

令和5年度林野庁補助事業成果発表（セミナー）
「地域エコシステム」技術開発・実証事業

寒冷地に適した小型薪ボイラーシステムの開発
—電気・化石燃料費の高騰により、寒冷地での市場開拓
を目指せる小型薪ボイラーシステム—

2024年3月1日

株式会社 森の仲間たち

1. 目的・理念

2023年度 導入価格をできるだけ抑えつつ、早期の導入展開の可能性が高い寒冷地に向けたシステムの確立を目指す

2022年度事業： 小型バイオマスボイラーの導入費用対効果向上のための
製造から工事まで一貫通貫のコスト削減低コスト化手法の開発

缶体の長寿命化および製造から工事までの一貫通貫でコスト削減を実施
薪ボイラーシステム導入費用を200万円以下への低減を達成

小型薪ボイラーシステムとしては完成
導入コストの低減も行ってきたが、まだ一般家庭向けとしては高額
早期にエコシステムを発展させるためにはターゲティングの見直しが必要
物価・光熱費高騰等の情勢に合わせ、新たな市場との対話によるシステムの改良へ

課題

1) 規模が小さく、頻繁な薪くべが必要

現在のシステムでは、寒冷地では
冬季で1日に5回から6回の薪くべが必要
→薪くべのために寒い屋外に出る必要もあり、
利用者の作業負担が大

2) 低温給気による燃焼不良

低温の外気を給気することで燃焼中の燃焼炉を
冷却し、燃焼の質が悪化するおそれ
→薪使用量の増大や煙の発生につながる

3) 放熱ロスによるエネルギー効率の低下

外気温度が低い寒冷地では放熱ロスが大きい
→システム効率悪化 →薪代の増加

4) 凍結事故の発生

不凍液を使用できない給湯や風呂回路系統において
凍結が発生

→配管や制御弁の破損
→修理コストの発生

2 →修理が終わるまでユーザーが使用できない不利益発生

2. 実施場所・実施概要

目標

・価格

薪ボイラー : 90万円
システム導入費用 : 250万円

・1日の薪くべ回数 : 2回以下

・貯湯タンクユニットの

エネルギー効率 : 80%以上

昨年度の低価格化の開発成果を基に
導入価格は据え置きで
スペックの高い寒冷地仕様である
本開発品の販売を目指す

試作・設計

岐阜県大垣市上石津町(弊社施設)

実証試験前 性能確認試験・検証

岐阜県大垣市上石津町(弊社施設)

実証試験

青森県五戸町

(Yew village事務所兼宿泊体験施設)

1) 薪ボイラー燃焼室大容量化

【課題】

・投入容量が小さく頻繁な薪くべが必要

【打ち手】

・燃焼、出力、強度はそのまま、長時間燃焼を実現する缶体開発
・貯湯タンクや熱交換器の規模はそのままとしコスト低減

【効果】

・薪投入回数: 5回(現行)
⇒ 2回(朝夕)

2) 寒冷地での効率低下の防止

【課題】

・低温の給気による不完全燃焼
・貯湯タンクからの放熱増大
⇒ エネルギー効率低下
⇒ ランニングコスト増

【打ち手】

・給気の予熱法の検討と燃焼試験による検証
・貯湯タンクと配管の断熱・気密強化

【効果】

・システムエネルギー効率(※)を寒冷地での使用時に65%以上へ
※(実際に使われた熱量)÷(薪の熱量)

○寒冷地に適した薪ボイラーのシステムの開発により、大きな需要増が見込まれる東北、北海道など寒冷地での市場開拓
○システムのスペック増による業務用や海外などの新たな市場開拓

