

ひょうごエコタウン推進会議  
放置竹林資源化研究会  
活動成果報告書

令和4年3月

ひょうごエコタウン推進会議

## 目次

第1章	研究会の背景	1
第2章	研究会の変遷（平成28年度～令和3年度）	2
第3章	竹チップボイラーの技術支援	
3.1	竹チップボイラーの関連技術の整理	
3.1.1	本研究会の取り組み項目	3
3.1.2	ゆ～ゆ～ファイブ3号機の技術検証	4
3.1.3	竹燃料の品質管理とペレットの適用可能性の検討	4
3.1.4	クリンカー発生を抑制する燃焼方式の検討	7
3.2	竹チップボイラーの関連技術の成果	
3.2.1	竹チップボイラー開発に重要な要件の整理	7
3.2.2	クリンカー	7
3.2.3	腐食	9
3.2.4	その他（一酸化炭素抑制）	10
3.3	竹チップボイラーの今後の展望	11
3.4	参考資料	
(1)	木質バイオマスボイラーの技術知見	12
(2)	竹の燃焼活用に関する他地域の動向	16
第4章	淡路島における竹収集の仕組みづくりに向けた調査結果	
4.1	地域が認識する竹害の実態と対応について	
4.1.1	放置竹林の実態把握のためのアンケート調査	18
4.1.2	アンケート調査の結果	20
4.1.3	アンケート調査に基づく「民間事業者による無償伐採モデル」の提案	26
4.2	地域と伐採事業者が連携した竹伐採方法について	
4.2.1	調査の目的	28
4.2.2	伐採事業者への聞き取り調査	28
4.2.3	伐採事業者への聞き取り結果	28
4.2.4	竹林伐採適地の抽出方法	29
4.2.5	伐採事業者への聞き取り調査に基づく竹林伐採適地の抽出結果	30
4.3	提案モデルの実現可能性調査について	
4.3.1	集落への聞き取り調査の概要	34
4.3.2	聞き取り調査の結果	34
4.3.3	検討モデルの改良：土地所有者の一括同意による低コスト伐採モデル	36

## 参考資料1 淡路島内での竹の利活用の実例

### 1. 食材

- (1) タケノコ..... 37
- (2) メンマ..... 37

### 2. 材料

- (1) チップ..... 37
- (2) 竹パウダー..... 37
- (3) マルチング材・園芸資材..... 37
- (4) 竹炭..... 38
- (5) 竹酢液..... 38
- (6) 造園資材..... 38

## 参考資料2 竹の利活用事例

### 1. 従来竹活用事例

- (1) 竹材..... 43
- (2) 竹炭..... 44
- (3) 竹酢液..... 45

### 2. 近年の竹利用..... 46

- (1) パルプ..... 47
- (2) 土壌改良材／飼料..... 48
- (3) 土木資材..... 53
- (4) 竹プラスチック..... 54

### 3. 燃料としての利用..... 56

## 研究会参加メンバー..... 61

## 第1章 研究会の背景

淡路地域では、放置竹林が増加し①野生動物のすみかとなり農作物等への被害の拡大、②水源かん養機能が低下し土砂災害、土壌崩壊の危険が拡大、③広葉樹林の竹林化による生物多様性の低下などの影響を及ぼしている。

そこで、放置竹林の増加をこれまで以上に抑制するため、「あわじ環境未来島構想」の一環として、平成27年度から「あわじ竹資源エネルギー化5か年計画」を実施し、島内に豊富に存在する竹資源をバイオマスエネルギーとして活用し、竹チップを年間500tの生産・消費を目指した。計画の基本方針としては、①竹チップボイラーの開発・普及による、計画的な竹チップの需給の創出、②竹資源をエネルギーとして活用する新たな市場の創造等を掲げた。

ひょうごエコタウン推進会議では、「あわじ竹資源エネルギー化5か年計画」の実施の支援を行うとともに、放置竹林の増加抑制の観点から、竹林の資源化についての調査研究を目的とした「放置竹林資源化研究会」を平成28年に立ち上げた。

本研究会では、主に竹チップボイラーの技術支援に取り組み、技術課題の整理及びその対策の立案を行った。また、竹チップボイラーへの竹チップ供給体制の構築、エネルギー以外での竹の利活用が想定される潜在的な事業者を掘り起こすために淡路島内でのアンケート調査を実施した。

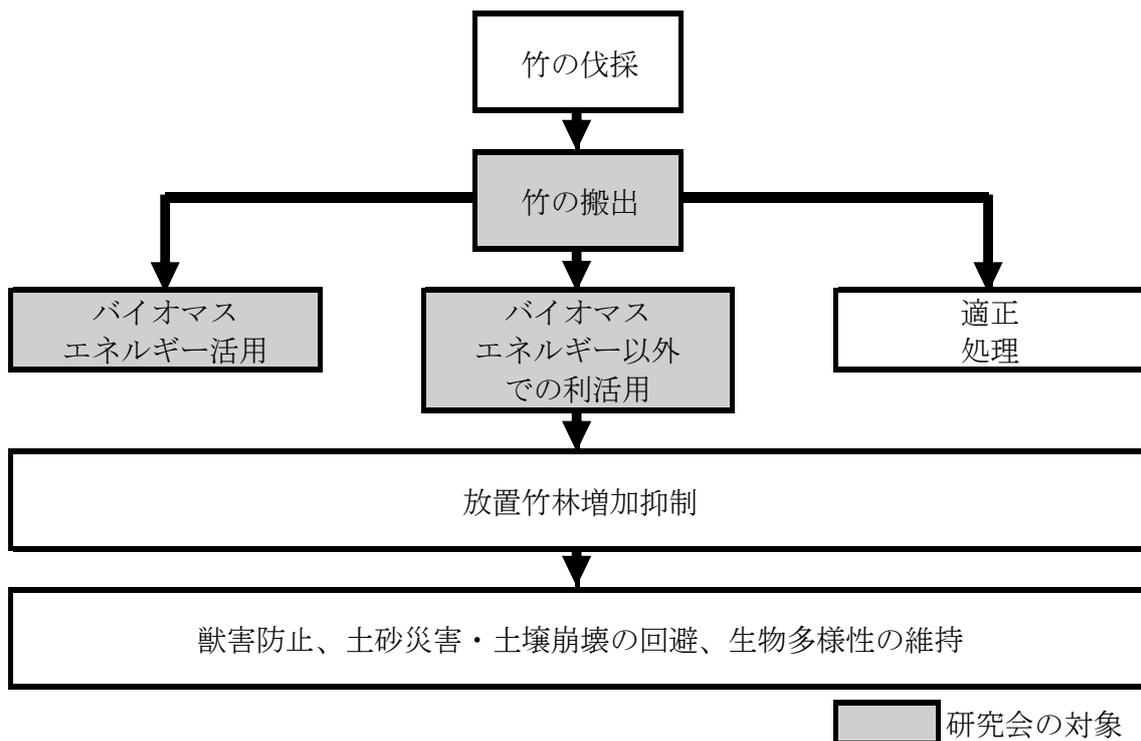


図 1.1 竹利活用の体系図

## 第2章 研究会の変遷（平成28年度～令和3年度）

		平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
竹のボイラ燃焼利用	①洲本市温浴施設用ボイラーの検証	・洲本市設置	・炉の投入数、チップ形状制御等に課題	・長期安定運転とメンテナンスに課題	・煙道設計、ボイラー制御の技術情報提供		研究会活動成果報告書を作成
	②クリンカ抑制燃焼法の検討、高性能低コスト燃焼設備の開発	・文献調査の実施、クリンカ対策重要性の指摘	・小型固定床燃焼器によるクリンカ抑制の燃焼条件の検討				
			・クリンカ抑制のための排気ガス再循環機能を有する実験用固定床燃焼器の設計	・火格子高さの調整によりクリンカ抑制を確認	・ボイラー数値計算モデルによるクリンカ抑制の燃焼条件を実験	・竹チップとペレット燃焼加工の燃焼速度の違い	
				・低コスト化竹専焼ボイラー開発の技術支援	・低コスト化竹専焼ボイラー開発の技術支援、CO分析	・CO分析により安定燃焼に課題	
	③竹チップの品質安定化		・チップからペレット変更の可能性検討、コストからチップを選択		・自走式竹割機による乾燥 ・竹チップから塩素及びカリウムの除去の検討		
④竹収集の仕組みづくりの検討		・入口・出口・受益者の連携が必要	・アンケート調査では放置竹林管理の人手不足等の課題を整理	・町内会へのヒアリング調査により伐採適地の選定条件を検討	・淡路島事業者アンケートにて竹利用可能性の事業者を検討		
⑤竹の有効利用法の検討	・文献調査の実施			・福岡大学竹イノベーション研究会と情報交換	・福岡大学竹イノベーション研究会と情報交換		

### 第3章 竹チップボイラーの技術支援

#### 3.1 竹チップボイラーの関連技術の整理

##### 3.1.1 本研究会の取り組み項目

あわじ竹資源エネルギー化5か年計画（平成27～令和元年）に基づき、洲本市の温浴施設に竹専焼のゆ〜ゆ〜ファイブ3号機温水ボイラー（以下3号機）が設置され、平成29年4月から稼働した。竹ボイラーとして安定稼働させるための重要技術課題はクリンカー問題の克服と認識されており、3号機は排ガス再循環により一次燃焼温度を低下させる機能を持ち、クリンカー発生の抑制に有利なボイラーが選定された。

平成28年度の文献調査結果から、竹専焼の温水ボイラーの開発事例の報告は数例あるが、継続して運用されているボイラーは存在しないと想定され、3号機においても技術検証が必要と考えられた。ボイラーの安定稼働には竹燃料の品質管理も重要である。また、3号機はオーストリアのKOB社製木質チップ温水ボイラーの輸入であり、技術検証後に淡路で普及を図るためには、低コスト化が重要になる。

そこで、本研究会では竹チップボイラーの関連実施項目として、次の3点を掲げた。

- ・ 3号機の技術検証
- ・ 竹燃料の品質管理の方法の検討、品質管理に有利な竹ペレット燃料の可能性検討
- ・ ボイラー低コスト化に向けたクリンカー発生を抑制する燃焼方法の基礎研究、および竹ボイラー開発に取り組む企業のサポート

竹チップボイラー関連の実施主体は、3号機を運営する洲本市、竹伐採と竹チップ製造事業者、ボイラー開発を進める企業である。本研究会では、実施主体の方々が集まり、情報共有化により開発の促進を図ると共に、本研究会にて必要な文献調査、大学委託の竹チップ燃焼試験、開発ボイラーの排ガス分析などを実施し、竹チップボイラーの開発や運用に関する技術情報を提供することを目的とした。

表 3.1 竹チップボイラー関連項目と本研究会の役割

	項目	実施主体	研究会のサポート項目
3号機 検証	3号機の導入検討	洲本市、提案企業	-
	3号機の運用(3.1.2)	洲本市	排ガス分析、燃焼状況解析
	問題事象の解決(3.1.2)	洲本市、導入時コンサル、ボイラーサプライヤー	原因究明のサポート、欧州技術情報の提供、腐食対策サポート
燃焼 方法 開発	クリンカー抑制方法の基礎試験(3.1.4)	研究会(近畿大学に委託)	3号機などの情報、文献情報の提供
	ボイラー開発(3.1.4、3.2)	ボイラー開発者	燃焼基礎試験情報の提供、排ガス分析、燃焼改善アドバイス
燃料 品質	竹チップの製造(3.1.3)	竹伐採、チップ加工事業者	チップ価格の方向性の提示
	チップの形状管理(3.1.3)	チップ製造者と洲本市	切削チップの調査
	チップの水分管理(3.1.3)	チップ製造者と洲本市	アドバイス
	チップの乾燥方法(3.1.3)	チップ製造者(竹割機導入)	アドバイス
	ペレットの可能性(3.1.3)	すべての関係者	チップとペレットの事業スタディ
	チップ前処理の可能性(3.1.3)	チップ製造者	前処理でのカリウム低減のサンプル分析

注) ( ) 内の数字は当該項目が記載されている項番号を示す。

### 3.1.2 ゆ〜ゆ〜ファイブ3号機の技術検証

3号機は既設の重油ボイラー2機のサブ機として運転している。3号機の主な仕様と運転の計画を表3.2に示す。

表3.2 竹チップボイラーの仕様と運転計画

ボイラー仕様	型式	無圧式温水機PYROT300(納入企業:株式会社ヒラカワ) 定格出力 250~300 kW
	燃料	竹チップ(含水率:30%、サイズ:50×50×5 mm厚程度) 同程度の木質チップに切り替え可能
	燃焼方式	二段燃焼(一次燃焼:700°C前後、二次燃焼:1,100°C程度) 排ガス再循環制御あり
運転計画	運用方法	昼夜連続運転ではなく、夜間は停止
	燃料使用量	年間で竹チップ燃料を140t利用。重油の使用量を従来の半分とする。

稼働初期は竹チップ燃料の形状により安定供給ができない問題(燃料供給停止の問題)が発生したが、細長いピン状チップの除去などのチップ形状管理の対策を講じた。夏場には水分の高い燃料が供給される課題もあったが、燃料供給側での竹割乾燥の促進と水分管理により課題は緩和された。

稼働の約1年後には、ボイラー燃焼室の一部損傷、クリンカーの発生、煙道腐食の問題が発生した。本研究会においても洲本市の原因究明と対策のサポートを実施した。原因は、排ガス循環ラインに徐々に灰が堆積し排ガス循環量が変化し、当初設計と異なる燃焼が生じたためと推定された。この対策として、排ガス循環ラインを清掃し易い構造に変更すると共に、その他の部分の修復工事が実施された。燃料の水分が高いほど排ガス循環ライン水蒸気濃度が上がり、日々の運転停止後等の温度低下が結露につながる可能性があり、結露した場合は灰の凝集を引き起こしかねない。チップ燃料の水分を低く抑えるように管理を強化することにより、修復後は燃焼室の損傷の問題の発生頻度は低下し、クリンカーの発生も定期的な清掃で運転に問題のない範囲に抑えられている。煙道腐食については、対策の詳細は3.2.3項で説明するが、予算制約から抜本的な解決には至っていないものの、対策の方向は得られた。

このようにチップ品質の改善により、3号機の稼働は継続実施できているが、設備稼働開始後、間もない時期にはCO排出濃度が高い値を示したこともあり、燃焼の安定化を図っていくことは必要である。

### 3.1.3 竹燃料の品質管理とペレットの適用可能性の検討

竹を燃料として活用する場合、表3.3に示すように、竹の構成元素の中に、カリウム、塩素が他の木質に比べて多く含まれている。カリウムには灰の融点を下げる効果があるため、クリンカーが発生し易く、竹燃焼ボイラー開発の大きな課題となっている。また、塩素も多いことから、腐食問題への対策も重要になる。

表 3.3 竹と木質の成分の違いと灰融点の違い

種類		発熱量 MJ/kg	灰分 wt%	カリウム wt%	塩素 wt%	灰軟化温度 °C
竹	モウソウチク	18.5	3.7	0.8	0.17	800
	マダケ	18.0	3.6	1.27	0.19	760
木質	木質ペレット品質区分B	16~19	0.5~1	-	0.02以下	1100以上
	バーク	18.0	3.2	0.16	0.02	1100

注記:バークは樹皮のことで、製材加工時に廃材となる。燃料利用が難しい典型的な木質燃料。

出典: 菅: 竹燃料化のための改質技術 バイオマス科学会議発表論文集 14(0),1-2,2019

および日本木質ペレット協会:木質ペレット品質規格(2011)から加工

竹の組織から見ると、硬い繊維の束で構成されているため、切削チップとした場合でもささくれが生じ易いため、均一な形状化が難しく、チップパーの刃の摩耗の問題もある。また、竹の維管束の空隙率は高く、チップ燃料で薄片化したものは浮遊し易い。薄膜状のため火炎からの強い輻射熱により熱分解ガス化し、一次燃焼領域において多量のCOガスを一気に発生させると、ガス化速度の制御が難しいことが想定される。

淡路の竹チップと針葉樹（スギ・ヒノキ）チップの燃焼特性を近畿大学で調べた結果を図 3.1 に示す。竹チップはスギ・ヒノキチップに比べて燃焼初期の有炎燃焼期間における燃焼速度が2倍程度速く、投入量の変動が同じであっても瞬間空気比が下がりやすい傾向にあることが確認できた。この対策として、竹チップを乾燥・粉碎しペレット加工したものを試験した。表 3.4 に示すように、竹ペレットは針葉樹チップをペレット加工したものと比較して、同等の燃焼挙動を示すことが明らかになった。これらの結果は、竹の場合でもペレット加工すれば、燃焼安定性が大きく改善できることを示唆している。

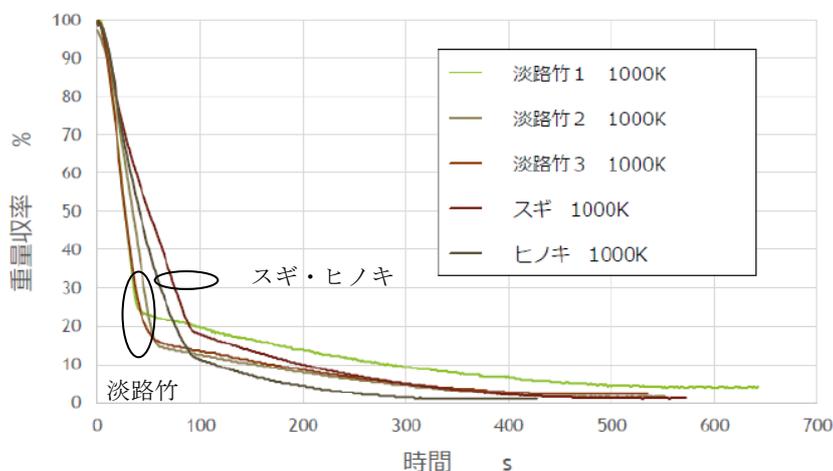


図 3.1 木質チップの燃焼による重量減少曲線

表 3.4 木質チップの燃焼特性

形態	原料	揮発分燃焼持続時間(s)
チップ (3 cm 角、3 g)	竹	42.1
	スギ・ヒノキ	84.2
ペレット (φ2 cm × L 2 cm、9 g)	竹	232
	ヒノキ	252

淡路島で竹を燃料として使う場合に、チップとペレットのどちらを選択すべきかについて検討した。選択においては、燃焼性だけでなく経済性を強く意識する必要がある。一般に木質ペレットは欧州では大規模工場で製造される工業製品であり加工コストは極めて低い。日本の木質ペレット工場は製造規模が小さく、コスト的に輸入製品に太刀打ちできない。あわじ竹資源エネルギー化5か年計画の500 t/年の規模を前提として、淡路島の竹をペレット化する場合を想定すると、ペレット工場の新設コストが高いだけでなく、運営のエネルギーコストや人件費なども必要であり、持続して運営することが難しいと考えられた。竹の燃料利用は継続的に運用し続けるべきものであるから、あわじ竹資源エネルギー化5か年計画を前提とする限り、燃料はチップに絞るべきと判断した。そこで、本研究会では、開発すべきボイラーをチップボイラーに絞ることとした。

竹チップの燃料利用に関しては、竹を粉砕して水に浸すことでカリウムと塩素を溶出させれば、脱水した竹粉はカリウム濃度が低下し、灰の軟化温度は通常の木質バイオマス燃料と同等の1100℃以上とすることができる日立製作所の報告がある(3.4 参考資料 表 3.11 参照)。本報告での方式は、竹チップを微粉砕して水浸処理をする必要があり、微粉をペレット加工して燃料としており、コスト問題から淡路島で適用することは難しい。

微粉砕せずにチップ形状の状態、溶液処理をすることでカリウムと塩素濃度を低下することができないか、サンプル試験検討を実施した。複数の試作溶液の中で、カリウム、塩素の最も高い除去効果を示した溶液Aの場合、処理前後のカリウムと塩素の濃度を表3.5に示す。50mmチップで微粉砕水浸の日立製作所の報告とほぼ同等の効果が得られ、燃料適用できる可能性が見出されたが、実用化に向けては低コストの溶液開発、プロセス開発が必要である。本処理技術は非常に有効なクリンカー対策や腐食対策となることが期待できるが、燃焼安定性向上への効果は不十分と考えられる。将来の可能性のある技術ではあるが、本研究会ではサンプル試験の段階でとどめることとした。

表 3.5 竹チップの溶液前処理によるカリウム、塩素の除去

分析項目	本研究会		参考(日立製作所 微粉砕、水浸)			
	淡路の竹チップ		モウソウチク		マダケ	
	溶液A処理後	処理前原料	改質後	原料	改質後	原料
Cl (%)	0.027	0.341	0.01	0.17	0.02	0.19
K (%)	0.140	0.376	0.23	0.8	0.25	1.27

竹チップの品質管理は、ボイラーの燃焼安定性や排ガス性状にも関係する重要な項目であり、3号機の技術検証で示したように、製造工程において次の対策を講じた。

- ・ ピン状の細長い形状を篩で除くこと
- ・ 乾燥速度を上げて生産性を高めるために竹割機を導入する
- ・ 出荷前の水分検査にて30%以下であることを確認する

