

京都バイオサイクルプロジェクトの概要及びシステム解析技術開発（第1報）

(正) 中村一夫^{1,2)}、○堀 寛明^{1,2)}、出口晋吾^{2,3)}、矢野順也⁴⁾、平井康宏⁴⁾、酒井伸一⁴⁾

1) 京都市環境局、2) 京都高度技術研究所、3) アーシン、4) 京都大学環境保全センター

1. はじめに

京都市は年間5千万人の観光客が訪れる国際文化観光都市であり、市内の多くのホテル・旅館等から生ごみが排出され、また神社仏閣や家庭等からの剪定枝や京都三山からの間伐材など豊富な木質資源が存在している。平成9年には、地球温暖化防止京都会議（COP3）が開催され、これを契機に地球温暖化防止に資する資源循環型システム構築の取り組みとして、全国に先駆けて廃食用油や生ごみなどのバイオマスをエネルギーとして有効活用するバイオディーゼル燃料化事業（BDF事業）やバイオガス化実証事業に取り組んできた。これを発展させる京都バイオサイクルプロジェクトを開始したので、その概要とシステム解析結果を報告する。

2. 京都市域のバイオマス賦存量

地域のバイオマス利活用促進を図るため、京都市域のバイオマス賦存量を既報¹⁾をもとに推定した。ここで、賦存量とは「発生量」および「利用可能量」を指す。「発生量」は、廃棄物系バイオマスのように毎年排出され収集・集積・処理されている量、あるいは樹木（人工林、タケ）のように年間成長量に相当し収穫・回収すれば持続的に利用可能な量とした。「利用可能量」は、発生量のうち現時点で有効利用されていない量（発生量－現在の有効利用量）とした。対象品目と推定方法、推定結果は表1および図1のとおりである。

- ・ 発生量は242.0万t-wet/年、利用可能量は201.9万t-wet/年（34.0万t-dry/年）である。
- ・ 利用可能量を品目別にみると、乾ベースでは紙ごみ、木くず・剪定枝、厨芥類、未利用樹、下水汚泥が多い。
- ・ 低含水率品目は直接熱利用、高含水率品目はメタン発酵利用を想定してエネルギー換算量を算出すると、全品目合計で5,454 TJ/年（T：10¹²）、原油換算量は14.1万kL/年であった。内訳は、紙ごみ、木くず等、厨芥類、未利用樹、下水汚泥が顕著であった。

今後の市域バイオマス利活用では、これらの品目について優先的に取り組む必要がある。

表1 バイオマス賦存量推定方法および推定結果

区分	分類	発生量		利用可能量		
		推定方法	10 ³ t-wet/年	推定方法	10 ³ t-wet/年	10 ³ t-dry/年
農産系	稲わら	収穫量×残渣発生原単位	7.0	焼却・処分割合（3～20%）、全国と同等と仮定	0.21	0.19
	もみ殻		1.4		0.17	0.15
	農業残渣		2.3		0.45	0.09
林産系	林地残材	素材生産量×残材発生原単位	2.3	残材のため100%利用可能	2.3	0.92
	間伐材	間伐面積×間伐材発生原単位	9.1	切り捨て間伐、100%利用可能	9.1	3.6
	未利用樹	民有人工林面積×50年サイクル主伐による収穫量+間伐材(3回)	88.9	新規伐採のため100%利用可能	88.9	35.6
	タケ	竹林面積×年間生長量	9.3	未利用、100%利用可能	9.3	4.6
畜産系	家畜ふん尿	飼養頭羽数×発生原単位	7.4	メタン発酵利用を想定し、100%利用可能（地域の実態は不明）	7.4	0.88
	厨芥類（家庭系、事業系、産廃）	収集・持込量×組成割合+民間再資源化量+産廃実態調査	222.1	廃棄物としての発生量は全量焼却のため100%利用可能	211.9	42.4
廃棄物系	有機性汚泥（産廃）	産廃実態調査	30.8	再生利用割合2%	30.8	3.1
	木くず・剪定枝、粗大、建廃、工場残材（産廃）	収集・持込量×組成割合+産廃実態調査	75.6	現状での再資源化量を減算、産廃の再生利用割合68%	64.4	47.5
	紙ごみ（家庭系、事業系、産廃）	収集・持込量×組成割合+集団回収+民間再資源化量+産廃実態調査	251.9	廃棄物としての発生量は全量焼却のため100%利用可能、産廃の再生利用割合79%	186.1	171.2
	廃食用油	家庭系：食用油購入量×廃棄率+事業系：全国の外食産業廃食用油発生量から事業所数比率で案分	5.3	家庭系：現状回収量を減算+事業系：大半が回収・再資源化済み	2.1	2.0
	し尿・浄化槽汚泥	市処理実績	38.0	全量公共下水道投入	0	0
	下水汚泥	発生固形物量から98%含水汚泥に換算	1,668.4	メタン発酵利用を想定、現状の消化利用分を減算	1,405.6	28.1
合計			2,419.7		2,018.6	340.5

