

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

令和4年3月15日

株式会社 森のエネルギー研究所

東京都羽村市小作台1-4-21 KTDキョーワビル小作台 3F

TEL : 042-578-5130

HP : <http://www.mori-energy.jp/>

目次

はじめに	．．．．．P3
本報告書の方向性	．．．．．P4
事業目的/連携事業者/業務フロー	．．．．．P5
スケジュール	．．．．．P6
1. 県内発電施設での混合燃焼試験	．．．．．P7
1-1. 原料	
1-2. 発電所の概要	
1-3. 混合燃焼試験の結果	
2. 燃焼試験使用材料の成分分析	．．．．．P13
2-1. 集計結果	
2-2. 分析試験結果報告書	
2-3. 各チップの写真	
3. 実証試験材料の調達管理	．．．．．P17
3-1. 調達・チップ化・搬送	
3-2. 保管とボイラー投入	
4. 実証試験データの結果分析	．．．．．P19
4-1. 燃焼灰	
4-2. 肥料成分	
4-3. 溶出試験	
4-4. 排ガス計測	
4-5. 総括	
5. 各事業者からのコメントや課題など	．．．．．P33
5-1. 得られた知見とコメントなど	
5-2. 導入可能性と課題や方策など	
6. 協議会運営など	．．．．．P36
6-1. 委員名簿	
6-2. 協議会会次第	
7. まとめ	．．．．．P38

2021年3月15日に報告されている「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」によると、ORC方式の木質バイオマス発電所（他県）での混焼において、竹を3割混焼した結果、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することが確認できたとされている。

本業務では更なる竹のエネルギー利用の可能性を追求すべく、木質バイオマス発電の中でも最も一般的な蒸気タービン方式で竹の混焼試験を行うことにより、県内でも竹のバイオマス発電所での利用可能性について検討する。

以下に本報告書の構成を示す。

はじめに、第1章では、今回の混合燃焼試験を行った県内発電施設について記載する。ここでは、竹チップなどの原料の種類や量・比率などの他、発電施設の構成機器やフローシート、試験時の炉内圧力や温度、発電量などの運転データなどを記述する。

次に、第2章では、燃焼試験に使用したチップ（竹、杉、バーク）の成分分析の結果を示す。今回の成分分析の結果に加えて、2020年度の「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」に掲載されているチップの成分分析の結果も併記する（以降、2021年度の本報告書の結果を今回、2020年度の上記の報告書の結果を前回、と各々記述する）。

第3章では、これらのチップの調達管理方法について記載する。

第4章では、混合燃焼試験の結果をまとめる。燃焼灰（炉床灰、飛灰）の成分分析結果、同肥料成分の分析結果、同溶出試験結果を示す。また、試験時における排ガス計測結果も示す。これらにチップの成分分析結果を合わせて、今回の混合燃焼試験の総括をまとめる。なお、上記の分析結果については、計量証明書も掲載することとする。

第5章には、各事業者からのコメントや課題などをまとめる。

第6章には、協議会運営に関する委員名簿と2回の協議会会次第を添付し、第7章にまとめを記す。

本報告書の方向性について記載する。

◆2020年度の報告書「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」では、得られた排ガスや灰の分析結果から「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」ことが確認された、と総括している。

◆2021年度の報告書では、

- ① 原料、灰及び排ガスの分析結果について、2020年度の結果と比較する。
→ 2020年度の分析結果と同程度または低い場合、2020年度と同様に想定して、上記の問題を抑制できるであろう、と結論付ける。
- ② プラント運転データ（温度、炉内圧力、発電量など）の動きを確認する。
→ 竹チップの投入/非投入によりプラント運転データの動きに大きな差異がないこと、また、竹チップの投入時にプラント運転データが安定していることを確認することで、燃焼状態に大きな変化はないと考え、局所的な温度上昇や灰付着なども発生せず、上記の問題は発生しないだろう、と結論付ける。