これらの対策により、自動供給とボイラーの安定した稼働が実現できている。失火、黒煙・タールの発生はなく連続稼働ができているが、排ガスのCO成分の突出が発生することがあり、一般ユーザーが汎用機器として安全に問題なく利用できるレベルには到達できていない。

### 3.1.4 クリンカー発生を抑制する燃焼方式の検討

3号機の経験から、1次燃焼温度を下げることによりクリンカー発生を抑制できることが期待できる。3号機では排ガス再循環ループを設けているが、同じような効果を安価に実現できる方法を検討した。

図3.2は近畿大学で実験した試験装置を示す。炉内への燃焼空気の流入に角度を持たせることで、トロイダル循環流（円環状に旋回する空気流）を形成し、循環流が排ガス再循環ループと同様の酸素濃度の低下と燃焼温度の低下につながることを狙った。図3.3は、火格子高さで供給空気温度を変化させた時のクリンカーの生成量を示す。火格子下部にトロイダル循環流を形成し、火格子高さを適正に設計すれば、循環流によりクリンカー生成量が抑制され、比較的 low コストと思われる方法でクリンカー発生抑制につながることを示された。

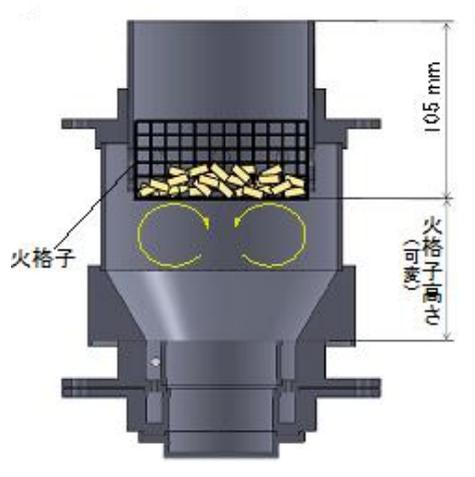


図 3.2 実験用固定床燃焼器

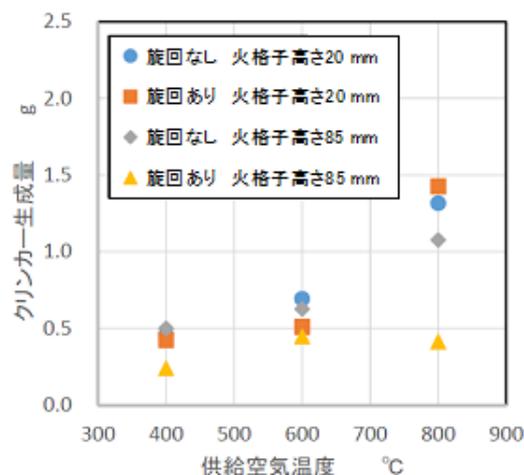


図 3.3 各試験条件におけるクリンカーの生成量

## 3.2 竹チップボイラーの関連技術の成果

### 3.2.1 竹チップボイラー開発に重要な要件の整理

3.1.2～3.1.4で示したように、本研究会で実施した、3号機の技術検証、燃料品質の管理、燃焼基礎試験、および各種調査（参考資料）の結果から、竹チップボイラーを開発するに際して重要な技術要件は、クリンカー発生抑制、腐食対策と整理できる。更に、一般ユーザーに利用してもらう汎用製品については、安定燃焼によりCO濃度を安定して低く抑える必要がある。

クリンカー発生抑制と腐食対策については、技術要件を満足するための方策を本研究会で得ることができた。CO濃度抑制については、対策の方向性を得ることはできたが、淡路島に適した小～中規模ボイラーで経済性を得る具体案までは得られていない。

### 3.2.2 クリンカー

クリンカーは灰中の塩化カリウム（融点：776°C）が溶融して、他の灰成分を巻き込んで大きな塊となる現象である。竹はカリウム成分を多く含んでいるため、特にクリンカーが発生し易いが、他の木質バイオマスでもクリンカー発生が問題となる場合がある。ボイラーの中では、一般的に一次燃焼領域と二次燃焼領域の双方で発生する可能性があるが、木質バイオマス温水ボイラーに

については一次燃焼領域で問題となる場合が多い。木質バイオマス温水ボイラーの多くは、火格子部の 800℃程度の一次燃焼とガス化した燃料を高温で完全燃焼させる二次燃焼の2段燃焼を採用しており、一次燃焼の温度を下げる事で火格子部のクリンカーを抑制している。一次燃焼の温度を更に下げる一つの方法として排ガス再循環があり、クリンカー対策として有効とされている\*）。

3号機は、この排ガス再循環機構を持った汎用製品で、排ガス再循環により一次燃焼温度を700℃に設定している。実際の運転においては、排ガス再循環ラインの灰の堆積により設計点から外れた運転状態の時にクリンカー問題が発生したが、再循環ライン改修後は定期的な清掃によりクリンカー発生は稼働に支障のない範囲に抑えられている。クリンカー発生抑制には竹チップ燃料の場合においても、排ガス再循環が有効であると考えられる。また、排ガス再循環より低コストでクリンカー発生抑制を実現する手段としては、炉内での循環流の形成がある。これは、先に述べたとおり、近畿大学の基礎実験においてクリンカー抑制の効果が得られている。

二次燃焼領域のクリンカーについては、3号機では定期的な清掃により問題なく稼働できる結果を得ており、現在のところ二次燃焼領域のクリンカー問題は顕在化していない。[文章削除]

以上をまとめて表 3.6 に示す。

なお、木質バイオマスボイラーにおける排ガス再循環については、クリンカー発生の抑制に加えて、燃焼温度が低下し燃焼室内空気攪拌が増加して NOx 濃度が低下し排ガス性状が向上する。一方で、燃焼室内の流動空気が増えて飛灰が伝熱管に付着すれば効率の低下につながる点が注意点として挙げられる。

表 3.6 クリンカーの問題点と対応策

箇所	問題点	対応策	根拠
一次燃焼域	竹が800℃以上の高温で燃焼 ↓ 焼却灰中の塩化カリウム(融点776℃)が溶融 ↓ 炉床で徐々に冷やされ、他の灰成分を巻き込んで大きな塊(クリンカー)となる	竹の燃焼(ガス化)温度を下げ、燃焼領域で焼却灰を溶融させない  ◎ 排ガス再循環ガスを火格子の下側から圧入して、竹を不完全燃焼させる ◎ 火格子下部から導入する一次空気に循環流を形成し、火格子部の温度を下げクリンカー生成を抑制する	ゆ～ゆ～ファイブ3号機、近畿大実験・解析
二次燃焼領域	燃焼ガスを850℃以上で二次燃焼(CO等の未燃ガスを低減)させ完全燃焼に近づける ↓ ばいじんに含まれる塩化カリウムが溶融し、徐々に冷やされて壁に付着して大きな塊(クリンカー)となる	現時点で大きな問題としては顕在化していない。	ゆ～ゆ～ファイブ3号機

注記: ◎ 推奨される対応策

\*) (特非) 農都会議編: バイオマス熱利用の理論と実践 (R2.7) 日本工業出版

### 3.2.3 腐食

竹には塩素やカリウムが他の木質に比較して多く含まれており、ばいじんには塩化カリウムが含まれる。ばいじんを含む燃焼ガスは燃焼室、ボイラー部、煙道、煙突と流れて行くが、その過程で結露をしたり、停止後に結露が生じると、塩化カリウムが結露に吸収され、腐食の大きな原因となる。

3号機のような欧州製バイオマスボイラーは、熱効率が高く、燃焼ガスは多くの熱をボイラー缶水に与えるよう設計されているため、排ガス温度は低くなる。欧州製バイオマスボイラーの排ガス温度は150℃以下であることが多い。この温度は日本製ボイラーに比較して低く、日本製ボイラーの場合と同じような煙道や煙突を用いると、断熱性能が不足し煙道や煙突で結露を発生する可能性が高い。煙道や煙突での対策の基本は結露を発生させないように断熱を強化することである。煙突はドラフト力を発生し、燃焼室を負圧に維持する機能を持つが、断熱が弱いと結露問題だけでなく、煙突の本来の機能を発揮しなくなる。このように断熱強化を実施した上で、耐食性材料を適材適所で利用するのが良い。

ボイラーチューブに導入される水温が低ければ、ボイラーチューブ表面で結露し腐食の原因となり得る。欧州製ボイラーでは、ボイラーチューブに供給される温度は70℃以上（厳密には燃料の水分で設定は異なる）になるように、ボイラーで得た熱水の一部を供給水に戻してボイラーチューブの温度が下がり過ぎないように制御している。日本のバイオマスボイラーではこのような制御を必ずしも実施していないが、竹の燃料利用ではこのような工夫も必要である。

煙道、煙突、ボイラーチューブの腐食は、竹の成分の塩素とカリウムが含まれる水蒸気の結露によって発生するため、竹の水分量をボイラーの許容範囲内で低く管理することも、腐食対策の一環として実施されることが好ましい。

また、一般にボイラーは、運転停止後に結露が発生し易くなる。仮に、24時間連続運転が可能であれば、腐食は発生しにくい方向となる。

以上のような腐食への対応をまとめて表3.7に示す。

表 3.7 腐食の問題点と対応策

箇所	問題点	対応策	根拠
煙道	ばいじんに含まれる塩化カリウムが、煙道等の内面に生じた結露に吸収される ↓ 局所的な低温腐食を起し、穴が開く	煙道、煙突、排ガス再循環ダクトに結露を生じさせない ◎煙突部を2重円筒として断熱性を上げる ○煙道等の内面を50mm厚の耐火キャストブル等を打設 ○外面をグラスウール等で被覆して断熱保護 ○金属管表面処理などの耐腐食材料の利用 △電気加熱ヒータ施工（電気代に難あり）	設計基準（英国CIBSE等）、材料工学の視点
ボイラー伝熱面	温水ボイラー伝熱面で排ガス中の水分が過冷却されて結露が発生する ↓ 排ガス中の塩化カリウムが結露に吸収される ↓ 局所的な低温腐食を起し穴が開く	温水ボイラー伝熱面に結露を発生させない ◎温水ボイラー中の液体（熱媒体、温水）を最低70℃を維持する制御	欧州製ボイラーの制御方法
その他	・燃焼ガスの水分が異常に高い場合、低温腐食の危険性が高くなる ・夜間停止時に結露が発生し易くなる	◎竹を十分に乾燥させてから投入し、できるだけ排ガス中の水分を減らす ○可能であれば24時間連続運転とする	ゆ～ゆ～ファイブ3号機、木質バイオマス共通事項

注記: ◎ 推奨される対応策 ○ コストと効果を勘案して対策 △ 他に適切な手段がない場合の対策

### 3.2.4 その他（一酸化炭素抑制）

あわじ竹資源エネルギー化5か年計画の竹の燃料使用量は500 t/年であり、3号機の竹燃料使用量は140 t/年であるから、目標の達成には3号機の規模で約3台の導入が必要である。3号機の熱出力250~300 kWは家庭用の24号給湯器約7台に相当し、業務用の温水ボイラーではあるが規模は小さく、専門のオペレーターが近くに張り付いて運用する機械装置ではない。そのため、専門知識のない一般の人が安全に利用できる機器である必要がある。

欧州のバイオマスチップボイラーは、燃料自動供給、自動灰出し、自動煙管クリーニング、遠隔監視などの機能がつき、オペレーターの負担が非常に小さく運転できるようになっている。ただ、欧州には竹はないので、3号機の技術検証では、竹でも形状や水分の燃料管理をすれば、欧州製汎用ボイラーを転用して利用できるかどうかを確認することも大きな目的である。

3号機では継続稼働ができており、欧州製汎用ボイラーの転用で竹チップを燃料利用できることが確認できた。また、竹チップは薄膜状であり燃焼の変動が大きくなるため、3号機稼働開始初期には排ガス分析で、高いCO濃度が確認されたことがあった。

300 kWクラスのバイオマスボイラーの排ガスのCO濃度は法的な規制項目ではないが、CO濃度は安定燃焼のバロメーターであり、機械室内へのCO噴出の可能性を考慮すると、汎用機械製品としてCO濃度の突出は避ける必要がある。本研究会では次のように判断した。

- ・ 3号機のように、機械室内へのCO噴出がないような燃焼室の負圧管理がされている機器であれば、技術を理解した運用者が試験運用する温水ボイラーとして問題はない。
- ・ 一般の人が利用する場合、燃焼室のCOがボイラーを設置している機械室に噴出する可能性がある機械装置であってはいけない。

安定燃焼の達成方法は、燃料供給変動が避けられないごみ焼却の技術からも学ぶことができる。3.1.3で示したようにペレットとして安定燃焼を図る方法や、竹と別な燃料の混焼により燃焼速度を平準化する方法(3.4参考資料(2))、或いは、ボイラーの二次燃焼領域で十分な空気比と滞留時間を確保する手段などにより安定燃焼につなげることが可能である。技術的な対応は可能であるが、いずれもコストアップにつながるため、現実的な解決案については本研究会で結論を得ることはできず、今後の課題である。

以上の内容をまとめて表3.8に示す。

表 3.8 一酸化炭素抑制の問題点と対応策

箇所	問題点	対応策	根拠
一次燃焼域	竹チップは薄膜状のため、火炎からの強い放射熱で熱分解し、一気に多量のCOガスを発生させ、排ガスのCO濃度の急激な変動が測定されたことがあった。	燃焼の過激な変動を抑制して、一次燃焼域での燃焼変動を平滑化する(緩慢燃焼) ○排ガス再循環を火格子の下側から圧入して、竹を不完全燃焼させる ○竹チップの供給が一定となる制御	ゆ〜ゆ〜ファイブ3号機、薄片杉チップでも類似報告あり、ごみ焼却炉経験
二次燃焼域		二次燃焼域で高濃度COガスを十分に分解する ○排ガスと二次燃焼用空気との十分な接触機会の確保 ○二次燃焼のための十分な温度と反応時間の確保 ○このため、コストに見合った二次燃焼空気導入の適切設計を図る	
燃料と供給	竹チップの燃料供給量が変動する ↓ 燃焼空気制御が追いつかず一次燃焼域を中心にCO発生の急激な変動が繰り返される	△ペレットなどに燃料を加工し、薄膜状の回避、燃料形状の一定化(コストがかかりすぎる) △竹チップの形状の均一化と定量供給精度を向上(簡単でない) △他の燃料との混焼で変動を緩和する(燃料の均一な混合は簡単でない)	近畿大燃焼速度実験、文献等から燃焼速度考察

注記: ◎ 推奨される対応策 ○ コストと効果を勘案して対策 △ 他に適切な手段がない場合の対策

### 3.3 竹チップボイラーの今後の展望

竹の燃料利用については、日本の各地域で模索が続いている。発電に用いる大型炉では、竹とバークの混焼により成分をコントロールし、クリンカー問題を解決した事例も出てきている(3.4 参考資料(2))。大型炉であれば、燃焼の安定性も向上する。

しかし、現在の淡路島で必要とされているのは、3号機のような比較的小さな温水ボイラーであり、大型の混焼設備は解決策とならない。

3号機の規模で残る課題はCO<sub>2</sub>突出のない安定燃焼の実現である。チップ燃料で安定燃焼を実現できる可能性はあるが、表3.8に示したように、最適化に向けて多くの開発が必要となる。

チップ以外の燃料形態として、燃料をペレット化すれば安定燃焼方向に向かうがペレット燃料の高いコストは現実的な解決策ではないと思われる。チップのように細かく切断せず、薪のように塊で利用してゆっくり燃焼させる方向は、安定燃焼につながる可能性がある。ただし、薪のような形での利用は、一般的にボイラーへの燃料供給に人手を要するため、安定燃焼が実現できたとしても利用できる場所が限定的になる点には注意が必要である。

2050年カーボンニュートラルの実現に向けた動きの中で、適切な熱利用の重要性は高まっている。熱は長い距離を移動させるとコストがかかり現実的でなくなる。バイオマス燃料利用に限らず、熱利用においては、熱源と需要家のマッチングが進むかが鍵となる。熱需要は分散的に多く存在するため、小規模なカーボンニュートラルな熱源として竹専焼の小型温水ボイラーは大きな意義がある。放置竹林によってもたらされる諸課題の解決と同時にカーボンニュートラルに貢献できる。広く民間でも活用できる汎用の小型竹温水ボイラーの実現が期待される。

### 3.4 参考資料

#### (1) 木質バイオマスボイラーの技術知見

竹を含む木質バイオマスを地域でボイラー燃料として熱利用することは、熱利用を伴わないバイオマス発電と比較して効率が高く、カーボンニュートラルに向けて今後利用の拡大が期待されている。

欧州には竹専焼のボイラーはないが、木質チップの燃料利用に適した汎用バイオマス温水ボイラーが市販され、広く普及している。この欧州ボイラーを日本に導入したが、運用停止したケースや稼働はしているが計画通りに費用回収できていないケースが多い。そこで、欧州製のバイオマスボイラーの技術的な特徴を整理し、日本に導入する場合の留意点をまとめた。欧州と日本では、木質の種類が異なり、圧力法規の違いもあり、暖房メインか給湯メインかの利用環境の違いもある。欧州の技術が日本でそのまま適用できるわけではないが、バイオマスの熱利用技術として参考となるので、欧州の木質バイオマス温水ボイラー技術を紹介する。

#### 1) 欧州木質バイオマスボイラーの開発の経緯と普及の背景

欧州では木質バイオマス温水ボイラー（以下、バイオマスボイラー）は年間数万台製造されている。日本でのバイオマスボイラーの普及は、過去の累計で2000台程度であり、この台数は、欧州の中堅メーカーの1年間の製造量の規模である。欧州のバイオマスボイラーは汎用量産品となっているので、製造コストは相当に下がっていると考えて良い。

欧州でバイオマスボイラーの開発が本格化したのは、平成2年になってからである。開発の先駆的な役割を果たしたのはオーストリアで、脱原発の方針が決定されたため、国内にある木質バイオマス資源の有効活用を図るため産学で取り組みはじめた。固体燃料の木質バイオマスを小規模で自動的に燃料供給して安定して燃焼させることは大変難しい技術であるが、技術は最近まで進化を続けていると思われる。

欧州で普及している理由は、ユーザーがバイオマスボイラーを使う事に経済的メリットを見出しているからである。バイオマスボイラーは石油ボイラーに比較して、燃焼室容積が大きくなりボイラー本体も高価になるが、更にサイロ、蓄熱タンクなどの付帯設備を必要とするため、欧州でも設備費用は石油ボイラーの数倍（10倍近く）高価であるとされる<sup>1)</sup>。しかし、木質燃料の方が石油燃料よりも安価であるため、その差額で設備投資を回収する。高価な設備であるため、稼働率を高めることが重要であり、複数の施設、家屋の暖房に利用されることも多い。

欧州と日本の利用環境を比較すると、欧州では安価な燃料が広く流通しており、安価燃料流通による普及の差は大きいと思われる。林業の産業チェーンが発達し、切り屑や端材が利用され大規模な工場で燃料製造されるためペレットなども安価である。チップ燃料の場合は、地域にある林地残材などを活用して、各利用者がチップ化することも多く、事情は日本とそれほど変わらない。

熱需要に関しては、欧州では暖房需要がほとんどであり、広い地域で熱需要があるものの年間の半分しか稼働させないケースも多い。日本の暖房需要は地域が限定されるが、給湯需要は全国で年間を通して存在するので、日本の方が欧州よりもバイオマスボイラー導入が有利な場合も多い。令和3年現在、日本のバイオマスボイラーシステムのイニシャル導入コストは欧州の約2倍程度であるが<sup>2)</sup>、高い給湯需要があり稼働率が高く設定可能な場合は、暖房のみに利用する欧州の約2倍の稼働率が見込める。宿泊施設、温浴設備、病院などであれば、日本においても自律的に

普及して行く可能性があることを示唆している。

## 2) 欧州バイオマス温水ボイラーの技術の特徴と経済性

欧州のバイオマスボイラーはユーザーが導入メリットを得られやすいように進化を続けた。先に述べたようにバイオマスボイラーは石油ボイラーに比べて数倍高価であるが、石油とバイオマス燃料の価格差で投資回収するものである。バイオマス燃料を安価に仕入れるか、あるいは効率を高めることが、投資回収期間に大きく影響する。ボイラー本体はプラント設備の一部に過ぎず、ボイラー本体のコストのみが低下してもプラントシステム全体のコストは大きく変わらない。一般には、ボイラー価格が多少高くても、高効率なボイラーシステムの方が投資回収期間が短い<sup>3)</sup>。また、ボイラー専任の管理者の人件費は負担できないため、ボイラー運用者が扱いやすい機器でなくてはならない。このような要求に応える、全自動で効率が高い方向にボイラーが進化している。

