

# 薪乾燥システムの開発(2) 普及に向けての改良

NPO法人九州バイオマスフォーラム

理事長 薬師堂 謙一

事務局長 中坊 真



ウッドバッグ



ロールパレット



メッシュパレット

# 試験の実施場所(熊本県阿蘇市)と気候の特徴

月\年	2016	2017	2018	2019	2020
1	91	90	129	56	133
2	110	169	68	187	225
3	72	124	176	186	128
4	312	307	218	149	71
5	311	200	363	67	222
6	1062	282	548	458	937
7	560	593	472	562	1149
8	140	240	95	502	58
9	443	351	408	123	268
10	289	353	83	66	84
11	138	81	79	43	87
12	183	31	87	129	///
合計	3708	2819	2723	2526	3359

月ごとの降水量(mm)

2018年 1~12月	年間降水量 (mm)	日照時間 (h)
熊本県阿蘇乙姫	2722.5	1771.3
長野県松本	1048.0	2347.5
青森県三戸	1346.0	1756.7
群馬県草津	1575.0	1889.0
福島県郡山	836.5	2058.9



キノコとカビの発生

## 目的・理念

1. 電気、ガス、水道に次ぐ地域社会インフラとして「薪産業」を育てる
2. 品不足を発生させない**量の確保**と、含水率が十分低い乾燥薪の**質の確保**が重要
3. 農研機構の木質チップの乾燥技術を応用。シンプル・コンパクト・安価な薪乾燥システムを開発。



前年度成果を生かし、次の点を追加

### ①汎用性・普及性の向上

薪の乾燥特性の追加実験、簡易送風機による乾燥効率向上、ウッドバッグ以外の保管器具に対応

### ②安全性、操作性の向上

排ガス分析とクリーン燃焼の達成、システム制御の高度化

# 2019年度 事業成果概要

## 温風乾燥システムの開発



- ・薪製造工程で発生するバークや木くずなどを燃料とした木くず・薪ボイラーで温水を加温・貯湯。
- ・貯湯タンクのお湯から熱交換器で温風を発生し、ウッドバッグの薪を下部から乾燥。
- ・8時間のボイラー運転で、最長20時間の連続温風乾燥が可能となった。



### 新たな課題

- ・黒煙の発生、メンテナンス性(クリーン燃焼技術)
- ・耐久性(ウォーターハンマー現象) ・操作性 ・コストダウン

# 2020年度 事業概要

## 従来の薪製造方法



原木



薪割



乾燥・保管

天日乾燥 半年～1年



出荷・配達

## 本事業による乾燥技術開発

夏場 1ヶ月 冬場 3～5ヶ月



簡易通風装置 含水率30%以下

本事業による改良

仕上げ乾燥 2～3日



温風乾燥設備 含水率20%以下

- ① 簡易送風機による乾燥効率向上実証試験
- ② 温風乾燥システムの開発・改良
- ③ 薪の乾燥特性試験

# ①簡易送風機による乾燥効率向上実証試験

## ウッドバッグの乾燥効率向上技術(タイマーと湿度制御)



### 通風装置の試作

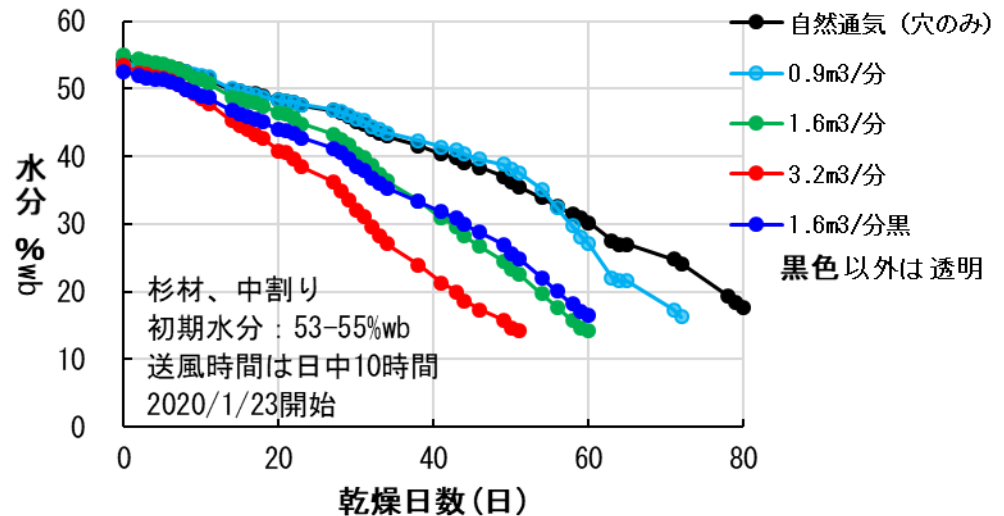
- ・ポリフィルムをかけるのみでは排気量が少なく乾燥速度が遅いので、日中に上部からファンで空気を送り込み薪の乾燥を促進する。
- ・コンピューター用の冷却ファンを使用。風量別の試作例、太陽光パネルの利用も可能。



通風装置の設置状況



- ・ポリフィルムに送風量 $3.2\text{m}^3/\text{分}$ の送風装置を設けることにより、無通気に比べ乾燥能力を2倍にできる。
- ・価格9千円/袋、消費電力30W
- ・送風量が少ないと効果がでない場合がある。



補助送風装置による薪の乾燥促進効果  
(水分20%wbまでのデータを表示)



図 簡易送風装置によるウッドバッグ乾燥試験の配置状況

1: 自然通気、 2: 少量( $0.9\text{m}^3/\text{分}$ )通気 3, 4:  $1.6\text{m}^3/\text{分}$  5, 6:  $3.2\text{m}^3/\text{分}$   
7:  $4.8\text{m}^3/\text{分}$





