低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

# 木質バイオマス燃料のコスト低減

## ー林業素材生産コストの機械化推進による低減効果ー

平成28年3月

**Cost Reduction of Woody Biomass Fuels:**
**Cost Reduction Effect by Mechanization of Wood Production**

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2015-PP-06

## 概要

現在、我が国の木質バイオマス発電の燃料は、未利用間伐材、建設資材廃棄物、一般木材残渣等であるが、これらを使ったバイオマス発電の既導入量はまだ少なく約4TWh/年に留まっている[1]。現在は、建設資材廃棄物及び一般木材残渣が木質燃料の主流であるが、今後増える可能性は小さい。一方、日本の森林資源の蓄積は50億$m^3$以上あるにもかかわらず、未利用間伐材はほとんど使われていない。仮に1億$m^3$/年を発電燃料に利用できるとすると、年間発電電力量約60TWhの高い発電ポテンシャルを有していることになるが、現状では植林から伐採までの木材生産総コストが高く、エネルギーとして利用するには大幅なコストダウンが必要である。国際的なエネルギーコストの競争を考慮すると、日本の木材生産総コストは従来の1/5程度にすることが求められる。本報告では、森林傾斜角20°以下の緩斜面における機械化の推進による主伐費の削減、及び持続可能な単位事業量（1万ha/50年程度の森林面積）の確保による、国際的コストと同程度のコストへのコストダウンの可能性を示す。

今後は、植林など育林費用低減の検討、最近開発が進む傾斜角30°以上の急峻な地形に適した林業機械の検討に加え、地域に適した作業システムを提言していく。また、林業の持続的な運営には、1万ha単位程度の施業の集約化や、継続的な木材の需給システムの確立も必要であり、日本の林業改善への包括的な検討を行っていく。

## Summary

Recently, the fuels used in woody biomass power generation in Japan are unused thinnings, construction material wastes, usual woody wastes, and so on. The power generation energy using these fuels is small as about 4TWh/year [1]. Though the construction material wastes are current mainstream of woody biomass fuels, it is not expected to increase in future. On the other hand, growing stock of Japanese forest is 5 billion $m^3$ or more, but the unused thinnings are scarcely utilized. When 0.1 billion $m^3$/year woods in this growth are used for woody biomass fuels, that potential energy would be very large as 60 TWh/year. For the realization of this potential energy, the significant cost reduction is necessary, because the current total wood production costs from the planting to the final cutting are very high in Japan. For the competitive international woody biomass energy costs, Japanese current wood total production costs are required to reduce to about 1/5. About the final cutting costs in the forest with gradual slope of less than 20°, it was calculated the result which can reduce to the same extent as international costs, by promoting the mechanization of harvesting and securing the sustainable unit business volume which is the forest area of about 10,000 ha /50 years.

In the future, the silvicultural cost reduction and selecting the suitable forestry machines which have being developed recently for steep terrain of more than 30° slope will be studied. And some working systems that are suitable for the each area will be proposed. For the sustainable management of forestry, the consolidation of the working area of about 10,000 ha unit and the establishment of the supply and demand system of wood are also required. Then the comprehensive improvement review of Japanese forestry will be conducted.

# 目次

概要

１．緒言……1
２．木質バイオマス燃料のコスト構造と低減の可能性……2
３．主伐費低減の要件……6
　３．１　高性能林業機械の稼働時間と主伐費の関係 ……6
　３．２　労働生産性と主伐費の関係 ……7
４．政策立案のための提案……8