バイオマスボイラーと石油温水ボイラーもどちらも温水供給する給湯器ではあるが、その利用の仕方は全く異なっている。バイオマスボイラーのような固体燃料は、燃焼や消火に数10分単位の時間を要する。ユーザーから要求があっても直ちに対応ができない。消火にも時間がかかるため、着火と消火を繰り返すような利用の仕方ができない。このため、バイオマスボイラーは機器単体で熱需要に対応することは難しく、蓄熱タンクと組み合わせたプラントとして制御性を向上させるのが一般的である。蓄熱タンクは上部に高温水を下部に低温の戻り水を温度成層に構成して蓄熱する方式をとる。蓄熱タンクの温度分布から蓄熱量が判定でき、蓄熱量を基にバイオマスボイラーやバックアップ熱源の発停指示を出している<sup>4)</sup>。

欧州では、バイオマスボイラーと蓄熱タンクの接続の仕方、蓄熱タンクから熱利用者への熱供給の制御の仕方が標準化されており、その接続を前提としてバイオマスボイラーが設計製造されている。標準化がされていることで、ボイラー事業者は機器単体として開発設計製造に注力できる。標準化がされていることで、熱供給システムに複数メーカーのボイラーが供給されても、すべての稼働状況などを遠隔監視できる。これらがシステム全体のコスト低下につながっている。

このように、ユーザーの導入メリットを高める方向で欧州バイオマスボイラーの開発が進められている。木質バイオマス燃料は多種多様であり、水分が多い低質燃料への対応を可能にしたボイラーなど、個々のメーカー毎に得意な領域を形成している。しかし、上述のように周辺機器との接続の標準が存在し、欧州製ボイラーでは共通する特徴がある。ゆ〜ゆ〜ファイブ3号機と同程度の規模の木質チップ温水ボイラーを対象を絞ると、欧州製ボイラーの特徴は、表3.9に示すように、整理することができる。

表 3.9 欧州バイオマスボイラーの技術的な特徴

項目			目指した性能	欧州技術のポイント	欧州ボイラー活用の留意点
ランニングコスト削減により事業性を向上	燃料費の削減	高効率	適切な空気比で完全燃焼	排ガス酸素濃度(O <sub>2</sub> センサー)による制御	ボイラー指定の燃料仕様の確保
			熱交換の向上	熱交換の伝熱促進と自動クリーニング、結果として排ガス温度の低下	排ガス温度低下に留意した煙道・煙突設計
			オンオフに伴う損失の低減	蓄熱タンクとの連動制御によるボイラー残熱の蓄熱など	ボイラーの制御ロジックの確認
	バイオマス代替向上	稼働率向上	昼夜連続運転にこだわらず断続運転でも高効率	乾燥チップでは断続運転ボイラーの出現	蓄熱タンクとの連動制御
		稼働率向上	熱供給システムの熱源機器として簡単に接続可能	ボイラー制御の標準化、制御ロジックの公開	温度成層蓄熱タンクの活用を前提とした制御になっている
	維持管理と人件費コストの削減	耐久性向上	ボイラーチューブの腐食防止	缶水の循環昇温によりチューブ温度を一定以上にキープ	ボイラー制御ロジックを日本で変更していないか
		運用・管理を容易	燃料自動供給、自動灰出し、自動クリーニング、遠隔監視	スマート化につながる一連の技術	日本でオプションの遠隔監視などの採用がトータルコスト削減

### 3) 日本で欧州製ボイラーを利用する場合の注意点

日本には、国産ボイラーメーカーと欧州製ボイラーを輸入販売している事業者がある。欧州製ボイラーを日本に輸入して利用する際には、日本の圧力法規に従う必要性から、欧州製ボイラーは大気圧に開放して無圧式とすることが一般的である。そのため、日本では欧州システムでは必要がない熱交換器が余計に必要ななど小さな修正が入る。日本では、バイオマスボイラーの標準となる制御方式が存在せず、製造メーカーや輸入販売事業者のそれぞれで制御の考え方が異なっている。日本の周辺機器が欧州と異なるため、ボイラー輸入事業者によっては、ボイラー制御ロジックを欧州仕様から自社独自に変更されている場合もある。このように、欧州製ボイラーの輸入の場合、日本と欧州とではボイラー燃焼室構造などは同じでも、特に制御関係が全く異なっている場合がある。

また、蓄熱タンクと熱需要者の利用機器の間の配管設備や、サイロや機械室設計などは建築設備設計者が実施するケースが多いが、日本の建築設備設計者はバイオマスボイラーを扱うことが稀で、バイオマスボイラーの特性を理解しないまま接続しているケースが多い。例えば、煙突を設計する際に、排気温度が日本の一般的なボイラーの場合よりも相当に低いことを知らなければ、まともな煙突設計はできない。木質チップのサイロの容量設定も小さすぎて運用に苦労しているケースも散見される。蓄熱タンクの温度成層制御の仕組みを理解して、需要家側と蓄熱タンクを接続しないと、蓄熱タンクの温度成層が維持できない。蓄熱タンクはボイラーと連動しているので、蓄熱タンクの温度成層が維持できない場合は、ボイラー制御に影響して計画した稼働率が得られない可能性が高い。ポンプ制御を間違えると、電気費用が高くなりすぎて、いつまでたっても費用回収ができない事態に容易に陥ってしまう。

このような背景から、欧州で実績のあるボイラーを日本に導入したが、運用停止したケース、稼働しているが計画通りに費用回収できていないケースが極めて多い。

このような現状の問題点をようやく業界関係者が理解し始め、バイオマスボイラーが正しく運用できるための技術テキストの準備の動きが出てきている。本資料で述べている技術の考え方については文献2に詳しく記述されており、業界団体の（一社）日本木質バイオマスエネルギー協会では、基本設計マニュアルの作成を令和3年現在進めているところである。

表3.9の右欄には、欧州のバイオマスボイラーを日本で活用する場合に注意すべき点を整理している。日本のボイラー制御技術は標準がなく各社のノウハウによることから、ボイラーサプライヤーにボイラー制御の方法を確認することがとても重要である。

#### 4) 欧州製バイオマスボイラー技術の竹燃焼に関する考察

汎用の木質バイオマスボイラーにおいて、欧州製ボイラーは日本製ボイラーよりも格段に高効率であり、かつ自動化が進んでいる。導入者の経済性を考えるとイニシャルコストよりも効率が重要な場合が多いことから、欧州製ボイラーは高効率を追求している。すなわち、空気比をなるべく精密に制御して、ボイラー熱交換の性能を上げ 150°C レベルまで排熱回収している。

しかし、竹チップのように燃焼初期の有炎燃焼期間の燃焼速度が速い特性の燃料で、燃料供給量変動を伴う場合に、空気比を狭いレンジ内で制御することは大変難しいと考えられる。欧州の汎用バイオマスボイラーの空気比制御の設定は、竹には必ずしも適していない可能性があるように思われる。

一方、バイオマスボイラーは日本であれ、欧州であれ、費用回収に長期間必要であることから、耐用年数の向上につながる技術は欧州の技術が参考になる点が多々あるものと思われる。例えば、ボイラーの熱交換部分においてボイラーチューブが結露環境にならないように、缶水が一定温度以上になるまで循環加熱をしている点などは、日本の小型バイオマスボイラーではほとんど実施されていないと思われるが、取り入れるべき技術と考えられる。

- 
- 1) CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) Biomass Heating AM152014 (2014)
  - 2) (特非) 農都会議編: バイオマス熱利用の理論と実践 (2020. 7)
  - 3) 黒坂: バイオマス熱利用におけるチェックシート活用の提案; 日本工業出版: クリーンエネルギー 令和3年8月 p. 1~9
  - 4) QM Holzheizwerke

## (2) 竹の燃焼活用に関する他地域の動向

プレスリリースなどの文献・記事やWEB情報の検索調査を実施し、他地域での竹を燃料資源として活用している事例や動向を調査した。検索調査で得られた燃焼活用の事例は、参考資料2「竹の利活用事例」にて示す。参考資料2の事例について、着目すべき事例を選定し、表3.10に一覧として示す。

発電に利用される大型ボイラーの報告としては、熊本のバンブーエナジー（株）の竹とバークの混焼による安定稼働の実績報告が着目される。クリンカーの問題を混焼によって解決しており、その技術的な根拠をデータの裏付けを持って示している。しかし、令和3年3月に、債務超過のため稼働停止の記事が出ており、現在の詳細状況は不明である。小型ボイラーでは3件の事例があるが、現在も稼働中を確認している徳島県阿南市の汎用小型炉が着目される。技術の詳細は不明であるが、時間をかけてゆっくりと燃焼させるバッチ炉と想定され、従来の燃焼方式とは異なると発表されている。140kWの出力であり、出力規模として淡路島のニーズに適合する可能性がある。技術的な検証がまだまだ必要な段階と想定されるが、可能性がある技術と想定される。

表 3.10 他地域における竹の燃焼活用

規模	燃料形態	事例	技術的な経験、或いは事例調査・文献調査
大型	チップ	湿潤チップ混焼ボイラー	熊本のバンブーエナジーのバイオマス発電の大型炉で、竹チップとバークの混焼炉が連続稼働をしている報告がある。竹の成分とバークの成分のミックスでボイラーを安定稼働させている事例。本格稼働して1～2年程度。技術的な検討は良く実施されており、令和2年度（一財）新エネルギー財団新エネ大賞を受賞したが、熱利用先が十分でなく事業性に課題がある。2021年3月債務超過から稼働停止の模様。
		竹専焼ボイラー	藤崎電機が山口と徳島で竹専焼バイオマス発電に取り組んでいる。ドイツのLAMBION社とクリンカー生成を抑制する燃焼炉を共同開発している。安定稼働の実績については報告が見られない。
小型	チップ	竹専焼足湯用小型ボイラー	大分県豊後大野市に竹チップ専焼ボイラーが導入されている。稼働実績がまだ短い。地域での竹採伐、買取、燃料利用の仕組みでは淡路の方が進んでいる側面がある。ヒアリングからボイラーは欧州機器の本格的な改造と聞いている。
	チップ	汎用チップ小型ボイラー	テス・エンジニアリング株式会社、株式会社開始巴商会、株式会社エム・アイ・エスの共同開発。独自の回転式ガス化旋回燃焼方式バーナーがキー技術となっている。クリンカー対策と安定燃焼を可能にしたと宣伝されており、2020年1月販売開始とあるが、実績報告が見られない。技術の可能性はあると考えるが、チップ形状制約やコスト課題など、技術検証を要する。
	チップ	汎用小型炉	徳島県阿南市の農業ハウスで稼働している。バッチ式の小型炉と想定される。竹を緩慢燃焼させることにより、燃焼安定化を図り、クリンカー問題を解消していると想定されるが、技術の詳細内容は開示されていない。農業ハウスでの利用は5年経過して問題がなく、現在も稼働している。農業ハウス用途は稼働率が低い可能性もあり、耐久性、経済性などの技術検証はまだまだ必要な段階と想定。

ボイラー開発の報告ではないが、関連技術の報告としては表3.11に示す2件が着目される。

番号1の報告は、3.1.3でも取り上げた水浸処理によるカリウムと塩素の前処理除去技術であり、竹の燃料利用に関する様々な文献で引用されている重要な技術である。ただし、竹を微粉碎、水浸処理、ペレット化への工程を経るため、コスト的なハードルがあり、淡路島の規模ではコスト的に成立しないと想定される。

番号2の報告は、竹の大規模利用を想定した時のボイラー技術と発電技術を調査した報告書であり、特に混焼関係の実態調査については、他の報告書で見られない内容を多く含み有用な情報が得られる。混焼における竹の割合は、表3.10バンブーエナジーのケースを除いては、通常3%程度以下と極めて低く抑えられている。バンブーエナジーの竹の混焼率の目標は3割であるが、本

格稼働して1～2年後に停止となり、十分な稼働実績とは言えない。竹はバークと混焼することでクリンカー発生が抑制されるとされているが、バークは湿潤でハンドリングが難しい材料であり、燃料供給系の安定操業に苦勞している。また、竹の混焼を小型炉に適用する場合、均一に混合した燃料形成ができなければ、非常に急速なガス化燃焼の可能性があり、危険であると指摘されている。

表 3.11 竹の燃焼活用に関連した技術報告

番号	分類	内容	出典
1	竹燃料化の前処理技術	日立製作所が竹を微粉碎し浸水処理を行うことで、カリウムと塩素が低減ができることを見出した。前処理後の微粉をペレット成型することで、流通している木質ペレット並みに燃料として利用可能となる。微粉碎し、再度ペレット成型する工程を含むため、燃料加工にエネルギーを必要とし、コスト高が危惧される。淡路島の竹燃料の利用規模を想定すると、提案の方式のままでは適さない。	HITACHI News Release <a href="https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/03/0309e.pdf">https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/03/0309e.pdf</a>
2	竹の混焼技術、発電技術の調査レポート	鹿児島県が竹を燃料とするバイオマス発電の実現可能性を調査した、三菱総研による調査報告書。大型の竹の燃料利用と発電技術に関して、技術と経済性の両面から検討されている。竹とバーク等との混焼技術が有望と考え、混焼技術について運用実態などのヒアリング調査を含んでいることに本調査報告書の特色がある。バンブーエナジーの竹の混焼率目標は3割であるが、調査時点では調整試運転中であり、まだ3割の目標は達成されていなかった。また、小型炉での竹の混焼については、均一に燃料の混合が実施できなければ、爆発的な燃焼の危険性があり、大変危険であると注意喚起している。	三菱総研:鹿児島県竹バイオマスエネルギー利用可能性調査(2019年3月)

以上のように、竹の燃料活用は他地域でも様々な試みが報告されているが、現状稼働している設備は極めて少ない。稼働が報告されている設備であっても、稼働時間がまだまだ短く技術検証が必要と想定され、経済性の成立性についての検証も必要な状況と考えられる。

## 第4章 淡路島における竹収集の仕組みづくりに向けた調査結果

放置竹林の課題解決方法として、これまで竹をチップにして有効活用する“燃料化”を想定してきた。淡路島内では、温泉などの温浴施設や農業用ビニールハウスなどの加温設備に重油ボイラーが用いられている。本研究会では竹チップがこの代替燃料、併用燃料、補助燃料として利用されることを想定してきた。ボイラー開発もこの考え方に沿って、既存ボイラーのメンテナンスや買い替え時期に合わせて提案できるような大型竹専焼ボイラーあるいは既存ボイラーと併設・補完する中型竹木材混焼ボイラーが開発されてきた。今後、これらボイラーの燃焼効率やメンテナンス効率が向上して低価格化が実現されれば、竹チップの“出口”が確保できる。そして、理想的な竹チップボイラーが淡路島内に一定数導入できれば、放置竹林の課題解決だけでなく地域経済循環が達成されるだろう。しかしながら、実態として竹チップの持続的な供給体制である“入口”の構築には至っていない。つまり、誰の竹林で、誰が伐採・搬出して、誰が運搬・加工して、どこで燃料として利用するのか、具体的かつ現実的に想定された計画はない。そこで本章では、最も低コスト化できる竹収集方法の提案を目的に、アンケート調査および聞き取り調査を中心に以下の3点について検討した。なお、アンケート調査や聞き取り調査では町内会名や個人名などを把握しているが、本章では特定できるにつながる情報については秘匿している。

- (1) 地域が認識する竹害の実態と対応について
- (2) 地域と伐採事業者が連携した竹伐採方法について
- (3) 提案モデルの実現可能性調査について

### 4.1 地域が認識する竹害の実態と対応について

#### 4.1.1 放置竹林の実態把握のためのアンケート調査

本アンケート調査は、淡路市、洲本市、南あわじ市の全3市（島内全域）において実施した。アンケート調査の対象者としては、放置竹林の現状把握や伐採・収集システムの構築のためには竹林所有者が最も有効である。しかしながら、全3市全域の竹林所有者を把握することは、多すぎて困難であること、島外者も含まれるため現状を的確に把握していない可能性があった。そこで、各市を通じて町内会におかれている農業部門（農会長）に回答を依頼した。このため、当該町内会内に竹林がない場合や、地域内の状況を把握していない場合が想定されたため、アンケートの回答項目でそれらを選択できるよう配慮した。

本アンケート調査の概要は、表4.1.1のとおりである。アンケートの配布・回収は、各市の担当部局を通じて行った。全3市の回答数は510町内会のうち278町内会、回答率54.5%と過半数を超えていた。このため本アンケート結果は島内の状況を把握できる資料であると考えた。なお、南あわじ市の回答数がやや少なかった理由として、南あわじ市にはそもそも竹林があまり分布していないことから、町内会で回答自体しなかったことが考えられる。

表 4.1.1 放置竹林に関するアンケート調査の概要

	淡路市	洲本市	南あわじ市	合計
配布方法	郵送	郵送	郵送	-
郵送日	2018/11/12	2018/11/29	2018/11/30	-
配布部数 (町内会数)	211	113	186	510
回収方法	市役所持参	返信用封筒もしくは 市役所持参	市役所持参	-
回答期限	2018/12/7	2019/1/15	2019/1/18	-
担当部局	産業振興部 農林振興課	産業振興部 農政課	産業建設部 農林振興課	-
回答数	143	58	77	278
回答率	67.8%	51.3%	41.4%	54.5%

(1) アンケートの質問項目

本アンケートは、次の4部構成となっている。

- (1) 放置竹林の現状
- (2) 地区全体で共有されている「放置竹林の考え方」
- (3) 実施中の「竹チップ製造・販売」に関する社会実験について
- (4) 回答者の地区の状況

(2) アンケートの集計方法

本アンケートの集計対象は、町内会の中に管理竹林あるいは放置竹林が存在していると回答した町内会を対象とした(表 4.1.2)。アンケートの回答は淡路市が143町内会、洲本市が58町内会、南あわじ市が77町内会、全体で278町内会あった。このうち、竹林がないもしくは存在がわからないと回答した町内会、さらに無回答と不明をあわせた46町内会は、集計にあたっては前提条件が異なるため除外した。この結果、集計に用いた回答数は、淡路市で124町内会(全体に占める割合が86.7%)、洲本市で52町内会(89.7%)、南あわじ市で56町内会(72.7%)、3市を合計すると232町内会(83.5%)である。本アンケートの集計は232町内会を対象として質問ごとに市別の単純集計を行った。

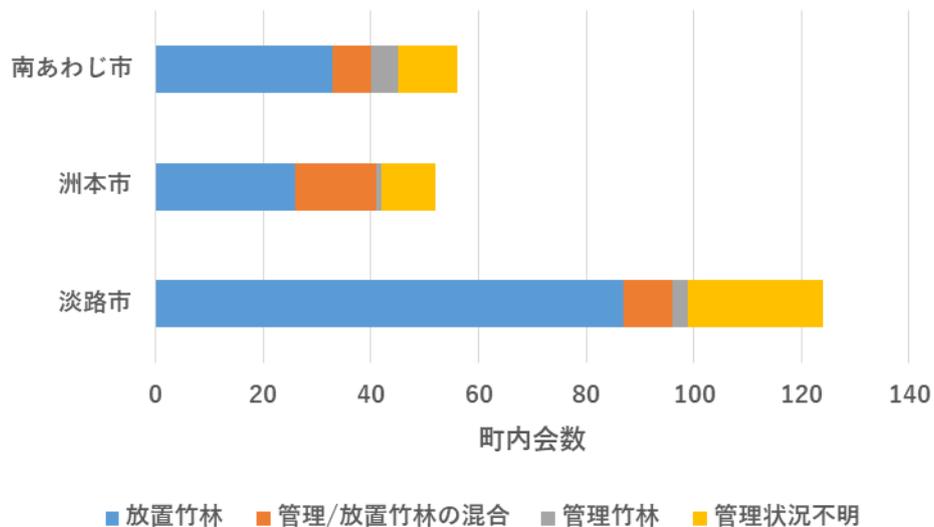
表 4.1.2 アンケート集計に用いた町内会

竹林の現状	町内会数				割合			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
放置竹林	87	26	33	146	60.8%	44.8%	42.9%	52.5%
管理/放置竹林の混合	9	15	7	31	6.3%	25.9%	9.1%	11.2%
管理竹林	3	1	5	9	2.1%	1.7%	6.5%	3.2%
管理状況不明	25	10	11	46	17.5%	17.2%	14.3%	16.5%
竹林なし	7	3	16	26	4.9%	5.2%	20.8%	9.4%
竹林不明	5	1	1	7	3.5%	1.7%	1.3%	2.5%
無回答	3	0	0	3	2.1%	0.0%	0.0%	1.1%
不明	4	2	4	10	2.8%	3.4%	5.2%	3.6%
総計	143	58	77	278	100%	100%	100%	100%

