

短報

## カキの加温栽培におけるペレットボイラーの実用性評価

市川胤記・林良考\*

### Evaluation of Pellet Boiler Practicality for Forced Persimmon Cultivation

Kazuki ICHIKAWA and Yoshiyasu HAYASHI

**Key Words:** forced persimmon, pellet boiler, practicality

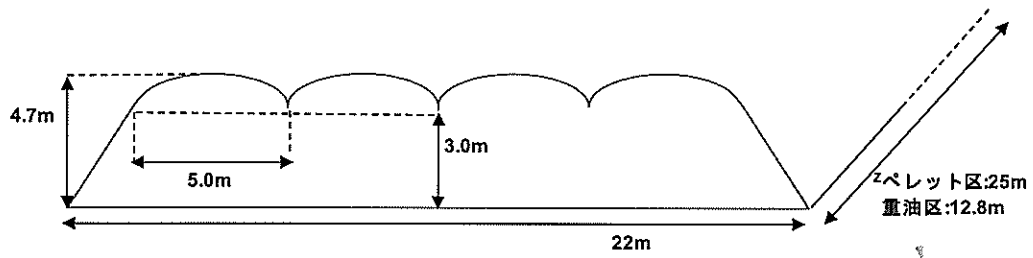
#### 緒言

奈良県では昭和55年にハウスを利用したカキの加温栽培が導入され、現在では‘刀根早生’を中心に約13haで年間約450tが生産されている(林, 2014)。  
‘刀根早生’の加温栽培では、12月下旬から加温を開始することで翌年の6月下旬から収穫が可能であり、生産者はA重油を燃料に使用して加温を行っている。しかし、近年原油価格の高騰に伴い、A重油の価格が上昇しているため経営が圧迫されている。原油価格の高騰による加温コストの上昇は、本県のハウス柿産地だけでなく、全国の施設園芸農家を悩ませる問題となっている。こうした背景から、重油ボイラーの代替として、低コスト燃料の1候補である森林資材を原料とし、地球環境にも優しいとされるバイオマスボイラーが野菜(森野ら, 2010; 網澤, 2016)や花卉(森野ら, 2010)の施設園芸で検討されている。このように、野菜や花卉といった単年性作物の施設園芸においてバイオマスボイラーの導入がみられる一方で、果樹のような永年性作物での導入事例は非常に少ない。

そこで、カキの加温栽培において木質ペレットを燃料として利用するペレットボイラーを導入し、夜間の温度推移、カキ樹の生育状況および加温コストについて重油ボイラーを使用した場合と複数年にわたって比較し、その実用性を検証した。また、ペレットボイラーの運用にあたっては、メンテナンス作業として燃焼灰の掃除が必要となるため、作業に要する時間について調査を行った。