第2章及び第4章において、分析結果と運転データについて結果を記述する。

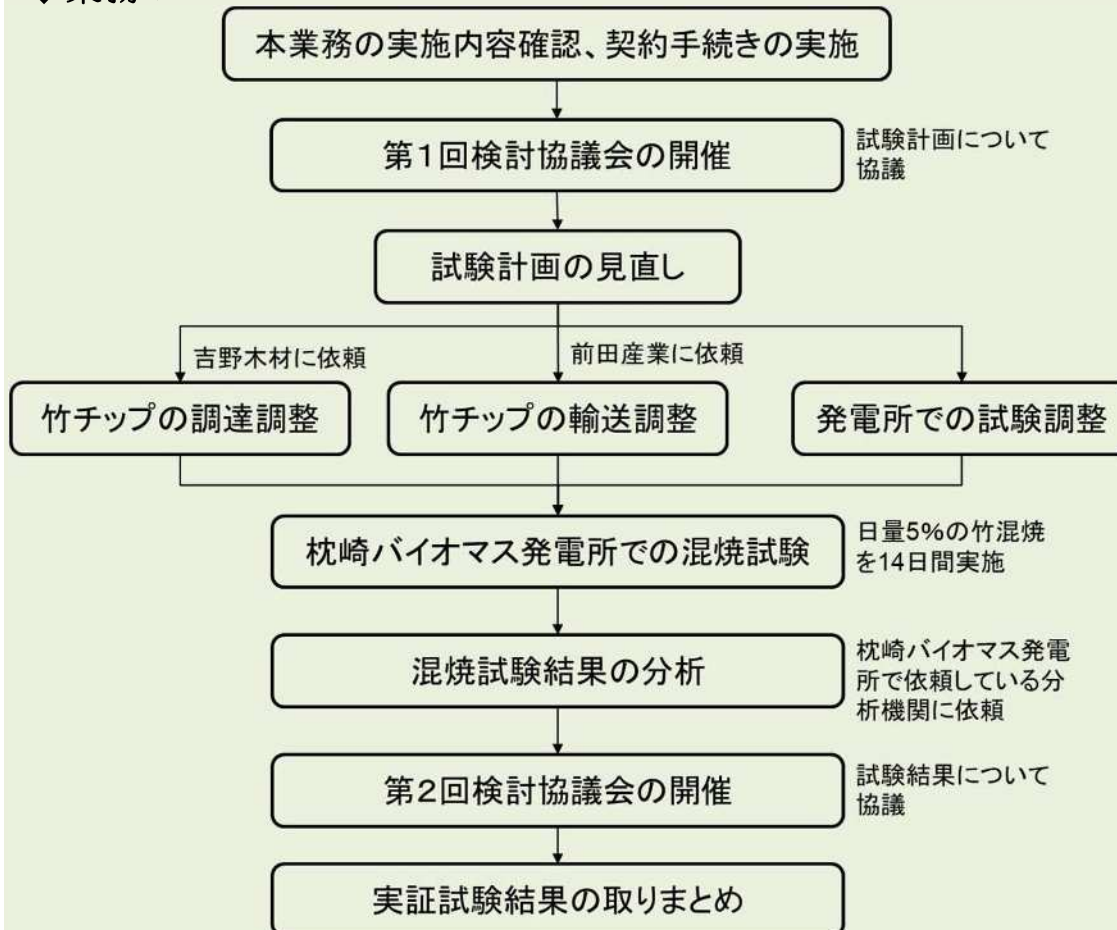
◆事業目的

鹿児島県において、導入を検討する既存及び新規のバイオマス発電所での(竹由来のバイオマスの)適正な混合燃焼割合を明確にするため、県内の既存発電所での混合燃焼試験と成分分析及び結果分析を実施する。

◆連携事業者

- ・混合燃焼試験
枕崎バイオマスエネルギー合同会社(MBE)
- ・バーク及び未利用材のチップ化
枕崎バイオマスリソース合同会社(MBR)
- ・竹チップの調達
吉野木材有限会社
- ・竹チップの輸送
前田産業株式会社

◆業務フロー



スケジュール

- ・本業務のスケジュールを以下に示す。

項 目	年	2021				2022											
	月	12				1			2			3					
(1) 県内発電施設での混合燃焼試験																	
・実証試験関係者打合せ									1/11に実施								
・実証試験用燃料調達																	
・実証試験実施													2/1~2/11				
(2) 燃焼試験使用材料の成分分析（カロリー、水分、灰分、元素構成等）																	
・竹、バーク、チップの成分分析													サンプリング後、成分分析	分析結果の考察			
(3) 実証試験材料の調達管理																	
・竹の調達、チップ化																	
・竹チップの搬送、管理																	
(4) 実証試験データの結果分析																	
・発電施設の運転データ採取と比較											通常時	実証試験時	通常時				
・実証試験時の排ガス計測と燃焼灰サンプリング																	
・燃焼灰の成分分析														分析結果の考察			
(5) 協議会運転など																	
・実証結果の普及方法の検討																	
・検討協議会の実施									1/24に実施								3/14に実施
・報告書の作成																	
・鹿児島県打合せ																	履行期限:3/15