### 吸引型簡易送風機

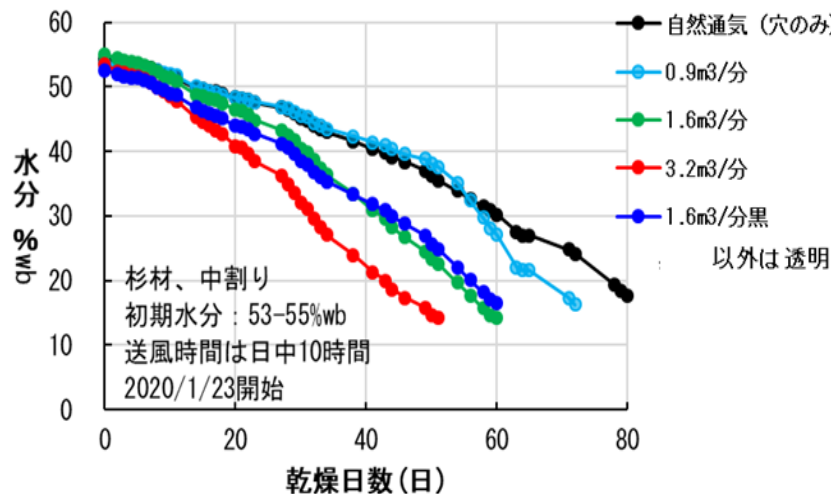
吸引流量: 1.6m<sup>3</sup>/分

外周のカバーは結露水対策、



### 簡易送風機のセット状況

- ・ウッドバッグ上部に塩ビ管とダンポールでドーム形成(日射が薪に最大限当たるようにする)
- ・シート内に簡易送風機を置き、雨風から防御
- ・吸引口は下向きにセット

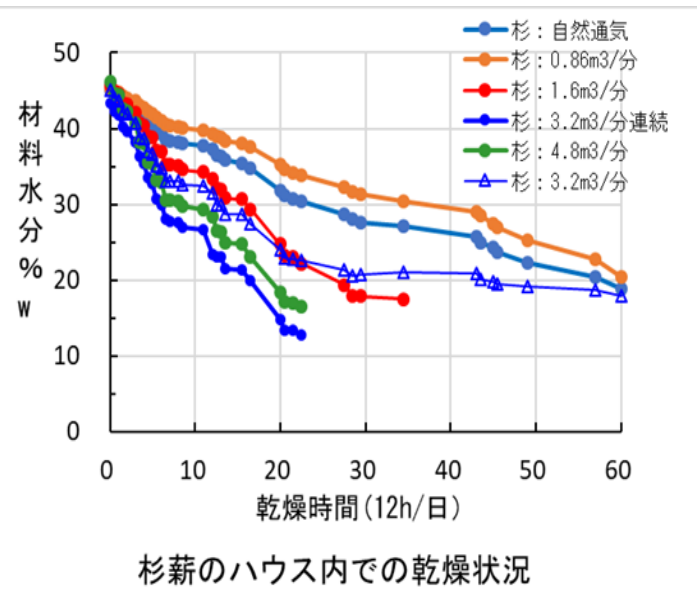


補助送風装置による薪の乾燥促進効果  
(水分20%wbまでのデータを表示)

通気開始1ヶ月間の平均除去水分量  
2020/1/23~2020/2/23 10時間送風  
(ハウス内なので屋外春期に相当)

1. 自然通気区: 3.3kg/日
2. 0.9m<sup>3</sup>/分区: 2.9kg/日
3. 1.6m<sup>3</sup>/分区: 5.0kg/日
4. 3.2m<sup>3</sup>/分区: 6.5kg/日
5. 1.6m<sup>3</sup>/分黒: 4.6kg/日

注: 1, 2区の除去水分量の半分程度  
は結露水として除去される。



杉薪のハウス内での乾燥状況

初夏の平均除去水分量  
2020/6/4~8/4 12時間送風  
(雨除けハウス内、屋外と同温度)

1. 自然通気区: 8.1kg/日
2. 0.9m<sup>3</sup>/分区: 6.4kg/日
3. 1.6m<sup>3</sup>/分区: 12.7kg/日
4. 3.2m<sup>3</sup>/分区: 13.8kg/日
5. 3.2m<sup>3</sup>/分連続区: 17.5kg/日
6. 4.8m<sup>3</sup>/分区: 18.2kg/日

タイマーと湿度制御(75%以下で送風)

