

課題名	E-0805 バイオマスを高度に利用する社会技術システム構築に関する研究。
課題代表者名	仲 勇治（東京工業大学 資源化学研究所 仲研究室）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	98,062千円（うち22年度 28,018千円） 予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) バイオマスの地域における活用状況に関する調査研究 (地方独立行政法人青森県産業技術センター農林総合研究所)</p> <p>(2) 技術情報基盤の開発・研究 (東京工業大学)</p> <p>(3) 導入過程に関する研究 (弘前大学)</p> <p>(4) 地域への適用方法に関する研究 (東京工業大学)</p>
IV. 研究概要	<p>1. はじめに</p> <p>バイオマス資源の有効利用に関して様々な研究開発や事業の普及策が講じられつつあるが、これらは広く・薄く分布しているため、収集・輸送などの物流整備が課題である。また、エネルギーや有用物質に変換するにもプロセス効率やプラント建設単価が化石資源に比べて不利であり、円滑な普及／促進が進んでいない。個別の資源に注目すると、例えば、都市ごみや下水などの廃棄物は近年高度処理を余儀なくされ、環境コスト増加をきたしており、また、森林系のバイオマスについても吸収源の役割を担うためには、適正な森林管理が必要であるとともに、その結果発生する間伐材や林地残材の有効利用も喫緊の課題である。このような状況から廃棄物系バイオマス、未利用バイオマスを資源とする複合的な産業システムを想定した社会技術システムを構築することが重要であり、低炭素社会の基盤整備に資するものである。以下に本研究の意義を示す。</p> <p>【科学的・技術的意義】多様なバイオマス資源を対象に、地域の需要に合った製品に変換する様々なプロセス技術と、これらの効率的な物流システムを含むシステム全体の計画・運用に関する方法論を開発することは、科学的にも技術的にも独創的で革新的な試みといえる。この方法論を支援する環境は、シミュレーション機能、要素技術ライブラリ、地図情報システムなどから構成され、それらが統合して利用できる技術情報基盤である。この技術基盤は世界的にみても先端的である。</p> <p>【社会的・経済的意義】システム全体にわたる計画・運用はプロセス技術の統合化・複合化であるが、システム構築の観点が様々であり、ステークホルダーが多くなることから単に科学技術的な判断だけでは導入・普及が進まない。資源供給や製品需要に季節変動があること、これに起因する設備やシステムの稼働率低下・運営コストアップなど課題は多い。このような制度・仕組みや産業構造などの変更は、現行の法規制や社会ルールに束縛される恐れもある。これらの解決には、広範なステークホルダーと合意形成や制度の見直しなど、多分に人文科学・社会科学的分析を行い、計画・運用に反映させる必要があり、このようなことを幅広く対象とした本研究の意義は大きいと認識している。EU 連合は、Framework Project 7 の1つとして、物流やサプライチェーンモデリング、経済的最適化モデル、ライフサイクルアセスメント(LCA)、バイオマスのエネルギーシステムへの統合をスコープとした研究開発の募集を開始しており、世界的に見ても本研究の先進性は高い。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究の目的は、「バイオマスを高度に利用する社会技術システム構築」を目指し、多様なバイオマス資源の利用を円滑に進めるための物流システムと、エネルギーなどの有価物への変換システムとからなるバイオマス利用のシステム全体を求める方法論を確立し、それを支援する技術情報基盤を整備することである。また、この成果を実地域（青森県を対象）に適用し、方法論を実用可能なものにすると同時に、より適用範囲を広げることも大きな目標となる。本研究の成果目標は、地域の実情把握と分析、技術情報基盤の開発、社会技術システムの導入過程に関する研究とそれらの青森地域への適用である。</p> <p>(1) バイオマスの地域における活用状況に関する調査研究</p> <p>・利用可能性のある資源、生産可能な製品、現状の処理機能等について幅広く情報収集するとともに、これらの地域資源から生産可能な製品の機能についての実証試験や市場性等について検討す</p>

