

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23692

研究課題名（和文）木質バイオマス資源有効活用に向けたプロセス設計と林業の活性化に向けた提案

研究課題名（英文）The process design for effective utilization of woody biomass resources and the technological scenario for the revitalization of forestry

研究代表者

海邊 健二（KAIBE, KENJI）

東北大学・材料科学高等研究所・特任准教授

研究者番号：50851705

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では木質バイオマスの生産からエネルギー利用までを統合的に評価し、各プロセスを作業工程/機器構成/操作条件等の要素毎に階層化、更に各要素をデータベース化・モデル化して技術開発・改善の方向性の予測と最終的な数値に及ぼす影響を評価できるプロセスモデルを高度化する。生産コスト低減と向け先バランス（用材/エネルギー利用の割合）に焦点をあて、地域毎に異なる施業体制への対応と、用材/エネルギー利用の最適化を試算できるようにした。これにより地域の実情に応じた技術改善等の方向性とその影響を技術シナリオとして構築できるようになった。今後、木質バイオマスの利用拡大と林業の活性化への貢献が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国土の約7割を森林が占め、木質バイオマスは多くの地域で利用可能なカーボンニュートラルのエネルギー資源として注目が集まっているが、それを供給する林業は経済的自立が厳しい状況にある。森林荒廃や森林機能低下等の問題から林業の活性化という社会的要請が高まっている。本研究は木質バイオマス生産コスト低減と向け先バランスに焦点をあて、用材/エネルギー利用の最適化等を試算できるようにした。これにより地域の実情に応じた技術改善等の方向性とその影響を技術シナリオとして構築できるようになった。本研究成果は林業の産業競争力を高め、森林機能改善による地球環境保全等への貢献が期待される社会的意義の高いものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to improve the process model that can predict the direction of technology development and improvements. This study shall also evaluate their effects on the final numerical values such as the power generation cost by 1) evaluating from production of woody biomass to energy utilization, 2) layering each process and element such as working process, equipment configuration etc., and 3) modeling and creating a database of each element. Focusing on production cost reduction and balance between lumber and energy utilization, the process model has been improved to correspond to different forest management prescription in each region and estimate optimization of lumber and energy utilization. These results have made it possible to construct the direction and impact of technological improvements according to the regional conditions as technical scenarios. It is expected to contribute to expanding the use of woody biomass and revitalizing the forestry.

研究分野：バイオマスエネルギー

キーワード：木質バイオマス プロセス設計 プロセスモデル バイオマス発電 木材 林業 地域活性化

1. 研究開始当初の背景

国土の約7割を森林が占める我が国において木質バイオマスの賦存量は49億m<sup>3</sup>、エネルギー換算で年間1次エネルギー消費量の約2倍(44EJ)と見積もられ、多くの地域で利用可能なカーボンニュートラルのエネルギー資源としてその利用に注目が集まっている。その一方でそれらを生産・供給する日本の林業は経済的に自立することが厳しい状況にあり、森林の荒廃や温室効果ガスである二酸化炭素固定能の低下等の様々な問題から林業の活性化や森林資源の活用という社会的要請が高まっている(図1)。

2012年に再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)が施行されて以降、木質バイオマスを燃料とする電力の買取価格が32~40円/kWhと高く設定されたことから全国各地にバイオマス発電所が建設され、木質バイオマスの需要が高まった。しかし、経済性の問題を克服するに至っておらず、依然として木質バイオマスの生産コスト低減が森林資源の利用拡大に向けた重要な課題の1つとなっている。

木質バイオマスの生産から用材/エネルギー利用に係る学術分野(林学、林産学、電気化学、エンジニアリング等)は多岐にわたり、それらの分野間の分断等によって個別の要素技術の開発(例:コンテナ苗の開発等)や改善(例:伐採方法やボイラー炉形等)が最終的な数値(用材の損益や発電コスト等)に与える影響が不明瞭である場合が多い。このような背景から木質バイオマスの生産から用材/エネルギー利用までを見通した上で各要素技術等の改善が最終的な数値に与える影響を評価し、要素間の連成関係を明らかにした上で技術改善/開発の方向性の提示や、林業の経済的自立や活性化に向けた学術的提言が求められている。

