

機関番号：14701

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710042

研究課題名 (和文) 健康および生態影響を考慮した都市系廃棄物由来のバイオ燃料の持続可能性評価

研究課題名 (英文) Sustainability Assessment of Bio-fuel from Urban Waste Biomass

研究代表者

山本 祐吾 (YAMAMOTO YUGO)

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：30379127

研究成果の概要 (和文) : 廃棄物由来のバイオ燃料として、重油代替の低炭素燃料であるバイオオイルを取り上げ、その生産・転換・利用システムの持続可能性/リスクを定量的に評価した。その結果、1) バイオオイル生成技術を下水処理プロセスに適用し、生成したバイオオイルを重油代替燃料として産業利用することによって、現状の下水処理システムに比して温室効果ガス排出量が半減しうること、2) 5%混合までであれば、 $0.1 \text{ mg/m}^3$  を超える  $\text{NO}_x$  濃度に曝露される人口が生じないことが分かった。

研究成果の概要 (英文) : In this study, the advantages in environmental impact and health effect of bio-oil from sewage sludge and kitchen garbage, which can be used as a fuel for direct combustion with natural gasses and heavy oils, was evaluated in terms of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions, and population exposure to  $\text{NO}_x$ . The results of analysis targeting Osaka City showed that about 50% of GHG emission reduction could be achieved through the introduction of disposer into kitchen garbage collection system and pyrolysis technology to produce bio-oil into sludge incineration process. In addition, we found that the population exposed to more than  $0.1 \text{ mg/m}^3$  of  $\text{NO}_x$  would not increase when the mixed heavy fuel oil would be combusted with 5% of bio-oil mixture ratio.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学，環境影響評価・環境政策

キーワード：環境影響評価，環境マネジメント，バイオ燃料，サステナビリティ評価

## 1. 研究開始当初の背景

近年、低炭素社会の構築が地球規模での関心となる中で、いわゆるカーボンニュートラルとされるバイオマス資源の利活用拡大に対する期待が大きく高まっている。バイオ燃料の生産・利用拡大は、化石燃料代替によ

て直接的には  $\text{CO}_2$  排出削減に寄与すると考えられる一方で、それが作物由来である場合には、食糧生産地との競合や環境収容力の超過を引き起こすとの指摘がなされている。また、Searchinger ら (2008) は、農地転換によって土地利用を改変する行為が、これまで植物

や土壌に吸収されていた CO<sub>2</sub> を大気中に放出することにつながることを検証している。

他方、自動車用燃料におけるバイオエタノール燃料 (E85) 利用の世界的な増加は、ガソリンに比べてオゾンによる健康被害や致死リスクを増大させるとともに、視覚刺激物であり、作物に被害を与える物質である PAN (パーオキシアセチルナイトレート) も増加させるとの予測もなされている (Jacobson, 2007)。これに対して、Penga ら (2008) は、ディーゼル燃料とバイオディーゼル混合燃料 (B20) のアルデヒド排出量の違いを測定し、B20 は特にホルムアルデヒドの排出量がディーゼル燃料に比べて 23% 減少することを明らかにしている。

以上のように、バイオ燃料の生産・利用拡大の是非については、地球的持続可能性やリスクの観点からさまざまな科学的意見や賛否が交わされており、統一的な見解には至っていない。しかし、原料生産の段階における CO<sub>2</sub> 排出量の増減、自然生態系へのインパクト (エコロジカル・フットプリントや生物多様性喪失など) といった間接的な負荷、さらに人間の健康に対するネガティブな影響を評価・勘定のバウンダリーに含めて、バイオ燃料導入の規模や効果、リスクを算定・評価することは、学術的な関心の一つになっている。

## 2. 研究の目的

下水汚泥を熱分解することで生成される液体燃料 (バイオオイル) は、産業利用する際の燃焼によって NO<sub>x</sub> 等の排出量が増加してしまうという可能性がある一方で、廃棄物由来のバイオオイルは、(1) 下水汚泥の循環的利用、(2) 化石資源代替による低炭素化、さらに (3) 地表資源の消費・消耗低減の側面において、化石燃料や作物由来のバイオ燃料よりも高い持続可能性が期待できる。そこで、本研究課題は、重油代替の低炭素燃料であるバイオオイルを具体的な対象財として取り上げ、その生産・転換・利用システムの持続可能性/リスクを環境・健康・生態影響の側面から定量的に評価することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 下水汚泥と厨芥類との混合オイル化システムの評価