3) 凍結防止

【課題】

・凍結による配管や制御弁の破損⇒修理コストの増大

【打ち手】

・凍結防止帯の使用 ・運用や制御面での凍結回避手法の検討

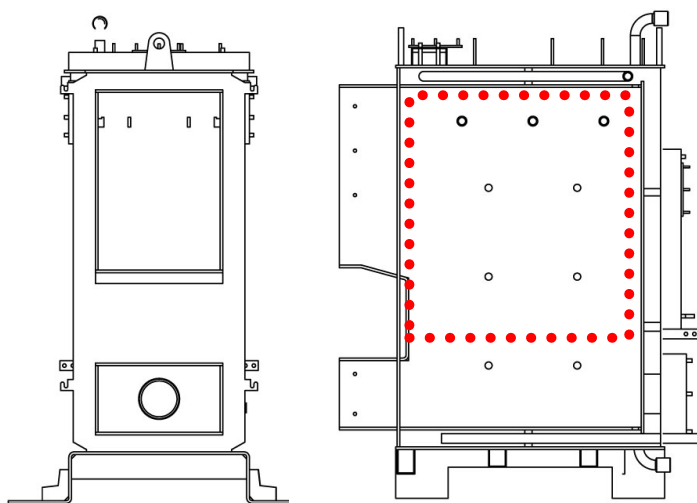
【効果】

・寒冷でも凍結しないシステムで、かつエネルギー効率を大きく下げないシステム

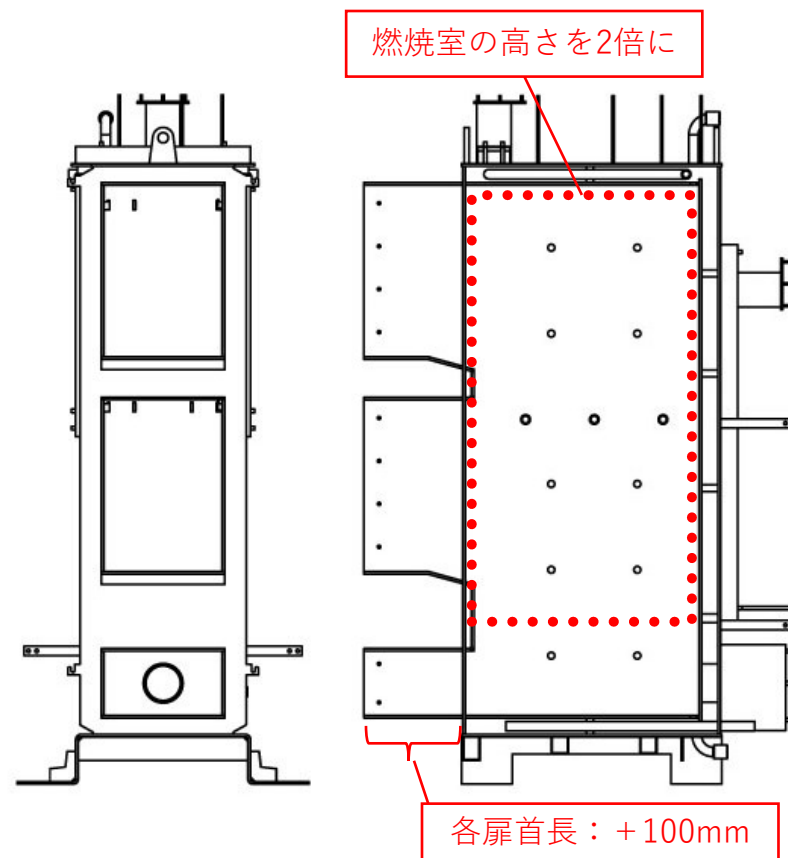
青森県で冬季における実証試験を実施

3. 開発概要：薪ボイラー燃焼室大容量化 缶体設計状況

現行機



本事業開発機 (TP5-a)



- ・燃焼室(赤枠部分)の高さを約2倍とし、薪投入量を増加
- ・断熱を増やすために各扉口(通称:首)の長さを100ミリ増

※燃焼室内の1次空気吹き出し口と火床の位置関係や2次燃焼機構は従来のまま

3. 開発概要：熱需要の想定と薪必要量・投入回数

1日の熱需要想定

温度設定	給水	5°C
	給湯	45°C
世帯人数	4名	
暖房	20 m ² を200 W/ m ² で24時間	96 kW
給湯量	洗面台利用	30 L/人 (3分)
	シャワー利用	100 L/人 (10分)
	炊事	50 L/回 (3回/日)
	湯はり	200 L
給湯熱消費量合計		40 kW
安全率	20%	27kW
合計		164kW/日

1日の薪投入必要回数

薪投入可能量	総発熱量	1日の投入回数
針葉樹：24kg/回	76.8 kW	3回 (2.2回) /日
広葉樹：36kg/回	115.2 kW	2回 (1.5回) /日
	ボイラー効率 80 % 薪発熱量 4 kW/kg	

針葉樹・広葉樹の薪のいずれも
1日2回程度の薪くべで
熱需要を満たせる

3. 開発概要：CO濃度の目標設定

EN規格 (EN 303-5:2021+A1:2022)

