

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21612001

研究課題名（和文） バイオマスエネルギーシステムの最適設計に向けたシステムズアプローチ手法の構築

研究課題名（英文） Development of systems approach methodology for optimized design of biomass energy system

研究代表者

中田 俊彦（NAKATA TOSHIHIKO）

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20260416

研究成果の概要（和文）：本研究では、バイオマス利活用を資源ノードから利用ノードに至る広義の技術社会システムと定義し、技術面と社会面の四種の評価基軸から構成される、システムズアプローチ手法を構築した。また、地域に散在するバイオマス資源を有効利用するために、地域特性を考慮した最適なバイオマスエネルギーシステムを設計した。これにより、変換技術の高効率化や物質リサイクル率の向上に加えて、地域への経済波及、低炭素社会への推進が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the methodology to evaluate the energy balance, economic impact, and environmental impact of biomass energy system is developed. The biomass energy system, which consists of resource node, transportation node, fuel production node, and energy conversion node, considering local characteristics is designed. As results of this study, the improvement of energy conversion efficiency and the rate of material recycle, the economic ripple effects in the local area, and the forwarding the low carbon society are expected.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：エネルギーシステム学

科研費の分科・細目：バイオマスエネルギー

キーワード：バイオマス、バイオフィューエル、エネルギーシステム、再生可能エネルギー、最適設計、地域特性、輸送問題、環境影響

1. 研究開始当初の背景

わが国では、これまで太陽光や風力発電等自然エネルギーについて、既存のインフラ設備との連携を重視するシステム利用研究が多くなされてきた。いっぽう、バイオマス資源については、以下のような問題や特徴が挙げられた。

- (1)発熱量が低く取扱いが困難な畜産・食品系廃棄物、燃焼利用が容易な木質系バイオマス資源など、取扱い上の特性が異なる。
- (2)エネルギー源として有効利用する技術の習熟度が低く、しかも設備費用が割高である。
- (3)バイオマス資源・燃料を効率的輸送する社会資本が未整備である。

(4)地域ごとに利用可能なバイオマス資源の特性が大きく異なる。

(5)バイオマス資源の多くが従来は廃棄物として有償にて処理してきた逆有償である。その結果、個別技術ごとのパイロットプラント導入が進むとはいえ、全体を俯瞰した施策やシステム性能の評価基軸が従来軸の延長上に留まっていた。したがって、エネルギー利用の物理的側面だけでなく、経済・社会的側面も取り入れた統合的な分析アプローチが求められていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地域に賦存するバイオマス資源を電力や熱エネルギーに変換し地域内で活用する、バイオマスエネルギーシステムの最適設計手法を、システムズアプローチに基づいて開発することである。具体的には、バイオマスエネルギーシステムを、有効熱エネルギー、物質循環、環境経済、地域社会の四基軸から、多面的に性能を評価する手法を構築する。さらに、最終的には各評価機軸から得られるシステム性能結果を統合して、設計したシステム全体の性能を総括して、統合評価が可能な手法を開発する。

3. 研究の方法

地域内に存在するバイオマス資源を対象として、エネルギー利用、マテリアル利用に加えて、環境への排出物に伴う外部不経済性、地域社会への導入・運用可能性を考慮する最適化モデルを以下の四課題に分けて設計する。システムズアプローチによる数理モデルの解析を通して、バイオマスエネルギーシステム設計手法を構築する。

- (1) 熱力学的有効エネルギー指標による評価 (熱エネルギー要素)
- (2) マテリアルフローによる物質収支評価 (物質循環要素)
- (3) 環境の外部不経済性の内生性 (環境経済要因)
- (4) 社会・経済的側面を含めた統合評価 (地域社会要因)

構築した手法を用いたケーススタディとして、具体的な資源、技術、地域を対象としてバイオマスエネルギーシステムを設計し、最適化ツール GAMS や地理情報システム ArcGIS 等の解析ツールを用いて、各基軸を定量的に評価する。