#### 材料および方法

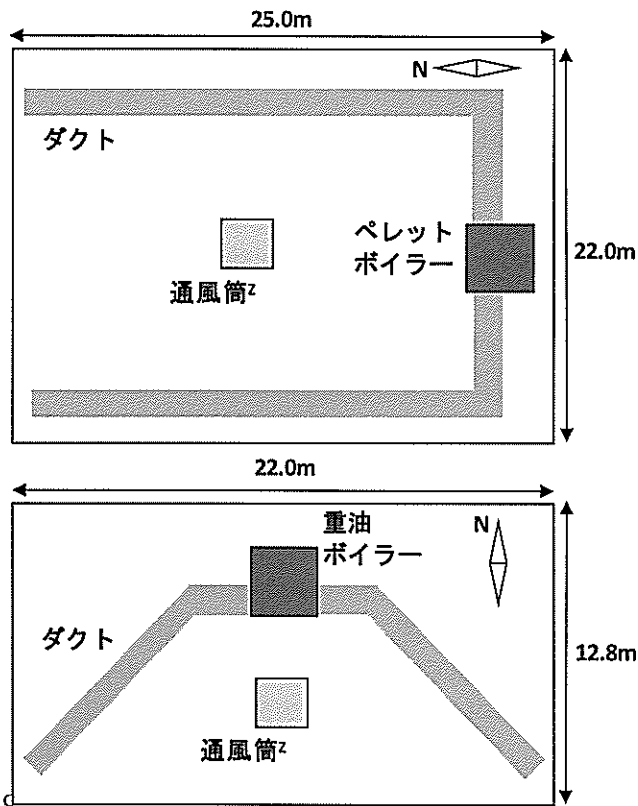
2014年から2017年の間、果樹・薬草研究センター(奈良県五條市西吉野町湯塩 1345)のカキの加温栽培を行っている平坦地に建設された4連棟型パイプハウス2棟(550m<sup>2</sup>, 280m<sup>2</sup>)で試験を実施した。両ハウスとも棟高4.7m, 軒高3.0m, 間口5.0mであり、奥行が25mと12.8mでそれぞれ異なる(第1図)。2棟のうち550m<sup>2</sup>のハウスはペレットボイラー(山本製作所製, PWH-5800, 最大出力熱量: 50000kcal/h)で加温し(以下, 「ペレット区」), 対照として280m<sup>2</sup>のハウスを重油ボイラー(ネポン社製, HK1520, 最大出力熱量: 38000kcal/h)で加温した(以下, 「重油区」)(第2図, 第3図)。なお、供試したペレットの品質については、手配を依頼した奈良の木ブランド課への聞き取りを行った(第1表)。両区とも加温期間中は農業用ポリオレフィン系特殊フィルム(農POフィルム)で二重被覆(外張りは0.1mm, 内張りは0.05mmの厚さのフィルムを使用)を行い、奈良県農業研究開発センターが2012年に作成した「ハウス柿燃費節減型温度管理マニュアル」を参考に第2表のとおり温度管理を行った。両区の夜間の温度推移、カキ樹の生育状況および加温コストについて調査を行い、ペレット区においてはボイラーのメンテナンスに要する時間についても調査を行った。カキ樹の生育状況の調査には‘刀根早生’(2014年の時点で21年生)6樹を供試し、調査の対象とした樹については、1枝1~2蕾に摘蕾後、葉果比10~15になるように摘果した。



第1図 加温ハウスの模式図-1

Fig.1. Diagram of heated plastic house-1

<sup>2</sup>ツマ面はペレット区と重油区で共通，奥行きはペレット区が25mに対して重油区が12.8m



第2図 加温ハウスの模式図-2

Fig.2. Diagram of heated plastic house-2

<sup>2</sup>地表約1.5mの位置に設置し，データロガー温度計およびボイラーの温度センサーを内部に配置  
上：ペレット区 下：重油区



第3図 試験に使用したボイラー

左：山本製作所製ペレットボイラー (PWH-5800)

右：ネポン製重油ボイラー (HK-1520)

Fig.3. Boiler used in the experiment

Left: Pellet boiler (PWH-5800) manufactured by Yamamoto CO.,Ltd

Right: Heavy oil boiler (HK-1520) manufactured by NEPON Inc

第1表 供試したペレットの品質<sup>2, Y</sup>

Table.1. Quality of pellet used in this study

調査年	水分量		材質	低位発熱量 (kcal/kg)
	含水率 (%)	水分率 (%)		
2014	8.8		全木	
2015			全木	
2016	6.0		全木	4210
2017		7.4	全木	4390

<sup>2</sup>値は奈良の木ブランド課への聞き取りによる

<sup>Y</sup>回答が得られなかった部分は空白で示した

第2表 温度管理の概要<sup>2</sup>

Table.2. Temperature management

調査年	ボイラー	設定温度 (°C)							
		10	12	14	15	14	13	12	停止
2014	ペレット	1月16日	2月6日	2月17日	3月4日		4月21日		5月23日
	重油	1月16日	2月3日	2月17日	3月4日		4月21日		5月23日
2015	ペレット	1月8日	1月28日	2月14日	3月2日		4月21日		5月22日
	重油	1月7日	1月28日	2月14日	3月2日		4月21日		5月22日
2016	ペレット	1月4日	1月25日	2月8日	2月9日	3月28日			5月13日
	重油	1月4日	1月25日	2月8日	2月22日	3月28日			5月13日
2017	ペレット	1月6日	1月26日	2月16日				3月13日	5月16日
	重油	1月6日	1月26日	2月16日				3月30日	5月16日

