

鹿児島県竹バイオマスエネルギー利用化実証研究事業 業務報告書

2021年3月15日



サステナビリティ本部

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

目次

タイトル	ページ番号	タイトル	ページ番号
仕様書との対応表	3	Ⅲ. 竹のサンプリング結果 及び 工業分析結果	34
調査事業の目的	4	1. 竹のサンプリング 及び 工業分析の趣旨	35
Ⅰ. 実証事業の設計	5	2. 竹のサンプリング、工業分析の実施方法	36
1. 全体の調査フロー	6	2. 竹のサンプリングの具体的な方法（つづき）	37
2. 混焼試験の方法（1）	7	3. 竹のサンプリング地点	38
2. 混焼試験の方法（2）	8	3-1. 薩摩川内市でのサンプリング	39
2. 混焼試験の方法（3）	9	3-2. きつみ町でのサンプリング	40
2. 混焼試験の方法（4）	10	3-3. 始良市でのサンプリング	41
3) 鹿児島県内の竹のサンプリング方法	11	3-4. 霧島市でのサンプリング	42
4) 竹の工業分析の方法	12	3-5. 伊佐市でのサンプリング	43
Ⅱ. 竹の混焼試験の結果報告	13	3-6. 鹿屋市でのサンプリング	44
1. 燃焼試験の実施条件	14	4. 竹の工業分析の方法（@鹿児島県工業技術センター）	45
2. パンプ-エナジーの施設概要	15	5. 含水率測定結果	46
3. パンプ-エナジー 設備構成	16	6. 灰分濃度分布	47
4. 混焼試験のスケジュール	17	7. 硫黄	48
5. 燃料イメージ	18	8. 熱値	49
6. 運転状況	19	9. カリウム	50
7. 排ガス分析、燃焼灰リサイクル取得状況	20	10. 塩素濃度	51
8. 試験燃焼時の原料の条件	21	11. 炭素	52
9. 試験燃焼の状況	22	12. 工業分析の総括	53
10. 試験燃焼結果① 投入原料の工業分析	23	Ⅳ. 実証結果の普及方策	54
11. 試験燃焼結果② ボトムアッシュ、フライアッシュの分析結果 工業分析	24	1. 実証事業で得られた主な知見	55
11. 試験燃焼結果③ 燃焼灰の肥料分析結果	25	参考：九州の土壌マップについて	56
11. 試験燃焼結果④ 廃律法による燃焼灰分析	26	2. 実証事業全体を通じて得られた課題（1）	57
12. 試験燃焼結果⑤ 排煙中の塩素濃度分析結果	27	2. 実証事業全体を通じて得られた課題（2）	58
13. 試験燃焼 排ガス中塩素濃度計測の状況	28	3. 実証事業全体を通じて得られた全般的な知見（1）	59
14. 鹿児島県内外 バイオマス発電事業者へ依頼したフィードバック内容	29	3. 実証事業全体を通じて得られた全般的な知見（2）	60
参考資料：バーク、竹の混焼効果	30	4. 既存のバイオマス発電所での適正な混合燃焼を行うために必要な課題	61
14. 鹿児島県内および県外の本質バイオマス発電事業者のフィードバック結果	31	5. 新規のバイオマス発電所での適正な混合燃焼を行うために必要な課題	62
15. EPC事業者の見解（ボイラーメーカー）	32	6. 今後の方向性-課題	63
16. 混焼試験の総括	33	Ⅴ. 竹バイオマスエネルギー利用普及促進協議会、開催支援	64
		協議会の開催支援	65
		協議会用のネットワーク構成	66

## 仕様書との対応表

- 鹿児島県庁殿より提示された調査仕様書と報告書の該当ページの整理を行った。

仕様書記載 委託業務内容	本報告書該当ページ
(1) 県内の竹を使用した混合燃焼試験	7~10 p、13~20 p
(2) 県内の竹の成分分析（カロリー、水分、灰分、元素構成等）	11~12p、34~37p
(3) 実証試験材料の調達管理	7~8 p、17p
(4) 実証試験データの結果分析	21~33 p、39~53 p
(5) 実証結果の普及方法の検討・協議会運営（資料作成・議事録作等）	54~63p、64~66p
(6) 報告書の作成	全項

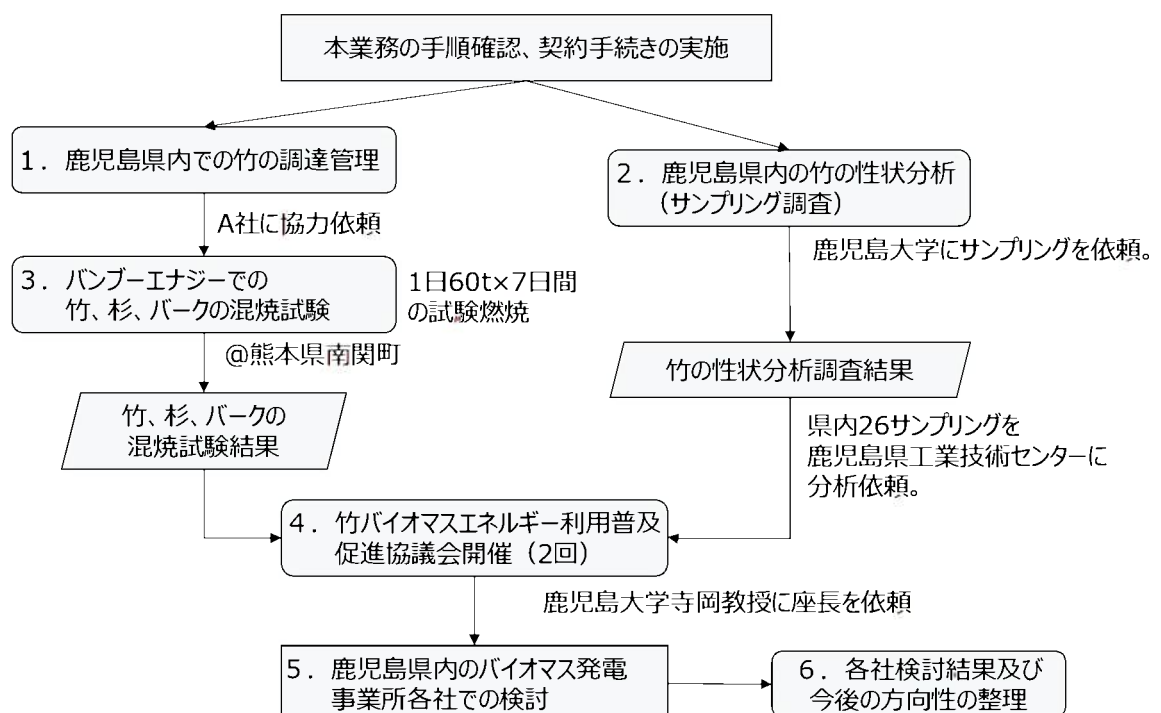
## 調査事業の目的

- 鹿児島県は、本県の多様で豊かな資源を最大限活用し、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、平成30年3月に「再生可能エネルギー導入ビジョン2018」（以下ビジョン）を策定し、これに基づく施策を講じることで導入推進を図ることとしている。
- ビジョンでは、自然条件によらず安定した発電が可能な小水力発電、地熱発電におけるバイナリー方式及びバイオマス発電について、特に高い導入目標を設定し推進することとしており、その中で、バイオマス発電については、全国一の竹林面積を有する竹由来のバイオマスのエネルギー利用が期待される。
- 一方で、竹由来のバイオマスのエネルギー利用については、全国的に検討されている事例はあるものの、発電設備の技術的課題や原料の集荷体制の構築に関する課題など、解決すべき課題があり、現在、実用化されていない状況である。このような状況を踏まえ、本県において導入を検討する既存及び新規のバイオマス発電所での適正な混合燃焼割合を明確にするため県内の竹を使用した混合燃焼試験と成分分析及び結果分析を実施する。

## I. 実証事業の設計

### 1. 全体の調査フロー

- 本業務の全体の流れを以下に示す。



## 2. 混焼試験の方法(1)

### <使用するボイラー>

本実証事業では、原材料の一部に竹を用いて燃焼させている熊本県南関町にあるバンブーエナジー社の導入しているオーストリア製のコールバツハ社のストーカーボイラーを使用した。コールバツハ社のボイラーは、パークチップや竹チップ等の長尺の原料を裁断できる刃をボイラーの入り口に備えている点、パーク等含水率の高い材や低質材が投入されても完全燃焼できる点（炉の熱効率が他のものよりも高い）、バンブーエナジーで導入されているボイラーのサイズが地域材を扱う上で適したサイズを有している等の特徴があり、今回の実証実験では最適なボイラーと位置付けられる。

現在、同社のボイラー及びORCの発電設備、付帯するウォーキングフロア形式の搬送系は、現在、NEDOの実証試験中でNEDOの所有物となっているが、バンブーエナジーを通じて、NEDOの了解を得ている。同社では、現在、竹を3割、パークを7割の比率で燃焼させている。

### <混焼割合>

竹の混焼率を30%、50%、80%というように幾つかの分析シナリオを用意しつつ、そのシナリオ毎にボイラーをリセットして試験燃焼を一週間ずつ実施するという方法は理論的には提案可能である。しかしながら、仮に未利用材2MW分を竹100%で賄おうとすると3万tの竹が必要となる。現在、A社が鹿児島県、熊本県、大分県等から集荷できている竹の量は年間2万tの規模であり、実際のバイオマス発電の導入を検討する上で100%の専焼は、やや過大な技術仕様を追求している可能性がある。今回は、実際の竹の調達可能性を考慮しつつ現実性のある混焼割合として30%を選択し、試験燃焼期間を1週間とした。

## 2. 混焼試験の方法(2)

### <混焼時の論点>

鹿児島県内のバイオマス発電所にて竹チップを混焼させる場合、100%の専焼を行うが行わないかの議論が発生する。技術的には100%を燃焼させることは可能であるが、竹そのものは瞬間的に燃焼しやすく、専焼ボイラーの場合には、灰を燃焼室に戻す機構を設ける等、燃焼を制御する仕組みが必要である。また、竹そのものは、カリウム、塩素を含んでおり、灰溶融の問題や燃焼温度の条件によってはダイオキシンが発生する可能性もある。一方、竹そのものも燃焼の材として扱う場合には、伐採～燃料化コストが1t当たり20,000円以上要するとされており、竹100%である程度の規模の実機で試験を行うのは、現実的ではない。

一方、バンブーエナジーでは、一般に燃えにくいとされ含水率の高いパークを混焼させることにより、標準的なストーカーボイラーの構成の元、灰溶融の問題や水管の塩素腐食の問題を発生させないで運転することに成功しており、現状の比率としては、竹3割パーク7割で運転している。以前は、技術的な限界を探るために竹8割パーク2割までの混焼を行っていたこともある。

