

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23404029

研究課題名(和文) 東アジアバイオマス国際ネットワーク構築に向けた技術シナジーのフィージビリティ

研究課題名(英文) Feasibility study on synergy technology of biomass supply networks in east Asia

研究代表者

中田 俊彦 (Nakata, Toshihiko)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20260416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、東アジア地区に散在するバイオマス資源のエネルギー相互利用システムの構築をめざして、各国の資源賦存量を調査して、バイオマス利活用に伴う経済波及効果を明らかにした。バイオマス資源として、米、キャッサバ、トウモロコシ、サトウキビ、サツマイモ、小麦の各賦存量を、GISとFAO統計データを用いて評価した。エネルギー変換技術の今後の進展も考慮した。ASEAN各国のケーススタディを通して、CO2排出量が最小となるための、各エネルギー変換技術の組合せによるシステム全体における技術シナジー効果を明らかにし、東アジア地域におけるバイオマスのエネルギー利用ポテンシャルを定量的に示した。

研究成果の概要(英文)：This study has evaluated the potentials of biomass resources and technologies, and economic ripple effect by using biomass energy in the East Asia. Potential of biomass resources such as rice, cassava, maize, sorghum, sugar beet, sugar cane, sweet potatoes, and wheat are evaluated by using the geographical information system (GIS) and FAO database. The database of conversion technologies considering the learning effect is developed. As a case study, the economic ripple effect of bio-ethanol production is evaluated by using inter-regional Input-Output table of 9 countries of ASEAN estimated from the GTAP-7 (Global Trade Analysis Project, ver. 7). Two cases are considered. One is that the bio-ethanol needed to E10 in each countries is produced in their own countries. Another is that the bio-ethanol production location is optimized with CO2 emission minimization, and the international transportation is considered.

研究分野：エネルギーシステム工学

キーワード：バイオマス 再生可能エネルギー 技術評価 バイオ燃料

1. 研究開始当初の背景

バイオマス資源をエネルギー源として活用する事業は、日本だけでなく世界各国で盛んに進められている。東アジア各国(日本、中国、韓国および東南アジア諸国)の中でもタイでは、精糖用のサトウキビ残渣からエタノールを生産する大型事業が着実に進み、すでに国内での自動車用ガソリンは E10 (バイオエタノール 10 パーセント混合) が標準規格として流通している。マレーシアやインドネシアでは、パームオイルがバイオディーゼルとして市場に本格投入されている。また、ブラジルから日本へのバイオエタノールの輸出事業に見られるように、単一の商品価値として先行しているビジネス事例もある。

単一バイオマス資源を対象とするシステム研究は、Cormio (2003) や Dornburg (2006) など最適化手法を用いた数理モデル解析などが近年注目を集めている。また、バイオ燃料の経済性を評価した先行研究として、Wright らは穀物からエタノールを製造する第一世代のシステムと、セルロース系から製造する第二世代のシステムの経済性を比較している (2007)。国内を対象とした事例として、朝野らは木質系バイオマスや農業残渣を利用したバイオエタノールの生産コストと CO₂ 削減コストを求めている (2007)。環境性を評価した先行研究として、Lavigne らはトウモロコシから生産される第一世代と、茎葉から生産される第二世代のバイオエタノールのエネルギー収支を比較している (2007)。アジアの研究としては、Nguye らがタイにおいてキャッサバから製造したバイオエタノールを用いた E10 の導入によるエネルギー収支と CO₂ 削減効果を示した (2008)。しかし、先行研究の多くは一つの国や地域、あるいは資源を対象としており、複数のバイオマス資源と国を同時に扱う研究事例はいまだに例がない。東アジア地域圏の国際取引を想定したバイオマス地勢データベースを開発することにより、東アジアにおける技術シナジー効果を定量的に示し、バイオマス資源のエネルギー利用ポテンシャルを技術的側面から明らかにすることができる。

2. 研究の目的

本研究は、東アジア地区に散在するバイオマス資源のエネルギー相互利用システムの構築をめざす。具体的には、(1)各国のエネルギーセキュリティの強化、(2)各国の二酸化炭素排出量の低減、(3)バイオマス産業の成長による経済波及効果の向上を通して、東アジアの低炭素社会の実現に資することを目的とする。東アジア各国の海外フィールド学術調査を実施して、バイオマス資源の賦存量、エネルギー変換技術ポテンシャル、収集運搬ルート等の要因データの関係を多層で分析可能なリレーショナルデータモデル(バイオマス地勢データベース)を開発する。各プロセスでの技術の組合せによる、システム

全体における技術シナジー効果を明らかにし、東アジア地域におけるバイオマスのエネルギー利用ポテンシャルを明らかにする。

3. 研究の方法

東アジア各国の海外フィールド学術調査を実施して、バイオマス資源の賦存量、エネルギー変換技術ポテンシャル、収集運搬ルート、などの要因データの関係を多層で分析可能なリレーショナルデータモデル(バイオマス地勢データベース)を開発する。このデータモデルを利用して、経済性、持続可能性を評価すると共に、国際取引のベネフィット分析を行う。

(A) バイオマス資源の賦存量の現況調査と将来ポテンシャル評価(バイオマス資源量調査)

(B) エネルギー変換技術の現状調査と将来ポテンシャル評価(エネルギー変換技術調査)

(C) 多層リレーショナルデータモデルの開発(地勢データベース作成)

(D) 社会・経済的側面を含めた統合評価(データモデルの検証)

4. 研究成果

(1) 大規模収集を考慮した木質バイオマスのエネルギー利用システム設計と混焼発電への応用

本研究は、資源の伐採からエネルギー変換までを対象範囲として、複数の国内資源を考慮した木質バイオマスのエネルギー利用システムを設計することを目的とする(Fig. 1)。また、東北地方を対象としたケーススタディを通して、システム性能をエネルギー収支、経済性、CO₂ 排出量の 3 指標にもとづいて定量評価した。

システムの構成要素として、資源の収集、前処理(乾燥、チップ化、ペレット化)、エネルギー変換の 3 つを考慮する。また、各工程は、資源発生地点(伐採、集積)、前処理施設(乾燥及び燃料製造)、需要地点(エネルギー変換)の 3 地点で行われるとして、各地点間における資源及び木質燃料の輸送を考慮する。各工程のエネルギー消費量から、システム全体のエネルギーフローを明らかにした(Fig. 2)。また、インベントリ分析を用いて、木質バイオマス供給コスト、CO₂ 排出量を明らかにした。

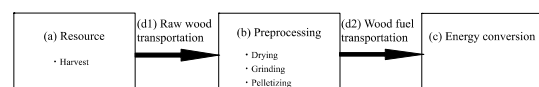


Fig.1 システム構成要素

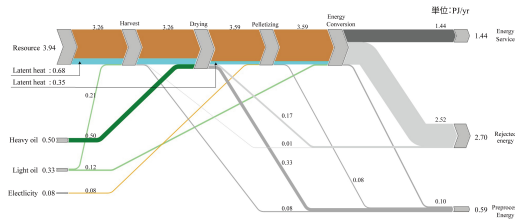


Fig. 2 ペレット混焼のエネルギーフロー

(2) 技術習熟効果を考慮した。エネルギー経済モデルの開発

本研究では、技術進歩の効果を取り入れて、地球温暖化緩和のための技術を定量的に評価可能な手法の開発を目的とする。二因子習熟曲線(Two-factor learning curve)にもとづいて技術進歩をモデル化し、これをエネルギー経済モデルに内生化する。対象技術として、火力発電に伴う二酸化炭素排出の大幅な削減が可能なCCSシステムを考える (Fig. 3)。経験による学習と研究開発の成果が、CCSシステムの導入可能性に及ぼす影響を明らかにした。

本研究の応用として、CO₂ 排出量の削減目標を前提として、それに見合う経済的な導入設備規模を論じる展開が考えられる。ある目的を達成するための研究開発投資の対象技術、波及効果、投資のタイミングと適正規模などを、モデル解析によって事前に複数のシナリオから選択して費用効果を高めるアプローチ手法は、今後ますますその役割の発揮が期待できる。

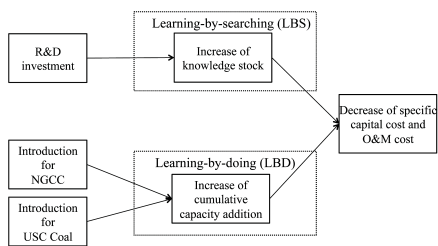


Fig. 3 化学吸着の技術進歩要因

(3) 熱力学的指標エクセルギーによる第四世代地域熱供給システムの設計

弘前市を対象地域とした地域熱供給システムを設計して (Fig. 4)、エクセルギー指標に基づく熱効率及び経済性を定量評価した。地域熱供給システムの燃料として、都市ガスと廃棄物系バイオマスを検討した。このとき、対象地域の資源賦存量は、熱需要量の21%となった。得られた結果から、地域熱供給システムは、既存のシステムに比べて熱効率は低くなるが、エクセルギーコストは安価となった (Fig. 5)。

地域熱供給システムは、80 度程度の温水を熱媒体とするため、温度が低い排熱や、質が低いエネルギー資源を有効利用することができる。そのため、他のバイオマス資源や、コージェネレーションの排熱を利用することで、地域熱供給システムの熱効率を向上することができると思われる。

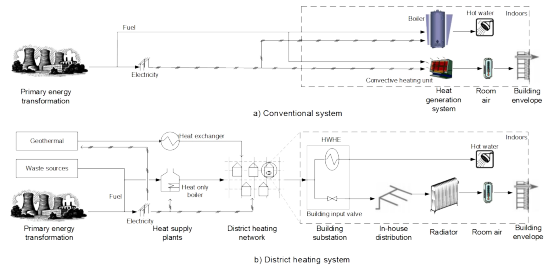
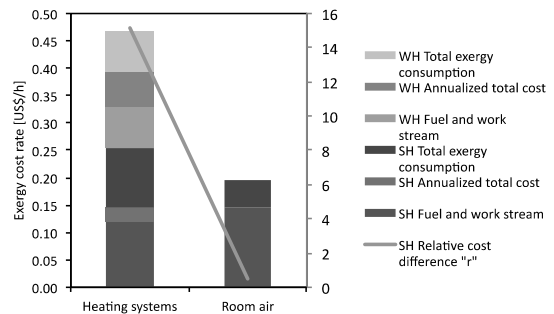
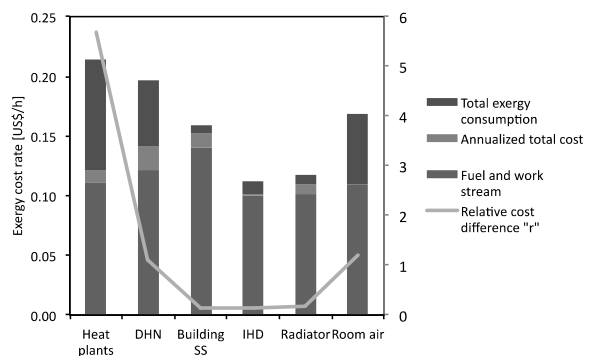


Fig. 4 熱エネルギーフローの構成要素



a) 既存のシステム



b) 地域熱供給システム

Fig. 5 エクセルギーコストの比較

(4) 混合整数計画法を用いた自動車用バイオエタノールのサプライチェーンの設計

日本における自動車用バイオエタノールのサプライチェーンを設計した。原料の栽培、収集及び輸送、バイオエタノール製造、バイオエタノールの需要地への輸送をシステムの構成要素とした。原料およびバイオエタノールの輸送は、地理情報システムを用いて、輸送時間最小化を目的関数として最適化した。栽培するバイオマス資源の種類、バイオ

エタノール製造プラントの規模と配置、原料およびバイオエタノールを含めたシステム全体のマテリアルフローを、コスト最小化を目的関数とした混合整数計画法を用いて明らかにした。得られた結果から、サプライチェーン全体のエネルギー収支、温室効果ガス排出量、経済性を定量的に評価して、システム全体のエネルギーフローを明らかにした (Fig. 6)。

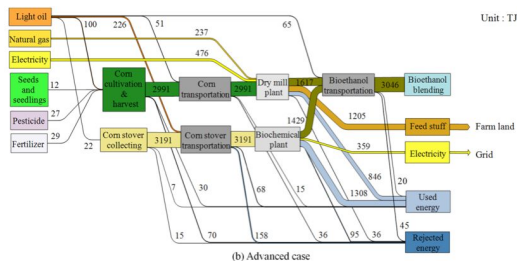


Fig. 6 バイオエタノール製造のエネルギーフロー

(5) 産業連関分析によるアジア諸国のバイオマス燃料製造に伴う経済波及効果

東南アジア諸国連合 (ASEAN) の 9 カ国を対象として、各国が E10 を達成するためのバイオエタノール製造に伴う経済波及効果を、産業連関分析を用いて定量評価した。GTAP-7 (Global Trade Analysis Project, ver. 7) を基にした産業連関表と、高橋ら (高橋, et al., 日本エネルギー学会誌, 2011) の最適化モデルを組み合わせて、CO₂ 排出量が最小となる地域と資源の組み合わせを明らかにした。得られた結果から、対象国がそれぞれ自国の需要を満たすようにバイオエタノールを製造する場合に比べて、資源が豊富で安価に製造可能な国で生産して需要量が多い国に輸出する場合は、CO₂ 排出量は少なく、経済波及効果が大きいことが明らかとなった (Table 1)。

Table 1 産業部門の波及効果

Origin	Plant construction investment				Annual expenditures (except for capital costs)			
	Input	Share	Induced prod.	Share	Input	Share	Induced prod.	Share
Destination								
Case 1 (Self-sufficiency within each country)								
Agriculture	33	0.01	161	0.01	1,686	0.97	1,730	0.50
Mining	0	0.00	374	0.02	0	0.00	16	0.00
Manufacture	1,965	0.38	6,181	0.41	19	0.01	390	0.11
Public service	2,999	0.57	5,829	0.39	9	0.01	936	0.27
Other service etc.	231	0.04	2,425	0.16	19	0.01	357	0.10
Total	5,228	1.00	14,970	1.00	1,733	1.00	3,429	1.00
Case 2 (Production quota within ASEAN region)								
Agriculture	208	0.03	428	0.02	1,764	0.96	1,762	0.51
Mining	0	0.00	419	0.02	0	0.00	12	0.00
Manufacture	2,873	0.42	8,511	0.47	32	0.02	315	0.09
Public service	3,401	0.50	6,548	0.36	11	0.01	1,027	0.29
Other service etc.	290	0.04	2,339	0.13	40	0.02	371	0.11
Total	6,772	1.00	18,245	1.00	1,846	1.00	3,487	1.00

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 3 5 件)

古林敬顕, 森上慶太, 中田俊彦, 大規模収集を考慮した木質バイオマスのエネルギー利用システム設計と混焼発電への応用, 日本

機械学会論文集, 査読有り, 81, 2015, 1-17
DOI: 10.1299/transjsme.14-00395

T. Nakata, T. Furubayashi, T. Kusunoki, T. Kusunoki, Development of an energy-economic model with endogenous technological progress and feasibility study of CCS systems, Heat Transfer - Asian Research, 査読有り, 43, 2014, 332-351
DOI: 10.1002/htj.21078

I. Baldvinsson, T. Nakata, A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method, Energy, 査読有り, 74, 2014, 537, 554
DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.019

依田和夫, 古林敬顕, 中田俊彦, 混合整数計画法を用いた自動車用バイオエタノールのサプライチェーンの設計, 日本エネルギー学会誌, 査読有り, 92, 2013, 1173-1186
DOI: 10.3775/jie.92.1173

Y. Kunimitsu, K. Takahashi, T. Furubayashi, T. Nakata, Economic ripple effects of bioethanol production in ASEAN countries: Application of inter-regional input-output analysis, Japan Agricultural Research Quarterly, 査読有り, 47, 2013, 307-317
DOI: 10.6090/jarq.47.307

[学会発表] (計 5 9 件)

T. Furubayashi, T. Nakata, Design and evaluation of biomass energy system considering different resources and technologies, 2nd Asian Conference on Biomass Science, 2015/1/13, Tsukuba, Japan, 産業技術総合研究所

古林敬顕, 中田俊彦, 多様な資源及び技術を考慮したバイオマス活用システムのエネルギー評価指標の構築, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015 年 1 月 14-15 日, つくば, 産業技術総合研究所

佐藤雄治, 古林敬顕, 中田俊彦, 混合整数計画法を用いた持続可能な木質バイオマスのサプライチェーンの設計, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015 年 1 月 14-15 日, つくば, 産業技術総合研究所

住友雄太, 古林敬顕, 中田俊彦, 熱需要とバイオマス資源の空間分布を考慮したバイオガス熱電併給システムの最適設計, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015 年 1 月 14-15 日, つくば, 産業技術総合研究所

門間千宙, 古林敬顕, 中田俊彦, 林分収穫モデルに基づく木質バイオマス利用の持続

可能評価, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015
年 1 月 14-15 日, つくば, 産業技術総合研究所

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

古林 敬顕 (FURUBAYASHI, Takaaki)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号 : 40551528

國光 洋二 (KUNIMITSU, Yoji)
農業・食品産業技術総合研究機構・農村工
学研究所・上席研究員
研究者番号 : 30360390