

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の実証 (千葉県山武・長生地域))

成果報告書

平成 28 年 3 月

国立大学法人 千葉大学

目次

第1章 はじめに.....	5
1.1 事業の背景・目的.....	5
1.1.1 背景.....	5
1.1.2 目的.....	5
1.2 事業の実施体制.....	6
第2章 実証事業の全体概要.....	7
第3章 丸太燃料の集荷・加工システムの検討.....	9
3.1 試算方法.....	9
3.2 長生地域における取組.....	10
3.2.1 システムの概要.....	10
3.2.2 丸太燃料集荷・加工システムの検討.....	11
3.3 山武地域における取組.....	20
3.3.1 システムの概要.....	20
3.3.2 丸太燃料集荷・加工システムの検討.....	20
3.4 支援チームにおける取組.....	30
3.4.1 システムの概要.....	30
3.4.2 丸太燃料集荷・加工システムの検討.....	30
3.5 まとめ.....	36
3.5.1 本年度の成果.....	36
3.5.2 各地域における施業課題と対策.....	36
3.5.3 丸太燃料の製造およびコストに対する評価.....	36
第4章 丸太加温器によるエネルギー利用システムの検討.....	37
4.1 丸太燃料流通システムの概要と丸太加温器の利用システム.....	37
4.2 丸太加温器の概要.....	38
4.2.1 丸太加温器の機能.....	38
4.2.2 丸太加温器の仕様.....	39
4.3 丸太加温器の利用システムとその実証.....	42
4.3.1 丸太加温器の利用システムとその実証概要.....	42
4.3.2 モニター施設の概要.....	43
4.4 これまでの成果.....	71
4.4.1 初年度（平成25年度）の実施内容と成果（参照資料-1）.....	71

4.4.2	2年度目（平成26年度）の実施内容と成果（参照資料-2）	72
4.5	本年度の実施内容と成果	73
4.5.1	本年度の実施目標	73
4.5.2	本年度の実施内容と成果の要約	73
4.5.3	施設園芸における成果	73
4.5.4	温泉・一般暖房用途向けにおける成果	94
4.5.5	広い用途への対応における成果	108
4.5.6	大学・森林研究所における基礎実験	111
4.5.7	ハウス加温シミュレータによる最適設計	122
4.5.8	農林水産物の乾燥、調理等への加工応用の検討	126
4.6	丸太加温器利用の効果	127
4.6.1	エネルギー供給における丸太燃料の化石燃料に対する代替効果	127
4.6.2	本事業実施による環境評価	128
4.7	まとめ	129
第5章	丸太加温器の改良および改善の検討	130
5.1	はじめに	130
5.2	丸太加温器への要望と対応案	130
5.3	丸太加温器の機能拡大	132
5.3.1	丸太燃料投入容量の拡大	132
5.3.2	温風・温水ハイブリッド器の開発	137
5.4	非常時対応機能の検討（オプション機能）	139
5.4.1	補助重油バーナーの装備	139
5.4.2	停電対策	142
5.4.3	異常時の緊急対応	143
5.5	まとめ	147
第6章	地域システム化の評価	148
6.1	システム全体の評価	148
6.1.1	システム全体の取組結果	148
6.1.2	丸太燃料の流通コスト評価	148
6.1.3	丸太燃料流通システムにおける環境影響評価	148
6.2	地域システム化の評価	151
6.2.1	「丸太燃料流通システム」の事業性・経済性評価	151
6.2.2	「丸太燃料流通システム」を基盤とする事業主体の構築	160
6.2.3	地域特性や事業主体の特徴を考慮した「丸太燃料流通システム」のローカライズ	161
6.2.4	地域の利害関係者である山林所有者・農業者・地元自治体等との信頼・合意・連携等の「地域からの認知」	162

6.2.5 地域力向上への貢献.....	162
6.3 開催行事等.....	163
6.3.1 地域協議会の開催.....	163
6.3.2 視察、見学会.....	168
第7章 まとめ.....	173
7.1 事業の成果.....	173
7.2 事業の課題と対策.....	175
7.3 今後の地域システム化計画.....	177
(1) 都市近郊林の定義.....	177
(2) 都市近郊林の分布.....	177
(3) 都市近郊林に関する条例のある地域のうち、都市的地域.....	178

第1章 はじめに

1.1 事業の背景・目的

1.1.1 背景

2015年、フランス・パリで開催されたCOP21では『パリ協定』が正式に採択されるなど、近年顕在化する地球環境問題、CO₂排出削減、エネルギー問題など環境に対する問題への対策が世界レベルで行われている。そうした問題に対する地域からのイノベーションの提案として、このプロジェクトを位置づける。本事業では「イノベーション＝技術」だけではなく、流通やライフスタイルのイノベーションを含んだ社会イノベーションを地域から発信する。

そうした環境問題への注目度が高まる中で、エネルギー資源を十分に有していない日本においては森林資源が注目されている。近年、森林資源の有効活用が重要視されており、2009年には森林・林業再生プランが策定された。これは今後10年間をめどに、路網の整備、森林施業の集約化及び必要な人材育成を軸として、効率的かつ安定的な林業経営の基盤づくりを進めるとともに、木材の安定供給と利用に必要な体制を構築し、我が国の森林・林業を早急に再生していくための指針として作成されたものである。こうした林業の活性化は資源の有効活用の面で非常に有意義だが、日本の全ての地域や林業を振興し得るものではない。『森林・林業再生プランは日本林業の構造と整合的ではない。これは再生プランが、日本林業とは構造の違うドイツ林業をひたすら範として、理念先行型で作成された政策である（農林金融 2013年3月）』という意見もある。

このように、木材の利用や木質バイオマスの普及が叫ばれる中で、大規模で集約的な林業地以外の林業が発達していない地域や、都市近郊に位置する森林（以下、非林業地）などは林業振興に課題を抱えている。

1.1.2 目的

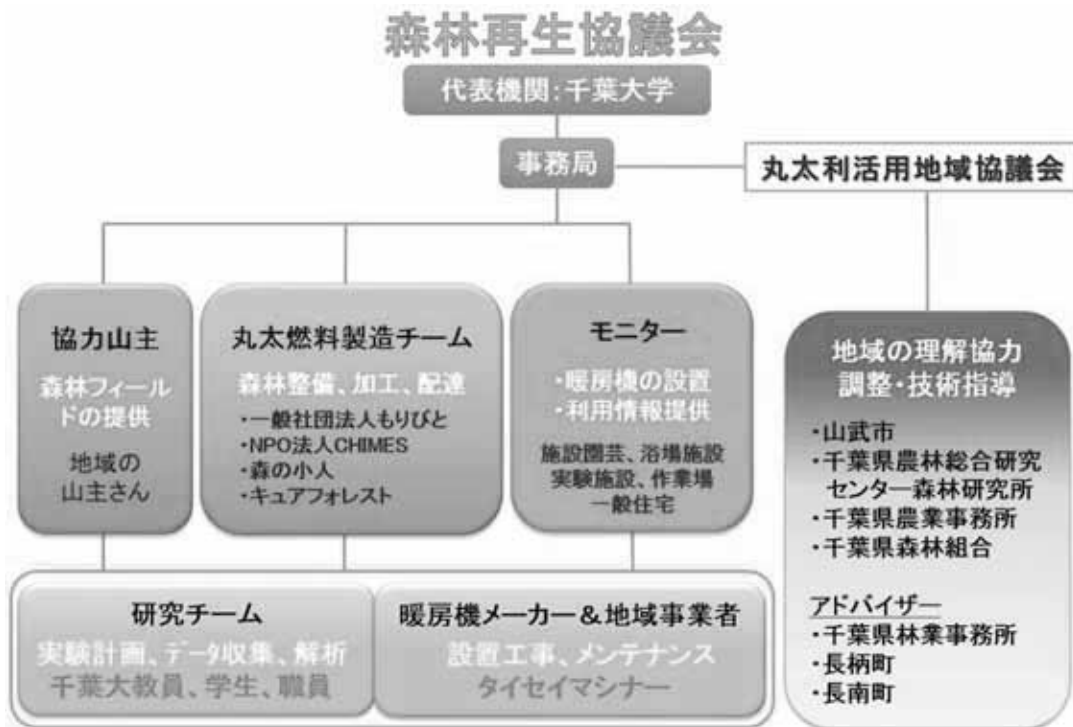
本事業は、「森林資源をエネルギーとして有効利活用し、低炭素社会の実現、森林整備の推進、雇用の確保を図る」ため、上記のような非林業地での木質バイオマス利用を、燃料供給から利用施設の導入までの一貫したサプライチェーンの構築で振興することを目的としている。この目的を達成するため、都市近郊小規模森林の再生と地域活性化をめざした丸太燃料流通システムの構築を目指した。具体的には小割りにした丸太を燃料とした加温器を起点として、人力又は簡易な機械を用いた小規模林業によって、低コストな燃料製造を行う。利用施設としては長生・山武地域で盛んな農業用ハウスを中心に加温器を導入し、木質バイオマス利用を実施する。

この目的達成のため、以下の5項目を目標とする。

- (1) 丸太燃料流通システムのモデル構築
- (2) 地域住民主導によるしくみの構築と自立的運用
- (3) 持続可能な小規模林業の実現
- (4) 木質バイオマスの利用を通じた地場産業活性化
- (5) 地域の持久力の向上・自立性の高い市民育成による農山村の活力再生

1.2 事業の実施体制

山主、農林業従事者、地域団体、大学、行政、メーカーなどから構成する「丸太利活用地域協議会」を設置し、実証実験による検証を通して、地域に適合する丸太燃料流通システムの構築を目指す。千葉大学中込教授が協議会会長を務め、協議会の運営、及び事業全体の運営管理は、千葉大学大学院工学研究科中込研究室を代表とする事務局が担う。また、バイオマスにかかわる多分野における知見・実績の豊富なメンバーで、各関係チームを設置、それぞれのチーム代表から構成されるコア会議を設置し、実質的な調査、評価、計画策定を実施する。



図表 1 事業の実施体制

図表 2 コア会議メンバー

プロジェクトリーダー	中込 秀樹
渉外・事務局	足立 眞理子
	千葉 美賀子
	宮下 敏男
	野口 直子
技術チーム	市橋 利夫
	和嶋 隆昌
	増渕 達也
技術チーム・支援チーム	川村 治
山武チーム	佐瀬 響
長生チーム	田島 俊介
ビジネスモデルチーム	新宅 一憲
ビジネスモデルチーム・広報チーム	井上 源太郎
広報チーム	中谷 正人
コンサルタント	株式会社森のエネルギー研究所

第2章 実証事業の全体概要

林内での原木の伐採から搬出、丸太への加工（玉切り、乾燥）、丸太燃料の配送、ユーザーによる利用までの丸太燃料流通システムの構築を目指す。

丸太燃料製造に関して、伐採、集材に係るコストが多くを占めることから、昨年度はこの工程の大幅な改善を行った。また、全体に占める割合は低いものの配送コストの改善も課題であった。各工程の効率化が求められるが、林業専門家ではない地域住民が組織するオペレーター集団では、林業技術の習熟度を上げることが肝心であることを意識し、安全教育とスキルアップをベースに作業の効率化に取り組んだ。

また、個別システムや作業の効率化だけでなく、全体フローの改善による効率化についても検討した。従来の流れでは、山土場から一度中間ストックヤードに運搬して、そこで燃料加工してストック・乾燥させてから、各モニターへ配送するというパターンであった。これを、中間ストックヤードを省略して直接モニターに配送することで、配送の回数を減らすことができる。これは配送工程のみならず伐採・集材作業、加工作業に及ぼす影響も大きいと考え、モニターの温室農家の方に協力頂いて、モニターサイト内に広いストックヤードを設ける方法を採用し、中間ストックヤードを省略するパターンを26年度の丸太燃料生産流通の地域システムとした。

図表 3 平成26年度の丸太燃料流通システム

集荷システム	加工システム	エネルギー利用システム
伐採 掛り木対応 集材 山武：簡易架線式集材 長生：人力+林内作業車 玉切り 搬出 配送 	丸太燃料への加工 ストック（1年分） 	乾燥 加温器による熱利用  丸太加温器導入施設（施設園芸・宿泊施設・事務所・住宅）

本年度は昨年度の作業システムを踏襲し、伐採から配送までを通して行い、供給先で加工するシステムを採用した。丸太燃料流通システムを構成する個別システムの実証の内容について、以下に整理する。

（集荷システム）

長生、山武、支援チームにおいてそれぞれ、プロ的林業家ではなく地域住民を中心としたオペレーターを組織化し、現場確保の森林所有者の調整から、林内での伐採、集材、ヤードへの燃料用丸太の配送の実証実験を実施する。各地域では現場条件に合わせて各々個別の施業パターンを展開し、材の集荷に係る生産性、経済性等のデータを収集・分析するとともに、オペレーター技能の向上や現場発信のアイデアを中心とした改善策の提案・検証を行う。

（加工システム）

丸太燃料の製造に係る玉切りの工程について生産性、経済性等の効果検証を行う。暖房機で利用可能なサイズへの丸太の玉切りに要する生産性・コスト分析を行う。

(エネルギー利用システム)

① 昨年度までに導入した丸太加温器について、燃焼性、暖房効果等の検証を行う。丸太加温器の特性を生かした加温方法の最適化、温泉・一般暖房向け用途では安定稼働の実証、や農水産物の加工への応用の検証を行うことにより、丸太燃料流通地域システムの継続・拡大のためのユーザーフレンドリーなシステムの達成を目指す。

また、LCA 手法に基づきインベントリ分析、エネルギー収支分析を行うとともに、丸太燃料利用によるシステム全体のCO2削減効果を評価する。

② 加温器本体では、丸太投入容量の拡大、温風・温水ハイブリット器の試作・試験を実施する。さらに年末年始、補助重油バーナーシステム、停電対策として非常用エンジン発電機、加温器システム異常時に携帯端末等へ緊急信号を送る加温器システム異常発信器等の試作・試験を行い、これらを廉価なオプションとして設定できるよう進める。

第3章 丸太燃料の集荷・加工システムの検討

3.1 試算方法

丸太燃料の集荷・加工システムの検討を行うために実証試験を実施し、コスト分析を行った。

本年度はコストを「労務費」、「燃料費」、「機械費」、「消耗品その他」に分けてそれぞれを算出し、それらを合計して積算した。コスト積算の方法や諸元値は『全国林業改良普及協会編（2001）機械化のマネジメント』を参考にし、労務費は作業員1人当たり1日10,000円（1,250円/時間）とし、また材積は水分25%w.b.とし、その際の比重をスギ0.47、広葉樹0.7とした。詳細な積算方法については下記に示す。ただし、26年は使用機械費に一般値を採用していたが、本年度は使用機械の実際の数値を採用しているため、やや試算値が異なっている。

<積算方法>

- ◆労務費＝作業員時間給/労働生産性
 - ◆燃料費＝機械台数×燃料・油脂費/労働生産性
 - ◆機械費＝機械台数×（減価償却費＋管理費＋資本利子＋保守・管理費）/労働生産性
 - ◆消耗品その他＝機械台数×機材消耗品費/労働生産性
-
- 保守・修理費＝（保守・修理费率＋購入価格）/耐用時間
 - 燃料・油脂費＝（燃料消費量×燃料単価）＋（オイル消費量×オイル単価）
 - 管理費＝（年間機械管理费率×購入価格）/年間稼働時間
 - 償却費＝償却费率×購入価格/耐用時間
 - 資本利子＝（資本回収係数－1/耐用年数）×購入価格/年間稼働時間
- ※資本回収係数＝年利率（1＋年利率）^{耐用年数} / （1＋年利率）^{耐用年数} - 1
- 機材消耗品費＝機材消耗品の損料率×機材消耗品価格×当該機械の生産性

3.2 長生地域における取組

3.2.1 システムの概要

基本的には前年度と同様、人力を中心とした作業システムを採用するが、前年度からの変更点として下記の点が挙げられる。また、長生地域の特徴とチーム構成、搬出材積について図表 4 に示す。

- ・昨年 9 月より任意団体から「一般社団法人もりびと」となった。
- ・作業をできるだけ人力で行うことにより、機械経費を省いてコストを下げる方向を目指している。
- ・個々の技能の向上を重視しており、週末に自主安全講習・スキルアップ講習を行っている。

図表 4 長生地域の特徴

地域	主な樹種	チーム構成	搬出材積	特徴
長生	針葉樹(スギ) 広葉樹(雑木)	総人数 15 人 3 チーム・3~5 人で作業	180 t (昨年度 170 t)	自伐林家

3.2.2 丸太燃料集荷・加工システムの検討

(1) これまでの取り組み

1) 作業員のスキルアップ

長生チームの作業員は、全員林業専業者ではなく、生活の中で山仕事をしている農林家や、現役サラリーマン、脱サラ参入者、定年退職者、フリーターの若者、主婦等さまざまであり、年齢も20代～60代と幅広いため、作業技術を向上させることは安全の面からも欠かせない。今年は自主安全講習を開くとともに、週末に個別指導を目的としたスキルアップ研修を行い、個々人の作業技術の向上を目指した。その結果、下記のような成果が得られた。

- a. ロープワークによる掛り木の減少
- b. 伐倒・枝落とし・玉切りの時間短縮
- c. 伐採作業における作業員の安全確保

研修会に参加した人からは、「講習会で如何に安全に倒すかを習得しながら、より多くの伐採を経験することが大事だと痛感した。」との感想があがっている。またロープワークの習熟も伐採の効率を上げることに繋がっている。伐採とロープワークを組み合わせることで掛り木を回避したり、掛り木が発生した場合にロープでも引いて倒すなど伐採の時間短縮に役立っている。

昨年度の平均伐採時間は一人あたり19分であった。今年度から参加している初心者と前年度から参加している習熟者の伐採時間の向上の例を図表5に示す。

図表5 平成25年度と平成26年度の伐採時間の比較
単位：分/本・人

	伐採時間 平成25年度	伐採時間 平成26年度 (初心者)	伐採時間 平成26年度 (習熟者)
平均伐採時間	19分	12分20秒	5分11秒



図表6 自主講習会 チェーンソー実習

2) 林内作業における小規模機械の導入

平成 26 年度は林内作業車のスーパーやまびこを導入し、Z フォークとともに現場の状態に応じて使い分け、主に集材作業の効率化を目指した。10 月 24 日人力作業試験と 3 月 5 日スーパーやまびこ試験の伐採・集材を比較すると、人力が 4.02 円/kg、スーパーやまびこが 1.80 円/kg でスーパーやまびこでの集材コストが低くなった。12 月 26 日は導入後初めてスーパーやまびこを使用する作業であったため集材コスト 6.59 円/kg とコスト高になったが、スーパーやまびこのオペレータが不慣れで効率よく機能を発揮できなかったためと考えられる。スーパーやまびこの操作の習熟度が一定程度向上した 3 月 5 日の試験では集材作業の生産コストを大きく下げることができたため、スーパーやまびこの導入が非常に効果的だったと考えられる。



図表 7 ロープを使用して伐倒を補助する様子



図表 8 Z フォークを用いた積み込みの様子



図表 9 加工の様子



図表 10 丸太燃料の集積の様子

12 月 26 日作業システムは基本的に 10 月 24 日の人力集材試験と同様であるが、集材時にスーパーやまびこを導入した点異なる。下記に作業時の写真を示す。



図表 11 玉切りの様子



図表 12 スーパーやまびこによる集材



図表 13 スーパーやまびこからクレーンで積み込み

(2) 試験計画

長生チームにおいて、平成 26 年度は針葉樹を対象に短時間で効率的な作業で 15 円/kg での丸太燃料を供給することを目標として試験を実施し、最小コストでは目標値の 15 円/kg を大きく下回る 7.24 円/kg を達成した。一方で、平成 26 年度は短時間で効率的な作業を実施したため、長時間作業での低コスト化が図れるかが課題となっていた。また、平成 26 年度は作業が容易なスギの生産で試験を実施したものの、長生地域には潜在的に広葉樹が多く、中長期的な燃料供給を実施する上では広葉樹資源の活用は必須である。しかしながら、広葉樹は樹形が一定でないため、針葉樹に比べて作業が困難であり、高コストになる。平成 26 年度に実施した広葉樹の伐採・集材試験と針葉樹の積み込み、配送、加工を加えたコストは 18.79 円/kg と目標の 15 円/kg を上回っている。そこで、本年度調査では広葉樹を主な生産対象とし、比較的長時間な作業での 15 円/kg の目標の達成を目指した。

(3) 実施試験結果

1) 昨年度の結果の検証

平成 26 年度のコスト積算は一般的な林業機械の諸元値に基づいて実施していたが、本年度は実際の使用機械を用いてコスト積算を行った。平成 26 年度と本年度試験結果との比較を行う際には、試算方法を統一する必要があると考えられる。また、使用機械自体は平成 26 年度から変わっていないので、本年度のコスト積算方法に基づいて再計算を行った。結果を下記に示す。

図表 14 平成 26 年度長生チーム 生産コスト・見直し(3月5日実施)

作業	伐採・集材	積み込み	配送	加工	計
労務費 (円/kg)	7.50	0.79	0.28	3.21	11.78
燃料費 (円/kg)	1.86	0.12	0.12	0.34	2.44
機械費 (円/kg)	3.45	0.49	0.39	0.09	4.42
消耗品その他 (円/kg)	0.08	0.00	0.01	0.06	0.15
生産コスト (円/kg)	12.89	1.40	0.80	3.70	18.79
生産コスト (千円/m ³)	9.02	0.98	0.56	2.59	13.15

2) 本年度実施試験概要

上記、試験計画に基づき実証試験を実施した。概要を下記に示す。

図表 15 試験概要

調査日	樹種	場所	フィールド 状況	伐採 (材長)	集材	積み込み	配送	加工
平成 26 年度	スギ	熊野の 清水付近	緩傾斜	チェーンソー ロープ (4m)	スーパーや まびこ	クレーン付 トラック	クレーン付 トラック	チェン ソー
6 月	スギ	蔵持	傾斜地	チェーンソー (4m)	ポータブル ウインチ	クレーン付 トラック	クレーン付 トラック	—
6 月	雑木	熊野の 清水付近	緩傾斜	チェーンソー (4m)	スーパーや まびこ	クレーン付 トラック	クレーン付 トラック	—
6 月	スギ	熊野の 清水付近	緩傾斜	チェーンソー (4m)	スーパーや まびこ	クレーン付 トラック	クレーン付 トラック	—
9/15	雑木	熊野の 清水付近	緩傾斜	チェーンソー (2m)	Zフォーク	Zフォーク	クレーン付 トラック	—
10/4	雑木	蔵持ストッ クヤード	平坦地	チェーンソー (2m)	—	—	—	チェン ソー

上記の試験を実施し、本年度の代表データとして 9 月 15 日に実施の伐採・集材・積み込み・配送作業、10 月 4 日に実施した加工の作業を採用した。

以下に本年度実証試験の詳細について試験計画に基づいて示す。

図表 16 本年度の生産コスト (9 月 15 日・10 月 4 日実施)

作業	伐採・集材	積み込み	配送	加工	合計
労務費 (円/kg)	1.26	0.67	1.21	2.17	5.31
燃料費 (円/kg)	0.56	0.23	0.70	0.33	1.82
機械費 (円/kg)	0.17	0.53	2.36	0.07	3.13
消耗品その他 (円/kg)	0.11	0.03	0.06	0.06	0.26
生産コスト (円/kg)	2.10	1.46	4.33	2.63	10.52
生産コスト (千円/m ³)	1.47	1.02	3.03	1.84	7.36

9 月 15 日および、10 月 4 日の試験の結果を平成 27 年度の代表データとして採用した。本年度の生産コストは 10.52 円/kg となり、平成 26 年度の生産コスト 7.17 円/kg と比較してやや高い結果となった。

3) 伐採・集材コストの算出

ここで、丸太燃料製造コストの上限を 15 円/kg とした場合に、各作業工程でかかる生産コストを考察することができる。

積み込みおよび加工コストは作業条件に関わらず大きな変動要因は無いため定数とみなすことができる。また、配送コストは距離に依存するため、配送距離に応じて算出されるものとする、積

み込み、配送、加工のコストを 15 円/kg から差し引かれた価格が伐採・集材のコストとして算出される。伐採・集材コストは林齢、林分の施業履歴、傾斜、道の状態、機械の使用状況、天候等、様々な要因に影響される。そこで、事前に伐採・集材にかかるコストの上限を把握することによって作業が実施可能かどうか、どのように作業を実施すればよいかを明らかにできる指標として本式の活用が見込まれる。

ただし、長生チームでは配送に軽トラックとクレーン付トラックを使用している。以下では、一方のみで配送を行うと仮定し、配送コストをそれぞれ算出した。なお、積み込みに関しては軽トラックとクレーン付きトラックで若干、作業の差があるため、個別にコストを抽出した。また、クレーン付トラックで配送を行った際、積み下しにはクレーンを用いている。以下に計算式を示す。

図表 17 生産コスト算出前提条件

作業	伐採・集材	積み込み	配送	加工
生産コスト (15 円/kg) ※軽トラック配送の場合	X_1	0.95	Y_1	2.63
生産コスト (15 円/kg) ※クレーン付きトラック 配送の場合	X_2	1.18	Y_2	2.63

丸太燃料生産コスト 15 円/kg

$$= \text{伐採・集材コスト} + \text{積み込みコスト} + \text{配送コスト} + \text{加工コスト}$$

$$= 15 \text{ 円/kg} - (\text{積み込みコスト} + \text{配送コスト} + \text{加工コスト})$$

$$\text{伐採・集材コスト } X_1 \text{ (円/kg)} \quad (\text{軽トラック配送の場合})$$

$$= 15 - (0.95 + Y_1 + 2.63)$$

$$= 11.42 - Y_1$$

$$\text{伐採・集材コスト } X_2 \text{ (円/kg)} \quad (\text{クレーン付きトラック配送の場合})$$

$$= 15 - (1.18 + Y_2 + 2.63)$$

$$= 11.19 - Y_2$$

ここで、配送コストを下記の計算式に基づいて算出する。なお、配送距離は 8km である。

配送コスト Y (円/kg)

$$= \text{労務費} + \text{機械台数} \times \text{その他費用 (円/kg)}$$

$$= (\text{時間単価 (円/h)} / \text{生産性 (kg/h)}) + \text{機械台数} \times \text{その他費用 (円/kg)}$$

※時間単価 : 1,250 円/h

※生産性 : 配送量(t) / (km あたり配送時間 (h/km) × 配送距離(km))

* 配送量は、試験時の 1 回の配送量とし、軽トラックの場合 0.35t、クレーン付きトラックの場合 2.8t である。

* km あたり配送時間は実績をもとにした係数。軽トラックの場合 0.05、クレーン付きトラックの場合 0.08 である。

* 配送距離は、試験地からストックヤードまでの往復距離である 8 km とした。

* 1 回の配送量は試験時の平均配送量とし、軽トラックの場合 0.35t、クレーン付きトラックの場合 2.8t である。

※その他費用：燃料費、機械費、消耗品その他において実績を基に設定した係数。軽トラックの場合 2.32 円/kg、クレーン付きトラックの場合 0.80 円/kg

上記の計算式により算出された配送コストは軽トラック配送の場合 3.75 円/kg、クレーン付きトラックの場合 1.09 円/kg であった。これを基に 15 円/kg で丸太燃料を生産することを前提とした生産コストを以下に示す。

図表 18 各作業における生産コスト

作業	伐採・集材	積み込み	配送	加工
生産コスト（15 円/kg） ※軽トラック配送の場合	7.67	0.95	3.75	2.63
生産コスト（15 円/kg） ※クレーン付きトラック 配送の場合	10.10	1.18	1.09	2.63

上記の計算より、本条件下において伐採・集材にかけることのできるコストは、配送に軽トラックを用いた場合 7.67 円/kg となり、クレーン付きトラックを用いた場合 10.10 円/kg となった。軽トラックで配送を行った場合、積み込みに関しては人力で行うため、比較的低コストで実施できているが、積載量が少なく 1 度に運べる材の量が少ないため、比較的高コストになっている。一方、クレーン付きトラックは積み込みにクレーンを使用しており、機械費の分軽トラックよりも高コストになっている。しかし、軽トラックに比べ 10 倍近い積載量が確保できるため、配送コストは大きく低減できている。

積み込み配送工程のコスト合計は軽トラックの場合 4.70 円/kg、クレーン付きトラックの場合 2.27 円/kg と、クレーン付きトラックの方が 2.43 円/kg 安価ということが明らかになった。この結果、本作業システムでは基本的にはクレーン付きトラックによって配送を行い、クレーン付きトラックが使用できない現場でのみ軽トラックを使用することが効率的ということが示唆された。

4) 平成 26 年度と本年度の生産コスト比較

丸太製造試験の生産コストについて、平成 26 年度に実施したスギを対象にした試験と、本年度実施した広葉樹を対象にした試験とで、結果がどの程度異なるかを考察した。生産コストの算出条件を統一するため、本年度の試験結果のうち配送コストについて、丸太配送距離を一定とした。平成 26 年度の試験において、丸太配送距離は約 13km であったため、この配送距離を採用することとし、本年度の配送コストを算出した。結果を以下に示す。

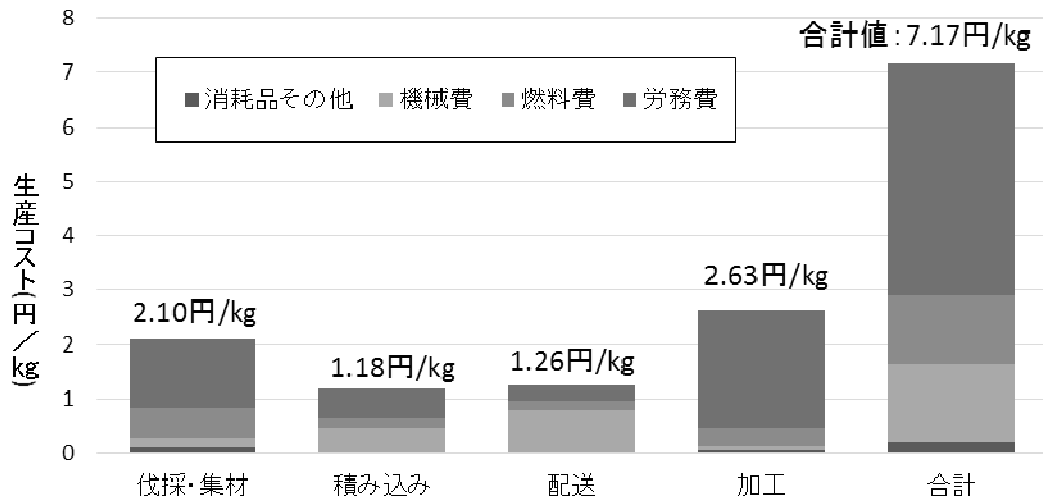
図表 19 本年度の試験結果

生産コスト (円/kg)	伐採・集材	積み込み	配送	加工	合計
平成 27 年度 ※軽トラック配送 の場合	2.10	0.95	4.64	2.63	10.32
平成 27 年度 ※クレーン付きトラ ック配送の場合	2.10	1.18	1.26	2.63	7.17

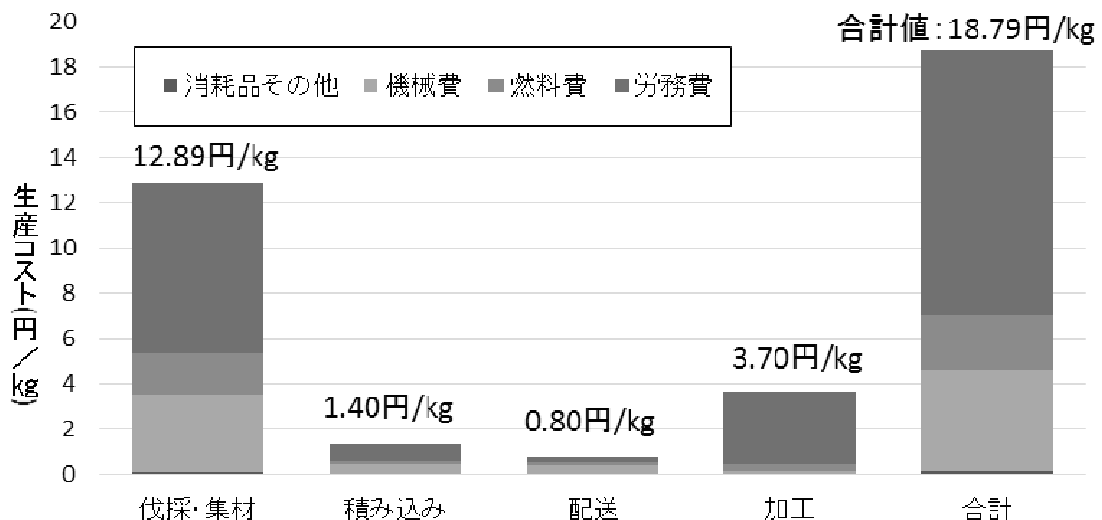
軽トラックでの配送の場合のコストは合計で 10.32 円/kg、クレーン付きトラックでの配送の場合
は 7.17 円/kg という結果となった。これらでより低コストなクレーン付きトラックでの配送の場合
を本年度の試験結果とした。

(4) 前年度コストとの比較

本年度の試験結果と平成 26 年度の試験結果を下記に示す。



図表 20 平成 27 年度の生産コスト



図表 21 平成 26 年度の生産コスト

また、昨年度と本年度の諸条件の違いを下記に示す。

図表 22 長生における作業時間と作業量の比較

	平成 27 年度	平成 26 年度
のべ作業時間	22 時間 02 分 04 秒	6 時間 05 分 35 秒
生産量	7.01t	2.19t
生産コスト	7.17 円/kg	18.79 円/kg

(5) 今年度の成果

上記の結果より、平成 26 年度の広葉樹を対象にした丸太製造コスト 18.79 円/kg に対して本年度のコストが低い結果となった。これは長時間作業を実施した結果であることを加味すると非常に効率的な作業が実施できたと考えられる。広葉樹施業は本来、伐採・集材に関しては樹形が不定形なため伐倒の際にかかり木になりやすく、造材時も曲がりが多いため、針葉樹に比べ作業の難易度が高い。これは平成 26 年度の試験結果の中でも広葉樹のみ非常にコスト高になったことから明らかになっていた。本年度は作業前に入念な伐採計画や作業への慣れがあり、高効率化することができたと考えられる。積み込みについては大きな変化は見られなかったが、配送に関してはコスト高になった。これは曲がりの多い広葉樹を積載する際に空隙が多く、積載量が確保できないことに起因すると考えられる。一方で、加工に関しては低コスト化を実現できており、昨年度山武チームで開発した治具を使用したことと、過去 2 カ年の試験による習熟度の向上によるものだと考えられる。

本年度は広葉樹を対象としても、本実証試験の目標コストである 15 円/kg を十分に下回る生産コストを目標としており、広葉樹を対象としても 15 円/kg での丸太燃料製造の可能性が示唆された。

(6) 課題

昨年度の広葉樹を対象にした試験と比較すると半分以下の低コスト化に成功した。しかし、本年度の試験は伐倒方向の選定、伐倒順序の決定、作業段取りの確認を入念に行った上で実施しており、一般的な作業をする上ではできるだけそうした作業は省く必要がある。今後は作業の習熟度をさらに上げ、そうした準備作業を減らすことが課題になると考えられる。

また、継続的に丸太燃料製造事業を実施していく上で、施業を実施した山主へ如何に利益を還元するかが重要である。長生地域では広葉樹を対象に施業を実施する機会が多いが、山主からシイタケ原木用のほだ木や、薪を融通してもらいたいとの要望が多くある。現在はこうした要望に応え、山主からの好評を得ているため、現金での利益還元ではなく、こうした山主ニーズに対応することでの山主還元を実施していく計画である。

3.3 山武地域における取組

3.3.1 システムの概要

長生地域同様、前年度の作業システムを踏襲するが、一部機械導入や改良開発を行うことで低コスト化を図る。下記に山武地域の特徴を整理する。

- ・過去2カ年と同様 NPO を中心とした体制である
- ・通常木材生産では使用しない軽トラックや ATV などの身近な機械を改良して、小規模林業に利用可能な小型林業機械の開発によってコスト削減を目指す
- ・昨年度から改良してきた小型林業機械をさらに改良した試作機を開発した

図表 23 山武地域の特徴

地域	主な樹種	チーム構成	搬出材積	特徴
山武	針葉樹(スギ)	総人数 5 人 1 チーム 3 人で作業	138 t (昨年度 103 t)	小規模機械の開発と改良

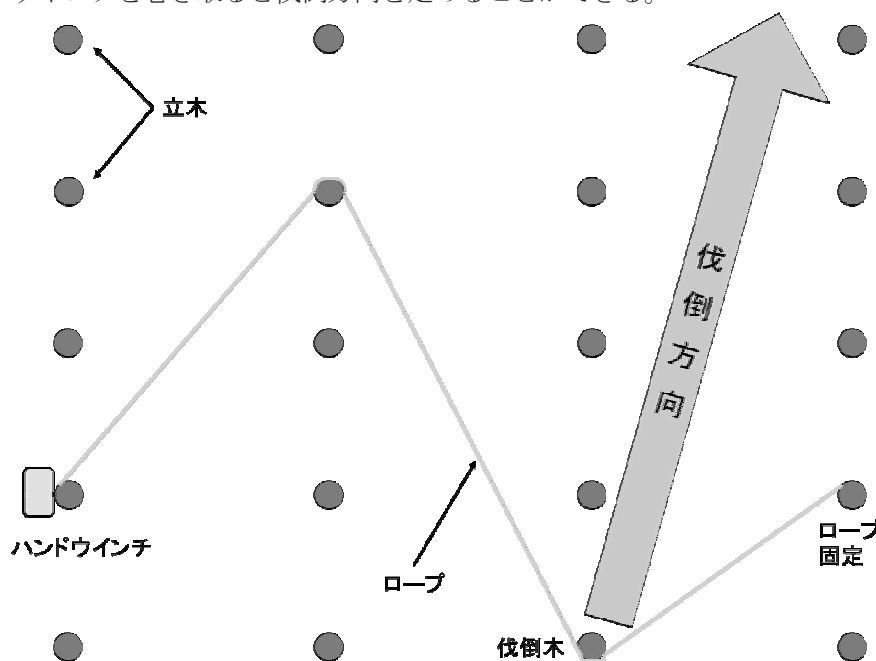
3.3.2 丸太燃料集荷・加工システムの検討

(1) これまでの取り組み

1) 伐採作業におけるハンドウインチの導入

山武地域には間伐が十分に行われていない荒廃森林が多く、前年度の試験ではかかり木が非常に多く発生し、生産コストの増大につながった。そこで、平成 26 年度は独自に開発したハンドウインチを導入することによってかかり木の発生率を減らし、処理時間の低減を図った。

ハンドウインチはロープで伐倒方向を誘導するための道具で、かかり木の発生を予防することができる。また、かかり木になってしまった場合でもハンドウインチによる力がかかっているため、比較的容易に処理することができる。使用方法を下記に模式図を示す。模式図中のようにロープを設置し、伐倒するタイミングでハンドウインチを巻き取ると伐倒方向を定めることができる。



図表 24 ハンドウインチの模式図

下記にハンドウインチを使用している写真を示す。



図表 25 ハンドウインチ設置の様子

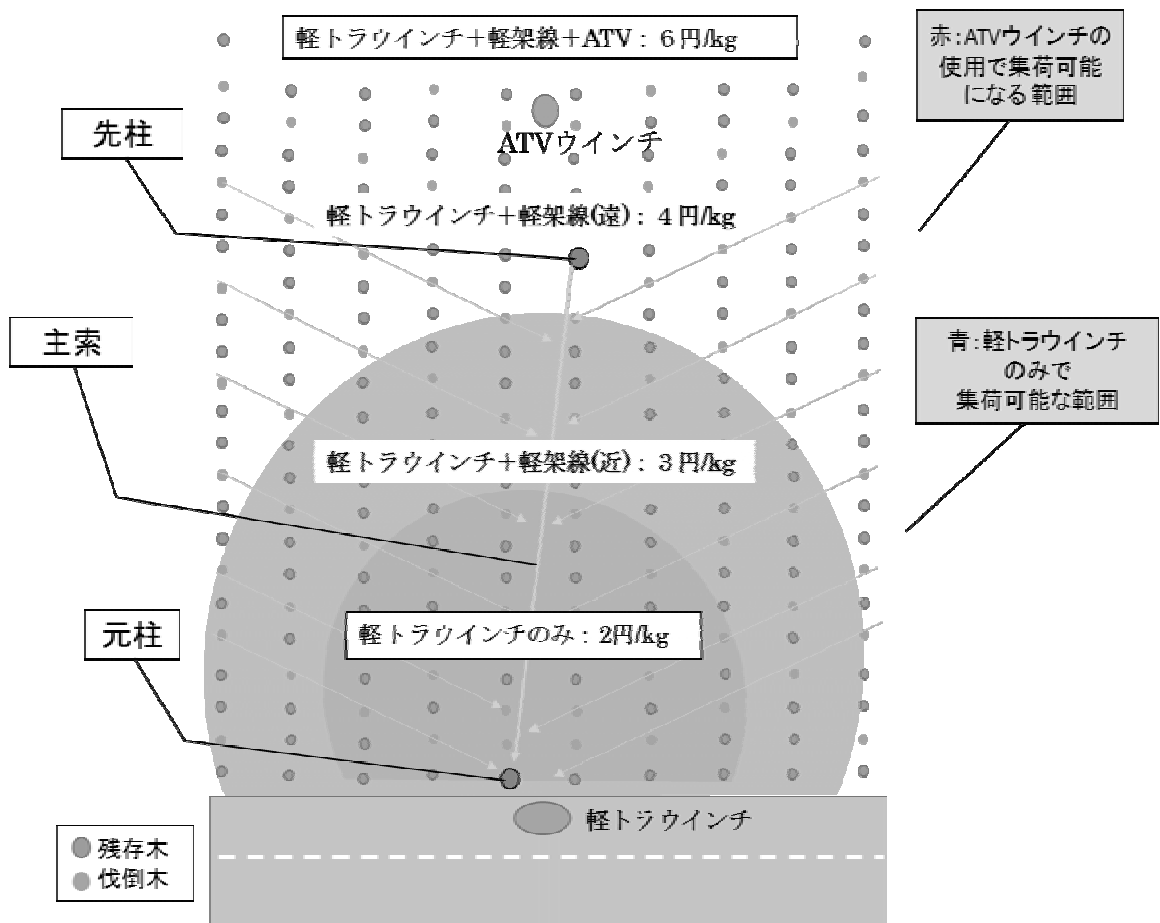


図表 26 ハンドウインチを用いた伐採の様子

2) 伐採・集材方法の効率化

集材作業に関しては「土佐の森方式の軽架線集材システム」を採用し、動力として軽トラウインチやATV ウインチを使用してきた。しかし、前年度の課題として、残存木に傷がつかないように慎重に作業をしていたため作業効率が低下していた点が挙げられた。そこで今年度は軽架線の主索に対して斜めに伐倒し、集材する作業システム（魚骨状列状間伐）を採用し、残存木への影響が極力少ない作業システムを取ることで作業効率の向上を図った。また、軽トラウインチによる軽架線システムでは主索周辺の材は集材が可能であるが、軽トラウインチからの距離が遠くなると集材は技術的にも物理的にも難しくなる。そこで、林内でも走行性の高いATV ウインチを導入することで、軽トラウインチでは集材できなかった道からの距離が遠い材の集材が可能になった。模式図を下記に示す。

また、前年度は横引き時に搬器が移動して残存木を傷つける事態が多発した。これを改善するために搬器にストッパーを取り付け、横引きの際には動かないように固定した。



図表 27 軽トラ軽架線方式による魚骨状列状間伐の模式図



図表 28 軽トラウインチを使用した集材の様子



図表 29 ATV ウインチを使用した集材の様子



図表 30 改良しストッパーを取り付けた搬器

(2) 試験計画

山武チームにおいて、平成 26 年度は短時間での高効率な作業で 15 円/kg での丸太燃料を供給することを目標として試験を実施し、目標値を大きく下回る 5.88 円/kg を達成した。しかし、平成 26 年度は短時間で作業であったため、継続した作業の実施は容易ではないと考察された。そこで、本年度調査では作業時間によって生産コストが変化すると考えられる伐採、集材の工程において長時間の作業を実施し、継続的に作業できる条件での 15 円/kg の達成を目指した。

なお、積み込み、配送、加工の工程に関しては条件によって生産コストが大きく変化することは考えにくいと、低コスト化を図ることができた平成 26 年度の調査結果を採用するものとする。また、昨年までは詳細な作業データを取得していたが、実際の作業時にはそうした詳細な作業データの取得は困難であり、作業日報をベースに記録・分析を行った。

(3) 実証試験結果

上記試験計画に基づき実証試験を行った。概要を以下に示す。

図表 31 試験概要

調査日	樹種	場所	フィールド 状況	伐採 (材長)	集材	積み込み	配送	加工
平成 26 年度	スギ	塩浜～ 緑海園芸	—	—	—	クレーン付 トラック	クレーン付 トラック	チェーンソー 治具
9 月	スギ	板中新田	平坦地	チェーンソー (4m)	軽トラインチ、 Z フォーク	—	—	—
12 月	スギ	板中新田	平坦地	チェーンソー (4m)	軽トラインチ、 Z フォーク			

上記の試験を実施し、本年度の代表データとして 12 月に実施した作業を採用した。

以下に本年度実証試験の詳細について試験計画に基づいて示す。

図表 32 本年度の生産コスト（積み込み以下は平成 26 年度実施データ）

作業	伐採	集材	積み込み	配送	加工	合計
労務費 (円/kg)	1.62	1.74	0.31	0.23	2.09	5.92
燃料費 (円/kg)	0.00	0.28	0.04	0.07	0.22	0.58
機械費 (円/kg)	0.06	0.60	0.14	0.20	0.06	1.00
消耗品その他 (円/kg)	0.04	0.09	0.01	0.02	0.04	0.19
生産コスト (円/kg)	1.72	2.71	0.50	0.52	2.41	7.86
生産コスト (千円/m ³)	0.81	1.27	0.24	0.24	1.13	3.69

より低コストな生産を達成した 12 月の試験結果を本年度の代表データとして採用した。先述の通り、平成 26 年度の積み込み～加工までの試験結果を加え、生産コストを算出した。生産コストは 7.86 円/kg となり、平成 26 年度の短時間試験での結果よりも高コストになった。しかし、生産コストは目標の 15 円/kg を大きく下回る結果となった。

1) 伐採・集材コストの算出

伐採・集材コストについて長生チームと同様の方法で試算を実施する。

以下に計算式を示す。

図表 33 生産コスト算出前提条件

作業	伐採・集材	積み込み	配送	加工
生産コスト (15 円/kg)	X	0.50	Y	2.41

丸太燃料生産コスト 15 円/kg

=伐採・集材コスト + 積み込みコスト + 配送コスト + 加工コスト

伐採集材コスト X(円/kg)

=15 円/kg - (積み込みコスト + 配送コスト + 加工コスト)

=15 - (0.50 + Y + 2.41)

=12.09 - Y

長生チームと同様の方法で、配送距離 1km で配送方法を試算した結果、配送コストは 0.22 円/kg となった。

図表 34 各作業における生産コスト

作業	伐採・集材	積み込み	配送	加工
生産コスト (15 円/kg)	11.87	0.50	0.22	2.41

上記の計算より、本条件下での伐採・集材にかけることのできるコストは 11.87 円/kgとなった。逆に積み込み、配送工程のコスト合計は 0.72 円/kg と非常に安価となった。これは生産現場から燃料供給先までの配送距離が 1km と非常に近距離であったためであると考えられる。

2) 平成 26 年度と本年度の生産コスト比較

丸太製造試験の生産コストについて、平成 26 年度に実施した短期的な試験と、本年度実施した長期的な試験とで、結果がどの程度異なるかを検討した。生産コストの算出条件を統一するため、本年度の試験結果のうち配送コストについて、丸太配送距離を一定とした。平成 26 年度の試験において、10 月 2 日の試験における丸太配送距離は約 7km であった。この配送距離を採用することとし、前項の式に代入して本年度の配送コストを算出した。伐採・集材コストに関してはより低コストに実施した 12 月の結果を採用し、本年度試験の結果を以下に示す。

図表 35 本年度の試験結果

生産コスト (円/kg)	伐採・集材	積み込み	配送	加工	合計
平成 27 年度	4.43	0.50	0.52	2.41	7.86

配送コストは 0.52 円/kg となり、生産コスト合計は 7.86 円/kg という結果となった。

(1) 本年度開発の製作物

1) 軽トラックリフト

これまでの丸太燃料供給事業の中で需要者へ丸太燃料供給を行う際に加温器の脇に十分なストックヤードが設けられない場合があった。そのような需要者に対しては少し離れた場所にストックヤードを設置して供給していたが、加温器の脇まで運搬を行ってほしいと要望があった。これに対応するため軽トラックを用いた小運搬の機械として軽トラックリフトを制作した。このリフトを装着したままでは公道は走れないものの、今回要望のあった需要者のように丸太燃料のストックヤードから加温器が離れている場合、必要に応じて使用することができる。やや運転の技術が必要であるが、実際の運用でもうまく供給することができている。



図表 36 軽トラックリフト

2) アルミキャリア

これまでの簡易架線集材ではワイヤーを用いて作業を行っていた。しかし、ワイヤーは重量が重く、繊維のもつれがケガを誘発する可能性があり、作業性や安全面で問題があった。そこで、アルミキャリアを制作した。これは簡易架線システム自体の重量軽減とロープを使用可能にする目的がある。十分なデータ計測は実施できていないが作業者へのヒアリングによると、アルミキャリアの導入により、機械の使用時の効率の向上、機械の持ち運び等で従前の簡易架線システムよりも使用しやすいとの見解が得られた。図表 37、図表 38 に写真を示す。



