

平成24年度 森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業
(小規模分散型製造システム：マイクロ波応用液化タイプ)

平成24年度成果報告書

概要版

平成25年3月

林野庁委託事業

栃木県森林組合連合会

1. 事業の概要

1-1 事業の背景と目的

喫緊の対策が求められている地球温暖化やエネルギー問題、さらには森林の多面的機能（二酸化炭素吸収固定、水資源の涵養機能等）発揮の効果等を背景に森林バイオマス資源への期待が高まっている。しかし、その利活用の現状は年間約 800 万トンに上る林地残材等のほとんどが未利用であるなど大きく立ち遅れている。

本事業は、そうした現状に対する対策として、森林・林業の現場等で利用可能なマイクロ波による木質バイオマスを液化する「バイオオイル化」技術やガス化技術によって、森林バイオマスの全成分を化学品原料や燃料等に無駄なく最大限の付加価値が得られるように利用を図ろうとするものである。

1-2 事業の概要

林地残材等の未利用森林資源をマイクロ波によって低分子化し、バイオオイルとして回収するシステムの技術実証を核として、未利用森林資源に高付加価値を付けて有効活用するトータルシステムの構築を目指す。そのために下記 6 項目を目標に事業期間は平成 20 年度から平成 24 年度で、栃木・山梨・茨城において実証を行った。

- ① バイオオイル化に適した集積・前処理システムの構築
- ② マイクロ波によるバイオオイル製造システムの技術実証
- ③ バイオオイルのリファイナリーによる高付加価値型利用システムの構築
- ④ バイオオイルの地産地消型変換・利用システムの構築
- ⑤ システムの運用の最適化手法の検討
- ⑥ ビジネスモデルの検討

2. 実施体制

2-1 実証体制及び事業運営体制

当連合会が事業主体となり、全体システムの方針作成を担い、主要要素技術については新日鉄住金化学株式会社（マイクロ波によるバイオオイル製造）、独立行政法人産業技術総合研究所（合成ガス製造システム）に再委託により実施した。

その他、事業実施地区の森林・林業関係団体や自治体などとの連携・協力を得ながら、実施した。

2-2 推進委員会

林地残材等の未利用森林資源を、有限な化石資源の代替としてエネルギーやマテリアルに利用するため、実証プラントを製造し、技術実証と技術改良のキャッチボールを繰り返しながら高効率化・低コスト化を図り、全国に普及可能な製造システムを構築するに当たり、必要な指導、助言を得るため、各分野の専門家を委員とする栃木県森林組合連合会森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業推進委員会を設置し、5 年間で 13 回委員会を開催した。

事業推進委員

所 属	専門分野等	職名	氏名
宇都宮大学	林政学	名誉教授	笠原 義人
大阪大学	森林生化学	特任教授	東 順一
九州大学	先導物質科学	教 授	林 潤一郎
山梨大学	総合工学	名誉教授	鈴木 嘉彦

3. 実証プラント（平成 20 年度～平成 24 年度）
 実証は下記 3 箇所で施設を整備し実証を行った。

サイト名	名称	実証する項目
栃木 サイト	高度変換利用モデル	部分オイル化により高効率を目標に高度変換利用を実証するスケールアップや、定常運転・連続運転の実証を行う。
山梨 サイト	オンサイト簡易利用モデル	全量オイル化により地産地消を目指したオンサイト簡易利用システムを実証する。（廃食油 BDF 製造より発生するグリセリンの利用、当システムから副生するメタノールの BDF 製造装置への利用）
つくば サイト	研究室規模の粒子循環型二塔式ガス化反応装置	高いガス化効率を得られ、H ₂ /CO 比の直接調整を目標にした運転を実証する。



栃木サイト



つくばサイト



山梨サイト

4. 実証内容（平成 20 年度～平成 24 年度）

技術実証は課題目標を達成するために、全体を「前処理加工の実証」「バイオオイル化条件の最適化の実証」「ガス化合成ガス製造の技術実証」および「トータルシステムの検証」に分け実証を行った。

（1）前処理加工の実証

バイオオイル化（以下液化という）のために必要と考えられる原料である木材の前処理加工について検証した。検証内容は主に「乾燥」と「破碎」が挙げられる。それぞれ、後段の液化に投入される原料の水分率や粒度という観点から、反応の効率や生成物の性状、反応時の温度や圧力・反応時間などに影響をあたえられられる。一般的に反応の効率等を考えると、低い水分率や細かい粒度が求められるが、その一方で、あまりに低い水分率や細かい粒度が求められると、前段の前処理工程におけるコストや手間などが、プロセス全体の経済性や効率に対して大きな負荷を及ぼす恐れがある。最終的には、前処理と液化を一体的に見て、全体を最適化する方向で検討する必要がある、プラントの仕様としても前処理をどの程度設備機構内に組み込むかという実用課題も重要であると考えられる。