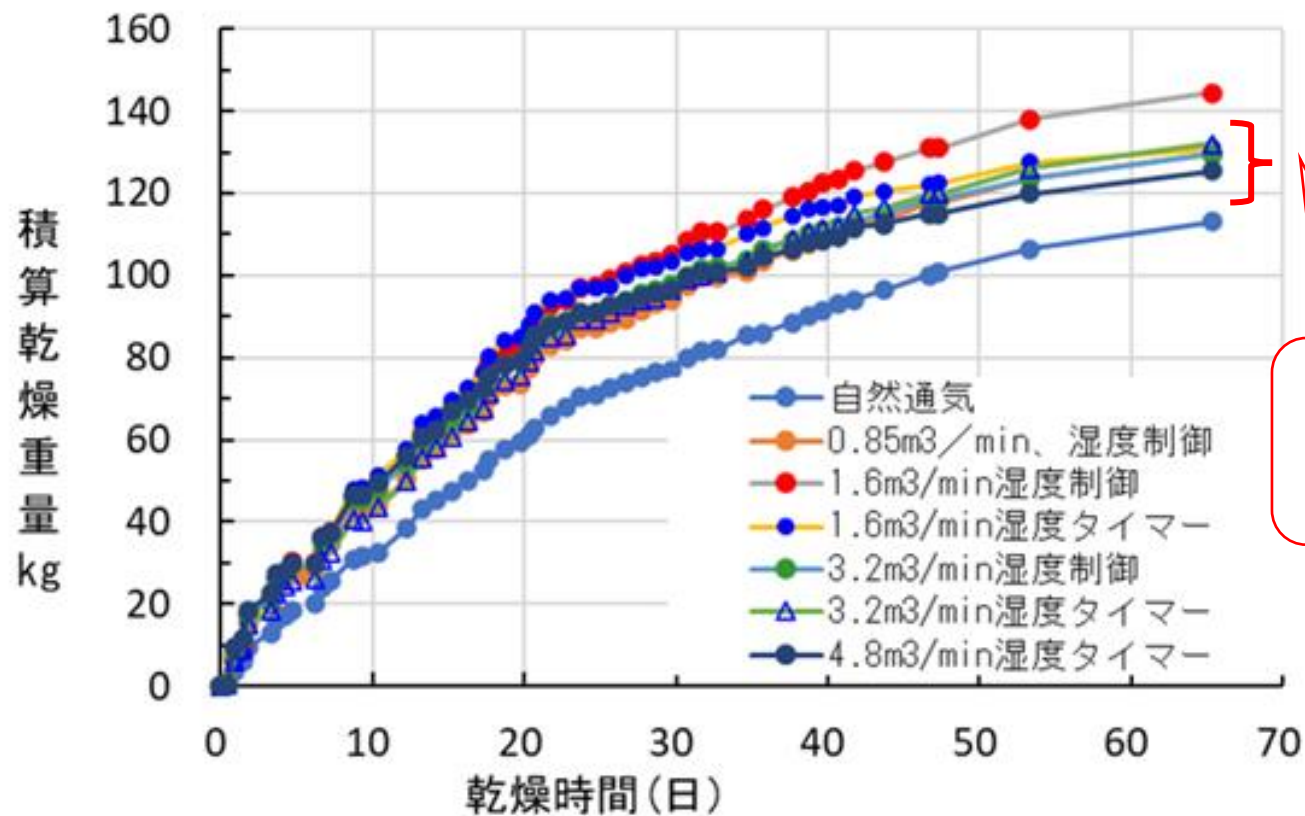
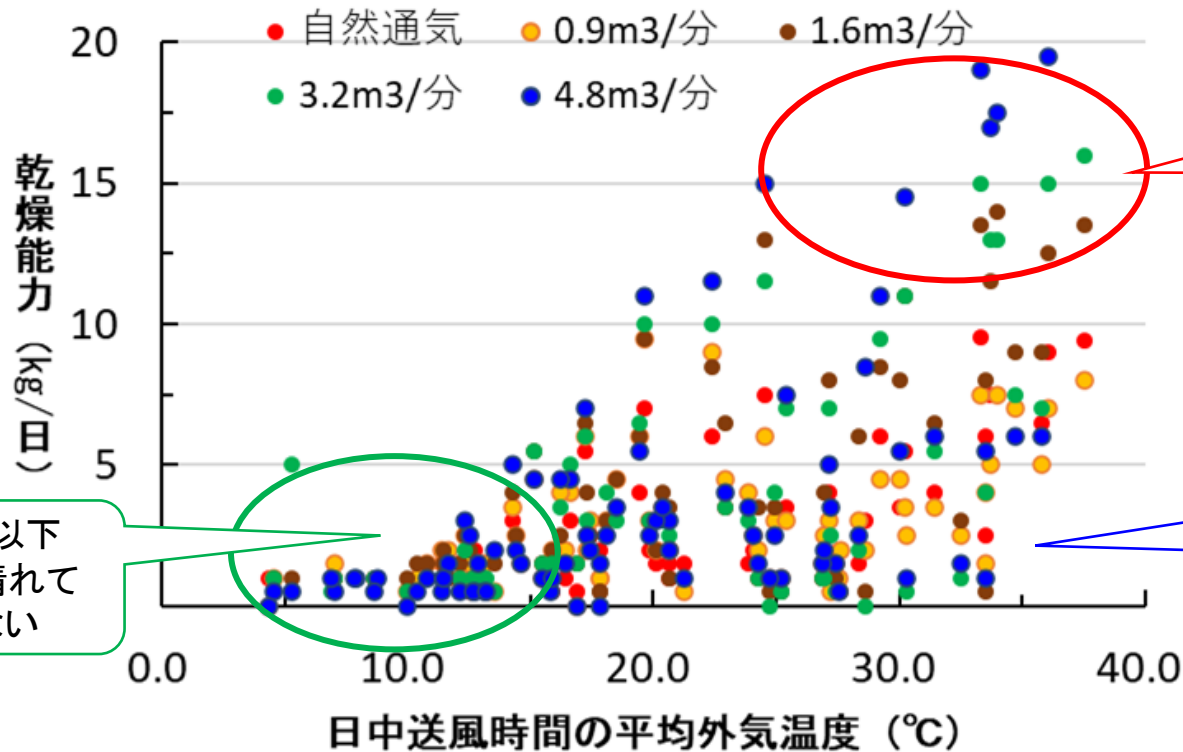


図 広葉樹薪の晩秋から冬期にかけての乾燥状況

2020.10.28スタート  
 寒冷期には風を送りすぎると逆に冷えて薪の乾燥が悪くなる。

# 外気温度と簡易送風装置の乾燥能力の関係



- ・日中の平均外気温度が12~13°Cを境に簡易送風機の乾燥能力が変わる
- ・13°C以上: 乾燥能力は送風量が多いほうが高い  
→ 3.2m<sup>3</sup>/分 ( 2台/袋 運転 )
- ・13°C未満: 乾燥能力は送風量の影響が少ない  
→ 1.6m<sup>3</sup>/分 ( 1台/袋 運転 )

