済み	
2015	GREEN FUEL (Vol.3, 2016)		機関紙	出版済み	
2016	GREEN FUEL (Vol.4, 2016)		機関紙	出版済み	
2016	GREEN FUEL (Vol.5, 2016)		機関紙	出版済み	
2017	GREEN FUEL (Vol.6, 2017)		機関紙	出版済み	
2017	GREEN FUEL (Vol.7, 2017)		機関紙	出版済み	
2018	GREEN FUEL (Vol.8, 2018)		機関紙	出版済み	
2018	GREEN FUEL (Vol.9, 2018)		機関紙	出版済み	
2019	GREEN FUEL (Vol.10, 2019)		機関紙	in press	2019年5月中に出版予定

著作物数 10 件  
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2014	Nao Tanaka "Teknologi Tepat Guna dan Dunia Alternatif - Berdasarkan Pengalaman Prakteik di Indonesia"(2014)		書籍	出版済み	コンパス・グラメディアグループのBuhana Ilmu Populer社より出版

著作物数 1 件  
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項



VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2015	国際学会	Hitoshi Inoue, Sudo Yuta(APEX), Hermanto Sujarwo, Anton Soejarwo(Light of the Village Foundation), Tomohide Watanabe, Reiji Noda(Gunma Univ.), "Fluidized bed biomass gasification using clay catalyst as multipurpose process for renewable fuel production, sustainable biomass production and carbon fixation", ECO-BIO 2016, Rotterdam, The Netherlands, 6-9 March 2016	ポスター発表
2016	国内学会	(群馬大)田中利幸, 井口栞, 神成尚克, 野田玲治, 宝田恭之, (Agency for the assessment and application of technology)Fusia Mirda Yanti, Novio Valentino, Asmi Rima Juwita、炭素担体を用いたCuZn系メタノール合成触媒の開発、第12回バイオマス科学会議、東京大学弥生講堂・一条ホール、2017年1月18-19日	ポスター発表
2017	国際学会	Mr. Yuta Sudo, Dr. SD Sumbogo, Sun Yan, Imron Masfuri, Novio Valentino, Atti Sholihah, Adiarso and Reiji Noda, "Investigation of Biomass Gasification using Indonesian Clay as Catalyst", in the 2nd International Tropical Renewable Energy Conference 2017 (the 2nd i-TREC 2017), at Marriott Bali Nusa Dua Resort, Bali, Indonesia, 3rd-4th October	口頭発表
2017	国際学会	Yuta Sudo, SD Sumbogo Murti, Sun Yan, Imron Masfuri, Novio Valentino, Atti Sholihah, Adiarso and REiji Noda, "Study on The Activities of Indonesian Clay as Catalyst for Biomass Gasification" in The 9th International Conference on Thermofluids 2017 at Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia, 9th-10th November 2017.	口頭発表

招待講演	0 件
口頭発表	2 件
ポスター発表	2 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2014	国内学会	宝田恭之、「褐炭を用いた微粒子調整とその応用」、粉体工学会2014年度春季研究発表会、京都、2014年5月29日～30日	口頭発表
2014	国際学会	Yudha Purna Nugraha, Yuki Ishihara, Takatoshi Kimoto, Keiichi Kubota, Tomohide Watanabe: Control effects of oxygen permeation on the performance of single-chamber microbial fuel cells, Water and Environment Technology Conference 2014, Conference Abstract p.56, June 28-29, Tokyo, 2014.6.29	口頭発表
2014	国際学会	Jing-Pei Cao, Aya Matsushima, Keiichi Kaneko and Takayuki Takarada, "LOW-TEMPERATURE CATALYTIC REFORMING OF VOLATILE MATTER FROM BIOMASS PYROLYSIS", Grand Renewable Energy 2014, Tokyo 2014.7.29	口頭発表
2014	国内学会	渡邊智秀, 長谷川英利, 小林裕樹, 窪田恵一: 廃棄物系バイオマスの熱分解チャーにおけるリンの特性, 化学工学会第46回秋季大会, 講演要旨集X305, 福岡市, 2014.9.17-19	口頭発表
2014	国内学会	小松真太郎, 神成 尚克, 宝田 恭之、「触媒流動層内での触媒担持褐炭の熱分解・ガス化」、第51回石炭科学会議、仙台、2014年10月21日～23日	口頭発表
2014	国内学会	杉本将哉 野田玲治, 3室内部循環流動層のためのJ-typeループシールの粒子循環量モデル, 第20回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム, P1-3, 岡山市, 2014.12.11-12	ポスター発表
2014	国内学会	井口 葉, 野田 玲治, インドネシアに適合した低コストメタノール合成触媒, 化学工学会第80年会, XB245, 2014.3.19-21	口頭発表
2014	国内学会	武井寛人, Yudha Purna Nugraha, 窪田恵一, 小森正人, 渡邊智秀: 一槽式微生物燃料電池によるフェノール含有廃水の処理特性, 第49回日本水環境学会年会, 年会講演集p.710, 金沢市, 2015.3.16-18	ポスター発表
2015	国際学会	Boodsakorn Kongsomart, Takayuki Takarada, 「Preparation of activated carbon and catalytic coal gasification using biomass ash.」, The Seventh International Conference on Clean Coal Technologies (CCT2015), 17-21 May 2015	口頭発表