（2）バイオオイル化条件の最適化の実証

本プロジェクトでは、バイオオイルに変換する対象として、広く林業により副生する間伐材などの低価値バイオマスを考えており、その粒度や乾燥度による影響を小さくするだけでなく、樹種や部位など広範囲な木材がバイオオイルに転換できるかを確認する必要がある。また、本プロジェクトではマイクロ波による加熱を特徴としており、従来の技術とは異なるため、設備特性に合わせた反応条件の最適化と製造したバイオオイルの特性を把握することにより、経済的に成立するビジネスモデル構築のデータを蓄積する必要がある。

（3）ガス化合成ガス製造の技術実証

高度変換利用モデルにより製造される主成分がセルロースの残渣をガス化し、汎用性の高い高品位な液体燃料をフレキシブルに製造出来る技術を実証した。合成ガスを効率よく作成し、ガス化効率の向上を行うために高価なタール吸収粒子が必要であるが、コストが増加してしまう。ガス化効率向上と、ガス化コストの低減とを両立するために、新たな発想の二重循環三塔型流動層ガス化炉を作成し実証した。

（4）トータルシステムの検証

バイオオイル化技術を中心に条件により様々な用途が考えられるシステムであるが、高度変換利用モデルと地産地消利用モデルの 2 通りに整理し、（1）～（3）で得られた結果を基に製造システムを構築しビジネスモデルを検証した。

5. 実証の目標と達成度、構築した製造システム

（1）前処理加工の実証

実証の達成度として、液化には水分の影響は受けない又は、液化反応には水分があった方がよいことが分かった。粒度についてもオガ粉よりチップの方が反応がよいことが分かった。それ以外に部位による反応の違いがあり、樹皮は液化が困難であった。

これらのことをふまえ、事業化のロードマップ及びビジネスモデルにおける前処理工程としては、反応条件のマイルドさを鑑みて、製材工場より発生するチップが最適と結論づけた。

(2) バイオオイル化条件の最適化の実証

実証の達成度は、製造効率の向上について、多様な樹種等への対応を検討し、反応には樹種は影響せず、部位が影響し、樹皮が溶解しにくい。しかし、部分溶解は可能であり、これより樹種等に合わせたリグニン、ヘミセルロースの溶解条件最適化は達成できたと考える。

つぎに、製造コストの低減のため、溶媒回収・再利用を検討した。溶媒回収は実験室および数tクラスの実証でも単蒸留により簡単にできることを確認し、回収した溶媒での溶解性は実験室で系統的に確認したのち、実証設備でも確認し、新溶媒と変わりが無いことを明らかにした。部分溶解ではほぼ100%、全溶解では溶媒の重合により約80%が回収可能であった。

また、溶媒そのもののコスト低減のため、BDF 副生グリセリンを除塩処理することで溶媒として使用可能であることを実証し、石油由来溶媒の使用量を限りなく少なくできることを実証した。

装置に対する分散設置仕様の確立について、実証設備は生産性を重視し、連続処理装置を選択した。しかし、木材粉スラリーは想像以上に閉塞しやすく、また固液分離しやすいものであったため、簡略化した連続処理装置でも化学工業に関する経験のない運転者にとって複雑な操作を必要とする機械であった。それでも運転方法は確立したが、装置の自動運転等については不可能と判断し、代替手段としてバッチ処理の検討を行い、送液系が無い場合安定した運転が可能であり、スケールアップも可能なことを明らかにした。

製造した製品価値の最大化のため、最初に製造物は触媒である酸の濃度により可溶化率が制御できることを明らかにした。出来たリグニン由来物の高付加価値利用を評価した結果、次のような結論を得た。

- ・ 製鉄原料用途 … 製品品質への阻害要素は無く使用可能であるが、付加価値の向上には更なる改善が必要。
- ・ 防腐剤 … 菌糸の繁殖阻害を期待したが効果は無かった。
逆に言えば、生物への悪影響がないと考えられる。

バイオオイルの燃料利用については、改質等を行い、燃料としての評価を実施し、廃油燃焼装置での燃焼、400t/day 石灰石キルンでの燃焼が可能であることを実証した。排ガス分析結果は、ボイラー排ガスの公害規制値以下の数値であり本システムはほぼゼロエミッションを達成できていると考えられる。