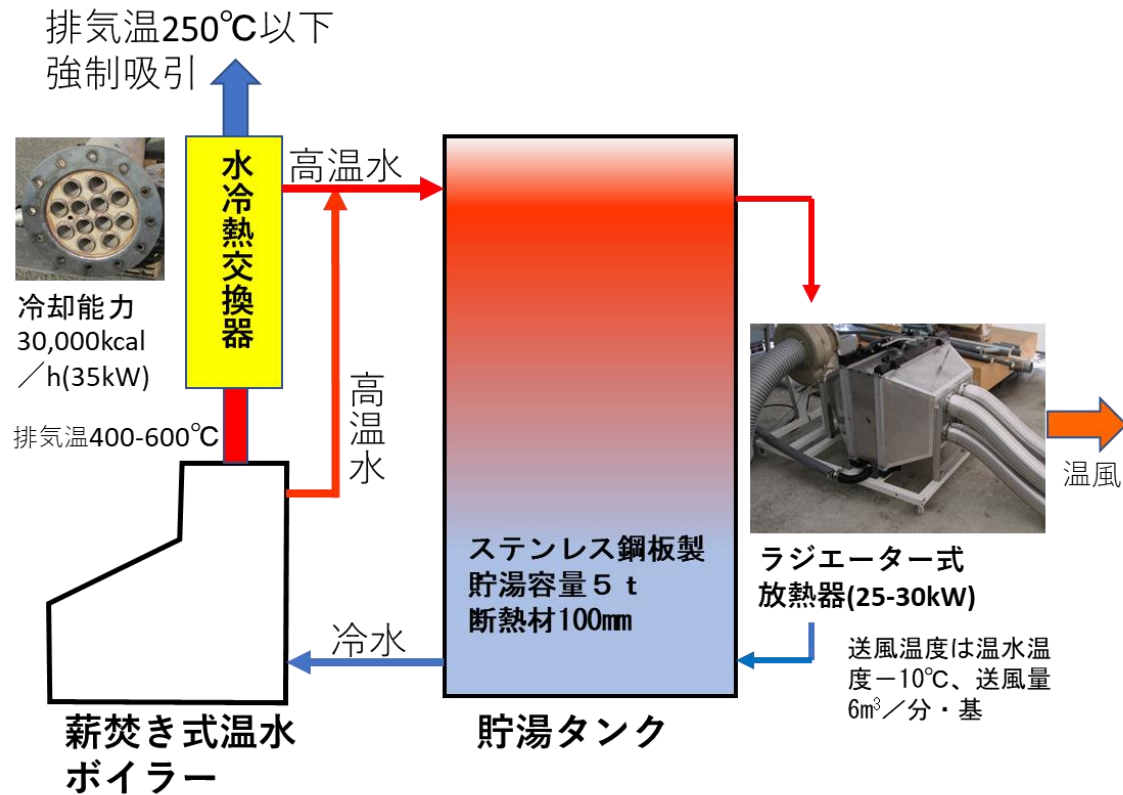
## ②温風乾燥システムの開発・改良

### 燃焼方式の改良

- ・排気中の酸素濃度のモニターと通気量制御(ラムダセンサーとマイコンによる排気ファンのインバーター制御)
- (黒煙の発生防止と燃焼の自動制御化)

### 熱回収量の向上

- ・熱交換能力を58kW(50,000kcal/h)に増強
- ・燃焼温度を500-800°Cに上昇
- ・最大熱回収量116kW(100,000Kcal/h)



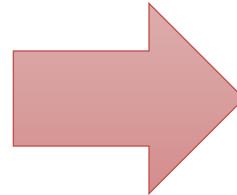
### 強制熱風乾燥システムの低コスト化の検討

- ・FRP製貯湯タンクの利用、薪燃焼部と熱交換部への分離等

# 水熱交換器の変更



水冷熱交換器の容量  
35kW (30,000kcal/時)



