

2014年3月

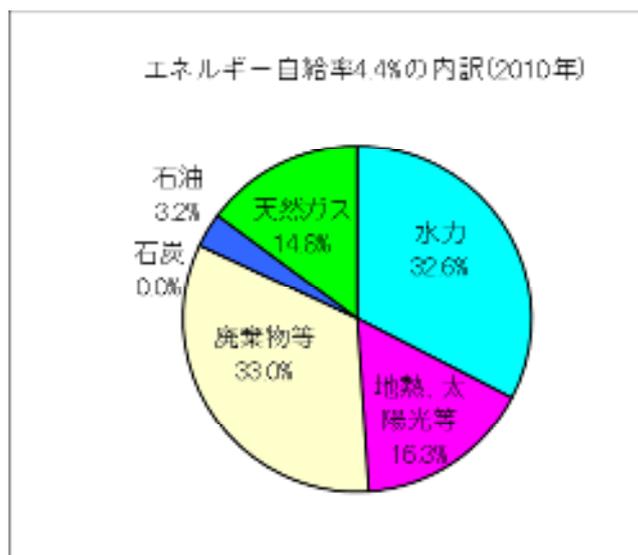
東広島市の社会福祉施設における  
木質バイオマス利用について

## 目次

1. はじめに	2
2. 方法	6
2-1. 供給元の調査	6
2-2. 運搬コスト	6
2-3. 供給先の調査	6
2-4. 薪ボイラとその周辺設備に関するデータ収集	7
2-5. CO <sub>2</sub> 削減量の算定	8
3. 結果	9
3-1. 供給元	9
3-2. 運搬コストの算出	11
3-3. 供給先	11
3-4. 薪ボイラ	13
3-5. CO <sub>2</sub> 削減量の算定	16
4. 考察	17
4-1. 投資回収年の算定	17
4-2. CO <sub>2</sub> 排出量削減による効果	23
4-3. 総合考察	24
5. 結論	26
6. 謝辞	26
7. 引用文献	27

## 1. はじめに

生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、自国内で確保できる比率をエネルギー自給率というが、日本ではこのエネルギー自給率が低いという特徴がある。高度経済成長期にエネルギー需要量が大きくなる中で、供給側では石炭から石油への燃料転換が進み、石油が大量に輸入されるにつれて、1960年には58%であったエネルギー自給率は、2010年には4.4%まで大幅に低下した(図1)。



西暦(年)	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010
エネルギー自給率(%)	58.1%	14.9%	6.3%	5.1%	4.2%	4.1%	4.4%
(原子力含む)(%)	(58.1%)	(15.3%)	(12.6%)	(17.1%)	(20.4%)	(19.3%)	(19.5%)

図1：日本のエネルギー自給率の推移と2010年の内訳

(経済産業省(2013)によるエネルギー白書2013の第211-4-1を一部編集)

石油と石炭だけでなく、オイルショック後に導入された液化天然ガス(LNG)や原子力発電の燃料となるウランは、ほぼ海外から輸入されており、2010年の日本のエネルギー自給率は4.4%にすぎない。

このようにエネルギー資源の少ない日本において注目されているのが、太陽光や風力、バイオマス、地熱など自然の力による再生可能エネルギーである。再生可能エネルギーは、自然界で繰り返し起こる現象から取り出すことができ、枯渇することなく、持続的に利用できるエネルギー源である。自然豊かな日本には、こうした再生可能エネルギーの資源が豊富に存在している。上の図1からも分かるように、実際日本の自給しているエネルギーのほとんど

どが再生可能エネルギーであるという現状からもこのことは明らかである。

再生可能エネルギーはエネルギー自給率の向上に加え、地球温暖化対策、さらには将来の産業育成につながると期待されており、ここ数年で様々な動きが見られる。例えば2012年7月から再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度が始まった。この制度は、再生可能エネルギー（太陽光、風力、水力（3万kW未満）地熱、バイオマス）による電気の買い取りを電力会社に義務付けるなど社会全体で再生可能エネルギーを普及、拡大させるものである。

再生可能エネルギーを普及していくことについては、2011年3月の福島第一原子力発電所事故の後の日本全体の関心の高まりから、国民的合意が得られたといえる。一方で再生可能エネルギーが将来全使用エネルギーのうちの程度の割合を賄うことができるか、そしてどのようなプロセスでその割合を決めていくかについての合意は得られていない。また、熱エネルギーについては、再生可能エネルギーの割合を高めるための制度もできていない。

一方ヨーロッパでは、1990年代にいくつかの農村地帯で始まったエネルギー自立の運動が、国のエネルギー政策を左右するまでになってきている。ドイツでは電力だけでなく、熱エネルギーに対しても再生可能エネルギーを普及する制度が作られている。そして再生可能エネルギーの比率を2030年までに30%、2050年までに60%にするという政府の目標値が明示され、省エネルギーの推進と相まって、着実に実行されている。日本においても各地域において再生可能エネルギーの比率を高め、エネルギー自立の方策を検討する必要がある。

以上の点から、日本ではこれから再生可能エネルギーの電気利用だけでなく、熱利用の検討をしていくことも必要であり、同時に地域レベルで自立できる仕組みを考えていく必要があるといえる。よって本研究では再生可能エネルギーの中でも1)熱利用が本命であり、また2)地産地消ができ、地域の活性化、自立が図れるという2つの理由から、木質バイオマスに焦点を当てることとした。

木質バイオマス燃料を利用することでその地域内の木質需要を起し、地元林業による地域産業や雇用を促進するという大きなメリットがある。その他にも木質バイオマスを普及することには以下の①～④のメリットがあげられる。

① カーボンニュートラル

木質バイオマスを燃焼させると二酸化炭素が排出されるが、これに含まれる炭素はその木質バイオマスが成長過程で光合成により大気中から吸収した二酸化炭素に由来する。そのため、木質バイオマスを利用しても全体として見れば、大気中の二酸化炭素を増加させていないと考えてよいとされている。

② 森林の適切な整備への寄与

森林は国土の保全や水源のかん養などの様々な機能を持っている。森林がこれらの機能を十分に発揮するためには、間伐や伐期を迎えた樹木を伐採するなど適切な森林整備が不可欠である。木質バイオマスが燃料として価値を持つことができれば、それが適切な森林整備につながることを期待できる。

③ 循環資源

木質バイオマスは地域に豊富に存在する循環資源であり、森林の適正な管理を行うことで永続的な利活用が期待できる。

④ 燃料コストの削減

現在使用されている化石燃料から、木質バイオマス燃料に転換することで燃料代の削減が期待できる。

堂免（1999）によると、地表、海面に達するエネルギーに比べて、光合成で固定されるエネルギーは約 1/1,000、世界のエネルギー消費量は約 1/10,000 とされる。ゆえに、木質バイオマスで世界のエネルギー消費全てを賄うことは困難であると考えられるが、地方都市の熱エネルギー消費に限って考えると大きな役割を担える可能性がある。そこで、地方都市である東広島市における木質バイオマス利用について検討することを考えた。