る。また、検討結果をモデルに適用できるように地理情報システム(GIS)データ等も整備する。

(2) 技術情報基盤の開発・研究

- ・バイオマスに係る物流の情報を収集しモデルに適用する。
- ・当研究チームが有するプロトタイプの実シミュレーション環境を基本にして、地理情報と密にリンクして、精度を落とさずに、かつ、使いやすいシミュレーション環境(技術情報基盤)を構築する。
- ・バイオマスを利用する多様なシナリオを表現し、それらをコスト、LCA、環境会計などから多角的に評価し、出力結果を編集する機能を実装する。

(3) 導入過程に関する研究

- ・バイオマスを地域で円滑に循環させるために必要な基礎データ(法規制、住民意識等)についての情報収集を行う。
- ・新たな導入システムの選定過程に関する研究を行い、地域にバイオマス利活用システムを導入する方針や合意形成に関わるガイドラインを示す。
- ・ここで得られた成果に関しては、日本地方自治研究学会、環境経済・政策学会、日本会計研究学会等で発表する。

(4) 地域への適用方法に関する研究

- ・本研究におけるまとめとして、青森県における導入システム計画と運用への適用結果について言及する。

3. 研究の方法

(1) バイオマスの地域における活用状況に関する調査研究

1) 青森地域におけるバイオマス資源量の把握

統計データを解析するとともに、県内企業・団体への現地調査及びアンケート調査を行った。米・りんご生産分野でのバイオマス産出に係るエネルギー消費量や、県内製材工場における資源利用状況についても検討した。

2) 中南地域(青森県津軽地域の中部及び南部)におけるバイオマスの利活用状況の実態把握 ＜バイオマスの利活用状況の実態把握＞

堆肥化施設立地状況、バイオマスの利活用に関する取組(市町村)、バイオマスの利活用に関する取組(事業者)、環境施設におけるインベントリに関する調査を実施した。また、地域における需給のミスマッチを避け資源循環システムを円滑に運用する観点から、本研究における重要なバイオマス製品である堆肥や、飼料、燃料等の需要について検討した。さらに、エネルギー需要や資源量関係の情報精度向上のため、中南地域の主要バイオマスであるもみ殻及びりんご剪定枝について、発生及び利用状況の情報精度を高めるため、現地での利用状況確認を行った。

＜バイオマス製品の有効性実証と市場性検討＞

地域バイオマスを活用した製品について、農業分野での有効性を実証することで市場性を検討した。中南地域において農作物作付面積割合の大きな水稻栽培を対象とし、地域の特徴的なバイオマスを製品化した堆肥及び肥料の施用効果について実証試験を行った。特に、中南地域特有のバイオマスであるりんご剪定枝を利用した堆肥では、施用効果に加えて、水稻栽培やりんご栽培への施用に伴う影響や化学肥料削減の可能性についても検討した。

(2) 技術情報基盤の開発・研究

1) 現状における変換プロセス・物流の調査に関する研究

中南地域に立地、稼働しているバイオマスの変換技術や輸送システムについて、データを収集、整理して、コストや環境負荷等の算定式の検証や調整を実施してUPに必要な原単位や式を取りまとめた。また、現時点では中南地域には存在していないが、利活用シナリオに盛り込まれる可能性のある社会技術システムに関する情報を収集、整理する。既存及び将来想定される物流とバイオマス製品の市場調査の結果を取りまとめた。

2) 変換・物流モデル化及びライブラリの整備に関する研究

中南地域に立地、稼働しているバイオマスの変換技術や輸送システムを、技術情報基盤でシミュレーションできるようにモデル化して、変換や輸送のUP(Unit Process)として整理し、技術情報基盤のUPクラスライブラリに登録した。中南地域に立地していない技術システムについては、シナリオ検討での議論の展開を考慮しながら、シナリオ検証に必要なUPについて、収集した研究データ等からUPを作成してUPクラスライブラリに登録した。モデル編集機能で作成されたモデルにこのUPクラスをリンクさせ、シミュレーションを試行しながら、UP定義を改良した。また、エネルギーや薬剤等の価格データを格納しているユーティリティデータベースの編集機能を追加した。

3) 導入システムのモデル化

バイオマスの利活用について、要素技術ごとの変換の特徴に着目して整理し、資源と製品の変換経路を俯瞰的に捉えて、可能性のある利活用ネットワークとして纏めたものをスーパーストラクチャとして取りまとめた。また、このスーパーストラクチャに基づくシナリオ導入の手法をモデ

