

平成28年度

「新たな木材需要創出総合プロジェクト事業のうち地域材利用促進の木質バイオマスの利用拡大」

「平成28年度 木質バイオマス加工・利用システム開発事業」

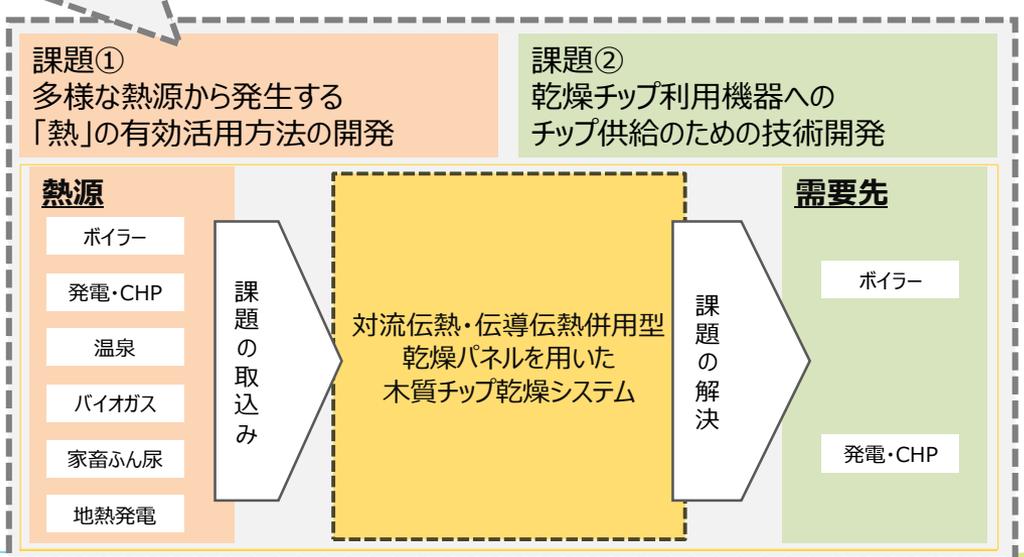
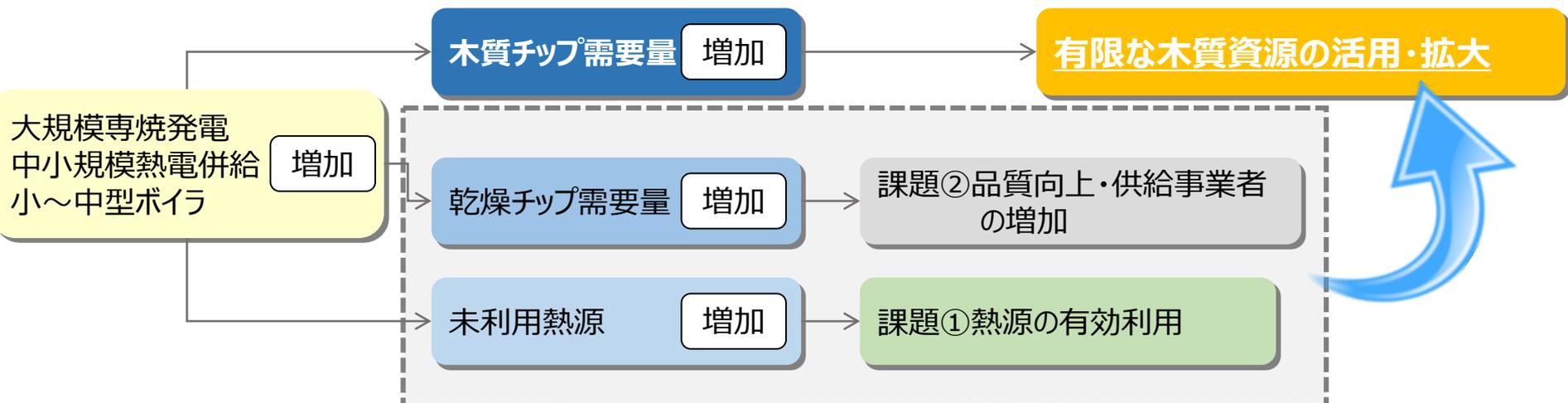
多様な熱源を効率的に活用する対流伝熱・伝導伝熱併用型
乾燥パネルを用いた木質チップ乾燥システムの開発・実証

成果報告会資料

平成29年3月7日

株式会社日比谷アメニス

- 今後、日本における木質バイオマスの利用拡大に伴い、木質チップの需要量が増加。
- 現状は賦存量豊富な木質資源も、有限なものとして木の持つエネルギーの効率的利用が重要。
- そのために、未利用の熱源とチップの品質向上を組み合わせた**木質チップ乾燥システム**が有効。