2015	国内学会	Boodsakorn KONGSOMART, Naokatsu KANNARI, Takayuki TAKARADA (Gunma University) Li LIUYUN (Niigata University), Catalytic CO <sub>2</sub> gasification of a brown coal using biomass ash as a catalyst, 日本エネルギー学会第24回大会、札幌コンベンションセンター、2015年8月3日	口頭発表
2015	国際学会	Boodsakorn Kongsomart, Naokatsu Kannari, Shintaro Komatsu, Takayuki Takarada (Gunma University), Li Liuyun (Niigata University) Low Temperature Catalytic Gasification of Brown Coal Using Biomass, International Conference on Coal Science & Technology 2015 (ICCS&T 2015), Melbourne, Australia, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Sep 28, 2015	口頭発表
2015	国際学会	Naokatsu Kannari, Battsetseg Tsedenbal, Keisuke Nagatomo, Takayuki Takarada (Gunma University), EFFECTS OF COAL RANK ON LOW TEMPERATURE OXIDATION OF COALS, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 2, 2015	口頭発表
2015	国際学会	Boodsakorn Kongsomart, Battsetseg Tsedenbal, Shintaro Komatsu, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada (Gunma University) , LOW TEMPERATURE CATALYTIC GASIFICATION OF BROWN COAL USING EMPTY FRUIT BUNCH, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 2, 2015	口頭発表
2015	国際学会	Boodsakorn Kongsomart, Battsetseg Tsedenbal, Shintaro Komatsu, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada (Gunma University), LOW TEMPERATURE CATALYTIC GASIFICATION OF BROWN COAL USING CHICKEN DROPPINGS, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 1, 2015	ポスター発表
2015	国際学会	Boodsakorn Kongsomart, Battsetseg Tsedenbal, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada (Gunma University), PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM TEAK SAWDUST WITH EMPTY FRUIT BUNCH ASH, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 1, 2015	ポスター発表
2015	国際学会	Boodsakorn Kongsomart, Battsetseg Tsedenbal, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada (Gunma University), PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM TEAK SAWDUST BY USING CHICKEN DROPPING COMPOST AS AN ACTIVATION AGENT, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 1, 2015	ポスター発表

2015	国際学会	Liuyun Li, Aya Matsushima, Yuto Sekiya, Tadaaki Shimizu (Niigata University), Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada (Gunma University), LOW-TEMPERATURE GASIFICATION OF BIOMASS VOLATILE USING ANI-LOADING BROWN COAL CHAR AS A CATALYST, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 2, 2015	ポスター発表
2015	国際学会	Liuyun Li, Hideyuki Matsumura, Tadaaki Shimizu (Niigata University), Chika Satomi, Naokatsu Kannari, Takayuki Takarada (Gunma University) EFFECTS OF LIMONITE ORE AND STEAM ADDITION ON MODEL HYDROCARBON PHENOL DECOMPOSITION, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 2, 2015	口頭発表
2015	国際学会	Attitaya Saythong, Metta Chareonanch, Nongnuch Rueangjitt (Chiang Mai University), Takayuki Takarada (Gunma University), SILICA RECOVERY FROM STEEL SLAG-INDUSTRIAL WASTE RESIDUE FOR USE IN SYNTHESIS OF ZSM-5 ZEOLITE CATALYST, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 1, 2015	口頭発表
2015	国際学会	Attitaya Saythong, Metta Chareonpanich, Nongnuch Rueangjitt (Chiang Mai University), Takayuki Takarada (Gunma University), PREPARATION OF SILICA GEL FROM STEEL SLAG-INDUSTRIAL WASTE BY BASE LEACHING PROCESS, The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, Dunhuang, Gansu, China, September 1, 2015	ポスター発表
2015	国際学会	T. Takarada, N. Kannari, S. Komatsu, "Pyrolysis and steam gasification of metal-loaded brown coals in fluidized bed", The 3rd Joint Meeting of Strategic Japanese-Chinese Joint Research Program, Shonan Village Center, Oct. 26~27, 2015	口頭発表
2015	国際学会	S. Komatsu, N. Kannari and T. Takarada, "Pyrolysis and steam gasification of metal-loaded brown coals in fluidized bed" 1st SEOULTECH-GU Joint Seminar on Cooperation of Politics and Technology, Gunma University, Jan. 13, 2016	ポスター発表
2015	国際学会	B. Kongsomart, B. Tsendenbal, S. Komatsu, N. Kannari and T. Takarada, "Low temperature catalytic gasification of brown coal by using biomass" 1st SEOULTECH-GU Joint Seminar on Cooperation of Politics and Technology, Gunma University, Jan. 13, 2016	ポスター発表

2015	国際学会	B.Kongsomart, N.Kannari and T.Takarada, "Utilization of chicken dropping compost for activated carbon preparation and catalytic gasification" 1st SEOULTECH-GU Joint Seminar on Cooperation of Politics and Technology, Gunma University, Jan. 13, 2016	ポスター発表
2015	国際学会	Yudha Purna Nugraha, Hiroto Takei, Keiichi Kubota, Tomohide Watanabe: Phenol degradation in a single-chamber microbial fuel cell, Water and Environment Technology Conference 2015, Tokyo, 2015.8.5-6	ポスター発表
2015	国内学会	小林裕樹, 窪田恵一, 渡邊智秀: 廃棄物系バイオマスのガス化におけるリンの挙動と特徴, 化学工学会群馬大会2015, 桐生市, 2015.11.27-28	口頭発表
2015	国内学会	木下翔吾, 窪田恵一, 小森正人, 渡邊智秀: 微生物燃料電池におけるフェノール分解に伴う発電の可能性, 第50回日本水環境学会年会, 徳島市, 2016.3.16-18	口頭発表
2015	国内学会	野田玲治, 「Biomass energy conversion based on an "appropriate technology" suitable for a local community」, 第2回日中環境ワークショップ, 富士吉田, 2015年4月17-19日	口頭発表
2015	国際学会	Reiji NODA, Masaya SUGIMOTO and Yuya MACHIDA, 「Development of three compartment internal circulating fluidized bed for liquid fuel production from biomass」, FBC22, Finland, June 14-17, 2015	口頭発表
2015	国内学会	井口葉, 野田玲治, "インドネシアに適合した低コストメタノール合成触媒", 第23回日本エネルギー学会大会P-5, 札幌, 2015年8月3-4日	ポスター発表
2015	国内学会	孫燕, 野田玲治, "バイオマス流動接触分解ガス化のための粘土触媒の評価", 化学工学会第47回秋季大会S219, 札幌, 2015年9月9-11日	口頭発表
2015	国内学会	井口葉, 野田玲治, "インドネシアに適合した低コストメタノール合成触媒", 化学工学会第47回秋季大会M304, 札幌, 2015年9月9-11日	口頭発表
2015	国内学会	孫燕, 野田玲治, "バイオマス流動接触分解ガス化のための粘土触媒の評価", 化学工学会群馬大会2015A201, 桐生, 2015年11月27-28日	口頭発表
2015	国内学会	井口葉, 野田玲治, "インドネシアに適合した低コストメタノール合成触媒", 化学工学会群馬大会2015A207, 桐生, 2015年11月27-28日	口頭発表