東広島市は林業が盛んでなく、現在パルプ業者に不定期に原木を提供する程度で、林地残材も全く使われていない。その一方で 2010 年 2 月には東広島市地域新エネルギービジョンが策定され、2020 年度には期待可採量（木質バイオマスを含むバイオマス全体で 400TJ）の 20%を、2050 年度には全量を導入するとした。また 2011 年 2 月には東広島市バイオマスタウン構想が策定され、2018 年には現在利用が 0%の林地残材を 80%までするとした。このように目標値を定め、木質バイオマスを普及させようという動きはあるが、実際どのように導入していくかについての具体的な議論はされていない。そこで本研究ではこの東広島市を調査地とし、具体案を検討することとした。

木質バイオマス燃料については主に薪、チップ、ペレットの3種類があるが、原木からチップにするためにはチップパーが、ペレットにするには木くずにしたものを乾燥、粉碎、造粒、冷却の4工程で製造する必要がある、製造過程が複雑になる。林業が盛んでなく、木質バイオマスの供給体制が整っていない東広島市では、いきなり大規模な製造工程を設けるのはリスクが高すぎる。一方薪であれば、製造が薪割りのみであるため容易であり、初期投資も少ないためリスクも低い。よって東広島市においては薪の利用が最も現実的であると判断でき、本研究では薪の導入を検討した。

木質バイオマス燃料の供給先（実際に利用する施設）については、1)燃料の安定供給を図るために1年を通して需要があることと、2)化石燃料に比べてコストが低いというメリットを生かすために1日中燃料を使う環境であることの2つを必須条件とすれば、温浴施設、病院、ホテル、社会福祉施設がこれに該当する。その中でも社会福祉施設は、1)温浴施設のように1日の中でピーク時と通常時の大きな波が無いいため化石燃料のバックアップなしでも導入できる可能性があり、2)ホテルや病院のように大規模すぎないため東広島市のような林業が盛んでない地域では最も導入可能性があり、3)施設の入居者で薪割りなどを活動の一環として行うことができれば、コスト削減が見込めるという3つの要因から、導入に適した供給先だと考え、本研究の対象とした。

以上をまとめると、東広島市内で出された木質バイオマス（薪）を東広島市内の社会福祉施設で持続的に利用する仕組みを作ることの可能性の検討を行うことが本研究の目的である。

## 2. 方法

### 2-1. 供給元の調査

①供給元となる東広島市内の森林について、現在の管理状況と、燃料とするバイオマスがどのくらいの量であれば安定調達できるかを把握するために、市内の森林整備を行っている3つの森林組合（賀茂地方森林組合、黒瀬町森林組合、芸南森林組合）に聞き取り調査を行った。

②森林組合の管理する木質バイオマス量については正確な数値が得られなかったため、広島県農林水産局が作成した平成25年林務関係行政資料にあった地域別のデータを参考に算出した。計算式については以下のとおりである。

$$G=B \cdot S/T \quad \text{一式①}$$

G=生長量[t/年]

B=アカマツを主体としコナラを含む林野（マツ型里山林）での木質バイオマス量[t/ha]（山場他、2009）

T=更新年数[年]

S=森林面積[ha]

### 2-2. 運搬コスト

山元から供給先までの運搬コストについては、九州森林管理局内のシステム販売取引に参加している供給側（山元）の素材生産業者と原木市場、需要側の製材工場等それぞれに共通した質問項目で実施されたアンケート結果（入江、2009）を引用した。

### 2-3. 供給先の調査

① 供給先として東広島市内の社会福祉施設2か所を選定し、現在の燃料の種類や使用量などの熱負荷パターンを把握するため、聞き取り調査を行った。なお一般に公開していない情報も頂いた関係上、特定されない形にするため本研究では「A施設、B施設」と表記した。

② 得られた燃料データをもとに、それぞれの燃料の熱量を薪に換算した。計算式については以下のとおりである。

(A)灯油 (L) から薪 (kg) への換算

$$W=V \cdot 36.7/18.0 \quad \text{一式②}$$

W=薪（乾量基準含水率 U=15%）の重量[kg]

V=灯油の体積[L]

36.7：灯油 1L あたりの熱量[MJ]（経済産業省, 2005)

18.0：薪（乾量基準含水率 D.B.=15%—※1）の熱量[MJ/kg]（熊崎・沢辺, 2013)

(B)LP ガス (m<sup>3</sup>) から薪 (kg) への換算

$$W=V \cdot 2.18 \cdot 50.8 \cdot a / 18.0 \quad \text{—式③}$$

W=薪(乾量基準含水率 U=15%)の質量[kg]

V=LP ガスの体積[m<sup>3</sup>]

a=ガスヒートポンプのエネルギー効率

2.18：LP ガス 1 m<sup>3</sup>あたりの重量[kg]（日本LPガス協会, 2009)

50.8：LP ガス 1kg あたりの熱量[MJ]（経済産業省, 2005)

18.0：薪（乾量基準含水率=15%D.B.—※1）1kg あたりの熱量[MJ/kg]（熊崎・沢辺 2013)

※1…乾量基準含水率：全乾重量（水分を除いた木の部分全体の重量）に対する水分重量の比で示すものを乾量基準含水率（Dry Base）という。15% D.B.は気乾状態（加熱等の人為処理なしでできる限界の乾燥状態）である。また、水分も含んだ燃料全体の重量に対する水分重量の比で表すものを湿量基準含水率（Wet Base）という。

#### 2-4. 薪ボイラとその周辺設備に関するデータ収集

- ① 2013年8月にボイラメーカーである株式会社巴商会でインターンシップ生として1週間研修を行い、実際に薪ボイラを導入している施設（東京都檜原村：数馬の湯）の視察を行った。
- ② 薪ボイラの種類、価格などの一般には公開されていない情報を得るために、実際に薪ボイラの導入事業に携わっている2つのコンサルタント会社の技術者合わせて4名と薪ボイラのディーラーの2名に聞き取り調査を行った。同時に薪ボイラの周辺設備と工事についても聞き取りを行った。
- ③ 得られたデータをもとにそれぞれの施設に必要な薪ボイラの出力を計算した。計算方法については以下のとおりである。

- I. 1年間で燃料消費の最も多い月のデータをもとに1日あたりおよび1時間あたりに必要な燃料の量を求めた。
- II. 方法の2・3の係数（灯油は36.7MJ/L、LPガスは50.8MJ/kg）を使って、薪を用いた場合の燃料消費の最も多い月の1時間あたりの熱量[MJ/h]を算出した。
- III. 薪ボイラについても、規模的に可能性のあるA社～E社のボイラのそれぞれの出力（14kW～244kW）において以下の式から1時間あたりの熱量[MJ/h]に換算した。IIの値を最初に上回ったものがその施設に必要な出力の薪ボイラであると判断した。

$$X = a \cdot 3600 / 1000 \quad \text{一式④}$$

X=1時間あたりの熱量[MJ/h]

a=薪ボイラの出力[kW=kJ/s]