#### 4.1.2 アンケート調査の結果

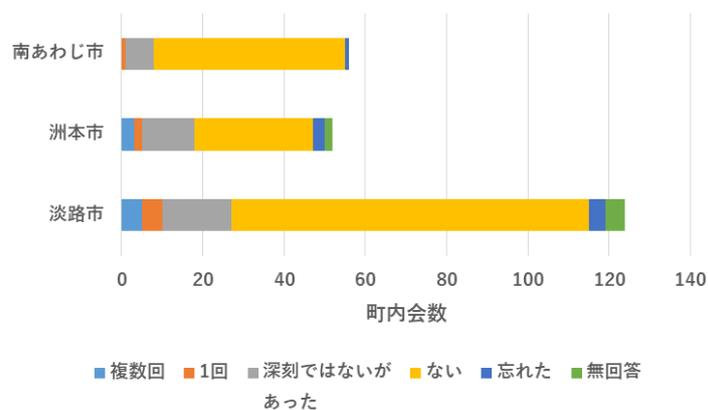
##### (1) 竹林の管理状況

竹林の管理状況については、3市とも放置竹林がおおよそ40~60%と最も多い。一方で、竹林を何らかの方法で管理もしくは一部に管理している町内会が、淡路市で12町内会、洲本市で16町内会、南あわじ市で12町内会、全体で40町内会（15.6%）あった。この管理方法として、所有者・地域協働による自己管理、タケノコ採りなどの方法があった。



##### (2) 地域における放置竹林の深刻さ

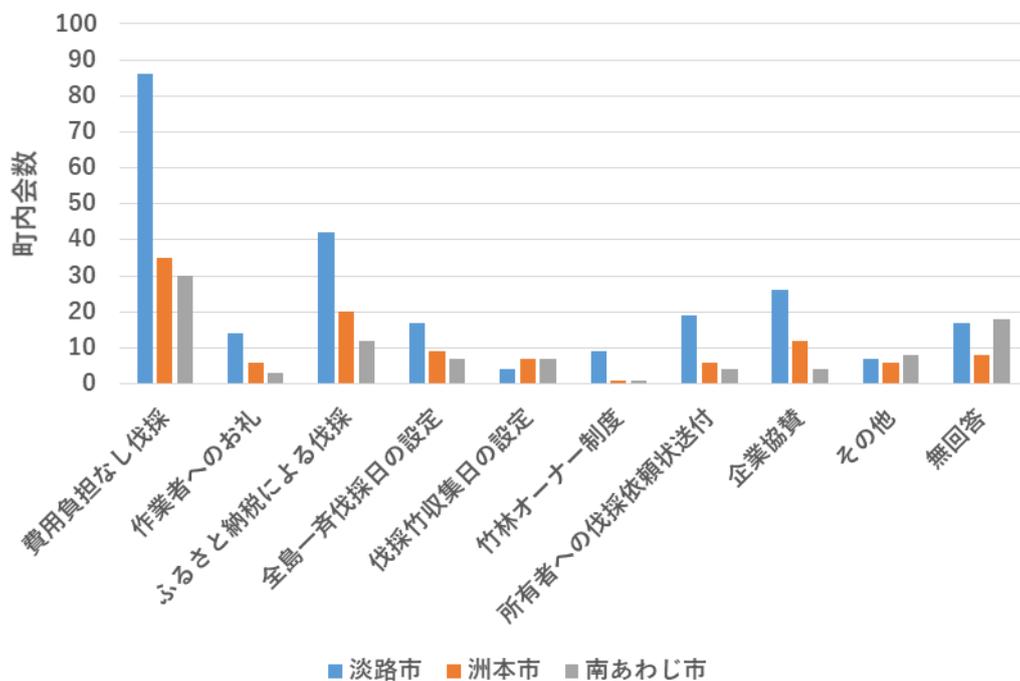
直近3年以内に地区の寄り合いで放置竹林が「深刻な地域課題」として議題にあがったことがあるか聞いたところ、すべての市で50%以上の町内会で議題にあがっていなかった。深刻な地域課題として1回でもあがった町内会は淡路市で10町内会、洲本市で5町内会、南あわじ市で1町内会、全体で16町内会あり、淡路島全体で放置竹林の深刻な地域課題としての認知割合は6.9%であった。



議題数	町内会数				割合			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
複数回	5	3	0	8	4.0%	5.8%	0.0%	3.4%
1回	5	2	1	8	4.0%	3.8%	1.8%	3.4%
深刻ではないが あった	17	13	7	37	13.7%	25.0%	12.5%	15.9%
ない	88	29	47	164	71.0%	55.8%	83.9%	70.7%
忘れた	4	3	1	8	3.2%	5.8%	1.8%	3.4%
無回答	5	2	0	7	4.0%	3.8%	0.0%	3.0%
総計	124	52	56	232	100%	100%	100%	100%

### (3) 放置竹林に有効と思われる対策

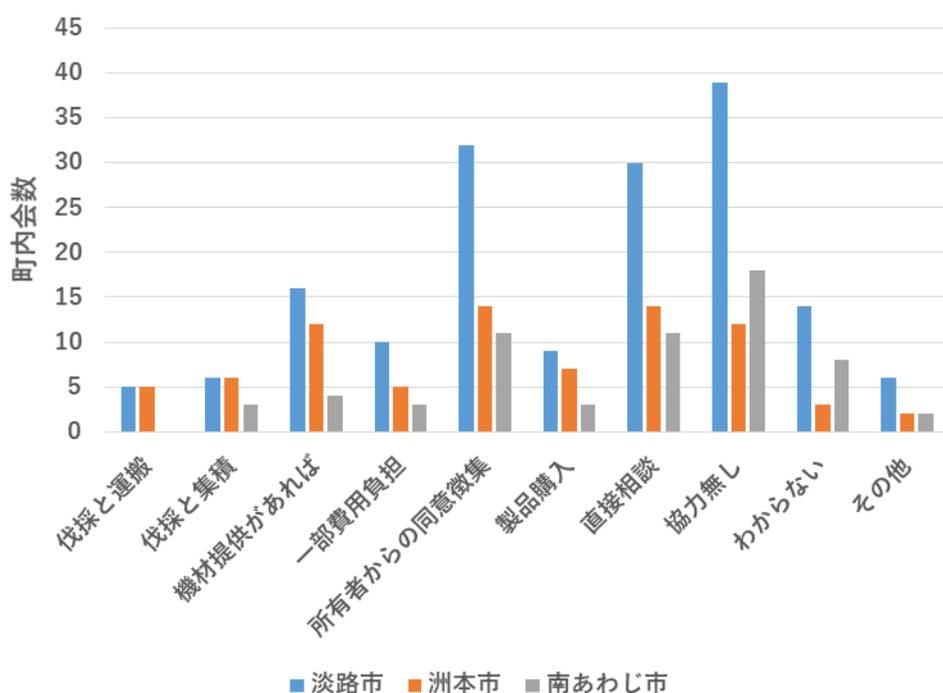
放置竹林の問題解決には地区の実情（例えば、土地所有者、竹林の場所・立地、経過・経緯など）に合わせて、やり方を選択・組み合わせられる方法がよいと考え、各町内会で効果がありそうなものを回答してもらった。その結果、3市で共通して竹林所有者や地域側の「費用負担なしでの伐採」がもっとも多く、約50%の町内会から賛同があった。つまり、無償で伐採してくれるなら土地所有者や地域側にとって見返り（買い取り）はなくてもよいだろう。



竹林管理支援策	町内会数				賛同率			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
費用負担なし伐採	86	35	30	151	60.1%	60.3%	39.0%	54.3%
作業者へのお礼	14	6	3	23	9.8%	10.3%	3.9%	8.3%
ふるさと納税による伐採	42	20	12	74	29.4%	34.5%	15.6%	26.6%
全島一斉伐採日の設定	17	9	7	33	11.9%	15.5%	9.1%	11.9%
伐採竹収集日の設定	4	7	7	18	2.8%	12.1%	9.1%	6.5%
竹林オーナー制度	9	1	1	11	6.3%	1.7%	1.3%	4.0%
所有者への伐採依頼状送付	19	6	4	29	13.3%	10.3%	5.2%	10.4%
企業協賛	26	12	4	42	18.2%	20.7%	5.2%	15.1%
その他	7	6	8	21	4.9%	10.3%	10.4%	7.6%
無回答	17	8	18	43	11.9%	13.8%	23.4%	15.5%
対象町内会数	143	58	77	278	100%	100%	100%	100%

#### (4) 地域を守る民間事業者への可能な協力

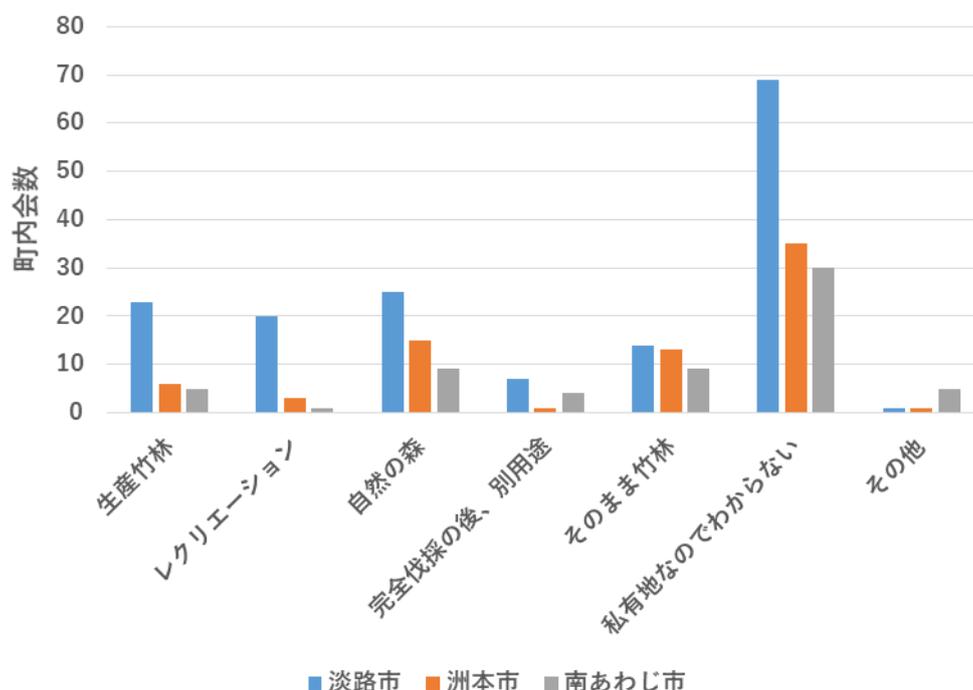
淡路島内の竹林伐採事業者「地域を守る民間事業者」による無償伐採、竹チップ製造・販売を通じて放置竹林を管理する社会実験が行われている。こうした取り組みへの参加・協力について、地域としてできることを聞いたところ、淡路市と南あわじ市では「できる協力は特にない」との回答がもっとも多かった。次に多かった回答としては、「所有者からの同意徴集」「伐採事業者と直接相談」が多かった。「一部費用負担」は約10%と賛同は低く、製品購入や伐採・運搬などの労務提供も低い。つまり、地域側に負担感があるものは忌避され、逆に調整で済むことには協力が得られる可能性がある。



協力できる事項	町内会数				賛同率			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
伐採と運搬	5	5	0	10	4.0%	9.6%	0.0%	4.3%
伐採と集積	6	6	3	15	4.8%	11.5%	5.4%	6.5%
機材提供があれば	16	12	4	32	12.9%	23.1%	7.1%	13.8%
一部費用負担	10	5	3	18	8.1%	9.6%	5.4%	7.8%
所有者からの同意徴集	32	14	11	57	25.8%	26.9%	19.6%	24.6%
製品購入	9	7	3	19	7.3%	13.5%	5.4%	8.2%
直接相談	30	14	11	55	24.2%	26.9%	19.6%	23.7%
協力無し	39	12	18	69	31.5%	23.1%	32.1%	29.7%
わからない	14	3	8	25	11.3%	5.8%	14.3%	10.8%
その他	6	2	2	10	4.8%	3.8%	3.6%	4.3%
対象町内会数	124	52	56	232	100%	100%	100%	100%

### (5) 放置竹林の跡地利用

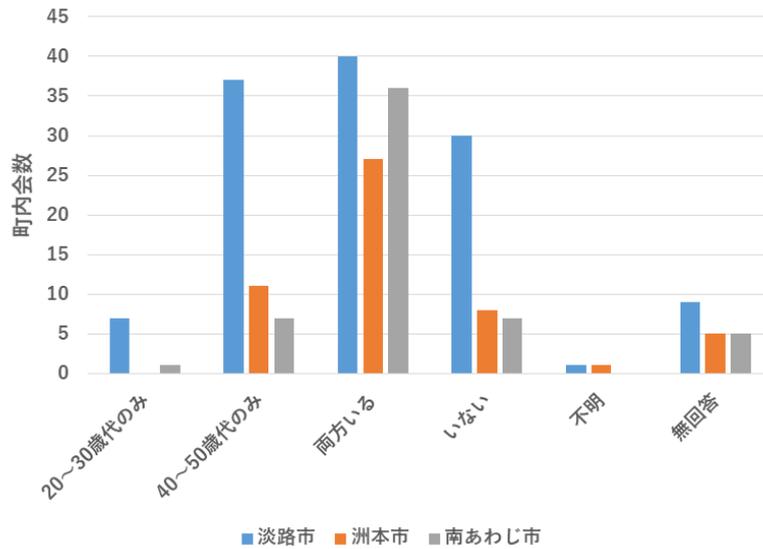
放置竹林が適切に伐採・管理された場合に、その跡地について町内会としてどのような利用意図があるか聞いたところ、現在、放置竹林が「私有地であるためわからない」との回答が3市すべてでもっとも多かった。次に多かった回答としては、「自然の森に戻したい」「そのまま竹林として管理」と積極的な利活用の要望は少なかった。



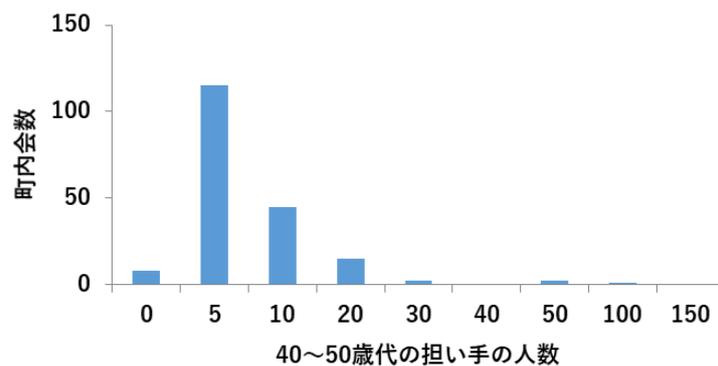
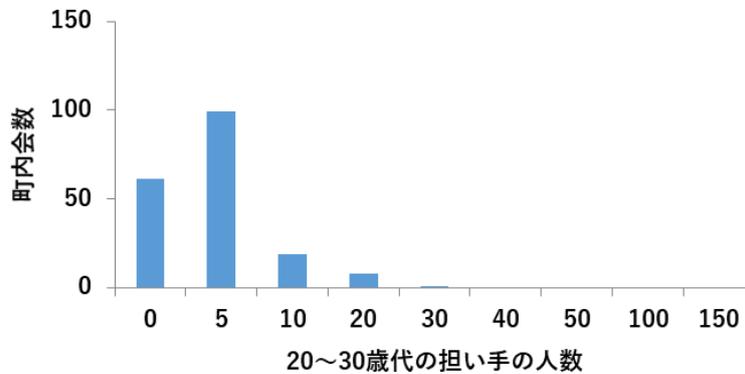
跡地利用	町内会数				割合			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
生産竹林	23	6	5	34	18.5%	11.5%	8.9%	14.7%
レクリエーション	20	3	1	24	16.1%	5.8%	1.8%	10.3%
自然の森	25	15	9	49	20.2%	28.8%	16.1%	21.1%
完全伐採の後、別用途	7	1	4	12	5.6%	1.9%	7.1%	5.2%
そのまま竹林	14	13	9	36	11.3%	25.0%	16.1%	15.5%
私有地なのでわからない	69	35	30	134	55.6%	67.3%	53.6%	57.8%
その他	1	1	5	7	0.8%	1.9%	8.9%	3.0%
対象町内会数	124	52	56	232	100%	100%	100%	100%

### (6) 担い手の有無

近年、地方部では地域づくりが進まない原因のひとつとして、担い手不足があげられる。そこで、放置竹林の解消に向けた地域協働での取り組みや地域づくりの担い手の有無について聞いたところ、淡路市で「まったくいない」と30町内会で回答があったが、3市共通して20～30歳代と40～50歳代の「両方がいる」との回答がもっとも多かった。また、どちらかの世代だけがいる町内会をあわせると、淡路市で84町内会、洲本市で38町内会、南あわじ市で44町内会、全体で166町内会(71.6%)と高かった。ただし、20～30歳代は40～50歳代に比べると少なく、ほとんどの町内会で5人以下と人数自体も多くはなかった。

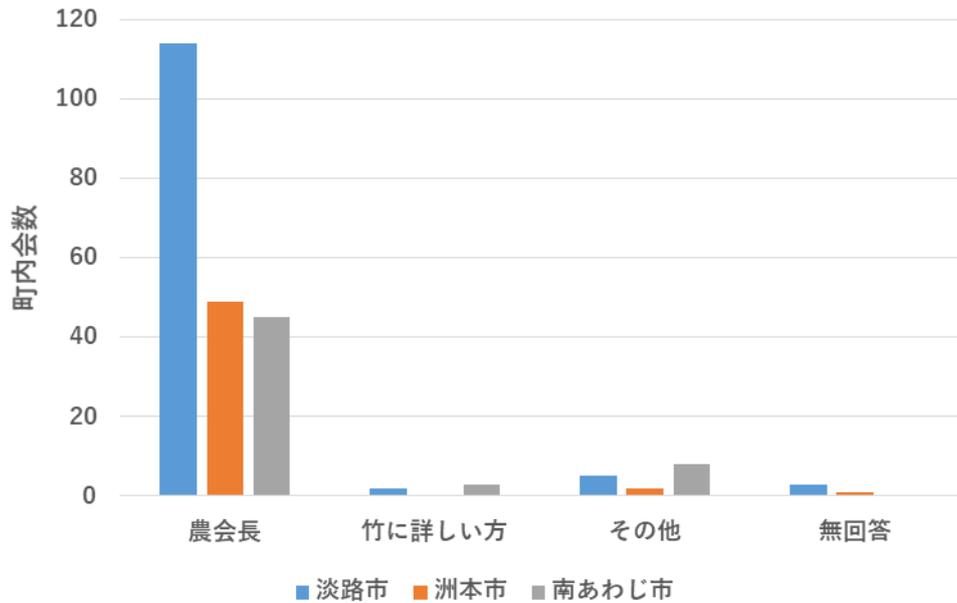


担い手の有無	町内会数				割合			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
20～30歳代のみ	7	0	1	8	5.6%	0.0%	1.8%	3.4%
40～50歳代のみ	37	11	7	55	29.8%	21.2%	12.5%	23.7%
両方いる	40	27	36	103	32.3%	51.9%	64.3%	44.4%
いない	30	8	7	45	24.2%	15.4%	12.5%	19.4%
不明	1	1	0	2	0.8%	1.9%	0.0%	0.9%
無回答	9	5	5	19	7.3%	9.6%	8.9%	8.2%
対象町内会数	124	52	56	232	100%	100%	100%	100%



### (7) アンケートの回答者属性

最後にアンケートの回答者属性を聞いたところ、農会長に依頼したこともあり、3市で農会長からの回答がもっとも多かった。ただし、その他に竹林に詳しい方に依頼してもよいとしており、営農組合、前農会長、60代男性、農会役員会で回答する、個人、町内会長、自治会長、区長が回答している町内会も全体で20町内会あった。



回答者	町内会数				割合			
	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計	淡路市	洲本市	南あわじ市	総計
農会長	114	49	45	208	91.9%	94.2%	80.4%	89.7%
竹に詳しい方	2	0	3	5	1.6%	0.0%	5.4%	2.2%
その他	5	2	8	15	4.0%	3.8%	14.3%	6.5%
無回答	3	1	0	4	2.4%	1.9%	0.0%	1.7%
対象町内会数	124	52	56	232	100%	100%	100%	100%