Table 7 — Emission limits

Stoking	Fuel	Nominal heat output	Emission limits									
			CO			OGC			PM (dust)			
		kW	mg/m ³ at 10 % O ₂ ^a									
class	class		class	class	class	class	class	class	class	Class		
			3	4	5	3	4	5	3 ^b	4	5	
manual	biogenic	≤ 50	5 000	1200	700	150	50	30	150	75	60	
		> 50 ≤ 150	2 500			100			150			
		> 150 ≤ 500	1 200			100			150			
	fossil	≤ 50	5 000			150			125			
		> 50 ≤ 150	2 500			100			125			
		> 150 ≤ 500	1 200			100			125			
	automatic	biogenic	≤ 50	3 000	1000	500	100	30	20	150	60	40
			> 50 ≤ 150	2 500			80			150		
			> 150 ≤ 500	1 200			80			150		
fossil		≤ 50	3 000			100			125			
		> 50 ≤ 150	2 500			80			125			
		> 150 ≤ 500	1 200			80			125			

安定燃焼時の排ガスCO濃度

class 3 4000 ppm

class 4 960 ppm

class 5 560 ppm

* 10%O₂換算

まずはclass 3達成を目標に設定
改良しながら上位classの
達成を目指す

NOTE The dust values in this Table are based on the experience of the gravimetric filter method. The method used needs to be referred to in the test report. The particulate matter emission measured according to this document does not include condensable organic compounds which may form additional particulate matter when the flue gas is mixed with ambient air. The values are therefore not directly comparable with values measured by dilution tunnel methods. Neither can they be directly translated into ambient air particulate concentrations.

^a Referred to dry exit flue gas, 0 °C, 1013 mbar.

^b Boilers of class 3 for non-woody biomass fuels according to 1.2 and marked with the classification non-woody biomass fuels do not need to fulfil the requirements for the dust emissions. The actual value shall be stated in the technical documentation and shall not exceed 200 mg/m³ at 10 % O₂.

4. 結果① 薪投入量・燃焼時間・出力の変化

	MB8	TP5a
薪投入可能量 ヒノキ 含水率14%程度	~ 10 kg	~ 25 kg
薪全量投入時の燃焼時間	3.5 ~ 4時間	9 ~ 10時間
ボイラー出力	8 ~ 10 kW	10 ~ 11 kW

- 物理的に燃焼室が大きくなったため、
想定通りの薪投入量の増加と燃焼時間の延長を達成
- 出力は大きくなる傾向だが想定内。出力の最適化を実施中。

問題抽出燃焼試験①：初燃焼時（TP5-a機）

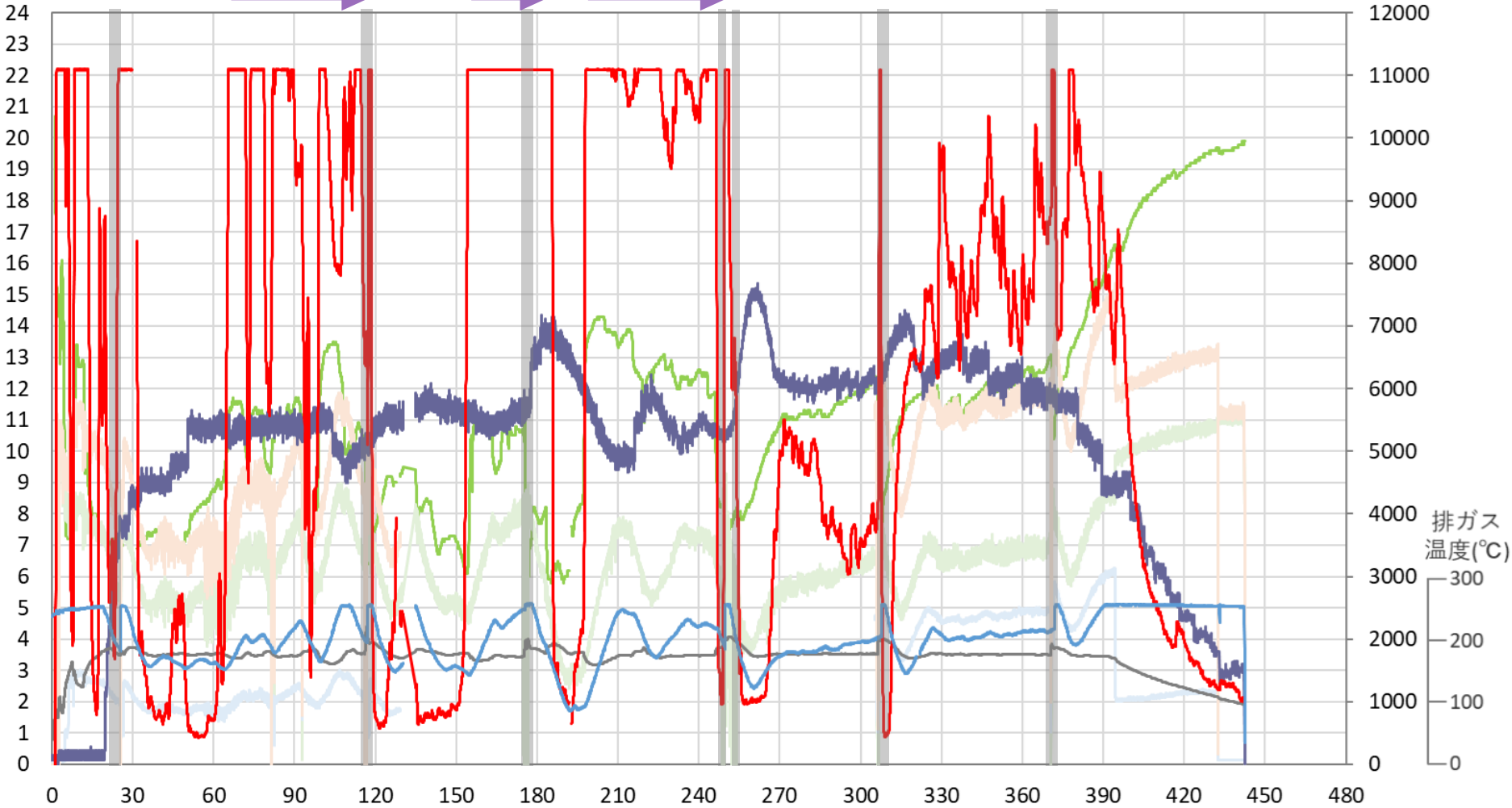
ボイラー出力(kW)