- 生木は水分が高く課題が多い
- 木質チップの乾燥はエネルギー利用上で重要

① 熱量の増加

生チップの水分は湿潤重量基準 (W.B.) で50%以上。
水分を15%程まで下げること、

- ・元の資源量に対しての低位発熱量は約1.2倍になる。

② 使用量の減少・ランニングコスト (燃料代) の抑制

- ・燃料代は、ランニングコストの8～9割
- ・小型ボイラでは水分が高い(30%以上)とボイラー効率が低下することもあり燃料消費量が増加。

ex.100kWのボイラで効率が90%の場合、必要燃料は111.1kWh
ボイラ効率80%では、必要燃料は125kWh相当となり、13%の差。

③ ボイラーへの負荷軽減

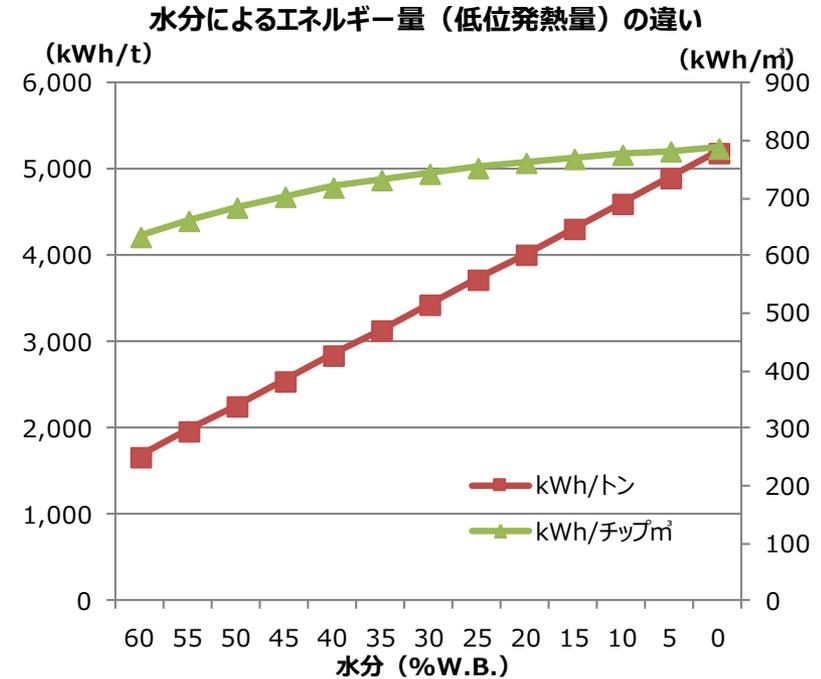
- ・特に低負荷で運転する場合、ボイラーの更新時期に影響。

④ 保管性の向上・臭気の抑制

- ・発酵 (木質の消失、エネルギーの減少)
- ・カビの発生抑制 (健康に悪影響、アレルギー)
- 『チップ肺』

⑤ 輸送費用の節約

- ・使用量の軽減による輸送機会の減少
- ・水分の低下による同容積のチップは軽量化による輸送費の節約



参照: LWF(バイエルン州森林・林業局)資料より作成
単位: かさ密度は0.3トン/チップm³(50%W.B.の時)



Schimmelbildung an der Schüttungskrone

<http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/holz-logistik/energie-aus-holz/hackschnitzel/34788/index.php>

- 55%→25%W.B.の乾燥により、元のチップに対して得られる低位発熱量の増加は約25%。
- 日本ではチップの取引形態が複数あり、熱量ベースでの取引はまだ多くはない。
- エネルギー利用においては、熱量価値への認識が重要になる。

	水分	低位発熱量	チップ量	発熱量	熱量増加率	イメージ
	%W.B.	kWh/kg	kg	kWh	%	
乾燥前	55	1.7	333	559	125%	
乾燥後	25	3.5	200	698		

《木質チップの取引形態》

①重量ベース（生重量トン）での取引

水分量が多いほど高く売れる

②水分〇%以下という条件を付けて一定額で取引

ある程度の水分管理が必要。

③絶乾重量での取引

水分は関係ないが、運送上は水分が低い方が望ましい。

④低位発熱量での取引

水分に応じた価格の取り決め。

⑤低位発熱量の増加分+αの価格を上乗せして取引

乾燥チップの利点（ボイラ効率、保管性等）を考慮したプレミアム価格。

《チップの規格化・市場が進む欧州では》

- 水分による取引価格が設定
- チップ乾燥を目的にした熱の利用
- チップ乾燥のみを行うビジネスも存在

水分	取引価格例 (€/t)
20%	96.00
25%	82.50
30%	70.00
35%	55.25
40%	42.00



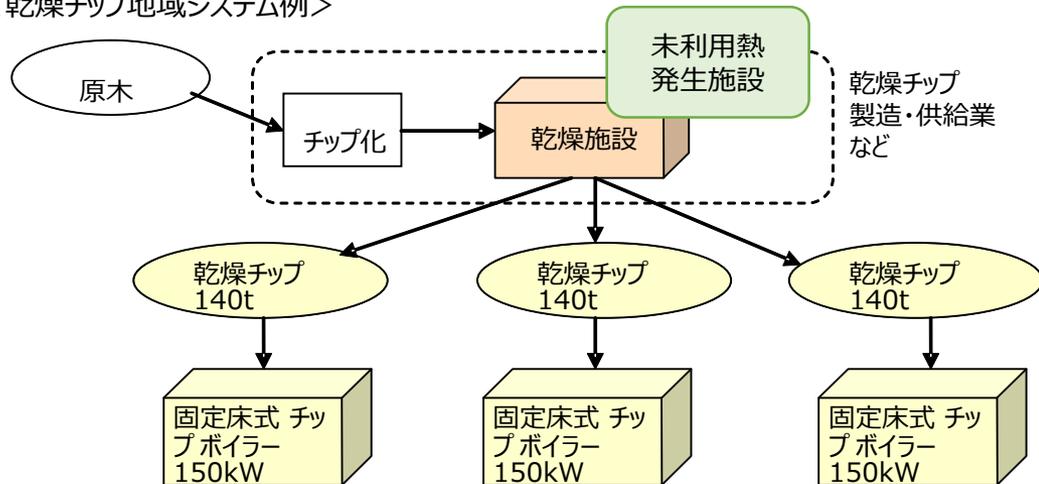
参考) 燃料用木質チップの水分別取引価格(オーストリア)
(出所: BIONET2, Fact sheet of supply chain in Austria, 2007)

- 地域内に乾燥施設を導入することで、小型チップボイラーの導入想定が可能になる。
- 生チップボイラーと乾燥チップボイラーでは導入コストや設置面積等が異なる。
- 乾燥施設を組み合わせることで、地域内における初期投資費用負担の軽減が期待される。

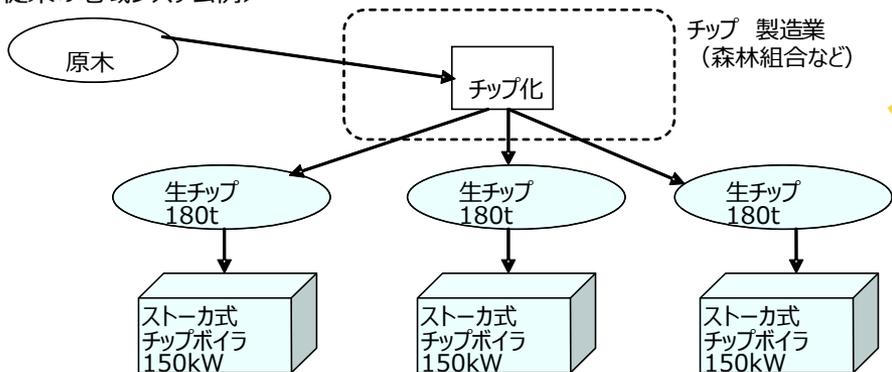
条件例

	乾燥施設利用地域システム	従来の地域システム
チップ規格	乾燥チップ (M25)	生チップ (M55)
チップ生産量	約420t	約540t
ボイラー仕様	固定床式チップボイラー 150kW×3台	ストーカ式チップボイラー 150kW×3台
ボイラー稼働条件	8h×315日	8h×315日