4. 研究成果

本研究では、(1) 対象地域のバイオマスエネルギー資源賦存量と利用可能技術の調査、(2) 地域エネルギーシステムの経済性と運用特性を評価するエネルギー経済モデルの開発、(3) 得られたデータをエネルギー経済モデルを用いて解析することによ

って、地域の気象、自然、エネルギー需要特性にふさわしい総合エネルギーシステムを設計、(4) バイオマス資源を地域社会にて利活用するエネルギーシステム設計手法を構築、(5) バイオマス利活用に伴う実用上の課題、利活用促進のためのバイオマス利用技術の目標性能を明らかにした。具体的な成果を以下に記す。

- ① 廃水処理に対する CDM を考慮したバイオガス回収利用システムの導入影響評価
東南アジアの開発途上国を対象として、廃水処理に嫌気性発酵槽を導入することを想定し、クリーン開発メカニズム (CDM) の影響を考慮したバイオガス回収利用システムを設計した。システムのフローを Fig. 1 に示す。削減した CO₂ 排出量を排出権クレジットとして考慮し、開発途上国における温室効果ガス削減費用を算出した。得られた温室効果ガス排出量を Fig. 2 に示す。これにより、温室効果ガス削減に伴う外部不経済性を内生化する手法を構築した。

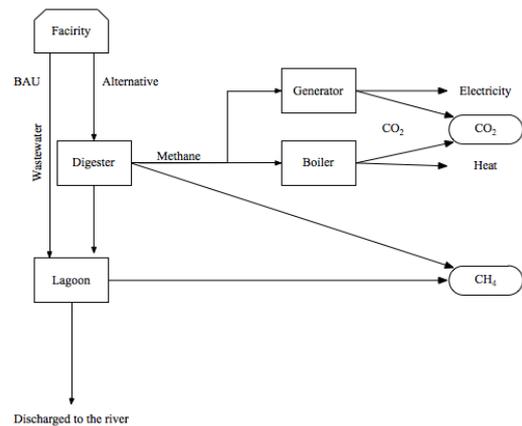


Fig. 1 廃水処理におけるバイオガス回収利用システム

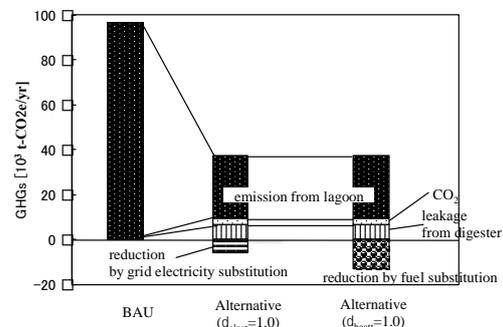


Fig. 2 バイオガス回収利用システムの温室効果ガス排出量の比較

② アジア地域における国際輸送を考慮した
 オイルパーム残渣利活用システムの設計
 東南アジアで賦存量が大きいオイルパ
 ム空果房 (EFB) を対象として、バイオマ
 ス資源を日本へ国際輸送し、エネルギー利
 用するシステムを設計した。各州の賦存量、
 道路状況などの地域特性を、地理情報デー
 タベース (GIS) を用いて解析し、輸送を
 最適化した。このデータを用いて、国内輸
 送と国際輸送の輸送距離とエネルギー消費
 量、複数の処理技術の特性などを考慮し、
 もっとも経済的なシステムを設計する手法
 を開発した (Fig. 4)。