O₂濃度(%)

ダンパー流量(NL/s)

CO濃度(ppm)

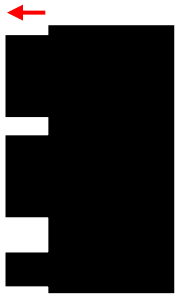
ファン回転数(rpm)



扉開閉操作
 O₂
 1次ダンパー流量
 2次ダンパー流量
 ダンパー流量合計
 ファン回転数
 CO
 排ガス温度

抽出された問題と対策

扉の首が
長くなったこと



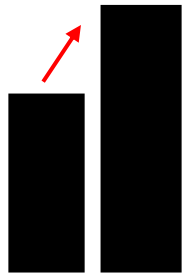
問題点

- ・ 燃焼立ち上がり時間の長時間化
- ・ 2次燃焼室の温度不安定化

対策

- ・ 首内部に追加の断熱扉設置
 - * 燃焼に与える影響が大きいため
- TP5b機（次の試作機 = 寒冷地実証試験用機材）では首長を元のMB8の仕様へ戻すことにした

燃焼室が高く
なったこと



- ・ 給気不足
煙の逆流の遠因にも

- ・ ブリッジの発生
従来からの問題であったが
より強固なブリッジが発生

- ・ ファン出力12V→14V化
- ・ 缶水戻り温度の変更
- ・ 内壁仕様の変更
 - ⇒ 継ぎ目を滑らかにする。
 - ⇒ ハの字型にする。（テーパ付中壁）
- ・ 薪のくべ方の工夫
- ・ 薪投入量の抑制

初回燃焼とブリッジ対策実施後の燃焼結果の比較

初期よりもブリッジの発生頻度を抑え、継続時間の短縮を達成
CO濃度4000ppm以下達成割合も大きくなっており、改良の効果がみられる

		初期	採用版
ブリッジ発生回数（回）		10	8
ブリッジ継続時間（分）	平均値	22.5	8.8
	最大値	55.1	14.0
ブリッジ発生割合（％）		38.9	10.9
CO濃度4000ppm以下達成割合（％）		36.8	73.9

