

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450249

研究課題名(和文) FITが及ぼす製材業への影響評価と木質バイオマス発電のLCA

研究課題名(英文) Influence on the Profitability of Lumber Mills by FIT Program and Life Cycle Assessment of Woody Biomass Power Generation.

研究代表者

古俣 寛隆 (KOMATA, Hirotaka)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林総合研究本部林産試験場・研究主任

研究者番号：00446303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：固定価格買取制度(FIT)の開始による製材工場への経済的と木質バイオマス発電および熱電併給システムの環境影響を評価した。ヴァーチャル製材工場経営シミュレーターを開発し、製材業における原木購入単価およびチップ販売単価の変動による利益率を明らかにした。木質バイオマス発電および熱電併給システムのライフサイクル影響評価(LCIA)を実施し、代替する化石燃料システムと比較した場合の環境優位性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Economic impact to a lumber mill by the beginning of FIT program and environmental impact of woody biomass power generation/combined heat and power (CHP) systems were evaluated. We created a "virtual lumber mill business simulator" and assessed the profitability of lumber mills by setting up a variety of scenarios, based on variables such as log purchase price and wood chip selling price. Environmental impact assessments of each energy production system were performed based on life cycle impact assessment(LCIA), and woody biomass systems are more eco-friendly than substitutional fossil fuel systems.

研究分野：木質科学

キーワード：FIT 再生可能エネルギー 未利用木材 ライフサイクル影響評価 経営分析 製材工場

1. 研究開始当初の背景

2012年7月から再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT) が開始された。世界有数の森林国である我が国では、間伐材等の木質バイオマスを原料とした発電に注目が集まっている。林業分野への経済効果が期待される一方で、以下の懸念・疑問がある。

(1) 小径木を中心とした素材価格が高騰し、製材業の収益性が大きく悪化する可能性がある。他方、製材工場が副産物である製紙用チップを発電事業者へ販売したりするなど FIT が収益改善の一助となることも考えられる。しかし、木材産業分野の経営に関する研究は少なく、これまで FIT が製材工場に及ぼす影響については具体的に分析されていない。

(2) 木質バイオマスエネルギーの利用は地球温暖化、化石資源枯渇の抑制策としても促進されているが、電力等エネルギーの原料調達からその加工、エネルギー製造までを考慮した環境負荷は必ずしも明らかになっていない。木質バイオマスの発電利用におけるライフサイクルアセスメント (LCA) については、林地未利用材を対象に数事例が報告されているが、いずれも CO₂ 排出量のみの評価に留まり、肝心の原料の収集プロセスは評価の範囲外である。

2. 研究の目的

(1) FIT による製材業への経済的影響を解析するために“ヴァーチャル製材工場経営シミュレーター”を開発する。これは、工場規模、林地未利用材の利用径級分布、生産品目、購入・販売単価、ライン稼働時間、自社工場への発電設備の導入の有無などの説明変数を任意に入力することによって製材業の収益がシミュレートできるツールである。これによって複数の評価シナリオを設定して影響度を解析するとともに、製材業の収益性向上に資する方策を見出す。

(2) 林地未利用材等の調達からチップ化、輸送に伴う各プロセスにおけるエネルギー消費量などのインベントリデータを収集する。評価シナリオを設定した上で、影響領域を地球温暖化に限定せず、可能な限り多くの影響領域を考慮した木質バイオマス発電や熱電併給システムのライフサイクル影響評価 (LCIA) を実施し、環境負荷削減に向けた最適な木質バイオマスの利用システムを提案する。

3. 研究の方法

北海道は、森林面積が全国の22%、素材生産量が同21%を占め、恵まれた木材資源を有する。また、森林施業に伴う林地未利用材が多量に発生しており、発電用等の大規模利用の可能性が高く、評価対象地として適している。本研究では、北海道を評価対象地として、大きく分けて2つの研究を以下の方法で実施する。

(1) 北海道内の製材業における素材、チップ、バーク、おがくず等マテリアルの売買価格を調査するとともに流通実態を把握する。製材業における原価データを収集し、原価構成や各経営指標の特徴を明らかにする。発電事業者の木質バイオマスの購入価格とマテリアル利用における価格を発電効率や規模別に比較・検討する。具体的には、“ヴァーチャル製材工場経営シミュレーター”構築のための説明変数を決定し、プロトタイプ版のツールを Microsoft 社 Excel 上に構築する。いくつかの製材業を事例に具体的な収益の検討を行った上で、解析精度向上のための課題を抽出し、“ヴァーチャル製材工場経営シミュレーター”を開発する。これを用いて、工場規模、利用径級分布、生産品目、購入・販売単価、ライン稼働時間、自社工場への発電設備の導入の有無など複数の評価シナリオを設定した上で収益に対する影響度を解析し、製材業の収益性向上に資する方策を見出す。