<sup>2</sup>表中の日付はそれぞれの温度の設定日を示し，空白部分は該当温度への設定を行わなかったことを示す

### 実験1. 夜間の温度推移の比較

2014年から2017年の間、ハウス内中央部の地表約1.5mの位置に設置した通風筒内の温度を、データロガー温度計（ティアンドデイ社製、おんどとり jr. RTR-52）を用いて10分間隔で測定し、ペレット区および重油区の夜間の温度推移を調査した。

### 実験2. ‘刀根早生’の生育状況の比較

2014年から2017年の間、ペレット区および重油区の発芽日および満開日を調査した。発芽日は、樹全体の2~3割の芽が発芽した日とし、満開日は、樹全体の8割の花が開花した日とした。両区とも6樹で調査を行い、その中央値（日付が整数値とならない場合は、平均値に近づくように端数を処理）を発芽日または満開日とし、加温開始から発芽までの日数および加温開始から満開までの日数を算出した。

また、加温停止時の両区の生育状況を比較するため、2014年、2015年および2017年において、加温停止7~17日後に両区の果実の肥大を調査した。果実の肥大は、樹の区別を行わずに無作為に抽出した10果の果実赤道部の長径をノギスで測定し、その平均値を算出した。

### 実験3. 加温コストの比較

2014年から2017年の間、2014年は1月中旬、2015年から2017年は1月上旬から約130日間加温を行い、ペレット区および重油区の燃料使用量および燃料費について調査した。実測値を10aあたりの値に面積比で換算し、両区の燃料使用量とした。さらに、A重油の価格を2014年から2017年にかけての重油小型ローリー納入価格の平均値である72.9円/L、ペレットの価格を文献（鈴木ら、2012；佐々木、2014）を参考に35円/kgと想定して燃料費を算出した。

### 実験4. ペレットボイラーのメンテナンスに要する時間

ペレットボイラーの運用にあたっては、メンテナンス作業として燃焼灰の掃除が必要となる。そのため2015年から2017年の間、作業時間を調査した。作業を内容別に「炉に溜まった燃焼灰を取り除き、ボイラーの横に設置したドラム缶に捨てる（「炉の掃除）」、「缶体内部に溜まった燃焼灰を取り除きボイラーの横に設置したドラム缶に捨てる（「缶体内部の掃除）」、「ドラム缶に溜まった燃焼灰を処分場所に捨てに行く（「灰の処分）」の3種類に分け、実際の

作業時間を参考に「炉の掃除」に要する時間を5分、「缶体内部の掃除」に要する時間を45分、「灰の処分」に要する時間を10分と想定し、作業に従事した回数と掛け合わせることでそれぞれの作業時間を算出した。その上で、それぞれの作業にかかった時間を足し合わせることで総作業時間を算出した。

