平成 29 年度新たな木材需要創出総合プロジェクトのうち地域内エコシステムの構築事業

地域内エコシステムの構築事業

報告書

平成 30 年 3 月

（一社）日本森林技術協会

(株)森のエネルギー研究所

目次

1. 事業概要 1
1.1. 事業の目的 1
1.2. 事業実施項目 1
1.3. 事業実施の流れ 2
2. 事業実施結果 3
2.1. 検討委員会の設置・運営 3
2.1.1. 検討委員会の設置 3
2.1.2. 検討委員会の運営 3
2.2. 木質バイオマスエネルギー利用の推進に必要な調査（F/S 調査） 5
2.2.1. 川上（燃料供給） 6
2.2.2. 川中（燃料製造） 7
2.2.3. 川下（エネルギー利用） 8
2.2.4. 3 地域の比較 9
2.3. F/S 調査結果を踏まえた事業モデルの構築 10
2.3.1. 地域内エコシステムを構築するためには 10
2.3.2. 燃料供給側、木材流通側 13
2.3.3. 燃料製造側 14
2.3.4. エネルギー利用側 23
2.3.5. 地域還元効果 33
2.3.6. 地域づくり 36
2.4. 報告会の開催 38
2.4.1. 参加者の募集 38
2.4.2. 成果報告会の概要 40
3. まとめ 42

1.　事業概要

1.1.事業の目的

本事業は、木質バイオマスの比較的小規模な熱利用及び熱電併給における課題解決に資する実現可能性調査（以下、F/S 調査）を実施し、木質バイオマスの地域での普及型モデルとして「地域内エコシステム」モデルの構築を目的とした。

また、F/S 調査を地域と協働で実施し、地域協議会を通して、地域が主体的に議論を進めていくことで、地域づくり・人づくりにつながる事業とすることを目的とした。

地域内エコシステムとは、以下のような性質の事業モデルを想定した。

※地域内エコシステム
地域の関係者連携の下、小規模な熱利用又は熱電併給により、森林資源をエネルギーとして、地域内で持続的に活用する仕組み。

1.2.事業実施項目

小規模な熱利用又は熱電併給により、森林資源をエネルギーとして地域内で持続的に活用していく、「地域内エコシステム」の構築に向けた実現可能性調査を実施した。

調査に当たっては、対象地域を公募した上で、選定された地域に検討委員を派遣することにより、幅広い関係者の参画の下で、事業計画を検討した。

また、「地域内エコシステム」の全国的な普及に向けて、調査結果を踏まえながら、採算性を確保するための検討を行い、地域内エコシステムの普及に向けての考え方や課題を整理した。

1.3.事業実施の流れ

事業項目を下記の流れに従って実施した。

人づくり・地域づくりに資する F/S 調査を実施するため、各地域で協議会を設置・運営し、F/S 調査結果を共有するとととともに、検討委員も地域協議会へ参加し、助言や様々な提案等を地域に対して提示することで、地域の事業関係者が足並みをそろえて主体的に合意形成を促進できるようにサポートを行った。

こうした取り組み結果について、成果報告会を開催し、成果の普及を行った。

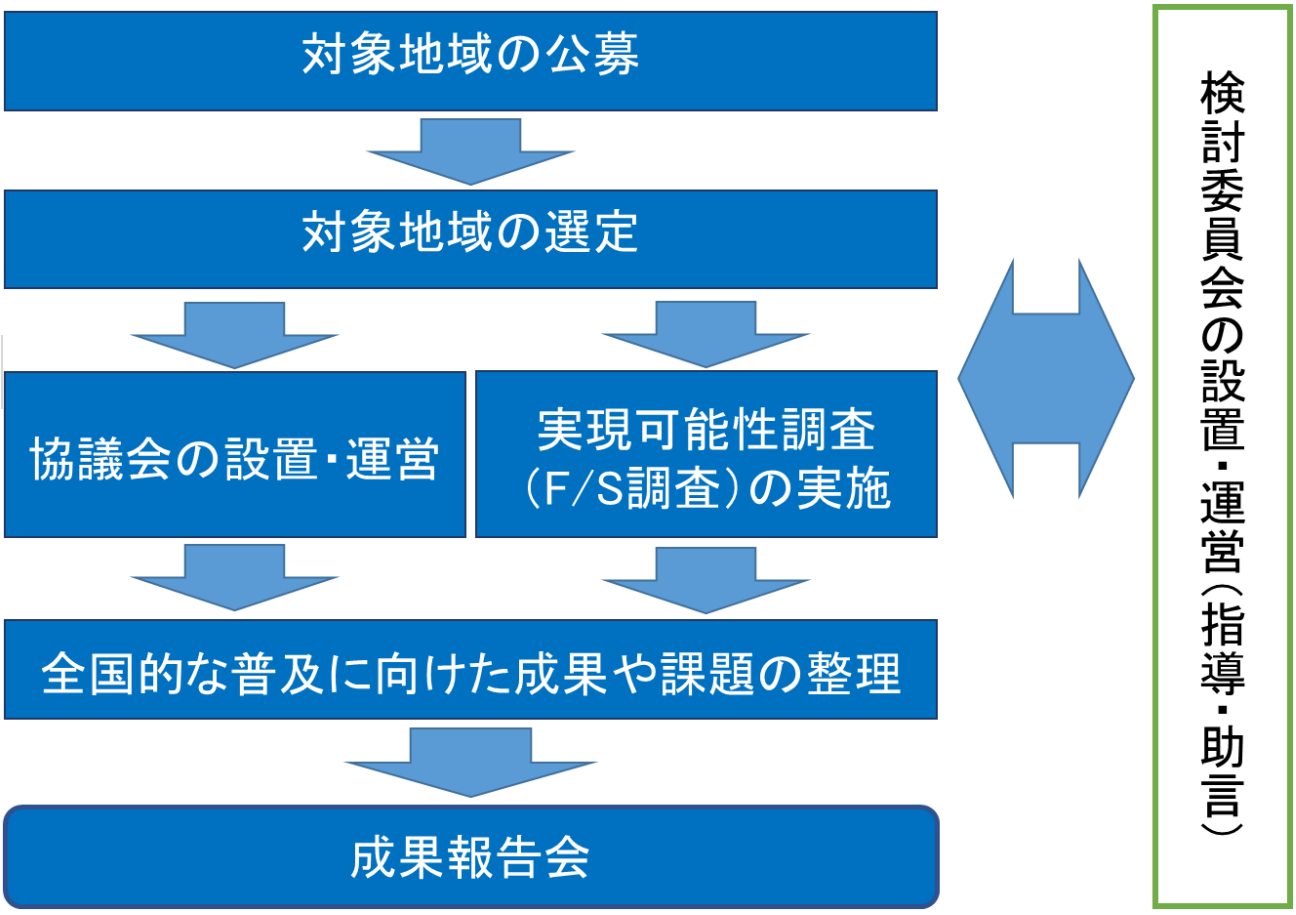


図 1-1　事業実施の流れ

2. 事業実施結果

2.1.検討委員会の設置・運営

2.1.1. 検討委員会の設置

本事業の実施において、木質バイオマスサプライチェーンにおける多岐にわたる分野からそれぞれ学識経験者 4 名からなる地域内エコシステムの構築検討委員会を設置した。

表 2-1 検討委員会の構成（敬称略）

氏名	所属･職名等
今冨 裕樹	東京農業大学 教授
久保山 裕史	森林総合研究所 林業研究部門 林業システム研究室 室長
久木 裕	株式会社バイオマスアグリゲーション 代表取締役
田内 裕之	森と里の研究所 代表

2.1.2. 検討委員会の運営

検討委員会については、以下のとおり実施した。検討委員会では、調査結果やデータ分析の技術的指導及び、事業における課題についての検討を実施した。

表 2-2 検討委員会の開催日等

検討委員会	開催日	検討内容
第一回検討委員会	平成 29 年 7 月 28 日	・応募地域の詳細についての報告 ・調査対象地域の選定
第二回検討委員会	平成 29 年 12 月 21 日	・実現可能性調査の途中結果報告 ・今後の課題についての検討
第三回検討委員会	平成 30 年 2 月 5 日	・実現可能性調査結果についての検討 ・成果報告会の開催内容についての検討

写真 2-1 第一回検討委員会の実施状況

写真 2-2 第二回検討委員会の実施状況

写真 2-3 第三回検討委員会の実施状況

2.2.木質バイオマスエネルギー利用の推進に必要な調査（F/S 調査）

F/S 調査は第一回検討委員会で選定された 3 地域（北海道夕張市、岐阜県関市、鳥取県智頭町）を対象として実施した。

各地域において地域協議会の設置・運営を通して F/S 調査結果を共有しながら事業計画について協議を行うことで、各地域の関係者が主体的に事業計画を策定した。こうした取り組みを実施したことで、**①関係者の理解を醸成**、**②事業への意欲の向上**、**③事業関係者同士のコミュニケーションの促進**につながり、地域づくりに資する事業を実施できた。

表 2-3 にそれぞれの地域で検討した事業計画の概要を示した。また、次ページより、F/S 調査結果の概要を記載する。

表 2-3　事業計画の概要

	北海道夕張市	岐阜県関市	鳥取県智頭町
実施主体	夕張市役所	関市役所	智頭石油（株）
エネルギー利用	熱利用 １．拠点複合施設（市営） ２．診療所・老健施設（民間）	熱併給 １．温浴施設（民間）	熱利用 １．病院（町営）
出力規模	540 k W	270 kW	290 kW
燃料形態	切削チップ	薪・切削チップ	薪
F/Sの主な成果と事業の効果	・熱需要量の再検討	・熱需要量の再検討 ・協議会委員の事業への意欲を増加させることができた。	・熱需要量の再検討 ・行政を巻き込んだ地域内での体制づくり
今後の主な検討課題	・広域でのチッパー所有を検討	・燃料形態の検討	・新たな熱需要先の検討 ・事業スキームの検討

2.2.1. 川上（燃料供給）

(1). 北海道夕張市

- 夕張市有林のカラマツ林からは、最大で 2,766 ㎥/年の材が供給可能であった。
- 夕張市では約 1,500 ㎥/年の C 材が伐出されている。
- 一年間で必要となる燃料材の量が原木ベースで約 999 ㎥と試算され、燃料材の供給は十分に可能であった。

(2). 岐阜県関市

- 関市有林では、ha 当たりの蓄積が 500～668 ㎥であり、十分な資源量があった。
- 板取地域では約 1,420 ㎥/年の C 材が供給されている。
- 一年間で必要となる燃料材の量が原木ベースで約 773 ㎥と試算され、燃料材の供給は、十分に可能であった。

(3). 鳥取県智頭町

- 智頭町内の智頭石油社有林（スギ林）からは、317 ㎥/年の材が供給可能であった。
- 樹林業では約 2,000 ㎥/年の C 材を供給している。
- 木の宿場では約 300 ㎥/年の C 材を供給している。
- 一年間で必要となる燃料材の量が原木ベースで約 418 ㎥/年と試算され、一部社有林以外の材を活用することで、燃料材の供給は十分に可能であった。

写真 2-4　調査対象地域の森林の概況

2.2.2. 川中（燃料製造）

(1). 北海道夕張市

- チップ製造に必要な初期投資は 7,530 万円であった（チッパー機、トラクター動力部、グラップル（アタッチメント）、チップ保管庫を含む）。
- チップを 650t/年以上製造することで、製造コストを抑え収斂させることができる。その際に必要となる燃料材量は原木ベースで 753t であり、チップ販売価格は 19.5 円/kg であった。

(2). 岐阜県関市

- 薪を製造するために必要な初期投資は 854 万円であった。チップ製造の場合は、4,300 万円であった(チッパー機、トラクター等の重機、チップ保管庫を含む)。
- 原木ストック及び燃料製造拠点として「（仮称）板取集積センター」を設置することが決定した。
- 燃料製造コストを削減させるため、木材需要を増加させることも検討した。
- 段階的に燃料製造を行うことを検討した。

(3). 鳥取県智頭町

- 智頭石油(株)が所有している高性能薪割り機を使用することで、通常よりも安い値段で薪を製造することが可能であった。
- 年間 250t 以上薪を製造することで、製造コストを抑え収斂させることができる。
- 木の宿場と連携し、薪の生産体制を整備する方向で検討している。

写真 2-5 調査対象地域のストックヤード

2.2.3.　川下（エネルギー利用）

(1). 北海道夕張市

- エネルギーの供給システムを比較したところ、地域熱供給システムを採用することで投資効果が高まることが明らかとなった。
- 必要となる原木量は 753t であった。

(2). 岐阜県関市

- 熱利用システムでは事業性が見込まれることが明らかとなったが、熱電併給システムは事業性が見込まれない。
- 木質バイオマスボイラーの導入においては、収支改善のためのさらなる検討を行う必要がある。
- 熱需要先として計画している板取川温泉は必要以上の熱を消費しているため、設備刷新により運用が最適化されれば施設経営の改善が期待される。
- 必要となる原木量は 536t であった。

(3). 鳥取県智頭町

- 民間と行政の連携による事業スキームの検討が行われた。
- 当初想定していた、町営住宅・老人ホームへのエネルギー需要量は少ないことが明らかとなった。このため、新たな熱需要先として町営病院での熱利用を検討したところ、必要となる原木量は、227t となった。

写真 2-6 調査対象地域の熱需要先予定地

2.2.4.　3 地域の比較

- 今回の 3 地域の FS 結果（導入検討パターンの一例）から、エネルギー供給コストを比較する。

- 【夕張市】乾燥チップボイラーによる地域熱供給（配管延長は最短の場合）
  複数施設への熱供給をおこなうことにより、エネルギー供給量が多いため、イニシャルコストの減価償却費が割安になっている。
- 【関市】板取川温泉への生チップボイラーの導入
  ボイラーが高額なのに加え、配管延長も長くなると想定され、イニシャルコストがかかるのに対し、熱供給量が相対的に少なく固定費が割高となっている。
- 【智頭町】智頭病院への薪ボイラー導入
  薪が既存設備を利用して、安価に製造できるため燃料費が安く、イニシャルコストも地域の先行例を参考に抑えて設定している。薪のため燃料の投入に要する人件費を計上している。

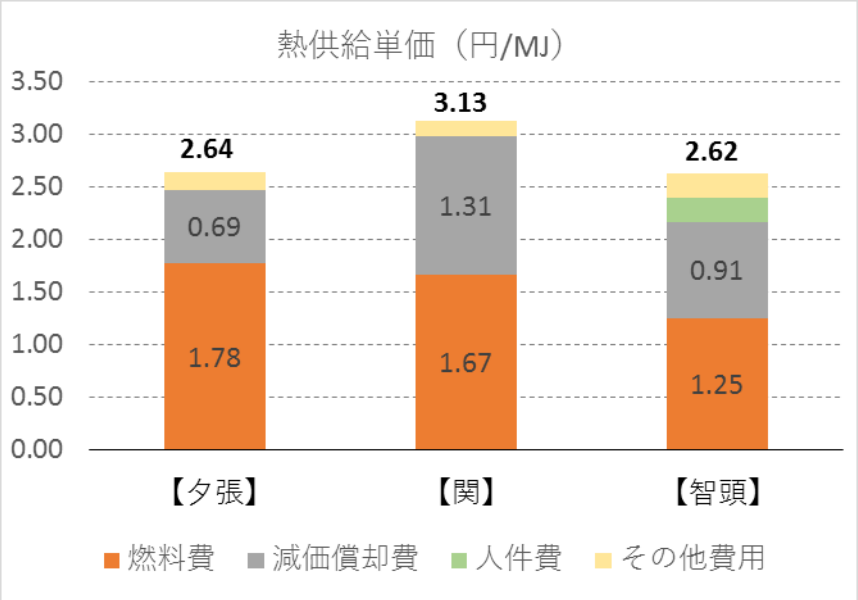


図 2-1　調査対象地の熱供給単価
※ 3 地域はそれぞれ試算条件の細かい違いがあることに留意。

2.3. F/S 調査結果を踏まえた事業モデルの構築

2.3.1. 地域内エコシステムを構築するためには

地域内エコシステムを構築するために前提となる条件と考え方を下記のとおり整理した。

2.3.1.1. 前提条件について

地域内エコシステムを構築するために前提となる条件として下記の項目が重要である。

✓ 木質バイオマスサプライチェーン全体をデザインする人材がいること

地域内エコシステムの構築においては、川上から川下までのサプライチェーン全体を俯瞰し、地域の特性を活かした無理のない流れをつくることが重要である。木質バイオマス全般についてある程度の見識を持ってサプライチェーンをデザインすることのできる人材が必要である。

✓ 木質バイオマスサプライチェーンを運用する実施主体がいること

サプライチェーンを描くだけでなく、実際に各段階で運用する主体が存在しなくては、事業は動かない。素材生産事業者、チップ等の燃料製造事業者、エネルギー利用者等の主体、またはそれらを実施する意向を持った主体が明確に存在することが重要である。

✓ 地域内の関係者が議論を行い、検討する場があること

地域内エコシステムの構築において検討すべきことは多岐にわたり、関係する主体も多くなることから、それらを全体的に議論する場が必要である。「地域協議会」や「勉強会」等を開催し、地域が主体的にアイデアを出し合いながら気運の醸成、合意形成を図り、地域づくり・人づくりにつながる取り組みとすることが重要である。

2.3.1.2. 事業構築の考え方について

地域内エコシステムは小規模な地域内で考える必要があるため、事業やサプライチェーン構築にあたって利用できる地域資源（需要や供給を生む産業、ヒト・モノ・カネ等の経営資源）が限られる。限られた地域資源の中で最適な組み合わせを検討すること、すなわち地域ごとの「最適解」をいかに導くかがポイントである。

協議会等の議論の場でこれらの地域資源についてあらためて見直し、地域としてできることを考えることは、「地域づくり」につながる重要なプロセスである。

このプロセスを経るなかで、サプライチェーンの川上、川中、川下の各段階で持続的に実施可能なことを検討し、それらが全て整合的に重なる部分が地域内エコシステムとして事業化できる基準となる。（図 2-2）

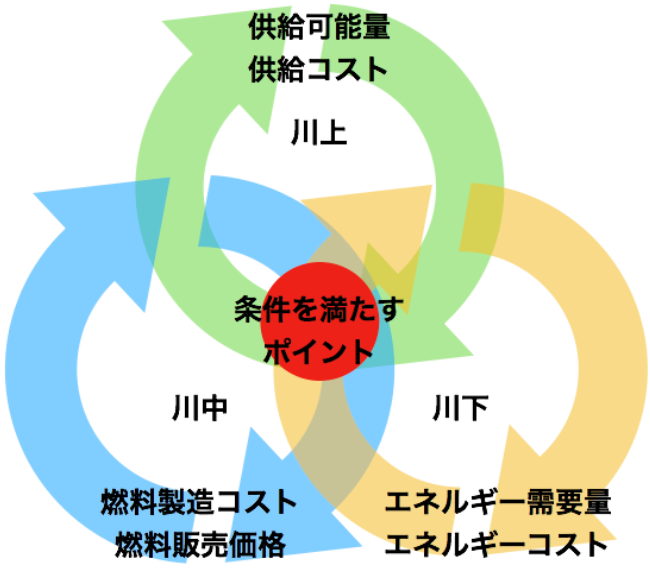


図 2-2　小規模なバイオマス事業計画の策定イメージ

2.3.1.3. 順応的な取り組みの実施

事業構築の考え方のもと事業計画を検討していくにあたり、各段階で事業の拡大やサプライチェーンを運用するには解決しなくてはならない課題があったり、そのための時間が必要であったりする。いきなり大規模な設備を導入しようとすると、供給が間に合わない、ボイラーが故障し採算が取れない、地域内の合意形成が得られないなどの無理が生じることが多い。

そのような事業リスクを最小限に抑えるためには、まず小規模な木質バイオマスサプライチェーンを無理のない形で構築し、それを運用し PDCA サイクルを回しながら、**順応的**に事業の拡張を目指すことが理想的である。

図 2-3　順応的な拡張のイメージ

【順応的な取り組みとは】

計画における未来予測の不確実性を認め、計画を継続的なモニタリング評価と検証によって、随時見直しと修正を行いながら管理するマネジメント手法であり、生態系管理手法として用いられている。

2.3.2.　燃料供給側、木材流通側

図 2-4　燃料材供給過程の順応的な取り組み

燃料供給側については、上図のように取り組むことが理想的である。まずは林業及び木材流通状況の現状を把握し、課題を整理することで、円滑に木材を供給するための体制を整備する必要がある。このとき、可能であれば地域内で複数の流通ルートを検討しておくことで、将来の供給リスクに対して備えることが可能となる。さらに事業の継続性の観点から、対象となる森林の成長量を考慮するとともに、無理なく事業を継続できる調達可能量を検討する。

また、小規模な木質バイオマス事業では、原木供給量としては数百～1,000m³/年程度と小規模であるため、初期段階では既存の流通ルートから部分的にシフトさせても影響は少ない。また地域内に新たな流通拠点を整備するだけでも燃料材の供給が受けやすくなることがあり有効である。

このように初期段階では既存の流通を活かしながら無理なく材の調達を行い、その間に地域内の素材生産力向上のための必要な手段を講じ、需要の拡大に応じて順応的に地域内の森林整備を拡大させていく必要がある。例えば林業の人材育成や林地の集約化、路網整備など時間を要するものについては早期に取組むことが良いと考えられる。

2.3.3. 燃料製造側

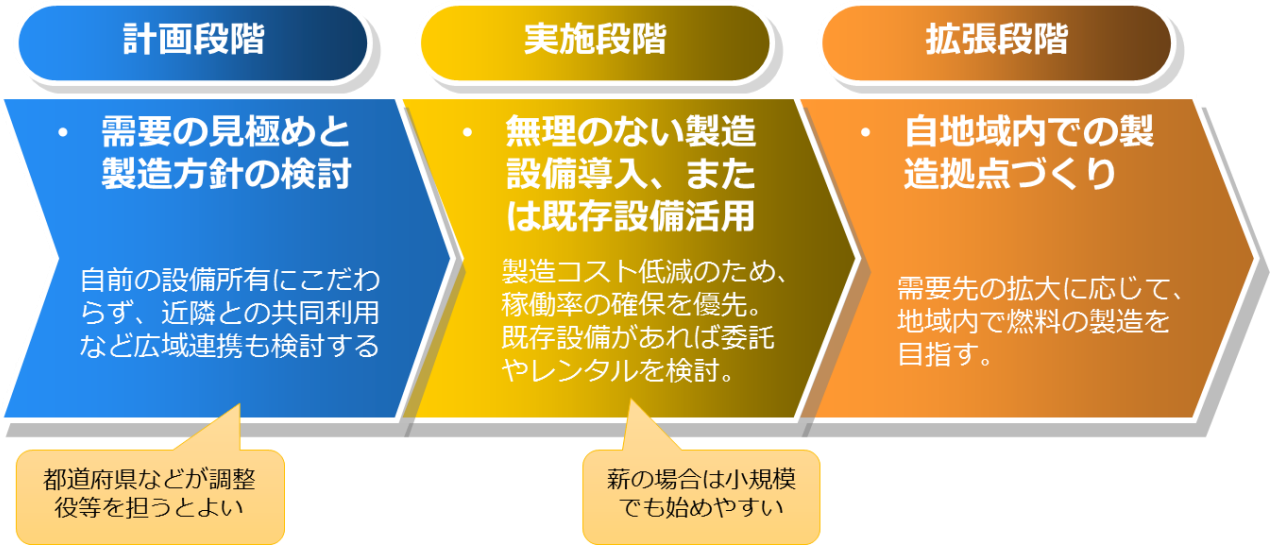


図 2-5 燃料製造過程の順応的な取り組み

燃料製造においては、図 2-5 のように取り組みを進めることが理想的である。チッパーなど高額の初期投資を要する設備を利用する場合、エネルギー利用側での採算も考慮した適正な価格まで製造コストを低減させるためには、スケールメリットが必要となる。一方で、小規模な木質バイオマス事業においては、それだけのための利用ではスケールメリットを得ることができないことが多い。

したがって、まずは地域内外の需要や製造設備の所有状況をよく見極め、自前の設備所有にこだわらず、近隣地域との共同利用など広域的に連携することも含めて検討することが重要である（図 2-6）。このとき都道府県など全体を俯瞰できる立場の機関が調整役を担うことができるとよい。

需要先の開拓、需要規模の拡大に応じて地域内での燃料製造に切り替えることで、事業リスクを抑えながら事業を進めていくことを目指す。

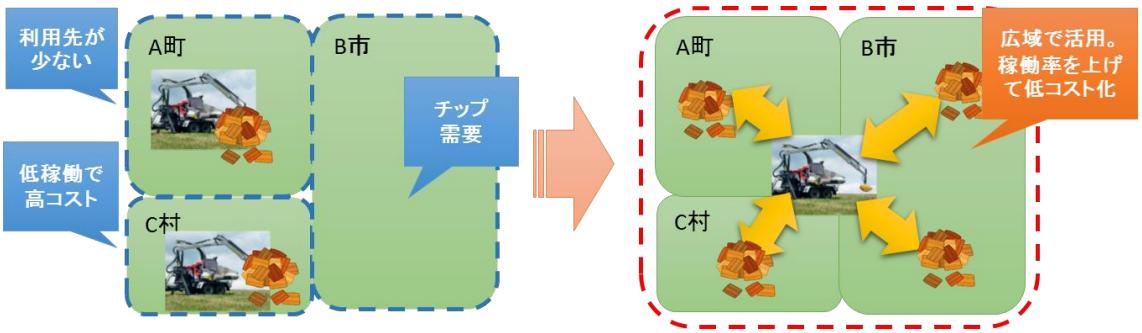


図 2-6 広域でのチッパー共有イメージ

2.3.3.1. チッパーの導入

チップ製造のためにチッパーを導入した際の製造コストについて示す。

小型のチップボイラーに適した切削チップを製造できるチッパーとして、比較的小型でトラクター動力を利用する 2 つのメーカーの機種で試算を行った。

図 2-7　トラクター動力を利用するチッパーのイメージ

※MUS-MAX 社、John Deere 社 HP より写真転載

表 2-4　チップ製造コスト試算条件

メーカー	FARMI	MUSMAX
型式	CH27	7LZ
初期投資費用	チッパー：26 百万円 ※トラクター含む	チッパー：43 百万円 ※トラクター含む
	グラップル：12 百万円	
	チップ保管建屋：10 百万円	
減価償却期間	機械：8 年、建屋：31 年	
補助率	50%	
定格製造量	40m³/h	60m³/h
チッパー利用率 （定格能力に対する、実際能力）	50%	
原木調達価格（水分 50%）	7,000 円/t	
木材絶乾比重	0.35	
チップ体積／原木材積	2.8	
作業員単価	2,000 円/h	
一般管理費	人件費×10%	

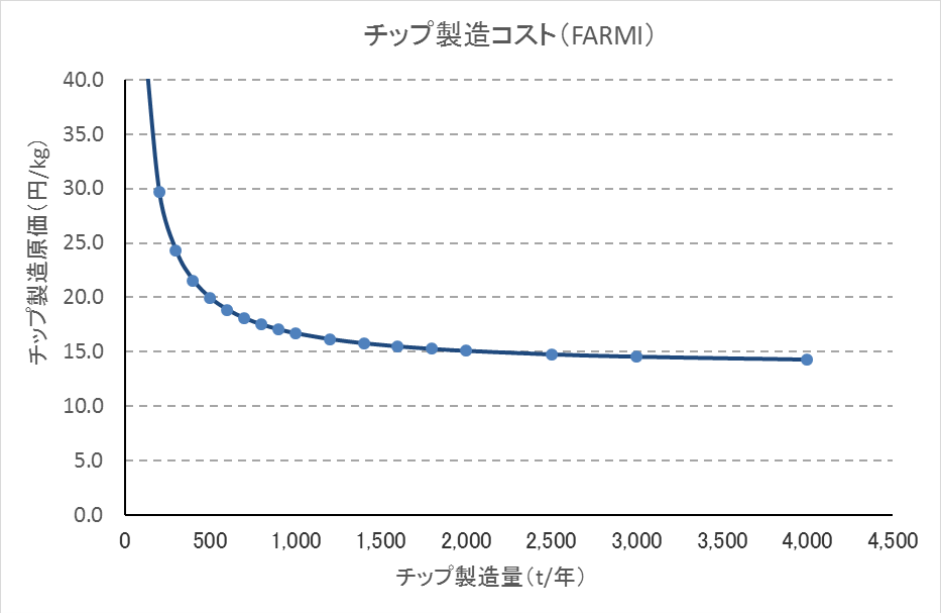


図 2-8　チップ製造コスト試算結果（FARMI）

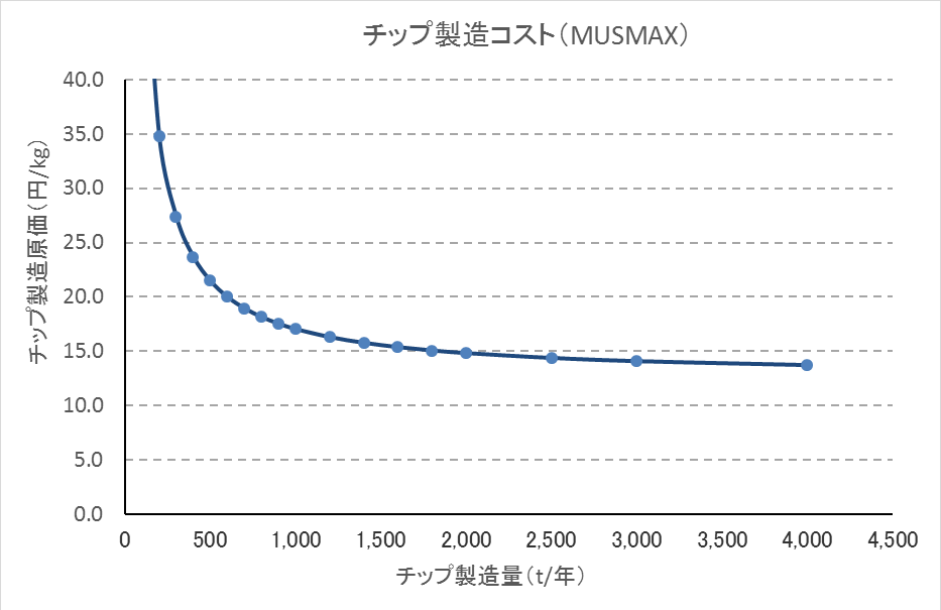


図 2-9　チップ製造コスト試算結果（MUSMAX）

化石燃料に対して競争力のある価格として 18 円/kg（水分 30%、およそ A 重油 60 円/L に相当）に抑えるためには、チップ重量で 700t～800t（水分 30%）、原木体積で 1,400～1,600 ㎥以上の年間製造量の確保が条件となる（図 2-8、図 2-9）。

さらに初期投資が安価な小型自走式チッパーで同様に試算を行った。

【試算条件】

・メーカー及び機種：㈱大橋　GS401D

・定格製造量：10.5m³/h（体積はチップ層積）

・初期投資費用：5.5 百万円（チッパーのみ）

図 2-10　小型自走式チッパーのイメージ

※㈱大橋 HP より写真転載

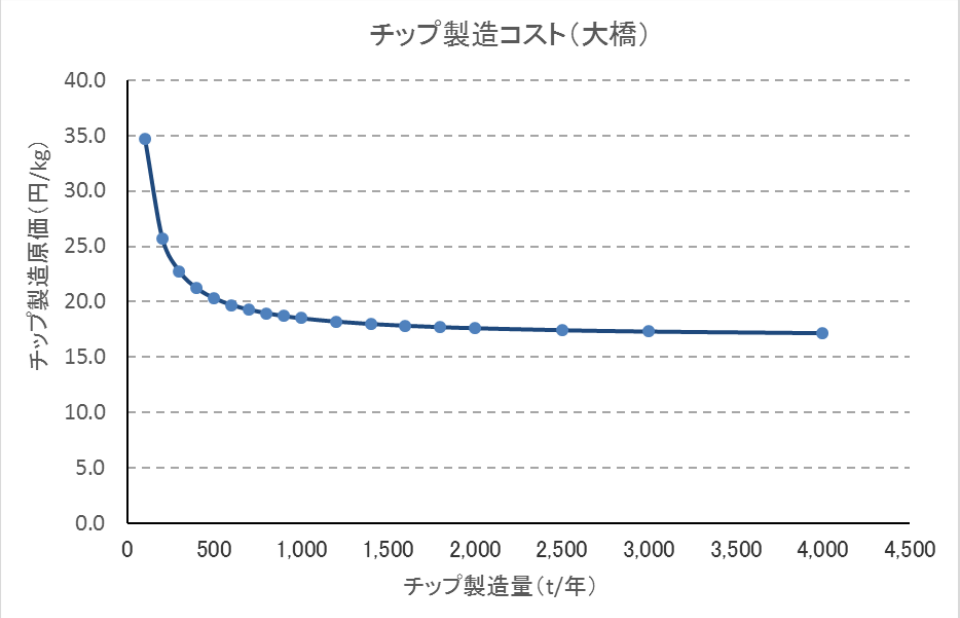


図 2-11　チップ製造コスト試算結果（大橋）

試算の結果、18 円/kg（水分 30%）に抑えるためには、1,400 t /年以上の生産が必要であった。生産能力が落ちるため人件費等のランニングコストが高止まりすることがコスト高の要因である。

また、これら小型自走式チッパーは処理できる原木の径が小さく、径の大きな原木が投入できない場合があるので注意が必要である（上記の試算に用いた機種は、最大処理径 20cm）。

以上の試算結果より、一つの自治体単位での一施設 200～300t/年程度の需要量ではチップ製造は低稼働・高コストとなる。この課題に対しての対応策案については次のとおりである。

① 自地域内にチップ製造業者がいる場合
- ✓ その事業者がチップ製造することを優先的に検討する。

② 近隣にチップ製造業者がいる場合
- ✓ チッパーのある製造拠点に原木を運び込み製造委託する。
- ✓ チッパー（移動式）をレンタルし、地域の土場でチップ生産を行う。
- ✓ 現在製造されているチップを購入する。

③ 近隣にチップ製造業者がいない場合
- ✓ チッパーを導入する場合は地域外の需要を取り込み、生産量を上げることが必須である。需要が旺盛なバイオマス発電所や製紙工場向けに一定の販売量を確保することも検討できる。
- ✓ または、近隣に木質バイオマス導入の動きがあるかを確認し、共同利用する計画を検討する。

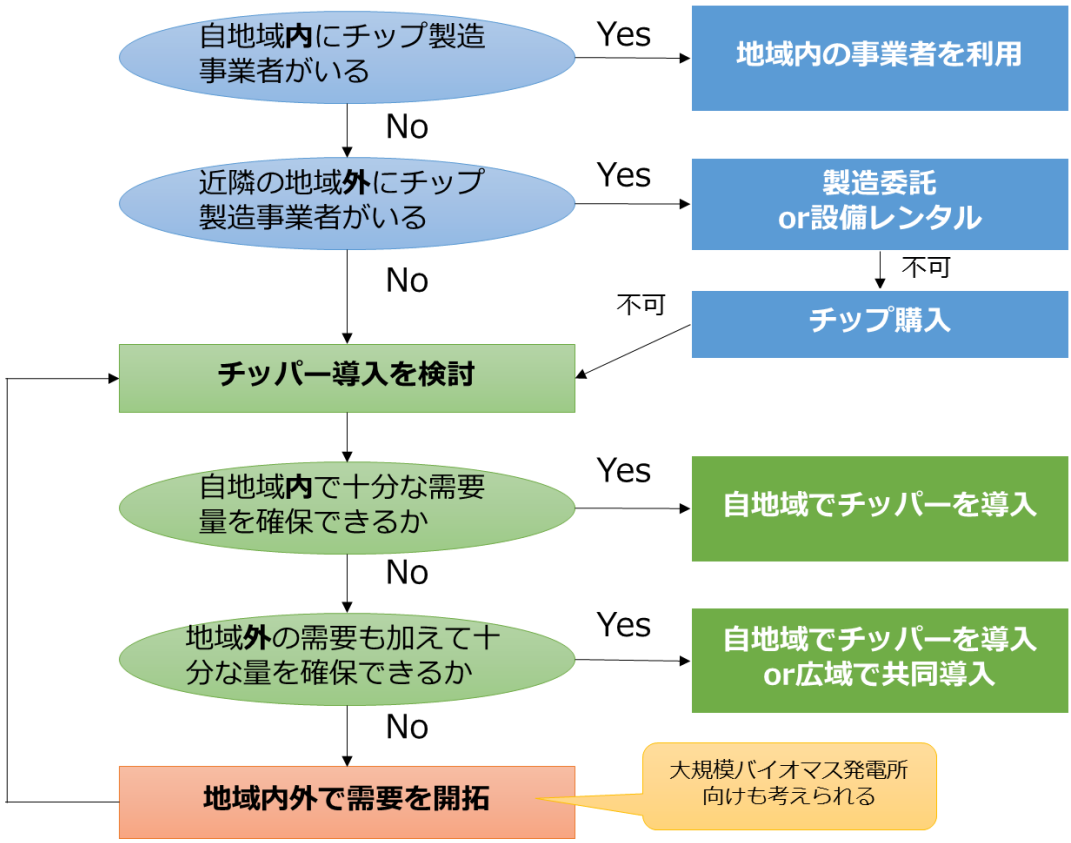


図 2-12　チッパー導入の検討の流れ

2.3.3.2. 薪の製造

薪製造のコストについて示す。
薪製造に用いる薪割り機には、大別して手動式と自動式の２タイプがある。

① 手動式薪割り機

人手により丸太を薪にする長さにカット（チェーンソーによる玉切り）したのち、油圧式（もしくは電気式）のプッシャーに手でセットし、割るタイプのもの。初期投資が少ないことが一番のメリットであるが、人手や時間がかかる。

写真 2-7　手動式巻き割り機のイメージ

② 自動式薪割り機

玉切りから割りまでの工程を自動で機械が行うタイプのもの。初期投資は高いが、時間当たり生産量が多く生産効率は高い。

写真 2-8　自動式巻き割り機のイメージ

表 2-5　薪製造コスト試算条件

	手動式	自動式
初期投資費用	薪割り機：1 百万円 （新宮商行）	薪割り機：10.5 百万円 （PALAX）
	フォークリフト：1.6 百万円	
	チェーンソー：0.3 百万円	
	保管・移動用ラック：20 千円/m³×製造量 120 日分 ※乾燥期間	
補助率	50%	
製造効率 （玉切りから保管までのトータル作業効率。1 日 8 時間換算）	3m³/人日	6m³/人日
原木調達価格（水分 50%）	7,000 円/t	
木材絶乾比重	0.35	
作業員単価	1,000 円/h	
燃料、動力費（薪割り機）	ガソリン 1.4L/m³	電力 14.7kWh/m³
一般管理費	人件費×10%	

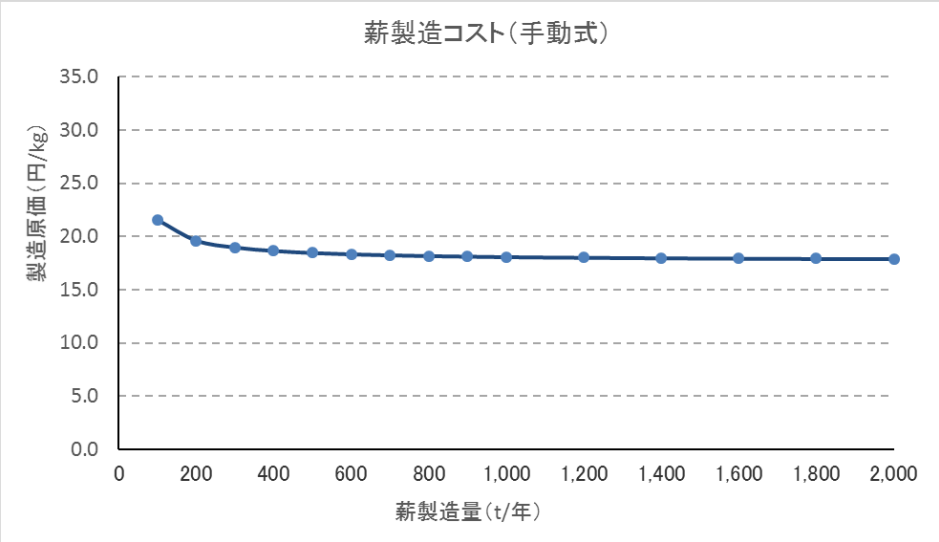


図 2-13　薪製造コスト試算結果（手動式）

手動式のコストはほとんどが原材料費や人件費等の変動費のため、製造量が増えてもコストは 18 円/kg（水分 30%）程度から下がらない。ただし初期投資が非常に少なくて済むため、製造規模が小さいうちでも比較的低コストで製造可能である。

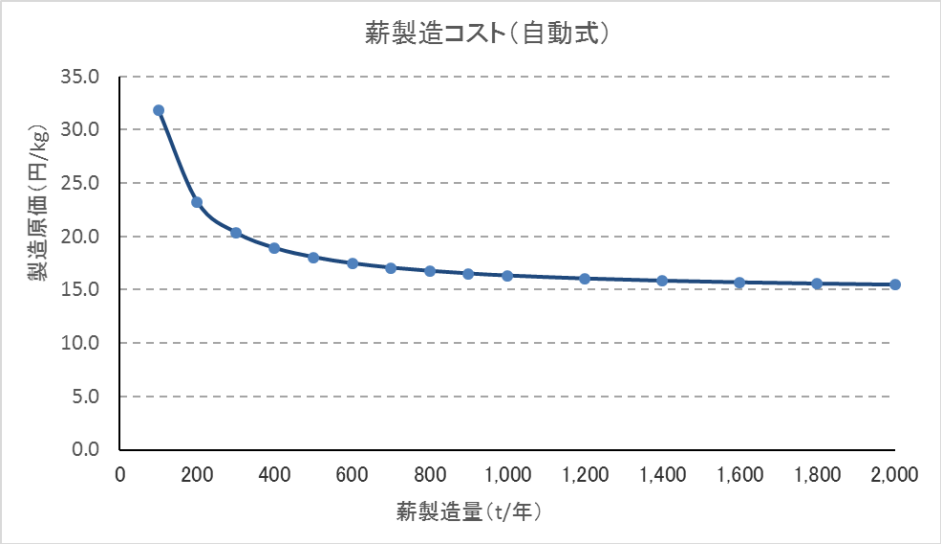


図 2-14　薪製造コスト試算結果（自動式）

自動式のコストは製造量が少ないうちは初期投資の減価償却費が割高となるが、500t/年（水分 30%、原木体積で約 1,000m³/年）程度まで製造量が増えれば、コストは手動式を下回る。

以上より、薪製造を始める場合、製造量が少ない初期段階では手動式薪割り機から始め、事業が拡大したら自動式薪割り機の導入を検討するとよい。

2.3.4.　エネルギー利用側

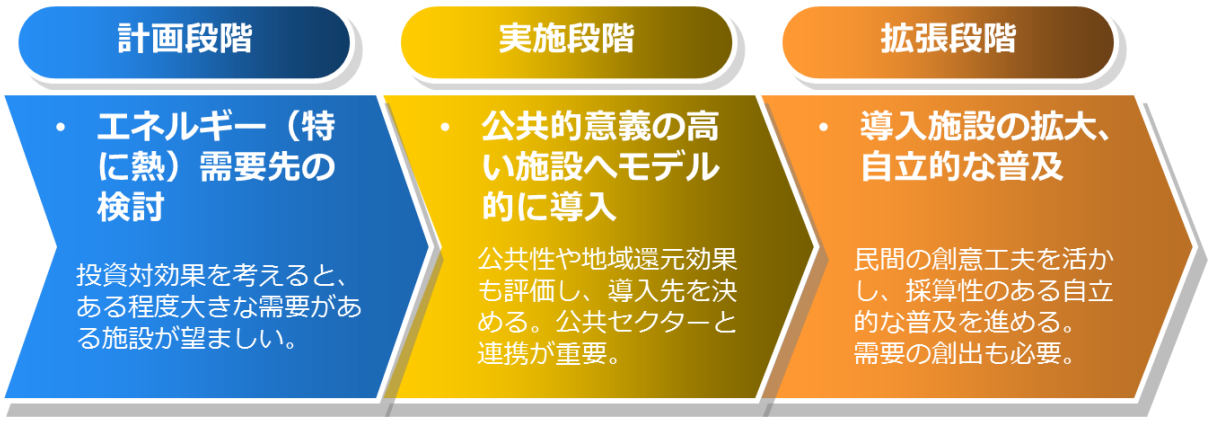


図 2-15　エネルギー利用過程の順応的な取り組み

エネルギー利用事業の採算性を確保するためには、ある程度まとまった熱需要のあるところへエネルギー利用機器（ボイラー、CHP）の導入を考える必要がある。バイオマスエネルギーにおいてエネルギー利用効率を高めるには熱を最大限利用することが重要であるが、熱は長距離を移動させることが難しい（ロスが生じる）ため、需要のあるところでエネルギーを発生させる必要がある。投資対効果を考慮した適切な需要施設の選定が重要となる。

そのうえで地域における最初の導入事業としては、公共的意義の高い施設へのモデル導入が実行しやすい。自治体等の行政は社会・環境的意義や地域還元効果を評価し、導入の支援を行う姿勢を明確にしたい。

さらに地域内での自立的な普及拡大のためには、民間主導の事業スキームやイニシャルコスト低減のための工夫が欠かせない。

※高価な木質バイオマスエネルギーの利用機器を導入して適切に投資回収を図るための熱需要規模の目安としては、年間の化石燃料使用量が 100～150kℓ/年程度であると考えられる。熱需要規模が小さい場合には、初期投資を大胆に軽減する必要があり、既存の建物を利用したり DIY を取り入れたりするなどの工夫次第では投資回収も不可能ではない。

2.3.4.1. エネルギーコストの比較（熱利用）

一般的な条件設定のもと、木質バイオマスによる熱エネルギーの供給コストを、熱量（1MJ＝メガジュール）あたり単価にして比較した。

表 2-6　エネルギーコスト（熱供給単価）試算条件

燃料種		生チップ	準乾燥チップ	薪	灯油
燃料水分		水分 50%	水分 30%	水分 30%	ー
総熱供給量	MJ/年	3,139,409	3,139,409	3,139,409	3,139,409
燃料単価	円/t	13,000	18,700	18,300	80 円 ～100 円/L
燃料使用量	t/年	469	294	312	100kℓ
燃料費	**千円/年**	**6,094**	**5,500**	**5,719**	**8,000 ～10,000**
ボイラー		生チップ ボイラー	乾燥チップ ボイラー	薪ボイラー	灯油ボイラー
初期投資	千円	120,000	90,000	70,000	40,000
補助		50%	50%	50%	なし
償却年数	年	15	15	15	15
減価償却費	**千円/年**	**4,000**	**3,000**	**2,333**	**2,667**
人件費	**千円/年**	**0**	**0**	**500**	**0**
その他（電気代等）	**千円/年**	**500**	**500**	**500**	**500**

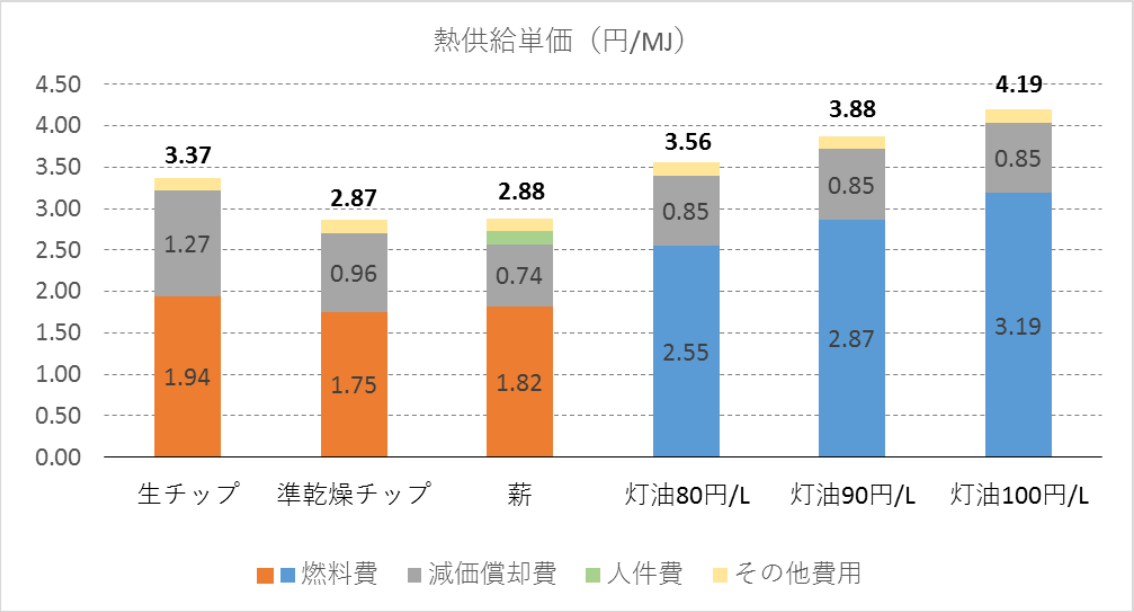


図 2-16　エネルギー供給単価の比較

比較対象となる化石燃料価格次第ではあるが、燃料費では木質バイオマスは優位であることは確認できる。ただし木質バイオマスボイラー等の減価償却費を加えて化石燃料に対抗できるかどうかが問題となる。（通常、化石燃料ボイラーの減価償却費は既に投資済みのため比較の際に考慮されないことが多い。）

2.3.4.2. ESCO 事業

木質バイオマスのエネルギーコストを下げるためには、ボイラーや配管等設備の工事費用（＝イニシャルコスト）に起因する減価償却費を下げる必要がある。木質バイオマスの工事費用は、バイオマスの普及が進んでいる欧州と比べてかなり高額であり、削減余地はあると考えられる。

工事費用については、一般的に公共工事ではどうしても高止まりになりがちであり、民間による設計・工事発注の方がコストダウンは実現しやすいと考えられる。したがって民間のエネルギー供給（ESCO＝Energy Service Company）事業者がこれを行うスキームの構築が望まれる。

設備投資のリスクを利用者ではなく ESCO 事業者が持つことによって、利用者の負担を減らすことができることに加えて、事業者内に燃料調達や機器運用のノウハウを蓄積して他所で転用し事業を横展開していくことも可能となる。

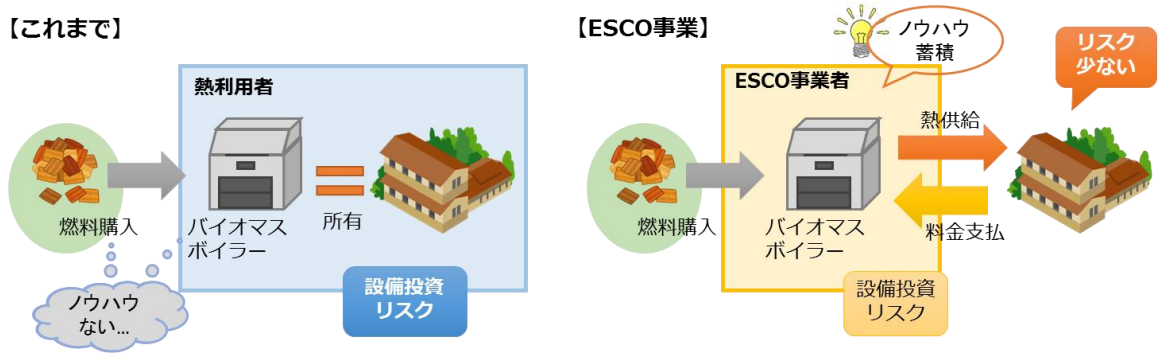
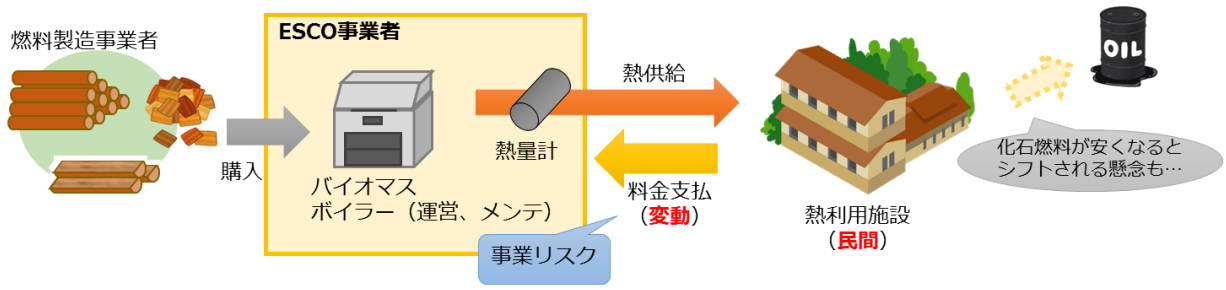


図 2-17　これまでのやり方と ESCO 事業の比較

◆ ESCO事業スキームの例　①民間施設への供給



◆ ESCO事業スキームの例　②公共施設または民間施設へ自治体が支援

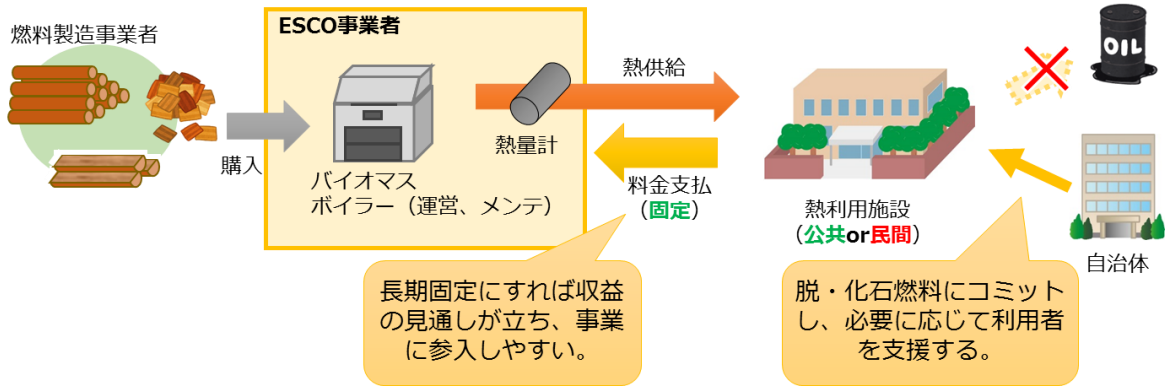


図 2-18　ESCO 事業スキームの例

ESCO 事業のスキームは、国内で少しずつ実施事例が出始めている。この事業スキームにおいては熱供給料金（単価）の設定が重要である。民間施設への熱供給の場合、単価設定が化石燃料価格の変動に合わせた変動制としている例が多く、ESCO 事業者にとっては大きな事業リスクとなっている。

そのため今後は、熱供給単価を固定制とするスキームの導入を進めていきたい。長期で固定価格にすれば事業者にとって収益の見通しが立ち、事業に参入しやすい。特にエネルギー利用施設が公共施設の場合は公共的な観点や再生可能エネルギーの普及の観点から固定価格でのスキームを構築しやすいと考えられ、自治体の積極的な関与が求められる。

さらに、ESCO 事業者は燃料製造事業など川上側とも垂直統合すれば、全体として得られる利益は大きくなる。また、燃料製造とボイラー利用の利害が一致するため、トラブルも少なくなることが期待できる。これは木質バイオマス導入で先行する欧州で見られる事業スキームでもある。

2.3.4.3. 熱電併給

地域内エコシステムに適した小規模な熱電併給の装置として以下の 3 方式を検討した。

① ガス化発電

ガス化発電の技術は、木質燃料を熱分解することによって、一酸化炭素や水素などの可燃性ガスを取りだし、ガスエンジンを用いて発電を行う仕組みである。一般的に小型でも発電効率が 20%台と高いのが最大の利点である。このとき、高温の可燃性ガスを水で冷却するため、70～80℃の温水が発生し、熱として利用可能である。ガス化発電では、ガス生成時に発生する「タール」がトラブルの原因となるため、それを防ぐために燃料の品質（十分な乾燥や形状の安定）を厳しくコントロールするのが主流である。

② バイナリー発電

バイナリー発電機は、外部から低温度の熱エネルギーを供給し、沸点の低い媒体を蒸発させてタービン発電機を回して発電する装置である。工場排水など、100℃未満の温水を利用することができる。蒸発した作動媒体は、凝縮器内で冷却されて液化し、再び蒸発器へ入って循環する。蒸発器に投入した温水は 75℃程度に温度が下がるものの暖房や給湯といった一般的な熱需要に再利用可能である。一方凝縮器に投入した冷却水は 30℃程度の低温水となって排出されるが、使いみちは少ない。この冷却排水を使用できないと総合エネルギー効率は低下する。

③ スターリングエンジン

スターリングエンジンとは、シリンダー内のピストンが作動することによって発電を行う装置であり、熱源を外部にもつ外燃機関である。今回検討したシステムは、チップボイラーの燃焼室に熱媒熱交換器を組み込んだ特殊仕様である。ここで熱交換された分を除く燃焼熱は通常のチップボイラーからの熱供給として利用することができる。

以下にそれぞれの発電装置を導入し運用した際の収支を検討する。

(1). FIT 制度を利用しない場合

FIT 制度を利用せず、発生した電気は自家消費とした場合の収支を計算した。

表 2-7　熱電併給システム収支試算条件

	①ガス化発電	②バイナリー発電	③スターリングエンジン
発電出力※発電端	40kW	17kW	10kW
熱出力	100kW	別途ボイラーから供給	別途ボイラーから供給
初期投資額（工事費含む）	90 百万円/基（チップ乾燥機含む）	40 百万円/基（ボイラー除く）	39 百万円/基（ボイラー除く）
燃料種別	乾燥チップ	生チップ	生チップ
チップ調達価格（水分 50%時）	未利用間伐材：13 円/kg		
木材絶乾比重	0.35		
低位発熱量	16.2MJ/kg（水分 15%）	7.9MJ/kg（水分 50%）	
発電効率	22%	5%	15%
電力単価	自家消費：15 円/kWh		
熱単価	7.5 円/kWh（重油 70 円/L 相当）		
稼働時間	15h×330 日＝4950h/年		
保守点検費	2.2 百万円	ー	ー

なお、①ガス化発電は発電と熱供給が一体の装置のため両方にかかる収入と費用を計算した。一方、②バイナリー発電と③スターリングエンジンについては発電装置と熱供給装置（ボイラー）が別々であるので、純粋に発電装置の採算性を評価するため、発電にかかる収入と費用のみを分離して計算した。

表 2-8　熱電併給システム収支試算結果

	①ガス化発電	②バイナリー発電	③スターリングエンジン
イメージ図			
出力 ※電力は発電端	**電気40kW** （効率22％） **熱100kW**	**電気17kW** （効率5％） **熱：別途ﾎﾞｲﾗｰから**	**電気10kW** （効率15％） **熱：別途ﾎﾞｲﾗｰから**
燃料種別	乾燥チップ	生チップ	生チップ
初期投資額 ※工事費含む	90百万円/基 （チップ乾燥機含む）	40百万円/基 （ﾎﾞｲﾗｰ除く）	39百万円/基 （ﾎﾞｲﾗｰ除く）
年間収支 ※減価償却費を含まない	**-2,524千円** （発電＋熱利用）	**-12,668千円** （発電部分のみ）	**-1,200千円** （発電部分のみ）
燃料使用量 ※②③は発電部分のみ	約200t/年 (水分15%)	約1,049t/年 （水分50%）	約149t/年 （水分50%）
備考	熱100kWのうち50kWは チップ乾燥に用いる	冷却側の排温水(30℃)は 利用不可と仮定	ﾎﾞｲﾗｰ組み込み式の 特殊仕様

結果として、どの方式を採用しても収支（減価償却費を含まない）はマイナスになった。つまり電気の自家消費による電力代削減及び熱販売収入といったエネルギーの利用メリットに対して、そのエネルギーを生み出すための燃料費や機器運用費が上回るということである。

赤字になる要因としては、費用の大部分を占める燃料費の単価の高さが共通して挙げられる。また①ガス化発電については保守点検費用が比較的高額であり、②バイナリー発電及び③スターリングエンジンに関しては発電効率が低いため生み出すエネルギーが少なく、相対的に燃料費が高くなることも収支に対し、マイナス方向に影響している。

そこで収支を改善するためには、利用する燃料を安価なものにすることが有効であると考えられる。安価なチップ調達手段として製材端材由来のチップが使える場合を想定し、3パターンの価格設定のもとで再度試算を行った。

表 2-9　熱電併給システム収支試算結果（製材端材チップ）

【端材利用】	チップ価格	①ガス化発電	②バイナリー発電	③スターリングエンジン
年間収支 ※減価償却費を含まない	**4円/kg** (水分50%)	**537千円** （発電＋熱利用）	**-3,230千円** （発電部分のみ）	**140千円** （発電部分のみ）
	5円/kg	**197千円**	**-4,278千円**	**-9千円**
	6円/kg	**-143千円**	**-5,327千円**	**-158千円**

製材端材等の副産物由来のチップにすると収支（減価償却費を含まない）は改善し、①ガス化発電や③スターリングエンジン方式ではチップ価格が 4 円/kg と安ければランニングコストの黒字化が見込まれた。ただしどちらも黒字幅は非常に小さく、発電設備の投資回収は困難である。

また考え方として、②バイナリー発電及び③スターリングエンジンについては発電部分のみの収支であるので、ボイラーからの熱利用部分で十分な利益があるとすれば、熱利用の利益と合算することで発電部分の赤字を吸収するという考え方で計画を策定することも可能である。

(2). FIT 制度を利用する場合

FIT 制度を利用した売電（40 円/kWh の区分を適用）を想定するとガス化発電はある程度の黒字（減価償却費を含まない）が出るが、以前黒字幅は小さく、20 年間での投資回収には及ばない。

表 2-10　熱電併給システム収支試算結果（FIT 利用）

【FIT利用】	①ガス化発電	②バイナリー発電	③スターリングエンジン
年間収支 ※減価償却費を含まない	**1,839千円** （発電＋熱利用）	**-11,059千円** （発電部分のみ）	**26千円** （発電部分のみ）

FIT 利用時の①ガス化発電において、例えば以下のような条件変更を加えると、収支は改善し 20 年以内での投資回収の可能性が出てくる。

- 現状一般的な熱需要施設の想定稼働時間にあわせて 1 日 15 時間の装置稼働で計算しているところを、1 日 24 時間稼働に延ばす
- 熱も 24 時間全量販売可能とする
- チップ調達価格を 10 円/kg（水分 50%時）に下げる

燃料の品質を厳しく管理し、タール等による稼働停止時間を極力抑えることができれば、24 時間×330 日程度の年間稼働は不可能ではないと考えられる。しかしながら、付随して発生する熱を可能な限り余すことなく販売できるような熱需要施設を見つける、または創出する必要がある。（熱需要がなければ熱販売収入が減り、収支を下押しする。）

チップの調達価格については低ければ熱電併給の採算が良くなるのは当然のことであるが、地域還元の観点からは、安易な燃料の値下げ要求は避けたいところである。今回は発電と同時に発生する熱の半分をチップの乾燥に充てる（熱を自家消費する）前提にしているが、熱電併給システムとは別に乾燥チップを安価に製造できるチップ製造拠点をつくり、そこから地域内にチップ供給を行うということも、今後検討したい仕組みである。

また、今回の試算は装置 1 台のみの場合であるが、複数台を同時に設置することで保守点検費用を分散低減できる可能性もあり、収支を改善する効果が期待できる。

2.3.5. 地域還元効果

木質バイオマスエネルギーを地域で利用するメリットは様々あるが、地域資源である木質バイオマスを利用し電力や化石燃料の消費に代えることで、地域外へのお金の流出を防ぎ、地域内に還元させることによる経済効果は非常に大きい。「地域内エコシステム」においても地域事業者や山主への利益還元を重要視しており、これを適切に評価することは事業の普及において欠かせないと言える。

こうした地域の経済効果を計る方法としては「産業連関表」を用いることが一般的であるが、慣れないと扱いづらく直感的にもわかりにくいという難点もある。そこで今回提案するのが「LM3」という指標である。

> LM3 とは…
> イギリスの New Economic Foundation によって開発された、地域内乗数効果（Local Multiplier effect） 概念に基づく、シンプルかつ簡易に地域の地域経済発展を検討する為の指標。具体的には、当該地域に生じた消費や投資に伴う 3 回分の取引の中で地域内循環する域内調達分や地域住民の所得を集約し、実質的にその消費や投資による域内経済への貢献度を指数化するものである。（島根県中山間地域研究センター「平成 27 年度環境経済の政策研究　低炭素・循環・自然共生の環境施策の実施による地域の経済・社会への効果の評価について　研究報告書」より）

LM3 の計算方法は以下の式による。

$$LM3 = \frac{\text{最初の消費額（売上額）} + \text{流通部門の域内賃金・域内調達} + \text{生産部門の域内賃金・域内調達}}{\text{最初の消費額（売上額）}}$$

これが「１」を超える部分が、一次消費額に対して（3 回分の取引の中で）地域内に循環する金額の割合を示すことになる。

経済効果としては非常に簡易的であるが、お金の流れがイメージしやすく、またそれぞれの取引における売上と仕入の内訳を把握すれば計算可能であることから、評価方法としては利便性が高いと思われる。

具体的な例として、智頭町でのケーススタディから智頭病院への ESCO 事業を実施した場合で、事業実施の前後で LM3 を計算し比較する。

【重油を使用する場合（木質バイオマス導入前）】

LM3＝（3,884＋388＋0）÷　3884　＝　1.10

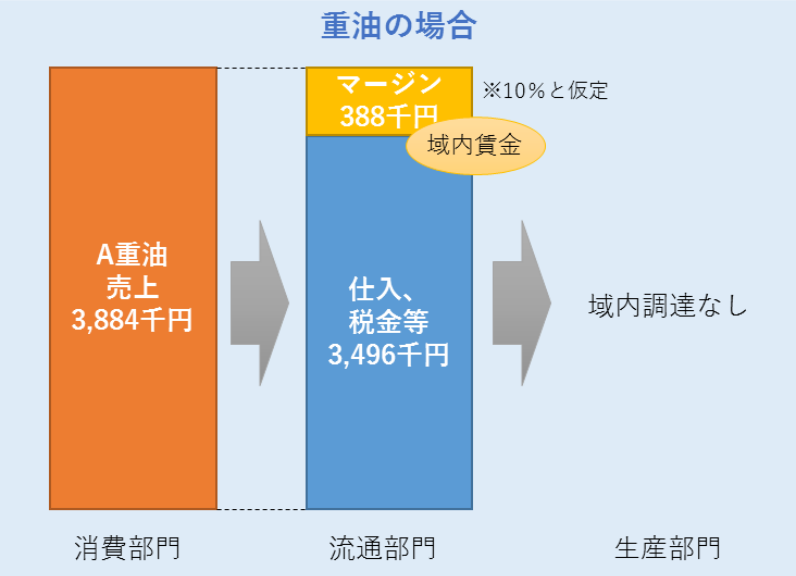


図 2-19　地域還元効果のイメージ（重油）

【木質バイオマス ESCO 事業を実施した場合】

LM3＝（5,282＋3,115＋1,954）÷　5,282　＝　1.96

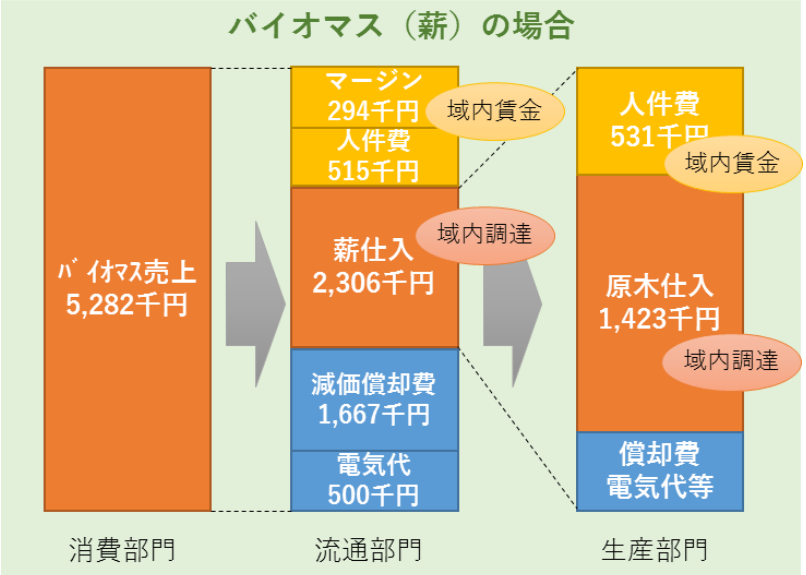


図 2-20　地域還元効果のイメージ（木質バイオマス ESCO）

A 重油使用の場合には 10%（想定値）しか地域内に還元されないが、木質バイオマスの ESCO 事業を実施した場合は 96%近く、約 5 百万円が地域内に還元されることになる。

このように木質バイオマス利用は仕入れや、人件費というかたちで地域内にお金が落ちる部分が多く、地域経済の振興や所得向上、雇用創出に大きく貢献する。特に自治体等の行政はエネルギーコストの増減だけで事業性を判断するのではなく、これらの地域還元効果や公共的意義を適切に評価して事業を進めることが望ましい。

2.3.6.　地域づくり

木質バイオマスエネルギー事業を行うには、川上から川下までのサプライチェーンにおいて多様な関係者が介在することになり、それら関係者との合意なくしては事業を成功に導くことはできない。

とくに地域住民でもある関係者に議論に参加してもらうことで、思いもよらなかったアイデアや知恵を借りられることがある。特にその地域特有のことはそこで暮らす人達が一番よく知っており、貴重なアドバイザーであると言える。

一方で、関係者が多いことは、必ずしも全員が最初から主体的・協力的でないこともあり、そういった人たちにも事業への理解と参画を促す意味でも、協議会のように意見交換を行える場を設けることが重要である。

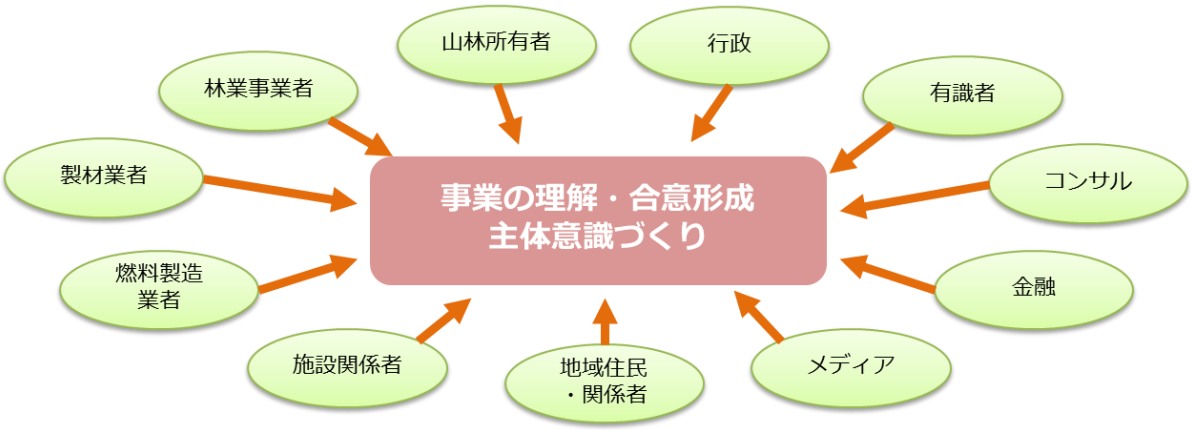


図 2-21　事業関係者と合意形成のイメージ

特に木質バイオマスの「熱利用」の場合は、必ず相手側である「熱需要者」が存在し、この需要者がメリットを享受し持続的に事業を継続できなければ、熱供給事業そのものが継続できなくなる。

熱需要者が公共施設や福祉施設、温浴施設などの場合は地域において人が集まる公共的意義の高い施設であり、宿泊施設や農業施設、工場などの場合は地域の重要な産業として位置づけられることも多い。協議会などの場では、熱利用の対象施設としての適切な施設の選定のみならず、それら熱需要施設を今後地域としてどのように維持・発展させていくのかという議論が欠かせない。

木質バイオマスの活用はそれ自体が森林整備や林業・木材産業などと密接に関わるものであると同時に、このように地域における重要な施設のあり方を考える契機になることが

多く、事業をすすめるにあたり「地域づくり」の観点をもち、地域の人々が主役になることが重要である。

以上のように多彩な関係者と「地域づくり」の観点を取り入れた議論を行うとなれば、木質バイオマス利用事業を開始するまでには十分な時間を確保する必要がある。以下に地域においてゼロから「地域内エコシステム」の構築を始める際のプロセスの例を示す。

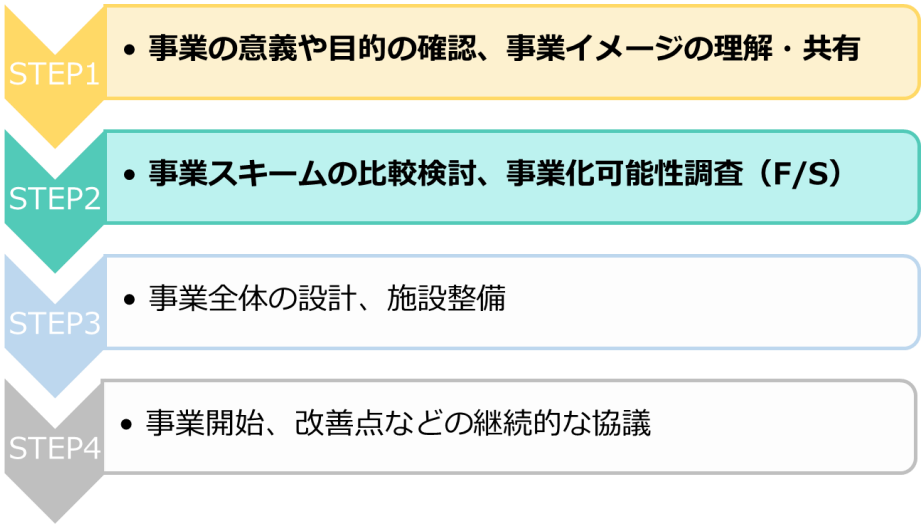


図 2-22　地域内エコシステムの構築プロセス例

注意した方が良い点は、STEP 1 を飛ばして STEP 2 から始めてしまうことである。地域内での事業目的の理解や到達イメージの共有ができていないために、FS で出た結論に賛同が得られず議論が停滞する、または後戻りするという例も散見される。STEP 1 は地域づくりにおいて非常に重要なプロセスであるため、省略することなくじっくり取り組むべきである。

STEP1～2 はそれぞれに 1 年以上の時間を要する可能性もあるプロセスであり、腰をすえて継続的に議論を進めていきたい。そうすることが、回り道なように見えて実際は「地域内エコシステム」を構築し持続的に発展させる一番の近道であると考えられる。

2.4.報告会の開催

F/S 調査結果及び地域内エコシステムの普及を目的とし、成果報告会を開催した。成果報告会では、調査対象地域の担当者に当該地域で実施された事業の発表をしてもらうことで、実際に事業に取り組んでいる地域の方々の理解をより深めることができた。

