

革新的バイオマス利用システム
有望シナリオに関する調査研究
報 告 書
- 要 旨 -

平成20年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 財団法人 地球環境産業技術研究機構

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



序

我が国経済の安定成長への推進に当り、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムに関する調査研究等補助事業、新機械システム普及促進補助事業を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長 東京大学 名誉教授 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を実施しております。

この「革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が 財団法人地球環境産業技術研究機構に委託して実施した調査研究の成果であります。今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成 20 年 3 月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

本報告書は、財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）が、財団法人機械システム振興協会から平成 19 年度事業として受託した「革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する調査研究」の成果を取りまとめたものである。

地球温暖化が進んでいくなか、その主要な原因である二酸化炭素の大気への排出量の増加を抑制すべく、世界各国で省エネルギー技術、非化石燃料への転換技術、二酸化炭素の分離回収・貯留技術など様々な取り組み、研究開発が進められている。

二酸化炭素削減のみならず化石燃料の枯渇問題からも、これまでの化石燃料に依存しているエネルギー供給システムを非化石燃料へ転換することは、非常に重要であり、その対策技術の一つとして、植物バイオマスの利用は、カーボンニュートラルな資源であること、化石燃料の使用をその削減できるという 2 点から、利用拡大が世界で求められてきていることは周知の事実である。

海外、特に欧米においては、古くからバイオマス利用は盛んに進められており、なかでも、暖房や発電の一部に利用が進んでいる。

一方、液体、ガスなどの化石エネルギー資源の海外依存度が大きい日本では、非化石燃料である国内のバイオマスの利用が、近年エネルギーの有効利用・温暖化対策の両面で強く期待されてきた。

しかしながら、植物バイオマス資源の利用を困難としている原因は、主に「賦存の希薄さ」という特質にあり、これを背景とする様々な課題を克服する必要がある。

こうした状況を踏まえ、本調査研究では、賦存量として規模の大きい国内の森林バイオマスの利用を目指し、生産性の高い高生長樹種を選定し、それらの植林による利用可能量の算定をもとに、新規の育林・採集・運材等システムによる利用システムの経済性評価により、将来に向けて有望な利用シナリオの策定を行った。この調査が、今後の国内でのバイオマス利用に向けた技術戦略として活用されるとともに、地球温暖化対策技術開発の促進、ひいては、機械工業の振興に寄与できれば幸いである。

最後に、本調査研究の実施に当り、ご指導・ご支援いただいた関係者各位に心から感謝を申し上げます。

平成 20 年 3 月

財団法人 地球環境産業技術研究機構

目 次

序	i
はじめに	ii
目 次	iii
1 調査研究の目的	v
2 調査研究の実施体制	vi
3 調査研究の内容	ix
第1章 森林育成技術	1
1.1 利用状況、活用技術、賦存量	1
1.1.1 森林資源・利活用状況の現況	1
1.1.2 森林バイオマスの賦存量	1
1.2 日本植生、高生長樹種	2
1.3 理想的な森林育成活用形態	8
1.3.1 高密度路網整備	9
1.3.2 高性能林業機械	10
1.4 理想的な森林育成活用形態	15
1.4.1 算出方法概要	15
1.4.2 国内森林の気象条件等による分類	16
1.4.3 バイオマス資源生産候補地面積の算出	22
1.4.4 バイオマス資源生産収穫可能面積の算出	24
1.4.5 対象栽培樹種の選定、生産可能量の算出	27
第2章 木質バイオマスの育林・伐木・集材・運材コスト	29
2.1 育林・伐木・集材・運材 コストに関する現状調査	29
2.1.1 育林コスト	29
2.1.2 伐木・収集コスト	31
2.1.3 運材コスト	33
2.1.4 林道・作業道等開設コスト	34
2.2 伐木・集材・運材コストの低減の可能性調査	35
2.2.1 国内実証研究等におけるコスト	35
2.2.2 国内の収集範囲と新技術/システム導入を想定したモデルコスト算定	38
2.2.3 バイオマス資源供給コスト	48
2.3 まとめ	50
第3章 革新的バイオマス変換システムの経済性評価	51
3.1 経済性評価の前提条件	51
3.1.1 変換技術	51
3.1.2 規模による評価	56
3.1.3 原料による評価	57
3.1.4 コスト計算の前提条件	58
3.2 化石燃料代替ポテンシャルの評価	59

3.2.1	生産される製品の市場及び価格の検討	59
3.2.2	競合対象となるプロセスのコスト概算	60
3.2.3	変換プロセスごとのプロセスコストまとめ	60
3.2.4	プラント規模と生産コストの関係	62
3.2.5	木材の収集範囲と生産コストの関係	66
3.2.6	木質バイオマス利用のポテンシャル評価	73
3.2.7	まとめ	81
第4章	実現シナリオの詳細策定	82
4.1	木質バイオマスエネルギーの最適な配分、変換方法の検討	82
4.2	新技術の導入シナリオの検討	83
4	調査研究の成果	xi
5	調査研究の今後の課題及び展開	xvi

1 調査研究の目的

地球温暖化問題の解決に向けては、長期的には環境と調和した経済社会システムの構築が必要であり、そのためには、エネルギー利用に関わる社会システムの変革が不可欠である。いわゆる「循環型社会」の実現が求められている。

そこで中心となるべきは、化石燃料利用によるエネルギー供給システムを炭素循環型システムに転換することであり、当面、大気中に拡散した二酸化炭素を回収し得る植物を中心としたバイオマス利用の拡大が唯一の現実的な対応策である。近年、こうした取り組みは内外で鋭意進められてきており、バイオエタノールの大量利用等が現実的になってきた。しかしながら、我が国におけるバイオマスの利用を資源由来の観点から展望すると、でんぷん系バイオマスは食料との競合問題がクローズアップされ、内外で利用が危惧されており、国内では食品廃棄物由来資源が当面エネルギー用途に供されると思われる。これと競合しない稲わらなどの草本系バイオマスの利用も研究レベルから実用に向けて移行フェーズにあり、賦存量はやや小規模であるものの収集も容易であり今後の進展が期待されている。特に賦存可能量が大きいと考えられている森林バイオマス利用は温暖化対策として期待は大きいですが、当面避けられない基本的な課題が存在する。

国内においての森林バイオマス資源の活用を困難としている原因は、主に次の2点に代表される。大量収集が困難で、かつ高コスト。分散型の利用は、エネルギー効率が悪い。

いずれも、バイオマス資源の「賦存の希薄さ」という根本的な特性によるものである。

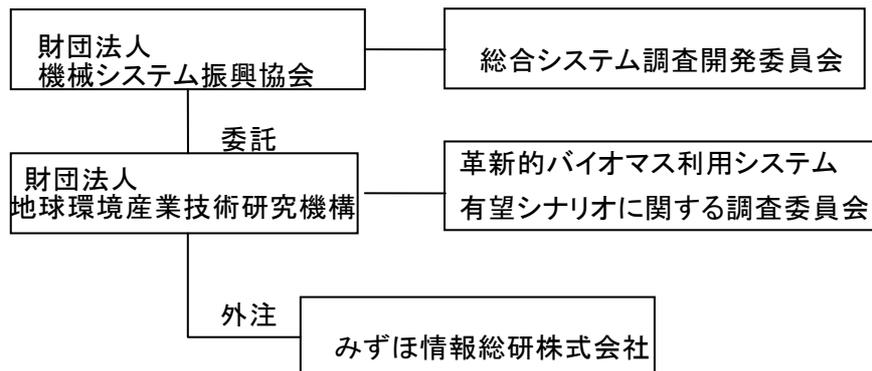
森林バイオマス資源の持つ特性は、世界共通の課題であり、なかんずく、地勢的に森林バイオマス資源の利用に不利とされる我が国にあっては、利用に向け、他に先駆けた革新的な取り組みが行われてしかるべきである。

本調査研究では、賦存量として規模の大きい国内の森林バイオマスの利用を目指し、生産性の高い高生長樹種を世界的視野で複数選定し、それらを国内の地域気候条件等を考慮に入れた最適樹種の植林による利用可能生産量（賦存量）を算定し、これをもとに高効率を目指した新規の育林・採集・運材等システムの併用と、大量燃焼を可能化するために、木質資源を変換させて作る新エネルギー資源「バイオコール」による新利用システムの総合的経済性評価により、2015年をターゲットにした、森林バイオマス利用の導入シナリオの策定と2050年以降に於いての、石油枯渇による原油高騰、将来の石油から石炭大量使用への移行、二酸化炭素価格等の要素を視野に入れ、森林バイオマス利用の有望な利用シナリオの策定を行った。

2 調査研究の実施体制

財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、財団法人地球環境産業技術研究機構内に外部有識者と当財団研究員等からなる「革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する調査委員会」を設置して調査を実施した。

また、一部の業務（国内外文献調査）は、財団法人地球環境産業技術研究機構より外部専門機関（みずほ情報総研株式会社）に外注を行った。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学 名誉教授	藤 正 巖
委 員	埼玉大学 地域共同研究センター 教授	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長	金 丸 正 剛
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携推進部門 産学官連携コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 工学研究科 教授 (未来科学技術共同研究センター長)	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 准教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授(副研究科長)	大 和 裕 幸

革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する調査委員会名簿

(順不同・敬称略)

委員長 独立行政法人産業技術総合研究所 坂西 欣也
バイオマス研究センター
研究センター長

委員 東京大学生産技術研究所 迫田 章義
教授

委員 独立行政法人森林総合研究所 山本 幸一
研究コーディネータ

調査研究実施者 財団法人地球環境産業技術研究機構

化学研究グループ グループリーダー 藤岡 祐一
植物研究グループ 副主席研究員 三宅 親弘
植物研究グループ 主任研究員 太刀川 寛
化学研究グループ 研究員 小玉 聡

事務局 財団法人地球環境産業技術研究機構

企画調査広報グループ グループリーダー 岡村 繁寛
企画調査広報グループ サブリーダー 村上 嘉孝
企画調査広報グループ 主幹 大久保 邦彦

3 調査研究の内容

平成 18 年度の「革新的バイオマス利用システムの実現可能性に関する調査研究」調査結果をもとに、日本で経済ベースに乗ったバイオマス利用システム構築のためには、石油・石炭代替エネルギー資源として安価な原料供給体制の確立とそれにふさわしい利用技術の組み合わせが必要であることが明らかとなった。利用技術としては、

低温炭化燃料（バイオコール）製造技術

ガス化を通しての液体燃料製造技術

を取り上げ、それに対して理想的な森林整備・育形成態と効率的な原料収集システム開発の可能性を示した。更に、早期森林形成実現を目的に、日本の植生環境で適用可能な植林樹種の中で高生長性の樹木の活用の可能性を示した。したがって、ここでの革新的バイオマス利用システムには、従来の森林形成期間を大幅に短縮する樹種活用システム、低コストの木質バイオマス収集システム、及び二次エネルギーへの高い効率で利用するための大規模利用技術から構成される。これらを総合的な視点から俯瞰しながら、森林育成から燃料転換までの一貫した利用システム実現のための技術開発シナリオと社会経済的施策を示した。

革新的バイオマス利用システムについて、各研究開発要素に関わる内外の森林育成技術、伐木・集材・造材・搬出技術、バイオマス利用システムの利用促進策・具体的な利用計画などに関して文献収集したデータをもとに検討し・専門家ヒアリングにより詳細調査し、総合的に実現シナリオと評価の取りまとめを行った。

（1）原料調達・収集コスト低減可能性の検討（1章、2章）

平成 18 年度の調査結果から、バイオマスガス化プロセスにおいては、米国、欧州では採算ベースに乗っているケースが見られるが、我が国では現状では採算ベースでの稼働実績はなく、収集コストの高さが利用促進を妨げており、効率的で我が国の環境に即した収集システムの確立が必要であることが明らかとなった。日本と米国及び欧州における原料調達、収集システムとコストについて調査・分析し、我が国においてコスト低減可能な原料収集システムについて検討した。

木質バイオマスの収集コスト・輸送コストの調査

（建設廃材、間伐材、林地残材等の木質バイオマス）

調査対象：日本、欧州、米国

コスト低減可能な伐木・収集・輸送技術の開発状況の調査

（機械化、ロボット化技術などの革新的技術開発）

収集範囲、モデル地域の選定と原料コスト評価

（収集に関わる新技術/システム導入によるコスト低減効果の試算）

（2）木質バイオマスのエネルギー資源としての供給ポテンシャルの評価（1章、2章）

現在の林業は衰退しており、バイオマス資源を石油代替エネルギー原料として低価格で効率的に生産するシステムとして機能していないのが現状である。そこで現在のバイオマスの賦存量データを精査し、森林を大規模原料供給源として理想的な整備・育成条件とした場合のバイオマス資源の供給ポテンシャルを検討し、エネルギー資源供給のための理想的な森林

育成・活用形態を検討した。また、森林形成促進によるバイオマス供給ポテンシャルの増加をねらった早生長性樹種の活用を検討した。ここでは、日本生来種に限定せず、高生長性を持つことが知られているユーカリ、ポプラなどの外来樹種の活用可能性を精査した。

現在の森林整備・活用状況と木質バイオマスの種類別賦存量の調査

森林の理想的育成・整備条件下におけるバイオマスの供給ポテンシャルの検討

理想的な森林育成・活用形態の検討

日本の植生環境に適した高生長性樹種の検討

(3) 革新的バイオマス変換システムの経済性評価(3章)

(1)~(2)及び以下の評価結果をもとに各種の有望技術を利用した変換システムの経済性評価を実施し、日本の木質バイオマス資源の化石燃料代替としてのポテンシャルを評価した。

変換効率の評価(規模別、原料別、製品別)

イニシャルコスト・ランニングコストの評価

生産される製品の市場及び価格の検討

化石燃料代替ポテンシャルの評価

(高生長性樹種導入のシナリオも含む)

(4) 実現シナリオの詳細策定(4章)

(1)~(3)で実施した調査研究の検討結果を活用して2015年をターゲットとして研究開発すべき課題を整理するとともに、各研究開発課題の目標値を設定した。日本の未利用バイオマス資源の化石燃料代替エネルギーとしてのポテンシャルを評価するとともに、革新的バイオマス利用システムの実現に向け、研究開発課題に加えてそれ以外の課題(環境影響、社会的受容性、必要インフラ等)を検討・整理し、詳細な実現シナリオとして取りまとめた。

木質バイオマスエネルギーの最適な配分、変換方法の検討(材料・規模別等)

開発課題の整理と開発すべき目標値の設定

新技術の導入シナリオの検討

第1章 森林育成技術

1.1 利用状況、活用技術、賦存量

1.1.1 森林資源・利活用状況の現況

(1) 森林資源の現状

日本国内の森林資源は、平成 14 年現在で森林蓄積として 40 億 m³、面積としては 2,500 万 ha となっている。

(2) 森林資源の利活用状況

国内において森林が伐木され利用される量を示す素材生産量は、平成 17 年度実績で 1,616 万 m³ となっている。

(3) 間伐に関する現状

平成 17 年度(2005)における間伐材の利用材積は 284 万 m³、間伐面積は 281 千 ha であった。これは、森林蓄積量の 0.07%/年に相当し、未利用の森林資源が大きなことがわかる。

1.1.2 森林バイオマスの賦存量

(1) 既存文献調査

既存文献における木質バイオマス資源の賦存量について表 1.1-1 に示す。

表 1.1-1 既存文献におけるバイオマス資源量の推計結果

出典	賦存量等	算出根拠
新エネルギー等導入促進基礎調査～バイオマスエネルギーの実態等基礎調査～、2001、新エネルギー財団	(現状) 862 千 m ³ /年	林野庁林地残材発生量推計値 (1998 年度) A-B A: 林地残材発生量 (未利用間伐材含む): 4,829 千 m ³ /年 (林野庁推計値) B: 未利用間伐材積: 3,967 千 m ³ /年 (林野庁実績値)
バイオマス資源を原料とするエネルギー変換技術に関する調査 () 2001、RITE	(2010) 同上	上記 (NEF) 試算にもとづく。
坂志郎、バイオマス・エネルギー・環境、2001、アイピーシー	(現状) 7,264 千 m ³ /年	立木伐木量から原単位を用いて推定
山路憲治ほか、バイオマスエネルギー、2001、ミオシン出版	(2050) 22,400 千 m ³ /年	モデルによる推計
平成 13 年度新エネルギー等導入促進基礎調査 (バイオマスエネルギーの利用・普及政策に関する調査) 2002、日本エネルギー学会	(現状) 862 千 m ³ /年	上記 (NEF) 試算にもとづく。
バイオマス賦存量・利用可能量の推計 GIS データベース、NEDO	(現状) 賦存量: 3,356,216t/年 利用可能量: 198,612t/年	別途記載

1.2 日本植生、高生長樹種

(1) 対象樹種選定方法の概要

基本的な考え方

ヨーロッパにおいては、火力発電所などの燃料として森林バイオマスの栽培を行っている。その中でもヤナギは、苗木を植えた後 3 年で収穫可能であり、年間 10 トンを超える生産性の高さや寒さにも強いこと、低木の品種の場合には収穫が容易であるなどからバイオマスエネルギーとして利用が進んでいる。

一方、国内では木炭などの用途として利用される場合はあるものの、発電などの燃料用として栽培されている樹種は存在しない。そこで、ここでは将来的にエネルギー利用されることを想定し、日本で栽培実績があり、エネルギーとしての利用を期待できる樹種について調査する。

調査対象

前述のように欧米諸国においてはバイオマスエネルギーとしての利用を目的とした栽培がなされている。

国内では、農林水産技術会議により昭和 55 年から平成 4 年ごろまで実施されていたバイオマス変換計画においてバイオマス資源として利用可能な資源や技術について検討している。その中で、バイオマスとして利用可能な樹種についても検討を行っている。(表 1.2-1 脚注参照)

本調査では、以上の海外において利用されている樹種及びバイオマス変換計画において検討されている樹種について調査対象とする。

(2) 対象樹種の概要

表 1.2-1、表 1.2-2 に調査対象として樹種及びその調査結果概要を示した。

表 1.2-1 ユーカリ類に関する調査結果

樹種	ユーカリ (Eucalyptus, Eucalyptus spp.)										
品種	<i>E.globulus</i>	<i>E.camaldulensis</i>	<i>E.grandis</i>	<i>E.robusta</i>	<i>E.resinifera</i>	<i>E.rostrata</i>	<i>E.viminalis</i>	<i>E.radiata</i>	<i>E.regnens</i>	<i>E.gunni</i>	
写真・図	 <p>出典：社団法人海外産業植林センター (品種：E.globulus)</p>										
分布	オーストラリア(原産国)、熱帯、亜熱帯、温帯地域の広範囲で生育可能。ブラジルが世界一の生産力を有する。										
平均生産量	・ 11.0 ~ 14.3 dry-t/ha/年 (オーストラリア、高密度密植) ・ 成長量(1982年、定植後 140日) 378g/m ²	32 dry-t/ha/年 (ギリシャ、2年間の輪作)	50 dry-t/ha/年 (ブラジル)	成長量(1982年、定植後 140日) : 534g/m ²	成長量(1982年、定植後 140日) : 975g/m ²	成長量(1982年、定植後 140日) : 777g/m ²	成長量(1982年、定植後 140日) : 240g/m ²				
温度	耐寒性	7 5~ 6			5~ 6	5~ 6	6~ 7.5	7.5 ~ 10	10	6	10
水	年間降水量	900mm 以上									
土壌	幅広い土壌に適応可能。深い砂状の粘土質土壌で最も良好に生育。水はけが良ければ粘土質ロームや粘土土壌でも良好に生長										
その他	海外における植林実績多い。										

表 1.2-2 その他樹種に関する調査結果^{1, 2}

樹種	ギンナム (<i>Leucaena leucocephala</i> de Wit)	モリシマアカシア (<i>Acacia mollissima</i>)	ヤナギ (Willow, <i>Salix</i> spp.)	ポプラ (Poplar, <i>Populus</i> spp.)	竹 (Bamboo, Gramineae, subfamily Bambusoideae)
品種			<i>S.viminalis</i> (L.) <i>Sdasucalados</i> (Wimm.)	<i>Populus alba</i> (南、中央ヨーロッパ) <i>P.tremula</i> L. (ヨーロッパ、アジア) <i>P.tremuloides</i> Mic. (北米、カナダ、アラスカの一部) <i>P.=Canadensis</i> (Canadian poplar)	
写真・図	 出典：国立環境研究所、侵入生物データベース、著作権：財団法人自然環境研究センター	 出典：宮城教育大学	 出典：森地土木研究所 (品種：エゾノキヌヤナギ, <i>S.viminalis</i>)	 出典：奈良教育大学	
分布	南アメリカ原産、東南アジアなど世界の熱帯～亜熱帯地方に分布	オーストラリア、アジア等に分布	ヨーロッパ、中央アジアを含む大陸性気候の地域で生長する。	温帯 北海道にも分布している。	ヨーロッパを除く、南北の緯度 40 度以内に自生する。
生産可能量	24 ~ 53dry-t / ha	10 ~ 18dry-t/ha/年	エゾノキヌヤナギ：生産量 19.5t/ha/年 (バイオマス用優良クローン) 5dry-t/ha/年 (アイルランド) 8 ~ 10dry-t/ha/年 (スウェーデン) 8 ~ 20dry-t/ha/年 (イギリス) 15 ~ 20dry-t/ha/年 (イタリア)	12 ~ 13dry-t/ha/年	27t/ha/18ヶ月 (インド、10,000本/haの密度で栽培)
温度	耐寒性	4	8 ~ 10	-30 まで	-30
	最高生育温度			30 ~ 40	
	最適生育温度	25 ~ 30		15 ~ 26	最適平均気温：20 ~ 30
	最低生育温度	15	5 が恒常的に観測される地帯では被害の危険性がある	5 ~ 10	-15
水			水消費量：4.8mm/m ² (6月,7月) 1dry-kgの生産に500l以上の水が必要 年間降水量：600l/m ² 以下の場合には灌漑が必要	水消費量：4.8mm/日	月間降水量 (生長期)：300mm 年間降水量：1,000 ~ 2,000mm 750 ~ 1,000mm (インド、 <i>Dendrocalamus strictus</i>)
土壌	好石灰植物	粘板岩を母材とする地域では優良林分が形成される。	最適 pH：6.5 pH6.0 ~ 7.5 の範囲で生長可能 耐塩性あり		最適 pH：5 ~ 5.6 砂質ローム、粘土質ローム、豊富な腐植土と栄養を好む。
その他	侵入外来品種：緑化、緑肥、飼料、砂防用、薪炭材、パルプ用材のための植林用として導入 生態系への影響に懸念あり	平均成長量が、4 ~ 6年で最大となる。 天然更新のためには、7 ~ 8年の伐期が適切 林齢が高くなると、自然間引き、風害等により平均成長量が減少 タンニンの原料として利用	<i>S.viminalis</i> (L.) <i>Sdasucalados</i> (Wimm.) は、エネルギー源として栽培されている。	収穫期間：3 ~ 4年 (8サイクルかそれ以上収穫可能)	

¹ 農林水産省農林水産技術会議事務局、暖地向け樹種の整理・生態的特性と好適条件の解析、バイオマス変換計画研究報告第16号、平成元年3月

² 農林水産省農林水産技術会議事務局、山地系ポプラ短伐期収穫における他収穫技術、バイオマス変換計画研究報告第31号、平成3年9月

(3) 収量の比較

調査対象樹種の 1ha あたり年間生産量の最大値、最小値を図 1.2-1 に整理した。多くの樹種において、収量は 10~20t/ha/年程度の生産量となっている。

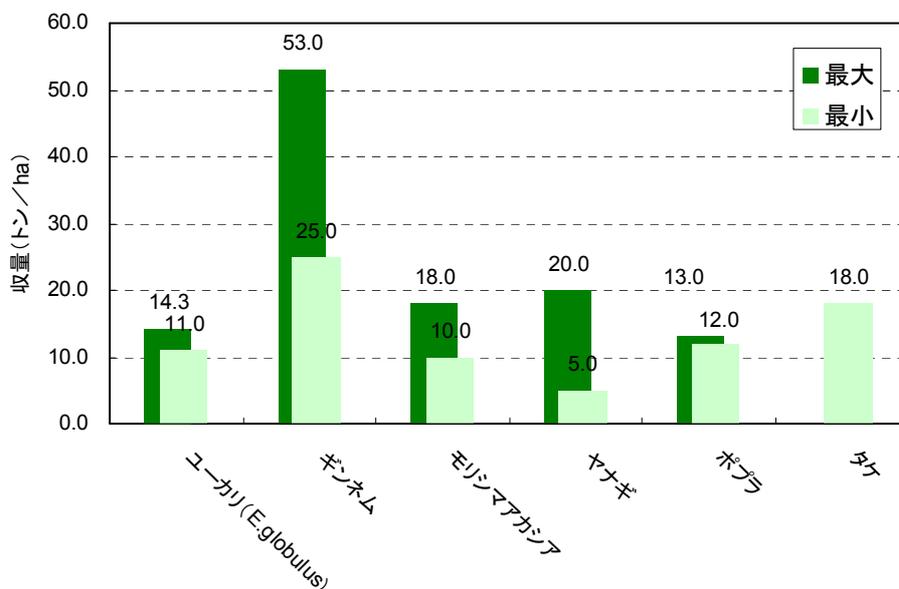


図 1.2-1 対象樹種の年間収量の比較 (dry-t)

(4) 耐寒性

ある樹種がある地域で栽培可能かどうかを決める重要な要素として耐寒性がある (表 1.2-3)。特に、樹木のように多年生の植物は、越冬できるかどうか重要である。ギンネムを例にとると、耐寒性は 4 であるため、国内で最低気温が 4 を下回らない地域でしか栽培できない。そのため、沖縄県と鹿児島県の一部地域でしか栽培できないこととなる。

表 1.2-3 樹種別耐寒性

	耐寒性 ()
ユーカリ (E.globulus)	-5~-7
ギンネム	4
モリシマアカシア	-8~-10
ヤナギ	-30
タケ	-30
旭川市 日最低気温 (月別平年値) 1月	-12.6
那覇市 日最低気温 (月別平年値) 2月	14.3

1.3 理想的な森林育成活用形態

日本の森林は、海外に比べ生産性が低く、コスト高であることが指摘されている。これは、日本の森林が急傾斜であることや、土地所有規模が小さいことなどが原因として考えられる。一方オーストリアは日本と同様に急傾斜ではあるが生産性は5倍程度高いと言われている。この高い生産性は、土地所有を林道に沿った形で広域化するなどの変換を行ったことにより実現している（図 1.3-1）。これらの課題は、複雑な問題が絡んでおり単純に解決することは難しく、解決するためには時間がかかると考えられる。ここでは、日本国内においてこれらの課題が解決し、理想の森林活用が実現可能であるとの前提にもとづき、理想的な森林のあり方について考える。