## 結果

### 実験1. 夜間の温度推移の比較

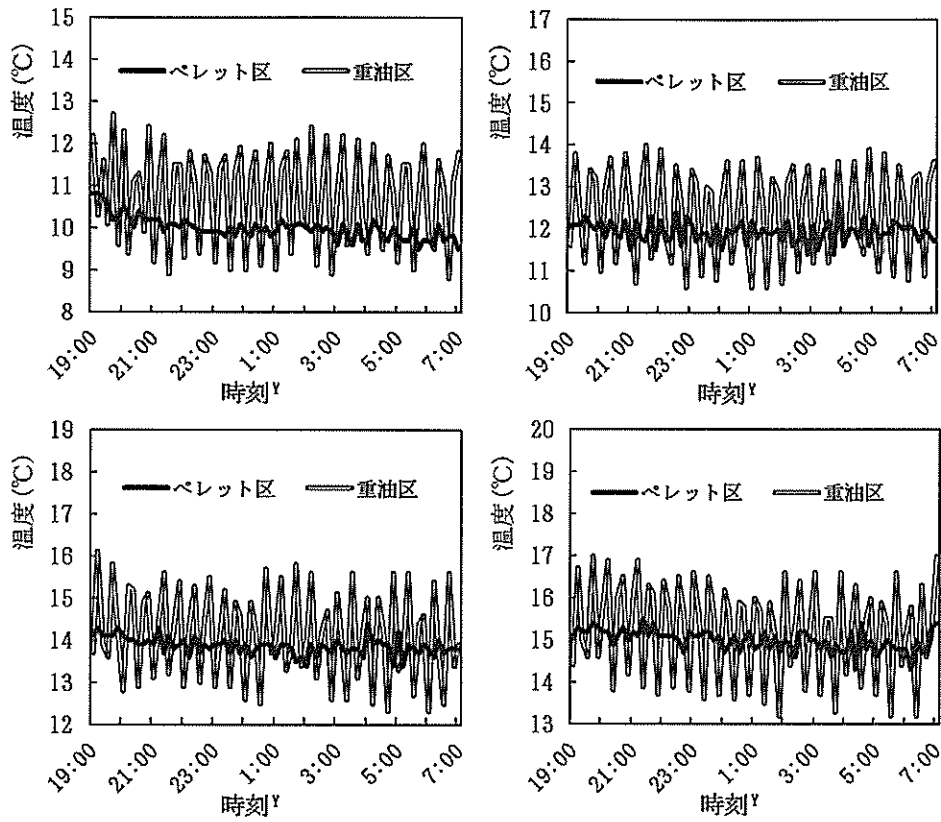
2014年における4通り（10℃、12℃、14℃および15℃）の設定温度時のペレット区および重油区の夜間の温度推移を第4図に示した。また、2015年、2016年および2017年の1月31日（いずれの年も設定温度は12℃）の両区の夜間の温度推移を第5図に示した。両区の夜間の温度推移を比較すると、重油区では設定温度に関わらず、設定温度を中心に最大3℃程度の温度の振れが生じたのに対し、ペレット区では温度の振れが最大1℃程度と小さくなった。なお、今回データを省略した他の年度および他の設定温度においても同様の結果が確認された。

### 実験2. ‘刀根早生’の生育状況の比較

ペレット区および重油区の加温開始から発芽までの日数および加温開始から満開までの日数を第3表に示した。両区の加温開始から発芽までの日数を比較すると、2014年は2日、2015、2016年および2017年は1日差が認められた。両区の加温開始から満開までの日数を比較すると、2014年および2016年は同日数となったが、2015年および2017年はいずれも1日の差が認められた。また、加温停止7~17日後の果径に関して、ペレット区と重油区の間で有意差は認められず、両区とも同様の果実肥大を示した（第4表）。

### 実験3. 加温コストの比較

ペレット区および重油区の燃料使用量および燃料費を第5表に示した。調査を行った2014年から2017年の間、いずれの年もペレット区の燃料費が重油区を下回り、削減率は16.8~26.2%となった。また両区とも、いずれの年も加温開始の月である1月から3月までの間に燃料の消費が集中していた。