鹿児島県内の新規または既往のバイオマス発電所で竹をある程度のボリュームで燃焼させる場合には、既存の原料構成の助けも借りた構成を検討する必要があり、本実証試験では、鹿児島県産の竹を3割、杉チップの割合を2割、パークを5割という構成で臨むことを想定した。この理由としては、鹿児島県内の発電所で未利用材の杉チップとパークを主原料として燃焼させる発電所が2件以上あること、プラントメーカーは異なるが、ともにストーカー式ボイラーを採用していることが挙げられる。また、既往の調査結果では、竹3割程度までの混焼割合であれば問題はなさそうというバイオマス発電事業者の見解もあり、実証試験として3割という数字は意味のあるものと考えられる。

### <必要となるバイオマス量>

熊本県南関町にあるバンブーエナジーでの燃焼試験は、7日間、1日60tのバイオマスが必要とすることから、都合420t分のバイオマスを準備する。このため、竹チップ126tを鹿児島県から陸送するが、杉チップ84t、パーク210tに関してはバンブーエナジー側で調達することとした。

## 2. 混焼試験の方法(3)

### <排煙中のガス計測>

鹿児島県内のバイオマス発電所は、ボイラー形式にストーカー炉もあれば、CFB（循環流動層）タイプもあり、発電方式については蒸気タービンを使用している。（南関町のバンブーエナジーでは、ORCを採用）このように、ボイラーの種別が異なるため、それぞれの発電所やプラントメーカーで竹を3割で燃烧できるかどうかの判断を仰ぐ必要がある。ボイラー形式の違いを超えて評価できる指標として、排煙中の塩素濃度を計測することにより、ボイラー形式の違いに影響を受けず、塩素腐食が発生しないかどうかの材料を提供することが可能になる。

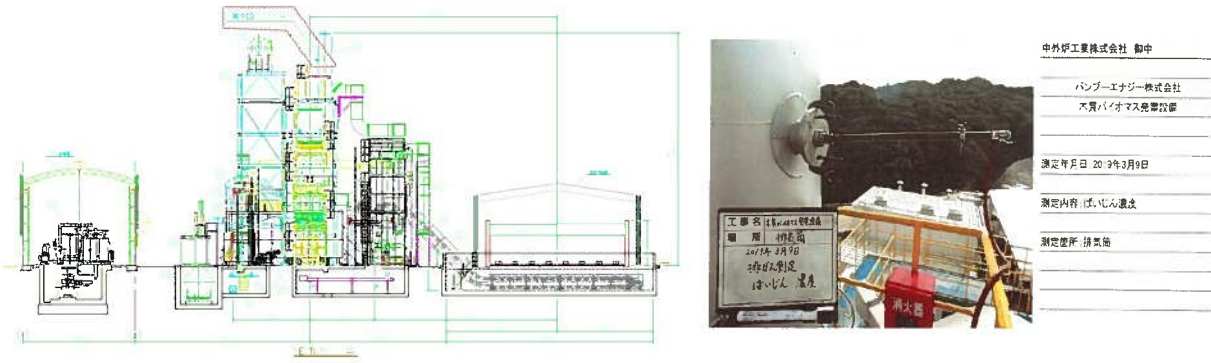


図 排煙中の計測方法（左図の赤波線部分＝右図）  
出所）バンブーエナジー社 提供資料

## 2. 混焼試験の方法(4)

### <燃焼灰の軟化点、融点確認>

バンブーエナジーで試験期間中に発生したボトムアッシュ、フライアッシュについて、その灰の融点を確認しておく、同じ原料構成で燃焼させた場合の温度分布との照合を図ることができる。融点測定に関しては、バイオマスボイラーからの融点測定を多く手掛けている三菱パワーインダストリーズが担当した。燃焼灰の融点測定に関しては、550℃で行うことがポイントである。通常の場合は800℃で計測されてしまうために留意する必要がある。

### 3) 鹿児島県内の竹のサンプリング方法

- 鹿児島県内の北薩（薩摩川内市、さつま町）、始良（始良市、霧島市）、伊佐（伊佐市）、大隅（鹿屋市）の地域より竹が豊富に存在する自治体を中心に、放置竹林と管理竹林の別、林齢1年生と3年生以上の別で、サンプリングを実施した。
- 現地でのサンプリングは、鹿児島大学寺岡教授に依頼。都合26か所のサンプリングを実施した（表中の整数は管理番号）。

表 竹の地区別サンプリング割当表

地域名	北薩				始良				伊佐				大隅	
自治体名	薩摩川内市		さつま町		始良市		霧島市		伊佐市		鹿屋市			
	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上	竹齢 1年or2年	竹齢 3年以上
管理竹林	5	6	9	10	13	14	17	18	21	22			1	2
放置竹林	7	8	11	12	15	16	19	20	23	24			3	4
管理竹林(追加分)					25	26								

### 4) 竹の工業分析の方法

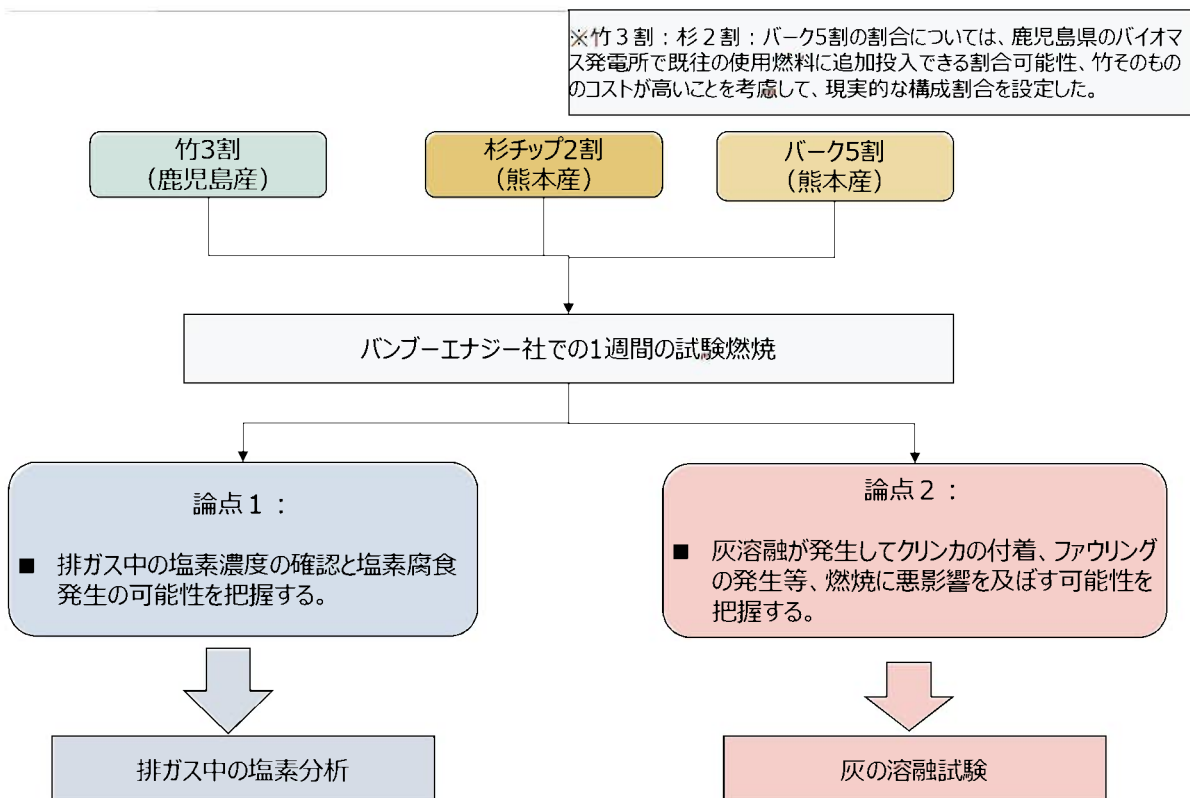
- 鹿児島県工業技術センターに、工業分析を依頼した。分析の視点は以下に示す通り。

表 工業分析の項目の考え方

分析項目	分析の趣旨	備考
カリウム	・ 含有量が多い場合に、灰溶融の問題を起こす可能性がある。	・ 竹齢による影響大 ・ 採取ポイントによる影響可能性あり
塩素	・ 含有量が多い場合に、水管への塩素腐食、温度帯によりダイオキシン発生の可能性があるが、ボイラーの燃焼温度帯の確認からは問題はない。	・ 竹齢による影響大 ・ 採取ポイントによる影響可能性あり
発熱量 水分、炭素	・ バイオマス発電の燃料設計を行う場合に必要となる指標である。	・ 竹齢による影響は小さい ・ 採取ポイントによる影響可能性あり
灰分	・ バイオマス発電の灰処理の設計を行う場合に、必要となる指標である。	・ 竹齢による影響は小さい ・ 採取ポイントによる影響可能性あり
硫黄	・ バイオマスを燃焼させる際に、微量ながらH <sub>2</sub> Sが発生することもあり、規定値以下に収める必要がある。	・ 竹齢による影響は小さい ・ 採取ポイントによる影響可能性あり

## Ⅱ. 竹の混焼試験の結果報告

### 1. 燃焼試験の実施条件





## 2. バンブーエナジーの施設概要

### プラント概要

#### ■ 国内初の竹によるORC熱電供給設備を備えたバイオマスプラント

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）のバイオマスエネルギー導入促進プロジェクトにおいて、弊社は、国内初の竹によるORC（オーガニック・ランキン・サイクル）熱電供給設備を備えたバイオマスプラントを完成させました。

本施設では、各地域で荒廃が進み課題となっている竹と、有効利用が課題となっているバーク（樹皮）を原料に用いて、オーストリア製のバイオマス燃焼炉とイタリア製のORC熱電供給設備で熱・電気を作り出し、隣接する同じ竹材を材料とするマテリアル工場で最大限活用します。

本事業を通じて、竹林の荒廃という地域課題を解決するべく、竹の総合的活用と高付加価値化、さらに地域に存在するバイオマス資源を最大限に活用することを目指し、地域経済循環の向上を実現するバイオマスエネルギーシステムの構築を目指します。