参考文献……8

## 1．緒言

木は燃焼すると $CO_2$ を発生するが、持続可能に運営されている森林から原料として生産されるかぎり、木はまた成長して光合成により $CO_2$ を吸収し固定する。このため、木質バイオマスエネルギーを使用しても $CO_2$ の排出量は原理的にはゼロであり、石炭などの化石燃料と代替えすることにより $CO_2$ の削減に寄与する。このように木質バイオマス燃料は代表的な再生可能エネルギーの一つである。実際、EU 等の主要国の再生可能エネルギーに占める木質バイオマスの割合は 40% 前後であり、主要な再生可能エネルギー源となっている。その EU の 1 次エネルギー消費における再生可能エネルギー割合は約 8% であるが [2]、日本では 5% 程度とやや低い。日本の再生可能エネルギーの構成は、大規模水力が 59%、製紙工場の黒液が 17% で大半を占め、残りがチップなどの木質バイオマス 16% とその他の再生可能エネルギー 8% の割合である。前出の EU と比較すると、木質バイオマスの利用は非常に低い状況である [3]。一方、森林蓄積量をみると、ドイツは 34 億 $m^3$、スウェーデンは 30 億 $m^3$ であるのに対し、日本は約 50 億 $m^3$ であり、EU 諸国よりも木質バイオマスエネルギーのポテンシャルは高い [4][5]。このような高いポテンシャルを保有しているにも関わらず、諸外国と比較して発電のみならず熱利用についても、その導入が進んでいない。木材生産総コストが高いことや、エネルギー利用のための需給システムが確立されていないことなどが、理由としてあげられる。

本稿では、日本及び EU 等の主要国の比較の上で、主要因である木材生産コストの低減可能性について、そのコスト構造に基づいて検討する。特に、機械化の影響が大きい主伐費については、設備投資額、労働生産性、必要事業量などとの関係について計算し、今後の普及可能性について検討できるようにする。

## 2．木質バイオマス燃料のコスト構造と低減の可能性

現在、木質バイオマス発電の燃料は、未利用間伐材、住宅等の建築資材廃棄物、製材所から出る一般木材残渣等であり、これらを使用したバイオマス発電の既導入量は年間50万kW程度（約4TWh/年）[1]に留まっている。その中でも、森林からの原木にあたる未利用間伐材を燃料とした既導入量は年間3万kW[1]と非常に少なく、これに必要な木材量は約35万$m^3$/年（発電効率25%、設備利用率80%、発熱量17MJ/kgの場合）程度である。日本の年間成長量約2億$m^3$/年のうち[1)]、1億$m^3$/年を燃料として使用できると仮定した場合、1/300程度しか使用していないことになる。森林資源燃料として利用余地は十分であり、機械化推進の投資価値はあると考えられる。この1億$m^3$/年をすべて発電に利用する場合、設備容量850万kW、年間発電電力量約60TWhの発電ポテンシャルを有することになる。

図1に、北海道及びスウェーデンにおける、主伐単位体積当たりの木材生産総コスト（地拵え～主伐）とそのコスト構造を比較して示す[2)]。いずれも森林の傾斜角は20°以下の緩斜面であり、地形、気候等が類似している。スウェーデンの木材生産総コスト3,400（円/$m^3$－丸太）は、北海道のコスト19,400（円/$m^3$－丸太）の1/5以下である。図1に示すように、木材生産総コストは育林コスト（植林、下刈、枝打、除伐、保育間伐）と素材生産コスト（間伐、主伐）からなるが、北海道の育林コストと素材生産コストの構成比はほぼ半々であるのに対し、スウェーデンの育林コストは総コストの1/3程度と低い。しかも、スウェーデンの育林コストは、北海道の1/8程度で、非常に低コストである。スウェーデンでは気候により下草が生えにくい上に、地拵えの機械化、コンテナ苗の技術進展、植付けの効率化など、地域にあった対策が採られていることが、育林コストが低い要因である。日本においても、地域に適した育林コストの低減策が考えられるが、これらは今後の課題とし、本稿では機械化の推進による主伐費低減の可能性について述べる。表1に、北海道とスウェーデンの主伐における設備投資額と労働生産性を示す。スウェーデンにおいては、日本の5倍の機械化投資額により約10倍の労働生産性を得ていること、及び、2交替制により機械の稼働時間を増すことで単位体積当たりの人件費と設備償却費を低減していることがわかる。すなわち、北海道では、2,500万円の設備投資で、伐採作業システム（チェーンソー、ブルドーザー、グラップル、フォアワーダー）を揃え、5名で作業して、労働生産性7$m^3$/人日、主伐費4,000（円/$m^3$－丸太）程度（図1参照）である。一方、スウェーデンでは、1億3,000万円の設備投資で、高性能ハーベスター（写真1）とフォアワーダー（写真2）各1台を導入し、2名で運転して、労働生産性75$m^3$/人日を実現し、さらに2交替制で行うことにより、主伐費1,400（円/$m^3$－丸太）程度（図1参照）に抑えている。スウェーデンと同様の作業システムを導入すれば、主伐費の低減は可能であるが、路網の整備と機械の運転習熟、及び集約した事業量の確保などが必要となる。

