

平成 27 年度木質バイオマスエネルギーを活用した  
モデル地域づくり推進事業

(新たな利用システム等の実証 4 号契約(栃木県那珂川地域))

報告書

平成 28 年 3 月

株式会社 那珂川バイオマス



## 目次

1. 本事業の目的	5
2. 地域協議会の設置	7
3. 今年度の事業概要	8
4. チップボイラ導入（施工）	9
4.1 チップボイラ仕様	9
4.2 機器配置	9
4.3 今年度の実施状況	11
4.4 課題	13
5. チップボイラ導入施設周辺エリアの熱利用施設整備	13
5.1 熱利用構想	13
5.2 熱利用施設整備	14
5.3 課題	18
6. 低質材調達から蒸気供給まで一連の実証運用	19
6.1 需要側における化石燃料ボイラとの接続調整	19
6.1.1 需要側の概要	19
6.1.2 接続調整結果	20
6.1.3 課題	20
6.2 熱供給事業の運用試験	21
6.2.1 燃料調達	21
6.2.2 チップボイラ運用	28
6.2.3 エネルギー供給	30
6.2.4 事業性分析	37
6.2.5 環境影響評価	43
6.3 熱供給事業スキームの構築	51
7. まとめ	52
7.1 本事業の成果	52
7.2 課題	54



## 1. 本事業の目的

本事業は、以下 4 項目を実施方針とし、木質バイオマスエネルギー活用の具体的な実証運用を行った。那珂川地域における木質バイオマスエネルギー熱利用事業化イメージを図表 1-1 に示す。

### マテリアル段階とエネルギー段階におけるカスケード利用による理想的な地域完結型資源活用モデル構築

素材生産から製材・加工段階において用途に応じて素材を活かしきるマテリアルでの多段階利用から、サーマル利用において熱エネルギーを高温蒸気から温水まで多段階で最大限使い切るカスケード利用を実現する。

素材丸太はその品質や部位によって、構造材～造作材～土木用資材等に加工し、大量に発生する端材は、製紙用チップ～敷料材～堆肥材～エネルギー用材といった段階的な用途別の連産構造にある。トーセングループでは、需要ニーズにあわせて適切に選別・加工することで限られた地域資源を最大限活かすことに取り組んでおり、国産材生産量では国内最大規模の製材工場モデルである。

また、本事業に取り組む栃木県は、関東中部地域でNo.1の素材生産量、製材品出荷量を誇る、森林資源のマテリアル利用先進県である。

本事業ではトーセングループからの燃料端材供給力、栃木県内の森林組合や民間素材生産業からの素材供給力を元にした燃料資源の安定供給体制を背景に、森林資源のマテリアル面でのカスケード利用に加え、バイオマスを燃料として作られた熱エネルギーについても、高温蒸気から温水まで多段階利用し、複数の需要施設で資源を使い切るという新たなシステムを実証する。

国内では、バイオマス熱源による複数施設での熱利用（地域熱供給）や、要求熱量が異なる複数施設での熱のカスケード利用は発展途上であり、理想的な利用方法という認識は広がっているものの、具現化している例は少ない。本事業では、森林資源を地域内で製材し、端材を燃料としてカスケード利用して使い切るという、理想的な地域完結型資源活用モデルを構築する。

### 森林資源と熱エネルギーのカスケード利用による炭素固定およびCO<sub>2</sub>排出削減量の最大化

森林資源は炭素吸収源であり、マテリアル利用することで吸収された炭素を数十～数百年固定することができる。また、マテリアル利用時（製材時）に端材となる部分について熱エネルギーを要求熱量ごとに多段階利用することで、資源のフル活用となり、熱利用先を最大化することで化石燃料代替によるCO<sub>2</sub>排出削減量も最大化することができる。

森林資源と熱エネルギーの各段階における一貫したカスケード利用を実現することで、より多くの炭素固定量およびCO<sub>2</sub>排出削減量を確保することができる。環境面での貢献について

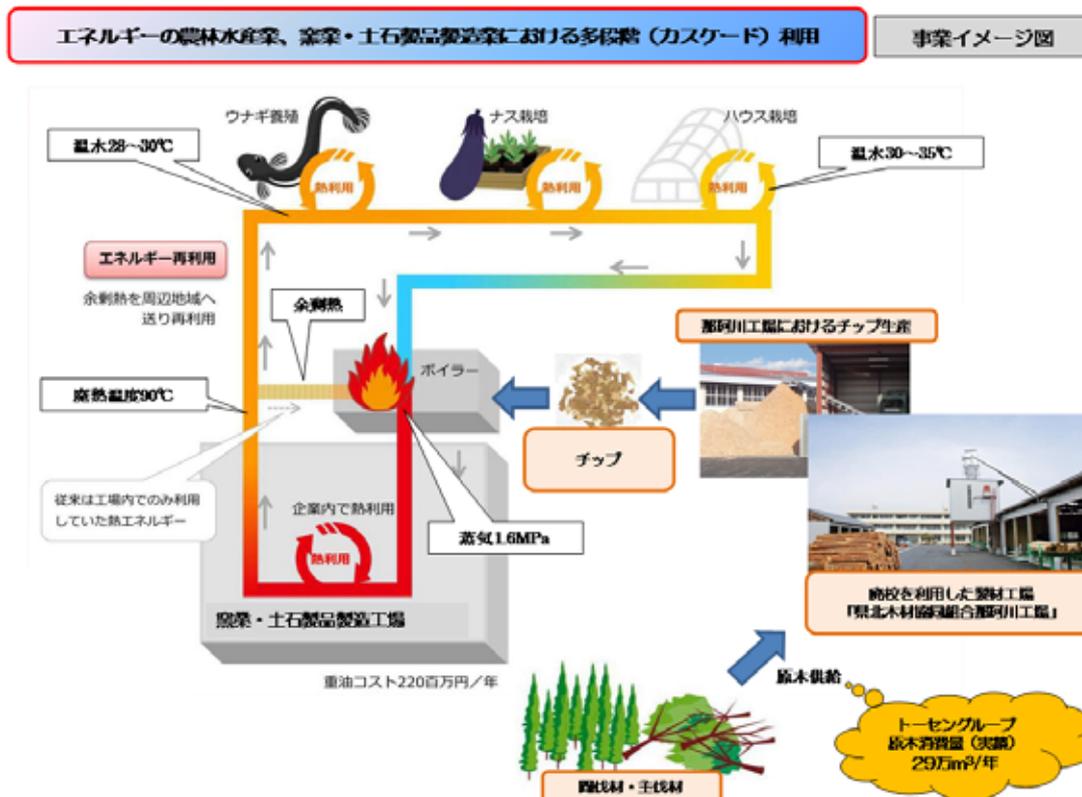
でも大きく寄与できるバイオマス利用システムを目指す。

### 熱供給事業による地域木質資源の需要拡大・活用促進

地域内で大規模なバイオマスエネルギー需要ができることで、木材の付加価値向上が期待される。森林資源の活用による林業活性化は、国内の重要な課題となっており、様々な地域で取り組みが進められている。エネルギー需要の創出による資源活用の促進が期待されているが、エネルギーを利用するための設備導入がひとつの障壁になっている。本事業では、エネルギー利用者が設備導入するのではなく、エネルギー供給事業者が熱エネルギーを供給するスキームを構築することで、需要側のバイオマス利用の障壁を下げ、需要を拡大し、森林資源利用量を向上させる。

### 農林水産業と窯業・土石製品製造業の連携による6次産業化、地域産業創出

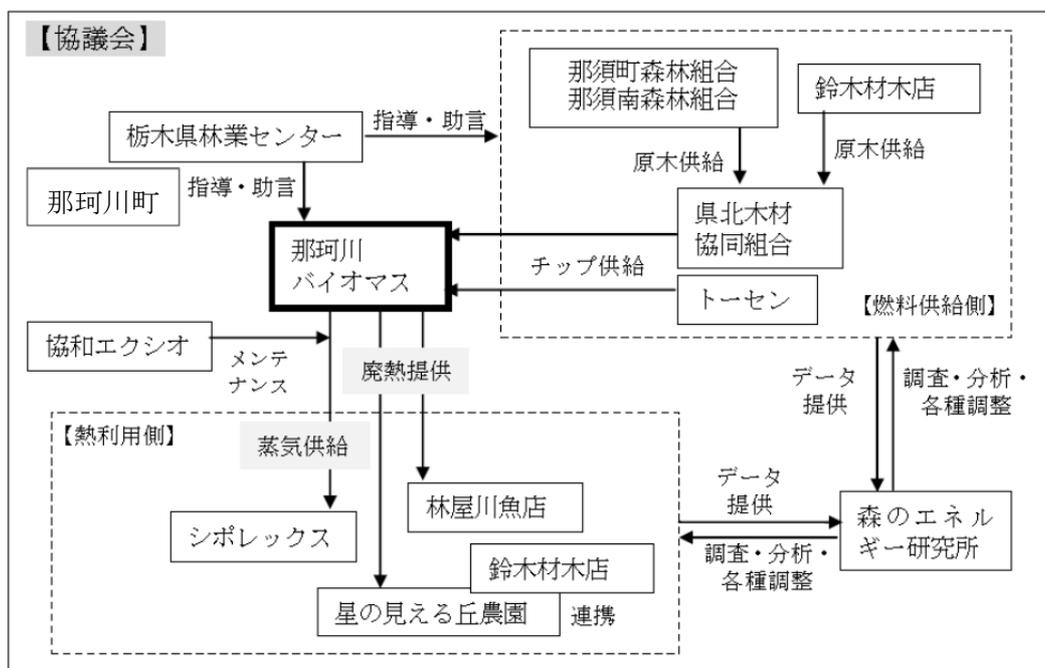
一次産業である林業からの資源を二次産業である窯業・土石製品製造業の熱源として活用し、窯業・土石製品製造業で利用したエネルギーの一部を一次産業である農林水産業で利用する「エネルギー利用の異業種連携・多段階利用体制」を構築し、高付加価値農産物等を製造・販売する。大規模な熱供給の一部を低価格で供給することで農業利用者側の燃料費削減となり、農林水産業における新規事業展開の障壁を下げ、地域での新たな産業創出・雇用創出を目指す。



図表 1-1 木質バイオマスエネルギー多段階利用 事業イメージ図

## 2. 地域協議会の設置

本事業では、原料供給から熱利用までの事業に関わる事業者を構成員とする地域協議会を設置した。事業体制図を図表 2-1、構成員を図表 2-2 に示す。



図表 2-1 地域協議会の体制図

図表 2-2 地域協議会構成員

構成員	役割	備考
株式会社那珂川バイオマス	熱供給	
住友金属鉱山シポレックス株式会社	熱利用	
那須南森林組合	原木供給	
那須町森林組合	原木供給	
鈴木材木店	原木供給、熱利用	
県北木材協同組合	原木調達、チップ供給	
株式会社トーセン	原木調達、チップ供給	
株式会社協和エクシオ	熱供給設備整備	
林屋川魚店	熱利用事業者（予定）	
星の見える丘農園	熱利用事業者	
株式会社森のエネルギー研究所	調査、分析、各種調整	
栃木県林業センター	事業指導・助言	オブザーバー
那珂川町	協力	オブザーバー

### 3. 今年度の事業概要

今年度の実施内容は下記 4 項目である。

#### ➤ チップボイラ導入（施工）

実証運用のためのチップボイラ導入について、工事を進める。平成 27 年度の工事内容は需要側との配管接続や電気工事である。

#### ➤ チップボイラ導入施設周辺エリアの熱利用施設整備

チップボイラを導入する松野地区において、マンゴーや野菜等の栽培ハウスで熱供給実証を行うため、熱供給配管等の整備を行う。

#### ➤ 低質材調達から蒸気供給まで一連の実証運用

低質材調達から蒸気・温水の供給まで一連の運用を行い、課題整理と改善方策について検討し、本モデルの事業スキームを構築する。

##### (1) 需要側における化石燃料ボイラとの接続調整

チップボイラからの蒸気供給量を最大化するため、需要側での蒸気受入量の調整を行う。

##### (2) 熱供給事業の運用試験実施

チップボイラによる蒸気・熱供給に係る一連の運用を行い、熱供給事業の各種計画の検証や取引条件の見直し、運用課題の整理等を行い、対応策を検討する。

##### 【検証内容】

- (a) 燃料調達（燃料調達コスト、コスト低減化等）
- (b) チップボイラ運用（チップ消費量、灰発生量等）
- (c) エネルギー供給  
（蒸気・温水供給量、ランニングコスト、運用面の課題等）
- (d) 環境影響評価（CO<sub>2</sub>削減量、LCA 評価）

##### (3) 熱供給事業スキームの構築

平成 25 年度から 27 年度の 3 カ年における各種試験や計画検討、実証運用を踏まえ、那珂川地域における熱供給事業スキームを構築する。

## 4. チップボイラ導入（施工）

### 4.1 チップボイラ仕様

設備の基本事項として使用燃料の条件を図表 4-1、需要条件から選定したチップボイラの仕様を図表 4-2 に示す。

図表 4-1 使用燃料条件

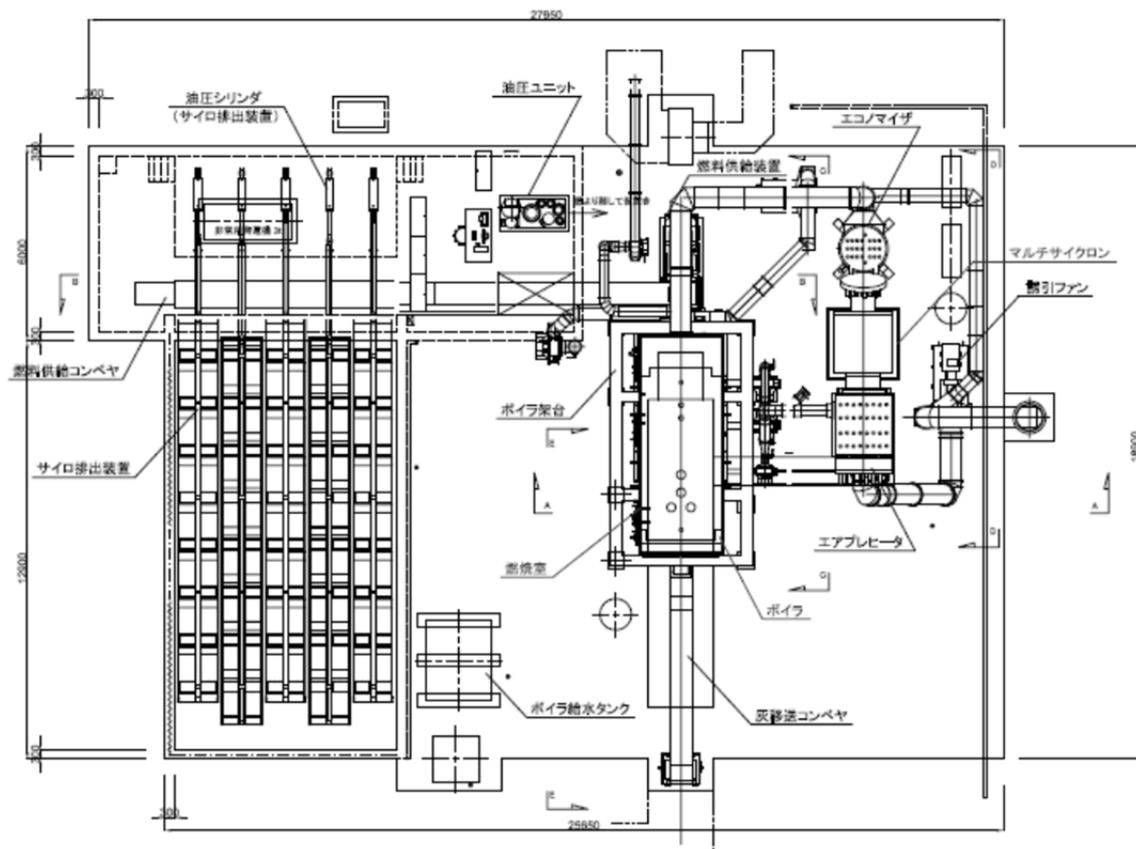
項目	仕様
原料	木質チップ
寸法	最大 60mm×60mm×60mm
水分	50%WB
かさ比重	0.3t/m <sup>3</sup>

図表 4-2 チップボイラ仕様

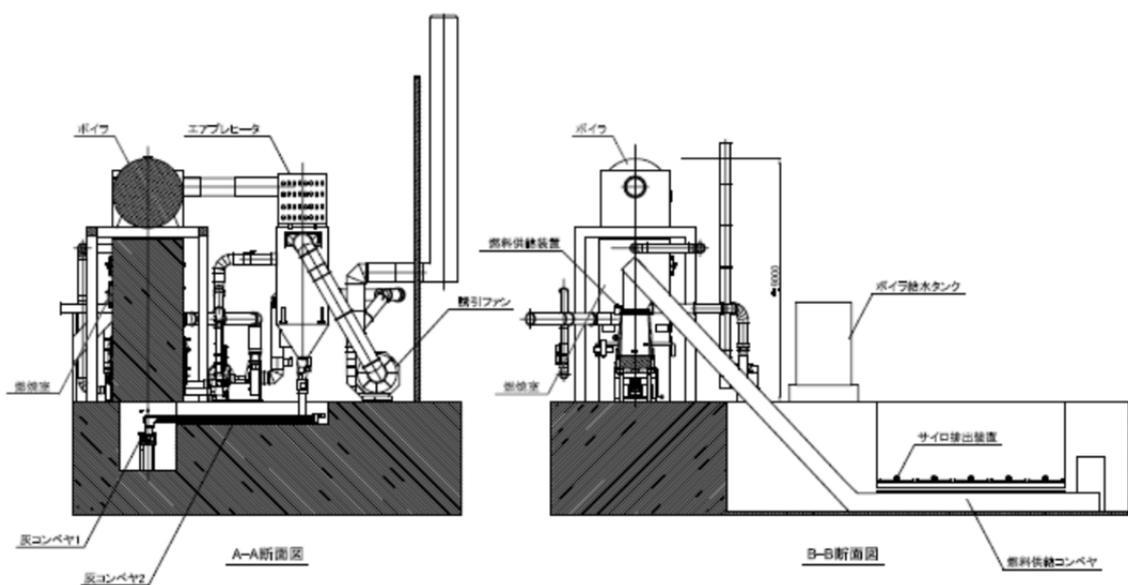
項目	仕様	備考
定格出力	4,000kW	Polytechnik 社製
換算蒸発量	約 6t/h	
安全弁噴出し圧	2.0MPa	
運転時間	24h/日	
運転日数	290 日/年	主要需要先の稼働日数
電源	動力：3φ×3W×200V×50Hz 計装：1φ×2W×100V×50Hz	