<乾燥チップ地域システム例>



<従来の地域システム例>



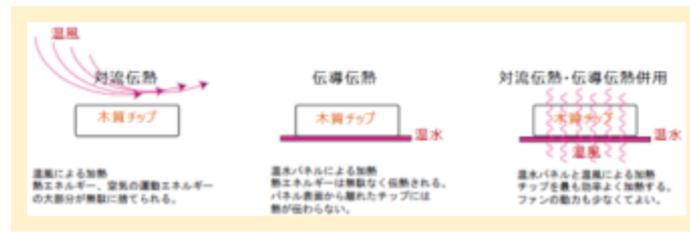
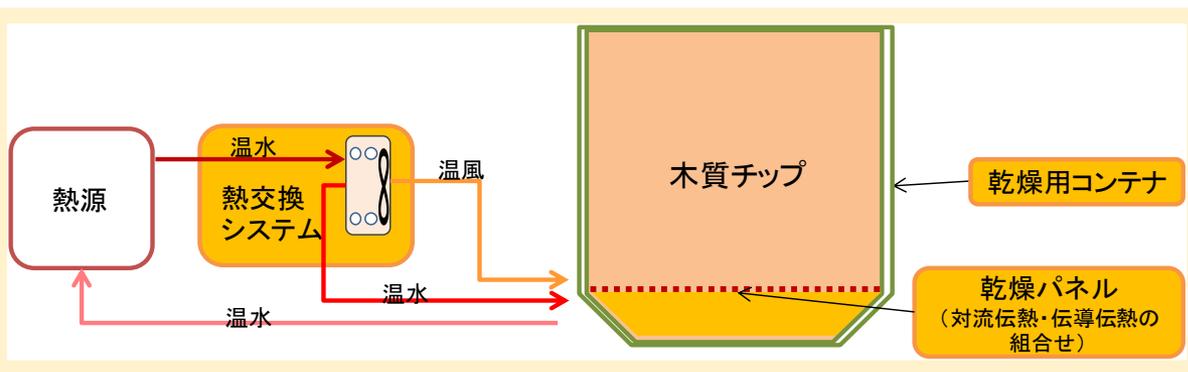
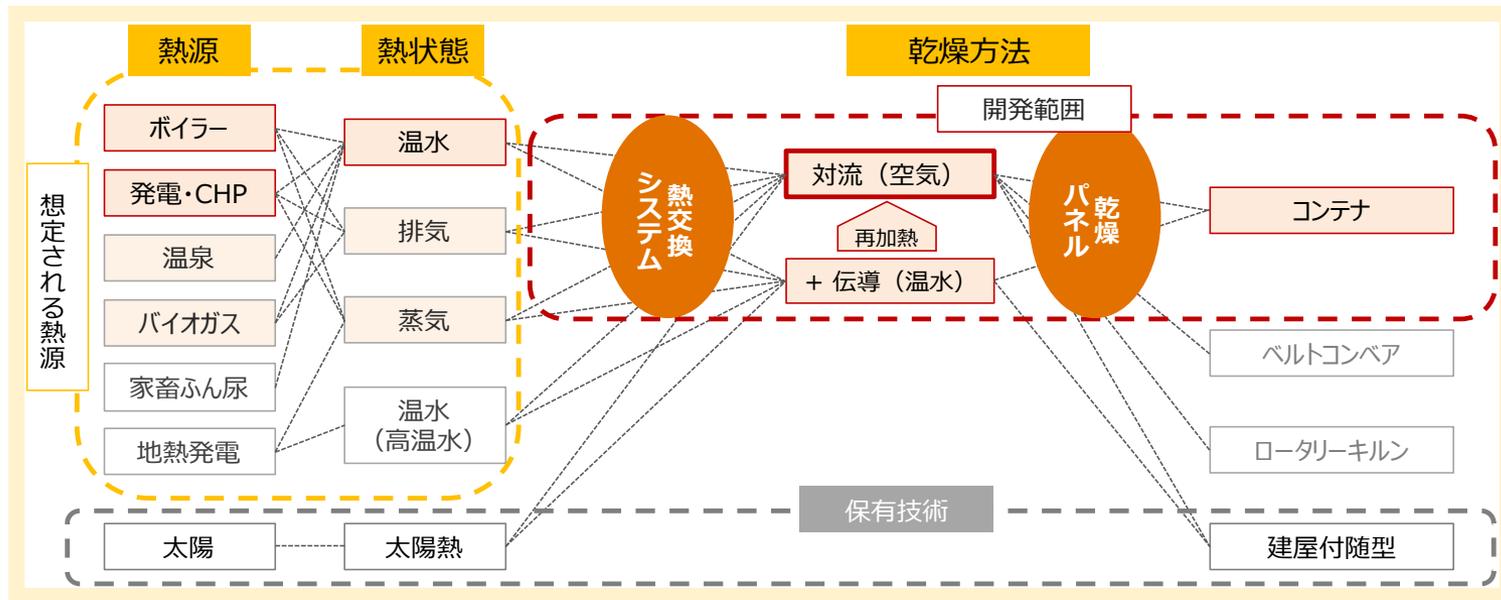
課題

- ◆ 乾燥チップの供給事業者
- ◆ 乾燥チップの製造技術
- ◆ 木質チップの品質規格浸透

小規模チップボイラーの普及による、木質エネルギーの需要増加

《開発のポイント》

- 開発範囲を熱交換システムと乾燥パネルを含んだコンテナとし、未利用熱と乾燥チップの用途をマッチングさせる、汎用性のあるパッケージ技術にすること。
- 乾燥に必要な熱エネルギーの主な伝熱方法である対流伝熱（温風）においてその効果を把握すること。
- 対流伝熱に用いた後の熱源（温水）を用い、温風の再加熱及び伝導伝熱の併用効果を把握すること。



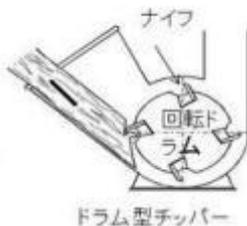
《実施項目》

- ①. 乾燥対象物となる木質チップの乾燥特性を明らかにする。
- ②. 乾燥システムの実証機と未利用の熱源を用いて各効果を検証する。
- ③. 導入検討時に用いるための乾燥性能の試算する式を検討する。
- ④. 商用パターンとしてシステムのユニット化を検討する。
- ⑤. 乾燥チップの取引実態や想定導入事業者へのヒアリングにより、乾燥システムの導入要件を整理する。