(2) 木質バイオマス発電や熱電併給システムの LCIA における評価シナリオを作成するため、原料、含水率、発電効率などの因子を抽出し、評価単位、評価範囲、原単位等分析条件を検討する。実際に、林地未利用材を収集している業者から収集の作業システムやエネルギー消費量等関連データを収集する。得られたデータを用いて、林地未利用材の収集から発電所輸送までのライフサイクル影響評価を実施する。算出された環境負荷量をシナリオ間で比較し、環境負荷の排出構造や削減効果を定量的に明らかにするとともに、環境負荷削減に向けた最適な木質バイオマス利用システムを提案する。インベントリ分析および LCIA は一般社団法人産業環境管理協会の LCA 算定支援ソフト MiLCA Ver.1.2.6 を用いてモデル化し、実施した。LCIA では特性化と統合化を実施し、各種重み付け係数には LIME2 (LIME: Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling の第2版) を利用した。特性化の影響領域には、地球温暖化、資源消費、酸性化、廃棄物、光化学オキシダント、富栄養化、人間毒性、生態毒性、エネルギー消費、都市域大気汚染の影響領域を設定した。統合化における単一指標には外部コスト (円)^{注)}を採用した。

注) 環境政策に関する日本国民へのアンケート調査から得られた重み付け係数を用いて算出した環境被害に対する支払い額

4. 研究成果

(1) 開発したヴァーチャル製材工場経営シミュレーターを用い、発電原料との競合により製材工場における原木 (原材料) や背板チップ (副製品) 単価が上昇した場合の経営に及ぼす影響度を分析した。原木の径級比率および径級別原木の購入単価、製造する製品の構成および販売単価等の単価条件はヒアリングや文献データより収集

し、北海道の主要な人工林在であるトドマツとカラマツを原料とする製材工場をそれぞれモデル化した。ここでは、トドマツ製材工場の結果を示す。なお、年間の原木消費量は平均的な3万m³/年とし、18cm下の小径木の材積率を全原木の20%と設定した。

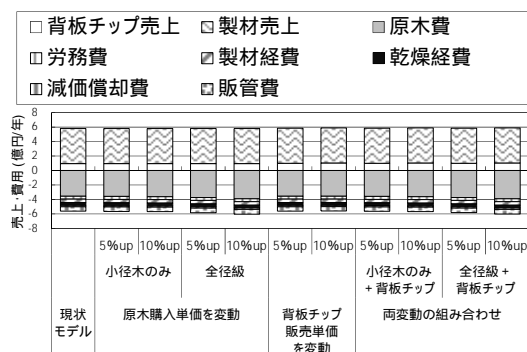


図1 原価構成

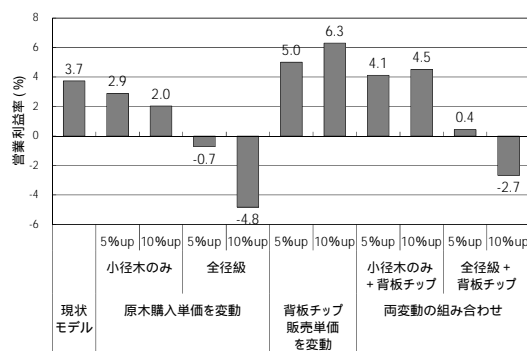


図2 営業利益率

売上と費用の原価構成(図1)を基に、売上高対営業利益率(営業利益率、図2)を算出した。ここで、現状モデルの売上高対総利益率(粗利)は16.2%と試算された(図表データは割愛する)。これは、北海道内における製材業の粗利と近似しており、シミュレーターは一定の精度を有していることが示唆された。

現状モデルの営業利益率は3.7%であるのに対し、小径木の購入単価が5%あるいは10%上昇した場合、営業利益率はそれぞれ2.9%、2.0%となり、現状モデルよりもそれぞれ0.8%、1.7%減少した。一方、全径級の原木購入単価が5%あるいは10%上昇した場合には、営業利益率はそれぞれ-0.7%、-4.8%と大きく減少して赤字となることが分かった。仮に、営業利益率を現状モデルの3.7%まで引き上げる場合、主製品である製材単価をそれぞれ4.5%、9.0%値上げする必要があると試算された。