ディスポーザを導入して厨芥類を分別収集するとともに、下水汚泥の処理プロセスに熱分解バイオオイル化技術を導入し、都市系廃棄物バイオマスを統合処理・再資源化するシステムが、温室効果ガスの排出削減と経済的側面にもたらす効果を分析した。大阪市をケーススタディの対象として、一般廃棄物や下水汚泥の発生、およびバイオオイルの需要を空間的に算出する GIS ベースのモデルを構

築した上で、清掃工場側と下水処理場側の双方にとってディスポーザやバイオオイル化技術の導入が有利となる局面を定量的に評価した。

### (2) 産業炉での燃焼利用に伴う NO<sub>x</sub> の大気中濃度の試算

産業用蒸気ボイラでのバイオオイル混合 A 重油の燃焼によって、排ガス NO<sub>x</sub> 濃度が高まるという懸念に対して、阪神臨海部でのバイオオイルの産業利用拡大による NO<sub>x</sub> の大気環境濃度の推定、および曝露人口の推計を実施し、ヒト健康への影響を評価した。その際、バイオオイル混合油を燃焼利用する工場の空間立地と NO<sub>x</sub> 排出量を GIS 上に特定した上で、産業技術総合研究所が開発した曝露・リスク評価大気拡散モデル (ADMER) を用いて分析をおこなった。

## 4. 研究成果

### (1) 下水汚泥と厨芥類との混合オイル化システムの評価

#### ① 廃棄物バイオマスの発生分布

大阪市における一般廃棄物、厨芥類 (生活系+事業系)、および下水汚泥の発生分布を算定した。その結果を図 1 および 2 に示す。総発生量は、発生ベースでそれぞれ 1,552 千 t/年, 445 千 t/年, 3,792 千 t/年, となった。

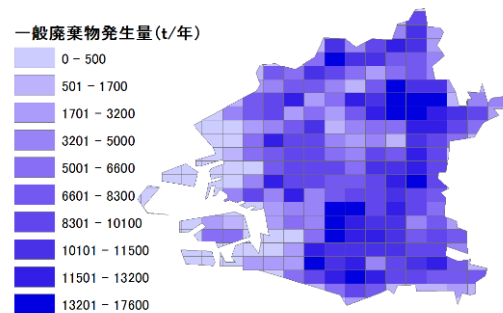


図 1 一般廃棄物発生分布

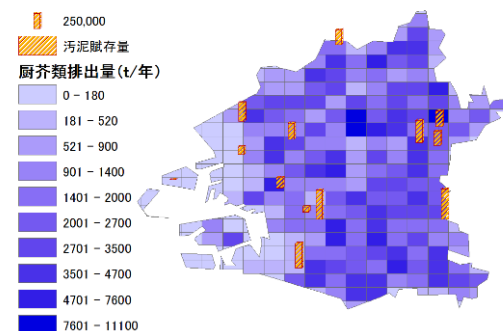


図 2 厨芥類・下水汚泥発生分布

### ② ディスポーザ導入による物質フロー変化

図3に、ディスポーザ導入前後の物質フローを示す。ディスポーザ導入によって、清掃工場での一般廃棄物処理量は28.7%減、下水処理場での汚泥処理量は117%増となる。なお、再生エネルギー・資源量は導入する転換技術ごとに異なるため、ここでは明記していない。

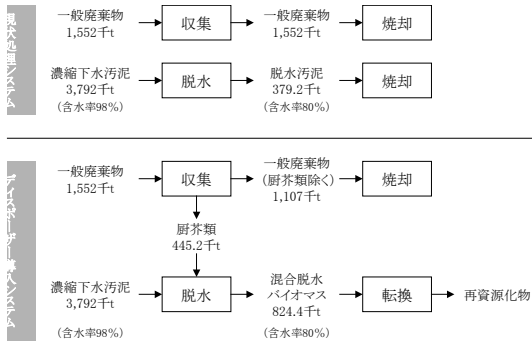


図3 ディスポーザによる物質フロー変化

### ③ 環境負荷量

まず、設定した比較ケースを表1に示す。5つの技術オプションをバイオマス転換プロセスに導入することに加えて、技術システムごとにディスポーザ導入の有無を設定し、計10通りのケースについてエネルギー消費量[GJ/年]、温室効果ガス(GHG)排出量[t-CO<sub>2</sub>/年]、運用コスト[円/年]を算定した。評価項目は、ディスポーザ利用、収集、水処理、汚泥濃縮、汚泥脱水、焼却、7つに分けた。以下に、その結果を示す。