1. 県内発電施設での混合燃焼試験

1-1. 原料

今回の燃焼試験の原料の投入比率と量を示す。

竹チップを混焼した時間帯は2022/2/1(16:00)~2/11(18:00)の約10日2時間である。

枕崎バイオマス発電所では、通常時、破砕バークを約6割、杉チップを約4割の比率で合計110t/日の燃料を投入している。今回の試験では、竹チップ8t/日(約6%)、破砕バーク70t/日(約61%)、杉チップ39t/日(約33%)を投入した。

投入比率・量		今回	前回
チップ投入期間		2022/2/1(16:00)~ 2/11(18:00)10日2時間	7日間
燃料 構成 *1	竹	6.3 %(5%)	30.0 %
	バーク	60.9 %(60%)	50.0 %
	杉	32.8 %(40%)	20.0 %
1日当 りの投 入量 *2	竹	8 t	
	バーク	70 t	
	杉	39 t	
	合計	117 t	
総投入 量	竹	81 t	126 t
	バーク	786 t	210 t
	杉	424 t	84 t
	合計	1,291 t	420 t
1日平均		117 t/日	56 t/日
1時間平均		4.87 t/時間	2.33 t/時間

*1 : ()内は当初の予定値。*2 : 2022/2/2~2/10の平均

通常時 MBE	バーク	63 t/日(2022/1の平均)	59%
	杉	44 t/日(同上)	41%
	合計	107 t/日(同上)	100%

1. 県内発電施設での混合燃焼試験

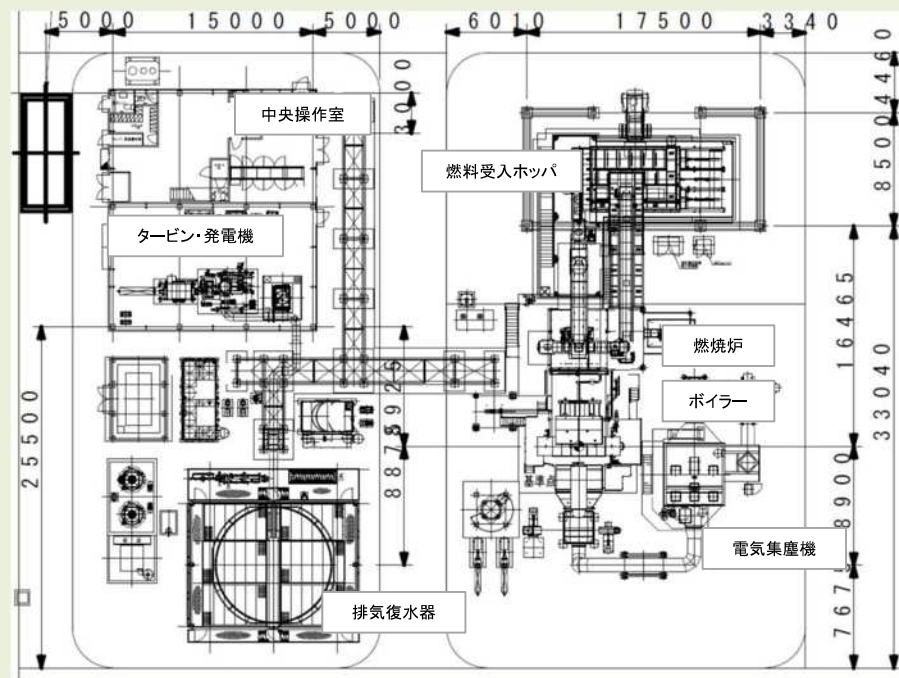
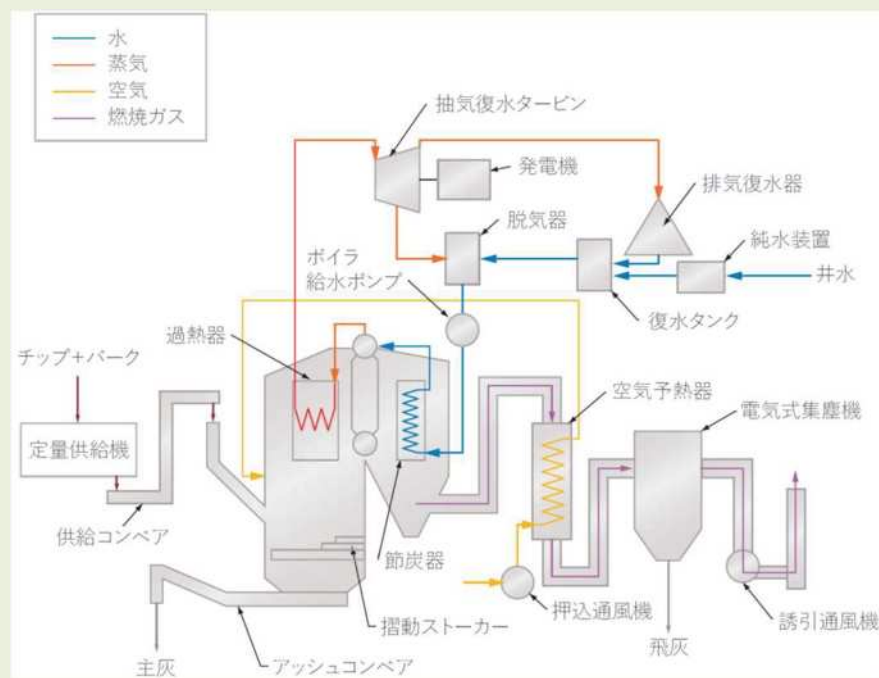
1-2. 発電所の概要