2015	国内学会	孫燕, 野田玲治, “バイオマス流動接触分解ガス化のための粘土触媒の評価”, 第21回流動化・粒子プロセスシンポジウム (FB21)P-15, 北九州, 2015年12月10-11日	ポスター発表
2015	国内学会	井口栞, 野田玲治, “インドネシアに適合した低コストメタノール合成触媒”, 第21回流動化・粒子プロセスシンポジウム (FB21)P-12, 北九州, 2015年12月10-11日	ポスター発表
2015	国内学会	Noda Reiji, “Biomass utilization based on appropriate technologies”, 化学工学会第81年会N304, 大阪, 2016年3月13-15日	口頭発表
2015	国内学会	(BPPT, Indonesia) *Bralin D., Adiarso, Joni P., Galuh Wm., Nurdiah R., Tyas P., Septina I., Abdul H., Anindhita, “Progress of SATREPS-Biomass Project: Development of Low Cost Catalyst for Methanol Synthesis, ”, 化学工学会第81年会N315, 大阪, 2016年3月13-15日	口頭発表
2015	国内学会	孫燕, 野田玲治, “バイオマス流動接触分解ガス化のための粘土触媒の評価”, 化学工学会第81年会ZAP361, 大阪, 2016年3月13-15日	ポスター発表
2015	国内学会	上原巧, 野田玲治, “内部循環流動層ループシール安定性に及ぼす背圧差の影響”, 化学工学会第81年会ZAP309, 大阪, 2016年3月13-15日	ポスター発表
2015	国内学会	井上齊(APEX), “Development of Fluidized Bed Biomass Gasification Using Clay Catalyst as an Appropriate Technology for Asian Countries”, 化学工学会、関西大学、2016年3月15日	口頭発表
2016	国内学会	小林裕樹, 窪田恵一, 渡邊智秀, “パーム空果房のガス化で生成する固体残渣の特性”, 化学工学会第48回秋季大会U208, 徳島市, 2016.9.6-8	口頭発表
2016	国内学会	小林裕樹, 窪田恵一, 渡邊智秀, “廃棄物系バイオマスのガス化で生成する固体残渣の特徴と肥料としての利用可能性”, 化学工学会第82年会PB269, 東京(豊洲), 2017.3.6-8	ポスター発表
2016	国内学会	増山征也, 窪田恵一, 小森正人, 渡邊智秀, “微生物燃料電池によるフェノール含有水の処理および出力特性”, 第51回日本水環境学会年会, 年会講演集L-090, 熊本市, 2017.3.15-17	ポスター発表
2016	国内学会	孫燕, 須藤裕太, 田中直, Atti Sholihah, 野田玲治, “バイオマス流動接触分解ガス化のための粘土触媒の評価”, 第24回日本エネルギー学会大会3-2-4, 東京, 2016年8月9-10日	ポスター発表

2016	国内学会	井口 栞, 野田 玲治・Adiarso, Prasetyo Joni, Dwiratna Bralin, Heriyanti Septina, Puspitarini Tyas, Solihah Atti, “メタノール合成触媒における調製法が反応活性に及ぼす影響の調査”化学工学会第48回秋季大会B309, 徳島, 2016年9月6-8日	口頭発表
2016	国内学会	上原 巧, 野田 玲治, “内部循環流動層ループシール安定性に及ぼす背圧の影響”化学工学会第48回秋季大会X215, 徳島, 2016年9月6-8日	口頭発表
2016	国内学会	井口栞, 野田玲治, Adiarso, Prasetyo Joni, D. Bralin, H. Septina, P. Tyas, S. Atti, A. Juwita, F. Yanti, N. Valentino, “メタノール合成触媒における調製法が反応活性に及ぼす影響の調査”, 第22回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム(FB22)P-15, 東京, 2016年12月8-9日	ポスター発表
2016	国内学会	上原巧, 野田玲治, “内部循環流動層ループシール安定性に及ぼす背圧差の影響”, 第22回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム(FB22)P-2, 東京, 2016年12月8-9日	ポスター発表
2017	国際学会	Dr. Adiarso, Dr. SD Sumbogo & Ms. Fusi Mirda Yanti, “Development catalyst for methanol synthesis” in International Conference Science, Technology, and Interdisciplinary Research (IC-STAR), at Emersia Hotel and Resort, Bandar Lampung, Indonesia, 18th -20th September 2017.	口頭発表
2017	国内学会	Ms. Irika Dewi Angaraini, “Bioethanol Production via Syngas Fermentation” in The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering, at hotel Patrajasa, Semarang, Indonesia 15-16th November, 2017	口頭発表
2017	国内学会	金子稚菜, 杉本将哉, 上原巧, 野田玲治, “3次元流動層におけるループシール粒子循環量モデルへの背圧項の導入”, 第26回日本エネルギー学会大会3-5-4, 名古屋, 平成29年8月1-2日	口頭発表
2017	国内学会	Chuntima CHUNTI, Reji NODA, “Pretreatment of tar and plastic mixtures for liquid fuel production”, APCChE 2017, Hong Kong, 23-27 August 2017	ポスター発表
2017	国内学会	孫 燕, 野田 玲治, 須藤 裕太, 田中 直, Imron Masfuri, Novio Valentino, Atti Sholihah “バイオマス流動接触分解ガス化のためのインドネシア産粘土の評価”, 化学工学会第48回秋季大会BC304, 名古屋, 2017年9月20-22日	口頭発表
2017	国際学会	Yuta SUDO, SUN Ya*, Imron Masfuri, Novio Valentino, Atti Sholihah, Reiji NODA, “Activity of 9 kinds of clay minerals derived from Indonesia as catalysts for fluidized bed biomass gasification”, The 11th Kyung Hee-Gunma Symposium, 龍仁, 韓国, 平成29年9月22日	口頭発表