①木質チップの乾燥特性

《分析結果より抜粋》

- 国内において燃料用で多く使用されているタイプの木質チップを実証に利用。
- 粒度分布分析のふるい目寸法について木質バイオマスエネルギー協会による品質規格(4,8,16,26,31.5,45,63,90mm)に照らすと、P26の区分に相当。



引用)木質資源とことん活用読本

針葉樹チップ(切削)
ドラム型チップパー

項目	分析値	方法
低位発熱量 (MJ/kg 絶乾)	19.3	JIS M 8814
灰分 (wt%)	0.5	800℃強熱 重量法
炭素 (wt%)	50.2	CHNJ-ダ-による方法(C換算)
水素 (wt%)	6.23	CHNJ-ダ-による方法(H換算)
酸素 (wt%)	43	計算法(O換算)

木質チップの粒度分布

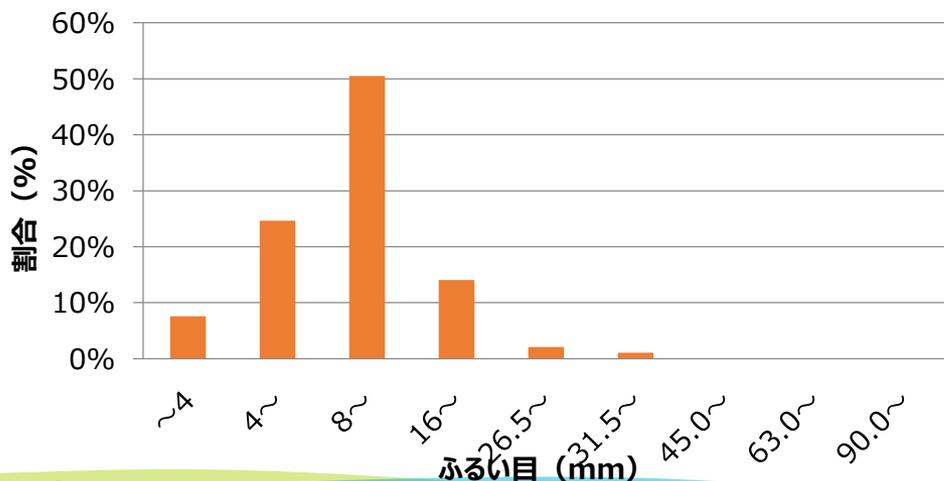


表3. 寸法区分

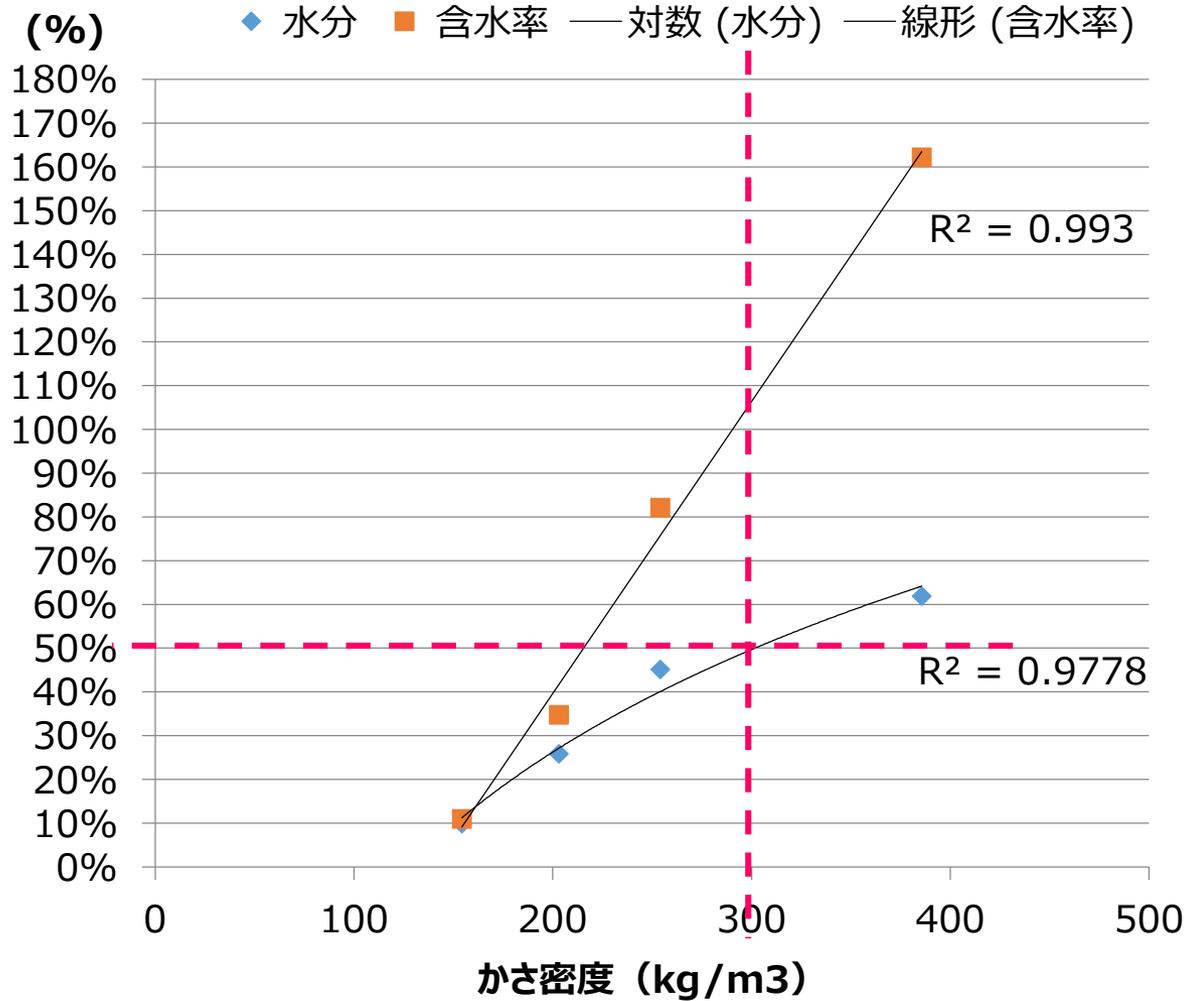
区分	微細部	主要部	粗大部	最大長
	チップ重量の10%未満	チップ重量の80%以上	チップ重量の10%未満	
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm
P26	<4mm	4-26mm	26-45mm	<100mm
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm
P45	<16mm	16-45mm	45-90mm	<150mm