ル化し、サブテーマ（４）「地域への適用方法に関する研究」に取り入れた。

４）技術情報基盤の実装

バイオマス利活用システムのモデル作成機能、コスト、環境負荷等のシミュレーション機能、GISと連携した空間情報管理、計算機能を持つ技術情報基盤を開発し、シナリオの評価に適用して、動作確認や実用性を検証した。

（３）導入過程に関する研究

１）導入のガイドラインの提示

本研究では、政策・合意形成、意思決定論、参加・協働デザイン等に関する著書・論文調査や事業関係3主体（行政組織、事業者、市民・住民組織）へのヒアリング調査の結果に基づいて、各主体の意思決定モデル、つまり現状モデル（ASISモデル）とそれに基づく将来理想モデル（TOBEモデル）を構築した。なお、両モデルの構築においては、意思決定のプロセスとそれに関連する諸要素を明確に表わすことができるIDEFO(Integration Definition for Function Modeling0)のアクティビティモデルを利用した。

２）評価モデリング

本研究では、マテリアルフロー分析(MFA)、LCA、環境省型およびストック・フロー型環境会計に関する報告書、産業連関表、自治体バランス・スコアカード、行政評価に関する著書・論文、青森県政策評価ガイドブック、GRI(Global Reporting Initiative)のサステナビリティ・レポート・ガイドライン等といった既存評価モデルの検討に基づいて、1)で述べた各事業関係主体の意思決定を支援する、企業単体から地域全体の採算性、環境影響、社会的影響が評価可能な環境会計モデルとその評価方法を提示した。

（４）地域への適用方法に関する研究

地域におけるバイオマス利活用シナリオを作成し、技術情報基盤や意思決定カードを用いた評価に基づいて、地域主体への意見聴取やプロジェクト内での議論を重ね、シナリオの改善を図りつつ、最終的なシナリオ評価結果を取りまとめた。

４．結果及び考察

（１）バイオマスの地域における活用状況に関する調査研究

青森地域におけるバイオマス資源量の把握：

青森県内の主要なバイオマス資源量を定量的に把握し、その利用可能性を明らかにした。また、製材工場における資源の利用状況について調査した結果、製材残材である樹皮の利用方法が課題であること、端材やおが粉が有効利用されている現状が明らかになった。さらに、県内JAの米乾燥調製施設におけるエネルギー消費状況及びりんご剪定枝の収集やチップ化に係るエネルギー消費量などを検討し、バイオマス発生及び利用状況時のエネルギー需要面を明らかにした。

中南地域におけるバイオマスの利活用状況の実態把握：

<バイオマスの利活用状況の実態把握>

堆肥化施設立地状況、バイオマスの利活用に関する市町村及び事業者別の取組状況、環境施設におけるバイオマス発生・処理状況に関するインベントリデータを収集し、GIS上に発生源データや施設関連データを表示するため技術情報基盤に格納した。堆肥、飼料、燃料等のバイオマス製品需要を推計した結果、バイオマス製品の代表的な需要の中で、堆肥需要の割合が高いことが明らかになった。エネルギー需要や資源量関係の情報精度向上のため、もみ殻及びりんご剪定枝について現地での利用状況確認を行った結果、もみ殻は主としてントリーエレベーター（米乾燥調製施設）に集積され、用途は堆肥及び畜産敷料向けで基本的に廃棄はないこと、りんご剪定枝は剪定作業後のりんご園地に散在するため集積が容易ではなく、利用は家庭燃料及びチップによる堆肥化及び廃棄という状況が明らかになった。

<バイオマス製品の有効性実証と市場性検討>

地域バイオマスを活用した製品として、りんご剪定枝を利用した堆肥を主体に、青森県特有のバイオマスであるホタテの中腸腺(ウロ)を原料とした肥料、中南地域内で産出した食品残渣を利用した生ごみ堆肥を用いて、水稲栽培における有効性の実証試験を行った。ホタテウロ肥料は、水稲の生育経過及び収量等、減化学肥料栽培に使用される既存の有機質肥料と同等の施用効果がみられ、一定の需要はあるものと判断された。生ごみ堆肥は窒素、りん酸及びナトリウムの成分が高く、水稲収量は稲わら堆肥と同等で、施用効果があると判断された。りんご剪定枝堆肥は、同一圃場に3年間継続施用して試験を行った。試験実施期間を通じて、いずれの年も一般的な稲わら堆肥と同等の施用効果が認められ、継続施用による問題は特に認められなかったことから、既存のバイオマス製品である稲わら堆肥との代替は可能と考えられた。また、りんご剪定枝堆肥施用下で基肥（化学

