

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658153

研究課題名(和文) 我が国における持続的な木質バイオマス利用の最適化に向けたシステムモデルの構築

研究課題名(英文) Establishment of a system model towards optimized utilization of woody biomass in Japan

研究代表者

鮫島 正浩 (Samejima, Masahiro)

東京大学・農学生命科学研究科・教授

研究者番号：30162530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：我が国における持続的かつ最適化された木質バイオマス利用に向けたシステム設計ならびにシステム解析を行った。まず、システム設計にあたっては、欧州における森林経営ならびに木質バイオマス利用の成功例に基づいて、我が国における木質バイオマス利用のシステムモデル像を描いてみた。その結果、木質バイオマスの利用においてはマテリアル利用とエネルギー利用の統合化が重要なポイントとなり、確保できる木質資源に対して適正規模の製材所を中心としたシステム設計が必要であることが明らかとなった。また、製材工程に必要なエネルギーは副産物を利用することで自立化が可能であることがシステム解析の結果から明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In this project, system planning and analysis towards sustainable utilization of woody biomass in Japan has been undertaken. First of all, to design the system based on successful example on management of forest and utilization of woody biomass in European countries, a model of the ideal system in Japan has been drawn. As the result, the combination of utilization of woody biomass for materials and for energy should be inevitable to increase profitability on business. For this purpose, an appropriate design of the sawmill system for processing of wood biomass should also be very important in proportion with the potential size of woody biomass as the amount of feedstock. In addition, as the result of system analysis using Gabi6 software, total energy required for obtaining the final timber products from the round-wood can be supplied from the use of woody residues during processing or wood biomass.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：木質バイオマス 林学 森林 シミュレーション工学 再生可能エネルギー 木材 バイオマス発電

1. 研究開始当初の背景

我が国の国土の3分の2は森林で覆われている。このうちの40%にあたる約1000万ヘクタールは人工林であるが、その多くは第二次世界大戦後に造林された針葉樹を中心に構成されている。それらの平均樹齢は約50年前後を向かえようとしていることから、人工林は森林育成の時代から森林利用の時代に移行しつつあると言える。一方、我が国における木材利用については年間8000万立方メートルに及ぶが、現在、国産材利用については全体の24%程度にしか過ぎない。その結果、我が国の森林では年間あたり国内の木材需要全体にほぼ匹敵する8000万立方メートルの木質バイオマスが蓄積され続けている。

このようなことから、近年、政府から森林、林業、木材産業の活性化に向けた数々の施策が打ち出されてきている。一方、地球温暖化防止対策としての二酸化炭素排出削減、さらに東日本大震災に引き続く原子力発電事故などにより、森林に存在する未利用の木質バイオマスを利用した大規模な木質バイオマス発電事業が推進されようとしており、森林経営の持続性と大規模な木質バイオマス利用システムを定量的に結びつけたシステム構築を行うことが急務になっている。

このような背景から、本研究では、森林経営ならびに木質バイオマス利用の先進国であるスウェーデン、フィンランド、オーストリアの成功事例とその根拠について調査を行い、その上で、我が国における木質バイオマス利用のあり方をエネルギー利用ならびにマテリアル利用の両者から定量的に捉えることで、その最適条件を探ることとした。

2. 研究の目的

森林科学ならびに木質科学の分野では個々の要素技術についての研究例は多々あるが、両者が抱える全体の課題、すなわち、森林の持続的経営、森林の二酸化炭素吸収源としての機能、森林で生産される木質バイオマスの搬出・加工・利用という森林資源の機能ならびに利用を一元化した評価はこれまで行われたことがない。したがって、新たな学術分野を形成し、それに基づき分野を担える人材育成を行っていくことが重要である。

近年、政府から森林、林業、木材産業の活性化に向けた数々の施策が打ち出されてきている。しかしながら、それらの施策はいずれも現場をまず先に見た対処療法的なものが多く、必ずしも関連する分野全体を見据えて、さらに将来の森林やマテリアルとエネルギーとしての木質バイオマス利用のあり方を時間スケールまでを含めた統合的な解析に基づいているものとは言えない。したがって、この分野に関係する学識者の