注)寸法:ふるいの目開き寸法

引用)木質バイオマスエネルギー協会ホームページ
燃料用木質チップの品質規格

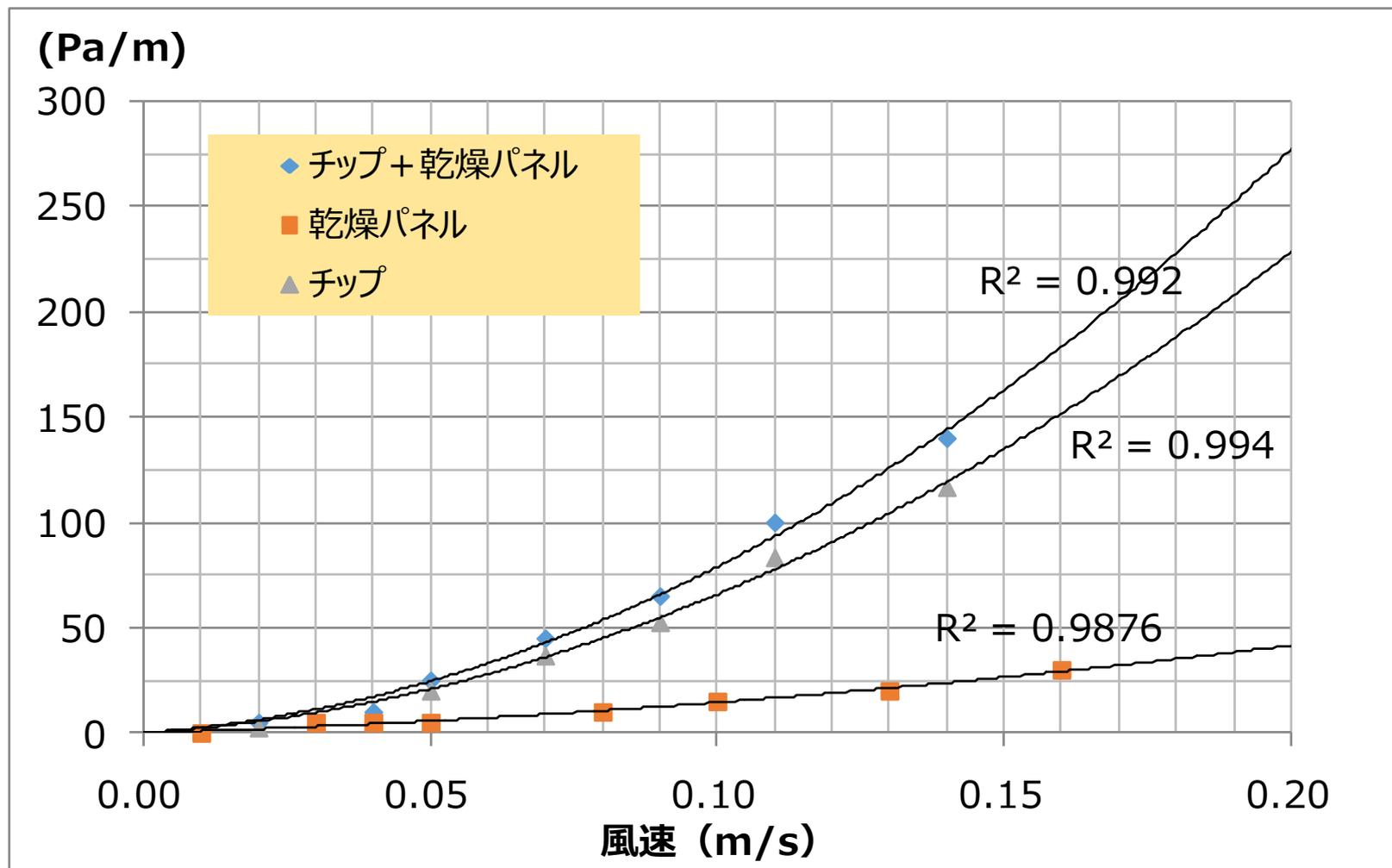
①木質チップの乾燥特性

- かさ密度と水分の関係式を実測から把握。
- 水分50%W.B.の際のかさ密度は約300kg/m³



参考) 木質バイオマスエネルギー協会ホームページ
燃料用木質チップの品質規格

- (乾燥パネル+チップの静圧) - 乾燥パネルの静圧 = チップの静圧
- 風速(m/s) × パネル面積(m²) × 3600(s) = 風量 (m³/h)
- 風速と静圧 (抵抗) の関係性を把握することにより、システム全体の部材選定に有効。