他方、背板チップの販売単価が5%あるいは10%上昇した場合には営業利益率はそれぞれ5.0%、6.3%となり、現状モデルよりもそれぞれ1.3%、2.6%上昇した。さらに、原

木購入単価とチップ販売単価の変動とを組み合わせ、小径木の購入単価および背板チップの販売単価が5%あるいは10%上昇した場合、営業利益率はそれぞれ4.1%、4.5%となり、現状モデルよりもそれぞれ0.4%、0.8%増加した。ところが、全径級の原木購入単価および背板チップの販売単価が5%あるいは10%上昇した場合には、営業利益率はそれぞれ0.4%、-2.7%となり、採算性の確保が困難となることが分かった。仮に、営業利益率を現状モデルの3.7%まで引き上げる場合、主製品である製材単価をそれぞれ3.3%、6.6%値上げする必要があると試算された。

図1に示したとおり、製材業における売上と費用の関係はタイトであり、5~10%の原木購入単価あるいは背板チップ販売単価の変動により営業利益は大きく増減することが明らかとなった。原木購入単価が上昇した場合には主製品である製材販売単価の値上げが必須となるが、販売単価の高い(付加価値の高い)製品や二次加工製品などに製造をシフトしていく検討も重要と考えられた。

得られた結論は以下のとおりである。

1. 開発したヴァーチャル製材工場経営シミュレーターによる各種経営指標の試算値は、現状の製材工場における値と概ね一致する。当該シミュレーターは製材工場の事業性を分析する上で有用なツールとなり得る。
2. 木質バイオマス発電の及ぼす製材業への影響は、原木単価の上昇を小径木のみに限定すれば比較的小さいが、全径級の単価が上昇するとすれば非常に大きい。
3. 全径級の原木単価が5%でも上昇した場合は、背板チップのみならず製材製品の販売単価の引き上げが必要となる。
4. タイトな売上と費用の関係を改善するため、販売単価の高い(付加価値の高い)製品や二次加工製品などに製造をシフトしていくことが重要。

(2) 蒸気タービン方式のプラントにおいて、原料の供給量や購入価格から効率や採算性などを推計するシミュレーター(以下、発電シミュレーター)を作成した。まず、発電量、売電額ならびに建設工事費に影響する重要な要素である発電出力を指標として、開発したシミュレーターの推計精度を確認した。インターネット調査等より得た稼働中あるいは稼働前の木質バイオマス発電所における原料条件の公表値をシミュレーターに入力し、推計された発電出力と公表値との乖離率を調べた。その結果、発電出力が25000kWまでの範囲においてはシミュレーターに大きな乖離はないと考えられた。なお、熱収支計算のために組み込んだエネカルク Ver.3における蒸気温度の推計範囲の最大値は500である。蒸気温度500時のボイラー蒸発量は100t/h程度と推計され、発電出力では25000kW程度となり、これらの規模に

おける事業が発電シミュレーターの推計の最大値と考えられた。

表 1 規模別、木材種類別の原料購入価格

木質原料の種類		未利用	一般	リサイクル
FIT調達価格	円/kWh	32	24	13
目標IRR	%	8	4	4
発電出力	kW		2,360	
木材消費量	万t ⁽¹⁾ /年	3.5	2.8	2.1
購入価格	円/t ⁽¹⁾	5,171	3,930	-3,300
発電出力	kW		5,296	
木材消費量	万t ⁽¹⁾ /年	7.0	5.6	4.1
購入価格	円/t ⁽¹⁾	9,557	8,390	1,740
発電出力	kW		11,793	
木材消費量	万t ⁽¹⁾ /年	14.0	11.3	8.2
購入価格	円/t ⁽¹⁾	12,586	11,390	4,750

*1) 含水率は購入時で、未利用:W.B.50%、一般:W.B.40%、リサイクル:W.B.20%とした
注) なお、燃焼時の含水率は、未利用:W.B.40%、一般:W.B.30%、リサイクル:W.B.20%とした

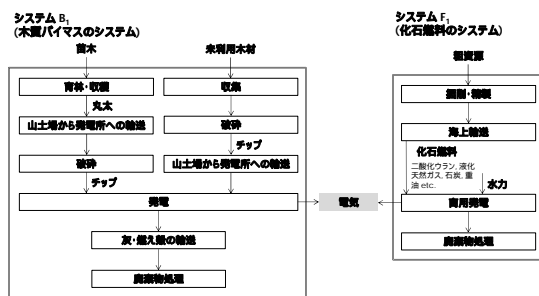


図 3 機能単位を電気とする場合のシステム境界

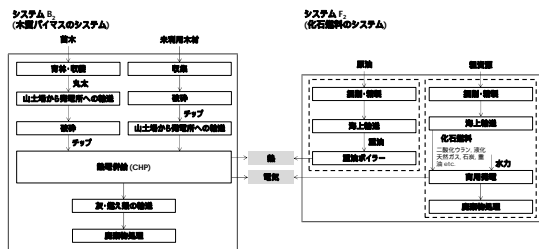


図 4 機能単位を熱および電気とする場合のシステム境界

発電シミュレーターを用いて税引前内部利益率 (IRR) が8%あるいは4%となる場合の発電事業における原料購入価格を規模別、種類別に試算した (表 1)。試算値を業界紙およびインターネット調査、ヒアリングより道内発電事業における木材の購入価格と比較した。規模が大きくなるにつれて原料に対する支払可能額は上昇し、例えば、出力が12000 kW 程度以上となる場合、未利用材を用いた発電所における原料購入価格は、パルプチップ原料材、製材用カラマツ小丸太、背板チップの取引価格を上回ると推定された。しかし、市況調査や製材工場へのヒアリングから判断すると、現時点 (平成 27 年度末) では道内製材工場において原料競合は起きていないか競合の影響度は非常に小さいと考えられた。

発電シミュレーターを用いて 10 万 m³/年

の未利用木材を用いたバイオマス発電および熱電供給システムのエネルギー製造量を推計し、日本版被害算定型環境影響評価手法 (LIME2) を用いて外部コストを試算した。システム境界を図 3 および 4 に示した。なお、熱電供給システムでは 0.6 MPa、10 t/h の抽気蒸気を利用するものとした。各木質バイオマスのシステム (B₁ および B₂) における 1 kWh あたりの外部コストは代替するそれぞれの化石燃料のシステム (F₁ および F₂) よりも電気のみを製造する場合で 34%、熱と電気を製造する場合で 71% も低かった (図 5)。木質システムにおける外部コストの年間削減額は、エネルギー変換効率に依存し、効率の高い熱電供給システムの方が発電システムよりも 4.8 倍 (131.5/27.5) 大きく (表 2)、環境性能から見た熱電供給の重要性が明らかになった。

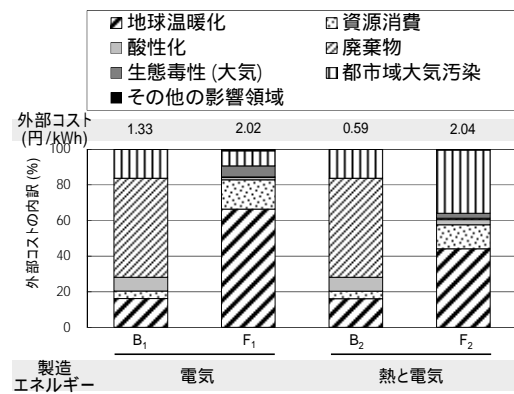


図 5 外部コストの比較

表 2 年間の外部コスト削減額

システム	B ₁		B ₂	
	電気	熱、電気	電気	熱、電気
製造エネルギー				
エネルギー製造量	MWh/年	39,946	90,214	
対化石燃料のシステム	円/kWh	0.69	1.46	
外部コストの削減額	1年あたり	百万円/年	27.5	131.3

得られた結論は以下のとおりである。

1. 開発した発電シミュレーターは木質バイオマス発電および熱電供給システムの事業性を分析する上で、また、素材生産業者等が木質バイオマスの供給可能コストの検討を行う上で有用なツールとなる。
2. 発電および熱電供給による木質バイオマスのシステムはこれらを代替する系統電力や化石燃料のシステムと比較して環境性能が高い。
3. しかしながら、例えば、発電効率の低い蒸気タービン方式により電力を製造し、灰および燃え殻の全量を埋め立て処理する場合には、系統電力よりも外部コストが高くなる可能性がある。
4. 熱電供給による木質バイオマスのシステムは、エネルギー利用効率が高く、同量の

原料から電力のみを製造する場合と比較して外部コストを効率的に削減する。

5. 木質バイオマスのシステムにおける環境負荷の低減のためには、エネルギー利用効率を高めるとともに、灰および燃え殻の埋め立てを回避し、環境負荷の低いリサイクル技術を促進することが効果的かつ重要である。

