

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580214

研究課題名(和文)木質バイオマスのサプライチェーン構築の理論化に関する研究

研究課題名(英文)Theory on supply chain establishment for woody biomass

研究代表者

酒井 秀夫(Sakai, Hideo)

東京大学・農学生命科学研究科・教授

研究者番号：70126069

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：リモコン式ウィンチ全木集材による定性間伐において、最大集材距離30m以内では高い生産性を上げることができた。チップング費用の低減のためには機械価格と生産性のバランスが重要であり、高価格なチップパほど減価償却のために事業量を確保する必要がある。低価格なチップパを複数台地域に投入することで地域の雇用創出につながる。岐阜県高山市で路網配置計画を行った結果、年間1,237tのバイオマス供給が可能になることが示された。タイ国ゴム材のバイオマスサプライチェーンにおいて、Google Maps APIを適用することにより、プランテーションと製材工場の最短輸送経路と全体の収穫費用を求めることができた。

研究成果の概要(英文)：The whole tree harvesting by the tractor and winch system realized high productivity within the maximum skidding distance 30 m even for qualitative thinning. It is important to decide the chipper size according to the size of business. By combining the merits of small scale forestry and the low price chippers, a simple and low-cost chip supply model could be established. This system could create employments in local community. Forest road network planning at Takayama district, Gifu prefecture, showed the stable annual chip supply of 1,237 t. In the rubber wood biomass supply chain in Thailand, the Google Maps API was applied to find the shortest route between rubber plantation and sawmill.

研究分野：農学

キーワード：木質バイオマス サプライチェーン 全木集材 搬出システム ウィンチ チッパ チップング

### 1. 研究開始当初の背景

わが国で木質バイオマスの利用が叫ばれて久しいが、製材工場の自家消費などを除いて成功事例は少ない。ひとつにはバイオマスプラントのコンセプトや基本設計にもあるが、燃料チップ供給のサプライチェーンができていないことが原因として大きい。その理由は、材が細くて嵩も張って能率があがらない、工場の買取価格とあわない、搬出のすぐれた専用機械が開発、普及していないことなどが挙げられる。また、山元土場や中間土場でも、バイオマス専用回収業者が育成されておらず、バイオマスプラントへの供給ロジスティクスが確立されていない。バイオマス発電も可能性としてはあるが、大形の熱電併給プラントにすれば 30~40%の効率にすることができるが、含水量の多いチップを燃焼させて発電させるので効率は 10%くらいにしかない。当面は効率が 90%近い熱利用と、原料の地産地消による地域分散が現実的である。

2011年8月、再生可能エネルギー特別措置法案が可決されたのを機に、木質バイオマスのサプライチェーン構築の理論化と実現化が急務となっている。

### 2. 研究の目的

本研究は、木質バイオマスのサプライチェーン構築の理論化のために、農家林家の立場と事業レベルに分けて考え、山元の搬出システムを確立し、前者の自主性を引き出してバイオマス利用計画にのせ、山元とユーザの連携モデルを構築する。山元土場や中間土場でのチップング能率と工場への輸送主体の最適化とロジスティクスについて解明、考究する。バイオマスの土地生産性が高い途上国におけるバイオマス利用は今後地球規模で重要であり、ゴムなどのプランテーションへの応用についても検討を行う。成果はバイオマスによる熱供給モデル構築に資する。その上で、林業・林産業のサプライチェーンに組み込み、林業・林産業の振興にも資するようにする。

### 3. 研究の方法

木質バイオマスのサプライチェーン構築のための理論化に向けて、まず林内から道端までのウィンチによる低質材全木集材の生産性と費用について分析を行う。次の段階として、移動式チップの性能要件を分析し、中間土場位置と低質材およびチップの最適輸送距離、運送主体について理論的・実証的解明を行う。