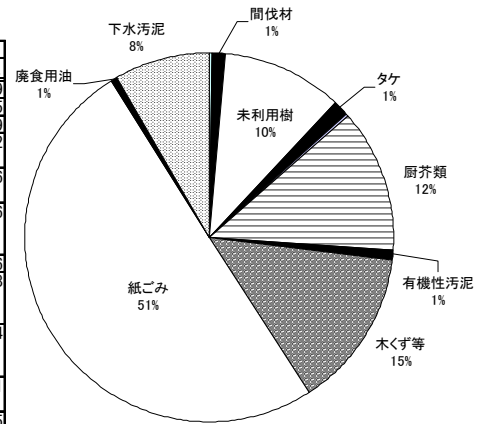


図1 利用可能量（ドライベース）

備考)「未利用樹」は民有人工林の蓄積状況から、「間伐」(4 齢級：30%、6 齢級：30%、8 齢級：30%、5 年間均等割り) + 「択伐」(11～20 齢級：30%、50 年間均等割り) + 「皆伐」(21 齢級～：100%、50 年間均等割り) による持続可能な収穫量を算出

【連絡先】 600-8813 京都府京都市下京区中堂寺南町 134 番地 (財) 京都高度技術研究所

堀 寛明 TEL：075-315-3692 FAX：075-315-6634 E-mail：horbj217@astem.or.jp

【キーワード】 バイオマス、温室効果ガス、ガス化メタノール合成、メタン発酵、バイオディーゼル燃料

3. 京都バイオサイクルプロジェクト ＜プロジェクトの目的および概要＞

以上の背景や地域特性を踏まえ、市民との協同による京都市廃食用油燃料化事業を核として、必要資材（メタノール）のグリーン化及び副産物（グリセリン）の循環利用を図り、地域特有のバイオマスを活用した物質・エネルギー回収技術の高度化・高効率化とその安定した統合システムの構築を目的として、京都バイオサイクルプロジェクトを平成19年度から開始した。プロジェクトの全体像および構成システムを図2に示す。5つの技術開発により、林産資源と都市型バイオマスを活用して効果的な地球温暖化対策の実現を目指す。