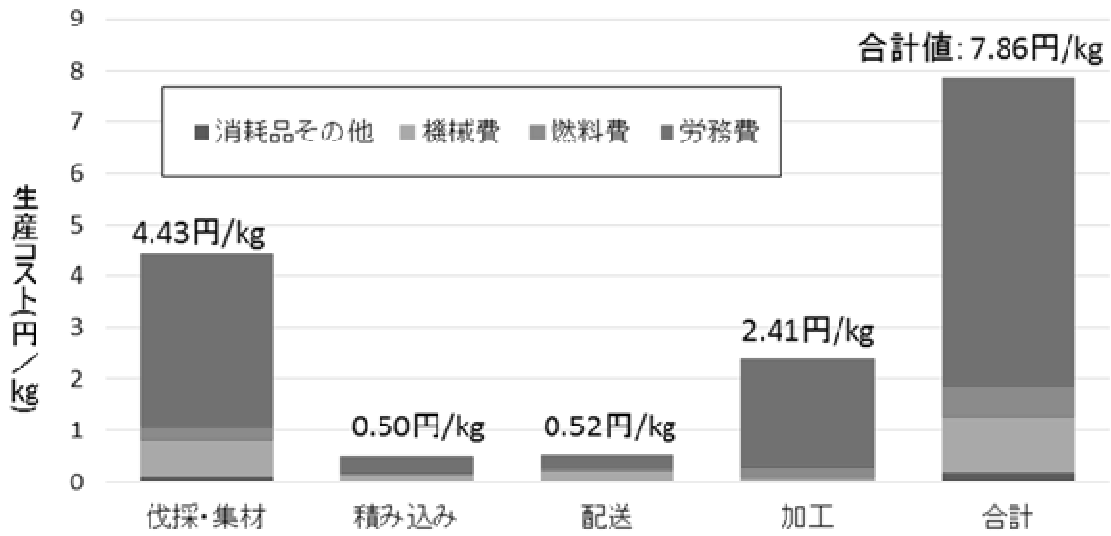
図表 37 アルミキャリア



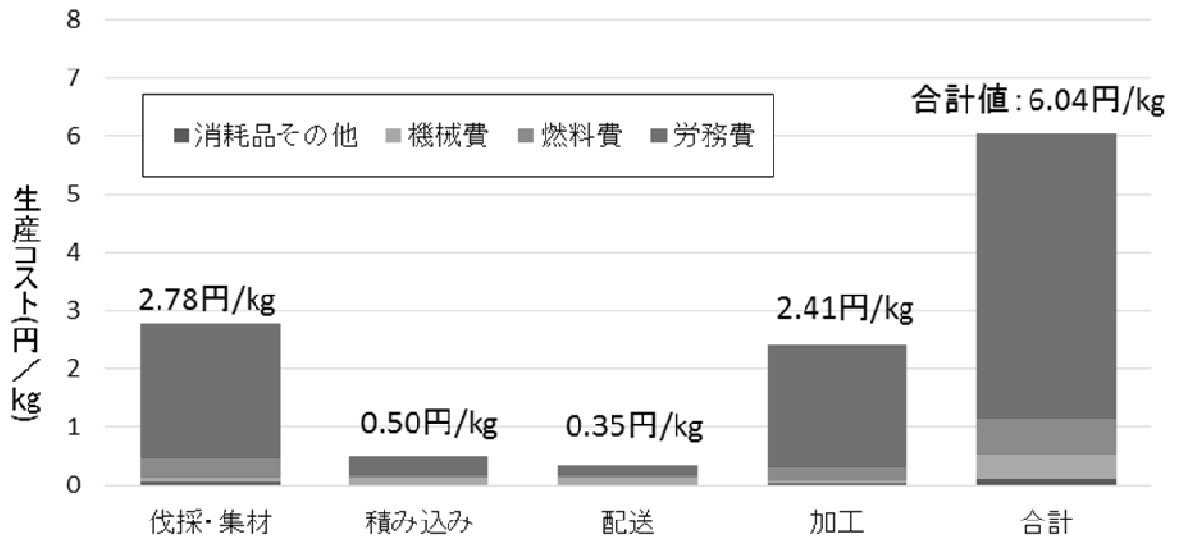
図表 38 アルミキャリア 使用状況

(4) 前年度コストとの比較

本年度の試験結果と平成 26 年度の試験結果を下記に示す。



図表 39 本年度の生産コスト



図表 40 平成 26 年度の生産コスト

また、平成 26 年度と本年度の諸条件の違いを以下に示す。

図表 41 山武チームにおける作業時間と作業量の比較

	平成 26 年度	平成 27 年度
のべ作業時間	2 時間 41 分 50 秒	38 時間 02 分 35 秒
生産量	1.52t (伐採・集材量)	13.94 (伐採・集材量)
生産コスト	6.04 円/kg	7.86 円/kg

(5) 今年度の成果

上記より、平成 26 年度と比較した場合、本年度の丸太製造コストは平成 26 年度の 6.04 円/kg よりも 1.82 円/kg 高い、7.86 円/kg となった。ただし、前掲の作業時間と作業量からもわかる通り、本年度は、平成 26 年度に比べて長時間の実証試験であったため、生産コストは大幅に増加すると考えられたが目標値の 15 円/kg の半分程度の生産コストに抑えることができた。本年度の結果の要因としては労務費・機械費の増大と、作業への慣れが挙げられる。

◆労務費・機械費の増大

長時間での作業となったため、素材生産量が増大し、それに伴って発生する端材の処理やその他の雑作業が増加し労務費が増大していると考えられる。しかし、目標コスト 15 円/kg に大きく影響するような上昇ではないと考えられる。また、本年度は長時間作業により、素材生産量が増加し集材する量も増大する。集材作業は素材の量が一定量を超えると機械の導入を余儀なくされる。本年度試験ではそうした背景から Z フォークを使用したことから機械費が増大していると考えられる。

◆作業・現場への慣れ

作業の効率化に関しては昨年まで試作機として試験的に導入していた軽トラウインチの操作性の向上や習熟度の向上による作業全体のムダの減少などが考えられる。また、今回の現場は前回試験を実施した箇所と同じ場所であり、公道から近い距離で集材可能であり、伐採も集材も非常に作業しやすかった点が低コスト化につながったものと考えられる。通年同じ現場で作業することは現実的ではないが、ある程度の面的な広さのある現場を行うことで効率化を図れるということが示唆された。本事業終了後もこういった一定の広さのある現場を確保することで事業性の高い丸太燃料の確保が可能であると考えられる。

(6) 課題

昨年度と比較し、コストは下がっているが、データを取得した試験地は平坦で道からの距離も近い、非常に条件のいい場所であった。今後、傾斜地や道のない現場での作業を実施した際には本年度のような結果を得ることが難しいと考えられるため、作業のしやすい現場の確保や低コストで生産できる現場と組み合わせる等の工夫が必要であると考えられる。

山武地域での山主還元の手法としては施業内容の提案により、作業が見える化し、どの程度のコストがかかるかを明示することによって利益を明示する取り組み（メニュー化）を計画している。これは近年森林組合を中心に取り組まれている提案型集約化施業の取り組みと類似している。提案型集約化施業とは「複数の森林所有者に対し施業内容、施業実施に必要な経費および木材の販売額など、事業を実施した場合の収支を明らかにした見積り（森林施業提案書）を提示して、森林所有者の施業に対する関心を高め、森林経営受託契約等を締結しつつ、集約化して施業を行う取り組み」である。山武地域では複数の林分をまとめて施業するような事例は多くないと考えられるが、実際にメニュー化を行って山主交渉行った場合、メリットが明確になる点が評価されており、今後も継続的に取り組んでいく予定である。

3.4 支援チームにおける取組

3.4.1 システムの概要

支援チームは加温器の販売・設置、メンテナンス等を行う技術的な作業と並行して切り捨て間伐等で林内に残されている林地残材を搬出し、丸太燃料に加工することで丸太燃料の低コスト化を図る。下記に支援チームの特徴を整理する。

- ・加温器の販売・設置、メンテナンスまでの技術的支援も並行して実施
- ・切り捨て間伐によって林地残材となっている丸太を対象に燃料生産を行う
- ・先進的小型林業機械としてマッシュプーラーを使用した木材生産システムを構築している

図表 42 支援チームの特徴

地域	主な樹種	チーム構成	搬出材積	特徴
支援	林地残材	総人数 13 人 1 チーム 3 人で作業	80 t (今年度始動)	林地残材の利用

3.4.2 丸太燃料集荷・加工システムの検討

(1) 試験計画

過去 2 年間の事業実施の中で長生・山武地域ではボランティア等によって切り捨て間伐が実施された林分が多く存在していることが明らかになった。切り捨て間伐の材を林内に放置しておくと、腐朽して温室効果ガスの発生源になったり、降雨によって流され災害の原因になったりする。山武地域特有の問題としては、特産サンプスギの病害問題がある。キノコ的一种チャアナタケモドキによって幹の一部に扁平や溝腐れが起こり木材としての価値が著しく下落する非赤枯性溝腐病の蔓延である。罹病木が切り捨て間伐材となって林内に放置されると、地面からの湿気を得て原因菌が繁殖を続け、周囲に病害を広げてしまう結果となる。非赤枯性溝腐病の罹病木は本来林内から運び出すべきだが、現実には未間伐のまま、または切り捨てられたまま林内に放置されて、病害拡大の悪循環を生んでいる。そこで、支援チームでは切り捨て間伐後の未搬出の材を搬出することを中心に作業システムを構築している。そうした切り捨て間伐材を丸太燃料として生産することによって、環境面、資源の有効活用での効果を期待するものである。

(2) 実証試験結果

本年度実施した試験の概要を以下に示す。

図表 43 試験概要

調査日	樹種	場所	フィールド 状況	集材	積み込み	配送	加工
9月	広葉樹	小倉の森	平坦地	人力	クレーン付き トラック	クレーン付 きトラック	—
10月	広葉樹	ストックヤード	平坦地	—	—	—	らくぎりくん
3月	スギ	武勝	平坦地	マッシュ プーリー	人力	—	—

本年度は後述する人力による集材とマッシュプーリーを用いた集材の試験を実施した。マッシュプーリーは開発中のシステムであり、導入後改良しながら運用しつつも、目標数値を下回る十分な作業が実施できている上、人力集材に比べて格段に集材距離が広がり、安全な作業を実施することができる等導入効果が認められている。習熟度の向上によってさらなる低コストが図れるものと考えられる。

(1) 先進的小規模林業機械の導入

支援チームではマッシュプーリーの導入による丸太燃料製造の効率化を図った。マッシュプーリーは有限会社ラボコスタと道志フォレスターズの共同開発によって製作されたものであり、上げ荷、下げ荷を問わず安全で効率的な搬出をすることができる簡易架線作業システムである。マッシュプーリーの特徴は大きく2点あり、安全性と効率性が挙げられる。

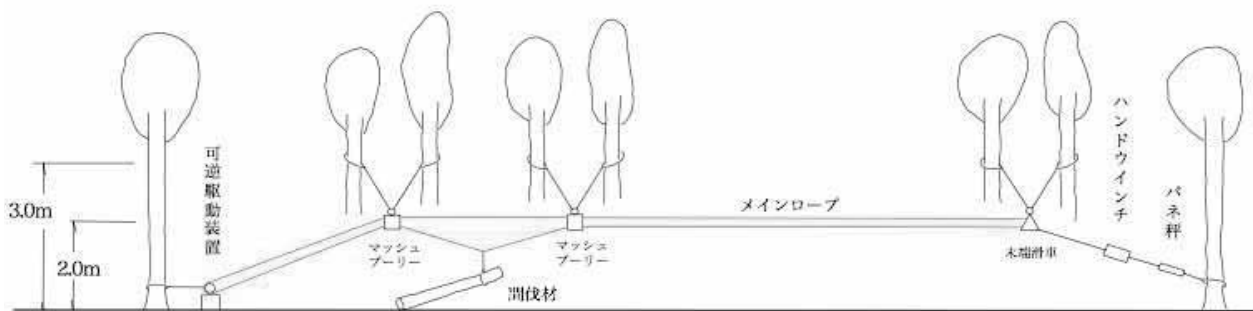
◆安全性

- ・機材が小型軽量
- ・メインロープを複数の点で吊り荷重が分散されるので、架線のための張力が小さい
- ・衝撃が発生しても分散・吸収される

◆効率性

- ・曲進が可能
- ・谷（特に凹）地形にも対応可能
- ・継ぎ足して延長したメインロープが使用可能

主に「マッシュプーリー」「可逆駆動装置」「メインロープ」「搬器」「ハンドウインチあるいはチルホール」などの機材から成る。基本機材配置を以下に示す。



出典：マッシュプーリー木材搬送システム HP

図表 44 マッシュプーリー基本機材配置

本年度事業導入したマッシュプーリーは、現在現場ごとの状況に合わせた改良を積み重ねている開発途上のシステムである。下記に、試験的に運用したマッシュプーリーのデータと写真を示す。なお、本作業では積み込みには機械を使用せず人力で行ったため燃料費や機械費等はコストとして積算しない。

図表 45 マッシュプーリー生産コスト

作業	伐採	集材	積み込み	合計
労務費 (円/kg)	-	1.88	0.94	2.81
燃料費 (円/kg)	-	0.17	0.00	0.17
機械費 (円/kg)	-	0.47	0.00	0.47
消耗品その他 (円/kg)	-	0.01	0.00	0.01
生産コスト (円/kg)	-	2.52	0.94	3.45
生産コスト (千円/m ³)	-	1.18	0.44	1.62



図表 46 マッシュプーリー作業①

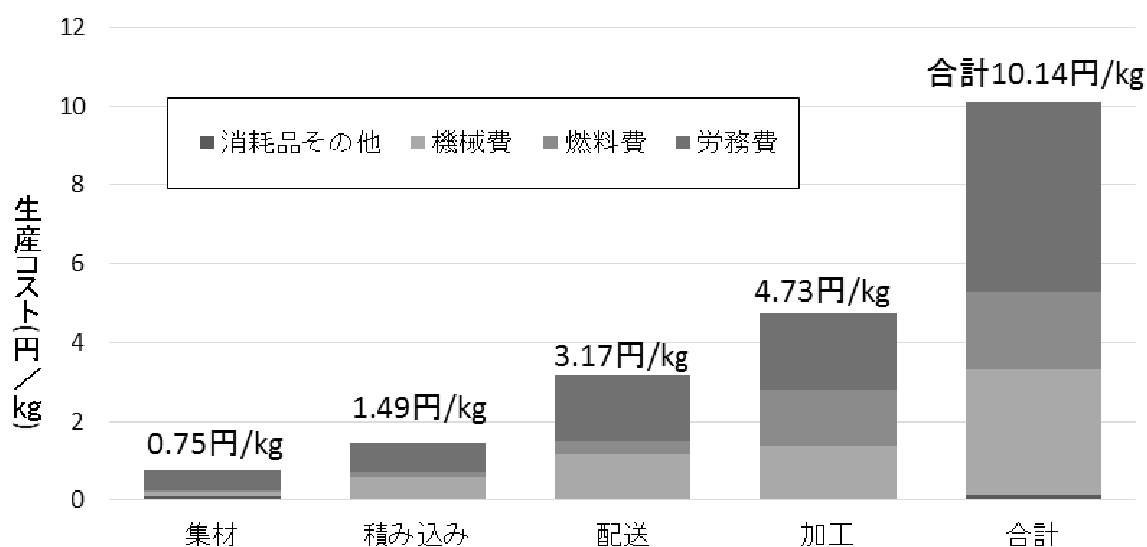


図表 47 マッシュプーリー作業②

(3) 本年度のコスト

上記、マッシュプーリーでの試験は、機械の不具合や操作への不慣れさはあったものの十分に低い生産コストを達成しており、今後、機械の完成度や習熟度の向上によって生産コストはさらに低減できるものと考えられる。また、作業員からのヒアリングでは集材距離の拡大や安全性の面で大いに効果を発揮しており、マッシュプーリーは今後、さらなる効果を発揮するものと期待される。

本年度の代表生産コストは従前から支援チームで実施していた人力での集材作業であり、最小生産コストを達成した9月に実施した人力による集材、積み込み、配送の試験と10月に実施した加工の試験を採用する。結果を以下に示す。



図表 48 本年度の生産コスト

(4) 今年度の成果

支援チームは本年度から発足したチームであり、過去の試験との比較は行えないが、上記の結果より、支援チームの生産コストは 15 円/kg 以下になった。これは人力の作業のみならず、マッシュプーリーを使用した場合でも低コストな生産が行えることが示された。集材に関しては非常に低コストに生産できており、これは他のチームと比較して伐採作業がないことが要因と考えられる。積み込みに関しては他チームとそれほど差はない。配送に関しては前掲の通り距離に比例するため、需要先までの距離によって高コストになったものと考えられる。加工コストに関しては他チームと比較して高コストになった。支援チームはチェーンソーによらない効率的な加工方法を模索するため丸太燃料加工に専用機械を導入した(図表 49)。作業員へのヒアリングからは操作性の良さが伺えるが、今後機械操作の習熟を高めるとともに効率的な運用につなげる必要がある。例えば機械の操作者と玉切った丸太燃料をパレットに積み込む作業員との連携の効率化などの工夫によりコストは低減していくものと考えられる。

林地残材を対象に丸太燃料製造した場合でも目標である 15 円/kg 以下での丸太燃料の生産を実施可能であることが示された。



図表 49 らくぎりくん

(5) 課題

支援チームは林地残材を対象としているため、伐採の作業がなく、集材までのコストが非常に低い。しかし、積み込み、配送に関しては他の2地域と比較すると高くなっている。これは習熟度に起因するものであると考えられるため、今後も継続的に低コスト化に向けた燃料製造に取り組む必要がある。また、加工コストに関しては他チームと比較して高コストになった。既製の玉切り用の機械を使用しているが、さらに効率的な運用方法を検討する必要がある。また、集材に導入したマッシュプーリーは開発途上のシステムで、作業員の不慣れもあったが全体として目標値 15 円/kg 内の低コスト集材作業が実現できた。人力集材に比べて格段に集材距離が広がり、安全な作業を実施することができる等導入効果も認められた。今後、機械の完成度が増し、作業員の習熟度が向上すれば集材コストはさらに低減できると考えられる。昨年、長生地域で新規に導入したスーパーやまびこも当初はその性能を十分に発揮できなかったものの、習熟度が増したことで高効率な作業を実現した。よって、マッシュプーリーも同様に習熟度の向上に伴って効率化が図れるものと考えられる。

支援チームでの山主還元の取り組みとしては木の駅プロジェクトを通じた地域振興券の提供を計画している。支援チームでは出荷した木材を山武市の木の駅プロジェクトに出荷している。山武市の木の駅プロジェクトでは木材の利用面で課題を抱えており、長期間保存することによって木材の劣化が懸念される。そこで、支援チームでは木の駅に材を出荷し、木の駅で一定期間保管（乾燥）された木材を使用することで木材の劣化を防ぎながら乾燥した木材を入手している。支援チームは木の駅に出荷した際、木材の代金として地域通貨を受け取っている。これは文字通り地域で使用することが可能であり、山主にとっては周辺で使用することができる地域通貨は利益にもなり、これを山主還元として山主へ渡していく予定である。

3.5 まとめ

3.5.1 本年度の成果

26年度の実施内容から長生地域で豊富な資源量を持つ広葉樹の利用、山武地域では低コスト燃料製造の定常化が課題として挙げられていた。また、周辺地域では切り捨て間伐による林地残材が多く問題になっており、こうした課題にそれぞれの地域で取り組んだ。

長生地域では広葉樹を対象にして生産コスト 7.17 円/kg を達成した。これは長時間作業を実施した結果であることを加味すると非常に効率的な作業が実施できたと考えられる。本年度は作業前の入念な伐採計画や作業への慣れがあり、高効率化することができたと考えられる。山武地域では昨年度に導入した軽トラウインチ、ハンドウインチ等の自作機械の操作に慣れたことで、昨年短時間作業で達成した低コストな作業の定常化を達成することができた。支援チームでは林地残材を使用することで伐採工程を必要としないため、その分低コスト化できている。初年度から目標値以下の生産コストを達成できているのは本事業を3年間実施してきたことによると考えられる。

以上のようにいずれの地域でも本年度の目標を達成しており、成果が得られたと言える。

3.5.2 各地域における施業課題と対策

上記、成果を挙げられたことを説明したが、一方で課題もある。まず、長生地域では本年度のデータ取得にあたり、伐採前の事前準備を通常の作業よりもかなり時間をかけて行っている。本来はこうした時間をできるだけ少なくした方がいいため、今後の課題としては作業準備時間を短縮することが挙げられる。山武地域では低コストで安定的な作業が実施できたが、本年度の試験地は平坦地で道に隣接する試験地であったため、作業性が非常に高かった。しかし、傾斜地や道からの距離が遠い現場では同じような生産コストを出すことは容易ではないと考えられる。山武地域の今後の課題としてはそうした作業困難地での低コスト化の方策を練る必要がある。支援チームはまず、習熟度が低い他地域での実証試験の結果を活かし、今後も継続して作業を実施することで、作業効率の向上を目指す必要がある。さらに、加工コストが高くなっているため、加工コストの低減の方策を練る必要がある。

3.5.3 丸太燃料の製造およびコストに対する評価

それぞれの地域で本年度の目標にしていた事項を達成しており、試験の結果上は丸太燃料の供給を低コストに実施することができる。しかし、実際に丸太燃料の供給を開始すると、水分や形状等の燃料の規格に関してユーザーからの要望が出たり、化石燃料価格との競合状態による価格交渉が発生することが予想される。現在の丸太燃料供給体制では燃料ストックの確保や納品管理が十分に行われているとは言いがたく、価格面での目標は達成したため、今後は燃料の製造、供給体制の構築が必要であると考えられる。

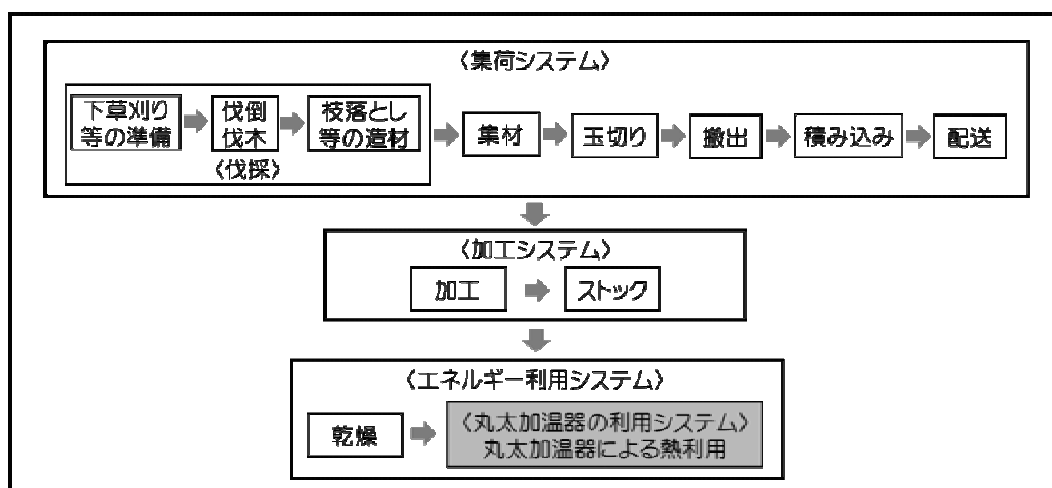
第4章 丸太加温器によるエネルギー利用システムの検討

4.1 丸太燃料流通システムの概要と丸太加温器の利用システム

都市近郊の小規模森林（里山）の整備を考える時に、必然的に排出される間伐材や林地残材、とりわけ各種の用材には使えないようないわゆる C・D 材の処理が必要となる。これらの木質バイオマス資源の出口としての活用方法を考えるときに、熱エネルギー源として利用することが効率のよい活用方法と思われる。こうした活用方法を前提に、極力コストをかけずにこれらの木質バイオマスの、林地からの引き出し、ストック・ヤードなり利用者のヤードへの搬入、熱エネルギーとして活用するための燃料形態としての丸太の乾燥・玉切りなどの加工などについての実証結果については、これまでの章で紹介してきた。丸太燃料流通システムとは、このように都市近郊の小規模森林の整備で排出する価値の低い木質バイオマスの出口のひとつとして、丸太燃料という形で暖房・加温の需要のあるところで丸太加温器という燃焼装置（本プロジェクトでは丸太燃料を燃焼させる燃焼装置を「丸太加温器」と称する）の熱回収による熱利用のシステムである。

丸太燃料流通システムにおいて、丸太燃料を熱エネルギーに変換して熱利用する部分を丸太加温器の利用システムと称することにする。この丸太加温器の利用システムは、丸太燃料を丸太加温器に供給して燃焼し、温風ないしは温水を取り出して熱需要を満たすまでを範囲とするシステムである。図表 50 に丸太燃料流通システムの全体像とその中における丸太加温器の利用システムの関係を示す。

本章では、こうして準備された丸太燃料という形態の木質バイオマス資源を実際に熱に変換して利用するプロセスを担う丸太加温器について、その特性の把握、農家や施設などをモニターとして実際の利用者に使っていただいたの検証、使っていただいた効果の評価などについて述べる。



図表 50 丸太燃料流通システムと丸太加温器の利用システム

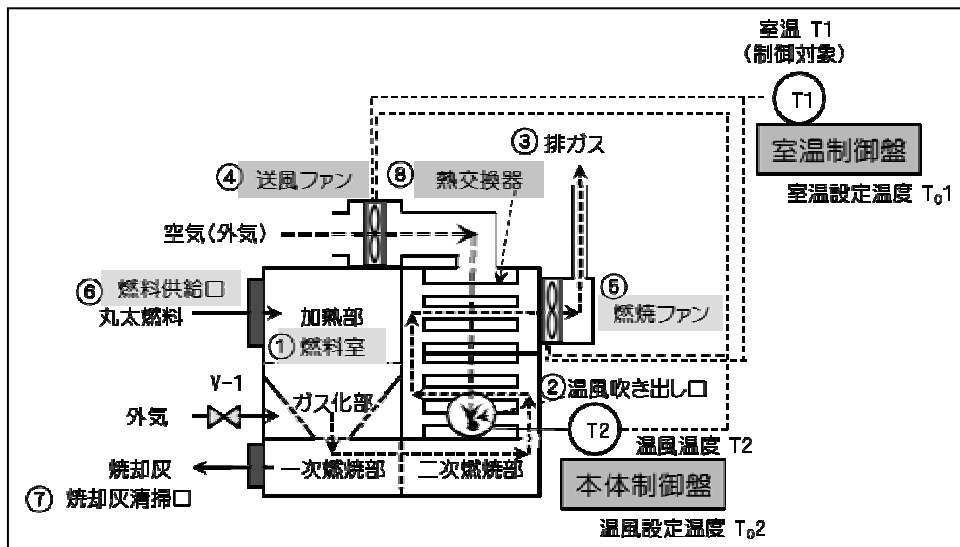
4.2 丸太加温器の概要

4.2.1 丸太加温器の機能

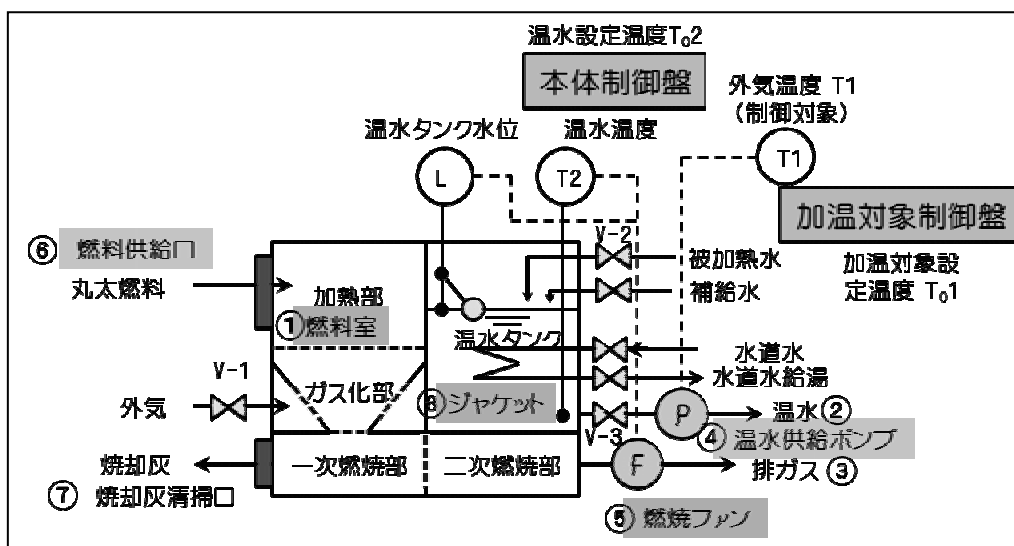
木質バイオマスを熱利用する場合には、木質バイオマスを燃焼させる必要がある。既存の木質バイオマス燃焼器が使用する燃料としては、チップ、ペレット、薪が代表的な燃料形態であり、本事業で想定するような丸太の形態のものを玉切り程度でそのまま燃料とする燃焼機は多くない。さらにそのような現状の中で、燃焼熱を熱媒体（温風や温水）として取り出して熱供給を行う装置は極めて限られておりコストが大きいものが主体であった。現状の木質バイオマスの主要な熱利用形態としては発電と暖房がある。発電の場合には木質バイオマスの燃焼により水蒸気を発生させてタービンを回して発電する。したがって、燃焼機の機能はボイラーである。また、暖房の場合にはストーブのように燃焼機そのものからの輻射熱と燃焼機の外壁の周囲の空気を熱伝達により加温して暖をとる形態と、燃焼熱を空気や水という形態の熱媒体に与えて温風や温水とし、その熱媒体を利用する形態がある。こうしたいろいろな熱利用の形態の中で、本事業で必要とする熱利用の形態は、需要が農家のハウス暖房であり、施設の給湯のための加温である。そして、本事業で要求される制約条件としては、丸太燃料を使用する燃焼機の初期および運転のコストが現状でこの需要を満たしている化石燃料を燃料とする燃焼機（重油ボイラーなどとも称されているが、本報告では水蒸気の生成のない加温を目的とした燃焼機を「重油加温器」と称することにする）と同等以下であること、さらに丸太燃料そのものも単位エネルギーあたりの単価が既存の化石燃料と同等以下であることが求められる。そうした制約条件を満たす燃焼機を探索した結果、燃料形態が丸太で、熱の取り出しは温風または温水という熱媒体で行なわれ、かつ装置コストが廉価な燃焼機として、韓国 NMG 社が提供し国内ではタイセイマシナリー株式会社が代理販売している燃焼機を採用することとなった。このような燃焼機は国産では見出すことができず、本機は機能としても装置コストとしても本プロセスに適した燃焼機であると評価して採用した。そして、この燃焼機を本プロジェクトでは「丸太加温器」と称することとした。

4. 2. 2 丸太加温器の仕様

この丸太加温器は、極力燃料の成形・加工のコストを低減するために丸太の玉切りしたものをそのまま燃料として利用する。そして、その燃焼熱を利用して外部空気を燃焼炉の外壁に流すことによる熱交換とさらに燃焼排ガスとの熱交換により加温して加温対象に供給する温風型と、燃焼炉自体が水槽に浸されており、さらにその中を排ガスの配管が貫通することによる熱交換で水を加熱して温水を作り加温対象に供給する温水型がある。それぞれの丸太加温器の原理的な構造を図表 51 および図表 52 に示す。



図表 51 温風型丸太加温器の原理図



図表 52 温水型丸太加温器の原理図

いずれの丸太加温器も、燃料の形態としては、丸太を玉切りしたものであり、長さは約 50 [cm]、直径 13 ~ 23 [cm]、水分率 25 [%w.b.] を標準仕様としている。標準的な丸太燃料の外観を図表 53 に示す。




図表 53 丸太燃料の外観

本事業では、平成 25 年度に 10 台、平成 26 年度にはさらに 16 台の丸太加温器を導入し、実際の加温需要を有する農家や施設運営者にモニターとなっていただき、実際の使用経験に基づく評価や特定のモニター・サイトにおける試験による詳細なデータ収集、さらには基礎的な仕様を確認する実験を大学で行った。導入した加温器の主な機種と仕様を図表 54 および 図表 55 に示す。

図表 54 平成 25 年度に導入した丸太加温器の仕様

型番号		NO.251	NO.401	NO.1001
				
寸法	外形	610 X 940 X 1250 mm	920 X 1500 X 1790 mm	920 X 4500 X 1760 mm
縦横高	燃焼室	493 X 403 X 980 mm	550 X 520 X 1160 mm	700 X 625 X 1460 mm
煙道規格		150 mm	150 mm	200 mm
熱出力		21,000 kcal/h	35,000 kcal/h	86,000 kcal/h
貯湯量		180 L	300 L	780 L
燃料供給量		48 kg	81 kg	202 kg
機械総重量		232 kg	310 kg	630 kg

図表 55 平成 26 年度に導入した丸太加温器

型番号		NO.301	NO.501	NH500	NH1000
					
寸法	外形	630 X 1110 X 1660 mm	700 X 1390 X 1800 mm	1260 X 1950 X 2000 mm	1350 X 2250 X 2350 mm
縦横高	燃焼室	530 X 1020 X 530 mm	600 X 1300 X 600 mm	600 X 1300 X 500 mm	850 X 1410 X 500 mm
煙道規格		150 mm	150 mm	150 mm	200 mm
熱出力		36,000 kcal/h	60,000 kcal/h	45,000 kcal/h	87,000 kcal/h
貯湯量		190 L	320 L	4500 m ³ /h	8200 m ³ /h
燃料供給量		60 kg	100 kg	80 kg	160 kg
機械総重量		245 kg	350 kg	530 kg	920 kg

4.3 丸太加温器の利用システムとその実証

4.3.1 丸太加温器の利用システムとその実証概要

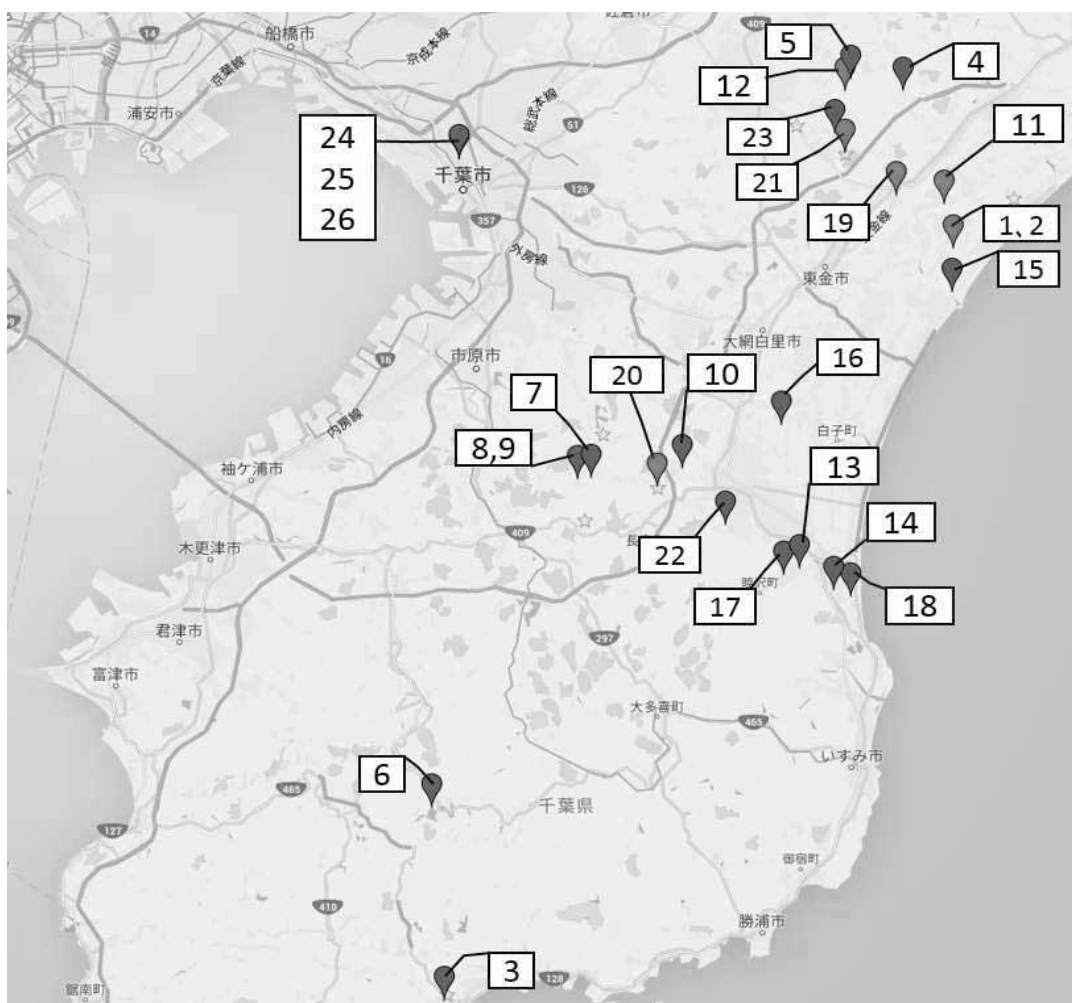
丸太加温器の利用システムの実証としては、各種の園芸農家や施設にモニターとして丸太加温器を導入いただき、ハウス暖房や給湯などのために使用していただき、このシステムが実際のフィールドにおいて十分に機能して目標とした機能や性能を発揮できるかどうかを確認した。具体的には、丸太加温器の利用状況の調査や広い用途に対する適用性の確認（一般モニター）および主な用途の代表的なモニター（特定モニター）については、熱収支や経済性などを評価するために詳細なデータ収集を行なった。

なお、この実証試験に関する基本的な考え方としては、事業側は丸太加温器の設置と温風ないしは温水をハウスや施設に供給するまでが所掌範囲であり、丸太加温器から温風ないしは温水を供給を受けてそれをどのように活用するのかはモニター自身の考えに任せざるを得ない。したがって、この実証試験の成果の評価の対象は、原則として丸太加温器を導入したことによるエネルギー面と経済面に限り、農作物などの栽培や施設の運用への影響についてはモニター自身の評価に任せることとする。すなわち、実証試験を計画するに当たっては、農作物などの栽培や施設の運用への影響に関する要素はパラメータとは考えず、モニターからの要望に沿って温風ないしは温水を供給して実証試験を実施し、その結果に基づいてエネルギー面と経済面の評価をすることを目的とした。言い換えれば、農作物のできや施設運用の最適化の評価はしない（できない）ということである。

4.3.2 モニター施設の概要

(1) モニター施設の位置

丸太加温器が広い用途に対して十分機能することを実証するために、平成 25 年度には 10 台、平成 26 年度にはさらに 16 台の丸太加温器を千葉県内の各モニター・サイトに設置した。丸太加温器は原則として園芸農家のハウスや利用施設の屋外に設置するために、利用用途だけでなく様々な環境条件下での利用の実証ということも考慮した。各モニター・サイトの千葉県内における位置を図表 56 に示す。図表 56 でわかるように、各モニター・サイトは山武地域・長生地域を中心として南は安房鴨川、北は山武市の北部に至るほぼ千葉県の広い範囲に亘っている。図表 56 の中で示している番号は、次の図表 57 で具体的なモニター施設との関係を示している。



図表 56 各モニター・サイトの千葉県内の位置

(2) 用途別モニター施設の概要

本年度は、前年度までにモニターとなった各種のユーザーに設置した丸太加温器の利用状況を調査し、広い用途に対する適用性の確認および主な用途の代表的なモニターについては熱収支や経済性などを評価するために詳細なデータ収集を行った。丸太加温器を設置したモニター施設の一覧を図表 57 に示す（その場所は図表 56 に示している）。

図表 57 に示した「特定」としたモニターには、試験実施に際して試験のための設備増設・変更などを自主的に実施いただき、詳細なデータ収集にご協力いただいた。「一般」としたモニターは、広い用途に対する適用性を検証していただくという目的で丸太加温器の使用を依頼した。

図表 57 モニター施設一覧

	モニター名	特定/一般 (注)	用途	加温器タイプ		住所
1	緑沓園芸-1	特定	施設園芸	温風型	NH1000	山武市松ヶ谷
2	緑海園芸-2	特定	施設園芸	温風型	NH1000	山武市松ヶ谷
3	榎本バラ園	特定	施設園芸	温風型	NH1000	鴨川市滑谷
4	七井農園	特定	施設園芸	温風型	NH1000	山武市松尾町山室
5	有野実苑オートキャンプ場	特定	温泉・一般暖房用途	温水型	NO.501	山武市板中新田
6	亀山温泉ホテル	特定	温泉・一般暖房用途	温水型	NO.501	君津市豊田旧菅間田
7	大野寺子屋	特定	温泉・一般暖房用途	温水型	NO.501	長生郡長柄町金谷
8	神崎バラ園-1	一般	施設園芸	温水型	NO.1001	長生郡長柄町刑部
9	神崎バラ園-2	一般	施設園芸	温風型	NH1000	長生郡長柄町刑部
10	岡ファーム	一般	施設園芸	温風型	NH500	茂原市緑ヶ丘
11	てんとう虫くるくる農園	一般	施設園芸	温水型	NO.251	山武市上横地
12	たがやす倶楽部	一般	施設園芸	温水型	NO.501	山武市横田
13	五藤いちご園	一般	施設園芸	温風型	NH1000	長生郡宮町宮
14	長谷川農園	一般	施設園芸	温風型	NH1000	長生郡一宮東浪見
15	九十九里観葉園	一般	施設園芸	温風型	NH1000	山武市九十九里町作田
16	三宅花卉園	一般	施設園芸	温風型	NH1000	茂原市千町
17	霧崎園芸	一般	施設園芸	温風型	NH1000	長生郡睦沢町上市場
18	河野農園	一般	施設園芸	温風型	NH1000	長生郡一宮東浪見
19	森の小人木工所	一般	温泉・一般暖房用途	温水型	NO.401	山武市殿台
20	長生倉庫	一般	温泉・一般暖房用途	温水型	NO.401	長生郡長南町本台
21	樹楽荘	一般	温泉・一般暖房用途	温水型	NO.251	山武市椎崎
22	ひめはるの甲	一般	温泉・一般暖房用途	温風型	NH500	茂原市上永吉
23	森林研究所	一般	その他	温水型	NO.501	山武市壺谷
24	千葉大学-1	一般	その他	温風型	NH1000	千葉市稲毛区
25	千葉大学-2	一般	その他	温水型	NO.251	千葉市稲毛区
26	千葉大学-3	一般	その他	温水型	NO.301	千葉市稲毛区

(注) 「特定」とは、試験実施に際して設備変更などの相互協力を要したモニターで、「一般」とは広い用途に対する適用性の検証を依頼したモニターである。

また、丸太加温器の利用用途を施設園芸用途、温泉・一般暖房用途、その他用途に分類して、施設の主な仕様、設置した加温器の利用形態などを図表 58 ～図表 60 にまとめた。

図表 58 施設園芸用途（ハウス暖房）モニターの設備概要

農作物	モニター名	加温対象面積 (m ²)	希望温度 (°C)	ハウス材質	機種	熱供給方法	既存の加温器	
花卉	ばら	神崎ばら園-1	429	16	ビニール	NO.501	ファンコイル(温水)	重油加温器(ダクト)
		神崎ばら園-2	825	15~17	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(ダクト)
		榎本ばら園	1350	18	ガラス	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(ダクト)
	シクラメン・カーネーション	緑海園芸-1	430	15~18	ガラス	NH1000	チャンバー(温風)	重油加温器(チャンバー)
		緑海園芸-2	660	12~18	ガラス	NH1000	チャンバー(温風)	重油加温器(チャンバー)
		鷗崎園芸	495	17~18	ガラス	NH1000	チャンバー(温風)	重油加温器(チャンバー)
	ポインセチア	長谷川農園	660	18	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(チャンバー)
	アルストメリア	三宅花卉園	700	18	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(チャンバー)
	切花	石井農園	825	15	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(チャンバー)
観葉植物	九十九里観葉園	825	15	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(チャンバー)	
野菜	トマト	岡ファーム	216	13	ビニール	NH500	ダクト(温風)	無
	有機野菜	たがやす倶楽部	240	15	ガラス	NO. 401	ファンコイル(温水)	無
	苗床	てんとう虫くるくる農園	100	10	ビニール	NO. 251	温水配管(温水)	無
	いちご	近藤いちご園	1386	5~8	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	重油加温器(チャンバー)
		河野農園	660	10	ビニール	NH1000	ダクト(温風)	無

図表 59 温泉・一般暖房用途モニターの設備概要

項目	モニター名	加温目的	加温対象	導入機種	熱供給方法	既存の加温器
浴場施設	亀山温泉ホテル	温泉水加温	温泉水	NO. 501 (温水)	熱交換による温水	プロパンガス
浴場施設	有野実苑オートキャンプ場	浴場水加温	地下水	NO. 501 (温水)	熱交換による温水	灯油 プロパンガス
イベント施設	ひめはるの里	ガラス温室	室内暖房	NH500 (温風)	ダクト	なし
一般住宅	大野寺子屋	床暖房	床水道水	NO. 501 (温水)	熱交換による温水	なし
一般住宅	樹楽荘	風呂水	水道水	NO. 251 (温水)	熱交換による温水	プロパンガス
作業場	森の小人木工所	室内暖房	室内空気	NO.401 (温水)	熱交換による温風	なし
倉庫	長生倉庫	室内暖房 丸太乾燥	室内空気	NO.401 (温水)	熱交換による温風	なし

図表 60 その他用途のモニターの設備概要

モニター名	加温目的	加温対象	導入機種	熱供給方法	既存の加温器
千葉大学-1	実証実験	外気	NH500 (温風)	ダクト	なし
千葉大学-2	実証実験	水道水	NO.251 (温水)	熱交換による温水	なし
千葉大学-3	実証実験	水道水	NO.301 (温水)	熱交換による温水	なし
森林研究所	実証実験	水道水	NO.501 (温水)	熱交換による温水	なし

(3) 個別モニター施設の概要

各モニター・サイトの施設の仕様や各加温器の設置状況などを以下にまとめる。

1) 緑海園芸 1号機

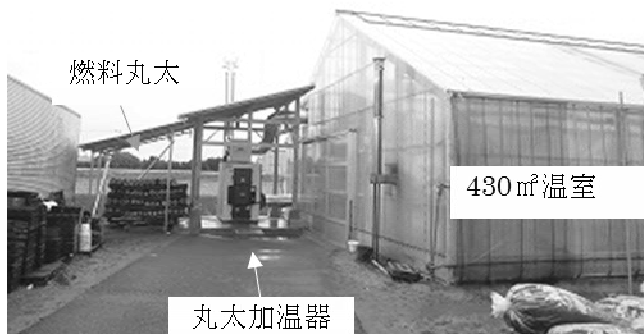
丸太加温器 機種	NH1000 温風タイプ
所在地	山武市松が谷
用途	シクラメン、カーネーション、アジサイ等の花栽培
暖房面積	430 m ² ビニール温室
既存の暖房機	重油温風機 竹沢

図表 61 丸太加温器導入温室の設定温度

加温時期	設定温度
10月25日～12月20日	18℃
2月20日～4月20日	15℃



図表 62 1号機設置状況



図表 63 1号機、丸太燃料と温室外観



図表 64 ハウス内の様子

2) 緑海園芸 2号機

丸太加温器 機種	NH1000 温風タイプ
所在地	山武市松が谷
用途	シクラメン、カーネーション、アジサイ等の花栽培
暖房面積	660 m ² ガラス温室
既存の暖房機	重油温風機 ネポン

図表 65 丸太加温器導入温室の設定温度

加温時期	設定温度
10月25日～12月20日	17℃
2月20日～4月20日	12～15℃



図表 66 2号機設置状況



図表 67 2号機



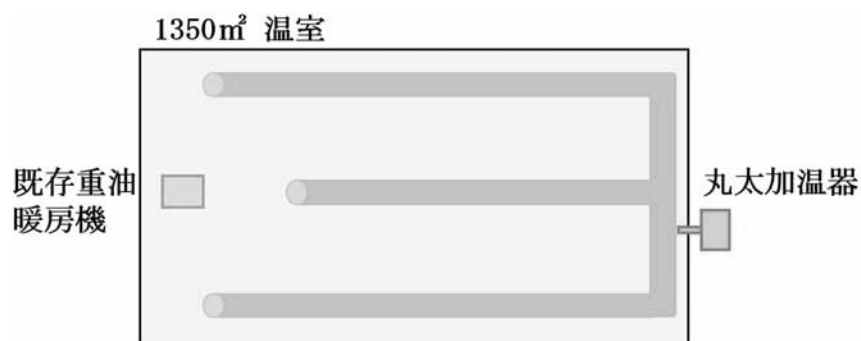
図表 68 2号機(左)と既存加温器(右)



図表 69 温室施設内 夜は不燃布の内張りを降ろす(右)

3) 榎本ばら園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	鴨川市滑谷
用途	ばら栽培
加温面積	1350 m ² ガラス温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネポン)
設定温度	17~20 度



図表 70 設置状況(略図)



図表 71 ハウス内の状況



図表 72 丸太加温器の設置状況



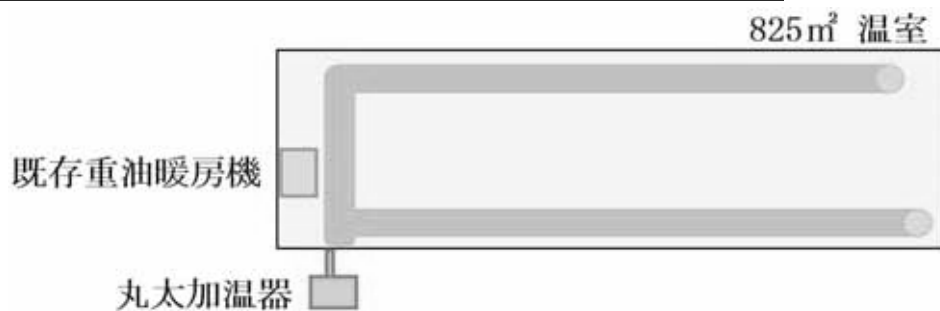
図表 73 吹き出し口と吸い込み口



図表 74 丸太燃料の保管状況

4) 石井農園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	山武市松尾町山室
用途	トルコキキョウ、キンギョソウ等の栽培
加温面積	825 m ² ビニール温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネボン)
設定温度	15 度