(1) 発電施設の構成機器と配置

今回の混合燃焼試験は、枕崎バイオマスエネルギー合同会社の「枕崎バイオマス発電所」で実施した。本施設は、2020年10月1日より九州電力へ売電を開始しており、発電所出力は1990kWである。

燃焼炉は多段摺動とトラベリングストロカを併用するコンビネーション燃焼装置で水分の多い低質燃料に対応でき、ボイラーは二胴自然循環式水管ボイラーで最大使用圧力4.8MPa、最大蒸発量13t/h、抽気復水式の蒸気タービンで構成されている。

以下に主要な構成機器と配置を示す。

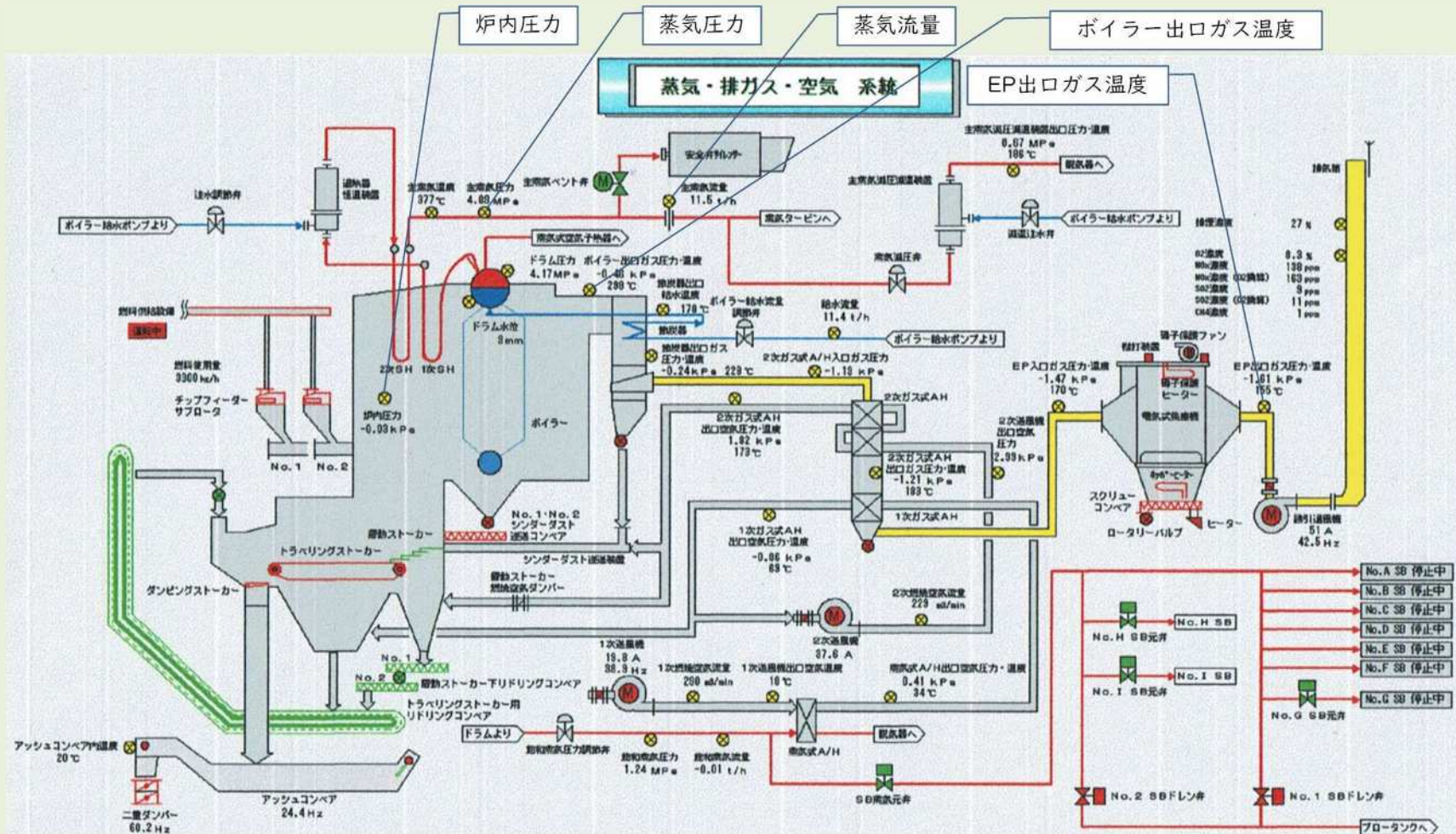


1. 県内発電施設での混合燃焼試験

1-2. 発電所の概要

(2) ボイラー周りのフローシート

枕崎バイオマス発電所のボイラー周りのフローシートを示す。また、後述する試験結果で示すトレンド内の信号（圧力や温度など）を以下のフローシートで明示する。

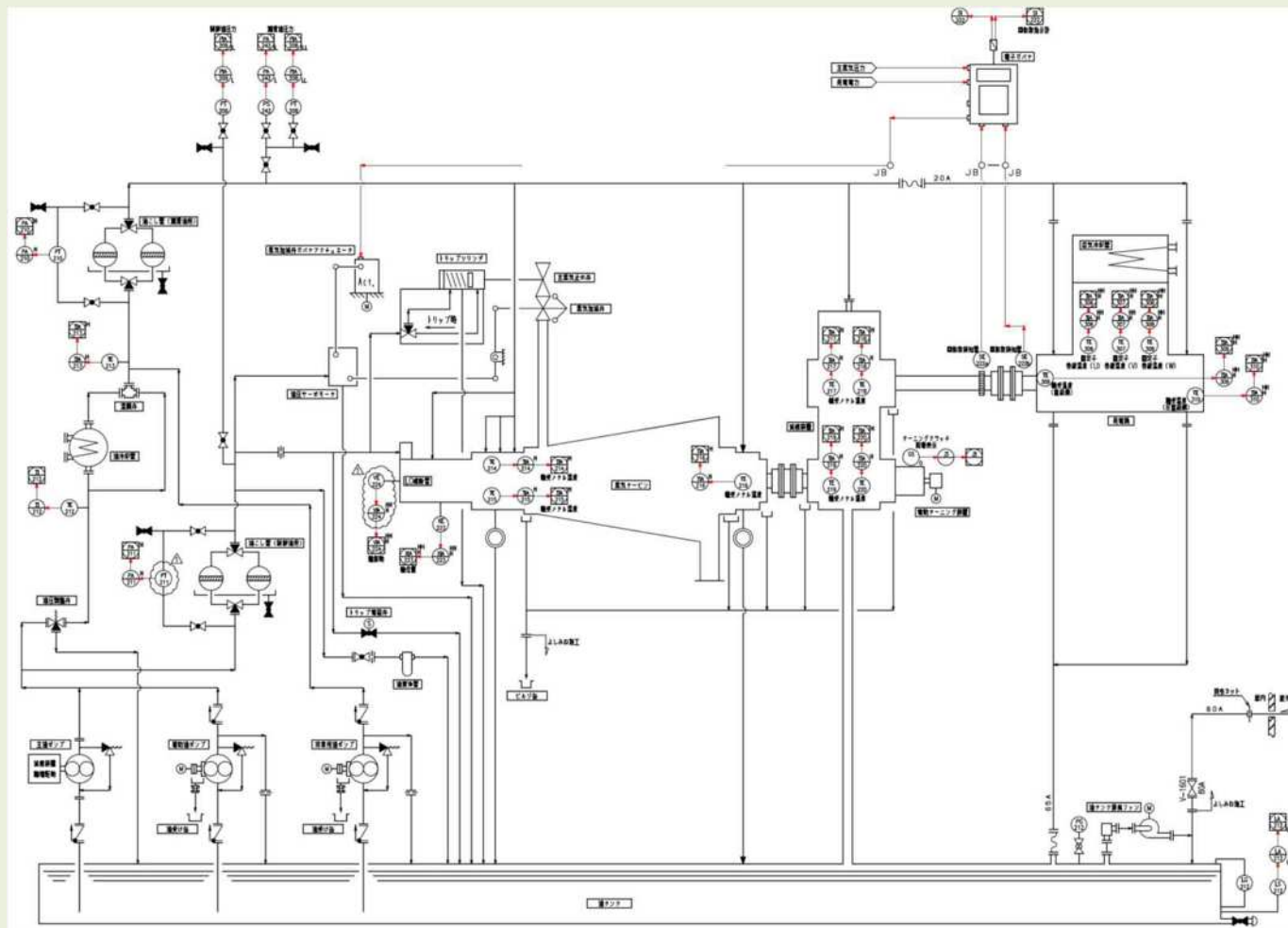