＜プロジェクトの目標および進捗状況＞

本プロジェクトでの実証技術の特長および最終目標、進捗状況を表2に示す。

表2 実証技術の特長、目標および進捗状況

開発項目	特長	最終目標	進捗状況（19年度）
ガス化メタノール合成技術	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能な「グリーンメタノール」を合成、「カーボンフリーBDF」を製造 建設廃材、剪定枝、間伐材などを原料とした熱分解ガス化メタノール合成技術を開発 循環流動層炉（常圧・空気吹き）でガス化、省エネルギーな低温低圧ワンパス方式の新型反応器により高効率MeOH合成 オフガス発電による自立分散型システムを開発 	<ul style="list-style-type: none"> 実用機の1/20規模での実証 炭素転換率95%、冷ガス効率65%、メタノール製造量30L/日の達成 	<ul style="list-style-type: none"> ガス化設備の建設・試運転を行い、性能目標を達成 計算シミュレーションにより、運転条件を最適化 メタノール合成設備の設計、許認可申請を実施
BDF原料拡大技術	<ul style="list-style-type: none"> 国内BDF事業の普及拡大に向けて、家庭系廃食用油回収システムの確立、未利用低品位油の賦存量把握 従来技術では燃料化困難な遊離脂肪酸、食堂等のトラップグリースなど未利用低品位油に対する前処理・燃料製造技術を開発 	<ul style="list-style-type: none"> 家庭系廃食用油など未利用原料油脂類の回収システムの確立 不純物を含む未利用原料油脂類に対する燃料化技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 未利用低品質油脂類の排出・処理実態ならびに性状を把握 低品質油の前処理技術（DME抽出）の開発、抽出油からのBDF製造法検討（イオン交換樹脂法）
高効率メタン発酵技術	<ul style="list-style-type: none"> バイオガスの発生量増大、発酵残渣・廃液発生量の低減を目指して、超高温可溶化技術（80℃、廃熱利用、薬剤不要）を組み込んだ乾式メタン発酵技術（都市型バイオガス化システム）を開発、BDF製造過程での副生グリセリン廃液の有効利用 発酵液からのアンモニア回収により排水処理負荷を低減、回収アンモニアの有効利用（焼却施設の脱硝塔等） 二段発酵としての水素発酵の最適基質選定のためのラボ試験、生分解プラスチックの発酵試験を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 実用機の1/10規模での実証（超高温可溶化プロセス組み込み高温乾式メタン発酵） バイオガス発生量20%増、残渣発生量50%減、排水処理量70%減 	<ul style="list-style-type: none"> 既存メタン発酵設備に超高温可溶化槽、廃グリセリン供給設備、残渣コンポスト化装置を増設、試運転 超高温可溶化槽の運転最適化に必要なデータをラボ試験により取得
バイオガス燃料電池利用	<ul style="list-style-type: none"> メタン発酵ガスの高効率発電・熱回収・クリーン利用が可能な精製・改質・燃料電池利用システム（SOFCを用いた最適な組み合わせ）を開発 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池へ接続可能なバイオガス精製・改質システムの提案 	（平成20年度から開始）
循環利用技術のシステム解析	<ul style="list-style-type: none"> 各技術の統合システム及び各技術での原料拡大に対応したモデル化及び解析評価を実施 原料収集システムについて地域での実験を通して最適な方法を提案 	<ul style="list-style-type: none"> 林産系バイオマス回収システムの確立 原料拡大対応システム解析モデルの確立 	<ul style="list-style-type: none"> 京都市の林産系バイオマスの排出実態および賦存量を把握、回収・利用実験の基礎フレームを提案

4. プロジェクトの導入効果

京都市域のバイオマス賦存量をもとに、本プロジェクトのCO₂削減効果を試算した。試算方法および条件は基本的に既報²⁾と同様であり、廃木材、廃食用油、可燃ごみを対象として、各バイオマスの収集・運搬から変換プロセスおよび回収物利用（既存製品の代替効果）、残渣の搬出・処分までを評価範囲とした。また、施設運用段階のみを対象とし、建設段階は対象外とした。表3に試算ケースを示す。