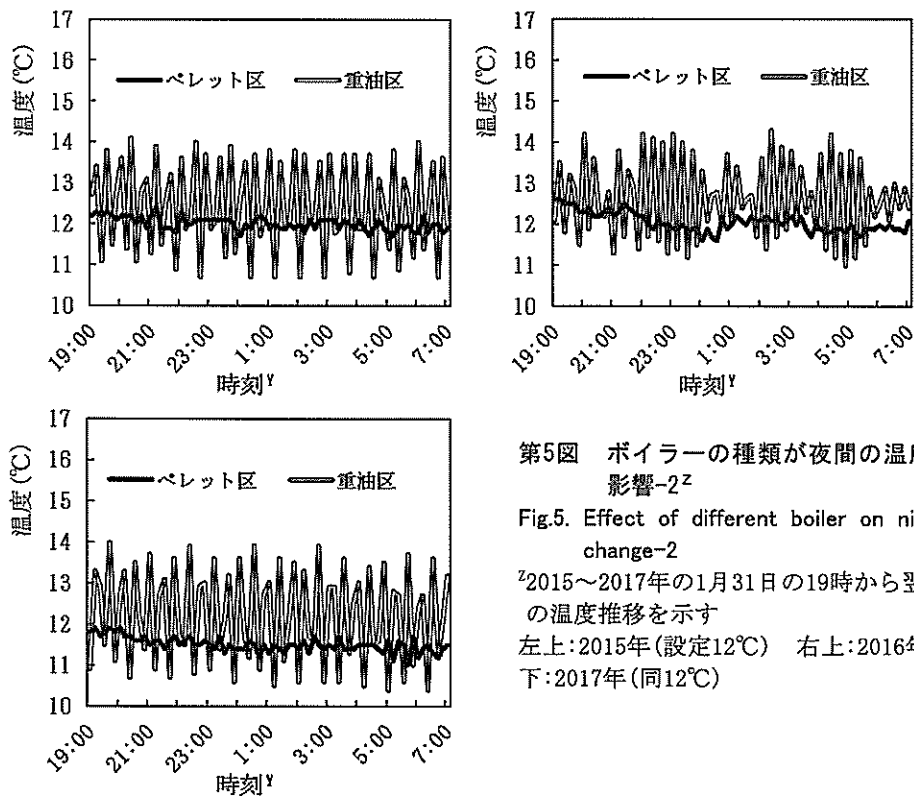
第4図 ボイラーの種類が夜間の温度推移に及ぼす影響-1<sup>2</sup>

Fig.4. Effect of different boiler on night temperature change-1

<sup>2</sup>それぞれ2014年の19時から翌7時までの両区の温度推移を示す

左上:1月16日(設定10°C) 右上:2月11日(同12°C)

左下:2月19日(同14°C) 右下:3月5日(同15°C)



第5図 ボイラーの種類が夜間の温度推移に及ぼす影響-2<sup>2</sup>

Fig.5. Effect of different boiler on night temperature change-2

<sup>2</sup>2015～2017年の1月31日の19時から翌7時までの両区の温度推移を示す

左上:2015年(設定12°C) 右上:2016年(同12°C)

下:2017年(同12°C)

第3表 ボイラーの種類が加温開始日から発芽日および満開日までの日数に及ぼす影響

Table.3. Effects of kind of boiler on the number of days from the start of heating to budbreak and full bloom

調査年	加温開始から発芽 <sup>2</sup> までの日数(日)		加温開始から満開 <sup>3</sup> までの日数(日)	
	ペレット	重油	ペレット	重油
	2014	25 (2月10日) <sup>x</sup>	27 (2月12日)	62 (3月19日)
2015	28 (2月5日)	29 (2月5日)	71 (3月20日)	72 (3月20日)
2016	26 (1月30日)	25 (1月29日)	66 (3月11日)	66 (3月11日)
2017	24 (1月30日)	25 (1月31日)	70 (3月17日)	71 (3月18日)

<sup>2</sup>2~3割の芽が発芽した日を発芽日とし、加温開始日から発芽日までの日数を示した

<sup>3</sup>8割の花が開花した日を満開日とし、加温開始日から満開日までの日数を示した

<sup>x</sup>括弧内の日付は発芽日もしくは満開日を示す

第4表 加温停止7~17日後の果径の比較<sup>2</sup>

Table.4. Comparison of fruit diameter just after end of heating

調査年 調査日	ボイラー	果径 <sup>3</sup> (mm)	
2014 5月30日	ペレット	50.9	ns <sup>x</sup>
	重油	49.7 <sup>y</sup>	
2015 6月1日	ペレット	53.8	ns
	重油	53.5	
2017 5月31日	ペレット	51.5	ns
	重油	51.4	

<sup>2</sup>2014年は5月23日、2015年は5月26日、2017年は5月14日に加温停止

<sup>3</sup>果実赤道部の長径を測定

<sup>x</sup>nsはt検定により有意差がないことを示す(n=10)