2017	国内学会	上原 巧, 野田 玲治, “パルス駆動型ループシールによる循環流動層粒子循環量制御”, 第23回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムO14, 浜松, 平成29年12月7-8日	口頭発表
2017	国内学会	大谷 圭亮, 野田 玲治, “自己流動化流動層による廃水蒸発プロセスの開発”, 第23回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムP13, 浜松, 平成29年12月7-8日	ポスター発表
2017	国内学会	金子 稚菜, 野田 玲治, “3次元流動層コールドモデルにおけるパルス駆動型ループシールの特性評価”, 第23回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムO15, 浜松, 平成29年12月7-8日	口頭発表
2017	国内学会	上原 巧, 野田 玲治, “パルス駆動型ループシールによる循環流動層粒子循環制御”, 化学工学会第83年会PE318, 大阪, 平成30年3月13-15日	ポスター発表
2017	国内学会	金子 稚菜, 野田 玲治, “3次元流動層コールドモデルにおけるパルス駆動型ループシールの特性評価”, 化学工学会第83年会PE319, 大阪, 平成30年3月13-15日	ポスター発表
2017	国内学会	Fusia Mirda Yanti, Astri Pertiwi, Nurdiah Rachmawati, Tyas Puspitarini, Adiardo, SD Sumbogo murti, Joni Prasetyo, Reiji Noda “Preparation of catalysts from biomass for methanol production” at National Seminar on Chemical Technology” on April 13th, 2017 at University Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta (UPN)	口頭発表
2017	国際学会	Joni Prasetyo, Astri Pertiwi, S.D Sumbogo Murti, Tyas Puspitarini, Nurdiah Rahmawati, Fusia Mirda Yanti, Adiarso, Shirota R, Yuta SUDO, Reiji NODA “Study On Low Cost Methanol Production Utilizes Syngas of Biomass” at “The 9th International Conference on Thermofluids 2017” at Hotel Inna Garuda, Yogyakarta 9 - 10 November 2017.	口頭発表
2017	国際学会	Yuta SUDO, S.D Sumbogo Murti, SUN Yan, Imron Masfuri, Novio Valentino, Atti Sholihah, Adiarso, Reiji NODA “Study on The Activities of Indonesian Clay as Catalyst for Biomass Gasification” at “The 9th International Conference on Thermofluids 2017” at Hotel Inna Garuda, Yogyakarta 9 - 10 November 2017.	口頭発表



2017	国際学会	Yuta SUDO, S.D Sumbogo Murti, Sun Yan, Adiarso, Reiji NODA "Investigation of Biomass Gasification using Indonesian Clay as Catalyst" at "2nd International Tropical Renewable Energy Conference 2017" at Marriott Bali Nusa Dua Resort, Bali, on October 3 – 4, 2017	口頭発表
2018	国際学会	Joni Prasetyo, Nurdiah Rahmawati, Galuh Wirama Murti, S.D. Sumbogo Murti, Tyas Puspitarini, Astri Pertiwi, Fusia Mirdayanti, Erlan Rosyadi, Herman Hidayat, Adiarso, Yuta Sud, Reiji Noda "Preliminary Study Of Local Catalyst For Low Cost Methanol Synthesis As Subsequence Process Of A Model System Of Biomass Fluidized Bed Catalytic Gasification" at "The 3rd International Renewabele Energy Conference (i-TREC)" at Discovery Kartika Plaza Hotel, Bali.	口頭発表
2018	国際学会	Arfiana, Era Restu Finalis, Ilhamsyah Noor, Erbert Ferdy Destian, Dorit Bayu Islam, I Nuswantoro, SD Sumbogo Murti, Hens Saptra "Utilization of Empty Fruit Bunch (EFB) Char in the Production of NPK Slow Release Fertilizer (SRF)" at "International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering" at Alana Hotel, Solo on October 9 –10, 2018.	口頭発表
2018	国際学会	Joni Prasetyo, Galuh Wirama Murti, Nurdiah Rahmawati, Astri Pertiwi, SD Sumbogo Murti, Tyas Puspitarini, Fusia Mirdayanti, Frendy Rian Saputro, Hens Saputra, Reiji Noda "Optimization on Low-Cost Methanol Production Utilizes Syngas Biomass: Simulation and Validation" at "International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering" at Alana Hotel, Solo on October 9 –10, 2018.	口頭発表
2018	国際学会	Hens Saptra, "Technology Development and Prospects of Petrochemical and Bio refinery in Indonesia" at "12th International Symposium on Green Energy (ISGE)" at Gunma University, Ota, Japan on 30-1 August 2018	口頭発表
2018	国際学会	SD Sumbogo Murti, Yuta Sudo, "Investigation of the activity of mineral clay from Indonesia as catalyst for fluidized bed biomass gasification" at "12th International Symposium on Green Energy (ISGE)" at Gunma University, Ota, Japan on 30-1 August 2018	口頭発表
2018	国際学会	Muhammad Abdul Kholiq, "Development and Application of Biomass Technology in Indonesia" at "12th International Symposium on Green Energy (ISGE)" at Gunma University, Ota, Japan on 30-1 August 2018	口頭発表