役割として、これまで各要素として蓄積されてきた情報や技術を統合化して、全体として評価を行うこと、さらにその結果に基づく科学的な根拠を背景としたシステムモデルを構築していくことが極めて重要な課題であると言える。

本研究では、上記の目標の礎となる森林から木質バイオマス利用までの一貫したシステムモデルを立案することを目的とする。また、その科学的な根拠となるシステム解析を定量的に行うことが必要である。本研究では、当初、これについて、すべての要素を対象に行うことを想定したが、その範囲は膨大であり、とても萌芽的な個人研究では対象とできないことが理解できた。そこで、まず欧州の森林経営ならびに木質バイオマス利用システムを調査し、我が国での木質バイオマス利用のシステムモデルの提案を行うこととした。一方、木質バイオマス利用に関するシステム評価については、製材所での木質バイオマスのマテリアル利用とエネルギー利用の最適利用比率を明確にすることに対象を絞り、定量的なシステム解析を行うことを目標とした。

3. 研究の方法

本研究では、森林経営の持続性と大規模な木質バイオマス利用システムを定量的に結びつけたシステム構築を行うことを目的としている。

そのために、まず森林経営と木質バイオマス利用に成功し、我が国に対する製材品の輸出国であるスウェーデン、フィンランド、そしてオーストリアの欧州3カ国について調査を行い、それに基づき理想と思われるシステムモデルの構築を行うことにした。その場合、森林から木質バイオマスのエネルギーならびにマテリアル利用に至るまでの事業体規模ならびに連携のあり方に特に注目することにした。また、これに基づき、我が国の実情に合わせたシステム形態の設計を行うことにした。

一方、研究企画の当初は、森林から木材利用に至るまでの一貫システムに対して、それぞれの要素データに基づきシステム解析を行いエネルギー収支、二酸化炭素収支、経済収支の全体評価を行うことを考えていたが、萌芽的な個人研究としてはカバーする範囲があまりにも膨大で実施が極めて困難であることを理解したことから、定量的なシステム解析については、製材所に木質バイオマスが運び込まれて、これが製材品木材となり出荷されるまでの工程に必要な熱および電気エネルギー、製品の歩留まりや含水率等の事業ベースでのデータを入手し、これに対してLC解析ツールGabi6を利用して定量的なシステム解析を行い、その結果としてエネルギー収支ならびに物質収支の関係を明らかにし、その上で、木質

バイオマスのマテリアル利用とエネルギー利用の適正バランスについて考察を行うこととした。

本研究によって得られた情報ならびに成果については、木材利用に係るシンポジウムならびに講演会等での講演、さらに講義や図書などを通して広く公開した。

4. 研究成果

持続的な森林経営と木質バイオマス利用を定量的に結びつけたシステムモデルの設計ならびに提案を行う目的に、本研究では、まず欧州での森林経営ならびに木質バイオマス利用の先進国であり、我が国に対する木材製品の輸出国であるスウェーデン、フィンランド、オーストリアの3カ国について、それぞれの国が保有システムについて調査を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

我が国では、1995年頃から、スウェーデン、フィンランド、オーストリア等の欧州の森林資源国から相当量の木材を輸入し始め、2005年頃までの10年間にその量が著しく増加してきた。欧州にある遠方のこれらの国、しかも労賃等も安いとは言えないこれらの国が我が国に木材を輸出していることは驚きであるし、その理由については解き明かさなければならぬ課題と捉えた。調査の結果、これらの国々では集成材の加工技術と利用技術が先行していたこと、また、我が国の木造建築分野においてプレカット工法の普及というニーズとこの技術が非常に良くマッチングしていることが理由として考えられた。さらに、いずれの国においても森林資源を自国の財産として認識した上で、森林から木材の最終利用に至るまでを一貫した流れの中で捉えて関連する産業との連携体制を強化し、その中で得られた利益を地域の住民や森林所有者に還元しながら、林業、木材製材産業、その下流にある紙パルプ産業やエネルギー産業等をシステム化した効率的なビジネスを営んでいる。