#### プラント概要

##### ■ 原料

原料投入条件…竹：バーク=30%：70%  
含水率…竹：40%程度、バーク：55%程度  
投入量…3.68t/時間

##### ■ エネルギー出力

電気…995kW  
工場用熱媒油…2,800kW  
温水…3,995kW

燃焼用原料



バーク



竹

燃料投入ワーキングフロア



バイオマス燃焼炉・ボイラー



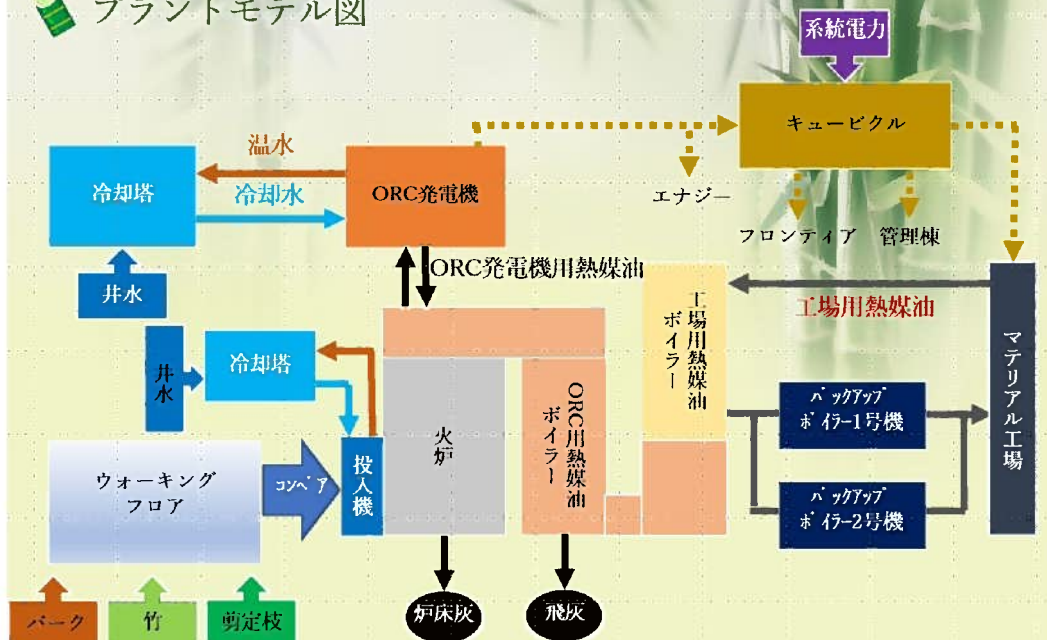
ORC熱電供給設備



出所) バンブーエナジー社 提供資料

## 3. バンブーエナジー設備構成

### プラントモデル図



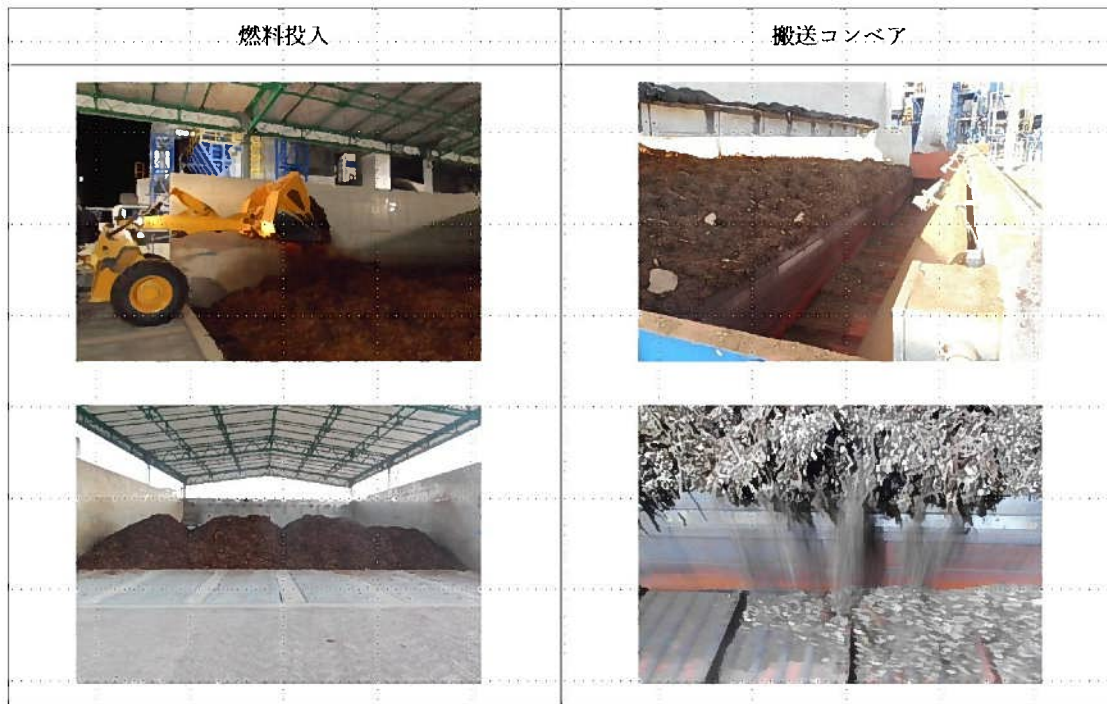
出所) バンブーエナジー社 提供資料





## 6. 運転状況

- バンプーエナジー社の搬送系は、長尺のバークが入り込むことを前提として、ウォーキングフロアを使用した原料搬送を行っている。



出所) バンプーエナジー社 提供資料

## 7. 排ガス分析、燃焼灰サンプル取得状況



出所) バンプーエナジー社 提供資料

## 8. 試験燃焼時の原料の条件

### (1) 燃料構成割合

竹：30%、杉チップ：20%、パーク：50%

- ※1 竹については、12/3までは吉野木材から供給を受けたものを使用、12/4投入分よりバンブーエナジー所有の竹に切替え
- ※2 杉チップについては、12/5までは玉名製材から供給を受けたものを使用、12/6投入分よりバンブーエナジー所有の剪定枝に切替え

### (2) 投入量

総投入量 420 t  
 1日平均 56 t/日  
 1時間平均 2.33 t/時間

### (3) 燃料水分率（湿量基準）

竹 平均 37.0%（最大 54.9%、最小 22.3%）  
 杉チップ 平均 51.2%（最大 61.2%、最小 42.0%）  
 パーク 平均 46.5%（最大 66.1%、最小 20.1%）

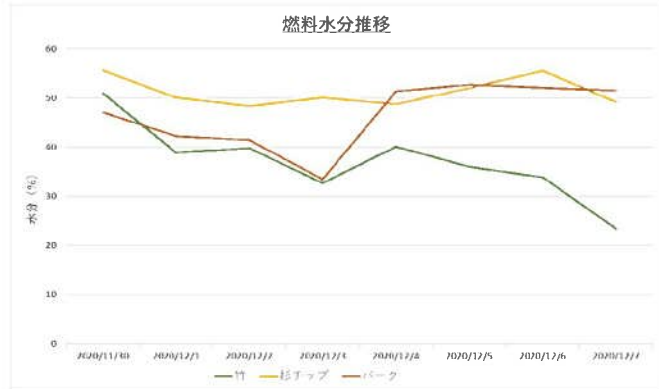


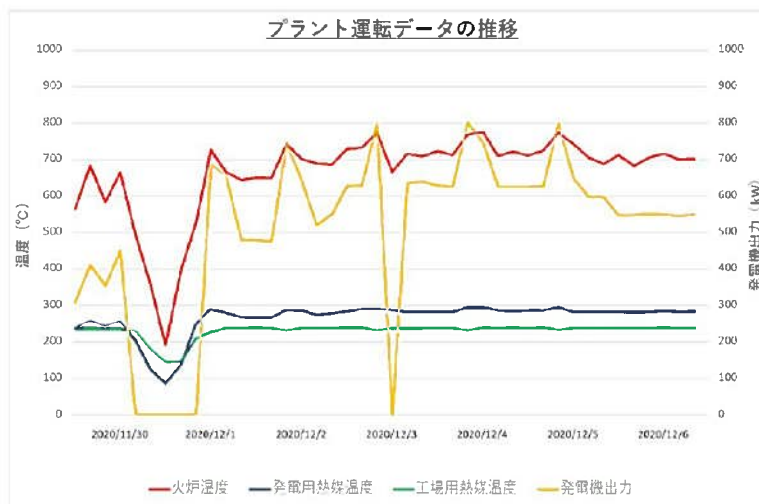
図3. 燃料水分率の推移

## 9. 試験燃焼の状況

### 7. プラント運転データについて

#### (1) 火炉・ボイラ・発電機関係

- 11/30（月）のトラブルに伴い、火炉内の温度が低下した。  
火炉内の温度低下に伴い、ORC 発電機は、手動にて解列させた。
- 12/3（木）のトラブルに伴い、ORC 発電機が停止した。
- マテリアル工場の生産に合わせ、ORC 発電機の出力は、概ね 700kW～800kW」、夜間・休日は「450kW～650kW」で運転を行った。





## 10. 試験燃焼結果① 投入原料の工業分析

- 竹は鹿児島県内のものであるが、灰溶融に大きな影響を与えると言われているカリウム分は南関町で通常燃焼しているものとほとんど同じ5,800ppmであった。また塩素についても南関のもので0.2~0.3%であるのに対して同様の結果となっている。
- 杉に関しても一般的な値であり、特に燃焼を阻害するような値は見られない。
- パークはカルシウム分が9,030ppmと多く、竹との混焼による高軟化点化が期待できる。

表2. 燃焼用原料の工業分析結果

分析項目	単位	(1)	(2)	(3)	定量下限値	分析方法							
		竹チップ	パーク	杉チップ			ケイ素 (乾燥ベース)	mg/kg	890	10,100	40	10	ISO 16967 相当
水分 (乾燥ベース)	%	41.1	54.8	62.1	0.1	JIS Z 7302-3 付録書相当	塩素 (乾燥ベース)	mg/kg	12.0	32.7	1.5	0.1	JIS Z 7302-5 相当
灰分 (乾燥ベース)	%	1.2	5.7	0.2	0.1	JIS Z 7502-4 相当							
揮発分 (乾燥ベース)	%	75.7	63.5	77.7	0.1	JIS M 8812 相当							
高位発熱量 (乾燥ベース)	kJ/kg	19,820	19,820	20,650	10	発熱量分析装置							
低位発熱量 (乾燥ベース)	kJ/kg	18,420	18,590	19,250	10	計算より							
炭素 (乾燥ベース)	%	50.3	51.7	52.1	0.1	元素分析装置							
水素 (乾燥ベース)	%	6.2	5.45	6.15	0.01	元素分析装置							
窒素 (乾燥ベース)	%	0.20	0.58	0.12	0.01	元素分析装置							
硫黄 (乾燥ベース)	%	0.030	0.056	0.005	0.001	燃焼-吸収-IC測定法							
塩素 (乾燥ベース)	%	0.228	0.020	0.001	0.001	燃焼-吸収-IC測定法							
ナトリウム (乾燥ベース)	mg/kg	10	650	10未満	10	ISO 16967 相当							
カリウム (乾燥ベース)	mg/kg	5,800	1,600	700	100	ISO 16967 相当							
カルシウム (乾燥ベース)	mg/kg	200	9,030	1,020	10	ISO 16967 相当							