表1 設定した比較ケース

導入技術	DP 導入	処理対象廃棄物	処理方式	ケース
通常焼却	無	I: 一般廃棄物 II: 下水汚泥	I: 通常焼却 II: 通常焼却	1
	有	I: 一般廃棄物(厨芥類除く) II: 下水汚泥+厨芥類	I: 通常焼却 II: 通常焼却	2
高温焼却	無	I: 一般廃棄物 II: 下水汚泥	I: 通常焼却 II: 高温焼却	3
	有	I: 一般廃棄物(厨芥類除く) II: 下水汚泥+厨芥類	I: 通常焼却 II: 高温焼却	4
熱分解 オイル化	無	I: 一般廃棄物 II: 下水汚泥	I: 通常焼却 II: オイル化	5
	有	I: 一般廃棄物(厨芥類除く) II: 下水汚泥+厨芥類	I: 通常焼却 II: オイル化	6
高温炭化	無	I: 一般廃棄物 II: 下水汚泥	I: 通常焼却 II: 高温炭化	7
	有	I: 一般廃棄物(厨芥類除く) II: 下水汚泥+厨芥類	I: 通常焼却 II: 高温炭化	8
低温炭化	無	I: 一般廃棄物 II: 下水汚泥	I: 通常焼却 II: 低温炭化	9
	有	I: 一般廃棄物(厨芥類除く) II: 下水汚泥+厨芥類	I: 通常焼却 II: 低温炭化	10

※DP: ディスポーザ, I: 清掃工場, II: 下水処理場

#### ・エネルギー消費量

エネルギー消費量の算定結果を図4に示す。5つの導入技術を比較すると、再資源化物のすべてが利用可能であるとしたとき、熱分解オイル化および低温炭化技術の導入は、従来

の廃棄物処理システムにおけるエネルギー消費量の削減に寄与することが分かる。特に、低温炭化による削減効果が顕著である。それに対して、高温焼却や高温炭化では、焼却あるいは炭化工程で追加的な燃料投入を必要とするため、エネルギー消費量が増加する結果となった。

ディスポーザ導入による変化を見ると、厨芥類を分別することで一般廃棄物の収集・輸送にかかるエネルギー消費が削減されるものの、一般廃棄物の焼却処理におけるエネルギー消費量の方が支配的であるため、全体のエネルギー消費量の削減には寄与しない。また、下水道における負荷の増加が大きいため、下水処理にかかるエネルギー消費量も増加する。しかし、熱分解オイル化(ケース6)や低温炭化(ケース10)のように再生エネルギー・資源の有効利用が進めば、現状の処理システムと比較してエネルギー消費量は削減可能となる。

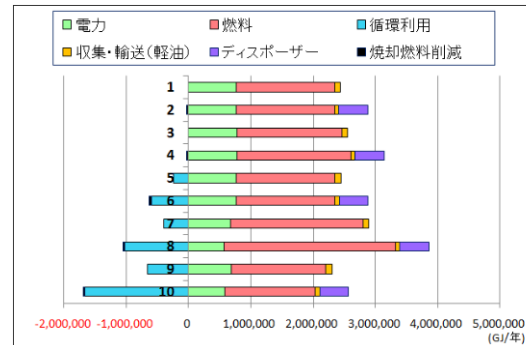


図4 エネルギー消費量の算定結果

#### ・GHG 排出量

GHG 排出量の算定結果を図5に示す。通常の下水汚泥焼却ではN<sub>2</sub>O排出量が大きいため、高温焼却を含めた技術導入によるN<sub>2</sub>O排出削減効果が大きい。また、再資源化物のすべてが利用可能であるとしたとき、熱分解オイル化(ケース5, 6)、高温炭化(ケース7, 8)、低温炭化(ケース9, 10)においてGHG排出量の半減が可能となる。他方、再資源化をおこなわずにディスポーザのみを導入する場合(ケース2, 4)、ディスポーザ導入に関わる負荷が増加する一方で、収集時や焼却時の燃料消費の削減が大きくないため、総GHG排出量は増加することになる。