また、我が国には現在700近い森林組合が存在するが、スウェーデンには僅か4つの森林所有者組合しか存在せず、林業の大規模な集約化に成功している。このように大きく組織化された森林所有者組合では、広大な森林を計画的に経営することで、多量の木質バイオマスを動かすことが可能になるばかりでなく、資本力をバックに大型の高性能林業機械を導入することで林業施業を効率的に行なうことで、我が国では1m³あたり集材コストが7,000円程度かかるのに対して、スウェーデンでは1,500円程度と大幅な集材コストの削減を達成することに成功している。また、森林所有者組合は巨大な製材工場を保有しており、ここに集材された多量の木質バイオマスは集成材の原料となるラミナと呼ばれる製材品、パルプとなるチップ、そしてエネルギー化

されるおが屑等に加工される。ある森林所有者組合の事業所の例では、1年間に180万m³の木質バイオマスを取り扱っているが、これを原料に90万m³の製材品、60万m³のチップ、さらに30万m³のおが屑を生産している。また、それぞれの製品1m³の単価を60,000円、7,500円、3,000円とすると、製材工場の収益の90%以上は製材品の売り上げとなることが理解できた。このことは、木質バイオマス利用において、最大限の収益を上げるためには、マテリアル利用を優先することが重要であることを明確に示している。しかしながら、副産物は、その下流に存在する紙パルプ産業やエネルギー産業に対して安価な原料として供給される。このようなシステムが構築されていることから、森林所有者から末端の利用産業に至るまでの各関係者に対してWin-Winの関係が成立している。これに対して、我が国の森林、林業、そして木材産業の関係が上手く繋がっていない点はまさにここにある。ちなみに、国土面積あたりの森林資源のポテンシャルは欧州の森林国にまったく遜色ないが、森林の単位面積あたりの木材生産量は僅か1/3~1/4程度である。また、木質バイオマスの木材としてのマテリアル利用とエネルギー利用が欧州の森林国では実に巧みに連関されており、製材工程に必要な熱エネルギーや電気エネルギーを木質バイオマスとして自立的に供給しているばかりでなく、余剰分については地域にエネルギーとして供給している。我が国では、森林整備のために継続的な間伐施業が行われてきているが、間伐材のような低質木材については経済的な理由により、これまで伐採後、林内に放置されることがほとんどであった。これを林地残材あるいは未利用間伐材と称しているが、その量は年間あたり2,000万m³にも及ぶと推定されている。現在、これらの未利用間伐材をバイオマス発電用の燃料に利用することが考えられているが、すでに述べたように木質バイオマスのエネルギー利用はマテリアル利用との一体化の中で考えていくことが経済的に有利であるし、また環境や資源の持続性のことを考えても、このことは重要である。

また、スウェーデン、フィンランド、オーストリアの3カ国を比べると、それぞれの国が異なるポリシーを持って森林経営や木質バイオマス利用に携わっていることが理解できる。スウェーデンは社会を全体主義的に捉えているように見える。スウェーデンには森林所有者組合が全国に4つしか存在せず、この組合が森林所有者と木材産業との繋がりの中核となって地域に密着した全体組織として機能していることから理解できる。一方、フィンランドはこれとは異なり、大規模な森林総合企業による統合的なビジネスとして森林経営と木質バイオ