図表 75 設置状況(略図)



図表 76 ハウスの外観



図表 77 ハウス内部の状況



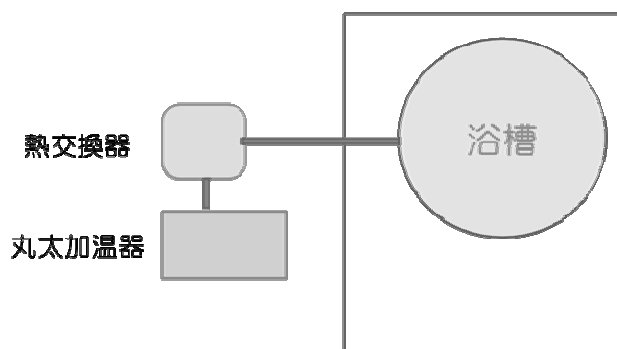
図表 78 丸太加温器の設置状況



図表 79 丸太加温器内への配管

5) 有野実苑オートキャンプ場

丸太加温器 機種	NO.501 温水型
所在地	山武市板中新田
用途	浴場水加温
加温体積	5 m ³
既存の暖房機	プロパン・温水（リンナイ）
設定温度	42度



図表 80 設置状況(略図)



図表 81 燃料パレット



図表 82 浴場



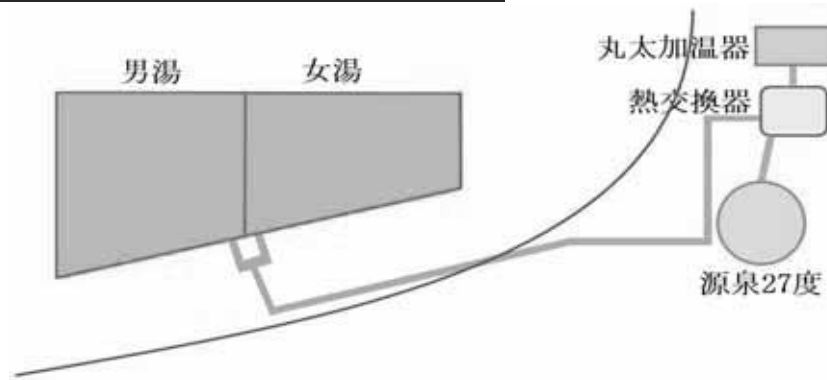
図表 83 熱交換器と丸太加温器



図表 84 丸太加温器の設置状況

6) 亀山温泉ホテル

丸太加温器 機種	NO.501 温水型
所在地	君津市豊田旧菅間田
用途	温泉施設暖房
加温体積	男湯約 12 m ³ 、女湯約 6 m ³
既存の暖房機	プロパン・温水（三浦）
設定温度	42 度



図表 85 設置状況(略図)



図表 87 浴場の様子



図表 86 源泉



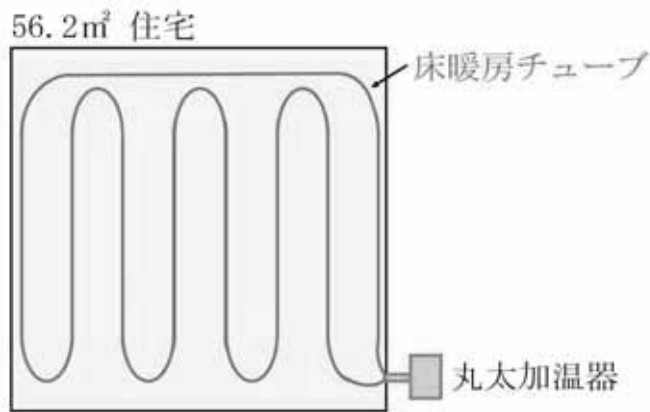
図表 88 丸太の投入



図表 89 丸太加温器

7) 大野寺子屋

丸太加温器 機種	NO.301 温水型
所在地	長生郡長柄町金谷
用途	床暖房
加温面積	56.5 m ²
既存の暖房機	—
設定温度	22 度



図表 90 設置状況(略図)



図表 91 床下の配管



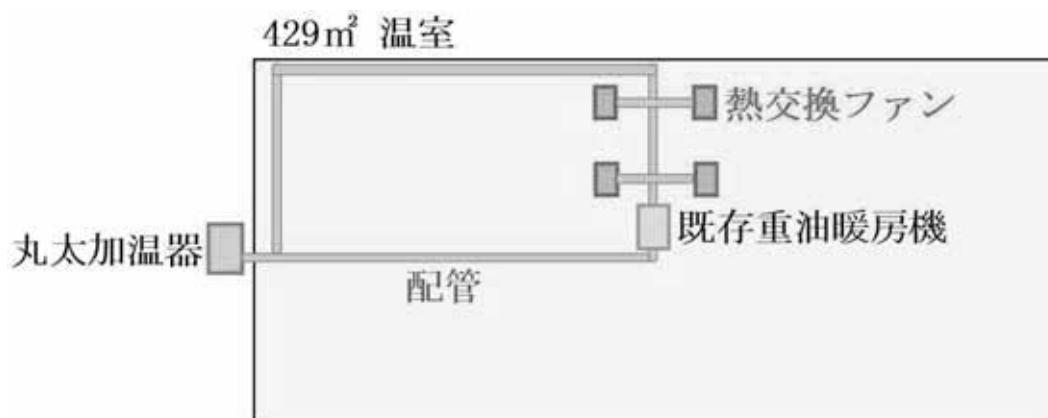
図表 92 室内の状況



図表 93 丸太加温器の設置状況

8) 神埼薔薇園-1

丸太加温器 機種	NO.1001 温水タイプ
所在地	長柄町刑部
用途	薔薇栽培
暖房面積	429 m ²
既存の暖房機	重油温風機 ネボン
設定温度	16 度



図表 94 丸太加温器設置状況



図表 95 ハウス内の様子



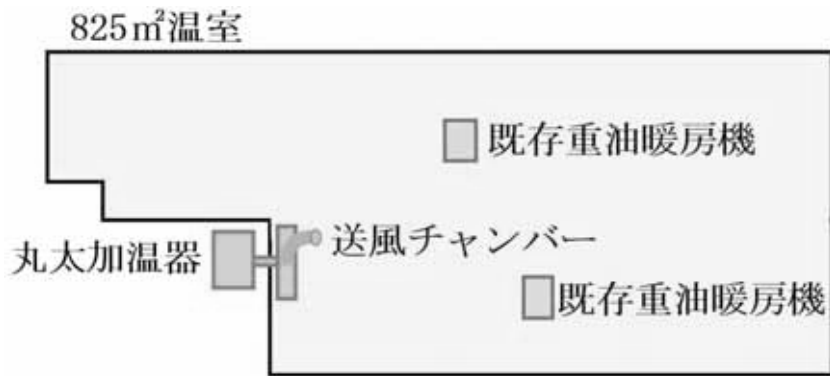
図表 96 暖房機と丸太燃料



図表 97 熱交換ファン

9) 神崎ばら園-2

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	長生郡長柄町刑部
用途	ばら栽培
加温面積	825 m ² ビニール温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネボン)
設定温度	15~17 度



図表 98 設置状況(略図)



図表 99 丸太加温器とハウス内への接続



図表 100 室内温度計の設置



図表 101 ハウス内への吹き出し口



図表 102 ハウス内のチューブ状況

10) 岡ファーム

丸太加温器 機種	NH500 温風型
所在地	茂原市緑ヶ丘
用途	トマト栽培
加温面積	216 m ² ビニール温室
既存の暖房機	—
設定温度	13 度



図表 103 設置状況(略図)



図表 104 ハウス内部の状況



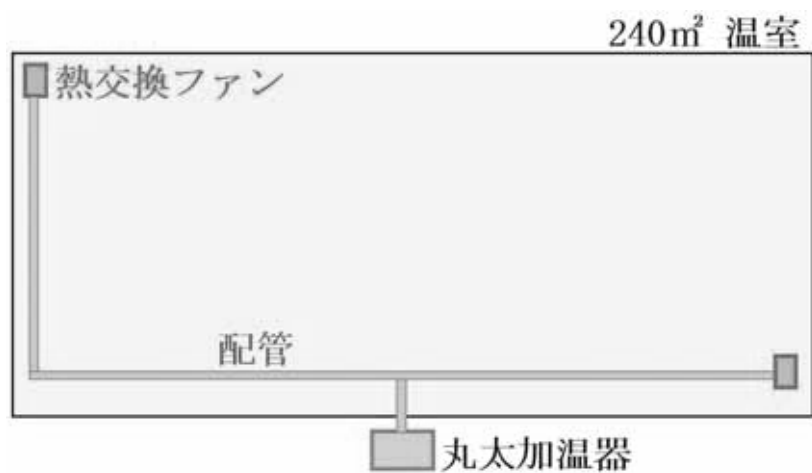
図表 105 丸太加温器の設置状況



図表 106 丸太加温器

11) たがやす倶楽部

丸太加温器 機種	NO.401 温水型
所在地	山武市横田
用途	野菜農家・体験農園
暖房面積	240 m ²



図表 107 丸太加温器設置状況



図表 108 温室全景



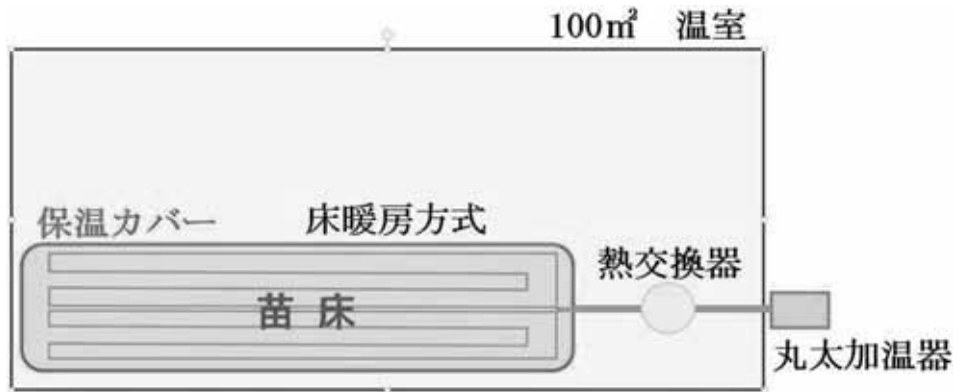
図表 109 温室と暖房機と燃料置き場



図表 110 温室内部 (左) とファンコイル (右)

12) てんとう虫くるくる農園

丸太加温器 機種	NO.251 温水タイプ
所在地	山武市上横地
用途	野菜・育苗
暖房面積	100 m ²
既存の暖房機	電熱ヒーター
設定温度	10 度



図表 111 丸太加温器設置状況



図表 112 温室内の苗床



図表 113 苗床と温水配管



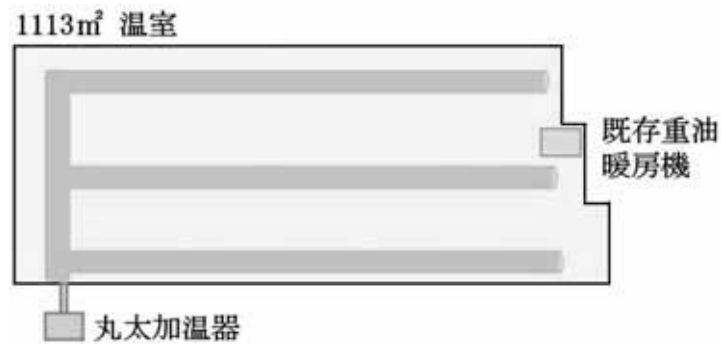
図表 114 貯湯タンク



図表 115 苗床と温水配管

13) 近藤いちご園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	長生郡一宮町一宮
用途	いちご栽培
加温面積	1113 m ² ビニール温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネボン)
設定温度	5~8 度



図表 116 設置状況(略図)



図表 117 丸太加温器内への接続配管



図表 118 ハウス内



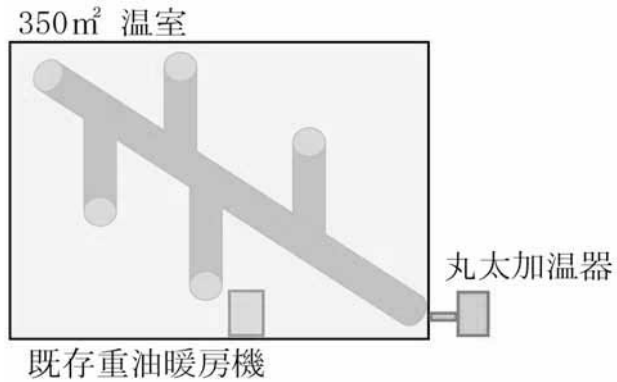
図表 119 丸太加温器



図表 120 ハウス内への吹き出し口

14) 長谷川農園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	長生郡一宮町東浪見
用途	シクラメン、カーネーション栽培
加温面積	350 m ² ビニール温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネポン)
設定温度	8~10 度



図表 121 設置状況(略図)



図表 122 ハウスの外観



図表 123 ハウス内部の状況



図表 124 丸太加温器



図表 125 ダクトの様子

15) 九十九里観葉園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	山武郡九十九里町作田
用途	観葉植物栽培
加温面積	576 m ² ビニール温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネボン)
設定温度	15 度



図表 126 設置状況(略図)



図表 127 丸太加温器 前面



図表 128 丸太加温器 背面



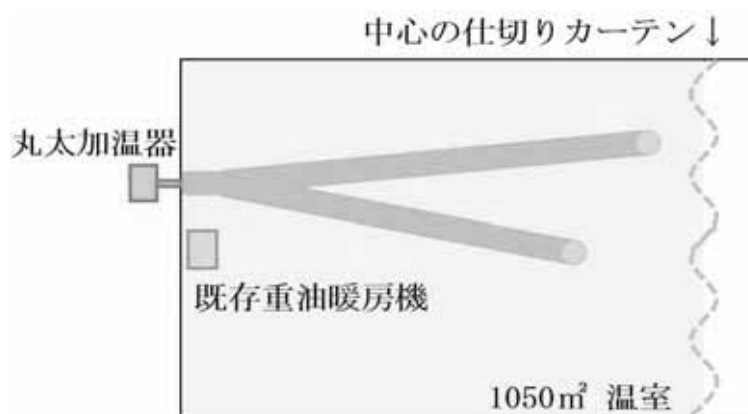
図表 129 ハウス内の状況



図表 130 チューブの設置状況

16) 三宅花卉園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	茂原市千町
用途	種苗栽培
加温面積	1050 m ² ガラス温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネボン)
設定温度	5~10 度



図表 131 設置状況(略図)



図表 132 温室の概観



図表 133 ハウス内部の状況



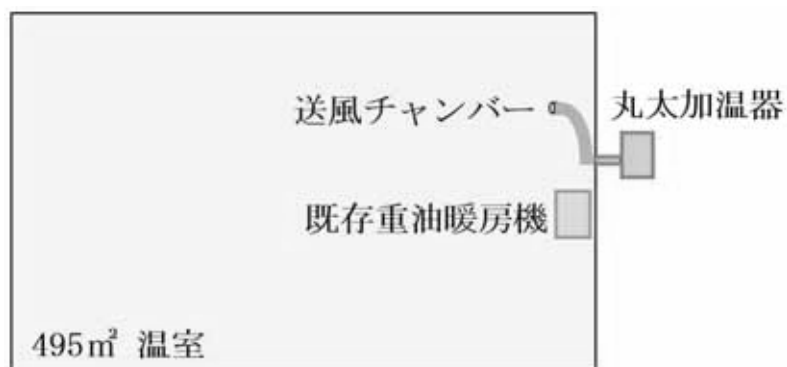
図表 134 加温器のチューブ



図表 135 ハウス中央の仕切りカーテン

17) 露崎園芸

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	長生郡陸沢町上市場
用途	シクラメン、カーネーション栽培
加温面積	495 m ² ガラス温室
既存の暖房機	重油・温風 (ネボン)
設定温度	17~18 度



図表 136 設置状況(略図)



図表 137 ハウス内部の状況



図表 138 丸太加温器の設置状況



図表 139 重油暖房機チャンバー



図表 140 丸太加温器チャンバー

18) 河野いちご園

丸太加温器 機種	NH1000 温風型
所在地	長生郡一宮町東浪見
用途	いちご栽培
加温面積	660 m ² ビニール温室
既存の暖房機	—
設定温度	5～8 度



図表 141 設置状況(略図)



図表 142 ハウスの概観



図表 143 ハウス内部の様子



図表 144 吹き出し口の様子



図表 145 丸太加温器と丸太置場

19) 森の小人木工所

丸太加温器 機種	NO.401 温水タイプ
所在地	山武市殿台
用途	事業所作業場の暖房
暖房面積	200 m ²



図表 146 丸太加温器設置状況



図表 147 丸太加温器 (NO. 401)



図表 148 丸太加温器 (NO. 401)



図表 149 循環ポンプ



図表 150 ラジエーター

20) 長生倉庫

丸太加温器 機種	NO.401 温水タイプ
所在地	長南町本台
用途	倉庫内の暖房と、倉庫内に保管する木材の乾燥
暖房面積	297 m ²



図表 151 丸太加温器設置状況



図表 152 倉庫 (ストックヤード)



図表 153 暖房機 (NO. 401) と熱交換ファン



図表 154 倉庫内部



図表 155 倉庫に積み置いてある丸太燃料

21) 樹楽荘

丸太加温器 機種	NO.251 温水タイプ
所在地	山武市椎崎
用途	住宅モデル
目的	給湯
既存の機器	ガス湯沸かし器と接続させて、プロパンガス燃料の削減を図る。



図表 156 概観



図表 157 丸太加温器 NO 251



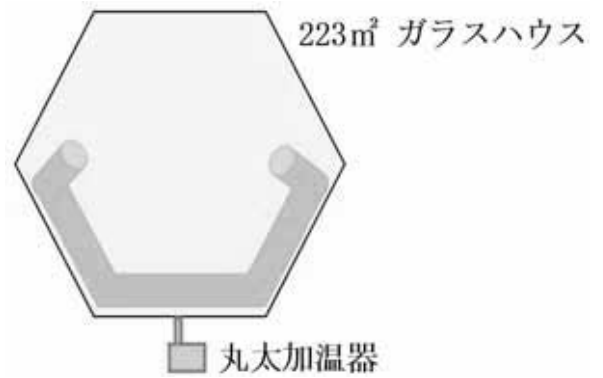
お風呂への配管



浴槽

22) ひめはるの里

丸太加温器 機種	NH500 温風型
所在地	茂原市上永吉
用途	イベント会場
加温面積	223 m ² ガラス温室
既存の暖房機	—
設定温度	15 度



図表 158 設置状況(略図)



図表 159 温室の外観



図表 160 温室内部の状況



図表 161 室内への配管



図表 162 丸太加温器

23) 千葉県農林総合研究センター 森林研究所

丸太加温器 機種	NO.501 温水型
所在地	山武市埴谷
用途	実験用（熱交換による温水）
加温面積	—
既存の暖房機	—
設定温度	—



図表 163 設置状況(略図)



図表 164 熱交換器と丸太加温器



図表 165 燃料パレット



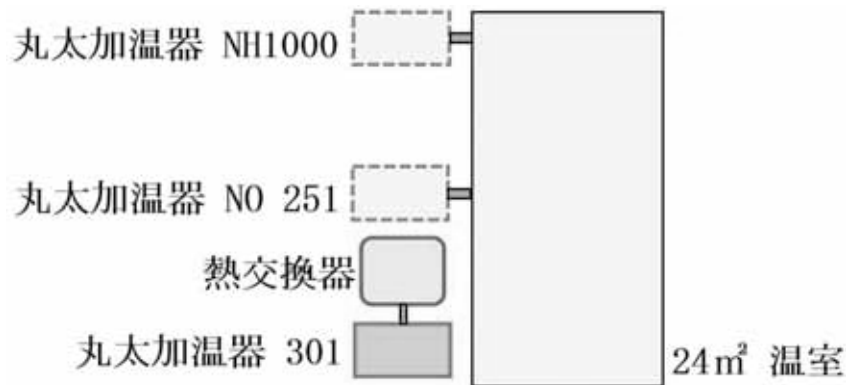
図表 166 着火時の炉内の様子



図表 167 使用方法の説明

24)～26) 千葉大学-1、2、3

丸太加温器 機種	NO.301 温水型、H500 温風タイプ、NO.251 温水タイプ
所在地	千葉市稲毛区弥生町
用途	実験用
加温面積	24 m ²
既存の暖房機	—
設定温度	—



図表 168 設置状況(略図)



図表 169 丸太加温器の設置状況(全体)



図表 170 丸太加温器(温水型)



図表 171 丸太加温器(温水型)



図表 172 丸太加温器(温風型)

4.4 これまでの成果

丸太加温器の利用システムに関する平成 25 年度（初年度）、平成 26 年度の成果についてはすでに報告済みであるが、以下に要点をまとめておく。

4.4.1 初年度（平成 25 年度）の実施内容と成果（参照資料-1）

(1) 丸太加温器の動作状況の確認と把握

温風型および温水型丸太加温器を大学に導入し据えつけて、実際に丸太燃料を投入して加温器の動作状況を確認した。その結果、燃焼ファンの起動、丸太燃料の着火、そして加温対象の温度状況と燃焼炉内の丸太燃料の燃焼状態に応じた温風ファンおよび温水供給ポンプの作動により安定した温度の温風および温水の供給ができ、定常燃焼の維持と加温対象の安定な加温ができることを確認した。

また、丸太燃料の燃焼の結果として灰の発生があるが、標準燃料（樹種：スギ、水分率 25 [%w.b.]）100 [kg] の燃焼で約 500 [g] の灰の発生を確認した。灰の残留率としては 0.5 [%] であり、木質バイオマスの燃焼としてはかなり良好である。

一方、燃料の水分率が高いときには燃焼状態は不良となり、煤やタールの発生が増加し、燃焼炉内部や煙道・煙突の汚れが激しくなることが観察された。すなわち、丸太燃料の水分率の管理が重要であることがわかった。

また、丸太燃料の形状の燃焼に与える影響としては、長さは炉壁にわずかな隙間を確保するような状態での安定かつ定常な燃焼が可能であったが、太さについては、今回採用した一連の丸太加温器では、直径が約 30 [cm] を超えると燃焼炉内で燃焼の進行の途中でブリッジ状態を発生することがあり、個々の丸太燃料間に空間が生じて燃え移りの不良が発生し、失火状態に至る状況の発現が認められた。

以上から、今回採用した丸太加温器では、水分率、丸太燃料の長さや直径の管理が必要で、十分な管理の下で供給される丸太燃料の燃焼では灰の発生が 0.5 [%] となることが確認できた。

また、加温器の燃焼形式のタイプとしては、燃焼が炉内の全域で進行するタイプといわゆる燃焼空気をダウンドラフトの状態でも供給して燃焼を比較的狭い領域で進行させるタイプがあるが、燃焼状態の維持や効率的な燃焼（燃焼時間の確保）などの観点からはダウンドラフト形式の方がやや利点が多いように思われた。

(2) モニター・サイトへの丸太加温器の設置と動作確認

大学の実験用の装置は温風型と温水型の各 1 台を導入・設置した。その他、6 か所の園芸農家や倉庫・工場などの施設をモニターとして依頼し、8 台の丸太加温器を導入・設置した（1 か所 2 台の丸太加温器を導入したモニターが 2 か所あった）。

それらの運転により、加温目的に対して各丸太加温器がどのように動作するのかを確認した。その確認にあたっては、温度計測を中心に、データの解析方法およびその後のデータ取得の方法を確立する目的で、温度センサーの設置やデータ回収の方法、データ解析の方法を試行錯誤しつつ試験を繰り返した。

その結果、施設園芸農家のハウス加温では、既設の重油加温器のバックアップを受けつつも十分に重油加温器を代替して冬場の極寒の日（外気温度が零下）であっても、丸太加温器による加温が機能することが確認できた。

これらの結果により、施設園芸農家のハウス加温や施設の暖房や加温として丸太加温器が機能することが確認でき、これらの成果は次年度以降の試験計画立案のための貴重な情報となった。

4.4.2 2年度目（平成26年度）の実施内容と成果（参照資料-2）

(1) 丸太燃料の乾燥・燃焼の基礎実験

前年度の結果から、丸太加温器の運転においては丸太燃料の乾燥状態の確保が重要であることが確認できたので、様々な条件下での丸太燃料の乾燥状態を把握した。その結果、0.5 [m] の丸太であれば条件の良い現場において4～5ヶ月で繊維飽和点（約30 [%w.b.]）まで乾燥できることがわかった。また、強制的に表面（樹皮の部分）に傷を入れることで均一な乾燥が進行することがわかった。また、保管のし方や雨による濡れの影響などと乾燥状況の関係を把握した。

燃焼に関しては丸太燃料の水分率と燃焼時の燃焼炉内の温度変化の関係から、水分率が30 [%w.b.] 以下であれば、燃焼可能であることが確認できた。

その他、燃焼空気の供給と燃焼温度の関係、温水型の場合の燃焼状況と温水の温度変化の関係、温水型の二次熱交換器の加熱方法と温水生成の関係、温風型の温風吹き出し口にエダクタを設置することの効果などについて把握できた。

以上の要点をまとめると、燃焼は水分率30 [%w.b.] までは燃料として受け入れ可能であり、乾燥も30 [%w.b.] までであればこの水分率が繊維飽和点とも一致することもあって、比較的短期の乾燥による丸太加温器の利用システムの運用が可能であることがわかった。このような条件の明確化とその他の温水の温度変化の挙動・温風の効率的な供給方法などの組合せにより効率的な丸太燃料の供給と効率的な丸太加温器の運用の方法の最適化の探索が可能であることがわかった。

(1) モニターサイト試験

当該年度では、丸太加温器の広範な利用が可能なことを検証するために、前年度のモニターに加えてさら新たに14箇所のモニターに16台の丸太加温器を導入・設置した。前年度のモニターに加え当該年度に設置した一部のモニターへによる丸太加温器の運用から、採用した丸太加温器の性能と施設園芸の設定温度、温室面積、加温時間などの関係が把握できるようになった。

丸太加温器の使用経験を積んだモニターからは、不在時（丸太を投入できないとき）の稼働や停電時の対策、異常発生時の対策などの要望が寄せられた。

また、丸太加温器設置に際して最適な性能の加温器の選定やシステムを提案をするためには加温方法のシミュレーションが有効であり、このシミュレーション手法の開発が次年度の課題とされた。

参照資料-1：平成25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
（千葉地域）成果報告書

参照資料-2：平成25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の実証（千葉県山武・長生地域））成果報告書

4.5 本年度の実施内容と成果

4.5.1 本年度の実施目標

本年度は、丸太燃料流通システムの継続・拡大のためのユーザーフレンドリーなシステムの達成を目指した。

また、LCA手法に基づきインベントリ分析、エネルギー収支分析を行うとともに、丸太燃料利用によるシステム全体のCO₂削減効果を評価することを目標とした。

4.5.2 本年度の実施内容と成果の要約

施設園芸用途では、丸太加温特性を生かした加温方法の最適化、ハウス加温シミュレータによる最適設計、温泉・一般暖房向け用途では安定稼働の実証、さらに農林水産物の乾燥、調理等への加工応用の検討を行った。

各種の加温器（暖房機）ユーザーに丸太加温器の使用をモニターとして依頼し、丸太加温器が化石燃料加温器の代替になり得ることや経済的な効果も得られることを確認した。その結果、丸太加温器を主要な構成要素とする丸太燃料流通システムは、今後の継続・拡大のためのユーザーフレンドリーなシステムであることが確認できた。また、本システムをLCA手法に基づき評価した結果、丸太燃料利用によるシステム全体のCO₂削減効果が極めて大きいことを確認した。

また、今年度は大学に加えて千葉県森林研究所のご協力をいただき、丸太燃料の乾燥および燃焼に関する基礎的な実験を実施した。これまでの大学における実験やフィールドにおけるモニターによる実際の丸太加温器の使用や丸太燃料の取扱いの結果から、実験目的を以下の内容に絞って実施した。乾燥については、丸太原木および丸太燃料の形状や乾燥方法および丸太原木や丸太燃料への切り込みなどの処置を施した場合の影響、そして、樹種としてこれまで対象として来なかった広葉樹についての乾燥特性を求めた。また、燃焼については、燃焼特性に及ぼす含水率や形状の影響の把握、これまで対象として来なかった広葉樹についての燃焼特性を求めた。本報告書では、4.5.7として、広葉樹を対象とした乾燥および燃焼に関する実験結果に絞って実験的に検討した結果を紹介する。

4.5.3 施設園芸における成果

施設園芸については、各種の農作物を生産する農家に主に温風型丸太加温器を設置し、その使用状況を確認した。さらには丸太加温器の特性を活かした加温方法の最適化の検討を行った。施設園芸農家における成果の代表例として、ばらを栽培している榎本ばら園、切花を栽培している石井農園、シクラメンやカーネーションを栽培している緑海園芸の各施設園芸農家における実証試験結果を示す。

(1) 榎本ばら園のケース



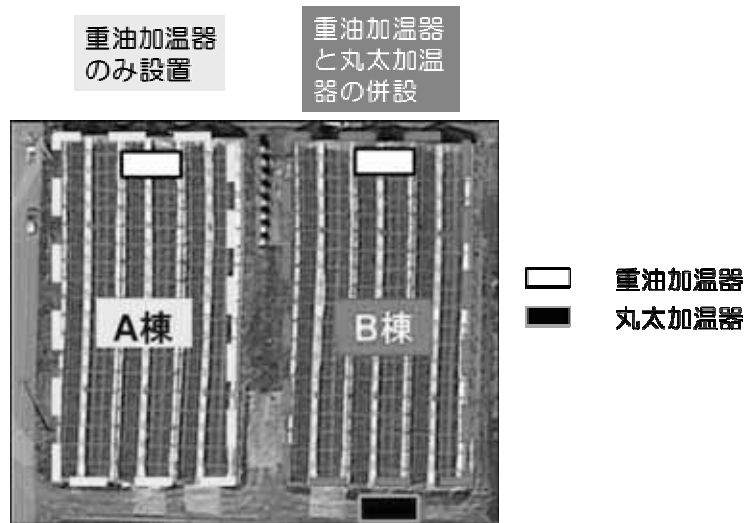
図表 173 榎本ばら園のハウス外観



図表 174 丸太加温器の設置状況

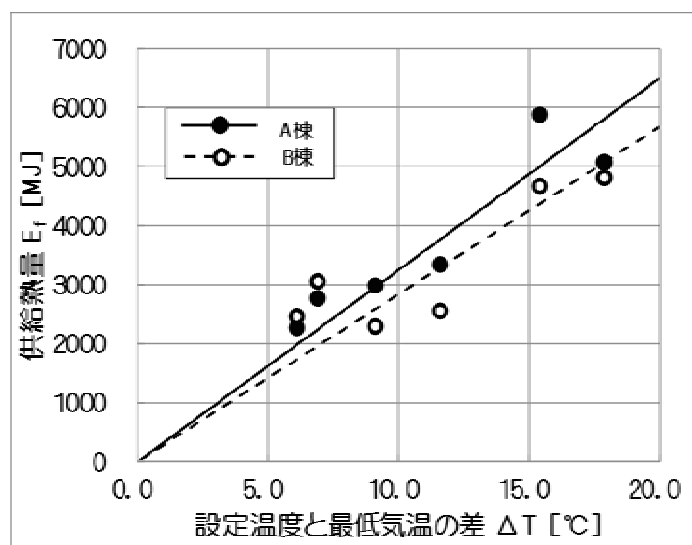
① 熱供給と経済性

榎本ばら園は既に重油加温器を設置している花卉農家であるが、ここのハウスのひとつに丸太加温器を併設した。ここはばらの栽培を目的として、形状や広さ（1350 [m²]）がまったく同じふたつのハウスを有している。図表 175 に示す通り、片方のハウス（A棟と呼ぶことにする）は従来の重油加温器のみで、もう片方のハウス（B棟と呼ぶことにする）に従来の重油加温器に加えて丸太加温器を設置した。試験によりこの二つのハウスの温度分布、重油および丸太燃料の消費量を把握し、これらの比較から丸太加温器導入による効果を評価した。



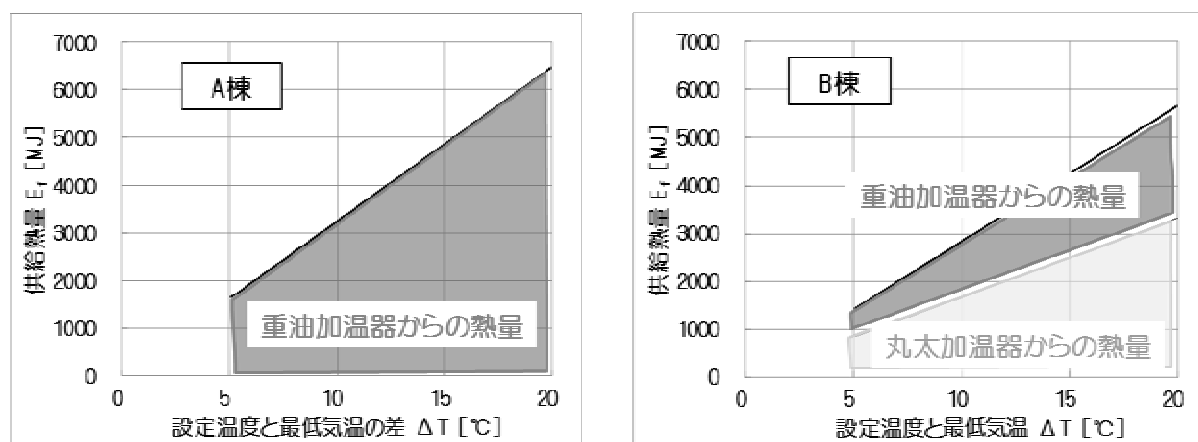
図表 175 試験を実施したモニターハウス

重油加温器の出力は 170 [kW] で丸太加温器は 100 [kW] である。これらの出力の比較から B 棟においては重油加温器の供給する熱量の約 60% が丸太加温器により代替されることが期待された。B 棟では、丸太加温器が優先的に稼動するような条件設定をして、丸太加温器では熱供給が不足する場合に重油加温器が稼動するようにした。その結果、ハウスが必要とする熱量 (E_f [MJ]) はハウスの設定温度 (T_{inset} [°C]) と外気温度の最低値 ($T_{outmini}$ [°C]: 加温器の運用時間帯における最低気温) の差 (ΔT [°C]) に依存すると考えて、その関係を求めると図表 176 のようになる。その結果 A 棟と B 棟に対してほぼ同じような直線関係が得られ、両棟ともに必要とした熱量はほぼ同じであることが確認された。これらの直線の傾きは、ハウスの温度を 1 °C 引き上げるために必要な熱量 ([MJ]) である。これをハウス熱供給係数 ($K1$ 値: [MJ/°C]) と呼ぶことにすると、 $K1$ 値は 2 本の直線の傾きの平均から 304 [MJ/°C] と評価された。



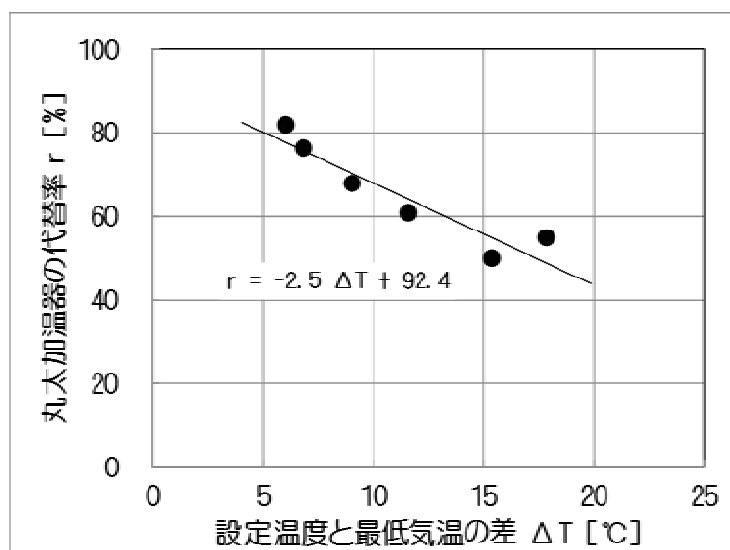
図表 176 ハウスの設定温度と最低気温の差 (ΔT) に対するハウスが必要とした熱量 (E_f) の関係

このとき、重油加温器と丸太加温器が供給した熱量をそれぞれに分けてみると、図表 177 で示すように B 棟では丸太加温器が供給できなかった分の熱を重油加温器が補填していることがわかる。



図表 177 発生源別の供給熱量

また、今回の試験では、丸太加温器が供給した熱量が重油加温器からの供給熱量を代替できた割合 (r [%]) をハウスの設定温度 (T_{inset} [°C]) と最低気温 ($T_{outmini}$ [°C]) の差 (ΔT [°C]) との関係で表すと図表 177 のようになる。シーズン (加温器の稼動を必要とする 10 月から翌年の 5 月くらいまでの期間をシーズンと呼ぶことにする) を通して最低気温の平均はこの地域では 5°C 程度なのでハウスの設定温度を 18°C とすると温度差 ΔT は 13°C となるので、から代替率 r は約 60 [%] となる。したがって、それぞれの加温器の出力から期待した重油加温器に対する丸太加温器の代替率を達成可能なことがわかった。



図表 178 丸太加温器の代替率と設定温度と最低気温の差の関係

これらの結果を踏まえると、このハウス（B棟）で実施した試験条件による運用を、シーズン通して行うとした時の重油の節約量が推算可能である。算定条件を図表 179 のように考える。

図表 179 シーズンの重油節約量および経済効果の算定条件

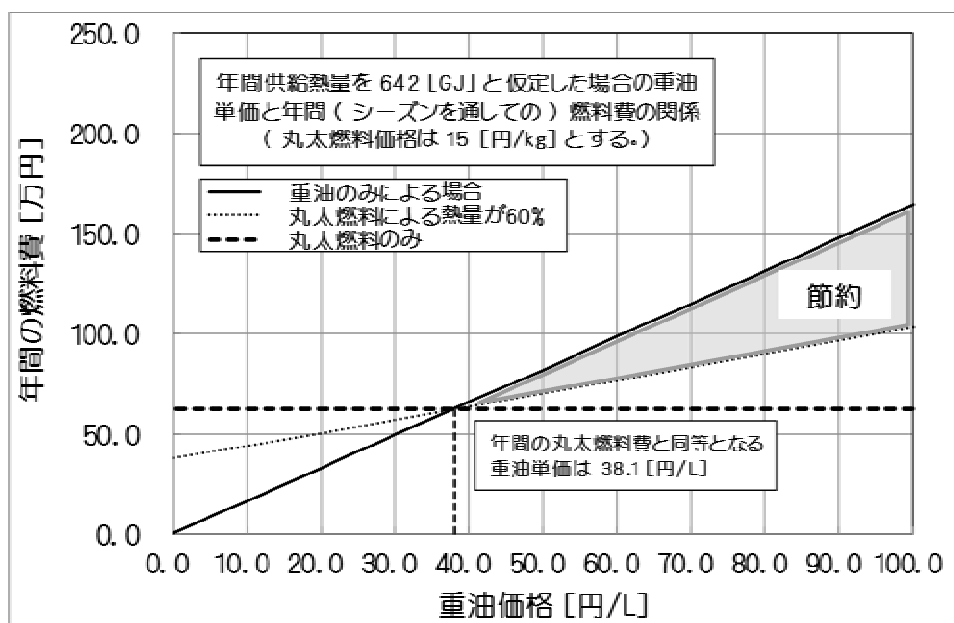
項目		数値	備考
運転日数	d	160 [日]	最低気温が10℃以下になる時点から10℃を超える時点までの日数。
設定温度	T_{inset}	18 [°C]	覆本ばら園の場合
加温器稼働期間の最低気温の平均値	T_{outmin}	5 [°C]	一番近い気象庁地点のデータに基づく代表値
設定温度と平均の最低気温の差	ΔT	13 [°C]	$\Delta T = T_{inset} - T_{outmin}$
ハウス熱供給係数	K1	304 [MJ/°C]	今回試験を実施したハウスの特性値
年間に必要な供給熱量	E_{ftotal}	642 [GJ]	$E_{ftotal} = K1 * \Delta T * d$
丸太加温器熱量代替率	r	60 [%]	今回試験を行ったハウスの運用方法をシーズンを通して実施した場合

この条件では年間の重油の節約量は図表 180 に示す通り約 10 [kL] となった。

図表 180 シーズンの重油節約量

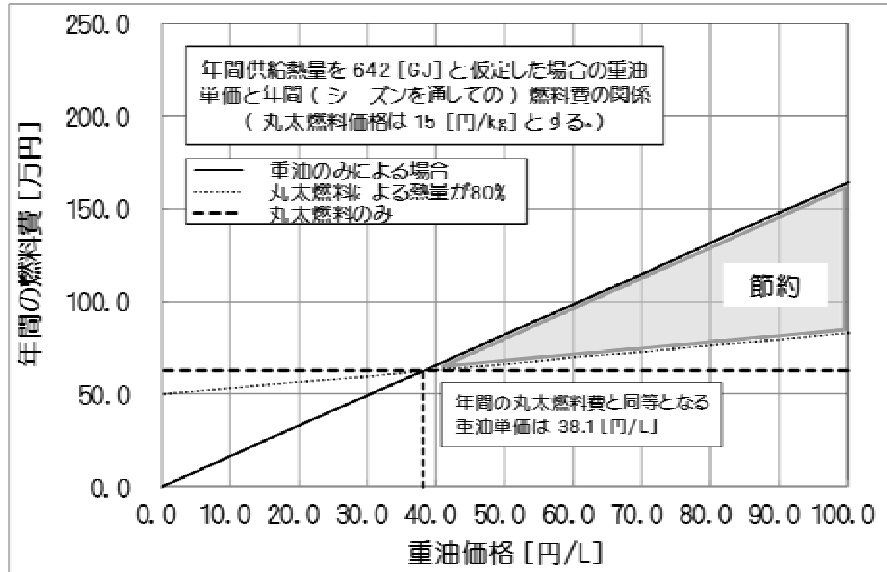
重油加温器 のみの運用	丸太加温器を導入した運用			
	丸太加温器 導入 熱量代替率	重油	丸太燃料	重油節約量
16.4 [kL]	0.6 [-]	6.6 [kL]	25.0 [t]	9.8 [kL]

さらには重油および丸太の燃料単価からシーズン（年間とする）の燃料費を算出すると、重油単価に対する燃料費は図表 181 の通りとなった。



図表 181 シーズン（年間）の燃料費

榎本ばら園では、毎日の運転において最終的な燃料投入は夜 9 時から 10 時頃であり、このとき燃焼室には最大量の丸太燃料を投入されている。しかし、この燃料は翌日の午前 3 時から 4 時には燃え尽きてしまうのでそれ以降は重油加温器のみの稼働となる。しかし、この時間帯も丸太加温器の運転ができれば、さらなる燃料費の節約は可能である。この時間帯は外気が最も低下することも考えれば、丸太燃料の代替率としては 80% 程度も期待できる。このような条件で年間の燃料費がどのようになるのかを試算してみた。その結果を図表 182 に示す。



図表 182 シーズン(年間)の燃料費
(丸太燃料による熱量代替が80%の場合)

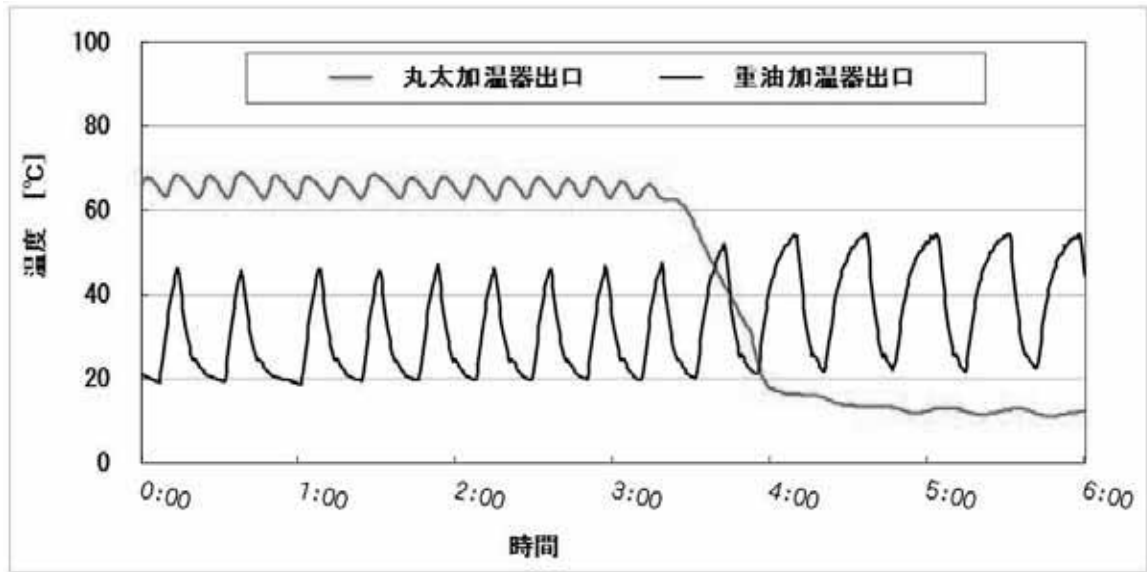
② 加温の最適化と丸太加温器の特性の活用

温風型丸太加温器は供給する温風の温度が極めて安定するという特性を持つ。一方、既設加温器の多くは重油加温器であるが、重油加温器の吹き出し温度はかなりの温度幅を持って上下にハンチングを繰り返すという特性を持つ。

図表 183 に重油加温器と丸太加温器による吹き出し温度とその変動の違いを比較した。

この重油加温器の特性のために、ハウスの設定温度は希望する温度よりもやや高めに設定することになる。榎本ばら園では、丸太加温器が供給する温風の温度が安定しているという特性を活かして設定温度を引き下げて希望する温度に近づけ、さらには循環ファンの設置によりハウス内の温度分布の一層の均一化を図った。(榎本氏の自主的な判断による設置で、試験に関する相互協力をいただいた)。

図表 184 に丸太加温器の加温による栽培と従来の重油加温器のみの加温により栽培したばらの成長の違いを示す。(1) は丸太加温器により育成したばらの蕾、(2) は重油加温器により栽培したばらの蕾と出荷直前の花卉と茎である。これらの図表から、(1) はまだ蕾の状態これから成長する茎であるが、(2) で示すように出荷直前の成長を終えた茎と同等ないしはそれよりも太いことがわかる。このように茎の太いばらは、切り花の状態でも暖房のない室内では約1か月近く花卉をつけて装飾用として使用可能であり、さらに切り花の状態でも花卉の成長を続けるとのことであった。こうしたばらはこれまでの重油加温器による加温では実現できていないとのことであった(榎本氏談)。

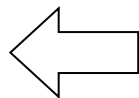


図表 183 重油加温器と丸太加温器による吹き出し温度とその変動

(1) 設定温度を下げて育成したばらの茎
(まだ発育する前の蕾と茎)



(2) 設定温度を下げる前に育成したばらの茎
(まだ発育する前の蕾と茎) (出荷直前の成長し切った茎)

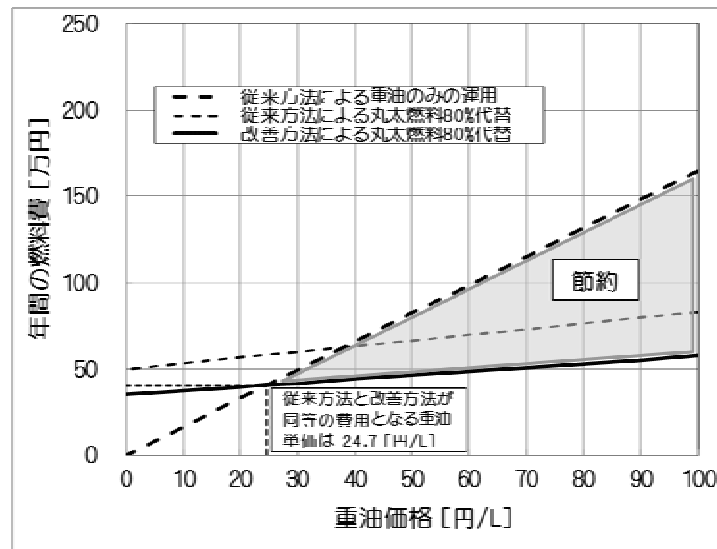


図表 184 (1) 丸太加温器

および(2) 重油加温器で加温したハウスで育成したばらの茎の比較

③ 加温の最適化による経済効果

上記 ② のハウス内設定温度の引き下げ効果は、当然のことながら省エネルギーの効果ももたらした。具体的には、既設の重油加温器の約 60% の出力の丸太加温器を併設し、丸太加温器優先で運用したところ、当初の期待は重油燃料の 60% 程度の削減効果であったにもかかわらず、80% 以上の削減効果となった。すなわち、丸太加温器の導入により、単なる燃料コストの低減以上のコスト節約効果が得られた。この効果を年間の節約額として評価すると、図表 185 の通りとなる。図表 185 は従来方法により重油加温器のみの加温を行った場合に対して改善方法を適用して丸太加温器が 80% の熱量供給を代替負担できるときの節約額を重油単価に対して示している。このとき節約ができるようになる重油単価は 24.7 [円/L] 以上であることを示している。図表 185 には従来方法により丸太加温器が 80% の熱量供給を代替負担した場合の節約額も比較のために記載した。このように、丸太加温器導入は農作物の品質だけでなく、単に燃料の代替以上の付加価値を生むことがあることが確認できた。



図表 185 設定温度引き下げによる重油節約の効果

(2) 石井農園のケース

石井農園は既に重油加温器を設置している花卉農家であるが、ここのハウスのひとつに丸太加温器を併設した。ここは切り花（トルコキキョウ、キンギョソウなど）の栽培を行っている花卉農家である。ここのハウスは広さが 825 [m²]（250 [坪]）のガラスハウスである。



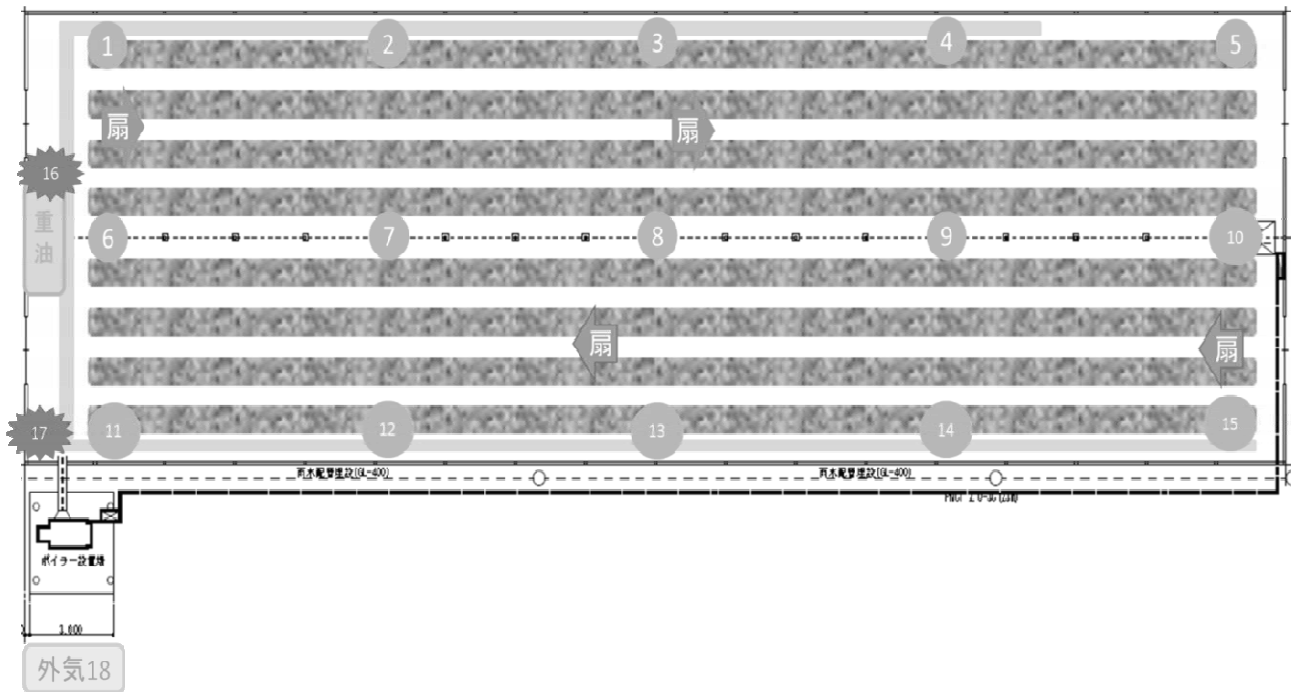
図表 186 丸太加温器の設置状況



図表 187 重油加温器とハウス内部

このハウスの既設の加温器は重油加温器で、チャンバーによる吹き出しタイプである。ハウス内には循環ファンが設置されている。ここへ丸太加温器（温風型 NH1000：101[kW]）を併設した。丸太加温器からの温風はビニール製のダクトで主に壁際に引きまわした。ビニール・ダクトの引き回した状況および温度測定位置を

図表 188 に示す。



図表 188 石井農園のハウス内のビニール・ダクトの配置
 (ブルーラインがビニール・ダクトの位置) と温度測定位置

ここでは、丸太加温器の稼動条件をハウス内の温度が 10 [°C] を下回る状態で起動し、それでも加温が不足したり、丸太燃料が燃え尽きて燃料切れとなり、ハウス内温度が低下して 7 [°C] を下回る状態で重油加温器が稼動する条件となっている。ハウス内の希望設定温度は最低でも 7 [°C] を確保したいということであった。

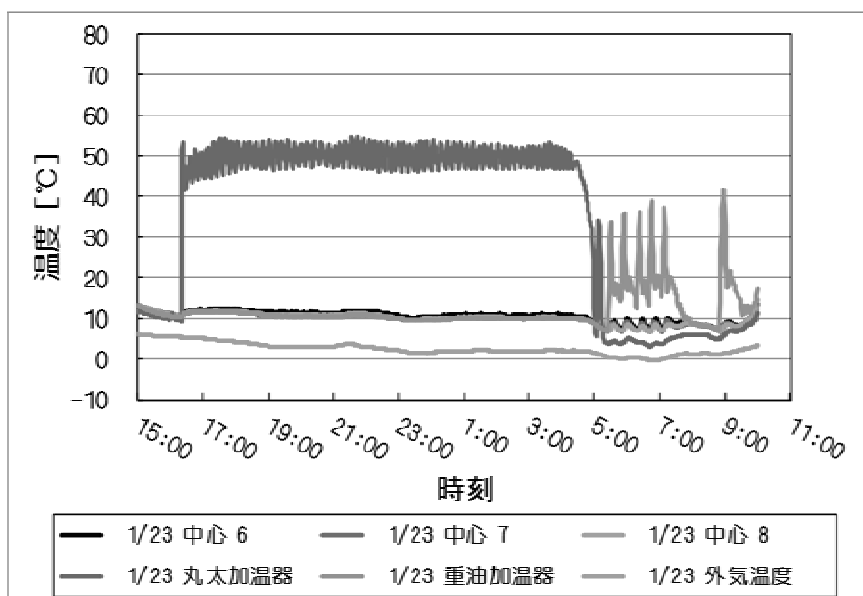
試験は、従来の重油加温器のみの運用の場合と丸太加温器の導入による運用の場合の燃料の消費量を比較することで、丸太加温器の導入の効果を評価した。

試験結果を図表 189 に示す。

図表 189 試験結果

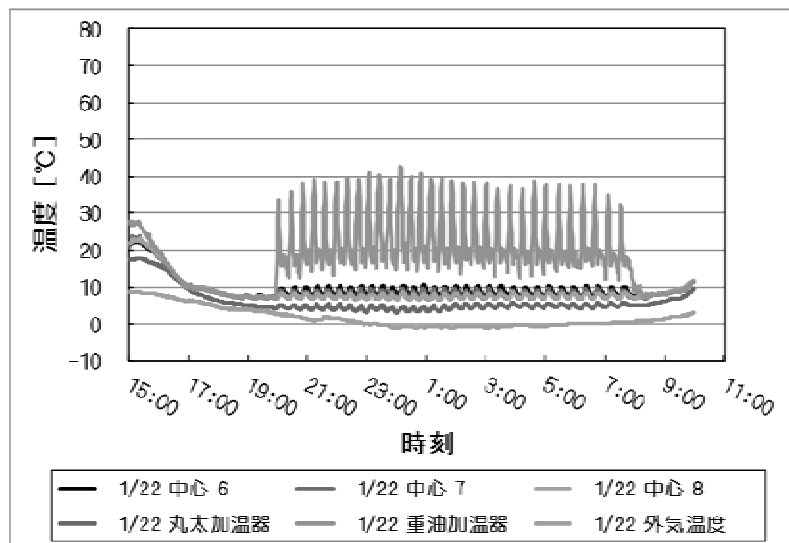
日数	重油消費量 [L]	重油供給熱量 [MJ]	丸太投入量合計 [kg]	丸太燃料供給熱量 [MJ]	供給熱量合計 [MJ]	設定温度 [°C]	最低気温 [°C]	設定温度と最低気温の温度差 [°C]	メモ
1	119.4	7014.5	147	2257.6	9272.2	7.0	-4.5	11.5	短期試験 (モニター使用方法を反映)
2	0.0	0.0	160	2457.8	2457.8	7.0	-0.6	7.6	短期試験 (重油加温器使用せず)
3	175.4	6858.1	0	0.0	6858.1	7.0	-1.1	8.1	短期試験 (丸太加温器使用せず)
4	32.2	1259.0	83	1278.2	2537.2	7.0	-0.6	7.6	
5	201.6	7882.8	80	1282.0	9114.6	7.0	-4.2	11.2	

図表 190 に典型的な加温器の稼動状況と温度の経時変化を示す。この図表 190 では、丸太加温器が夕方 5 時頃から先行して稼動し、燃料が燃え尽きた翌日朝の 5 時頃から重油加温器が稼動している様子がわかる。ハウス内の温度は中心部で 10 [°C] を維持できており、丸太加温器の加温がビニール・ダクトにより壁際のみを加温していても、循環ファンの効果も含めて中心部までの加温が十分にできていることを示している。



図表 190 石井農園の代表的な加温器の稼動状態

一方、従来の重油加熱器のみの稼動における温度の経時変化を図表 191 に示す。

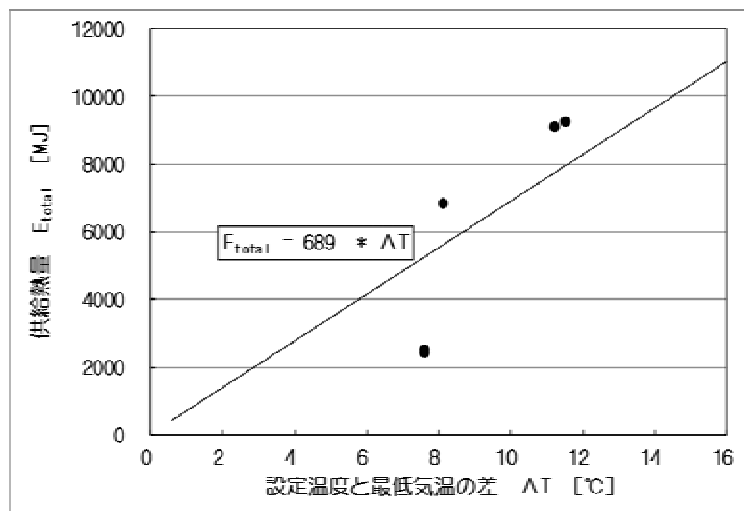


図表 191 石井農園の従来の重油加熱器のみの稼動状態

この図表 191 からわかるように、重油加熱器からの吹き出す温風の温度変動は激しく、ハウス内の中心部の温度も変動することがわかる。これに対して、図表 190 でもわかるように、丸太加熱器の吹き出す温風の温度変動は極めて小さく、ハウス内の温度も極めて安定していることがわかる。

ハウスが必要とする熱量は、ハウスの希望する設定温度 T_{inset} [°C] と外気温 T_{out} [°C] の差 ΔT [°C] に依存するものと考えられる。一日の加熱器の稼動時間は夕方から翌朝までであり、気象台の温度データなどで一日の平均的な温度差を評価するときには、毎日について時間帯を限定したデータから平均値を取り出す必要がある。しかし、この作業は煩雑であるので、一日の最低気温がほぼ夜中になることが多いことを考えると、最低気温との温度差で評価できると解析しやすい。榎本ばら園でもこのような解析を行っているが、ここでもその手法で解析した。

得られたデータから、ハウスが必要とした熱量 E_{total} [MJ] と温度差 ΔT の関係をグラフにプロットすると図表 192 の通りとなる。



図表 192 ハウスへの供給熱量と、設定温度と最低気温の温度差の関係

このデータを直線で近似すると、ハウス熱供給係数 $K1$ [MJ/°C] が求められる。ここでの結果は 689 [MJ/°C] となった。このデータから年間の燃料費を推算してみる。前提となる条件は図表 193 の通りである。

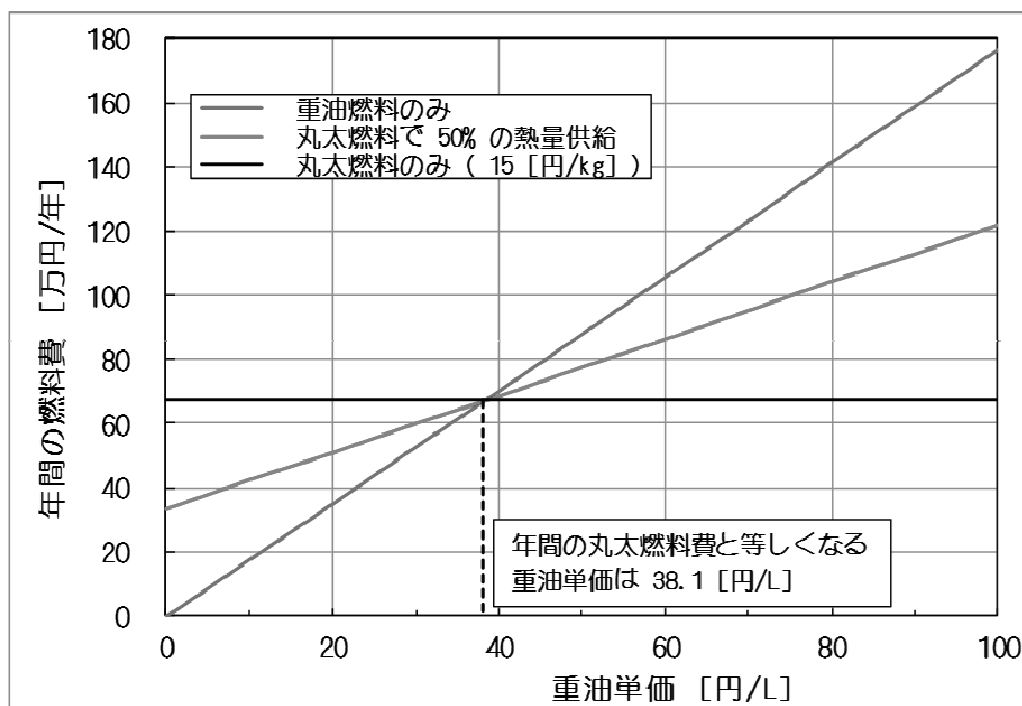
図表 193 シーズンの重油節約量および経済効果の算定条件

項 目		数 値	備 考
年間の運転日数	d	150 [日]	平均的に、外気温度の平均値が10 [°C] 最下回り、最低気温が 3 [°C] を下回る 11/20 ~ 4/20 までの約 150 日間を加温器運用期間とした。
希望設定ハウス内温度	T_{inset}	7 [°C]	
最低気温の平均値	$T_{outmean}$	3 [°C]	一番近い気象庁観測地点のデータに基づく代表値
希望設定温度と平均の外気温度との差	ΔT	4 [°C]	$\Delta T = T_{inset} - T_{outmean}$
施設熱供給係数	$K1$	689 [MJ/°C]	今回の短期試験結果に基づく施設の特性値
年間に必要な供給熱量	Q_{ftotal}	413.4 [GJ]	$E_{ftotal} = K1 * \Delta T * d$ (最低気温が 1 [°C] 以下の場合)
丸太加温器の熱効率	$\eta 1$	0.90 [-]	
重油加温器の熱効率	$\eta 3$	0.90 [-]	

この前提条件で年間の燃料費を算定した結果を図表 193 に示す。

その結果図表 194 に示すように、これまでの試験結果の解析によれば、必要熱量のうち丸太燃料への代替は 50 [%] 以上が可能で、重油の単価が 38.1 [円/L] 以上で丸太燃料への代替の効果が出てくることになる。

ただし、今後の検討が必要ではあるが、重油加温器によるチャンバーからの吹き出しによる加温はかなりの熱的なロス（吹き出す温風がそのまま上昇する傾向にある）が予想され、データの的にも各加温器が稼動している時間帯の燃料消費とハウスの加温状態に差がある（丸太加温器の方が少ない熱量で加温できている）傾向もみられ、今後の検討課題と思われる。



図表 194 年間の燃料費

(3) 緑海園芸のケース

緑海園芸は既に既に重油加温器を設置している花卉農家であるが、ここのハウスのふたつにそれぞれ温風型丸太加温器を設置した。ここは、シクラメンやカーネーションなどの栽培を行っている。ここのハウスの広さは、ひとつが 430 [m²] (130 [坪]) のビニール・ハウス、もうひとつが 660 [m²] (200 [坪]) のガラス・ハウスである。ここでは後者の面積が広い方のハウスにおいて実施した試験の結果について紹介する。

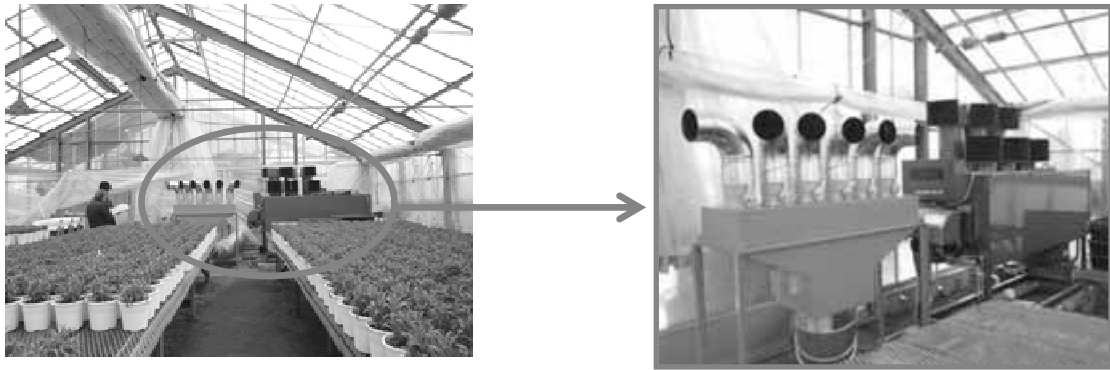
丸太加温器の設置状況を図表 195 に、ハウスの内部の様子を図表 196 に示す。ここの温風供給の方法は図表 62 で示すように、前述した榎本ばら園 (4.5.4 (1)) や石井農園 (4.5.4 (2)) のようなビニール・ダクトを引きまわすのではなく、チャンバーにより温風を吹き込んでいる。



図表 195 丸太加温器の設置状況



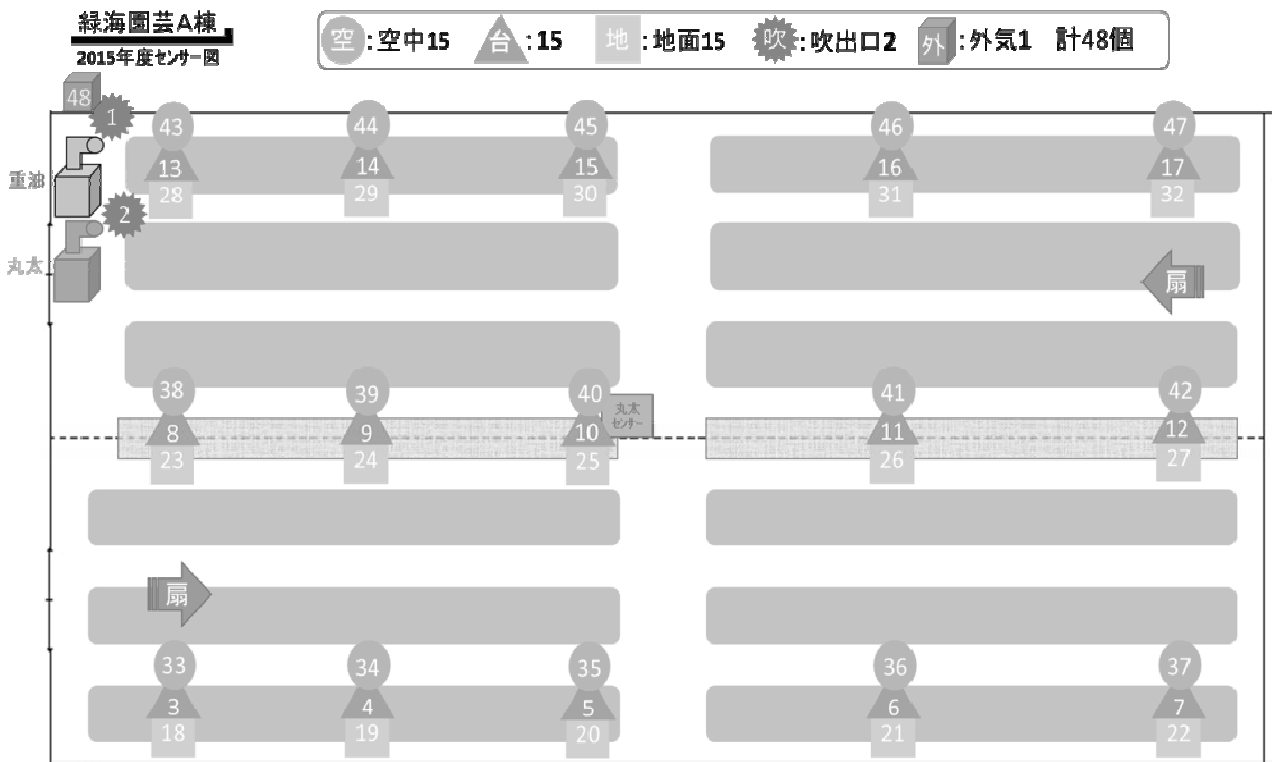
図表 196 ハウス内部の様子



図表 197 ハウス内部とチャンバーの設置状況（手前が丸太加熱器用のチャンバー）

このハウスでは、前年度までの結果からチャンバーによる温風吹き込みでは、循環ファンが設置されているものの、温風は吹き出された直後から天井に向かって上昇する傾向の流れになることがわかっているので、温度分布は高さ方向も考慮して3次元的な測定を行った。温度センサーの配置を

図表 198 に示す。



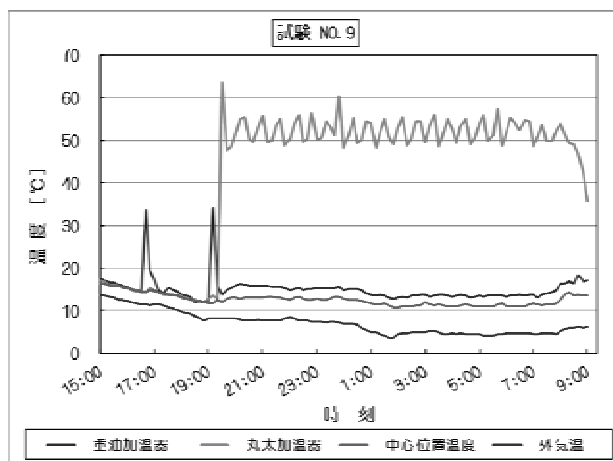
図表 198 温度センサーの配置

このハウスに設置されている既設の重油加温器の出力は 116 [kW] であり、設置した丸太加温器の出力が 101 [kW] であることから、熱供給の 80 % 以上を丸太加温器で代替することが期待される。代表的な試験結果を図表 199 に示す。

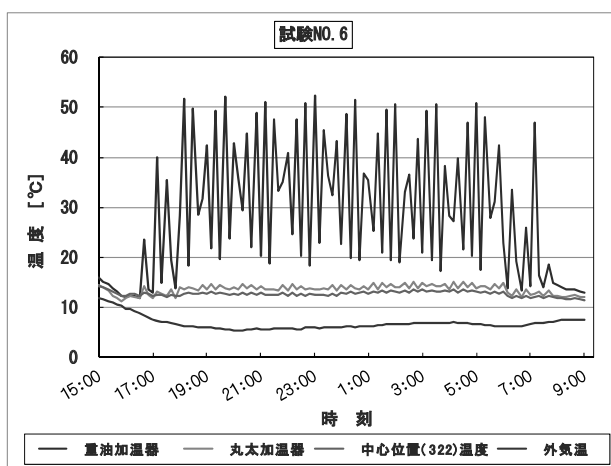
図表 199 代表的な試験結果

	燃料消費量		供給熱量			設定温度	最低気温	温度差
	重油消費量	丸太燃料消費量	重油	丸太	合計			
	[L]	[kg]	[MJ]	[MJ]	[MJ]			
1	46.2	113	1806.4	1740.2	3546.6	12.0	8.1	3.9
2	55.1	0	2154.4	0	2154.4	12.0	3.5	8.5
3	51.5	90	2013.7	1386	3399.7	12.0	5.6	6.4
4	57.6	0	2252.2	0	2252.2	12.0	8.9	3.1
5	66.5	0	2600.2	0	2600.2	12.0	2.8	9.2
6	72.6	0	2838.7	0	2838.7	12.0	5.4	6.6
7	75.3	90	2944.2	1386	4330.2	12.0	1.6	10.4
8	105.3	0	4117.2	0	4117.2	12.0	1.0	11.0
9	31.5	153.6	1231.7	2365.44	3597.1	12.0	3.6	8.4

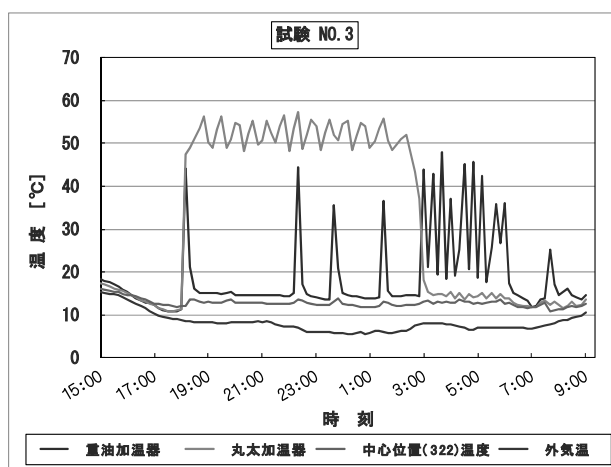
この試験結果の中で、代表的なハウス内や各加温器の挙動状況を、温度の経時変化により示す。各加温器が動作する時間帯における丸太加温器の吹き出し温度、既設の重油加温器の吹き出し温度、外気温、そしてハウスの中心位置（センサー番号 NO.10）の温度の経時変化を示す。この試験結果の中で丸太加温器の依存が最も高いのは試験 NO.9 である。その結果を図表 200 に示す。また、既設の重油加温器のみが稼動したときの代表的な状況として、を図表 201 に示す。そして、既設の重油加温器が丸太加温器のバックアップとして機能して稼動している状況を図表 202 に示す。これらの図表でわかる通り、丸太加温器が既設の重油加温器の代替として機能することが確認できる。また、丸太加温器による必要熱量の供給も重油加温器の 70 % 程度は十分に可能であることが確認できた。



図表 200 丸太加温器が主体で稼動したときの状況

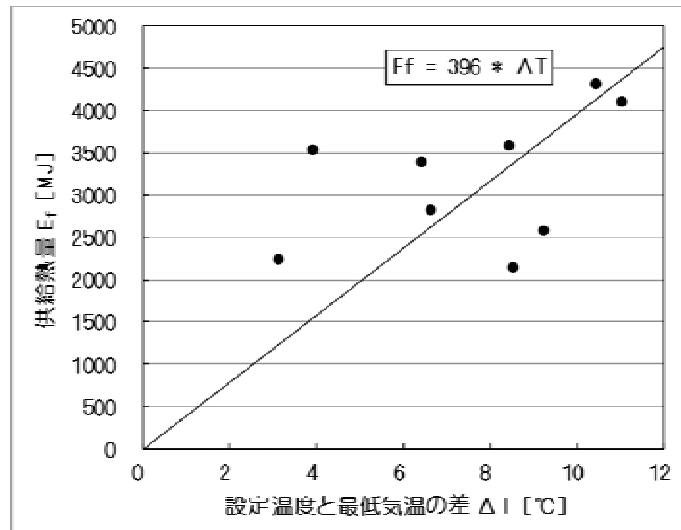


図表 201 既設重油加温器のみが稼動したときの状況



図表 202 既設重油加温器と丸太加温器の稼動のバックアップとして機能している状況

また、これまで榎本ばら園、石井農園で適用した設定温度と外気温の最低気温の差 ΔT [°C] とこのハウスが必要とした熱量の相関を求めると、このハウスのハウス熱供給係数 ($K1$ [MJ/°C]) を求めることができる。上記の図表 202 において、設定温度と外気温の最低気温の差とその日に必要とした熱量の関係を図表 203 に示す。このグラフの傾きから、このハウスのハウス熱供給係数は 396 [MJ/°C] であることがわかった。



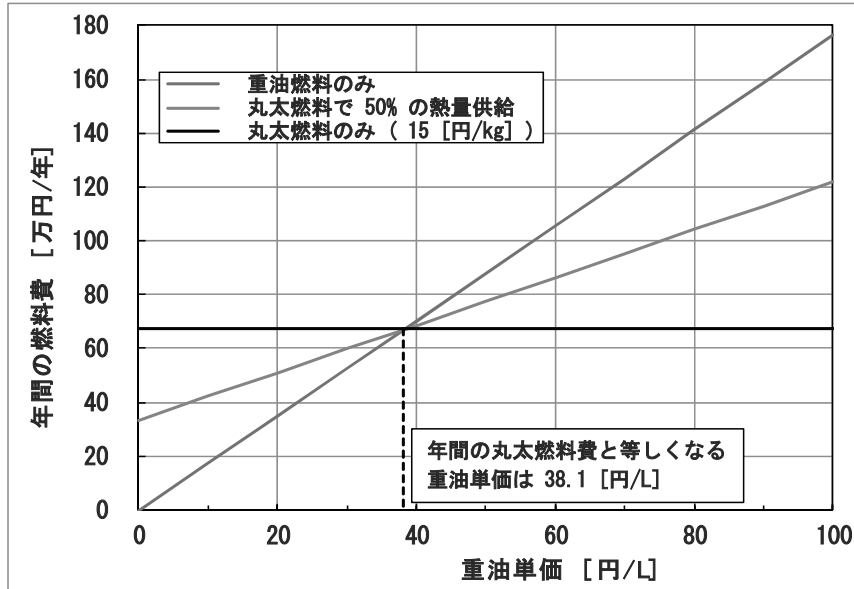
図表 203 ハウスへの供給熱量と、設定温度と外気温の最低気温の差の関係

ハウス熱供給係数がもとめられたので、このデータから年間の燃料費を推算してみる。前提となる条件は図表 204 の通りである。

図表 204 シーズン（年間）の燃料費推算の算定条件

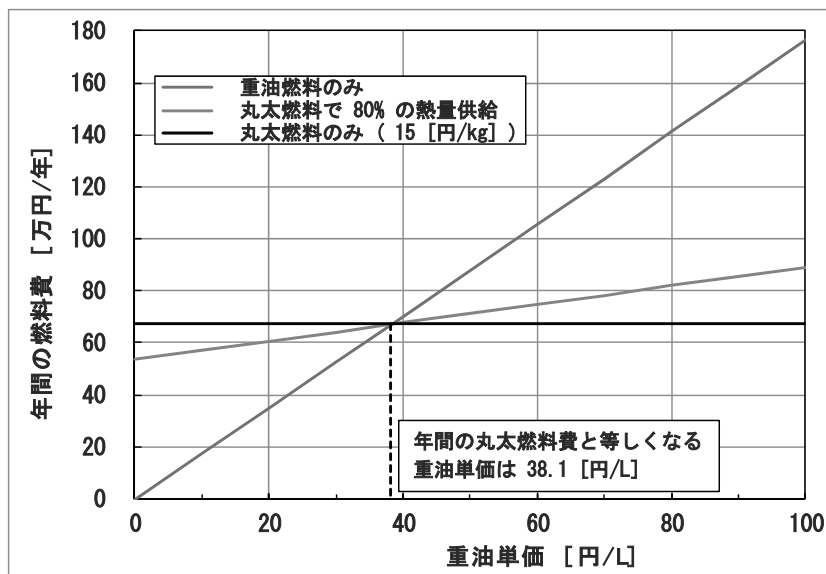
項目	数値	備考
年間の運転日数	d 150 [日]	平均的に、外気温の平均値が10 [°C] 最下回り、最低気温が 9 [°C] を下回る 11/20 ~ 4/20 までの約 150 日間を加温器運用期間とした。
希望設定ハウス内温度	T_{inset} 12 [°C]	
最低気温の平均値	T_{outmin} 5 [°C]	一番近い気象庁観測地点のデータに基づく代表値
希望設定温度と平均の外気温との差	ΔT 7 [°C]	$\Delta T = T_{inset} - T_{outmin}$
ハウス熱供給係数	$K1$ 396 [MJ/°C]	今回の短期試験結果に基づく施設の特 性値
年間に必要な供給熱量	E_f 415.8 [GJ]	$E_f = K1 * \Delta T * d$
丸太加温器の熱効率	η_1 0.90 [-]	
重油加温器の熱効率	η_3 0.90 [-]	

この前提でシーズン（年間）に必要な熱量は 416 [GJ] となった。この熱量をすべて重油加熱器で賄う場合、すべて丸太加熱器で賄う場合、半分（50%）の熱量を重油加熱器に替わって丸太加熱器が供給する場合の費用を算定し図表 205 に示す。この図表では重油単価と費用の関係で表わした。



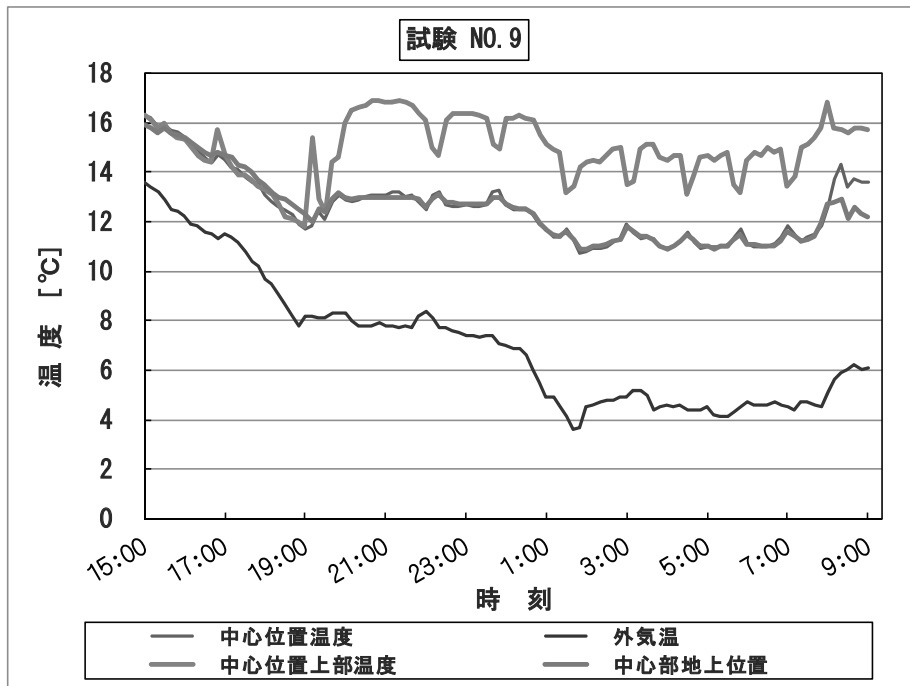
図表 205 シーズン（年間）の燃料費（必要熱量の 50% を丸太加熱器が供給する場合）

また、今回の得られたデータから、丸太加熱器の最適な運用を行うと必要熱量の 80% 以上を丸太加熱器が重油加熱器に替わって供給することが可能と思われる。このときの燃料費の算定結果を図表 206 に示す。

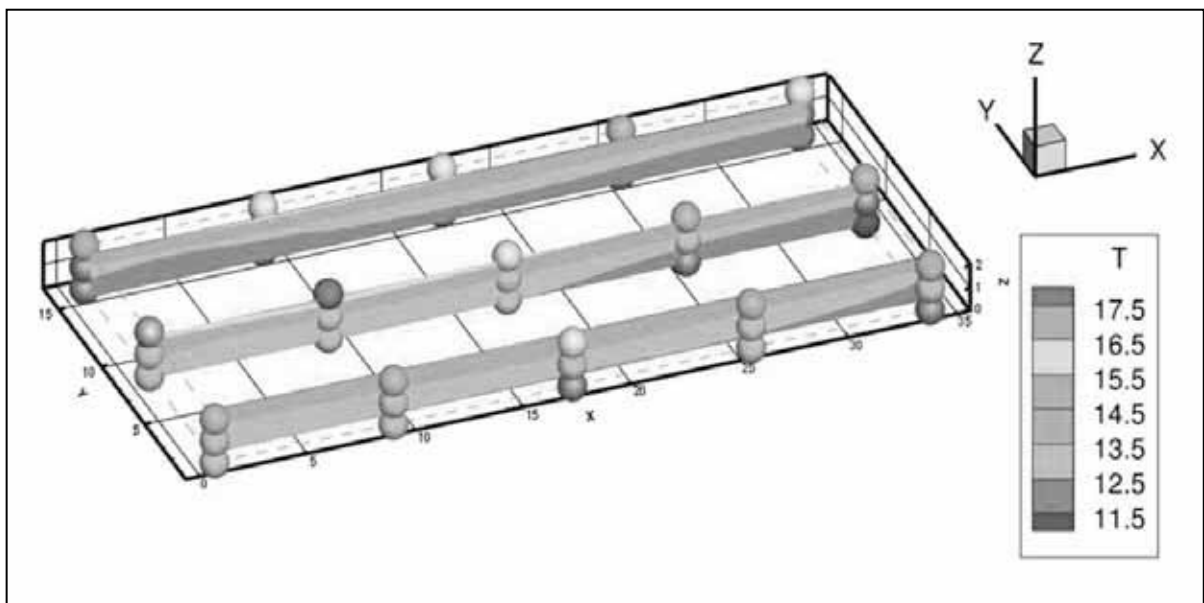


図表 206 シーズン（年間）の燃料費（必要熱量の 80% を丸太加熱器が供給する場合）

また、このハウスでは、高さ方向の温度分布を求めるために、地上部、花を栽培する台の高さ（地上から約 1 [m:]、地上から約 2 [m] 程度上方の温度測定を行っている。試験 NO.9 におけるこれらの温度の経時変化を図表 207 に示す。また、このときの代表的な 3 次元の温度分布を図表 208 に示す。この図表 208 からわかるように、地上部と花を栽培する台の上はほぼ同じ温度で推移しているが、地上から 2 [m] 程度上方は常に 3 [°C] 程度高い温度で推移していることがわかる。天井までの高さは屋根の形状に依存し大きく変化するが、最大高さでは 4 [m] 程度あるので、循環ファンの効果にも大きく依存するものと思われるが、熱供給方法の最適化の検討には高さ方向の温度分布も考慮する必要があることがわかった。



図表 207 ハウスへの供給熱量と、設定温度と外気温の最低気温の差の関係



図表 208 ハウスの 3 次元温度分布 (試験 NO. 9 の午前 0:00 におけるハウスの温度分布)

4.5.4 温泉・一般暖房用途向けにおける成果

温泉施設、オートキャンプ場の浴場施設、イベント施設、一般住宅などに、主に温水型丸太加温器を設置しその使用状況を確認した。ここでは、温泉の源泉加温を実施している亀山温泉ホテル、浴場への供給水の加温を実施している有野実苑オートキャンプ場、一般住宅の暖房として大野寺子屋における実証試験結果について述べる。

(1) 亀山温泉ホテルのケース

① 丸太加温器による熱供給

亀山温泉ホテルでは、浴槽に供給する源泉の加温に温水型丸太加温器を導入した。試験により詳細なデータを取得した結果、既設のプロパンガス（LPG）温水器（LPG ボイラーなどとも称されるが、このLPG 燃焼機は水蒸気の生成がないので、LPG 温水器と称することにする）などと比較して熱エネルギーの供給に関しては丸太加温器が化石燃料加温器を代替できることが確認できた。



図表 209 丸太加温器および熱交換器の設置状況

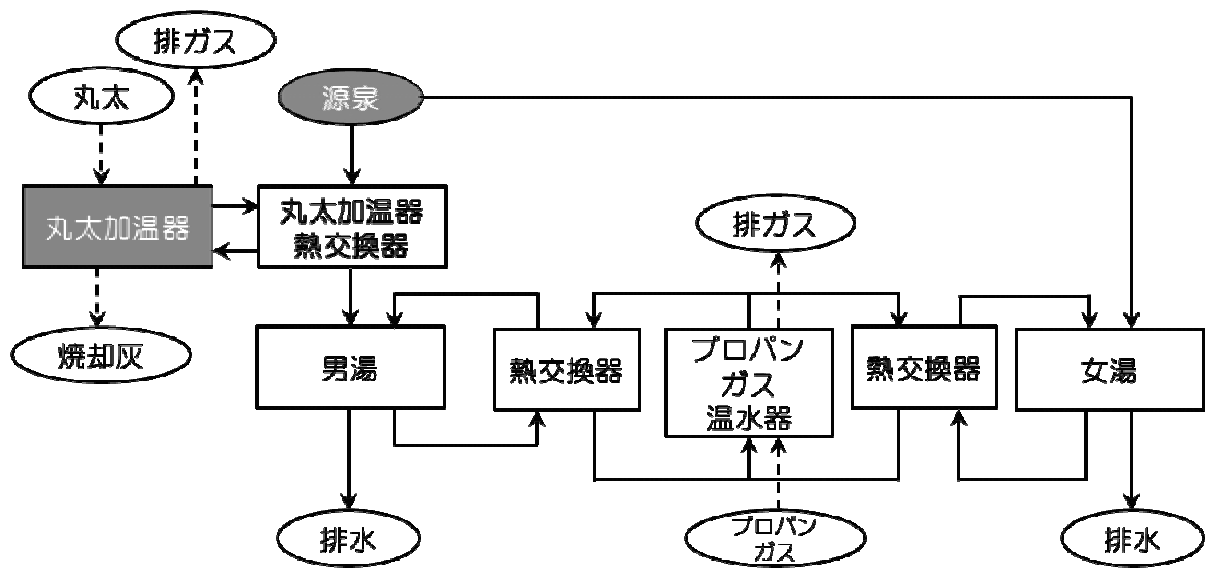


図表 210 浴場



図表 211 源泉

図表 212 に亀山温泉ホテルの丸太加温器の導入による源泉加温の系統図を示す。この施設では、従来は源泉の加温を行わずに低温の源泉をそのまま浴槽に供給し、加温はLPG 温水器による浴槽水の循環加温に依存していた。今回は丸太加温器を導入することで、浴槽に供給する源泉を加温した状態で浴槽に送り、従来のLPG 温水器のLPG の消費量の削減効果を評価することを目的として試験を実施した。



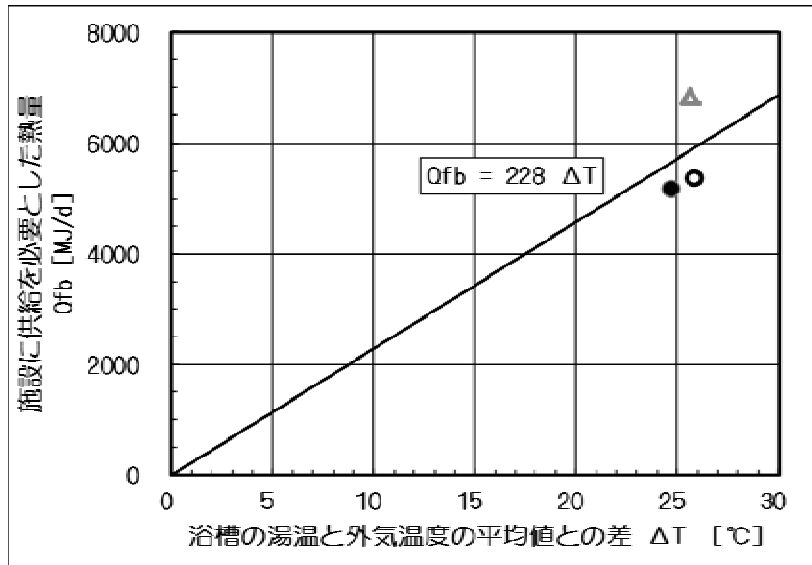
図表 212 亀山温泉ホテルの丸太加熱器の導入による源泉加温の系統図

試験では、丸太加温器による源泉加温を行った場合と行わなかった場合の浴槽が必要とした熱量を求めた。今回の試験では男湯を対象として測定を行ったが、図表 213 にその測定結果および浴槽が必要とした総熱量（ Q_{fb} [MJ]：施設供給熱量の合計）の評価結果を示す。

図表 213 浴槽が必要とした熱量

		外気温度 平均値	浴槽温度	外気と 浴槽の 温度差	施設 供給熱量 合計	施設熱供給係数 (K値) (施設全体)	
						日別	平均
		T_{out} [°C]	T_{in} [°C]	ΔT [°C]	Q_{fb} [MJ]	K [MJ/°C]	K [MJ/°C]
1 日目	LPG加温器と 丸太加温器 併用運転	16.5	40.3	23.8	5188	210.4	228.1
2 日目	LPG加温器 のみの運転	15.1	39.9	24.8	5344	206.7	
3 日目	LPG加温器と 丸太加温器 併用運転	16.2	41.6	25.4	6835	267.0	

浴槽が必要とする熱量は、設定したい浴槽の温度と外気温度の差に依存すると考えられるので、浴槽の湯温（ T_{inset} [°C]）と外気温度の平均（ $T_{outmean}$ [°C]）の差（ ΔT [°C]）に対する供給を必要とした熱量（ E_{fb} [MJ]）の関係を図表 214 に示した。この結果、ややばらつきはあるものの、浴槽が必要とする熱量は浴槽の温度と外気温度の差に依存することが確認できた。そして、丸太加温器による源泉加温を行った場合と行わなかった場合で大きな違いはないことから、丸太加温器からの熱供給はLPG 温水器からの熱供給を代替できることがわかった。今回の試験では丸太加温器による源泉加温は男湯のみで実施しており、女湯はLPG 温水器の循環加温に依存している。LPG 温水器は男湯と女湯で共通の加温を行っているので、熱量収支は男湯と女湯を合わせた施設全体として評価した。これらの結果から、男湯と女湯を合わせた施設全体としての浴槽の温度を1°C引き上げるために必要な熱量 ([MJ]) を施設熱供給係数 (K2 値 : [MJ/°C]) と呼ぶことにすると、K2 値は図表 214 の直線の平均的な傾きから 228 [MJ/°C] と評価された。



図表 214 浴槽の湯温と外気温度の差に対する供給を必要とした熱量の関係

また、丸太加温器に関して実際に消費した丸太燃料の量がわかっているので、上記の熱量を供給するときの総合的な熱効率を求めることができる。この解析結果は図表 215 の通りとなった。総合熱効率は源泉の供給流量を増加させた 3 日目は増加する傾向がうかがえるが、この 3 日目のデータは後に説明する LPG 燃料の削減率などの傾向とは整合しないので解析には用いないことにする。ただし、流量を増加させると総合熱効率が向上する傾向はあると思われるので、ここでは以後は丸太加温器の総合熱効率は 50% として解析を進めることとする。

図表 215 浴槽の湯温と外気温度の差に対する供給を必要とした熱量の関係

		丸太燃料 供給量	丸太燃料 からの 供給熱量	源泉温度	加温後の	温度差	源泉供給	源泉加温	丸太加温器 の 総合熱効率
					源泉温度	(供給水)	流量	供給熱量	
					男湯	男湯	男湯	男湯	
		[kg]	[MJ]	[°C]	[°C]	[°C]	[L/min]	[MJ]	[—]
1 日目	LPG加温器と 丸太加温器 併用運転	152.3	2346	26.5	43.5	17.0	8	993.0	0.423
3 日目	LPG加温器と 丸太加温器 併用運転	166.0	2557	26.5	45.2	18.7	14	2341.3	0.916

注1) プロパンガス温水器の熱効率は 90% と仮定している。

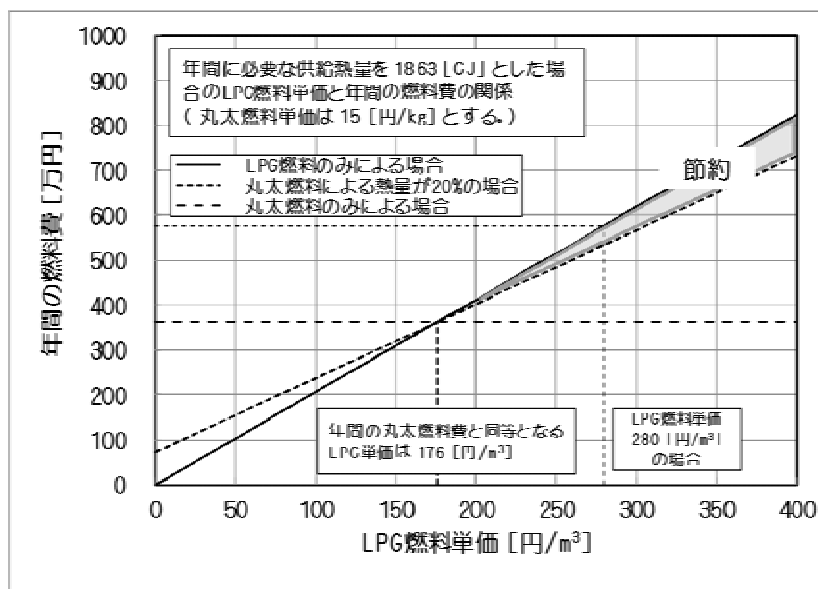
② 丸太加温器に導入の経済効果

亀山温泉ホテルでは、これまで源泉の加温は行っていなかった。しかし、丸太加温器の導入による源泉加温を実施した結果、暖かい源泉によるかけ流しを実現できた。施設に供給した熱量のうち丸太加温器が負担した割合および丸太加温器を運用した結果削減できた LPG の量の割合を図表 216 に示す。図表 216 より、データとしてはややばらつきはあるが、平均的には丸太加温器の稼働により施設に供給すべき熱量の約 26% (19 ~ 34% の平均) を丸太加温器が負担し、その結果 LPG の消費量は約 23% (19 ~ 27% の平均) を削減できたという結果となった。

図表 216 丸太加温器が負担した熱量割合およびLPGの削減割合

		施設 供給熱量 合計	源泉温度	加温後の 源泉温度	温度差 (供給水)	源泉供給 流量	源泉加温 供給熱量	丸太加温 器の熱量 負荷割合	LPG燃料 低減率
				男湯	男湯	男湯	男湯		
		[MJ]	[℃]	[℃]	[℃]	[L/min]	[MJ]	[-]	[-]
1 日目	LPG加温器と 丸太加温器 併用運転	5188	26.5	43.5	17.0	8	993.0	0.19	0.27
2 日目	LPG加温器 のみの運転	5344	26.5	26.5	0.0	8	0.0	0.00	0.00
3 日目	LPG加温器と 丸太加温器 併用運転	6835	26.5	45.2	18.7	14	2341.3	0.34	0.19

これまで LPG 温水器による循環加温のみに依存していた加温のための LPG の消費量は、ほぼ丸太加温器で供給できた熱量分を節約できることが確認できた。この試験結果から亀山温泉ホテルでは、従来 LPG で供給していた熱量の少なくとも約 20%（今回のデータでは 26%）を丸太燃料で代替できている。この結果を用いて、丸太加温器の運用により年間の LPG 燃料の節約額を評価すると図表 217 のような結果となった。図表 217 より、LPG 燃料の単価を 2015 年 12 月の時点での購入価格情報による 280 [円/m³] とすると、年間の LPG の節約額は約 43 万円となった。



図表 217 試験対象施設における LPG 単価と年間の燃料費の関係
（丸太加温器からの熱供給の割合が 20% の場合）

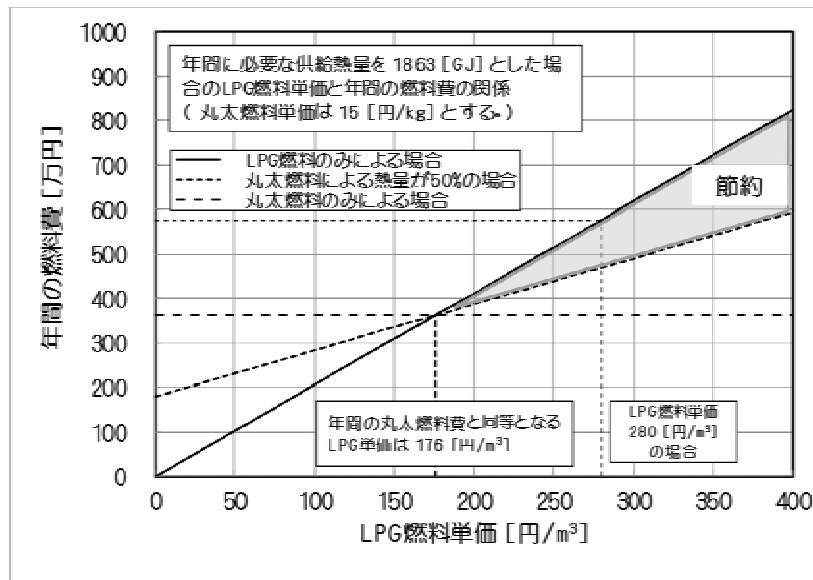
亀山温泉ホテルは丸太加温器の導入に対しては標準的な規模の施設と思われる。今回は男湯のみの源泉加温であったが、女湯も含めて源泉加温を実施することは、プロセス上は可能である。そこで、丸太加温器からの熱供給割合をさらに増加させたときの燃料費の削減効果を推算した。今回の試験結果を踏まえて、施設のすべての浴槽（男湯に加えて女湯も含めて）に供給する源泉の加温を丸太加温器ですべて賄い、蒸発などによる浴槽からの放熱を補う循環加温の比率を 50% と仮定する。このような運用条件を図表 218 に示す。

この条件を仮定するとき、年間の LPG の単価と年間の燃料費の関係は図表 219 の通りとなる。LPG 単価を前述の通り 280 [円/m³] とすると、従来の LPG にのみ依存する場合は年間 577 万円の燃料費がかかるが、丸太加温器で供給熱量の 50% を賄うと 470 万円となり、その差 107 万円が燃料費の節約額となる。

なお、この試験を実施した施設に設置した温水型丸太加温器は、本事業内で適用できる現行の温水型丸太加温器としてはこれ以上の熱供給は難しい。したがって、さらに丸太加温器から熱供給を考える場合には 2 台以上の設置を考えることになる。

図表 218 丸太加温器で供給熱量の50%を賄うときの運用条件

項目		数 値	備 考
年間の運転日数	d	300 [日]	月平均の営業日数を25日としたときの年間日数。
希望設定浴槽温度	T_{inset}	42 [°C]	
外気温度の平均値	$T_{outmean}$	15 [°C]	一番近い気象庁観測地点のデータに基づく代表値
希望設定温度と平均の外気温度との差	ΔT	27 [°C]	$\Delta T = T_{inset} - T_{outmean}$
施設熱供給係数	K2	230 [MJ/°C]	今回の短期試験結果に基づく施設の特徴値
年間に必要な供給熱量	E_{ftotal}	1863 [GJ]	$E_{ftotal} = K2 * \Delta T * d$
丸太加温器の総合熱効率	$\eta 1$	0.50 [-]	
LPG温水器の熱効率	$\eta 2$	0.90 [-]	



図表 219 丸太加温器で供給熱量の50%を賄うときの燃料費

(2) 有野実苑オートキャンプ場のケース

① 丸太加温器による熱供給

有野実苑オートキャンプ場では露天風呂が設置されており、その浴槽には地下水を加温して供給している。露天風呂は男湯、女湯、家族風呂と3種類があるが、その中で丸太加温器の設置場所と配管の関係から女湯へ供給する地下水の加温に温水型丸太加温器を導入した。通常の運転では

図表 222 に示すように、地下水をプロパンガス（LPG）温水器（湯沸かし器）により加温して供給し、浴槽の湯温を維持するためには灯油ボイラーによる循環加温を行っている。今回の試験では、

図表 222 に示すように、LPG 温水器で加温する代わりに丸太加温器による加温給湯を行い、さらにはそのままかけ流しとして丸太加温器の加温給湯を継続する運転を行った。この運転により灯油ボイラーによる加温の負担の軽減を期待した。ただし、丸太加温器の出力に限界があるので、給湯時間を短縮する必要があるときはLPG 温水器を一部の時間帯では併用した。



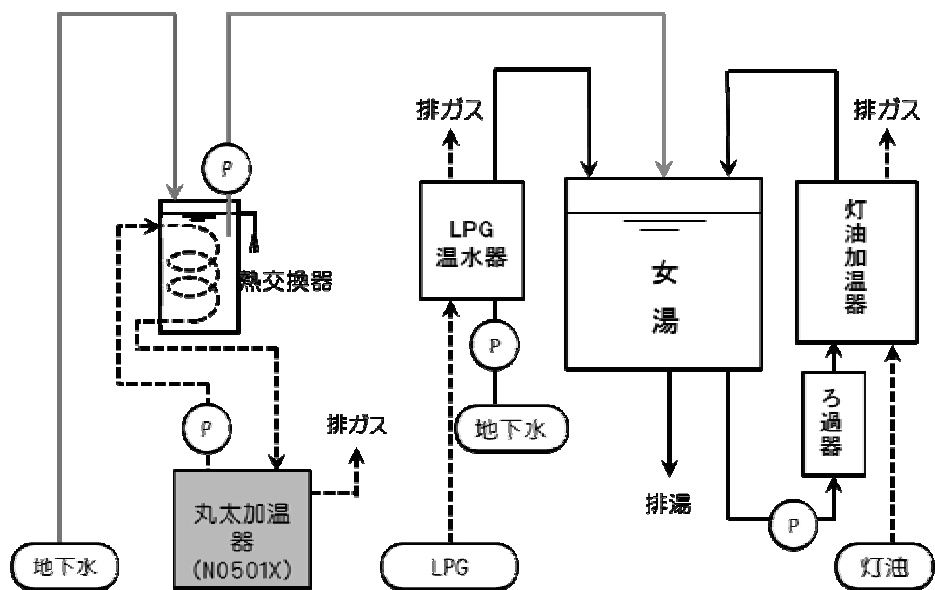
図表 220 丸太加温器と熱交換器の設置状況



図表 221 浴槽の状況

		午前中	昼	夕方	夜
		7:00	13:00	15:00 (冬 16:00)	22:00
従来運転	LPG温水器		給湯・準備	浴場営業	
	灯油ボイラー		給湯	循環加温	
丸太加温器稼働運転	丸太加温器	給湯・準備	給湯	かけ流し給湯	浴場営業
	LPG温水器		給湯		
	灯油ボイラー			循環加温	

図表 222 浴槽の運用パターン



図表 223 丸太加温器で給湯を行った露天風呂の系統図

丸太加温器で給湯を行った露天風呂の系統図を図表 223 に示す。試験は、従来の運用方法による運転と今回の丸太加温器の導入による運転により、丸太加温器の導入運転で問題は生じないか、丸太加温器の導入により、化石燃料（LPG 温水器の LPG と灯油ボイラーの灯油）の消費量の変化を測定し、丸太加温器の導入効果を評価した。

従来運転と丸太加温器導入運転における 1 日あたりの燃料の消費量の測定結果を図表 224 に示す。浴槽に供給する必要のある熱量は、浴槽の設定温度 (T_{inset} [°C]) と外気温 (T_{out} [°C]) の差に依存すると思われるので厳密な比較はできないが、この結果から丸太加温器を導入することで 1 日当たり LPG は 7 [m³]、灯油は 58 [L] の削減ができたことがわかる。そして、それぞれの燃料を熱量に換算すると、必要とした熱量の一日の合計はほぼ等しくなることがわかった。すなわち、丸太加温器の導入により、LPG および灯油の熱量供給に関する負担を丸太燃料の熱量で置き換えることができることが確認できた。このことは、丸太加温器が加温器から得られる熱を熱交換しているもかかわらず、それほど熱量のロスになっていないことも示している。

図表 224 従来運転と丸太加温器導入運転における 1 日あたりの燃料の消費量と熱量

	丸太加温器を 運用する場合		従来の運用 方法の場合			
	消費量	熱量	消費量		熱量	
丸太燃料 消費量	177 [kg]	2726	—	[kg]	—	[MJ]
LPG消費量	12 [L]	1205	19	[L]	1908	
灯油消費量	123 [m ³]	4514	181	[m ³]	6657	
熱量合計	—	8445	—		8565	

② 丸太加温器導入の経済効果

前述の結果を燃料費の観点で見ると、丸太加温器の導入による経済的な影響を考察することができる。消費した各燃料の費用を算出すると図表 225 の通りとなる。その結果、従来の運用方法では 16,204 [円] を要した燃料費が 13,395 [円] となり、このデータだけでみると 1 日あたり 2,809 [円] の節約ができることになる。

図表 225 燃料費の比較

	単価	丸太加温器を運用する場合	従来の運用方法の場合	
丸太燃料費	15 [円/kg]	2,655	—	
LPG燃料費	280 [円/m ³]	3,360	5,320	
灯油燃料費	60 [円/L]	7,380	10,884	差額
合計		13,395	16,204	2,809

(単位 [円])

前述の通り、浴槽に供給する必要がある熱量は、浴槽の設定温度 (T_{inset} [°C]) と外気温 (T_{out} [°C]) の差に依存すると思われるので、これを比例関係が成り立つと仮定する。今回の試験では、浴槽の温度 T_{inset} は平均して 42.1 [°C] であり、この浴槽に加温水を供給している時間帯の外気温の平均 $T_{outmean}$ は 3.9 [°C] であったことから、温度差 ΔT は 38.2 [°C] となる。また、丸太加温器、LPG 温水器、及び灯油ボイラーから浴槽に供給された正味の熱量は、各加温装置の熱効率を考慮すると 7048 [MJ] 程度と推算されたことから、この浴槽の湯の温度を 1 [°C] 昇温させるために必要な熱量、すなわち施設熱供給係数 K_2 は 184 [MJ/°C] 程度と見積もられた。

以上の他、その他の施設の運用や環境に関する条件を図表 226 のように仮定して、年間の燃料費を推算した。

図表 226 年間に必要となる供給熱量の算出条件

項目		数値	備考
年間の運転日数	d	180 [日]	月平均の営業日数を15日としたときの年間日数。
希望設定浴槽温度	T_{inset}	42 [°C]	
外気温の平均値	$T_{outmean}$	15 [°C]	一番近い気象庁観測地点のデータに基づく代表値
希望設定温度と平均の外気温との差	ΔT	27 [°C]	$\Delta T = T_{inset} - T_{outmean}$
施設熱供給係数	K_2	184 [MJ/°C]	今回の短期試験結果に基づく施設の特徴値
年間に必要な供給熱量	E_{total}	896 [GJ]	$Q_{ftotal} = K * \Delta T * d$
丸太加温器の総合熱効率	η_1	0.65 [-]	今回の短期試験結果に基づく評価値
LPG温水器の熱効率	η_2	0.90 [-]	一般的な推定値
灯油加温器の熱効率	η_3	0.90 [-]	一般的な推定値

燃料単価を LPG は 280 [円/m³]、灯油は 60 [円/L] とする。これは平成 27 年 12 月時点の大口需要者の実勢に近いと思われる価格である。丸太燃料は 15 [円/kg] とする。その結果、年間の燃料費は図表 227 のように 約 68 [万円] の節約となった。

図表 227 年間の燃料費の推算と比較

	単価	丸太加温器を 運用する場合	従来の運用 方法の場合	
丸太燃料費	15 [円/kg]	64	—	
LPG燃料費	280 [円/m ³]	81	212	
灯油燃料費	60 [円/L]	93	93	差額
合計		237	305	68

(単位 [万円/年])

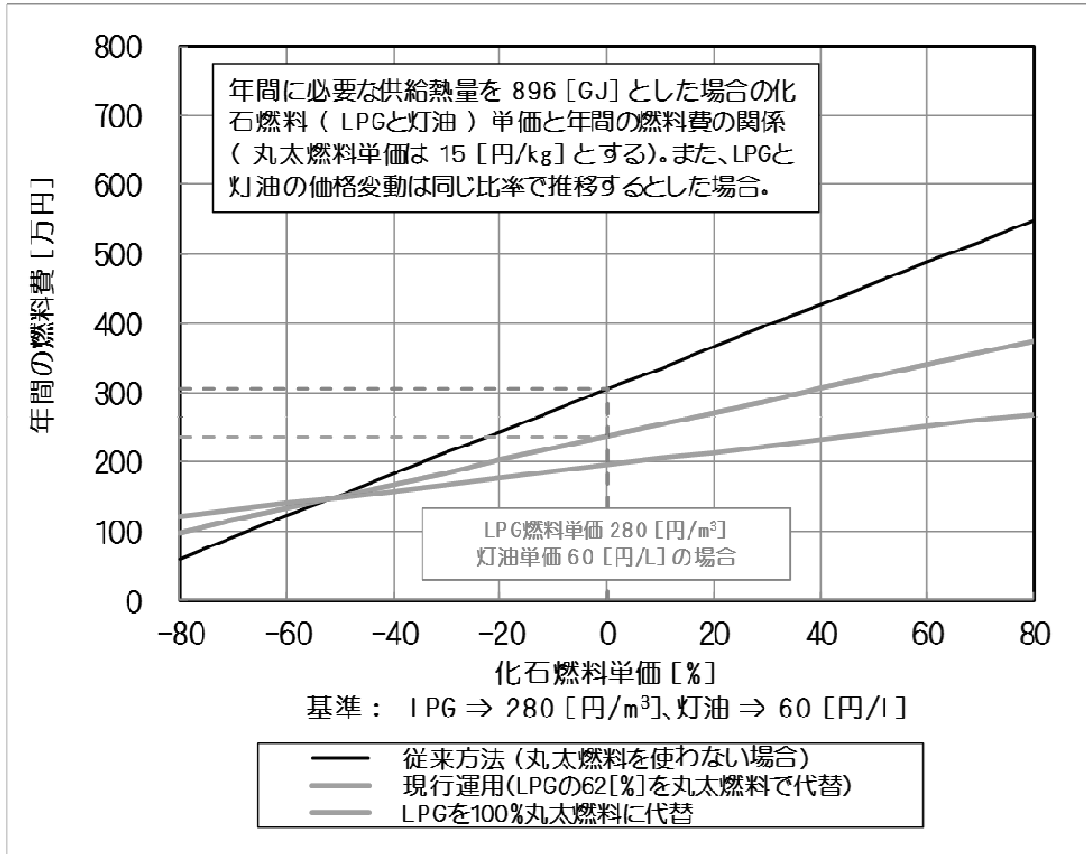
図表 227 では、丸太加温器の導入運用の場合でも今回の試験時と同様に初期の給湯時には一部の時間帯で LPG 温水器による給湯を実施する前提である。しかし、実際の運用状況から、必ずしも LPG 温水器による給湯は不可欠ではないように思われた。そこで、LPG 温水器による給湯を完全に丸太加温器に置き換えた場合を試算した。その結果、図表 228 に示すように、年間の節約額は約 110 [万円] となり、現状の丸太加温器導入運用に比較して 1.5 倍以上の節約が可能であることがわかる。

図表 228 年間の燃料費の推算と比較 (LPG を丸太燃料に 100% 置き換えた場合)

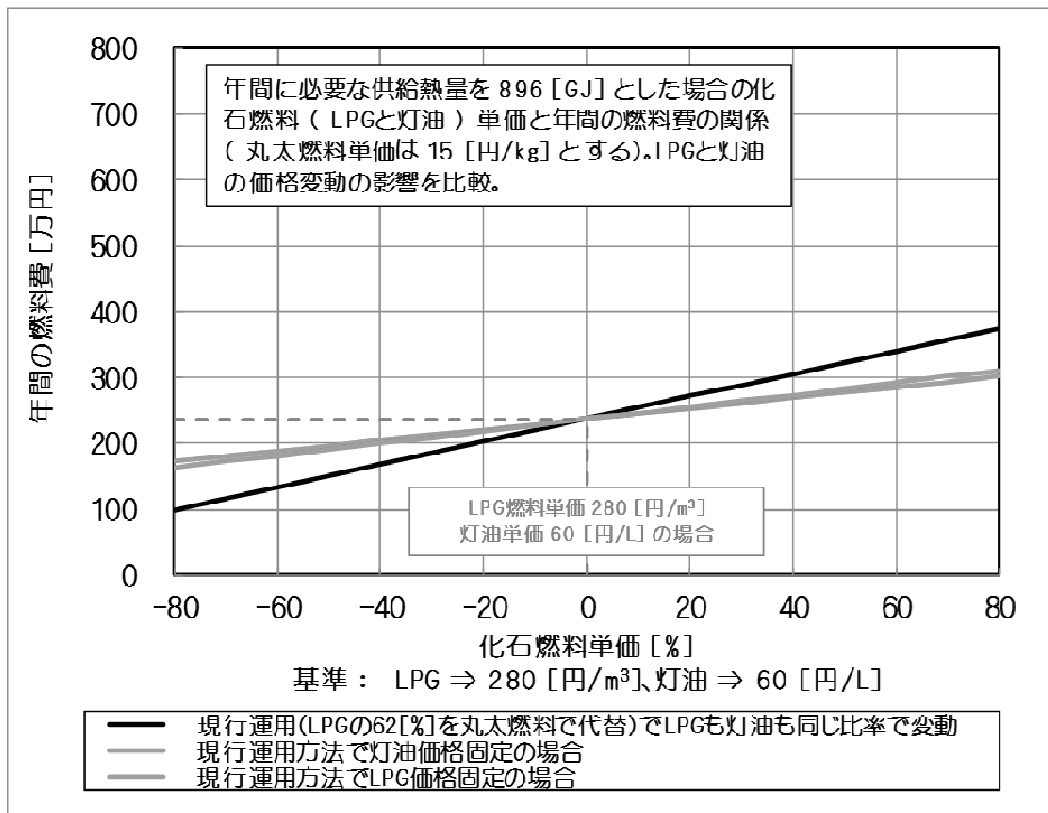
	単価	丸太加温器を 運用する場合	従来の運用 方法の場合	
丸太燃料費	15 [円/kg]	103	—	
LPG燃料費	280 [円/m ³]	—	212	
灯油燃料費	60 [円/L]	93	93	差額
合計		195	305	110

(単位 [万円/年])

以上の結果について、LPG および灯油の価格が変動する場合の影響を考察してみる。図表 229 から、LPG および灯油の価格が現状よりも 50% 程度下がるまでは丸太加温器の導入により節約ができることがわかる。また、図表 230 から、現行の丸太加温器導入運用の方法では、LPG と灯油の価格変動の影響は同程度であることがわかった。



図表 229 LPG および灯油の価格が同じ比率で同時に変動する場合の年間の燃料費への影響



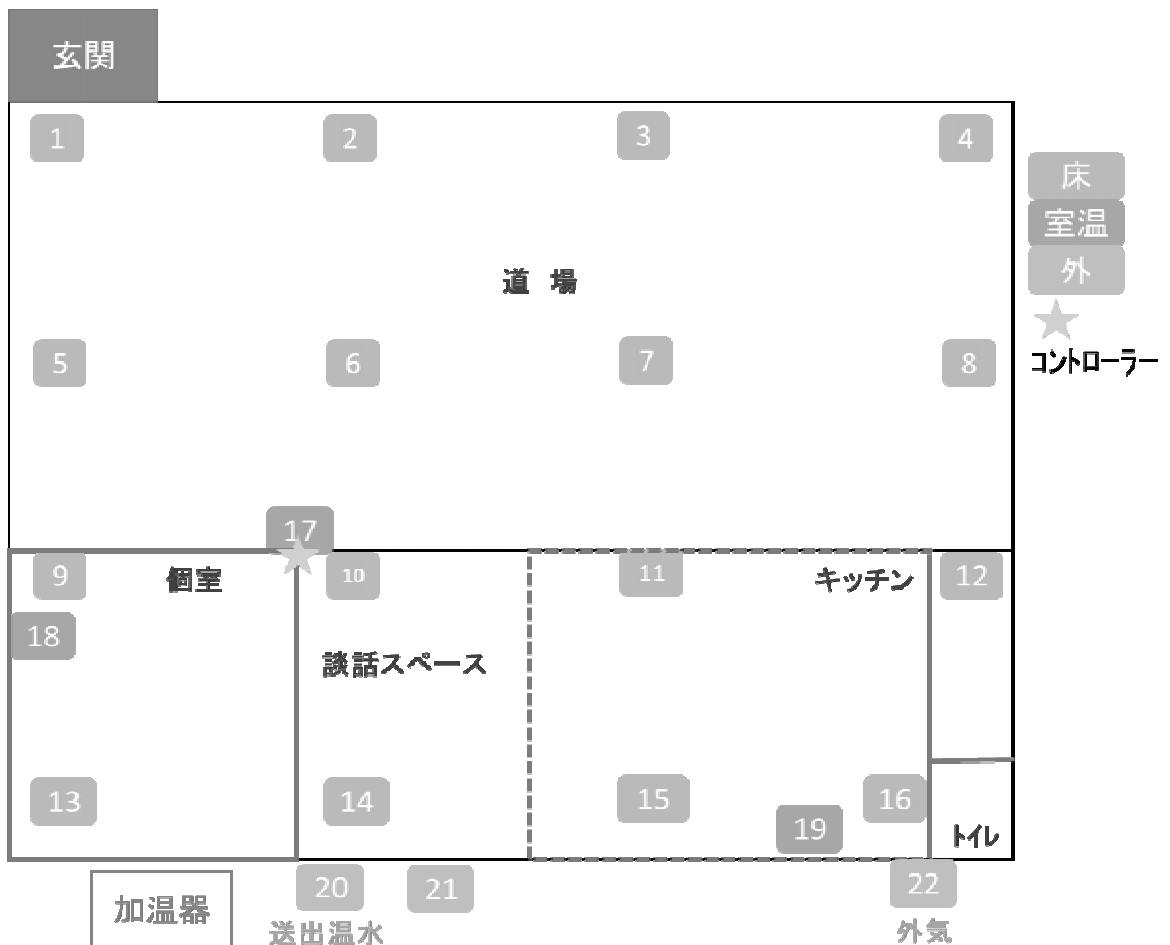
図表 230 LPG および灯油の価格のいずれかを固定した場合の年間の燃料費への影響

(3) 大野寺子屋のケース

一般住宅には、温水による床下の暖房用に温水型丸太加温器を設置した。温水型丸太加温器の温水を熱交換せず直接床下に通すことで床暖房を実施した。部屋の配置と丸太加温器の位置、温度測定位置を図表 232 に示す。



図表 231 大野寺子屋の加温器と室内



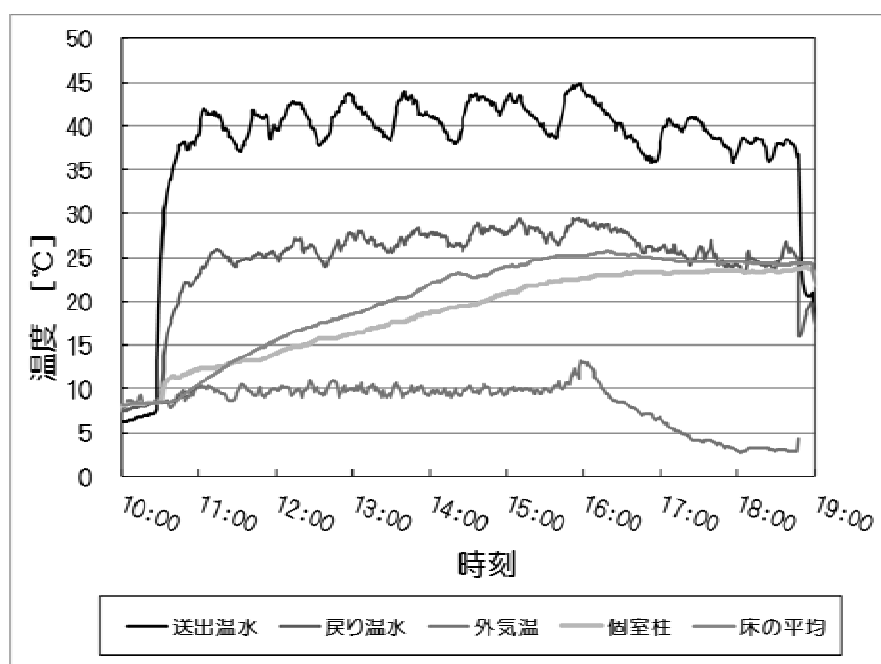
図表 232 部屋の配置、丸太加温器の設置位置、温度測定位置

「床」の表面の温度を床にセンサーを貼り付けて測定した。17番のセンサーは床から約2[m]上方の位置に設置したが、これを部屋の代表温度とした。

一日の温度の経時変化の例を示す。図表 233 に丸太加温器および加温用（暖房用）の温水供給（給湯）の操作のタイミングを示す。このような操作を行ったときの給湯温度と部屋の温度（17番センサー）の経時変化を図表 234 に示す。

図表 233 丸太加温器の操作

時刻	操作
9:45	着火開始
9:55	丸太燃料投入 (33.4 [kg])
10:30	給湯開始
18:50	給湯停止
19:00	丸太燃料燃焼終了



図表 234 給湯温度、給湯戻り温度、外気温、部屋の代表温度の経時変化

部屋の設定温度は 23 [°C] である。図表 234 から給湯を開始して約 6 時間で設定温度に到達していることがわかる。この時の外気温はほぼ 10 [°C] であったので、温度差 13[°C] を得るのに約 6 時間を要するということになる。また、床の平均温度は室内の温度を 2 ~ 3 [°C] 程度上回る状態で推移している。丸太燃料は初期に投入して以降の補給はしていないので、約 8.5 時間の継続的な燃焼を実現していることが確認できた。以上の通り、丸太加温器からの給湯による床暖房で、床面積 56.5 [m²] の住宅の室内温度を 20°C 以上（今回は 23 [°C]）に確保できて他の暖房器具の使用の必要のない状況を実現できた。

4.5.5 広い用途への対応における成果

丸太加温器の利用システムの実証のために、利用目的の異なる各種の園芸農家や施設に丸太加温器を導入いただき、このシステムが実際のフィールドにおいて十分に機能し目標とした機能や性能を発揮できるかどうかを確認した。

丸太加温器を導入いただいたモニターとその利用目的は図表 58 で示した。この中で図表 57 で示した特定モニターにおける丸太加温器の状況はこれまでに詳述したので、ここではそれ以外の利用状況の概要を述べる。丸太加温器の導入による農作物や施設の運用に対する影響の評価は、モニター自身の評価である。

(1) 施設園芸用途

ばらについては榎本ばら園のケースについて 4.5.4 (1) で詳述した。そして、榎本ばら園のほかに神崎ばら園でふたつのハウスにおいて温水型と温風型のタイプの異なる丸太加温器によりハウス加温を実施した。施設の概要は 4.3.2 (3) 8)、および 9) に示している。温水型は温水をファンコイル（温水の熱を空気の流れに移動させて、温風として加温を行う変換器）により温風に換えて熱を供給するシステムであるが、システムの原理的な機能については検証することができた。今後はファンコイルの設置位置や数などの最適化を図ることにより熱効率の向上が期待される。温風型は平成 26 年度の試験においてはハウスの壁際を中心にビニールのダクトを引きまわすことによって、壁際の温度低下の防止を図った。その結果、このような配置による壁際の温度低下の防止に効果のあることがわかった（参照資料-2：平成 25 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の実証（千葉県山武・長生地域））成果報告書）。

シクラメン・カーネーションについては緑海園芸のケースについて 4.5.4 (3) で詳述した。そして、緑海園芸のほかに露崎園芸に温風型を設置した。施設の概要は 4.3.2 (3) 17) に示している。ここも加温はチャンバーにより温風を供給するシステムである。ここは丸太燃料流通システムによる丸太燃料供給に加えて自主的に集めた丸太燃料を利用して加温を実施している。これまでの利用実績において、加温システムは十分に機能していることが確認できている。

その他花卉農家としては、切り花の石井農園、ポインセチアの長谷川農園、アルストメリアの三宅花卉園、観葉植物の九十九里観葉園にそれぞれ温風型の丸太加温器を設置した。

石井農園については 4.5.4 (2) で詳述した。

長谷川農園の施設の概要は 4.3.2 (3) 14) に示した。ここは温風をビニール・ダクトで供給しているが、施設の対角線に沿ってメインのダクト（親ダクト）を伸ばし、そこから枝分かれしたダクト（子ダクト）を伸ばすというダクトの設置の方法を採用している。このシステムの運用については問題ないことが確認できた。

三宅花卉園の施設の概要は 4.3.2 (3) 16) に示した。ここは、図表 134 に示す通り、ビニール・ダクトを地表に沿うのではなく、空間を通してしている。このシステムの運用については問題のないことが確認できた。

九十九里観葉園の施設の概要は 4.3.2 (3) 15) に示した。ここでは、ハウスの壁際を加温するためにビニール・ダクトを壁際に設置して加温している。このシステムの運用により、壁際の温度低下の防止にやくだっていると評価されている。

野菜の栽培に関しては、トマト、イチゴ、有機野菜、苗床などの加温に丸太加温器の導入が行わ

れた。

岡ファームの施設の概要は4. 3. 2 (3) 10) に示した。ここはトマト栽培のためのビニール・ハウスの加温に温風型の加温器を導入された。温風はビニール・ダクトにより供給した。ここには既設の加温器はなく、丸太加温器の導入により初めて加温を実現した。加温自体には問題がなかったが、栽培する品種との関係で既設の加温器がないこともあって加温を中断することが許されず、運用としてはかなりの神経が必要となった模様であった。率直な感想として、ここでの栽培品のために丸太加温器を導入するのであれば、バックアップの加温器が欲しくなるということのようであった。

たがやす倶楽部の施設の概要は4. 3. 2 (3) 11) に示した。ここは有機野菜の栽培を目的として、温水型の丸太加温器を導入し、ファンコイルによって温風に変換して熱供給を行った。このシステムの運用については問題のないことを確認した。

てんとう虫くるくる農園の施設の概要は4. 3. 2 (3) 12) に示した。ここでは、描床の根本の加温に温水配管を埋める方法で加温を試みた。ハウス全体を加温するのではなく、狭い領域の苗床の加温であったために、加温に問題はなかった。

近藤いちご園の施設の概要は4. 3. 2 (3) 10) に示した。ここでは温風型の丸太加温器の導入により、ビニール・ダクトの引き回しによるハウスの加温を行って、いちごの栽培を行っている。ここには既設の重油加温器がある。いちごの加温ではハウス内の温度は高くない（5～8 [°C] 程度）ので、加温システムの問題はない。設定を超えて温度が上昇すると病虫害の発生につながるのとこと、むしろ過剰な昇温にならないような運用を行っている。

河野いちご園の施設の概要は4. 3. 2 (3) 18) に示した。ここでは既設の加温器はない。温風型の丸太加温器の導入により、初めて加温を実施した。ここでは、ハウスの設置場所や環境（隣接して隣人の建物がある）の関係から丸太加温器をハウスの外部へ設置した。本来、丸太加温器はハウスの外に設置することが望ましいが、ここがハウスの内部への設置例となった。設置にあたっては、丸太加温器周囲への燃焼ガスの洩れや問題となるガスの濃度などを十分に確認しつつ行った。加温システムとしての問題はない。

(2) 温泉・一般暖房用途

温泉については亀山温泉ホテルのケースについて 4. 5. 5 (1) で詳述した。

また、有野実苑オートキャンプ場の浴場施設への給湯についても、4. 5. 5 (2) で詳述した。

ひめはるの里の施設の概要は4. 3. 2 (3) 22) に示した。イベント施設の暖房として、ドッツグ・ランのためのガラス温室の加温を目的として温風型の丸太加温器を導入した。この施設には従来は暖房機がなかったのであるが、ここに丸太加温器を設置した。これまでは特に暖房をしていなかったもので、冬場では10°C以下になることも多く（零下になることもある）、お客は寒さに震えることも多かったが、丸太加温器の設置による温風供給で、常に最低でも15°C以上の室内温度を確保することができ、丸太加温器の設置の効果を示すことができた。ひめはるの里に設置した丸太加温器の外観とガラスハウスの状況を図表 236 にて示した。



図表 235 ドッグラン施設（ひめはるの里）に設置された丸太加温器



図表 236 暖房目的に丸太加温器を設置したドッグラン施設（ガラス温室）

一般住宅については、大野寺子屋のケースについて4. 5. 4 (3) で詳述した。
樹楽荘については施設の概要を4. 3. 2 (3) 21) に示した。温水型丸太加温器を導入し、生活用給湯（お風呂など）として利用している。

4.5.6 大学・森林研究所における基礎実験

(1) はじめに

これまでも大学においては、丸太燃料の乾燥に関する実験、乾燥に関するフィールド試験、丸太加温器による燃焼実験を行ってきた。結果を要約すると、以下の通りである。

1) 乾燥実験

- a) 長さ 50 [cm] 程度に玉切りした丸太燃料は、約 5 ヶ月程度で水分率は 30 [%w.b.] 程度までの乾燥が可能なることをかくにんした。
- b) 丸太燃料の乾燥では、樹皮部分に切り込みなどの傷を入れることで乾燥時間の短縮を図れることがわかった。

2) 燃焼実験

- a) ダウンドラフト方式による燃焼にメリットが多い。
- b) 直径 30 [cm] 以上の丸太燃料は燃焼室内でブリッジ現象を起こす頻度が上昇する。
- c) 湿量基準含水率 で 30 [%w.b.] 以上になると燃焼性が低下する（煤やタールの発生が激しくなる）。
- d) 樹種をスギとし、湿量基準含水率 25 [%w.b.] 場合、残留する灰分重量にしては 0.5 [%] 程度である。

3) 結果の要約

この結果を丸太燃料の管理という視点でまとめると、以下の通りとなる。

- a) 伐採した丸太原木は、なるべく早く丸太加温器で使用する際の約 50 [cm] 近くに玉切りにした方が乾燥時間の短縮することができる（50 [cm] に玉切りした丸太燃料は、半年程度の乾燥で水分率 30 [%w.b.] 程度にはできる。
- b) 丸太燃料としての仕様は、長さ 50 [cm]、直径 30 [cm] 未満、水分率 30 [%w.b.] 未満である。
- c) 以上を踏まえて、問題の発生を確実に抑制できる丸太燃料の仕様としては、長さ 50 [cm] 未満、直径 3 ~ 23 [cm]、水分率 25 [%w.b.] 未満とした。

4) 残された課題

これまでの実験のに使用した樹種はスギであったが、今後の実用化を考えると他の樹種の場合の特性が必要となる。

(2) 実験の目的

昨年度までの実験の結果を要約すると上記の通りであり、残された課題の主なものは樹種の違いによる乾燥や燃焼への影響の把握である。ここでは、大学および森林研究所で行った乾燥や燃焼の基礎実験の項目を紹介し、中でも樹種の違いに焦点を合わせて実験内容と結果を紹介する。

(3) 乾燥実験

1) 実験概要

林業地域での未利用間伐材を集材した後、丸太の比重、各部分（樹皮、中心、外側）の含水率の変化については、置かれた周囲の環境（外気温度、相対湿度、風通し、日当たり）によって異なる。木質バイオマス資源を丸太燃料として利用するために、燃料利用可能なレベルまで丸太を乾燥する必

要があり、丸太の乾燥メカニズムを把握する必要がある。そこで、本基礎実験では千葉県山武・長生地域における、木材の特徴的な試料として、針葉樹のスギと広葉樹のシイ、サクラ、ナラ、カシを選定し、それぞれの試料の乾燥メカニズムを検討するため、以下の各乾燥実験を行った。

a) 乾燥実験-1: 乾燥場所、丸太の長さによる影響

異なる条件（周囲温度、相対湿度、風通し、日当たり）の5つ乾燥場所で長さ別（4 m 材と 0.5 m 材）の丸太の乾燥実験を行い、比重の減少率を比較・検討する。

b) 乾燥実験-2: 丸太にスクラッチ入れ、穴開けによる影響

丸太にスクラッチを入れたり、穴を開けたりしてした丸太と普通の丸太の比重減少率を比較する。比重の変化によって、丸太の乾燥速度を係数で換算し、乾燥挙動を比較・検討する。

c) 乾燥実験-3: ビニル被覆、室外、室内設置による影響

ビニルを被せる丸太、温室ハウス内の丸太、室外の3つ丸太試料を用いて、各丸太の比重変化、乾燥速度を比較・検討する。

d) 乾燥実験-4: 針葉樹と広葉樹の乾燥挙動の比較

室内と室外の2つ乾燥場所において、地域で代表的な広葉樹の樹種（シイ、サクラ、ナラ、カシ）と針葉樹（スギ）を平行に乾燥実験を行い、樹種による乾燥挙動の違いを比較する。

以下では、d) 乾燥実験-4: 針葉樹と広葉樹の乾燥挙動の比較について紹介する。

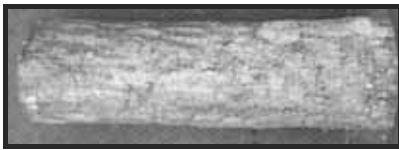
2) 実験試料

山武・長生地域において特徴的なスギと広葉樹のシイ、サクラ、ナラ、カシの丸太を各乾燥実験に用いた。各丸太試料の写真を図表 238 に示す。広葉樹の4種類の丸太（シイ、サクラ、ナラ、カシ）と針葉樹（スギ）の丸太サンプルを試料として用いた。実験は室内と室外の2つ場所で平行に行った。試料4の平均な大きさを図表 237 に示す。室外のスギの場合は、直径 0.14 m、質量 8.5 kg であった。室内のスギの場合は、直径 0.19 m、質量 12.2 kg であった。室外の広葉樹の場合は、直径 0.14 m、質量 8.9 kg であった。室内の広葉樹の場合は、直径 0.16 m、質量 11.6 kg であった。針葉樹の初期比重は、室外、室内の場合、それぞれ 1.05, 0.86 であった。広葉樹の初期比重は、室外、室内の場合、それぞれ 1.12, 1.11 であった。

	針葉樹(杉)		広葉樹	
	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor
長さ [m]	0.5	0.5	0.5	0.5
直径 [m]	0.14	0.19	0.14	0.16
質量 [kg]	8.5	12.2	8.9	11.6
初期比重	1.05	0.86	1.12	1.11

図表 237 針葉樹と広葉樹の丸太試料の初期比重、大きさ、重さ

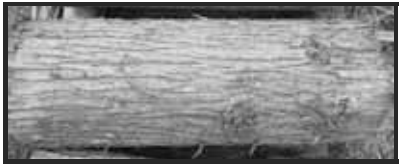
(a) シイ



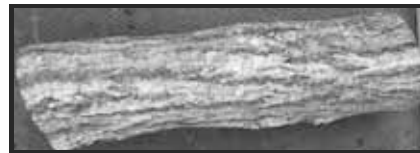
(b) サクラ



(c) スギ



(d) ナラ



(e) カシ



図表 238 針葉樹と広葉樹の丸太試料

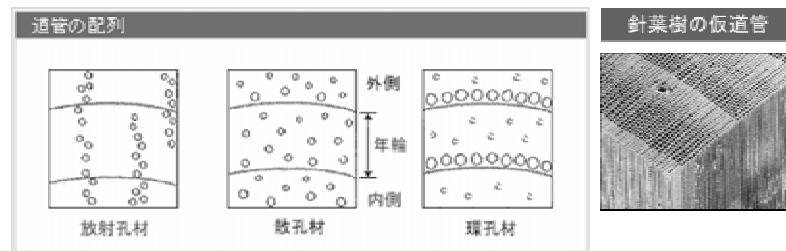
各樹種の全乾比重を図表 239 に示す。針葉樹のスギの全乾比重は 0.38 である。広葉樹のシイ、サクラ、ナラ、カシの全乾比重はそれぞれ 0.61, 0.6, 0.67, 0.84 である。広葉樹の全乾比重は針葉樹よりも高く、ばらつきがあることがわかった。針葉樹と広葉樹の年輪、材質、空隙率、木目、組織の比較を以下の図表 240 に表す。針葉樹と広葉樹の性質、構造も異なるため、乾燥メカニズムも異なると考えられる。針葉樹の場合、年輪(木目)が明瞭で、木目に対応する濃度変化がなめらかである。針葉樹は組織が単純で、全組織構造の約 95% が細い仮道管である。また、材質は柔らかい。一方で、広葉樹は複雑な組織構造をもっていて、木質の強度は木繊維、水の流通は道管がそれぞれ分担している。仮道管に比べて道管の直径は太い。道管は、円筒形をした細胞で、水分が上昇する通路となる。道管が無い単純な構造をもつ針葉樹に比べると、広葉樹は複雑に道管が配列し、環孔材、散孔材、放射孔材などに分類される(図表 241 図表 242)。環孔材は道管の分布が、年輪に沿って環状に配列しているものであり、木目がはっきり表れる。ケヤキ、ナラ、キリ、セン、チークなどに見られる。散孔材は道管の分布が無差別に散在している。木目ははっきりしないが均質である。ブナ、ホオ、サクラ、カツラ、シナなどに見られる。放射孔材は道管の分布が、樹心を中心に放射状(半径方向)に配列しているもので、シイ、カシなどに見られる。

	シイ	サクラ	スギ	ナラ	カシ
全乾比重	0.61	0.6	0.38	0.67	0.84

図表 239 各樹種の全乾比重

	針葉樹	代表的広葉樹
年輪	明確	明確しない場合がある
材質	軽くて柔らかい	重くて硬い
空隙率	高い(70~85%)	低い(45~60%)
木目	比較的まっすぐ通っている。	複雑に変化して美しいものが多い。
組織	樹液を運ぶ道管がなく、木繊維がその役割を果たす仮道管を持つ	幹は道管と木繊維からできている。

図表 240 針葉樹と広葉樹の比較



図表 241 針葉樹と広葉樹の道管の配列

	樹木	導管の配列
1	シイ	放射孔材
2	サクラ	散孔材
3	スギ	針葉樹
4	ナラ	環孔材
5	カシ	放射孔材

図表 242 針葉樹と広葉樹の道管の配列

3) 実験方法

乾燥実験 4 の実験場所は千葉大学西千葉キャンパスの構内の室内(図表 243(a))と室外(図表 243(b))である。室外の場所は平らなコンクリートの地面で、風通しも日当たりも良いところである。室外の平均温度、平均湿度はそれぞれ 24.2 °C、71.9 %であった。室内は温室ハウスの中で、風通しも日当たりも良い場所である。平均温度、平均湿度はそれぞれ 30.3 °C、71.9 %であった。丸太の上側に扇風機で風をあてている。温室内の温度が 40 °C未満であれば、扇風機が稼働しはじめる。室内の温度が 40 °C以上になると、扇風機は停止し、40 °C以下になるまで待機する。各丸太サンプルの乾燥速度を比較するため、2週ごとに丸太の比重を測定した。各樹種の全乾比重が異なるため、測定した比重から含水率に以下の式 2-3. で変換し、含水率の変化を比較・検討した。

(a) 室内



(b) 室外



図表 243 実験場所

$$u = \frac{r_u - r_o}{r_u} \times 100$$

u [%]: *Water content*

r_u [g/cm³]: *Measured Specific Gravity*

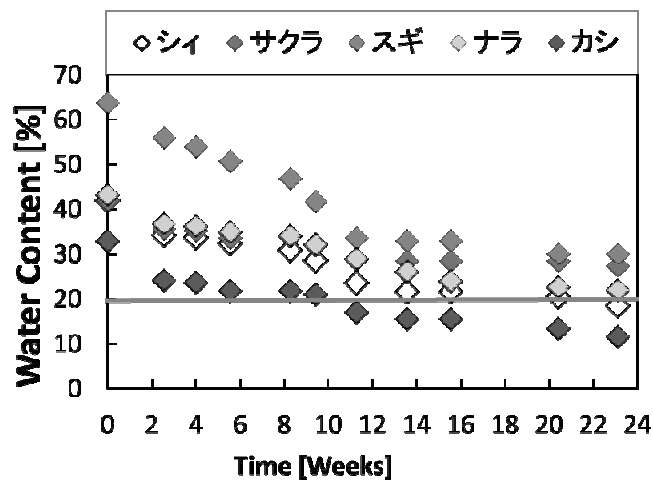
r_o [g/cm³]: *Specific Gravity Under Oven Dry*

図表 244 含水率の換算式

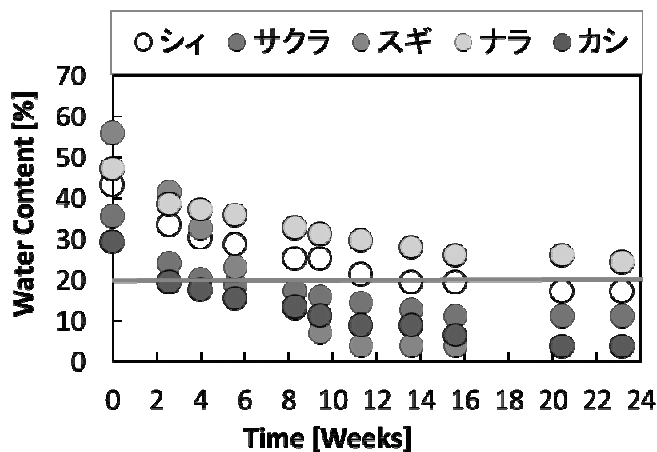
4) 実験結果

図表 245(a) は室外で各樹種(シイ、サクラ、スギ、ナラ、カシ)の丸太の含水率の変化を示す。この実験結果によって、室外で乾燥する場合、含水率が20%になったには、カシ(3カ月)、シイ(3-4ヶ月)、ナラ(6ヶ月)であった。一方で、6ヶ月の乾燥後でもスギとサクラの含水率には20%に達しなかった。また、各樹種は約3ヶ月(12週間)までの乾燥で、含水率が少しずつ減少していたが、その後大きい変化が見られなかった。これは、3ヶ月の乾燥で、各樹種が繊維飽和点(相当する含水率30%)に達したからと考えられる。図表 245(b)は室内で各樹種の丸太の含水率の変化を示す。この実験結果によって、室外よりも室内で乾燥した場合、含水率の減少が早くなった。含水率が20%に到達するのに、カシ1ヶ月(室外の場合:3カ月)、シイ3ヶ月(室外の場合:3-4ヶ月)、ナラ(6ヶ月)(室外の場合:6ヶ月)、サクラ1ヶ月(室外の場合:達しなかった)を必要とし、スギは2ヶ月(室外の場合:達しなかった)であった。つまり、乾燥場所を室内にして効果がある樹種はカシ、サクラ、スギであった。乾燥場所を室内にしてあまり変わらない樹種はナラ、シイであった。

(a) 室内



(b) 室外



図表 245 室内と室外で乾燥した各丸太の含水率の変化

(4) 燃焼実験

1) 実験概要

乾燥した丸太燃料を簡易に高効率に燃焼させる方法を検討する必要がある。そこで、本基礎実験では、乾燥した丸太燃料を温水型の丸太加温器の燃料に用いて、異なる条件の試料による燃焼実験を行い、丸太の燃焼特性を評価した。燃焼実験の試料としては、異なる条件の丸太試料（含水率、太さ、樹種の違い）を用いた。

a) 燃焼実験-1：丸太の含水率の違いによる影響

含水率の異なる試料を用いて、燃焼実験で加熱時間（燃焼時間：水温の温度が上がりはじめから終了までの時間）、到達温度の差（到達した温度と開始温度の差）、燃焼による発熱量を評価する。また、加温器で丸太試料を選定する際、適切な含水率の試料を提案する。

b) 燃焼実験-2：丸太の太さの違いによる影響

太さの異なる試料を用いて燃焼実験を行い、加温時間、到達温度の差、燃焼による発熱量を評価する。また、加温器で丸太試料を選定する際、適切な太さの試料を提案する。

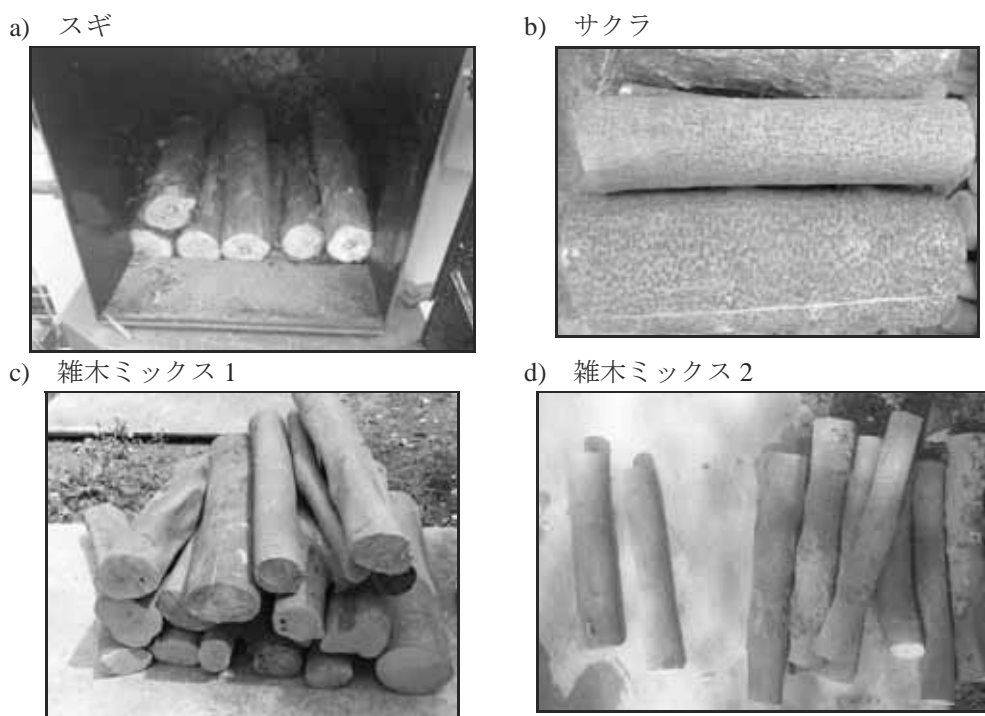
c) 燃焼実験-3：木材の樹種（針葉樹、広葉樹）の違いによる影響

針葉樹のスギのみならず、広葉樹の異なる樹種（サクラ、雑木ミックス）の試料も実験試料を用いて、燃焼実験で加温時間、到達温度の差、燃焼による発熱量を評価する。さらに、針葉樹のスギと広葉樹の各樹種の丸太の燃焼特性を比較・検討する。

以下では、c) 燃焼実験-3：針葉樹と広葉樹の乾燥挙動の比較について紹介する。

2) 実験試料

実験試料は樹種の異なる4つ丸太試料である。図表 247 に各丸太試料の直径、含水率を示す。図表 246 に針葉樹のスギの丸太試料の写真を示す（丸太(スギ)）。丸太(スギ)の直径は平均8 cmで、含水率が平均12.0%であった。図表 246 に広葉樹のサクラの丸太試料の写真を示す（丸太(サクラ)）。丸太(サクラ)の直径は平均10 cmで、含水率が平均13%であった。図表 246 に広葉樹の各樹種の丸太試料の写真を示す（丸太(雑木ミックス1)）。丸太(雑木ミックス1)の直径は平均7 cmで、含水率が平均13.5%であった。図表 246 に広葉樹の各樹種の丸太試料の写真を示す（丸太(雑木ミックス2)）。丸太(雑木ミックス2)の直径は平均11 cmで、含水率が平均14.0%であった。



図表 246 木材の樹種（針葉樹、広葉樹）の違い試料

	直径 [cm]	含水率 [%]
杉	8	12
桜	10	13
雑木ミックス	7~11	13~14

図表 247 実験試料の大きさ、含水率

3) 実験方法

a) 実験装置

燃焼実験にはタイセイマシンナリー株式会社（TMC）の温水型丸太加温器を用いており、燃料として間伐材の丸太（長さ 0.5 m 以下）を使うことができる（図表 248）。図表 249 に加温器の詳細情報（寸法、総重量等）を表す。加温器の外形の寸法（縦横高）は 630 × 1110 × 1660 mm である。燃焼室の大きさの寸法（縦横高）は 530 × 1020 × 530 mm である。煙道規格は 150 mm である。熱出力は 36000 kcal/h である。貯湯量は 190 L である。燃料供給量は 60 kg である。機械の総重量は 245 kg である。加温器のそばに約 1 [t] のタンクを設置している。また、加温器には、所定の場所に温度計や流量計を設置し、運転状況を把握できるようにしている。



図表 248 燃焼実験装置(温水型丸太加温器)

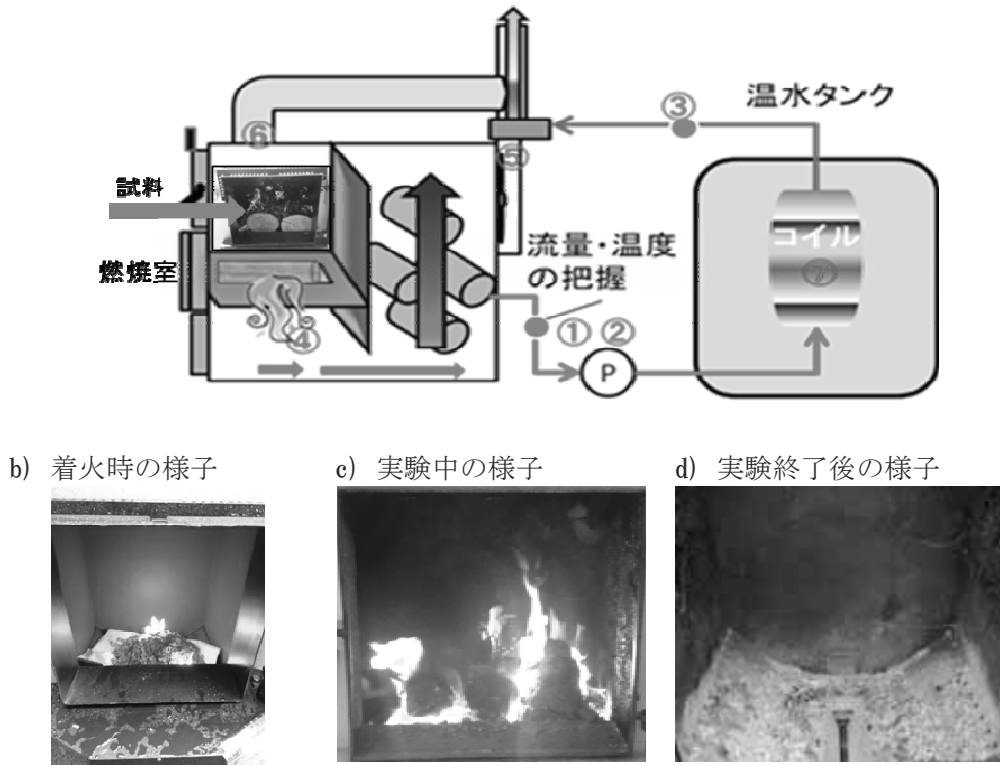
型番号		N0.301X
寸法 縦横高	外形	630 × 1110 × 1660 mm
	燃焼室	530 × 1020 × 530 mm
煙道規格		150 mm
熱出力		36000 kcal/h
貯湯量		190 L
燃料供給量		60 kg
機械総重量		245 kg

図表 249 温水型丸太加温器

b) 実験方法

実験方法を図表 250 に示す。図表 250(a)は実験装置のイメージ図である。実験は4つの手順で進められる。手順第1は、初期熱源として(いわゆる焚き付け)直径が小さい丸太3~4本(直径約6~7 cm)と着火剤(乾いた杉葉、木材チップなど)を燃焼室に投入して、着火する(図表 250(b))。手順第2は、丸太(焚き付け)が安定燃焼後、重さ、直径、含水率を測った丸太試料を燃焼室に投入し、燃焼室のドアを閉める。手順第3は、ドアが閉じられた後、丸太試料を燃焼し計測を開始する。評価方法として燃焼中の生成した熱で加温器内の加温媒体の水を温めて、設定温度(60℃)に加温された後、温水循環ポンプが自動的に稼働し、加温器内の温水が温水タンク(被加温媒体タンク)に流され熱交換を行い各媒体の熱量の移動を把握する(図表 250(c))。温水の温度と流量を把握するために、温度センサー及び流量センサー、測定記録器を設置した。手順4は、燃料がなくなり次第、実験を終了する(図表 250(d))。

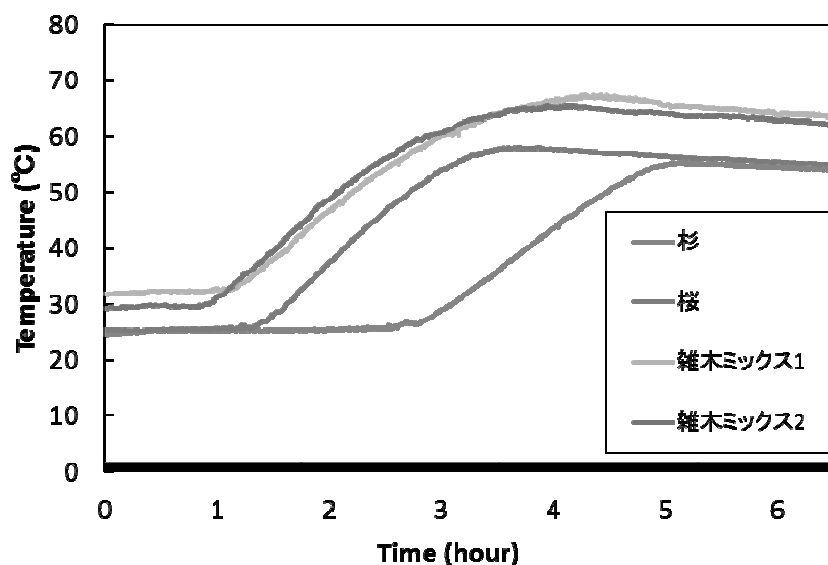
実験装置のイメージ



図表 250 燃焼実験の実験方法

4) 実験結果

図表 251 に樹種（針葉樹、広葉樹）の違いによる水槽温度の変化への影響を示す。図表 252 に樹種の違いによる加熱時間、到達温度の差、発熱量への影響を表す。図表 252 により、スギよりも広葉樹であるサクラ、雑木ミックスの加熱時間が長かった。木材の樹種が異なるため、比重、密度も異なる。木材の密度と炭化速度の関係については、密度の大きい木材ほど炭化速度が小さく、密度の増加に従って、炭化速度は直線的に減少するという報告が多い。木材の密度と熱伝導率の関係については、密度が大きいほど熱伝導率が高い。各樹種の密度を比較すると、スギの密度 (380 kg/m^3) よりも広葉樹の密度の方が高い。広葉樹であるサクラ、ミズナラ、シイ、アカガシの密度はそれぞれ 670 、 680 、 610 、 870 kg/m^3 である。従って、他の広葉樹の樹種よりもスギの炭化速度が速く、熱伝導率が低い。図表 252 により、各樹種の加熱時間の短い順番はスギ、サクラ、雑木ミックス 1、雑木ミックス 2 である。これは、スギの炭化速度が他の樹種よりも早いので、加熱時間が一番短くなったものと考えられる。そして、広葉樹の炭化速度がスギより遅いため、加熱時間が長くなったと推定できる。また、発熱量を比較すると、広葉樹の雑木ミックス 2 の発熱量が一番高く、スギの発熱量が一番低かった。これは、スギよりも雑木ミックスの炭化速度が遅く、熱伝導率が高いため、雑木の発熱量が多かったものと考えられる。また、雑木ミックスとサクラの水槽温度の変化傾向により、同じ広葉樹でも燃焼特性が異なることがわかった。これは、同じ広葉樹でも密度のばらつきがあるたそれぞれの炭化速度が異なるため、燃料特性も異なってくると考えられる。この実験の結果により、スギ以外の樹種を温水型の丸太加温器の丸太試料として選定する際、スギよりも密度の高い樹種（特に広葉樹）を選んだ方が、多くの発熱量が生成することができると考えられる。また、燃焼時間は図表 252 より、針葉樹であるスギに対して広葉樹は $20 \sim 60 \%$ 程度延伸することが確認できた。



図表 251 樹種の違いによる水槽温度の変化

	杉	桜	雑木ミックス1	雑木ミックス2
加熱時間 [h]	2.5	2.9	3.9	3.3
到達温度の差[°C]	29	32.5	26	35
発熱量 [kcal/kg]	1189	1658	1340	1804

図表 252 樹種による加熱時間、到達温度の差、発熱量への影響

(4) まとめ

ここで得られた結果をまとめる。本基礎実験では、山武・長生地域の代表的な樹種である針葉樹のスギと広葉樹のシイ、サクラ、ナラ、カシを主な試料として選定し、乾燥実験および燃焼実験を行い、樹種ごとの乾燥と燃焼の影響について検討した。

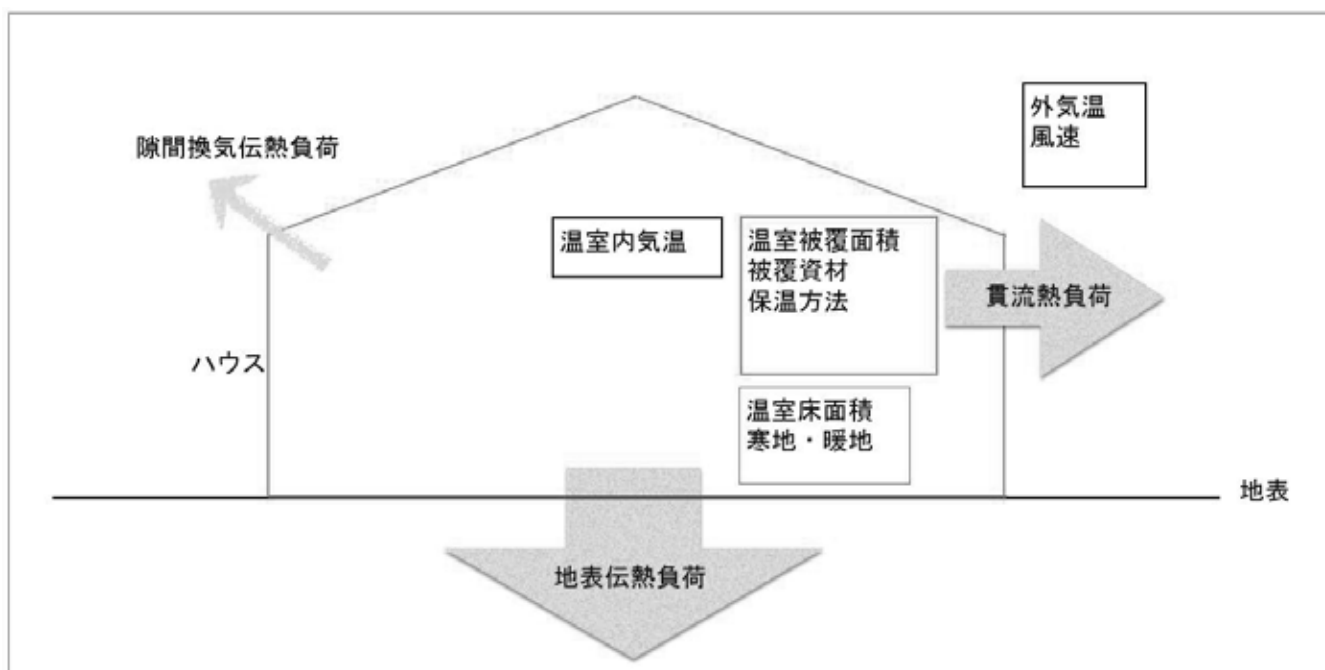
- 1) 各樹種(シイ、サクラ、スギ、ナラ、カシ)の丸太を室内・室外で乾燥した結果、室外で乾燥する場合、含水率が20%になったのは、カシ(3ヶ月)、シイ(3-4ヶ月)、ナラ(6ヶ月)であった。一方で、6ヶ月の乾燥後でもスギとサクラの含水率は20%に達しなかった。室外よりも室内で乾燥した方が、含水率の減少が早くなった樹種はカシ、サクラ、スギであった。乾燥場所を室内にしてあまり変わらない樹種はナラ、シイであった。
- 2) 室外で各樹種(シイ、サクラ、スギ、ナラ、カシ)の丸太を乾燥した場合、丸太の中心部にまだ水分が残っており、燃料として使えるレベルまで十分に乾燥できなかった。室外で乾燥した丸太試料よりも室内で乾燥した試料の含水率の方が低くなった。特に、針葉樹(スギ)の含水率が一番減少していた。室内の乾燥でスギが丸太燃料として利用可能なレベルまで乾燥することができた。一方で、広葉樹の各樹種の含水率も減少していたが、中心部分に水分がまだ残った。
- 3) 針葉樹であるスギよりも広葉樹であるサクラ、雑木ミックスの方が加熱時間(燃焼時間)が長かった。加熱時間(燃焼時間)は、針葉樹であるスギに対して広葉樹は20~60%程度の延伸が期待できる。
- 4) 広葉樹の雑木ミックス2の発熱量が一番高く、スギの発熱量が一番低かった。

4.5.7 ハウス加温シミュレータによる最適設計

施設園芸農家のハウスに丸太加温器の導入を考える時、ハウスの特性（広さや構造材質など）による断熱能力を推定し、最適な能力の丸太加温器を選定する必要がある。この時、ハウスの特性データを入力すれば最適な丸太加温器の能力を算定できるシミュレータがあると極めて能率的で適切な選定ができる。ここではそのシミュレータを開発したので、その内容について述べる。

(1) 計算モデル

ハウスにおける熱出入りを図表 253 に示すように考える。



図表 253 ハウスにおける熱の出入りのモデル

ハウス内を加温するという事は、ハウス内の温度を外気温度よりも高く維持する必要があるということである。この状態では、熱は温度の高い方から低い方へ流れるので、ハウス内の熱は外気へ流れて（移動して、逃げて）行く。ハウス内の温度を希望する設定温度に維持するためには外気へ流れる熱を常に補充する必要があり、この補充に必要となる単位時間あたりの熱量が加温器に要求される熱出力である（実際は加温器自身の熱効率 η [-] が 100% ではないことを考慮する必要がある）。したがって、加温器からハウスへ持ち込む必要熱量（ハウス暖房負荷）は、このハウスから外気へ流れる熱量に等しい。すなわち、ハウスから外気へ流れる熱量（放熱量）を推定することが適切な出力の加温器の選定の前提となる。

ハウスから外部へ熱が移動する（逃げて行く、放熱する）ルートは次の3種類が考えられる。

- a. 地表伝熱：床下の地面に逃げて行く熱
- b. 壁面貫流熱：ハウスの壁面（天井を含む）を通過して出て行く熱
- c. 隙間換気伝熱：ハウスの換気口、出入口、隙間などから空気の漏れ出しによる放熱

これら3種類の放熱は、地表伝熱は温室の床面積の広さに比例し、壁面貫流熱と隙間換気伝熱は温室の表面積に依存すると考えられる。また、これら3つの放熱による熱の移動量は、ハウス内の

温度と外気温との差に比例すると考えられる。以上の考え方をモデルとして、ハウスからの放熱量を推算する。上記の図表 253 は、このような考え方をモデル的な図として表したものである。

図表 253 に示したモデルを元に、加温器導入を検討しているハウスの断熱性能を推定するため、ハウスの最大暖房負荷を以下の式により算出することを考える。以下、単位面積とは $[m^2]$ 、単位時間とは $1 [s]$ 、単位温度差とは、 $1 [^{\circ}C]$ を意味するものとする。

全体として単位時間あたりにハウスが必要とする熱量を $Q_g [W]$ 、
 ハウスの壁面積（天井を含む）を $A_g [m^2]$ 、
 ハウスの壁の単位時間・単位面積あたりの熱の通過量を $q_r [W \cdot m^{-2}]$ 、
 ハウスの壁の単位時間・単位面積あたりの漏れによる熱の通過量を $q_v [W \cdot m^{-2}]$ 、
 ハウスの床面積を $A_s [m^2]$ 、
 ハウスの単位時間・単位床面積あたりの地面への熱の移動量を $q_t [W \cdot m^{-2}]$ 、
 ハウスのまわりを流れる空気の影響（風など）による補正係数を $f_w [-]$

とすると、

全体として単位時間あたりにハウスが必要とする熱量
 $=$ （ハウスの壁を通過して移動する熱 + 壁の隙間から空気が漏れて移動する熱
 $+$ ハウスの床下から地面に移動する熱） \times 風の影響による補正
 という関係になるとして、数式で表せば、

$$Q_g = \{ A_g * (q_t + q_v) + A_s * q_s \} * f_w$$

となる。

ここで、単位面積・単位時間あたりに壁を通過して移動する熱量 $q_t [W \cdot m^{-2}]$ は、
 ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁から外気へ移動する単位面積・単位時間あたり熱の割合を $h_t [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ 、
 ハウスの設定温度を $\theta_c [^{\circ}C]$
 外気の温度を $\theta_{out} [^{\circ}C]$
 壁の保温性による補正係数を $f_r [-]$

とすると、

単位時間・単位面積あたりの壁を通過して移動する熱量
 $=$ ハウス内と外気の温度差の $1 [^{\circ}C]$ あたりの壁から外気へ移動する熱の割合
 $*$ （ハウスの設定温度 - 外気の温度） $*$ （ $1 -$ 壁の保温性による補正係数）

という関係になるので、数式で表せば、

$$q_t = h_t * (\theta_c - \theta_{out}) * (1 - f_r)$$

となる。

また、単位時間・単位面積あたりの壁の隙間から漏れる空気が持ち出す熱量 $q_v [W \cdot m^{-2}]$ は、
 ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁の隙間から外気へ漏れ出しで移動する単位時間・単位面積あたりの熱の割合を、 $h_v [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ 、

とすると、

単位時間・単位面積あたりの壁の隙間から漏れる空気が持ち出す熱量
 $=$ ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁の隙間から外気へ漏れ出しで移動する熱
 の割合 $*$ （ハウスの設定温度 - 外気の温度）

という関係になるので、数式で表せば、

$$q_v = h_v * (\theta_c - \theta_{out})$$

となる。

すなわち、ハウスの形状で A_g 、 A_s を、ハウス材料や構造から h_t 、 h_v 、 f_r を、ハウスの置かれている環境から q_s 、 f_w の各数値を選定することで、希望する設定温度 θ_c と外気温度 θ_{out} を決めれば必要となる加温器の出力が求められる（加温器の熱効率 η [-] も算入する必要がある）。

(2) ハウスの断熱能力の推定

以上のようにモデルを数式化すると、

A_s [m²]：ハウスの壁面積（天井を含む）

A_v [m²]：ハウスの床面積

はハウスの形状から決まる量であり、

h_t [W・m²・K⁻¹]：ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁から外気へ移動する単位時間・単位面積あたりの熱の割合

h_v [W・m²・K⁻¹]：ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁の隙間から外気へ漏れ出しで移動する単位時間・単位面積あたりの熱の割合

はハウスの材質と構造から経験的に得られる量であり、

f_w [-]：ハウスのまわりを流れる空気の影響（風など）による補正係数

f_r [-]：壁の保温性による補正係数

はこれも経験的に得られる量である。

このような数値がわかれば、ハウスの設定温度 θ [°C] と外気温度 θ_{out} [°C] を決めれば、加温器が供給する必要な熱量（出力）が決まることになる。この熱量 Q_g [W] を得るための加温器の熱効率 η [-] を考慮すれば（熱効率で割れば）必要な加温器の熱出力が求まる。

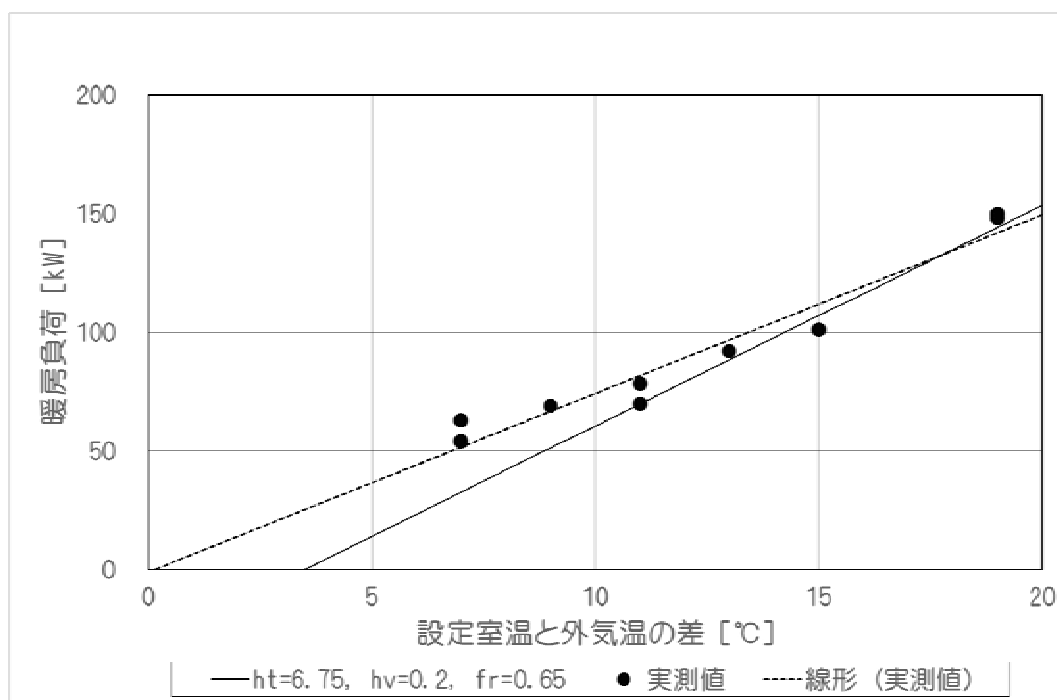
上記の、 q_s 、 f_w については、これまでのデータの蓄積から図表 254 に示すような数値が知られている。

図表 254 パラメータ (q_s 、 f_w) の既存データ
単位被覆面積当たり地表伝熱(地中伝熱)負荷(q_s)

保温被覆	地表熱流束(q_s) (W・m ⁻² ・K ⁻¹)			
	無		有	
内外気温差	暖地	寒地	暖地	寒地
10°C	-24	-18	-18	-12
15°C	-12	-6	-6	0
20°C	0	+6	+6	+12

風速に関する補正係数(f_w) の値	
補正係数の適用条件	f_w
一般地域の一重被覆温室 保温被覆を行った温室	1.0
強風地域の一重被覆温室	1.1

そこで、実際のモニター農家で、ハウスの設定温度を決めて外気温度とそのときに必要となった熱量（加温器出力）を実測した結果と、前記のモデル式で h_t 、 h_v 、 f_r を変えながら実測値になるべく近い各数値を求めた。その結果を図表 255 に示す。



図表 255 実測値とハウス加温シミュレータのパラメータフィッティングの結果

図表 255 に示す通り、実測値とパラメータフィッティングの結果の傾向はよく一致している。この農家のハウスの場合、

- ・ ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁から外気へ移動する単位時間・単位面積あたりの熱の割合
 h_v を $6.75 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
- ・ ハウス内と外気の温度差の単位温度あたりの壁から外気へ移動する単位時間・単位面積あたりの熱の割合
 h_t を $0.2 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
- ・ ハウスのまわりを流れる空気の影響（風など）による補正係数
 f_w を $0.65 [-]$

とすることで、実測値を良く表現できることがわかった。

(3) ハウス加温シミュレータの使い方

上記のように、ハウスの特性値（ A_g 、 A_s 、 h_t 、 f_w ）をそのハウスの仕様から選定し、環境に依存するパラメータ（ q_s 、 f_r 、 θ_{out} ）を選定することでハウスの運用条件（希望する設定温度）によって加温器の出力が選定できる。

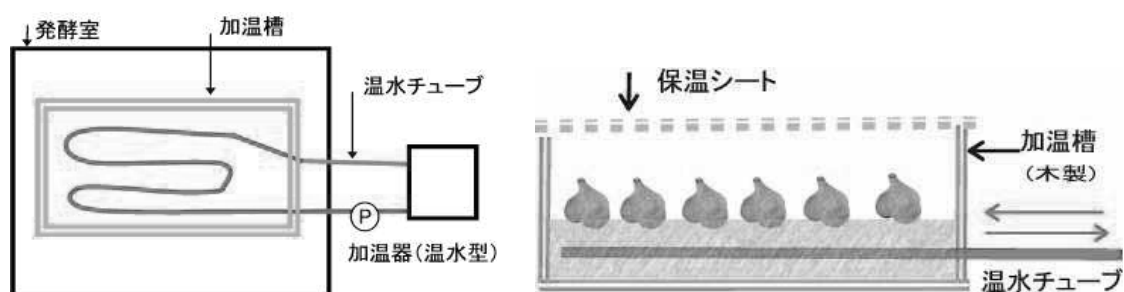
今後は上記のように具体的な農家のハウスの設定温度、外気温度、そのときに必要となった熱量（加温器出力）の実測値を収集して、パラメータの選定の精度を向上させ、加温器出力の選定ツールとしての完成度の向上を図る。

4.5.8 農林水産物の乾燥、調理等への加工応用の検討

丸太加温器の特徴である温度変動の少ない温水を安定に供給できるという特徴を生かした農林水産物の乾燥、調理等への加工応用の可能性を検討している。

そのひとつとして、近年、健康食品として注目されている「にんにく」の加工への応用を取り上げた^注。生にんにくを2、3週間加温すると褐色～黒色になり、糖度が増え、ドライフルーツのような食感となり、風味の向上のみならず、生にんにくの持つ健康機能性成分が増加する。「黒にんにく」とも称され、その製造過程は発酵あるいは熟成と言われる。丸太加温器の安定した熱供給機能が活かして、「丸太を燃焼して加温熟成する」製造工程を付加価値として製品につけることができる。

黒にんにくの製造施設及びその加温槽の概念図を図表 256 に示す。温水型丸太加温器からの熱水を通した温水チューブを「発酵室」内の「加温槽」に引き込んで加温する。「加温槽」にはモミガラを敷き、その上ににんにくを並べて置き(図表 257)、2～3週間かけて加温する。



図表 256 にんにく加工施設および加温槽の概念図



図表 257 にんにくを並べた加温槽内部

^注 にんにく主産地である青森県のアンテナショップ(東京：北彩館)では、にんにく加工品(黒にんにく)は常に売れ筋商品の上位であり、2016年1月は第1位である。

4.6 丸太加温器利用の効果

これまで述べてきたように、丸太加温器は他の化石燃料加温器と比較して十分に代替できる熱エネルギーの供給機能を有していることが確認できた。したがって、既設の化石燃料加温器の代替としての導入は熱供給面からは問題ない。さらには丸太加温器の熱供給においては、温度変動の極めて小さい温風や温水供給が可能であり、この特徴を活用することにより品質の高い農産物を生産できる可能性があり、さらには木目の細かい適切な温度制御を行うことで高い熱利用効率で運用できて、従来の運用方法に比べて省エネルギー効果も発揮できる可能性も確認できた。

課題としては、丸太加温器への丸太燃料の投入に関して、現状では手動供給が中心とならざるをえず、自動化が経済性の問題に加え構造上やスペースの問題を抱えてはいるものの、実用システムの開発が待たれるところである。しかしながら、国内に存在する豊富な木質バイオマス資源を利用して化石燃料を代替できるという効果は、特に日本にとっては重要である。さらには、木質バイオマスの燃焼は最終的に CO₂ の発生を抑制につながるという環境面の効果も極めて大きい。以下では、エネルギー供給における丸太燃料の化石燃料に対する代替効果、LCA 手法に基づく丸太燃料利用によるシステム全体の CO₂ 削減効果について述べる。

4.6.1 エネルギー供給における丸太燃料の化石燃料に対する代替効果

これまでの試験による検証を含めて、温風型丸太加温器による丸太燃料の利用においては、他の化石燃料加温器（重油加温器や LPG 温水器など）に比較して、総合的な熱効率の面ではあまり変わらないことが確認できている。一方、温水型丸太加温器の場合は、供給される温水はさらに熱交換されて温風や温水を生成するために総合的な熱効率は低下するが、それでもまだ丸太燃料の LPG に対する代替効果は維持できている。丸太加温器で他の化石燃料加温器を代替する場合には、それぞれの燃料が保有する熱量を検討すればよい。各燃料の単位エネルギー（ここでは基準として 1 [MJ]）あたりの燃料特性を検討する。

図表 258 に各燃料の物性と単価を示す。

図表 258 燃料の特性と単価

燃料	状態	低位発熱量		比重	単価 (注2)	
		[kcal/kg]	[MJ/kg]		[t/m ³]	[円/MJ]
丸太燃料 (杉) (注1)	固体	3,680	15.4	0.42	15 [円/kg]	0.97
A重油	液体	10,383	39.1	0.9	60 [円/L]	1.53
LPG	気体	11,100	46.4	0.002	280 [円/Nm ³]	2.79
	液体			0.501		

(注1) 水分率（湿量基準の含水率）20 [%w. b.] の杉材の低位発熱量。

(注2) A重油およびLPG の単価は2015/12 時点の実勢価格。

燃料の特性を比較すると、丸太燃料は 15 [円/kg] を前提としているが、この価格で他の化石燃料と比較すると単位エネルギーあたりのコストは十分に小さいことがわかる。最近の原油価格の低下による A 重油の価格低下はあるものの、それでも A 重油とは同等以下であり、また LPG に対しては十分な差がある。温風型の丸太加温器の運用においては、今回の検証試験では熱量供給における効率は他の化石燃料加温器とほぼ同等な性能を有することが確認できた。また、LPG に対しては十分な低コストを維持している。したがって、エネルギーの体積密度はやや小さいが、エネルギー供給における丸太燃料の化石燃料に対する代替効果は十分にあることが検証できた。

4.6.2 本事業実施による環境評価

木質バイオマスはカーボンニュートラルな燃料であり、燃焼した際に発生した CO₂ はゼロカウントとされる。そこで、各導入施設における丸太燃料の供給量を基に、同量の化石燃料が使用された場合の CO₂ の排出量を算定し、CO₂ 削減量として評価する。前提条件として、丸太燃料の熱量は W.B.25% の場合 13,927MJ/kg、A 重油の CO₂ 排出量を 0.0693kg-CO₂/MJ とする。丸太加温器の導入状況を図表 259 に示す。なお、施設件数の合計が 22 台とこれまで導入された 26 台よりも 4 台少なくなっているが、本事業では 4 台を実験用を使用しており、地域の環境効果としての評価の際にはそれら実験器は算入しないものとした。

図表 259 丸太加温器の導入状況

施設種類	施設件数	丸太燃料供給量	必要熱量	CO ₂ 排出量
		t/年	MJ/年	kg-CO ₂ /年
施設園芸	15	198.2	2,760,610	191,310
宿泊施設	2	54.1	753,729	52,233
その他施設	5	10.0	139,270	1,448
計	22	262.3	3,653,609	253,195

上記の結果に基づき算出された CO₂ の排出削減量は 253.2t-CO₂ である。これが 3 年間実施されたとすると、759.6t-CO₂ の排出削減になる。温室効果ガスインベントリオフィスによると 2013 年度の家庭からの CO₂ 排出量は 5.4t-CO₂/年であり、本事業では毎年約 47 世帯分の CO₂ 排出量を削減することになる。

4.7 まとめ

各種の加温器（暖房機）ユーザーに丸太加温器の使用をモニターとして依頼し、モニターサイトにおける検証試験を実施した。施設園芸用途では、丸太加温器の特性を生かした加温方法の最適化、ハウス加温シミュレータによる最適設計、温泉・一般暖房向け用途では安定稼働の実証、さらに農林水産物の乾燥、調理等への加工応用の検討を行い、丸太加温器は化石燃料加温器の代替になり得ることおよび経済的な効果も得られることが確認できた。丸太加温器の温度の安定した熱量供給特性は農作物の品質向上に寄与することもあることがわかり、そしてそれが設定温度の引き下げとなる場合には省エネルギー効果を生み、そのことにより経済性の向上ともなることがあることがわかった。この結果、丸太加温器を主要な構成要素とする丸太燃料流通システムは、今後の継続・拡大のためのユーザーフレンドリーなシステムであることが確認できた。また、本システムを LCA 手法に基づき評価した結果、丸太燃料利用によるシステム全体の CO₂ 削減効果が極めて大きいことを確認した。

第5章 丸太加温器の改良および改善の検討

5.1 はじめに

本事業は、都市近郊の小規模森林の整備で排出する価値の低い木質バイオマスの出口のひとつとして、丸太燃料という形態にして暖房・加温の需要のあるところで丸太加温器という燃焼装置による熱回収と熱利用を行うシステムの構築と検証である。この燃焼機としては、前章で述べたように、韓国 NMG 社が提供し国内ではタイセイマシナリー株式会社が代理販売している燃焼機を丸太加温器と称して採用した。この丸太加温器は初年度から大学における性能検証、モニター・サイトにおける実証試験に使用してきた。それらの使用実績・経験から、本機はいろいろな優れた特性を有していることが確認できた。しかし、一方で日本国内の園芸農家や諸施設での使用を考えると、日本特有の利用形態や環境の相違等からこの丸太加温器の運用にあたっては様々な要求があることがわかった。そこでこうして提起された代表的な要望・課題についてその解決策を考案し、試験を含む検証を進めた。

具体的には加温器本体では、丸太投入容量の拡大、温風・温水ハイブリット器の試作を行い、昼夜燃料無補給稼働と温風・温水の同時使用等を可能とすることを目標とした。さらに丸太燃料を供給せずとも熱供給可能な補助バーナーシステム、停電対策として非常用エンジン発電機、加温器システム異常を検知して自動的に発信するシステムの試作・試験を行った。これらの開発・確認・検証により、いろいろな機能を廉価なオプションとして設定できることを目標とした。

5.2 丸太加温器への要望と対応案

丸太加温器の基本的な機能としては、丸太を燃料として燃焼しその熱を温風として取り出す温風型、温水として取り出す温水型の 2 種類がある。そして、出力に応じた製品のラインアップを有している。しかしながら、日本国内の施設園芸農家や諸施設での使用を考えると、日本特有の利用形態や環境の相違等からこの丸太加温器の運用にあたっては様々な要求が生じてくる。これまでのモニター・サイトでの利用実績に基づき、そこで提起された代表的な課題についてその解決策を考案し、試験的な検証を進め

これまでのモニター・サイトでの使用実績から、以下の要望が聞かれた。

- 要望 1) 最大量の燃料を充填した状態での連続運転時間が短い。
- 要望 2) 丸太加温器の運用を維持するためには毎日の丸太燃料供給作業が必要となる。そして、年末年始などの連休時にはバックアップの化石燃料加温器の稼働が必要になる。しかし、化石燃料加温器のバックアップのない丸太加温器のみのユーザーでも丸太燃料供給なしで連休を過ごせるようにしたい。
- 要望 3) 特に温風型丸太加温器は、燃料切れなどによる燃焼停止時における温風の温度低下が早いので、その対応までの時間的な余裕を確保したい。
- 要望 4) 温風型丸太加温器は、起動後に短時間で温風供給ができるが丸太燃料の燃焼が止まった後の温風の温度の低下が早い。また温水型丸太加温器は丸太燃料の燃焼が止まっても温水供給をしばらくは続けられるが、冷温停止状態からの起動では温水供給が開始されるまでの時間が長い。これらの短所を改善したい。
- 要望 5) 燃料切れなどの異常を自宅の手元で知る安価で簡便な方法が欲しい。
- 要望 6) 日本は災害が多発しているが、そのときの問題のひとつが停電であり、対策が必要である。

以上の要望に応えるために、以下の改良・改善案を考察した。

改善案 1) 要望 1) に対しては、連続運転時間、すなわち連続燃焼時間の延伸が必要となる。そのためには燃焼炉内に保持できる丸太燃料の量を増やすことが考えられる。

改善 2) 要望 2)、3) に対しては、最良の対策は燃料の自動供給であるが現状では対応できる装置の用意がない。そして、丸太燃料の自動供給は装置のコストがかなり大きくなることと、丸太燃料のエネルギーの体積密度（単位体積あたりのエネルギーの含有量）が他の化石燃料よりも小さいために装置自体がどうしても大きくならざるを得ないという課題を抱える。そこで、極く短期間の対応であれば、オプションとして重油バーナー機能を装備できれば対応可能と考えた。

改善 3) 要望 4) に対しては、温風型と温水型のそれぞれの利点と弱点が相互に補う関係にあることから、温風型と温水型をひとつの装置として取り込むことができれば解決策になると考えた。

改善 4) 要望 5) に対しては、丸太加温器の異常は加温対象が要求通りの状態になっていないことを検知することが最も確実な異常検知と考えられる。そこで、丸太加温器の加温対象に情報発信機能を持つセンサーを置き、それを現状の WEB 環境を利用することで安価で簡便な異常検知・発信システムを構築できるのではないかと考えた。

改善 5) 要望 6) に対しては、まずは非常用発電機による対応が考えられる。

上記の改良・改善案の考察から、今回は以下の具体的な対策を計画し、試験を含む検証を行った。

対策 1) 燃焼室の容量を拡大して、燃料の保持量を増大させるという改良を施した新型温風式丸太加温器（温風式丸太加温器 - 燃料容量拡大器）を試作し検証する。

対策 2) 上記の新型温風式丸太加温器にはオプションとして重油バーナーを装備できるようにして、丸太燃料が切れた状態では重油バーナーを稼働させて温風の供給維持を図れるようにする。

対策 3) 温風式丸太加温器において、水槽も持つことにより熱の蓄積を可能とし、また、必要に応じて温水取り出しもできるような温風・温水ハイブリッド器を試作し検証する。

対策 4) 丸太加温器の異常検知を、加温対象の現場のデータ情報を検知・判断して警告メールを発信させるシステムの構築を考え、その原理検証として、温度センサーの情報を発信させて現場から離れている作業員・管理者に伝達するシステムを考案し実証する。

対策 5) 停電対策としては、一般的なエンジン駆動の非常用発電機を用いてその適用性を検証する。

以上の対策を具体的に検討し、試験も含めた成果について以下に述べる。

5.3 丸太加温器の機能拡大

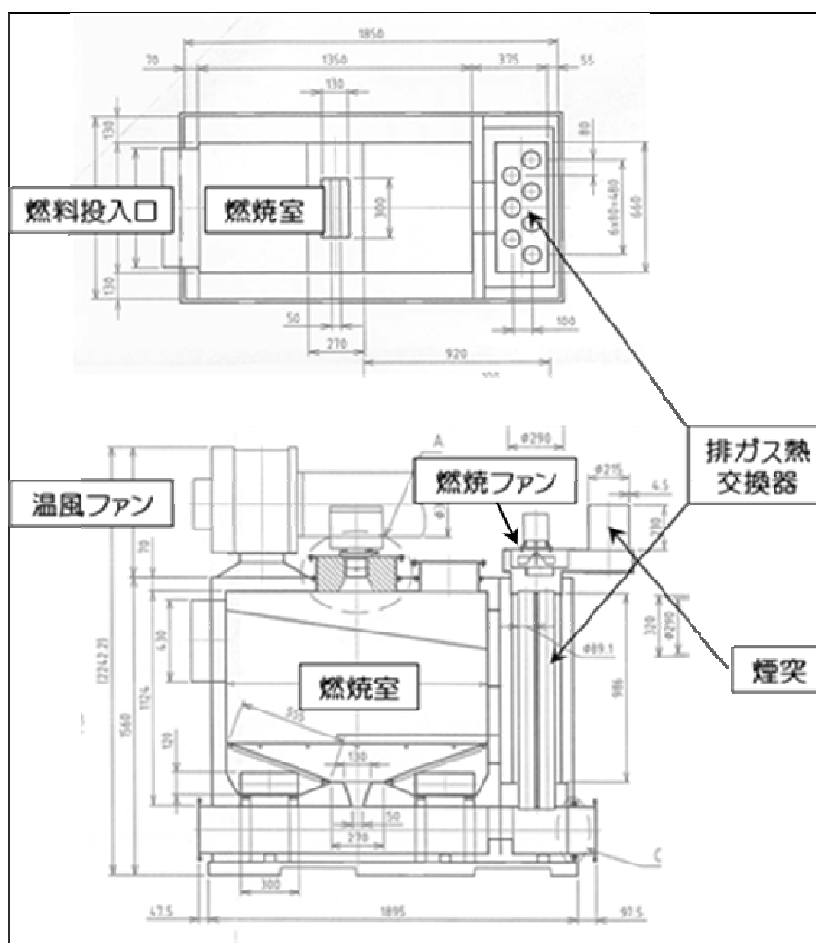
5.3.1 丸太燃料投入容量の拡大

(1) 試作器の設計、製作

現行の丸太加温器の標準的なタイプ（温風型 NH1000：出力 100 kW）では、水分率（湿量基準の含水率）20% の杉材を燃料とした場合、燃烧炉に最大量の燃料を投入すると、待機時間のない連続燃烧運転時間は約 6 時間である。園芸農家のハウス暖房が必要となるのは夜間であり、特に外気温度が最低となることが多い明け方にこの暖房が必要となる。したがって、一番暖房が必要となる時間帯を朝の 7 時頃までと考えると、最終的に燃料を投入しなくてはならない時間は、夜中の 12 時を過ぎてしまうことになる。そこで燃烧炉の容積を拡大して燃烧時間の延伸を試みた。また、この製作を行うにあたって、これまでのモニターサイトにおける使用実績から判明したモニターの要望事項に対応することも考えて改良点を反映させた。以下に、新型温風式丸太加温器の設計の考え方を示す。設計にあたって、次の項目を前提とした。

- ① 園芸農家のハウスでの使用を前提とし、温風式丸太加温器とする。
- ② 丸太燃料としては、現行の形態（長さ 50 cm）のものを使用することを前提とする。
- ③ 完成後の検証試験を考慮して、外形寸法は極力現行器に合わせ、丸太加温器に関する周辺機器はなるべく変更なく使用できる形状・構造とする。

試作器の構造を図表 260 に、その外観図表 261 に示す。



図表 260 燃烧室の容積を拡大した新型温風式丸太加温器の構造



図表 261 燃焼室の容積を拡大した新型温風式丸太加熱器の外観

以上の前提に立って採用した改良項目は以下の通りである。

- ① 燃焼時間の延伸するために燃焼室を拡大して丸太燃料の充填量の増大で対処することを考えた。前提 ② および ③ の制約から、燃焼室の横幅の拡大はせずに奥行の拡大を図った結果、燃焼室の容積の拡大により 1.4 倍の燃料充てんが可能となった。
- ② 後に出てくるオプション項目の重油バーナーの装着を可能とした。(後の項目 5.4.1 で詳述する。)
- ③ 燃料投入方向を縦から横に変更した。これは燃焼室の奥行を上げたことにより、現状の燃料形状(長さ:約 50 [cm])では現行の燃料供給方法を継承してもうまく燃焼室を燃料で満たせないことによる変更である。この変更により、燃料の投入作業が楽になるという効果も得られることがわかった。

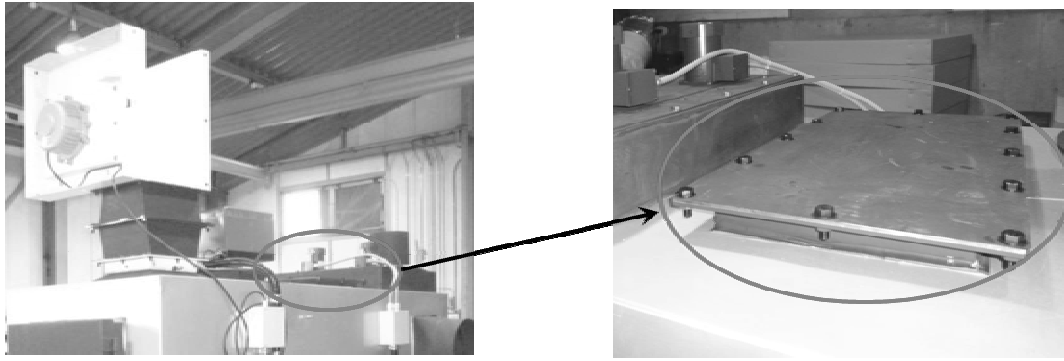


図表 262 試作器の燃料投入状態



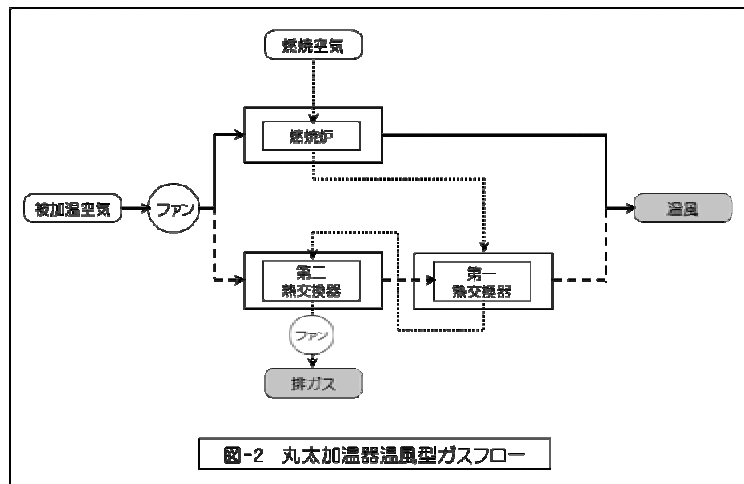
図表 263 従来器の燃料投入状態

- ④ 燃焼室の奥行が大きくなったことと、将来的な燃料の自動投入も考慮して、上部にも投入口を設けた。上部の投入口の設置の外観を図表 264 に示す。

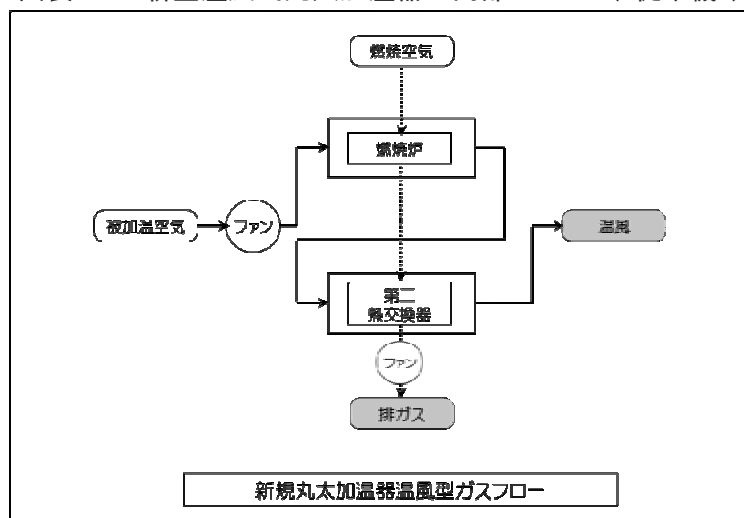


図表 264 上部投入口

⑤外部空気の加温は、現行器では燃烧室炉壁からの熱交換と排ガスとの熱交換の流路が並列になっている（図表 265）。しかし、試作器では熱交換効率の向上を目的にこれを直列の流路とした（図表 266）。



図表 265 新型温風式丸太加温器の内部フロー（従来機）



図表 266 新型温風式丸太加温器の内部フロー（試作器）

⑥特に排ガスの流路を単純化し、メンテナンス性の向上を図った。

⑦ 丸太の燃焼においては、失火を確実に防止するために燃焼を継続させつつ燃焼の制御と温風供給の制御を同時に行う必要がある。この試作器では、燃焼制御と温風供給制御を行いつつ燃焼を維持・継続させるために、インバータ制御により燃焼ファンと温風ファンを無段階で駆動できるようにした。特に燃焼ファンは待機運転中でも最小限の燃焼空気の供給を継続し、最小限の燃焼を確実に維持することを考えた。

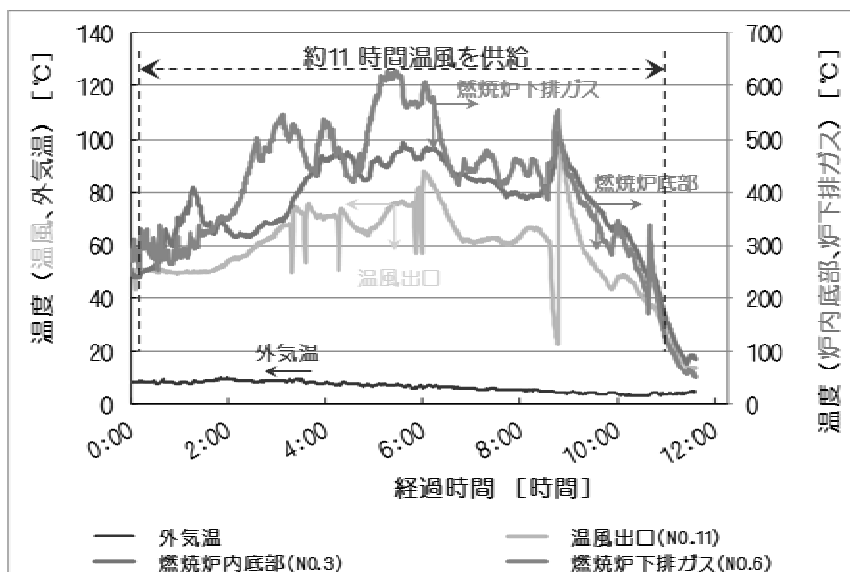
(2) 試運転

新型温風式丸太加温器の動作試験を行った結果では、設備構成要素の機能、運転シーケンス、制御機能などについて、問題のないことを確認できた。動作試験では実際に丸太燃料の燃焼も行い、目標とした現行器を超える 9 時間程度の燃焼時間を確保できることを確認した。動作試験の状況を図表 267 に示す。



図表 267 新型温風式丸太加温器の試運転状況

この装置で燃焼試験を行った結果を図表 268 に示す。



図表 268 新型温風式丸太加熱器の動作試験結果

この試験は、燃焼炉に丸太燃料（樹種はスギ）を満杯に詰めて（約 200 [kg]）、連続燃焼を行ったものである。図表 からわかるように、燃焼持続時間としては約 11 時間の運転ができています。丸太燃料の樹種がスギであることから、樹種を広葉樹にすることでさらなる燃焼時間の延伸も期待できる。前述（「4.5.7: 大学・森林研究所における基礎実験」を参照）の通り、樹種を広葉樹に変えることで 20 ～ 60 [%] の時間の延伸が期待できるので、当初の目標である 12 時間以上の連続運転は十分に可能であることが確認できた。

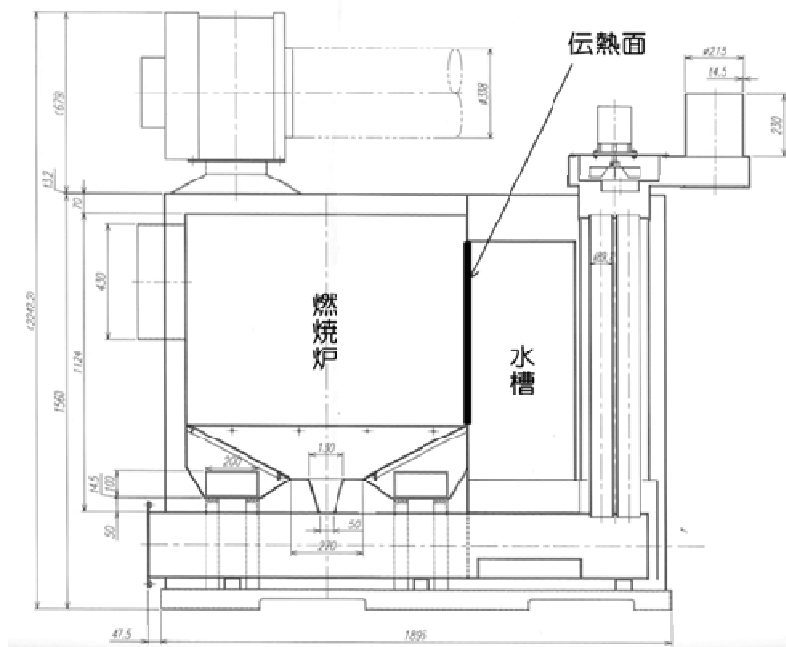
5.3.2 温風・温水ハイブリッド器の開発

現行の丸太加熱器には、外部空気を取り入れて加熱する温風型と加熱器本体の中にある水槽の水を加熱して温水を取り出す温水型がある。温風型は加熱を開始してから温風の取り出しまでの時間は短いが丸太燃料の燃焼が止まった後の温風の温度低下が早い。一方温水型は加熱による水槽の昇温に時間がかかるので特に冷温停止状態からの起動では温水またはさらにその温水と熱交換させて得る温水や温風の取り出しまでに長い時間を要するが、丸太燃料の燃焼を止めてもすぐには温水温度の低下はないので温風や温水の温度低下は遅い。そこで、一台の加熱器で温風も温水も得られるようにすると相互の特性がそれぞれの課題の解決につながるのではないかと考え、温風・温水のハイブリッド器の開発を試みた。

従来の温風型丸太加熱器は燃焼炉の炉壁および燃焼排ガスとの熱交換により温風を生成する。また、従来の温水型丸太加熱器は燃焼炉が水槽に浸されているジャケット構造となっており、さらにこの水槽を排ガスの配管が通過し熱交換を行う仕組みで温水を生成する。今回の開発では、燃焼炉を水槽に浸すのではなく、炉壁の一面で水槽と接して熱交換することで温水の生成を行うと同時に他の燃焼炉壁面と排ガスは温風生成に利用する構造とした。これにより、温風生成と温水生成を同時に可能とした。今回はこの構造と機能の原理的な検証を目的とする装置とした。

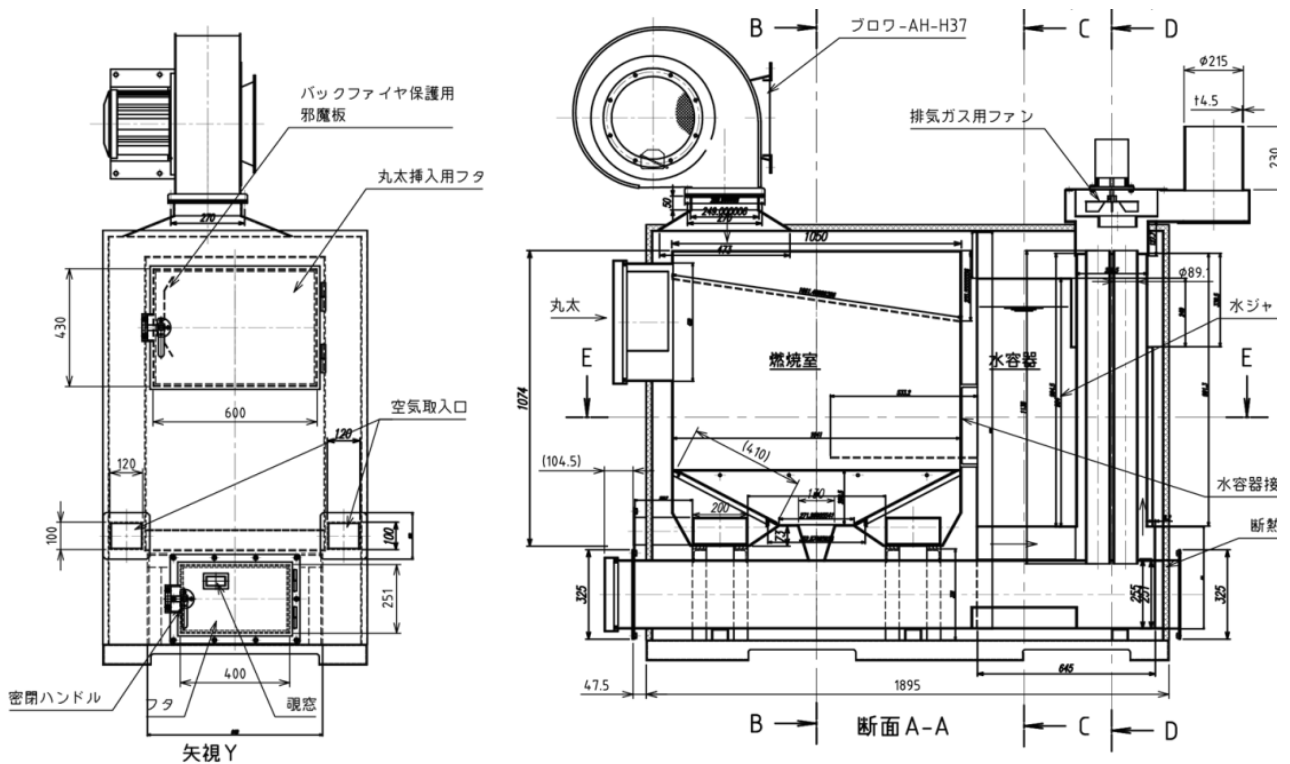
この温風・温水ハイブリッド器の設計・製作にあたっては、前記の丸太燃料容量拡大器の設計・製作の成果を極力活かした。

この試作器（温風・温水ハイブリッド器）の構造を図表 269 に示す。



図表 269 温風・温水ハイブリッド丸太加熱器の構造

製作した温風・温水ハイブリッド器の外観を示す図面を図表 270 に示す。



図表 270 温風・温水ハイブリッド器の外観を示す図面

製作した温風・温水ハイブリッド器の外観と制御盤を示す写真を図表 271 図表 272 に示す。



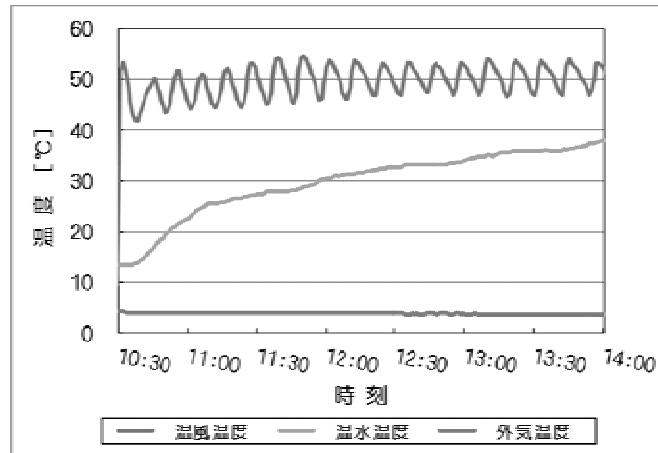
図表 271 温風・温水ハイブリッド器の外観



図表 272 温風・温水ハイブリッド器の制御盤

この試作機の動作試験の結果を図表 273 に示す。

この図から、機能として温風の供給ができて、本体内の水槽の温度の上昇が確認できる。



図表 273 温風・温水ハイブリッド器の動作

5.4 非常時対応機能の検討（オプション機能）

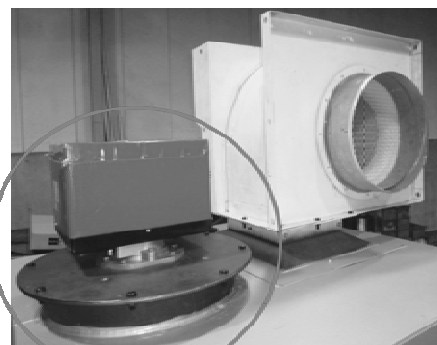
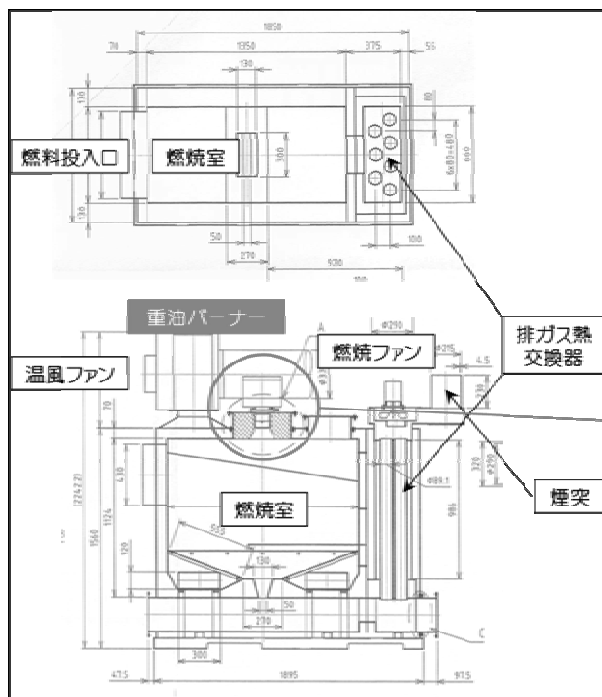
5.4.1 補助重油バーナーの装備

施設園芸農家では、そのほとんどがハウスの加温を重油加温器に依存している。丸太加温器は供給温度の安定性や安価な燃料使用によるコスト削減、化石燃料から木質バイオマス燃料へのシフトによるエネルギー確保の安定性や環境問題への対応に関するアピール性などの有利な特性を有することが特徴である。一方、重油加温器はこれまでの使用実績の蓄積を背景に、燃焼時間も燃料タンクの容量次第で自由に設定でき、通常は数日間の連続運転も可能である。こうした重油加温器の特徴に対して現行の丸太加温器は現状では自動供給ができないので、本体の燃焼炉に燃料を手動で供給する必要がある。この問題の対処策としては、前記の通り燃焼炉の容積を拡大することで対応を試みているが、それでも複数日に亘る連続運転には対応できない。したがって、連続運転時間は重油加温器のようには確保できず毎日の丸太燃料供給作業が必要となるという不利な特性を有する。この問題の対応としては丸太燃料の自動供給が解決策のひとつであるが、装置のコストがかなり大きくなることと丸太燃料のエネルギー体積密度（燃料の単位体積あたりの発熱量）が小さいために燃料供給部を大きくする必要があり、装置の設置スペースがかなり必要になるなどの問題が残る。

そこで、丸太加温器の特性上の欠点を補うために重油バーナーを補助的に備えることで丸太加温器の適用性を広げること考えた。既設の重油加温器を保有しているユーザーはそれをバックアップとすることができるが、既設の加温器を持たないユーザーが新たに丸太加温器の設置を考えるときには、重油バーナーを装備できることは有力なオプションと考えられる。したがって、この開発は丸太加温器の普及にとって欠かせないオプションと考え、補助重油バーナーを備えることができる装置の開発を試みた。

装置は前述した温風式丸太加温器改良器にオプションとして組み込めるようにした。

前記の丸太燃料容量拡大器にバーナーを組み込んだ状態の装置構造を図表 275 に、その外観を図表 274 に示す。



図表 274 概観

図表 275 補助バーナーの組み込みの構造

実際に重油バーナーを組み込むためには、重油バーナー本体を新型温風式丸太加温器に組み込むほかに、重油タンクと重油の供給ポンプ（重力による自由落下が使える場合は不要）が附属機器として必要となる。図表 277 はは新型温風式丸太加温器に重油バーナーを組み込み、重油タンクと重油の供給ポンプの附属機器を装備した状態を示す。また、バーナーの燃焼試験の状態を図表 278 に示す。



図表 276 バーナー用重油タンクの取り付け状態（全体）



図表 277 バーナー用重油タンクの取り付け状態



図表 278 バーナーの燃焼試験

5.4.2 停電対策

日本国内においては、阪神・淡路大震災や東日本大震災など大震災の発生は稀ではなく、今後の発生確率もかなり高いとされている。この状況下では広域に亘る長時間の停電の発生は避けられない。丸太加温器の燃焼では温風供給用の温風ファン、燃焼空気供給用の燃焼ファンがあり、これらは電気により駆動するので電源が必ず必要である。この問題への対処は、停電時に非常用発電機を備えることで解決できる。ここでは非常用発電機を設置し、この電源による安定した運転の可能性を検証した。

検証内容は、非常用発電機として最も一般的と思われるエンジン駆動の非常用発電機を対象として、出力の適正、安定な運転状態の確保、必要な運転時間の確保などである。

現状で一番多く使用している丸太加温器の機種は温風型丸太加温器（NH1000）であり、これを代表的な丸太加温器とすると、この機種の消費電力は 1.9 kW である。温風型丸太加温器の電力の主な消費源は温風を供給するファンと燃焼用の空気を供給するファンである。これらは電動機により駆動されるため、立ち上げ時の電力は定格の 2 倍以上を見込む必要があるため、出力としては 4.5 kW 程度を目安として、HONDA 製の ET4500 を選定した。今回導入した非常用発電機（HONDA - ET4500）の主要な仕様は以下の通りである。

電力供給形態：3 相交流

周波数：60 Hz

定格出力：4.5 kW

燃料タンク容量：13.5 L

連続運転可能時間：約 4.7 時間

寸法：655 × 530 × 90

本体重量：77 kg

騒音レベル：101.8 dB(A)/LWA

起動方法：手動式

また、その外観を図表 279 に示す。



図表 279 導入した非常用発電機の外観

なお、周波数の仕様を 60 Hz としては、試験に使用した加温器の温風ファンの仕様が 60 Hz であったので、これに整合させた。また、起動方法を手動としたのは、今回は原理検証であり、自動起動の必要はないので手動とした。

実際にこの非常用発電機を用いて運転を行った結果、以下のことが確認できた。

- 1) 非常用発電機による丸太加温器の起動を繰り返しても問題なく起動でき、出力の選定に問題のないことを確認した。
- 2) この非常用発電機を用いた運転においては、非常用発電機特有の各種電源要素（電圧、電流、周波数など）の変動に対して問題なく運転を継続できることを確認した。
- 3) 運転時間については、実際に丸太加温器を運転する際にどの程度の非常用発電機の運転時間が確保できるのかを確認した。その結果、非常用発電機の仕様上の連続運転時間は約 4.7 時間とされているが、実際には丸太加温器を連続運転させても 7 時間程度の運転が可能であることがわかった。
- 4) 非常用電源の確保と使用についての原理的な検証ができたので、将来的には、非常用発電機の起動を電動式にすることで加温器の制御のための各種信号との組み合わせにより停電時の自動起動も可能である。
- 5) その他の検証内容としては、騒音、非常用発電機の高さや重量などの検討も含めて既存の非常用発電機の導入で停電対策の構築が実現可能であることが確認できた。この既存の非常用発電機の導入で最小限のシステムの構築が可能であり、経済性を考慮しても丸太加温器のオプション機器とすることが十分に实际的であることが検証できた。

5.4.3 異常時の緊急対応

丸太加温器で考えられる異常時は、丸太燃料燃焼の失火や燃料切れなどである。その他、燃焼炉の過熱による温風温度の異常上昇（温風の送り先が有機材料（ポリエチレンなど）ダクトである場合には溶解の危険も考えられる）なども考えられる。ここではセンサーが異常を検知したら WEB 経由でユーザーに知らせるシステムを構築し検証した。

(1) 検証の対象となる異常検知・伝達システムの考え方

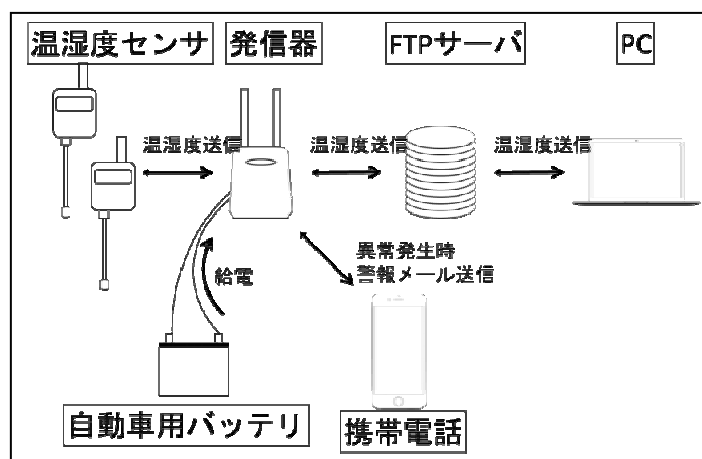
ユーザーが必要とする異常情報は、次のように考えられる。

- ① 加温器本体の異常としては、燃焼炉の燃焼停止による温風や温水の供給温度の異常な低下、逆に燃焼炉の異常な過熱による温風や温水の供給温度の異常な上昇が考えられる。
- ② 加温対象の側の異常として必要な情報は、施設園芸農家であれば農作物を栽培している現場が農作物にダメージを与えるような条件になるときであり、温泉・一般住宅では加温対象（温泉であれば加温している源泉または循環水の供給温度であり、一般住宅の暖房の場合では加温のための温風や温水の温度）の温度が設定範囲を外れることである。

ここでは、異常情報を検知してそれをユーザーに伝達するシステムを構築し、そしてそのシステムが実際に機能することを検証した。

(2) システムの構成

具体的なシステム例としては、施設園芸農家としてはばらを栽培する花卉農家を想定し、ハウスでの管理が一番必要となるポイント（場所）の温度と湿度のデータをリアルタイムでユーザーに発信して伝達し、さらにはそれらの測定値が異常と判断される範囲に入った場合にはアラームを伴って伝達する状況を想定した。基本的なシステム構成のイメージを図表 280 に示す。



図表 280 基本的なシステム構成のイメージ

システムの構成としては、以下の内容を機能させる機器で構成した。

- ① 温度および湿度をセンサーにより検知する。
- ② その検知情報を発信器へ伝達する。
- ③ その発信器からそれらのデータを WEB 経由で指定されたサーバーに送ると共に、異常メッセージをユーザーにメール発信する。
- ④ 現場において発信器に必要な通常の電源がない場合を想定して、簡易的に自動車用バッテリーを電源として機能させる。

(3) システム構成要素の詳細

今回の検証試験で用いた具体的なシステム構成機器は次の通りである。

① 温度/湿度センサー

(株)ティアンドデイ社製の「おんどとり Jr. RTR-503」を選定した。このセンサーは発信器（ここでは「モバイルベースステーション RTR-500MBS」）との無線通信機能を有した温度/湿度センサーである。この温度/湿度センサーは、発信器に温度/湿度データを一定時間ごとに送信する。温度/湿度センサー（「おんどとり Jr.」RTR-503）の外観を図表 281 に示す。



図表 281 温度/湿度センサー（RTR-503）の外観

② 発信器

(株)ティアンドデイ社製の「モバイルベースステーション RTR-500MBS」を選定した。この発信器は最大 20 個の温度/湿度センサー（ここでは RTR-503）と同時に通信可能で、センサーから一定時間毎に送られてくるこれらのデータを 3G 回線によりインターネットを通しての無線通信機能を有した通信機である。この発信器（RTR-500MBS）は、温度/湿度センサー（RTR-503）から受信した温度/湿度データが、あらかじめ指定した閾値を一定時間外れた場合に、あらかじめ指定したメールアドレスへ異常を知らせるメールを発信する機能を持つ。また、RTR-500MBS は RTR-503 から受信した温湿度データを、一定時間ごとにあらかじめ指定したサーバに送信する。これらの機能により、この発信器 1 台を介することにより電力供給のインフラのない無人の状態でも 20 箇所のデータについて連続監視と異常状態の発生をリアルタイムに把握できる。このようなシステムを廉価に組むことができ、生産者が実際の生産現場から遠く離れていても遠隔監視と異常状態の把握ができる。発信器（「モバイルベースステーション RTR-500MBS」）の外観を図表 282 に示す。



図表 282 発信器（RTR-500MBS）の外観

③ 自動車用バッテリー

発信器（RTR-500MBS）の内蔵電源による連続駆動はせいぜい二日間程度という仕様であるため、通常の電源が確保できない場合に長時間の連続駆動が可能となる方法として、自動車用のバッテリーを適用することを考えた。充電せずに 4 か月程度の駆動が可能であると想定した。

(4) 検証試験の方法および結果

① 検証試験の方法

検証試験はモニターを依頼している鴨川の園芸農家の榎本ばら園で行った。ここのハウスの温度と湿度の監視と異常情報の発信を千葉市内の千葉大学でパソコンによるリアルタイムのデータ監視と携帯電話による異常情報の受信を確認、本システムの動作を検証した。異常情報は、設定の異常レベルを試験用に調整して実施した。発信器には通常の電源が必要であるがこのハウスには電源がなく、図表 283 に示すように、センサーを除くシステム構成要素機器をひとつのコンテナに収め、これらの機器が屋外に置いても機能するようにした。

微量でもバッテリーからの作物の生育に影響のあるガスの発生を想定・考慮して、このコンテナはハウスの外（屋外）に置いた。



図表 283 監視・異常情報発信のための屋外発信機器のセット

② 検証試験結果

実際にデータが発信されてデータをリアルタイムで監視できることを確認した。

その後、異常条件を作り、警報メールが届くかどうかを確認した。

以下は実際に送られて来た警報メールの内容である。

実際に送信された警報メールの例(メールアドレスはあえて伏せてある)を以下に示す。

2015/11/18 23:39、温湿度監視 Alerter <xxxxxxx@yyyyyy.com> のメール：

温湿度監視で異常が発生しました

2015-11-18 23:38

[親機:温湿度監視_07]

End of mail

なお、[親機:温湿度監視_07]はセンサーを特定するメッセージである。

また、自動車用バッテリーは、充電することなく4か月以上の連続動作が可能であることを確認した。

5.5 まとめ

現行の丸太加温器は韓国製のものであるが、日本の実情に合わせた本体の改良・改善およびオプション機能の装備の検証を行った。新たな新型温風式丸太加温器の設計・製作、温風・温水ハイブリッド器の設計・製作、オプションとして補助バーナーシステム、非常用発電機による非常時の停電対策、システムや機器の異常時の緊急発信・伝達システムの考案と原理検証をおこなった。

(1) 加温器本体の改良

1) 丸太燃料の投入容量の拡大

現行の丸太加温器の標準的なタイプ（温風型丸太加温器 NH1000：出力 100 kW）では、待機時間のない連続燃焼運転では燃焼時間は約 6 時間であるが、燃焼炉の体積を増加させることで燃焼時間を延伸させることを試みた。その結果、丸太燃料の容量は 1.4 倍としたがほぼこの倍率に比例して約 9 時間の連続運転ができることを確認した。

2) 温風・温水の同時使用等を可能とする温風・温水ハイブリッド器の試作

現行の丸太加温器の温風型および温水型を組み合わせることでそれぞれの長所を生かしつつ短所を補うことを試みた。今回の温風・温水ハイブリッド器は温風供給に着目しているが、その結果、丸太燃料の燃焼が停止しても温風供給の時間が延びることを確認した。

(2) オプション機能

1) 補助重油バーナーシステム

現行丸太加温器は、多くは基本的には既設に化石燃料加温器のあるところへの導入が考えられている。ここでは既存の化石燃料加温器の代表として重油加温器が丸太加温器のバックアップとして機能している。そこで丸太加温器に重油補助バーナーをオプションで取り付けられる装置を開発し、既設の化石燃料加温器を持たないユーザーにもバックアップ機能を提供することを試みた。その結果、重油バーナーの稼働により温風供給が可能であることを確認した。

2) 非常用発電機による運転

丸太加温器の燃焼ではファンや制御装置の駆動のために電源が必要であるが、災害発生時などの停電時を想定して、非常用電源での稼働を検証した。その結果、エンジン駆動の非常用発電機の適用性に問題がないことを確認した。

3) 異常時の緊急発信

丸太加温器で考えられる丸太燃料の燃焼の失火や燃料切れなどの異常をユーザーにリアルタイムで伝達する方法を考案し実証した。その結果、廉価なシステム構成で遠隔地においても複数のデータの常時監視が可能であり、異常時には作業員や管理者の携帯電話やパソコンに警告メールを発信するシステムの原理的な成立性を検証した。

第6章 地域システム化の評価

6.1 システム全体の評価

6.1.1 システム全体の取組結果

本事業は丸太燃料製造とエネルギー利用の大きく2つの事業に分けられる。

丸太燃料製造に関しては長生地域、山武地域、支援チームの3つの組織でシステムを構築した。3組織はそれぞれに特徴があり、その特徴にあったシステムの構築、検討を行った。結果として丸太燃料の製造コストは3組織ともに目標値を下回ったため目標を達成できたといえる。本年度の作業システムは、目標のコストを達成していた前年度の作業システムを踏襲し、様々な条件でも低コスト化が図れるように取り組んだ。長生地域では周辺に多く存在している広葉樹を対象とした施業での低コスト化を図り、山武地域では長時間作業での低コスト化に取り組んだ。本年度から始動した支援チームでは周辺地域で問題化している林地残材を燃料利用すべく取り組んだ。

エネルギー利用に関しては前年度に導入した加温器10台に加え、今年度は16台の加温器を導入した。各モニターにおいて実証試験データの整理を進めており、現状の加温器においてまかなえる施設園芸の設定温度、温室面積、加温時間などが見えてきた。加温器の導入と並行して燃料の乾燥実験や効率的な運用を行うための試験を実施した。

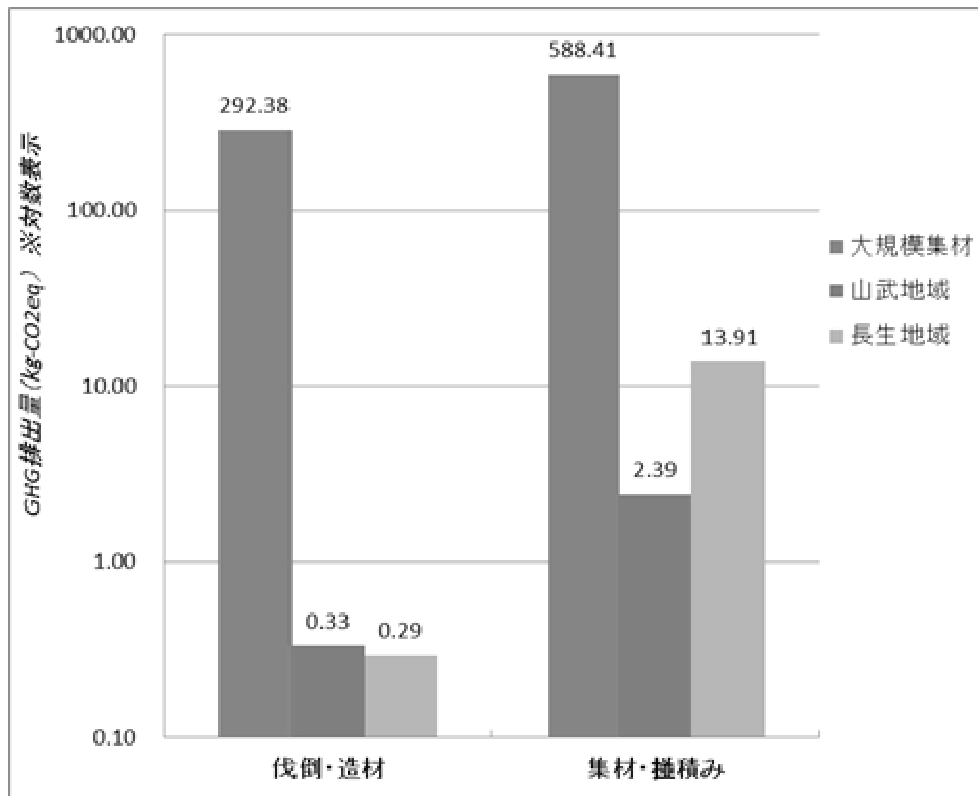
6.1.2 丸太燃料の流通コスト評価

本年度の丸太燃料流通システム構築における目標コストは前年度に目標としていた30円/kgの安定化であったが、各組織でそれを大きく下回る生産コストを達成した。これは丸太燃料による農業用加温器への燃料供給が事業として成り立つことを示唆している。平成28年3月現在では化石燃料の価格は低迷しており、木質バイオマスの導入効果は大きくはないが、木質バイオマスは燃料価格の変動がないことが重要な特徴であり、安定的に低コストな燃料の供給が行えることは本事業の目標を達成したものと見える。一方で、今回の実証試験では丸太燃料製造のための伐採から加工までの工程でのコストであり、山主調整や伐採にかかる準備等を考慮していない。事業として丸太燃料を供給するためにはそうした作業も含めた全体コストの低減が必要であり、今後の課題である。また、実際の加温器運用に際し、化石燃料に対してコストが削減できているかを実証する必要がある、経済的に丸太燃料システムが成立するかを検証することが今後の課題であると考えられる。

6.1.3 丸太燃料流通システムにおける環境影響評価

(1) 小規模林業による環境効果

3年間本事業で取り組んできた人力を主体とした作業システムや身近な機械を改良した作業システム等が従前の林業機械を使用した場合と比較してCO₂の排出量が少ないことは下記の通り、昨年度LCA分析によって示した。



図表 284 温室効果ガス排出量

上記の図から、小規模作業システムは大規模集材と比較して非常に温室効果ガスの発生量が少なく、集材・積み込みに関しては45分の1、伐倒・集材については800分の1以下の排出量となっている。今年度もほぼ同様の作業システムを採用しており、温室効果ガスの排出量は非常に少ないものであると考えられる。そこで、作業システムの環境効果に加え、森林施業における環境評価を行うために事項で森林整備による環境効果を示す。

(2) 森林整備による環境効果

本事業では過去3年間で施業の贈っていた森林の間伐作業を実施してきた。これまで長生・山武地域では間伐遅れが問題になっており、本事業の3年間での間伐の実績は環境効果として評価できると考えられる。3年間で施業した丸太燃料の生産量からCO₂の排出量を算定した。森林整備によるCO₂吸収量の算定に用いた式を下記に示す。

森林整備によるCO₂吸収量 (t-CO₂)

$$= \text{森林施業面積} \times \text{BER} \times D \times (1+R) \times \text{炭素比率} \times U$$

BER：バイオマス拡大係数（地上部バイオマス量/地下部バイオマス量）

R：地上部に対する地下部の比率（地下部バイオマス量/地上部バイオマス量）

D：容積密度 (t/m³)

U：二酸化炭素換算係数

上記の式に基づき、試算の諸条件を下記に示す。なお、森林施業面積については間伐による出材量を50m³/haとし、重量換算では23.5t/haを生産するものと仮定する。

図表 285 本事業3年間における施業実績

	長生	山武	支援チーム
丸太燃料製造量	409t	262t	80t
森林施業面積	17.4ha	11.1ha	3.4ha

図表 286 立木成長量

林齢	地位2等、スギの場合			地位2等、広葉樹の場合		
	25	30	35	25	30	35
成長量 (m ³ /ha)	9.7	9.5	7.4	2.1	2.2	1.8

引用：美しいちばの森林づくり 森林整備によるCO₂吸収量算定基準

図表 287 各種係数

	BEF		R	D	U
	林齢≤20	20<林齢			
スギ	1.57	1.23	0.25	0.314	0.5
広葉樹	1.37	1.37	0.26	0.469	

引用：林野庁HP

上記の算定方法によって算出された森林吸収量は下記のようになる。

図表 288 各チームのCO₂吸収量

	長生	山武	支援チーム
CO ₂ 吸収量	146.3t-CO ₂	93.3t-CO ₂	28.6t-CO ₂

6.2 地域システム化の評価

延べ3カ年に及ぶ一連の実証実験やそれらを支えた参加メンバーによる事業の組織化など「地域システム化の評価」について考察するには下記のような要件でスクリーニングと検証を行うことが必要であり、この結果が「地域システム化の評価」に直結することとなる。

評価の要件としては、

- ・「丸太燃料流通システム」の「事業性・経済性」の検証
- ・継続的に森林再生・里山再生を実施していく「事業主体の構築」
- ・地域特性や事業主体の特徴を考慮した「丸太燃料流通システム」のローカライズ
- ・地域の利害関係者である山林所有者・農業者・地元自治体等からの信頼・合意・連携等の「地域からの認知」
- ・以上の諸要件をベースとした「地域力向上への貢献」

等が挙げられるとともに、またこれら諸要件を具体化し実践していく過程も評価の対象となっていく。以下に上記の諸要件について検証を行う。

6.2.1 「丸太燃料流通システム」の事業性・経済性評価

本事業では、都市近郊の小規模森林における未間伐材・雑木などを、加工・運搬が容易な丸太燃料として丸太加温器による地域熱利用に供するため丸太燃料1kg当りの伐採・集材、積み込み、配送、加工における合計の生産コストを15円/kg(重油の半額)以下として事業性の確保を目指してきた。以下に事業性・経済性について検証する。

(1) 丸太燃料流通システムの生産性向上につながる技術的な課題と解決策

15円/kg以下の生産コストの達成をめざし、長生・山武地域では「長生チーム」「山武チーム」「支援チーム」の3グループが活動しているが、下記の過去3カ年の生産コストの変遷に見られるように大幅な生産性向上を実現してきている。

図表 289 生産コスト向上実績 単位：円/kg

	平成25年度	平成26年度	平成27年度
長生チーム	50.8	7.8	7.17
山武チーム	58.8	5.9	7.86
支援チーム	—	—	10.14

この3グループはそれぞれの活動主体となっている地域の山林や樹種特性、構成員の数や林内作業に対する機械化への姿勢および構成員のスキルレベル等によりそれぞれのグループ特性を活かし様々な技術的課題に取り組んできた。その結果丸太燃料流通システムの生産性向上に資する課題の解決に以下のように取り組み成果を上げてきている。

◆課題の解決策

- ・作業機器及び作業技術の習熟による伐採時間の短縮等の作業員のスキルアップ
- ・モニターサイトにストックヤードを設け全体の作業フローを改善
- ・林内作業におけるスーパーやまびこ等小規模機械の導入
- ・軽トラ軽架線方式による魚骨状列状間伐による伐採・集材方法の効率化
- ・小型林業機械の開発と利用による伐採方法・運搬方法の新たな取り組み

また3グループ相互に上記の生産性向上につながる解決策について情報交換を行うと共に作業現場での共同実習・研修を通し実技の習得を行ってきている。

(2) 地域システムとしての経済性の検証

地域システムとして経済性の評価を行う場合、「供給と需要」の両面からこれを検証していく必要がある。

いわゆる「供給」については「丸太燃料供給事業者側から見た経済性評価」となり、「需要」については「丸太燃料受給者側から見た経済性評価」となる。この両者の経済性がそれぞれ成り立つことが「丸太燃料流通システム」の事業としての成算を裏付けることとなる。

1) 丸太燃料供給事業者から見た経済性評価

図表 290 丸太燃料供給事業者から見た経済評価

	伐採・ 集材	積み込み	配送	加工	合計
山武チーム	4.43	0.50	0.52	2.41	7.86
長生チーム (クレーン付トラック)	2.10	1.18	1.26	2.63	7.17
支援チーム (伐採なし)	0.75	1.49	3.17	4.73	10.14

生産コスト(円/kg)

上図のように丸太燃料 1kg 当りの伐採・集材、積み込み、配送、加工における合計の生産コストが3グループ共に 15 円/kg を大幅に下回っており、例えば 1kg15 円として販売価格を設定しても供給事業者として事業が成り立つ可能性を示している。

また「山武チーム」、「長生チーム」、「支援チーム」のそれぞれの生産コストをベースに3事業体合同にて本年度4回ビジネスレビューを行い、当プロジェクト終了後の平成28年度の事業収支を下図にまとめた。森林整備・危険木伐採、丸太燃料供給、丸太加温器販売、林業用小型機械販売という「丸太燃料流通システム」を中核とした事業としての成算があることを示している。

図表 291 本事業終了後の3事業体の平成28年度収支

		山武チーム	長生チーム	支援チーム
収入	森林整備・危険木伐採	4,100,000	12,000,000	18,000,000
	丸太燃料供給	1,500,000	2,595,000	2,180,000
	丸太加温器販売	0	0	12,000,000
	用材販売	240,000	0	0
	薪販売	0	4,830,000	800,000
	空間利用	2,500,000	1,950,000	2,400,000
	林業用 小型機械販売	1,800,000	0	0
収入計		10,140,000	21,375,000	35,380,000

支出	人件費・外注費	6,324,000	13,995,000	11,690,000
	事務所・運営費(家賃、SY賃料等)	1,790,509	4,872,990	19,341,400
	機材購入積立費	1,680,000	1,800,000	1,200,000
	各種保険(労災・車両・対人対物等)	600,000	661,560	960,000
支出計		10,394,509	21,329,550	33,191,400

ネット	-254,509	45,450	2,188,600
前年度繰越金	554,249	1,430,048	831,700
年度末積立金	299,740	1,475,498	3,020,300

(注) 一部を厚生年金加入の準備金としている

図表 292 事業主体の自立・自営を支援する「流通コストシミュレーター」の整備

①流通コストの試算を行い収支の改善に繋げる

②伐採・集材コストの試算を行い収支の改善に繋げる

(例) 事務所 → 伐採現場 → ユーザー → 事務所

(例) 事務所 → 伐採現場 → ユーザー → 事務所

丸太流通コストシミュレーター

数値も入力し計算ボタンを押してください。*マークは入力必須です

基準樹データ# 長生チーム
 流通コスト# 仕入れの運送
 ユーザー名# 神崎バラ園

年間伐採丸太供給量# 1000 t
 配送パターン# 山から運送
 ユーザー丸太供給量# 10 t

片道距離の入力項目

事務所から山	12.4 km
事務所からSY	0 km
事務所からユーザー	6 km
山からSY	0 km
山からユーザー	13.5 km
SYからユーザー	0 km

作業場周辺の入力項目

伐採 Normal
 集材 Normal
 積み Normal
 加工 Normal

移動方法の入力項目

伐採 積り
 配送 丸へ流

計算する ユーザー情報を保存

計算結果
 神崎バラ園 様 までのあたりの流通コストは、10,340 円です。

丸太流通コストシミュレーター

数値も入力し計算ボタンを押してください。*マークは入力必須です

基準樹データ# 長生チーム
 流通コスト# 伐採・集材コスト(自採)
 ユーザー名# 神崎バラ園

年間伐採丸太供給量# 1000 t
 配送パターン# 山から運送
 ユーザー丸太供給量# 10 t

片道距離の入力項目

事務所から山	12.4 km
事務所からSY	0 km
事務所からユーザー	6 km
山からSY	0 km
山からユーザー	13.5 km
SYからユーザー	0 km

作業場周辺の入力項目

伐採 Normal
 集材 Normal
 積み Normal
 加工 Normal

移動方法の入力項目

伐採 積り
 配送 丸へ流

計算する ユーザー情報を保存

計算結果
 神崎バラ園 様に配送するには、伐採・集材をあたり6,600 円で行う必要があります。

また大規模森林向けの「コストシミュレーター」ではなく、小規模森林向けに一件一件の取引単位で損益を把握することが出来るよう「山武チーム」「長生チーム」「支援チーム」のそれぞれの伐採・集材、積み込み、配送、加工の各段階の生産コストをベースに上図のような「流通コストシミュレーター」を作成した。これにより顧客及び見込み顧客からの注文毎の生産コスト（いわゆる原価）を見積もることが出来るようになり、それぞれの事業体毎に各取引に対応した損益を把握することが出来、事業体の収支改善に役立てることが出来る。

2) 丸太燃料受給者（丸太加温器利用者）から見た経済性評価

① 施設園芸農家における経済性評価

A) 丸太加温器・重油ボイラー併設での経済性評価の必要性

山武・長生地域の施設園芸農家のうち加温施設導入面積割合は約 42%程度と推定され、加温施設導入数は 1060 程度といわれている。その大半の施設園芸農家が重油ボイラーを主体とする農家であり、その他の農家では暖房施設を必要としていない。そこですでに重油ボイラー等を利用している施設園芸農家が丸太加温器の見込み顧客となる。

重油ボイラーのような CO₂ 排出源をカーボンニュートラルな木質バイオマス燃料に無理なく移行させる方法として施設園芸農家の重油加温設備を丸太加温器のバックアップとすることは、作物が要求する微妙な温度コントロールに対応できる重油加温設備の特徴を發揮させながら、ベース熱源を丸太加温器に変更することで現行の重油の使用量を減らし CO₂ 排出削減に貢献することができる方法となる。よって丸太加温器・重油ボイラー併設での経済性評価が必要となる。

B) 施設園芸農家の経済性評価

そこで上記前提での経済性評価について、モニターとなっている標準的な規模の施設園芸農家を取り上げて検証したい。

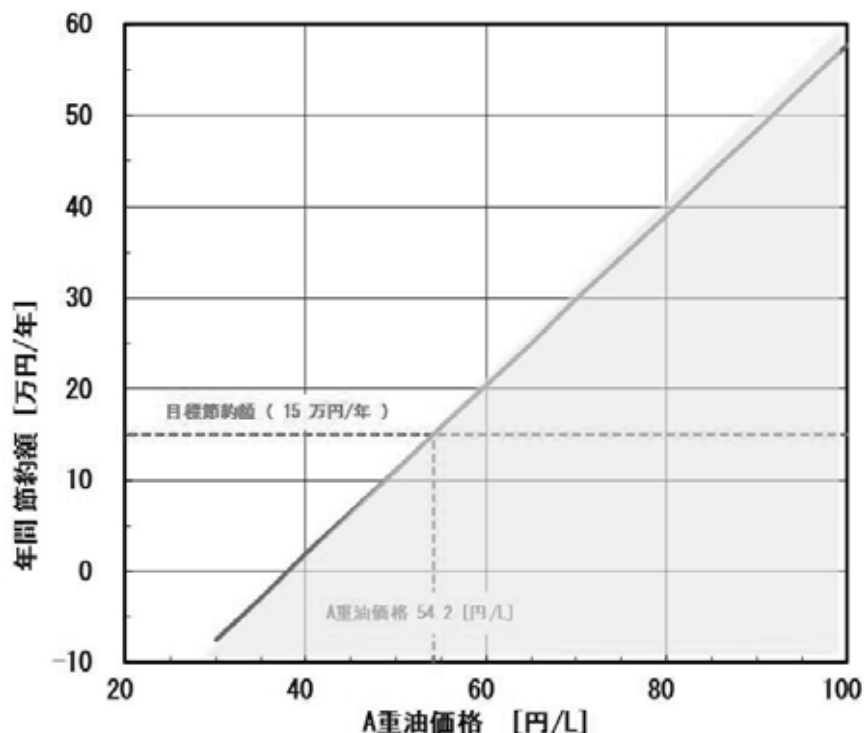
経済性評価のファクターとしては丸太加温器のイニシャルコスト、公的補助率、減価償却期間と償却金額/年、重油の小売価格、丸太燃料の小売価格が考えられ、以下 4 点を経済性評価の前提とする。

- ・丸太燃料の供給価格は 15 円/kg とする
- ・丸太加温器のイニシャルコストとしてこれまでの運用と国産化の実績を踏まえて、平均的な本体価格を 140 万円、付属付帯設備を 20 万円、合計 160 万円とする
- ・施設園芸農家の暖房機導入に伴う公的補助率は 1/3 とする
- ・農業用設備の耐用年数は 7 年である

上記前提より、丸太加温器本体及び付属付帯設備は総計 160 万円となるが、その 1/3 が補助金として補填されるため、実質負担額の 106 万円が償却資産対象となる。これを農業用設備の減価償却資産の耐用年数 7 年で定額償却すると年間 15 万円の償却金額となる。

よって主として丸太加温器を使用し重油加温設備をバックアップとして使用する場合の経済性評価としては、丸太燃料及びバックアップとして必要となる重油燃料の使用を含めミニマム年間 15 万円以上の燃料コストの削減効果が必須となる。

そこで標準的な規模のモニター農家より収集した実証試験の解析結果から、主として丸太加温器を使用する場合の「重油価格と年間節約額の関係」を以下の図に示す（この図は丸太加温器によるハウス暖房のトータルの熱供給量を 80% と想定し残り 20% が重油ボイラーによるバックアップとしての熱供給を意味する）。