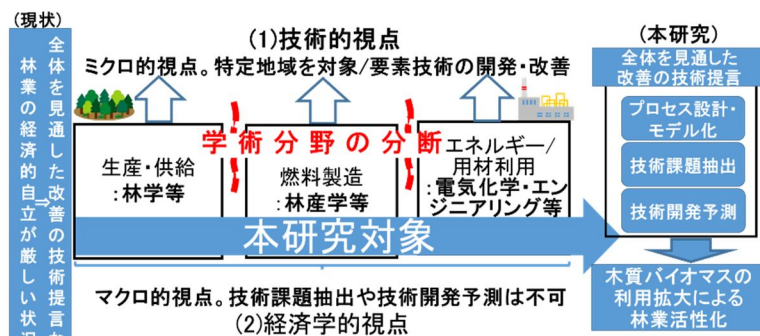


図1 木質バイオマスに関する現状の課題

2. 研究の目的

研究代表者はこれまで個々に研究されてきた木質バイオマスの生産・燃料製造・エネルギー利用を統合的に評価し、各プロセス(生産、チップ化、発電)を作業工程・機器構成・操作条件等の要素毎(伐採方法、チップの破碎方法、発電時の蒸気条件等)に階層化し、更に各要素をデータベース化・モデル化して技術開発・改善の方向性予測とそれらが最終的な数値(用材の損益や発電コスト等)に及ぼす影響を評価できるプロセスモデルを構築してきた(図2)。

これにより木質バイオマスの生産コストを現状の3分の1程度まで低減できた場合や、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の分離・回収に新たな工程を要しない次世代の有力なバイオマス発電技術の1つと目される化学ループ法による発電を行い、分離・回収したCO<sub>2</sub>の売却やカーボンプライシングを活用した場合にバイオマス発電のコストを家庭向け電力の発電コストと同程度(25円/kWh)まで低減できる可能性を明らかにした。

本研究ではこの方法論を活用し、高いとされる木質バイオマスの生産コストの低減とその向け先のバランス(用材利用とエネルギー利用の割合)に焦点をあて、既存のプロセスモデル1.0を高度化し、要素間の連関性を明らかにした上で地域の実情に応じた技術開発や技術改善等の方向性とそれらが最終的な数値等に与える影響を定量化できるようにすることを目的とする。また高度化したプロセスモデル2.0を用いて、地域の実情に応じた技術開発や技術改善等の方向性とその影響を技術シナリオとして纏め、森林組合等に情報提供や提言を行うことを目指すものである。具体的内容は、以下の通り。

- 既存のプロセスモデル1.0に地域毎に異なる森林施業体制(樹種や下刈回数、斜度により異なる施業体系等)に対応できるように詳細化する。
- 併せて、用材利用とエネルギー利用の最適な利用方法(割合・量等)を試算できるように高度化する。