#### 4.1.3 アンケート調査に基づく「民間事業者による無償伐採モデル」の提案

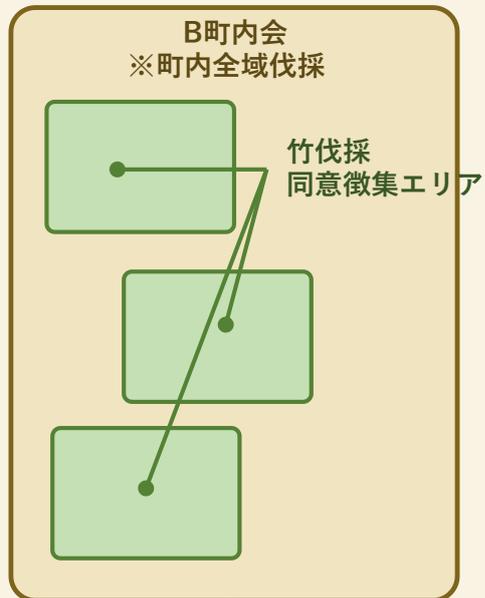
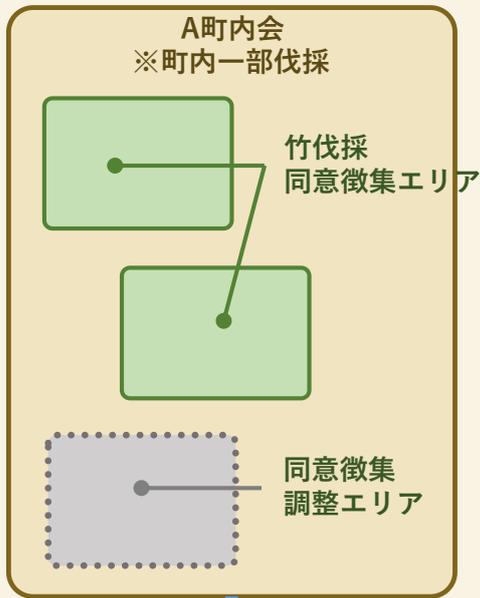
放置竹林を地域が協働して伐採できない理由としては、人手・費用不足が 65.9%、所有者不明が 20.7%、伐採困難地 19.4%であった（一部、アンケート結果を省略）。放置竹林は「個人の問題」との認識が一般的であるが、地区内や所有者からの不同意によって伐採できない状況はそれほど多くない。むしろ、所有者がわからない放置竹林や、山奥や急傾斜地にあって伐採に行けないという理由が多い。すなわち、「人手がない中で日当すらないのに、誰も困ってない山奥まで伐採にはいけない／誰にも依頼できない」といった状況と推察できる。こうした状況の中で、放置竹林を無償で伐採してくれるなら土地所有者や地域側にとって見返り（買い取り）はなくてもよく、そのためにできる協力としては「所有者からの同意徴集」「伐採事業者と直接相談」であった。

このことから、伐採・管理の仕組みの1つとして「民間事業者による無償伐採モデル」が試案できる。大型機械が進入可能な作業道があり、作業スペースが確保できる比較的平坦な竹林であれば、町内会あるいは土地所有者らで話し合いをもち、費用負担無しで伐採することができる。このモデルを実行するためには、以下の3点が必要事項と考えられる。

- ・ 民間事業者が伐採・搬出・運搬コストに見合うための条件を設定して、町内会長や農会長にわかりやすく提示することで、可能性のある場所を探してもらおう。例えば、道幅は○m 以上、傾斜は○度以下、面積は○m<sup>2</sup> 以上など。
- ・ 竹林所有者らで話し合いを持ってもらうために、伐採によって生じるメリットとデメリットを正確に示したリーフレットなどを提示する。ここでは、町内会としてよりも個人間での調整にしておくこと、町内会の負担が軽減される。また、合意形成するためのファシリテーターの派遣なども効果的であろう。
- ・ 伐採跡地の利活用は個人に委ねられることが多いため、竹林所有者が選択できる跡地利用オプションを整理する必要がある。例えば、竹林のままであればどのくらいの頻度で今後も伐採が必要になるか、用途変更する場合の固定資産税や手続きなどがある。

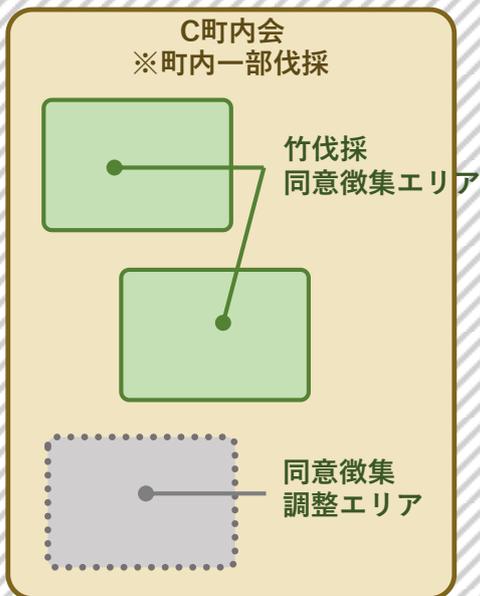
# 民間事業者による無償伐採モデル

立地、作業道確保により無償伐採地域



伐採事業者による無償伐採

立地や作業道条件不一致により  
有償伐採地域



D町内会  
※町内全域伐採

小～中型ボイラー

竹伐採  
同意徴集エリア

## 4.2 地域と伐採事業者が連携した竹伐採方法について

### 4.2.1 調査の目的

前節では実現可能性の高い竹収集システムを成立させる方法として「民間事業者による無償伐採モデル（竹林所有者が竹の売却益を伐採事業者に請求せずに、伐採事業者がすべてを取得する方法）」を提案した。そこで本節では、以下の3点について調査した。

#### （1）どうすれば伐採コストを減らせるのか？（伐採事業者への聞き取り調査）

竹チップ製造のためには、できるだけ伐採作業を効率化して、製造コストを抑える必要がある。その伐採作業の効率は地形条件や環境条件によって変化する。そこで、伐採事業者に最も効率的に伐採できる条件について聞き取り調査から明らかにした。

#### （2）物理的条件から伐採に適した地域はどこか？（竹林伐採適地の抽出モデル）

前項から明らかになった伐採が効率的に実施できる条件に基づき、植生図や各種地図情報から竹林伐採適地を抽出するモデルを構築した。

#### （3）検討モデルの実現可能性はあるか？（伐採適地町内会への聞き取り調査）

竹林伐採適地の抽出結果に基づき、伐採事業者による無償伐採モデルでの実際の伐採を想定して地域の代表者へその可否について聞き取り調査を行った。

### 4.2.2 伐採事業者への聞き取り調査

放置竹林の伐採にあたり、もっとも費用が安くなる条件を明らかにするために、島内で竹林の伐採を行っているA伐採事業者に令和元年8月2日に聞き取り調査を行った。聞き取り調査は、A伐採事業者の代表取締役に対して対面式で、伐採費用がかかってしまう具体的な作業条件や物理環境について聞いた。

### 4.2.3 伐採事業者への聞き取り結果

#### （1）伐採に至る段取り

- ・ 住民からの依頼→現地確認→条件確認→竹の種類確認→諾否判断→伐採着手

#### （2）伐採の最適条件

- ・ 傾斜が15度以下であること。これが最も大切。15度以上の傾斜になれば、様々な機材が必要になるが、現時点ではそこまでの設備投資をしていない。したがって、この条件でできるところしか伐採していない。
- ・ 接続道路幅が3.5～4.0mがあれば4t車が入れる。最低でも2m幅がほしい。
- ・ 伐採には住民（土地所有者）からの直接依頼であるため、これまでに大きなトラブルはなかった。1つの山で複数の地権者がいる場合には「同意が取れていること」が必要。

#### （3）伐採の方法の条件

- ・ 竹を燃料利用の用途に最適化するならば、条件にある竹林をローテーションする方法がよい。竹林は伐採しても数年で元に戻るため。
- ・ 一定の範囲にある竹林を順番に回る方法。

#### （4）伐採量（H31.2.4の議事録から）

- ・ 年間1.5～1.6haを伐採している。温浴施設ゆ～ゆ～ファイブの年間使用量に相当する。
- ・ 伐採作業の受託状況としては、場所さえあればまだまだ余裕がある状況。
- ・ 使用機材としてはバックホー、バンブーカッターを各1台。作業員は最低2名。

- ・ この条件で、1日あたり100坪が伐採できる面積。(100坪=3.3a、1.6ha=160a、160a/3.3a=48.5日)

#### (5) 伐採の地理的範囲

- ・ 現時点ではあまり範囲は規定していない。依頼があればどこでも伐採に出向いている。

#### (6) 想定される伐採の最適化モデル

- ・ 植生図から竹林を抽出し、竹林全体の土地の傾斜角が15度以下であること
- ・ 道路幅2m以上の道路が接続する竹林を抽出する。
- ・ 範囲の設定の条件（伐採ローテーションを1年で想定）
- ・ 20kmの範囲内に1.6ha以上の竹林がある、あるいは1つの町内会の中に1.6ha以上の竹林がある。→5年のローテーションを考えた場合 1.6ha×5年=8ha程度が必要。

### 4.2.4 竹林伐採適地の抽出方法

#### (1) 評価対象データと対象範囲

竹チップの低コスト製造のためには、伐採の効率化が必要となる。これまでの研究会での調査研究から、放置竹林から竹チップを製造するための伐採・運搬・加工・乾燥・保管する費用（製造コスト）を販売益だけで回収することは難しいことがわかっている。このため製造工程で費用が最も掛かる「伐採作業」を効率化することでコスト低減を目指している。前章の調査から、その竹林伐採適地の条件を明らかにしたが、島内には竹林が2,650haも存在しており、竹林伐採最適地を簡便に抽出する必要がある。そこで、地理情報システム（以下、「GIS」という）を用いて竹林伐採適地の抽出モデルを作成した。

対象データとしては、竹チップに用いられるモウソウチクのみ分布データを利用すべきであるが、島内全域で竹林の種別の分布データは整備されていない。そこで、竹林分布データとして環境省発行の植生図（平成20年度作成）の「竹林」を用いた。これについても竹の種類は判別していない。植生図の図郭は、明石、須磨、仮屋、田之代、郡家、志筑、都志、洲本、福良、広田、由良、鳴門海峡、論鶴羽山である。その他の地図情報は、標高データが国土地理院発行の10mメッシュの数値標高モデル（基盤地図情報）、道路データが国土地理院発行の数値地図（国土基本情報）道路中心線データを用いた。対象範囲は淡路島内全域としたが、沼島は離島のため除外した。その結果、島内の竹林は1,306エリア、総面積2,650haであった。

#### (2) 竹林の傾斜評価基準

10mメッシュの標高データを用いて、3×3メッシュ当たりの平均傾斜角度を算出した。このうち竹林エリア内全体の傾斜角度が15度以下で構成される竹林エリアが最も高効率であるが、島内で53エリア（面積42ha、4.1%）であった。そこで、竹林エリア内に15度以下がない場合にその竹林エリアは伐採作業ができず伐採不適地とした結果、1,306エリアから16エリアが除外された。

#### (3) 竹林へのアクセス評価基準

##### ① 接続道路スクリーニング

竹林伐採には伐採重機の搬入や運搬車の進入が可能な道路が近接している必要がある。このため、道路データのうち、徒歩道、石段、橋・高架、トンネル部、高速道路・有料道路の明らかに竹林へアクセスができない道路部分を除外した。以後の解析では、これらを除いた道路データを用いた。

## ②接続道路評価基準（3属性値）

竹林エリアへの重機の進入時に、道路から竹林への作業道などを新たに設置することなく容易に進入できることが最も作業効率が高い。ただし、住宅地の裏山の竹林などの場合には道路が直接接続していなくても敷地内を通過して進入できる可能性がある。そのため、以下のようにランク分けを行った。

- ・ ランク A 竹林エリア内に道路がある
- ・ ランク B 竹林エリアから 20m 以内に道路がある（住宅地裏などを想定）
- ・ ランク C 竹林エリアから 20m 以上に道路がある（大規模な作業道の設置が伴うため伐採不適地と判断）

この結果、全 1,306 竹林エリアのうちランク A が 784 エリア（60%）、ランク B が 244 エリア（19%）、ランク C が 278 エリア（21%）であった。以後は、ランク A と B の 1,028 エリアを対象とした。

## ③道路幅評価基準（3属性値）

伐採重機や運搬車が走行できる道幅は前章から最低 2m 以上であった。道路データに収録されている道路幅は 3m 以上かを区分するものであったため、これを参考に以下のようにランク分けを行った。

- ・ ランク A 道路幅が 3m 以上のもの
- ・ ランク B 道路幅が 3m 未満のもの
- ・ ランク C 道路幅が不明（2t 車が通れない道と想定し、伐採不適格と判断）

この結果、1,028 エリアのうちランク A が 463 エリア（45%）、ランク B が 565 エリア（55%）、ランク C が該当なしであった。

### 4.2.5 伐採事業者への聞き取り調査に基づく竹林伐採適地の抽出結果

竹林伐採適地を竹林の傾斜評価基準及び竹林へのアクセス評価基準から抽出した結果、平均傾斜角度が 15 度以下かつ道路幅 3m が接続する 784 エリアが得られた（表 4.2.1、図 4.2.1）。さらに作業効率を高めるためには、ある程度の範囲内にまとまって竹林伐採適地が存在している必要がある。その範囲としては、伐採竹の集積場所からの距離や需要地からの距離などが考えられる。ここでは、地域一括同意徴収を想定しているため、1つの町内会にある竹林がすべて伐採適地であることが望ましいと考え、これに合致する町内会を抽出した（表 4.2.2）。ただし、ここでは町内会境界データが存在しなかったため、便宜的に農業センサスで用いられている農業集落データを用いている。

表 4.2.1 竹林伐採適地の評価結果（カッコ内はエリア数）

	接続道路 A エリア内 (784)	接続道路 B 20m 以内 (244)	接続道路 C 20m 以上 (278)
道路幅 A 3m 以上 (463)	伐採最適地 (387)	伐採可能地 (76)	伐採不適格
道路幅 B 3m 以下 (565)	伐採可能地 (397)	伐採可能地 (168)	伐採不適格
道路幅 C 不明 (0)	伐採不適格	伐採不適格	伐採不適格

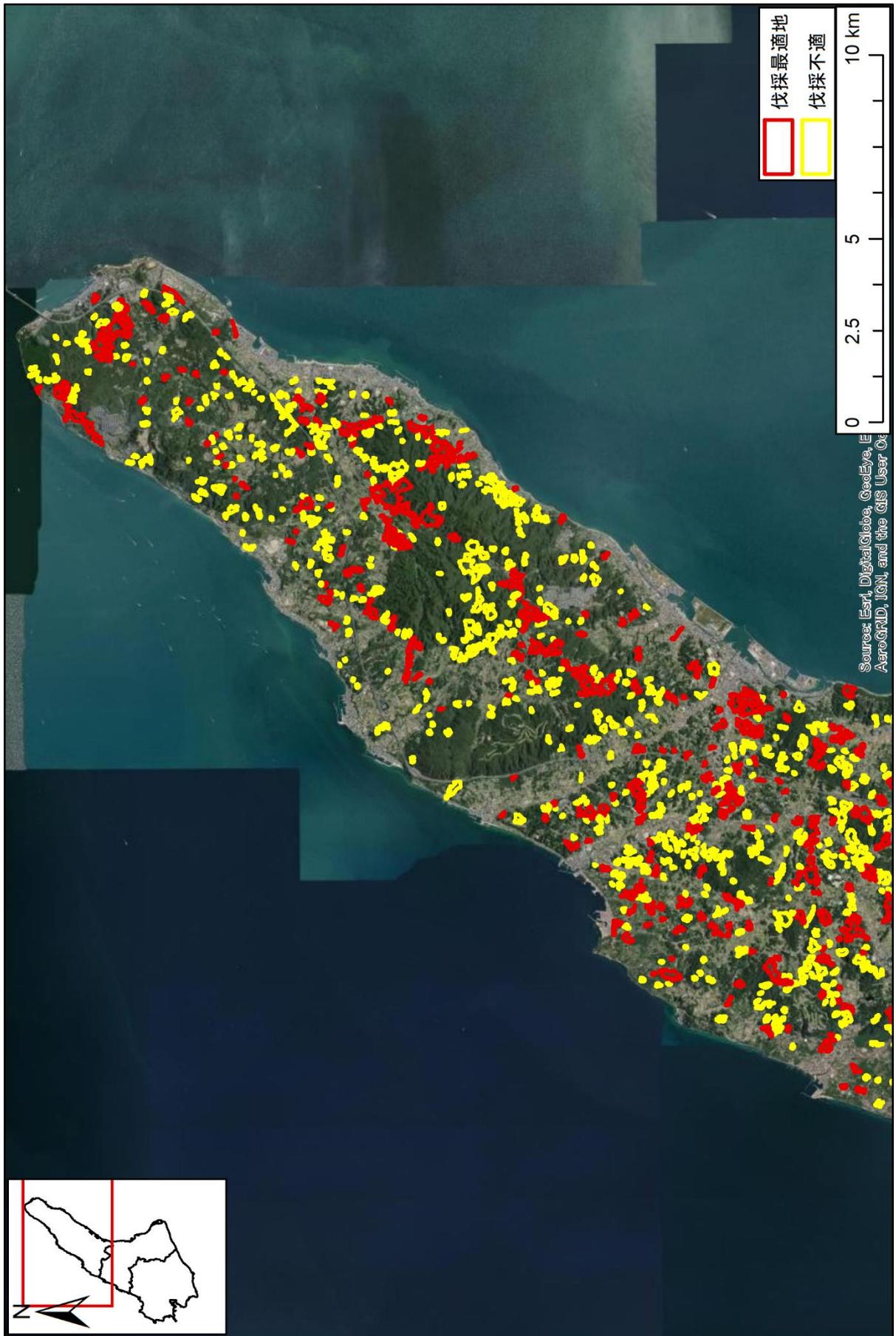


図 4. 2. 1 竹林伐採適地の分布図（淡路島北部）

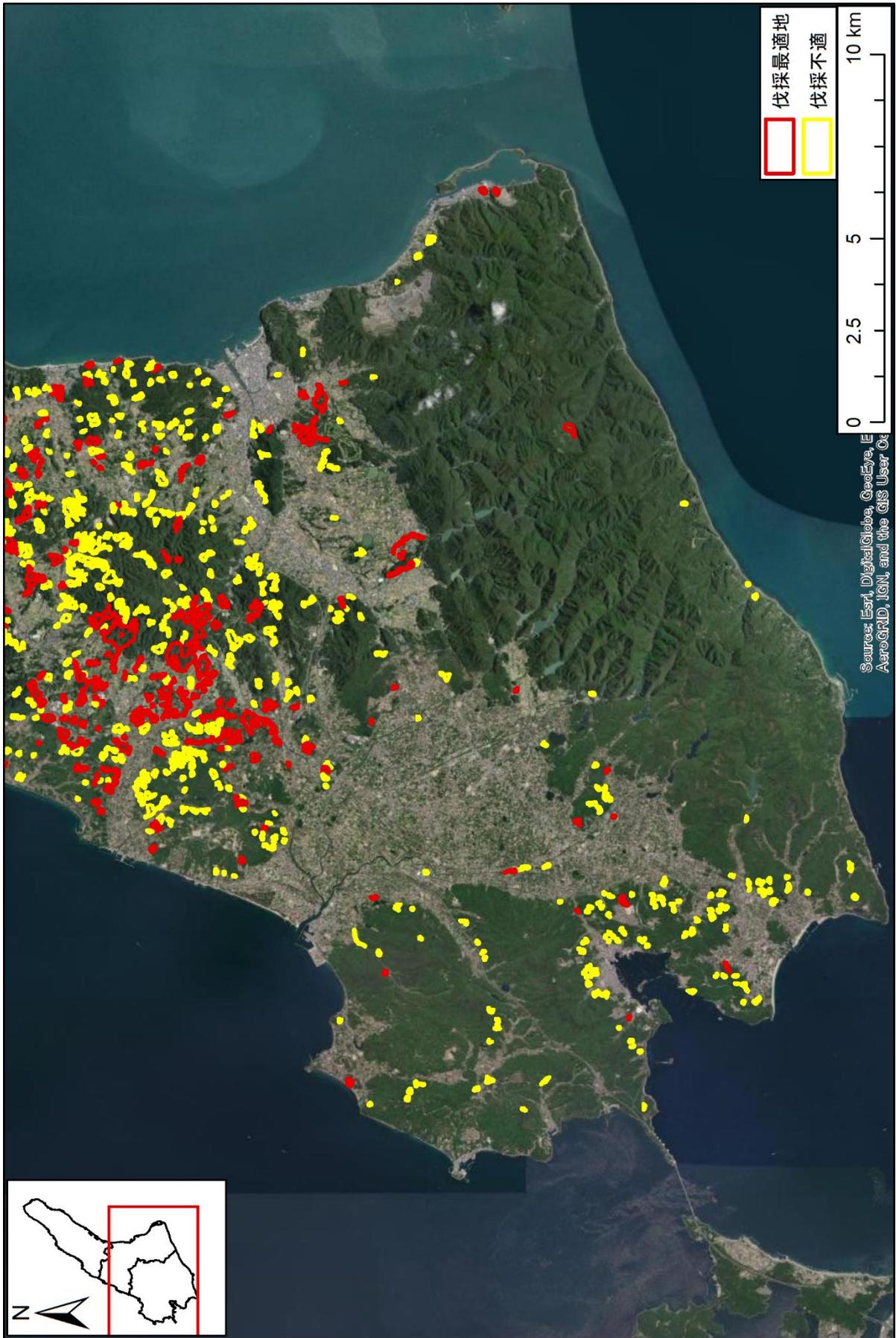


図 4. 2. 2 竹林伐採適地の分布図（淡路島南部）

表 4.2.2 竹林伐採適地のための竹林で構成される農業集落とその伐採適地面積

KEY	市区町村名	旧市区町村名	農業集落名	伐採適地面積 [ha]
2822602003	淡路市	志筑町	西谷	26.6
2822603001		中田村	大円道	29.7
2822604001		生穂町	大谷南	3.9
2822604002			大谷覗	1.3
2822604008			川東	4.2
2822605002		佐野町	柏原	1.6
2822608003		岩屋町	中ノ町	1.6
2822608004			茶間	2.0
2822608006			西ノ町	2.0
2822610004		仁井村	原田	15.9
2822611008		野島村	平林	4.0
2822613003		浅野村	古屋	3.9
2822614003		育波村	里下	2.5
2822614007			小谷条	11.5
2822614009			五斗長下	2.3
2822616006		尾崎村	園出	0.6
2822617001		郡家町	川辺	0.8
2822617004			撫	3.6
2822617005			里	3.6
2822619007		江井町	浜	3.6
2820501007	洲本市	洲本市	野旦田	14.9
2820501033			相川	4.3
2820502007		由良町	佐毘	1.8
2820502009			仲・南	2.3
2820503007		中川原村	安坂下	2.6
2820505006		広田村 2 - 2	鮎屋上	6.3
2820506002		都志町	都志	6.7
2820509007		鳥飼村	社日	3.2
2820509016			古池	1.8
2820510001		堺村	東	15.9
2820510007			岡坊	2.2
2822401012		南あわじ市	広田村 2 - 1	大戸
2822402002	倭文村 2 - 1		神道	18.9
2822403005	松帆村		宝明寺	1.5
2822403013			西路	1.1
2822405002	津井村		本村	1.9
2822405003			中央	1.9
2822410006	志知村 2 - 2		中島上	1.6
2822412002	八木村		寺内	0.7
2822412004			入田	0.6
2822414001	神代村		社家	0.7
2822415014	賀集村		東山	0.7
2822415017			福井	0.5

## 4.3 提案モデルの実現可能性調査について

### 4.3.1 集落への聞き取り調査の概要

検討モデルである「民間事業者による無償伐採モデル」の有効性、実現可能性を検証するために、実際に竹林伐採適地の地図を提示しながら聞き取り調査を行った。対象地区は、4.1のアンケート調査の結果、町内会で放置竹林が深刻な地域課題となっていること、若手の担い手がいること、研究会への連携・協力を希望していることを条件に選定した。その結果、調査に協力が得られた淡路市A町内会、洲本市B町内会の2つから聞き取り調査を行った。南あわじ市については、調整がつかず実施できなかった。なお、具体的な町内会名は、機微情報が含まれるため伏せておく。

#### (1) 淡路市 A 町内会

日 時 令和2年1月31日13～15時

対 象 農会長（アンケート回答者）

#### (2) 洲本市 B 町内会

日 時 令和2年2月1日9～10時

対 象 現町内会長、農会長の2名

### 4.3.2 聞き取り調査の結果

#### (1) 淡路市A町内会

##### ①放置竹林によって、あなたはどのような困りごとがあるか？

- ・ 竹林に隣接する住宅では、葉っぱが雨樋につまり溢れてしまう。
- ・ 農地であれば、竹林が迫ってくることで日陰になり、農作物に影響がでる。田んぼや畑に竹の根が入ってくると、トラクターで耕せなくなる。
- ・ 淡路島にはイノブタが多くいる。それがたけのこを食べたりするので、竹林が生息場になっており、そこから農地に出てくる。

##### ②集落ではどのような困りごとがあるか？

- ・ 集落の人もみんな「困った」と嘆いている。集落では少子高齢化し、1～2人の世帯がほとんどで、わざわざ山に入ってまで竹を管理する気力、体力がない。できる範囲として、たけのこが生える時期に蹴飛ばしにいくぐらい。
- ・ 自宅の向かいの山は昔は雑木林だったが、今はすべて竹に置き換わった。
- ・ 年金暮らしの高齢者ばかりなので、自分たちの代で終わりという暗黙の考えがあり、何かしようという気持ちがなくなりつつある。

##### ③自治会で竹林伐採の「同意収集」ができそうか？

- ・ 「自治会」をどのスケールで行うかで違う。A自治会は特に細かく別れているが、最小は数軒の地区、次に町内会、次に自治会がある。
- ・ 町内会でも放置竹林に対してみんな困っているし、経済的な価値や積極的な利用がないので、誰も文句は言わないと思う。

##### ④土地所有者から同意はとれそうか？できる協力はありますか？

- ・ 伐採最適地に示されている自宅裏の竹林であれば、所有者が全部わかるので取ることはできると思う。特に不在地主ばかりということはなく、集落にいるため。

- ・ 竹林に入るときの道を提供するくらいはできる。

#### ⑤跡地についての心配事は？

- ・ 皆伐した場合に、跡地が不安。災害や大雨による土砂流出や地すべりなどが心配。
- ・ 跡地の利用は、昔なら太陽光パネルも良かったが、今は買取価格が落ちているので、ダメだろう。木や果樹でも植えればいいのかもしい。
- ・ 果樹を植えても、それを管理、収穫、出荷する体力が地域に残っていない。それを取りまとめるリーダーもいない。農地ですら集落営農や法人化を言われているが、もはやそんなことができる体力がない。今の農地を維持するだけで精一杯。

#### ⑥その他

- ・ みんなが竹を使わなくなった。門松も昔はみんな作っていたが、今では田舎でもやらなくなった。竹を使わないと、管理は難しいのでは？
- ・ みんな年金暮らしなので、経費がかかること（持ち出し）にはなかなか協力が得られないのでは？跡地利用も経費がかからなければいいのでは。

### (2) 洲本市B町内会

#### ①放置竹林によって、あなたはどのような困りごとがあるか？

- ・ イノブタの温床になっている。

#### ②集落ではどのような困りごとがあるか？

- ・ 集落として目立った議題にはなっていない。竹林はあくまで個人の問題なので、竹が倒れてきた場合にだけ伐採することはある。それでも、個人の土地なので中までは伐採しない（できない）。

#### ③自治会で竹林伐採の「同意収集」ができそうか？

- ・ 町内会規模であれば、同意は集められると思う。みんな、山に関心がないので伐採することに問題はないと思う。
- ・ 町内会を出ていった人もいるが、周辺にいるので同意はとれると思う。
- ・ 事業者が効率よく伐採できる竹林だけとなると、「なんで自分のところは伐採してくれないのか？」と不平不満がでる。また、後から「自分のところも伐採してくれ」と要望が絶対にあがってくる。

#### ④土地所有者から同意はとれそうか？できる協力はある？

- ・ 山林の境界の問題を絡めると絶対に揉める。境界と伐採同意はわけて話をしないといけない。
- ・ 事前相談をしっかりとやれば良いのではないか。伐採方法や跡地の状態など。
- ・ 皆伐+除根では大幅に地形が変わってしまうので、まずは竹の伐採だけで同意をとれば良いと思う。
- ・ 竹林に入るときに、田んぼや畑を通る協力はできる。ただし、冬季かつ原状復帰が条件。
- ・ どうしても重機が入れない、事業者ではできないところを町内会に作業の手伝いをお願いという話になれば協力はできると思う。弁当などちょっとした感謝の印があるといい。

#### ⑤跡地についての心配事は？

- ・ 15 度以下であれば、土砂崩れなどは心配ないのでは？ただ、崩れたときに問題になるだろう。
- ・ 事業者が途中でやめてしまったり、逃げたりすることが心配。
- ・ 作業道については、そのまま残しておいてくれた方が、その後の管理がしやすくなるからありがたい。
- ・ 跡地に、桜を植えればかなりの名所になるかも。あとは、しきみとかもいいかも。
- ・ 跡地については課題もあるが、その場所ごとに条件が違うので、実際はやってみないとわからない。

#### ⑥その他

- ・ 枝葉の処理はどうするのか？そのまま？
- ・ 燃やせばいいが、行政としては「燃やしてください」とは言えない。

#### 4.3.3 検討モデルの改良：土地所有者の一括同意による低コスト伐採モデル

聞き取り調査の結果から、検討モデルに対する4つの課題点が把握された(表4.3.1)。民間事業者が竹林を伐採する際に、ひとつの竹林エリアの土地所有者が複数人に渡る場合、その全員からの同意徴集が必要となる。この問題を克服するために、地域全体として放置竹林が課題になっている町内会で伐採同意を一括して得ることで、民間事業者にとってメリットがある。その際に、町内会の中で具体的にどのような順番(何年かけて)で竹林を伐採するのか、効率が悪い場所も含めてすべてを伐採してくれるのか、町内会として調整上の課題点があった。さらに、伐採の同意を得る際に土地境界を持ち出すとトラブルになる場合が想定されるため「伐採に限ること」への注意点が聞かれた。また、現在であれば、土地所有者が地域の中で知られているが、徐々にわからなくなっていくことが懸念されるため、あまり時間的な余裕がないとの声も聞かれた。

最後に、伐採跡地の問題がわかった。伐採跡地は、人家裏などであれば地すべりや土砂流出などへの不安、大規模な竹林エリアでは景観上の問題があり、伐採同意を得る際には丁寧な説明と跡地利用の選択肢を整理して示すことが必要と考えられる。これらのことを総合して、民間事業者による無償伐採モデルの実現可能性は比較的高く、「土地所有者の一括同意による低コスト伐採を可能にするモデル」へと改善できた。

表 4.3.1 土地所有者からの一括同意による伐採モデルの課題点

課題点	淡路市 A 町内会	洲本市 B 町内会
伐採への町内会としての同意	・ 管理の必要性はみんな認識しているが、高齢化でできない。 反対する人は誰もいない、むしろ感謝。	・ 獣害の温床になっているので伐採には賛成。 ・ <u>効率のいい竹林だけ伐採なら、不公平ができる。</u> ・ 事業者が途中で伐採を中断、先延ばししないか心配
土地所有者の特定と同意収集	・ <u>今なら誰の土地かわかる。</u> ・ 反対する人はいない。	・ 数人は地域外に移住しているが、所有者はわかる。
同意収集作業の負担の許諾	・ 土地所有者が数人なので問題ない。	・ <u>事前承諾書を用意して、境界問題と伐採承諾を分ければ可能。</u>
伐採跡地の課題	・ 皆伐+除根： <u>人家裏の竹林の場合、地すべり、土砂流出などの防災面が心配。</u>	・ 作業道がついてありがたい。 ・ 防災面、景観面の心配があるが、有効活用を考える人もあるかも。 <u>やってみないとわからない。</u>

## 【参考資料 1】淡路島内での竹の利活用の実例

淡路島内での竹の利活用の実例をいくつか示す。

### 1. 食材

#### (1) タケノコ

淡路島におけるタケノコはタケノコ栽培用に管理している竹林はほとんどなく、多くは粗放的な管理や拡大竹林となる。道の駅（フローラルアイランド）、あわじ花さじき等での販売がなされている。

#### (2) メンマ

令和 2 年に淡路島里山プロジェクトにより「あわじ島ちく」との商品名で生産販売開始された。加工は武田食品冷凍株式会社が行い、年間 750kg が生産されている。「あわじ島ちく」を利用したラーメンが島内 2 軒（洲本市 1 軒、路市 1 軒）で提供されている。令和 3 年 11 月より缶詰とし自動販売機でも販売されている。6 種類あり。

### 2. 材料

#### (1) 竹チップ

杉本林業株式会社で平成 27 年に竹チップ製造機導入。

#### (2) 竹パウダー

有限会社杉本商店より、乳酸菌発酵竹粉「竹のちから」が販売されている。

#### (3) マルチング材・園芸資材

##### 1) 竹混合 DW ファイバー

淡路県民局、一般社団法人兵庫県造園建設業協会、大建工業株式会社、国土防災技術株式会社及び兵庫県立淡路景観園芸学校の 5 者で連携した淡路島産の竹を混合させた新たな木質繊維材の活用プロジェクトとして実施。実証実験も行われている。

DW ファイバーとは、国産の木材チップを特殊解繊処理し、植物の生育促進効果のある純国産のフルボ酸を添加した土壌改良材であり、繊維がランダムに枝分かれしており優れた透水性と保水性を有し、さらに①植物の光合成を活性化させる、②土壌の団粒化を促進し根の成長を助ける、③pH 緩衝作用があり適用範囲が広い、④飛来してきた雑草の種が土に付着するのを防ぐ効果があり、除草の手間が省力化でき、良好な状態を長期間保持できる。

淡路島における期待される効果として、①一定量の竹を材料として安定的に伐採・供給することで放置竹林の拡大を防止、②棚田や農地、道路植栽帯の環境を良好に維持することで美しい棚田景観の保全と安全安心な社会基盤の維持・形成に貢献、③人口減少や高齢化の進展で、地域の担い手が不足する中、草刈り等の維持管理作業を省力化することで持続可能な地域づくりに貢献、④園芸療法とのタイアップや園芸材としての利用提案による新たな生活様式を提案などがあげられる。

出典 : [https://www.awaji.ac.jp/http/topics/p\\_5345](https://www.awaji.ac.jp/http/topics/p_5345)



## 2) ナルトサワギク防除竹チップマルチ

淡路島においては、特定外来生物に指定されているナルトサワギク (*Senecio madagascariensis*) の分布が著しい。防除が難しい要因の一つに種子散布に起因する再定着がある。再定着防止のための試験に、淡路島産の竹チップ（杉本林業株式会社産）が使用され、兵庫県立大学大学院緑環境景観マネジメント研究科／兵庫県立淡路景観園芸学校が実施し、比較的長期に及ぶ一定の効果が認められている。

### （４）竹炭

各グループが制作している。

株式会社植野工務店の竹炭「淡玄」は一般販売されている。

### （５）竹酢液

各グループが制作している。

株式会社植野工務店の竹炭「淡玄」竹酢液（原液）は一般販売されている。

### （６）造園資材

#### 1) SDGs ガーデン・「陸の豊かさを守ろう」（淡路花博 20 周年花みどりフェア（令和 3 年））

淡路島島内で拡大する放置竹林に着目し、山から間伐した竹を主な素材として作成されたガーデン。マダケを主材料とし兵庫県立大学大学院緑環境景観マネジメント研究科／兵庫県立淡路景観園芸学校と淡路島の関係業者との共同で作成。竹の素材としての可能性が示された。

作品はSDGsの目標15「陸の豊かさを守ろう」をキーワードに、陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止することを基本理念とし、淡路島内の生物多様性を脅かす放置竹林の拡大に着目しました。

作庭は山から間伐した竹を主な材料とし、淡路島の海岸で拾ったシーグラスや貝殻を用いて淡路島の魅力である海の要素や花を組み合わせて地域らしさを表現しています。また、庭には地域産業の一つである淡路瓦も使用し、地域産業の振興や産業廃棄物の削減にも作庭を通してつながったと考えられ、SDGsの目標12にも関わりました。

庭の設置場所は淡路島国営明石海峡公園移ろいの庭で、現地が海への良好な眺望と穏やかな風が感じれる空間です。作品はこのような場所特性を生かし、冬至10時の太陽の位置に向かって、海への景観軸を誘導し、竹材でつくった風車を加え、太陽光との関わりや風車の動きを通して海風の可視化によって、場所に固有のポテンシャルを引き出し、特色のあるランドスケープの形成を図りました。



出典：[https://www.awaji.ac.jp/gs-ldh/information/p\\_7649](https://www.awaji.ac.jp/gs-ldh/information/p_7649)

## 2) Bamboo Life “竹でつなぐ庭”（淡路花博 20 周年花みどりフェア（令和 3 年））

淡路島産のマダケ約 40 本を使用し、マダケの曲がる性質を利用した庭で、割る事だけで利用方法が広がることが示された。また支柱や杭も竹で作成しており素材としての可能性を高めている。

コロナ禍における混乱、断絶。社会は大きく波打つように変化しており、それとともに、今までとは違うライフスタイルの選択肢が生まれてきています。竹の力強さやしなやかさに可能性を見出し、自由に、多様な生き方が選択できる新たな時代を「みなとつながる」をテーマに制作しました。



出典：[https://www.awaji.ac.jp/information/p\\_8138](https://www.awaji.ac.jp/information/p_8138)

<https://www.awajihanahaku20th.jp/event/detail.php?eid=12>

### 3) 淡路島の新たなフォトスポット 「あわじ環境未来島ガーデン」(令和3年)

花壇に淡路島産のマダケおよび竹混合 DW ファイバーを用い、放置竹林拡大の問題を知ってもらおうとともに、淡路島らしさが示された。

#### 淡路島に新たなフォトスポット誕生

##### ～「あわじ環境未来島ガーデン」の設置について～

このたび、「あわじ環境未来島構想」の取組をより多くの皆さんに知っていただくため、淡路シェフガーデン(淡路市岩屋)において、淡路産竹混合ファイバーや淡路瓦等を使用した花壇「あわじ環境未来島ガーデン」を淡路県民局が設置します。

当校は、ランドスケープの専門性・ノウハウを有することから、このガーデンのデザインや設置等で大いに関わっています。

多くの方にご覧いただくとともに、SNS等を活用して写真や動画が淡路島内外へ広く発信されることを期待しています。

(デザイン監修：沈教授 兵庫県立淡路景観園芸学校栄冠デザイン)

ガーデンは、雄大な大阪湾を借景に真っ白の大型フレームとそれを際立たせる花壇を足もとに整備し、周囲のカラフルなコンテナ群の中でも埋没しないデザインとしました。

花壇には、淡路島で拡大する放置竹林の問題に注目し、山からとった竹を活用しました。それと同時に、島の伝統産業でもある淡路瓦の廃材も活用。サイズが不揃いの瓦を生かしながら手作り感が味わえる仕上げとしました。

こうして整備した階段や踊り場、色鮮やかな花、それらと大型フレームの中で様々な表情を見せる大阪湾との組み合わせにより、シェフガーデンならではの景観演出を実現しました。

また、整備には当校のランドスケープを学ぶ生徒も参加、景観園芸の経験を積みました。



出展：[https://www.awaji.ac.jp/topics/p\\_8269](https://www.awaji.ac.jp/topics/p_8269)

## (7) 竹工作

竹林利活用協議会などの団体が各種イベントにおいて竹工作などを実施し、竹の利活用の普及を実施している。

竹工作ワークショップ（国営明石海峡公園花とみどりのフェスティバル（令和3年））

竹炭製作した際に崩れて残った端材（炭化したモウソウチク）など目的外となった素材を使うなど、利用目的を広げる工夫などがある。

出典：<https://www.awaji.ac.jp/gs-ldh/project/campuslife/20211103-2>



## 【参考資料2】竹の利活用事例

### 1. 従来型の竹利用

#### (1) 竹材

竹は軽くて加工性の高い素材であるため、農業や漁業においてもごく身近な資材として使用されている。作物の収穫に用いる背負い籠、野菜洗いや水切りなどに使う箒、養殖用の浮竹など、用途に合わせて使いやすい形状や大きさに加工され、様々な形態で利用されている。また、家屋においても、土壁の下地、外装材、内装材に至るまで、随所に竹が使われている。さらに、竹材は日本文化を代表する茶道や華道の道具、笛や尺八などの楽器、竹刀や弓などの武道具など、様々な用途に使われている。このように、従来からの竹材の利用用途は、建築資材を始めとし、籠類、箒類、提灯、物干し竿などの生活用品から工芸品まで多岐にわたっている（表1）。

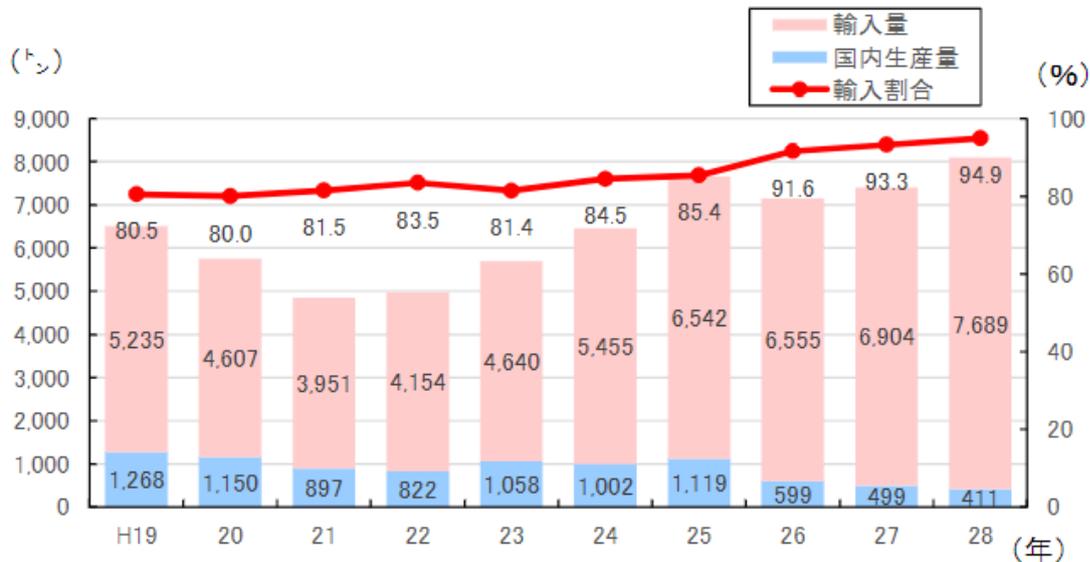
表1 竹の従来用途の例

用途区分	具体的な例	
日常雑貨	カゴ、ザル、串、団扇、扇子、物差し、食器、竹箒、すだれ、物干竿、傘等	 <p>伝統的な竹細工「有馬籠」 写真：神戸公式観光写真ライブラリー</p> <p>竹箒</p>
建築・土木・農林漁業用資材	集成材、家具、竹小舞（土壁下地）、内装材（突板）、農林業用資材（果樹支柱、イノシシ柵、鹿ガード等）、土木用資材（粗朶、暗渠等）、牡蠣筏、牡蠣棚、漁礁等	 <p>竹の手すり</p> <p>牡蠣筏</p>
造園用資材	垣根、植木支柱等	 <p>垣根</p>
伝統工芸品	茶道具、生け花用具、尺八、笛、弓矢、しない、釣り竿等	 <p>茶道具</p> <p>尺八</p>

出典：一般社団法人日本森林技術協会「竹林利用の手引き 2018」

## (2) 竹炭

竹炭には、木炭よりもカリウムやナトリウム等のミネラル成分が非常に多く含まれている。また、多孔質であるため、土壌改良効果や消臭効果に優れている。近年、土壌改良資材や消臭剤としての利用が増え、更なる利用促進が期待されている。なお、日本における竹炭の生産量は平成28年：411 tとなっており、消費量の約95%を輸入品が占めている（図1）。



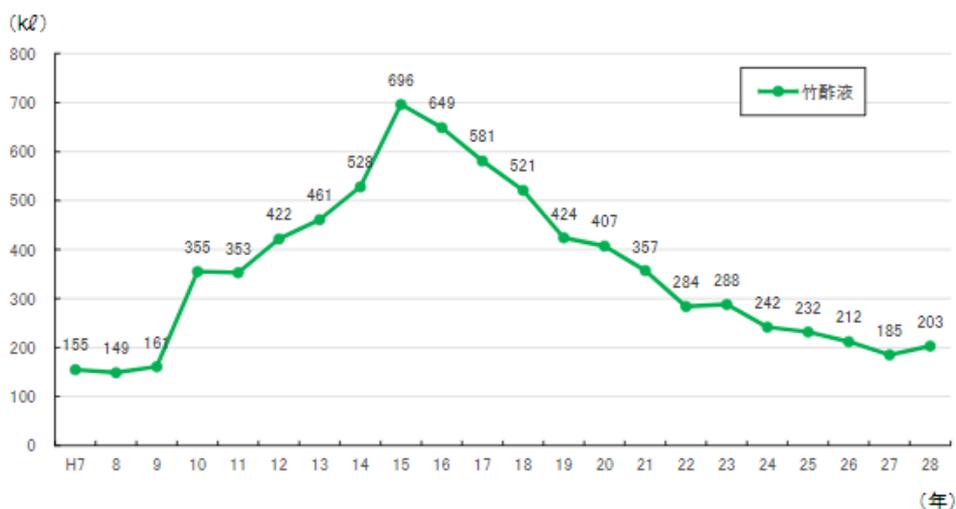
出典：林野庁「竹の利活用推進に向けて」(H30)

図1 竹炭の国内生産量と輸入量推移

### (3) 竹酢液

竹材を炭化する際の煙から採取した竹酢液は、その 80～90%は水分、残りの 10～20%が有機化合物であり、酸類、アルコール類、フェノール類等の成分で構成されている。主に土壌改良用や消臭用等に利用されている。

竹酢液の生産量は、平成 15 年まで増加傾向にあったが、同年の農薬取締法改正により農薬指定の規制が厳格化された<sup>1</sup>ことから、減少傾向にある。近年は、約 200 kL/年で推移している（図 2）。



出典：林野庁「竹の利活用推進に向けて」(H30)

図 2 竹酢液の国内生産量の推移

<sup>1</sup> 平成 15 年に農薬取締法が改正され、農薬効果を有する薬剤で安全性が明らかなものは「特定防除資材」として扱われることになった。木竹酢液は JAS 規格で有機農産物生産用の土壌改良材として認められているが、ホルムアルデヒドの含有量が問題となり、特定防除資材への指定が保留されている。

## 2. 近年の竹利用

近年、竹の利用は従来の丸竹・割竹、竹炭、竹酢液としての利用の他、成分抽出などの新たな利用方法が研究・開発されており、マテリアルとしての竹の活用が大いに期待されている。

本節では、近年に新しく開拓されている竹の利活用先（非燃料用途）について、インターネット情報から12の事例を収集した。事例の一覧は表2に示す通りであり、各々の事例の詳細を以下に記載する。

表2 竹の利活用先（非燃料用途）の事例一覧

分野	No.	タイトル	現状	今後の展望
パルプ	事例1	竹100%の竹紙	事業化済み	竹原料調達量が増えれば更なる事業規模の拡大が期待できる。
土壌改良材／飼料	事例2	ワラビ園での抑草効果、ブルーベリー用盛土	試験終了	繊維くずの代替資材として、竹チップによる脱臭効果を令和3年度から調査している。使用後の竹チップは、土壌還元やマルチング資材としての活用を想定し調査をする計画である。
	事例3	きのこの菌床栽培	実用化済み	群馬県「竹屑を利用したシイタケ菌床栽培マニュアル」としてまとめられ、群馬県林業試験場 きのこ係による指導が開始されている。
	事例4	土壌改良材	事業化済み	同事例に限らず、土壌改良資材としての竹粉が多く販売されるようになっており、効果が評価されている。
	事例5	肉用鶏への竹粉サイレージの給与	事業化済み	竹粉の家畜飼料への添加効果に関する研究は2000年以降に盛んに行われており、竹由来の乳酸菌、食物繊維による家畜への好影響と飼料代の低減が期待される。
	事例6	牛への竹粉サイレージの給与	評価終了	
	事例7	豚への竹粉サイレージの給与	事業化済み	
	土木資材	事例8	竹繊維入り自然土舗装材	事業化済み
事例9		破碎竹を混合した歩行者系舗装	事業化済み	
竹プラスチック	事例10	高機能竹繊維を使った低炭素型軽量強化プラスチックコンポジットの開発	試作済み、一部実用化	現在は強度を活かした用途に留まるが、帯電防止性、難燃性等を生かしたIT、家電、自動車用途も期待できる。
	事例11	竹粉高濃度配合（70%）プラスチック	試験終了	樹脂混合熔融の手法は確立されている。
	事例12	高機能竹繊維を使った低炭素型軽量強化プラスチックコンポジットの開発	試験終了	竹繊維コンポジットの加工技術がほぼ確立されている。

## (1) パルプ

パルプは、主に木材から分離した植物繊維で紙を作るための原料である。繊維の長い針葉樹からは強度が必要な紙袋や包装材などに適した丈夫な紙が製造され、繊維の短い広葉樹からは印刷に適した紙が製造される。竹材から製造される紙は、針葉樹由来の紙と広葉樹由来の紙の中間的な特徴を持つといわれている。しかし、竹材には空洞があり、硬く、嵩張り、竹林が小規模分散していることなどから、木材に比べて伐採、搬出、チップ加工の効率が悪く、安定的な集荷が容易にできない。そのため、日本では製紙原料としての利用は定着しなかった。しかし、近年では、たけのこ生産林の竹材を活かした原料材の安定的確保の取組みにより、需要量を伸ばしている事例もある。

【事例1】竹100%の竹紙	(事業化済み)	
中越パルプ工業株式会社、NPO 法人九州エコ・グリーンヘルパー 他		
<p>薩摩川内市内に立地する中越パルプ工業株式会社川内工場は、放置竹林の対策に苦慮していた鹿児島県からの相談、地元筍農家からの伐採竹を有効利用したいとの要望に応え、1998年に竹パルプ10%を木材パルプに配合した紙の試験生産に着手し、2009年には竹100%の紙の生産技術を確立している。地域の多様な関係者と連携することにより、「チップ工場を核とする効率的な収集体制の構築」、「筍生産者以外の伐採・搬出者との連携による年間を通じた安定的な原料確保」などに努めている。</p>		
<p>中越パルプ工業は周辺のチップ工場10社と連携し、年間10,000t(生)以上の竹チップを購入している。また、青果用筍や加工用筍の生産をはじめ、竹細工、竹刀、竹バット、竹炭、竹粉末などの製品が薩摩川内市やその周辺地域で生産されている。これにより、たけのこの主要産地である鹿児島県では、地域の竹を活用した竹紙生産を核として、原料を竹紙の原料を供給する筍農家やチップ工場、竹林整備に取り組む組合やNPO、地方自治体等の連携による「竹の産業連合」が形成されている。</p>		
<p>同社は木材や竹を原料としたセルロースナノファイバー(CNF)の製造も始めており、平成29年から川内工場で第1期商業プラントを稼働させている。令和3年から高機能CNFパイロットプラント(富山県高岡市)の稼働も計画している。</p>		
		
竹チップ	製紙工場への搬入	製紙化
竹紙製造の流れ		
<p>出典： <a href="https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf">https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf</a> <a href="https://www.env.go.jp/nature/satoyama/satonavi/initiative/kokunai/pdf/116.pdf">https://www.env.go.jp/nature/satoyama/satonavi/initiative/kokunai/pdf/116.pdf</a> <a href="https://bamboo-big.com/_src/13164/1-1.pdf?v=1624702552000">https://bamboo-big.com/_src/13164/1-1.pdf?v=1624702552000</a></p>		

## (2) 土壌改良材／飼料

竹粉とは竹専用の粉砕機で竹を粉状にしたものである。竹は他の有機資材よりも剛性が高く、これが農地への利用を妨げる一要因になっている。通常の粉砕器では繊維を細かく裁断できず、土壌へのすき込み後に分解が進みにくいことから、多量施用時に窒素飢餓が生じることが懸念される。一方、近年では、竹粉砕物を加圧・混練して膨潤処理することにより、竹をより分解しやすい粉末に加工する技術が開発され、肥料や飼料への利活用が多く検討されるようになっていく。

竹粉には、肥料の主成分である窒素、リン酸、カリウムはほとんど含まれていないが(図3)、ブドウ糖やマグネシウムを多く含んでいる。製造後すぐに密封し嫌気状態にすると乳酸菌が増殖し、乳酸菌による有機土壌改良剤になりうる。また、飼料としての際立った栄養価は見られないが、食物繊維やビタミンEを多く含むことから、飼料に使用すると鶏や牛等の免疫力向上が期待できる。

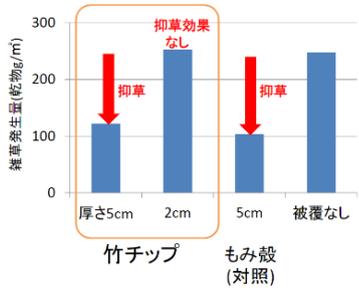
NPO法人竹もりの里の竹パウダー 原料：孟宗竹、茎葉含まず 産地：千葉県長生郡	肥料としての分析結果		飼料としての分析結果	
	成分	値	成分	値(%)
	水分含有量	42.3%	水分	42.9
	窒素全量(N)	0.10%	粗たん白質	0.6
	リン酸全量(P2O5)	0.05%	粗脂肪	0.4
	加里全量(K2O)	0.10%	粗繊維	30.0
	全炭素(C)	28.0%	粗灰分	0.5
	炭素窒素比(C/N)	283.2	可溶無窒素物	25.6

出典：http://takemori.org/?page\_id=143

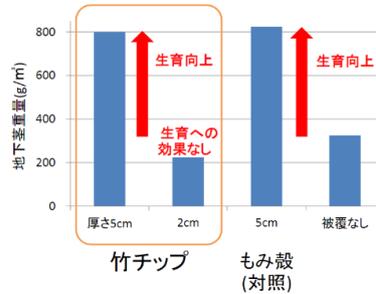
図3 竹粉の成分分析結果（千葉県農林総合研究センター）

石川県農林総合研究センター農業試験場

ワラビは、植え付けから繁茂する1～2年間において、雑草管理のため年3回程度の草刈りが必要である。そのため、石川県農林総合研究センター農業試験場では、竹チップマルチによる雑草抑制効果を検討している。その結果、厚さ：5cmの竹チップには、厚さ：5cmのもみ殻と同等の抑草効果、地下茎生育の向上効果あることが明らかになっている。



竹チップによる抑草効果

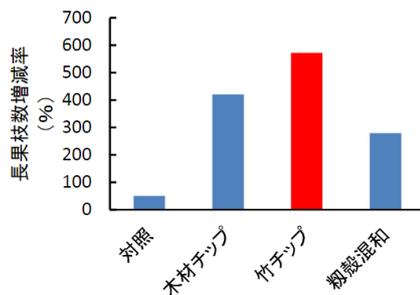


竹チップによる地下茎生育向上効果



竹チップによる抑草効果の比較 (左：被覆5cm、右：被覆なし)

また、同試験場では、ブルーベリーの盛土資材として、木材チップの代替として竹チップを適応することを検討している。試験結果によると、竹チップ施用区では、木材チップと同程度の生育を示し、抑草効果も高い。木材チップの代替資材として有望であることが確認されている (500 t/10a)。



竹チップによるブルーベリーの生育促進効果



木チップと同程度の抑草効果

石川県では、繊維くずの代替資材として、竹チップによる脱臭効果を令和3年度から調査している。使用後の竹チップは、土壌還元や上記のようにマルチング資材としての活用を想定して調査を行う計画になっている。

出典：

[https://www.pref.ishikawa.lg.jp/noken/noushi/kenkyu\\_happyou/26/documents/3bunkai\\_nou\\_1.pdf](https://www.pref.ishikawa.lg.jp/noken/noushi/kenkyu_happyou/26/documents/3bunkai_nou_1.pdf)

<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/nousei/kenkyu/hyouka/documents/jigo.pdf>

【事例3】きのこの菌床栽培

(実用化済み)

NPO 法人竹取物語、一般財団法人日本きのこ研究所

一般財団法人日本きのこ研究所は、平成 23～25 年度にわたり林野庁の事業として竹材の利用に関する調査を実施するとともに、きのこ栽培原材料としての竹チップ利用の可能性に関する検討を行っている。同研究所は令和元年から、竹チップや竹パウダーの農業への利活用を推進している NPO 法人竹取物語と竹チップ菌床きのこ栽培実証事業に協力している。実証栽培より、竹チップ栽培にはヒラタケ、エリンギ、タモギタケ、エノキタケの4種のきのこが適することを明らかにしている。シイタケに関しては、品種によって適性に差異がみられるものの、30～40%以下の代替え割合であれば利用できる可能性が高いことが確認されている。また、エノキタケにおいては、うま味に關与する糖質、グルタミン酸の増加がみられ、差別化（高付加価値化）の可能性が示唆されている。

竹チップ培地におけるきのこの発生適性（収量性）

適性	きのこの種類
比較的に高い割合の竹チップ媒体での適性が高い	ヒラタケ、タモギタケ、エリンギ、エノキタケ
竹チップ 25～50%程度の代替え使用が可能	アラゲキクタケ、ブナシメジ、ヤマブシタケ、シイタケ
竹チップ培地への適性が低い	マイタケ、ナメコ



竹チップで栽培されたキノコ

竹チップ、竹パウダーを利用したこの栽培方法は、平成 30 年に群馬県「竹屑を利用したシイタケ菌床栽培マニュアル」としてまとめられており、群馬県林業試験場による指導が開始されている。

また、NPO 法人竹取物語では、竹チップの他の活用先として、「法面緑化・園芸資材」「厩舎の敷き材」「堆肥原料」「カブトムシの育成床」等を提案し、実証実験を行っている。

出典：

[http://taketorimonogatari.org/taketorimonogatari/wp-content/uploads/mushroom\\_bed-.pdf](http://taketorimonogatari.org/taketorimonogatari/wp-content/uploads/mushroom_bed-.pdf)

[http://taketorimonogatari.org/taketorimonogatari/wp-content/uploads/workshop\\_materials.pdf](http://taketorimonogatari.org/taketorimonogatari/wp-content/uploads/workshop_materials.pdf)

[https://www.pref.gunma.jp/07/p137\\_00025.html](https://www.pref.gunma.jp/07/p137_00025.html)

【事例4】 土壌改良材

(事業化済み)

有限会社井関産業

有限会社井関産業では、竹チップ、きのこの廃菌床、碎石工場の微粉塵を原材料に配合した同社独自の微生物土壌改良資材「竹一番ミラクル」を販売しており、新潟市の家庭用ごみ処理器（段ボールコンポスト）の基盤材として平成27年度より採用されている。また、竹チップと水産加工場より廃棄される蟹殻を原材料とした、水稻、家庭菜園等向けの微生物土壌改良資材も開発している。



出典：

[https://bamboo-big.com/\\_src/13176/1-7.pdf?v=1624702552000](https://bamboo-big.com/_src/13176/1-7.pdf?v=1624702552000)

【事例5】 肉用鶏への竹粉サイレージ<sup>2</sup>の給与

(事業化済み)

静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター、丸大鉄工株式会社

静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センターでは、平成17年より県内メーカーである丸大鉄工株式会社が開発した「生竹超微粉末製造装置」を用いて、生竹の畜産利用に取り組んでいる。生竹に付着する乳酸菌群を活かした嗜好性の高いサイレージ化に成功し、長期保存法を確立している。また、鶏飼育試験では、微粉碎した孟宗竹に乳酸菌を添加、発酵させた生竹粉サイレージを生産し、肉用鶏飼料へ2.5%添加、給与することにより、免疫増強効果や肉質改善効果等を示唆する成果が得られている。この生竹粉サイレージは「孟宗ヨーグルト」（商標登録済）という名称で、商品化・販売されている。



PANDAがつくりだす竹の微粉末。舐めてみると、ほんのりと甘い

生竹の微粉末



アルミバックで市販化されている生竹粉サイレージ「孟宗ヨーグルト」

生竹サイレージ製品

出典：

[http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-870/bulletin/bulletin01\\_2007.pdf](http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-870/bulletin/bulletin01_2007.pdf)

[http://www.jafta.or.jp/13\\_sanson\\_hp/jirei/yamajikara/jireiH20\\_18\\_2.html](http://www.jafta.or.jp/13_sanson_hp/jirei/yamajikara/jireiH20_18_2.html)

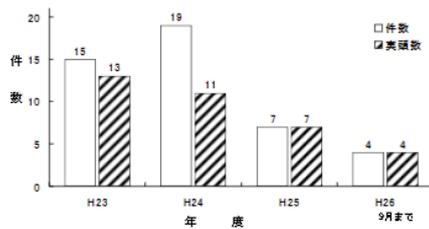
<sup>2</sup> 水分の多い牧草、青刈り作物などをサイロに詰め、乳酸発酵させてできた家畜用飼料をサイレージという。

【事例6】牛への竹粉サイレージの給与

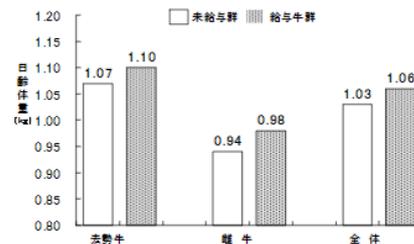
(評価終了)

長崎県中央家畜保健衛生所

長崎県にある肉用牛繁殖農家では、発酵竹粉を牛の飼料添加物に活用しており、長崎県中央家畜保健衛生所では、発酵竹粉給与による子牛の発育への影響を調査している。その結果、下痢症の発生状況をみると、給与前の平成23年度および平成24年度がそれぞれ15件、19件であったのに対して、給与後は平成25年度：7件、平成26年度：4件と減少している。また、家畜市場出荷子牛の日齢体重を未給与牛と給与牛で比較すると、去勢牛は1.07kgから1.10kg、雌牛は0.94kgから0.98kg、全体で1.03kgから1.06kgに向上しており、発酵竹粉の効果が認められている。飼料の他にも、敷料のおが屑の一部代替、子牛用ベッドとしての利用も有望視されている。



下痢症の発生状況



家畜市場出荷牛の日齢体重成績

出典：

<https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2020/06/1591765503.pdf>

【事例7】豚への竹粉サイレージの給与

(事業化済み)

大和フロンティア株式会社

宮崎県にある大和フロンティア株式会社では、竹の飼料活用に取り組み、地域未利用資源の竹に対して独自の特許技術による加工方法・体制を確立し、家畜用飼料「笹サイレージ」の供給を行っている。伐採した竹を粉砕して、パウダー状にした上で、微量の糖蜜・乳酸菌を加えて加水する。当初、製品レベルの水分は46～48%であったが、豚・鶏用の自動給餌機に詰まるため、水分量を15%まで下げる乾燥施設を開発し、令和元年から導入している。また、「笹サイレージ」は土壌改良剤にも使用でき、微量の糖蜜・乳酸菌を加えて加水したものに焼酎粕を添加した「熟成フロンティア笹活性剤」の販売を開始している。宮崎県都城市高城町で食肉や総菜など加工品を販売する「観音池パーク」において、平成29年から「笹サイレージ」の実用化試験を重ねた結果、豚の嗜好性が良好であり、また豚舎の臭いが軽減されるなどの効果が見られている。

