

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/kadai/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の各研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題に関連した文献およびインターネットによる調査（関連論文、特許、受賞、外部資金等）、対象課題の研究者に対する質問票による基礎データ調査を実施した。さらにそれらの結果を踏まえて研究者インタビュー調査を行い、得られた情報を総合的に整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方にご協力頂いた。御礼申し上げます。

野田 玲治（群馬大学 大学院理工学府 准教授）

II. プロジェクト基本情報

1. 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・液体燃料生産モデルシステムの開発

2. 日本側研究代表者名

野田 玲治（プロジェクト終了時 群馬大学 大学院理工学府 准教授）

（ 現在 同上 ）

3. 相手国（インドネシア共和国）側研究代表者名

Sri Djankung Sumbogo Murti（スリ・ジャンクン・スンボゴ・ムルティ）

（技術評価応用庁〈Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi : BPPT〉 工学博士）

4. 国際共同研究期間

2014年6月～2019年6月

¹ 2023年11月から2024年3月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

5. 研究概要

(1) 目的

インドネシアのプランテーションや農林産物集積・加工場等で発生するバイオマス廃棄物を原料にして、比較的容易に設置・運転・保守が可能なガス化と液体燃料生産プロセスを開発することであり、幅広い運転条件範囲でも不安定化しにくいループシール構造を持たせた「高度安定型内部循環流動層」、および、循環流動層の媒体としてインドネシアにおいて低コストで入手が容易な粘土触媒を採用してタールを除去する点に技術的特徴がある。

当初のプロジェクト目標は、「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」であったが、低圧メタノール合成設備をスケールアップしてデモンストレーション設備を建設する上で、計画段階での「適正技術」的なアプローチでは安全性等の問題があることが明らかになり、研究者から計画の見直しにより、最終的に次に示す目標とした。①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。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

プロジェクトは下記の 3 つの研究題目で構成され、それぞれのグループにて実施された。

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)

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、APEX グループ (特定非営利活動法人 APEX)、
BPPT グループ、ITB グループ (バンドン工科大学)、YDD グループ)

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、APEX グループ、BPPT グループ、ITB グループ、
YDD グループ)

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

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

高度安定流動層の確立では、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 が独自予算で進めた。粘土触媒の探索・最適化では、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。チャー抽出・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抽出/循環機構のデモンストレーションも中止とした。バイオマスの前処理および供給方法の確立では、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 (1~2 cm) 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。ガス化炉残渣の肥料化技術の確立では、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 (なお、プロジェクト終了時点では、灰残渣の混合肥料の施肥効果の試験を実施中で、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が予定された)。デモンストレーションプラントによる実証では、群馬大学および BPPT の協働により 50 kW 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た。タール処理技術の開発では、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。

研究題目 2. 低コストメタノール合成プロセスの確立

低コストメタノール合成触媒の開発では、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。 γ 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。低圧メタノール合成プロセスの確立では、合成ガス前処理プロセスとしてアルカリ洗浄による CO₂ 除去方法が開発され、模擬ガス試験により 90%以上の CO₂ 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%、H₂=67vol%では、水の生成量が大幅に低減でき、270 °Cで合成メタノール中の水分量は 0.5 wt%以下まで低減できた。ガス発酵法液体燃料生産プロセスの開発では、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。なお、デモンストレーションプラントによる検討は中止された。

研究題目 3. 人材育成とネットワーク形成

人材育成とネットワーク形成では、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。また、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。ネットワーク形成では、複数の国際セミナーを開催し、ニュースレターをプロジェクト期間中に 10 回（各 750 部）発行し、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。

III. 追跡調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

- ー 設置したベンチ・プラントやタール処理技術の検討は、現在休止中と推測される。BPPT

の予算で 2 年程度は研究を継続する予定であったが、インドネシアの省庁再編等の組織再編により BPPT が現 BRIN となり、関係者も異動した。また、COVID-19 の制限等もあり、現地との交流が余りできない状況であった。現在も、BRIN (旧 BPPT) の関係者とは、関係性を継続している。

- － 一方で、昨年から BRIN の博士研究員 (SATREPS プロジェクトに参加し学位取得) が NEDO の別プロジェクト (別プロセス開発) で活動を開始しており、野田研究代表者もそのアドバイザーを依頼されている。こういった状況から SATREPS 当時そのままとは異なる形で研究開発継続中と推測する。先方とのメール等による交流は良好な状態で継続されている。
- － 「SATREPS プロジェクト成果を活用した SDGs ビジネス化支援プログラム」において、COVID-19 直前に現地のプラント視察を行ったが、活用スキームの検討に留まっている段階である。プラント規模の拡大等、スポンサー問題で実現が難しい状況である。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

論文投稿：

- － 低コストメタノール合成については、インドネシア側で論文を発表している。日本側は、メタノールから炭化水素 (カーボンフリーの炭化水素) を得る研究を群馬大学で継続している。
- － 研究代表者の論文投稿では、流動層関連の論文が 1 編 (「Agglomeration and Defluidization of Silica Sand and Bentonite Particles during Empty Fruit Bunch (EFB) Ash Addition in Bubbling Fluidized Bed (BFB) Processes」(日本・化学工学、2021 年 7 月))、タール特性関連の論文が 5 編 (「Major Tar Compounds in Raw Producer Gas and Deposits from a Small Downdraft Gasifier: Analysis and Comparison」(BIORESOURCES、2020 年 2 月))、「The Effect of Moisture Content on the Tar Characteristic of Wood Pellet Feedstock in a Downdraft Gasifier」(APPLIED SCIENCE-BASEL、2020 年 2 月))、「Homogenization of Heavy Tar and Plastics by Thermal Co-treatment to Prepare Liquid Fuel Feedstock」(日本エネルギー学会誌、2019 年 11 月))、「The Influence of Wood Pellet Feedstock Water Content on Tar Component in Biomass System Using Downdraft Gasifier」(日本エネルギー学会誌、2019 年 5 月))、「Liquid Fuel Production from Biomass Tar by Hydrogenation」(IJSRP、2017 年 3 月))。

確立した研究手法の展開：

- － バイオマスのガス化技術はいくつかあるが、流動層を使う方法は高濃度ガスが得られるため、原料を採る目的に対しては有利である。このため、本プロジェクトを通じて、当該技術を用いたパイロットプラントを整備し、試験を行った。
- － プラント関連技術よりも副産物であるチャー (カリウムを含む炭) の肥料転用の反響が

大きかった。引用も多い。インドネシアのBPPTでは、国内の大学、研究機関と共同研究を行っているとのこと。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

〈装置の観点〉

- 一 日本において、バイオマスの流動層を用いたガス化技術は、荏原製作所やIHIが類似技術を有している。但し、群馬大学が有する流動層の技術とは別のものである。群馬大学には複数の循環流動層装置があり、いくつかの国内企業から実験利用や共同研究の依頼がある。

〈バイオマスガス化〉

- 一 バイオマスのガス化の観点からは、たとえば内閣府の「地域バイオコミュニティ」（群馬県）*に育成枠として登録され（2022年～）、その中のコアの技術として循環流動層ガス化技術を活用した地域の未利用バイオ資源のエネルギー化、炭化水素原料作製等の研究開発を検討中である。

*内閣府「地域バイオコミュニティ」育成枠

「群馬グリーン産業創出プラットフォーム」（Gunma Green Innovation Platform: G-GIP）

- ・ 参加機関：NPO北関東産官学研究会、群馬大学大学院理工学府、前橋工科大学、群馬県、桐生市、NPOバイオフォーラム、群馬再生可能エネルギー技術交流研究会
- ・ 基盤技術：発酵に寄らない熱分解プロセスによるガス化技術