水冷熱交換器の容量  
58kW (50,000kcal/時)  
取付位置をボイラー直上へ変更

# 熱回収能力の向上効果

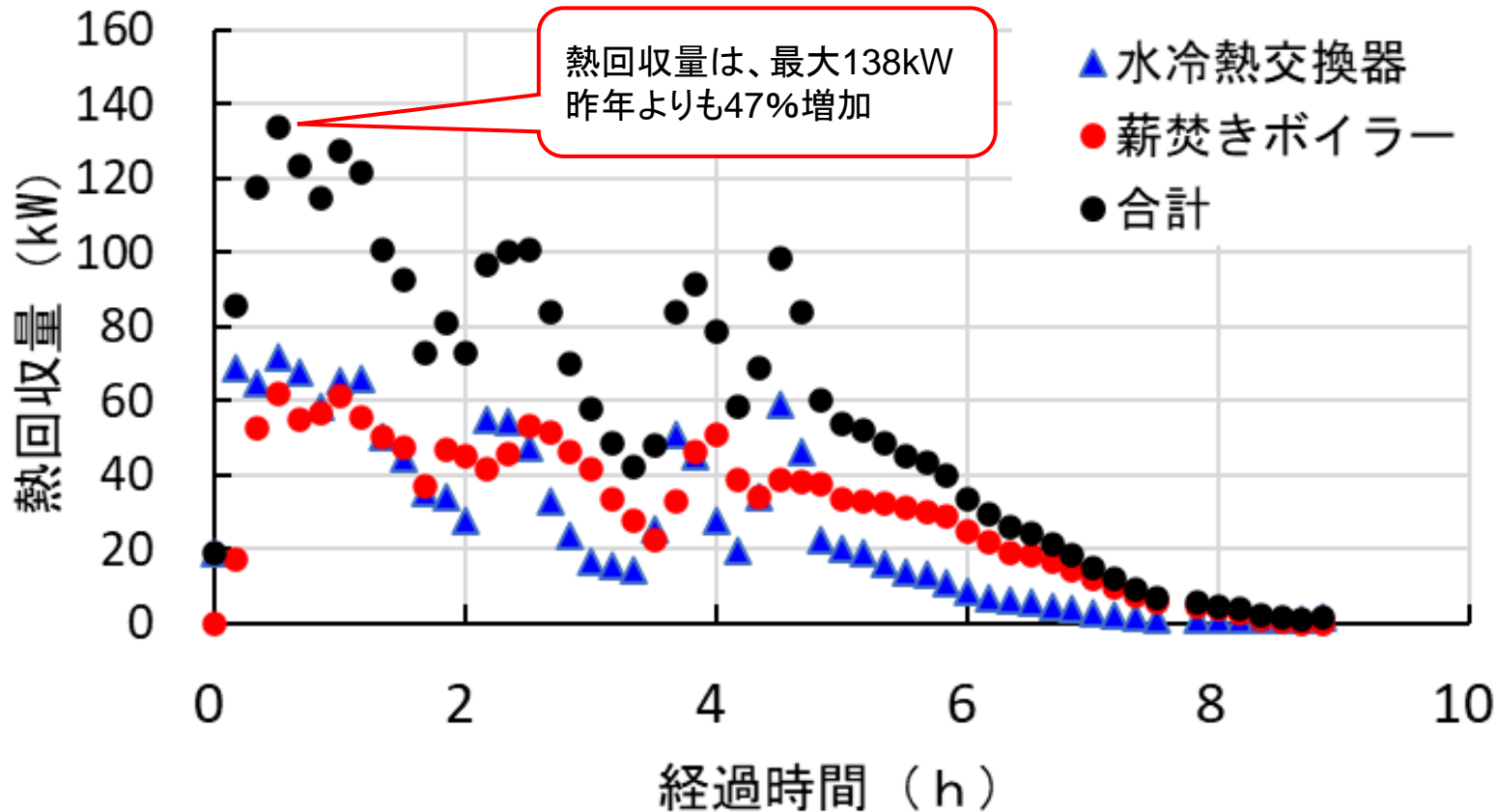
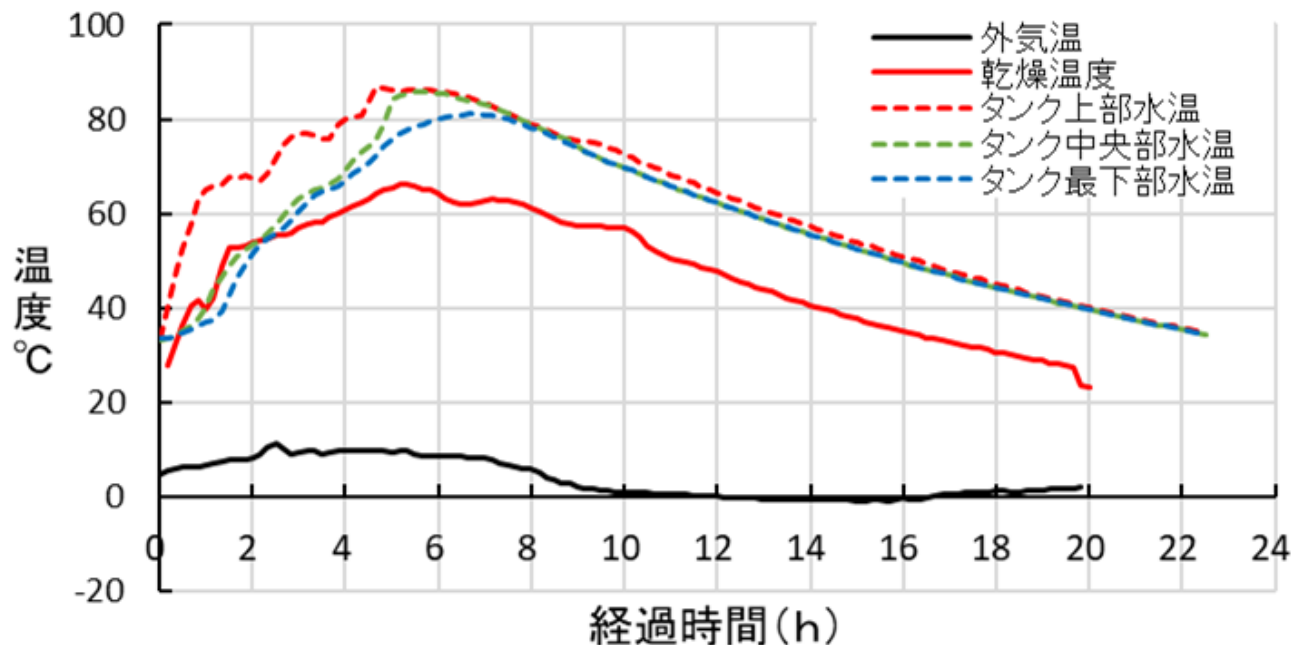


図 熱回収量の経時変化

- ・熱回収量は2019年度の94kWより**47%増**の最大138kW
- ・薪焚きボイラーは10%増の最大63kW(2019年:57kW)
- ・水冷熱交換器は**倍増**の最大72kW(2019年:38kW)

# 貯湯タンク内の水温変化と放熱器の作動状況



- ・熱回収能力が増加したので最初から強燃焼が可能
- ・燃焼開始から約20分で放熱器が作動開始、温度上昇が速い
- ・タンク内水温が80°Cを超えると放熱器の運転時間が20時間以上が可能となり乾燥能力が向上
- ・乾燥温度はタンク上部水温 - 16°C程度を維持

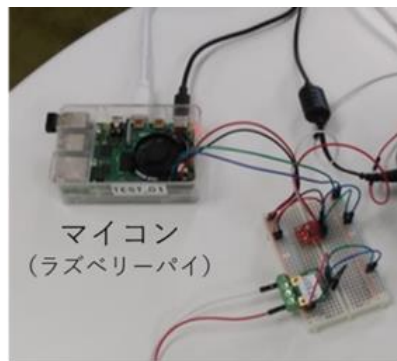
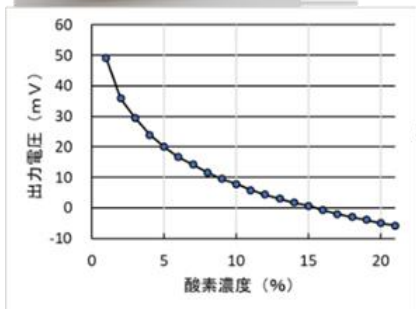


# 補助バーナーの追加と送風量の自動制御化



- ・補助バーナーは薪の着火時のみに使用
- ・着火後は送風のみ

排ガス酸素濃度計



マイコン  
(ラズベリーパイ)