## 11. 試験燃焼結果② ボトムアッシュ、フライアッシュの分析結果 工業分析

- 飛灰について軟化点が低い場合は、熱交換器でファウリングを起こし閉そくすることが懸念されるが、本灰の軟化点は1,180℃と高いことから、熱交換器や炉壁への付着成長の可能性は低い。
- 一方、飛灰中に塩素分が観察されるが、熱交換器に付着しないことから熱交換器の腐食の進行もないと考えられる。

表3. 燃焼灰の工業分析結果

件名	数量	特記事項				
灰分析	2	灰の溶融性：高温顕微鏡にて測定（DIN法） 試料の形状及び大きさ：直径3mm×高さ3mmの円柱				
分析項目	試料名		飛灰	炉底灰	分析方法	
	ベース	単位				
熱しゃく減量 (815℃)	無水	%	8.00	1.07	重量法	
C	無水	%	3.79	1.15	CHN計	
S	無水	%	1.14	0.04	プラズマ発光分析	
Cl	無水	%	2.14	0.05	吸光光度計	
Na	無水	%	1.33	1.19	原子吸光法	
K	無水	%	8.13	8.11	原子吸光法	
溶融性	酸化	軟化点	無水	℃	1,180	1,255
		球軟化点	無水	℃	1,230	1,270
		溶融点	無水	℃	1,250	1,280
		流動点	無水	℃	1,320	1,330

## 11. 試験燃焼結果② 燃焼灰の肥料分析結果

- ホームセンター等で市販されている肥料には、「窒素 8%、リン酸 8%、加里 8%」と記載されている。表 4 のとおり加里が近い値ながらも窒素・リン酸においては低い値となっている。このことから、燃焼灰をこのままの状態での肥料への活用はできないと考える。

表 4. 燃焼灰の肥料分析法に基づく成分分析結果

分析項目	単位	か床灰	飛灰
		K20105314	K20105315
窒素全量	%	0.03	0.04
リン酸全量 (P2O5)	%	2.4	2.2
加里全量 (K2O)	%	6.74	7.00
石灰全量 (CaO)	%	16	12
苦土全量 (MgO)	%	2.4	2.19
ケイ酸 (SiO2)	%	43	40
銅	mg/kg	59	96
アルミニウム	%	4.3	4.7
pH	—	12.4	12.4
マンガン	mg/kg	1500	1400
鉄	mg/kg	30,000	41,000
ナトリウム	mg/kg	5,700	6,200
クロム	mg/kg	32	39
チタン	mg/kg	2,900	2,800
水分	%	0.1 未満	0.3
炭素窒素比 (C/N 比)	—		

## 11. 試験燃焼結果② 廃掃法による燃焼灰分析

- すべて廃掃法の基準値以下に収まっている。表中に未満と記載があるものは検出可能限界値以下であることを示す。

表 5. 燃焼灰の廃掃法に基づく成分分析結果

分析項目	単位	廃掃法 (溶出試験)		基準値
		か床灰 K20105316	飛灰 K20105317	
アルキル水銀化合物	mg/L	総水銀不検出の為測定せず		検出されないこと
水銀又はその化合物	mg/L	0.0005 未満	0.0005 未満	0.005
カドミウム又はその化合物	mg/L	0.009 未満	0.009 未満	0.09
鉛又はその化合物	mg/L	0.03 未満	0.28	0.3
六価クロム化合物	mg/L	0.15 未満	0.30	1.5
ひ素又はその化合物	mg/L	0.03 未満	0.03 未満	0.3
セレン又はその化合物	mg/L	0.03 未満	0.04	0.3
1,4-ジオキサン	mg/L	0.05 未満	0.05 未満	0.5
熟しやく減量	%	1.0	6.5	—
カルシウム	mg/L	1,200	1,000	—
塩化物イオン	mg/L	21	1,400	—
ダイオキシン類 (公定法)	Ng-TEQ/g	0.00018	0.53	3

### 12. 試験燃焼結果③ 排煙中の塩素濃度分析結果

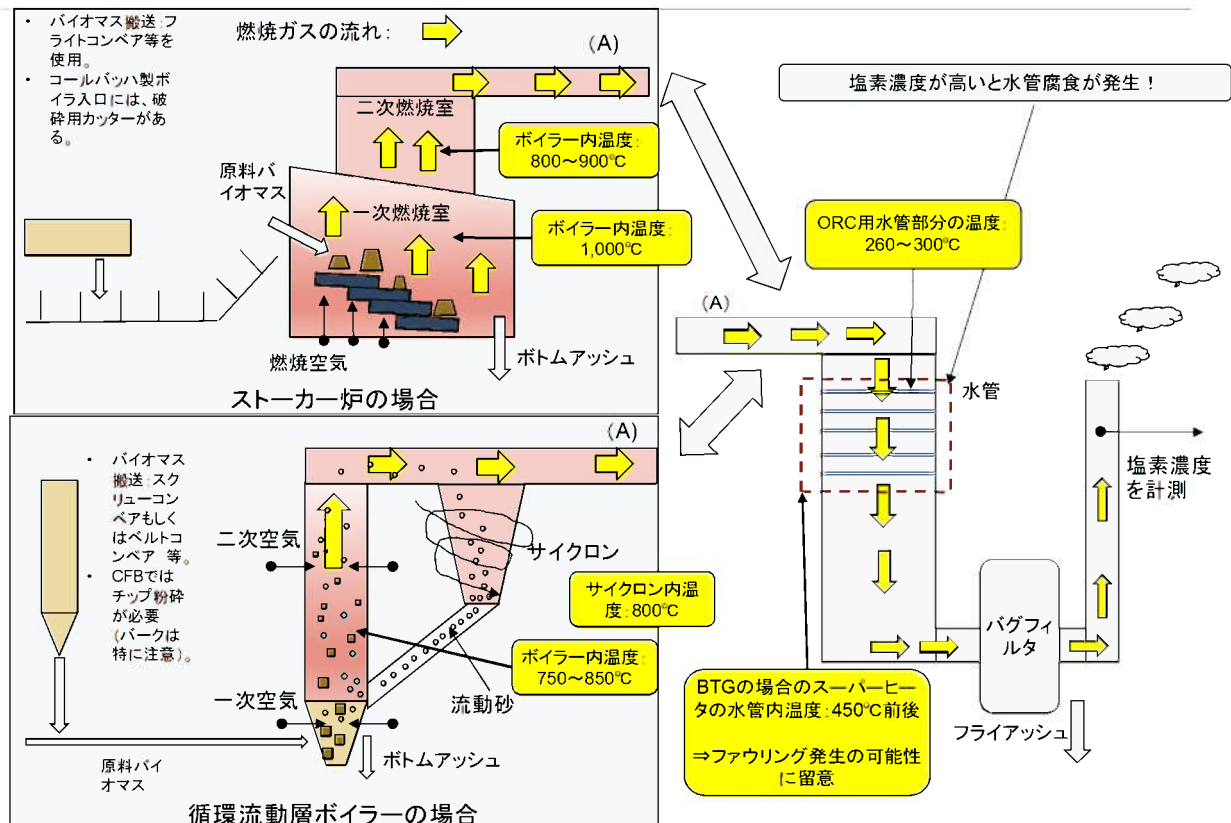
- 硫黄化合物、窒素化合物共に大気汚染防止法上の基準値を下回っている。排ガス中に塩素分は検出されなかった。(検出下限値以下)
- またダイオキシン類は基準値の1/40という結果であった。

計量の対象	単位	計量の方法	計量の結果	排出基準値
硫黄化合物	濃度	vol ppm	11	***
	量	N m <sup>3</sup> /hr	0.20	16.1
窒素化合物	濃度	vol ppm	110	***
	換算値	vol ppm 6%O <sub>2</sub>	130	350
塩素	体積濃度	vol ppm	0.08 未満	***
	質量濃度	Mg/N m <sup>3</sup>	0.3 未満	***

分析項目	実測濃度 (ng/m <sup>3</sup> )	換算換算濃度 (ng/m <sup>3</sup> )	毒性等量 (TEQ) (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)
PCDDs	0.73	0.85	
PCDFs	0.33	0.40	
DL-PCBs	0.13	0.16	
PCDDs+PCDFs+DL-PCBs (ダイオキシン類)	1.2	1.4	0.015

分析及び測定項目	単位	分析及び測定方法	分析及び測定結果
水分	%	JIS Z 8808.7.1	16.2
一酸化炭素	ppm	JIS K 0098.7.2	29
CO <sub>2</sub>	%	-	11.2
O <sub>2</sub>	%	JIS K 0301.6	8.2
N <sub>2</sub>	%	-	80.6
平均排出ガス温度	°C	JIS K 8808.6	171
平均流速	m/sec	JIS K 8808.8	8.8
排出ガス流量(湿り)	N m <sup>3</sup> /h	JIS K 8808.8.4.1	22200
排出ガス流量(乾き)	N m <sup>3</sup> /h	JIS K 8808.8.4.2	18600
硫酸化合物濃度	ppm	JIS K 0103.7.1	11
窒素化合物濃度	ppm	JIS B 7982	110
塩素体積濃度	ppm	JIS K 0106.7.2	0.08 未満
塩素質量濃度	Mg/N m <sup>3</sup>	JIS K 0106.7.2	0.3 未満

### 13. 試験燃焼 排ガス中塩素濃度計測の状況





## 14. 鹿児島県内外 バイオマス発電事業者に依頼したフィードバック内容

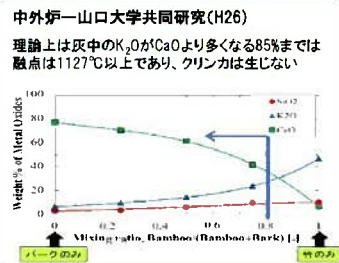
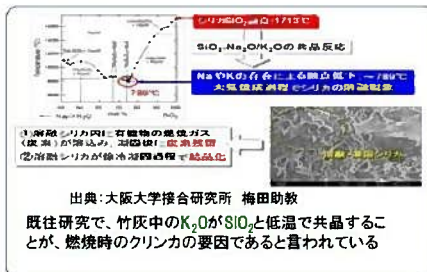
下記 論点1～論点4の項目について、鹿児島県内外のバイオマス発電事業者よりフィードバックを収集した。

- 前提条件：竹3割、杉チップ2割、バーク5割の構成で燃焼させる。
- 論点1：排ガス中に塩素濃度が検出され、水管部分で塩素腐食が発生する可能性があるか。
- 論点2：灰溶融が発生してボイラー内でのクリンカの付着等、燃焼に悪影響を及ぼす可能性があるか。
  - ⇒バンブーエナジーでの燃焼試験結果では、可能性が低いことが検証された。
  - ⇒竹を直接燃焼させるときに発生する軟化点、融点の低温化現象（クリンカ発生の原因）をバーク中に含まれるCaOにより緩和する機能があると認識（次項参照）。
- 論点3：スーパーヒーター、エコノマイザ等、対流型熱交換器を使用する水管部分でファウリングが発生しないかどうか。（特にBTG形式の場合）
- 論点4：鹿児島県内の木質バイオマス発電所では、他のボイラー形式、燃焼方式を採用していることから、同じ原料構成割合で燃焼させた場合に、同じような問題は発生する可能性があるかどうか。