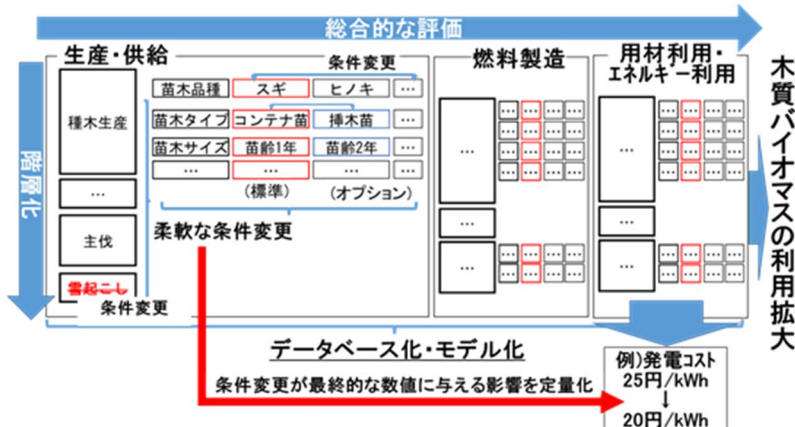


図2 本研究の方法論及び概念図

- 高度化したプロセスモデル 2.0 を用いて、地域の実情(木質バイオマス収集範囲、エネルギー需要等)に応じた技術開発・改善の方向性とそれらが最終的な数値に与える影響や要素間の連成関係を明らかにする。
- その上で本研究に協力していただいた森林組合や企業等に対して、木質バイオマスの生産コスト低減や技術改善/技術開発の方向性を、それらを行った場合に最終的な数値に与える影響とともに技術シナリオとして纏め、情報提供や提言を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) プロセスモデル 1.0 の高精度化

本研究では、研究代表者らがこれまでに構築し、木質バイオマスの生産・燃料製造・エネルギー利用を統合的に評価できるプロセスモデル 1.0 をもとに図 2 に記載の方法論を深化させるため、以下の高精度化を行い、プロセスモデル 2.0 の構築を行う。

階層化された各プロセスの作業工程・機器構成・操作条件等の要素を現地フィールド調査及び文献調査に基づいて更なる詳細化

各要素のデータベースを充実させることでプロセスモデルの精度を向上

その上で、

各プロセスの要素間の連関性を定量化

木質バイオマスの生産コスト低減に向けて、コスト低減すべき要素を抽出し、その技術開発と改善の方向性の予測

技術開発と改善を行った場合に最終的な数値(用材の損益や発電コスト等)に及ぼす影響を定量的に予測

#### (2) 技術シナリオ研究の高度化

地域の実情に応じた実効性のある技術シナリオを提言するための手法の開発に向けて、(1)で構築したプロセスモデル 2.0 を用いて、以下の要素とそれらの連関性を含め、技術シナリオを定型化する。

木質バイオマスの現状の生産コストの定量化とコスト低減すべき要素の抽出

森林資源量(森林蓄積量、林齢等)

森林供給可能量

供給された木質バイオマスの用材利用/エネルギー利用としての割合

用材利用とエネルギー利用の需要量(現状ベースと潜在力ベース)

現状の需給バランスに基づく用材利用とエネルギー利用の最適配分

資源量に基づく潜在的な用材利用とエネルギー利用の最適配分

技術開発や技術改善が最終的な数値に与える影響を定量的予測

森林組合等に技術シナリオの提言や関連情報を提供

なお、現地フィールド調査は、東北地方の例として山形県庄内地方等、関東の事例として栃木県県北地方にて実施をしたがそれ以外の地域については、新型コロナウイルス感染拡大の影響により実施をすることができなかつたため、文献調査にて代替をした。

### 4. 研究成果

高精度したプロセスモデル 2.0 を用いて試算をした結果について主なものを以下に記載する。

#### (1) 木質バイオマスの生産コスト構造

東北地方の事例として、山形県庄内地方等における現地フィールド調査の結果をもとに、高精度化したプロセスモデル 2.0 を用いて、木質バイオマスの生産コスト(補助金を除く)について作業プロセス毎に構造化した。結果を図 3 に示す。

当該地域における木質バイオマスの生産コスト(補助金を除く)は約 15,000 円/m<sup>3</sup>で、平均的な素材価格 10,000 ~ 14,000 円/m<sup>3</sup>程度とすると、市場の木材価格の 2 - 5 割程度上回る結果となった。これは、本結果において補助金を考慮していないことやこれまでの多くの既往研究では主伐費用や伐採費用の内数として計上されているか、あるいはコストに含まれているかいないかが不明瞭な作業道開設費用や材の運搬費用等が含まれていることに起因するものと推測される。