### 4.2 機器配置

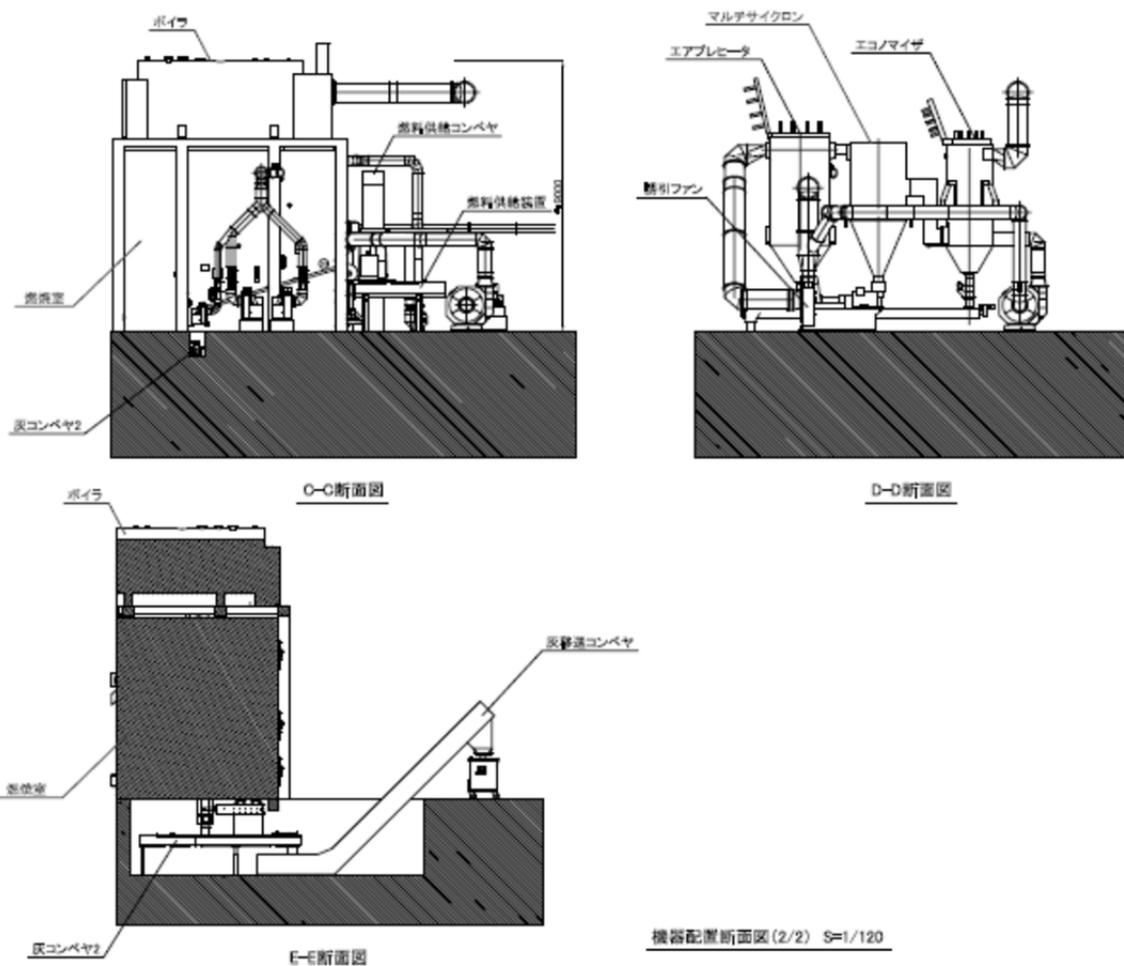
機器配置平面図を図表 4-3、機器配置断面図を図表 4-4、図表 4-5 に示す。当初は熱供給先が少ないため温水タンクは設けず、今後熱供給先が確保できた段階で設置することとした。温水による熱供給はボイラ給水タンクから行うものとする。（今後の需要拡大に伴い、将来的には貯湯タンクを導入することも計画している）



図表 4-3 機器配置平面図



図表 4-4 機器配置断面図



図表 4-5 機器配置断面図

### 4.3 今年度の実施状況

チップボイラ導入工事は平成 26 年 9 月 1 日に着工し、昨年度までに建屋建設とボイラ据付・配管工事の途中まで完了した。今年度は残りの配管工事、電気工事、試運転を行った。

工事終了後、6 月 20 日から試運転を開始したが、途中で煙が大量発生したことにより、原因追及と地域住民等への説明のため試運転を一時中断した。煙発生 の 主 な 原 因 と し て は、チ ッ プ の 水 分 が 多 か っ た こ と に よ る 炉 内 温 度 の 急 激 な 低 下 と、夜間のトラブルだったため対応が遅れたことが挙げられる。原因追及と地域住民の理解を得ることに時間を要したが、10 月 13 日から試運転を再開し、10 月末に試運転完了、11 月より実証試験を開始した。



図表 4-6 チップボイラ設置現場（建屋内）



図表 4-7 チップボイラ設置現場（建屋外観と蒸気配管）



図表 4-8 試運転期間に問題となった煙の状況

#### 4.4 課題

試運転トラブルの大きな原因はチップの水分であるため、今後トラブルが起こらないためには水分の低減化が求められる。しかしながら、大規模製材工場では製材ラインにチップ化処理工程を組み込んでいるため、生材を挽く工程では高水分のチップとなってしまう、ボイラ側の条件を満たすことは非常に難しい。水分の低減化については初年度に脱水装置の検討も行ったが、本事業の規模では採算性を確保することは難しいという結果となっており、他の方法を検討する必要がある。

試運転再開時には、乾燥材を挽く工場からある程度乾燥したチップを調達し、乾燥チップでボイラの立ち上げ運転を行った。定常運転時には水分の高いチップと乾燥チップを混合して使うなど運用方法を工夫することで対応した。

### 5. チップボイラ導入施設周辺エリアの熱利用施設整備

チップボイラを導入する松野地区において、マンゴーや野菜等の栽培ハウスで熱供給実証を行うため、熱交換器や熱供給配管等の施設整備を行った。

#### 5.1 熱利用構想

昨年度、チップボイラ導入周辺エリア（松野地区）での農業熱利用に関して、熱利用予定事業者を中心に将来構想（図表 5-1）を策定した。木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域として、バイオマス熱利用による作物栽培にとどまらず、直売所やイベントスペースなどを設けて地域の新たな観光エリアを目指した構想イメージとした。直売所や足湯等、作物栽培以外の熱利用施設整備も今後検討したいと考えている。



図表 5-1 熱利用構想図 (将来イメージ)

## 5.2 熱利用施設整備

チップボイラ設置場所の南側に、マンゴーハウス1棟と野菜ハウス2棟を建設した。ハウスの外観を図表 5-2、各ハウスの栽培条件や栽培状況を図表 5-3 に示す。

熱供給フローは図表 5-4 の通りである。熱供給事業者側の熱供給設備として、熱交換器、温水供給配管、積算熱量計等を整備した。ボイラ用水は pH が高いため、直接利用ではなく熱交換することとした。熱利用者側の設備として、ハウス内温水配管、熱交換機(グリーンソーラ)を整備した。設備整備状況を図表 5-5～図表 5-9 に示す。

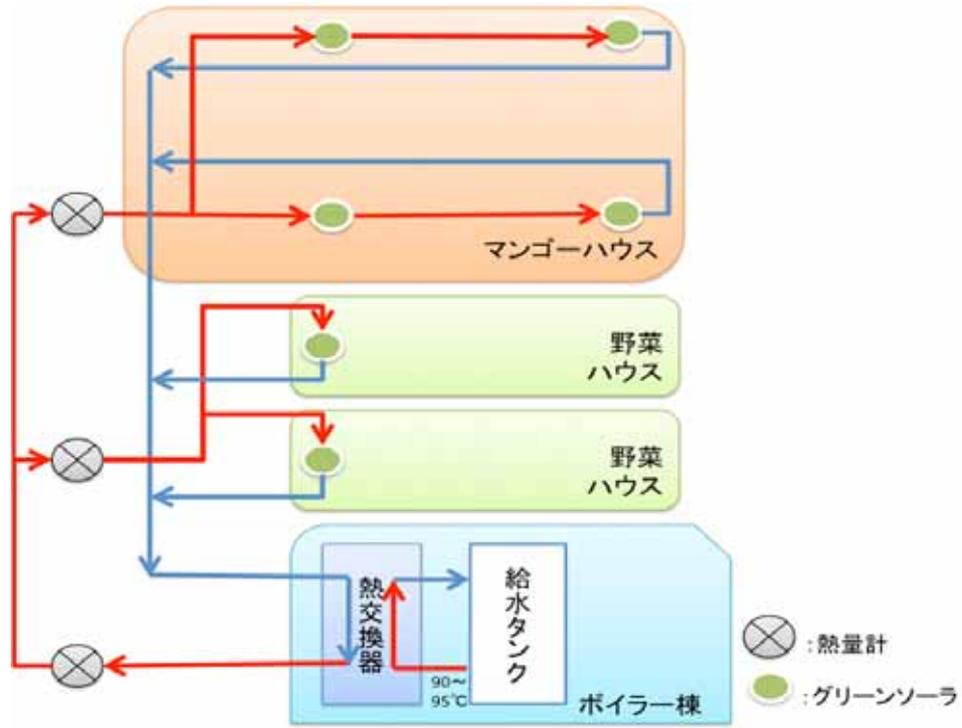
平成 28 年 1 月 16 日より温水供給を開始し、熱供給量や熱使用量、ハウス内外の温度の計測を行った。



図表 5-2 農業ハウス外観(左:野菜ハウス2棟/右:マンゴーハウス1棟)

図表 5-3 各ハウスの概要と栽培条件

	マンゴーハウス	野菜ハウス
ハウス面積	32m×28m	5.5m×35m×2棟
栽培品目	アップルマンゴー	ナス
栽培本数	50本	100本×2棟
暖房設備	グリーンソーラ4基	グリーンソーラ1基×2棟
バックアップ設備	灯油焚温風機116kW	灯油ストーブ各3台
ハウス内温度設定	12月:8～9℃、1月:12～20℃ 2月中旬頃から25℃、3月中旬以降 20℃程度	15℃



図表 5-4 農業ハウスへの熱供給フロー



図表 5-5 温水供給配管整備状況



図表 5-6 熱量計表示盤



図表 5-7 温水から温風に熱交換する装置（グリーンソーラ）



図表 5-8 マンゴーハウス内とマンゴー生育状況



図表 5-9 野菜ハウス内とナス生育状況

### 5.3 課題

本事業では、熱供給先として蒸気供給が主となり、農業ハウスへの温水供給は蒸気供給計画に左右されるため、年末年始のボイラ停止期間にバックアップ体制を準備する必要がある。ただし、現時点では温水利用量が少なく、熱供給事業者側でのバックアップ設備への投資は難しいと判断したため、利用者側の負担で各ハウスにバックアップ設備の設置をお願いした。そのため、利用者側の負担感が大きく、今後の利用者拡大のマイナス要素になると考えられる。

また、積算熱量計の設置の際には電源が必要となるが、電気事業者（東京電力）が定める供給約款によると、「1 需要家に電気を供給する引込線の回線数は、同一電気方式に対して 1 とすること（1 敷地 1 引込）」とある。つまり、熱供給事業者の敷地外では、同名義で電気事業者（東京電力）と供給契約が出来ない事から、今後、熱利用施設が拡大した際には課題となる。

## 6. 低質材調達から蒸気供給まで一連の実証運用

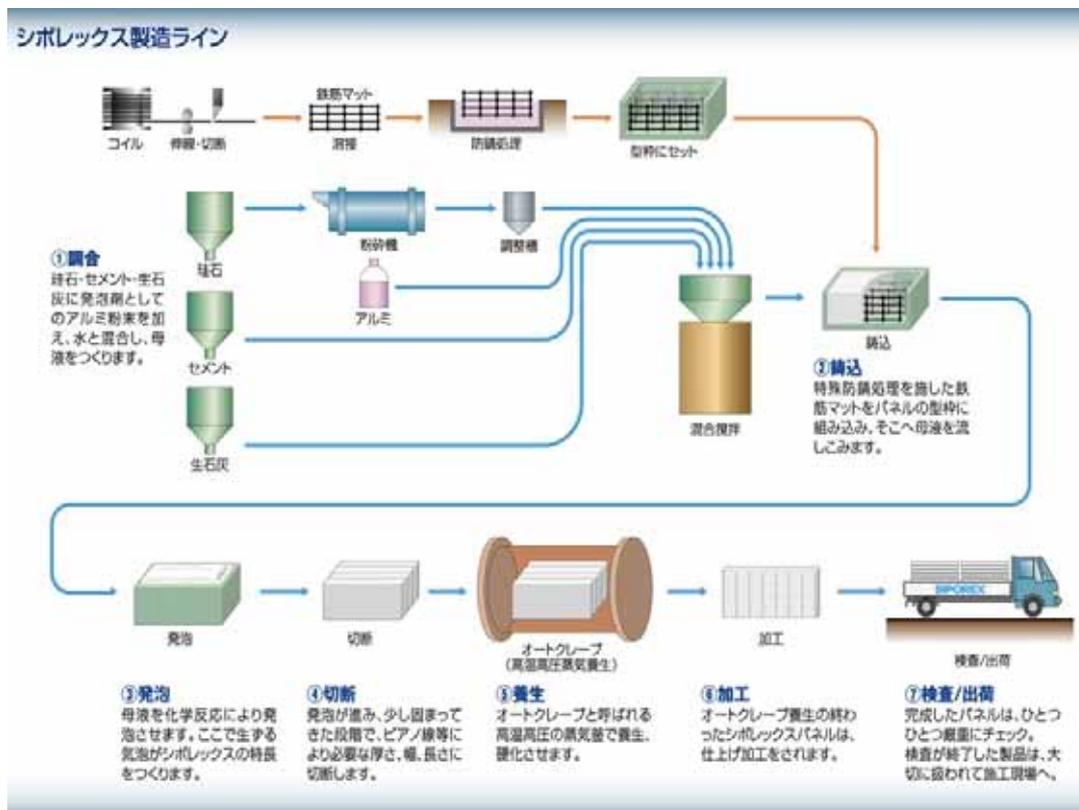
低質材調達から蒸気・温水の供給まで一連の運用を行い、課題整理と改善方策について検討した。

### 6.1 需要側における化石燃料ボイラとの接続調整

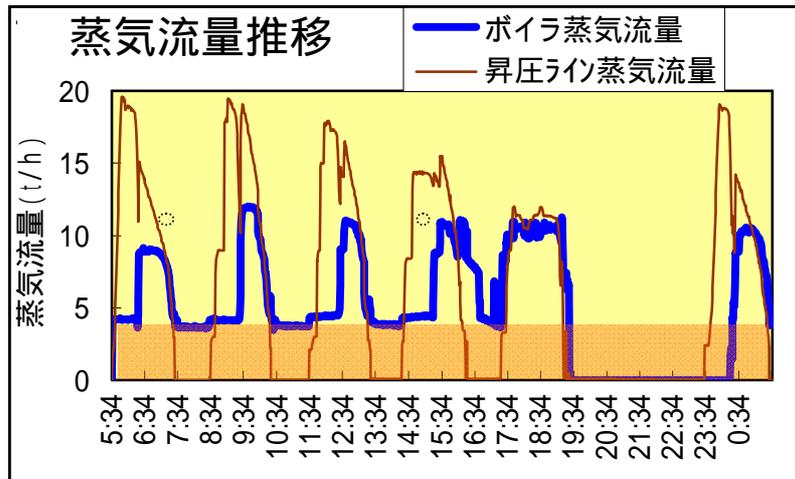
#### 6.1.1 需要側の概要

チップボイラの蒸気供給先では、製造工程の養生段階にて ALC の硬化反応の為に大量の蒸気（温度・圧力）を消費している。需要側の製造ラインを図表 6-1 に示す。

需要側では、昨年度までの実績では年間 43,000t の蒸気を使用しており、蒸気圧力タンク（アキュムレーター）に供給する蒸気のベース需要を 6 割程度バイオマスからの蒸気で賄う計画であった。需要側の蒸気流量推移を図表 6-2 に示す。需要側で併用する重油ボイラは更新のため、昨年 2 月から 3 月にかけて設置工事が行われ、新規ボイラでの蒸気受入可能量を算定したところ、需要側からは 25,800t/年という数字が提示された。しかしながら、重油ボイラを更新したことによる省エネ効果と操業状況の変化により、直近の総蒸気使用量は年間 41,000t（予想）に減少した。