以上の結果から、ディスポーザ導入は住宅での厨芥類の扱いを容易するものの、下水処理や汚泥脱水などのプロセスでの負荷増分が全体の環境負荷排出量に大きく影響するため、下水処理場側で環境効率の高い再資源化技術を同時に導入さなければ、GHG排出量が増加してしまうことに注意が必要であると言える。

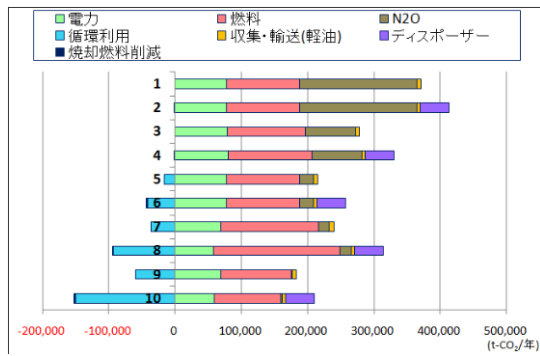


図5 GHG 排出量の算定結果

(2) 産業炉での燃焼利用に伴う NO<sub>x</sub> の大気中濃度の試算

ADMER を用いた NO<sub>x</sub> 大気中濃度の推計結果を図6に示す。バイオオイル混合率が上がるにつれて、工場の周辺地域で大気中濃度がわずかに高まる様子が確認できる。混合率が30%のときの大気中濃度に曝露する人口を推計すると、図7が得られる。混合率が30%であっても、0.1 mg/m<sup>3</sup>を超える高いNO<sub>x</sub>濃度に曝露される人口はゼロであることが分かる。このことから、本技術開発事業でめざす1%混合や、将来的な混合率の増加(3~5%)であれば、ヒト健康へのネガティブな影響を引き起こさずに、地域や産業システムの低炭素化に寄与しうることが示唆される。本項の冒頭で述べたように、本分析では各工場での排出基準値の超過については論じていないが、バイオオイルのA重油混合や燃焼が大気経由の健康リスクの増加に影響しないことを確認することができた。

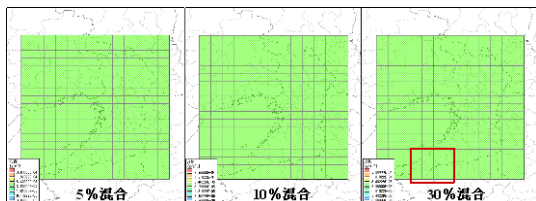


図6 混合率別 NO<sub>x</sub> 大気中濃度の推計結果

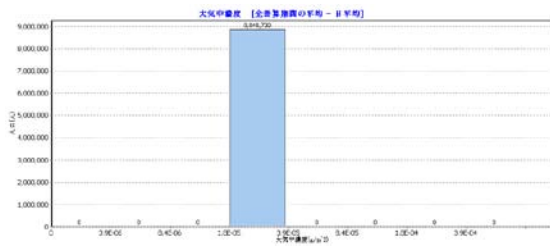


図7 混合率30%における曝露人口

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 高久慎太郎, 山本祐吾, 東海明宏, 吉田登, 盛岡通, 地域で発生する厨芥類・下水汚泥を対象とした循環利用システムの導入効果の評価, 査読有, 環境システム論文集, 38, 2010, 421-428
- ② 望月広祐, 山本祐吾, 中久保豊彦, 東海明宏, 国産バイオエタノール生産事業の費用対効果の推計, 査読無, 第38回環境システム研究論文発表会講演集, 38, 2010, 359-364
- ③ 西垣賢, 山本祐吾, 東海明宏, 輸送用バイオ燃料の導入拡大政策に伴うバイオエタノールの曝露推計および健康リスク評価, 査読無, 日本リスク研究会第22回研究発表会講演論文, 22, 2009, 55-60

〔学会発表〕(計2件)

- ① 山本祐吾, 乾裕紀子, 吉田登, 盛岡通, 東海明宏, 下水汚泥および一般廃棄物処理インフラ更新の統合管理による温室効果ガス削減効果の評価, 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2010年11月4日, 金沢市文化ホール
- ② 山本祐吾, 古野間達, 吉田登, 盛岡通, 下水処理インフラの更新マネジメントによる熱分解オイル化技術の導入効果に関するシナリオ分析, 環境科学会2009年会, 2009年9月10日, 北海道大学

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 祐吾 (YAMAMOTO YUGO)  
和歌山大学・システム工学部・講師  
研究者番号: 30379127

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし