

地域特性を考慮したバイオマスを用いた DME・発電ハイブリットシステムの設計・評価に関する研究

環境経済システム学分野
36637 浅野 琢

1. 序論

地球温暖化問題への対策として、再生可能エネルギーの利用が世界的に促進される方向にあり、特にバイオマスエネルギーは、持続可能な社会におけるエネルギー資源の1つの柱として、近年注目を集めている。日本の国土面積約3,700万haのうち2/3の2,500万haを占める森林から排出される木質バイオマスと、容器包装リサイクル法の下、再利用が進んでいないプラスチック製容器包装廃棄物を有効に活用することは、日本におけるバイオマスのエネルギー利用には必須の課題である。バイオマスのエネルギー利用の実現は、地球温暖化対策に加えて、エネルギー自給率の向上、国土保全、低品質な利用や廃棄されている木質バイオマスやプラスチック製容器包装廃棄物を有効活用することによる地域振興などの複合効果を有するものであり、社会的意義は大きい。

バイオマスは、広く希薄に分散して存在する、低密度分散型のエネルギー資源であり、発生した地域にて、可能な限り循環利用・カスケード利用される。つまり、地域内で発生したバイオマスは、その地域内で利用するのが適していると考えられ、バイオマスを基盤としたエネルギーシステムは、当然地域性を反映したものとなる。そのため、地域に適したエネルギーシステムは、地域性特性を考慮して、構築することが必要である。しかしながら、現在行われているのは、国内バイオマス資源の賦存量推計などの包括的な調査、研究が中心であり、地域特性を考慮したものは、ほとんど見あたらない。そこで、本研究では、地域特性を考慮したバイオマスを用いたエネルギーシステムの導入対象地域として、岡山県真庭地域を取り上げ、設定地域内における製材廃材やプラスチック製容器包装廃棄物を利用したバイオマスエネルギーシステムを設計した。

近年、バイオマスのエネルギー変換プロセスとして、ガス化が注目されており、本研究では、エネルギー供給源の多様化に貢献し、新規性の高い分散型燃料であるDMEに着目をした。DMEは、マルチソース・マルチユースな燃料であり、また、ハンドリング性に優れ、燃焼時に煤を排出しない、硫黄分・窒素分を含まない、健康に対する悪影響が無く安全などの特徴を有する、環境面で優れたクリーンな燃料である。

本研究では、設定地域における製材廃材やプラスチック製容器包装廃棄物を利用したバイオマスエネルギーシステムを設計し、DME・発電ハイブリットシステムにおけるLCA評価、経済性評価を通じ、システムの導入可能性を検討することを目的とする。

2. 当該地域の設定

本研究では、バイオマスを用いたエネルギーシステムの評価地域として、岡山県真庭地域を設定した。図1に示す地域内における木材流通経路において（図中のパーセンテージは重量比）、製材工場から排出される廃材のうち、引き取り価格がマイナスとなっている樹皮と、プラスチック製容器包装廃棄物を利用するシステムを検討した¹⁾。図2に真庭地域を1[km]×1[km]メッシュに区切った場合の、各製材工場から排出される廃材量の規模分布図を示す。

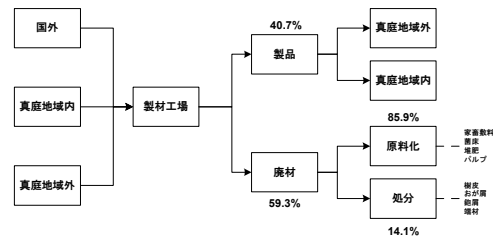


図1. 真庭地域における木材流通経路。

3. 評価シナリオの設定とDME合成量と発電・熱出力

3.1 DME・発電ハイブリットシステム

本研究では、図3のようにバイオマスを原料としたDMEと発電のハイブリットシステムを設計

した。本システムでは、バイオマスをガス化し、ガス化ガスを用いて DME を合成する。そして、DME 合成からの未反応ガスを用いて、ガスエンジン（またはタービン）を駆動させ、電気を発生させ、余熱は原料である樹皮の乾燥に用いる。

3.2 シナリオ 1

シナリオ 1 では、設定地域における家庭に、DME を LPG 代替として配布する。原料として樹皮 40ton/day

（含水率 42%）を用い、真庭地域内における各製材工場から DME 合成・発電プラントまでの、原料である樹皮の収集コストが最小となる場所を算出し、プラントを設置すると仮定した。ガス化ガスの組成割合は、ガス化剤として水蒸気に加えて空気をを用いるため、 N_2 の割合が多くなる。また、上記ガス化ガスを用いると、 N_2 のため DME を合

成する反応が阻害され、DME は 0.79ton/day 合成される。DME 合成の際に余った未反応ガスを用いてガスエンジンを駆動し、発電 715.3kW と排熱 3.6GJ/hour を出力する。なお、発電出力は、ガス化用、DME 合成用、その他所内電力用や木材乾燥用の所内電力として使い、残りを中国電力株式会社に売電する。

3.3 シナリオ 2

シナリオ 2 では、設定地域外にプラントを設置し、DME を LPG に混合して利用する。原料として樹皮 40ton/day とプラスチック製容器包装廃棄物 60ton/day（含水率 7%）を混合し、DME 合成・発電プラントを、岡山県倉敷市の沿岸部に設置すると仮定した。ガス化ガスの組成割合は、ガス化剤として水蒸気に加えて酸素を用いるため、シナリオ 1 に比べて、 H_2 、 CO の割合が高くなる。また、上記ガス化ガスを用いると、DME は 29.10ton/day 合成される。DME 合成の際に余った未反応ガスを用いてガスタービンを駆動し、発電 4,651.2kW と排熱 22.3GJ/hour を出力する。

4. LCA 評価

本研究における LCA 評価では、ライフサイクルの検討範囲として、原料の輸送、エネルギー変換の 2 段階を評価の対象とし、既存のシステムと本研究で設定したシステムを比較した場合における、 CO_2 排出量の削減分の定量評価を行った。なお、プラスチック製容器包装廃棄物を用いるシナリオ 2 においては、焼却処分されている場合と、リサイクルされている場合の、2 種類の既存のシステムを設定した。

4.1 検討範囲の設定

シナリオ 2 における LCA 評価概略図を、図 4（焼却処分されている場合）、図 5（リサイクルされている場合）に示す。

4.2 樹皮とプラスチック製容器包装廃棄物の CO_2 排出量の取り扱い

樹皮の燃焼に伴う CO_2 排出量は、カーボンニュートラルの概念より、ゼロとカウントする。また、プラスチック製容器包装廃棄物の燃焼に伴う CO_2 排出量は、既存のシステム（焼却処分、リサイクル）と本システム共に、プラスチック製容器包装廃棄物の燃焼に伴う CO_2 排出量は同量なため、その分の CO_2 排出量はカウントしないで、評価を行った。

4.3 樹皮の利用とプラスチック製容器包装廃棄物のリサイクルに伴う、既存のシステムと本研

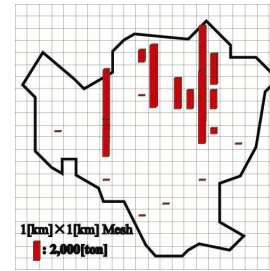


図 2. 真庭地域における製材工場からの廃材規模分布。

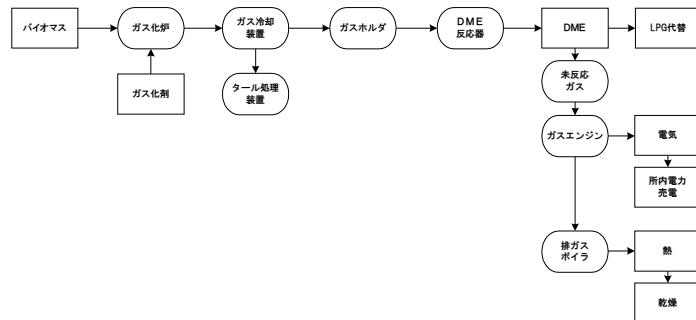


図 3. DME・発電ハイブリッドシステム概略図。

究におけるシステムとのCO₂排出量の差

既存のシステムでは、樹皮を焼却処分、燃料利用、堆肥・家畜敷料に利用しているが、本研究におけるシステムと共に、カーボンニュートラルの概念より、CO₂は排出されないとみなせる。また、既存のシステム（リサイクルされている場合）では、プラスチック製容器包装廃棄物をリサイクルして、用途ごとに製品を製造している。プラスチック製容器包装廃棄物をリサイクルした際の、インベントリ分析結果より、既存のシステムにおけるCO₂排出量を算出した。また、本研究におけるシステムでは、プラスチック製容器包装廃棄物をエネルギー利用するが、既存のシステムでリサイクルされる製品の量分だけ、その製品を製造する必要があるため、その分のCO₂排出量を算出した。

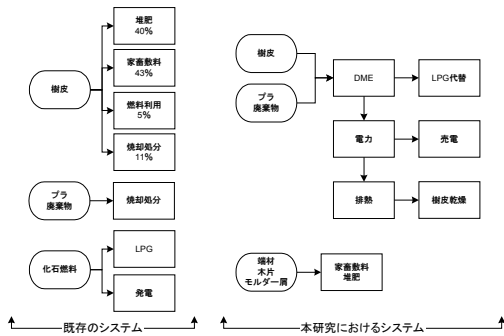


図4. シナリオ2におけるLCA評価概略図
(既存のシステム：焼却処分)

4.4 原料の輸送・エネルギー変換

既存のシステムにおいては、樹皮やプラスチック製容器包装廃棄物の輸送距離を仮定し、収集先から用途先まで輸送するとして、年間の総軽油使用量を算出した。また、シナリオ1,2においては、原料の収集場所からエネルギー変換プラントまでの距離を計測し、年間の総軽油使用量を算出した。

エネルギー変換におけるCO₂排出量では、ガス化炉部分²⁾とガス化ガスを用いてDME・発電を行う部分（中間設備を含む）³⁾の2箇所に分けて、評価を行った。

4.5 DMEのLPG代替、発電出力の電力代替

既存のシステムにおけるLPGや電力は、化石燃料由来のものなので、LPG代替としてDME、電力代替として本システムにおける発電出力を用いることで、CO₂排出量を削減できる。

4.6 本研究におけるLCA評価結果

以上より、本研究におけるLCA評価結果を表1に示す（単位は[ton-CO₂/year]）。

表1.LCA評価結果

項目 (CO ₂ 排出量)	シナリオ1		シナリオ2		
	既存のシステム	本研究におけるシステム	既存のシステム (焼却処分)	既存のシステム (リサイクル)	本研究におけるシステム
原料の輸送	14.5	18.0	230.4		723.4
エネルギー変換	—	358.3	—		943.7
LPG由来	488.0	—	17,969.1		—
電力由来	2,597.4	—	13,329.4		—
リサイクル由来	—	—	30,639.9	18,300.9	30,639.9
CO ₂ 排出量合計	3,099.8	376.3	62,168.8	49,829.8	32,307.0

表1より、シナリオ1では、既存のシステムと比較して、CO₂排出量を2.7×10³ton-CO₂/year削減することになった。また、シナリオ2では、プラスチック製容器包装廃棄物を焼却処分した場合の

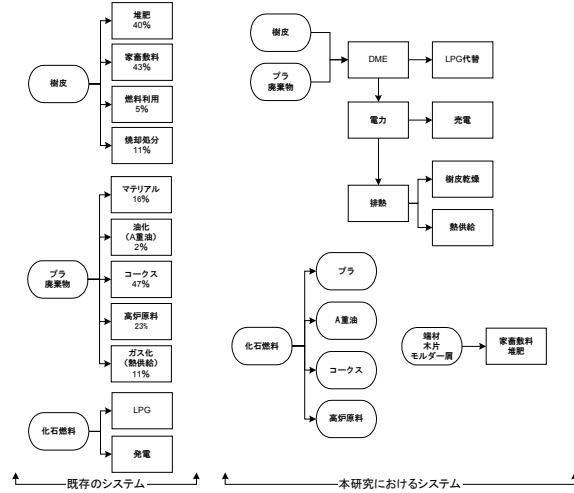


図5. シナリオ2におけるLCA評価概略図
(既存のシステム：リサイクル)

既存のシステムと比較して、CO₂ 排出量を 29.9×10³ton-CO₂/year、プラスチック製容器包装廃棄物をリサイクルした場合の既存のシステムと比較して、17.5×10³ton-CO₂/year削減することになった。

5. 経済性評価

5.1 シナリオ 1 における経済性評価

DME 配布にあたり、既存の LPG 充填所、LPG 容器、コンロなどの家庭設備を改造する必要がある。なお、樹皮の引き取り価格はヒアリングより、1,100 円/ton と設定した。表 2 にシナリオ 1 における経済性評価の結果を示す。以上より、プラント維持費を含まず、収入から支出を引いた収支はマイナスとなるため、シナリオ 1 は経済的に難しいことがわかった。

表 2. シナリオ 1 における経済性評価

収入	DME 販売収入	17.78×10 ⁶ 円/year
	売電収入	27.28×10 ⁶ 円/year
	樹皮の引き取り収入	16.06×10 ⁶ 円/year
支出	樹皮の輸送費	66.22×10 ⁶ 円/year
	DME 配送費	8.33×10 ⁶ 円/year
	プラント維持費	資本費×10%/year

5.2 シナリオ 2 における経済性評価

プラスチック製容器包装廃棄物の引き取り価格は参考文献より、74,200 円/ton と設定した⁴⁾。表 3 にシナリオ 2 における経済性評価の結果を示す。収入から支出を引いた収支はプラスとなり、プラスチック製容器包装廃棄物の引き取り価格[円/ton]と、分析対象期間を 21 年としたときに、事業成立を前提とした場合の IRR=10%が成立するための資本費[×10⁹ 円]との感度分析結果を図 6 に示す。プラスチック製容器包装廃棄物の引き取り価格を 74,200 円/ton と設定したとき、資本費の値は 8.1×10⁹ 円となった。

表 3. シナリオ 2 における経済性評価

収入	DME 販売収入	0.28×10 ⁹ 円/year
	売電収入	0.16×10 ⁹ 円/year
	樹皮の引き取り収入	16.06×10 ⁶ 円/year
	プラスチック製容器包装廃棄物の引き取り収入	1.62×10 ⁹ 円/year
支出	樹皮の輸送費	0.32×10 ⁹ 円/year
	プラント維持費	資本費×10%/year

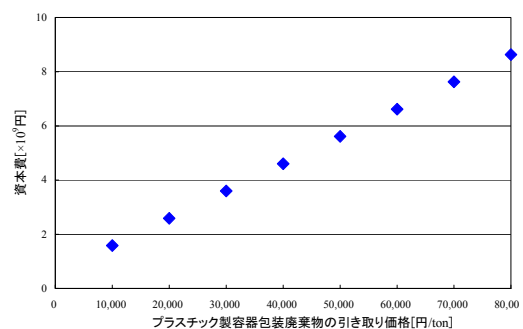


図 6. プラスチック製容器包装廃棄物の引き取り価格と資本費の感度分析。

6. 結論

本研究では、設定地域における樹皮やプラスチック製容器包装廃棄物を利用した DME・発電ハイブリッドシステムを設計し、LCA 評価、経済性評価を行った。

その結果、シナリオ 1 においては既存のシステムと比べて CO₂ 排出量を削減できるが、事業化ベースでの実現は、経済的に難しいことがわかった。また、シナリオ 2 においては、DME 合成量と発電・熱出力を決めるプラント規模やガス改質炉の仕様、原料の輸送距離は、事業成立の制約条件とはならず、DME 販売収入や売電収入といったエネルギーの販売価格ではなく、プラスチック製容器包装廃棄物の引き取り価格によって事業が成立し、既存のシステムと比べて、CO₂ 排出量を削減できることがわかった。

7. 参考文献

- 1) (財) 中国産業活性化センター; 岡山県真庭地域振興計画調査報告書, (2002) .
- 2) 堂脇 清志; ガス化によるバイオマスエネルギーシステムのライフサイクル分析, 東京大学博士論文, (2001) .
- 3) 本樹 祐樹ほか; ライフサイクル CO₂ 排出量による発電技術の評価, 電力中央研究所報告書, (2001), Y99009.
- 4) (財) 日本容器包装リサイクル協会; 再商品化事業者 落札単価 (加重平均), <http://www.jcpra.or.jp/>.