図表 6-1 需要側の製造ラインと蒸気利用工程（養生）



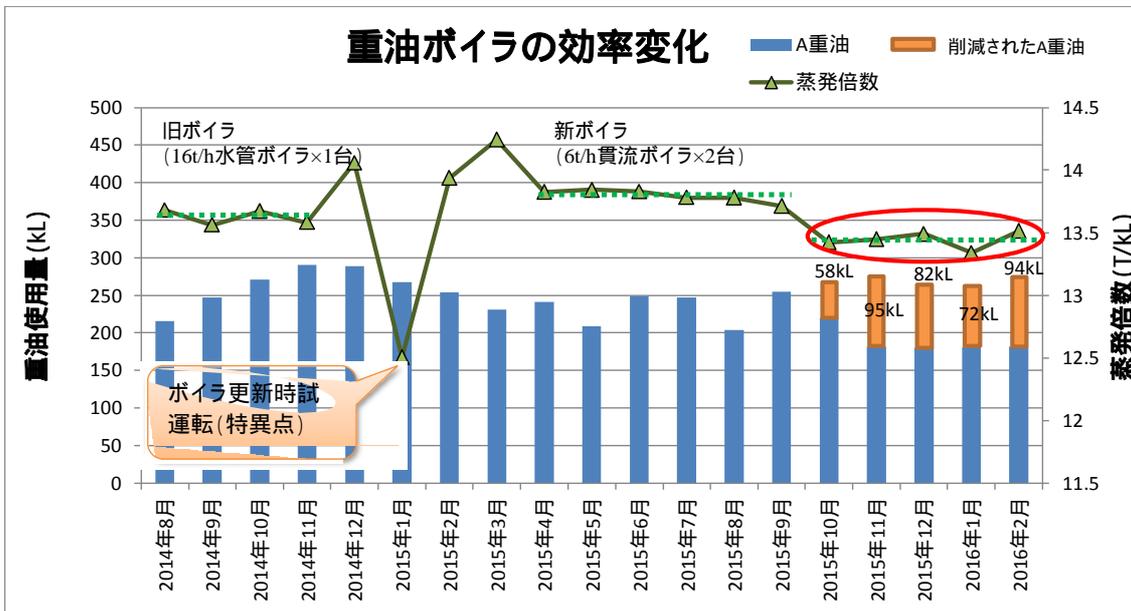
図表 6-2 需要側の蒸気流量推移

### 6.1.2 接続調整結果

今年度の実証事項として、チップボイラからの蒸気供給量を最大化するため、需要側での蒸気受入量の調整を行った。利用者側蒸気ヘッダーにて、圧力 1.26MPaG 以上の飽和蒸気とすることが蒸気受入条件であったが、実証運用の結果、条件は満たしていることが確認された。大きな課題はなく、操業利用できている。蒸気受入可能量については、通常連続バッチ（3 時間間隔の養生サイクル）であれば、冬季のバイオマスへの転換量は計画よりも大きい 4.5t/h 程度の受入が可能と予想され、5t/h の受入も実現性が高いと考えられるとのことである。ただし、オートクレープ養生のバッチ間隔が長くなる時間帯（現状では 6 時～11 時の 4 時間程度で養生がない＝蒸気需要がない）では 2t/h まで落とさなければ受入不可となる可能性が大きいと予想される。

### 6.1.3 課題

課題としては、長期停止後の再稼働時にドレン水にサビが多く製品への着色トラブルがあったことと、バイオマスボイラからの供給蒸気量が少ない場合に併用している重油ボイラの効率低下があったことが挙げられる。重油ボイラの効率低下については図表 6-3 の通りである。実証期間中は蒸気供給量が 2t/h であったため、このような結果となっている。単発的に実施した蒸気 4t/h 試験の結果、重油ボイラは 1 台のみで操業可能であったため、このような効率低下は改善されると考えられる。また、ボイラで使用する給水は蒸気利用側から供給されているが、蒸気供給時のドレン水量が想定より多くドレン率 1.5%と判明したため、蒸気利用側ではコストインパクトを懸念している。



図表 6-3 蒸気利用側の重油ボイラの効率変化

## 6.2 熱供給事業の運用試験

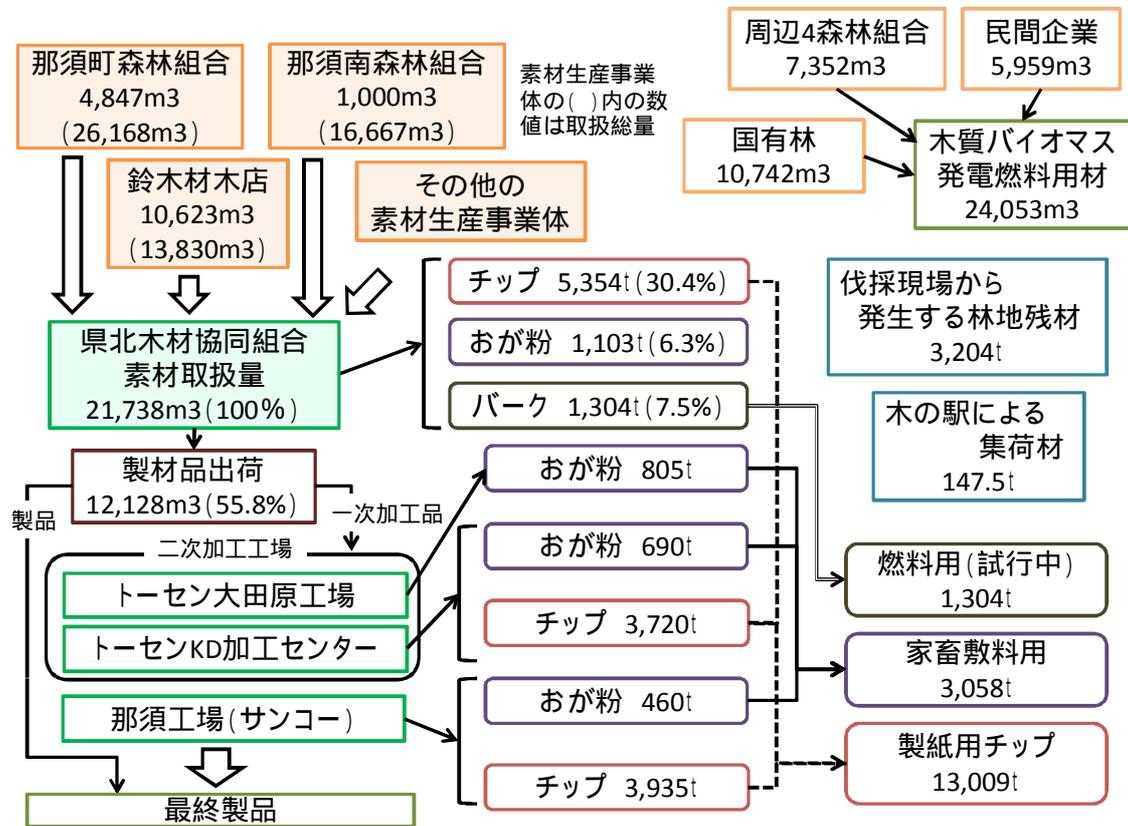
### 6.2.1 燃料調達

#### (1) 本地域の木材流通状況とバイオマス利用可能量

栃木県は年間の素材生産量が 46 万m<sup>3</sup>と関東では最も生産量の大きい林業の先進地域である。その中でも本事業対象地である那珂川町周辺は木材の生産、加工共に盛んな林業地域である。本事業の構成員でもある那須町森林組合、那須南森林組合、鈴木材木店も素材生産を実施しており、那珂川バイオマスへ供給されるチップの原料を生産している。

その実態を把握するため、本事業の初年度に那珂川バイオマスへの燃料供給を行う県北木材協同組合周辺の木材流通に関して明らかにし、昨年度の調査では林地残材の発生割合を調査することによって森林バイオマスの発生量を明らかにした。那珂川バイオマス周辺の木質バイオマス流通状況は図表 6-5 の通りである。調査の結果、枝葉以外の森林バイオマス、木の駅による集荷、燃料用、家畜敷料用、製紙用の材が合わせて 20,723t/年発生していることがわかった。加えて、森林バイオマスとしての枝葉の発生量が 8,260t/年発生していると推定された。既存の供給先がある家畜敷料用と製紙用を除外すると、12,916t/年のバイオマスに利用可能な材が発生していると考えられる。これはチップボイラの年間必要燃料量 11,000t/年を上回っており、計算上は十分な量が収集可能であることが示唆された。しかし、昨年度の調査では枝葉の燃料利用は土の混入や収集の困難さから容易でないとされており、実際にはその他の燃料も使用する必要があると考えられる。

こうした課題に対し、将来的な燃料の安定供給体制を構築するため、本年度は低コストな林業生産とこれまで使用されていなかった広葉樹の使用についても取り組んだ。



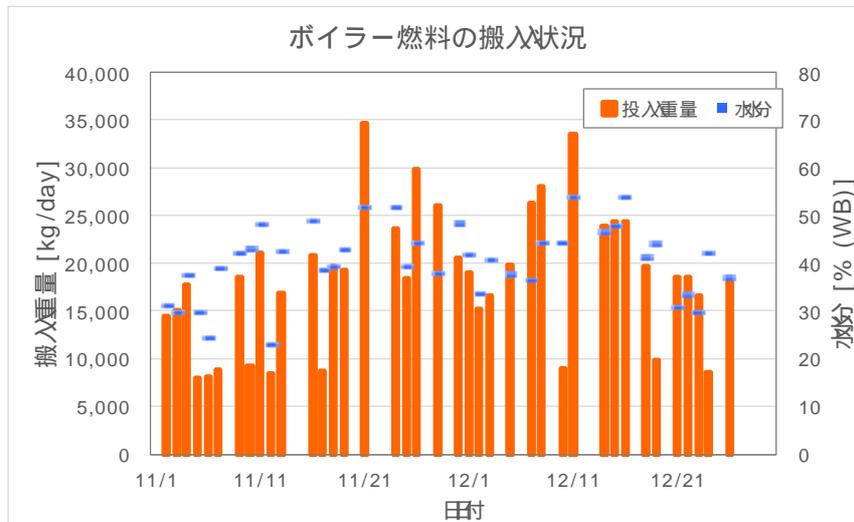
図表 6-4 那珂川バイオマス周辺の木質バイオマス流通フロー

## (2) 燃料使用量

燃料使用状況を図表 6-5、図表 6-6 に示す。チップ使用量は 280～400t/月となっているが、なるべく乾燥したチップを用いるため調達状況により水分が大きく異なる。全体量を計画値と比較するため水分 50%WB に換算すると、4ヶ月で約 1,700t となる。昨年度までの計画値としては、水分 60%WB 以下で 11,000t/年 (約 900t/月) としていたが、月平均で見ると計画値の 5 割弱であった。試運転期間に煙の問題が発生したため、なるべく低水分のチップを使用することとしたが乾燥チップは十分な量が調達できないことと、煙のトラブルによる地域住民との協議が続いていたため安全側で運転する必要があり、高水分チップを使う量を抑えていたことから、実証期間中は蒸気供給量を計画の 4t/h ではなく 2t/h として運用しており、燃料消費量も半分程度になったと考えられる。

図表 6-5 燃料使用量（実証試験期間）

	チップ使用量 (到着ベース)	チップ使用量 (水分50%換算)	到着時水分
11月	約369t	約429t	22~ 54%WB
12月	約349t	約409t	27~ 54%WB
1月	約281t	約349t	16~ 54%WB
2月	約402t	約522t	14~ 55%WB
合計	1,401t	1,709t	—
平均	350t	427t	—



図表 6-6 チップ使用量と水分のばらつき

### (3) チップ単価

水分のばらつきが大きいため、水分に応じて価格を変動させることとなった。チップ購入単価は図表 6-7 の通りである。

図表 6-7 チップ単価設定

チップ水分	チップ単価
45～55%WB	7,000 円/t
35～45%WB	9,000 円/t
25～35%WB	11,000 円/t
25%以下	13,000 円/t

### (4) 将来計画検討

燃料供給に関して、過去 2 年間では周辺地域で流通している木質バイオマスの量を把握し、林地残材の利用等を検討してきた。一方で、本事業で導入したチップボイラへは 11,000t/年程度の燃料用チ

ップを供給する必要がある。この燃料を安定調達するためには、カスケード利用の上段となる製材用の安定調達も含めて考える必要があり、持続可能な資源利用のためには材の供給側の低コスト化も重要な課題である。そこで、那須町森林組合では造林コスト低減を図ることで林業生産全体の低コスト化を図るべく、素材生産と地拵え・植栽を一括して行うことによる低コスト化に関して実証試験を実施した。また、那須南森林組合では周辺地域で一定の資源量を有する広葉樹資源の利用について経済性の面から検討した。

#### 一貫型施業に関する実証試験（那須町森林組合）

拡大造林期に植栽されたスギやヒノキは伐期に達しており、これまでの利用間伐による木材生産だけでなく、皆伐による木材の収穫が必要になってきている。実際に栃木県内では皆伐生産が推進されており、那須町森林組合では県内でも先駆的に皆伐事業を実施している。それに伴って、課題となっているのが造林コストである。林分は皆伐後、植栽を行い、再造林する必要がある。しかし、木材価格の低迷により、十分な木材の販売収益があげられず、再造林のコストが捻出できないという事態が発生している。そこで、那須町森林組合では近年注目されるコンテナ苗を用いて皆伐から地拵え、植栽までを一貫して行う作業システムで造林コストの低減を目的に試験を行った。従前の素材生産では水分が少なく伐採に適した冬季に皆伐を行い、苗木の活着が良い春季に地拵え・植栽を行う。しかし、近年研究されているコンテナ苗は苗木の根が張った状態で植栽できるため植栽時期を問わない。そのため、冬季の皆伐後、林地に重機がある状態で地拵えを行うことで、本来重機を回送して行う必要がある春季の地拵えの機械回送費用をなくすことができ、効率的だと考えられている。本試験では通常の素材生産作業（以下、従来型施業）とコンテナ苗を用いた植栽までを一貫して行う施業（以下、一貫型施業）とでコストの違いを比較するため、それぞれのデータを用いて検証を行った。

試験の概要を図表 6-8～図表 6-10 に示す。なお、素材生産コストには路網開設費用や山土場からの運賃は考慮していない。

図表 6-8 那須町森林組合試験結果概要

	本年度結果
調査地	那須町伊王野
対象面積	約 0.2ha
樹種	スギ
伐採方法	皆伐
作業システム	チェーンソー伐倒→グラップル集材→プロセッサ造材→フォワーダ搬出
素材生産量	50.9m <sup>3</sup>
素材生産コスト	1,970 円/m <sup>3</sup>



※赤線内部が今回の伐採区画

図表 6-9 試験地（那須町森林組合）



図表 6-10 左：造材・極積み作業、右：積み込み・小運搬作業

地拵え、植栽のコストに関しては那須町森林組合保有のデータを用いて分析した。従前から使用されている裸苗については図表 6-11 に、コンテナ苗については図表 6-12 に植栽にかかるコストを示す。裸苗の植付費用は 68.3 円/本で、3,000 本/ha で植栽した場合には 204,900 円/ha のコストがかかる。一方、コンテナ苗の植付費用は 53.9 円/本で、3,000 本/ha で植栽した場合には 161,700 円/ha のコストがかかる結果となった。回送コストについては、那須町森林組合では回送車を保有しており、現場ごとに自社で回送を行っている。回送車は中古車を購入し、改造を行って使用しており、改造費を含めた回送車の購入費用は 5,663,360 円であった。

これを基に回送車を1回使用する場合のコストは 103,180 円/回と算出された。

図表 6-11 裸苗を用いた場合の植栽コスト

		スギ苗植付	30,000	本の場合		
		根バタキ苗 (45cm)				
運搬	1日	64,800	=	64,800	10トン車	10t車 (1台 30,000本)
技能職員 (苗木引き取り)	2人	16,900	=	33,800	技能職員	2人/日 × 1.0日 (小山苗畑～植付地)
仮植	15人	16,900	=	253,500	技能職員	1人/日 × 2,000本
仮植地	1カ所	6,000	=	6,000	苗畑所有者へ	
植付	100人	16,900	=	1,690,000	技能職員	1人/日 × 300本植付
		費用計		2,048,100		
		1本当たり植付費用		68.270		

図表 6-12 コンテナ苗を用いた場合のコスト

		スギ苗植付	30,000	本の場合		
		コンテナ苗 (150cc)				
運搬	3台	37,800	=	113,400	5トン車	5t車 (1台 10,000本)
技能職員 (苗木引き取り)	3人	16,900	=	50,700	技能職員	1人/日 × 3.0日 (小山苗畑～植付地)
仮植	0人	0	=	0	技能職員	1人/日 × 0本
仮植地	0カ所	0	=	0	苗畑所有者へ	
植付	86人	16,900	=	1,453,400	技能職員	1人/日 × 350本植付
		費用計		1,617,500		
		1本当たり植付費用		53.917		

各コスト試算結果を基に行った従来型施業と一貫型施業の比較を図表 6-13 に示す。従来型施業に比べ、一貫型施業の方が 146,380 円/ha コストを削減できるという結果となった。さらに、那須町森林組

合では今年度から本格的にコンテナ苗を導入しており、作業に十分慣れていないため、今後、植栽技術の向上とともにさらに効率的な作業ができると考えられる。

図表 6-13 従前型施業と一貫型施業の比較

	従来型施業	一貫型施業
素材生産コスト	501,225 円/ha	501,225 円/ha
植栽コスト	204,900 円/ha	161,700 円/ha
回送コスト	103,180 円/回	
トータルコスト	<b>809,305 円/ha</b>	<b>662,925 円/ha</b>

※素材生産コストは本年度計測した素材生産コストを 1ha あたりに換算

※路網開設コストや原木運搬コストは含まれていない

#### 広葉樹資源の利用に関する実証試験（那須南森林組合）

那須町森林組合の試験では拡大造林に由来する資源の充実に対して針葉樹資源をいかに活用するかに関心をもち、試験を実施した。那珂川地域もスギ・ヒノキの針葉樹資源が多いが、周辺地域では広葉樹資源も充実しており、今後の利用の可能性もあると考えられる。これは全国的にみられる傾向であり、管理不十分な針葉樹が問題視されがちであるが、広葉樹資源も充実している一方で、その活用についてはほとんど議論がなされていない。そこで、那須南森林組合では広葉樹を対象とした作業での生産性を明らかにすることで広葉樹資源が経済的に利用可能かを検討した。（素材生産コストには路網開設費や、山土場からの運搬費用は含まない）

その結果、広葉樹を対象にした施業でも生産コストは針葉樹並みの生産コストで伐出できた。ただし、今回の試験で比較した平成 26 年度の試験は枝葉を収集するために本来の間伐作業以外の作業が多く発生し高コストになっているため、あくまでも参考値である。

図表 6-14 調査概要と結果

	平成 26 年度	平成 27 年度結果
調査地	那須烏山市大澤	那珂川町健武
対象面積	0.11ha	0.22ha
樹種	ヒノキ	広葉樹 (コナラ、ソネ、アカマツ等)
伐採方法	定性間伐	定性間伐
作業システム	チェーンソー伐倒→グラップル 集材→プロセッサ造材→フォワーダ搬出	チェーンソー伐倒→グラップル 集材→チェーンソー造材→フ ォワーダ搬出
素材生産量	8.0m <sup>3</sup>	11.1m <sup>3</sup>
素材生産コスト	8,492 円/m <sup>3</sup>	7,520 円/m <sup>3</sup>



図表 6-15 左：試験地、右：造材・積み込み作業状況

## 6.2.2 チップボイラ運用

### (1) チップ運搬

チップは、10t 車で 1 日 1～3 回運搬している。運搬は他の製材工場間の運搬と同じ車両を使用しているため、1 日の運搬回数やタイミングは他工場との調整によって異なる。チップサイロへの投入作業は 1 回あたり 30 分程度であり、受入側で 1 名立ち合う体制となっている。チップ受入時に水分を測定している。チップ受け入れは近隣住民への配慮から通勤時間帯を避け、また、夜間および休日は受入なしとした。実証期間中は蒸気供給量を計画の半分としていたため、計画量の蒸気を送るためにはチップ消費量もおおよそ倍となることが予想されるため、運搬計画も見直す必要がある。



図表 6-16 燃料サイロへのチップ供給の様子

### (2) 灰処理

灰の発生量は、12 月 24 日から 2 月末までで約 1.9t であった。灰の発生量は計画段階では灰分 1%、チップ消費量 11,000t/年から年間 110t と推計していたが、現在までの数字から算定すると灰

の発生比率は 0.4%程度となっている。

灰は図表 6-17 のコンテナに自動排出される仕組みとなっており、コンテナ内にはフレコンバッグを装着し、灰がある程度貯まったところでフレコンバッグを交換する。フレコンバッグの交換作業は 1 回あたり約 30 分を要している。作業の様子を図表 6-18 に示す。作業は 2 名で行っており、交換時に接続部分から灰は飛散するため作業員の健康面での影響が懸念される。

灰の処理コストは業者からの見積りより、図表 6-19 のとおりである。灰の運搬は、1 回あたりフレコンバッグ 24 袋が業者からの条件であり、試運転を含む実証運用期間 4 ヶ月では 3 袋であった。燃料消費量が倍になる予定のため、1 年に 1 回程度の運搬になると予想される。



図表 6-17 左：灰コンテナ、右：灰



図表 6-18 灰コンテナ交換作業

図表 6-19 灰処理に関する項目とコスト算定

項目	数値	備考
灰処理単価	34,500 円/t	
運搬費	70,000 円/台	
灰発生割合	0.4%	※ドライベース ※12月24日～2月末までのチップ消費量872t (水分50%WB)、灰発生量1,923kgから算定
灰発生量	49t/年	※年間チップ使用量11,000tとして算定
回数	1回	※1年に1回想定
灰処理コスト	1,760,500 円	

### (3) ボイラ運転管理

ボイラ運転管理については、蒸気利用者側では既存の重油ボイラの運転管理を行っているため、委託する方が合理的と考え蒸気利用者側に委託する計画であった。しかしながら、試運転期間中に煙の問題などが発生し、バイオマスボイラの対応は難しいと判断され、熱供給者側で管理することとした。

### (4) その他運用コスト

試運転期間も含むが、2月末までに薬剤や油などの消耗品類は約60万円のコストがかかっている。ユーティリティは、電気代が約140万円かかっている。ボイラ給水は蒸気利用者側から供給されるため、その部分の費用負担はない。

## 6.2.3 エネルギー供給

### (1) 蒸気供給

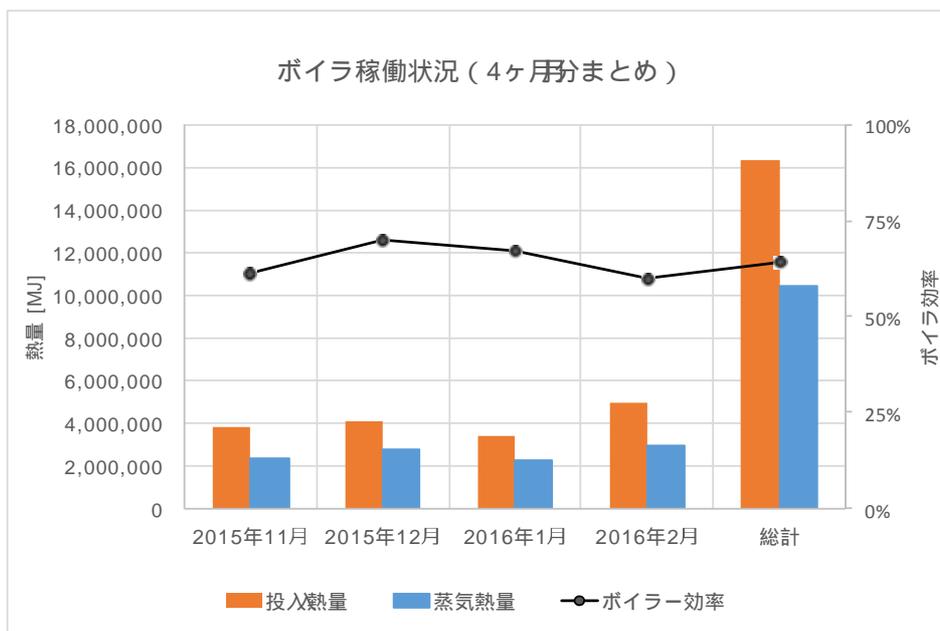
実証試験期間中の蒸気供給量を図表 6-20 に示す。1月は年始休業があったため稼働日数が少なく供給量も少なくなっているが、毎月1,200t前後の供給量となった。実証試験期間中は計画量の半分の蒸気供給量2t/hだったため、フル稼働できればおよそ倍の供給量になる。

月別の蒸気供給量とボイラ効率を図表 6-21 に示す。燃料投入量に対する供給蒸気熱量をもとに、ボイラ効率を算定した。サイロへの燃料投入量はトラック毎に記録をしたが、サイロが大きいためサイロ内に投入されてから炉内に入るまでタイムラグが発生する。そのため、ひと月にまとめてインプットとアウトプットを整理した。その結果、ボイラ効率は60～70%となった。時間毎の蒸気供給量のデータは記録されているため、1日の時間毎のインプットとアウトプットについても検証を行った。インプットについては、ボイラ投入直前のラインからチップを採取し、水分を測定して熱量を算定した。算定の考え方を図表 6-22 に示す。蒸気供給量2t/h時の測定結果を図表 6-23、蒸気供給量4t/h時の測定結果を図表 6-24 に示す。蒸気供給量2t/h時のボイラ効率は70%前後、蒸

気供給量 4t/h 時のボイラ効率は 85%前後という結果となった。負荷が小さい状態でボイラ効率 70%というのは高めの結果となっており、原因としては時間毎の燃料投入量は実測できないため、燃料投入量の算定による誤差が考えられる。そのため、効率の数値は参考値として考えた方が良さだろう。蒸気供給量 4t/h と比較すると、供給量が増えることで効率も向上していることから、負荷率が上がることでボイラ効率は向上することは確認された。

図表 6-20 実証試験期間中の蒸気供給量

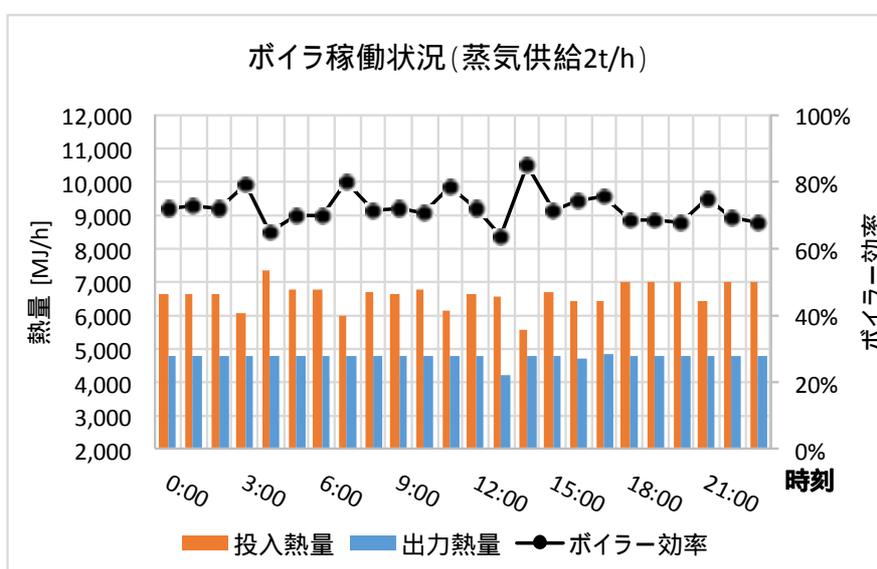
	蒸気供給量(t/月)	備考
11月	1,314	
12月	1,143	年末休業4日
1月	988	年始休業6日
2月	1,209	
合計	4,735	



図表 6-21 ボイラ稼働状況

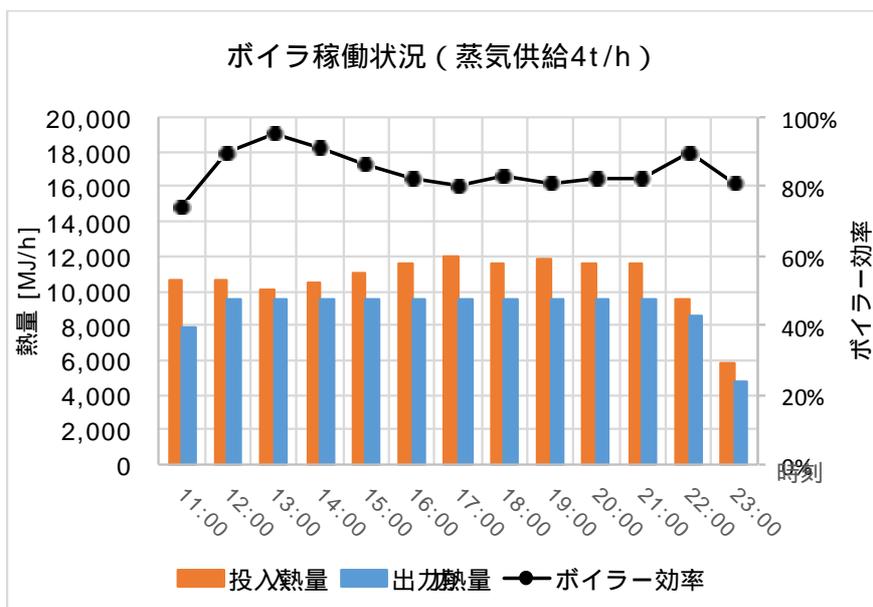
図表 6-22 時間毎のボイラ効率算定方法

項目	考え方
チップかさ比重	127kg/m <sup>3</sup> (絶乾ベース)(仮定)
燃料投入量	2 か月間のチップ搬入量と燃料供給機の供給回数から、1 回の供給での燃料供給量を算出
投入熱量	燃料の水分から定位発熱量を算出し、1 時間あたりの投入熱量を算出
出力熱量	95℃の水から 195℃の飽和蒸気になったとして、単位時間で蒸気生成に要した熱量を算出
ボイラ効率	②出力熱量 ÷ ①投入熱量



※チップ水分:21~49%WB

図表 6-23 時間別ボイラ稼働状況 (蒸気供給 2t/h の場合)



※チップ水分:29~51%WB

図表 6-24 時間別ボイラー稼働状況 (蒸気供給 4t/h の場合)

## (2) 温水供給

温水供給は1月16日より開始し、2月末まで熱供給量とハウス内外の気温を測定した。温水による熱供給量を図表 6-25、にまとめる。マンゴーハウスは一部計測できなかったため推計値が含まれるが、冬季1ヶ月半で約13.2万MJ、灯油換算すると3,848L相当分の熱供給量となった。野菜ハウスは約12.2万MJ、灯油換算すると3,560L相当分の熱供給量となった。

時間毎の熱供給量推移を図表 6-27 に示す。熱使用量は夕方17時頃から多くなり、気温が最も下がる明け方の6時前後がピークとなった。9時から16時頃の日中は、日差しがあればハウス内気温は上昇するため、ほとんど熱は利用されない。1月18日は降雪があったため、日中も多く熱を使用している。気温が低く必要熱量が多くなり、供給温水の温度が50℃程度ではハウス内の温度が上がらず、9時頃から供給温水温度を70℃程度まで上昇させたところハウス内温度も上がった。

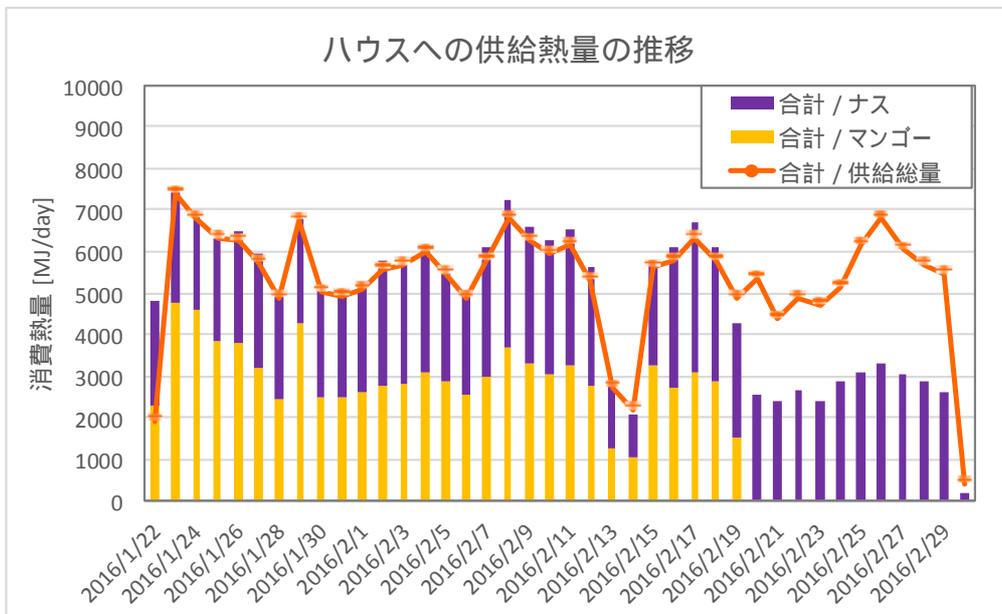
ハウス内外の温度データを図表 6-28、図表 6-29 に示す。両ハウスの設定温度は15~20℃であり、概ね設定温度は満たしていることが分かる。野菜ハウスよりマンゴーハウスの方が全体的にハウス内温度が低く保たれているが、マンゴーハウスは一定温度まで上昇するとハウス屋根が自動で開き、ハウス内が高温にならないよう調整しているためである。

配管ロスを計測するため、熱供給量の総量についても計測を行った。各ハウスへの供給熱量と供給熱量総量の推移を図表 6-30、図表 6-31 に示す。1月16日から1月21日までの熱供給量を測定し、総量は39,482MJであった。同期間の野菜ハウスは14,351MJ、マンゴーハウスは18,808MJ、合計33,159MJであるため、配管ロスは約16%の6,323MJとなる。図表 6-31 より、日中の熱を使用しない時間帯にロスが多いことがうかがえる。

図表 6-25 実証試験期間中の温水熱供給量

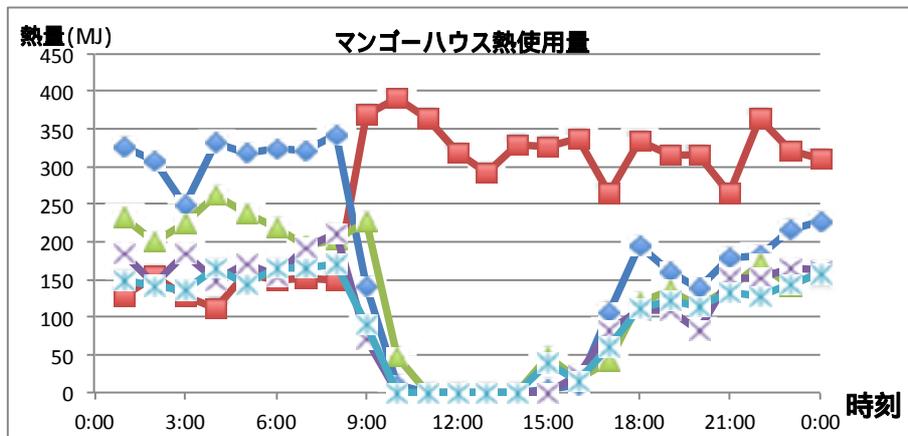
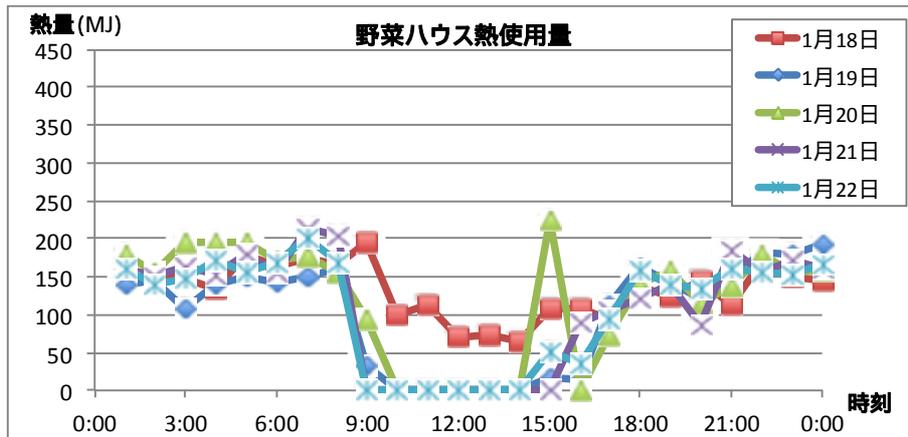
	温水供給熱量 (マンゴーハウス)	温水供給熱量 (野菜ハウス)
1月16～31日	53,209MJ	40,304MJ
2月	79,166MJ*	82,163MJ
合計	132,275MJ	122,467MJ

※熱量計不具合により一部想定値(供給熱量総量から野菜ハウス使用熱量を差し引いた。ただし、総量の誤差が判明したことから、総量から推計したマンゴーハウス2月供給熱量は実際より少ないと考えられる。

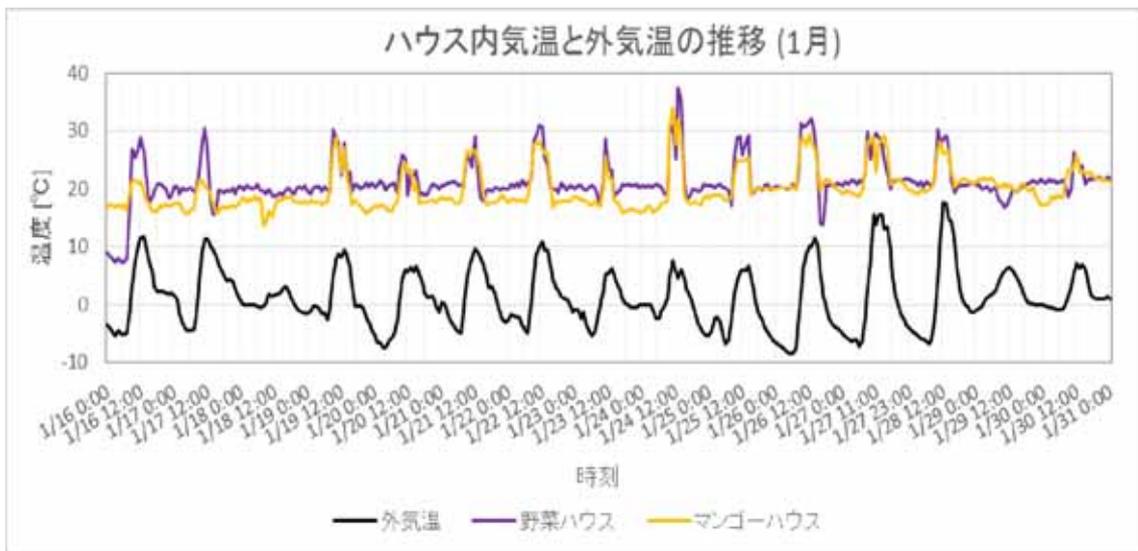


※2月21日以降のマンゴーハウス熱量は熱量計の不具合により計測データなし

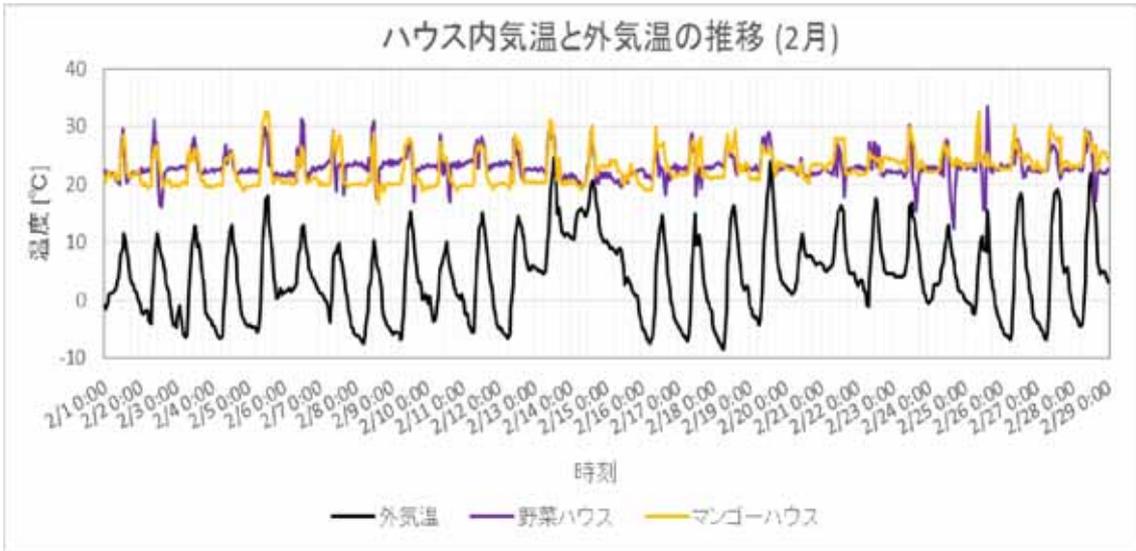
図表 6-26 ハウスへの供給熱量の推移



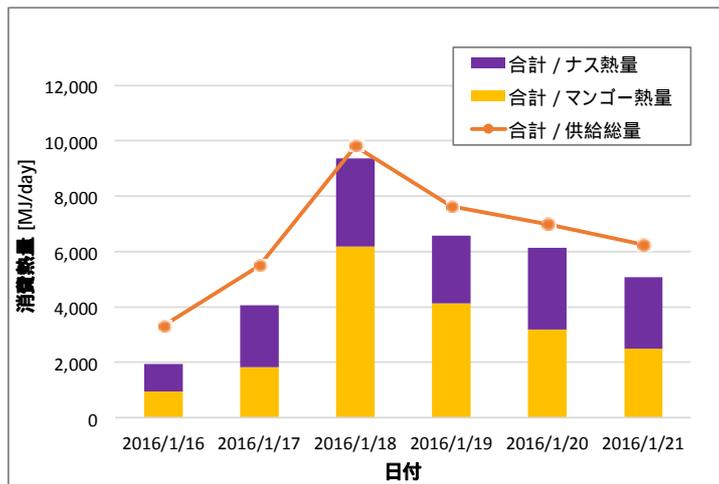
図表 6-27 1時間当たりのハウスへの供給熱量推移



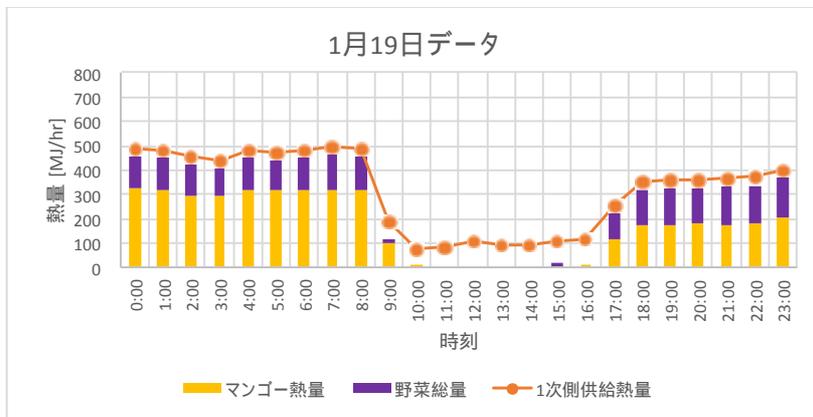
図表 6-28 ハウス内外の温度推移 (1月)



図表 6-29 ハウス内外の温度推移 (2月)



図表 6-30 各ハウスへの供給熱量と熱ロス



図表 6-31 各ハウスへの供給熱量と熱ロス (1月19日データ)

## 6.2.4 事業性分析

### (1) 事業性試算条件

運用試験による熱供給量とコストの実測結果を踏まえ、事業性について試算した。試算条件を図表 6-32～図表 6-34 に示す。蒸気供給については供給量向上の試行段階であることから、利用者側での受入可能量を計画値として採用する。温水供給については、1月16日～2月末までの実績とそれ以前の灯油使用量から、年間供給量 578,678MJ を現状の計画値とする。運用コストについては、運用試験期間で薬剤等の消耗品は約 60 万円、電気代は約 140 万円であった。これらの結果をもとに、年間の費用を想定した。熱供給事業の重要な要素となる熱供給価格や取引条件についても、利用者側と協議を行った。現時点での熱供給価格設定案は図表 6-33 の通りである。化石燃料価格をベースとして割引率を設定し、それぞれが既存の方法で燃料を使用した場合の算定コストに対して割り引く方法とした。化石燃料価格の変動に応じて割引率も変動させることで、供給側も利用側もある程度メリットのある設定とすることを方針とした。

図表 6-32 熱供給先と供給見込み（現状計画）

	対象	供給量	備考
蒸気供給	住友金属鉾山シボレックス株式会社栃木工場	25,800t/年	受入可能量
温水供給	鈴木材木店(マンゴー栽培ハウス1棟)、星の見える丘農園(野菜ハウス2棟)	578,678MJ	10月～1月15日までの灯油使用量実績、1月16日～2月末までの熱使用量実績、その他1～4月は実績熱量をもとに1月前半は80%、3月は60%、4月は30%とした

図表 6-33 熱供給単価設定のための化石燃料価格割引率（現状案）

化石燃料価格	蒸気単価の割引率	温水供給の熱単価割引率
60 円/L 未満	3%	30%
60 円/L 以上 65 円/L 未満	5%	30%
65 円/L 以上 70 円/L 未満	5%	30%
70 円/L 以上 75 円/L 未満	8%	33%
75 円/L 以上 80 円/L 未満	8%	37%
80 円/L 以上 85 円/L 未満	10%	40%
85 円/L 以上 90 円/L 未満	10%	43%
90 円/L 以上 95 円/L 未満	12%	45%
95 円/L 以上 100 円/L 未満	12%	48%
100 円/L 以上	15%	50%

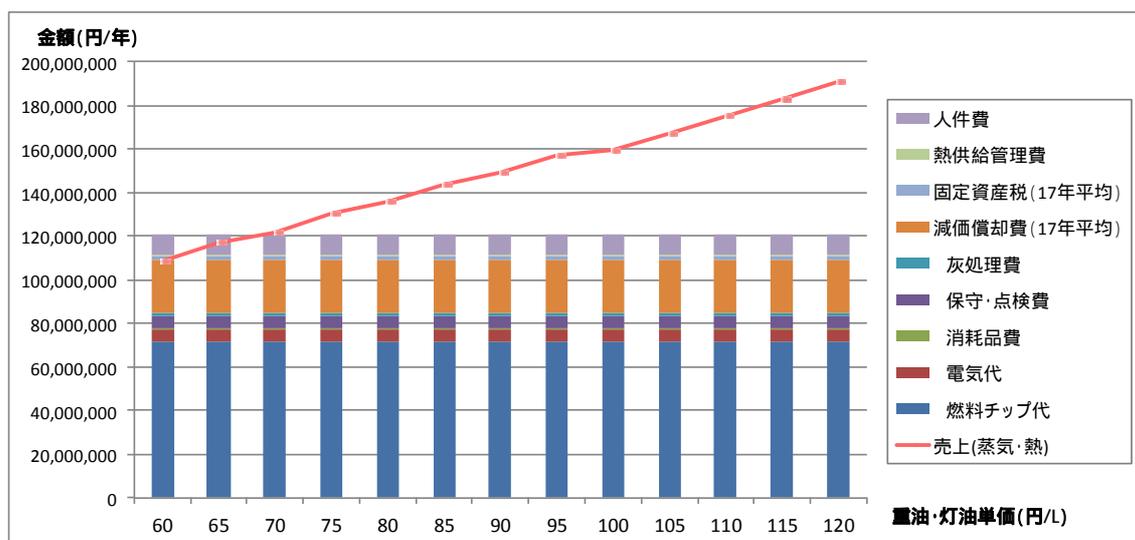
図表 6-34 その他事業性検討条件

項目	条件	備考
法定耐用年数	17年	
設備導入費	406,330千円	熱供給設備一式(ボイラ設備、建屋、温水供給設備)
固定資産税(17年平均)	2,221千円/年	1.4%
チップ使用量	11,000t/年	想定
チップ価格	7.0千円/t	水分50%WB基準で水分毎に変動。総額は実証試験の実績より月平均600万円程度
保守・点検費	6,000千円/年	法定点検、メンテナンス等
ユーティリティ費	6,208千円/年	電気、薬品(推定)
灰処理費	1,760千円/年	(推定)
人件費	300万円/年・人	運転員3名

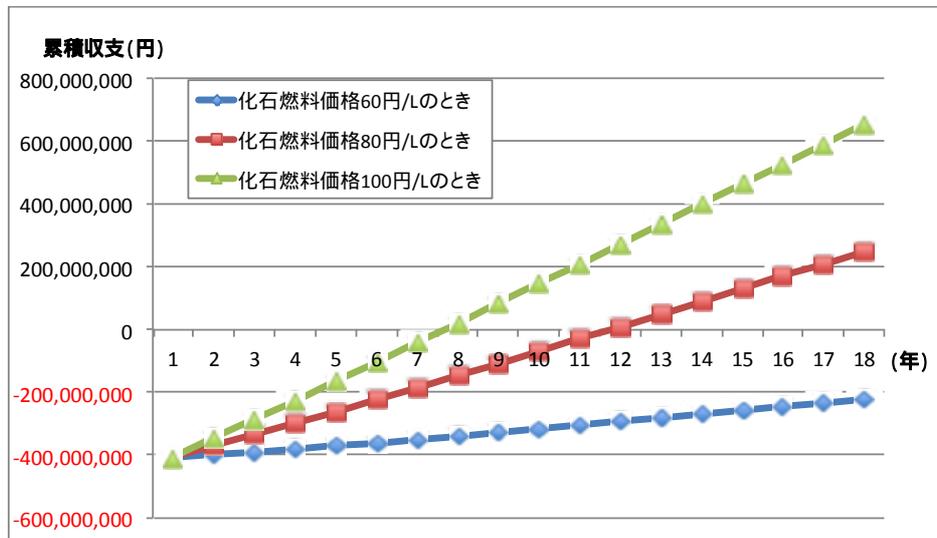
(2) 事業性試算結果

前項の試算条件をもとに、化石燃料毎の年間収支と累積収支を試算した。化石燃料単価毎の年間売上予想と支出予想を図表 6-35 に示す。化石燃料価格が 70 円/L 以上の場合、年間の営業利益がプラスとなった。また、化石燃料価格が 60 円/L、80 円/L、100 円/L の場合の累積収支を図表 6-36 に示す。化石燃料が 100 円/L 程度であれば投資回収は 10 年以内となるが、60 円/L では投資回収不可となる。本モデルの条件では、蒸気供給量 4t/h で化石燃料価格が 100 円/L 以上となれば概ね事業として成立すると考えられる。

しかしながら、本事業の計画段階に比べ、化石燃料価格が大暴落している現在、熱供給事業は非常に厳しい条件となっている。



図表 6-35 化石燃料単価毎の熱供給売上と単年度支出

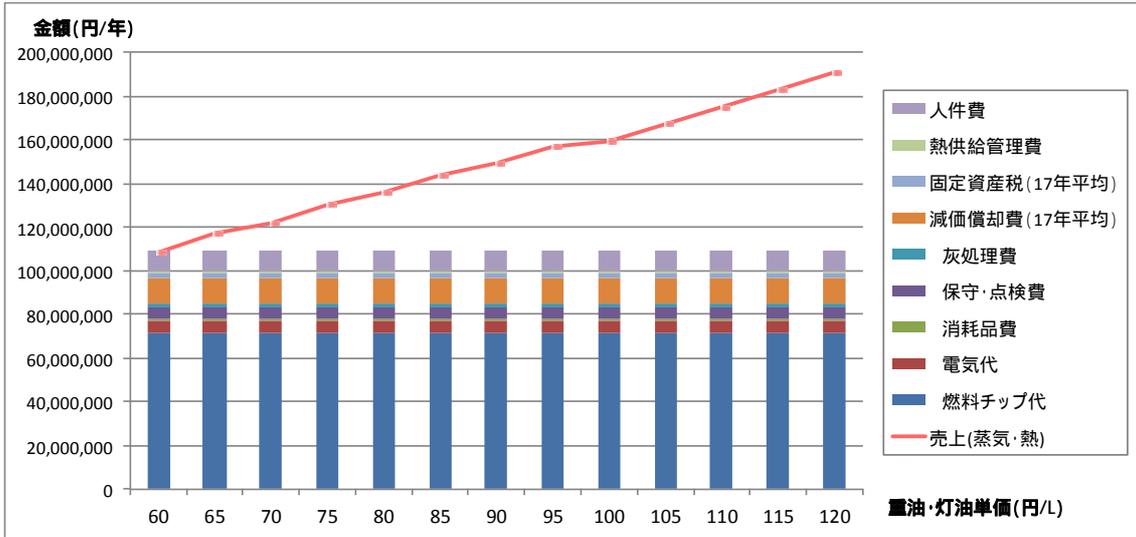


図表 6-36 化石燃料単価毎の累積収支

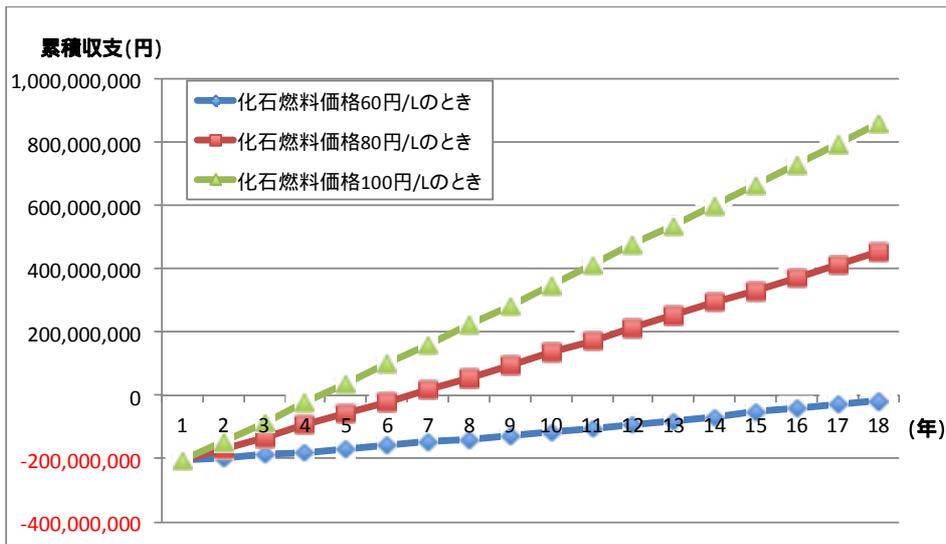
### (3) 事業成立条件の検討

本モデルの条件では、蒸気供給量 4t/h で化石燃料価格が 100 円/L 以上となれば概ね事業として成立すると考えられるが、現状で化石燃料は 60 円/L を下回っており、現時点での年間収支はマイナスとなる。化石燃料価格は今後も変動することが予想されるため、事業が成立する条件について、設備補助を利用した場合等について検討を行った。

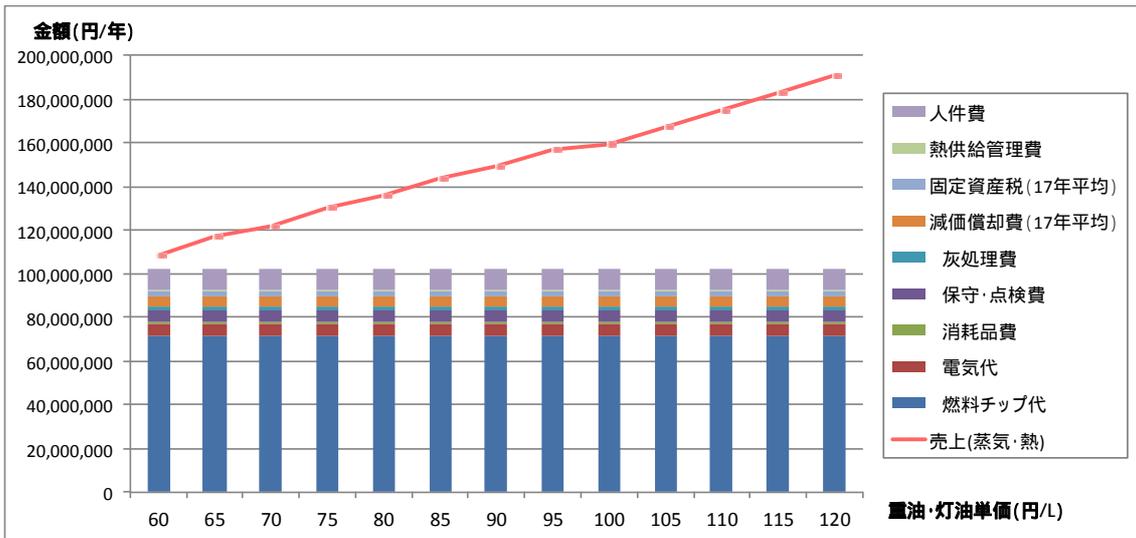
設備に対して補助率 50% の場合の試算結果を図表 6-37、図表 6-38、補助率 80% の場合の試算結果を図表 6-39、図表 6-40 に示す。補助率 50% の場合には、化石燃料価格 65 円/L 以上で単年度収支がプラスとなり、70 円/L 以上で 10 年以内の投資回収が可能となった。補助率 80% の場合には、化石燃料価格が 60 円/L でも単年度収支がプラスとなり、10 年以内の投資回収が可能となった。ただし、56 円/L を下回ると単年度収支がマイナスになってしまう。



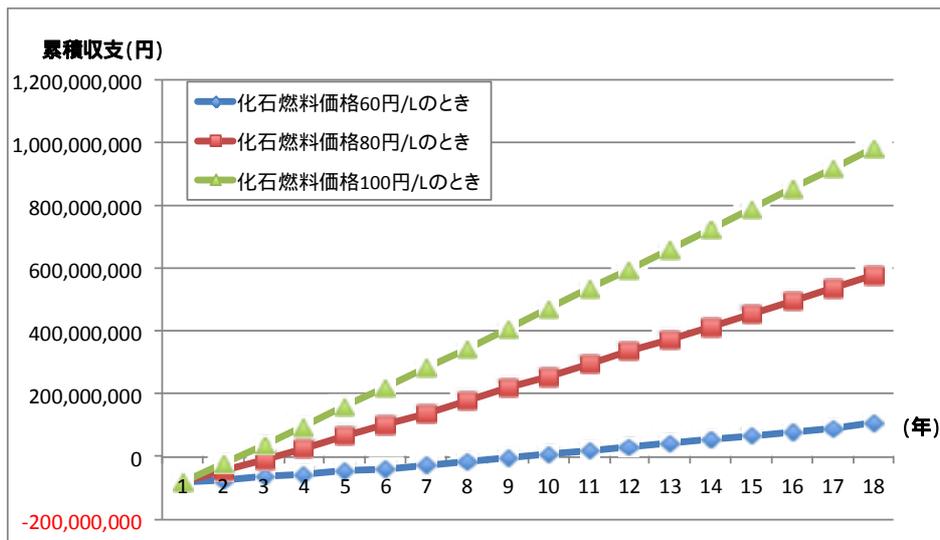
図表 6-37 化石燃料単価毎の熱供給売上と単年度支出（補助率 50%の場合）



図表 6-38 化石燃料単価毎の累積収支（補助率 50%の場合）



図表 6-39 化石燃料単価毎の熱供給売上と単年度支出（補助率 80%の場合）



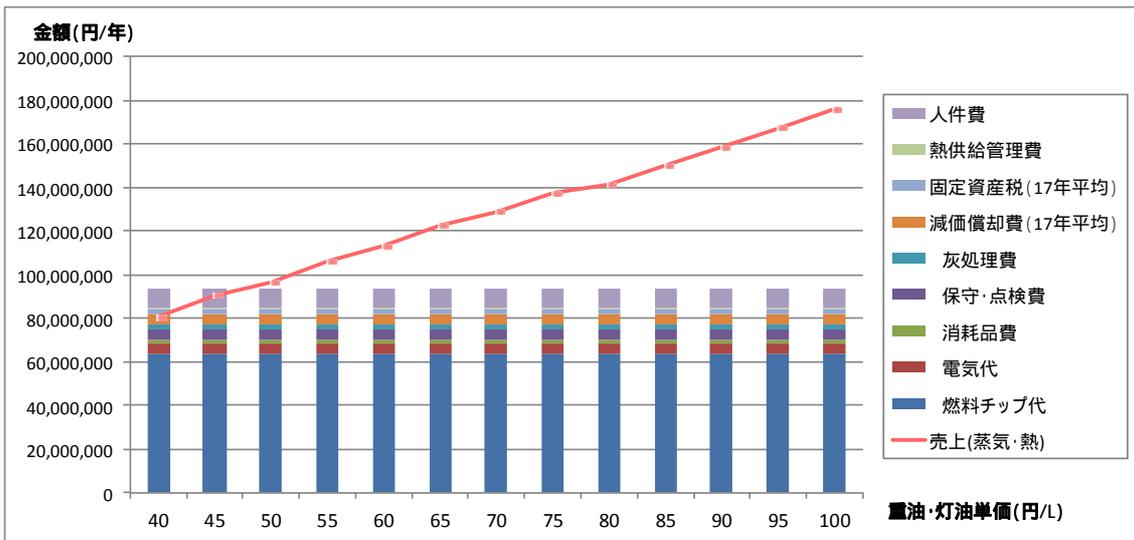
図表 6-40 化石燃料単価毎の累積収支（補助率 80%の場合）

現状では、化石燃料価格が 60 円/L を下回っているため、設備補助だけでは事業改善は難しいことがわかった。事業性改善のためには、コスト低減化と需要拡大による収入増が必要である。補助率以外の改善要素として、図表 6-41 の条件を改善した場合の事業性について試算を行った。蒸気供給について接続調整により冬季は計画量よりも多く受入可能という見解を得たことから、蒸気販売量を冬季 5 ヶ月のみ 1.25 倍とする。また、最もコストに占める割合が大きいチップ価格を現状の 8 割 (= 5,600 円/t) とし、他の影響の小さい条件はそのままとした。試算の結果、50 円/L の場合にも単年度収支はプラスとなり、投資回収年数も 10 年以下となった。試算結果を図表 6-42、図表 6-43 に示す。

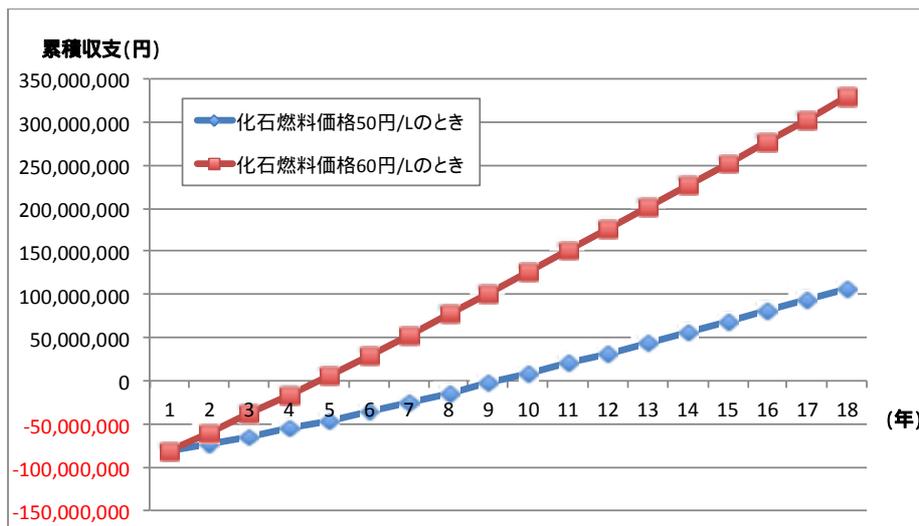
図表 6-41 事業性検討条件（改善案）

項目	改善案	備考
蒸気供給量	28,488t/年	冬季 5 ヶ月のみ計画の 1.25 倍
チップ価格	5.6 千円/t	水分 50%WB
チップ使用量	約 12,000t/年	冬季 5 ヶ月のみ計画の 1.25 倍

※その他、電気代や消耗品費などコストに占める割合が小さいものは割愛



図表 6-42 化石燃料単価毎の熱供給売上と単年度支出（補助率 80%、その他条件見直し）



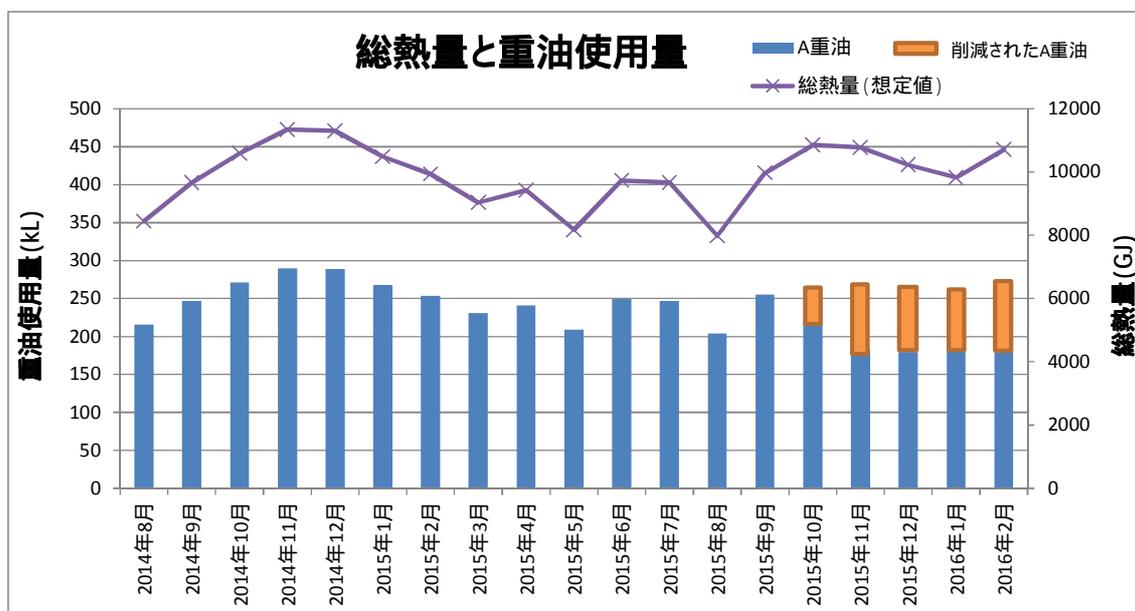
図表 6-43 化石燃料単価毎の累積収支（補助率 80%の場合、その他条件見直し）

## 6.2.5 環境影響評価

### (1) 二酸化炭素排出削減量

運用試験の結果、バイオマス蒸気利用について利用者側のデータによると、重油消費削減量は10月～2月の5ヶ月で401kL、CO<sub>2</sub>排出削減量は1,087t-CO<sub>2</sub>(CO<sub>2</sub>排出係数2.71kg-CO<sub>2</sub>/L)と推計される。各月の削減されたA重油量想定値を図表6-44に示す。実証期間中のバイオマスによる蒸気はほとんどが計画量の半分であったため、重油ボイラの効率が低くなっている。定常的に蒸気量4t/hを供給することができればCO<sub>2</sub>排出削減効果はさらに向上することが期待される。計画量の蒸気供給(25,800t/年)となった場合、年間のCO<sub>2</sub>排出削減量は約6,000t-CO<sub>2</sub>となる。

温水利用については、新規建設の農業ハウスのため、前年度との比較はできない。そのため、現時点での熱利用量を灯油使用量に換算すると、7,408L相当となる。7,408Lの灯油を削減できたとみなすと、CO<sub>2</sub>排出削減量は約18tとなる(CO<sub>2</sub>排出係数2.492kg-CO<sub>2</sub>/L)



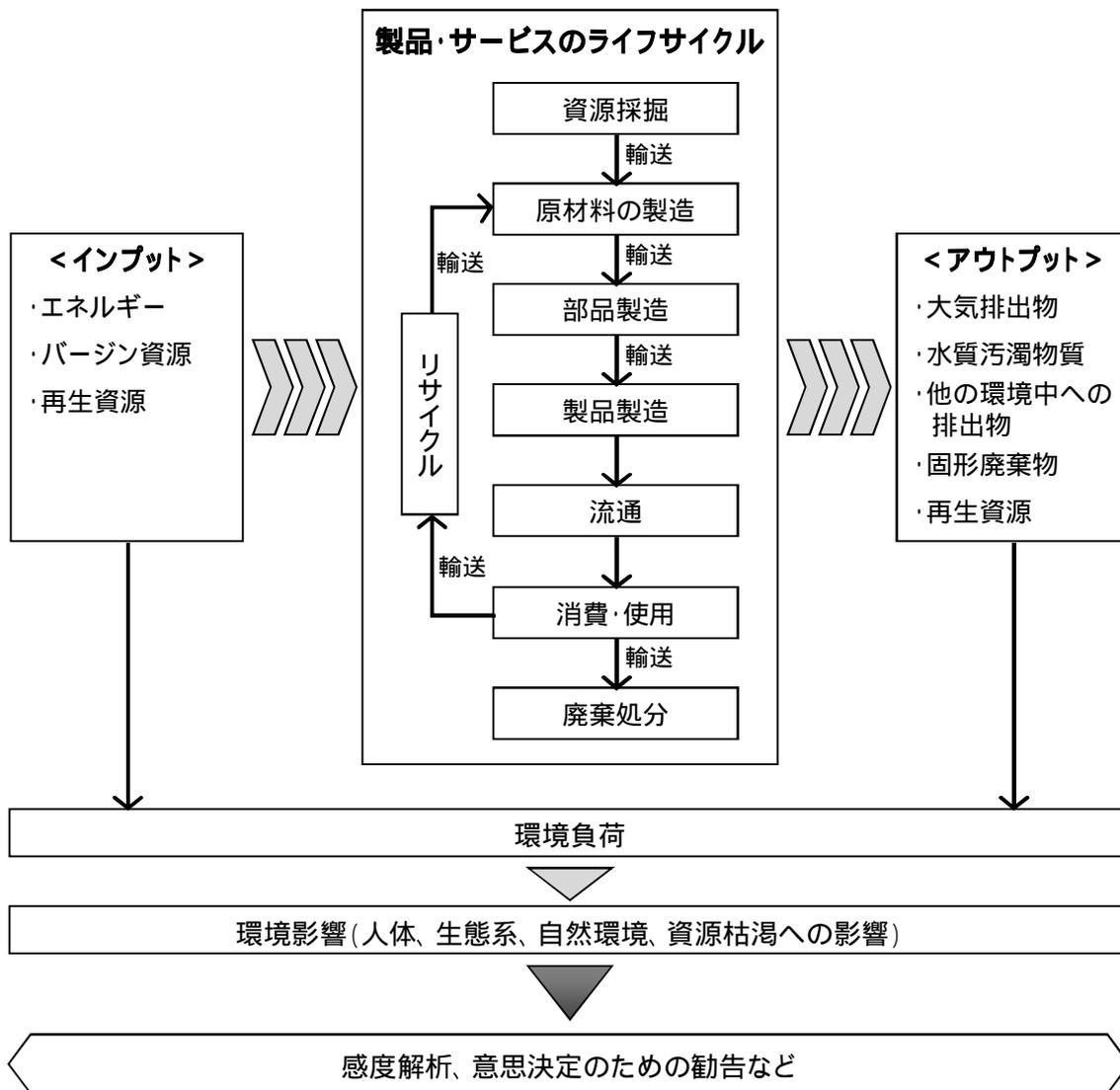
図表 6-44 蒸気利用事業者の重油使用量の推移 (オレンジ部分：削減量推計値)

### (2) LCA 評価

LCA について

#### (a) 概念

LCA(ライフサイクルアセスメント)とは、製品・サービスがそのライフサイクル(原材料調達—設計—製造—流通—消費—使用—リサイクル—最終的な廃棄処分)において排出する環境負荷を定量的に推定・評価し、潜在的な環境影響を評価する手法である。



(参考: (株)森のエネルギー研究所 HP: 木質バイオマス LCA 評価事業に係る支援業務報告書より)

図表 6-45 LCA の概念

### 評価方法と範囲

#### (a) 評価方法

本調査における環境影響評価は、温室効果ガス(GHG、Green House Gas)排出量を算出することを目的とする。インベントリ分析結果より得られた温室効果ガス(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O)の排出量に、IPCC 第2次報告書の100年値であるGWP(※)を乗じたものを足し合わせ、二酸化炭素換算量として温室効果ガス排出量(kg-CO<sub>2</sub>eq)を算出した。

(※)GWP: 大気に排出されると温室効果に影響する物質の影響度を示す指標のことであり、炭酸ガスを基準(1.0)として、同ガス重量・同期間(100年)をとり、各ガスの影響度を比較したものである。

(b) 調査対象、条件及び方法

本調査では木質バイオマスボイラにおける熱エネルギー(蒸気および温水)を 1GJ 製造する場合の環境影響評価を行った。図表 6-46 にその条件等を示す。

図表 6-46 調査対象、条件及び方法

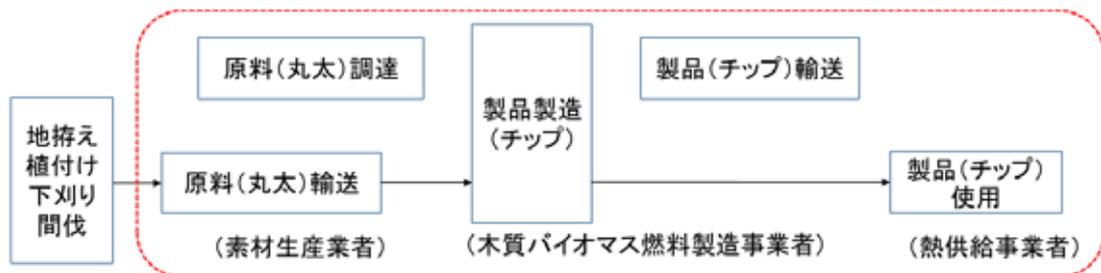
対象製品	木質チップ
機能単位	木質チップの燃焼により発生する熱エネルギー(蒸気・温水) 1GJ
調査期間	各プロセスにより異なる
データ収集法	聞き取り調査
インベントリ分析法	積み上げ法
インベントリ分析用原単位	LCI データベース IDEA ver.1.04)
主な環境負荷物質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源消費—石炭、原油、天然ガス、ウラン</li> <li>・大気圏排出物—CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub>(点源)、NO<sub>x</sub>(線源)、SO<sub>x</sub>、ばいじん(点源)、ばいじん(線源)、炭化水素、As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb</li> <li>・廃棄物—汚泥(埋立)、金属くず(埋立)、鉱さい(埋立)、土砂(埋立)</li> </ul>
配分方法 ※	重量配分

※LCA 評価を実施する際の配分方法には、重量配分と価値配分があり、どちらの手法でも評価は可能である。本調査においては、チップ製造工程に係る費用項目が複雑であるため、重量配分でのみ評価を実施することとし、各フォアグラウンドデータを製品生産量で配分した値を用いてインベントリ分析を行った。

(重量配分と価値配分の結果については、評価対象物によって両者の結果に差が出るため、環境影響値は両者の数値間にあるという見方をするのが一般的である。)

(c) システム境界

本調査における木質チップ LCA 評価のシステム境界を図表 6-47 の点線枠内に示す。詳細なシステム境界については、各該当項目で記載する。システム境界は図表 6-47 に示す赤枠で囲む範囲とし、原材料生産から製品使用までとする。



図表 6-47 システム境界

(d) インベントリ分析原単位

インベントリ分析に使用する原単位を図表 6-48 に示す。原則として以下を使用した。

図表 6-48 インベントリ分析用原単位一覧

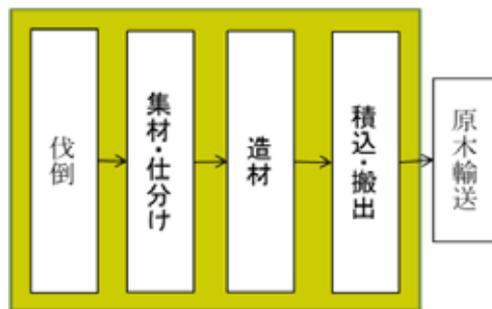
		ガソリンの 燃焼	軽油の燃 焼	電力	オイル	チップー の刃	グリース の製造	硫酸の製 造	丸太の輸 送(10t トラック)	チップの輸 送(10t トラック)	燃え殻
単位		L	L	kWh	L	kg	L	kg	t	t	kg
		ガソリン	軽油	電力	オイル	チップー の刃	グリース	硫酸	丸太の輸 送(10t トラック)	チップの輸 送(10t トラック)	燃え殻
U(資源)	kg	1.19E-09	4.08E-10	2.03E-06	2.42E-07	4.56E-06	6.79E-07	8.00E-09	1.83E-11	1.83E-11	3.43E-07
一般炭	kg	4.29E-05	1.48E-05	7.28E-02	4.77E-02	4.01E-01	5.86E-02	3.05E-04	6.61E-07	6.61E-07	1.36E-02
原油(資源)	kg	8.75E-01	8.86E-01	3.38E-02	1.10E+00	2.49E-01	9.64E-01	1.04E-02	3.97E-02	3.97E-02	2.62E-02
天然ガス	kg	1.35E-02	1.36E-02	9.99E-02	3.43E-02	2.53E-01	1.06E-01	5.68E-04	6.10E-04	6.10E-04	1.72E-02
CO2	kg	2.72E+00	2.82E+00	5.37E-01	7.09E-01	3.68E+00	1.09E+00	3.93E-03	1.26E-01	1.26E-01	1.65E-01
CH4	kg	3.12E-03	3.16E-03	1.95E-04	3.95E-03	1.98E-03	5.40E-03	3.74E-05	1.41E-04	1.41E-04	1.07E-04
N2O	kg	4.64E-05	4.69E-05	4.60E-05	7.60E-05	1.29E-04	5.85E-04	7.52E-07	2.10E-06	2.10E-06	8.90E-06
NOx	kg	3.88E-04	1.00E-03	1.98E-04	5.16E-04	1.18E-03	6.60E-04	1.78E-06	1.09E-05	1.09E-05	5.98E-05
NOx(移動発生源)	kg	3.88E-04	1.00E-03	1.98E-04	5.16E-04	1.18E-03	6.60E-04	1.78E-06	1.50E-20	1.50E-20	5.98E-05
SOx	kg	3.21E-04	1.41E-04	5.72E-05	2.77E-04	1.81E-04	2.59E-04	2.67E-07	3.09E-05	3.09E-05	1.54E-05
ばいじん	kg	1.48E-07	8.98E-05	1.38E-06	3.26E-05	1.34E-04	1.41E-04	1.98E-07	6.49E-09	6.49E-09	2.92E-06
PM10(移動発生源)	kg	2.19E-20	0.00E+00	3.72E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.48E-19	6.68E-05	6.68E-05	6.42E-18
炭化水素	kg	7.30E-06	3.31E-07	6.11E-06	1.15E-05	2.11E-05	1.76E-05	1.13E-07	1.09E-04	1.09E-04	1.21E-06
As	kg	3.67E-12	1.26E-12	6.24E-09	7.45E-10	1.98E-08	2.12E-09	2.48E-11	5.63E-14	5.63E-14	1.05E-09
Cd	kg	2.93E-13	1.01E-13	5.00E-10	5.97E-11	1.12E-09	1.67E-10	1.97E-12	4.51E-15	4.51E-15	8.45E-11
Cr	kg	6.44E-12	2.21E-12	1.10E-08	1.31E-09	2.47E-08	3.68E-09	4.34E-11	9.92E-14	9.92E-14	1.86E-09
Hg	kg	4.29E-12	7.39E-06	7.30E-09	8.72E-10	1.66E-08	2.45E-09	2.88E-11	6.58E-14	6.58E-14	1.23E-09
Ni	kg	7.27E-12	2.49E-12	1.24E-08	1.48E-09	2.82E-08	4.15E-09	4.88E-11	1.12E-13	1.12E-13	2.09E-09
Pb	kg	1.70E-11	5.83E-12	2.89E-08	3.46E-09	6.51E-08	9.70E-09	1.14E-10	2.61E-13	2.61E-13	4.89E-09
汚泥(埋立)	kg	3.27E-06	7.02E-07	4.50E-04	3.11E-03	6.17E-02	9.20E-03	3.60E-05	5.03E-08	5.03E-08	7.18E-01
金属くず(埋立)	kg	2.04E-06	7.39E-11	2.81E-04	1.94E-03	3.86E-02	5.75E-03	2.25E-05	3.15E-08	3.15E-08	4.49E-01
鉱さい(埋立)	kg	2.15E-10	1.47E-12	3.67E-07	4.42E-08	1.22E-05	1.71E-07	1.45E-09	3.31E-12	3.31E-12	6.20E-08
土砂(埋立)	kg	9.62E-07	5.29E-09	1.90E-07	1.13E-05	3.32E-05	2.17E-03	1.29E-04	1.48E-08	1.48E-08	1.02E-07

独)産業技術総合研究所、(社)産業環境管理協会 “LCI データベース IDEA ver.1.0” MiLCA  
ガイドブック

環境影響評価の条件とフロー

(a) 原材料生産～原材料輸送

原材料生産から輸送までのフローを図表 6-49 に示す。



図表 6-49 フロー図(原材料生産～原材料輸送)

チップ製造を行う県北木材協同組合那珂川工場への原木出荷は、周辺の3事業体が主体であるが一部小規模な事業体も含まれ、ヒアリングによるデータ収集が困難であるため、原木供給を行う全事業者のデータは対象しないこととした。今年度は、主要供給者である那須町森林組合が実施した皆伐試験における作業データを用い原材料生産の代表値として環境影響評価を行った。

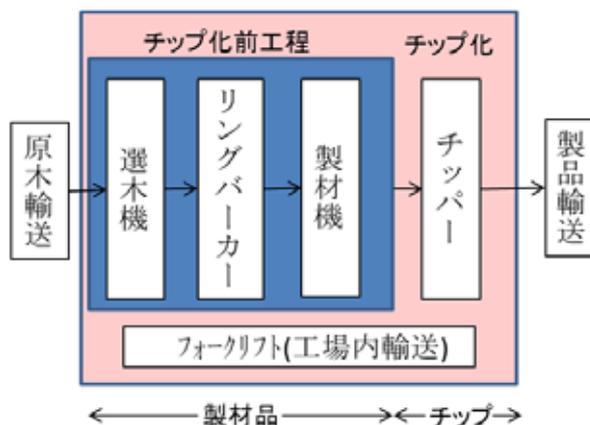
施業の概要については 6.2.1 で記載のためここでは割愛する。原材料生産および原材料輸送に係るデータの基本事項を図表 6-50 に示す。

**図表 6-50 LCA 評価基本データ（原材料生産・原材料輸送）**

輸送距離	30km(現場～県北木材協同組合 那珂川工場)
施業地	那須町伊王野
輸送車両	10tトラック

**(b) 製品製造～製品輸送**

県北木材協同組合那珂川工場では原木を製材した後の端材を原料としてチップを製造している。製造したチップは 12km 程離れた住友金属鉱山シボレックスの隣接地に設置したチップボイラへ供給する。チップ製造および輸送のフローを図表 6-51 に示す。



**図表 6-51 チップ製造フロー**

搬入された原木は選木、皮むきの工程を経て製材機に投入される。製材機は 3m 用と 4m 用があり、両者のラインで発生する端材がコンベアでチップパーに自動的に投入される。

チップ製造に係る LCA 評価条件について図表 6-52 に示す。

**図表 6-52** LCA 評価基礎データ（製品製造～製品輸送）

評価対象期間	平成 25 年度
チップ原材料	製材端材(スギ、ヒノキ) ※皮なし
原材料輸送	トラック輸送(10t) 30km
チップ化工程	製材ライン後尾に設置のチップパーによる
製品水分率	55%
製品低位発熱量	8,082kJ/kg (チップ品質分析結果より)

(c) 製品使用

チップ燃焼に係る評価条件について図表 6-53 に示す。

**図表 6-53** LCA 評価基礎データ（製品使用）

評価対象期間	平成 27 年 11 月 7 日～平成 27 年 11 月 30 日
評価対象製品	熱エネルギー(蒸気・温水)
LCA 評価方法	重量配分による
製品輸送	トラック輸送(10t) 12.4km
製品水分(平均)	38.49%

(d) フォアグラウンドデータ

**原材料製造および原材料輸送工程におけるフォアグラウンドデータを図表 6-54 に、製品製造・製品輸送工程におけるフォアグラウンドデータを**

図表 6-55 に、製品使用におけるフォアグラウンドデータを図表 6-56 にそれぞれ示す。

**図表 6-54 原材料製造・原材料輸送工程におけるフォアグラウンドデータ**

分類			単位	量(t当たり)
インプット	伐採工程	混合ガソリン	L	2.67E-02
		オイル	L	5.35E-03
		軽油	L	1.24E+00
		グリース	L	7.35E-03
	原材料輸送	10tトラック	t・km	9.34E+00
アウトプット	製品	丸太(製材用)	t	2.49E-01
		丸太(バイオマス用)	t	6.23E-02

※小径材はバイオマス用となる

図表 6-55 製品製造・製品輸送工程におけるフォアグラウンドデータ

分類			単位	量(t当たり)
インプット	原材料	丸太	m <sup>3</sup>	3.88E-02
	エネルギー	電力	kWh	6.97E+00
		軽油	L	9.19E-02
	消耗品	グリース	L	1.25E-05
		オイル	L	2.09E-03
		チップの刃	L	2.47E-02
アウトプット	製品輸送	10tトラック	t・km	1.38E+00
	製品	製材品	m <sup>3</sup>	1.73E-01
		チップ	t	1.11E-01
		おが粉	m <sup>3</sup>	2.71E-01
		バーク	m <sup>3</sup>	3.20E-01

図表 6-56 製品使用におけるフォアグラウンドデータ

分類			単位	量(GJ当たり)
インプット	原材料	チップ	t	1.11E-01
	エネルギー	電力	kWh	1.01E+01
	消耗品	硫酸	kg	6.58E-03
		オイル	L	8.23E-03
アウトプット		軽油	L	3.13E-03
	製品	熱(蒸気・温水)	GJ	1.00E+00
	副産物	灰	kg	1.65E-01