肥料)を2割削減した場合の試験結果では、収量・品質の低下は見られなかったこと及び収穫作業に影響を及ぼす倒伏発生が少なかったことから、減化学肥料栽培が可能と判断された。さらに、りんご剪定枝堆肥の施用がりんご園地の紫紋羽病(土壌病害)発生に及ぼす影響については、施用により紫紋羽病発生を助長する傾向は認められなかった。これらのことから、りんご剪定枝堆肥は、水稲及びりんご生産など農業分野において、既存堆肥の代替可能性や化学肥料の削減可能性という点で市場性が有望であり、剪定枝の活用法として有効であることが示された。

(2) 技術情報基盤の開発・研究

UPモデリングにおいては、多岐にわたるバイオマス資源のデータベース化と、変換技術の数式モデルによる記述によって、柔軟且つ汎用性の高いモデルフローの作成を可能とした。技術情報基盤では容易な操作によるUPの配置、接続により、地域全体のバイオマス利活用システムをモデル化してシミュレーションし、コストや環境負荷等の定量的な評価を可能とした。

(3) 導入過程に関する研究

導入のガイドラインでは、行政組織による政策過程、事業者による事業マネジメント、市民・住民組織による政策・施策への提言や参加、そして、それぞれの主体の関係を表した合意形成に関するASISモデルを構築するとともに、そのモデルを基礎としながら、それぞれの意思決定の手続きやそれに関連する諸要素の加筆修正したうえでTOBEモデルを提示した。評価モデリングでは、事業関係主体やその主体の間に流れる(あるいは蓄積する)経営資源を俯瞰的かつ詳細に分析し、評価していくためのマップ(評価マップ)と、そのマップ上に描かれた事業関係主体や主体相互間の関係を数値化し、それを収集し、評価できるシート(意思決定カード)を構築した。また、これら2種類のモデルについては、後述する(4)のシナリオの評価に適用し、環境会計からの新たな分析・評価方法も提案できた。

(4) 地域への適用方法に関する研究

技術情報基盤を用いた地域の利活用シナリオの評価を実施し、地域主体との意見交換や議論によってシナリオの改善を重ね、議論を経たシナリオの評価結果を取りまとめた。これらのシナリオの評価結果を、シナリオの作成から評価に至る方法論とともに地域へ提供し、地域主体での研究プロジェクトにも採用される運びとなった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

・水稲作ではこれまで水稲バイオマスである稲わらを主体とした堆肥の施用が行われてきたが、本研究において、水稲作にりんご剪定枝(木質系バイオマス)堆肥の有効性が確認された。また、堆肥の品質評価においては継続的に施用した場合の効果や影響の有無が重要となるが、りんご剪定枝堆肥の水稲栽培における有効性を継続的に検討した結果、連用による問題は見られなかった。加えて、りんご栽培における紫紋羽病(土壌病害)発生助長の影響は認められなかった。このことは、地域需要への対応推進及び未利用バイオマス資源の域内利用活発化への一助となる。これまで、バイオマスの利用に関しては、定性的な効果が述べられることが多かったが、本研究により、新たなバイオマス由来の資材の水稲栽培での効果を明らかにできた。

・技術情報基盤によって、利害が複雑に関係しあう地域の多様なステークホルダーに対して、科学技術データに基づく中立性を保持した定量的な検討材料の提供が可能となった。これをもとに、シナリオやそれを推進するための政策等の設計や良否の判断過程を開示しながら議論が進められれば、より良い社会技術システムの形成に寄与するであろう。

(2) 環境政策への貢献

・本研究で扱ったりんご剪定枝等のバイオマスは、従来の焼却処分から域内農業分野で活用することによって、二酸化炭素(CO₂)の環境放出低減及び循環型社会形成への寄与が期待される。また将来的には、本研究で得られた成果を活用し、化学肥料の使用低減や作物生育により適した施肥設計を検討するなど、供給サイド主体の一方的な資源循環(push型)から、需要サイドのニーズにあった資源循環(pull型)への転換が図られる可能性も期待される。