- IV. 熱量がIII > IIの場合に、その施設に必要な出力の薪ボイラであると判断した。

#### 2-5. CO<sub>2</sub>削減量の算定

燃料を薪にすることで、年間でどのくらいのCO<sub>2</sub>を削減できるかを、使用した灯油あるいはLPガスが排出したCO<sub>2</sub>量を計算することで求めた。計算式は以下の通り。

$$E = U \cdot F$$

E=CO<sub>2</sub>削減量[t]

U=燃料使用量[kL]または[t]

F=CO<sub>2</sub>排出係数[tCO<sub>2</sub>/kL]または[tCO<sub>2</sub>/t]

### 3. 結果

#### 3-1. 供給元

##### ① 東広島市の森林

東広島市の面積は 63,532ha で、そのうち森林面積はおよそ 62%の 39,643ha を占める（広島県，2013）。森林区分については民有林（公有林、私有林）が 36,609ha、国有林が 3,034ha となっており、森林全体のおよそ 92%が民有林ということになる（広島県，2013）。

民有林はさらに人工林と天然林に分けることができ、人工林は 5,402ha、天然林は 30,815ha で、民有林の 85%が天然林であるという特徴がある。樹種別で見ると人工林においてはマツ 2,400ha、ヒノキ 2,263ha、広葉樹 375ha、スギ 364ha となっており、天然林においてはマツ 21,348ha、広葉樹 9,254ha、竹林 213ha という分布である。この結果から、東広島市に存在するバイオマスのほとんどがマツであるといえる（図 2）。

##### ② 森林組合

東広島市の 3 つの森林組合が管理する範囲は、図 3 のとおりである。

聞き取り調査の結果は以下の表 1 にまとめた。なお、森林面積については林務関係行政資料 19～27 頁の値を参考に作成した。

表 1：東広島市内の森林組合からのヒアリング結果(図 2 も参照)

	賀茂地方森林組合	黒瀬町森林組合	芸南森林組合(安芸津)
森林面積(ha) (国有林除く)	29,329	2,768	4,512
マツ林面積(ha) (国有林除く)	19,486	2,096	2,164
樹種	主にアカマツ	主に広葉樹 (松枯れが深刻であるため)	主に広葉樹 (松枯れが深刻であるため)
現在原木の出荷を行っているか	・パルプ業者に出荷 ・市内のパン屋に出荷	行っていない	行っていない

表 1 続き

現時点で、木質バイオマスを安定供給できるか	年間原木（アカマツ）100t 程度であれば供給可能 (1t5,000~6,000 円+運搬費)	厳しい	厳しい
-----------------------	--	-----	-----

出典（森林面積、マツ林面積）：広島県（2013）林務関係行政資料

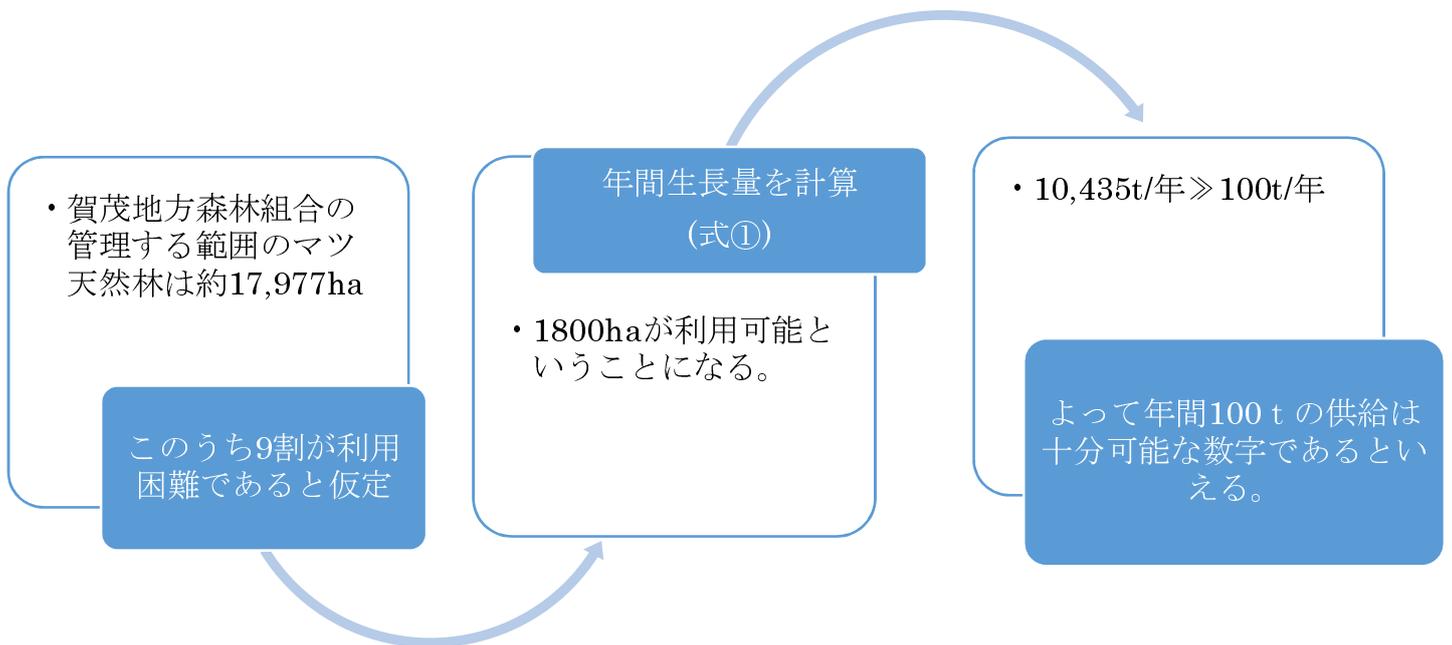


図 4: 賀茂地方森林組合がアカマツを年間 100t 供給可能であるかの確認フロー。  
計算方法の詳細は本文を参照

図 4 において、マツ天然林のうち 9 割が利用困難であると仮定したのは、傾斜地や林道の未整備等土地利用上の問題や、持ち主が不明である等の問題により利用困難な森林が多いということ、森林組合への聞き取り調査の中で知り得たからである。年間生長量の計算には式①を用いたが、木質バイオマス量は 232.185t/ha（含水率 0%で 201.900t/ha として、標準の含水率 15%の値で計算）とした。またマツ等の針葉樹が伐採可能になるまでおよそ 35~60 年かかる（中川木材産業（株），2014）

ということ踏まえ、将来的には森林を 40 区画（1 年で使用する木質バイオマスが 1 区画分）に分けると、40 区画目を使用し終えた時には 1 区画目ではすでに生長しているという循環型システムを構築することができるかと仮定し、更新年数は 40 年に設定した。