1. 県内発電施設での混合燃焼試験

1-2. 発電所の概要

(3) 発電機周りのフローシート

枕崎バイオマス発電所の発電機周りのフローシートを示す。



1. 県内発電施設での混合燃焼試験

1-2. 発電所の概要

(4) 発電所の外観

発電所の外観を示す。



写真(右)燃焼炉、
ボイラー、EP等



写真(左側)全体外観
写真(右側)燃料受入用
ホッパ



1. 県内発電施設での混合燃焼試験

1-3. 混合燃焼試験の結果

竹チップ投入期間=2/1(13:55)~2/11(14:45)、竹チップ燃焼期間=2/1(16:00)~2/11(18:00)における燃焼状態について以下にまとめる。

(各所温度)

- ・ ボイラー出口ガス温度が安定しているため、炉内の燃焼温度もある程度安定していると考えられる。

(炉内圧力など)

- ・ 炉内圧力が安定しているため、炉内の燃焼温度も安定していると考えられる(*)。

*：燃料がバイオマスであるため、発生する熱量が変動し、そのため、発電機に入ってくる蒸気流量も変動します。発電機は出力を安定させるため、発電機に入れる蒸気流量を制御し、これにより、蒸気圧力が変動します。この蒸気圧力を見て、燃料の供給量を制御します。発電量が多い場合は蒸気流量を絞るため、蒸気圧力が高くなり、これに従い燃料の供給量を落とします。燃料の供給量（発熱量）の制御が上手く行われているときは、炉内の燃焼状態も安定し、炉内圧力も安定します。

(発電量など)

- ・ 発電量関連データも安定している。

2. 燃焼試験使用材料の成分分析

2-1. 集計結果

◆ 原料成分

- ・各々の原料を前回と今回を比較すると、含水率から塩素まで、大きな差は見られない。
- ・竹チップのナトリウム含有量が前は10mg/kgだったが今回は430mg/kgと高かった(平均値では前回320mg/kgに対して今回270mg/kgと低い)。他の元素の含有量は大きな差は見られない。
- ・灰溶融に影響を与える竹チップのカリウムは前回より低く、塩素は前回同様0.2~0.3%でバークのカルシウムが前回より高いことから、混焼時に高軟化点化が期待できる。