・導入過程に関する研究成果は論文や国内学会で発表した。それによる政策的な寄与・貢献は直接的には十分とはいえないが、今後地域に新たなバイオマス事業を展開していくために、事業関係者が取り組むべき意思決定や合意形成の方法を明らかにできた。

・地域のブランド化や野焼きの煙害対策などの定量化しにくい社会コストについての評価手法も取りまとめた。工業技術的側面を技術情報基盤で広範に支援しながら、社会政策面や経済面、文化面、環境面などバイオマス利活用シナリオを多角的に評価し、導入を進めている。本プロジェクトが研

究している、議論の過程を含めた社会システムの設計・構築手法は、将来的には他地域でも導入され、波及していくことを想定している。平成22年度はシナリオ議論・展開を地域主体との連携の中で進めることができ、さらに方法論や開発したツールが地域主体が実施するプロジェクトにて採用されることとなった。

6. 研究者略歴

課題代表者：仲勇治

1945年生まれ、大阪大学大学院基礎工学研究科卒業、工学博士（京都大学）、現在東京工業大学資源化学研究所教授

研究参画者

(1) 1) : 坂本清

1955年生まれ、岩手大学大学院連合農学研究科修了、博士(農学)、現在、地方独立行政法人青森県産業技術センター農林総合研究所 生産環境部長

2) : 清藤文仁

1961年生まれ、弘前大学大学院農学研究科修了、現在、地方独立行政法人青森県産業技術センター農林総合研究所 水稻栽培部長

3) : 八木橋明浩

1964年生まれ、弘前大学農学部卒業、現在、地方独立行政法人青森県産業技術センター農林総合研究所 生産環境部研究管理員

(2) : 仲勇治 (上記参照のこと)

(3) : 金藤正直

1974年生まれ、横浜国立大学大学院国際社会科学研究所修了、博士(経営学)、現在、弘前大学人文学部准教授

(4) : 仲勇治 (上記参照のこと)

7. 成果発表状況 (本研究課題に係る論文発表状況。)

(1) 査読付き論文

- 1) Nasser Ayoub, Daisaku Okamoto, Yuji Naka “Planning of sustainable biomass utilization socio-technological system and its evaluation”, Eco-design Japan Symposium 2008, C24, Tokyo (2008)
- 2) 八木裕之、丸山佳久、大森明 「地方自治体における環境ストック・フローマネジメントーエコバジェットとバイオマス環境会計の連携ー」、日本地方自治研究学会誌、Vol.23、No.2、1-11 (2008)
- 3) Nasser Ayoub, Yuji Naka “Green policy making and analysis support via process systems engineering tools”, Recent Advances in Energy & Environment, Proc. Of the 4th IMASME/WSEAS International Conference on ENERGY & ENVIRONMENT, pp.284-288, Cambridge (2009)
- 4) Nasser Ayoub, Hiroya Seki, Yuji Naka “Superstructure-based design and operation for biomass utilization networks”, Computers & Chem. Engng., Vol.33, No.10, pp.1770-1780 (2009)
- 5) Nasser Ayoub, Elsayed Elmoshi, Hiroya Seki, Yuji Naka “Evolutionary algorithms approach for integrated bioenergy supply chains optimization”, Energy Conversion and Management, Vol.50, No.12 pp.2944-2955 (2009)
- 6) 金藤正直、八木裕之：青森県中南地域のバイオマス事業を対象とした環境会計モデルの構想。横浜経営研究31(1)：1-16 (2010)

(2) 査読付論文に準ずる成果発表 (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可)

- 1) 八木裕之「バイオマス資源を対象としたストック・フロー統合型環境会計の展開」、会計、第174巻、第10号、26-35 (2008)
- 2) 仲勇治、岡本大作「バイオマス利用システム導入問題と技術情報基盤」、月刊ケミカルエンジニアリング、Vol.54、No3、6-11 (2009年3月)
- 3) 金藤正直「バイオマス政策・事業評価システムの構築方法」、人文社会論叢(社会科学篇)、第23号、111-125 (2010年2月)