### 3-2. 運搬コストの算出

右の図 5 のように、東広島市内であれば供給元から供給先の A 施設および B 施設まで最も遠いところで約 30km であった。

入江（2009）の研究によるアンケート結果から得られた距離と単価をもとに作成された表（表 2）によると、30km 圏内であれば運搬コストは木材 1 m<sup>3</sup>あたり 1,000~1,300 円（10t トラックを使用）と推定できる。

ゆえに、平均距離を 20km として 1 m<sup>3</sup> : 1200 円として計算すると、アカマツは 1 m<sup>3</sup> : 0.540t（乾量基準含水率 U=15%）であるので、アカマツの原木 1t あたりの運搬コストは、

$$1200/0.54 \div 2,222 \div 2,200 \text{ (円)}$$

となる。よって原木の運搬コスト込の価格はおよそ 1t : 7,200~8,200 円と推定できる。



図 5：運搬の最大距離  
(地図は Google map より引用)

距離 (km)	単価 (円/m <sup>3</sup> )
10	1,000
20	1,200
30	1,300
40	1,500
50	1,800
60	1,900
70	2,000
80	2,100
90	2,500
100	3,000

表 2：距離と単価の関係表(入江, 2009)

### 3-3. 供給先

A 施設と B 施設への聞き取り調査によって得た情報と、それをもとに現在の燃料を薪に換算した計算結果を以下の表 3 にまとめた。ただし、燃料を薪に換算するうえで B 施設については、1) 空調においてガスヒートポンプと薪ボイラとでは配管の仕組みが異なるため（前者が冷媒配管、後者が温水配管）、工事するとなると莫大なコストがかかる（約

2,000 万円程度)。このことを考慮すると空調に薪ボイラを適応させるのは困難である（配管モデルのイメージについては図 6 を参照）。また 2) 賀茂地方森林組合の聞き取り調査から、現時点では燃料となる原木は年間 100 t 程度以下でなければ提供できない。以上の 2 点より、現在使用している全ての LP ガスを薪にした場合に加え、給湯のみ薪を利用した場合の計算も行った。A 施設と B 施設の月別の燃料の消費量に関しては、表 4 (1) (2)、表 5、図 7、図 8 にまとめた。

表 3：A 施設および B 施設へのヒアリングならびに薪換算結果

	A 施設	B 施設
定員	80 名	90 名
事業開始	昭和 20 年	昭和 6 年 (平成 13 年に施設を全面改築)
使用燃料	灯油	LP ガス
年間消費量	15,559L(2012 年)	28,179 m <sup>3</sup> (2012 年度)
年間燃料費 (全体)	約 1,743,000 円(2012 年)	9,550,259 円(2012 年度)
年間燃料費 (給湯のみ)	—	約 2,656,000 円 (2012 年度)
使用機器	長府温水ボイラ (型式：551S LG1601E)	アイシンガスヒートポンプ (型式：M560E)
使用用途	暖房、給湯	冷暖房、給湯
メンテナンス費用	—	年間 100 万円
年間発熱量 (全体)	571,015MJ	6,771,822MJ
必要な薪の量 (全体)	約 32 t	約 376 t
薪の年間コスト (運搬費込) (全体)	約 228,000 円 ～260,000 円	約 2,709,000 円 ～3,085,000 円
年間発熱量 (給湯のみ)	—	1,883,104MJ
必要な薪の量 (給湯のみ)	—	約 105t
薪の年間コスト (運搬費込) (給湯のみ)	—	約 756,000 円 ～861,000 円

B 施設のアイシンガスヒートポンプ (M560E) は、アイシン精機株式会社のホームページの製品情報によると効率が 2.17 であった。よってこの値を薪の換算に用いた。また、B 施設の燃料である LP ガスに関して、給湯と

冷暖房別のデータが無かったため、本研究では1年で最もガス使用量の少ない月である5月は冷暖房がほとんど使われなかったと仮定し、653 m<sup>3</sup>は給湯のみで消費された量であると判断し計算に用いた。

表3の結果より、A施設においては必要な薪の量が年間約32tであり、100tを大きく下回った。また、ランニングコスト面で現在の燃料である灯油と薪とで比較すると、薪は灯油の13～15%程度の負担で済むということが明らかになった。

B施設においては、冷暖房と給湯全てを賄うとした場合、必要な薪の量は年間約376tであり、100tを大きく上回った。よって現時点では、東広島市の森林から供給できる木質バイオマスのみでB施設の冷暖房と給湯全てを賄うのはほぼ不可能であるということが明らかになった。しかし、給湯のみに限定した場合、必要な薪の量は年間約105tであり、現時点で賄える範囲内の量となった。よって本研究ではB施設については給湯のみを賄うことのできる薪ボイラの導入を検討することとした。また、コスト面で現在の燃料であるLPガスと薪とで比較すると、薪はLPガスの28～32%程度の費用負担で済むということが明らかになった。

### 3-4. 薪ボイラ

#### ① A施設およびB施設に必要な薪ボイラの出力の算定

A施設とB施設に薪ボイラを導入する場合の必要出力を計算すると、A施設は50kW、B施設は70kWの出力が必要であるということが分かった(表6: 計算方法は方法2-4③を参照)。B施設においては3-3で述べたように配管と供給元の事情から給湯のみを賄える出力として計算した。

表6: 施設に必要な薪ボイラの出力

	A施設	B施設(給湯のみ)
必要出力	50kW	70kW

#### ② 薪ボイラの選定

環境コンサルタント会社から入手した資料より、製造会社別の薪ボイラの性能を表7にまとめた。なお、企業名は「A社～E社(計5社)」という表記とした。

表 7：薪ボイラの性能

製造会社	A 社～E 社の 5 社
燃焼効率	35～90%以上
最大出力(kW)	14～244kW
価格	27,500 円/kW～87,500 円/kW

本研究においては 1)コスト抑え、かつ 2)燃料ができるだけ少なくて済む、つまり燃焼効率がよいという 2 点を選定条件とした。

E 社は燃焼効率が低すぎるため適さず、D 社は出力が低すぎるため適さず、B 社は価格が高すぎるため適さないと判断した。A 社と C 社は共に価格が高すぎず、高燃焼効率であるが、A 社のほうがより燃焼効率が上であった。以上の観点から、本研究において導入を検討するのは A 社の薪ボイラとした。A 社の 50kW および 70kW の薪ボイラについて表 8 にまとめた。

表 8：A 社薪ボイラのデータ

	50kW (A 施設)	70kW (B 施設)
重量 (kg)	約 750	約 940
<b>燃料</b>		
長さ (mm)	550	550
充填室の容量 (L)	195	255
投入間隔 (h)	3～5	3～5
価格	約 290 万円	約 400 万円
耐用年数	20～30 年	20～30 年

### ③ 附帯設備の導入

導入する薪ボイラを最適な稼働状況とするためには、附帯設備について検討する必要がある。主な附帯設備は表 9 のとおりである（(株) 森のエネルギー研究所, 2012）。

表 9：薪ボイラ導入時に必要となる附帯設備

1.熱量積算計	2.貯湯タンク	3.自動着火装置	4.自動灰出装置
---------	---------	----------	----------

1 に関しては計画値と実績を比較することができるため、設置することが望ましい。2 に関しては、薪ボイラが化石燃料と違い、熱需要の変動に応じて出力調整ができず基本的に一定の出力以上で燃焼を続ける