第5表 燃料使用量および燃料費の比較

Table.5. Comparison of fuel consumption and fuel cost

調査年	ボイラー	燃料使用量 <sup>2</sup> (kg), (L)						1作あたりの 燃料費 <sup>3</sup> (円)	削減率 <sup>4</sup> (%)
		1月	2月	3月	4月	5月	合計		
2014	ペレット	1,818	3,364	3,091	1,636	91	10,000	350,000	21.0
	重油	854	2,404	1,904	886	32	6,079	443,128	
2015	ペレット	2,909	3,455	3,636	1,091	91	11,182	391,364	16.8
	重油	1,614	2,211	2,161	429	36	6,450	470,205	
2016	ペレット	3,545	4,000	3,273	455	0	11,273	394,545	20.2
	重油	1,750	2,661	1,786	571	18	6,786	494,679	
2017	ペレット	3,455	4,364	4,000	880	71	12,769	446,918	26.2
	重油	1,725	2,714	3,064	629	179	8,311	605,851	

<sup>2</sup>1作期間の実測値を面積比で10アール換算

<sup>3</sup>A重油の価格を72.9円/L(2014年から2017年にかけての重油小型ローリー納入価格の平均値)、ペレットの価格を文献(鈴木ら, 2012; 佐々木, 2014)を参考に35円/kgとして1作あたりの燃料費を算出した

<sup>4</sup>ペレット区の重油区に対する1作あたりの燃料費の削減率を示す

実験4. ペレットボイラーのメンテナンスに要する時間

ペレットボイラーのメンテナンスに要した時間を作業時間の内訳とともに第6表に示した。総作業時間は、2015年は450分、2016年は445分、2017年は

520分となり、平均値は472分であった。また、作業時間の内訳をみると、いずれの年も「炉の掃除」にかかる時間の割合が最も大きく48.3~62.5%を占めた。

第6表 ペレットボイラーのメンテナンスに要する時間

Table.6. Time taken to maintenance pellet boiler

	調査年		
	2015	2016	2017
総作業時間(分)	450	445	520
炉の掃除 <sup>1</sup> (分)	240 (53.3) <sup>1</sup>	215 (48.3)	325 (62.5)
作業時間の内訳 畝体内部の掃除 <sup>2</sup> (分)	180 (40.0)	180 (40.4)	135 (26.0)
灰の処分 <sup>3</sup> (分)	30 (6.7)	50 (11.2)	60 (11.5)

<sup>1</sup>1回あたりの作業時間を5分とし、作業回数を掛け合わせることで算出した

<sup>2</sup>1回あたりの作業時間を45分とし、作業回数を掛け合わせることで算出した

<sup>3</sup>1回あたりの作業時間を10分とし、作業回数を掛け合わせることで算出した

<sup>4</sup>括弧内の数字は総作業時間に対する割合を示す

## 考察

実験 1 でペレット区と重油区の夜温の推移を比較すると、重油区では設定温度を中心に最大3℃程度の温度の振れが生じたのに対し、ペレット区では設定温度付近での温度の振れが小さくなった。重油ボイラーは設定温度近くで燃焼と消火を繰り返すことで温度を維持するのに対し、ペレットボイラーは一度着火した後は消火せずに送風量で火力を調節するため、ペレット区では温度の振れが少なくなったと考えられる。なお、設定温度と夜温との間に差が生じるケースがみられたが、ボイラーとデータロガー温度計の温度センサーが別であり、ボイラーの稼働がデータロガー温度計の測定温度を基準としていないため一部で差が生じたと推察される。

実験 2 で両区の‘刀根早生’の生育状況を比較したところ、加温開始から発芽までの日数で 1~2 日、加温開始から満開までの日数で 0~1 日の差が認められたが、加温停止 7~17 日後の果径については調査を行った 2014 年、2015 年および 2017 年で有意差は認められなかった。加温開始から発芽までの日数および加温開始から満開までの日数ともに変動は数日以内に収まっており、加温停止後の果径に差がみられないことから、ボイラーの違いによる設定温度付近の温度の振れの大小は‘刀根早生’の生育に影響しておらず、ペレットボイラーによる加温でも重油ボイラーと同等の加温効果を得られていると考えられる。また、4 年間にわたる生育調査の結果、両区の生育状況に大きな差がみられないことから、ペレットボイラーによる加温を繰り返しても‘刀根早生’の生育に影響はないものと思われる。