副産物の処理、高度利用について、木精油を含む凝縮水の回収は出来たが、木製油はヒノキ由来以外価値がないため、精製は行わなかった。部分溶解とすることにより、セルロースが回収出来た。利用方法としては、ガス化の原料の他、紙の製造が可能であった。さらにセルロースを再度溶解したオイルは化学原料として期待されるレブリン酸を主成分とすることを明らかにし、単離を検討したが、単離法の確立はできなかった。

安全対策としては、電磁波の漏えい防止、緊急停止等を確立した。

(3) ガス化合成ガス製造の技術実証

新たに設計した二重循環三塔型流動層ガス化炉をもちいて、ガス化炉内触媒粒子滞留時間を制御し、触媒粒子とタール吸着・改質能の最適化を行い、冷ガス効率70%を達成した。また、当初目標のとおり二重循環にすることにより、高価なタール吸収粒子と灰の分離が出来、粒子の長寿命化を達成した結果、コストの低減が出来た。さらに、別の触媒粒子の検証も行き、低コスト化の可能性を見いだした。しかし、平成23年3月に発生した大震災により装置が損傷し、実証目標すべてを検証することは出来なかった。

(4) トータルシステムの検証

1) オンサイト簡易利用モデル

溶解条件を全溶解として構築した製造システムのフローは次の通りであり、地産地消の燃料利用としてビジネスモデルを構築した。

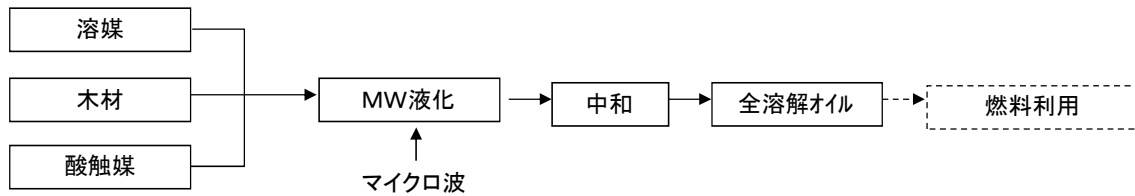


図1 グリセリン溶媒による全溶解の概念図

表1 物質収支

入力		出力	
原料(木材)	5.0 kg/h	バイオオイル	50.0 kg/h
(水分)	1.3 kg/h	(水分・精油)	1.3 kg/h
溶媒(EG)	45.0 kg/h	塩	0.4 kg/h
触媒	0.2 kg/h		
中和剤	0.2 kg/h		
入力計	51.7 kg/h	出力計	51.7 kg/h

2) 高度変換利用モデル

溶解条件を部分溶解として構築した製造システムのフローは次の通りであり、セルロースを高度に分離出来、化学原料利用のビジネスモデルを構築した。

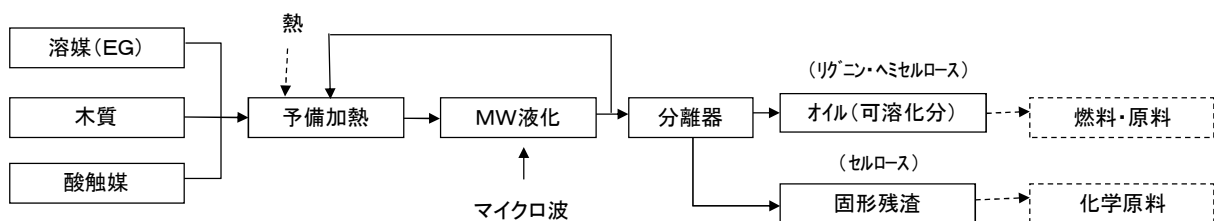


図2 部分溶解プロセスの概念図

表2 物質収支

入力		出力	
原料(木材)	10.0 kg/h	部分溶解オイル	24.6 kg/h
(水分)	10.0 kg/h	セルロースオイル	25.3 kg/h
溶媒(EG)	40.0 kg/h	(水分・精油)	10.1 kg/h
触媒	0.2 kg/h	塩	0.3 kg/h
中和剤	0.1 kg/h		
入力計	60.3 kg/h	出力計	60.3 kg/h

6. まとめ

年度毎の達成状況は次のページの通りである。

計画内容(仕様書)			H20 (達成状況)	H21 (達成状況)	H22 (達成状況)	H23 (達成状況)	H24 (達成状況)
課題項目	解決方法	達成目標					
①製造効率の向上	未乾燥チップや複数樹種が混入しても溶解可能なシステム確立 ・未乾燥チップ使用時の製造効率向上 ・多様な樹種等への対応 ・前処理(破碎)の簡易化・投入設備との一体化	・原料水分率 最大50%対応 ・樹種等に合わせた溶解条件最適化 ・投入フィーダでの破碎押込	乾燥器、粉砕装置の準備調査 オイル化条件の予備実験	粉砕粒径と乾燥度の分析(粒径、樹種、樹皮、含水率) 可溶性率測定・分析 ・針葉樹と広葉樹の比較 ・部位別(枝葉等)分析 ・剪定枝 オガ粉投入装置の検証(現装置では適さないと判断)	水分量を変数として検証 → スギに特化した検証 ・部位別可溶性率測定 ・剪定枝可溶性率測定	適切なバランス検証(乾燥度、粒径等) 可溶性率90%以上の諸条件設定	原料水分率50%対応達成 溶解条件最適化達成
②製造コストの低減	・原料の前処理(破碎・乾燥)の省力化・コスト削減 ・溶剤回収、再利用によるコスト削減	・乾燥、破碎の組合せ最適化、前処理省力化 ・溶剤回収率80%以上 ・回収溶剤の再利用		製造コスト・トータル検証(1t/日レベル) 回収可能値確認(実験室:85%) 回収方法検証(溶解した場合の影響調査) グリセリンを溶剤とする場合予備試験、基礎的検討	製造コスト・トータル検証(10~20t/日レベル) 溶剤60%を回収 回収した溶剤を分析 回収溶剤の再利用技術等検証 ピーカーレベルでの溶解試験 ベンチレベル(山梨プラント)での試験、詰まり課題確認	比較検証 実用化への最適規模検証 回収溶剤を利用した連続運転 溶剤回収率80%以上達成 課題解消(ベンチレベルでのグリセリン溶剤による実証・分析・検証)	製材工場のチップが最適と判断 グリセリン溶剤による溶解条件の確立
③分散設置仕様の確立	・小型化・コンパクト化・パッケージ化 ・ゼロエミッション確立	・小型設計、可搬化、ユーティリティ最小化、各工程のシステム化 ・生成物完全回収	実証施設整備		プラント改良・検証 ユーティリティシステム最適化 ・可搬仕様:ビジネス的に不利と判断 ・精油成分回収のため蒸気抑制	連続プロセスでのユーティリティシステム最適化の確立 ・目標回収率80%以上	バッチ型プロセスの検証 ゼロエミッション達成
④自動運転・省力化	・自動立上・停止、無人連続運転 ・メンテナンス簡便化	・自動立上・停止システム ・内部構造最適化、連続運転確立		マイクロ波照射装置の温度制御可能 圧力制御自動化検証 閉塞トラブル対策検討	・現行の立上・停止システム標準化 ・内部構造改良・最適化 ・セミバッチ(2~3h)で、連続運転の課題抽出	連続プロセスでの標準化 ・連続運転の実施・検証	無人連続運転は難しい メンテナンス方法は確立
⑤製品価値の最大化	・リグニン由来物質の高付加価値利用 ・製造物バランスの可変化 ・各製造システムのプロセス比較	・生成物利用検証 ・セルロース回収率可変化 ・セルロース分離度合等毎のコスト、設備等の比較検証		・軽油、ガス分析	・軽油、ガス分析データを基に基礎的検討 ・製造バランス可変化条件を実験室レベルで設定	生成物の高付加価値利用の検証 ・コークス炉での利用試験 ・化学原料用途の検証 ・製造物バランスの検証 ・実証設備での可変実証・条件検討	目標を達成
⑥改質等による燃料利用	・バイオオイル燃料化のための改質・利用方法の検討	・燃料評価		・バイオオイル製造 ・バイオオイル組成分析、燃料物性評価	・バイオオイル製造・分析 ・バーナー燃焼実験(各種運転時間、燃焼条件) ・排ガス分析	燃料評価 ・バイオオイル製造・分析 ・バーナー燃焼実験 ・ローターキル燃焼試験 ・コークス炉における利用検証、製鉄原料用途の検証	
⑦副産物の処理、高度利用	・木精油の回収、精製 ・セルロース回収、利用	・木精油の検討・評価 ・セルロースのガス原料利用検討		・副産物活用のための事前検討	・木精油:用途等情報の収集 セルロースのガス原料検証(現時点で適さないと判断)	回収可能だが、価値がないと判断した。	
⑧安全対策	・電磁波漏えい防止、緊急停止等の確立	・WTO基準(5cm離れた所で5mW/cm ²)	安全対策に配慮した設計・製作	・運転時の安全確認 ・耐久性確認	・運転時の安全確認 ・耐久性確認	・運転時の安全確認 ・耐久性確認	・作業標準確立 ・運転時の安全確認 ・耐久性確認
⑩合成ガスの利用					・合成ガス:準備試験、データ取得	・合成ガス:性状分析	冷ガス効率70%達成

林地残材を原料とした木材液化生産事業モデルの確立