- ・ブリッジ発生の定義

安定燃焼（制御上の定義State6）時にCOが2000ppmを超え、かつ、折り返し温度が600°C未満であること

- ・燃焼終盤の定義

全燃焼時間 - 全燃焼時間 / 4

- ・ブリッジ発生割合

$(\text{ブリッジ発生時間の合計} / \text{燃焼運転総合計}) \times 100$

- ・CO濃度4000ppm以下達成割合

$(\text{CO濃度4000ppm以下の時間の合計 (全State)} / \text{燃焼運転総合計}) \times 100$

ボイラー効率
82.3%を達成

様々なブリッジ対策の効果: テーパー付き中壁小/大

採用版

ブリッジ対策		初期燃焼	缶水戻り温70°C かぶせ中壁	テーパー付き 中壁小	テーパー付き 中壁大
ブリッジ発生回数 (回)		10	13 (4回は燃焼終盤)	8 (3回は燃焼終盤)	9 (4回は燃焼終盤)
ブリッジ継続時 (分)	平均値	22.5	11.6	8.8	12.7
	最大値	55.1	27.0	14.0	36.5
ブリッジ発生割合 (%)		38.9	26.7	10.9	17.8
CO濃度4000ppm以下達成割合 (%)		36.8	61.2	73.9	70.9
薪投入可能量 (ヒノキ 含水率14%程度)		~ 25 kg	~ 25 kg	24 kg 満タン投入の 96 %	23.4 kg 満タン投入の 94 %
燃焼時間		9~ 10 時間	8 ~ 9 時間	10時間	10時間