実証機の前提条件

熱源：65～80℃程のチップボイラ温水を未利用熱源と仮定して利用

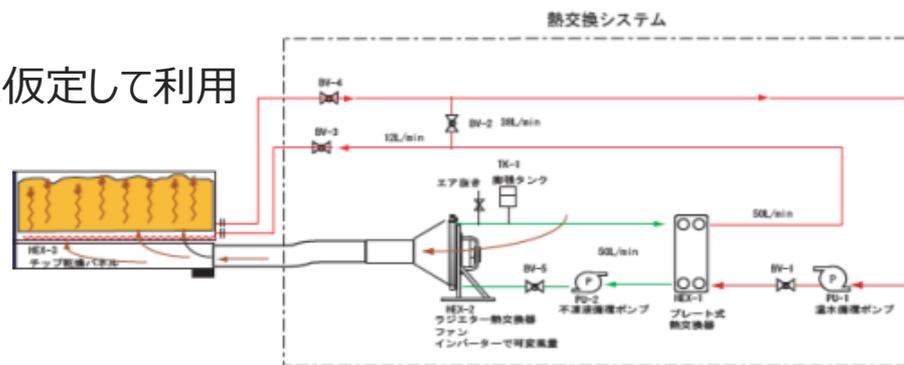
乾燥量：木質チップ約6m³（バッチ式）

乾燥開始水分：M55（46～55%）

乾燥目標水分：M25（25%以下）

温風・温水量：多段階設定

乾燥期間：約2日



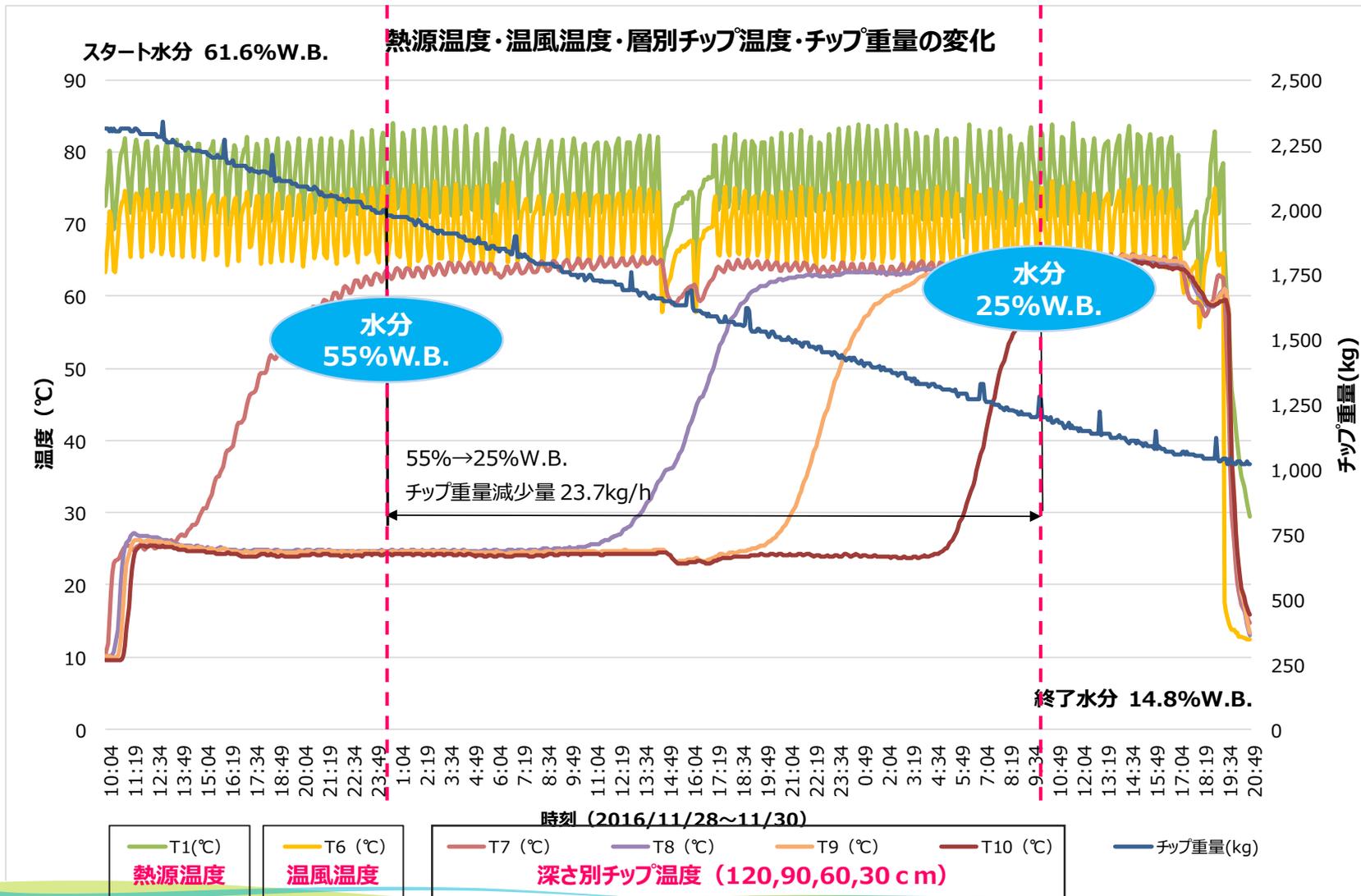
温風	100m ³ /h・チップm ³	200m ³ /h・チップm ³	350m ³ /h・チップm ³	440m ³ /h・チップm ³	200m ³ /h・チップm ³	350m ³ /h・チップm ³	100m ³ /h・チップm ³	200m ³ /h・チップm ³	200m ³ /h・チップm ³
温水	0L/min	0L/min	0L/min	0L/min	12L/min	12L/min	24L/min	24L/min	36L/min
分析項目	温風効果の把握①				温風効果の把握②		温風効果の把握③		
	温水効果の把握①	温水効果の把握②	温水効果の把握③		温水効果の把握②	温水効果の把握③	温水効果の把握①	温水効果の把握②	温水効果の把握②

【試験実施状況】



試験結果例（風量：200m³/h・チップm³ 温水：24L/min）

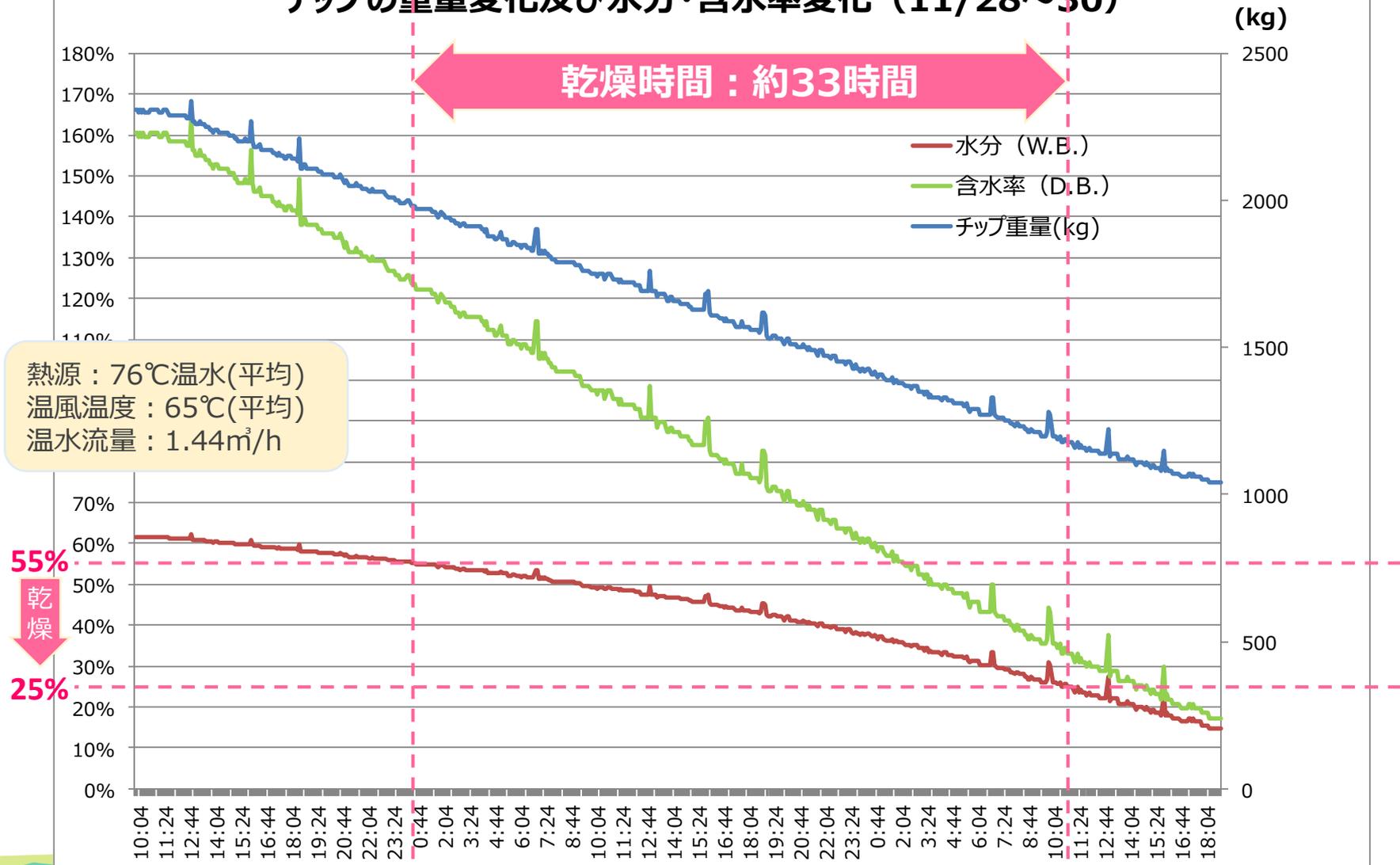
- 熱源となる温水はおおよそ65～83℃の間で推移している。
- チップの材料温度は一旦、25℃付近で安定し（温風の湿球温度）、その後下部から温度上昇し、温風温度に近づく。
- 水分55%から25%W.B.の範囲で見ると、チップの重量減少（水分の蒸発量）は23.7kg/h。



②実証試験結果～水分の変化～

- 木質チップは、予熱期間、定率乾燥期間、減率乾燥期間の3段階で乾燥が進む。
- 風量約200m³/チップm³・温水24L/minの際の乾燥時間は約33時間
- 風量約200m³/チップm³・温水なしの際の乾燥時間は約45時間

チップの重量変化及び水分・含水率変化 (11/28~30)



②実証試験結果～各試験の比較～

・各試験において、55%W.B.から25%W.B.までの乾燥時のデータを比較。

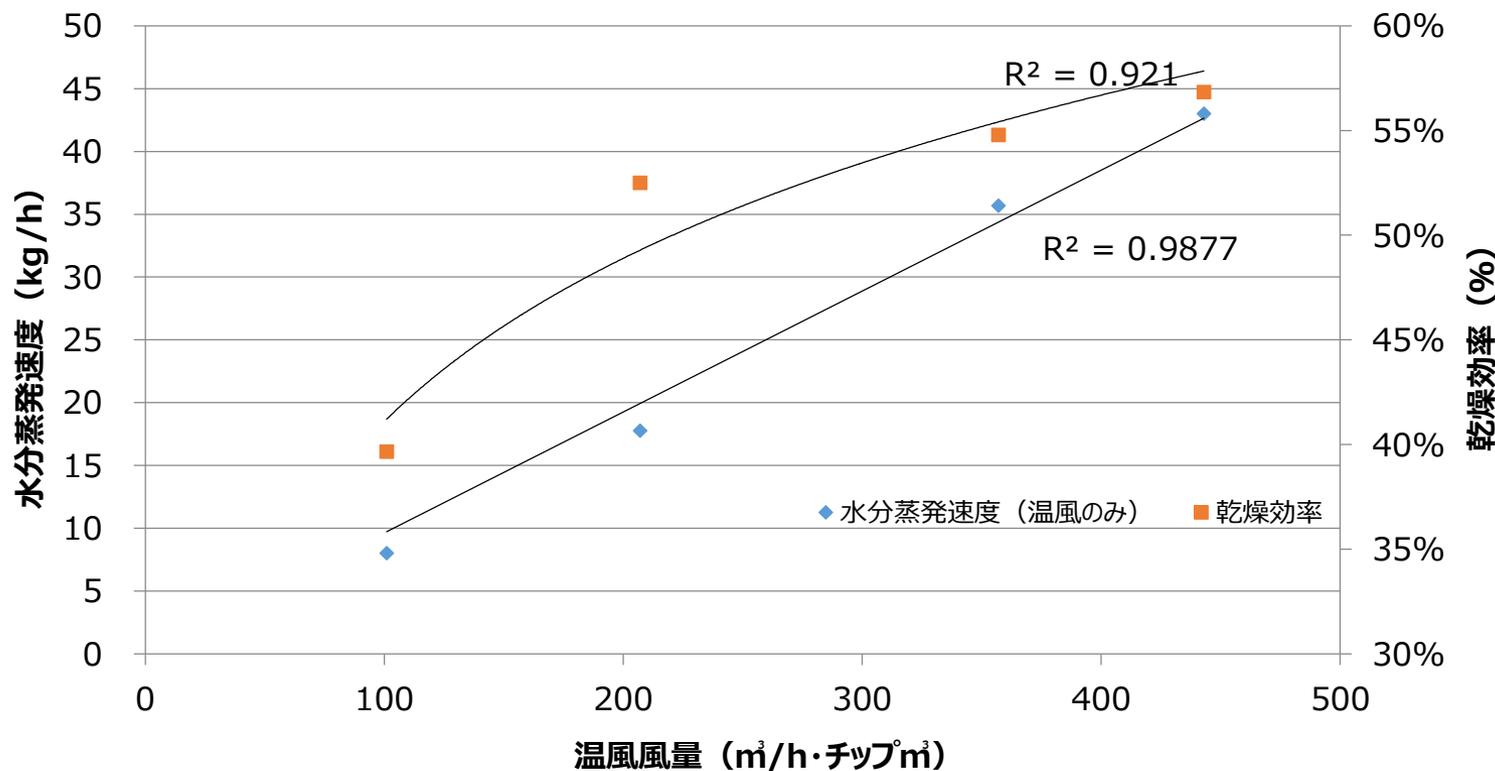
分析項目		温風効果の把握①				温風効果の把握②		温風効果の把握③		
		温水効果の把握①	温水効果の把握②	温水効果の把握③		温水効果の把握②	温水効果の把握③	温水効果の把握①	温水効果の把握②	温水効果の把握②
温風条件：（風量m ³ /h・バッチ）		606	1,242	2,142	2,658	1,242	2,142	606	1,242	1,356
温風条件：（風量m ³ /h・チップm ³ ）		101	207	357	443	207	357	101	207	226
温水条件：（流量L/min）		0	0	0	0	12	12	24	24	36
55%W.B.の際の重量（kg/バッチ）		1,930	2,004	2,082	2,096	1,967	2,026	1,953	1,969	1,997
25%W.B.の際の重量（kg/バッチ）		1,158	1,202	1,249	1,258	1,180	1,216	1,172	1,181	1,198
投入熱エネルギー（kWh/バッチ）	HEX-1	1,333	1,045	1,041	1,010	1,031	984	1,146	970	1,019
	HEX-3	0	0	0	0	88	44	216	76	71
	合計	1,333	1,045	1,041	1,010	1,118	1,028	1,362	1,046	1,090
投入熱エネルギー（kWh/kg）水分25%W.B.		1.2	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	1.2	0.9	0.9
投入電気エネルギー（消費電力量 kWh/バッチ）		67.7	36.3	30.1	31.3	34.3	29.9	66.2	30.4	37.0
投入電気エネルギー（消費電力量 kWh/kg）水分25%W.B.		0.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03
投入エネルギー量（熱+電気 kWh/kg）水分25%W.B.		1.2	0.9	0.9	0.8	1.0	0.9	1.2	0.9	0.9
蒸発水分量（kg）		772	801	833	839	787	811	781	788	799
蒸発潜熱(kWh/kg)		0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684
蒸発に要する熱量（kWh）		528	548	570	574	538	555	535	539	547
乾燥時間（h/バッチ）		97	45	23	19	41	23	83	33	37
水分蒸発速度（kg/h）		8.0	17.8	35.7	43.0	19.1	34.8	9.4	23.6	21.5
乾燥効率（乾燥に使われる熱量/乾燥機への供給熱量）		40%	52%	55%	57%	48%	54%	39%	52%	50%
低位発熱量の増加分（kWh/バッチ）		804	835	867	873	819	844	814	820	832
投入エネルギー率 （投入電気エネルギー/低位発熱量の増加分）		8%	4%	3%	4%	4%	4%	8%	4%	4%
未利用熱活用率 （チップ熱量増加エネルギー/投入熱エネルギー）		60%	80%	83%	86%	73%	82%	60%	78%	76%