原料成分		今回			前回			今回の試験方法	平均値	
		竹チップ	バーク	杉チップ	竹チップ	バーク	杉チップ		今回	前回
分析項目	単位	2022/2/1	2022/2/1	2022/2/1	-	-	-	分析方法	2022/2/1	-
含水率	%	35.8	45.7	50.6	41.1	54.8	62.1	JIS Z 7302-3	47.1	52.2
灰分	%	1.0	5.3	0.4	1.2	5.7	0.2	JIS Z 7302-4	3.2	3.3
揮発分	%	80.2	73.9	81.1	75.7	65.5	77.7	JIS M 7302-7	76.9	71.0
高位発熱量	kJ/kg	19,500	19,000	20,000	19,820	19,820	20,650	JIS Z 7302-2	19,405	19,986
	kcal/kg	4,654	4,535	4,773	4,730	4,730	4,928		4,631	4,770
低位発熱量	kJ/kg	18,000	17,500	18,500	18,420	18,590	19,250	JIS Z 7302-2	17,905	18,671
	kcal/kg	4,296	4,177	4,415	4,396	4,437	4,594		4,273	4,456
炭素	%	50.46	49.37	52.06	50.30	51.70	52.10	JIS Z 7302-8	50.45	51.36
水素	%	6.19	5.61	6.25	6.20	5.45	6.15	JIS Z 7302-8	5.88	5.82
窒素	%	0.23	0.47	0.12	0.20	0.58	0.12	JIS Z 7302-8	0.33	0.37
硫黄	%	0.020	0.050	0.01未満	0.030	0.056	0.008	JIS Z 7302-7	0.03	0.04
塩素	%	0.230	0.040	0.01未満	0.228	0.020	0.001	JIS Z 7302-6	0.04	0.08
ナトリウム	mg/kg	430	270	250	10	630	10未満?	ISO 16967 相当	270	320
カリウム	mg/kg	4,300	1,400	970	5,800	1,600	700	ISO 16967 相当	1,374	2,680
カルシウム	mg/kg	240	14,000	2,000	200	9,030	1,020	ISO 16967 相当	8,773	4,779
ケイ素	mg/kg	2,400	14,000	66	890	10,100	40	JIS Z 7302-5相当	8,139	5,325
亜鉛	mg/kg	9.2	18.0	2.1	12.0	32.7	1.5		11.52	20.25

2. 燃焼試験使用材料の成分分析

2-2. 分析試験結果報告書（竹チップ、杉チップ）

分析試験結果報告書

No. oZ2100699-001

枕崎バイオマスエナジー 合同会社 様 2022年 2月 19日

計量証明事業登録第82号
株式会社 東洋環境分析センター
福岡県福岡市博多区中村町三丁目5番10号
Tel 092-588-7550 092-588-7751

受付日	2022年 2月 1日	受付方法	受取
採取日	2022年 2月 1日	時刻	-
天候	-	温度	-
検査期間	2022年 2月 1日 ~ 2022年 2月 19日		
採取者	依頼者		
試料名	竹チップ	外観	- 臭気 -
採取場所	枕崎バイオマスエナジー 合同会社		

御依頼されました試料の検査結果を下記により報告致します。

分析項目	単位	分析の結果	分析の方法
含水率 (水分)	%	35.8	JIS Z 7302-3
灰分	%	1.0	JIS Z 7302-4
揮発分	%	80.2	JIS M 8812-7
高位発熱量	KJ/kg	19500	JIS Z 7302-2
低位発熱量	KJ/kg	18000	JIS Z 7302-2
炭素	%	50.46	JIS Z 7302-8
水素	%	6.19	JIS Z 7302-8
窒素	%	0.23	JIS Z 7302-8
硫黄	%	0.02	JIS Z 7302-7
塩素	%	0.23	JIS Z 7302-6
ナトリウム	mg/kg	430	ISO 16967 相当
カリウム	mg/kg	4300	ISO 16967 相当
カルシウム	mg/kg	240	ISO 16967 相当
ケイ素	mg/kg	2400	ISO 16967 相当
亜鉛	mg/kg	9.2	JIS Z 7302-5 相当
		-以下余白-	

水分以外の結果は、乾物当たりの数値を示す。

備考

分析試験結果報告書

No. oZ2100699-002

枕崎バイオマスエナジー 合同会社 様 2022年 2月 19日

計量証明事業登録第82号
株式会社 東洋環境分析センター
福岡県福岡市博多区中村町三丁目5番10号
Tel 092-588-7550 092-588-7751

受付日	2022年 2月 1日	受付方法	受取
採取日	2022年 2月 1日	時刻	-
天候	-	温度	-
検査期間	2022年 2月 1日 ~ 2022年 2月 19日		
採取者	依頼者		
試料名	杉チップ	外観	- 臭気 -
採取場所	枕崎バイオマスエナジー 合同会社		

御依頼されました試料の検査結果を下記により報告致します。

分析項目	単位	分析の結果	分析の方法
含水率 (水分)	%	50.6	JIS Z 7302-3
灰分	%	0.4	JIS Z 7302-4
揮発分	%	81.1	JIS M 8812-7
高位発熱量	KJ/kg	20000	JIS Z 7302-2
低位発熱量	KJ/kg	18500	JIS Z 7302-2
炭素	%	52.06	JIS Z 7302-8
水素	%	6.25	JIS Z 7302-8
窒素	%	0.12	JIS Z 7302-8
硫黄	%	0.01 未満	JIS Z 7302-7
塩素	%	0.01 未満	JIS Z 7302-6
ナトリウム	mg/kg	250	ISO 16967 相当
カリウム	mg/kg	970	ISO 16967 相当
カルシウム	mg/kg	2000	ISO 16967 相当
ケイ素	mg/kg	66	ISO 16967 相当
亜鉛	mg/kg	2.1	JIS Z 7302-5 相当
		-以下余白-	