(e) インベントリ分析

原単位とフォアグラウンドデータを掛け合わせることで、資源の消費量と環境負荷量を算出することが出来る。図表 6-57 にその結果を示す。

図表 6-57 インベントリ分析結果

	単位	原材料生産				原材料 輸送	製品製造				製品使用
		伐採	造材	集材	搬出		チップ化前処理	チップ化	全体	工場内輸送	
U(資源)	kg	1.74E-09	2.62E-09	8.15E-10	1.66E-09	1.71E-10	1.06E-05	3.63E-06	5.52E-10	2.52E-11	8.83E-05
一般炭	kg	2.90E-04	2.10E-04	6.80E-05	1.37E-04	6.18E-06	3.81E-01	1.36E-01	1.02E-04	9.09E-07	7.51E+00
原油(資源)	kg	8.06E-02	6.80E-01	1.03E-01	2.73E-01	3.71E-01	1.77E-01	6.47E-02	8.38E-02	5.46E-02	1.37E+01
天然ガス	kg	1.38E-03	1.08E-02	1.68E-03	4.40E-03	5.70E-03	5.23E-01	1.79E-01	1.32E-03	8.39E-04	6.23E+00
CO2	kg	2.39E-01	2.16E+00	3.24E-01	8.64E-01	1.18E+00	2.81E+00	1.02E+00	2.61E-01	1.74E-01	5.73E+00
CH4	kg	2.88E-04	2.43E-03	3.68E-04	9.76E-04	1.32E-03	1.02E-03	3.87E-04	2.98E-04	1.94E-04	5.72E-02
N2O	kg	4.66E-06	3.78E-05	6.03E-06	1.56E-05	1.96E-05	2.41E-04	8.28E-05	4.47E-06	2.89E-06	4.65E-04
NOx	kg	7.10E-05	7.69E-04	1.16E-04	3.08E-04	1.02E-04	1.04E-03	3.72E-04	9.33E-05	1.50E-05	3.82E-02
NOx(移動発生源)	kg	7.10E-05	7.69E-04	1.16E-04	3.08E-04	1.40E-19	1.04E-03	3.72E-04	9.33E-05	2.07E-20	3.82E-02
SOx	kg	1.83E-05	1.09E-04	1.64E-05	4.37E-05	2.89E-04	2.99E-04	1.04E-04	1.35E-05	4.25E-05	1.02E-02
ばいじん	kg	5.40E-06	6.91E-05	1.04E-05	2.78E-05	6.06E-08	7.22E-06	5.70E-06	8.33E-06	8.93E-09	3.87E-02
PM10(移動発生源)	kg	5.84E-22	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.24E-04	1.95E-16	6.44E-17	0.00E+00	9.19E-05	2.22E-15
炭化水素	kg	2.85E-07	3.13E-07	5.78E-08	1.41E-07	1.02E-03	3.20E-05	1.11E-05	5.46E-08	1.50E-04	7.55E-04
As	kg	5.35E-12	8.16E-12	2.54E-12	5.18E-12	5.26E-13	3.27E-08	1.13E-08	1.70E-12	7.74E-14	2.89E-07
Cd	kg	4.28E-13	6.45E-13	2.01E-13	4.10E-13	4.21E-14	2.62E-09	8.94E-10	1.36E-13	6.20E-15	2.18E-08
Cr	kg	9.40E-12	1.42E-11	4.42E-12	9.01E-12	9.26E-13	5.76E-08	1.97E-08	2.99E-12	1.36E-13	4.79E-07
Hg	kg	4.23E-07	5.64E-06	8.47E-07	2.26E-06	6.15E-13	3.82E-08	1.31E-08	6.80E-07	9.05E-14	3.41E-07
Ni	kg	1.06E-11	1.60E-11	4.98E-12	1.01E-11	1.04E-12	6.49E-08	2.22E-08	3.37E-12	1.54E-13	5.39E-07
Pb	kg	2.48E-11	3.74E-11	1.16E-11	2.37E-11	2.44E-12	1.51E-07	5.17E-08	7.88E-12	3.59E-13	1.27E-06
汚泥(埋立)	kg	2.19E-05	3.18E-05	1.05E-05	2.10E-05	4.70E-07	2.36E-03	2.30E-03	6.67E-06	6.92E-08	1.71E+00
金属くず(埋立)	kg	1.37E-05	1.95E-05	6.50E-06	1.30E-05	2.94E-07	1.47E-03	1.44E-03	4.13E-06	4.33E-08	1.07E+00
鉱さい(埋立)	kg	3.39E-10	5.82E-10	1.94E-10	3.88E-10	3.09E-11	1.92E-06	9.37E-07	9.46E-11	4.55E-12	1.73E-05
土砂(埋立)	kg	1.31E-06	7.37E-06	2.45E-06	4.91E-06	1.39E-07	9.94E-07	1.15E-06	5.13E-08	2.04E-08	5.89E+00

(f) GHG 排出量

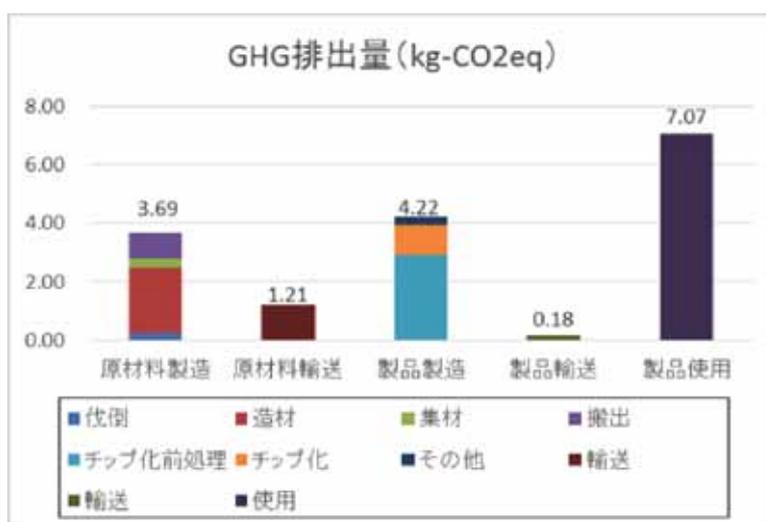
インベントリ分析結果より、温室効果ガス(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O)の排出量に、各ガスの GWP 値を乗じたものを足し合わせ、GHG 排出量を算出した。GWP 値を図表 6-58 に、GHG 排出量を図表 6-59 および図表 6-60 に示す。

図表 6-58 GWP 値

温室効果ガス	単位	GWP 値
CO <sub>2</sub>	kg-CO <sub>2</sub> ep	1.00E+00
CH <sub>4</sub>	kg-CO <sub>2</sub> ep	2.10E+01
N <sub>2</sub> O	kg-CO <sub>2</sub> ep	3.10E+02

図表 6-59 工程別のチップのGHG 排出量(数値)

	原材料製造				原材料 輸送	製品製造			製品輸送	製品使用	合計
	伐倒	造材	集材	搬出		チップ化 前処理	チップ化	その他			
GHG排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq)	0.25	2.22	0.33	0.89	1.21	2.91	1.05	0.27	0.18	7.07	16.37
工程別合計	3.69					4.22					



図表 6-60 工程別のチップのGHG排出量(グラフ)

木質チップを燃焼させたときに発生する熱エネルギー(蒸気および温水)1GJあたりのGHG排出量は、合計で16.37kg-CO<sub>2</sub>eqとなった。工程別では原材料輸送および製品輸送が多い結果となった。なお、得られた結果から2015年11月7日～2016年2月29日のチップボイラ利用におけるCO<sub>2</sub>排出量を算出した結果、199t-CO<sub>2</sub>であった。一方、蒸気利用者のCO<sub>2</sub>排出削減量は1,087t-CO<sub>2</sub>であった。原材料製造～製品使用のGHG排出量を考慮しても約900t-CO<sub>2</sub>の排出削減が可能と推計された。

図表 6-61 CO<sub>2</sub>排出削減量の評価(2015/11/7～2016/2/29)

値	内容
16.37 kg-CO <sub>2</sub> /GJ	①GHG排出量(原材料製造～製品使用)
12,151 GJ	②チップボイラによる熱供給量(2015/11/7～2016/2/29)
199 t-CO <sub>2</sub>	③チップボイラシステムによるCO <sub>2</sub> 排出量[①×②/1,000]
1,087 t-CO <sub>2</sub>	④蒸気利用者のCO <sub>2</sub> 排出削減量(利用者提供データ)
888 t-CO <sub>2</sub>	⑤正味のCO <sub>2</sub> 排出削減量[④-③]

### 6.3 熱供給事業スキームの構築

那珂川地域での熱供給事業スキームとしては、4,000kWのチップボイラを設置し、大規模蒸気需要家への蒸気供給と農業ハウスへの温水供給を計画・試験運用したが、蒸気供給量を最大化したうえで化石燃料価格が100円/L以上となれば概ね事業として成立すると考えられる。特に、大規模蒸気需要家への通年の熱供給が重要な要件である。ただし、現状では化石燃料価格が大暴落しており、このような状況で本モデルを普及させるためには、熱需要規模と稼働率の要件に加え、設備に対して50～80%の補助やチップ価格を現状の8割程度まで低減させるなどの方策が必要である。

## 7. まとめ

### 7.1 本事業の成果

#### (1) チップボイラ導入（施工）

チップボイラ導入工事は、昨年度までに建屋建設とボイラ据付・配管工事の途中まで完了しており、今年度は残りの配管工事、電気工事、試運転を行った。工事終了後、試運転を開始したが、途中で煙が大量発生したことにより、原因追及と地域住民等への説明のため試運転を一時中断した。煙発生の主な原因としては、チップの水分が多かったことによる炉内温度の急激な低下と、夜間のトラブルだったため対応が遅れたことが挙げられる。原因追及と地域住民の理解を得ることに時間を要したが、試運転を再開し、実証試験を実施することができた。

#### (2) チップボイラ導入施設周辺エリアの熱利用施設整備

チップボイラ設置場所の南側に、マンゴーハウス 1 棟と野菜ハウス 2 棟を建設し、熱利用者側の設備として、ハウス内温水配管、熱交換機を整備した。熱供給事業者側の熱供給設備としては、熱交換器、温水供給配管、積算熱量計等を整備した。施設整備後、温水供給を開始し、熱供給量や熱使用量、ハウス内外の温度の計測を行った。

#### (3) 低質材調達から蒸気供給まで一連の実証運用

##### 需要側における化石燃料ボイラとの接続調整

チップボイラからの蒸気供給量を最大化するため、需要側での蒸気受入量の調整を行った。利用者側蒸気ヘッダーにて、圧力 1.26MPaG 以上の飽和蒸気とすることが蒸気受入条件であったが、実証運用の結果、条件は満たしていることが確認された。蒸気受入可能量については、利用者側の熱負荷の 6 割程度をチップボイラからの蒸気でまかなう計画であったが、通常連続運転であれば冬季のバイオマスへの転換量は計画 4.0t/h よりも大きい 4.5t/h 程度の受入が可能と予想され、5t/h の受入も実現性が高いことが明らかとなった。

##### 熱供給事業の運用試験実施

チップ使用量は 4 ヶ月で約 1,700t (水分 50%WB 換算) であった。昨年度までの計画値としては、水分 60%WB 以下で 11,000t/年 (約 900t/月) としていたが、月平均で見ると計画値の 5 割弱であった。試運転期間に煙の問題が発生したため、なるべく低水分のチップを使用することとしたが乾燥チップは十分な量が調達できないことと、煙のトラブルによる地域住民との協議が続いていたため安全側で運転する必要がある、高水分チップを使う量を抑えていたことから、実証期間中は蒸気供給量を計画の 4t/h ではなく 2t/h として運用していたため、燃料消費量も半分程度であった。

今後の計画として、年間 11,000t 程度の燃料用チップを安定調達するためには、カスケード利用の上段となる製材用の安定調達も含めて考える必要があり、また持続可能な資源利用のためには材の供給側の低コスト化も重要な課題である。そこで、素材生産から植栽までを一括して行う一貫型施業による低コスト化と、広葉樹資源の利用について実証試験による検証を行った。試験の結果、一貫型施業では従前型素材生産に対して約 15 万円/ha のコスト削減となった。また、広葉樹を対象にした作業でも経済的に十分生産可能であることが示唆された。

蒸気供給については、4ヶ月で5,000t弱の供給量となった。燃料投入量に対する供給蒸気熱量をもとにボイラ効率を算定したところ、月別に算出したボイラ効率は60～70%、蒸気供給量2t/h時の時間当たりのボイラ効率は70%前後、蒸気供給量4t/h時の時間当たりのボイラ効率は85%前後という結果となった。負荷が小さい状態でボイラ効率70%というのは高めの結果となっており、原因としては時間毎の燃料投入量は実測できないため、燃料投入量の算定による誤差が考えられる。蒸気供給量が増えることで効率は向上していることから、負荷率が上がることでボイラ効率は向上することは確認された。

温水供給については、マンゴーハウスは冬季1ヶ月半で約13.2万MJ、灯油換算すると3,848L相当分の熱供給量となった。野菜ハウスは約12.2万MJ、灯油換算すると3,560L相当分の熱供給量となった。熱使用量は夕方17時頃から多くなり、気温が最も下がる明け方の6時前後がピークとなった。両ハウスの設定温度は15～20℃であり、概ね設定温度は満たしていた。熱供給総量も計測した結果、日中の熱を使用しない時間帯にロスが多いことが判明した。

運用試験による熱供給量とコストの実測結果を踏まえ、事業性について試算したところ、化石燃料価格が70円/L以上の場合、年間の営業利益がプラスとなった。化石燃料が100円/L程度であれば投資回収は10年以内となるが、60円/Lでは投資回収不可となった。しかしながら、現在化石燃料価格は60円/Lを下回っており、当初計画に比べ大幅に価格が低下しているため、現時点での年間収支はマイナスとなることが予想される。化石燃料価格は今後も変動することが予想されるため、事業が成立する条件について、設備補助を利用した場合等について検討したところ、補助率50%の場合には、化石燃料価格65円/L以上で営業利益がプラスとなり、70円/L以上で10年以内の投資回収が可能となった。補助率80%の場合には、化石燃料価格が60円/Lでも営業利益がプラスとなり、10年以内の投資回収が可能となった。補助率以外の改善要素として、蒸気販売量を冬季5ヶ月のみ1.25倍、チップ価格を現状の8割として試算した結果、50円/Lの場合にも営業利益はプラスとなり、投資回収年数も10年以下となった。

環境影響評価については、チップボイラからの蒸気供給によるCO<sub>2</sub>排出削減量は1,087t-CO<sub>2</sub>、温水供給によるCO<sub>2</sub>排出削減量は約18tと推計される。木質チップを燃焼させたときに発生する熱エネルギー1GJあたりのGHG排出量は、合計で16.37kg-CO<sub>2</sub>eqとなった。

#### 熱供給事業スキームの構築

那珂川地域での熱供給事業スキームとしては、4,000kWのチップボイラを設置し、大規模蒸気需要家への蒸気供給と農業ハウスへの温水供給を計画・試験運用したが、蒸気供給量を最大化したうえで化石燃料価格が100円/L以上となれば概ね事業として成立すると考えられる。特に、大規模蒸気需要家への通年の熱供給が重要な要件である。ただし、現状では化石燃料価格が大暴落しているため、熱需要規模と需要の要件に加え、設備に対して50～80%の補助やチップ価格を現状の8割程度まで低減させることができれば、普及の可能性はあることが示唆された。

## 7.2 課題

### (1) 土地利用の課題

ボイラ建設を進める際、手続き関係で特に問題となったのは文化財保護法であり、チップボイラ設置場所は埋蔵文化財指定エリアであることが工事直前に町から指摘があったため、工事前に試掘調査を実施することとなった。結果としては「遺構・遺物なし」だったため、予定通り工事を着工することができたが、試掘調査実施により工事が1ヶ月半遅れた。通常であれば試掘調査実施の依頼から調査完了まで数ヶ月～数年かかる場合もあり、また、遺構・遺物が発見された場合には協議を行い、保存のための費用負担が発生する。今回はその点については問題なく進めることができたが、地域によっては事前に十分確認することが必要である。

また、熱利用先としてウナギの養殖施設建設を計画していたが、計画地が第一種農地であることから養殖施設の建設が許可されなかった。このような法規制が事業化の大きな阻害要因となるため、規制緩和が必要である。本モデルの普及に向けて改善を求めたい。

### (2) チップの品質管理

ボイラの安定稼働と熱供給量の最大化のために、チップの水分管理が大きな課題となった。大規模製材工場では製材ラインにチップ化工程が組み込まれているため、生材を挽く工場から出るチップの水分は高いままであることが多く、低減化も難しい。

### (3) 行政の協力の必要性

熱供給事業の事業性確保のためには、熱利用施設を増やすことで熱供給可能量の最大利用を図ることが必要であるが、直売所などを設ける場合には新たに道路整備などインフラを整える必要がある。インフラ整備については、個別の民間事業者では負担が大きすぎるため、行政の協力が非常に重要だと感じた。また、農業での熱利用はランニングコスト面でのメリットは得られるが、温水利用のための熱交換器やハウスの新規建設のための費用や土地調整など、負担が非常に大きいことも明らかとなった。そのため、小規模事業者でも熱利用に参加できるような補助制度など支援策が必要だと考える。