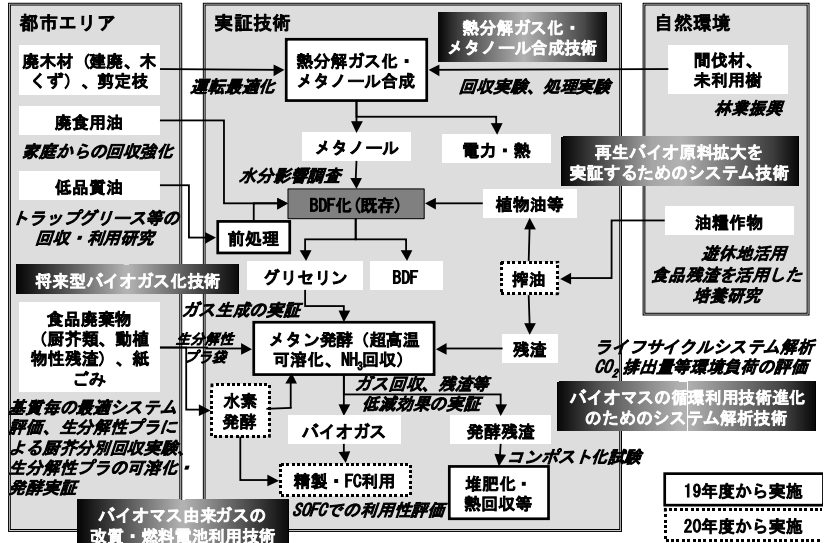


図2 プロジェクトの全体像

表3 試算ケースおよび試算条件

ケース	廃木材	廃食用油	可燃ごみ(厨芥類、紙、プラ)
	6,000 t (20 t/日規模)	家庭系: 12.5 万 L + 事業系: 142.5 万 L (5 kL/日規模)	家庭系: 28 万 t + 事業系: 16 万 t (1,500 t/日規模) * うち厨芥類は 14 万 t、事業系ごみ量は 100 t/年以上排出大規模事業者のみ
0	全量埋立 (アジア現状)	埋立	埋立
1	全量焼却 (国内平均、発電効率: 低 5.7%) (発電施設の平均、発電効率: 高 10.5%)	焼却	焼却 (可燃ごみと混合収集)
2	プラ分別収集 (容器包装リサイクル)		
3	京都バイオサイクルプロジェクト導入	①	BDF 化+廃グリセリンの焼却
		②	BDF 化+廃グリセリンのメタン発酵
		③	混合収集+機械選別+メタン発酵 (厨芥類および紙類を選別回収し発酵)
		④	熱分解ガス化メタノール合成
			混合収集+機械選別+メタン発酵 (厨芥類および紙類を選別回収し発酵) ごみ袋等に生分解性プラスチック袋を導入

【主要プロセスの概要及びパラメータ】

直接埋立ケース：厨芥・紙・油・木くずの分解に伴う CH₄ の排出を評価した。炭素分解率は 0.77、分解ガス中 CH₄ 割合は 0.5 とした。
 プラ分別収集ケース：容器包装プラの分別収集・再資源化を想定した。可燃ごみ中の容器包装プラ割合は約 14%、分別収集への協力率を 50% とした。分別収集された容リプラは有効利用されるとして、焼却回避に伴う CO₂ 削減と発電量減少分の CO₂ 増加を評価した。
 生分解性プラ導入ケース：可燃ごみ中プラ全体 (分別収集導入後) の 10% を代替するとして。生分解性プラの発熱量は石油由来製品の 1/2 とし、燃焼時の CO₂ 排出はゼロ、発電量減少分の CO₂ 増加を評価し、製造時の CO₂ 排出は今回試算では評価に含めていない。
 焼却プロセス：焼却処理に必要な電力は 100 kWh/t-wet、発電効率は国内平均ケースでは 5.7%、都市部など発電有り施設の平均ケースでは 10.5% とし、余剰電力の CO₂ 削減量は 0.353 kg-CO₂/kWh (全電源平均) で評価した。