マス利用を行っている。スウェーデンとの違いは、大企業の中に部門としてエネルギービジネスや情報ビジネスまでを取り込んでしまっている点が上げられる。いずれにしても、スウェーデンとフィンランドについては、森林経営と木材産業の連携が成功した理由を大規模化と効率化の中で捉えることができる。一方、我が国と同じように森林と地域が山地に囲まれて散在するオーストリアについては、それだけの理由で捉えることは必ずしも妥当とは思えない。実際、オーストリアでは、小規模の森林所有者の数、そして森林所有者組合の数においては、我が国と同様に非常に多数存在しており、スウェーデンの場合とは大きく異なる。しかしながら、それでも、オーストリアでは森林、林業、木質バイオマス利用の関係が上手に結び付いている。その大きな理由は、オーストリアにおける地域と森林の結びつきの強さ、そして地域の人たちの森林と木質バイオマス利用に対する思い入れの深さが森林経営と木材産業の中で重要な役割を果たしていることが挙げられる。驚くべきことに、オーストリアでは木質バイオマス総需要の60%は地域でのエネルギー利用で占められているが、その中でも家庭用の薪ストーブやペレットストーブ、小型の木質バイオマスボイラー等のエネルギー源が占める利用割合の高さ、そして小規模なエネルギー利用の積み上げが木質バイオマス需要全体の中で大きな位置づけとなっている。また、連邦政府と地方自治体、さらに森林所有者までの森林経営や木質バイオマス利用に関する制度や技術支援の階層構造がしっかりと取れていることも重要な役割を占めていることも調査の結果として理解できた。

以下、欧州の森林国に対する調査に基づき森林経営と木質バイオマス利用の推進について以下のようなことが指摘できる。

- ・材料の供給側と材料の利用側とのマッチングの重要性
- ・製品の品質管理（乾燥材）と安定したサプライチェーンの構築
- ・統合的ビジネスとしての木質バイオマス利用
- ・ビジネス全体をコントロールできる組合や企業の存在
- ・マテリアル利用とエネルギー利用のバランスの適正化
- ・新技術導入への積極性、デザイン力と展開性の強さ
- ・自国や地域の資源とその利用に対する身近さと思い入れの深さ

以上に基づき、我が国における木質バイオマス利用のビジネスについて検討をしてみると、まずビジネスとしての収益性を考慮するのであれば、利益性の高い製材製品

の生産を目的とした製材所に木質バイオマスのエネルギー利用施設を併設し、全体をシステム化することが何よりも重要であることは明らかである。一方、ビジネスの規模として考えるのであれば、我が国のように山地が多く、周囲を海に囲まれた細長い国土の地勢、さらに我が国の道路インフラの現状を考慮したトラックの1時間あたりの移動距離、すなわち、1日の労働時間に森林の集材現場と製材所をトラックが2往復できることを条件にすると、一事業拠点に対する木質バイオマスの収集半径は30km程度が限界と思われる。また、その中に占める集材可能な人口林率、さらに人工林を50-60年周期で持続的に経営すること、さらに森林資源の蓄積量などを鑑みると、一事業体が年間に取り扱うことができる木質バイオマスの量は最大としても30万m³を超えないと想定された。実際には、一事業体としては、木質バイオマスの取扱いとして10万m³程度、最終の製材品として5-6万m³を生産する製材工場をビジネスとして運営していくモデルを設計することが、我が国においては妥当であると判断した。

本研究では、当初、森林から木質バイオマス利用に至る過程を要素単位として、それぞれについてのエネルギー収支、二酸化炭素収支、経済収支をデータとして取得することを考えたが、この作業はあまりにも膨大であり、萌芽研究の範囲では実施が極めて困難であることが調査の過程で理解できた。このような理由から、前述の海外調査に基づき、製材品としてのマテリアル生産、熱エネルギー生産ならびに発電の3つの出口を想定する木質バイオマスの加工拠点（製材所）におけるエネルギー収支ならびに物質収支について、LC解析ツールGabi6を用いて評価することを試みた。

上記の解析の対象となる実績データを提供してくれそうな製材所の候補をいくつか検討したところ、栃木県にあるT社が経営する年間3万m³前後の製材品を生産する製材所における丸太（木質バイオマス）から乾燥製材品を生産するプロセスに関する実績データを入手することができた。それに基づいて、丸太から乾燥製材品を生産する工程を皮むき・製材工程ならび乾燥・最終加工の二つにわけて、最終製品（含水率10%、密度0.4 t/m³）として1kgの乾燥製材品を生産するための必要エネルギーを電気ならびに熱にわけて算出した。また、丸太、未乾燥製材品、乾燥製材品の含水率をそれぞれ50%、30%、10%、さらに丸太から未乾燥製材品を生産する際の歩留まりを60%であることを前提として、全体の重量収支とエネルギー収支を求めた。その結果、このプロセスでは1.00kgの最終製品を生産する過程で0.787kgの残渣として木質バイオマスが得られ、これを熱エネルギーに換算すると10.5MJ相当であることが