必要があるという観点から必須であるといえる。比較的負荷が少なく薪ボイラに余裕がある際に蓄熱を行うことで、速やかに負荷変動に対応できるようにするためである。導入の際は適切な容量にすることが重要である。3と4に関しては手動で行える軽労働の範囲内であるため、不必要であると判断した。よって、本研究において必要な薪ボイラの附帯設備は1と2であるとした。

1について、メーカー3社の価格を比較したところ、最安で35,000円（東洋計器株式会社）であった。2に関しては、薪ボイラのディーラーA氏からの情報によると、欧州規定では1kWあたり60Lのタンクが必要であるとのことであった。また、コンサルタント会社技術者B氏によると貯湯タンクの価格は5~6 m<sup>3</sup>で250~300万円とのことであった。これらのデータをもとにA施設とB施設に必要な薪ボイラの附帯設備とそのコストを表10にまとめた。

表 10：施設に必要な附帯設備とそのコスト

	A 施設	B 施設
・ 熱量積算計		
<b>価格</b>	35,000 円	35,000 円
・ 貯湯タンク		
<b>容量</b>	3,000L	4,200L
<b>価格</b>	約 150 万円	約 210 万

(貯湯タンクの価格に関しては 1 m<sup>3</sup>:50 万円として計算)

#### ④ 建設コスト

薪ボイラの建設コストを含めたイニシャルコストの一般的な傾向について、日本では信頼できる正式な定量的なデータが存在しない（梶山他、2013）。そこで実際にボイラの導入事業を行っているコンサルタント会社技術者C氏からA施設とB施設の燃料の種類および年間消費量などの使用条件に適合する設備の建設コストについて、おおよその費用に関する情報を入手した。各施設の配管が出湯系であると仮定したうえでの結果は表11のとおりである。

表 11 : A 施設と B 施設の建設コスト

	A 施設	B 施設
<b>建設費</b>	約 300 万円	約 1000 万円

### 3-5. CO<sub>2</sub>削減量の算定

灯油の CO<sub>2</sub>排出係数は 2.49tCO<sub>2</sub>/kL、LP ガスの CO<sub>2</sub>排出係数は 3.00tCO<sub>2</sub>/t である（経済産業省・環境省、2010）。この値を用いて A 施設と B 施設の燃料を薪にした時の CO<sub>2</sub>削減量を計算し、表 12 にまとめた。なお運搬の過程における CO<sub>2</sub>排出量は含めていない。

表 12 : 燃料を薪にした場合の A 施設と B 施設の年間 CO<sub>2</sub>削減量

	A 施設	B 施設（給湯のみ）
<b>CO<sub>2</sub>削減量</b>	約 39tCO <sub>2</sub>	約 51tCO <sub>2</sub>

## 4. 考察

### 4-1. 投資回収年の算定

A 施設と B 施設それぞれについて薪ボイラを導入した場合何年で投資が回収できるかの算定を行った。手順は図 9 のとおりである。

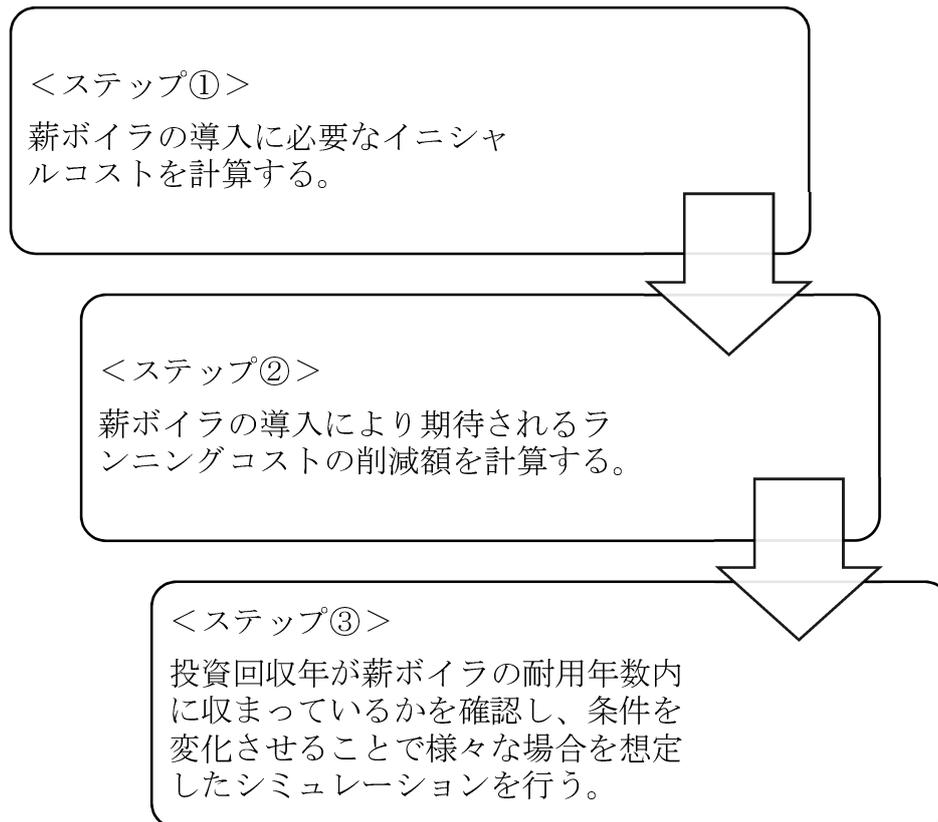


図 9：投資回収年算定の手順

(梶山他 (2013) による「木質バイオマスボイラー導入・運用に係る実務テキスト」の図 2.8 を参考に作成)

#### <ステップ①>

薪ボイラの導入に必要な費用は、本論文の結果の表 8、10、11 より、表 13 のようになる。

表 13 : A 施設と B 施設のイニシャルコスト

	A 施設	B 施設
イニシャルコスト (薪ボイラ本体価格+熱量積算計価格+貯湯タンク価格+建設費)	約 7,435,000 円	約 16,135,000 円

<ステップ②>

化石燃料の価格と薪の価格は表 3 に示した。その他のランニングコストとして、薪ボイラの場合には灰処理費用や保守・点検費用と電気代を見込む必要がある。

- 薪ボイラの灰処理費用に関しては、樹皮付きのチップで灰分率 1.0～2.5%程度であり、灰の処理費用単価は 10,000 円/t 程度が相場である（梶山他，2013）。灰分については加工の仕方によって変わるものではないため、薪についても同じとみなし、灰分率 2.0%、処理費用を 10,000 円/t とした。
- コンサルタント会社技術者 B 氏によると薪ボイラの保守点検費用は年間契約で 20 万円/年～50 万円/年が相場である。日常的な点検は施設で行い、年に一度の定期点検のみで済むという前提のもと、ここでは 20 万円/年とした。
- 薪ボイラの電気容量はコンサルタント会社技術者 B 氏から得た情報から、A 社であれば約 3.3W（電力）/kW（熱）ということが分かった。また、薪ボイラの場合貯湯タンクを設置する必要があるため、貯湯タンクと薪ボイラ間の循環ポンプが必要で、0.75kW～1.5kW ほど余分に電力が必要である。ここでは 1.0kW 余分に必要であるとした。電気代は、ボイラの使用条件により変動するが、電気容量に稼働時間を乗じて求めた値と概ね一致する（梶山他，2013）ため、本研究においてもその計算方法を採用した。年間の稼働時間は 2,500 時間（日平均 6.8 時間）と仮定して計算した。また、中国電力によると電気料金単価は約 14 円/kW である。