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4件)

- 1) 石川佳生:「ハノーファーで開催された“LIGNA2015”に参加して」, ウッディエイジ, 査読無, 745, 1-7 (2015)
- 2) 古俣寛隆:「第23回欧州バイオマス会議・展示会に参加して」, 木材工業, 査読無, 70, 437-440 (2015)
- 3) H. Komata, Y. Ishikawa, S. Ishiko:「Life Cycle Impact Assessment of Power Generation and Combined Heat and Power Generation by Woody Biomass」, 査読無, 22th European Biomass Conference and Exhibition proceeding, 736-740 (2015)
- 4) Y. Ishikawa, H. Komata, S. Ishiko:「The Influences of the Profitability by FIT Analyzed by the “Virtual Lumber Mill Business Simulator”」, 査読無, 22th European Biomass Conference and Exhibition proceeding, 1463-1467 (2015)

[学会発表](計11件)

- 1) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平, 山田敦:「未利用材を用いた発電およびコージェネレーションのGHG排出量」, 第9回バイオマス科学会議, 2014年1月15-16日, 高知県立県民文化ホール(高知)
- 2) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平, 山田敦:「林地残材の収集・輸送に関するエネルギー消費量」, 第9回日本LCA学会研究発表会, 2014年3月4-6日, 芝浦工業大学(豊洲)
- 3) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平:「木質バイオマス発電の環境影響評価」, 第23回日本エネルギー学会大会, 2014年7月19-20日, 九州大学(福岡)
- 4) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平:「木質バイオマス発電事業の採算性分析」, 2014年度林業経済学会秋季大会, 2014年11月8-9日, ホテル・メリージュ(宮崎)
- 5) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平:「木質発電施設およびCHP施設から製造されるエネルギーのGHG排出量」, 第10回日本LCA学会研究発表会, 2015年3月9-11日, 神戸大学(神戸)
- 6) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平:「木質バ

イオマス発電事業の採算性分析 その1 シミュレーションモデルの構築」, 第65回日本木材学会大会, 2015年3月17-19日, タワーホール船堀(東京)

- 7) 古俣寛隆, 石川佳生, 石河周平:「木質バイオマス発電事業の採算性分析 その2 未利用木材の購入価格と不確実性分析」, 第65回日本木材学会大会, 2015年3月17-19日, タワーホール船堀(東京)
- 8) H. Komata, Y. Ishikawa, S. Ishiko:「Life Cycle Impact Assessment of Power Generation and Combined Heat and Power Generation by Woody Biomass」, 22th European Biomass Conference and Exhibition, 2015年6月1-4日, Messe Wien (Vienna)
- 9) Y. Ishikawa, H. Komata, S. Ishiko:「The Influences of the Profitability by FIT Analyzed by the “Virtual Lumber Mill Business Simulator”」, 22th European Biomass Conference and Exhibition, 2015年6月1-4日, Messe Wien (Vienna)
- 10) 古俣寛隆, 前田典昭, 石川佳生, 本藤祐樹:「木質バイオマス発電シミュレーターの構築と利用」, 第24回日本エネルギー学会大会, 2015年8月3-4日, 札幌コンベンションセンター(札幌)
- 11) 古俣寛隆, 前田典昭, 石川佳生, 柳田高志, 久保山裕史, 本藤祐樹:「木質バイオマス発電事業および熱電併給事業の採算性に関わるリスク分析」, 第11回バイオマス科学会議, 2016年1月20-22日, 朱鷺メッセ(新潟)

[その他]

再生可能エネルギーの固定価格買取制度と木質バイオマス発電(前編)

<http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/dayori/1412/1412-3.pdf>

再生可能エネルギーの固定価格買取制度と木質バイオマス発電(後編)

<http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/dayori/1501/1501-3.pdf>

EUBCE2015参加記

<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/dayori/1509/1509-2.pdf>

木質バイオマス発電・熱電併給事業評価シミュレーターVer.1

<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/manual/biomass10/biomass.htm>

6. 研究組織

(1)研究代表者

古俣 寛隆 (KOMATA, Hirotaka)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林産試験場・研究主任

研究者番号:00446303

(2)研究分担者

石川 佳生 (ISHIKAWA, Yoshio)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森
林研究本部林産試験場・主査
研究者番号：80446286

石河 周平 (ISHIKO, Syuhei)
地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森
林研究本部林産試験場・研究主幹
研究者番号：10462318