2018	国際学会	Joni Prasetyo, Astri Pertiwi, SD Sumbogo Murti, Tyas Puspitarini, Nurdiah Rahmawati, Fusia Mirda Ynati "Development of low cost methanol synthesis technology form biomass syngas" at "12th International Symposium on Green Energy (ISGE)" at Gunma University, Ota, Japan on 30-1 August 2018	口頭発表
2018	国際学会	Tjandra Setiadi, Made Tri Ari Penia Kresnowati, Ronny Purwadi, Irika Devi Anggraini, Keryanti, Guntur Adisurya "Bioethanol Production via Syngas Fermentation using C. Ljungdahlii DSM 13258" at "12th International Symposium on Green Energy (ISGE)" at Gunma University, Ota, Japan on 30-1 August 2018	口頭発表
2018	国内学会	金井博哉, 佐藤秀弥, 窪田恵一, 渡邊智秀"バイオマスガス化ガスのガス発酵における操作条件の影響", 第21回化学工学会学生発表会(東京大会)B31, 東京, 平成31年3月2日	口頭発表
2018	国際学会	SUN Yan, SUDO Yuta, Imron Masfuri,Novio Valentino, Atti Sholiha, NODA Reiji,"Evaluation of clay catalysts for biomass fluid catalytic cracking gasification",23rd International Conference on Fluidized Bed Conversion PS6,Soul,14-16 May 2018	ポスター発表
2018	国際学会	Rizqi Fitri NARYANTO, Hiroshi ENOMOTOa, Noburu HIEDAa, Yoshikazu TERAOKAa,Chuntima CHUNTI, Reiji NODA"The Influence of Wood Pellet Feedstock Water Content on Tar Component in Biomass System Using Downdraft Gasifier"ACBS2018b OB3,Bogor, Indonesia,July 31,2018	口頭発表
2018	国内学会	孫燕,野田 玲治,須藤 裕太,田中 直,Atti Sholiha,Imron Masfuri,"バイオマス流動接触分解ガス化のためのインドネシア産粘土の評価",化学工学会室蘭大会2018(3支部合同大会)E123,室蘭,2018年8月20-21日	口頭発表
2018	国内学会	金子稚菜,野田玲治,"内部循環流動層におけるパルス駆動型ループシールの特性評価",化学工学会第50回秋季大会FG124,鹿児島,平成30年9月18-20日	口頭発表
2018	国際学会	孫燕,"Development of appropriate biomass conversion technologies and consideration of regional implementation scenario",China-Japan University Workshop on Academy Shenyang University of Chemical Technology - Gunma University 1st Joint Symposium,Shenyang,China,October 7-9,2018	口頭発表
2018	国内学会	孫燕,須藤裕太,SD Sumbogo Murti,野田玲治,"バイオマス流動接触分解ガス化のためのインドネシア産粘土の評価",第24回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムP16,八王子,2018年12月5-7日	ポスター発表

2018	国内学会	プリマ ズルディアン,野田玲治,“An Influence of Alkaline Accumulation on Defluidization of a Clay Particle Fluidized Bed”,第24回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムP21,八王子,2018年12月5-7日	ポスター発表
2018	国内学会	大谷圭亮,野田玲治,“自己流動化流動層による廃水蒸発プロセスの開発”,第24回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムP15,八王子,2018年12月5-7日	ポスター発表
2018	国内学会	金子稚菜,須藤 裕太,Imron Masfuri,Trisaksono,Erlan Rosyadi,野田 玲治,“内部循環流動層におけるパルス駆動型ループシールの特性評価”,第24回流動化・粒子プロセッシングシンポジウムP4,八王子,2018年12月5-7日	ポスター発表
2018	国内学会	Prima Zuldian,Noda Reiji,“An Influence of Alkaline Accumulation on Defluidization of a Clay and Silica sand Particles FluidizedBed”,第 14 回バイオマス科学会議1-6,東広島,2019年1月16-18日	口頭発表
2018	国内学会	金子 稚菜,須藤 裕太,Masfuri Imron,Bagus Trisaknoso,Rosyadi Erlan,野田 玲治,“循環流動層の安定運転を実現するパルス駆動型ループシールの開発”,化学工学会第84年会PE312,東京,2019年3月13-15日	ポスター発表

招待講演	0 件
口頭発表	53 件
ポスター発表	31 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1	2016-43736	2016/3/7	流動層から固形物を分離する方法および装置	特定非営利活動法人 APEX	特許(国内)	無					井上 齊	特定非営利活動法人 APEX	PCT/JP2017/7884
No.2	2017-232765	2017/12/4	パルス駆動型ループシール	国立大学法人群馬大学	特許(国内)	無					野田玲治 上原巧 金子稚菜	国立大学法人群馬大学	
No.3													

国内特許出願数 2 件  
公開すべきでない特許出願数 1 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2017	2017/11/10	Best Paper Award	"Study on The Activities of Indonesian Clay as Catalyst for Biomass Gasification"	Yuta Sudo, SD Sumbogo Murti, Sun Yan, Imron Masfuri, Novio Valentino, Atti Sholihah, Adiarso and Reiji Noda,	The 9th International Conference on Thermofluids 2017	1.当課題研究の成果である	
2018	2019/3/2	優秀賞	バイオマスガス化ガスのガス発酵における操作条件の影響	金井博哉, 佐藤秀弥, 窪田恵一, 渡邊智秀	第21回化学工学会学生発表会(東京大会)	1.当課題研究の成果である	

2 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2014	2015/2/28	群馬大学・APEX合同ワークショップ 「アジア地域に適した、バイオマス廃棄物のガス化と液体燃料生産技術の開発をめざして」	日本	32名		SATREPS事業のこれまでの取組みや実施中の課題や展望を論じながら、アジアに適合的なバイオマスエネルギー技術の開発と普及を論じた。
2015	2015/4/13	“Teknologi Tepat Guna dan Dunia Alternatif – Berdasarkan Pengalaman Praktek di Indonesia”	バンドウン工科大学(インドネシア)	約120名		バンドウン工科大学工業技術学部化学技術研究プログラムの来賓講師として講義(APEX、井上)。バイオマスエネルギー等の適正技術開発を論じた。
2015	2015/7/8	「適正技術とこれからの国際協力-インドネシアでの実践から」	東京工業大学(日本)	52名		国際開発学会「工学と国際開発」研究部会主催『適正技術シンポジウム:工学と国際開発の融合に向けて』の講師としてバイオマスエネルギー等の適正技術開発について紹介(APEX、井上)。
2015	2015/8/22	“Teknologi Tepat Guna dan Dunia Alternatif – Berdasarkan Pengalaman Praktek di Indonesia”	インドネシア大学(インドネシア)	約70名		TICA2015ファイナリスト発表イベントにて、招待講演者として講演(APEX、井上)。バイオマスエネルギー等の適正技術開発について紹介。
2015	2015/9/10	BPPT長官ウングル・プリヤント氏との面談	BPPT本部(インドネシア)	4名		事業の進捗状況を報告し、業務調整員を紹介。今後、定期的に報告と意見交換の機会を設けることとした。

2015	2015/10/13	"Pengembangan Teknologi Tepat Guna Pemanfaatan Energi Biomassa di Indonesia"	ジャナバドラ大学(インドネシア)	約100名		ジャナバドラ大学工学部機械工学科創立19周年記念セミナー『エネルギー自立のための再生可能エネルギー開発』にて、招待講演者として講演(APEX、井上)。
2015	2015/11/10 - 2015/11/12	現地技術研修「Technical Training Program for Utilizing Biomass as an Energy Resource」	インドネシア	約50名		バイオマス廃棄物からバイオマス・エネルギーを創出する技術の理論と実践を学んでもらうとともに、バイオマス・エネルギー関係者のネットワークの構築。
2015	2015/12/14	"Teknologi Tepat Guna Dimensi Baru dan Dunia Alternatif"	プラウイジャヤ大学(インドネシア)	約50名		プラウイジャヤ大学機械工学部太陽・代替エネルギーラボラトリーの来賓講師として講義(APEX、井上)。
2015	2016/2/17	国際セミナー「Appropriate Technology for Biomass Derived Fuel Production」	インドネシア	約120名		日本とインドネシアの最新のバイオマス・エネルギー政策および研究について知見を深めるとともに、バイオマス・エネルギー関係者のネットワークの構築。
2019	2019/5/2	国際セミナー "Baio mass to Energy"	インドネシア	約150名		日本、インドネシア、タイ、マレーシアの最新のバイオマス・エネルギー政策および研究について知見を深めるとともに、バイオマス・エネルギー関係者のネットワークの構築。
2019	2019/5/3	現地技術研修「Technical Training Program for Utilizing Biomass as an Energy Resource」	インドネシア	約50名		バイオマス廃棄物のガス化および生成ガスからのメタノール合成技術を、本プロジェクトで製作したパイロット・プラントやテスト装置でもって実践的に学んでもらうとともに、バイオマス・エネルギー関係者のネットワークの構築。