信号  
変換器

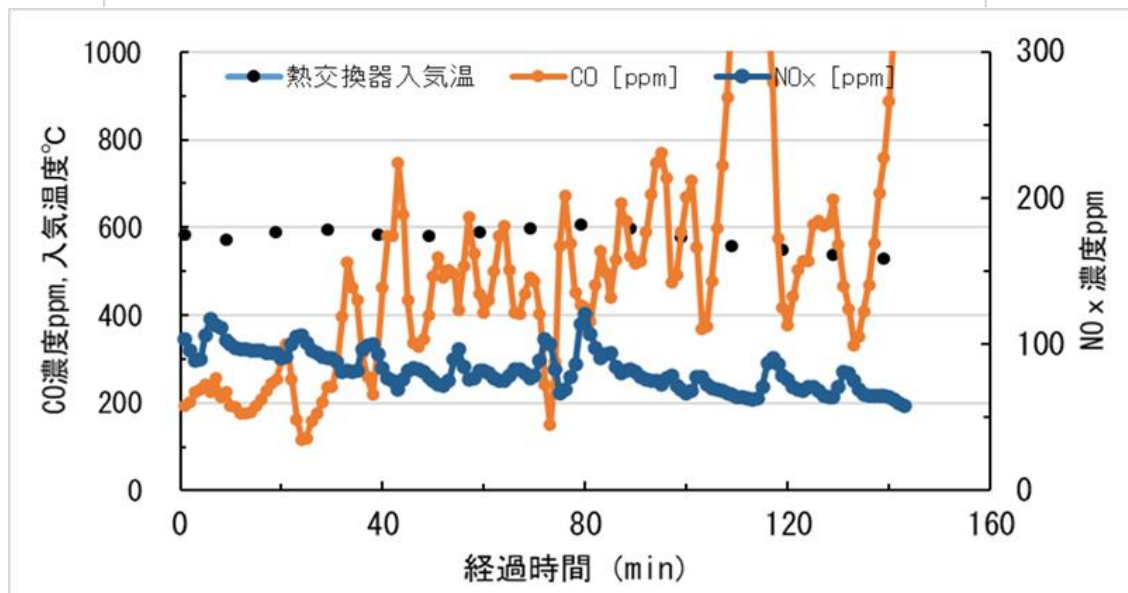
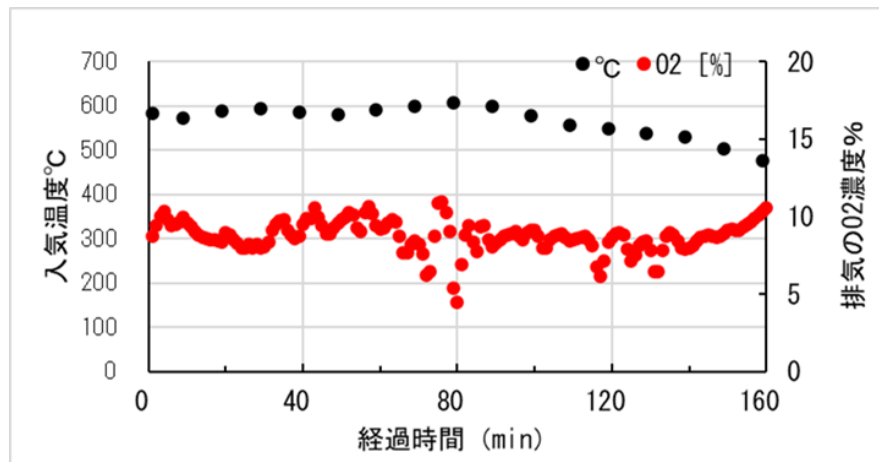
排気ブロウ  
風量のイン  
バータ制御



信号  
変換器

- ・排気中の酸素濃度を5~7% (空気過剰率25~33%) にするよう排気ブロワーの風量を制御する
- ・マイコンにより10秒間隔で排気ブロワーの流量を制御

# 燃焼状況の改善効果



- ・補助バーナーにより**着火時の黒煙が解消**
- ・バーナー消火後の2次燃焼空気送風により**燃焼温度が安定して上昇**（水冷熱交換器への入気温度600°C以上を維持）
- ・**薪追加時の黒煙の解消**、CO濃度低下

# 燃焼制御の改善

1.配電盤の作り直し

2.燃焼制御項目

1)排気ブロワーの流量制御

水冷熱交換器出口温度により3段階制御

高:60Hz、中:45Hz、低:30Hz

2)ATOボイラーの送風機

水冷熱交換器出口温度によりON・OFF制御

350°C以上でOFF,それ以外ON

3)補助バーナーの制御

バーナーと送風を各々手動スイッチで作動

送風はタイマーで停止設定

4)ラジエーター式放熱器の制御

薪の乾燥度合いに応じてポンプ流量と送風量をスイッチで3段階に設定

### ③薪の乾燥基礎試験

樹種、割りサイズ、切断長、乾燥温度別に、1本ずつの乾燥試験を実施する。測定装置は3連で、各々重量変化をビデオ撮影し、薪の通風乾燥特性を明らかにする。

#### ウッドバッグ入り薪の乾燥特性試験

広葉樹の薪について、乾燥温度別(50,60,70)の乾燥試験を実施する。乾燥処理中の重量変化をビデオ撮影し、ウッドバッグ入り薪の通風乾燥特性を明らかにする。



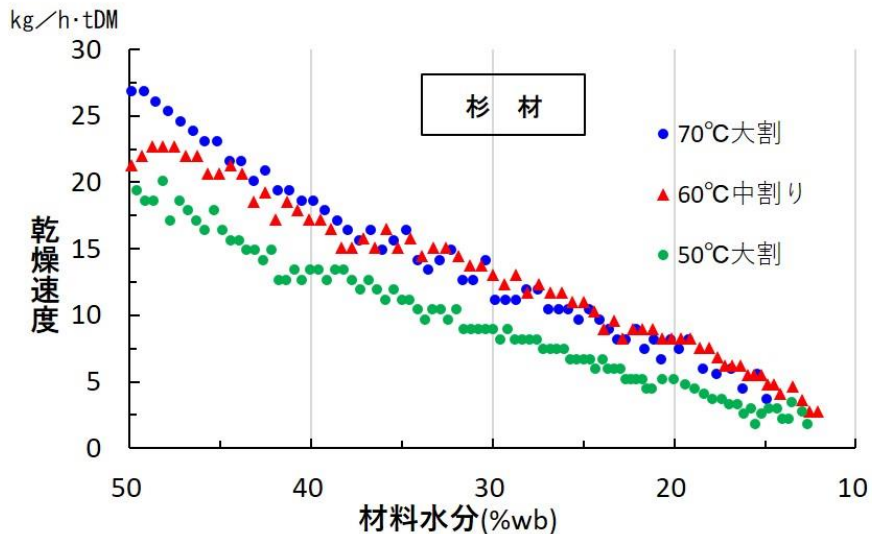
### ③薪の乾燥基礎試験

#### 薪の一本毎の乾燥特性を試験

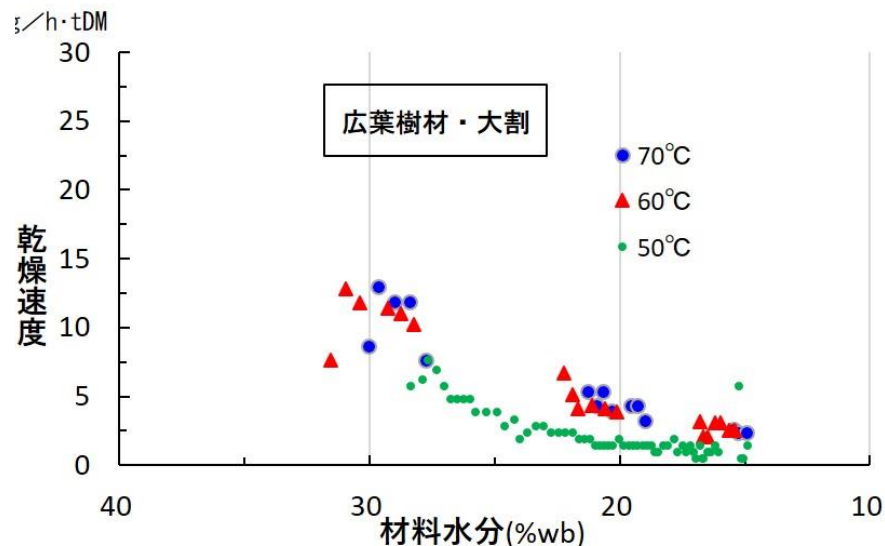


自作の実験装置温風を下から通風しながら薪の重量を計測できる

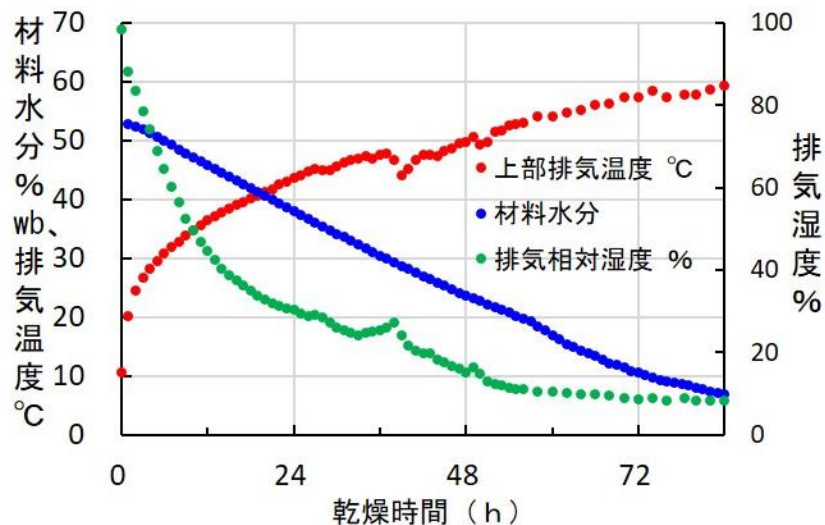
# 強制熱風乾燥での乾燥能力(2019年度)



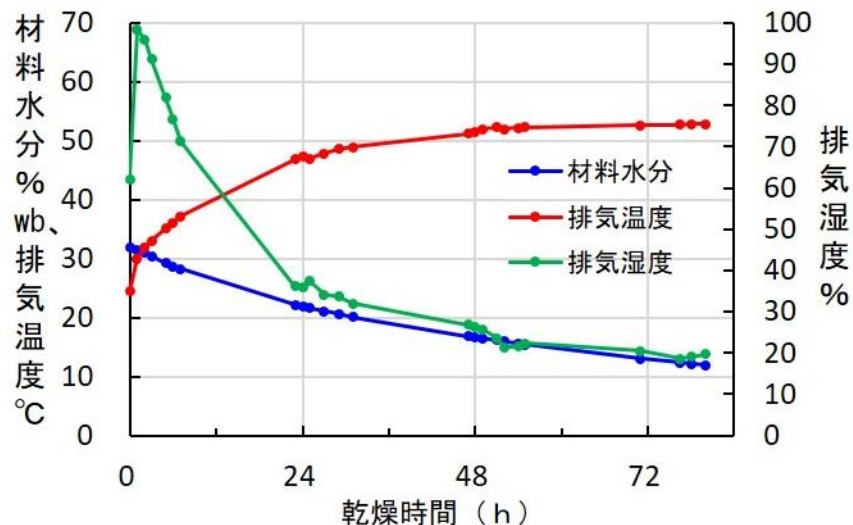
薪の水分・乾燥温度別の乾燥速度 (kg/h・tDM)



薪の水分・乾燥温度別の乾燥速度 (kg/h・tDM)



杉大割薪の通風乾燥結果 (乾燥温度: 70°C)