分析の結果欄に未満と表示されている数値は定量下限値を示す。
水分以外の結果は、乾物当たりの数値を示す。

備考

2. 燃焼試験使用材料の成分分析

2-2. 分析試験結果報告書 (パークチップ)

分析試験結果報告書

No. oZ2100699-003

枕崎バイオマスエナジー 合同会社 様 2022年 2月 19日

計量証明事業登録第82号
株式会社 東洋環境分析センター
福岡県福岡市博多区博多駅前3丁目5番10号
Tel 092-588-7751 092-588-7751

受付日	2022年 2月 1日	受付方法	受取
採取日	2022年 2月 1日	時刻	-
天候	-	温度	-
検査期間	2022年 2月 1日 ~ 2022年 2月 19日		
採取者	依頼者		
試料名	パークチップ	外観	- 臭気 -
採取場所	枕崎バイオマスエナジー 合同会社		

御依頼されました試料の検査結果を下記により報告致します。

分析項目	単位	分析の結果	分析の方法
含水率 (水分)	%	45.7	JIS Z 7302-3
灰分	%	5.3	JIS Z 7302-4
揮発分	%	73.9	JIS M 8812-7
高位発熱量	KJ/kg	19000	JIS Z 7302-2
低位発熱量	KJ/kg	17500	JIS Z 7302-2
炭素	%	49.37	JIS Z 7302-8
水素	%	5.61	JIS Z 7302-8
窒素	%	0.47	JIS Z 7302-8
硫黄	%	0.05	JIS Z 7302-7
塩素	%	0.04	JIS Z 7302-6
ナトリウム	mg/kg	270	ISO 16967 相当
カリウム	mg/kg	1400	ISO 16967 相当
カルシウム	mg/kg	14000	ISO 16967 相当
ケイ素	mg/kg	14000	ISO 16967 相当
亜鉛	mg/kg	18	JIS Z 7302-5 相当
		—以下余白—	
備考	水分以外の結果は、乾物当たりの数値を示す。		

2. 燃焼試験使用材料の成分分析

2-3. 各チップの写真



竹チップのヤード



竹チップ



竹チップをバーク破砕機に投入



チップヤード
(左側：竹チップと破砕バーク
右側：杉チップ)



竹チップと破砕バーク



杉チップ

3. 実証試験材料の調達管理

3-1. 調達・チップ化・搬送



吉野木材様での竹のチップ化

実証試験で使用する竹チップは、竹チップの生産実績が豊富な吉野木材有限公司（以下、吉野木材）から調達した。吉野木材は中越パルプ工場株式会社の専属チップ工場で、中越パルプ工場で生産している竹紙の原料を供給している。

原料については吉野木材が従前から行っている竹材調達の仕組みによって集荷したものをを用いて、チップ化したものを調達した。竹チップ製造の様子を左に示す。

生産された竹チップは前田産業株式会社（以下、前田産業）によって、今回の実証試験地に搬送された。前田産業は木質チップの運送において実績が豊富である上、今回実証試験に協力いただいた枕崎バイオマスリソースの事業主体であり、搬送後の燃料の管理や加工についてもスムーズな試験実施が可能である。

3. 実証試験材料の調達管理

3-2. 保管とボイラー投入

今回の試験に際して、枕崎バイオマス発電所内に持ち込まれた竹チップはバーク保管庫に一時保管された。バーク保管庫は4つに仕切られているが、その一画で竹チップを保管した。

今回の実証試験では燃料に対して5%程度の竹チップの混焼を行ったが、枕崎バイオマス発電所では燃料ホッパにはホイルローダーで投入されており、燃料投入時の調整が難しかったため、あらかじめバークと竹チップを混ぜた燃料を製造した。具体的にはバークを粉砕機で加工する際に一定の割合で竹チップを粉砕機に投入し、バークと竹チップの混合燃料とした上で、チップストックヤードに運ばれる。

その後は通常運転されている通り、一定の割合でチップストックヤードから杉のチップと（竹チップ入り）バークチップを投入した。枕崎バイオマス発電所の全景を右写真に示す。