## 参考資料：バーク、竹の混焼効果

### 竹燃焼時のクリンカ対策

竹は燃焼時に灰が低温で溶融しクリンカを形成し、ボイラーの劣化など燃焼を困難にすることが一般に知られている。本事業性評価の中で竹とバークの混焼試験を行い、竹80：バーク20でもクリンカが発生しないことを確認できたことで、目標である竹30：バーク70をクリアできることがわかった。



### ・南関町での燃焼試験結果(竹混焼率30,50,80%)

竹混焼率	wt%	サイクロン回収飛灰			側壁付着物
		30	50	80	
軟化点	$^{\circ}C$	1165	1220	1215	1160
融点	$^{\circ}C$	1260	1250	1250	1190
溶融点	$^{\circ}C$	1275	1255	1295	1215

付着物の融点  
基礎研究と同様の結果

九州工業大学西田先生のコメント（参考）：

- バークの中のカリウム成分が均一にナトリウムと混ざった状況であれば、融点が上がり非常に硬いクリンカの形成を抑えたと考えられる。
- ただ他所では10%の竹でもクリンカができたところがあり、不均一にバイオマスが入って燃焼した場合、どこかに固いクリンカが発生したりしている。長期間運転の後かもしれないがそういうことが他所では起こっている。

出所)「竹の可能性を創造するバンブーフロンティア構想説明資料」,平成29年11月5日

(<https://k-rip.gr.jp/wp/wp-content/uploads/2018/01/6b5694767af820f09c2785bbef63d710.pdf>)

(閲覧日：2021年3月10日)

## 14. 鹿児島県内および県外の木質バイオマス発電事業者のフィードバック結果

	A社	B社	C社	D社	E社	(参考) F社	(参考) G社
設備容量	23.7MW	5.75MW	49.9MW	1.99MW	1.99MW	5.7MW	1.99MW
炉形式	ストーカー炉	循環流動層ボイラ	循環流動層ボイラ	トラベリング・ストーカー	トラベリング・ストーカー	循環流動層ボイラ	トラベリング・ストーカー
ボイラーメーカー	H社	I社	J社	K社	H社	I社	H社
基本的な方向性	×	×	△ (今後要検証)	○	○	○	○
竹3：杉2：パーク5の割合での燃焼可能性	× 未利用材部分でのクリンカ発生量、ファウリングが大きい。	× パーク割合が燃料設計に適合しない。	－ 試験管レベルでPKSと竹の混焼効果を確認する必要がある。	○ パーク6割のため、将来的には混焼可能性あり。	○	○ 安定運転ではないが、安定燃焼させる工夫はありうる。	○
クリンカ発生の可能性	現状の未利用材で発生。	あり	PKSによりクリンカが発生している。	－	－	－	－
塩素腐食の可能性	あり	あり	あり	－	－	－	あり
ファイリングの可能性	現状の未利用材で発生。	あり	あり	－	－	－	あり(竹よりもパークの方が影響大)
燃焼させる場合のプラントオペレーションの条件	－	－	－	－	－	流動砂の交換頻度を増やす。 燃料検査を行う。	－
その他の留意事項				運転後1年間は安定運転に努めたい。	未利用材要件があること。 運転後1年は慎重に進めたい。		

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

31

## 15. EPC事業者の見解(ボイラーメーカー)

	H社	I社	J社	K社
主なボイラー形式	ストーカー炉	CFB(循環流動層)	CFB(循環流動層)、微粉炭ボイラー	ストーカー炉
竹、杉、パークの混焼割合	●パーク、竹については、それぞれ20%程度まで	－	－	－
竹3：杉2：パーク5の割合での燃焼可能性	－	×	●PKSとの組み合わせによる挙動を試験管レベルから確認していく。	○
燃焼させる場合の前処理条件	－	－	●混焼先の原料とカロリーが近いこと。	－
燃焼させる場合のプラントオペレーションの条件	－	●長期安定的なオペレーションのためには、含水率を安定化させる工夫が必要。	●できるだけ原料の均一性を確保するために、ボイラーへの投入方法を検討する必要がある。	－
その他の留意事項	●燃焼期間を長めに確保して数か月、1年のスパンで確認した方がよい。	●流動砂、高アルカリの原料、Ca分を含むパークの状況で、流動砂に影響が出る可能性がある。	－	●燃料形状を確認すること。 ●スーパーヒータ部分の腐食の可能性はある。

## 16. 混焼試験の総括

<混焼試験そのものの結果>

- 竹3割：杉2割：バーク5割の構成での1週間の試験燃焼では、クリンカ・ファウリングの発生、水管への塩素腐食の発生を抑制できることが確認できた。
- 竹とバークの混焼により、灰の軟化点、融点が竹単体の時よりも高温化できる効果があるものと考えられる。

<規模別、既往の燃焼原料別にみた総括（案）>

発電規模、使用燃料	未利用材 2 MW未満 (未利用材、バーク)	地域材 2 MW～10MW 未満 (未利用材、一般材)	地域材20MW程度 (未利用材、一般材)	一般材50MW (PKS、輸入ペレット、 地域材)
発電事業者からのコメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 竹・杉・バークの混焼可能性はあり。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CFBを使用している事業者からは、流動砂の更新頻度が高くなること、定期的な燃料分析を継続することで、安定燃焼の可能性はある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 竹の混焼については、慎重に検討するべき。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PKS、バーク、竹の試験燃焼からスタートするべき。(PKSと竹の類似性)</li> </ul>
留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大型発電所に比べると、メンテナンス計画等の軌道修正が容易と考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 発電所自体がバーク50%の燃料設計で作られていないため、その点を留意する必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 未利用材チップを燃焼させると、クリンカそのものの発生量が多くなるなどの報告事例が、他のバイオマス発電所でもあった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 試験燃焼で挙動を確認した後、実際の運用を検討するべき。</li> </ul>

- 参考までに、ボイラーメーカー側からは、試験燃焼期間を更に増加させてほしいとのコメントがあった。
- 高アルカリの材とバークのCaと流動砂が相互に作用しうるため、流動砂の交換頻度が上がる可能性がある。

## Ⅲ. 竹のサンプリング結果 及び 工業分析結果

## 1. 竹のサンプリング 及び 工業分析の趣旨

- 竹に含まれる成分が、竹齢、管理状況、場所によって異なる研究報告（九州工業大学 西田教授ら）があり、実際に鹿児島県の竹でも同様の傾向が成り立ちうるかどうかを確認する必要がある。
- 今後、竹を木質バイオマス発電で混焼を行う場合に、竹の調達地点での条件とその成分の特徴を事前に把握しておくことは、円滑なプラント運営にとって重要と考えられる。

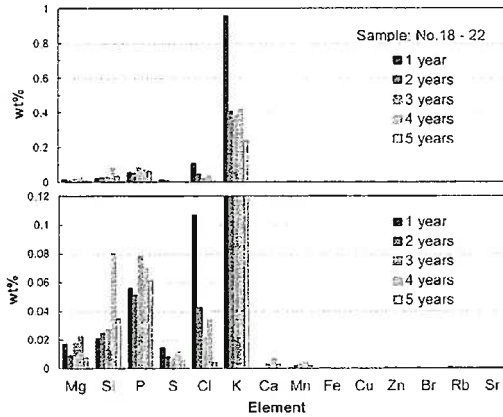


図6 モウソウチクの竹齢に伴う無機成分の変化  
(サンプル No.18~22)

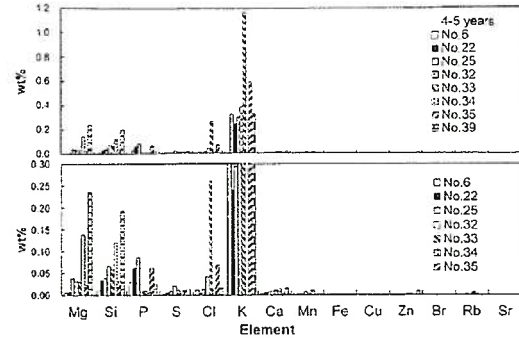


図8 異なる地域のモウソウチク（竹齢4～5年）の無機成分比較

出所)「タケの工業用素材としての潜在性評価-均質性とコンジット素材としての利用可能性-」  
九州工業大学、西田ら、森林バイオマス利用学会誌 vol13,No.1,pp1-6 (2018)

## 2. 竹のサンプリング、工業分析の実施方法

- 竹のサンプリング業務を鹿児島大学 寺岡教授にMRIより依頼。
- 竹の工業分析について、含水率計測までを鹿児島大学で実施いただいた後、鹿児島県工業技術センターにて、6項目の分析を26サンプルについて実施をMRIより依頼。

含水率計測		95° 乾燥機で96時間乾燥					
No	自治体名	産別	竹齢	採取日	初期質量	全乾質量	含水率db%
1	鹿屋市	管理竹林	1年生	2021/1/27	455	225	102
2	鹿屋市	管理竹林	4年生	2021/1/27	706	364	94
3	鹿屋市	放置竹林	1年生	2021/1/27	761	324	141
4	鹿屋市	放置竹林	3年生	2021/1/27	680	337	102
5	薩摩川内市	管理竹林	1年生	2021/1/28	423	129	228
6	薩摩川内市	管理竹林	5年生	2021/1/28	737	401	84
7	薩摩川内市	放置竹林	1年生	2021/1/28	751	374	101
8	薩摩川内市	放置竹林	5年生	2021/1/28	1,269	597	113
9	さつま町	管理竹林	1年生	2021/1/28	549	172	219
10	さつま町	管理竹林	3年生	2021/1/28	755	409	85
11	さつま町	放置竹林	1年生	2021/1/28	961	435	126
12	さつま町	放置竹林	5年生	2021/1/28	1,177	599	96
13	姶良市加治木西別府	管理竹林	1年生	2021/1/30	924	379	144
14	姶良市加治木西別府	管理竹林	3年生	2021/1/30	855	466	83
15	姶良市	放置竹林	1年生	2021/1/28	731	354	106
16	姶良市	放置竹林	5年生	2021/1/28	1,299	722	80
17	霧島市	管理竹林	1年生	2021/1/30	600	246	144
18	霧島市	管理竹林	7年生	2021/1/30	516	273	89
19	霧島市	放置竹林	1年生	2021/1/29	798	336	138
20	霧島市	放置竹林	3年生	2021/1/29	863	399	116
21	伊佐市	管理竹林	1年生	2021/1/29	1,357	632	115
22	伊佐市	管理竹林	5年生	2021/1/29	1,366	819	67
23	伊佐市	放置竹林	1年生	2021/1/29	748	359	108
24	伊佐市	放置竹林	5年生	2021/1/29	1,295	682	90
25	姶良市蒲生白男菅谷	管理竹林	1年生	2021/2/2	975	410	138
26	姶良市蒲生白男菅谷	管理竹林	6年生	2021/2/2	584	302	93

## 2. 竹のサンプリングの具体的な方法（つづき）

### <竹林調査>

竹林サンプルを採取するために林分調査を実施。竹林内の平均的な場所で0.005ha（50m<sup>2</sup>）の円形プロットを設定し、胸高部位の直径を計測し、稈本数を計測。

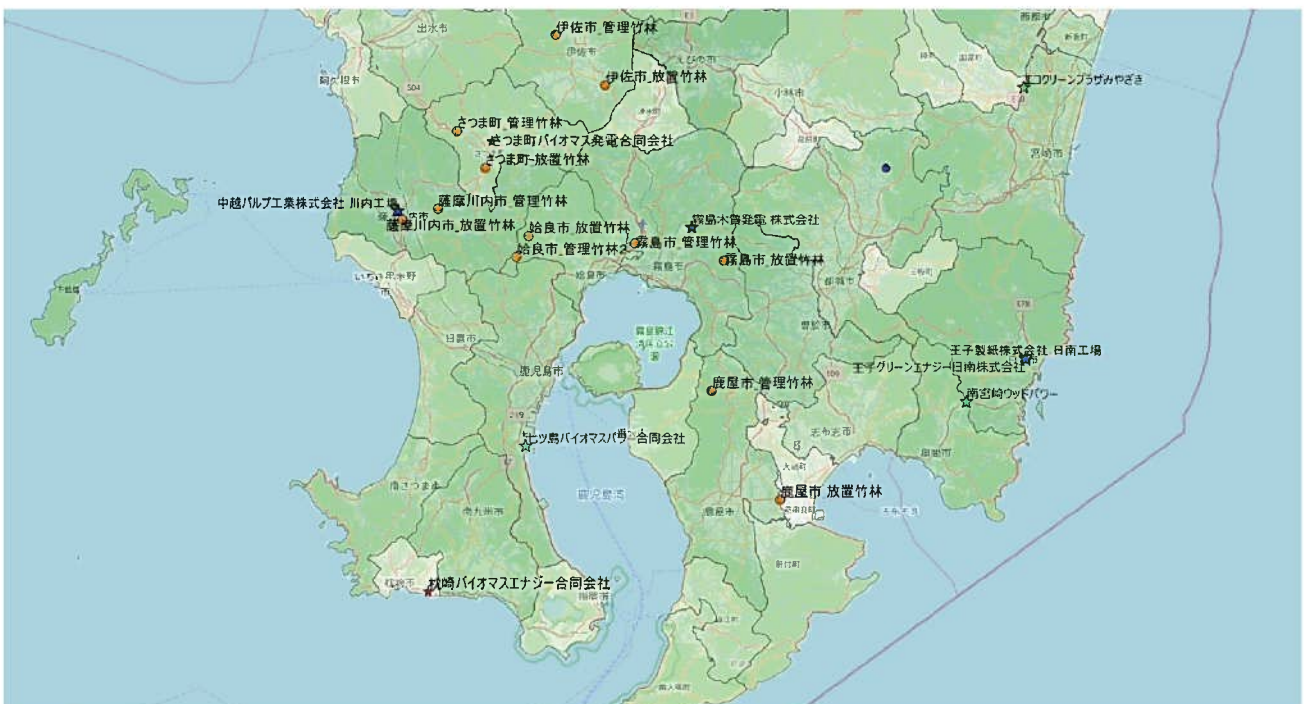
### <竹林サンプルの採取>

管理竹林と放置竹林のそれぞれで1年生、3年生以上の稈を1本ずつ採取し、伐採。1.2m付近の胸高部分20cm程度のサンプルを採取した。

### <含水率計測>

竹林サンプルの質量計測を行った後、95℃の乾燥オープンに投入し、質量変化がなくなるまで4日以上乾燥させた。絶乾基準で含水率を計算した。

## 3. 竹のサンプリング地点



オレンジ色の○が、現地サンプリング箇所

出所) 下図は各種資料よりMRI作成



## 3-1. 薩摩川内市でのサンプリング

管理竹林



放置竹林



鹿児島大学寺岡教授 提供写真

## 3-2. さつま町でのサンプリング

管理竹林



放置竹林



鹿児島大学寺岡教授 提供写真



## 3-3. 始良市でのサンプリング

管理竹林



放置竹林



鹿児島大学寺岡教授 提供写真

## 3-4. 霧島市でのサンプリング

管理竹林



放置竹林



鹿児島大学寺岡教授 提供写真



## 3-5. 伊佐市でのサンプリング

管理竹林



放置竹林



鹿児島大学寺岡教授 提供写真

## 3-6. 鹿屋市でのサンプリング

管理竹林



放置竹林



鹿児島大学寺岡教授 提供写真





## 6. 灰分濃度分布

- 竹齢1年生の竹の方が、総じて灰分の割合が高い傾向にある。



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

47

## 7. 硫黄

- 硫黄分については総じて竹齢の高い方が、高めの傾向を示す。

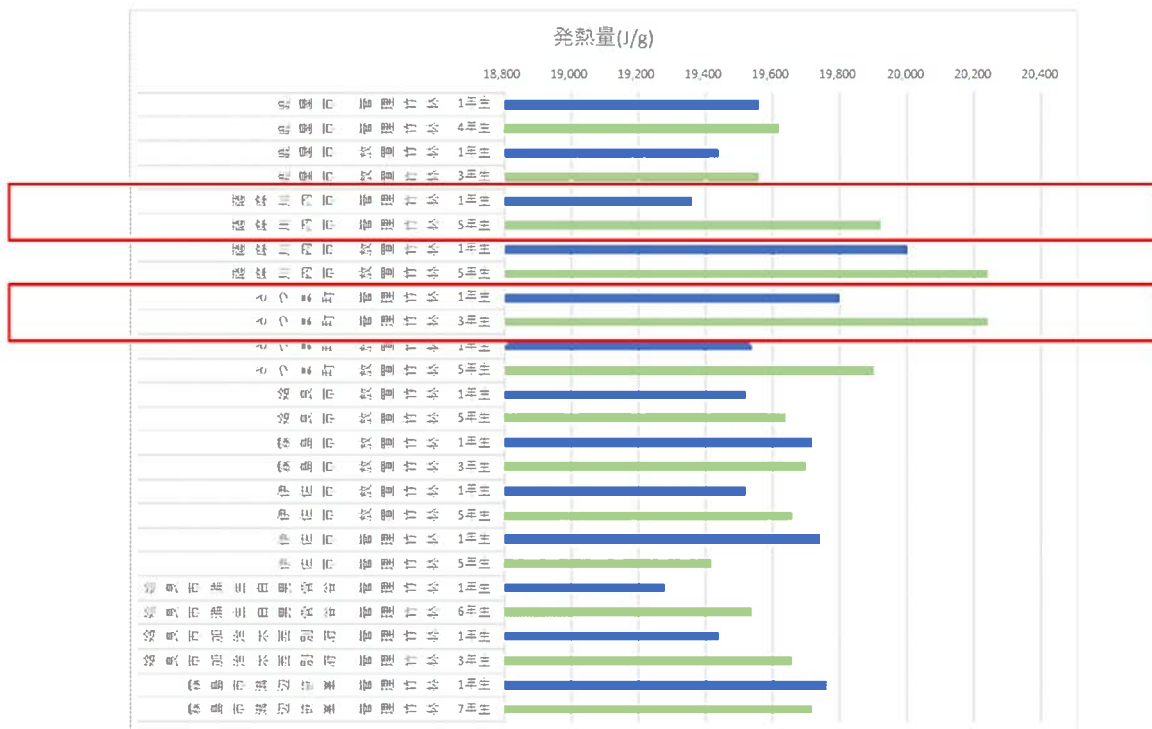


Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

48

## 8. 熱量

- 若干ではあるが、竹齢の高い方が、発熱量が高めにしている傾向がある。



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

49

## 9. カリウム

- カリウムは灰分と比例している。タケノコ栽培のための施肥でカリウムが含まれるため、1年生の竹の方がカリウムの割合が高くなる。また、管理竹林の方が放置竹林に比べて高めに出る傾向がある。

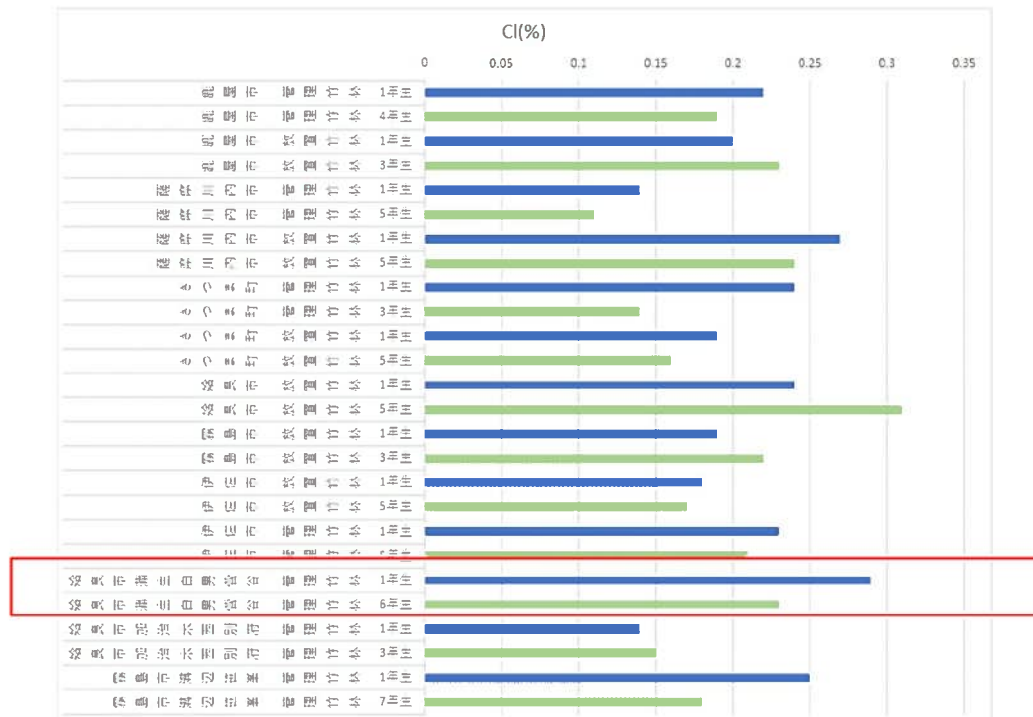


Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

50

## 10. 塩素濃度

- 塩素についても、1年生の竹の方が高めにしやすい傾向にある。

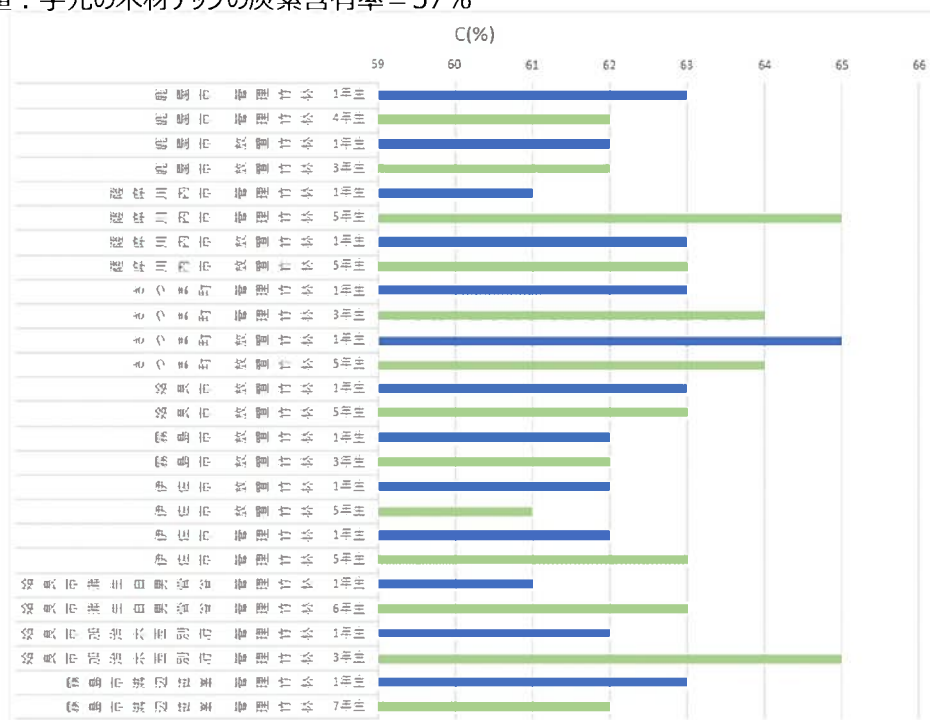


Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

51

## 11. 炭素

- 鹿児島県工業技術センターからは、「炭素分が6割強出ており、その理由として、セルロースが44%と考えるとリグニンがその分多く含まれているのではないかと」のコメントがあった。
- 参考値：手元の木材チップの炭素含有率 = 57%



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

52



## 12. 工業分析の総括

- 竹齢の高い方に、濃度が高めに出た指標を整理すると以下の通り。

	竹齢1年	竹齢3年以上
高めに出た指標	塩素、カリウム、灰分、含水率	熱量、硫黄

- 管理竹林、放置竹林の区別で高めに出た指標を整理すると以下の通り。

	管理竹林	放置竹林
高めに出た指標	カリウム、灰分、含水率	硫黄

- 九州工業大学の西田教授の研究事例にみられたカリウム等の成分が竹齢により変化することは、鹿児島県内の竹のサンプリング、工業分析結果からも同様の傾向が示せていることが確認できた。
- 分析値に関しては、西田教授の論文、日立製作所のプレスリリースに記載された数値ともオーダーが適合している。



- 管理竹林からの竹を燃焼させる場合には、竹齢1年の原料については、カリウムの含有割合が、竹齢3年以上のものに比べると3～4倍強になることを留意する必要がある。（放置竹林ではその傾向が緩和される。）
- 3年以上の放置竹林を燃焼させる場合には、カリウムの影響が低減され、発熱量が高くなり、灰分も少なくなることから、燃焼にはより適した材と考えられる。
- 今後、分析データを整備した上で、地域別のバラツキや同じような特徴を示すかどうか、霧島市、伊佐市でも確認する。
- 今後、鹿児島県内で竹をバイオマス発電所にて燃焼させる際の参考資料として整理する。

## IV. 実証結果の普及方策

## 1. 実証事業で得られた主な知見

### <竹・杉・バークの混焼>

- 竹3割：杉2割：バーク5割の構成での1週間の試験燃焼では、クリンカ・ファウリングの発生、水管への塩素腐食の発生を抑制できることが確認できた。
  - ⇒竹とバークの混焼により、灰の軟化点、融点が竹単体の時よりも高温化できる効果があるものと考えられる。

### <バイオマス発電事業者、EPCのフィードバック>

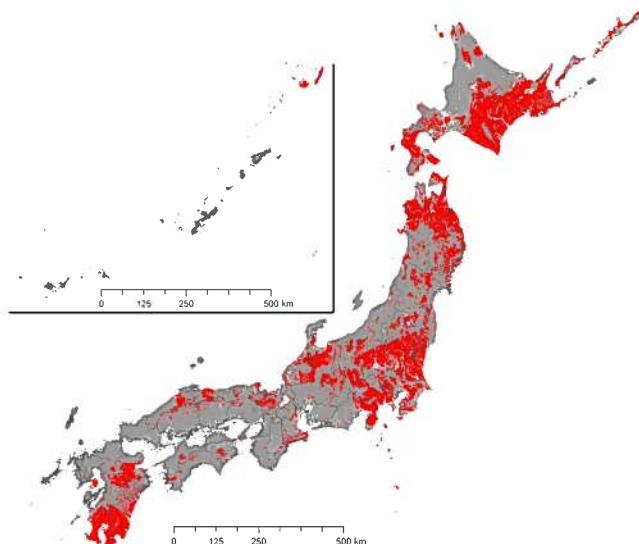
- ストーカー炉を採用する事業者からは、試験結果からは問題がなさそうとのコメントがあった。
- CFBボイラーについては、安定燃焼のためには、流動砂の交換頻度が高くなること、燃料の定期的な分析が必要なことを留意していくと、竹、杉、バークの混焼可能性があることが示された。
- もう少し長い期間、1か月単位、1年単位での試験燃焼が実現できるとより効果的となる指摘が複数あった。
- PKSと竹が挙動が近いことが想定され、今後、試験管レベルでの試験確認を行うと有効性が増すものと考えられる。今後、原料の均一性を確保する前処理方法が見いだされて行けば、一般材を扱う大型発電所での燃料使用につながる可能性がある。
- 未利用材チップを多く燃焼させている発電所では、未利用材そのもののクリンカ発生量も多くなる傾向から、竹の混焼については慎重な意見があった。これについては、鹿児島を含む九州地方の土壌条件が影響を及ぼす可能性が指摘された。
- 長期安定運転のためには、安定的な含水率コントロールは必要である（一般的なFIT売電発電所を想定した場合、職人技的なプラントオペレーションはできるだけ避けたいとのボイラーメーカー側の要望もあるものと推察される）。
- 一般にクリンカの発生量に関しては、ストーカー炉と流動床炉では、原料が巻き上げられることを考慮すると、流動床炉の方が多いものと考えられる。

### <竹の工業分析>

- 竹齢、竹林の管理方式により竹に含まれる成分に差異が出てくる傾向が確認できた。
- 九州地方、特に鹿児島県では、土壌の特徴（火山灰土）から、他の地域と比べて竹だけでなく杉にもカリウムが多く含まれる傾向にある。このため、杉チップを多く扱うバイオマス発電所では、発生するクリンカやファウリングの影響がより大きくなることが判明した。

## 参考：九州の土壌マップについて

- 農研機構では、日本全国の土壌データをオープンデータ化しており、GISデータとして公開されている。
- 図中、赤く印字されているところが、「黒ボク土」と言われる火山灰に由来する土壌である。特に鹿児島県では、ほぼ本土全域が黒ボク土で覆われていることから、土壌中のアルカリ分が杉、ヒノキに吸収されていくものと考えられる。



今後の比較研究が必要となるが、火山灰土を多く含む地域の木質バイオマス発電所では、クリンカの発生量、ファウリングの発生が他の地域と比べて、多くなる可能性がある。

出所) <https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/explain/D.html> (閲覧日：2021年3月10日)

## 2. 実証事業全体を通じて得られた課題(1)

実証事業の区分	具体的な課題内容
原料調達	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実証事業で調達する竹の単価が想定を超えていた。既往のA社との取引は絶乾基準で取引されており、その前提で準備していた(9,500円/t)が、実際の調達では含水率込みで16,000円/tを要した。</li> <li>● 過年度のFS調査においては、放置竹林の伐採から切り出し、チップ化まで行くと20,000円/tを要するとされていたことから、現実に竹の燃料化コストまではお金を要することが判明した。</li> </ul>
混焼燃焼試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実際の混焼試験では、燃焼試験中に計測機器のトラブルが発生した。計測機器からの信号がボイラー、発電機を含むシステムの制御に用いられている場合には、プラントメーカー側とのトラブル対応を事前に想定、対象方法を調整しておくことが求められる。特に、新型コロナの影響下で海外ボイラーメーカーの担当者との連絡がつきにくい状況や定期点検のために来日することができないような状況も発生しているため、コミュニケーションの確保を工夫する必要がある。</li> <li>● バンブーエナジー社のボイラーがFIT対応ではなく、実際の隣接するマテリアル工場の電力・熱需要に連動しているものであることから、運転操作のロジックが、他のFIT発電所よりも高度なものとなっている。</li> <li>● 投入された原料の含水率の変動が激しいものがあり、一部、ボイラーメーカーからは、設備の安定運転のためにはできるだけ、含水率変動を抑えた方が望ましいとの指摘があった。現地では、露天で原料管理を行っているところで、気温が急激に減少して夜露が発生するような状況もあり、将来的には、屋根等を設置する方法も考えられる。現在、バンブーエナジー社では、含水率を60%以内にするような基準作りの検討を行おうとしている。</li> </ul>

## 2. 実証事業全体を通じて得られた課題(2)

実証事業の区分	具体的な課題内容
竹のサンプリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実際にサンプリングを行う際には、市町村が管理を行っている森林は入りやすい傾向があるが、放置竹林で不在地主が存在するような民有林では、サンプリングへの協力を依頼すること自体が難しく、今回の実証事業では、実際に民間の竹林を施業している事業者からの協力を得てサンプリングを実施できた。</li> <li>● 含水率を計測するのに、サンプリングした竹の状態にもよるが、1サンプルでおおよそ4日間を要している。</li> <li>● 枯れた竹そのもののサンプリングは実施しなかったため、今後の同趣旨の調査では、枯れた竹そのもののサンプリング、工業分析ができると望ましい。</li> </ul>
竹の工業分析結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 課題ではないが、工業分析で1項目の計測を実施する場合、バラツキを抑制するために3回の計測を実施すること。また、竹を計測するためには、竹を輪切りにした状態から、5mm大の大きさでサンプルサイズをそろえていく必要があり、当初よりも分析個所数が増加したために、工業分析結果を整理するのに時間を要した。</li> </ul>
発電事業者・ボイラーメーカーからのフィードバック	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 流動砂を使用するボイラー形式では、原材料に含まれるアルカリ成分と流動砂とバークに含まれるカルシウム成分が、相互作用をもたらすことが懸念され、ボイラーの運用においては、流動砂の更新頻度が高くなる可能性があることが指摘された。</li> <li>● 竹：杉：バーク = 3：2：5の比率で安定燃焼を行うためには、継続的な原料分析を行っていく必要がある。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 竹の密度は、5,000~6,000本/haであり、おおよそ150t/ha前後の重量になるが、杉では250t/haとなり、コスト、効率性の問題が存在する。</li> </ul>