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2015	2015/5/28	事業の進捗状況の確認、翌年度の年次計画の策定、課題の検討	約40名	研究者リストの更新、メタノール合成デモンストレーションプラントの規模は格別に定めないこと、高度安定型流動層開発、粘土触媒最適化、低コストメタノール合成触媒開発、低圧メタノール合成プロセス開発それぞれの活動の実施期間の延長等について議論し、合意。
2016	2016/5/18	事業の進捗状況の確認、翌年度の年次計画の策定、課題の検討	約40名	研究者リストの更新、粘土触媒を使用した流動床コールドモデルの研究活動の実施期間の延長、液体燃料生産システムの研究にガス発酵プロセスを追加すること及びバンドン工科大学(ITB)の参画、デモプラントの設置候補地、情報共有の方法について等を議論した。ガス発酵研究の追加およびITBの参画については日本側に確認することで合意した。
2016	2016/12/1	事業の進捗状況の確認、中間レビューの結果報告、課題の検討	約40名	中間レビューの結果報告を受けて、研究者リストの更新、研究体制の変更、日伊の研究者がコミュニケーションをより一層密にしていくこと等が議論された。研究体制の変更は日伊の研究代表者間で議論していくことで合意した。またガス発酵研究の追加およびITBの参画も正式に承認された。
2017	2017/7/26	事業の進捗状況の確認、翌年度の年次計画の策定、課題の検討	約40名	研究者リスト、Project Design Matrix, Plan of Operation および Role of each Organization の変更および更新。
2018	2018/7/11	事業の進捗状況の確認、翌年度の年次計画の策定、課題の検討	約40名	研究者リスト、Project Design Matrix, Plan of Operation および Role of each Organization の変更および更新。

5 件



# JST成果目標シート

インドネシアにおけるバイオマス廃棄物の流動接触分解ガス化と液体燃料生産モデルシステムの開発
野田玲治 (群馬大学理工学研究院 准教授)
H25採択(平成26年4月1日～平成31年3月31日)
インドネシア共和国/技術評価応用庁, ディアン・デサ財団

## 付随的成果

商品の普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>粘土触媒流動接触分解ガス化プロセスが未利用バイオマスのガス技術として認知され、日本を含めた多くの地域でその導入検討が始まる</li> <li>低コスト低圧メタノール合成技術が広く認知され、その応用方法の検討が始まる</li> </ul>
プロセス技術の新展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>パルス操作ループシールの実用化によって高度安定型流動層技術が確立し、この技術を応用した接触反応炉等の開発が始まる</li> </ul>
特許出願	<ul style="list-style-type: none"> <li>パルス操作ループシールの特許出願</li> <li>低コストメタノール合成触媒の特許出願</li> <li>チャー抜き機構の特許出願</li> </ul>
レビュー付雑誌への掲載等	<ul style="list-style-type: none"> <li>粘土触媒流動接触分解ガス化プロセスおよび液体燃料生産プロセスの性能について掲載</li> <li>粘土触媒流動接触分解ガス化プロセスおよび液体燃料生産プロセスの経済性について掲載</li> <li>パルス駆動ループシールによる高度安定型流動層の性能について記載</li> </ul>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>相手側研究者の日本国内招聘研修によるスキルアップ</li> <li>現地における技術研修プログラムの実施によるスキルアップ</li> <li>日本側の若手研究者の問題解決力や国際共同研究運営能力の向上</li> </ul>

## JST上位目標

現地に適合的な、バイオマス廃棄物の流動接触分解ガス化と液体燃料生産システムが普及する。

開発したバイオマス廃棄物の流動接触分解ガス化プロセスおよびメタノール合成プロセスの技術的・経済的実行可能性が認知される。

## プロジェクト目標

- ①インドネシアにおいて、能力50kW以上のバイオマスガス化パイロットプラントを稼働させ、バイオマスガス化において未解決の課題である流動層ガス化炉の安定化、タール除去プロセスの高度化、チャー抜き出し機構とチャーの資源化技術を確立する。
- ②小規模ガス化にマッチしたメタノール合成プロセスを提案し、プロトタイプ試験を行う。
- ③ガス発酵エタノール合成プロセスの基礎的検討を行い、小規模ガス化における実効性を検証する。
- ④バイオマスガス化と液体燃料製造プロセスの運転手法、ならびに人材育成とネットワーク形成を含めたインドネシアにおけるバイオマス利用スキームを確立する。