広葉樹大割薪の通風乾燥結果 (乾燥温度: 60°C) 22

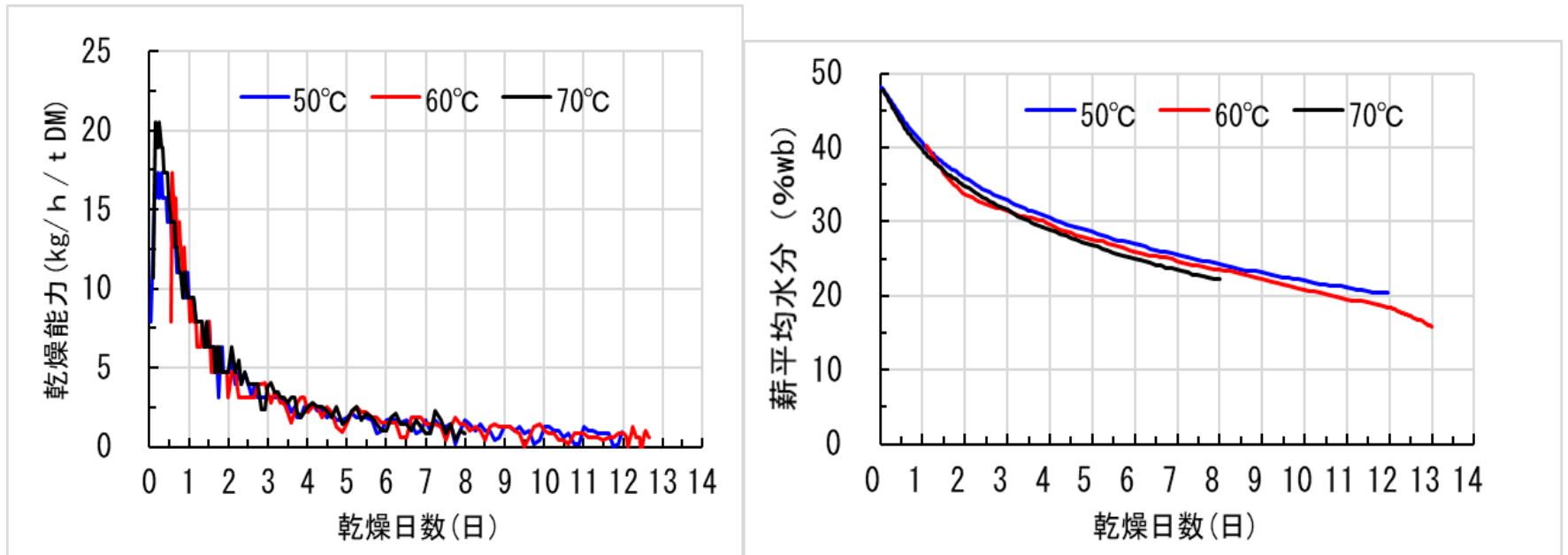


図 ウッドバッグ入り広葉樹薪(中割)の乾燥特性

左：乾燥温度別の乾燥速度 右：乾燥温度別の平均水分変化

- ・広葉樹の薪の通風乾燥において乾燥温度による乾燥速度の差が少ない。
- ・乾燥3日目から急激に乾燥能力が低下する。急激に乾燥すると薪の内部に水分の高い部分が残存する。 → **できるだけ天日乾燥してから仕上げ乾燥を行ったほうが効率的な乾燥ができる。**

## 4. 2020年度の事業実績、成果

- 簡易通風装置により、無通気为天日乾燥と比較して、乾燥速度は2倍以上で、夏場であれば約1ヶ月で含水率を20%以下に落とすことができ、生産の回転率も向上できる。
- 水冷熱交換器の改良により、短時間で温水タンクの水温の昇温が可能になり、乾燥能力が向上した。
- 温風乾燥施設は、広葉樹に関して含水率30%から20%までは、2～3日間で仕上げ乾燥できることが分かった。
- ウッドバッグによる天日乾燥で下部の含水率が高い場合でも、下部から温風通風乾燥を行うことにより、均質な薪乾燥を行うことができるようになった。
- 薪の乾燥特性について、針葉樹と広葉樹の違いが明確となった。



## 2020年度の事業実績、成果

- ウッドバッグと袋、通風乾燥装置などの簡便・安価な天日乾燥システムで、1～3か月の期間において薪の含水率を50%から30%以下まで乾燥させることができるようになった。
- 2～3日程度の期間で、含水率30%の未乾燥薪を、含水率20%以下まで木くずを活用した薪ボイラーにより乾燥することができた。
- 乾燥システムの利用により、生産性を向上させ、利益率を高めることができる。
- 薪製造工程で発生する木くずを有効活用できる。
- 高度な技術的知識や資格がなくても運用できるシステムが構築できた。

# 薪製造コスト

	乾燥設備なし	乾燥設備なし	乾燥設備あり	単位
乾燥回数	1	1	2	回/年
針葉樹製造コスト	6,009	6,009	5,712	円/m3
広葉樹製造コスト	7,209	7,209	6,912	円/m3
薪保管コスト	1,689	1,689	844	円/m3
薪乾燥コスト			2,211	円/m3
針葉樹薪製造原価	7,698	7,698	8,767	円/m3
広葉樹薪製造原価	8,898	8,898	9,967	円/m3
薪生産設備稼働率	15%	46%	91%	
針葉樹薪生産量	350	1,000	2,000	m3/年
広葉樹薪生産量	300	1,000	2,000	m3/年
生産量 合計	650	2000	4000	m3/年
売上	9,200,000	29,272,727	58,545,455	円/年
荒利	3,836,403	12,677,045	29,920,439	円/年
荒利率	42%	43%	51%	

## 本事業実施による「地域内エコシステム」構築に向けた見通し

- 地域内エコシステムの構築に向けては、川上側（素材生産等）と川下側（需要者）の2点で貢献できる。
- 川上側については、薪生産の生産性と品質向上を行うことで、薪生産事業者（森林組合等の林業従事者、チップ工場製材所等）の所得向上につなげることができる。
- 乾燥設備については、大部分が地域の鉄工所への委託やホームセンターにある資材を組み立てており、ノウハウを共有することで、他の薪生産事業者への横展開も難しくない。
- 川下側については、山村で容易に手に入る端材や木くずなどを燃料として、温水や温風をつくる設備が開発できた。
- 薪ボイラーからの熱回収効率向上と、蓄熱タンクの設置により、農業用ハウスへの展開など、温風・温水利用を行っている関連産業への普及効果が見込める。