山元とユーザの連携モデルとして、岐阜県下を対象に山元からのチップ供給とバイオマスによる熱供給モデル事業の構築を行う。ゴムプランテーションへの応用についても検討を行う。

### 4. 研究成果

(1) 木質エネルギーの重要性が高まるにつれ、全木集材が重要になる。簡易な全木集材方法として、リモコン式トラクタウィンチ集材による間伐材集材を取り上げた。1回当たりの集材量が多くなると、生産性は向上する。定性間伐においても複数本を全木集材するシステムを導入することで、最大集材距離 30m 以内では平均材積 0.2m<sup>3</sup> の要間伐林分からでも 8m<sup>3</sup>/時以上の高い生産性を上げることが可能であり(図1)、傾斜の影響も微小であった。遠方から 1本 1本荷掛けする方法と一度に荷掛けする方法とでは、前者は索張力を節減することができ、エンジンの負荷も少なく、結局燃料消費量を節約することができる。この作業において林内で天然乾燥することにより、トラック輸送だけでなく、ウィンチ作業の燃料消費を削減することができる。

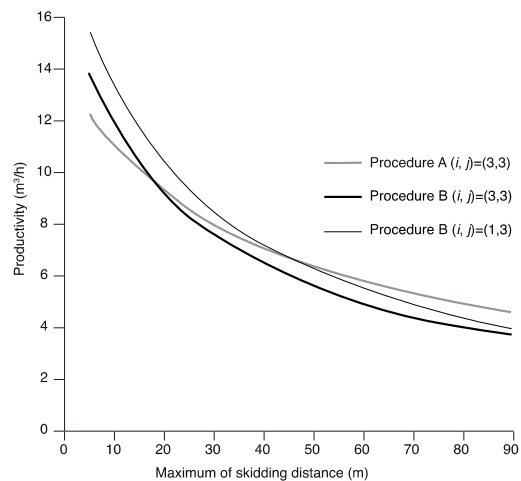


図1 リモコン式トラクタウィンチ全木集材の生産性

凡例は上から、平坦地で 1本 1本荷掛けするシステム(3回, 3本)、急傾斜地で 1本 1本荷掛けするシステム(3回, 3本)、急傾斜地で 1回で 3本荷掛けするシステム。

(2) チッピング費用の低減のためには機械価格と生産性のバランスが重要であり、高価格なチップほど減価償却のために事業量を確保する必要性が高い。図2において、チップ生産コストの目標を 1200 円/トンとし、機械価格 500 万円のチップと 5000 万円のチップを比較した場合、500 万円のチップの生産性はチップにして 25~30 m<sup>3</sup>/時、5000 万円のチップの生産性はチップにして 60~70 m<sup>3</sup>/時になる。生産性はちがってもコストは同じである。生産性を必要な原木量とすれば、それぞれ約 10.5 m<sup>3</sup>/時、約 24.5 m<sup>3</sup>/時の原木をチップのそばに準備しておく必要がある。5000 万円のチップでは 1日 6時間稼働で 150 m<sup>3</sup>/日になる。24.5 m<sup>3</sup>/時は 17.5 トンになることから、それだけのトラック輸送能力も求められる。

5000 万円のチップを購入して、原木の供給が追いつかなかつたり、稼働率を上げること

ができず、平均生産量がチップにして例えば 30 m<sup>3</sup>/時のレベルとすると、機械償却費に追われてコストは急激に高くなり、チップ生産コストは 2800 円/トンに高騰し、事業を圧迫する。チップに対して原木供給との組み合わせが大事なことが確認される。なお、大形チップの動力に余力があって、生産量を 100 m<sup>3</sup>/時に上げると、コストは 800 円/トンに下がるが、原木供給のために大形林業機械をその分多数導入しなければならぬとすると、それだけの機械投資が雪だるま式に必要となり、集材工程で経営を圧迫しだすおそれがある。本来集荷圏は森林資源量や森林内の路網整備にも関わっているが、事業量を確保しようとするあまり、作業現場が林道沿に限定されたり、不必要な皆伐を強いたりするようになると、地域の林業経営に変質をきたすことも危惧される。

燃料用木質バイオマス生産は森林経営を資源の有効利用と経済面から支援すると期待されていると同時に、地方における雇用創出など社会的側面からの関心も高いが、生産性は比較的低くても低価格なチップを複数地域に投入することで事業量に応じたチップングシステムを構築することができ、機械の故障に備えられる他、地域の雇用創出につながる。このことは日本国の小規模林業にふさわしいシステムといえる。

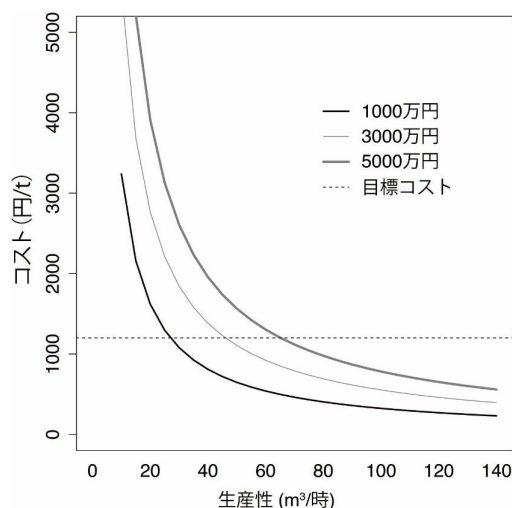


図2 チップの価格と生産性、コストの関係

(3) チッピングと輸送システムについては、チップの生産性、チッピング場所と運搬車両の関係が重要である。4tトラックと10tトラックを比べたとき、10tトラックの方が低コストだが、生産性の低いチップとの組み合わせでは集荷圏は縮小した。今後日本における木質バイオマス生産システムの改善には、生産能力と初期投資の釣り合ったチップと、チップの能力を活かせる輸送システムが必要不可欠である。

(4) 木質バイオマス利用のポテンシャルが

高い岐阜県高山市旧高山市域でバイオマス収穫を前提にした路網配置計画を行った。バイオマスエネルギーとしての森林資源量は、民有林スギ、ヒノキ人工林を対象に森林簿、既存の統計資料を活用して森林成長量ベースで算定し、利用可能量は計画路網 200m以内を想定した。これらの条件と将来の路網メンテナンス費用低減を視野に入れて、地質図と地形図から流れ盤を自動判別する筆者らが開発したソフトウェアを用いて、流れ盤を回避した路網計画を行った結果、路網密度が 12m/ha となる配置結果を得(図3)。旧高山市域で年間 1,237t の木質バイオマスの安定的な供給が可能になることが示された。

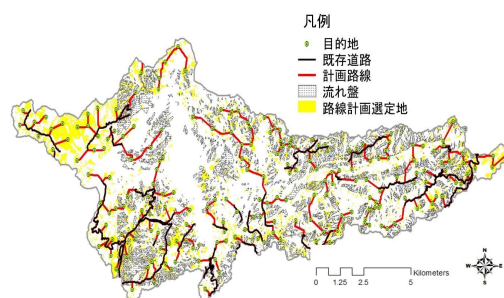


図3 バイオマス収穫を前提にした路網配置結果

(5) ゴム材は 25 年から 30 年の周期で乳液の生産が経済的でなくなったときに、ゴムの木を再植するための皆伐時に収穫されるが、製材工場への原材料供給を視野に入れた根株も含めたゴム材のバイオマスサプライチェーン構築は十分に研究がなされていない。タイ国ゴムプランテーションにおける短材集材について分析を行った結果、ゴム材の収穫システムのコストは、チェーンソー伐倒、ブルドーザ伐倒、玉切り、ピックアップトラック輸送について、それぞれ 0.90、1.57、0.98、15.28 ドル/m<sup>3</sup>であり、ゴムの短材収穫において、輸送コストが主要なコストを占めていた。

根株の収穫技術と利用について分析を行った結果、エクスカベータと伐根の位置が同じ高さであることから、伐根の周囲の土を取り除き、伐根をこじ開けるようにして掘り取らなければならないが、大型エクスカベータを使用することにより、作業も速い。ブルドーザによる伐倒作業を行うことにより、ゴムの根株は伐倒時に取り除かれる。ゴム根株のバイオマス利用のポテンシャルは約 38,200 kg/ha、あるいは 1 本のゴムの木の 14% である。

プランテーションと製材工場の最短経路の探索に Google Maps API を適用し、最短輸送距離に基づくゴム材サプライチェーンのコスト分析システムを開発した。ピックアップトラックによる輸送コストを求め、タイ南部に分布するプランテーションから想定される複数の例をとって、地図上から経路と全

体の収穫費用を求めることができた。本システムは、プランテーション所有者、素材生産業者、製材工場経営者にとって、ゴム材サプライチェーンを設計、経営するのに有用である。

#### 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5件)

孫 芝英、櫻井 倫、酒井 秀夫、岐阜県高山市における流れ盤を考慮した木質バイオマス収穫のための路網計画、中部森林研究、査読有、No.63、2015、103-106

YOSHIDA MIKA、SAKAI HIDEO、Winch harvesting on flat and steep terrain areas and improvement of its methodology、Croatian Journal of Forest Engineering、査読有、Vol.36、No.1、2015、pp.55 - 61

YOSHIDA MIKA、SAKAI HIDEO、Importance of capital cost reduction of chippers and their required productivity、Journal of Forest Research、査読有、Vol.19、No.4、2014、pp.361 - 368  
DOI:10.1007/s10310-013-0426-x

YOSHIDA MIKA、SAKAI HIDEO、Fuel chip supply system with low price mobile chippers、Croatian Journal of Forest Engineering、査読有、Vol.35、No.1、2014、pp.9 - 14

RIANTHAKOOL LADDAWAN、SAKAI HIDEO、Short wood harvesting and pickup truck transportation during regeneration of rubber plantations、東大演報、査読有、130、2014、pp45 - 58

##### [学会発表](計4件)

SAKAI HIDEO、YOSHIDA MIKA、Innovations of Forest Engineering、Forest Construction-Transportation and Technologies Workshop、2014年5月30日、「トラブゾン、トルコ」

YOSHIDA MIKA、SAKAI HIDEO、A succeeded example of supply chain management in a small village in Japan、15th Symposium for Systems Analysis in Forest Resources, Analytics for Sustainable Forest Value Chains、2013年8月19日、「モントリオール、カナダ」

RIANTHAKOOL LADDAWAN、SAKAI HIDEO、SAKURAI RIN、Stump removal and its

utilization under forest road construction、IUFRO Unit 3.06. Forestry Operations in Mountainous Conditions、2013年6月5日、「ホーネ、ノルウェー」

RIANTHAKOOL LADDAWAN、SAKAI HIDEO、Comparison of two felling methods in rubber plantation、FORTECHENVI 2013、2013年5月27日、「ブルノ、チェコ」

##### [図書](計2件)

遠藤 日雄・酒井 秀夫他、全国林業改良普及協会、土場の役割と機能、2015、159

熊崎 実・沢辺 攻編著、農山漁村文化協会、木質資源とことん活用読本、2013、53-65

##### [産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

##### [その他]

ホームページ等

<http://www.eng.fr.a.u-tokyo.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

酒井 秀夫(SAKAI HIDEO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：70126069

##### (2)研究分担者

櫻井 倫(SAKURAI RIN)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：50451836

##### (3)研究協力者

RIANTHAKOOL LADDAWAN

吉田 美佳(YOSHIDA MIKA)

孫 芝英(SON Ji-young)