判った。一方、乾燥工程で必要とされる熱エネルギーは実績ベースで 5.17MJ であることから、ボイラーの熱変換効率を 75% として 6.89MJ 相当分の木質バイオマスを利用すれば良いことも判った。したがって、このプロセスで余剰分として 3.56MJ の木質バイオマスが得られることから、これを利用してバイオマス発電を発電効率 20% で行うと製材ならびに乾燥工程に必要な電力エネルギーの 88% 程度を賄えることが明らかとなった。さらに最終加工工程で削屑や端材が発生することを想定すると、上記の製材プロセスにおいては高性能の熱電併給コジェネレーション装置を組み合わせると、木質バイオマスを歩留まり 60% でマテリアル利用する場合も、その加工に必要なエネルギーは副産物利用で完全に自立型できると判断された。

我が国での木質バイオマス利用の推進においては、製材所を中心としたシステムの中で製材工程のエネルギー自立化を行い、その中で収益性の高い製材品の歩留まりを最大限に向上させるシステム設計が非常に重要な課題である。また、そのためには、オーストリアではすでに導入されている木質バイオマスのガス化による小型で高性能コジェネレーション装置を導入することで、製材所での木質バイオマスのエネルギー利用の効率化を最大限に図ることも必要と判断された。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 9 件)

- 1) 鮫島正浩: 木材のマテリアル利用とエネルギー利用の理想的な共存化, バイオマス部会・研究会合同交流会(招待講演), 2013 年 10 月 25 日, 東京
- 2) 鮫島正浩: 林産学ルネッサンス, 日本農学会シンポジウム(招待講演), 2013 年 10 月 5 日, 東京
- 3) 鮫島正浩: 我が国の森林・林業再生に向けた現状と課題, 東京大学 AGS 研究会セミナー(招待講演), 2013 年 9 月 24 日, 東京
- 4) Masahiro Samejima: Present status and challenges of forestry and wood utilization in Japan, 2013 Austria-Japan Committee of the future (招待講演), 2013 年 7 月 1 日, 遠野市, 岩手県
- 5) 鮫島正浩: スマート林業の概念設計, 第 1 回国際森林フォーラム(招待講演), 2013 年 2 月 17 日, 下川町, 北海道

- 6) 鮫島正浩: スマート林業のシステムデザイン, プラチナ構想ネットワークシンポジウム(招待講演), 2012 年 12 月 13 日, 東京
- 7) 鮫島正浩: 森林資源とバイオマスエネルギーの活用, オーストリアンシンポジウム森のルネッサンス(招待講演), 2012 年 10 月 24 日, 東京
- 8) Masahiro Samejima: Endeavor toward revitalization of forest, forestry and rural mountain communities in Japan, 2012 Austria-Japan Committee of the future(招待講演), 2012 年 6 月 12 日, Cuchi, Austria
- 9) 鮫島正浩: 創造的ビジネスをめざしたスマート林業の展開を, プラチナ社会タスクフォース第 3 回研究会(招待講演), 2012 年 5 月 14 日, 東京

〔図書〕(計 2 件)

- 1) 鮫島正浩: 林産学ルネッサンス – シリーズ 21 世紀の農学 農学イノベーション (日本農学会編), 養賢堂, pp. 119-135 (2014)
- 2) 鮫島正浩: 創造的ビジネスをめざしたスマート林業の展開を – プラチナ構想ハンドブック (松島克守, 小宮山宏, プラチナ構想委員会編), 日経 BP, pp. 186-208 (2012)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鮫島 正浩 (SAMEJIMA Masahiro)
 東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
 研究者番号: 3 0 1 6 2 5 3 0

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: