温浴施設での薪ボイラー導入における運用実態

木質バイオマスの小規模熱利用が地域に与える影響とは

誌名	日本森林学会誌
ISSN	13498509
著者名	風,聡一郎 梶間,周一郎 内山,愉太 香坂,玲
発行元	日本森林学会
巻/号	99巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 18-23
発行年月	2017年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

日林誌（2017）99: 18–23

論　　文

温浴施設での薪ボイラー導入における運用実態
—木質バイオマスの小規模熱利用が地域に与える影響とは—

風　聡一郎*,[1]・梶間周一郎[2]・内山愉太[1,3]・香坂　玲[1,3]

近年，山間地などを中心に全国で温浴施設等への薪ボイラーの導入事例が見受けられるようになった。薪は製造が簡単であるというメリットがある一方で燃料投入を人力に頼るため，一定規模以上での利用は不向きであるとされ，100 kW 以上の規模での事例研究は限定的である。本研究では二つの 100 kW 以上の薪ボイラー導入事例を対象に調査を行った。結果，(1) 灯油ボイラー使用時と比較し燃料コストが削減されており，木質エネルギーへの代替率も 70% を超え，(2) 予測通り人力での薪の投入は薪ボイラー使用者への負担となっている。一方で，(3) 薪投入によって追加的な人件費が発生するといった経営面への影響は見受けられず，(4) 熱提供の形態によっては利用者側の負荷を軽減できる可能性があることが明らかとなった。
キーワード：再生可能エネルギー，木質バイオマス，小規模熱利用，薪，自治体

Soichiro Kaze,*,[1] Shuichiro Kajima,[2] Yuta Uchiyama,[1,3] Ryo Kohsaka[1,3] (2017) Introducing Wood Log Boilers in Spa Facilities: Impacts of Small Scale Heat Utilizations of Woody Biomass on Regions of Japan. J Jpn For Soc 99: 18–23 In recent years, wood log boilers have been introduced to hot water bathing facilities or spas in Japan, particularly in mountainous areas. Producing wood logs is relatively easy, on the other hand, input of wood logs into the boilers has to be done manually, and it is pointed out that wood log boilers are not efficient if they are used as facilities generating over 100 kW. In this context, the cases discussed in academic papers are limited to small scale ones. In this paper, the analysis of two cases of boilers generating over 100 kW are examined to verify potentials of the large scale facilities with wood logs. It reveals that (1) operating costs are reduced compared with the system using kerosene, and substitution rates are over 70% (2) manual input of wood logs was a certain load on the boiler users; (3) impacts on the managements, such as rise of labor costs caused by the manual input of wood log, were not seen and (4) wood log systems can potentially reduce the loads on the facilities depending on heat supply systems.
Key words: renewable energy, woody biomass, small scale heat utilization, wood log, municipality

I. 日本における木質バイオマス発電の概況と課題

近年，公共施設や一般家庭において，木質バイオマスを燃料とするボイラーやストーブの導入が進んでいる。林野庁（2016）によると，我が国における木質資源利用ボイラーの導入数は 1999 年で 174 基だったものが 2014 年で 2,023 基となっている。

特に 2012 年の固定価格買取制度（FIT）導入以降は木質バイオマス発電所の建設が全国的に行われている。FIT の認定を受けた発電設備の稼働もしくは計画は 2015 年 10 月末現在で全国 56 カ所が認定されている。うち 2,000 kW 以上の発電所が 46 カ所で，その大部分が 5,000 kW 級の木質バイオマス発電所となっている（林野庁 2016）。

全国各地で整備事業が行われている FIT を利用した発電設備に関して，5,000 kW 級の発電所 1 カ所につき年間で 10 万 m^3 近くの木質燃料を使用するため，膨大な量を要する。そのため燃料となる未利用材の供給量が不足する可能性が指摘されている。この要因として外部資本による開発によって大規模発電に特化した計画が多いことが挙げられる。また運用，制度設計，エネルギー効率に課題があるとの指摘もなされている。特にエネルギー効率においては発電専用では 20% 程度にしかならないため燃焼時に発生する熱も同時に利用する熱電併給の促進が主張されている（安藤 2014；金澤 2014；近藤 2015）。

木質バイオマスのエネルギー利用は FIT 認定の発電所建設の増加により，一般的にはバイオマス＝発電というように認知されがちである。一方で熱利用を行っている事例も国内に存在する。

山下・藤井（2015）が実施した全国 1,741 の基礎自治体全てを対象とした「全国市区町村再生可能エネルギー実態調査」では，バイオマスの熱利用を行っている自治体は 118 と相対的に少なくなっている。要因として原料調達や熱需要の確保が課題となり，既に利用されてきた資源を新たな用途に使用するため，既存の権利主体との利害調整が求められるためと述べている。一方で前述の山下・藤井（2015）が実施したアンケート調査の結果では，資源活用，経験蓄積，雇用など再生可能エネルギーの地域活性化への期待の高さが確認されており，またエネルギーの専門部署を設け積極的に再生可能エネルギーに取り組んでいる自治体にはバイオマス熱利用施設が設置されているという傾向があるとしている。

このようなバイオマスのエネルギー利用による地域活性化への期待の背景として，伊藤（2012）は，東日本大震災を境に自然エネルギーは単なる代替エネルギーにとどまら

*連絡先筆者（Corresponding author）E-mail: kaze.soichiro@gmail.com
[1] 金沢大学大学院人間社会環境研究科地域創造学専攻　〒920–1192　石川県金沢市角間町（Division of Regional Development Studies, Graduate School of Human and Socio-Environmental Studies, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920–1192, Japan）
[2] 金沢大学人間社会学域地域創造学類　〒920–1192　石川県金沢市角間町（School of Regional Development Studies, College of Human and Social Sciences, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920–1192, Japan）
[3] 東北大学大学院環境科学研究科先進社会環境学専攻　〒980–0845　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468–1（Department of Environmental Studies for Advanced Society, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Aoba 468–1, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980–0845, Japan）
（2016 年 6 月 27 日受付，2016 年 11 月 9 日受理）

ず，地域の自立やエネルギー自治の確立の手法になり得る，あるいは経済・産業構造のグリーン化という新たな地域発展戦略の中核に位置付く存在であるといった議論が少なくとも研究者レベルでは行われていると述べている。

FIT 認定設備の多くを占める 5,000 kW 級の木質バイオマス発電所では，地域内での燃料の調達が難しいという問題がある。また発電専用ではエネルギー効率が悪く，熱電併給の促進が課題となっている。木質バイオマスのエネルギー利用は，外部資本の開発による大規模利用ではなく地域の様々なステークホルダーが協同し，地域の自立やエネルギー自治の手法として地域の実情に合わせた利用が望ましいといえる。

II. 木質バイオマスエネルギーの熱利用に関する議論

本章では，木質バイオマスエネルギーの熱利用に関する先行研究を整理する。

木質バイオマスのエネルギー利用の技術において，熊崎（2011）は木質バイオマスによる熱電併給技術について，これまで開発もしくは提案されているものの中で成熟段階にあるのは直接燃焼方式の蒸気エンジン/タービンのみであるとしている。またバイオマスから効率よく電気をとるということは難しく，熱の生産をメインにして無理のない範囲で電気をとることが本筋のように思われると述べている。

熱利用を前提とした木質バイオマスの利用において，相川（2014）は事業のプランニングにおいてバイオマスボイラーは化石燃料ボイラーと比較しかなり高額であるが，燃料費においては化石燃料よりバイオマスの方が安く設定できる点を指摘している。一方でバイオマスボイラーの償却期間が 15 年と長期の償却を考えなければならない点を指摘している。発電事業で FIT による 20 年間という長期の買い取りが保証されている場合と比較し，熱利用の場合は同様の保証がなくリスクが高いため金融機関から融資を受けるのはハードルの高い状況にあるとしている。したがって，補助金を使って公共施設への導入にとどまるのは当然であり，民間に広がることは難しいと述べている。

海外での木質バイオマスエネルギーの利用形態について，三浦（2013）は再生可能エネルギーの導入が進んでいるスウェーデンおよびオーストリアの状況を取り上げている。両国ではエネルギー源を木質バイオマスとする地域熱供給が普及しており，熱供給会社が燃料の手配と投入，設備の保守を担当し，熱を提供し使用料を徴収している。この方式は電気や水を利用するのと同じ形で利用できるため，木質バイオマス利用における究極の形であると論じている（注 1）。ノルウェーにおける木質バイオマス利用について分析している Trømborg ら（2008）では，熱電併給を行う有用性を指摘している。今後のノルウェーにおけるバイオマス利用は化石燃料などの他の燃料に対しても競争的であり，特に薪ストーブの利用や石油ボイラーから薪ボイラーへの転換は現状進んでいるとしている。一方で木質バイオマスによる熱利用システムは依然としてエネルギー価格が高くなってしまう課題があるとしている。

木質バイオマスのエネルギー利用の際の燃料形態については，前述の相川（2014）と熊崎（2013）で触れられている。両者の内容を整理すると，製造は容易であるが，運用において人力によるところの大きい薪は 100 kW 未満の小規模利用が適正であり，チップは安価で燃焼機器の規模に対する汎用性が高い一方で，形状や含水率等の品質面おいて留意する必要があるとしている。またペレットは単位エネルギーが高い上に品質が安定しており，燃焼機器の規模も 20 kW から 1 MW のものまで広く使用できるというメリットがあると評価している。Pa ら（2013）は，カナダのブリティッシュコロンビア州において家庭用の暖房として利用されている薪を全てペレットに置き換えた場合に環境に与える影響の数値化および環境汚染によって発生する外部コスト，燃料コストがどのように変化するかをシミュレーションしており，環境に与える影響および外部コスト，燃料コストの削減は可能であるとの結果を示している。しかしながら日本におけるエネルギー価格を比較した上で，ペレットの材料となる製材の生産構造が欧州と国内では異なるため，経済性を持ったペレットを選択肢に入れることができる地域は限られると指摘がなされている（相川 2014）。

海外，特に木質バイオマス利用の先進国であるオーストリアの木質バイオマス燃料の需要をみてみると，薪の需要が一番多く，次いでチップ・バーク，熱電併給用チップ，ペレットとなっている。そのうち薪は薪ボイラーでの需要である。なおオーストリアでの薪ボイラーの用途はほぼすべてが個人宅用での家庭規模程度での熱源となっている（注 2）。

以上より，木質バイオマスの利用においては，直接燃焼方式での熱利用をメインに考える必要がある。その燃料には薪，チップ，ペレットがあるが，それぞれに長短があり，燃焼機器の規模による燃料の選択は，チップ，ペレットは広範に使用できるのに対し，薪は 100 kW 未満の使用が適切であるという点が整理された。また海外の先進国であるスウェーデンやオーストリアでは熱供給会社による地域熱供給が普及しており，インフラとして整備されている一方で，オーストリアでは薪ボイラーが一般家庭用の熱源として普及しており，後述の温浴施設へ薪ボイラーを導入するという日本の事例は特徴的であるといえる。

III. 先行研究での課題

先行研究において薪は 100 kW 未満の規模での利用が好ましいとされている中で，最近では 100 kW 以上の熱需要を要する温浴施設等に対して，熱源として薪ボイラーの導入を行う事例が国内でててきている。今回の調査対象としたＡ村，Ｂ市以外にも，例えば季刊地域編集部（2013）では福島県鮫川村の温浴施設に 75 kW の薪ボイラー 4 台が導入されていると紹介されており，また相川ら（2016）では，長野県根羽村（170 kW の薪ボイラー 1 台を導入）や徳島県三好市（5 カ所の温浴施設に 75 kW の薪ボイラー計 15 台を導入）の事例が記載されている。富山県南砺市は，同市の掲げる「エコビレッジ構想」において今後，市

内の温浴施設4カ所に薪ボイラーを整備する計画である(注3)。このことから薪ボイラーの導入が国内で注目されてきており，今後も導入数が増加するのではないかと考えられる。

薪ボイラー導入のメリットとして，森（2016）は未利用のC材を使ったボイラー用薪の原木は製紙用チップの原木よりも高く買い取られるメリットがあると指摘している。薪の製造に大きな機械が不要で，薪ボイラー導入施設という薪の販売先も確保できるため，低投資，低リスクであるとしている。また薪ボイラーへの薪の自動投入装置がない分設備費が安価になるため，その分雇用として地域に投資できるメリットがあると述べている。

このように運用面以外に地域に対するメリットも指摘されている薪ボイラーであるが，その導入事例を対象とした研究はほとんど行われておらず，その運用実態は明らかにされていない。また導入後の地域に対する効果の検証も限定的である。薪ボイラーの導入をはじめとする木質バイオマスの小規模熱利用は，地域の多様なステークホルダーが協働し，その地域の資源を利用しエネルギー自治や自立，ひいては地域振興の手法として着目されている中で，実際の導入事例の検証が限定的であることは，大きな課題であると考える。そこで本研究では小規模熱利用の方法の一つである薪ボイラーの導入事例を調査し，導入後の運用実態および地域に対する効果（燃料使用量，燃料コスト，木質エネルギーへの代替率，雇用の有無）を明らかとすることを目的とした。調査対象となる事例については，ボイラー起因による運用負荷のバイアスを避けるため同一メーカーのものを導入している事例を調査対象とした。これらの条件に該当する事例として，中国地方のA村および中部地方のB市を調査対象とした。

IV. 調査対象と方法

調査対象のA村は中国地方の山村で，人口約1,500人（2015年1月31日現在）で，林野率は95%，人工林率85%の地域である。B市は中部地方の山間地に位置し，人口約44,000人(2010年10月1日現在)で，林野率90%，人工林率56%の地域である（表-1)。

調査方法・期間について，A村は2015年10月13日から19日まで滞在し，熱供給会社Cでインターンシップを行いながら同社およびA村の行政担当者への聞き取りを行った。また事業内容，燃料使用量や燃費のデータ等の資料の提供を受けた。一方，B市は2015年12月29日に同市を訪問し，B市担当者，薪供給事業者E代表，温浴施設F支配人より聞き取りを行い，またA村同様に資料の提供を受けた。また両地域とも訪問後に電話等でのフォローアップを実施し，追って情報や資料の提供を受けている。

表-1. A村およびB市の概況

対象地	人口	面積 (km²)	林野率 (%)	人工林率 (%)
A村	1.5千人	57.97	95	85
B市	44千人	1030.79	90	56

A村についてはA村役場提供資料より引用。B市について人口はB市ホームページ記載の人口（最終閲覧日：2016年6月8日）を引用。面積，林野率，人工林率は「B市森林整備計画(2016年4月1日樹立)」より引用。

V. 調査結果

本章ではA村，B市への調査結果を示す。なお両地域ともこれまで熱源に灯油ボイラーを使用していた施設に木質バイオマスボイラーを導入し，それと併用してバックアップおよび熱需要のピーク時対応に灯油ボイラーを使用している。

1. 薪ボイラー導入の経緯と薪ボイラーの運用実態

A村では村内の村有林を含む民有林の整備事業で発生する未利用間伐材のエネルギー利用による付加価値化を目的に，170 kWの薪ボイラー2台を温浴施設へ導入し2015年2月から稼働している。この背景には未利用材に付加価値をつけることでA，B材を含む搬出木材の売り上げの底上げを行い，林業振興につなげるという意図がある。薪製造設備を含めての施設整備費用は約72百万円でそのうち約40百万円は補助金が充てられている。投資回収は11年を見込んでいる。

燃料に薪を選択した理由は，A村が想定した集材範囲内であるA村および隣接する自治体にチップ工場がなく，またチップ製造設備の導入費用と維持費を勘案した結果，比較的安価な薪の製造設備の整備と薪製造にかかわる人件費に投資した方が有効であると判断したためである。原木は前述の村内で発生する未利用間伐材を森林組合から購入している。またA村および隣接する自治体から，対価の半分を地域通貨で支払う「木の駅方式」にて住民より集材している。原木調達の割合は森林組合が7割，木の駅が3割（うち約5割は村外産）となっている。

聞き取りを基にA村の相関を図-1に示す。

A村では薪ボイラー導入時に熱供給会社Cが導入に関わるコンサルティングを行い，薪ボイラーを含む関連設備を温浴施設Dに A村が設置した。導入後は熱供給会社CがA村より熱供給事業の委託を受け，温浴施設Dに「熱」を販売している。また熱供給会社Cは燃料となる薪の製造・投入およびボイラーの保守・管理も担当し必要に応じて業者の手配を行っている。A村が採用した地域おこし協力隊の隊員1名を熱供給会社Cに薪製造・投入の専任社員として派遣している。なお地域おこし協力隊の隊員にかかる人件費および経費は地域おこし協力隊事業より支出さ

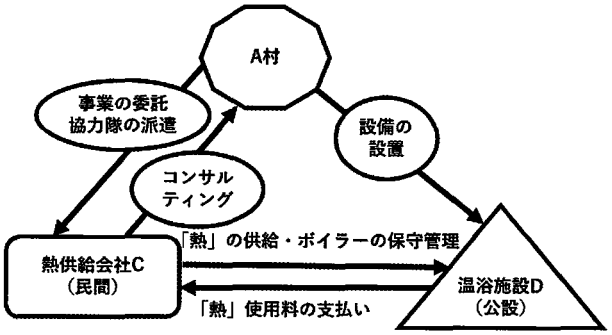

図-1. A村の関係者の相関

A村担当者，熱供給会社Cへの聞き取りを基に筆者作成。

れていることを付記しておく。

一方，B市では170 kWの薪ボイラー1台および400 kWのチップボイラー1台を導入しており，2014年12月から稼働している。薪製造設備を含めての整備費用は約140百万円であり，そのうち約70百万円は補助金が充てられている。投資回収は15年を見込んでいる。

導入の背景には地域の森林整備とそこで発生する間伐材を利用したエネルギー自給のモデルを市内で構築するというねらいがある。燃料の選択については，当初，市内に燃料用チップが製造できる業者がおらず，薪であれば薪供給事業者Eが対応可能であったため，燃料を全て薪にする予定であった。しかし検討を重ねる上で温浴施設Fが必要とする薪を全て供給できるのかという懸念が生じたため，B市内で発生する間伐材を約50 km離れた場所にある燃料チップが製造可能な業者に運搬しそこで製造したチップと，薪供給事業者が製造した薪を，温浴施設Fに供給する計画に変更した。原木については，薪は市内の林家が自伐したものや工事支障木を集材しており，すべてB市産材を使用している。一方チップはB市産の間伐材を前述の業者でチップに加工し供給を受けているのに加え，含水率が高くチップボイラーが停止するというトラブルが発生したため，約30 km離れた場所にある市外の製材業者から製材木片を加工した燃料用チップの供給を受けている。このトラブルのため，チップボイラーも含めての本稼働は2015年5月からとなっている。

聞き取りを基にB市の相関を図-2に示す。

B市ではコンサルタント・薪ボイラー事業者Gが木質バイオマス施設の導入コンサルティングおよび薪ボイラーを販売し，B市が温浴施設Fに木質バイオマス施設の整備を行った。整備後は薪供給事業者Eが製造した「薪」を温浴施設Fに販売し，温浴施設Fの職員が薪ボイラーに薪を投入している。薪製造・投入で専任の雇用はない。薪の供給を担当している薪供給事業者Eでは薪の製造に従事した複数名の会員に，個人の薪の出来高に売上単価から運営費を除いた金額を乗じた対価を個別に支払っている。また市外のチップ業者が温浴施設Fにチップを販売し，チップサイロに投入している。ボイラーの保守・管理は温浴施設Fが担当し必要に応じて業者を手配している。

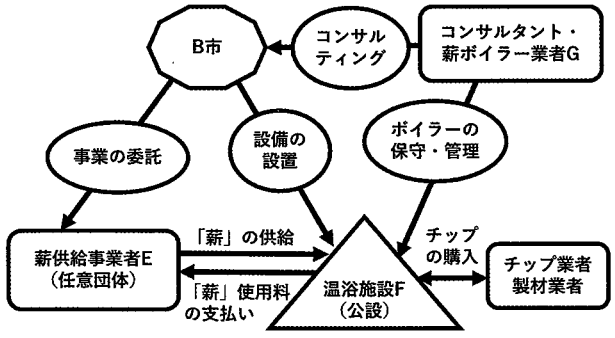

図-2. B市の関係者の相関

B市担当者，薪供給事業者E，温浴施設Fへの聞き取りを基に筆者作成。

表-2. A村およびB市の運用形態の差異

地域	A村	B市
薪の製造	熱供給会社Cが製造	薪供給事業者Eが製造
ボイラーへの薪の投入	熱供給会社Cが投入	温浴施設Fが投入
温浴施設への提供物	熱	燃料
ボイラーの管理・保守	熱供給会社Cが担当し必要に応じて業者の手配を行う	温浴施設Fが必要に応じて業者に依頼する

前述の聞き取り結果を基に筆者作成。

以上からみられる両者の差異をまとめたのが表-2となる。

A村では薪の製造，ボイラーへの投入，ボイラーの保守・管理を熱供給会社Cが一括で担い，ボイラーで発生する熱のエンドユーザーである温浴施設Dに対して「熱」を供給している。一方，B市では薪供給事業者Eが薪を製造し，エンドユーザーである温浴施設Fに「薪」を供給している。またボイラーへの薪の投入，ボイラーの保守・管理は温浴施設Fが担っている。したがって，エンドユーザーである温浴施設がこれまでの燃料供給とは異なり，「熱」の供給を受けているのか，燃料として灯油の代わりに「薪」を供給してもらい温浴施設が自ら薪ボイラーを運用しているのかという点で差異がみられた。

温浴施設Fの職員に運用負荷について話を伺ったところ，3〜4時間の間隔で薪を人力で投入するのは確かに負担ではあるが，新たな人員の雇用が必要となった，あるいは残業時間が増えるという事態には至っていないとのことであった。一方，チップボイラーの方が薪ボイラーと比べ，前述のチップ品質に起因するトラブルの対応が大変であり，6 m³のチップサイロをすべて人力でさらう必要があった等，対応に苦慮したとのことであった。

2. 薪ボイラー導入による地域に対する効果

薪の売り上げによる経済効果ならびに使用量と，灯油から木質バイオマスエネルギーへの代替率をA村，B市から提供を受けた燃料使用量，燃費のデータを整理し表-3に示す。なおB市では前述のトラブルによりチップボイ

表-3. A村およびB市での経済効果および木質バイオマスエネルギーの利用実績の比較

地域	A村	B市	B市（チップボイラー本稼働後）
薪供給での売上	6711千円	2550千円	—
導入前後の燃料コスト	−26%	−27%	−56%
薪の使用量	522 t	300 m³	—
木質バイオマスエネルギーへの代替率	82%	55%	78%

A村に関するデータはA村役場から提供資料より2013年の燃費および灯油使用量と2015年4月から2016年3月までの燃費および薪・灯油使用量を基に筆者が作成した。B市に関するデータはB市からの提供資料より2013年の燃費および灯油使用量と2014年12月から2015年11月までの燃費および薪・チップ・灯油使用量を基に筆者作成。B市のチップボイラー本稼働後のデータはB市より提供を受けたバイオマスボイラーの運用データが2014年12月から2015年11月のものまでとなっているため，2013年5月から11月までの灯油使用量とチップボイラーが本稼働した2015年5月から同年11月までの灯油使用量を比較し作成した。薪供給での売り上げ・使用量は2015年4月に供給したものが同年9月に新たに供給されるまで使われておりその間の正確な使用量が不明なため分析対象としていない。なお薪の原木は針葉樹を主として複数の樹種が混じっており正確な変換ができないため，単位を統一せず両者で管理している単位にて記載している。

ラーの本稼働が2015年5月からとなっているためチップボイラー本稼働後のデータを別列にて整理し示す。

熱需要は季節によって変動するため，導入計画時の2013年とチップボイラー本稼働後の2015年の同月（5〜11月）の燃費および燃料使用量の実績を比較すると，コストが56%削減されており，木質バイオマスエネルギーへの代替率も78%となっている。しかしながら，A村とB市の灯油使用量において，A村が年間を通しての灯油使用量の変動が比較的なだらか（使用量が最も少ない8月が2013年度実績で8,000 L，最も多い1，12月で14,000 L）なのに対して，B市では変動幅が大きい（使用量が最も少ない8月が2013年度実績で8,600 L，最も多い12月で26,100 L）ため，より精度を高めるために通年を通しての分析が今後必要である。したがってこの結果はあくまで参考的なものであることを付記しておく。

A村，B市ともに木質バイオマスボイラーの導入によって，導入計画時の2013年度灯油使用量・燃費の実績と比較し，燃料コスト削減が行えたことが見て取れる。また薪供給量は数百m^3となっており，そこで得られる数百万円単位の売り上げが原木代や人件費として地域への投資となっている。ただし灯油価格が導入計画時の2013年より大幅に値下げしているため，この結果からは一概にコスト削減に効果があったとはいえない。また本調査では稼働後1年前後の運用実績を基に分析を行っているため，設備整備にかかわる初期投資の回収については灯油価格の変動もふまえ数年間の実績を基に分析を行う必要があり，今回は分析できなかった。

温浴施設に供給される薪の価格設定については，A村，B市ともに両地域を集材範囲としている木質バイオマス発電施設での取引価格を意識しているという共通点がみられた。両地域とも木質バイオマス発電施設での取引価格より若干安価な額で原木を購入し，そこに加工費や運営費等を積み上げ薪の価格設定を行っている。この価格設定の背景には，発電所よりも購入価格は低いが，輸送コストと手間が少なくてすむという点が，林業事業体にとって取引のインセンティブになると期待しているという意図がある。またA村では原木が100%村内産材ではないにしても，地域産材を地域で薪に加工し供給しているため，地域内のエネルギー自給の向上に寄与している。

A村とB市の木質バイオマスの代替率の差異について，一番大きな要因としてB市ではチップの品質によるトラブルでチップボイラーの本稼働が2015年5月からとなったことが挙げられる。その間，温浴施設Fは薪ボイラーと灯油ボイラーのみで熱を賄っており，予定外の灯油の消費があった。また2013年の灯油の使用実績によると温浴施設Dに比べ温浴施設Fは冬季と夏季の熱需要の変動が大きい点や木質バイオマスボイラーの規模，貯湯タンクの大きさの違い（温浴施設D，10 t；温浴施設F，8 t）も要因として考えられる。

VI. まとめと今後の展望

今回の調査によって，出力規模100 kW以上の薪ボイラーを導入した地域では，地域産材を地域で加工しエネルギーとして利用するという地域内エネルギー自給の向上という観点が根底にあることがわかった。

ボイラーの運用面について，A村，B市では運用方法に差異があり，A村は熱供給事業の形式をとっており利用者負担が少ないというメリットはあるが，事業体の立ち上げや運用において専門的な知識を持った人材の確保というハードルの高さがある。一方，B市においては熱源を石油ボイラーのシステムから木質バイオマスボイラーをメインとしたシステムに転換しているシンプルなものであるため，燃料の供給さえ受けることができればどの地域でも適用できる可能性は高いが，ボイラーの運用が導入施設の負担となっている。B市の温浴施設Fでは1日3〜4回のボイラーへの薪投入が負荷となっていることは課題だが，残業時間が増える等，経営への影響は見受けられなかった。人力によるところの大きい薪ボイラーではあるが，100 kW以上の規模でも経営に影響を及ぼすことなく運用可能であることがわかった。一方，チップの品質が合わないことからチップボイラーが稼働しないという，チップの品質に留意が必要という先行研究の指摘をそのまま示す結果も出ている。このことから薪ボイラーの運用が人力によるところが大きいという点はもちろんのこと，チップボイラーにおいてもトラブルが発生したという点を鑑みると，専門的な知識を有する事業体が熱を供給するというA村の運用体制がよりメリットが多いように見受けられた。

地域産材を利用し地域内で薪にすることで，数百万円規模の売り上げがあり，地域に対する投資となっている。燃料費は導入計画時の灯油価格であれば2割程度削減できている。しかしながらA村において専任社員の雇用1名が見受けられたが，その人件費や経費は地域おこし協力隊事業から支出されているため，実際のエネルギー事業の収益によって賄われているわけではない。したがって，人件費を持続的に支出できるかは未知数である。また本調査では分析対象としていない灯油価格の変動を踏まえイニシャルコストの回収が可能かという点や，燃料コスト以外の固定費も含めた経済性，薪ボイラー用の薪の製造コストや生産効率の調査も，今後の課題としてあげられる。

今後，小規模バイオマスの熱利用が普及するための布石として，新たなシステムの構築—日本版木質バイオマス小規模熱供給事業のシステム検討が大きな課題であると考える。

本研究を行うにあたり，東北芸術工科大学建築・デザイン学科の三浦秀一教授並びに公益財団法人自然エネルギー財団の相川高信氏，また金沢大学の大野智彦准教授，蜂屋大八准教授にご助言いただいた。ここに記して篤く御礼申し上げる。本研究での調査において多大なるご協力をいただいた関係各位の皆様に心より御礼申し上げる。

本研究は，MEXT/JSPS科研費JP26360062，JP15H01597および（公財）平和中島財団，（公財）クリタ水環境科学振興財団，総合地球環境学研究所：実践プロジェクトインキュベーション研究，環境省環境研究総合推進費（課題番号1-1303，S15-2（3）），イオン液体駆動型 里山バイオマス・リファイナリーに関する教育・研究拠点形成の一環として実施された。

注　記

(注1)：2016年5月17日に南砺市クリエイタープラザで開催された「南砺市エコビレッジ構想　里山エネルギーで拓く地域の未来」での三浦秀一氏の講演より。
(注2)：2016年5月17日に南砺市クリエイタープラザで開催された「南砺市エコビレッジ構想　里山エネルギーで拓く地域の未来」において三浦秀一氏に対する筆者の質疑の回答より。
(注3)：2016年5月17日に南砺市クリエイタープラザで開催された「南砺市エコビレッジ構想　里山エネルギーで拓く地域の未来」での南砺市担当者からのエコビレッジ構想の事業説明より。

引用文献

相川高信（2014）林業地域が成功する条件とは何か．全国林業改良普及協会
相川高信・伊藤幸男・菅真由美・紫波グリーンエネルギー株式会社・中岸良太・小木曽秀美・Bスタイル PJ 研究グループ・三木聡・森　大顕（2016）木質バイオマス熱利用でエネルギーの地産地消．林業改良普及協会
安藤範親（2014）未利用材の供給不足が懸念される木質バイオマス発電．農林金融 67(6): 64–378
伊藤幸男（2012）木質バイオマスエネルギーによる地域再生の可能性と戦略．農業市場研究 21(3): 3–12
金澤　徹（2014）FIT 制度以降の木質バイオマス発電の展開と林業の自立的発展．龍谷大学大学院政策学研究 3: 39–70
季刊地域編集部（2013）福島県の小さな村，に舵を切る．季刊地域 12: 38–43
近藤加代子（2015）日本の木質バイオマスと地域林業の課題．都市問題 106(5): 74–81
熊崎　実（2011）木質エネルギービジネスの展望．全国林業改良普及協会
熊崎　実（2013）木のエネルギーの基本．（木質資源とことん活用読本．熊崎　実・沢辺　攻編著，農山漁村文化協会）．33–51
三浦秀一（2013）木質燃料によるバイオマス地域熱供給システム．（木質資源とことん活用読本．熊崎　実・沢辺　攻編著，農山漁村文化協会）．125–137
森　大顕（2016）薪ボイラー導入の手引き．（木質バイオマス熱利用でエネルギーの地産地消．相川高信・伊藤幸男・菅真由美・紫波グリーンエネルギー株式会社・中岸良太・小木曽秀美・Bスタイル PJ 研究グループ・三木　聡・森　大顕著，国林業改良普及協会）．200–211
Pa A, Bi XT, Sokhansanj S (2013) Evaluation of wood pellet application for residential heating in British Columbia based on a streamlined life cycle analysis. Biomass Bioenergy 49: 109–122
林野庁（2016）平成27年度森林及び林業の動向・平成27年度森林及び林業施策
Trømborg E, Bolkesjø TF, Solberg B (2008) Biomass market and trade in Norway: Status and future prospect. Biomass Bioenergy 32: 660–671
山下英俊・藤井康平（2015）エネルギー別に見た自治体の再生可能エネルギーに対する取り組み．都市問題 106(5): 44–55