出典：

<https://www.yamato-frontier.co.jp/>

### (3) 土木資材

竹には抗菌・吸水効果などがあり、加工次第では広範囲な有効利用が図れることから、土木資材用途での有効活用が検討されている。

#### 【事例8】竹繊維入り自然土舗装材

(事業化済み)

日本乾溜工業株式会社

日本乾溜工業株式会社では、真砂土・珪砂、マグネシア系土壌固化剤、リサイクル竹短繊維、南九州の火山灰から作られた無機系凝集性保水材を予混合し、土系舗装材「雑草アタックS」として販売している。同製品を厚さ：3 cm程度に薄く敷き詰めて、その上から散水を行った後、ハンドローラーやコテなどで軽く締め固めると、自然土色のまま固化し、雑草抑制や簡易舗装が行える。この製品には、「九州内の放置竹林から里山保全ボランティア活動等により伐採された竹材」や「筍生産農家等から出てくる竹材」を細かく綿状繊維に加工して使用しており、竹材の有効活用を図っている。



土系舗装材の採用事例

出典：

[https://bamboo-big.com/\\_src/13187/2-2.pdf?v=1624702552000](https://bamboo-big.com/_src/13187/2-2.pdf?v=1624702552000)

#### 【事例9】破砕竹を混合した歩行者系舗装

(事業化済み)

フジタ道路株式会社

フジタ道路株式会社では、破砕竹と高炉水砕スラグを混合した舗装材を開発している。竹の表皮にはタンニン、フラボノイド、ポリフェノールなどの脱臭・消臭成分が含まれており、竹を破砕して土と混合して締め固めた後は、これらの成分が有効に作用し、雑草を抑制する効果が期待できるとしている。施工後の降雨などの水分は、破砕竹と高炉水砕スラグの2種類の材料が効果的に作用して保水し、路面温度を下げ、涼しい道を実現する。このため、歩道、遊歩道、公園等の舗装材としての利用が考えられる。また、竹繊維の持つしなやかさにより、施工後も弾力性が保たれ、舗装体のひび割れも抑制できる。



【福岡県宗像市グローバルアリーナ デモ施工 (40㎡) の事例】

表面接写

歩行者系舗装の施工例

出典：

<https://www.fujitaroad.co.jp/exhibition/product/bamboograss-waterretention/>

#### (4) 竹プラスチック

竹を粉体化し、石油系プラスチックと混合させた竹プラスチックは、見た目や風合いが天然木のような味わいでありながら、優れた軽量性、強度、防腐食性、寸法安定性、帯電防止性能、電磁波シールド機能を持ち、寸法精度も優れていることから、環境配慮型のプラスチックとして期待されている。複数の大学、民間企業が技術開発と用途開発に取り組んでいる。また、竹プラスチック製食器の市場投入も始まっている。

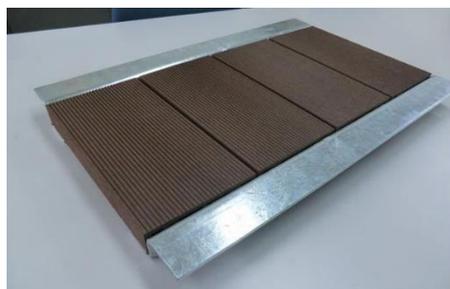
##### 【事例 10】高機能竹繊維を使った低炭素型軽量強化プラスチックコンポジットの開発 (試作済み、一部実用化)

テイクプラス LLC

テイクプラス LLC は、竹の繊維とプラスチックのコンポジットを中心とする事業を推進する九州工業大学発のベンチャー企業であり、文部科学省 START 事業「未利用バイオマスからの高性能コンポジット開発プロジェクト」(平成 24～26 年度)の成果を受けて設立されている。竹を高温水蒸気(200～250℃)に曝すことにより、ヘミセルロースを分解する技術を主体に、その基礎研究、応用研究を進めている。

同社は九州工業大学の西田治男氏が開発した竹短繊維を用いた「竹プラスチック」の提供などを行っている。「竹プラスチック」とは、竹繊維を混ぜ合わせたプラスチックであり、強度、寸法安定性に優れる他、帯電防止性、難燃性、電磁波シールド性などを付与することもできる。用途により、竹粉の配合割合を変化させることができる。押出成型では、竹粉を 70%まで混合させたコンポジットが可能であり、射出成型では、竹粉の配合割合は 20～40%程度とされている。

「竹プラスチック」の実用例として、ポリプロピレンとポリエチレン樹脂に 55%の竹繊維を混ぜ合わせて作られた竹繊維グレーチングが開発されており、八女市八女東部スポーツ公園の側溝用蓋として使用されている。同市内で建設予定の八女市子育て支援総合施設(仮称)や岩戸山の歴史文化交流館(仮称)などにおいて、その活用が検討されている。



竹プラスチック製グレーチング



側溝の蓋としての使用事例

出典：

<http://www.takeplas.com/>

<https://takechika.com/composite/>

<https://www.city.yame.fukuoka.jp/soshiki/5/6/2/2/1454652542448.html>

<b>【事例 11】竹粉高濃度配合（70%）プラスチック</b> <span style="float: right;">（試作終了）</span>
特定非営利活動法人グリーンネットワーク 株式会社グリーンネット・エンジニアリング
<p>特定非営利活動法人グリーンネットワークは、国の事業活動補助により竹林整備から竹粉利活用領域の研究開発を行っている。株式会社グリーンネット・エンジニアリングは、竹粉製造機、低温真空乾燥機の販売、その装置により生産される竹粉やエキス類の販売を事業としている。</p> <p>同社は自社開発した竹粉製造機により、高品質竹粉と水蒸気の亜臨界技術（混合熔融機）を活用して、竹粉：70%をベースにPP（ポリプロピレン）、PE（ポリエチレン）、PVA（ポリビニルアルコール）樹脂を混合させた高濃度バイオマス樹脂を試作している。それぞれの樹脂が竹粉の多孔質内に浸潤することにより、強度向上の成果が得られている。今後はコンジット原料を作る混合熔融条件と製品化のための成型条件の実証試験を重ね、熔融条件・成型条件をマニュアル化していく。カスタマイズ樹脂によるコンジット化試験も受け付けている。</p> <p>出典：  <a href="https://bamboo-big.com/_src/13205/3-7.pdf?v=1624702552000">https://bamboo-big.com/_src/13205/3-7.pdf?v=1624702552000</a>  <a href="https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renkei/6jika/shin_sangyo/attach/pdf/shinsan_sousyutu-44.pdf">https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renkei/6jika/shin_sangyo/attach/pdf/shinsan_sousyutu-44.pdf</a></p>

<b>【事例 12】高機能竹繊維を使った低炭素型軽量強化プラスチックコンジットの開発</b> <span style="float: right;">（試験終了）</span>
石川金属工業株式会社、環境テクノス株式会社 公益財団法人北九州産業学術推進機構
<p>戦略的基盤技術高度化支援事業として、石川金属工業株式会社（福岡県）は平成 23～25 年度に竹を利活用した「高機能竹繊維プラスチックコンジット」の成形加工の研究開発を行い、以下のような成果を上げている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・竹繊維の基本的な製造技術をほぼ確立              生竹の前処理条件（過熱水蒸気による繊維抽出）、破碎・分級条件と繊維諸元の関係把握、設備仕様</li> <li>・射出成形加工技術をほぼ確立              竹繊維と樹脂のコンジット化条件、射出条件の把握、設備仕様等</li> <li>・低コスト化と機械特性の両立指針確保              竹繊維の諸元・配合比率と機械特性の関係把握、竹製造プロセスのコスト要因分析</li> </ul> <p>出典：  <a href="https://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/portal/seika/2011/23184004021.pdf">https://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/portal/seika/2011/23184004021.pdf</a></p>

### 3. 燃料としての利用

竹にはカリウムが多量に含まれているため、大型のボイラーで竹を燃焼させると灰が溶解する。この燃焼灰は炉内で固まり、「クリンカー」と呼ばれる塊を生成する。また、塩素濃度も高いため耐火物や伝熱管を腐食させやすい。すなわち、竹を燃料に使用すると、燃焼炉を傷めやすいため、従来技術ではバイオマス発電などの燃料としては不向きとされている。しかしながら、竹を燃料としたバイオマス発電に対しては、竹の有効活用という視点から竹林整備の推進に資するものとして大きな期待が寄せられており、一部地域においては、企業と連携した技術開発や制度的支援により、取組みを始めているケースがある。

【事例 13】 山口県における竹のエネルギー利用に向けた取組	(建設中)
藤崎電機株式会社	
<p>山口県では、竹林の拡大が顕在化し、森林の適正管理等の観点からその対策が課題となっており、これまで未利用であった竹材を地域で循環可能なエネルギー資源として活用を図る取組みを精力的に進めている。同県では、「航空レーザー測量と森林 GIS を組合せた正確な竹林の位置情報の把握」や「竹林からの伐出等の低コスト化、効率化に関する実証事業」を実施し、竹林の分布状況・資源量、低コストで供給可能な竹林の解析を行っている。関連情報は同県のホームページ「やまぐち森林総合情報システム」上に一部公開されており、タブレット端末「竹資源情報収集・活用支援システム」により現地で利用可能になっている。</p> <p>また、同県の取組に着目した藤崎電機<sup>3</sup>では、竹バイオマス専焼炉による発電事業を行うため山陽小野田市に進出し、ドイツの LAMBION 社と共同でクリンカーの生成を抑制する特殊な燃焼炉を開発している。平成 30 年から竹専焼バイオマス発電所（出力：1,999 kW、年間想定発電量：約 15,800 MWh）の建設を進めている。藤崎電機は、当該発電所からのノウハウを蓄積しており、本社がある徳島県阿南市に第 2 号機を建設する計画も発表している。</p> <p>出典： <a href="https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf">https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf</a></p>	

<sup>3</sup> 令和元年 9 月、藤崎電機株式会社と株式会社ガイアパワーが合併し、株式会社 GF に転身した。

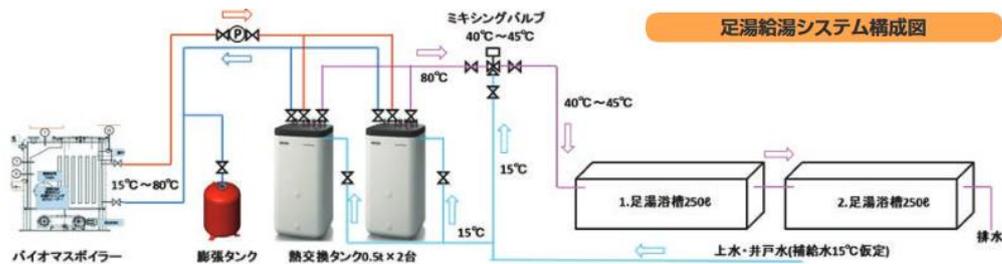
【事例 14】大分県豊後大野市 竹チップボイラー

豊後大野市、ながたに振興協議会、リーフエア株式会社

豊後大野市では、竹のエネルギー利用のための試験と地域住民への啓発を目的に、平成 30 年度に開設されたサイクリングハブ施設において、足湯の熱源として竹チップ専焼ボイラーを設置している。初期費用には地方創生拠点整備交付金（内閣府）を活用しており、設備規模は最大発熱量：50,000 kcal/h である。

稼働状況については、燃焼形態として燃焼面積が大きくなるように工夫されており、燃焼による灰が殆ど出ないとしている。これまでに大きな故障はなく、比較的順調に稼働している。

原料調達については、同地域で竹の活用事業を行っている団体「ながたに振興協議会」と豊後大野市との繋がりを生かし、随意契約形式で調達を行っている（10 円/kg）。竹を 6～7 名で伐採（チェーンソー）し、その場でチップ化している（移動式チップパーを使用）。竹チップの大きさや含水率については試行錯誤を行っている。



放置竹林を整備し、地域の環境を整備



チップパーを使用して竹チップを生産



竹チップを乾燥

竹チップ専焼ボイラーのシステムフロー図

出典：

[https://www.pref.kagoshima.jp/ac10/takepuropo/documents/71508\\_20190409152727-1.pdf](https://www.pref.kagoshima.jp/ac10/takepuropo/documents/71508_20190409152727-1.pdf)

[https://bamboo-big.com/\\_src/13186/2-6.pdf?v=1624702552000](https://bamboo-big.com/_src/13186/2-6.pdf?v=1624702552000)

【事例 15】 熊本県南関町 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業

(操業停止)

NEDO、バンブーエナジー株式会社

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) では、各地域の特性を活かした地域と共生する持続可能なバイオマスエネルギーの導入を促進するためのプロジェクトを実施している。このプロジェクトにおいて、バンブーエナジーは竹の新素材加工工場に併設したバイオマスの熱・電併給カスケード利用によるバイオマスエネルギー地域自立システムの実現可能性の検討を行った。

バンブーエナジーは、熊本県南関町に国内初の竹による ORC (オーガニック・ランキン・サイクル) 熱電併給設備を備えたバイオマスプラントを平成 31 年に完成させている。この施設では、地域での有効利用が課題となっている竹とバーク (樹皮) を配合することによりクリンカーの抑制に成功している。バイオマス燃焼炉と ORC 熱電併給設備により熱・電気を作り出し、隣接する竹加工工場で活用する計画を進め、令和元年 10 月より、実証運転を本格的に実施した。実証試験開始にあたっては、原料の安定供給等において地元自治体の全面的な協力を得て、地域との連携による事業の継続性が確認されていた。



バイオマス燃焼炉 (左) および ORC 熱電供給設備 (右)

出典 :

<https://www.power-academy.jp/electronics/report/rep02700.html>

**【事例 16】 超低温タール改質触媒による竹含有バイオマスのガス化発電の技術開発** (実証で完了)

NEDO、株式会社キンセイ産業、株式会社 NEO、群馬大学

竹は高温でクリンカーを形成しやすいことから、バイオマス燃料として扱いにくく、利用の妨げになっている。一方、群馬大学では、檜などの木質バイオマスのガス化に有効な触媒を研究しており、450℃の超低温でタール分解およびガス改質を達成する触媒を見出している。このような背景の下、このプロジェクトは竹と草本資源作物の超低温ガス化によるガス化発電の技術開発を行っており、経済的かつ効率的な木質バイオマスガス化発電システムの確立を目指している。研究項目として、竹のガス化特性、ガスエンジン発電機との連携、竹のチップ化、竹供給ルートの実験などを実施している。ベンチスケールガス化実験では、真竹、孟宗竹のチップは投入障害もなく、ガス化炉に投入できることが確認された。タール、煤、クリンカーなどによる運転障害もなく、ガス化連続運転：5 h以上を達成している。また、ガスエンジン発電機との連携については、受電端効率は当量比：0.35～0.9 の範囲で最大 26%と安定しており、最大 1.6 kW での運転を達成している。しかし、竹の安定供給確保に課題があり、竹専焼としたガス化発電の事業化は、現状では困難であることが判明している。そこで、竹を主燃料とし、補填的に他のバイオマス等を燃料に使用することにより、操業が安定する（事業性が向上する）ガス化発電施設を提案している。

出典：

NEDO「新エネルギーベンチャー技術革新事業／新エネルギーベンチャー技術革新事業（バイオマス）／超低温タール改質触媒による竹含有バイオマスのガス化発電の技術開発」平成 28 年度 成果報告書

**【事例 17】 鹿児島 竹バイオマスエネルギー利用実証研究事業** (実証研究中)

鹿児島県、株式会社三菱総合研究所

全国一の竹林面積を有する鹿児島県では、県内全域で再生可能エネルギー等の導入を積極的に推進する「エネルギーパークかごしま」の実現に向けて、平成 30 年に「再生可能エネルギー導入ビジョン 2018」を策定し、これに基づく施策を講じることにより再生可能エネルギーの導入推進を図っている。このビジョンの中で、バイオマス発電に関しては、竹由来バイオマスのエネルギー利用が期待されている。

平成 30 年、同県は三菱総合研究所に「竹バイオマスエネルギー利用可能性調査」を委託し、県内の竹の生育状況調査、竹材の流通状況調査、バイオマス発電導入に向けての課題整理、事業実施可能性調査を行っている。また、令和 2 年には、「竹バイオマスエネルギー利用実証研究事業」を継続委託し、県内の竹を使用した混合燃焼試験や竹の成分分析を行い、実証に向けたデータ収集を進めている。

結果、竹については必要な社会コストとの位置付で積極的な行政の支援スキームが必要となる。

出典：

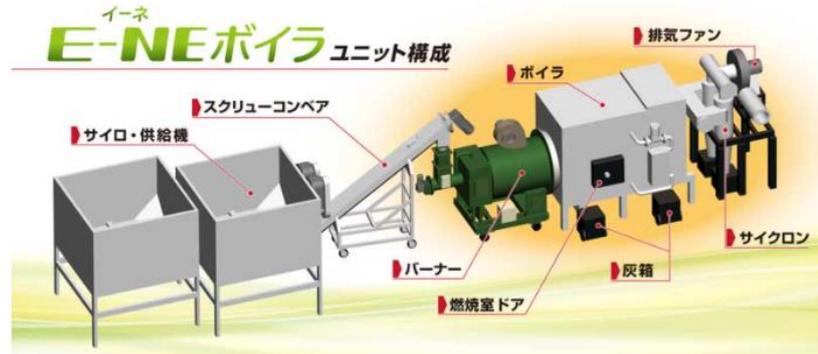
[https://www.pref.kagoshima.jp/ac10/takepuroppo/documents/88219\\_20210709105306-1.pdf](https://www.pref.kagoshima.jp/ac10/takepuroppo/documents/88219_20210709105306-1.pdf)

【事例 18】竹混焼温水ボイラー「E-NE シリーズ」

(製品化済み)

テス・エンジニアリング株式会社、株式会社巴商会、株式会社エム・アイ・エス

テス・エンジニアリングは、巴商会、エム・アイ・エスと共同開発した「国産の竹チップ混焼バイオマス温水ボイラー『E-NE シリーズ』」を令和 2 年 1 月から販売開始している。同製品は、独自の回転式ガス化旋回燃焼方式バーナーを採用し、燃焼時のクリンカーを抑制できる。クリンカーが発生した場合でも、搭載する自動排出機能が速やかに除去して炉内蓄積を防止するという 2 段構えになっており、竹チップの安定燃焼を可能にしている。また、燃焼コントロール技術の向上により、温水の供給開始までにかかる時間を短縮させている。燃焼負荷変動対策として、High と Low の 2 段階設定ができるようになっている。



「E-NE ボイラ」ユニットの構成図。燃料供給・バーナー・ボイラの運転制御、集塵機能を備えた集塵装置の搭載や灰出しなど、徹底して完全自動化することで省力化を図った。加えて、自動煙管清掃装置が常にボイラ伝熱面をクリーンな状態に保ち、高効率な燃焼を維持する

E-NE ボイラーのユニット構成

出典：

<https://emira-t.jp/topics/14130/>

【事例 19】TEC バイオマス小型炉

(稼働中)

トヨタエンジニアリング株式会社

トヨタエンジニアリングは、竹の持続燃焼を可能にした「TEC バイオマス小型炉」を開発しており、平成 28 年に徳島県阿南市の蘭育苗農業ハウスに設置している。

同社の小型炉は従来ボイラーとは逆発想の構造を採用しており、時間をかけてゆっくり燃焼させる。構造の主要部品はパーツ交換できる。竹の燃焼灰は熱交換部に付着しやすいが、リフレッシュは良好であり、使用から 5 年間に経過した現在でも、燃焼阻害や炉の損傷は発生していないとしている。

暖房坪数(m <sup>2</sup> )	272坪(900m <sup>2</sup> )
外形寸法(巾×高さ×奥行)mm	2,000×3,300×1,000
火室寸法(巾×高さ×奥行)mm	Φ750×1,400
排気口mm	Φ250
温水吐出口	Φ350
風量m <sup>3</sup> /h	15m <sup>3</sup> /h
消費電力	2.0kw
燃焼時の発熱量kw/h(kcal/h)	140(120,000)
温水設定温度	40~60℃
燃料供給量(1回フル)	49kg/h



TEC バイオマス小型炉の仕様

出典：

<https://toyotaeng.com/%e7%ab%b9%e3%83%9c%e3%82%a4%e3%83%a9%e6%b4%bb%e7%94%a8%e4%ba%8b%e4%be%8b%e3%80%80tec%e3%83%90%e3%82%a4%e3%82%aa%e3%83%9e%e3%82%b9%e5%b0%8f%e5%9e%8b%e7%82%89/>