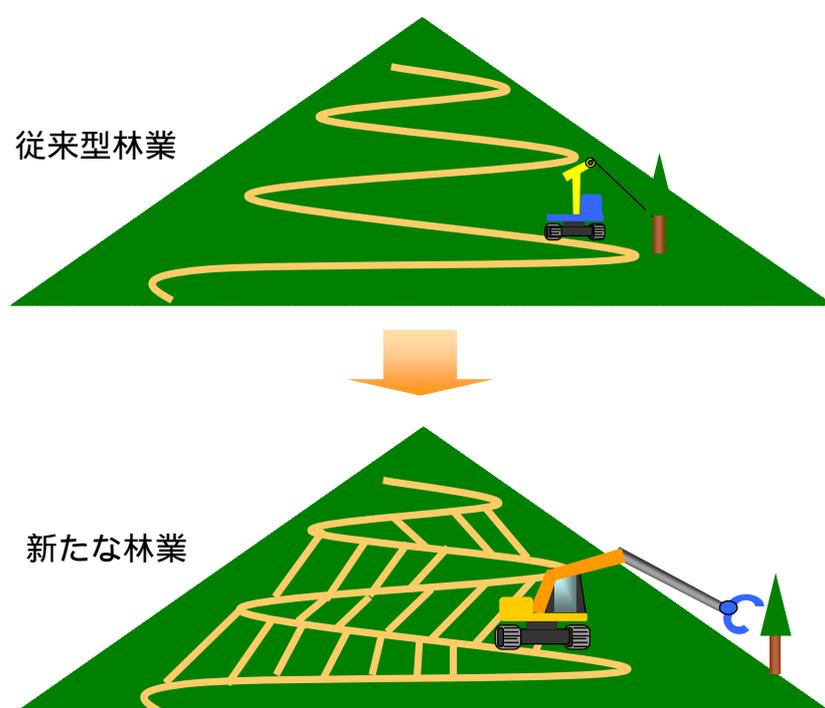


図 1.3-1 理想的な森林活用方法への転換イメージ

1.3.1 高密度路網整備

(1) 国内外の現状

森林資源の生産コストは、林内に作設された林道の密度（路網密度）により大きく影響される。現在の国内における林道は 135,159km（H18（2006））であり、路網密度は約 5.3m/ha に止まっている。これは、オーストリアの路網密度が 87m/ha、ドイツが 118m/ha であることを考えると著しく低い値である。この原因として、林道の開設にかかるコストが高いこと、また、林道を設置した場合、林道の面積分だけ木を植えるスペースが減ることなどにより森林所有者の同意が得られにくいことなどが挙げられる。林道の開設コストについては、その規格が一般車両を走ることを想定しているなど安全性に配慮しており、林内作業を目的とした場合には過剰なインフラであることからコスト高を招いている。

林内で作業を行うために必要な道の種類として、大きく分けて二種類ある。一つは前述の林道で、もう一つは作業道と言われるものである。国内において林業を効率的に経営している事業者は、この作業道を低コストで開設している。本調査では、望ましい森林活用の環境として、今後林道の整備に加え、作業道が著しく整備され、高性能林業機械などが比較的簡単に入れる環境に整備されることを想定する。

(2) 将来の林道整備状況

平成 13 年に林野庁が策定した森林・林業基本計画では、「望ましい森林施業の展開に見合った路網密度の目安」をおおむね 50m/ha としている。また、2040 年ごろにおける林道の整備目標を 27 万 km としている。この値は平成 18 年実績値のほぼ倍の値であり、林道密度としてはおよそ 10m/ha と考えられる。

本調査では、これに加え更に林道・作業道がオーストリア、ドイツレベルまで整備された場合も想定し、その場合における林道整備状況について推計した。その結果を表 1.3-1 に示す。

表 1.3-1 将来の林道等整備状況の推計

	路網密度 (m/ha)	林道等距離 (千 km)
日本現状 (H18)	5.3	135
日本目標値 (基本計画数値)	50	530
オーストリアレベル達成	87	923
ドイツレベル達成	98	1,040

1.3.2 高性能林業機械

(1) 現状における林業の作業フロー

森林から樹木を取り出すための作業フローは、土地条件などに応じていくつかのパターンがある。この各工程において導入する機械を変えることによりその生産性の大幅な向上が期待される。図 1.3-2 に、現状における作業フローについて示す。

栽培管理段階では、苗を植付するための土地整備や植付の手間にかかるコストが高いのが現状であり、収穫段階では集材、運材コストが占める割合が大きい。

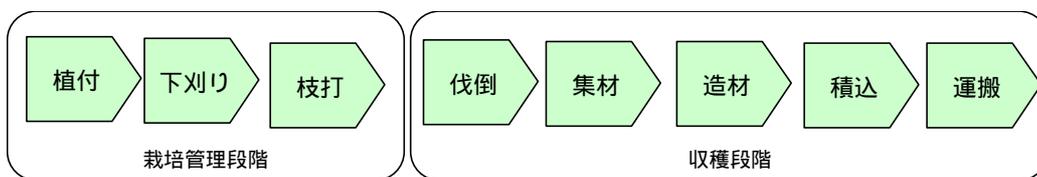


図 1.3-2 樹木の栽培から収穫までの流れ

(2) 現在導入されている林業機械

現在、国内では表 1.3-2 のような機械類が導入されている。どのような機械を用いるかは地域の自然条件や林道整備状況、経営により異なる。

表 1.3-2 国内における林業機械³

機械名	解説	導入量 (台、H16)	用途						
			植付	下刈り	枝打	伐倒	集材	造材	積込
集材機 	伐倒した木材を架線につり下げて道路まで運び出すための機械。急傾斜地において林道の開設が困難な場所で、長距離の集材に適している。	11,650					○		
チェーンソー 	伐倒・玉切・枝払を行うための自動鋸。最近の機械は小型、低振動、低騒音化されている。	253,607			○	○		○	

³ 社団法人林業機械化協会

機械名	解説	導入量 (台、H16)	用途						
			植付	下刈り	枝打	伐倒	集材	造材	積込
刈払機 	下草を刈り払い、樹木の生長を維持するための機械。除草用として林業以外でも様々な場面で活躍している。	304,729		○					
トラクタ 	ウインチを搭載し、少数の材を牽引して運び出すための機械。排土板を装備して小型ブルドーザとしても使用されるのが一般的。	2,639					○		
小型運材車 	短幹材を搭載して運び出すための機械。多少の傾斜地なら通行可能なため、小規模作業用として普及している。	18,974					○		
モノレール 	急傾斜で林道や作業道を作るのが困難なところに設置されている。近年は、作業者の移動だけでなく、木材の運材用も開発されている。	872					○		
動力枝打機 	立木を自力で登りながら装備されたチェンソーで枝を落とす機械。	10,308			○				

機械名	解説	導入量 (台、H16)	用途					
			植付	下刈り	枝打	伐倒	集材	造材
自走式搬器 	架線式集材機の搬器にエンジンを搭載して自走できるようにしたもの。自走するため架線の索張りを簡易化できる利点がある。	1,720					○	
グラップル 	木材を掴んで荷役を行う機械。保有台数についての統計はないが、取り扱いの手軽さやバックホウと兼用できるため普及している。油圧ショベルにアタッチメントとして取り付けられるのが一般的。	—						○
フェラーバンチャ (高性能林業機械) 	林内を走行し、立木を伐倒し集積する機械。チェーンソーによる伐倒と比べて高速かつ安全に伐木作業を行える。	27				○		
スキッタ (高性能林業機械) 	複数の材を牽引して土場に運び出す機械。ホイール式とクローラ式のものがある。	157						
プロセッサ (高性能林業機械) 	土場において枝払い・造材を高速に行う機械。危険で困難な林内での枝払い・玉切りを行う必要がない。日本で最も使用されている高性能機械。	949					○	

機械名	解説	導入量 (台、H16)	用途						
			植付	下刈り	枝打	伐倒	集材	造材	積込
ハーベスタ (高性能林業機械) 	伐倒・枝払・玉切を全てこなせる機械。伐倒を行うには林内に進入して立木に接近する必要があるため、地形が急な我が国ではプロセッサとして使用されるケースもある。	433				○		○	
フォワーダ (高性能林業機械) 	玉切られた材を土場へ運材する機械。林内に入ってハーベスタによって造材された材を運び出すためのものであるが、トラックに比べ悪路走破性に優れているため、我が国では低規格の道路を開設して使用する例も多く見られる。	652							
タワーヤーダ (高性能林業機械) 	伐倒された全木材や短幹材を架線により吊り上げて運び出す機械。集材機の一つであるが、自動車に集材ドラムや架線を張るためのタワーが搭載されており、また架線の張り方も簡易なものであることから極めて高い機動性を有していることが特徴。	182					○		
スイングヤーダ (高性能林業機械) 	油圧ショベルに2 胴ウインチを取り付けて集材する機械。グラブヘッドを取り付けてグラブ作業もできるようになっている。	284					○		○

(3) 本事業で想定する作業システム

本事業では、高密度の路網が整備されることを前提に、高性能林業機械の導入が進むことを想定している。特に集材工程については、スイングヤードとタワーヤードの2種類が考えられるが、広範囲の地域での利用が可能であるという観点から、現在商用化が進められているアーム形集材機を導入することとする(図 1.3-3)。また、バイオマスエネルギーとしての利用を想定した場合には、集材したその現場においてチップ化、又はバンドリングすることが望ましいことから、それに応じた機械であるチップパー、又はバンドリングマシンを導入することとする(図 1.3-4)。



図 1.3-3 森林バイオマスの収集・運材イメージ



図 1.3-4 チッパー及びバンドリングマシン

1.4 理想的な森林育成活用形態

1.4.1 算出方法概要

国内の森林において既存の樹種から新たな樹種を植林し、高密度路網整備、高性能林業機械が導入された場合、現在のスギやヒノキに比べ生産収穫可能なバイオマス資源は増大するものと考えられる。ここでは、これらの理想的条件が満たされた場合に確保可能なバイオマス資源量について各種過程を設定したうえで推計を行う。

本推計では、まず、森林の気候等の条件（気温、降水量、傾斜度）をいくつかのパターンに分類し、分類ごとに対象地域の抽出を行う。次に、国定公園や天然林など新たな樹種を植林することが望ましくない地域を抽出し、それらを除いたバイオマス資源生産候補地面積を算出する。この森林面積から、路網を整備することによりバイオマス資源の収集が可能となる地域の面積であるバイオマス資源生産収穫可能面積を算出する。

以上のような過程で算出するバイオマス資源生産収穫面積に、気候等の条件にマッチした樹種を選定し、対象面積にそれらの単位面積当りの収量を乗じることによりバイオマス供給ポテンシャルを算出する。

1.4.2 国内森林の気象条件等による分類

(1) 基本的な考え方

植物の生育可能地を選定するためには、気温、降水量、風などの気象条件、土壌の性質や傾斜度など因子を総合的に考慮して選定する必要がある。

これらの因子に関連するデータは、特定箇所におけるポイントデータ、都道府県データ、メッシュデータなどが整備されている。本調査では可能な限り精密なマッチングを行うため、メッシュデータを用いることとする。

しかし、すべての因子についてメッシュデータが整備されている訳ではないため、ここでは最低限必要と考えられる気温、降水量、傾斜度の3つについてデータを用いることとする。

(2) メッシュデータとは

メッシュデータとは、地図上の経緯度方眼として分割したデータのことで、メッシュには、1次メッシュ、2次メッシュ、3次メッシュなど方眼の大きさによる種類がある。主要なメッシュの概要を表 1.4-1 に、メッシュのイメージを図 1.4-1、図 1.4-2 に示す。

表 1.4-1 主なメッシュ区画⁴

種類	区分方法	緯度の 間隔	経度の 間隔	一辺の 長さ	地図との関係
1次メッシュ 区画	東経100度、北緯0度を基準とし、各度の経線と、偶数緯度及びその間隔を3等分した緯線とで縦横に分割した区域	40分	1度	約80km	2万分の1地勢図の1図葉
2次メッシュ 区画	1次メッシュ区画を緯線方向及び経線方向に8等分してできる区域	5分	7分30秒	約10km	2万5千分の1地形図の1図葉
3次メッシュ 区画	標準(基準)地域メッシュとも呼ばれ、2次メッシュ区画を緯線方向及び経線方向に10等分してできる区域	30秒	45秒	約1km	

⁴ 国土交通省国土計画局

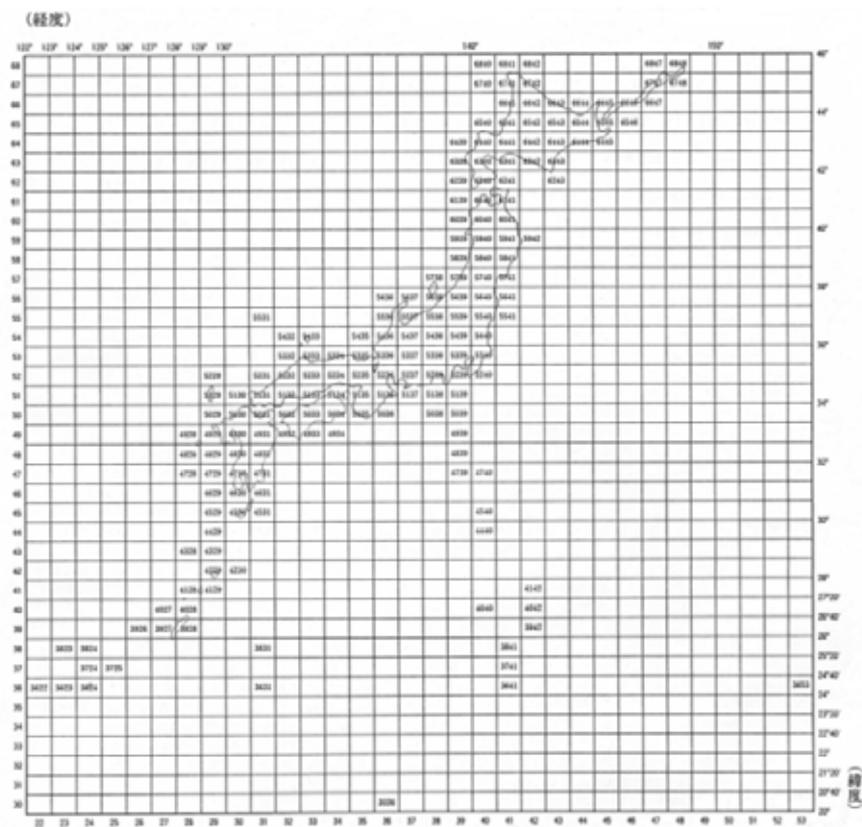


図 1.4-1 1次メッシュイメージ

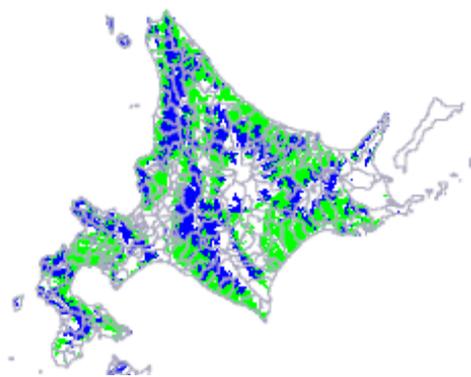


図 1.4-2 3次メッシュイメージ

(3) 本調査で使用するメッシュデータ等について

本調査で使用するメッシュデータ等の概要を以下に示す。

気温

新たに植林する樹種の生育可能地を抽出するためにはまず、その地域の最低気温がある特定の樹種の生育可能な気温であるかどうか重要となり、気温等が不十分なため多くの生長が見込めない場合もある。バイオマス資源の確保という観点からは最低気温だけでは十分ではないため、ここでは温量指数という考え方をういて気温を分類した。

一般的に、植物の生育には月平均気温で摂氏5度以上が必要とされる。このことから、温帯における植生の分布には、それより高温になる期間とその温度の高さがどの程度になるかが大きく影響すると考えられる。これを指数化したものを温量指数⁵と呼ぶ。具体的には、ある地域の各月の平均気温をとり、月平均気温5度を基準として、各月の平均気温の5度との差を累積する。平均気温が5度より高い月の累積が暖かさの指数であり、5度より低い月の累積が寒さの指数である。

本調査では、(財)気象事業支援センターにより作成された『メッシュ気候値2000』から月別平均気温の3次メッシュデータを抽出し、全メッシュについて指数化を行いそのデータを用いる。

年間降水量

『メッシュ気候値2000』から年間降水量の3次メッシュデータを利用する。

傾斜度

国土交通省により公開されている国土数値情報のデータ項目の一つである、標高・傾斜度メッシュの3次メッシュデータを利用する。

森林所有形態

国土交通省により公開されている国土数値情報のデータ項目の一つである、森林・国公有地メッシュの3次メッシュデータを利用する。

⁵ 吉良竜夫、生態学から見た自然、1971

(4) 分類一覧

前述したデータを用いて国内における新規植林可能地を特定するため気象等条件について 20 パターンの分類を行った。その内容を表 1.4-2 に示す。

ここで実施した基準設定については、気候区分に応じて設定しており 180 以上は亜熱帯と熱帯、180～85 は温暖帯、85 以下は冷温帯、亜寒帯を示している。また、降水量で設定している年間降水量 1,800mm は日本の平均気温を想定している。傾斜度については比較的容易に植林、集材が可能な地域として 10 度を基準とした。

表 1.4-2 設定した分類一覧

分類	温量指数		降水量 (mm)	傾斜
	暖かさ	寒さ		
	240～180		1800 以上	10°以上
				10°未満
			1800 未満	10°以上
				10°未満
	～85	10 未満	1800 以上	10°以上
				10°未満
			1800 未満	10°以上
				10°未満
	～85	10 以上	1800 以上	10°以上
				10°未満
			1800 未満	10°以上
				10°未満
	～60		1800 以上	10°以上
				10°未満
			1800 未満	10°以上
				10°未満
	～45		1800 以上	10°以上
				10°未満
			1800 未満	10°以上
				10°未満

(5) 分類別対象森林算出結果

前述の各種条件にもとづき、対象森林をプロットした結果の例を図 1. 4-3 から図 1. 4-5 に図示する。



注) 青色：国有林、緑色：民有林（以下同じ）

図 1. 4-3 分類 の対象地

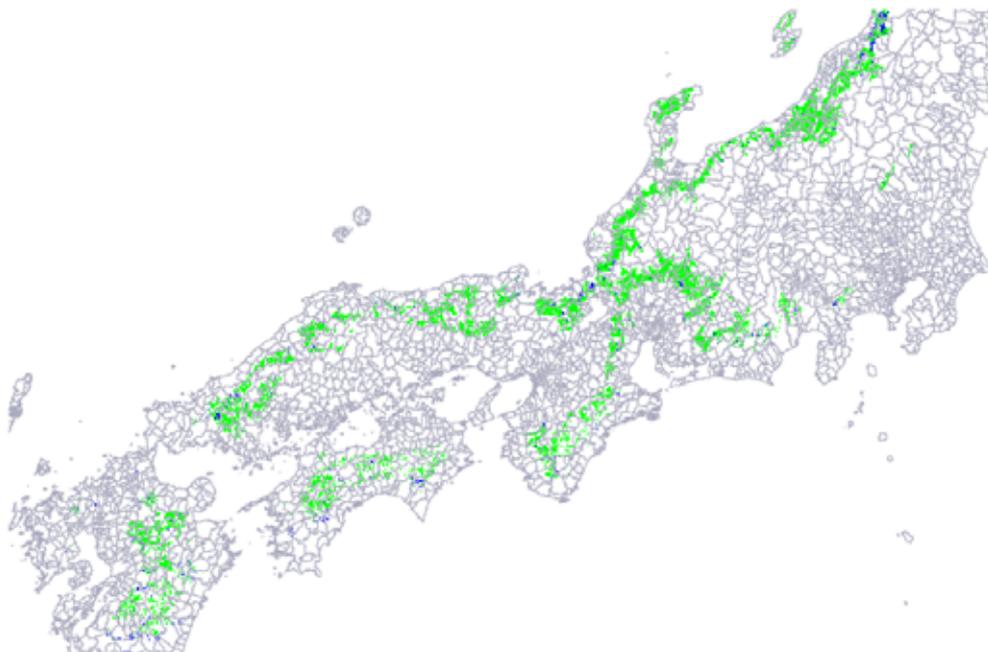


図 1. 4-4 分類 の対象地



図 1.4-5 分類 の対象地

1.4.3 バイオマス資源生産候補地面積の算出

(1) 生産候補地の考え方（選別条件）

生産候補地は、自然への影響が少なく既に木材の生産林として活用されている地域を対象とする。これらの対象地について都道府県別にバイオマス資源生産候補地を算出する。対象とする国有林を(2)に、民有林の条件を(3)に記す。

(2) 対象とする国有林

国有林には、森林の持つ役割を示す機能類型別の整理がなされている。この機能から、バイオマス生産林の対象とする森林を特定した。その結果、世界遺産や原生林などが対象となっておらず、必要に応じて資源として利用されることが想定されていることから水源かん養タイプと資源の循環利用林を対象とすることとした(表 1.4-3)。

表 1.4-3 本調査で対象とする森林(国有林)

		立木地						無立木地	
		人工林		天然林		天然 生林	竹林	伐木 跡地	未立 木地
		育成 単層林	育成 複層林	育成 単層林	育成 複層林				
森林と人との共生林	自然維持 タイプ								
	森林空間利用 タイプ								
水土保全林	国土保全 タイプ								
	水源かん養 タイプ								
資源の循環利用林									

(3) 対象とする民有林

民有林のうちバイオマス生産対象の林地として、樹林地のうちの天然林を除く全面積を対象として想定する(表 1.4-4)。

表 1.4-4 本調査で対象とする森林(民有林)

	樹林地(立木地)		竹林	伐木跡地	未立木地
	人工林	天然林			
対象森林					

(4) 対象森林面積

表 1.4-5 に、都道府県別に(2)(3)で設定した対象森林面積の算出結果を示す。

表 1.4-5 対象森林面積(ha)⁶

	国 有 林				民 有 林		伐採跡地	未立木地	合 計	
	国 有 林	国土保全 タイプ	水源かん 養タイプ	資源の循 環利用林	人 工 林	竹 林				
北海道	533,640	1,014	470,260	62,366	958,643	829,234	-	49,450	79,959	1,492,283
青森	113,113	9	61,033	52,071	138,340	134,736	-	1,486	2,118	251,453
岩手	138,899	6	92,972	45,921	374,352	342,617	271	14,936	16,528	513,251
宮城	32,925	0	22,107	10,818	163,469	155,401	1,979	1,540	4,549	196,394
秋田	137,972	40	109,625	28,307	258,699	254,698	144	2,523	1,334	396,671
山形	54,299	14	21,050	33,235	138,670	120,879	133	1,969	15,689	192,969
福島	129,970	11	89,547	40,412	219,876	206,278	1,291	706	11,601	349,846
茨城	31,410	0	23,493	7,917	88,621	80,141	2,440	212	5,828	120,031
栃木	29,575	0	22,782	6,793	129,011	123,314	717	292	4,688	158,586
群馬	59,712	4	46,217	13,491	118,980	110,663	1,243	1,275	5,799	178,692
埼玉	2,270	0	2,175	95	58,046	56,585	502	331	628	60,316
千葉	3,631	0	2,918	713	78,775	57,665	6,251	128	14,731	82,406
東京	272	0	99	173	35,864	34,039	109	157	1,559	36,136
神奈川	2,731	0	2,350	381	36,014	31,954	887	817	2,356	38,745
新潟	16,876	0	15,270	1,606	206,002	140,546	1,916	248	63,292	222,878
富山	1,627	0	1,609	18	65,333	48,957	534	484	15,358	66,960
石川	220	0	198	22	109,826	98,886	2,104	360	8,476	110,046
福井	2,682	0	2,631	51	123,668	116,893	1,437	122	5,216	126,350
山梨	1,509	0	1,382	127	170,889	149,777	799	100	20,213	172,398
長野	70,572	83	60,761	9,728	351,589	329,186	1,719	820	19,864	422,161
岐阜	43,559	455	41,143	1,961	335,211	318,115	1,222	278	15,596	378,770
静岡	27,536	0	25,893	1,643	261,633	241,921	4,245	274	15,193	289,169
愛知	5,998	0	5,344	654	137,086	131,371	2,552	1,389	1,774	143,084
三重	9,008	24	8,598	386	227,230	219,704	2,056	1,280	4,190	236,238
滋賀	2,274	1	1,976	297	84,915	78,241	1,456	14	5,204	87,189
京都	1,585	9	1,086	490	136,200	125,907	5,609	5	4,679	137,785
大阪	4	0	0	4	30,663	27,521	1,674	382	1,086	30,667
兵庫県	11,635	9	11,051	575	234,684	220,245	3,170	179	11,090	246,319
奈良	4,154	0	3,424	730	171,329	167,258	1,119	723	2,229	175,483
和歌山	8,732	0	6,751	1,981	214,603	209,772	2,231	1,361	1,239	223,335
鳥取	14,817	0	14,491	326	129,197	122,346	2,952	771	3,128	144,014
島根	16,546	0	12,133	4,413	205,031	184,112	9,748	1,077	10,094	221,577
岡山	19,710	0	15,851	3,859	186,884	172,407	5,102	586	8,789	206,594
広島	20,405	50	17,500	2,855	183,748	170,528	2,362	564	10,294	204,153
山口	4,297	0	4,107	190	201,479	185,161	11,178	499	4,641	205,776
徳島	5,292	0	5,119	173	191,129	186,123	1,936	859	2,211	196,421
香川	4,558	0	3,047	1,511	27,664	21,925	2,086	383	3,270	32,222
愛媛	18,979	0	14,600	4,379	236,553	223,015	3,999	258	9,281	255,532
高知	83,812	9	68,933	14,870	303,431	296,812	4,376	981	1,262	387,243
福岡	9,492	2	7,893	1,597	150,505	128,930	11,428	1,124	9,023	159,997
佐賀	7,931	1	5,323	2,607	72,123	63,058	2,439	737	5,889	80,054
長崎	10,047	464	8,306	1,277	102,304	91,442	3,231	149	7,482	112,351
熊本	31,411	7	20,608	10,796	275,644	244,394	10,670	1,171	19,409	307,055
大分	20,909	0	16,908	4,001	249,829	213,483	13,383	1,226	21,737	270,738
宮崎	93,580	36	51,475	42,069	263,466	250,845	4,950	4,847	2,824	357,046
鹿児島	64,198	31	39,745	24,422	248,927	221,582	16,378	237	10,730	313,125
沖縄	1,417	0	1,407	10	20,198	12,574	198	196	7,230	21,615
合計	1,905,791	2,279	1,459,794	443,718	8,706,333	7,951,241	156,226	99,506	499,360	10,612,124

⁶ 森林・林業統計要覧 2007(林野庁)及び森林資源の現況(林野庁)を用いて作成

1.4.4 バイオマス資源生産収穫可能面積の算出

(1) 生産収穫可能面積算出の考え方

前述のように、本調査では理想的な森林活用形態として高密度路網整備を想定している。路網の整備状況によりバイオマス資源を実際に生産し収穫することが可能な地域が決定される。ここでは、ヘクタール当りの路網の距離を示す路網密度がどの程度の水準に整備されるか海外の先進地域における整備レベルを参考に設定し、その水準に達した場合にバイオマス資源生産候補地全面積において整備される路網距離を算出する。更に、ここでは、収集システムとして利用を想定している機器類が道路から資源を収集することが可能な距離を片側 50m、両側で 100m と想定する。この 100m に道幅 2m を加え、それに路網距離を乗じ収集可能面積を求め、県単位の対象森林面積（表 1.4-6）をこの収集可能面積で割ることにより収集可能面積率を求める。この県単位面積率をバイオマス資源生産候補地面積の各県に帰属する面積部分を求め、それに県単位面積率を乗じた値を用いて、分類別地域が含む県全体でその数値を集計し、分類別地域のバイオマス資源生産収穫可能面積を算出する。

(2) 路網密度の水準

路網密度の設定は、日本で導入が望まれている水準を達成した場合の路網密度である 50m/ha、オーストリア並みの水準として 87m/ha、ドイツ並みの水準として 98m/ha と設定した。その結果整備される日本全体の林道や作業道を示す林道等距離を表 1.4-6 に整理した。

表 1.4-6 路網密度の水準別の林道等距離の算出結果

	路網密度 (m/ha)	林道等距離 (千 km)
日本目標値（基本計画数値）	50	530
オーストリアレベル達成	87	923
ドイツレベル達成	98	1,040

(3) バイオマス資源生産収穫可能面積率

分類別の地域は特定の県の一部を含む場合があるが、その含まれた部分のバイオマス資源生産収穫可能面積を求めるため、県単位の平均値を用いてそれにその部分の面積を乗じて求める。そこで各都道府県の森林面積に対して、バイオマス資源生産収穫面積の占める割合（平均値）を表 1.4-7 に示す。

表 1.4-7 都道府県別バイオマス資源生産収穫可能面積率

	日本目標値（基本計画数値）		オーストリアレベル達成		ドイツレベル達成	
	国有林	民有林	国有林	民有林	国有林	民有林
北海道	9%	19%	15%	33%	17%	37%
青森	15%	28%	26%	48%	29%	54%
岩手	19%	24%	33%	41%	37%	47%
宮城	13%	28%	23%	50%	26%	56%
秋田	18%	28%	32%	49%	36%	55%
山形	8%	22%	14%	39%	16%	43%
福島	17%	19%	30%	34%	34%	38%
茨城	36%	31%	62%	54%	70%	61%
栃木	12%	29%	21%	50%	24%	57%
群馬	17%	26%	29%	46%	33%	51%
埼玉	6%	28%	11%	48%	12%	54%
千葉	18%	26%	32%	45%	36%	51%
東京	2%	26%	4%	46%	4%	51%
神奈川	13%	21%	23%	37%	26%	42%
新潟	4%	18%	6%	31%	7%	35%
富山	1%	18%	2%	32%	3%	36%
石川	0%	22%	1%	38%	1%	42%
福井	4%	23%	6%	39%	7%	44%
山梨	11%	25%	19%	43%	22%	49%
長野	11%	26%	18%	44%	21%	50%
岐阜	14%	24%	24%	42%	27%	48%
静岡	16%	32%	27%	56%	31%	63%
愛知	24%	33%	41%	58%	46%	65%
三重	19%	32%	34%	56%	38%	63%
滋賀	6%	23%	10%	40%	11%	45%
京都	7%	21%	12%	36%	14%	40%
大阪	0%	27%	0%	47%	0%	53%
兵庫	19%	22%	33%	38%	38%	43%
奈良	15%	32%	27%	55%	30%	62%
和歌山	25%	31%	43%	54%	48%	61%
鳥取	24%	29%	42%	50%	47%	56%
島根	25%	21%	44%	36%	50%	41%
岡山	26%	21%	45%	36%	51%	41%
広島	21%	16%	37%	28%	42%	31%
山口	19%	24%	33%	41%	37%	47%
徳島	15%	32%	25%	56%	29%	64%
香川	29%	17%	50%	30%	57%	34%
愛媛	24%	33%	41%	57%	46%	64%
高知	34%	32%	59%	56%	66%	63%
福岡	19%	38%	32%	66%	37%	75%
佐賀	26%	38%	45%	66%	50%	75%
長崎	21%	23%	36%	40%	40%	45%
熊本	25%	34%	43%	60%	49%	67%
大分	20%	31%	36%	54%	40%	60%
宮崎	26%	32%	46%	56%	51%	63%
鹿児島	21%	29%	36%	50%	41%	56%
沖縄	2%	13%	4%	22%	4%	25%

(4) バイオマス資源生産収穫可能面積の算定結果

一つの分類に対して、その分類に属するいくつかの県の当該面積に、バイオマス資源生産可能面積率（表 1.4-10）を乗じてそれぞれのバイオマス資源生産候補地面積を算出し、これらを集計して、その分類のバイオマス資源生産候補地面積を算出した結果を表 1.4-8 に示す。

表 1.4-8 分類別バイオマス資源生産収穫可能面積

	日本目標値 (基本計画数値)	オーストリアレベル達成	ドイツレベル達成
	19,015	33,085	37,269
	2,779	4,835	5,446
	0	0	0
	13	22	25
	1,623,402	2,824,720	3,181,868
	61,191	106,472	119,934
	692,939	1,205,714	1,358,160
	125,690	218,701	246,353
	407,721	709,435	799,134
	6,639	11,551	13,012
	290,754	505,913	569,879
	22,768	39,617	44,626
	1,298,985	2,260,234	2,546,011
	10,973	19,094	21,508
	973,764	1,694,349	1,908,577
	72,688	126,477	142,468
	349,962	608,935	685,926
	1,403	2,441	2,750
	685,433	1,192,654	1,343,449
	63,888	111,165	125,220
合計	6,710,007	11,675,412	13,151,614

1.4.5 対象栽培樹種の選定、生産可能量の算出

(1) 対象樹種と単収（単位面積当りの収穫量）

～ の分類にそれぞれに、調査対象とした樹種から ～ の条件にマッチしていると考えられる樹種を選定した。また、単収は本調査で把握した数値は実験圃場など条件の良い地域におけるデータであることから、単収が調査データの 100%、75%、50%、25%である場合を想定した。

表 1.4-9 条件別選択樹種及び設定した単収

条件	温量指数		降水量	傾斜	樹種選択	単収			
	暖かさ	寒さ				100%	75%	50%	25%
①	240～180		1800以上	10° 以上	ギンネム	24.0	18.0	12.0	6.0
②				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
③			1800未満	10° 以上	ギンネム	24.0	18.0	12.0	6.0
④				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑤	～85	10未満	1800以上	10° 以上	モリシマアカシア	10.0	7.5	5.0	2.5
⑥				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑦			1800未満	10° 以上	モリシマアカシア	10.0	7.5	5.0	2.5
⑧				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑨	～85	10以上	1800以上	10° 以上	ユーカリ	11.0	8.3	5.5	2.8
⑩				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑪			1800未満	10° 以上	ユーカリ	11.0	8.3	5.5	2.8
⑫				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑬	～60		1800以上	10° 以上	ユーカリ	11.0	8.3	5.5	2.8
⑭				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑮			1800未満	10° 以上	ユーカリ	11.0	8.3	5.5	2.8
⑯				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑰	～45		1800以上	10° 以上	ヤナギ	19.5	14.6	9.8	4.9
⑱				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5
⑲			1800未満	10° 以上	ホブラ	12.0	9.0	6.0	3.0
⑳				10° 未満	タケ	18.0	13.5	9.0	4.5

(2) バイオマス供給ポテンシャルの算出結果

分類別のバイオマス資源生産収穫可能面積に表 1.4-9 で設定した単収を乗じたバイオマス供給ポテンシャルの算出結果を、図 1.4-6 に示す。

最もポテンシャルが高い結果は、ドイツレベルの路網整備が達成された場合のケースで、仮に単収が 100% 達成できた場合には、1 億 5 千万トンと算出された。

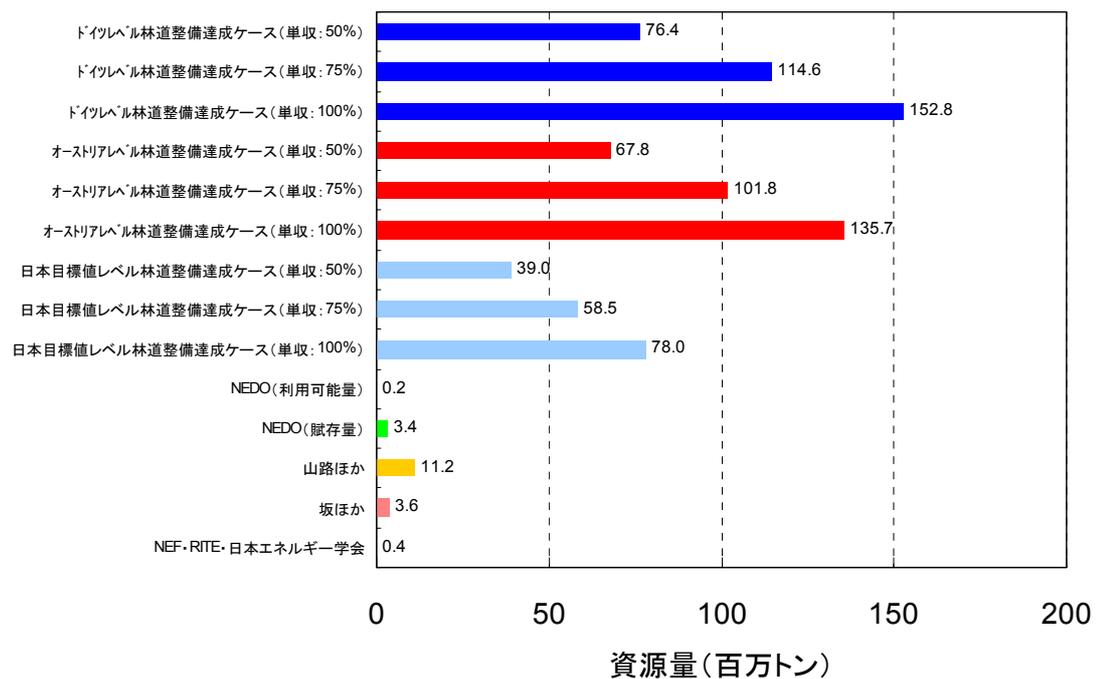


図 1.4-6 バイオマス供給ポテンシャル推計結果

第2章 木質バイオマスの育林・伐木・集材・運材コスト

ここでは、バイオマス資源の栽培から収穫までに必要となるコストについて国内外の現状を調査する。また、現状調査を踏まえて今後の低コスト化の可能性について検証し、その場合におけるバイオマス資源の供給コストについて試算を行う。

2.1 育林・伐木・集材・運材 コストに関する現状調査

2.1.1 育林コスト

(1) 国内における育林コスト

森林を育成するためにはまず伐木するまでの栽培コストとして育林コストが必要である。ここでは、国内における育林コストの現状について調査を行う。

スギの場合、林齢 50 年までの経費として約 250 万円/ha（ヒノキの場合約 290 万円/ha のコストがかかっている⁷。これを仮に 50 年生の森林でスギ:390m³/ha、ヒノキ:280m³/ha（H14 育成単層林全国平均値）とした場合、それぞれ 6,500 円/m³、10,000 円/m³の経費がかかっていると考えられる。

(2) 海外における育林コストとの比較

1m³ 当りの育林コスト

図 2.1-1 に、海外における育林コストについて調査した結果を示す。日本の育林コストを海外と比較した場合、約 10 倍近いコストがかかっている。これは、人件費が高いことや森林の傾斜度の問題などが原因と考えられる。

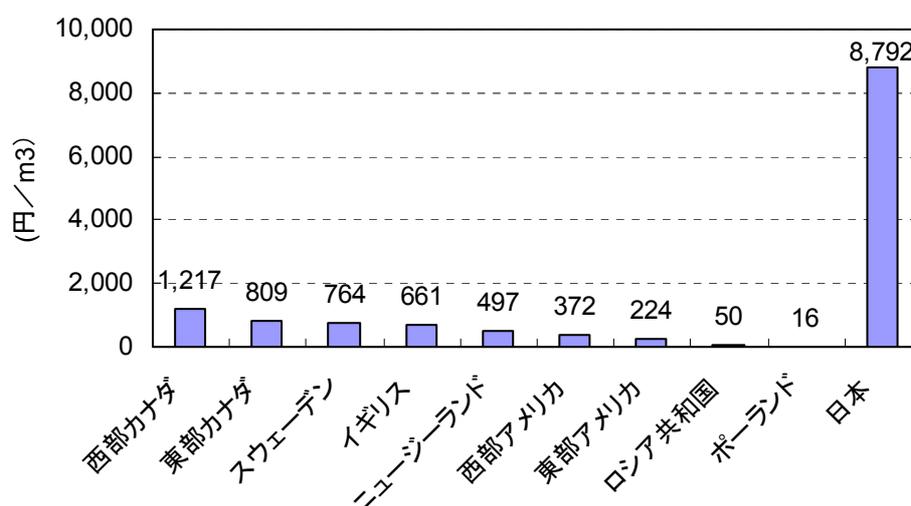


図 2.1-1 海外との育林コストとの比較⁸

⁷ 大川畑修、「スギ、ヒノキの育林所要人工数、育林日の算定例」、2003

⁸ 株式会社日本林業調査会、森と木のデータブック 2002、2002 より、120 円/\$で換算

ヘクタール当りの育林コスト

ヘクタール当りの育林コストについて、図 2.1-2、図 2.1-3 において費目別の国際比較を行った。国により必要となる作業が異なるため、ここでは比較検討が行える費目として「地拵え（苗などを植えるための地ならし作業）」、「植栽・播種」、「枝打・間伐」、「施肥」、「その他」として整理を行った。その結果、「地拵え」、「その他」が他国と比較して高価であった。「その他」には、機械の維持管理費が多くを占めており、育林で利用する機材としては地拵えで用いるブルドーザなどの機械や枝打ちに用いる機械などが想定されるが、地拵えに用いる機材の割合が高いものと考えられる。

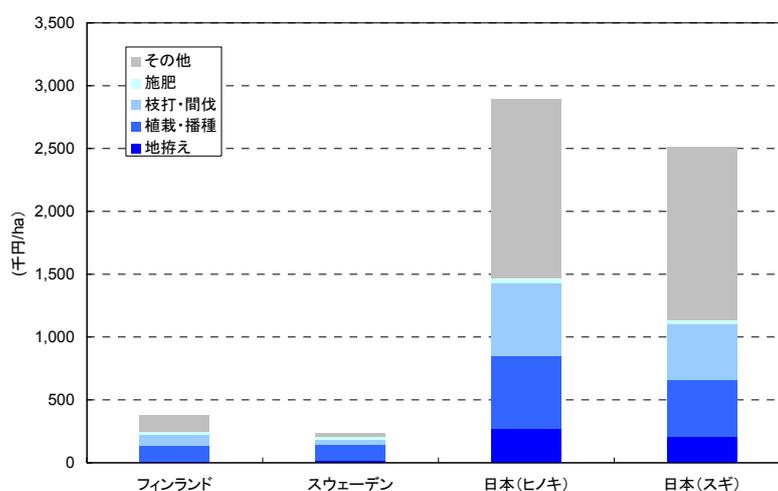


図 2.1-2 ヘクタール当り育林コストの国別比較

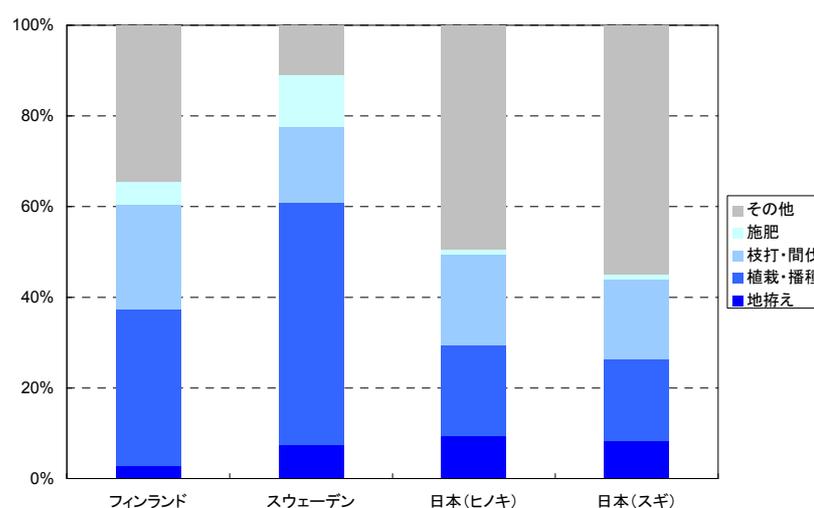


図 2.1-3 ヘクタール当りの育林コストの内訳の比較

2.1.2 伐木・収集コスト

(1) 国内における素材生産費

表 2.1-1 に、平成 17 年度の素材生産費等調査結果に示されている素材生産費（山から木を切り出し丸太にするまでのコスト）についてコスト順に示した。最もコストが安いのは熊本における価格で 3,466 円/m³ となっている。ここで示した数値には大きな差があるが、この要因として傾斜や林内の整備状況などの影響があると考えられる。

表 2.1-1 2005 素材生産費（円/m³）⁹

No.	都道府県名	樹種	素材生産費	No.	都道府県名	樹種	素材生産費	No.	都道府県名	樹種	素材生産費
1	熊本	ヒノキ	3,466	31	和歌山	スギ	8,296	61	徳島	スギ	14,783
2	山梨	スギ	3,716	32	山形	スギ	8,364	62	高知	スギ	14,905
3	長野	スギ	3,747	33	佐賀	スギ	8,863	63	長野	マツ	15,765
4	熊本	スギ	4,200	34	福岡	スギ	9,234	64	鹿児島	ヒノキ	16,083
5	福島	マツ	4,286	35	岐阜	スギ	9,252	65	長野	ヒノキ	16,124
6	北海道	カラマツ	4,869	36	栃木	ヒノキ	9,396	66	兵庫	ヒノキ	16,484
7	青森	マツ	5,066	37	東京	スギ	9,576	67	静岡	スギ	16,514
8	岩手	スギ	5,197	38	山口	ヒノキ	9,600	68	三重	ヒノキ	16,814
9	広島	スギ	5,248	39	群馬	スギ	9,929	69	石川	スギ	17,040
10	群馬	カラマツ	5,296	40	愛知	スギ	9,940	70	富山	スギ	17,242
11	岩手	カラマツ	5,317	41	山梨	カラマツ	10,040	71	滋賀	ヒノキ	17,950
12	青森	スギ	5,511	42	愛知	ヒノキ	10,148	72	和歌山	ヒノキ	18,478
13	高知	ヒノキ	5,631	43	奈良	ヒノキ	10,191	73	広島	ヒノキ	20,231
14	埼玉	スギ	5,739	44	岡山	ヒノキ	10,225	74	神奈川	スギ	21,857
15	宮城	スギ	5,758	45	奈良	スギ	10,329	75	島根	スギ	21,908
16	岡山	スギ	6,309	46	兵庫	スギ	10,376	76	島根	ヒノキ	22,170
17	秋田	スギ	6,350	47	長崎	ヒノキ	10,449	77	大阪	ヒノキ	36,250
18	長崎	スギ	6,455	48	新潟	スギ	11,401	78	香川	スギ	37,909
19	京都	スギ	6,571	49	岐阜	マツ	11,750	79	香川	ヒノキ	43,916
20	福島	スギ	6,689	50	神奈川	ヒノキ	11,778				

(2) 海外における素材生産コスト

表 2.1-2 に海外における素材生産コストについて整理する。最も安い例としてフィンランドにおける素材生産コストで 480 円/m³ という非常に安い価格で生産している。その他の例も高く 3,000 円/m³ 程度であり、1,000 円/m³ 前後が最も多い価格帯となっている。

⁹ 平成 17 年度素材生産費等調査報告書をもとに作成

表 2. 1-2 海外における素材生産コスト

国	作業内容	単価		出典	著者	
スウェーデン	ハーベスタ フォワーダ	960	円/m ³	スウェーデンにおける素材生産コストと将来展望	Waesterlund .I	
フィンランド	ハーベスタ フォワーダ	1,280	円/m ³	小径木材利用高度化の可能性 ーフィンランドの技術と実践 ー	仁多見俊夫	
	トラック運材	960	円/m ³	小径木材利用高度化の可能性 ーフィンランドの技術と実践 ー	仁多見俊夫	
	小径木収穫システム	1,920	- 3,200	円/m ³	小径木材利用高度化の可能性 ーフィンランドの技術と実践 ー	仁多見俊夫
	チップ化運材	320	- 960	円/m ³	小径木材利用高度化の可能性 ーフィンランドの技術と実践 ー	仁多見俊夫
アメリカオレゴン州	大型スイングヤ ーダ ローダ	3,000	円/m ³	低コスト林業と国産材の時代の 実践	酒井秀夫	
スウェーデン	主伐生産	1,230	円/m ³	スウェーデンにおける林業生産 コスト(1998年度)	桑原正明	
	主伐生産	1,215	円/m ³	スウェーデンにおける林業生産 コスト(1998年度)	桑原正明	
	主伐生産	1,125	- 1,275	円/m ³	スウェーデンにおける林業生産 コスト(1998年度)	桑原正明

2. 1. 3 運材コスト

平成 17 年度素材生産費等調査報告書の平均運材コストは、平均運材距離 28km で 1,983 円/km³ であった。更に、これらのデータについて、運材距離と運材コストの関係について検討した。運材コストについては、自前で実施するか、委託するかによりコストが異なることが考えられるため一概に比較はできないが、各種ヒアリングによると距離に応じてコストが異なるとのことであり、距離と運材費については、ある程度の関連性はあるものと考えられる（図 2. 1-4）。

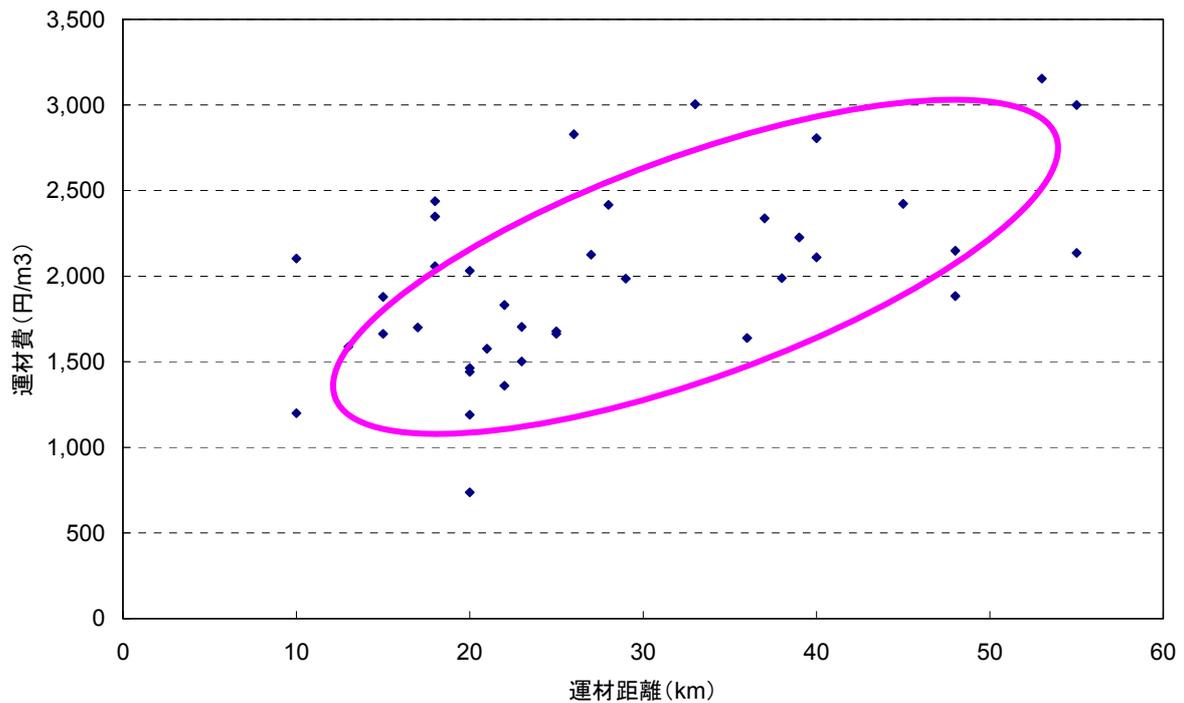


図 2. 1-4 スギ間伐材運材コスト (2005)¹⁰

¹⁰ 平成 17 年度素材生産費等調査報告書をもとに作成

2.1.4 林道・作業道等開設コスト

本調査では、林道や作業道が開設されることにより実現可能な生産システムを想定している。そのため、これらのインフラを整備するコストが追加的に発生する。ここでは、国内における林道等開設コストに関する一般的・先進的コストについて調査し、それらをもとに、想定する路網整備を達成するために求められる事業費について試算を行った。

(1) 開設コストに関する事例

林道や作業道の整備コストは、その規格などに応じてコストが大幅に変わり、その規格についても地域によって異なる場合がある。林道は一般車両の通行も想定した道路作りとなっているが、作業道については林内における素材生産のみを目的とした路網であるためそのコストは安い傾向にある。表 2.1-3 に国内における事例調査の結果を示した。国内においては高知県において導入されている作業道のコストが 1,000 円/m 以下と、非常に安価に開設されている。

表 2.1-3 林道・作業道等開設コスト

種別	価格		都道府県	備考
大規模林道	500,000	円/m	全国平均	
林道	13,803	円/m	宮崎県	九州大学演習林、1961～2003年平均
林道	8,516	円/m	宮崎県	九州大学演習林、2004～年平均
作業道	5,000	円/m	茨城県	茨城県標準単価
作業道	1,261	円/m	高知県	従来式、2006
作業道	969	円/m	高知県	四万十式林道、2006
作業道	908	円/m	高知県	四万十式林道、2007
作業道	847	円/m	高知県	従来式、2007

(2) 供給ポテンシャルに対応した林道等開設総事業費

表 2.1-4 に、1m 当り開設コストと路網の整備目標を達成する場合に求められる事業費について試算した結果を示した。その結果、1,000 円/m の開設コストで設置した場合、オーストリアレベルで 9,233 億円、2010～2050 年の 40 年間で開設すると想定した算出した年間の事業費では 231 億円/年と試算された。

表 2.1-4 林道等整備レベル別作業道開設に必要な総事業費

		開設コスト (円/m)		
		1,000(円/m) ケース	5,000(円/m) ケース	9,000 (円/m) ケース
日本目標レベル 50m/ha	(百億円/40年)	53	27	48
	(百億円/年)	0.1	0.7	12
オーストリアレベル 87m/ha	(百億円/40年)	92	461	830
	(百億円/年)	0.2	12	20
ドイツレベル 98m/ha	(百億円/40年)	104	510	936
	(百億円/年)	0.3	13	23

2.2 伐木・集材・運材コストの低減の可能性調査

2.2.1 国内実証研究等におけるコスト

以下では、国内におけるバイオマス生産等を目的とした実験等に関するコスト等について整理した。表 2.2-1 に素材生産コストを示したが、ここで得られたデータは比較的高コストであった。また、表 2.2-2 では、材ではなく林地残材等のバイオマス生産を念頭にした取り組みの結果であるが通常のコストに比べて非常に高い値を示している。また、その他の高効率、低コスト化に向けた実験中の取り組みに関してはコスト試算がなされていない。

国内における高性能林業機械の導入によるコスト低減効果を表 2.2-3 に、生産性を表 2.2-4 に示した。

表 2.2-1 新たなシステム導入による生産コスト（その1）

都道府県	生産コスト	作業内容	出典	著者
青森県	5,800 円/m ³	チェーンソー グラップル ハーベスタ クローラダンプ	グラップルとハーベスタによる低コスト作業システム	熊沢優樹
茨城県	8,000 円/m ³	チェーンソー グラップル ハーベスタ グラップル、 キャリアダンプ	高密度路網と高性能林業機械による低コスト作業システム	石井勇
長野県	9,000 円/m ³	タワーヤーダ (スイングヤーダ)	急傾斜に対応した信州型搬出法の取り組み	藤本浩二
岡山県	9,000 円/m ³	ロングリーチグラップル	岡山県における林業機械化の現状	黒瀬勝雄

表 2.2-2 新たなシステム導入による生産コスト（その2）

作業内容	生産コスト	出典	著者
山土場集積型グラップル 残渣積載システム	9,495 円/m ³	山口県における森林バイオマス低コスト燃料化システムへの取り組み	山田隆信
路網上分散型グラップル 残渣積載システム	15,576 円/m ³	山口県における森林バイオマス低コスト燃料化システムへの取り組み	山田隆信
路網上分散型人力 残渣積載システム	22,060 円/m ³	山口県における森林バイオマス低コスト燃料化システムへの取り組み	山田隆信
林内放置型人力短幹 積載システム	14,054 円/m ³	山口県における森林バイオマス低コスト燃料化システムへの取り組み	山田隆信
林内放置型人力枝葉 積載システム	40,427 円/m ³	山口県における森林バイオマス低コスト燃料化システムへの取り組み	山田隆信
低コスト木材生産システム	5,600 円/m ³	多様な森林づくりと循環型地域社会の形成に向けて—高性能林業機械と活用と可能性—	佐藤宏一

表 2. 2-3 新たなシステム導入による生産コスト（その3）

都道府県名	旧作業システム		新作業システム	
	使用機材	生産コスト (円/m ³)	使用機材	生産コスト (円/m ³)
北海道	造材：チェンソー 集材：トラクタ	5,000	伐倒枝払い：ハーベスタ、 集材：グラップル、 造材：プロセッサ・グラップル	4,000
青森県	造材：チェンソー、 集材：トラクタ	8,000	伐倒：チェンソー 集材：グラップル or トラクタ、 造材：ハーベスタ、 運材：クローラ	5,800
岩手県	造材：チェンソー、 集材：トラック	8,000	伐倒：チェンソー 造材：プロセッサ、 集材：スキッド	5,400
宮城県	伐倒・造材：チェンソー 集材：トラクタ・ウインチ付 バックホウ 運材：フォワーダ	7,600	伐倒：チェンソー、 ウインチ付バックホウ、 造材：プロセッサ 運材：フォワーダ	6,000
福井県	造材：チェンソー 集材：簡易索道	13,000	伐倒：チェンソー 集材：プロセッサ・スイングヤード、 造材：プロセッサ、グラップル +チェンソー、 運材：フォワーダ	8,000
長野県	不明	12,000	伐倒：チェンソー、 集材：ブル・タワーヤード、 造材：プロセッサ、 運材：フォワーダ	9,000
愛知県	不明	12,000	伐倒：チェンソー、 集材：スイングヤード、 造材：プロセッサ、 運材：フォワーダ	5,800
愛知県	不明	12,000	伐倒・集材・造材： ロングアームハーベスタ、 運材：フォワーダ	5,000
岡山県	架線集材	16,000	集材：グラップル、 造材：ハーベスタ、 運材：クローラダンプ	9,000
愛媛県	伐倒・造材：チェンソー集 材・運材：林内作業車	11,000	伐倒：チェンソー、 集材：グラップル、 造材：ハーベスタ、 運材：フォワーダ	8,000
宮城県	造材：チェンソー 集材：集材機	9,000	伐倒：チェンソー、 集材：スイングヤード、 造材：プロセッサ、 運材：フォワーダ	7,000

表 2.2-4 新たなシステム導入による生産性

作業内容	データ種類	生産コスト		出典	著者	
簡易レールによる搬出	生産性	13.8		m ³ /日	簡易レールを用いた森林資源収穫システムの開発 古川邦明	
簡易レールによる搬出	生産性	13.14		m ³ /日	簡易レールを用いた森林資源収穫システムの開発 古川邦明	
ヤエンによる収集運材	労働生産性	0.7	-	1.1	m ³ /人日	ヤエンを使った森林バイオマスの収集効率 池田潤
ヤエンによる収集運材	コスト			5	万円/台	ヤエンを使った森林バイオマスの収集効率 池田潤
林業用モノレール	労働生産性	7	-	8.8	m ³ /人日	複合基盤生産システムと その高機能化 仁多見俊夫

2.2.2 国内の収集範囲と新技術/システム導入を想定したモデルコスト算定

(1) システムの考え方

モデルコストの算定において、図 2.2-1 のように想定するシステムとして林道や作業道が十分に準備されている状況下で、労働集約的な林業ではなく極力機械化を図ったシステムを構築することを想定する。



図 2.2-1 本調査で想定するシステム

(2) 育林コスト

現在の育林コストは雑草などを除草する下刈に最も多くの時間を必要としている。本調査研究では、短期間で栽培を行うため地拵後すぐに苗を植えつけることを想定しており、他の植物との競合が極力抑えられるものと考え、この部分については労働時間を削減可能であると想定した。また、下刈等についても製材用素材の生産に必要な工程であることからこの部分の労働時間についても削減可能と想定した。表 2.2-5 では作業別に削減可能な時間を検討した結果を示す。その結果、労務費が 29% にまで抑制されると試算された。

また、その他の費目についても大幅に機械化されることを前提に、表 2.2-6 に費目別のその変動を想定した。その結果、コスト全体では 36% にまで抑制された。

試算結果について海外の育林コストとの比較を図 2.2-2 に整理した。

表 2.2-5 労働時間の削減効果 (時間/年・ha)

作業名	スギ	本事業
地拵	20.8	20.8
植付	16.5	16.5
施肥	1.3	1.3
補植	4.4	4.4
下刈	85.7	0.0
倒木起し	12.5	0.0
つる切	3.3	0.0
除伐	13.6	0.0
枝打	30.5	0.0
立木調査	2.1	2.1
保護管理	7.9	7.9
その他	6.1	6.1
合計	204.8	59.2

表 2.2-6 育林コスト削減効果

費目	日本スギ (円/50年・ha)	本提案 (円/50年・ha)	本提案 (円/年・ha)	備考
労働費	2,051,701	592,515	11,850	29%に抑制(表 2.2-5)
苗木費	288,382	100,000	2,000	50円/本 × 2,000円/ha
肥料費	15,773	15,773	315	
薬剤費	4,548	4,548	91	
諸材料費	55,700	55,700	1,114	
器具費	12,967	12,967	259	
機械修繕費	22,691	34,037	681	新たな機械導入により 150%に上昇
機械償却費	60,614	90,921	1,818	新たな機械導入により 150%に上昇
合計	2,512,376	906,460	18,129	36%に抑制

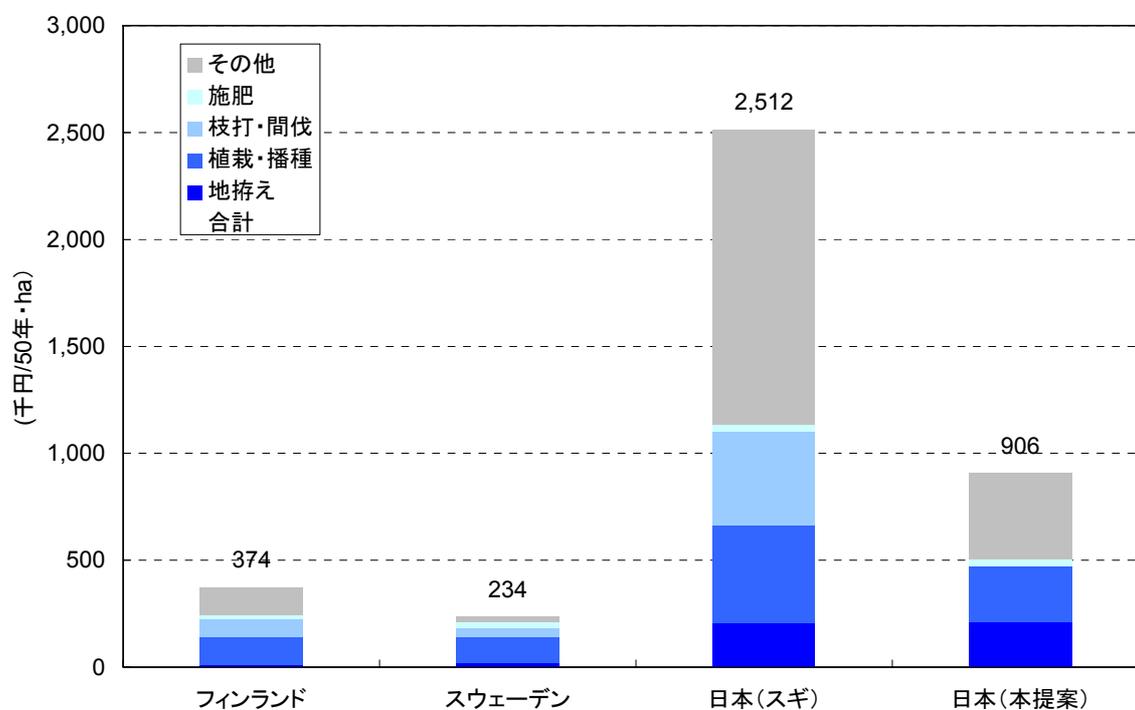


図 2.2-2 育林コストの海外との比較

(3) 伐木・集材・造材コスト

ここでは、伐木・集材・造材にはロングアームハーベスタを用いることを想定してコストを算出する。機械はレンタルにより導入することとした。計算条件を表 2. 2-7～表 2. 2-9 に、計算結果を表 2. 2-10、表 2. 2-11 に示す。

これより、伐木・集材・造材コストは 397 円/m³ と非常に安価になった。これは、従来の機械に比べて投入する人員がオペレータ 2 名である点、伐木・集材・造材が一度に可能な点で労務費を大幅に削減可能であることが要因となっている。

表 2. 2-7 賃金の設定¹¹

	費目	数値	(単位)
A	オペレータ賃金	12,640	(円/日)
B	作業員賃金	11,760	(円/日)

表 2. 2-8 作業規模・生産性・人員配置等の設定

	費目	数値	(単位)
C	出材量	1,000	(m ³ /事業期間)
D	実働時間	6	(時間/日)
E	伐木・集材・造材工程の生産性	10	(m ³ /時)
F	搬出作業の生産性	4	(m ³ /時)
G	伐木・集材・造材工程の人員数 (オペレータ)	2	(人/日)
H	伐木・集材・造材工程の人員数 (作業員数)	0	(人/日)
I	搬出工程の人員数 (オペレータ)	1	(人/日)
J	搬出工程の人員数 (作業員数)	0	(人/日)
K	土場作業の人員数 (オペレータ)	1	(人/日)
L	システム生産性	5	(m ³ /時)

¹¹ 森林・林業統計要覧 2007 より作成

表 2.2-9 使用機材の諸条件の設定¹²

	項目	数値	(単位)
M	取得額	37,000,000	(円/台)
N	残存率	10	(%)
O	耐用年数	6	(年)
P	資本回収係数	0.2098	
Q	管理費率	0.045	
R	保守・修理費率	0.43	
S	手数料	10	(%)
T	燃料・油脂費	1,409	(円/時間)

(注) 対象機械については稼働実績等の情報がないためハーベスタを想定した。

表 2.2-10 レンタル費の算出結果

	項目	数値	(単位)
$U=M-(M \times N)$	基本額	33,300,000	(円/年)
$V=(P-1/O) \times M$	資本利子	1,595,933	(円/年)
$W=Q \times M$	管理費	1,665,000	(円/年)
$X=(R \times M)/O$	保守・修理費	2,651,667	(円/年)
$Y=(U+V+W+X) \times S$	手数料	3,921,260	(円/年)
$Z1=U+V+W+X+Y$	レンタル費(日)	19,696	(円/日)
$Z2=Z1/D$	レンタル費(時間)	3,283	(円/時間)

表 2.2-11 伐木・集材・造材コストの試算結果

	費目	数値	(単位)
$LC=(A \times G+B \times H)/D \times (C/E)$	労務費	392,000	(円/時間)
$VC=T+Z2$	変動費	4,691	(円/時間)
$PC1=LC+VC$	生産コスト(時間・ $1,000m^3$)	396,691	(円/時間・ $1,000m^3$)
$PC2=PC1/C$	生産コスト(m^3)	397	(円/ m^3)

¹² 全国林業改良普及協会、機械化のマネジメント、2001

(4) 搬出コスト

搬出作業には、フォワーダを用いることを想定した。計算条件を表 2.2-12～表 2.2-14 に、計算結果を表 2.2-15、表 2.2-16 に示す。

これより、搬出コストは217 円/m³となった。低コスト化された主な要因としては、オペレータ 1 名の人件費で抑えられていることが挙げられる。

表 2.2-12 賃金の設定¹³

	費目	数値	(単位)
A	オペレータ賃金	12,640	(円/日)
B	作業員賃金	11,760	(円/日)

表 2.2-13 作業規模・生産性・人員配置等の設定

	費目	数値	(単位)
C	出材量	1,000	(m ³ /事業期間)
D	実働時間	6	(時間/日)
E	伐木・集材・造材工程の生産性	10	(m ³ /時)
F	搬出作業の生産性	4	(m ³ /時)
G	伐木・集材・造材工程の人員数(オペレータ)	2	(人/日)
H	伐木・集材・造材工程の人員数(作業員数)	0	(人/日)
I	搬出工程の人員数(オペレータ)	1	(人/日)
J	搬出工程の人員数(作業員数)	0	(人/日)
K	土場作業の人員数(オペレータ)	1	(人/日)
L	システム生産性	5	(m ³ /時)

¹³ 森林・林業統計要覧 2007

表 2. 2-14 使用機材の諸条件の設定¹⁴

	項目	数値	(単位)
M	取得額	9,000,000	(円/台)
N	残存率	10	(%)
O	耐用年数	6	(年)
P	資本回収係数	0.2098	
Q	管理費率	0.046	
R	保守・修理費率	0.42	
S	手数料	10	(%)
T	燃料・油脂費	458	(円/時間)

(注) 対象機械については稼働実績等の情報がないためハーベスタを想定した。

表 2. 2-15 レンタル費の算出結果

	項目	数値	(単位)
$U=M-(M \times N)$	基本額	8,100,000	(円/年)
$V=(P-1/O) \times M$	資本利子	388,200	(円/年)
$W=Q \times M$	管理費	414,000	(円/年)
$X=(R \times M)/O$	保守・修理費	630,000	(円/年)
$Y=(U+V+W+X) \times S$	手数料	953,220	(円/年)
$Z1=U+V+W+X+Y$	レンタル費(日)	4,788	(円/日)
$Z2=Z1/D$	レンタル費(時間)	798	(円/時間)

表 2. 2-16 搬出コストの試算結果

	費目	数値	(単位)
$LC=(A \times G+B \times H)/D \times (C/F)$	労務費	526,667	(円/時間)
$VC=T+Z2$	変動費	1,256	(円/時間)
$PC1=LC+VC$	生産コスト(時間)	527,923	(円/時間)
$PC2=PC1/C$	生産コスト(m^3)	528	(円/ m^3)

¹⁴ 全国林業改良普及協会、機械化のマネジメント、2001

(5) 運材コスト

運材コストについては、運材業者に委託している場合や自前で実施している場合などのパターンが考えられ、また、業者間の契約等で価格がまちまちである。そこで、ここでは素材生産費調査における運材費と運材距離の関係から関係式を図 2. 2-3 のように算出し、その結果に従い運材コストを設定する。

その結果算出された距離別の運材コストを表 2. 2-17 に示す。

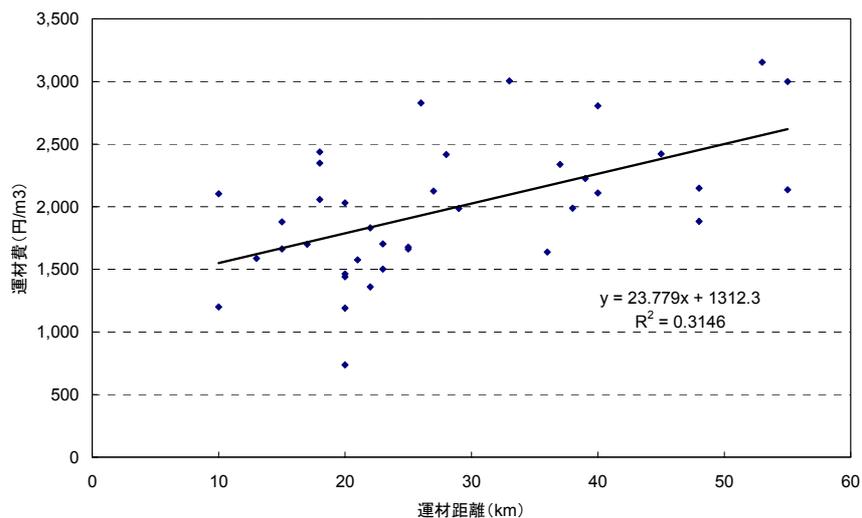


図 2. 2-3 運材費と運材距離の関係図

表 2. 2-17 距離別運材コスト

運材距離	10km	50km	100km	150km	200km
(円/事業期間)	1,550,090	2,501,250	3,690,200	4,879,150	6,068,100

(6) 間接コスト

間接コストの試算は、機械の回送費及び一般管理費を計上して算出した。算出結果を表 2. 2-18 に示す。費用に幅があるのは運材距離によるコスト変動の影響である。

表 2. 2-18 間接コストの試算結果

費目	数値	(単位)	備考
機械運搬費	200,000	(円/事業期間・1,000m³)	100,000 円/台×2 台分
一般管理費	371,206-1,048,907	(円/事業期間 1,000m³)	直接費合計×15%
計 (間接コスト)	571,206-1,248,907	(円/事業期間 1,000m³)	
m³あたりの 間接コスト	571-1,249	(円/m³)	

(7) 試算結果

本システムのモデルコスト試算結果を表 2.2-19 に示す。その結果、50km の運材で 4,140 円/m³ となっており、現在国内における生産コストが 9,000 円/m³ 程度であることを考えると約 50% のコスト抑制となる。

表 2.2-19 モデルコスト試算結果 (運材距離別、円/m³)

	10km	50km	100km	150km	200km
伐木・集材・造材	397	397	397	397	397
搬出	528	528	528	528	528
運材	1,550	2,501	3,690	4,879	6,068
間接	571	714	892	1,071	1,249
合計	3,046	4,140	5,507	6,874	8,242

(8) 国内事例との比較

運材距離を 50km と想定し、本システムのモデルコストを国内の事例と比較した結果を図 2.2-4 に示す。すべての費目について低下しているものの物品費や間接費については算定方法が異なる可能性があるため単純には比較できない。

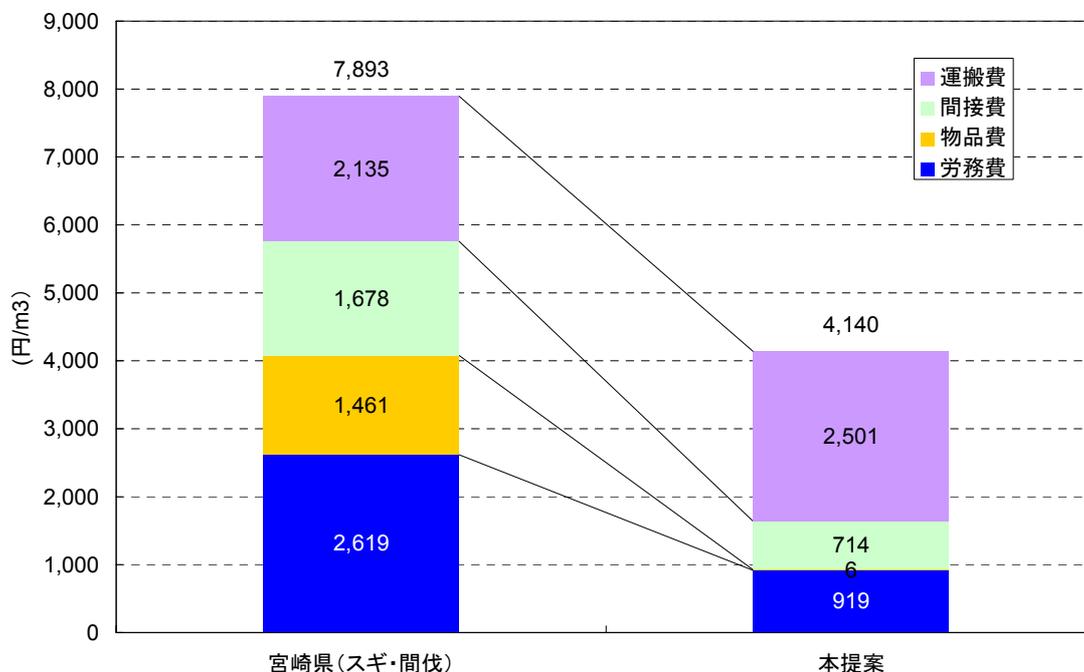


図 2.2-4 国内事例との比較

(9) チップ化プロセスによるコスト増加

木質バイオマスを森林内からチップ化し減容化した場合のコストの試算結果について以下に述べる。タブグラインダー（図 2.2-5）又はブラッシュチッパー（図 2.2-6）でチップ化し、4トン型箱型ダンプに積載するケース、及びブラッシュチッパーでチップ化し、4トントラックにフレコンバックを用いて積載する3つのケースについて、30km先のバイオマス需要サイドまで運材するという条件で算出した結果を表 2.2-20 に示す。最もコストが安いのはブラッシュチッパーを用いて4トン箱型ダンプで運ぶケースであり、2,052 円/m³ である。しかし、この価格はチップの体積基準であり、チップ化により密度が減少するため、重量で考えた場合には、6,928 円/トンと価格が上昇する。これを前述の運材コスト 30km のケースで考えた場合には、2,025 円/m³ となり、0.5 トン/m³ の換算係数を用いた場合 4,050 円/トンとなり、1.7 倍のコスト増となる。

このコスト増を考慮し、トン当りのコストを試算した結果を図 2.2-7 に示した。その結果チップ化を行った場合のコストは 10,205 円/トンと算出された。

表 2.2-20 チップ化による生産コストの試算例¹⁵

方式	チップ化コスト (円/m ³)	チップ化コスト (円/トン)
タブグラインダー 4トン箱型ダンプ	2,667	9,007
ブラッシュチッパー 4トン箱型ダンプ	2,052	6,928
ブラッシュチッパー 4トントラック (フレコンバック)	2,246	7,584

(注) 30km先の輸送を想定した値



図 2.2-5 タブグラインダー¹⁶



図 2.2-6 ブラッシュチッパー¹⁶

¹⁵ 山田他、日本森林学会大会学術講演集、森林バイオマス低コスト供給のための現地減容化の検討、2006

¹⁶ マルマテクニカ株式会社

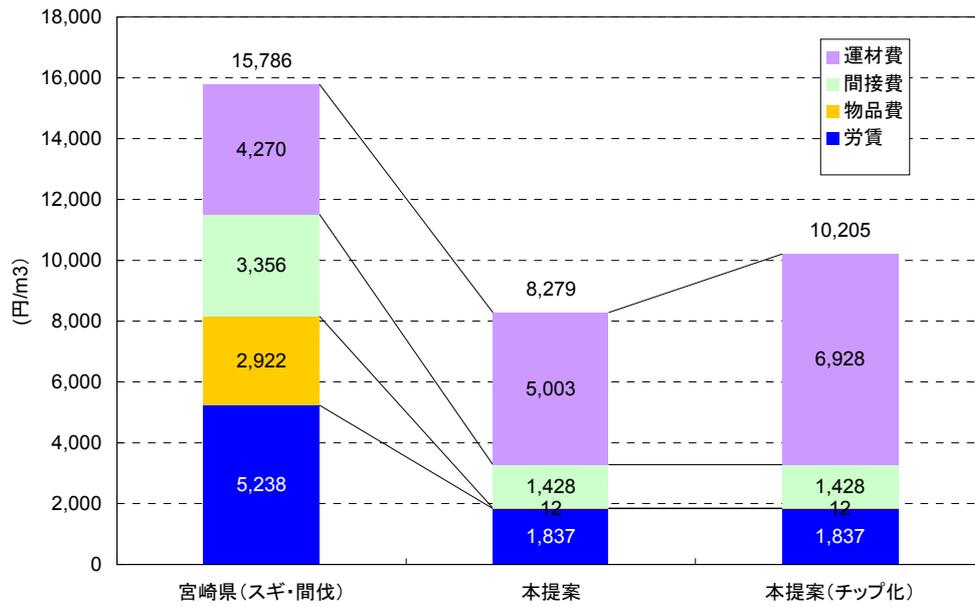


図 2. 2-7 チップ化を行った場合のシステムとの比較

2.2.3 バイオマス資源供給コスト

これまでの試算結果を用い、インフラ整備や育林、収穫までのすべてを含んだバイオマス資源供給コストについて算出する。

(1) 路網整備コスト

表 2.1-3 をもとに試算した林道・作業道等開設コストを表 2.2-21 に示す。

表 2.2-21 林道・作業道等開設コスト

樹種	整備レベル	作道コスト 総額 (円/ha)	メンテナ ンスコスト (円/ha)	耐用年数 (年)	年間コスト (円/ha)	重量コスト (円/トン)
		A	B=A*10%	C	D=(A+B)/C	E=D/単収
ユーカリ	日本目標	50,000	5,000	10	5,500	500
	オーストリアレベル	87,000	8,700	10	9,570	870
	ドイツレベル	98,000	9,800	10	10,780	980
タケ	日本目標	50,000	5,000	10	5,500	306
	オーストリアレベル	87,000	8,700	10	9,570	532
	ドイツレベル	98,000	9,800	10	10,780	599

(2) 育林コスト

表 2.2-6 をもとに試算した1トンあたりの育林コストを表 2.2-22 に示す

表 2.2-22 育林コスト

樹種	トータルコスト (円/ha/年)	年間収量 (トン/ha/年)	重量コスト (円/トン)
	A	B	C=A/B
ユーカリ(初期)	18,129	11	1,648
ユーカリ(以降)	9,065	11	824
タケ	18,129	18	1,007

(3) 伐木・集材・造材・搬出・運材

1トンあたりの伐木・集材・造材・搬出・運材コストを表 2.2-23 に示す。

表 2.2-23 伐木・集材・造材・搬出・運材コスト

	重量換算係数 (トン/m ³)	労賃	物品費	間接費	運材費	重量コスト (円/トン)
ユーカリ	0.5	1,837	12	1,428	5,003	8,279
タケ	0.2	4,176	27	3,245	11,369	18,817

(4) バイオマス資源供給コスト算出結果

1トンあたりのバイオマス資源供給コストを図 2.2-8 に示す。下図ではユーカリとタケのみの試算結果を示している。他の樹種についてはユーカリに近い値となると推測される。

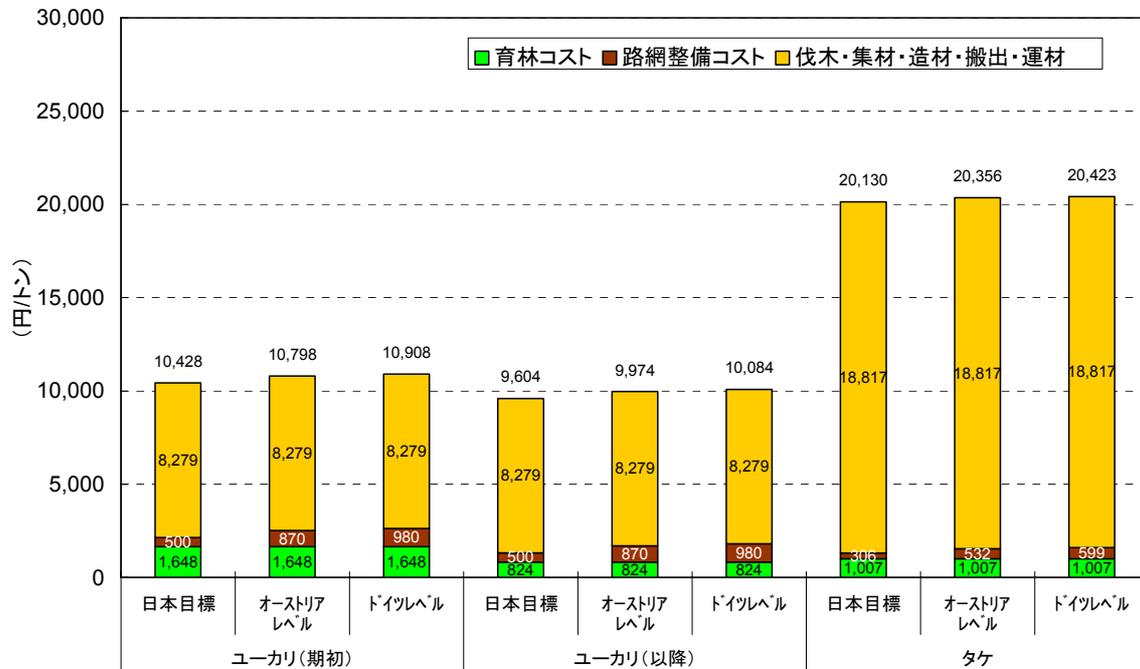


図 2.2-8 伐木・運材コスト例

2.3 まとめ

調査の結果、十分にインフラ整備がなされ新たな機械の導入が進み、短伐期樹種が栽培された場合には、年間に1億5千万トン程度の資源確保の可能性が示された。また、その供給コストは1トンあたり10,000円前後と試算された。

今回検討した新たな樹種は、国内で過去に検討した例があるものに限定されており、生物多様性や環境への影響については十分な検討がなされていない。そのため、今後はこれらの視点も踏まえた樹種の検討が必要である。

また、今回検討したコストは、労務費を最大限抑制している点など現段階で想定される最低限に近い値と考えられる。また、現段階では栽培されていない樹種を想定しているため樹種が異なることによるコスト変動については十分に検討がなされていない。この点については更に十分な検討を行う必要がある。

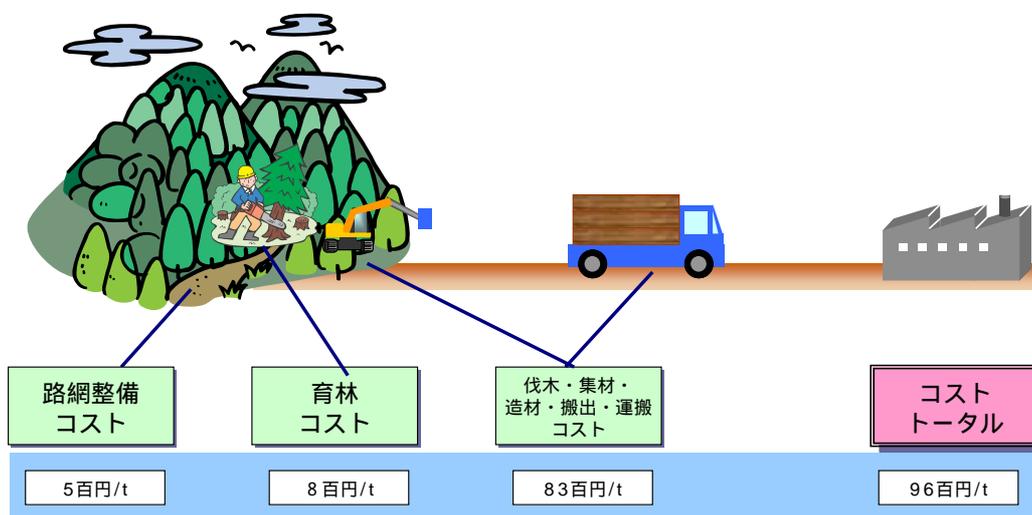


図 2.3-1 原料供給コストの試算結果

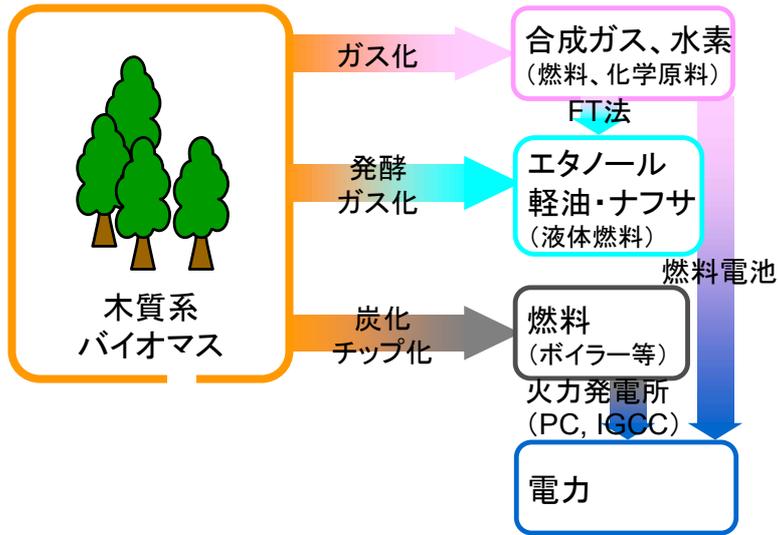


図 3. 1-1 バイオマスからのエネルギー変換技術の整理

以下に、上記のそれぞれの変換技術の概略を述べ、それらの代表例における変換後の単位量（電力：kWh、液体燃料：ガソリン換算単位体積（L））に対するコスト計算の基礎と算定値を求めた。炭化プロセスについてはプロセスの具体例がないのでモデル作成の上算定した。

（１）発電

火力発電

a. PC（微粉炭炊き発電）での専焼発電

コスト概算に当り、EPRI 報告書¹⁷の PC 発電プラントに関するデータ¹⁸を使用した。このプラントは、微粉炭ボイラにより超臨界圧蒸気で発電を行うものであり、CO₂回収プロセスは持たない。

このプラントの発電量（ネット値）は 463MW で、総建設費用は\$528,080,000 である。以上より、プラントの規模が変わった場合の建造費が発電規模の 0.7 乗に比例するとしてプロセスコストを概算した。

b. PC での石炭混焼発電

PC 発電において、石炭にバイオマスを混合し、燃焼する場合（混焼）では、コスト試算は PC 専焼発電の場合と基本的に同一であるが、バイオマスの混入による悪影響（焼却灰の融点低下、燃料粉碎効率の低下など）及び発電効率の低下は無視できる範囲（混焼率 3%以下）での検討とした。

c. IGCC（ガス化複合発電）での専焼発電

コスト概算に当り、EPRI 報告書¹⁹の IGCC 発電プラントに関するデータ²⁰を使用した。このプラントはデュアルトレインの酸素炊き IGCC で、CO₂回収設備は持たない。

このプラントの発電量（ネット値）は 584MW で、総建設費用は\$625,760,000 である。以上より、プラントの規模が変わった場合の建造費が発電規模の 0.7 乗に比例するとしてプロセスコストを概算した。

d. IGCC での石炭混焼発電

IGCC 発電において、石炭にバイオマスを混合し、燃焼する場合（混焼）では、コスト試算は IGCC 専焼発電の場合と基本的に同一であるが、ベースケースと比較してバイオマスの混入による悪影響（焼却灰の融点低下、燃料粉碎効率の低下など）及び発電効率の低下は無視できる範囲（混焼率 3%以下）での検討とした。

燃料電池（SOFC 型燃料電池）

SOFC 型燃料電池による発電コストを概算するために、大量生産によりモジュール製造

¹⁷ EPRI, DOE 報告書 "Evaluation of Innovative Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Removal" Report No. 1000316, (2000)

¹⁸ Case 7C: Coal-Fired Supercritical Steam Plant

¹⁹ EPRI, DOE 報告書 "Updated Cost and Performance Estimates for Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Removal" Report No. 1004483, (2002)

²⁰参考文献[19]、Case 9A: Base Case IGCC Plant without CO₂ removal

量低減効果を検討した NETL 報告書²¹を参照した。ここでは、5kW の燃料電池をスケールアップして 2MW とする際に、スタックのコストは発電規模に比例して増加する（単純にスタック数が増加するため）が、容器のコストは 0.65 乗則で減少するとしている²²。この関係より、planner circular 型燃料電池の発電規模と発電コストの関係を概算した。

報告書より、5kW セルのスタックモジュールコストは\$170、容器その他のコストは\$323 である。2MW のときは、発電容量あたりのスタックモジュールは\$148/kW であるが、引用もとの文献のデータが正確でないため、その他コストは 5kW のケースより概算した。本ケースでは燃料として水素を想定するため、Reformer のコスト（\$34）は不要である。残りのシステムのうち、スケールアップによるコスト削減が見込めるのは Insulation、Recuperators、Rotating Equipment、Control & Electrical System、Piping System 及び Indirect, Labor & Depreciation であり、これらのコストの総和は\$273/kW である。残りの Startup Power（\$16）はスケールアップの影響を受けないとした。

（2）気体燃料製造（水素）

バイオマス原料からの水素製造に要するコストは、水素製造技術の経済性に関する NREL（DOE）報告書²³を参照した。このプロセスでは、木材（2000 乾燥 t/日）を BCL ガス化器によりガス化し、シフト反応後、PSA により水素を精製する。原料の木材はポプラを仮定している。既存技術で開発したケース(Current design)と、タール改質部を改良した将来的な技術を用いたケース(Goal design)についてコスト推算がされており、水素の生産量はそれぞれ 146t/日、161t/日である。

（3）液体燃料製造

FT プロセス

フィッシャー・トロプシュ（FT）法とは、石炭などを原料として製造した合成ガスから触媒反応により液体燃料（炭化水素）を製造する手法であり、これによる液体燃料生産コストについては、DOE・NREL 報告書²⁴のコストデータを用いた。このプロセスでは、石炭（Illinois No. 6）と純度 95%の酸素を原料として、ConocoPhillips の E-GasTM ガス化技術を用いてガス化し、硫黄、硫化水素、二酸化炭素を除去した合成ガスを Fischer-Tropsch 反応器で炭化水素へ改質する。生成物のうち、オフガス成分は発電燃料としてガスタービン発電に用い、その他の成分はナフサとディーゼル燃料に改質し、出荷される。石炭の消費量は 24,533（t/日）で、ナフサとディーゼル燃料の生産量はそれぞれ 22,173（バレル/日）、27,819（バレル/日）である。また、副生成物である電力の発電規模は 124.3 MWe である。このプラントは CO₂ の回収も行う。回収量は 32,481（t/日）である。

発酵プロセス

穀物や草本でない、木質のリグノセルロース系のバイオマス原料からエタノールを生産

²¹ The Impact of Scale-Up and Production Volume on SOFC Manufacturing Cost (April 2, 2007)

²² 参考文献[21] p44

²³ NREL, “Biomass to Hydrogen Production Detailed Design and Economics Utilizing the Battelle Columbus Laboratory Indirectly-Heated Gasifier” Report No. NETL/TP-510-37408 (May, 2005)

²⁴ NREL, “Baseline Technical and Economic Assessment of a Commercial Scale Fischer-Tropsch Liquids Facility”, Report No. DOE/NETL-2007/1260 (April 9, 2007)

するプロセスとして、NREL 報告書²⁵を参照した。このプロセスは、コーンストーバーを硫酸処理し、発酵法によりエタノールを生産するものである。今回の検討では、原料となる木材はコーンストーバーよりもエタノールへと転化するセルロース分が少ないため、木材のセルロース分の組成比により収率を算出した。バイオマス成分のうち、Cellulose、Xylan、Arabinan、Galactan、Mannan がエタノールへと転化する²⁶。これらの物質の割合は熱量比で 63.2%、重量比で 65%である。

(4) 固体燃料製造 (バイオコール)

木材から発電に適した固形燃料 (バイオコール) への変換は、炭化により行われる。現状このプロセスのコスト検討は行われていないため、コストを以下のように概算した。

- ・バイオコール製造設備は、木材の輸送距離が 5km となる範囲 (面積として 78.5km²) ごとに設置するものとした。この範囲の年間木材生産量は、森林の単位収穫量を 8.3 [t/ha] (表 1.4-9 で、ユーカリ・単収 75%の場合) とすると 65,000 [t/年]となる。
- ・収集範囲には森林でないところも含まれるため、日本国土に占めるバイオマス資源生産収穫可能面積の割合で除する。この値は、 $6,710,000$ (表 1.4-8、日本目標値より) $\div 37,783,500$ (日本国土面積) = 0.18 と計算されるので、上記の範囲での収穫量の日本平均は $65,000 \times 0.18 = 11,700$ [t/y]となる。
- ・プロセスの設備コストは、3.1.1 (1)の PC 発電プラントコストにおけるボイラ価格 (PC Boiler and Accessories, 109,560 × 1000\$) を参照した。バイオコール製造は PC 発電と比較して運転圧力・温度が低いため、ボイラの製造コストはおよそ半額になると仮定した。
- ・このボイラは石炭を 151,295 kg/h の割合で消費する。このプラントは Capacity Factor が 80%であるので、年間の石炭消費量は $151,295 \times 24 \times 365 \times 0.8 = 1,060,275,000$ [kg/y] = 1,060,275 [t/y]である。
- ・これより、石炭の消費量と木材の収穫量との比は $1,060,275 \div 11,700 = 91$ であるので、木材を処理するボイラの価格を 0.7 乗則より求めると $109,560,000 \div 90^{0.7} \div 2 = 2,336,500$ [\$]と計算される。
- ・ボイラの年間償却率を 12%とすると、木材 1t あたりの処理コストは、 $2,336,500 \times 0.12 \div 11,700 = 23.96$ [\$/トン] = 2,564 [¥/t]となる。
- ・木材の比重を 0.5 とすると、処理コストは 1,282 [¥/m³]となる。

²⁵ NREL, Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover, 2002)

²⁶ 参考文献[25]、Table 24 より

3.1.2 規模による評価

変換プラントの立地場所は臨海部が多いと推測されるため、収集範囲は半円を仮定した（図 3.1-2）。

変換プロセスの規模は、

木質バイオマスの収集範囲を町村単位の地域（日本の平均市町村面積 = およそ 200km^2 、平均輸送距離 8km ）から収集した場合

県単位（日本の平均都道府県面積 = $8,000\text{km}^2$ 、平均輸送距離 50km ）から収集した場合

地方単位（日本の国土面積を 7 等分、面積 = $50,000\text{km}^2$ 、平均輸送距離 126km ）から収集した場合

を仮定し、変換プラントの規模を決定した。

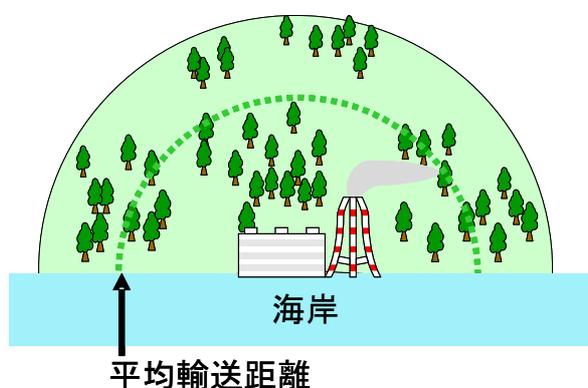


図 3.1-2 バイオマス収集距離の算定方法

3. 1. 3 原料による評価

エネルギー変換する原料として、1～2章において設定した高生長樹種を想定した。2. 2. 3 (4)で述べたとおり、ユーカリ、ギンネム、モリシマアカシア、ヤナギ、ポプラはコストがほぼ同一と推測されるため、代表としてユーカリを採用し、これに加えて竹を用いた場合の発電/液体燃料生産コストを推定した。

(1) 木材のコスト

第2章の検討結果(図2.2-8の「日本目標・ユーカリ(以降)」及び「日本目標・タケ」)より、生産コストとして9,604 [¥/トン](ユーカリ)及び20,130 [¥/t](タケ)を仮定した。

(2) 木材の物性

原料として用いる木材は伐木後に土場で乾燥済みのものであるとして、真比重0.5(ユーカリの場合)・0.2(タケの場合)、充填率0.6、かさ比重0.3、発熱量16.7GJ/トンとした。

3. 1. 4 コスト計算の前提条件

その他、コスト計算に必要な前提条件を以下に列挙する。

- ・単位体積あたりの木材の運材コストは、図 2. 2-3 で得られた以下の式を用いた

$$y = 23.79x + 1312.3$$

ただし、 x は運材距離[km]、 y は運材コスト[円]である。

- ・発電プラントの稼働率は 80%とした。
- ・プラントを運転するための人件費は、一律 5 万ドル/人・年とした。人員数は発電の種類により変化させたが、規模によっては変わらないものとした。
- ・補修費は、明記されていない場合はプラント資本計 (TCR) の 5%を毎年計上した。
- ・年利等を含めた償却率を年間 ROI の 12%とした。
- ・税金 (TAX) と ROI は、合わせて TCR の 10%とした。
- ・円ドルレートは、107 円/ドルとした (2008 年 1 月 20 日現在)。
- ・火力発電所について、発電効率は、燃料を木材チップ及び石炭の場合に分け、発電量に対する送電端効率の関係を種々の報告よりプロットし、フィッティングにより求めた。この結果を図 3. 1-3 に示す。

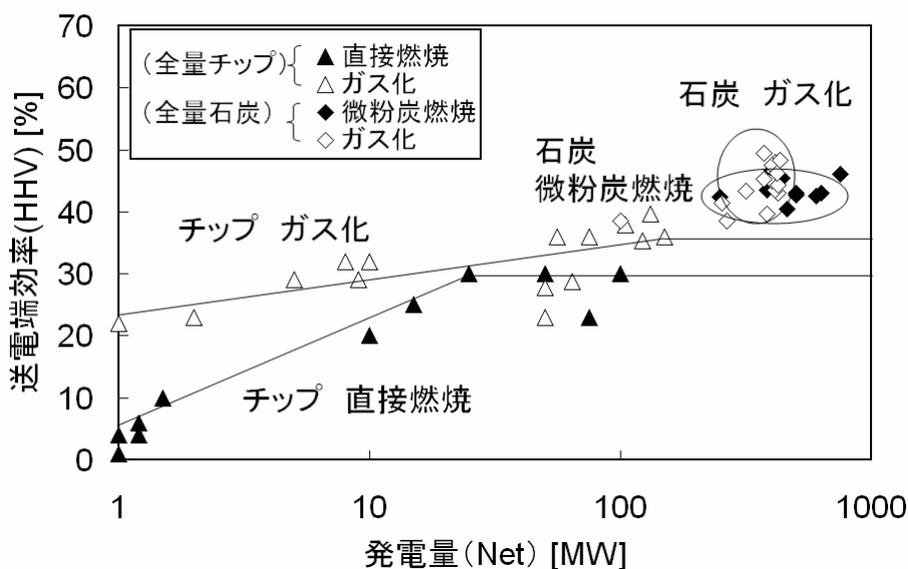


図 3. 1-3 火力発電所における発電量(Net)と送電端効率(HHV)の関係

図 3. 1-3 より、発電量を x [MW]とおくと、木材専焼発電の場合では、

直接燃焼： $\eta = 7.9142 \times \ln(x) + 3.597 (x < 28)$ 、 $\eta = 30 (x > 29)$

ガス化： $\eta = 2.5659 \times \ln(x) + 23.036 (x < 100)$ 、 $\eta = 35 (x > 100)$

となる。

石炭への混焼発電のケースでは、発電所の規模を 500MW で固定し、効率は全量石炭の場合と同一とした。すなわち、

直接燃焼：38%

ガス化：45%とした。

3.2 化石燃料代替ポテンシャルの評価

3.2.1 生産される製品の市場及び価格の検討

生産される製品の価格競争力を評価するため、現状の製品コストを検討した。

(1) 変換先を電力とした場合

3.1.1 の(1)- -d. で示した IGCC バイオマス混焼発電において、混焼率を 0%とし、石炭のみで発電したときのコストを評価した。この際、石炭価格は総務省輸入統計より算出した。これより、石炭価格の平均値は 8,250 円/トン²⁷と計算されたので、この価格から発電コストを算出した。その結果、発電コストは 6.9 円/kWh と計算された。

また、将来的な競合技術として、リチウムイオン 2 次電池による電力貯蔵を仮定した。

(2) 変換先を水素とした場合

最終製品として電力を仮定し、3.1.1 の(1)- で示した SOFC 型燃料電池で発電されるものとした。競合対象は(1)の電力コストとした。

また、競合技術として、電気分解による水素生産コストを検討した。

(3) 変換先を液体燃料とした場合

財務省輸入統計より、ガソリンの輸入価格を算出した。その結果、ガソリン 1L あたりの価格は 60 円/L²⁸と計算された。また、競合技術として、石炭を原料として FT 合成により液体燃料を製造した場合を仮定した。石炭価格は、(1)で示したとおり 8,250 円/トンとした。

(4) 変換先を固体燃料とした場合

最終製品として電力を仮定し、3.1.1 の(1)- -b. 及びd. で示した火力発電所において混焼されるものとした。木材を原料とした場合ではアルカリ金属の混入による焼却灰融点低下の問題及び熱バランス状の問題から混焼率の上限を 3%としていたが、固体燃料を用いる場合はこれらの問題が解決されるため混焼率の上限を設定しないものとした。競合対象は(1)の電力コストとした。

²⁷ 財務省貿易統計より、一般炭（統計品目番号 2701.12-099）の 2007 年平均値より算出

²⁸ 財務省貿易統計、ガソリンの輸入価格（統計品目番号 2710.11 137）より、2007 年輸入価格を平均して算出

3.2.2 競合対象となるプロセスのコスト概算

(1) 電力貯蔵

原子力発電は負荷を変動させにくいのに対し、石油やガス、石炭火力発電は比較的負荷変動させることができるため、現在負荷調整用として用いられており、このことが一定割合以上に原子力発電の割合を増やすことができない原因となっている。バイオマスを用いた発電も、将来的には負荷調整用として用いられると考えられるが、この競合技術としてリチウムイオン二次電池による蓄電を検討した。リチウムイオン二次電池の製造コストは Argonne National Laboratory による報告書²⁹から推算した。この報告書によれば、100AH (360WH) の電池の原料コストは 158.68\$³⁰と見積もられている。この電池の充放電サイクル寿命を 1,000 回とすると、寿命までに 360kWh の電力を貯蔵できる計算となる。この価格は原材料のみのもので、製造に要するコストやパワーコンディショナなどのコストが入っていないため、実際の電力貯蔵コストはこれよりも高額になると考えられるが、参考のためこの価格でコスト検討を行った結果、発電コストは 0.454\$/kWh (48.6 円/kWh) と試算された。

(2) 石炭による液体燃料製造 (CTL)

将来的に石油資源が枯渇すると、CTL (Coal to Liquid) により比較的資源量が豊富な石炭から石油が製造されると考えられる。ここでは、3.1.1 (3) - で述べた FT 合成法により石油 (ナフサ+ディーゼル油) を合成するとした。その結果、石炭価格を 8,250 円/トンと仮定したときの燃料生産コストは 69 円/L と試算された。

3.2.3 変換プロセスごとのプロセスコストまとめ

これまでに述べたプロセスごとの発電コスト内訳を表 3.2-1 にまとめた。

²⁹ Argonne National Laboratory, "Costs of Lithium-Ion Batteries for Vehicles" Report No. ANL/ESD-42 (2000)

³⁰ 参考文献[29]、Table6.1 (p.37)

表 3.2-1 本検討で仮定したプロセスごとの発電コストまとめ

プロセス種類	石炭火力発電 (PC)	石炭火力発電 (IGCC)	石炭→液体燃料 (FT合成)	バイオ エタノール	水素	燃料電池	電池	電気分解
規模 単位	462 Mwe	584 Mwe	49,992 bbl/day (ナフサ, diesel)	6.93E+07 gal/yr	5.44E+07 kg H ₂ /yr	2 Mwe	0.36 kWh	43,800 t/yr
プラント建設費計 (TPC) [\$]	434,050,000	625,759,000	2,599,281,000	123,177,125	101,700,000	838,000	158.68	359,800,000
その他 (ロイヤリティ等) [\$]	94,030,888	55,486,000	1,050,683,000	83,700,000	51,900,000		4.93	187,200,000
プラント資本計 (TCR) [\$]	528,080,888	681,245,000	3,649,964,000	206,877,125	153,600,000	838,000	164	601,700,000
プラント寿命 [yr]	20	20	30	20	20	20	2.7	20
人件費(概算) (fixed) [\$/yr]	2,500,000	4,000,000	7,200,000	4,350,000	2,700,000	500,000	0	2,500,000
補修費 (fixed) [\$/yr]	6,588,000	6,153,000	51,985,626	4,092,000	6,145,000	4,190	0.82	30,085,000
用役費 (variable) [\$/yr]	15,932,308	3,597,538	22,900,090	14,782,200	13,400,000			6,015,000
副生成物 [\$/yr]	0	-1,308,000	-67,830,602	-18,456,208				-3,942,000
燃料 [\$/yr]	27,472,000	35,476,000	253,662,383	23,170,000	23,200,000	1,354,837		253,234,801
概算プラント償却 [\$/yr]	63,369,707	81,749,400	437,995,680	24,825,255	18,432,000	100,560	20	72,204,000
概算 TAX+ROI [\$/yr]	52,808,089	68,124,500	364,996,400	20,687,712	15,360,000	83,800	16	60,170,000
概算コスト計 [\$/yr]	172,848,103	205,808,438	1,212,981,451	72,543,959	80,593,000	1,543,387	49	417,766,801
年間生産量 [yr]	3.24E+09	4.09E+09	613101888	6.93E+07	5.44E+07	1.40E+07	1.31E+02	4.38E+07
生産コスト 単位	0.053 \$/kWh	0.050 \$/kWh	1.978 \$/gal	1.047 \$/gal (at 68F)	1.481 \$/kg	0.110 \$/kWh	0.374 \$/kWh	9.538 \$/kg
容量あたり TCR	1142.89 \$/kW	1167.31 \$/kW	73.01	0.00	0.00	419.00 \$/kW	0.45	13.74
コスト基準 [yr]	2000	2000	2006	2000	2002			
capacity factor [%]	80	80	80			80	80	80
efficiency [LHV%]			40.6	28.7	45.0	46.0	80.0	68.2

3.2.4 プラント規模と生産コストの関係

3.1.1 でまとめた変換プロセスごとの製品の生産コストをもとに、プラント設備と生産コストの関係を求めた。木質バイオマスの原料としてユーカリを仮定した。

(1) 変換先を電力とした場合

変換先を電力としたケースでは、以下の変換プロセスについて検討した。

PC 及び IGCC により専焼又は混焼した場合

木材をバイオコールへ変換した場合

木材から水素を製造し、燃料電池により発電した場合

それぞれのケースについて、原料をユーカリ又はタケとした場合について変換プラントの設備容量を変化させた場合の発電コストの変化を計算した。ユーカリの場合の検討結果を図 3.2-1 に、タケの場合の検討結果を図 3.2-2 に示した。

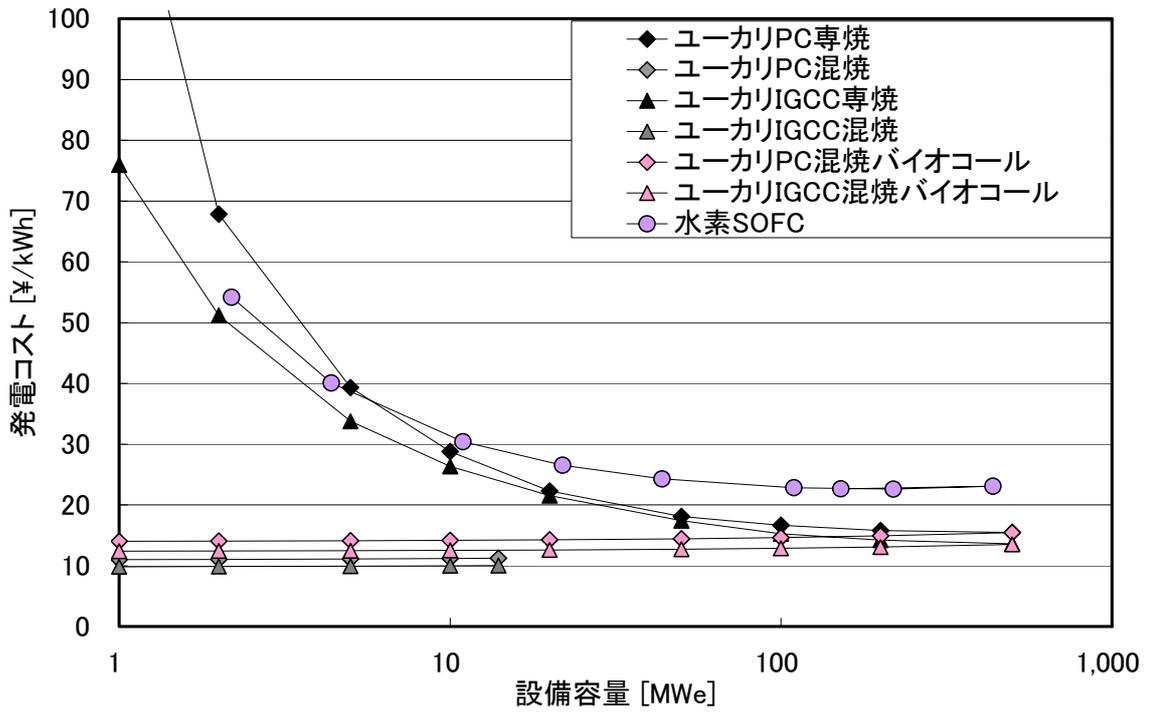


図 3.2-1 各変換方式における設備容量と発電コストの関係（ユーカリ）

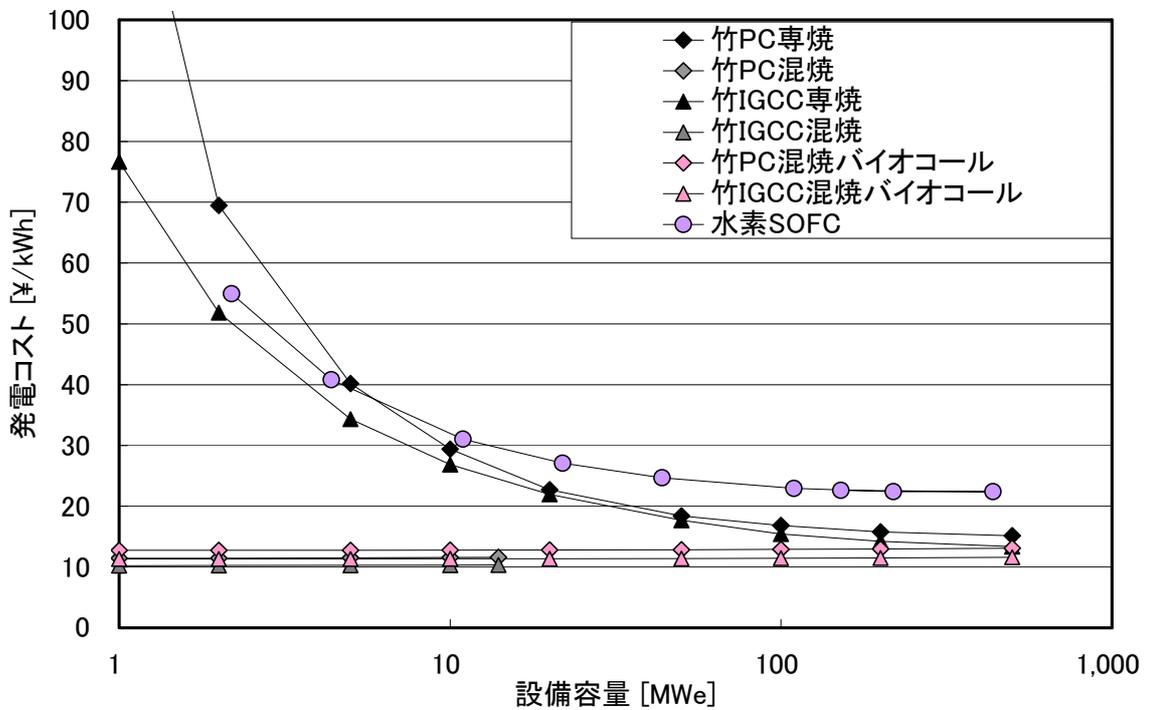


図 3.2-2 各変換方式における設備容量と発電コストの関係（タケ）

これより、発電コストはIGCCによる混焼が最も安価で、ユーカリ、タケを原料とした場合でともに10円/kWh程度と計算され、ユーカリを原料とした場合が若干安価であった。しかし混焼法では焼却灰の融点低下やその他の問題のため、容量のおよそ3%分しか処理できないため、多量の木材を使用する際にはアルカリ金属除去などの前処理を施したバイオコールなどを使用するか、木材専用の発電所を建設する必要がある。この際の実発電コストは13.5円/kWh(ユーカリ、IGCCバイオコール混焼)ないし11.6円/kWh(タケ、IGCCバイオコール混焼)程度となる。バイオコール化に際しては、燃料転換時の熱量ロス及びコストがかかるため、設備容量が大きくなり専焼発電の変換効率が高まるとコストが均衡する傾向がある。

なお、水素へ変換し、SOFCで発電する手法については、ユーカリとタケどちらを原料として用いた場合でも小規模のPC専焼発電設備を除いた場合でコスト高であり、コスト面の優位性は見いだせなかった。また、電力貯蔵コスト(48.6円/kWh)はバイオマス発電コストと比較して競争力がないことが明らかとなった。

(2) 変換先を液体燃料とした場合

変換先を液体燃料としたケースでは、以下の変換プロセスについて検討した。

硫酸処理で糖化した後、発酵法によりバイオエタノールを製造した場合

ガス化し、FT合成法によりナフサとディーゼル燃料を製造した場合

それぞれのケースについて、原料をユーカリ又はタケとした場合について変換プラントの設備容量を変化させた場合の実発電コストの変化を計算した。原料としてユーカリを用いた場合の検討結果を図3.2-3に、タケを用いた場合の検討結果を図3.2-4に示す。なお、エタノールのコストはガソリンの熱量に換算して比較した。

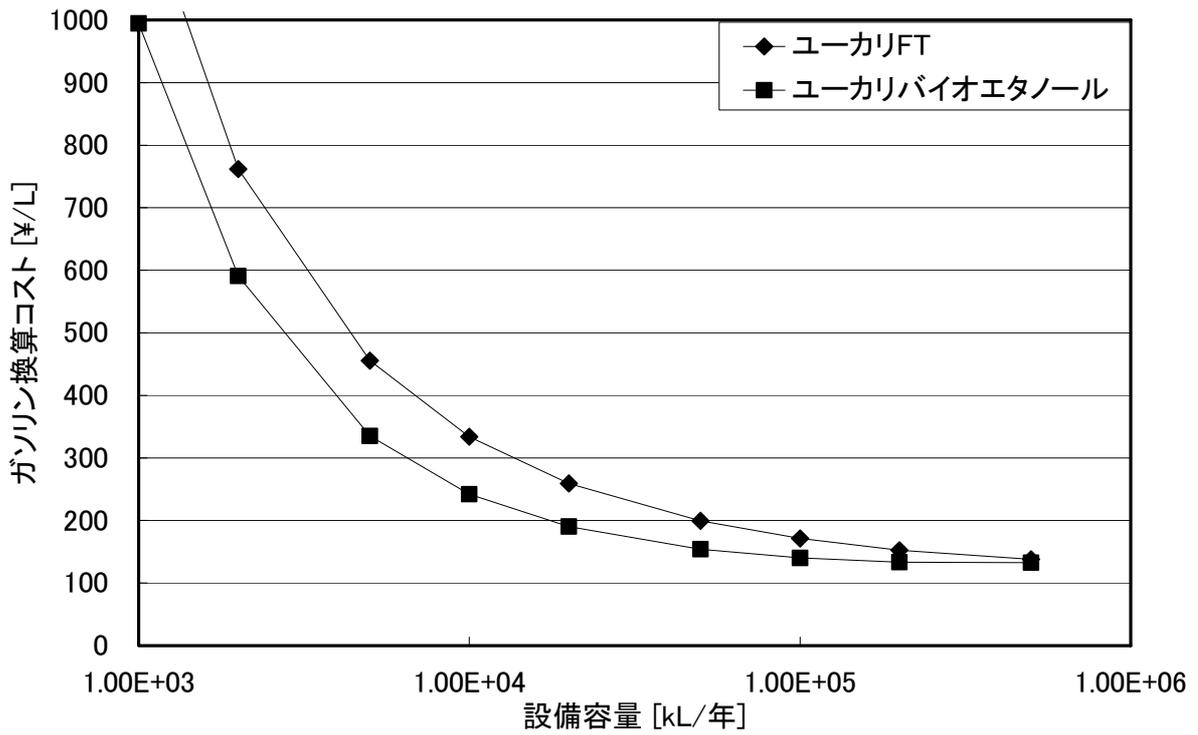


図 3. 2-3 各変換方式における設備容量と液体燃料生産コストの関係（ユーカリ）

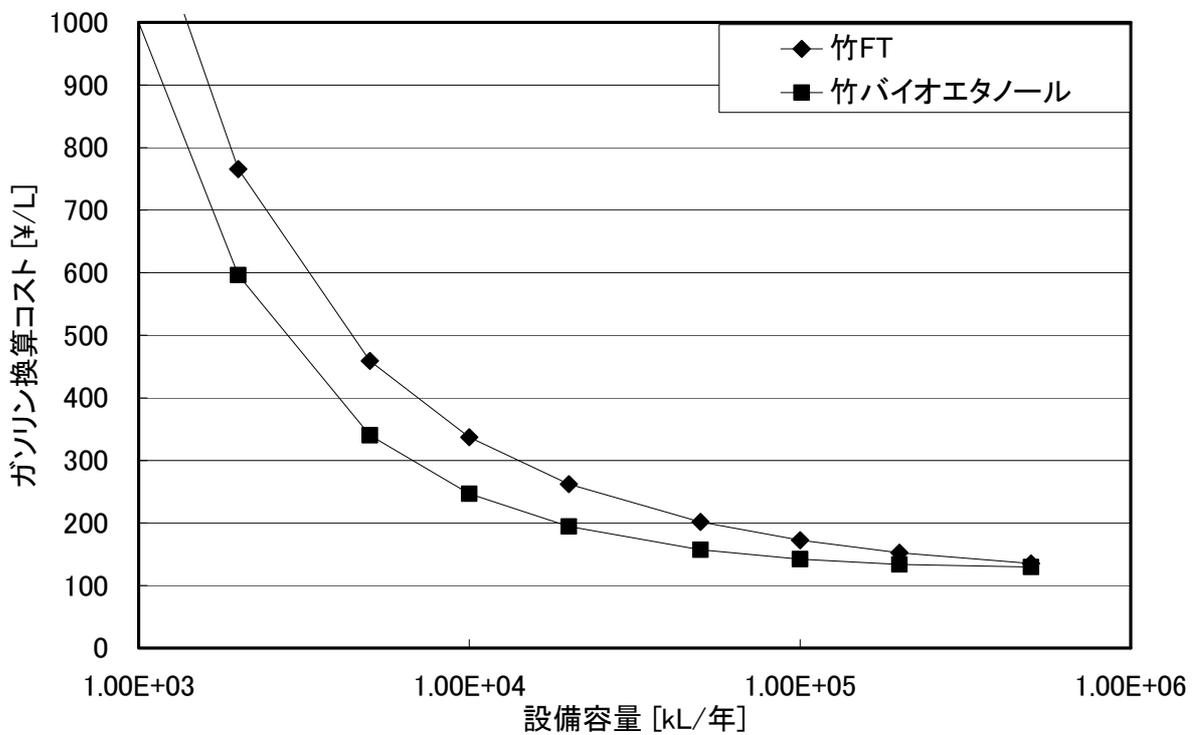


図 3. 2-4 各変換方式における設備容量と液体燃料生産コストの関係（タケ）

これより、木質バイオマスを液体燃料として変換した場合には、ガソリン換算の生産コストはおよそ 130～140 円/L となる。設備容量が小さい場合にはバイオエタノール化が低コストだが、設備容量が大きくなると FT 合成との差が小さくなっていくことがわかる。この原因として、

- ・ FT 合成プラントの設備費が非常に高価であるためにスケールアップによるコスト低減効果が現れやすい
- ・ バイオエタノール製造プラントは草本系を対象に設計されたものを木材用に使用し、セルロース含有率が低い分収率が低下しているため、変換効率が低いことが挙げられる。

3.2.5 木材の収集範囲と生産コストの関係

3.2.4 ではプラントの規模を変化させた場合について発電コストを比較したが、ここでは、3.1.2 で仮定した収集範囲（市町村単位、都道府県単位、地方単位）での発電コストを比較検討した。

(1) 変換先を電力とした場合

収集範囲が市町村単位の場合

収集範囲が市町村単位の場合の発電コストを図 3.2-5（原料がユーカリの場合）、図 3.2-6（原料がタケの場合）にそれぞれ示す。

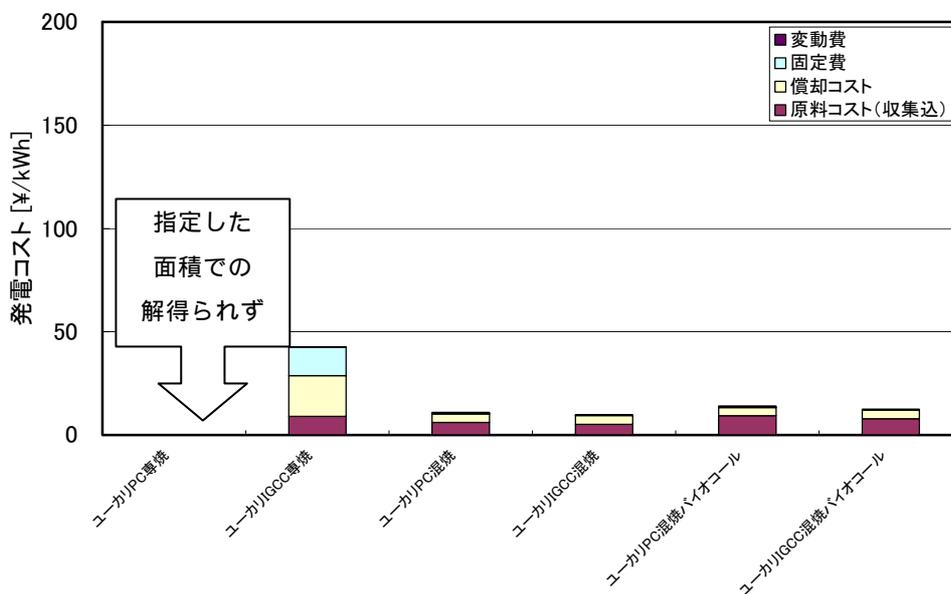


図 3.2-5 市町村範囲からバイオマスを収集した場合の発電コスト（ユーカリ）

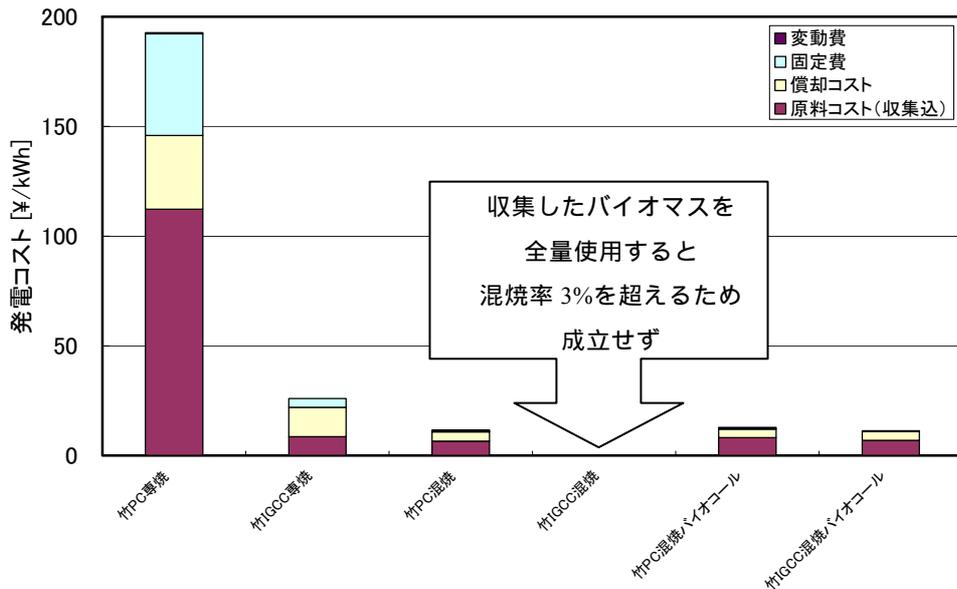


図 3. 2-6 市町村範囲からバイオマスを収集した場合の発電コスト (タケ)

収集範囲を市町村単位としたケース (範囲 200km²) では、直接燃焼法ではプラント規模が小さい (ユーカリの場合 IGCC:2.9MWe、タケの場合 PC:0.8MWe・IGCC:11MWe) ため発電効率が悪く、スケールメリットも得られないため、発電コストが他の発電法と比較して著しく高価となった。なお、ユーカリを原料とした PC 専焼については、収集範囲 200km² を満足する発電容量を計算できなかった (発電容量が小さくなると発電効率が低下し、多くの木材が必要となる) ため、計算結果を示していない。

その反面、混焼法では混焼率が低いほどコストが低いため、チップ IGCC 混焼ではユーカリ・タケどちらを用いた場合でも 10 円/kWh 程度と安価である。この条件でのプラント規模は、ユーカリの場合 PC:4.3MWe、IGCC:5.1MWe である。ただし、タケを原料として IGCC で混焼した場合、収集した原料を全量使用すると混焼率の上限 (3%) を超えてしまうため、この範囲から収集した原料を全量使用することはできない。

また、バイオコール混焼では 11 ~ 12 円/kWh 程度となる。この条件でのプラント規模は、ユーカリの場合 PC:3.0MWe、IGCC:3.5MWe である。チップ混焼よりもプラント規模が小さくなるのは、バイオコール化に伴う変換ロスのためである。

以上より、収集範囲が市町村単位であれば、IGCC や PC 発電所でのチップ混焼が好ましいといえる。

収集範囲が都道府県単位の場合

収集範囲が都道府県単位の場合の発電コストを図 3.2-7(原料がユーカリの場合)、図 3.2-8(原料がタケの場合)にそれぞれ示す。

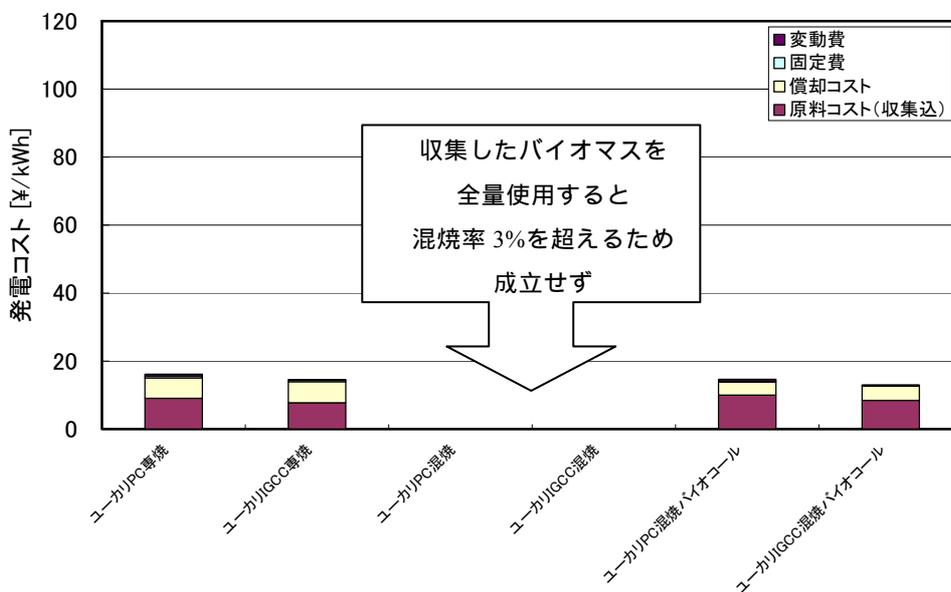


図 3.2-7 都道府県範囲からバイオマスを収集した場合の発電コスト(ユーカリ)

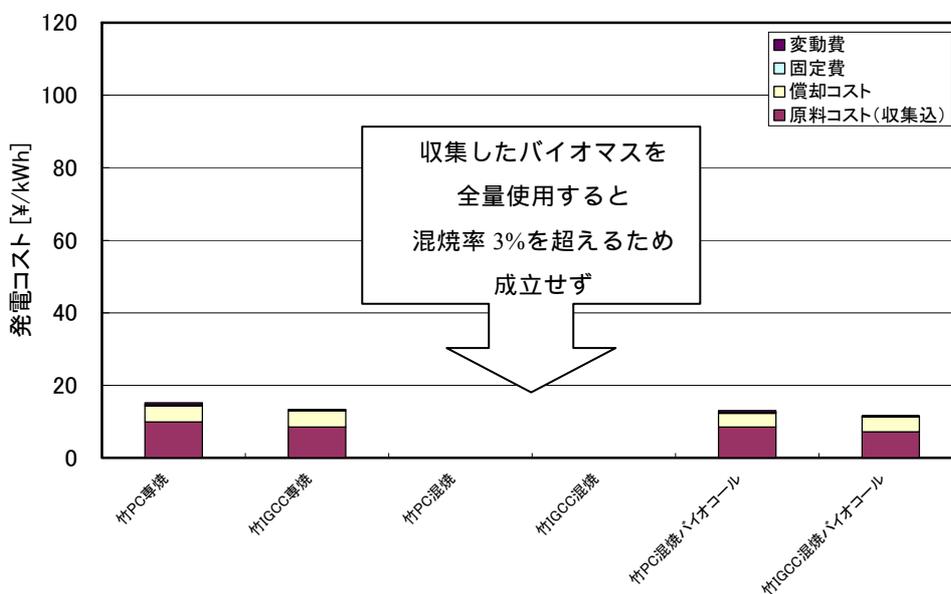


図 3.2-8 都道府県範囲からバイオマスを収集した場合の発電コスト(タケ)

収集範囲を都道府県単位としたケース(範囲およそ 8,000km²)では、直接燃焼法ではプラント規模が大きくなり(ユーカリの場合、PC:134We、IGCC:157MWe) 発電効率が

向上し、スケールメリットが得られはじめることからコストが低下する。

チップ混焼発電については、混焼率が3%を超えてしまい、収集したバイオマス进行处理しきれなくなってしまう。

バイオコール混焼では収集距離が伸びるためコストが若干上昇するが、発電コストはユーカリの場合10~13円/kWh程度である。この条件でのプラント規模は、ユーカリの場合でPC:120MWe、IGCC:142MWeである。

収集範囲が地方単位の場合

収集範囲が地方単位の場合の発電コストを図 3. 2-9 (原料がユーカリの場合)、図 3. 2-10 (原料がタケの場合) にそれぞれ示す。

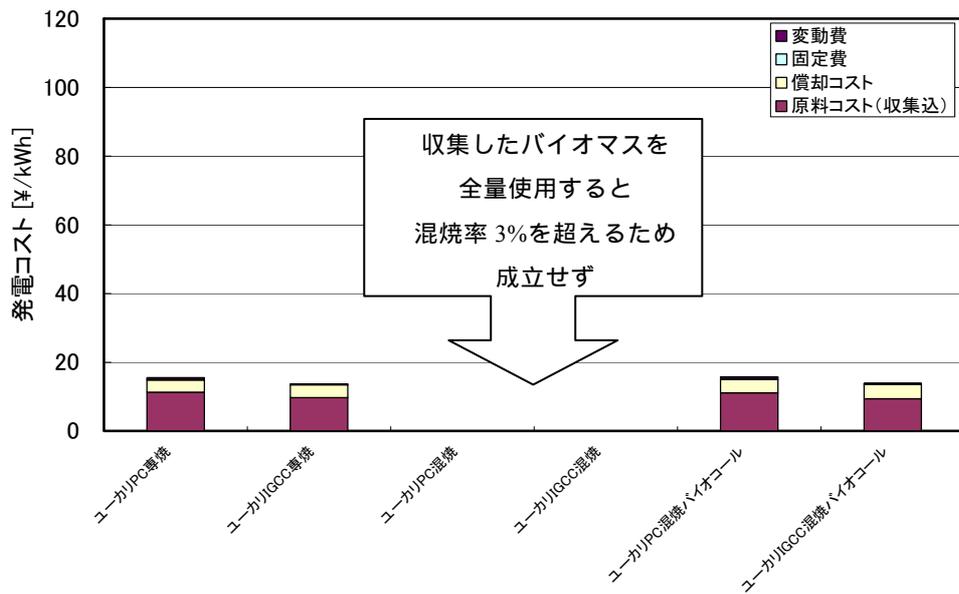


図 3. 2-9 地方範囲からバイオマスを収集した場合の発電コスト (ユーカリ)

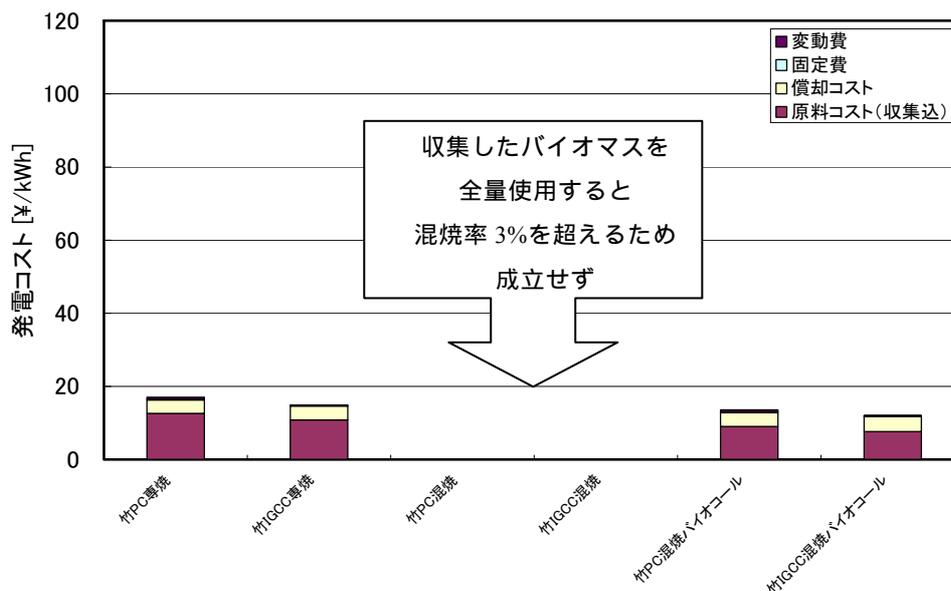


図 3.2-10 地方範囲からバイオマスを収集した場合の発電コスト（タケ）

収集範囲を地方単位としたケース（範囲およそ 50,000km²）では、直接燃焼法ではプラント規模が更に大きくなる（PC:843MWe、IGCC:983MWe）。この範囲から収集されたバイオマスを一カ所の発電所で消費することはできないため、複数の発電所で使用することとなり、このケース以上のスケールメリットは得られなくなるのに加え、収集距離が伸びるため原料コストが上昇する。

バイオコール混焼も同様に 1カ所の発電所で消費することができなくなり、専焼発電の場合と同様に収集距離が伸びるため原料コストが上昇し、発電コストは 14～16 円/kWh 程度となる。この条件でのプラント規模は、PC:747MWe、IGCC:885MWe である。

（2）変換先を液体燃料とした場合

変換先を液体燃料とした場合についても、収集範囲（市町村単位、都道府県単位、地方単位）での燃料生産コストを比較検討した。なお、原料がユーカリの場合についてのみ検討を行った。

収集範囲が市町村単位の場合

収集範囲が市町村単位の場合の液体燃料変換コストを図 3.2-11 に示す。

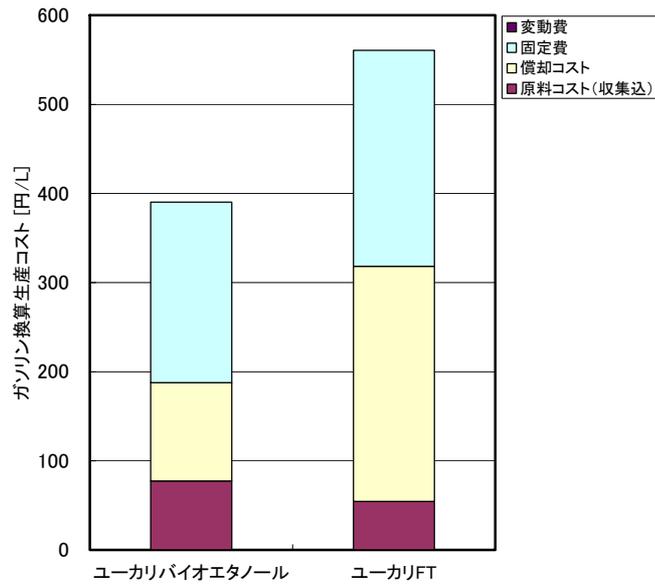


図 3. 2-11 市町村範囲からバイオマスを収集した場合の液体燃料生産コスト

収集範囲を市町村単位としたケースでは、固定費及び償却コストが非常に高価となる。この条件での液体燃料製造容量は、バイオエタノールで 3,851kL/年（エタノール量）、FT 燃料で 3,385kL/年である。

収集範囲が都道府県単位の場合

収集範囲が都道府県単位の場合の液体燃料変換コストを図 3. 2-12 に示す。

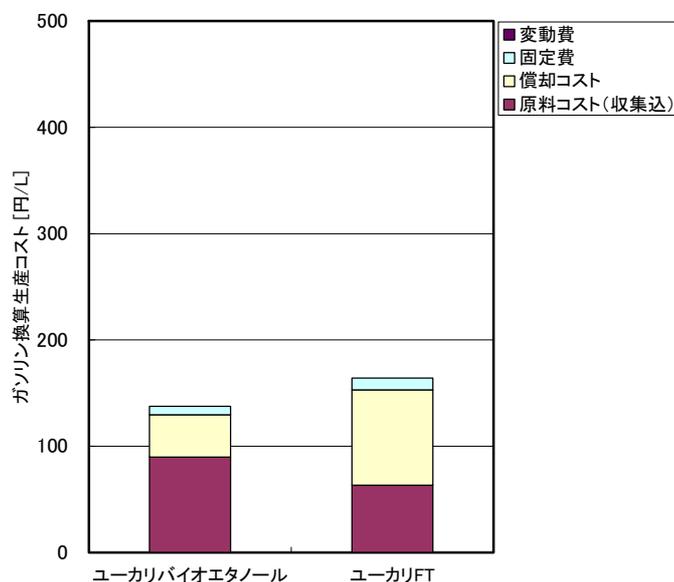


図 3. 2-12 都道府県範囲からバイオマスを収集した場合の液体燃料生産コスト

収集範囲を都道府県単位としたケースでは、生産量が増大することによるスケールメリットから固定費及び償却コストが低下し、バイオエタノール及びFT両方の条件でおよそ200円/L程度となる(ガソリン熱量換算)。この条件での液体燃料製造容量は、バイオエタノールで154,023kL/年(エタノール量)、FT燃料で135,394kL/年である。設備コストに関して、バイオエタノール製造プラントがFT合成プラントと比較して低コストだが、3.2.4(2)で述べたとおり、バイオエタノールプラントの収率が低いため原料が多量に必要となり、生産コストは結果的に均衡している。

収集範囲が地方単位の場合

収集範囲が地方単位の場合の液体燃料変換コストを図 3.2-13 に示す。

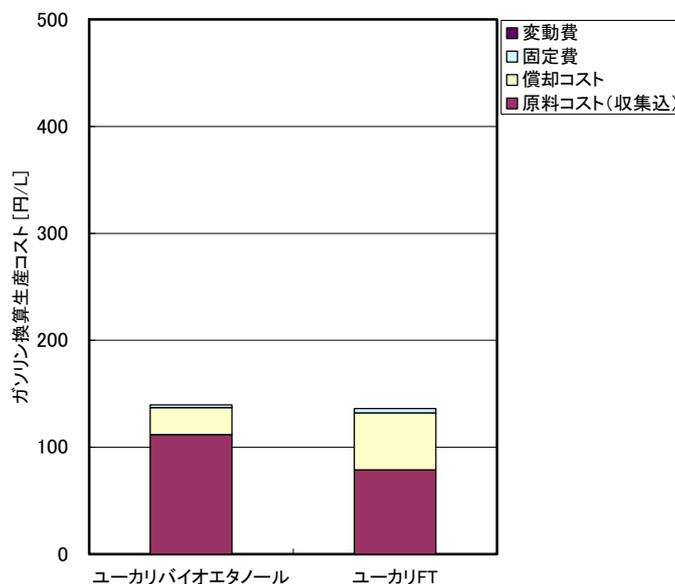


図 3.2-13 地方範囲からバイオマスを収集した場合の液体燃料生産コスト

収集範囲を地方単位としたケースでは、生産量が更に増大することによるスケールメリットから固定費及び償却コストが低下する。その反面、原料の輸送距離が伸びることにより原料価格が上昇している。FT 合成については設備費が更に低下しているため液体燃料生産コストが更に低下しているが、バイオエタノールでは前述のとおり収率が低く多量の原料を必要とするため、価格が上昇している。この条件での液体燃料製造容量は、バイオエタノールで 962,641kL/年（エタノール量）、FT 燃料で 846,212kL/年である。

3.2.6 木質バイオマス利用のポテンシャル評価

(1) 変換先を電力とした場合

総生産量

第1章 で計算された木質バイオマスの収集可能量から電力の最大生産量を概算する。今回検討した、直接燃焼法、チップ混焼及びバイオコール混焼法による最大発電量を評価する。

a. 直接燃焼法

直接燃焼法は PC を用いるものと IGCC を用いるものの 2 ケースを仮定した。発電効率の最大値はそれぞれ 30%、35%であり、 3.5×10^9 kWh の電力を発電するために 217 万トン（PC）、186 万トン（IGCC）の木材を使用している。1.4.5 (2) より、木質バイオマスの生産量は、林道整備距離を日本目標として単収を 75%と仮定した条件において 58.5 百万トン/年と見積もられるため、発電量は最大 9.43×10^{10} kWh（PC）、 1.10×10^{11} kWh（IGCC）と計算される。これは日本の総発電量（9.77

$\times 10^{11}\text{kWh}^{31}$) の 1 割程度を占める量である。

b. チップ混焼法

チップの混焼法では、石炭火力発電所への混焼率の上限はおよそ 3%である。平成 18 年度における総発電量のうち、石炭火力が占める割合は 23%³¹ であるので、混焼により全体の 0.7%の電力をまかなうことができる計算となる。このときの発電量は 6.84×10^9 kWh である。ユーカリを原料とした場合、 9.81×10^7 kWh の電力を発電するために使用する木材は、PC の場合で 48,035 トン、IGCC の場合で 40,563 トンであるので、木質バイオマス使用量はそれぞれ 335 万トン、283 万トンである。

c. バイオコール混焼法

バイオコール混焼法は PC を用いるものと IGCC を用いるものの 2 ケースを仮定した。発電効率の最大値はそれぞれ 38%、45%であり、 3.5×10^9 kWh の電力を発電するために 245 万トン (PC)、207 万トン (IGCC) の木材を使用している。上記 a. と同様の計算により、最大発電量はそれぞれ 8.35×10^{10} kWh (PC)、 9.90×10^{10} kWh (IGCC) と計算される。これは日本の電力消費量の 1 割弱に相当する。

原料価格が上昇したケースの競争力評価

3. 2. 4 (1) における検討で、多量の木質バイオマスを消費する条件での発電コストの最小値はおよそ 14 円/kWh、チップ混焼を行った際の発電コストはおよそ 10 円/kWh であった。この価格は、3. 2. 1 (1) で検討した石炭を原料とした場合の発電コスト 6.9 円/kWh と比較すると 1.4~2 倍程度高価である。

近年化石資源価格は上昇傾向にあることから、将来的に石炭火力発電の電力コストとバイオマス発電の電力コストが均衡するような石炭価格を概算した。この結果を図 3. 2-14 に示した。

この図より、石炭価格がおよそ 32,000 円/トンのとき発電コストが 14 円/kWh、19,000 円/トンのとき発電コストが 10 円/kWh となり、石炭火力発電コストがこれらの価格でバイオマス発電コストと均衡することがわかる。現在の石炭価格はおよそ 8,250 円/トンであるので、これがおおよそ 2.5~4 倍となるとバイオマス発電に価格競争力が生じるといえる。この関係を図 3. 2-15 に示した。

³¹ 経済産業省、平成 18 年度電力供給計画の概要、図 2-2 より

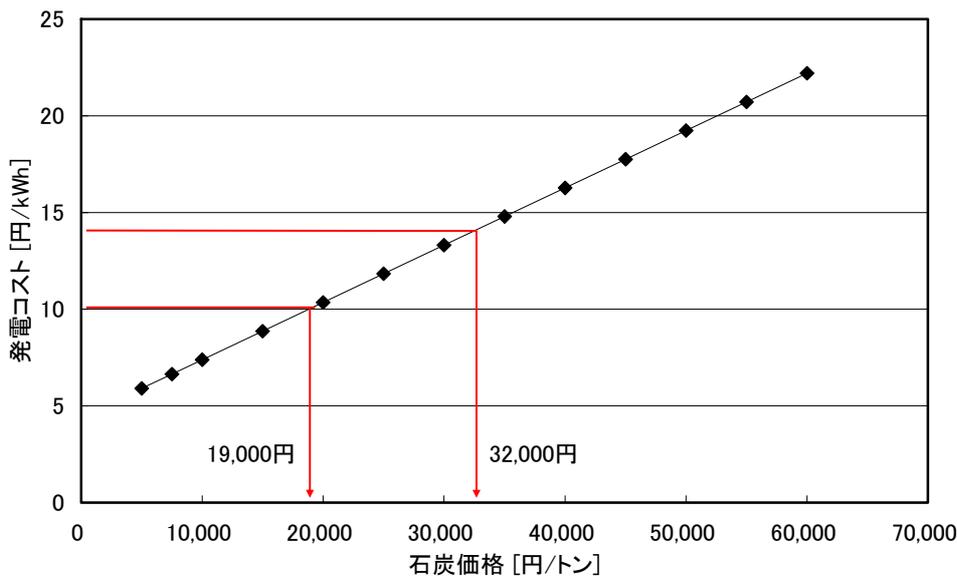


図 3.2-14 IGCC 発電を採用した場合の石炭価格と発電コストの関係

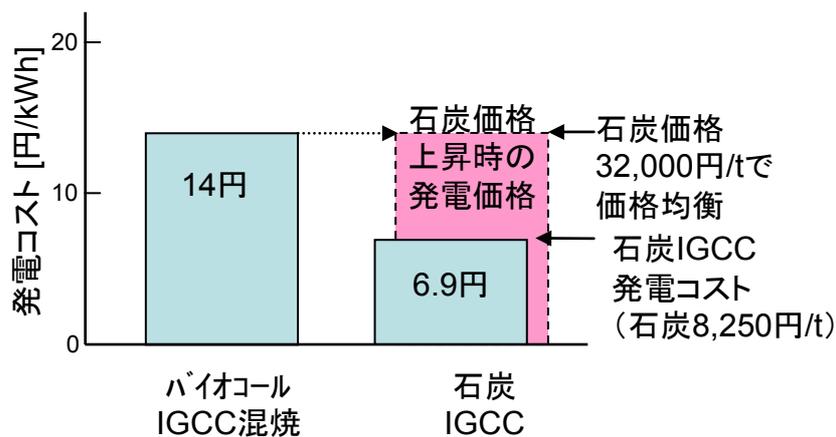


図 3.2-15 バイオマス発電コストと石炭価格上昇時の発電コストの関係

炭素排出コストがかかるケースの競争力評価

前述したとおり、多量の木質バイオマスを消費する条件での発電コストの最小値はおよそ 14 円/kWh、チップ混焼を行った際の発電コストはおよそ 10 円/kWh であり、石炭を原料とした場合の発電コスト 6.9 円/kWh と比較すると 1.4～2 倍程度高価である。

ここでは CO₂ 発生量削減の観点から、将来的にカーボンクレジットや炭素税などの形で CO₂ 排出にペナルティが課せられた場合について、発電用の燃料としてバイオマスを用いた際の化石燃料に対する優位性を評価した。この際、バイオマス発電所には CCS 設備が設置され、3 円/kWh のコストで発生する CO₂ を隔離することができると仮定した。これにより、石炭火力発電所と比較した CO₂ 発生量削減効果は 2 倍（カーボンニュート

ラルである木材を使用していること+CCS)となり、カーボンを2倍した価格分を石炭火力発電に加えたコストとバイオマスを燃料とした火力発電コストに CCS コストを加えた価格との比較になる。

この結果を図 3.2-16 に示した。この図より、発電コストが 14 円 kWh のとき、CCS 込みの発電コストは 17 円 kWh となり、このときのカーボンの価格は 6,820 円/t- CO₂、発電コストが 10 円 kWh のとき、CCS 込みの発電コストは 13 円 kWh となり、このときのカーボンの価格は 4,190 円/t- CO₂ となる。カーボンの価格がこれらの金額以上となると石炭火力発電コストがバイオマス発電コストと均衡することがわかる。この関係を図 3.2-17 に示した。

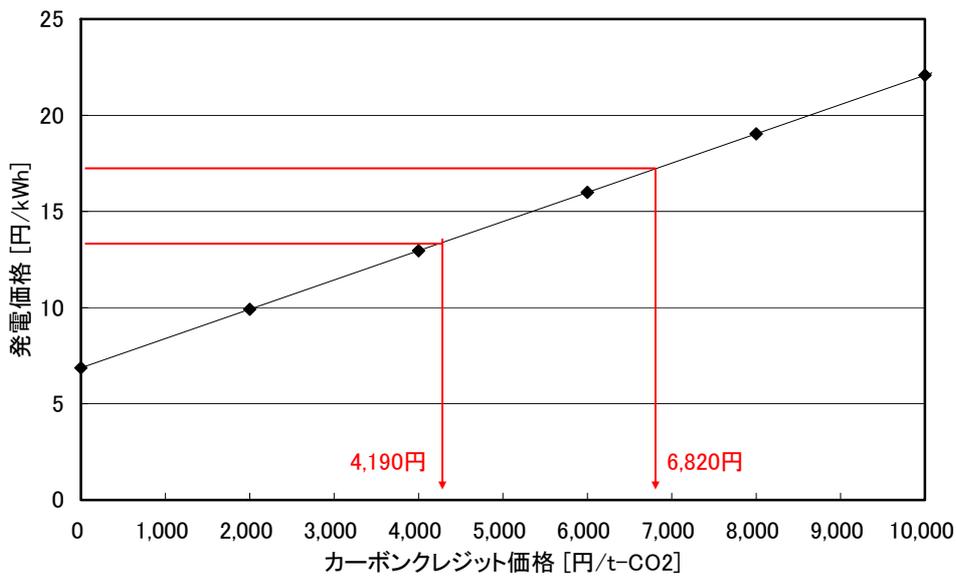


図 3.2-16 IGCC 発電を採用した場合の発電コストとそれに均衡するカーボンの価格

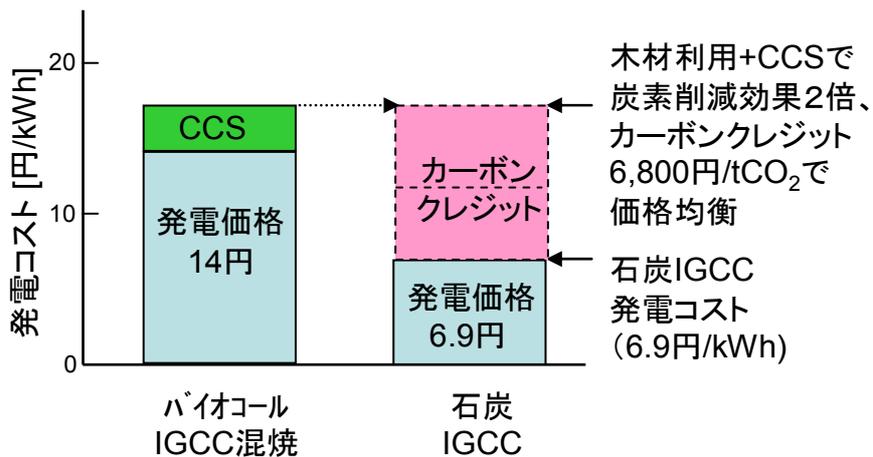


図 3.2-17 バイオマス発電コストとそれに均衡するカーボンの価格の関係

(2) 変換先を液体燃料とした場合

総生産量

第2章で計算された木質バイオマスの収集可能量からバイオエタノール及びFT燃料製造プロセスによる液体燃料の最大生産量を概算した。

a. バイオエタノール製造プロセス

このプロセスでは、 5×10^5 kLのエタノールを製造するために190万tの木材を使用している。これまでの議論のとおり、木質バイオマスの生産量は58.5百万トン/年と見積もられるため、エタノール製造量は 1.54×10^7 kLと計算される。これはガソリンの熱量換算で 9.54×10^6 kLとなる。日本のガソリン消費量は59,812,000 kL/年³²、軽油は35,939,000 kL/年で、計 9.58×10^7 kLであるので、この10%に相当する量を生産可能である。

b. FT燃料製造プロセス

このプロセスでは、 5×10^5 kLの液体燃料を製造するために216万tの木材を使用している。これまでの議論のとおり、木質バイオマスの生産量は58.5百万トン/年と見積もられるため、液体燃料製造量は 1.35×10^7 kLと計算されるため、ガソリンと軽油消費量の合計値の14%に相当する。

原料価格が上昇したケースの競争力評価

3.2.4 (2)における検討結果より、液体燃料生産コストの最小値は、バイオエタノールを製造する場合で132円/L(ガソリン熱量換算)、FT合成により製造する場合で138円/Lであった。この価格は、ガソリン価格60円/Lと比較すると2.3倍程度高価であり、3.2.2 (2)で求めた、石炭を原料としたFT合成燃料の価格69円/Lと比較すると2倍程度高価である。

ここでは、3.2.6 (1)-と同様に、将来的に化石燃料価格が上昇した場合について、発電用の燃料としてバイオマスを用いた際の化石燃料に対する優位性を評価した。

この結果を図3.2-18に示した。この図より、石炭価格がおよそ37,000円/トン(バイオエタノールの場合)又は40,000円/トン(FT合成の場合)となると石炭を原料としたFT合成燃料の生産コストがバイオマス燃料の生産コストと均衡することがわかる。現在の石炭価格はおよそ8,250円/トンであるので、これがおよそ4.5倍となるとバイオマス発電に価格競争力が生じるといえる。この関係を図3.2-19に示した。

³² 経済産業省、資源・エネルギー統計(平成19年12月分)

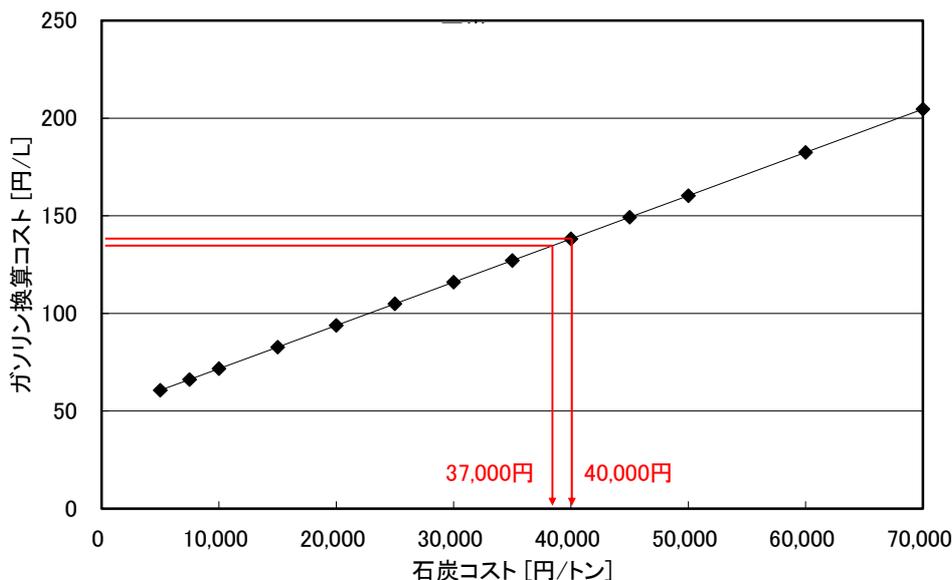


図 3.2-18 石炭価格と石炭を原料とした FT 合成燃料生産コストの関係

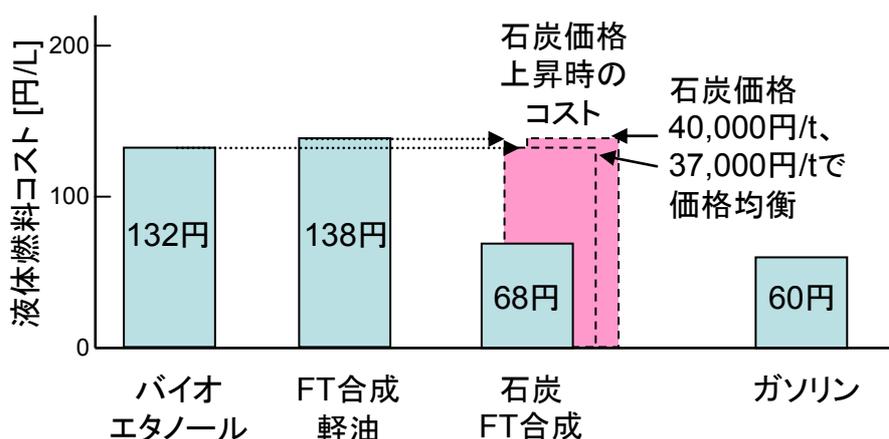


図 3.2-19 バイオマスを原料とした液体燃料コストと価格上昇時の石炭を原料とした液体燃料生産コストの関係

炭素排出コストがかかるケースの競争力評価

上述したとおり、液体燃料生産コストの最小値は、バイオエタノールを製造する場合で 132 円/L (ガソリン熱量換算)、FT 合成により製造する場合で 138 円/L であり、石炭を原料とした場合の液体燃料生産コスト 69 円/L と比較すると 2 倍程度高価である。

ここでは 3.2.6 (1)- と同様に、将来的にカーボンクレジットや炭素税などの形で CO₂ 排出にペナルティが課せられた場合について、バイオマスを原料として液体燃料を製造した際の化石燃料に対する優位性を評価した。この場合、先ほどのケースとは異なり CO₂ 発生量削減効果は 1 倍 (カーボンニュートラルである木材を使用していることのみ) となり、カーボンクレジット分を石炭からの FT 合成燃料生産コストに加えた価格とバイオマスからのエタノール生産コスト又は FT 合成燃料生産コストの比較になる。比較対象を軽

油とした場合の検討結果を図 3. 2-20 に、石炭を原料とした FT 合成燃料と比較した場合の検討結果を図 3. 2-21 に示した。これらの図より、石油との比較ではカーボンクレジット価格が 29,000 円/t- CO₂ (バイオエタノールの場合) 31,000 円/t- CO₂ (FT 合成燃料の場合) となったときに価格が均衡し、石炭由来の FT 合成燃料との比較ではカーボンクレジット価格がおよそ 8,100 円/t- CO₂ (バイオエタノールの場合) 又は 8,800 円/t- CO₂ (FT 合成燃料の場合) となるとバイオマス由来の液体燃料生産コストと均衡することがわかる。この関係を図 3. 2-22 に示した。

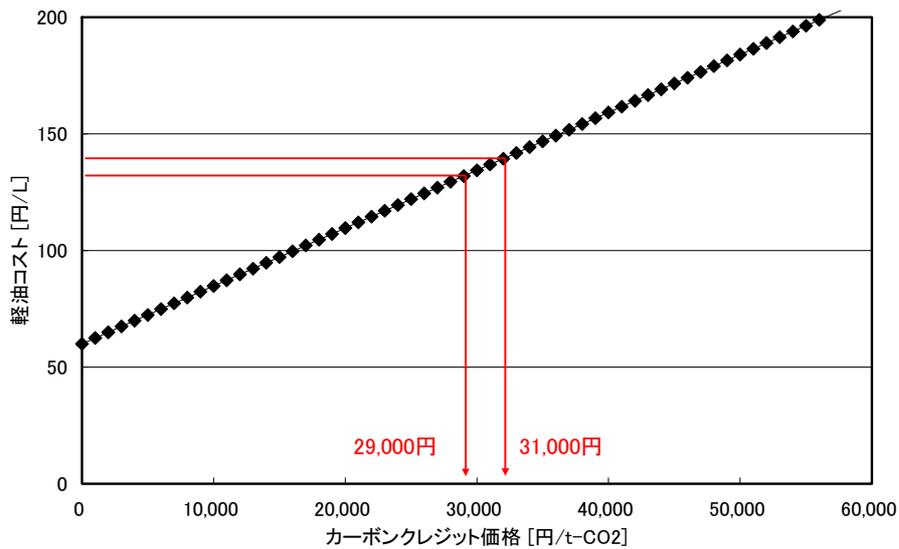


図 3. 2-20 軽油価格と、石炭を原料とした FT 合成燃料生産コストのカーボンクレジットを考慮した比較

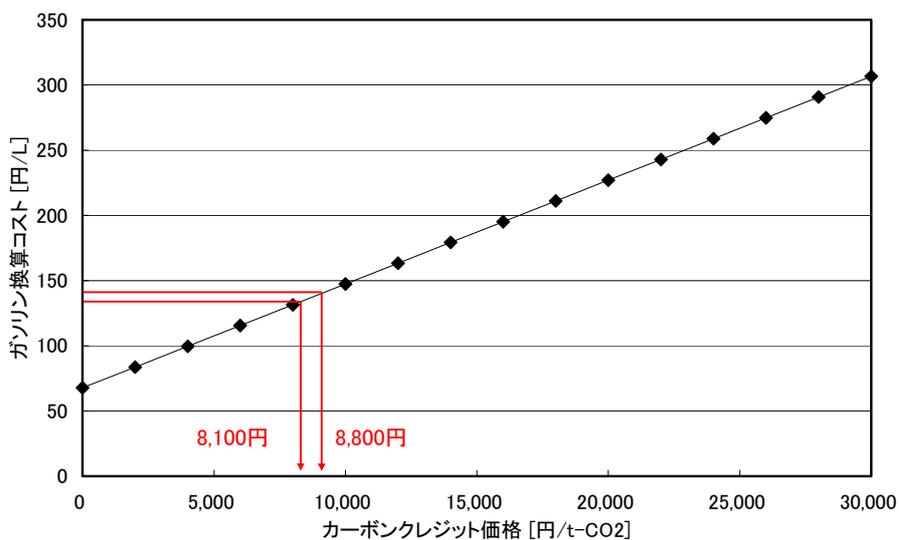


図 3. 2-21 バイオマスを原料とした液体燃料生産コストと、石炭を原料とした FT 合成燃料生産コストのカーボンクレジットを考慮した比較

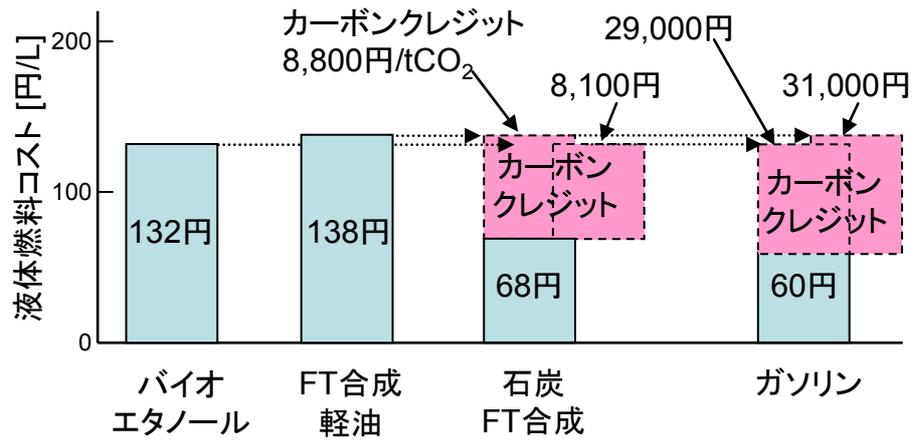


図 3. 2-22 バイオマスを原料とした液体燃料コストと
カーボンのクレジット導入時の石炭を原料とした液体燃料生産コストの関係

3.2.7 まとめ

本章では、エネルギー資源として大量に栽培した木質バイオマスを電力や燃料として変換する際のコスト及びポテンシャルを評価した。電力への変換においては、チップ混焼発電が最も低コストであり、現状の発電コストの約 1.4 倍である 10 円/kWh のコストで発電できることが明らかとなったが、収集範囲が市町村規模を超えると、単一の発電所では収集した木材を消費しきれないことが明らかとなった。大量のバイオマスを処理する場合、大規模専焼又はバイオコールによる混焼を行うことで、最大 1.1×10^{11} kWh の電力をおよそ 14 円/kWh のコストで発電できることが明らかとなった。この発電量は日本の発電量の約 1 割で、価格は現在の発電コストの約 2 倍である。

液体燃料への変換においては、バイオエタノール製造プロセス又は FT 合成プロセスにより 9.54×10^6 kL、 1.35×10^7 kL の液体燃料を製造できることが明らかとなった。これらの量は、ガソリンと軽油消費量の合計値の 10%、14% にそれぞれ相当する。いずれの製造プロセスにおいても、収集範囲が市町村単位では生産コストが非常に高価となり、コストを低下させるためにはこれよりも大規模な収集範囲とする必要があることが明らかとなった。発電コストは 132 ~ 138 円/L で、現在のガソリン価格の 2.2 倍となることが明らかとなった。

木質バイオマスを原料とした電力及び液体燃料の価格競争力を、石炭又はカーボンクレジット価格が上昇した場合について評価した。バイオマスから発電した場合、石炭価格が 32,000 円/t となるか、カーボンクレジットなどの CO₂ 排出コストが 6,800 円/t-CO₂ 以上となると価格競争力が生じることがわかった。また、木質バイオマスを原料として液体燃料を製造した場合、石炭価格が 37,000 円/トンとなるか、カーボンクレジットが 8,100 円/t-CO₂ となると CTL と比較して価格競争力が生じることがわかった。

第4章 実現シナリオの詳細策定

前章での検討により、木質バイオマス为原料とした場合の電力又は液体燃料の生産コストを明らかにし、競合対象となる石炭の価格上昇及びカーボンクレジット制度の導入による競争力を評価した。これにより、木質バイオマスを電力へ変換する場合には、石炭価格が 32,000 円/t となるか、カーボンクレジットなどの CO₂ 排出コストが 6,800 円/t-CO₂ 以上となった場合に、石炭発電と比較して価格競争力を持ち、木質バイオマスを液体燃料へ変換する場合には、石炭価格が 37,000 円/トンとなるか、カーボンクレジットが 8,100 円/t-CO₂ となると CTL に対して価格競争力を持つことがわかった。この章では、カーボンクレジット価格の将来動向から、木質バイオマスの有効利用法に関する実現シナリオを策定する。

4.1 木質バイオマスエネルギーの最適な配分、変換方法の検討

前章での検討結果より、木質バイオマスからの液体燃料製造は、発電と比較してコストが高く、現状の技術では木質バイオマスの有効利用先として発電を行うことが有利であるといえる。発電用途で木質バイオマスを利用する場合には、既存の石炭火力発電所に小規模（3%程度）混焼する場合は発電コストが 10 円/kWh と比較的 low コストであるが、3.2.6（1）での検討より石炭火力発電所の容量から計算された木質バイオマスの利用可能量は 283～335 万トン/年程度である。このためエネルギー資源として多量に用いるためにはバイオコール化による大規模混焼又は大規模な IGCC 発電所における高効率発電が必要である。

4.2 新技術の導入シナリオの検討

これまで述べたとおり、現状の木質エネルギー価格では石炭・石油に対する価格競争力は小さいため、炭素税など自然エネルギーの利用を促進する仕組みと組み合わせつつ、木質バイオマスの生産コストを低下させる必要がある。図 4.2-1 に、CO₂ 限界削減コストの将来予測を示す。ここでは大気中の CO₂ 濃度を 450ppm に保つためのケース (450ppmv 対策ケース) と、2050 年に CO₂ の放出量を半減させるケース (Cool Earth 50 対策ケース) の二つのケースについて、これらのシナリオを達成するために必要な CO₂ 発生量削減に要するコストを示した。どちらのケースでも、年代が進むにつれて CO₂ 発生量削減のためのコストが高くなり、将来的にはおよそ 50～80\$/t-CO₂ 程度のコストが必要となることわかる。

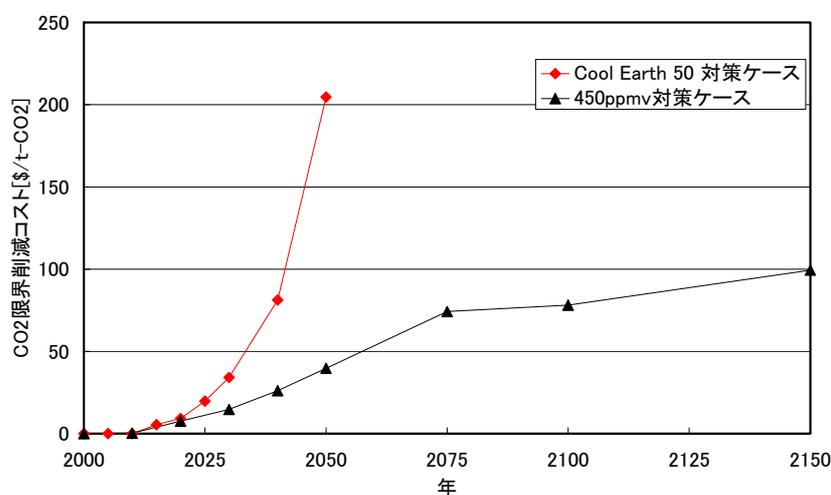


図 4.2-1 CO₂ 限界削減コストの将来予測³³

この結果を踏まえ、将来的にカーボンクレジット価格が設定された場合に、バイオマス発電と石炭火力発電がコスト的に均衡する木材価格を算出した。この結果を図 4.2-2 に示す。

³³ (財)地球環境産業技術研究機構
プログラム研究開発・技術開発促進事業合同成果報告会講演「Cool Earth 50 の実現に向けて」講演資料
http://www.rite.or.jp/Japanese/kenki/seika/19koen/koen2_akimoto.pdf 及び、
平成 18 年度地球環境国際研究推進事業「国際産業経済の方向を含めた地球温暖化影響・対策技術の総合評価」成果報告書
<http://www.rite.or.jp/Japanese/h18seikahoukoku/18jigyoyou/18phoenix.pdf>

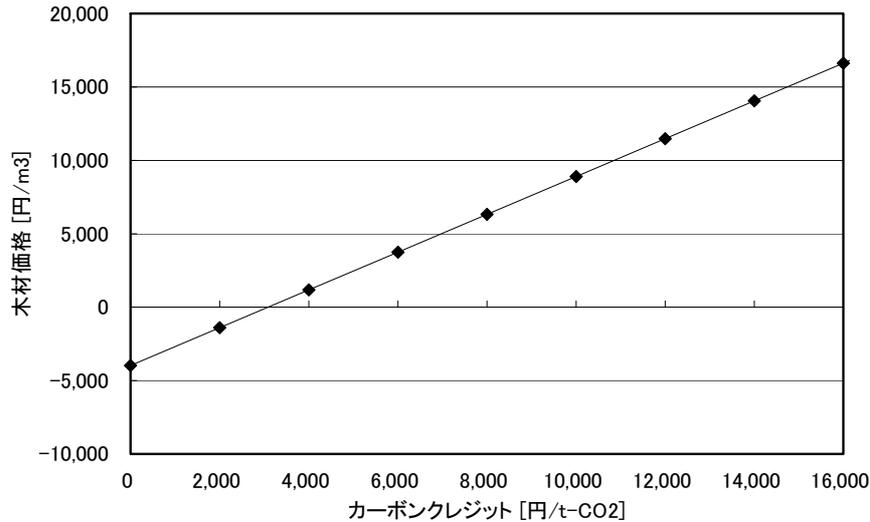


図 4.2-2 カーボンのクレジットに対する木材の目標価格

この結果より、カーボンのクレジット価格が 6,000 円/t-CO₂ のときで木材価格 3,700 円/m³、8,000 円/t-CO₂ のときで木材価格 6,300 円/m³ となる。CO₂ 削減コストは社会情勢によって変動し、将来的には上昇傾向にあると考えられるが、近い将来の木質バイオマス利用を考えた際には価格を 4,000 円～5,000 円/m³ 程度を目標に低下させる必要がある。今回の検討では木材価格はおよそ 10,000 円/トンと試算されているため、比重を 0.5 とするとおよそ 5,000 円/m³ 程度となり、更に 2 割程度コストを低下させる必要がある。第 1 章 ～ 第 2 章 における検討では、林道整備や木材収集の機械化、高生長樹種の植林など、既存技術を用いた場合のコスト低減効果を検討したが、この目標を達成するためには、更なる技術革新が必要となる。すなわち、既存の樹種よりも高生長な樹種の開発に加え、林業機械の大量生産や稼働率向上による低価格化、木材の利用量増大による単位量あたりのコスト低下が考えられる。これらは木質バイオマスの利用を促進することにより効果が現れるため、たとえば火力発電所から近い国有林など、条件のよい地域をモデル地域として木材の大量生産・大量消費の流れを作ることが必要である。

以上を踏まえた、エネルギー源としての木質バイオマス普及のための新技術導入シナリオの概略を図 4.2-3 に示す。将来的には木質エネルギーが価格競争力を持ちうることから、国内森林の一部をエネルギー源と捉えその育成に今すぐに取り組み、木質バイオマスのコスト削減への技術蓄積を開始すべきである。2015 年頃はまだエネルギー源としての木質バイオマスの出荷量は小さく経済性が成立しないが、条件のよい国有林などでエネルギー林の事業化を開始し、地代、税金などを優遇して早期に経済性が成立するように図るとともに、今回の試算でも最も低コストであった既存の石炭火力発電所への小規模な混焼から、バイオコール技術を用いた大規模な混焼により木質バイオマスをエネルギー転換できる仕組みを作る必要がある。2040 年頃には石油・天然ガス枯渇感からエネルギー価格が上昇し、また図 4.2-1 に示したように CO₂ 削減コストが上昇することから、木質バイオマスが石炭代替燃料として活用されることが期待され、木質バイオマスからのバイオエタノール生産についても低コスト化技術の開発により競争力を持ちうる。以上のように木質バイオマスの消費量が増大することにより、エネルギー林の拡大が促進される。原子力発電所と併せて負荷調整用の発電所におけるバイオマス利用が考えられるが、CO₂ 固定発生源の減少に伴う CO₂ 削減コスト高騰により、CCS とバイオマス利用を組み合わせた CO₂ 発生量削減により価格競争力が得られると考えられる。

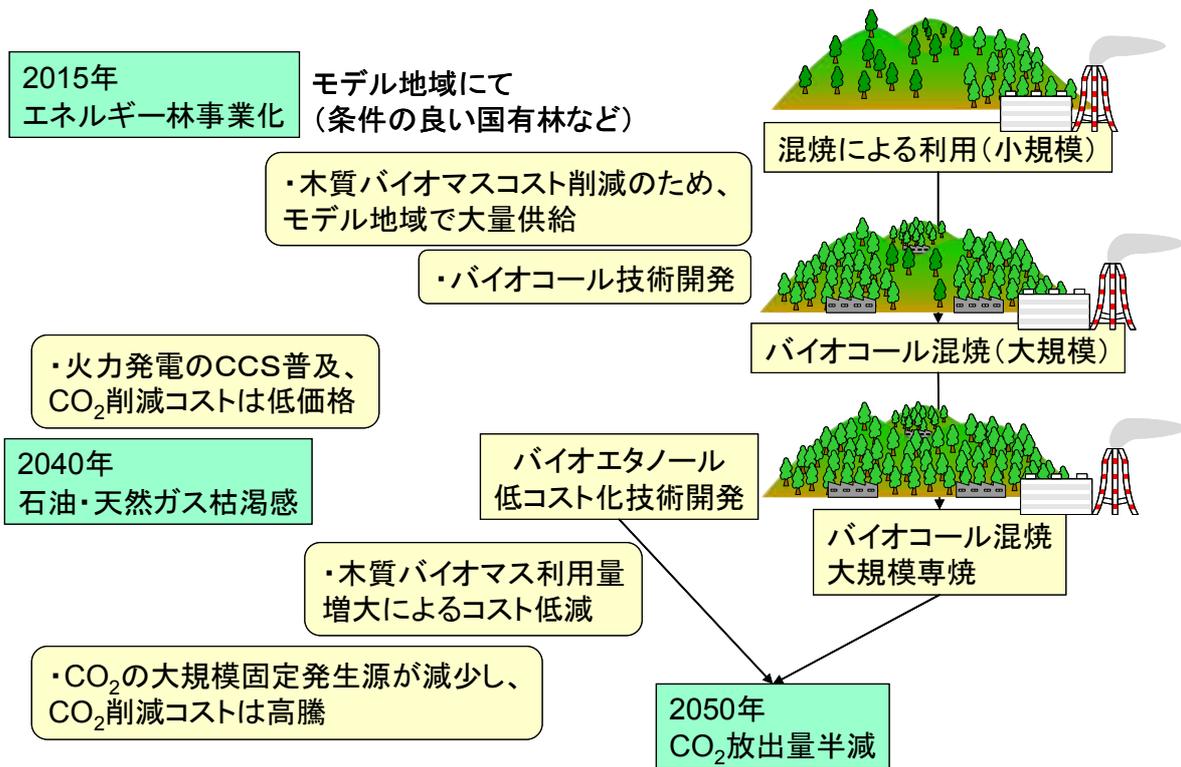


図 4. 2-3 エネルギー源としての木質バイオマス普及のための新技術導入シナリオ

4 調査研究の成果

本調査研究では、日本国内の未利用バイオマス資源の化石燃料代替エネルギーとしてのポテンシャル評価を目的として、カーボンストックである森林の早期形成達成とその大量有効活用を考慮し、旧来の国内森林資源を有力な自然エネルギー供給源として利用するための具体的な研究開発課題と社会経済的な政策課題、及び実現シナリオの詳細を策定した。

(1) 原料調達・収集コスト低減可能性の検討

日本と米国及び欧州における原料調達、収集システムとコストについて調査・分析し、わが国においてコスト低減可能な原料収集システムについて検討した。

・木質バイオマスの収集コスト・輸送コストの調査

輸送費などを含む木材価格は、地域や樹種により大きく開きがあるものの、林野庁の調査結果では 11,200 円/m³と報告されている。この価格は輸入材（パルプ用で 10,000 円/m³）と同程度であるが、この価格で供給できる木材量が限られているため自給率が低い（約 20%）。更に、エネルギー源に転換した際の競合対象の原料価格（石炭・石油など）と比較して高価なため利用が進んでいないのが現状であるため、これらの価格を下回ることが必要であると結論された。コスト低下の可能性を探索するため、欧州、米国と日本の原料調達・収集コストを比較した。その結果、フィンランドで 480 円/m³、スウェーデンで 1,000 円/m³、米国で 3,000 円/m³であったのに対し、日本では樹種・地域により価格が大きく異なるが、上記調査報告によると 5,400 円/m³と、外国と比較して高価であった。

このように諸外国と比較してコスト高である原因は、林地が急峻であり、機械化が進んでいないこと、林道が整備されていない（ドイツ 98m/ha、オーストリア 87m/ha に対し、日本 5.3m/ha）ため、木材の収集範囲が限られること、と結論された。

・コスト低減可能な伐木・収集・輸送技術の開発状況の調査

これらの問題を解決するため、山間部でも運用可能な集材機（ロングアームなど）や造材機（プロセッサなど）を導入して集材コストや労賃が削減され、高密度に路網を整備してバイオマス収集面積が拡大された場合を想定した。

・収集範囲、モデル地域の選定と原料コスト評価

以上の条件にもとづいて木材生産コストを試算した。木質バイオマスの収集範囲として市町村単位（収集範囲 200km²）、都道府県単位（同 8,000km²）、地方単位（同 50,000km²）を仮定し、輸送コストはそれぞれ 1,500 円/m³、2,500 円/m³、4,300 円/m³と計算された。原料コストは、最も低コストであると試算されたユーカリの場合、育林コスト（824 円/トン）・路網整備コスト（500 円/トン）・伐木、集材、造材、搬出、運材コスト（8,279 円/トン）を含めた価格で、輸入材のほぼ半額（9,604 円/トン）で高生長樹種を生産できることが明らかとなった。

(2) 木質バイオマスのエネルギー資源としての供給ポテンシャルの評価

現在の林業は、バイオマス資源を石油代替エネルギー原料として低価格で効率的に生産するシステムとして利用されていないのが現状である。そこで現在のバイオマスの賦存量データを精査し、森林を大規模原料供給源として理想的な整備・育成条件とした場合のバイオマス資源の供給ポテンシャルを検討し、エネルギー資源供給のための理想的な森林育成・活用形態を検討した。また、森林形成促進によるバイオマス供給ポテンシャルの増加をねらった高生長性樹種の活用を検討した。ここでは、日本生来種に限定せず、高生長性を持つことが知られているユーカリ、ポプラなどの外来樹種の活用可能性を精査した。

・現在の森林整備・活用状況と木質バイオマスの種類別賦存量の調査

森林・林業統計要覧によると、平成 14 年現在の日本国内森林備蓄は 40 億 m^3 で、うち 27 億 m^3 が針葉樹、13 億 m^3 が広葉樹となっており、森林面積は 2,500 万 ha であり、年間の素材生産量は 0.18 億 m^3 /年である。森林面積のうち、世界遺産、天然林や国土保全林、急峻な土地を除いた森林の面積はおよそ 1,000 万 ha である。これらの森林はすでに杉などが植林されていることが多いため、今回の調査ではこの森林を木質バイオマスの供給源として用いることとした。

・森林の理想的育成・整備条件下におけるバイオマスの供給ポテンシャルの検討

降水量、気温、傾斜度及び国土利用状況の GIS データ（3 次メッシュ）から、それぞれの樹種の生育に適した土地を $1km^2$ ごとに、計 37 万点評価し、生産可能量を算出した。更に、日本で林道整備が検討されているレベル（50m/ha）、オーストラリアレベル（87m/ha）、ドイツレベル（98m/ha）まで林道が整備されたと仮定した結果、単収 100% の場合では日本レベルで 7.8 千万トン、オーストラリアレベルで 1.36 億トン、ドイツレベルで 1.53 億トンの木材が収集可能になることが明らかになった。

・理想的な森林育成・活用形態の検討

前に述べたように、山林に作業林道を開設し、高生長樹種を植林して大量の木材をエネルギー資源として生産する際のシナリオを検討した。

・日本の植生環境に適した高生長性樹種の検討

日本の森林における木材生産可能量のポテンシャルを評価するため、これまでに日本において植林の検討がなされた樹種のうち、生長の早いユーカリ、ギンネム、アカシア、ヤナギ、ポプラ、竹を植林すると仮定した。それぞれの樹種の面積あたり収量は文献値から算出して収量を算出した。日本での林道整備の目標値を達成した場合（林道整備距離 50m/ha、単収 75% の場合）ではバイオマスの生産量は 5.85 千万トン/年となり、供給可能なエネルギーは 1,113PJ/年と計算され、これは日本の 1 次エネルギーの 4.7%、化石燃料の 5.6% に相当する量である。また、ドイツレベルまで林道整備した場合（林道整備距離 98m/ha）供給可能なエネルギーは 2,222PJ/年と計算され、1 次エネルギーの 9.3% に相当する量が供給可能であることが明らかとなった。

(3) 革新的バイオマス変換システムの経済性評価

(1)~(2)及び以下の評価結果をもとに各種の有望技術を利用した変換システムの経済性評価を実施し、日本の木質バイオマス資源の化石燃料代替としてのポテンシャルを評価した。

・変換効率の評価

木質バイオマスから変換するエネルギー源として、電力、気体燃料(水素)、液体燃料(エタノール・軽油)及び固体燃料(バイオコール)を仮定し、それぞれ、電力:直接燃焼、石炭混焼またはIGCC、気体燃料:熱分解及びシフト反応、液体燃料:発酵法またはガス化及び改質、固体燃料:炭化プロセスにより変換されるとした。バイオコールは、木材を炭化し、エネルギー密度を高めつつアルカリ金属を除去して火力発電プラントで多量の混焼を行えるようにしたものである。変換効率は、DOE などにより作成されたコスト評価に関する報告書を参考に設備規模から決定した。

・イニシャルコスト・ランニングコストの評価

変換プラントの建設コスト及び運転コストは、DOE などにより作成されたプラントのコスト評価に関する報告書から計算した。この際、原料の収集距離、プラント規模、変換効率、ストックヤード面積、原料価格、副生成物の販売利益、人件費などを考慮に入れ生産コストを評価した。

・生産される製品の市場及び価格の検討

上記のとおり計算した製品コストについて、既存の化石燃料を原料として用いたプロセスで製造された場合のコストを比較した。今後予想される化石燃料価格やカーボンクレジット価格の高騰を考慮し社会に対する受容性を評価した。

・化石燃料代替ポテンシャルの評価

発電用原料として木質バイオマスを用いた場合、発電コストは小規模混焼で 10 円/kWh であるが、この条件では石炭に対する混焼率が 3%で上限となり、県単位以上のスケールで収集された原料を全量使用することはできない。大規模混焼での発電コストは 14 円/kWh となり、石炭を用いた IGCC 発電所での発電コスト(6.9 円/kWh)と比較して 2 倍であり、石炭価格が 32,000 円/t となったときに価格が均衡する。バイオマス発電所に CCS 設備を設置した場合はコストが 3 円/kWh 上昇するが、CCS 設備を持たない石炭火力発電所と比較して CO₂ 削減量は 2 倍となる。将来的に炭素税などによって燃料に炭素コストが付加される条件では、CO₂ 排出コストが約 6,800 円/t-CO₂ となった場合で石炭火力発電コストと均衡する。

木質バイオマスを移動体燃料に変換する場合、エタノールを製造する場合のコストは 132 円/L (ガソリン換算)、軽油を製造する場合は 138 円/L となり、石炭から FT 合成により製造した液体燃料(69 円/L)と比較しておよそ 2 倍の価格となる。また、現状のガソリン価格に対し、カーボンクレジットがそれぞれ 29,000 円/t-CO₂、31,000 円/t-CO₂ の場合で価格が均衡する。石油が枯渇すると石炭液化により燃料を生産することが考えられる。この価格は 68 円/L (石炭価格 8,250 円/t の場合)で、軽油価格がバイオマス由来の軽油価格相当となるのは石炭価格が 40,000 円/トン、バイオエタノール価格相当となるのは 37,000 円/t のときであり、カーボンクレジットを考慮すると、バイオエタノール価格相当となるのは 8,800 円/t-CO₂、

バイオマス由来の軽油価格相当となるのは 8,100 円/t-CO₂ の場合である。

以上より、カーボンクレジットを考慮すると木質バイオマスは発電用途で用いることが好ましい。

(4) 実現シナリオの詳細策定

(1)~(3)で実施した調査研究の検討結果を活用して 2015 年をターゲットとして研究開発すべき課題を整理するとともに、各研究開発課題の目標値を設定した。日本の未利用バイオマス資源の化石燃料代替エネルギーとしてのポテンシャルを評価するとともに、革新的バイオマス利用システムの実現に向け、研究開発課題に加えてそれ以外の課題(環境影響、社会的受容性、必要インフラ等)を検討・整理し、詳細な実現シナリオとして取りまとめた。

・木質バイオマスエネルギーの最適な配分、変換方法の検討

木質バイオマスからの移動体燃料製造に関しては、発電と比較してコストが高く、現状の技術では木質バイオマスの有効利用先として発電を行うことが有利である。

(3)での検討結果より、既存の石炭火力発電所に小規模(3%程度)混焼する場合は発電コストが 14 円/kWh と比較的 low コストであるが、石炭火力発電所の容量から計算された木質バイオマスの利用可能量は 200 万 t/yr 程度である。このためエネルギー資源として多量に用いるためにはバイオコール化による大規模混焼または大規模な IGCC 発電所における高効率発電が必要である。しかし現状の木質エネルギー価格では石炭・石油に対する価格競争力は小さいため、炭素税など自然エネルギーの利用を促進する仕組みと組み合わせつつ、木質バイオマスの生産コストを低減する必要がある。

・開発課題の整理と開発すべき目標値の設定

発電利用において、バイオコール IGCC に CCS を組み合わせ、かつ CO₂ 削減コストを考慮した場合で石炭を原料とした IGCC 発電による電力価格と価格競争力を持つ木材コストを概算すると、CO₂ 削減コストが 6,000 円/t-CO₂ のときで木材価格 3,700 円/m³、8,000 円/t-CO₂ のときで木材価格 6,300 円/m³ となる。CO₂ 削減コストは社会情勢によって変動し、将来的には上昇傾向にあると考えられるが、木材価格 4,000 円~5,000 円/m³ 程度を目標にコスト低下を図る必要がある。この目標を達成するため、既存の樹種よりも高生長な樹種の開発に加え、林業機械の大量生産や稼働率向上による低価格化、木材の利用量増大による単位あたりのコスト低下が考えられる。これらは木質バイオマスの利用を促進することにより効果が現れる。

・新技術の導入シナリオの検討

前述のとおり、将来的には木質エネルギーが価格競争力を持ちうることから、国内森林の一部をエネルギー源と捉えその育成に今すぐに取り組み、木質バイオマスのコスト削減への技術蓄積を開始すべきである。2015 年頃はまだエネルギー源としての木質バイオマスの出荷量は小さく経済性が成立しないが、条件のよい国有林などでエネルギー林の事業化を開始し、地代、税金などを優遇して早期に経済性が成立するように図るとともに、既存の石炭火力発電所への小規模な混焼からバイオコール技術を用いた大規模な混焼により木質バイオマスをエネルギー転換できる仕組みを作る必要がある。2040 年頃には石油・天然ガス枯渇感からエネルギー価格・CO₂ 削減コストが上昇し、木質バイオマスが石炭代替燃料として活

用されることが期待され、木質バイオマスからのバイオエタノール生産についても低コスト化技術の開発により競争力をもちうる。以上のように木質バイオマスの消費量が増大することにより、エネルギー林の拡大が促進される。原子力発電所と併せて負荷調整用の発電所におけるバイオマス利用が考えられるが、CO₂ 固定発生源の減少に伴う CO₂ 削減コスト高騰により、CCS とバイオマス利用を組み合わせた CO₂ 発生量削減により価格競争力が得られると考えられる。

5 調査研究の今後の課題及び展開

今回の検討により、高生長樹種の植林、森林の路網整備及び林業の機械化により、育林コストの大幅な低下が可能であることが明らかとなった。今回の検討では、植林を行う樹種や機械化の程度などにおいて現状存在する技術を採用している。したがって、バイオテクノロジーを活用した高生長かつ手入れの必要の少ない樹種や、更に高収量を実現する林業機械などの開発により更なるコストの低下が期待できる。

今回の検討の前提条件はあくまで多量のエネルギー資源を生産するための究極的な容量を算出することであり、高生長樹種の植林や林道整備による生態系や土壌など、山林の環境への影響は評価していない。このため、日本国内に実際に高生長樹種を植林する際には、これらの検討が必須である。

バイオマスの変換システムに関しても、現在実用化あるいは研究が進んでいる技術を採用した場合についてコスト検討したため、将来的な技術の進展（たとえばより高効率なバイオエタノール製造プロセスの開発など）によりコスト検討結果が大きく変わる可能性がある。また、木材の大量混焼技術（バイオコール技術）については、エネルギー密度の向上法や及びアルカリ金属の除去法などは現在開発中であり、コストやエネルギー変換効率の面では不確実な要素も多いため、今後の技術開発に応じてコスト検討を再度実施する必要がある。

禁無断転載

システム技術開発調査研究 19-R-2

革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する

調査研究報告書

- 要 旨 -

平成 20 年 3 月

作成 財団法人機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目 4 番 28 号
TEL 03-3454-1311

委託先 財団法人地球環境産業技術研究機構
京都府木津川市木津川台 9 丁目 2 番地
TEL 0774-75-2301