---

1) 日本の森林面積2500万ha、伐期50年として年間可能伐採面積は50万ha/年。材積を主伐300$m^3$/ha、間伐100$m^3$/haとすると、主伐、間伐合わせて年約最大2億$m^3$伐採可能。

2) 北海道平成24年度造林事業標準単価（北海道水産林務部）及びLCS現地調査による。

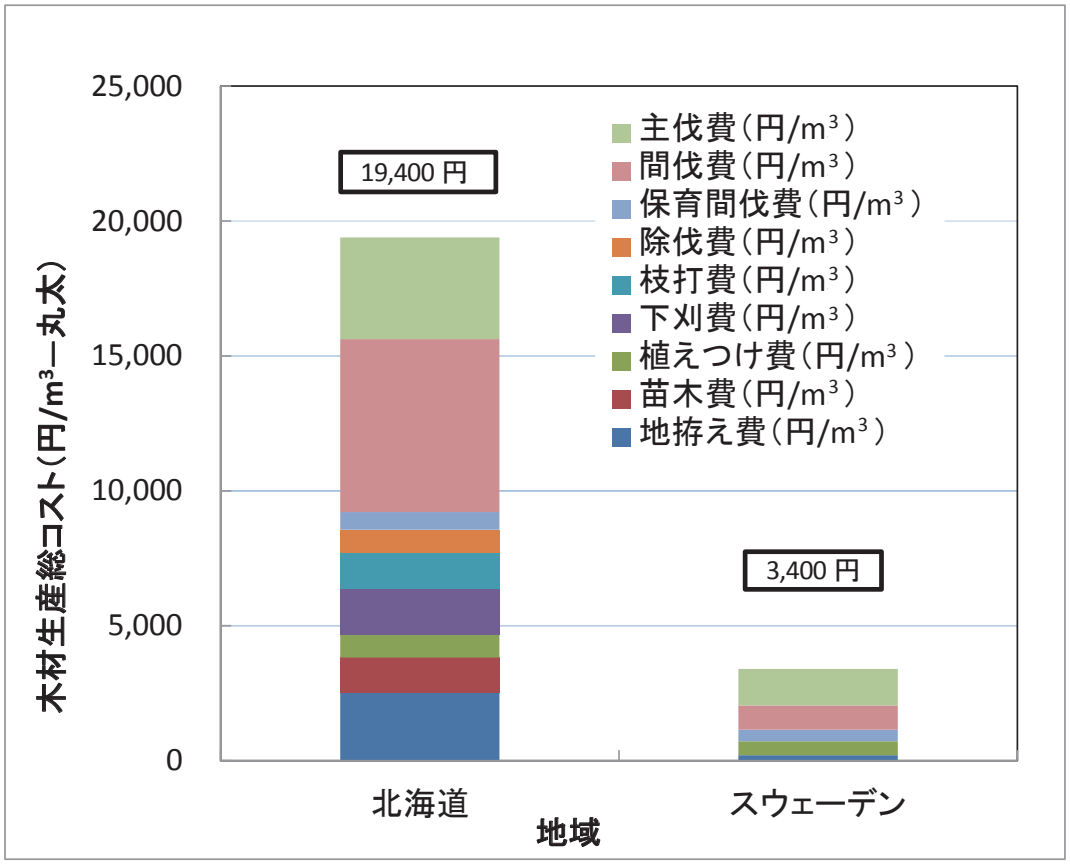



図 1　北海道とスウェーデンのコスト構造比較

表 1　北海道とスウェーデンの主伐における設備投資額と労働生産性

| | 地域 | |
|---|---|---|
| 基礎データ | 北海道 | スウェーデン |
| 設備投資額（M 円） | 25 | 130 |
| 主伐量（$m^3$/ha） | 150 | 150 |
| 間伐量（$m^3$/ha） | 130 | 45 |
| システム生産性（$m^3$/ 日） | 35 | 150 |
| 労働生産性（$m^3$/ 人日） | 7 | 75 |
| 年間稼働延べ日数（日） | 200 | 480（2 交替） |
| チーム員（人） | 5 | 2 |
| 人件費（k 円 / 日） | 16 | 30 |

写真1　ハーベスター　伐採から玉切まで1人で150m$^3$/日の収穫が可能
（写真1,2　場所：スウェーデン　撮影：2014年11月）

写真2　フォアワーダー　1人で150m$^3$/日の集材が可能（グラップル付）

以上は、北海道やスウェーデンのような傾斜角20°以下の緩斜面の地形の場合についてであるが、日本には傾斜角30°以上の急斜面も多く[3)]、地形によって適切な森林機械を選択する必要がある。これらについては今後の課題とするが、基本的なコストダウンの方法は緩斜面の時と同様である。急斜面が多い点で日本の地形に類似しているドイツ、オーストリアなどにおいては、地形に適したタワーヤーダーや新たなコンセプトの林業機械も開発されており、機械化によるコストダウンの選択肢は広がっている。

[3)] 傾斜分布：20°以下32%、20～30°　26%、30°以上42%（平成22年版森林・林業白書）

## 3．主伐費低減の要件

主伐費を低減するためには、高性能林業機械の導入により労働生産性を向上させることが効果的だが、高価な機械の設備償却費を十分低減させるためには機械の稼働時間を高める必要がある。また、そのためには一定量の伐採ができる森林面積の確保が必要である。以下に、これらと主伐費の関係について検討する。

### 3．1　高性能林業機械の稼働時間と主伐費の関係

図2に、高性能林業機械を導入した場合の、年間稼働延べ日数と主伐単位体積当たりの主伐費の関係、及び対応する年間可能伐採面積との関係（折線）の計算結果を示す。路網整備等の現状を考慮し、スウェーデンの作業システムにフォアワーダー1台（設備投資額1.6億円、3名作業）を加えた作業システムとし、労働生産性を33（$m^3$/人日）、主伐量を150（$m^3$/ha）とした。図2から、年間稼働延べ日数を480日（2交替による）にすることで、主伐費は2,000（円/$m^3$ ー丸太）程度に低減するが、年間約300（ha/年）の伐採面積が必要となることがわかる。また、年間稼働延べ日数の増加とともに、主伐単位体積当たりの設備償却費とメンテナンス費は低減するが、人件費と燃料費は変わらないことがわかる。適切な設備投資と稼働日数の増加がコスト低減に効果的である。

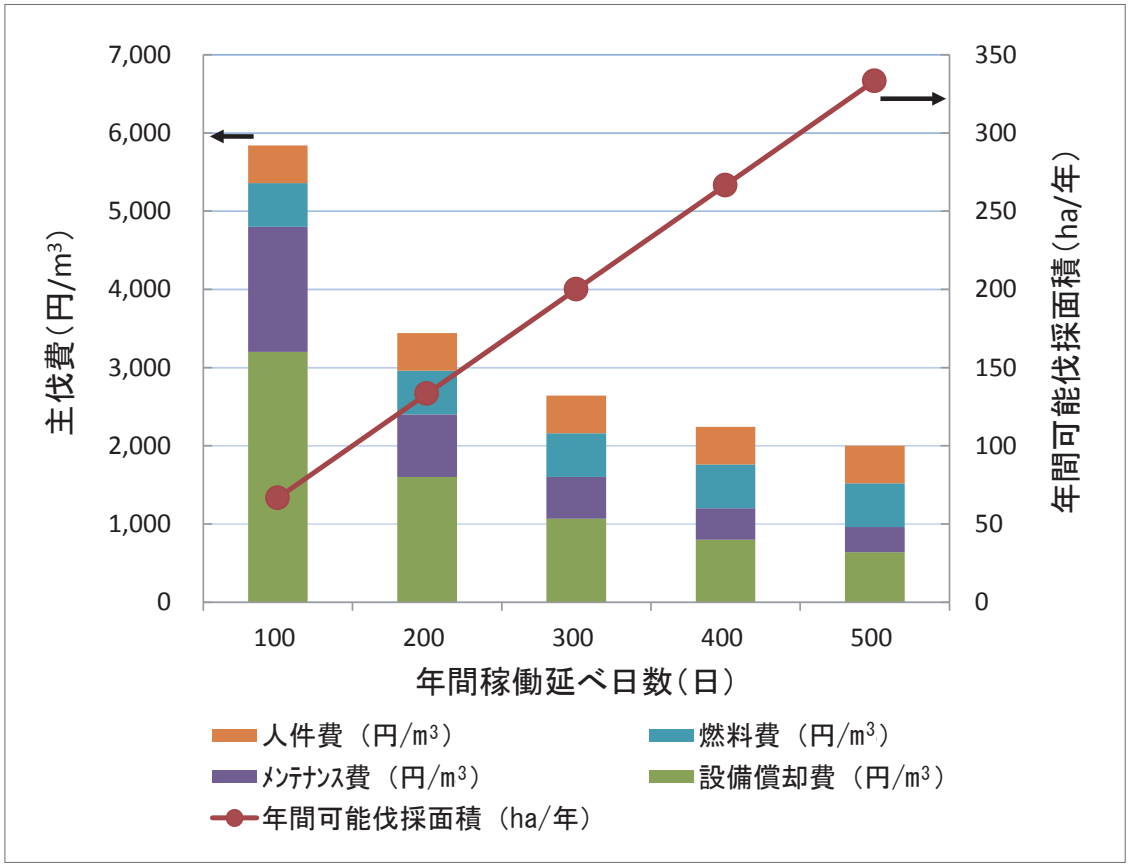
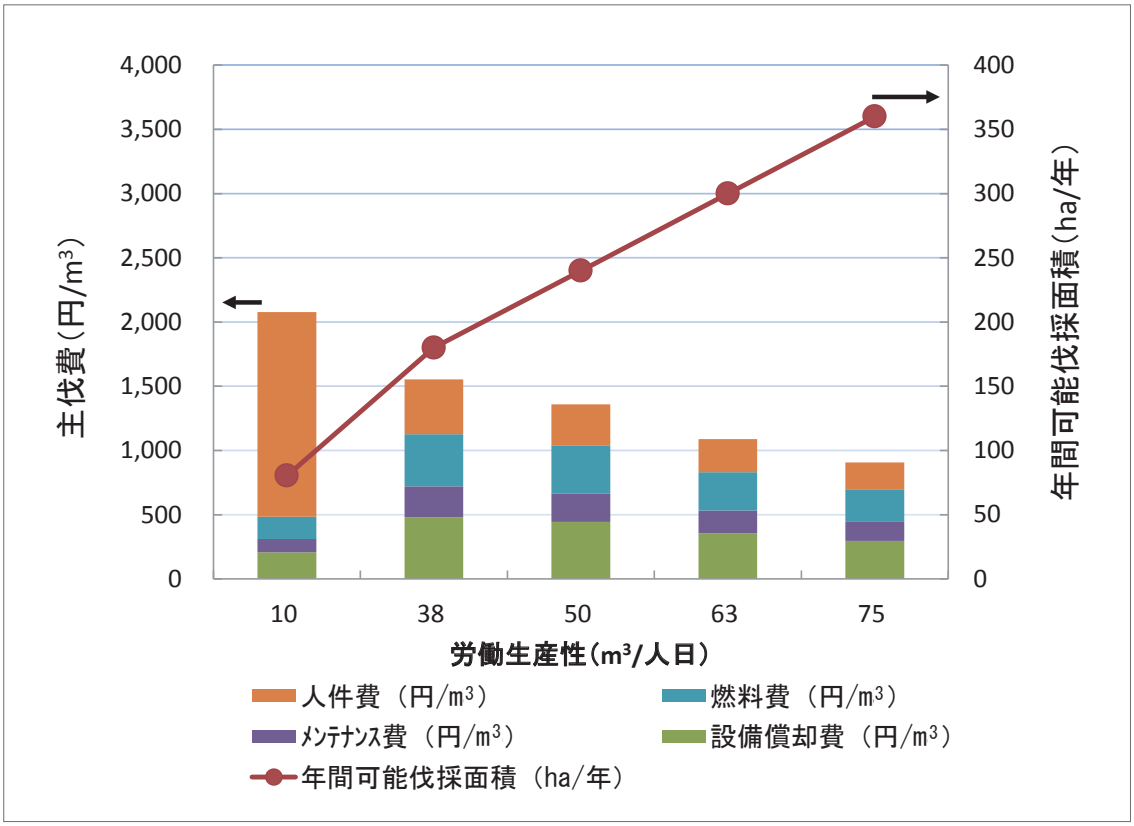



図2　年間稼働延べ日数と主伐費及び年間可能伐採面積との関係（同作業システムでの比較）
（チーム員：3人、労働生産性：33$m^3$/人日、主伐量：150$m^3$/ha
設備投資額：1.6億円（ハーベスター1台、フォアワーダー2台））

### 3.2　労働生産性と主伐費の関係

図3に、高性能林業機械の運転習熟や材積の多い森林の選択などにより労働生産性が向上した場合の、労働生産性と主伐単位体積当たりの主伐費の関係、及び年間可能伐採面積との関係（折線）の計算結果を示す。主伐量は日本の平均的な300（$m^3$/ha）とし、2交替制（年間延べ480日）での運用としている。設備投資額及びチーム員数は、図3中の表に示した。労働生産性が40～50（$m^3$/人日）の場合、主伐費は1,500（円/$m^3$ ー丸太）程度になり、スウェーデン並みに低減できる。設備投資がスウェーデンよりも0.3億円多く、労働生産性もスウェーデンよりも低いが（スウェーデンは75（$m^3$/人日））、現時点の人件費がスウェーデンの約1/2と低いため、同等のコストに抑えられている。このとき、年間の可能伐採面積は200～250ha/年程度であり、持続可能な単位事業量として、1万ha程度（伐期50年）の森林の確保が必要である（主伐約300万$m^3$/50年）。




| 労働生産性（$m^3$/人日） | 10 | 38 | 50 | 63 | 75 |
|---|---|---|---|---|---|
| システム生産性（$m^3$/日） | 50 | 114 | 150 | 189 | 225 |
| チーム員（人） | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 設備投資額（M円） | 25 | 130 | 160 | 160 | 160 |
| 年間稼働延べ日数（日） | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 |
| 必要森林面積（ha/50年） | 4,020 | 9,000 | 12,000 | 15,000 | 18,000 |

図3　労働生産性と主伐費及び年間可能伐採面積との関係
（共通データ　主伐量：300$m^3$/ha、耐用年数：5年、メンテナンス費：年償却費の50%、
燃料費：投資額10M円あたり軽油35L/日、年間稼働延べ日数：480日（240日の2交替）

## 4．政策立案のための提案

木材生産総コストは育林コスト（植林、下刈、枝打、除伐、保育間伐など）と素材生産コスト（間伐、主伐）からなるが、本稿では特に機械化の効果が大きい主伐費の低減可能性について示した。

(1) 現在バイオマス発電に利用されている未利用間伐材の既導入量は3万kW程度で、必要な木材量は約35万$m^3$/年である。日本の森林の年間成長量は約2億$m^3$/年と推定され、そのうち1億$m^3$/年が燃料に使用できるとした場合、現状の約300倍のポテンシャルを有していることになり、コスト低減のための機械化の投資の価値は十分である。
(2) この1億$m^3$/年をすべて発電に利用したとすると、設備容量約850万kW、年間発電電力量約60TWh/年が期待できる。
(3) 地形や気候が類似の北海道とスウェーデンの木材生産総コストを比較すると、スウェーデンは北海道の1/5以下のコストを実現している。このうち主伐費については、スウェーデンの方が、5倍の機械化投資額により10倍の労働生産性を得ており、さらに2交替制により機械の稼働時間を増すことで単位主伐体積あたりの人件費と設備償却費を低減している。
(4) 高額な高性能林業機械を導入した場合は、労働生産性の向上が期待できるとともに主伐体積あたりの償却費の負担を減らすため、一定量以上の事業量（伐採できる森林面積）の確保が重要である。ハーベスター1台、フォアワーダー2台を1.6億円で購入し労働生産性が40～50$m^3$/人日にできた場合は、主伐費をスウェーデン並み（1,500円/$m^3$ ー丸太）に低減できる。この時の年間可能伐採面積は200～250ha/年であり、持続可能な単位事業量として1万ha程度の森林の確保が必要である（50年伐期）。
(5) 本稿では主伐費低減の方法と可能性について示したが、今後育林方法の検討、急峻な地形に適した林業機械の検討に加え、地域に適した作業システムを提言していく。また、持続的な運営には施業の集約化や継続的な木材需給システムの確立も必要であり、日本の林業改善への包括的な検討を行っていく。

## 参考文献

[1]「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について」、総合資源エネルギー調査会.
長期エネルギー需給見通し小委員会（第4回会合）資料2、資源エネルギー庁, 平成27年3月.
[2]「2010年版　エネルギー白書」、経済産業省、平成22年6月.
[3]「2013年度におけるエネルギー需給実績（確報）」、資源エネルギー庁、平成27年6月.
[4]「平成27年版　森林・林業白書」、林野庁、平成27年6月.
[5]「欧州における林業経営の実態把握報告書」、（社）日本経済調査協議会、平成24年7月.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
## イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

# 木質バイオマス燃料のコスト低減
## ー林業素材生産コストの機械化推進による低減効果ー

平成 28 年 3 月

**Cost Reduction of Woody Biomass Fuels:**
**Cost Reduction Effect by Mechanization of Wood Production**

Strategy for Technology Development,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2016.3

国立研究開発法人科学技術振興機構　低炭素社会戦略センター

**本提案書に関するお問い合わせ先**
●提案内容について・・・低炭素社会戦略センター　主任研究員　浅田 龍造（Ryuzo ASADA）
●低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター　企画運営室

〒102-8666　東京都千代田区四番町5-3　サイエンスプラザ 4 階
TEL：03-6272-9270　FAX：03-6272-9273　E-mail：lcs@jst.go.jp
https://www.jst.go.jp/lcs/
© 2016　JST/LCS
許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。