以上より、ランニングコスト削減額は表 14 のようになる。

表 14：ランニングコストまとめ

	A 施設	B 施設
① 現在の年間燃料費	約 1,743,000 円	約 2,656,000 円
② 薪にした場合の 年間燃料費	約 228,000 円 ～260,000 円	約 756,000 円 ～861,000 円
③ 年間灰処理費用	約 6,000 円	約 21,000 円
④ 年間保守・点検費	約 200,000 円	約 200,000 円
⑤ 年間電気代	約 41,000 円	約 43,000 円
ランニングコスト削減額 =①-(②+③+④+⑤)	約 1,236,000 円 ～1,268,000 円	約 1,531,000 円 ～1,636,000 円

＜ステップ③ i：原木から薪にする過程におけるケース分け＞

投資回収年の算定にはステップ①と②で出したイニシャルコストとランニングコストに加え、原木から薪にする過程のコストを考えなければならぬ。この原木から薪にするという過程の違いにより以下の3通りのようにケース分けした。

[ケース 1：薪を森林組合で作る]

森林組合で原木から薪にするところまで行くと仮定する。広島県で実際に薪を製造し販売まで行っている世羅郡森林組合の価格（1束 6～7kg：350円）を参考にすると、1tあたりの薪の価格は約 50,000円～58,400円である。運搬費を合わせると約 52,200円～60,600円—（X）となる。よって年間の燃料費は表 15 のようになる。

表 15：薪を森林組合で作った時の年間燃料費

薪の年間燃料費＝薪の価格（X）・薪の年間消費量（表 3 参照）

	A 施設	B 施設
薪の年間燃料費	約 1,670,000 円 ～1,939,000 円	約 5,481,000 円 ～6,363,000 円

A 施設においては現在使用している灯油の価格とほぼ同等であり、B 施設に関しては現在使用している LP ガスの価格よりも約 2.0 倍～2.4 倍高い価格となった。ただし、世羅郡森林組合で作られている薪は、個人宅の薪ストーブに使用することが想定されたものである。つまり、薪ボイラに必要な薪の大きさ以上に細かく割られ、さらに一束ずつ括るという作業が入るため、

人件費が余計にかかっていると考えることができる。

そこで、森林組合が上記のような余計なコストのかからない、薪ボイラのための薪を作る場合を考える。薪の価格は樹種や乾燥の具合、地域によって様々であるが、ここでは 6,000 円～9,000 円/薪 $m^3$ （梶山他、2013）として計算した。1  $m^3$ 角に積まれた乾燥した大割りの薪は約 400kg（梶山他、2013）であるので、1t あたりの薪の価格は約 15,000 円～22,500 円である。運搬費を合わせると約 17,200 円～24700 円—（Y）となる。よって年間の燃料費と投資回収年は表 16 のようになる。

表 16：薪ボイラ用の薪を森林組合で作った時の年間燃料費と投資回収年  
薪の年間消費量＝薪の価格（Y）・薪の年間消費量（表 3 参照）

	A 施設	B 施設
<b>薪の年間燃料費</b>	約 550,000 円 ～790,000 円	約 1,806,000 円 ～2,594,000 円
<b>①イニシャルコスト</b>	約 7,435,000 円	約 16,135,000 円
<b>②ランニングコスト削減額</b>	約 706,000 円 ～946,000 円	約－202,000 円 ～586,000 円 (マイナスは赤字)
<b>投資回収年 ＝① / ②</b>	約 8～11 年	27 年以上

A 施設においては約 8～11 年で投資が回収できるという結果となり、薪ボイラの寿命である 20～30 年以内の投資回収が大いに期待できるといえる。よって導入可能性は高いといえる。

一方で B 施設においては、薪の価格が 1t あたり約 15,000 円に収まったとしても、投資が回収できるまでに約 27 年かかるという結果になった。また、1t あたり 20,000 円を超えると薪のコスト面のメリットがほとんど無くなるということが明らかになった。よって導入可能性は低いといえる。

#### 【ケース 2：薪を業者で作る】

森林組合から提供された原木を業者で薪にしたと仮定する。現在東広島市には薪製造を行う業者はないため、長野県にある薪の製造・配達や薪ストーブの専門業者である株式会社 DLD の価格を参考にしたところ、1 束 6～7kg：230 円であった。また送料は、県内でも 1 束あたり 264 円となり、送料込みの価格は 1 束約 500 円となる。これはケース 1 の場合の価格よりも高く、コスト面のメリットがなくなるのは明確である。

また、仮に東広島市に DLD のような薪の専門業者ができ、価格については DLD と同じ 1 束 230 円、送料については入江（2009）をもとにした約 2,200 円/t であると仮定すると、1t 当たりの薪の価格は約 35,000 円～40,500 円となる。よって年間の燃料費と投資回収年は表 17 のようになる。

A 施設においては、灯油に比べて年間で約 447,000 円～約 623,000 円安くなる。しかし、燃料費以外のランニングコストが表 12 のような費用以内におさまったとしても年間約 200,000 円～400,000 円安くなる程度となり、投資回収年は 19 年～37 年かかる計算となる。薪ボイラの寿命が 20 年～30 年であるため投資の回収は厳しく、導入可能性は低いといえる。

また B 施設においては LP ガスよりも高くなっており、こちらも投資の回収は計算上不可能であるため、導入可能性は低いといえる。

表 17：薪を業者で作った時の年間燃料費と投資回収年

	A 施設	B 施設
<b>薪の年間燃料費</b>	約 1,120,000 円 ～1,296,000 円	約 3,675,000 円 ～4,253,000 円
<b>①イニシャルコスト</b>	約 7,435,000 円	約 16,135,000 円
<b>②ランニングコスト削減額</b>	約 200,000 円 ～376,000 円	約 3,939,000 円 ～4,517,000 円
<b>投資回収年 =① / ②</b>	約 20～37 年	×

### 【ケース 3：薪を社会福祉施設で作る】

本研究の方法で述べたように、社会福祉施設の活動の一環として原木から薪にしたとする。実際に森林組合から購入した原木から薪を自作し、石窯に使用しているという東広島市内のパン屋に聞き取りを行ったところ、社会福祉施設の入所者を社会体験活動として薪割りの体験会を行っていた実績があることがわかった。このことより、社会福祉施設の活動の一環として薪割りを行うことは十分可能であると考えた。薪割り機を実際に見たところ、スイッチを一回押すだけという簡単な作業で、薪を割るスピードもゆっくりであったため安全性は十分であった。

この場合必要となるのは薪割り機である。上記のパン屋では 7t の薪割り機が使用されていた。よって社会福祉施設においても 7t の薪割り機を導入するものとした。価格は約 4 万円～6 万円であったため、2 台購入したとし

ても 10 万円程度となる。よって投資回収年は表 18 のようになる。

表 18：薪を施設で作った時の投資回収年

	A 施設	B 施設
①イニシャルコスト	約 7,435,000 円	約 16,135,000 円
②ランニングコスト	約 1,236,000 円	約 1,531,000 円
削減額	～1,268,000 円	～1,636,000 円
③薪割り機 2 台	約 10 万円	約 10 万円
投資回収年	約 6 年	約 10～11 年
= (①+③) / ②		

薪割りを社会福祉施設で行うことができれば、A 施設は約 6 年、B 施設については約 10～11 年で計算上投資が回収できるという結果となった。この結果より、薪ボイラの寿命である 20～30 年以内の投資回収が大いに期待できる。ゆえに A 施設、B 施設共に導入可能性が高いといえる。

<ステップ③ ii：バックアップボイラに依存する場合>

ステップ②において、ランニングコストには現在施設で使用している燃料は加味していない。つまり、ステップ②のランニングコストは「現在の燃料をほぼ使わずに薪のみで賄うことができた場合」ということになる。しかし実際は、薪ボイラが故障した場合はもちろん、ピーク時と通常時の差が大きい場合や例年より多く燃料を多く使用し薪が入手できない場合など、薪ボイラのみで賄うことができない事態も考えられる。そこで、施設で薪ボイラを導入し、A 施設と B 施設が共に薪ボイラの寿命が来るまでに投資回収が期待できるというステップ③ i のケース 3 の条件のもとで、A 施設および B 施設で現在使用しているボイラをバックアップとして使う場合、投資回収はどうなるかを計算した。A 施設の結果は表 19、B 施設の結果は表 20 のようになる。なお B 施設の 1 m<sup>3</sup>あたりの LP ガスの価格は年間の平均(≒345 円)で算出した。

表 19 : A 施設のバックアップボイラ依存率別の投資回収年

依存率	10%	20%	30%
年間消費量	1,556L	3,112L	4,668L
価格	約 174,000 円	約 349,000 円	約 523,000 円
ランニング コスト削減額	約 1,062,000 円～ 1,094,000 円	約 887,000 円 ～919,000 円	約 713,000 円 ～745,000 円
投資回収年	約 7 年	約 8～9 年	約 10～11 年

表 20 : B 施設のバックアップボイラ依存率別の投資回収年

依存率	10%	20%	30%
年間消費量	2,818 m <sup>3</sup>	5,636 m <sup>3</sup>	8,454 m <sup>3</sup>
価格	約 972,000 円	約 1,944,000 円	約 2,917,000 円
ランニング コスト削減額	約 559,000 円～ 667,000 円	×	×
投資回収年	約 24～29 年	×	×

A 施設においてはバックアップボイラに 30%依存したと仮定しても約 10～11 年で投資が回収できるという結果になり、薪のみで対応しきれない場合でも灯油でカバーすることが可能であるということが明らかとなった。

一方 B 施設においては 10%の依存で投資回収年が約 24～29 年となり、薪ボイラの寿命が来るまでに回収が可能なぎりぎりのラインであるといえる。そして 20%以上依存することは困難であるという結果となった。

この対応策は 2 点考えられる。一つは B 施設に 4 か所にある風呂を別々の時間で沸かすという方法である。これによりピーク時と通常時の波を無くすことができ、ほとんどバックアップボイラに頼らずとも薪のみで賄うことが可能となる。もう一つは冷暖房を節約して使用し、余った分をバックアップボイラの熱源として使用するという方法である。

#### 4-2. CO<sub>2</sub>排出量削減による効果

燃料を薪に替えることにより CO<sub>2</sub>排出量を削減することができる(結果 3-5 参照)。その CO<sub>2</sub>削減量をお金に換算すると年間どれくらいの価値になるか検討した。CO<sub>2</sub>削減量を金銭的価値に換算する考え方には、排出権

取引とカーボン・オフセットがある。排出権取引は排出枠を金融資産として売買する行為のみをさす。一方カーボン・オフセットは、自分の温室効果ガス排出量のうち、どうしても削減できない量の全部又は一部を他の場所での排出削減・吸収量でオフセット(埋め合わせ)することをいう(環境省(2013)によるカーボン・オフセット制度「カーボン・オフセットとは」より)。排出権取引に関しては、国内における取引については検討段階であるため、本研究ではカーボン・オフセット分をクレジットとして発行する制度である J-VER における価格を参考にした。これによると、1t あたりの排出量の取引価格は約 2,000 円(2013 年 11 月現在)であった(環境省(2014)による「カーボン・オフセットフォーラム」より)。この値を用いると、A 施設と B 施設においては表 21 のようになる。

表 21 : A 施設、B 施設における年間 CO2 削減量の金銭への換算

	A 施設	B 施設
年間 CO2 削減量	約 78,000 円	約 102,000 円
→金銭的価値		

A 施設と B 施設のクレジットは共に大きな額とは言いきれないが、実際に J-VER 制度を使い、毎年表 21 の額が還元されるようになれば、薪割りや薪ボイラへの薪の投入など人件費に充てることも想定できる。よって燃料を薪にすることによる負担の軽減につながるといえる。

#### 4-3. 総合考察

以上より、林業が盛んでなく、年間 100t 程度しか木質バイオマス燃料を出すことができない東広島市でも、原木から薪にする過程でかかるコストを最小限にすることができれば、A 施設においてはバックアップボイラに依存した状態でも約 10 年以内の投資の回収が期待できるという結果が得られた。また B 施設においては、バックアップボイラへの依存率は 10% 以内にとどめなければ投資回収は難しいが、バックアップボイラにできるだけ依存しないような工夫ができれば、投資は約 10~11 年で回収できるという結果から、導入可能性は十分あると考える。

また A 施設においては、薪を森林組合で作った場合でも kg あたり 15 円~23 円で製造することができれば、計算上 10 年程度で投資が回収できるということが明らかになった。よって B 施設以上に導入可能性が高いと考える。

一方で B 施設に関しては施設の活動の一環として薪割りができないと、

投資回収は厳しいという見方もできる。原因は2点考えられる。1つはイニシャルコストが高いという点である。A 施設はボイラを使用して10～20年経過しているため、建て替えを想定した工事費であるが、B 施設は現在の配管に付け加える形の工事となるため、費用が大幅に高くなっている。もう一つは2010年に配管や室外機の取り換え工事を行った結果、年間燃料費が以前の2/3程度に減少したことで、薪のコスト面のメリットがA 施設よりも反映されにくいという点である。実際にA 施設とB 施設の現在の燃料コストを比較すると、薪1t分の価格としてはLPガスが約26,000円、灯油が約54,000円となり、LPガスは灯油の価格のおよそ1/2であることが分かった。