2.4.1. 参加者の募集

（1）専用 HP の設置

公募にあたっては、下記のように専用 HP を設置し事業趣旨を説明し、参加者を募った。また、別途林野庁の協力の下、都道府県担当者へのメール送信等により参加者を募った。

図 2-23 設置した HP

（2）パンフレットの作成

参加者の募集は下記のとおりパンフレットを作成し、専用 HP に掲載した。同パンフレットを「平成 29 年林業機械化推進シンポジウム」などで配布した。

図 2-24　パンフレット

2.4.2. 成果報告会の概要

【開催日時】2018 年 2 月 23 日（金）
【開催場所】主婦会館プラザエフ　7 階会議室　カトレア会場
東京都千代田区六番町 15

【内容】

1. 成果報告（実現可能性調査の対象地域）
①夕張市（北海道）「チップによる熱利用について」
②関　市（岐阜県）「薪・チップによる熱利用・熱電併給について」
③智頭町（鳥取県）「薪による熱利用について」
FS 調査(実現可能性調査)対象地域として選定された上記 3 地域の担当者（応募者）により、取り組み内容について説明実施。

2. 「地域内エコシステム」の普及に向けて～課題と展望～
日本森林技術協会・森のエネルギー研究所
今後、木質バイオマスエネルギーを地域づくりに活かしたいと考えている方々に向けた、 F/S 調査結果から見えてきた留意点についての、報告。

コメンテーター
今冨 裕樹 氏（東京農業大学 地域環境科学部 森林総合科学科 教授）
久木 裕 氏（バイオマスアグリゲーション 代表取締役）
久保山 裕史 氏（森林総合研究所 林業システム研究室 室長）
田内 裕之 氏（森と里の研究所 代表）

【参加者数】
140 名程度

写真 2-9 成果報告会の実施状況

2.4.2.1. 成果報告会のアンケート結果

成果報告会の終了後、アンケートを 57 件回収した。
アンケート結果は、「満足」と「やや満足」とあわせると 82%となった。事務局に寄せられた主な意見としては、「実際に取り組まれている人の声が聞けたことが良かった。」といったものがあったが、「今後どのように具体化し事業化していくのか」といった疑問の声も多く、具体的な事業化に向けた取り組みが、今後成果の普及について取り組んでいく際の課題となる。

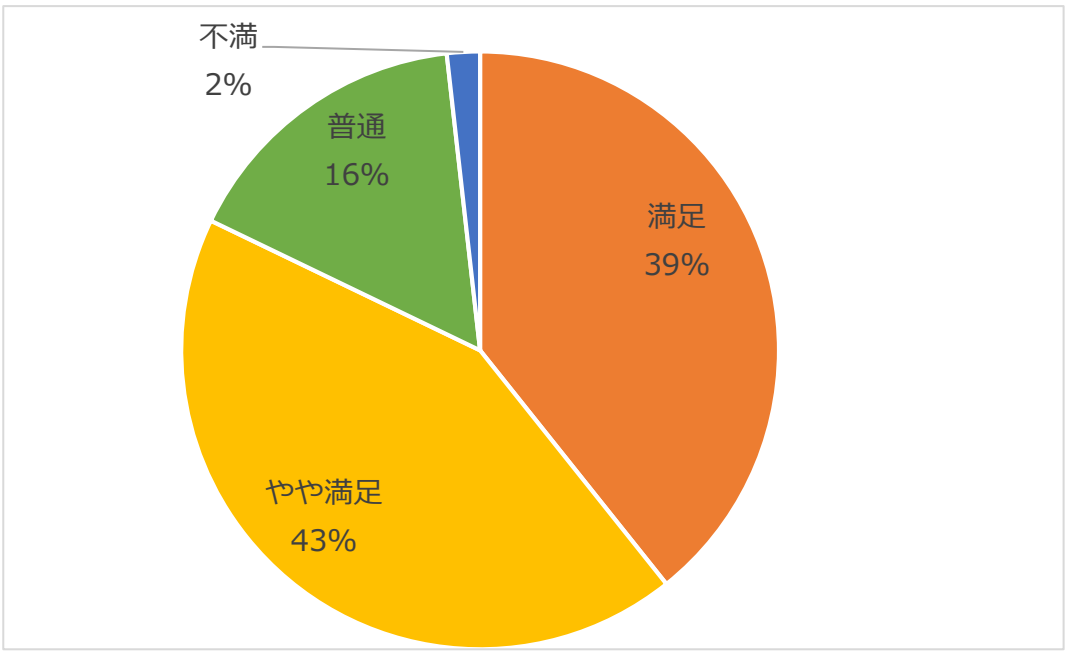


図 2-25　アンケート調査の結果

3.　まとめ

本事業を通して、小規模な木質バイオマスサプライチェーンである「地域内エコシステム」を構築するためには、川上・川中・川下それぞれの段階で検討すべきことや採算性を確保するための規模のおおよその目安があきらかになった。

川上（燃料材供給）については、初期段階における燃料材（C 材）の必要量は、**300 ㎥～1,000 ㎥/年**であり、当該地域における現状の素材流通量を考慮すると、十分供給が可能であると考えられる。ただし、燃料材は FIT 認定の発電設備増加により、需要が増加していることから、将来を見据えた人材育成、集約化、路網整備など必要な施策を講じ、素材生産力を高め、地域内で消化する体制を整備する必要がある。

川中（燃料製造）については、製造コストを抑えるためには一定のスケールメリットが必要である。チップの場合、700t～800t（水分 30%）/年、原木で **1,400 ㎥～1,600 ㎥/年以上**の製造量を確保することで、化石燃料に対して競争力ある価格が実現する。

一方、地域の施設等で必要なチップ量は約 300t/年（水分 30%）（１施設 300kW として仮定）程度であり、そのためだけにチップ製造設備を導入すると、高コストで採算性を確保することが難しくなる。したがって、地域外の需要先を確保することも想定するなど、地域内外で連携して製造設備をシェアする方策等を検討する必要がある。

川下（エネルギー利用）については、木質バイオマスボイラーや配管設備工事費などが高額になるため、単純にエネルギーコストの差額で採算性を確保するには、化石燃料の価格が 80 円/L 以上である必要がある。さらに、効率的に熱供給を行うための工夫として**ESCO 事業**による事業実施も検討する必要がある。熱電併給については、FIT を利用しない場合、ランニングコストで収支を黒字にするためには、製材端材等を活用し、燃料コストを下げるなどの対応が求められる。

全体として、小規模利用であるがゆえのジレンマ（工事費用や採算性等）があり、それを解消するためには、サプライチェーンのサイクルの中でそれぞれの地域特性を考慮し、事業スキームの検討、或いは技術的な改善をもって課題を解決していく必要がある。

そのためには地域全体で、それらを議論することのできる協議会などの話し合う場づくりが不可欠である。

①燃料製造業に関するネットワークづくりを行い、地域内で燃料製造業者を育成する等の人づくりを行う。

②配管システム等の効率的な施工方法や、技術的な研修等を実施することで施工レベルを上げるための取組み。

①木の駅プロジェクトへの出荷を想定した自伐林家向けの簡易な木材搬出機械や、小型で安価かつ製造効率の高いチッパーの開発。

②ボイラーや熱電併給装置では全体的に施設整備費用が高いため機器や工事費のコストダウン。

③配管などのシステムについての効率的な施工方法を確立させる。

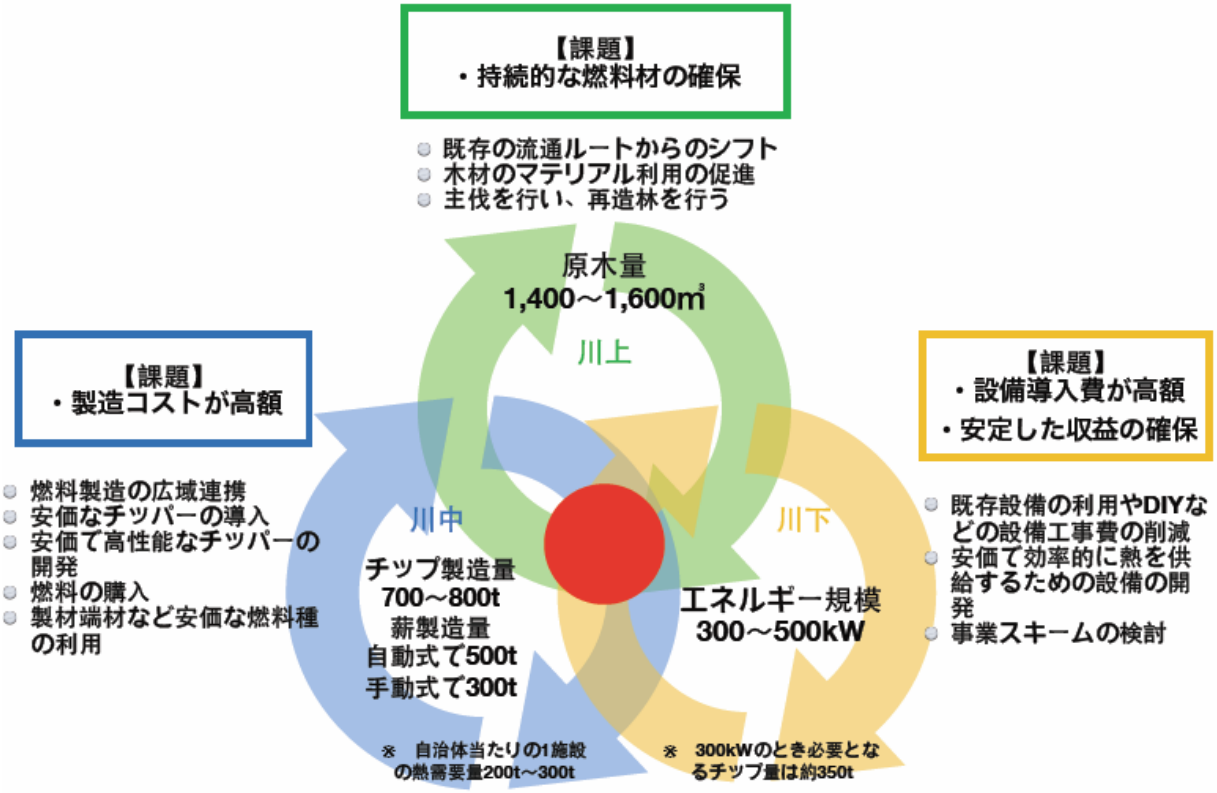


図 3-1　各段階での課題と対応策

平成 29 年度新たな木材需要創出プロジェクトのうち地域内エコシステムの構築事業

「地域内エコシステム」の構築
事業報告書

平成 30 年 3 月

一般社団法人日本森林技術協会
〒102-0085　東京都千代田区六番町 7 番地
TEL03-3261-5281（代表）FAX03-3261-5393
株式会社森のエネルギー研究所
〒205-0001　東京都羽村市小作台 1-4-21KTD キョーワビル小作台３F
TEL042-578-5130　FAX042-578-5131