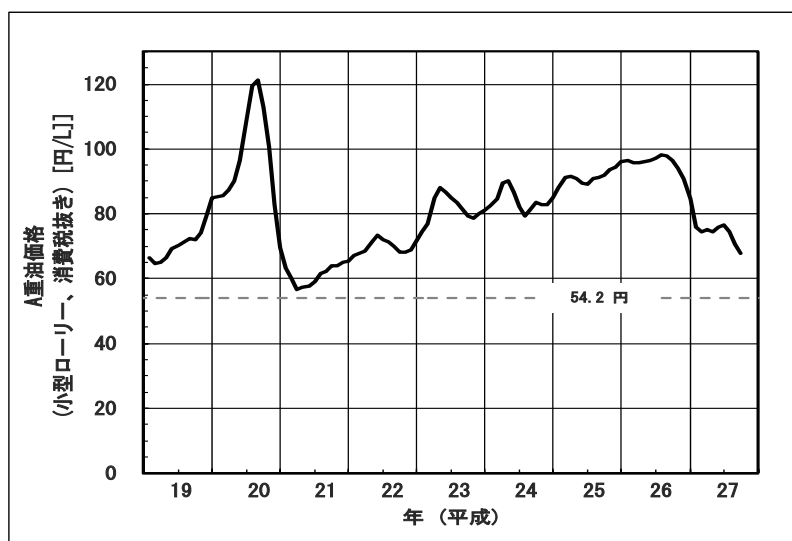


図表 293 A 重油価格と年間節約額の関係

注) 上図は 78 ページの図表 182 「シーズン (年間) の燃料費」の……線部分を X 座標として変換したものである

上図により、A 重油の価格が 54.2 円/L 以上であれば重油ボイラーをバックアップとして使用しても丸太加温器導入の経済的効果が出てくる。例えば下記に示す一般社団法人日本エネルギー経済研究所による本年の A 重油の小売価格を参考に A 重油の価格が 62 円/L の場合を想定しても (2015 年 1 月から 12 月までは 62 円/L を下回っていない) 年間約 23 万円の燃料コストの削減が実現し、償却金額年間 15 万円との差額 8 万円がモニターのようなハウス暖房農家にとっての収入増となる。

また参考までに同研究所による過去 9 年間の A 重油の小売価格の変動を下図に示す。



図表 294 A 重油の小売価格の変動

まとめ

以上のように全熱供給量のうちの 20% を重油加温設備でバックアップするとすれば丸太加温器償却費を考慮しても重油価格が 54.2 円/L 以上であれば経済性は成立し、重油価格がさらに上昇すればするほど経済効果は大きくなる。したがって、重油加温設備に丸太加温器を付加しても経済性は成立させられる見通しである。

主要な施設園芸農家は既に重油加温設備を設置しているため、今後そのような施設園芸農家への普及を目指す。なお、同施設園芸農家では複数棟（～10棟）のハウスを持っている場合が多いので、1棟に試験的に入れた後に他のハウスにも拡げていくことを狙う。

② 温泉施設における経済性評価

施設園芸農家における経済性評価の章で触れた様に「温泉施設における経済性評価」についても丸太加温器・LPG 加温器併設での利用が現実的であり、その前提での経済性評価が必要となる。

そこでモニターとなっている中規模の温泉施設を取り上げて検証したい。

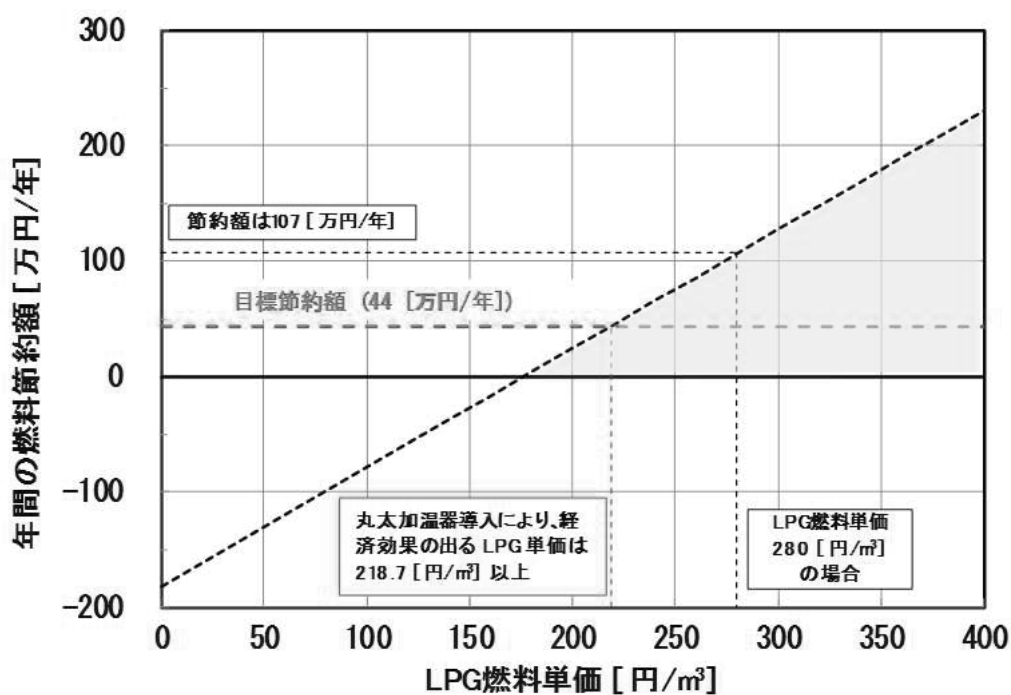
経済性評価のファクターとしては前章と同様、丸太加温器のイニシアルコスト、公的補助率、減価償却期間と償却金額/年、LPG 事業者向け価格、丸太燃料の小売価格が考えられ、以下 5 点を経済性評価の前提とする。

- ・丸太燃料の供給価格は15円/kgとする
- ・丸太加温器のイニシアルコストとしてこれまでの運用と国産化の実績を踏まえて、平均的な本体価格を120万円、付属付帯設備を144万円、合計264万円とする
- ・99ページに記載のように設置する丸太加温器は2台とする
- ・温泉施設の暖房機導入に伴う公的補助率は1/3とする
- ・加温設備の耐用年数は8年である

上記前提より、丸太加温器本体及び付属付帯設備は総計 528 万円となり、その 1/3 が補助金として補填されるため、実質負担額の 352 万円が償却資産対象となる。これを加温設備の減価償却資産としての耐用年数 8 年で定額償却すると年間 44 万円の償却金額となる。

よって丸太加温器を使用し LPG 加温器をバックアップとして使用する場合の経済性評価としては、丸太燃料及びバックアップとして必要となる LPG 燃料の使用を含めミニマム年間 44 万円以上の燃料コストの削減効果が必須となる。

そこで中規模の温泉施設より収集した実証試験の解析結果から、丸太加温器を使用する場合の「LPG 燃料単価と年間節約額」の関係を以下の図に示す（この図は丸太加温器による温泉施設加温の熱供給量をトータル 50%と想定し残り 50%が LPG 加温器によるバックアップとしての熱供給を意味する）。



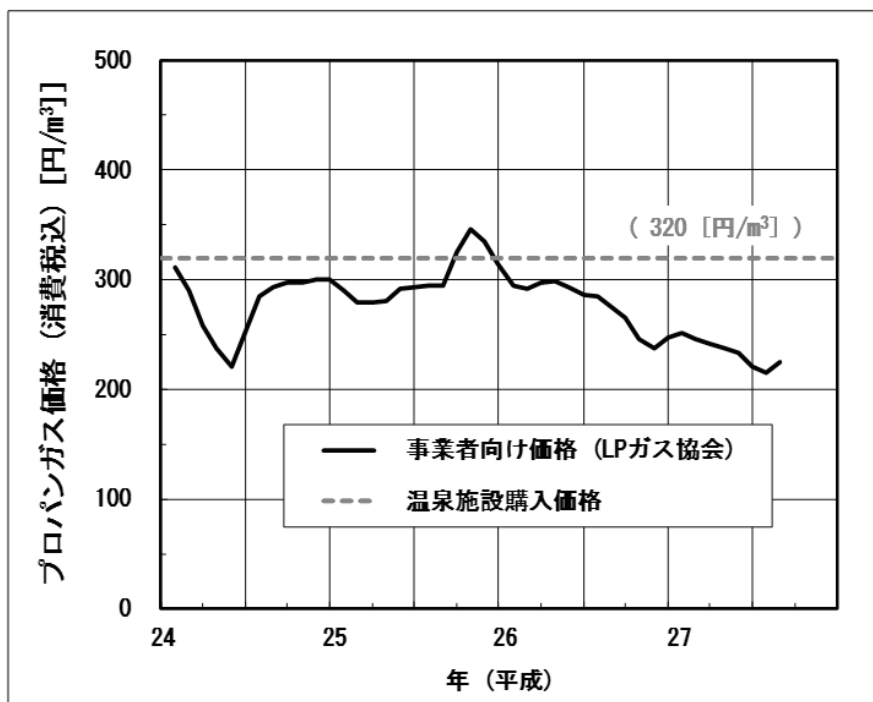
注1)丸太加温器は現行器の性能から考え2台の導入を想定する

図表 295 LPG 燃料単価と年間節約額

(注) 上図は 100 ページの図表 219 「丸太加温器で供給熱量の 50%を賄うときの燃料費」の……線部分を座標として変換したものである

上図により、LPG 単価が 218.7 円/m³以上であれば LPG 加温器をバックアップとして使用しても丸太加温器導入の経済的効果が出てくる。例えば下記に示す日本 LP ガス協会による 2015 年 12 月の LPG 単価事業者向け価格を参考に LPG の価格が 280 円/m³の場合を想定しても年間約 107 万円の燃料コストの削減が実現し、償却金額年間 44 万円との差額 63 万円がモニターのような中規模の温泉施設にとっての収入増となる。

また参考までに日本LPガス協会による平成24年以降のLPG価格の卸売価格（事業者向け価格）の変動を下図に示す。



- <出典>
- ・ 日本LPガス協会
統計資料/価格（消費税込）
(<http://www.j-lpgas.gr.jp/stat/kakaku/>)
 - ・ 温泉施設は聞き取り調査によるデータ

図表 296 LPG価格の卸売価格（事業者向け価格）の変動

6.2.2 「丸太燃料流通システム」を基盤とする事業主体の構築

前章では「地域システムとしての経済性の検証」を中心に「山武チーム」「長生チーム」「支援チーム」3事業体における収支を見てきた。しかしこれら3事業体が地域システムとして地域に根付き継続的に森林再生・里山再生を実施しうる「地域のモデル組織」となるためには、この3事業体の組織としての成熟度を高める必要がある。

このため、まず2014年12月には「長生チーム」メンバー14名を対象に、民間のCPS（Customer Planning Session）手法を取り入れた「長生チーム」事業継続計画策定会議を実施した。このCPS手法は事業主体の課題の発掘やその解決策を具体的に経営計画としてまとめ実践していくためのものである。この会議を通じ、一般社団化を念頭にした組織の理念、事業領域及び組織体制の明確化を計ると共に、2015年5月7日、6月1日、8月3日、8月17日4回にわたりCPSのフォローアップとしてビジネスレビューを行い「長生チーム」事業継続計画の改善・具体化を行った。

なお「長生チーム」は2015年9月に一般社団法人「もりびと」としてスタートしている。

また「支援チーム」については、2015年6月8日、7月25日、2016年1月24日と3回にわたり、CPS手法を取り入れたビジネスレビューを行い、これも本年3月を目途に一般社団化を図るための組織の理念、事業領域及び組織体制の明確化を図った。

また3事業体の代表者合同にて2015年度前半（8月31日、9月7日）、後半（2016年1月13日、1月19日）各2回にわたり2015年度および2016年度の月別収支の策定とレビューを行った。

この結果が153ページの「図表 291 本事業終了後の3事業体の平成28年度収支」となっている。

当レビューでは、それぞれの事業体の収支状況の確認と比較、何が収支の差となっているのか、その原因等を相互に確認することで、事業体の経営に関する「経営者としての Capability」について自覚と習熟度を深めている。

なお「山武チーム」については組織発足後すでに一定の時間が経ち運営についても安定しているためCPS等は実施していない。

6.2.3 地域特性や事業主体の特徴を考慮した「丸太燃料流通システム」のローカライズ



特徴	地域からの認知
山武チーム ・丸太燃料の供給・販売 ・小型林業機械の開発と利用 ・森林整備後の空間利用	・森林組合地元事務所への軽トラウインチの展示 ・森のウェディングによる山林所有者・地元農家との連携
長生チーム ・丸太燃料の供給・販売 ・人を中心 ・森林整備後の空間利用	Webで情報発信(3月予定) ・地元自治体からの杉林・竹林・防災用伐採訓練の依頼等 ・山林所有者からの危険木処理
支援チーム ・丸太燃料の供給・販売 ・丸太加温器販売 ・森林整備後の空間利用	・Facebookでの情報発信(3月予定) ・森林組合地元事務所からの受注実績 ・「緑の雇用」認定事業体の取得を目指す

図表 297 事業主体の特徴と地域からの認知

山武杉を主な樹種とする山武地域ではNPO（山武チーム）を中心に常時3人、延べ5人のメンバーが活動しており、少数ゆえに自ら改良・開発を加えた小型林業機械を使用し伐採・集材・運搬等の森林作業の効率化を図っている。

一方、雑木・広葉樹を主な樹種とする長生地域では一般社団「もりびと」（長生チーム）を中心に常時15人、延べ20人のメンバーが自伐林家型の森林作業を人を中心に行うとともに、中間土場を省略しモニターサイト（近い将来の消費者）にストックヤードを設けるなど作業工程を短縮することで生産性の向上を目指している。この為定期的にチェーンソーや小型林業機械の実地講習を行いメンバーのスキルアップを図っている。

また山武・長生両地域を含む広域を担当している支援チームでは常時4人、延べ15人のメンバーが林地残材の利用も含めた丸太燃料の供給・販売だけでなく、丸太加温器の販売・メンテナンス含め上流から下流まで一貫した事業を立ち上げようとしており、「緑の雇用」認定事業体の取得も目指している。

6.2.4 地域の利害関係者である山林所有者・農業者・地元自治体等との信頼・合意・連携等の「地域からの認知」

また「地域のモデル組織」となるためには、前述のような事業体としての習熟度を高めると同時に、ステークホルダーである山林所有者・ハウス農家等との信頼・合意形成が欠かせない。また森林及び里山の再生・整備や地域を活性化していく施策作りの中核となる地元自治体との連携も必須である。図表 297 のように 3 事業体共に本モデル地域づくり推進事業をきっかけとした「丸太燃料流通システム事業」、「森林整備後の空間利用事業」を通じ山林所有者・ハウス農家等からの認知を得つつある。

また過去 9 回に及ぶ地元自治体を含めた地域協議会の開催及び地元自治体からの危険木伐採・防災用伐採訓練等への支援依頼に対する対応などを通じ地元自治体との連携も強化されつつある。

6.2.5 地域力向上への貢献

本事業による取り組みは、ハウス農家や園芸施設、地域の旅館・観光施設、商業施設等への熱利用を媒介として林業と農業その他サービス産業等が丸太燃料と丸太加温器により緊密に関連付けられることを意味する。また森林や里山の価値を改めて引き出す下記のような地域のアイデアと多様な取り組みによって、近隣都市からの集客も可能にする事業モデルとして地域の活性化に繋がることで、都市近郊森林の再生や持続可能な農山村の再構築の一助となる。

例えば長生地域では、「もりびと」事業継続計画策定会議の中で森林整備の結果可能となる森林空間の利用を目指し、ログハウスでの滞在や丸太ストーブを愉しむ田舎暮らし体験、ツリークライミングやマウンテンバイク競技、ツリーハウスの建設やサバイバルゲーム・アスレチック場も含めた子供の遊び場づくり、森林セラピーとあわせた森林散歩イベント、クラフト作家達による森の展示イベントといったような多様な企画が提案され次年度以降に向けてより具体的に検討していくこととなる。

今後はこれら多様な取り組みに対し地元住民とのより緊密な連携と協働を深め、地域への還元（公園や福祉施設などの公共施設・公共の場への活動成果の還元、例えば里山の下刈り・雑木や危険木の伐採等による清掃・美化・安全の確保など）を重ねていくことで地元住民や自治体を含めた地域力の向上に貢献し地域の活性化を担う一翼となっていくことが期待される。

また地域システムとして自立し継続していくためには、本実証実験終了後も上記のような「地域システム化の評価」に繋がる 5 要件（事業性・経済性評価、事業主体の構築、丸太燃料流通システムのローカライズ、地域からの認知、地域力向上への貢献）の進捗を定期的に確認していく必要があり、事業主体と第三者による継続的な PDCA レビューを行っていくことが肝要である。

6.3 開催行事等

6.3.1 地域協議会の開催

千葉県山武・長生地域の市民活動団体、民間企業、行政、千葉大学により丸太利活用地域協議会を3回開催した。林業と農業の両方の関係行政機関と地域で森林再生活動を展開する市民団体と千葉大学とで、地域のバイオマスエネルギー利用を円滑に進めていくための意見交換をすることができた。

第1回地域協議会

日程 : 平成27年 9月30日(木) 14:00～16:00

場所 : 長柄町公民館講義室

参加人数 : 計22名

図表 298 参加機関一覧

千葉県農林総合研究センター森林研究所	NPO 法人 CHIMES
千葉県北部林業事務所 森林振興課	FMP さんむ森の小人
山武農業事務所	NPO 法人 竹もりの里
長生農業事務所	一般社団法人 もりびと
山武市農林水産課バイオマス推進室	キュアフォレスト
長柄町事業課産業振興班	千葉大学大学院 工学研究科
株式会社森のエネルギー研究所	

<内容>

- ①開会
- ②会長挨拶
- ③出席者紹介
- ④事業概要説明
- ⑤成果報告と実施計画
 - (1) 26年度事業の実施内容
 - (2) 27年度実施計画
- ⑥進捗報告
 - (1) 丸太燃料製造の実証試験
 - (2) 加温器の実証試験
- ⑦先進地視察報告 道志村
- ⑧質疑応答
- ⑧閉会



<配布資料>

- ・議事次第
- ・事業概要説明書
- ・実施スケジュール
- ・26年度成果報告書
- ・進捗報告

第2回地域協議会

日程 : 平成27年 12月14日(水) 13:30 ~ 15:30
 場所 : 山武市役所3階第5会議室
 参加人数 : 計31名

図表 299 参加機関一覧

千葉県農林総合研究センター森林研究所	NPO 法人 CHIMES
千葉県北部林業事務所 森林振興課	FMP さんむ森の小人
山武市農林水産課バイオマス推進室	NPO 法人 竹もりの里
千葉県山武農業事務所	一般社団法人 もりびと
長南町事業課 産業振興班長	キュアフォレスト
千葉県森林組合北総事業所	NPO 法人 元気森守隊
株式会社森のエネルギー研究所	千葉大学大学院 工学研究科
タイセイマシナリー株式会社	

<内容>

- ①開会挨拶
- ②発表 山武市の木質バイオマス利用ー木の駅の取組みー
秋葉正明 山武市農林水産課バイオマス推進室長
- ③発表 オーストラリアの林業と木質バイオマス利用の今ー現地訪問報告ー
佐藤政宗 株式会社森のエネルギー研究所 実践コンサルティング部 チーム長
- ④山武市木の駅見学
- ⑤閉会

<配布資料>

- ・次第
- ・事業概要説明書
- ・丸太燃料製造、流通システムのコスト検討
- ・山武市の概要、木の駅プロジェクト
- ・オーストラリアの林業と木質バイオマス利用の今
- ・元気森守隊 説明資料



第3回地域協議会

日程 : 平成27年 2月29日(木) 13:30 ~ 16:00
 場所 : 有野実苑 オートキャンプ場レストラン (山武市板中新田)
 参加人数 : 計45名

図表 300 参加機関一覧

千葉県農林総合研究センター森林研究所	道志村 地域おこし協力隊
千葉県北部林業事務所 森林振興課	有限会社ラボコスタ
山武市農林水産課バイオマス推進室	NPO 法人 CHIMES
千葉県長生農業事務所	FMP さんむ森の小人
千葉県山武農業事務所	NPO 法人 竹もりの里
長南町事業課 産業振興班	一般社団法人 もりびと
千葉テレビ放送	キュアフォレスト
日刊工業新聞	有野実苑
朝日新聞	たがやす倶楽部
新千葉タイムス株式会社	株式会社巴商会
千葉日報社	千葉大学大学院 工学研究科

<内容>

- ①開会
- ②会長挨拶、有野実苑紹介
- ③加温器、露天風呂見学
- ④マッシュプーリー木材搬送システム見学
- ⑤お話：森林を軸として中山間地で生きるために
大野航輔（道志村地域お越し協力隊）
- ⑥成果報告（有野実苑の実証試験を中心に）
- ⑥閉会

<配布資料>

- ・次第
- ・有野実苑加温器概要
- ・マッシュプーリー配置図
- ・「森林を軸として中山間地で生きるために」資料



次ページにプレスリリースを示す。

**日本初、千葉大学のサポートによる「丸太燃料流通トータルビジネス」を立ち上げ
地域の若者達による新規事業が都市近郊里山荒廃林の整備に貢献**
～重油の半額の燃料と廉価な丸太加温器が地域の雇用・環境・経済を変える～

千葉大学大学院工学研究科中込秀樹教授は、木質バイオマスエネルギー利活用を目指した研究開発を進展させ、今年4月より社団法人及びNPO法人(※)をサポートし、山武・長生地域を中心とし、園芸ハウス暖房や温泉水加温用に、森林の伐採から丸太燃料への加工、配送、丸太燃料加温器の販売・設置までを一手に引き受ける総合的な事業を日本で初めてスタートさせます。2月29日(月)には加温器や集材機器の見学会(丸太利活用地域協議会)を開催します。ぜひお越し下さい。

※ 社団法人：もりびと、キョウフォレスト、NPO法人：CHIMES

■事業開始の背景～日本の林業の現状～

▶**問題点**：林野庁は、林業の大規模化・集約化・機械化を推奨する「森林林業再生プラン」を新たに制定したが、千葉県のような都市近郊の小規模な森が点在する里山地域には適用が難しい。

▶**システム構築と新規事業への展開**：中込研究室はH25～27年度に、林野庁の「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」(総事業費5.1億円)により、都市近郊小規模森林の再生と地域活性化のための丸太燃料流通システムを構築し、H28年度から3法人による自立した事業をスタートさせる。

千葉大学は新規事業に対するビジネスレビュー、丸太加温器の製品化・普及支援、データ取得と解析・シミュレーション等の技術的サポートを継続するとともに、国内他地域への「丸太燃料流通ビジネス」の普及を目指す。



▲丸太加温器、丸太燃料と園芸用ハウス

■「丸太利活用地域協議会」(見学会)の開催 (詳細は別紙)

【日時】2月29日(月)13:30～16:00

【場所】有野実苑オートキャンプ場レストラン

【内容】①丸太加温器・露天風呂、②マッシュプルーリー集材実演の見学あり。



▲集材作業(マッシュプルーリー)

■新規事業立ち上げに至るポイント

①加工の簡単な丸太燃料で重油の半分以下の燃料コストを達成

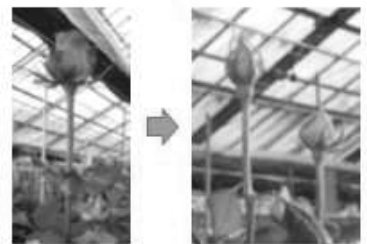
薪・チップ・ペレットに比べて加工コストの低い丸太を燃料とする事、伐採・集材・加工等の森林作業を、人手に加えて自ら工夫した小型林業機械を併用して生産性を高める事により、低コスト化を実現。

②廉価な丸太加温器により経済性の成立を目指す

県内の大規模な園芸農家は既に重油加温器を設置している上、従来のバイオマス加温器やボイラーは高価であった。そこで、新たな丸太加温器の設置がコスト増にならないよう、廉価な加温器をベースに高性能化の改良・改善を行う事により性能とコスト目標の両立を達成した。

③オンラインデータ収集、シミュレーションの活用

丸太加温器導入による付加価値の創出を目指して、ハウス内の温度・湿度データの常時モニター、温度分布のシミュレーション等による最適育成条件を確立することにより、ある園芸農家では茎の太い丈夫で商品価値の高い薔薇が育成できた。



▲従来の重油加温器で生育した薔薇(左)に対して丸太加温器では太い茎の薔薇(右)が育っており、商品価値が上がる

■今後の展開と社会に与えるインパクト (詳細裏面参照)

①県内施設への加温器や丸太燃料の供給による、森林整備と環境保全の両立

②地域における若者達の働き口の創出

(都市に働きに出る予定だった地域の若者達、都市部でのオフィスワークになじめない若者達、林業女子等が参加している。)

本件に関するお問い合わせ・取材のお問い合わせ
千葉大学大学院工学研究科 中込研究室 足立真理子
TEL: 043-290-3352 メール: adachi-mariko@restaff.chiba-u.jp

■今後の展開と社会に与えるインパクトの詳細

①丸太燃料流通トータルビジネスは伐採から燃料加工・供給、加温器の販売・設置までを一手に担う事により、加温器の販売で自ら丸太燃料の需要を生み出せること、常に燃料の需要と供給のバランスの適正化をはかれることが大きな特徴である。一方従来の林業は山主、伐採事業者(森林組合等)、製材業、工務店、ボイラー製造業者等が相互に独立して流通経路は複雑であり、更に国産材の需要先の創出も大きな課題であった。

H25～27年度の林野庁委託事業では県内26箇所の園芸ハウス農家、温泉施設、床暖房用途等へ、加温器の導入検証・実証をしており、来年度以降も丸太燃料を供給していく。

②さらに3法人の30名程度のメンバーが、森林整備、薪・用材販売、加温器販売、森林イベント等を通して事業の維持・発展を目指す。その中には、都市に働きに出る予定だった地域の若者達、都市部でのオフィスワークになじめない若者達、林業女子等多様なメンバーが参加している。自然の中で物よりも心の満足を求めるこれらの若者達は今後も増えていくと考えられ、地域における彼らの働き口の創出と国土の7割を占める森林の整備の両立を目指す本事業の意義は大きい。

■事業主体となる3法人

○社団法人：もりびと

長生地域を中心に、森林整備事業、危険木処理事業、間伐材クラフト販売、間伐材ワークショップの運営を通して里山産業の創出を目的とする。

○社団法人：キュアフォレスト 注)設立手続き中

山武地域を中心として県内全域を対象に、丸太加温器という出口を作りながら自ら森林整備を進め、加温器の販売・メンテナンスから丸太燃料供給、木材製品の製作・販売を通して林業の六次産業化を目指す事を目的とする。

○NPO法人：CHIMES

山武市を中心とした地域の住民に対してアーティスト派遣や設備レンタルを含めた音楽祭始めその他イベント等の企画運営、山武杉等の地域産品の普及啓発に関する事業を行い、環境保全や教育、芸術、文化の発展に寄与する事を目的とする。

■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（25～27年度）

森林資源をエネルギー源として有効活用し、低炭素社会の実現、森林整備の推進、雇用の確保等を図ることを目的とした林野庁委託事業。

※ 木質バイオマスエネルギーとは

「バイオマス」とは、生物資源(bio)の量(mass)を表す言葉であり、「再生可能な、生物由来の有機性資源（化石燃料は除く）」のことを呼ぶ。その中で、木材からなるバイオマスのことを「木質バイオマス」と呼ぶ。木質バイオマスには、主に、樹木の伐採や造材のときに発生した枝、葉などの林地残材、製材工場などから発生する樹皮やのこ屑などのほか、住宅の解体材や街路樹の剪定枝などの種類がある。

つまり、木質バイオマスエネルギーとは、「木を利用した燃料（エネルギー）」である。



▲チェーンソーによる伐採



▲集材機械(スーパーやまびこ)



▲丸太燃料の集積の様子



▲ATVウインチを使用した集積の様子



▲温泉施設用の丸太加温器と熱交換器

6.3.2 視察、見学会

1. 千葉県森林組合安房支所見学

実施内容：作業現場及びストックヤードの見学

日程：5月26日（火）10:30 集合

集合場所：南房総市和田町黒岩 380-5

電話：0470-47-2227

スケジュール

- 10:30 森林組合安房支所事務所
- 11:00 森林組合の紹介、説明
- 12:00 スtockヤード見学、昼食
- 13:30 伐採現場へ移動、見学
- 15:00 解散

参加者：18人



2. 道志村視察

実施内容：中山間地域において地域おこしの手段として木質バイオマスエネルギー利用と地域森林の整備をすすめるため行政の取り組んでいるストックヤードと熱利用施設（道志の湯）を視察し、同施設を運営する道志村地域おこし協力隊のみなさんとの交流により、ハードとソフトの両面から先進地の取り組みについて学んだ。

日程：日時：7月8日(水)～9(木)

場所：山梨県南都留郡道志村

集合場所：道の駅どうし 〒402-0219 山梨県南都留郡 道志村 9745

<http://www.michieki-r413.com/>

日時：7月8日(水) 11:00

スケジュール：

8(水)

11:00 集合 道の駅どうし

昼休憩

13:00 見学（伐採現場、ガシファイヤー、ストックヤード）

17:00 大野さんより道志についてプレゼンテーション

18:00 打ち合わせ、意見交換

宿泊場所：リブレ <http://www.rest-rivulet.com/>

9(木)

10:00 地域ビジネスの展望についてのディスカッション

昼食 解散



作業現場



ボイラー室（道志の湯）



ストックヤード

3. つくば林業作業現場視察

実施日：2015年12月15日（火）

実施内容：

林道から離れた森林における搬出間伐のための、丸太組工による森林作業道の見学

実施スケジュール：

9：40 現地待ち合わせ場所集合：小原の郷 駐車場
〒252-0173 神奈川県相模原市緑区小原 711-2

相模市役所 小原の郷

9：40 小原の郷集合

10：00 つくば林業さんと待ち合わせ、

10：00～10：20 自己紹介、見学概要の説明

10：20～10：30 現場入口まで車で移動

10：30～11：40 林道布設現場の見学

11：40～12：20 移動

12：00～15：00 昼食兼会議

会場；寿し一元 神奈川県相模原市緑区与瀬本町54

（相模湖駅徒歩3分）

<http://retty.me/area/PRE14/ARE28/SUB2803/100000167001/>

15：00 解散

参加者：16人

当PJ：計11人

つくば林業→計3人

与瀬生産森林組合→1人 組合長

カタログハウス→3人

見学現場

神奈川県相模原市緑区与瀬

8.5ha スギ・ヒノキ 搬出予定量 700 m³



クローラー



4. 山武市産業まつりに出店

日 時 : 平成 27 年 11 月 23 日 (月・祝) 9:30~14:00 【雨天決行】

場 所 : 松尾交流センター洗心館駐車場 (旧松尾町役場庁舎跡地)

実施内容 : 当事業の公報活動 (パンフレットの配布)、

地元の山の植物でつくるクリスマスリースづくりのワークショップで、里山再生をアピール

スタッフ : 3 人



5. 学会発表

◆日本エネルギー学会第24回大会

2015年8月3日、4日 札幌コンベンションセンター

P-1. 都市近郊小規模森林の再生と地域活性化を目指した丸太燃料流通システムの構築 -木質バイオマスの熱利用による 地域づくりの実践- (千葉大) ○足立真理子, 千葉美賀子, 宮下敏男, 市橋利夫, 新宅一憲, 野口直子, 川村治, 和嶋隆昌, 中込秀樹, (森のエネルギー研究所) 佐藤政宗

◆8th International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Materials (8 th ISFR 2015)

ISFR 2015 : September 07th -10th ,2015 Montanuniversitaet Leoben, Austria

CT05 Drying mechanism of unutilized cedar logs as a source of heating fuel

V.H.Hoang, Y.Kawabata, M.Adachi, T.Wajima, H.Nakagome

第7章 まとめ

7.1 事業の成果

本事業は、「森林資源をエネルギーとして有効活用し、低炭素社会の実現、森林整備の推進、雇用の確保を図る」ことを目的とし、非林業地での木質バイオマス利用を、燃料供給から利用施設の導入までの一貫したサプライチェーンの構築で振興することを目指した。これに照らして本事業により実証された成果について次の4項目に整理する。

(1) CO₂ 排出削減効果

実施項目2で述べたように、3年間の事業実施によって小規模で効率的な丸太燃料製造システムを構築し、従来型の大規模林業と比較して遥かにCO₂の排出量を抑えた作業システムを構築することができた。また、3年間で実施した間伐作業によって268.2t・CO₂の吸収量に相当する森林整備を実施することができた。本事業内で導入した丸太加温器には今後も燃料を供給していく必要があり、今後も安定的な森林整備効果を実施していくことが期待される。一方、燃料製造だけでなく、加温器の導入によるCO₂の排出削減効果も期待される。各導入施設における丸太燃料の供給量を基に、同量の化石燃料が使用された場合のCO₂の排出量を算定すると253.2t・CO₂となった(図表259参照)。温室効果インベストリオフィスによると2013年度の家庭からのCO₂排出量は5.4t・CO₂/年であり、毎年約47世帯分のCO₂排出量を削減することになる。

(2) 事業採算性

地域システムとして事業の採算性を見た場合、「供給と需要」の両面からこれを検証していく必要がある。いわゆる「供給」については「丸太燃料供給事業者側から見た経済性評価」となり、「需要」については「丸太燃料受給者側から見た経済性評価」となる。151から159頁でそれぞれ検証したようにこの両者の経済性がそれぞれ成り立つことが裏付けられた。よって「丸太燃料流通システム」の事業採算性が裏付けられたと考える。

(3) 森林資源の利活用

千葉県は県土の約3分の1にあたる158,369haの森林を有しており、森林蓄積量は27,923千m³である。資源的には充実している一方で、素材生産量は6.8万m³と少なく、林業生産があまり行われていない地域であると言える。

今回の事業実施地である長生・山武地域も都市近郊の森林の特性を持っており、従前から一部で炭焼きや薪の生産が行われていた。森林資源は充実しており、特に山武地域はサンプスギの産地であり、利用に適した森林資源が充実している。しかし、林業生産は積極的に行われておらず、荒廃している森林が多く存在する。また、スギ非赤枯性溝腐病の被害が多く出ており、一般建築用材に適さない林地が多く存在している。そこで、本事業では用材に利用することが難しい森林資源の有効活用を目的に丸太加温器の導入とその燃料供給について取り組んできた。その結果、3年間で30ha以上の間伐を実施し、資源の有効活用とそれに伴うCO₂吸収効果を生むことができた。今後はすでに丸太加温器を導入している施設への安定的な燃料供給を長生チーム、山武チーム、支援チームがそれぞれに行うことに加え、新規の丸太加温器の需要の増大も見込まれるため、継続的な森林整備、環境効果が得られるものと期待できる。

また、本事業実施前は林業生産力に乏しかった長生・山武地域であるが、本事業を通して、3チーム合わせて25人近くの林業従事者が誕生した。今後もこうした事業が広がりを見せれば森林の整備も加速度的

に広まると考えられる。

(4) 実用化・普及可能性

本事業で開発し実証してきた「丸太燃料流通システム」を、今後実用化し地元への定着に始まって広く各地への展開・普及を考えるときに、本事業での成果と今後の課題は次のように考えられる。

1. 都市近郊の小規模森林を、大規模森林整備の方法とは一線を画す、地元雇用の確保を図りつつ労働集約的な方法で整備する方法を構築し、実証による確認と課題の抽出を成果として得ることができた。
2. 具体的には、都市近郊の小規模森林の整備で発生する価値の低い木質バイオマスを、丸太という安価な形態で燃焼し熱回収を行うというシステムの成立性を検証できた。
3. 丸太加温器は、この丸太燃料流通システムの中核のひとつを成していることが実証的に確認できた。
4. 以上から、本システムの実用化と普及の可能性は高く評価できると考える。
5. 残される課題としては、丸太燃料流通システムの今後の実用化と普及を左右する要素のひとつとして、丸太加温器の性能の安定した長期間の稼働の確保とその導入と運用における経済性の成立である。
6. そのためには、現状でも現行の丸太加温器は原理的な性能としては温度変動の小さい安定した熱供給が可能なことや残留焼却灰の少ないことなどで高く評価されているが、実証した経験からはさらなる装置・システムの運用の安定性の向上と耐久性の確認・確保、装置・設備の一層のコスト低減が今後の課題として必要と思われる。
7. 事業の成果を今後に生かすためには、事業内で蓄積された運用実績を活用し、一層の改善・改良を加えつつ廉価な装置としての高い完成度が求められるものと思われる。

次に、上記目的を達成するため、都市近郊小規模森林の再生と地域活性化のための丸太燃料流通システムの構築をめざし、5つの目標をたてて取り組んできた。それぞれの目標に対してどのような成果が挙げられたかを整理する。

(1) 丸太燃料流通システムのモデル構築

従前から流通している木質バイオマスとしてペレット、チップ、薪があるが、いずれも加工が必要であり、製造コストがかかる。そこで、本事業では丸太燃料でのバイオマス流通を目指した。その結果、目標としていた丸太燃料製造コストを下回るコストでの燃料製造を達成した。これによって、燃料の安定供給の可能性が示唆された。今後は一般製材用に利用可能な木材の販路拡大や、大径木の利用に関して取り組んでいく必要があると考えられる。

(2) 地域住民主導によるしくみの構築と自立的運用

本事業ではプロの素材生産業者ではなく、地域でNPOや社団法人が中心となって作業を行っている。これは専門的な道具や技能がなくても実施可能なサプライチェーンであることを示唆しており、実際に3ヶ年事業の中で作業に従事する人数は増加している。この3年間の事業の中で一定の仕組みを構築することができており、これは他地域への展開の面でも非常に有効であると考えられる。

(3) 持続可能な小規模林業の実現

上記と重複する面もあるが、小規模で専門性の低い作業システムで低コストな木材生産を行うことができたことは小規模林業の可能性を示唆していると考えられる。現在、国内では大規模集約的な林業によって事業性を担保する動きが強まっている中で、こうしたノンプロの取り組みが事業性を持って実施できることは小規模林業の実現を示唆するものであると考えられる。本文中に記載した山主還元独自の取り組みもこうした小規模林業の持続性を担保する意味で重要であると考えられる。

(4) 木質バイオマスの利用を通じた地場産業活性化

従前から施設園芸農業が盛んな山武・長生地域では木質バイオマスの利用によって地場産業が活性化すると考えられる。平成 28 年 3 月現在、化石燃料価格は低迷し、木質バイオマスの経済的な面での導入効果はあまり大きくない。しかし、木質バイオマスは燃料価格の変動が小さく、長期的な利用を計画的に行うことができる。さらに、木質バイオマスはカーボンニュートラルな再生可能エネルギーであり、木質バイオマスを利用して作られた作物は高付加価値の製品として販売することが見込まれる。実際、今年度の事業の中でそうしたマーケティングの動きもあり、今後は地場産業の活性化に資するものと考えられる。

(5) 地域の持久力の向上・自立性の高い市民育成による農山村の活力再生

これまで記載してきた通り、本事業では丸太燃料製造の低コスト化という供給側の取り組みと、丸太燃料の施設の設置・運用という需要側の取り組みで一定の成果を得ることができた。これは事業として本システムが実施可能であることを示唆している。これは市民の自立性や意欲向上につながる重要な点であり、今後の地域活性に期待できるものであると考えられる。

7.2 事業の課題と対策

上記まで本事業で得られた成果を記載したが、まだ十分に整理されていない課題事項もある。主な課題を下記に示す。

(1) 燃料製造コストの安定性

本事業内では丸太燃料製造コスト 15 円/kg 以下を達成した。しかしこれはあくまでも試験の中での成果であり、実際には様々な条件を考慮する必要がある。現場の条件も傾斜、斜面向き、成立立木本数、地質、天気、路網の整備状況等作業が難しい条件になることも少なくない。その中で、案手的に低コストな丸太燃料製造を行うのは容易ではないと考えられる。また、事業体としても、機械のメンテナンスや作業準備、山主調整や人材教育等、素材生産事業は様々な業務で構成されており、そうした作業に人工を割かれることになる。そうした中で丸太燃料の供給を低コストで安定的に実施するのは容易ではなく、今後も引き続き作業の効率化や習熟度の向上が必要になると考えられる。

(2) 生産現場の確保

燃料を生産するためには生産現場を確保する必要がある。木質バイオマス利用施設への供給主体となった場合、施設の運用を止めることができないため、一定量の燃料を常に供給し続ける必要がある。そのためには素材生産現場を安定的に確保する必要があり、今後の課題であると考えられる。

(3) 木材の高付加価値な販路拡大

本事業では丸太燃料のサプライチェーンと燃焼機器の導入を合わせて行うことによって、製造したバイオマス燃料の販路を確保している。しかし、カスケード利用の原則に基づけば生産した木材をバイオマスのみを使用することは木材の持つ価値を最大限に生かすことができない。そこで、今後は製材用に利用できるような木材の生産、販路確保等を行い、生産した木材の価値を最大限に生かす木材利用体制を構築する必要がある。

(4) 丸太加温器の安定的な運用

木質バイオマスの利用設備は運用面でも問題が発生するケースが多くある。木質バイオマスの利用設備の稼働期間は燃料の品質や燃焼機器の使用状況、メンテナンスの頻度や内容によって大きく異なる。本年度は支援チームを構築し、丸太加温器のメンテナンス体制の構築を図っているが、導入台数が多いため、問題なくメンテナンスを実施できる体制を構築できるかは今後の課題であると考えられる。

(5) 事業主体の継続性

「山武チーム」「長生チーム」「支援チーム」の3事業体が地域に根付き継続的に森林再生・里山再生を担う「地域のモデル組織」として今後も活動していくためには、引き続きこの3事業体の組織としての成熟度を高めていく必要がある。

またステークホルダーである山主・ハウス農家等との信頼・合意形成創りや地元自治体との連携も必要であり、いわゆる「地域」からの認知度の向上が引き続き重要である。

(6) 山主への還元

(2)の生産現場の確保でも指摘されているように、特に山主との関係は丸太燃料伐りだしの継続的な確保のためにも重要である。このため「山主への還元」については、3事業体ともに見積もり調整や話し合いの中で、それぞれ地域の事情に沿った下記のような解決策を提示し山主の了解を得ているが、これについても継続的な山主からの同意を得るべく努力する必要がある。

- ・「山武チーム」では山主からの伐採要請に対し、伐採現場の難易度、魚骨状列状間伐による伐採・集材方法の適用の有無、伐採現場での乾燥や加工への同意といった諸条件により見積もり金額をなるべく抑えるとともに、例えばある「伐採見積もり金額」に対し伐採した杉材がA材、B材等で販売可能であれば販売価格の何割かを、また丸太燃料としての販売価格についてもその何割かを「伐採見積もり金額」から引いた価格で伐採を行い、山主への還元策としている。
- ・「長生チーム」ではナラ等の伐採に際し、シイタケの楢木として利用できるものについては楢木として伐りだし整地することで山主への還元策としている。
- ・「支援チーム」では伐り出した生木を山武市の「木の駅」に持ち込み1トンにつき4,000円で購入してもらい、この4,000円のうち1,000円分については地域通貨として支払いを受け、この地域通貨分を山主への還元策としている。

7.3 今後の地域システム化計画

以下に、本事業で構築した地域システムの今後の展開について考察する。

(1) 都市近郊林の定義

本事業の適応地である都市近郊林とは一般的に、都市および都市生活者の居住地域周辺の森林をいう。国土総合開発法（1950）に基づく「第4次全国総合開発計画（※）」（1987年閣議決定）では、森林を奥山天然林、人工林、里山林、都市近郊林の4つに区分してそれぞれの基本的方向を示している。

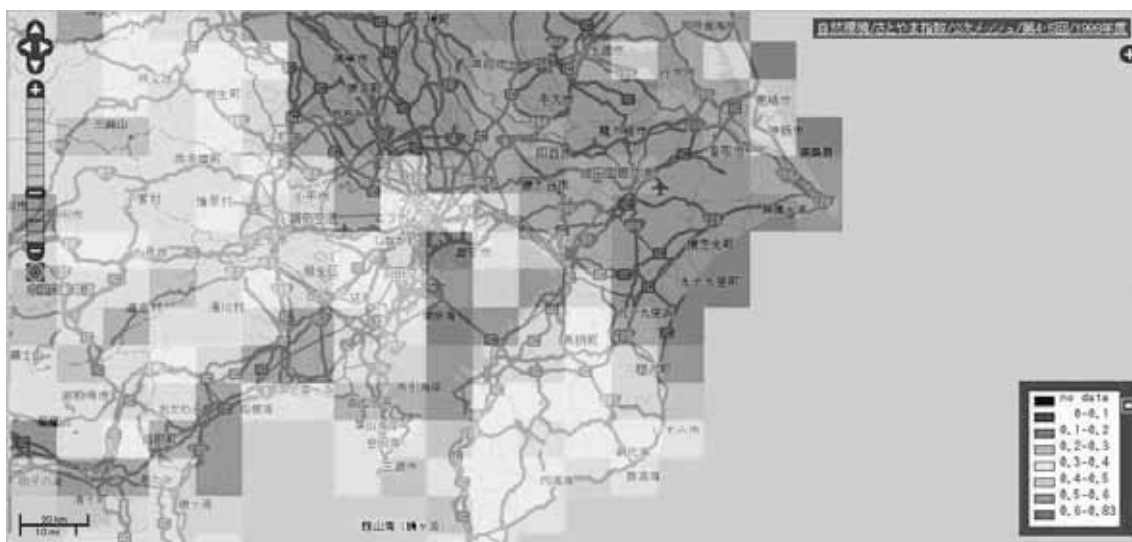
都市近郊林の多くは、里山林と類似の林相や機能を持ち、かつて農用林や薪炭林として利用され、集落、田畑、溜池、小川などと複雑に組み合わさった良好な景観を呈していたが、近年は、「施業放棄森林」となったり、無計画な宅地開発が行われたりした結果、林業的価値が失われたばかりでなく、景観の悪化、生物多様性の低下など公益的機能を減じているものが多い。また、地価が高いことから相続等に際し、蚕食的な開発が繰り返されており保全方策の確立が望まれている。（2014年7月改訂）

出典：EIC ネット（一般社団法人環境イノベーション情報機構）

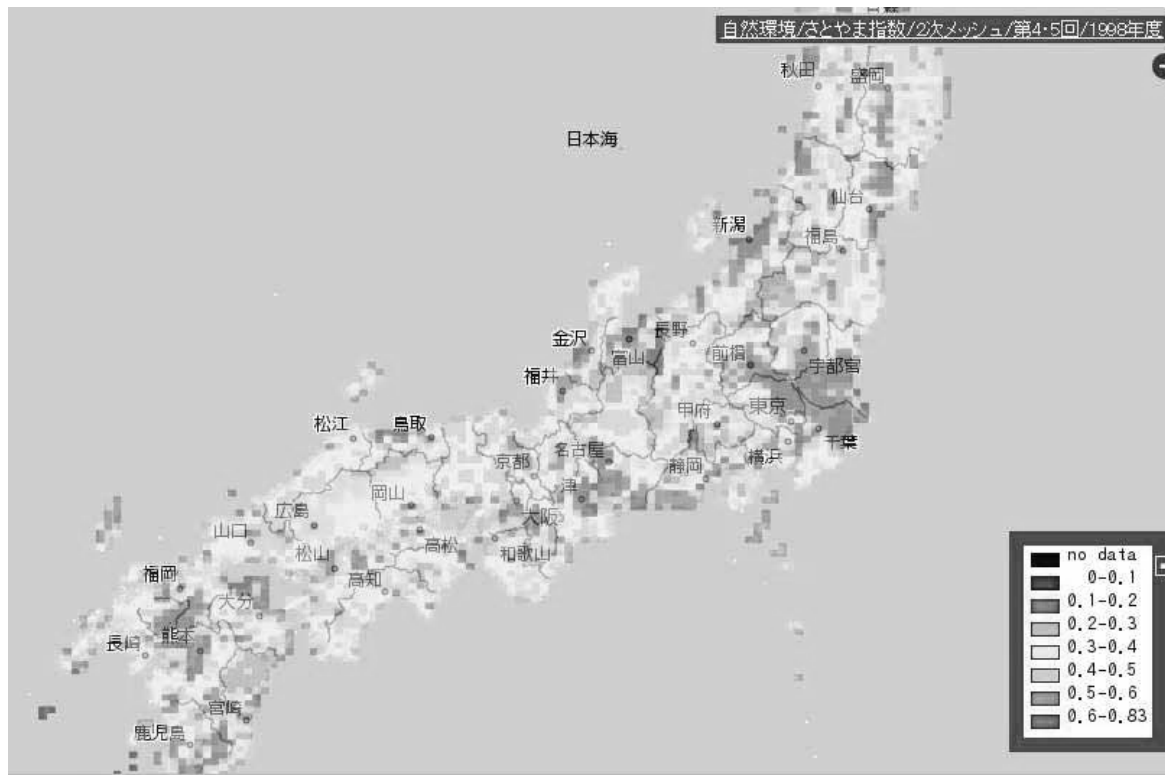
※第4次全国総合開発計画での出典 P32（森林タイプ別基本的方向）都市近郊林など都市に近い森林は、生活環境の保全や教育的観点などから保全を基本としつつ育成、整備する。また、身近な緑とのふれあいの拠点を創出するため、地域住民の参加による森林管理方式等によって、森林づくりを推進する。

(2) 都市近郊林の分布

上記定義より、都市近郊林≒里山林と仮定すると、以下の資料で示せる。



図表 301 さとやま指数メッシュデータ



図表 302 全国での都市近郊林分布

引用：さとやま指数メッシュデータ(国立環境研究所)

(3) 都市近郊林に関する条例のある地域のうち、都市的地域

下記に都市近郊林に関する条例が制定されており、その中でも都市域と考えられる地域を抽出する。これらの地域では本事業で実施してきたモデル地域の普及可能性があると考えられる。

(日本林業調査会 「都市近郊林の保全と利用」1996年発行 より)

図表 303 都市近郊林

市町村名	都市近郊林の占める面積の割合	人口
茨城県牛久市	21.6 % 27.3/58.9 km ²	8.4 万人
京都府京田辺市	30.7 % 13.2/42.9 km ²	7.1 万人
千葉県千葉市	18.2 % 49.3/272.1 km ²	96.2 万人
静岡県富士市	49.4 % 121/245 km ²	25.4 万人
茨城県取手市	31.7 % 22.2/70.0 km ²	11.0 万人
広島県大竹市	74.4 % 58/78.0 km ²	2.8 万人
静岡県熱海市	62.2 % 38.3/61.6 km ²	3.7 万人
佐賀県有田市	18.0 % 6.7/36.9 km ²	2.9 万人
計		157.5 万人