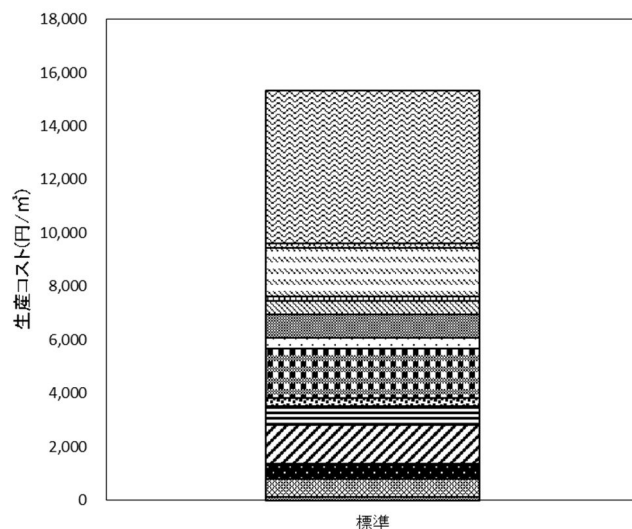


図 3 木質バイオマスの生産コスト構造

本研究では作業道開設費用等について、間伐や主伐とは独立させてその費用を算出し、木質バイオマスの生産コスト低減に向けて、コスト低減すべき要素として明らかにした。これは森林施業において、森林プランナー等の作業道開設の目利き等が生産コスト低減の重要な要素となることを意味している。

### (2)木質バイオマスの生産コスト構造と連関性について

木質バイオマスの生産コストと各要素の連関性について分析を行った。その一例として、3,000kWの直接燃焼型バイオマス発電の発電コストと燃料コストに由来する木質バイオマスの生産コストの関係を図4に示す。3,000kWの木質バイオマス発電において、発電コストは39.8円/kWhでそのうち燃料が約56%の22.4円を占めている。その内訳をさらに分析すると燃料の約42%を木材チップ製造コストが占め、発電コスト換算すると9.4円/kWhで約24%であることを定量的に明らかにした。

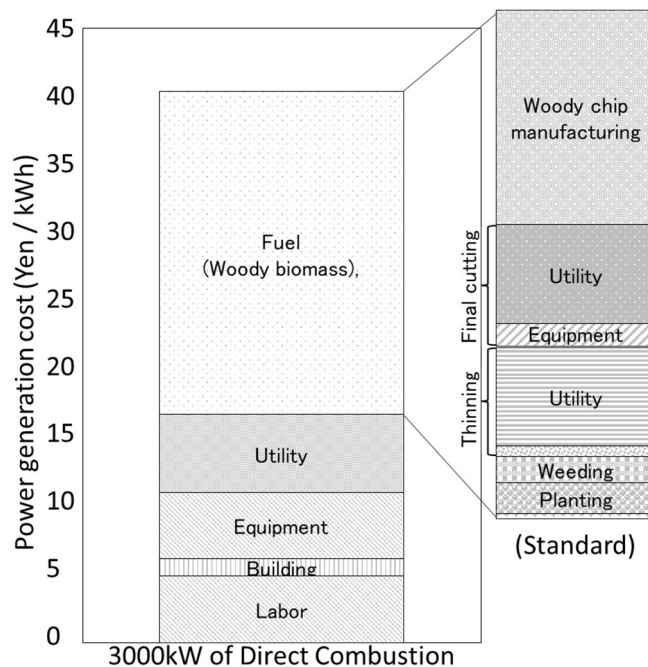


図4 木質バイオマス発電コスト(直接燃焼型 3,000kW)と生産コストの連関性

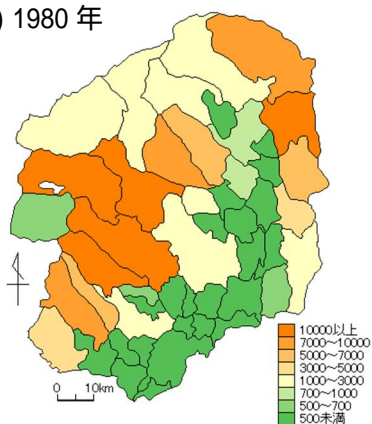
### (3)森林資源の把握

地域の実情に応じた実効性のある技術シナリオを提言するため、木質バイオマスの生産コスト構造とともに資源量を把握した。その一例として現地フィールド調査を行った栃木県における人工林・民有林の蓄積量の経時的変遷を図5に示す。当該地域では、地域の実情に応じた木質バイオマスの利用拡大に向けた技術シナリオを策定する上で、用材利用/エネルギー利用の割合が大きな要素として作用する典型的な事例である。