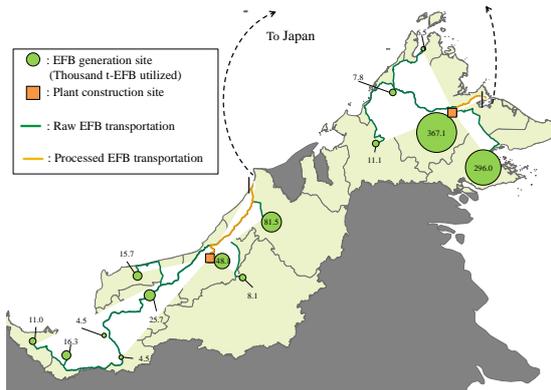


Fig. 3 燃料製造プラントの配置と輸送経路の最適化結果

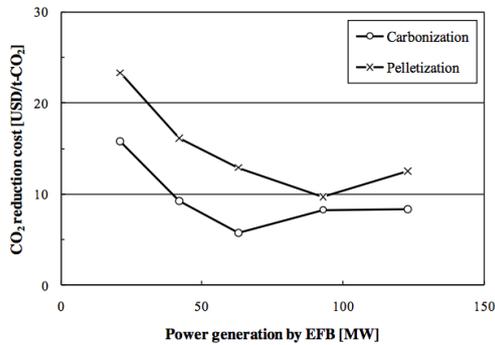


Fig. 4 EFB 利活用システムの CO₂ 削減費用

③ 微細藻類バイオマスを用いたバイオ燃料
 生産システムの性能評価
 微細藻類から油分を抽出してバイオデー
 ーゼル (BDF) を製造するシステムを設計
 した (Fig. 5)。道路や気象条件などの地域
 特性を、GIS (地理情報データベース) を
 用いてデジタル情報化し、産出可能なエネ
 ルギー量を算定する手法を策定し、BDF 製
 造コストを定量的に評価した (Fig. 6)。

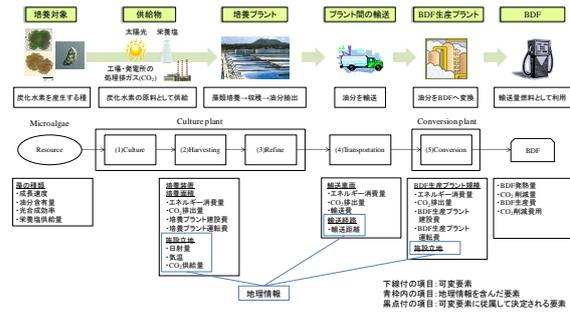


Fig. 5 微細藻類バイオマス利用システム

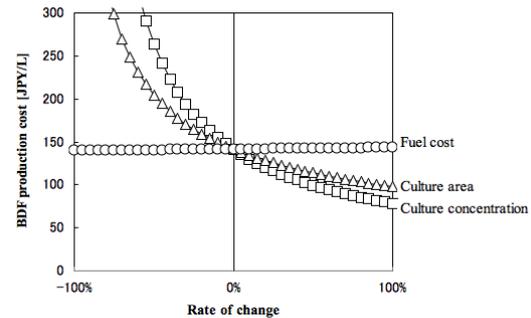


Fig. 6 BDF 製造コストの感度解析

④ 東アジア地域におけるバイオエタノール
 の国際供給システムの最適設計
 東アジアおよび東南アジアを対象として、
 エネルギー需要量大きい先進国と、エネ
 ルギー供給可能量大きい発展途上国との
 間でバイオ燃料を国際輸送するシステムを
 設計した (Fig. 7)。各国で栽培可能な作物
 種を選定し、土壌や気候条件などから賦存
 量を算出した (Fig. 8)。このデータを用い
 て、国ごとの作物価格、バイオ燃料製造に
 必要なエネルギー量、輸送距離などを考
 慮し、もっとも経済的な輸送システムを設
 計する手法を開発した (Fig. 9)。

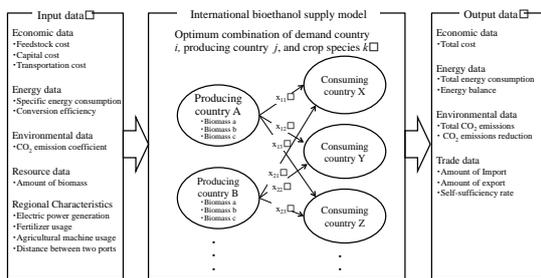


Fig. 7 バイオエタノール国際供給モデル

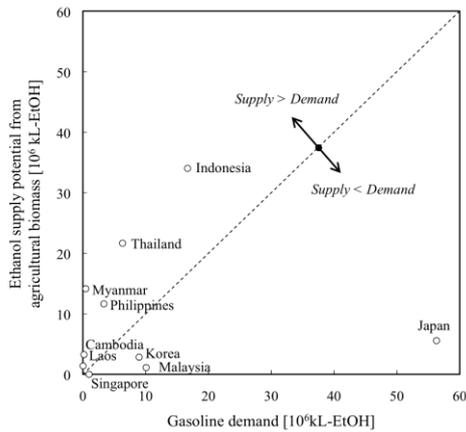


Fig. 8 対象国のガソリン需要量とバイオマス資源賦存量の関係

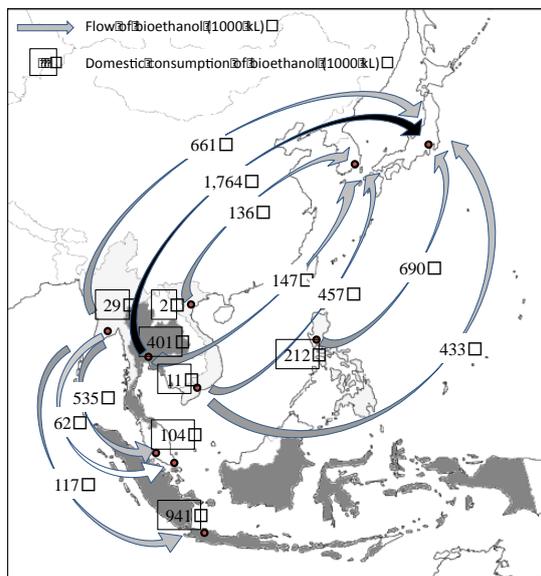


Fig. 9 東アジア地域での最適なバイオエタノール供給フロー

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 26 件)

- ① T. Furubayashi, T. Nakata, Potentials of GHG reductions from wastewater treatment for the CDM, SCIENCE CHINA Technological Science, 査読有, Vol. 54, 2011, 1649, 1654
- ② 高橋溪、古林敬頭、中田俊彦、國光洋二、東アジア地域におけるバイオエタノールの国際供給の最適化, 日本エネルギー学会誌, 査読有, 90 巻, 2011, 963-971
- ③ 大下紘史、古林敬頭、中田俊彦、地域特性を考慮した微細藻類由来バイオマス燃料生産システムの性能評価, 日本エネルギー学会誌, 査読有, 90 巻, 2011, 1047-1056
- ④ 木室洋介、古林敬頭、中田俊彦、下水汚

泥エネルギー利用システムのインベントリ分析による性能評価, 日本エネルギー学会誌, 査読有, 90 巻, 2011, 247-257

- ⑤ 山元一史、中田俊彦、矢部邦明、資源分布および輸送の最適化を考慮したバイオマス混焼システムの設計, 日本エネルギー学会誌, 査読有, 89, 2010, 42-52

[学会発表] (計 28 件)

- ① 赤尾真佑、古林敬頭、中田俊彦、アジア地域における国際輸送を考慮したオイルパーム残渣活用システムの設計および導入可能性評価, 第7回日本エネルギー学会バイオマス科学会議, 2012年1月18日, 盛岡
- ② Takaaki Furubayashi, Toshihiko Nakata, Design integration of biomass energy system for on-site utilization, The 8th Biomass-Asia Workshop, 2011/11/29, Hanoi, Vietnam
- ③ 古林敬頭、中田俊彦、バイオガス回収利用システムの設計とCDMに基づく性能評価, 第8回日本エネルギー学会バイオマス科学会議, 2011年1月12日, 東京
- ④ Toshihiko Nakata, DESIGN OF A SMART ENERGY SYSTEM FOR LOW CARBON SOCIETY, International Symposium on Low Carbon & Renewable Energy Technology, 2010/11/17, Jeju, Korea
- ⑤ 木室洋介、古林敬頭、中田俊彦、インベントリ分析による下水汚泥エネルギー利用システムの性能評価と感度解析, 第5回日本エネルギー学会バイオマス科学会議, 2010年1月21日, 東京

[その他]

ホームページ等

<http://www.eff.most.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 俊彦 (NAKATA TOSHIHIKO)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20260416

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：