プロジェクト導入効果の試算結果を図 3 に示す。

- ・ 全量埋立では有機物からのメタン放出 (温暖化効果が CO₂ の 21 倍) により 44.0 万 t の CO₂ 排出量、全量焼却処理ではプラスチック燃焼の影響が大きく 18.1~20.3 万 t-CO₂ となった (発電による CO₂ 削減含む)。
- ・ プラスチック分別収集導入により全量焼却と比べて 9.3 万 t の削減効果が得られ、化石資源由来プラスチックの使用削減及び 3R 拡充が重要であることが分かる。
- ・ プロジェクト導入によりさらに 3.6 万 t の CO₂ 削減効果が得られる。内訳は、① BDF 化で 0.3 万 t、② メタン発酵で 1.5 万 t、③ ガス化メタノール合成では大幅な増減なし (焼却発電と同等の CO₂ 削減効果で枯渇性資源を生産可能)、④ 生分解性プラ袋導入で 1.8 万 t の CO₂ 削減効果である。
- ・ プラ分別収集+プロジェクト導入により 11~13 万 t-CO₂ 削減され、現状の平均発電効率による全量焼却と比べて約 60% の削減効果である。

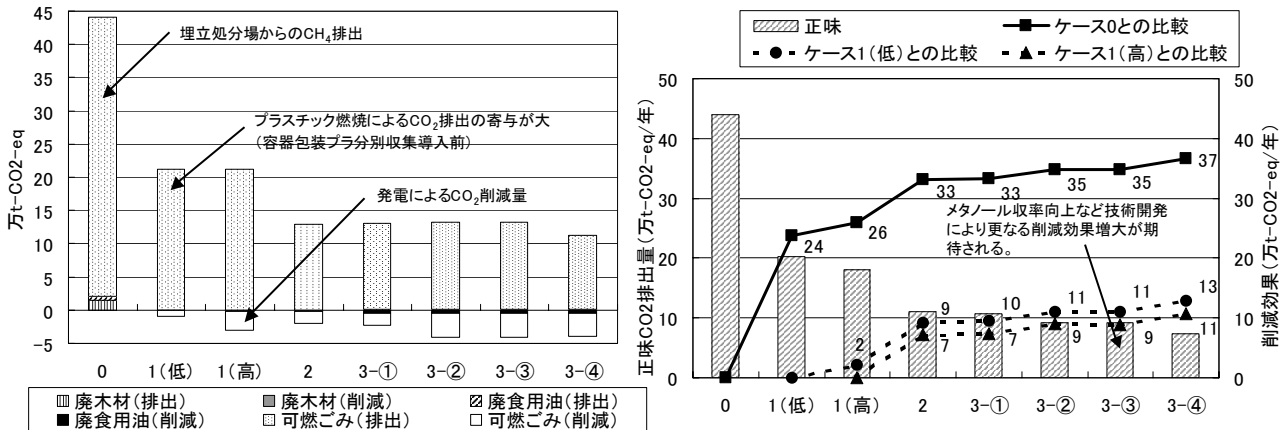


図3 導入効果試算結果

5. 結論および今後の展望

平成 20 年度は平成 19 年度の技術開発成果を踏まえて、整備した実証プラントの運転など技術開発の本格化を図り、技術開発目標達成の見通しを得ることとしている。また、国立環境研究所「バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発」(平成 15~19 年度)により基礎研究成果が見られた「水素・メタン二段発酵技術」や「固体酸化物型燃料電池へのバイオガス活用技術」を含めて研究展開を進め、CO₂ 削減効果の向上を目指して各技術システムのさらなる高効率化ならびに統合システムの十分な連携を図る予定である。

【謝辞】 本実証事業は環境省「地球温暖化対策技術開発事業」(平成 19 年度~)により実施されたものであり、関係者に謝意を表する。

【参考文献】 1) 国立環境研究所：平成 18 年度バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発 (2007 年 3 月) 2) 矢野順也ら：廃食用油をはじめとする京都バイオマス有効利用シナリオの LCA 評価, 第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 222-224 (2007)