人工林・民有林の蓄積量は植林から概ね50年程度が経過し、林業の経済的環境から長伐期化をはじめとして全国的傾向として蓄積量が増加にある。その一方で栃木県北東部において比較をした1980年から40年を経た2020年には蓄積量が減少していることがわかる。これは伐期を迎えた木質バイオマスの伐出が進んでいることを示している。

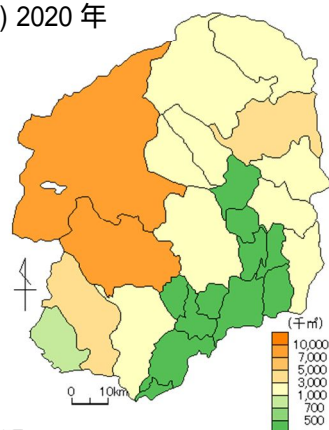
技術シナリオを策定する上で資源量や供給可能量を評価することは重要である。特に用材としての利用が多い地域においては、エネルギー利用に供される木質バイオマスの供給が少なくなる。広く薄く分布するバイオマスの特性とも関係し、大規模なバイオマス発電所を内陸部に稼働させると必要となる燃料を調達するために輸送コストがかさみ、燃料コストが上昇するため、バイオマス発電所の規模は相対的に小さくなる傾向にあり、当該地域もその傾向と合致している。

(a) 1980年



林・民有林蓄積量(カテゴリー)

(b) 2020年



林・民有林蓄積量

図5 栃木県東北地域における市町村別蓄積量(人工林・民有林)の変遷

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 海邊健二	4. 巻 54
2. 論文標題 森林資源のエネルギー利用の特徴 - 山形県のバイオマス発電を事例として -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 法政地理	6. 最初と最後の頁 15-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takashi AMEMIYA, Masato DENOH, Hiroshi ENOMOTO, Takuya ITO, Kenji KAIBE, Naomi SAWADA, Miyuki TOMARI, Yukihiko MATSUMURA	4. 巻 28
2. 論文標題 Feasible conditions for Japanese woody biomass utilization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Science and Pollution Research	6. 最初と最後の頁 51060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11356-021-13966-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 海邊健二	4. 巻 5(8)
2. 論文標題 質バイオマス資源の利用拡大に向けた地産地消モデルと技術シナリオ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 アグルバイオ	6. 最初と最後の頁 61 - 64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 海邊健二, 大友順一郎, 中田俊彦
2. 発表標題 木質バイオマスの利用拡大に向けた技術評価-バイオマス生産の観点から-
3. 学会等名 第15回バイオマス科学会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 海邊健二, 伊藤達也
2. 発表標題 木質バイオマス発電所の最適立地に関する検討-山形県を事例として-
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海邊健二, 大友順一郎
2. 発表標題 木質バイオマス生産からエネルギー利用までの要素連関性について～コストの観点から～
3. 学会等名 第29回日本エネルギー学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海邊健二, 伊藤達也
2. 発表標題 再造林の促進に向けた取り組みとその効果について～山形県鶴岡市を事例として～
3. 学会等名 第16回バイオマス科学会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海邊健二
2. 発表標題 森林資源の利活用と地域活性化に関する研究 山形県鶴岡市を事例として
3. 学会等名 日本地理学会2021年春季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海邊健二
2. 発表標題 東北地方における森林資源量とエネルギー需給の地域特性に関する研究
3. 学会等名 日本地理学会2021年秋季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海邊健二
2. 発表標題 森林資源の現状分析と地域特性 - 東北地方を事例として -
3. 学会等名 第17回バイオマス科学会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 海邊健二, 大友順一郎
2. 発表標題 木質バイオマス発電における環境影響評価と経済性評価
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 海邊健二
2. 発表標題 森林資源の利活用の変遷と地域特性に関する研究～東北地方を事例として～,
3. 学会等名 日本地理学会2022年春季学術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------