実験 3 でカキの加温栽培における 1 作あたりの燃料費をペレット区と重油区で比較すると、調査を行

った 4 年間全てでペレット区の燃料費が重油区を下回ったが、この結果はハウス面積およびボイラーの規模が異なる条件でのものであるため、単純な比較は困難である。一方で、ボイラーの稼働に要する燃料費は次式により算出できるとされている(梶山ら, 2013)。

$$\text{燃料費} = ((\text{ボイラーの定格出力} \times \text{ボイラー稼働時間}) \div \text{燃料の低位発熱量}) \times \text{燃料単価}$$

低位発熱量はペレットの材質と水分含量に左右されるが、試験に使用したペレットの低位発熱量は明らかになっている範囲において 4210~4390kcal/L であり、A 重油の低位発熱量を 8865kcal (梶山ら, 2013) とすると、定格出力および稼働時間がペレットボイラーと重油ボイラーで共通と仮定した時、ペレット 1kg あたりの価格が A 重油 1L あたりの価格の 47.5~49.5%であればペレットボイラーが有利であると試算できる。そのため、今回の燃料価格(ペレット: 35 円/kg, A 重油: 72.9 円/L)では、燃料費に関してペレット区と重油区は同等であると推察される。一般的にバイオマスボイラーの導入コストは、同程度の出力を有する化石燃料のボイラーよりも 2~3 倍程度高いとされており(佐々木, 2014)、ペレットボイラーの導入には高いコストがかかるが、価格の高騰が続く大幅な下落が見込めない重油と比較して、ペレットの価格は比較的安定しているため、ペレットボイラーの方が経営上有利である可能性もあり、ペレットボイラーの経済的な実用性についてはさらなる検討が必要であると思われる。

ペレットボイラーを始めとするバイオマスボイラーの運用にあたっては、メンテナンス作業として燃焼灰の掃除が必要となる。実験 5 でカキの加温栽培における 1 作あたりの作業時間を 3 作にわたって調査した結果、平均して 472 分の時間が必要であった。奈良県が 2016 年に作成した「奈良県果樹農業振興計画書」ではカキ‘刀根早生’の早期加温栽培において、目標とすべき 10a 当たりの労働時間を 220 時間と定めている。220 時間の労働時間に、今回の試験結果を参考に 8 時間(472 分 $\div$ 480 分(8 時間)として算出)を加算すると、約 3.6%労働時間が増加する計算になり、ペレットボイラーの導入にあたってはこの負担増加を考慮する必要がある。

以上のことから、カキの加温栽培において、ペレットボイラーによる加温でも重油ボイラーと同等の燃料費で同等の加温効果を得られることが明らかとなった。導入コストやメンテナンスに要する労力な

ど課題はあるものの、燃料の価格安定性や環境に優しい農業の実践に繋がることを考慮すると、カキの加温栽培におけるペレットボイラーの実用性が示唆されたものと考えられる。

### 引用文献

- 林良考. ハウス柿栽培におけるペレットボイラーの導入評価. 奈良県農業研究開発センターニュース. 2014, 147号, P2.
- 梶山恵司, 相川高信, 石山浩一, 小島健一朗, 山口勝洋. 木質バイオマスボイラー導入・運用にかかわる実務テキスト. 2013, P14. 林野庁ホームページ ([http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con\\_4.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_4.html)) より入手, (2018-11-13).
- 森野正朗, 馬淵泰, 植本琴美. O-403 木質バイオマス技術の地域社会への導入に関する調査研究: 高知県安芸郡芸西村における活動を事例として. 第5回バイオマス科学会議発表論文集. 2010, 36-37.
- 佐々木正剛. バイオマスボイラーを利用した施設園経営の展望. 農林業問題研究. 2014, 50(1), 55-59.
- 鈴木保志, 山中夏樹, 後藤純一. 木質バイオマス燃焼施設運営経費の規模別・燃焼形態別感度分析. 森利学誌. 2012, 27(3), 165-174.
- 綱澤幹夫. 次世代施設園芸について. 化学と生物. 2016, 54(12), 920-923.