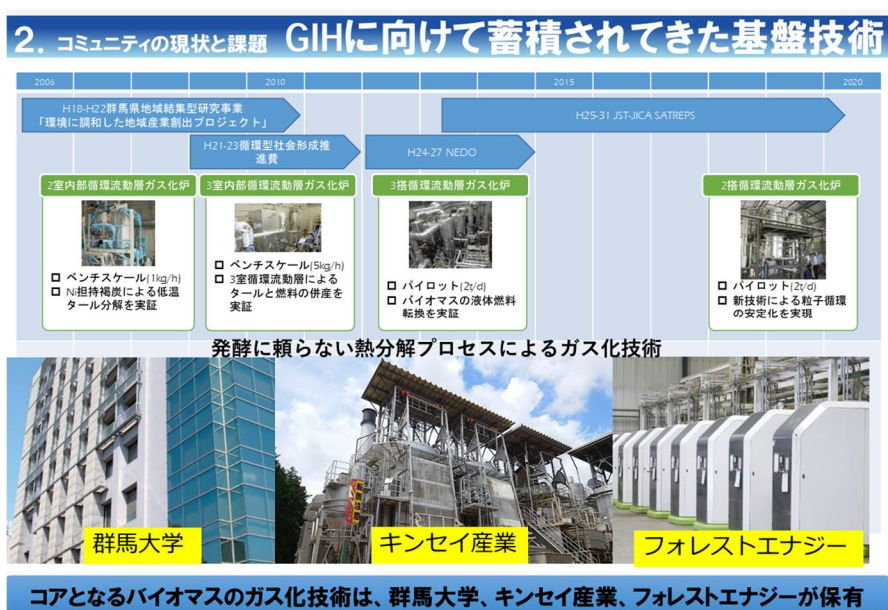


図1 グリーンイノベーションハブ（GIH）に向けて蓄積される基盤技術

出所：内閣府・育成バイオコミュニティ（登録）「群馬グリーン産業創出プラットフォーム」資料

(https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/bio_community_siryo.html)

SATREPS 関連研究者の参画：野田玲治 群馬大学准教授（バイオマスガス化技術の社会実装を担当）

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

- － SATREPS で博士学位を取得した人は前述の 1 名（インドネシア側）。他の BRIN メンバーは、インドネシアで其々のテーマで活躍中である。バンドン工科大とは余り交流は無い。日本からインドネシアへ派遣した学生は企業で活躍中。
- － 流動層の分野は中国が積極的であり、国際会議の場等において交流の話が増加しつつある。欧州にも水素製造等で流動層に興味を示すところがある。日本国内はむしろ少ない。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

- － プラント関連技術よりも副産物であるチャー（カリウムを含む炭）の肥料転用の反響が大きかった。引用も多い。
- － インドネシアでは大型の循環流動層のオペレーションが難しく、野田研究代表者もコロナ禍で訪問できなかったこともあり、活動内容は変わっている

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告（要望事項を下線で表示）

要望事項と現状：

- (1) 今後とも BPPT を中心とした相手国研究機関との研究協力体制を維持し、パイロットプラントでの実証試験を積み重ねてシステムとしての機能の検証、運転パラメータの最適化などを早急に進め、基本技術の確立に努めることが期待される。更に、社会実装のためには、両国で連携しながら特許の取得、国際標準化などを推進し、更に両国の民間企業に対する働きかけも積極的に展開してほしい。また、社会実装を想定する規模でのシステム全体のエネルギー収支、および、期待される CO₂削減量を明らかにしてほしい。
 - － インドネシアとの共同研究は、休止している状況である。国際標準化は、プラントであるため、想定していない。

- (2) 研究面では、タール関連の技術の検討がなお必要と考えられる。たとえば、ガス分解温度をパラメータにして、タール発生量、組成、後段の触媒への影響などについて定量的なデータ取得を進め、本技術開発を更に進めることを期待する。

- － SATREPS の成果を展開して研究を継続しているところである。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告（上位目標を下線で表示）

上位目標「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。⇒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。」

インドネシア側は今のところ国策で推進する意欲が無い。日本側は群馬県でこういったシステムを入れようとしている。

以上