B 施設で、活動の一環としての薪割りができない場合の対応策として、雇用によって薪割りの人員を確保するという方法が考えられる。例えば本論文の考察4・2で触れたJ・VER等を活用することができれば、人件費をねん出することができる。また、本研究では触れなかったが国や県の補助金を利用することができれば、コスト面の負担が減り、導入可能性が高まることも考えられる。

最後に、本研究では運搬コストについて10tトラックを使用した場合としたが、導入施設の立地環境から10tトラックによる運搬が不可能の場合も考えられる。その場合は4tトラックや2tトラックを使用することになるが、10tトラックよりも積載量が少なく運ぶ回数が増えるため、運搬コストがある程度増えることが予想される。

## 5. 結論

はじめに述べたように、東広島市はこれから木質バイオマスに力を入れていくための目標を策定しているが、具体的にどこにどのように導入していくのかということは決められていない。本研究では、ある社会福祉施設という狭い対象ではあるが、木質バイオマスを導入する場合についてシミュレーションを行い、導入の可能性を示すことができたので、これからの具体的な導入方法を決める一助になると考えられる。

## 6. 謝辞

本研究は、様々な方々のお力添えのもとに完成いたしました。指導教員である福岡正人先生と佐藤高晴先生には、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。また賀茂地方森林組合の児玉氏、黒瀬町森林組合の原野氏、佛崎氏、芸南森林組合の中原氏、東広島市役所の向谷氏、土肥氏、岡本氏、あすなろペイキングカンパニーの大野氏、FM 東広島の井上氏、中央森林公園の谷村氏、社会福祉施設の上栗氏、松永氏には貴重な時間を割いて聞き取り調査に協力して頂き、様々なアドバイスもして頂きました。2つのコンサルタント会社の技術者合わせて4名と薪ボイラのディーラーの2名には、一般には公開していない貴重な情報を頂き、専門的なアドバイスもして頂きました。ここに感謝の意を表します。最後にインターンシップでお世話になった、岡本氏をはじめ巴商会の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 7. 引用文献

- ・ アイシン精機株式会社 (2014) : 室外ユニット E シリーズ特徴, 参照日 2014 年 1 月 17 日.  
(<http://www.aisin.co.jp/ghp/newitem/e1point.html>)
- ・ 入江健二 (2009) : 山元からの運搬コスト縮減について, 10p.
- ・ 梶山恵司・相川高信・山口勝洋・石山浩一・児島健一郎 (2013) : 木質バイオマスボイラー導入・運用に係る実務テキスト, 107p.
- ・ 株式会社ディーエルディー (2014) : 大型トラックでの配達, 2014 年 1 月 21 日更新, 参照日 2014 年 1 月 24 日.  
([http://www.dld.co.jp/maki\\_maintenance/%e5%a4%a7%e5%9e%8b%e3%83%88%e3%83%a9%e3%83%83%e3%82%af%e3%81%a7%e3%81%ae%e9%85%8d%e9%81%94/](http://www.dld.co.jp/maki_maintenance/%e5%a4%a7%e5%9e%8b%e3%83%88%e3%83%a9%e3%83%83%e3%82%af%e3%81%a7%e3%81%ae%e9%85%8d%e9%81%94/))
- ・ 株式会社森のエネルギー研究所 (2012) : 木質バイオマスボイラー導入指針, 51p.
- ・ 環境省 (2009) : カーボン・オフセットに用いられる VER (Verified Emission Reduction) の認証基準に関する検討会の開催状況・結果について, 2009 年 3 月 23 日更新, 参照日 2014 年 1 月 25 日.  
([http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon\\_offset/conf\\_ver.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon_offset/conf_ver.html))
- ・ 環境省 (2013) : カーボン・オフセット制度, 2013 年 11 月 25 日更新, 参照日 2014 年 1 月 25 日.  
(<http://jcs.go.jp/about.html>)
- ・ 環境省 (2014) : カーボン・オフセットフォーラム, 参照日 2014 年 1 月 25 日.  
(<http://www.j-cof.go.jp/j-ver/credit.html>)
- ・ 熊崎実・沢辺攻 (2013) : 木質資源とことん活用読本, 163p, 農文協.
- ・ 経済産業省 (2005) : 2005 年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改訂値について, 29p.  
(<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/resource/pdf/070601.pdf>)
- ・ 経済産業省 (2012) : エネルギー白書 2012 年版, 264p.
- ・ 経済産業省 (2013) : エネルギー白書 2013, 2013 年 7 月 26 日更新, 参照日 2012 年 1 月 23 日.  
(<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013energyhtml/2-1-1.html>)
- ・ 経済産業省・環境省 (2010) : 特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガ

- スの排出量の算定に関する省令，最終改正：2010年3月31日。
- ・ 資源エネルギー庁（2014）：石油製品小売市況調査，2014年1月16日14：00公表，参照日2014年1月17日。  
(<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/sekiyukakaku/sekiyukakaku1.htm>)
  - ・ 堂免一成（1999）：エネルギーのロマン・恒久的クリーンエネルギー創製の夢，化学と工業.52（1），14-16.
  - ・ 東洋計器株式会社（2011）：ニューリリース 2011年12月13日，参照日2014年1月19日  
([http://www.toyo-keiki.co.jp/news/2011/20111213\\_2.html](http://www.toyo-keiki.co.jp/news/2011/20111213_2.html))
  - ・ 内閣府大臣官房政府広報室（2013）：【再生可能エネルギー】 社会全体で再生可能エネルギーを育てるために、あなたのご協力が必要です 再生可能エネルギーの固定価格買取制度，掲載日：2013年4月3日，参照日2014年1月19日。  
(<http://www.gov-online.go.jp/useful/article/201110/4.html>)
  - ・ 中川木材産業株式会社（2014）：木の情報発信基地，2014年1月15日更新，参照日：2014年1月15日。  
(<http://www.wood.co.jp>)
  - ・ 日本LPガス協会（2009）：プロパン、ブタン、LPガスの立方メートルからキログラムへの換算係数について，参照日：2014年1月16日，2p.
  - ・ 東広島市（2010）：東広島市地域新エネルギービジョン【概要版】，11p.
  - ・ 東広島市（2011）：東広島市バイオマスタウン構想，22p.
  - ・ 広島県農林水産局（2013）：林務関係行政資料，140p.
  - ・ 山場淳史・渡邊園子・斎藤一郎・中越信和（2009）：ボランティア団体による木質バイオマス活用を目的としたマツ林型里山保全活動を支援するための技術的検討と合意形成過程，景観生態学.14（1），73-81.
  - ・ 林野庁（2013）：なぜ木質バイオマスを使うのか，2013年11月11日更新，参照日2014年1月20日。  
([http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con\\_2.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_2.html))