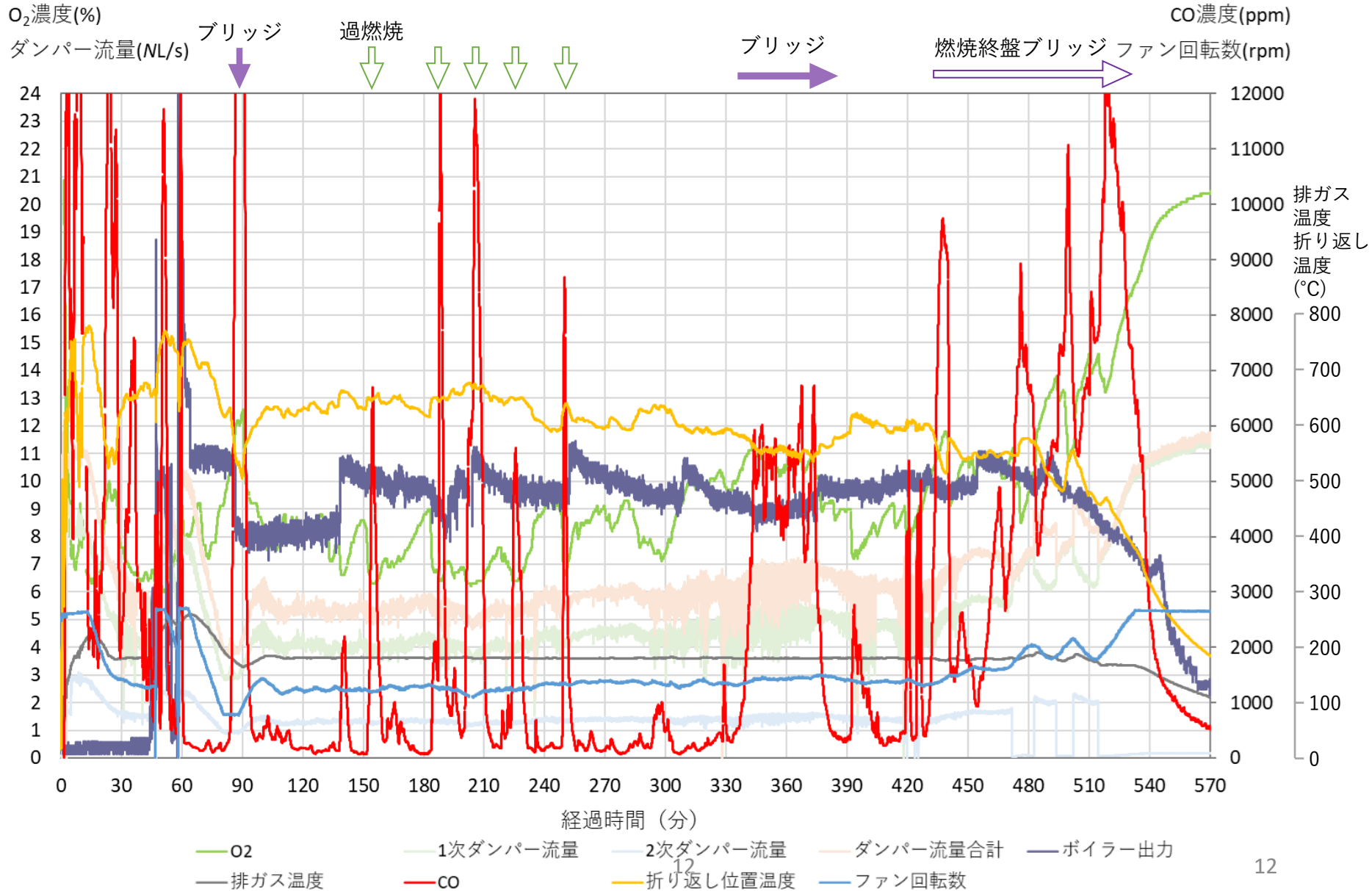
テーパー付き中壁小



テーパー付き中壁大

中壁大よりもブリッジ発生抑制されている
CO濃度4000ppm以下達成割合上昇
薪投入量はほぼ変わらず (薪の太さによる充填度のほうが影響が大きい)

ブリッジ対策:テーパー付き中壁大



ブリッジ対策効果比較

ブリッジ対策として
は最良

製品への採用



ブリッジ対策	かぶせ中壁 缶水戻り温 70℃	薪くべ量の 抑制	薪整列 投入	テーパ付き 中壁小	テーパ付き 中壁大
ブリッジ発生回数 (回) (燃烧終盤発生回数 (回))	13 (4)	4 (2)	5 (4)	8 (3)	9 (4)
ブリッジ 継続時間 (分)	11.6 27.0	7.3 9.8	13.5 21.6	8.8 14.0	12.7 36.5
ブリッジ発生割合 (%)	26.7	7.8	11.8	10.9	17.8
CO濃度4000ppm以下 達成割合 (%)	61.2	67.6	71.2	73.9	70.9
ボイラー効率 (%)	80.2	75.9	81.9	82.3	80.2
薪投入可能量 (kg)	25	16.8	23	24	23.4
投入割合 (%)	100	67	92	96	94
燃烧継続時間 (時間)	8 ~ 9	6.2~6.5	9	10	10

薪くべ量減少による影響：実測値による検証

1日の熱需要想定：164 kW

【条件】

暖房：20 m²を200 W/m²で24時間行う

給湯温度：45°C

給水温度：冬季5°C

給湯量：朝の洗顔は30 L/人（3分）、夜のシャワーは100 L/人（10分）、炊事は50 L/回

家族：4名

浴槽量：200 L

安全率：20 %

75%投入では、
2.9回となる

よりシステムとしての
効率を上げれば
2回以下にできる

ブリッジ対策	樹種	含水率 (%)	総発熱量 (kW)	薪くべ回数換算* (回)
【想定】 ノーマル 25 kg満タン投入	ヒノキ	14	80	2.3
【実測】 薪くべ量の抑制 64 %投入	ヒノキ	15.8	53.8	3.4
【実測】 薪整列投入 92 %投入	ヒノキ	14.0	81.7	2.2
【実測】 テーパー付き中壁小 96 %投入	ヒノキ	14.0	85.3	2.1
【実測】 テーパー付き中壁大 94 %投入	ヒノキ	14.2	80.9	2.3

*システム効率90%とする

4. 結果②及び③ 寒冷地実証実験 薪ボイラーの設置

設置場所: 合同会社Yew Village(ユウビレッジ)

住所: 青森県上北郡六戸町大字犬落瀬字長漕19-1

雨に濡れない状態で、壁のない半屋外で実験するために、薪ボイラー（TP5-b機）及び貯湯タンクユニットを庇の下に設置した。給湯混合栓、浴槽があり、暖房はファンコイルユニット、パネルヒーターである。