## 3. 実証事業全体を通じて得られた全般的な知見(1)

実証事業の区分	具体的な知見
原料調達	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実際の原料調達において、チップの輸送に使用するトラックの形式と受け入れ元のチップ工場の設備が対応可能性があるかどうかの事前確認、すり合わせが必要である。バンブーエナジー社の手配したウォーキングフロアー形式でチップの荷下ろしができるトラックを鹿児島県にあるチップ工場まで手配したが、現地で当該トラックが受け入れ可能であることが判明し、竹チップを調達することが可能となった。</li> </ul>
混焼燃焼試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 今回の実証試験で用いたバークは、含水率の平均値で46.5%（最大値66.1%、最小値20.1%）であったが、これはバンブーエナジーで日常的に燃焼させているバークの含水率を下回る状態のバークである。この要因としては、実証試験実施時に手配していた破碎機が故障していたため、他の場所にある破碎機を使用して破碎を行ったことで、バークを持ち込み、破碎するまでの間に、複数回の積み替えのタイミングが発生して、空気に触れる時間が増加したことが考えられる。</li> <li>● 竹：杉：バーク＝3：2：5の比率で1週間の試験燃焼を行った結果では、炉内でのクリンカの発生、水管部分の塩素腐食、ファウリングの発生については、抑制することができたが、更に長い期間での試験燃焼を行った方が望ましいとのコメントが複数のボイラーメーカーや発電事業者から指摘された。</li> </ul>
竹のサンプリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 管理竹林と放置竹林の具体的なイメージが複数個所で得られ、今後の鹿児島県内の放置竹林を検討していく上での基礎資料となった。</li> </ul>
竹の工業分析結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 竹林の管理状況（管理竹林、放置竹林）、竹齢（1年と3年以上）により、竹に含まれる成分に差異が生じる傾向が整理できた。概ね1年生のものカリウム、塩素の含有割合が高い傾向に出る。</li> <li>● 管理竹林では、竹の子栽培農家により肥料が投入されるために、カリウムの成分が1年生の竹で出てきている。実際の管理竹林で1年生の竹が燃焼材料として出されることは考えにくい。</li> </ul>

## 3. 実証事業全体を通じて得られた全般的な知見(2)

実証事業の区分	具体的な知見
発電事業者・ボイラーメーカーからのフィードバック	<p>&lt;C社、J社&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● PKSの燃焼に関して、PKSの種類（マレーシア産、インドネシア産）の違いによっても、ボイラー内の温度帯が変化し、燃焼領域が変化することが分かった。マレーシア産は繊維質が多く、ファイバーが火炉内で巻き上がり、排ガス温度が900℃を超える。一方、インドネシア産は排ガス温度が850℃まで抑制できている。</li> </ul> <p>&lt;A社&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 大型の地域材を燃焼させる発電所では、クリンカの発生量そのものが多い。クリンカを抑制するために、Fe系、Mg系の抑止剤を投入した結果、Mg系の抑止剤の方が抑制効果が出ている。</li> <li>● 灰に検出される六価クロム等は、材に付着していたり、採取場所の土地利用条件で出たり、あるいは、チップ工場のチップターの刃から零れ落ちる部分があったり、ペレットストーブの蓋から発生したりと、様々な要因が考えられる。</li> </ul> <p>&lt;バンブーエナジー社&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ボイラーに投入できるチップのサイズは、その発電所毎の設計に依存する。切削チップを使用する発電所ではそのチップサイズに、バーク、竹も合わせることが必要である。また、ハンマーミルでバークを破碎すると長尺のものが発生することがある。長尺のバークが投入されるとバークそのものが絡みついて、雪だるまのように固まってしまい、燃えにくくなる。</li> <li>● バーク割合が増加すると、比表面積が変化するために、燃焼時間が変化する。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 九州地方の杉は、黒芯とも呼ばれ断面を切ると、黒色に近く、カリウムの含有率が高いことが知られており、秋田県では赤芯と呼ばれており、カリウムの含有率は九州ほど高くない。</li> <li>● 鹿児島島の土壌の特徴が、黒ボク土を中心とする火山灰由来のものであり、これらの養分が竹や杉に吸収されているものと考えられる。</li> </ul>

#### 4. 既存のバイオマス発電所での適正な混合燃焼を行うために必要な課題

- 既往の3か所のバイオマス発電所での導入可能性とそのための具体的な方策を整理した。竹とPKSの性状が似ていることから、C社での試験管レベルでの分析結果が得られて、解決の方向性が見通せられると、将来的な竹の混焼可能性が考えられる。

発電所名称（発電出力、使用燃料、ボイラー形式）	導入可能性	具体的な方策
B社 （5.75MW、未利用材・一般材、CFBボイラー）	（低） ● 燃料設計がバークに基づいていないため。	—
A社 （23.7MW、未利用材・一般材、ストーカー炉）	（低） ● 現状の地域材を燃焼させることでのクリンカ問題が大さい。	● クリンカ抑止剤の投入の他、バークのみの工業分析を行うことにより、付着物の問題解決につながる可能性がある。
C社 （49.9MW、地域材、PKS、輸入木質ペレット、CFBボイラー）	（中） ● 現在、鹿児島県内の地域材が中国での木材需要の回復の影響を受けており、やや不足気味な傾向にあることから、竹を未利用材で扱えないかとの燃料調達事業者の声が存在する。 ● 竹とPKSの性状に近い部分があり、竹を投入することでの現状課題の解決に期待する部分がある。	● PKSが主体の発電所であるために、竹とPKSを混ぜた時のボイラー内での挙動やその燃焼結果を試験管サイズ、ベンチプラントの規模の実証で確認していくことが重要である。 ● 原料の均一性を確保していくことが重要であり、具体的な投入方法を今後検討していくことも必要である。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

61

#### 5. 新規のバイオマス発電所での適正な混合燃焼を行うために必要な課題

- 新規のバイオマス発電所2件に関しては、どちらも発電容量やボイラー形式が同じものである。また、今回の混焼割合に近い燃料設計を行っている所が、D社である。
- 今後、安定運転のノウハウを積んだ後（積みながら）、竹を燃焼させるための技術的な確認を行っていく必要がある。

発電所名称（発電出力、使用燃料、ボイラー形式）	導入可能性	具体的な方策
E社（1.99MW、未利用材、トラベリングストーカー炉）	（高） ● 燃焼試験結果からは、問題がなさそうとの評価があった。 ● 地域課題として、放置竹林の問題があり、その解決に貢献することが求められている。	● 具体的な運開は、2021年6月以降であり、1年間は安定運転を目指す必要がある、その後、竹の投入を考えていくべきである。
D社 （1.99MW、未利用材、トラベリングストーカー炉）	（高） ● 現在バークの燃焼割合を60%としており、今回の実証事業との燃料構成割合が近い。	● 2020年10月からの運開後一年間は、安定運転に努めるようし、安定運転のノウハウを確立できた段階で、竹の投入量を増加させていくことで、全体の効率が上昇することを実証していく。 ● D社周辺は、竹の密度がやや薄いため、鹿児島県内からの竹の輸送方法を検討する必要がある。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

62

## 6. 今後の方向性・課題

- 長期の混合燃焼試験の実施を行う。
  - 数か月規模の継続した期間内での燃焼試験を行う。
  - ストーカー炉での実証とともに、CFB、BFB等一般的な流動床炉での実証ができるとより汎用性が広がる。
    - ⇒対応できるボイラーの種類を増やすことを目指す。(流動砂の交換頻度を増やす、燃料分析を高頻度で実施するなど)
- 鹿児島県内の発電事業者で、竹の混焼について関心を示した事業者に対して、ラボレベルでの試験燃焼やベンチプラント規模での技術確認を実施するための支援を行う。
  - 既に運転を開始した発電事業者、運転開始から1年間は安定運転に努めなければならない発電事業者を対象として、技術的な支援を実施する。
- 竹を未利用材扱いできるための行政手続きを実施する。
  - 放置竹林を一体的に施業していくことで、得られた竹材を未利用材扱いできることが、バイオマス発電所の運営にとって必要である。このため、林野庁－鹿児島県庁－県内自治体－林業関係者－バイオマス発電事業者間での協議を行いながら、山口県、三重県多気町のように独自認定を取得することが重要である。
- 竹の調達コストの低減化
  - 現状、竹を伐採・搬出して、チップ化を行い、バイオマス発電所まで持ち込むのに、1t当たり、2万円以上のコストを要しており、このコストを圧縮する方法を開発していくことが求められている。移動式チップパーの使用、漁網巻き取り装置を活用した伐採竹の回収装置等 新しい方法の模索を続けていくことが重要である。

## V 竹バイオマスエネルギー利用普及促進協議会 開催支援



## 協議会の開催支援

- これまで、都合2回の「竹バイオマスエネルギー利用普及促進協議会」の開催支援を実施した。

竹バイオマスエネルギー利用普及促進協議会 (第1回)	竹バイオマスエネルギー利用普及促進協議会 (第2回)
日時：令和2年12月21日(日)10:00~12:00 場所：鹿児島県庁7階7-1-1会議室・オンライン会議	日時：令和3年2月24日(水)13:30~15:30 場所：サンブラザ天文館3階D-3会議室・オンライン会議
議事次第	会次第
1. 開会 2. 挨拶 3. 協議会設置について 4. 会長選出 5. 議事 (1) 今年度実証事業の説明 (2) 竹の混焼試験経過報告 (3) 質疑応答、意見交換 (4) 今後の予定について (5) その他 6. 閉会	1. 開会 2. 挨拶 3. 議事 (1) 混焼試験結果報告 (2) 竹のサンプリング・工業分析結果報告 (3) 実証結果の普及方策 (4) 質疑応答、意見交換 (5) その他 4. 閉会
資料1：公募時MRI提出資料（技術提案書） 資料2：鹿児島県燃焼試験報告書（速報） 資料3：バンブーエナジー株式会社紹介パンフレット	資料1：本協議会 投影資料 資料2：バンブーエナジー社 実験報告 資料3：第1回協議会 議事概要

## 協議会用のネットワーク構成

- 新型コロナの影響を考慮し、2回の協議会をリモート形式とリアル形式のハイブリッド形式で実現した。