薪ボイラー設置状況



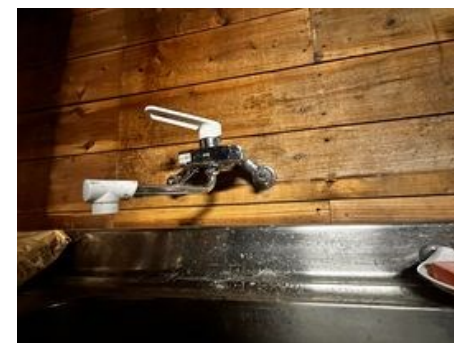
ファンコイル及びパネルヒーター
暖房面積50㎡（かなり断熱気密が悪い）ほど



風呂



給湯

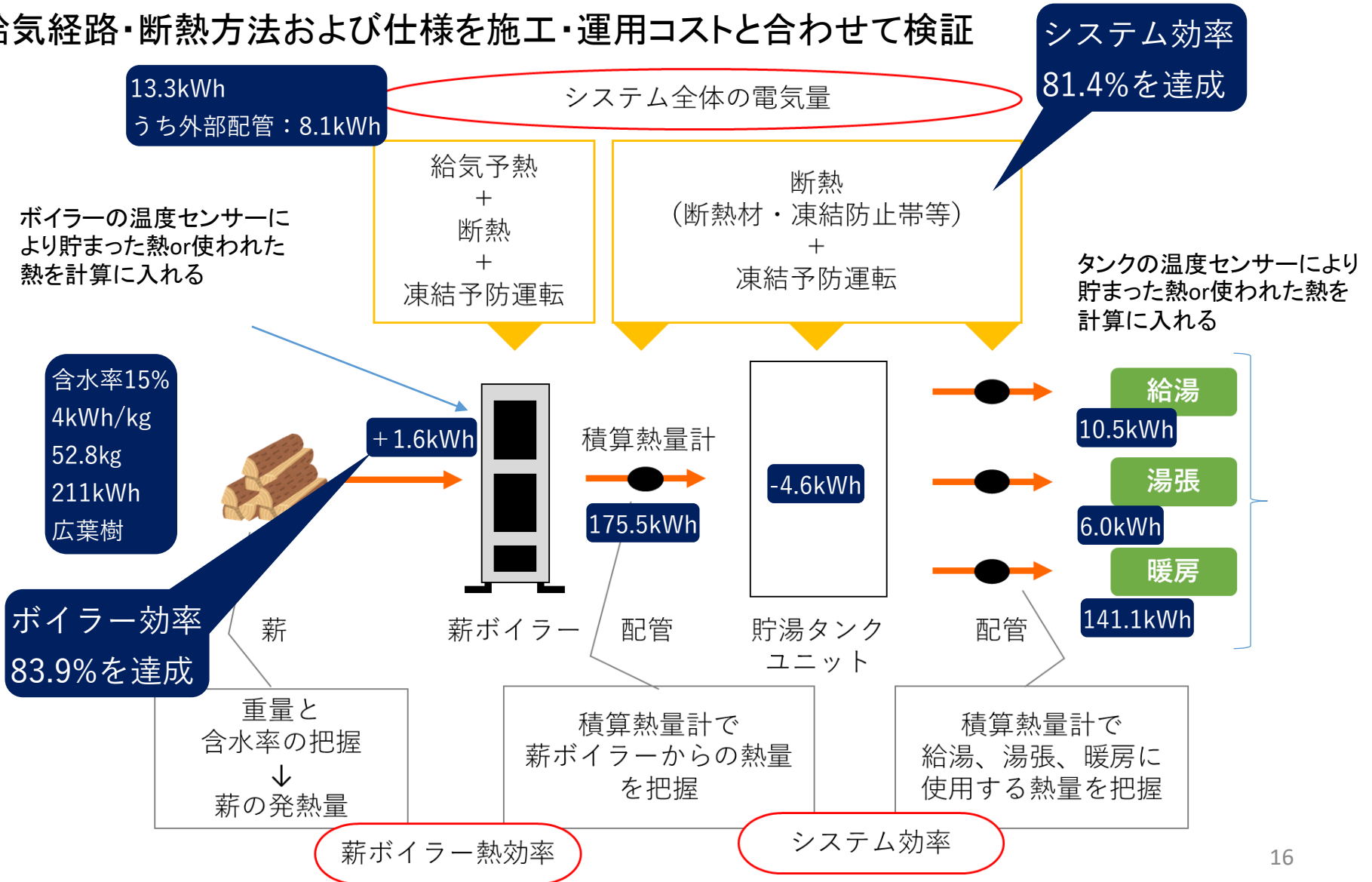


4. 結果② 寒冷地での効率低下の防止

…システムエネルギー効率: 68.3% > 65% (目標値)

燃焼効率とシステム効率低下を防止するため

給気経路・断熱方法および仕様を施工・運用コストと合わせて検証



4. 結果③ システム効率

貯湯タンクユニットの外装（プラ段製試作）の上から断熱材（32Kグラスウール100mm）を追加して、再度システム効率を試験する。

外装内部のタンク断熱状況
32Kグラスウール100mm保温



試験時の状況 = 現行仕様
(左記タンク断熱 + プラ段製試作外装) 試験時の状況 = 断熱追加
通常仕様 + 32Kグラスウール100mm



断熱を増した貯湯タンクユニットでシステム効率を把握する。

4. 結果② 寒冷地での効率低下の防止

…システムエネルギー効率: 74.2% ≧ 65% (目標値)

タンクの配管断熱により、システム効率が10%程度改善し、90%以上を達成

現行仕様

断熱追加仕様

13.3kWh

うち外部配管: 8.1kWh

5.95kWh

うち外部配管: 0.9kWh

システム全体の電気量

システム効率
81.4%を達成

システム効率
90.6%を達成

ボイラーの温度センサーにより貯まった熱or使われた熱を計算に入れる

給気予熱
+
断熱
+
凍結予防運転

断熱
(断熱材・凍結防止帯等)
+
凍結予防運転

タンクの温度センサーにより貯まった熱or使われた熱を計算に入れる

含水率15%
4kWh/kg
52.8kg
211kWh
広葉樹

含水率15%
4kWh/kg
53.4kg
213.6kWh
広葉樹

+ 1.6kWh

- 4.5kWh

積算熱量計

175.5kWh

179.5kWh

薪ボイラー
配管
貯湯タンク
ユニット

- 4.6kWh

- 18.4kWh

給湯

10.5kWh

14.4kWh

湯張

6.0kWh

10.7kWh

暖房

141.1kWh

154.4kWh

157.6kWh

157.6kWh

ボイラー効率
83.9%を達成

ボイラー効率
81.9%を達成

重量と含水率の把握
↓
薪の発熱量

積算熱量計で薪ボイラーからの熱量を把握

積算熱量計で給湯、湯張、暖房に使用する熱量を把握

薪ボイラー熱効率

システム効率

4. 結果③ 凍結防止

【事象】

●タンク給水の減圧弁が12月24-25日の寒波により凍破。
試験地の直近の気象庁観測地点(十和田、約8kmの距離)では、12月24日7時時点で氷点下8度。タンク側電熱帯と給水管側電熱体の継ぎ目に減圧弁があり、保温作業の分担が不十分であったことが原因。

【対策】

●減圧弁にも電熱体を巻きなおしを行った。

【結果】

- 対策後は、凍破が起きておらず、有効な対策であった。
- 機器側と工事側で打合せの上、電熱帯の設置に漏れがないか確認を行って、施工上の漏れをなくすることが重要。
- その他機器側の凍結防止対策は有効であると判断できる。

【課題】

●今年は暖冬（試験地で -10°C を下回っていない）であったので、今後試験を継続し、より低温条件での経過を見る必要がある。

5. 成果

○熱効率80%以上の長時間燃焼薪ボイラーの開発

⇒ブリッジなどによる排ガスの清浄性に問題があるものの、熱効率80%以上を有する長時間燃焼薪ボイラーを開発できた。

○ニーズのある寒冷地に適した基本システムを構築

⇒諸々の課題があるものの、ニーズを満たせる基本システムを構築。

⇒実験施設見学の方から引き合いがあり、今年夏に試験機を納入の可能性。

○ボイラー単体で90万円は未達成、ボイラーとタンクユニットの合計では250万円

⇒材料単価の高騰が激しく、価格的な目標は未達成である。

○欧州の蓄熱タンクシステムより効率の良い可能性

⇒システム効率80%以上を達成。追加外断熱を行えば90%以上のシステム効率へ

⇒欧州型の大きな蓄熱タンクに熱を貯めてそこから熱を使用するシステムよりも燃焼炉に薪の状態でおき、少しずつ燃焼するシステムの方が効率が良い。

○欧州の同規模薪ボイラーよりも安価⇒小規模事業者向け機種へ

⇒薪の投入量としては欧州の30kWクラス（売価250万円を超える）に当たり、この規模の薪ボイラーよりも開発物は安価に市場投入可能。

⇒煙管がなく、清掃必要性が低くメンテナンス性も高いので、その点でも利点。

⇒小規模な事業者向け薪ボイラーとして弊社の機種のラインナップを置き換える。

6. 課題

○排ガスの清浄性の向上

安全に効率よく試験できる薪ボイラーを目指して燃焼性能（排ガスの清浄性）の向上を目指す。

○ボイラー効率の向上

燃焼時間が長くできると、燃焼の良い時間帯を継続的に維持できるため、ボイラー効率を高くできる。これにより、薪くべ回数を少なくすることに直結することが分かった。

欧州の薪ボイラーと比べて、開発品のボイラー効率が劣るため、90%以上の効率が出せるよう燃焼制御やハード面について改良を重ねる必要がある。

○寒冷地での試験の継続

今年は暖冬（試験地で -10°C を下回っていない）だったため、継続して寒冷地で試験を行う。