【温風風量の効果】

- ・風量の増加は水分蒸発速度（乾燥時間）の短縮に大きな効果がある。
- ・乾燥効率は風量約200m³/h・チップm³を越えると鈍ってくる。

水分蒸発速度 (kg/h) = 1時間あたりに蒸発する水分量
 乾燥効率 (%) = 乾燥に使われる熱量/乾燥機への供給熱量

温風風量による水分蒸発速度・乾燥効率の変化

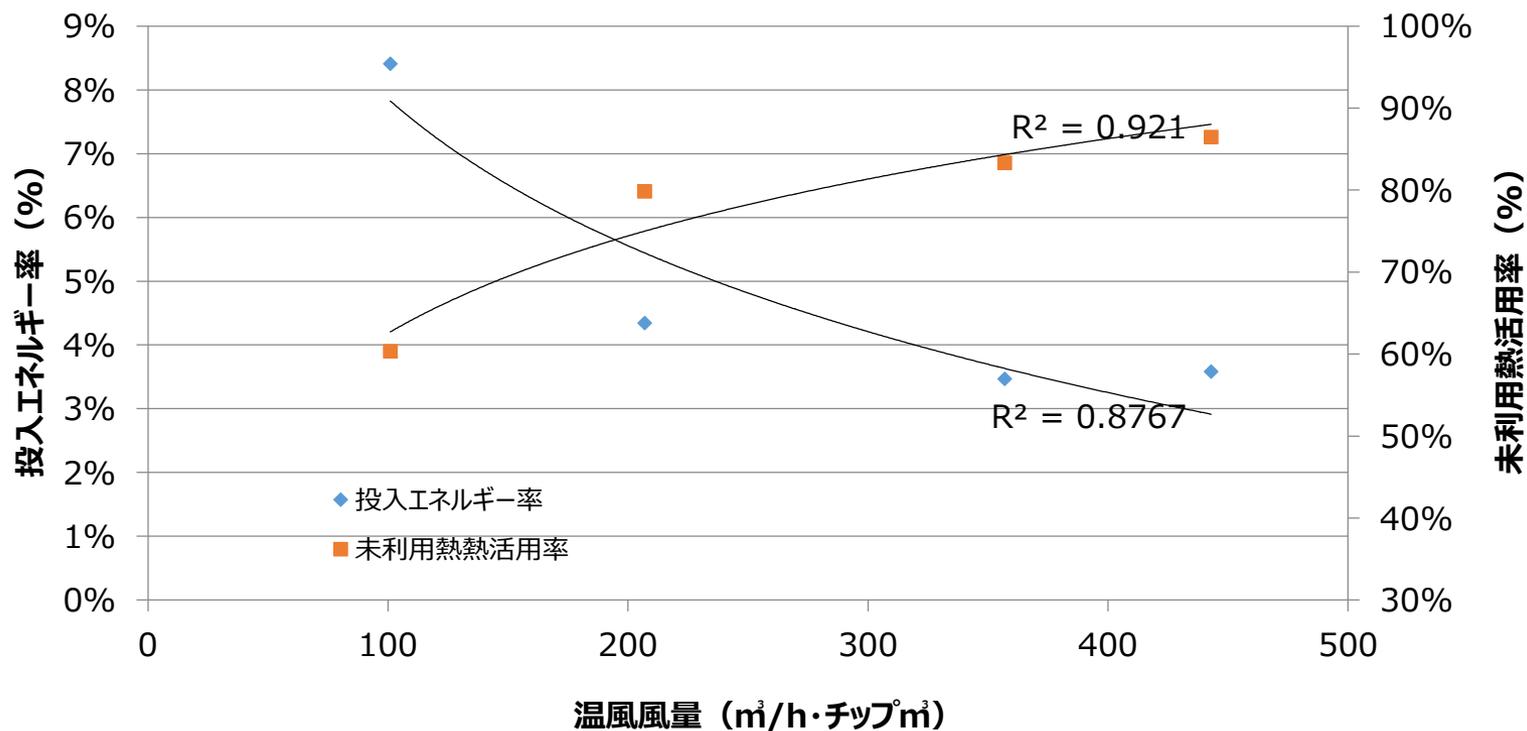


【温風風量の効果】

- ・風量が大きくなるにつれて未利用熱活用率は60%から80%程度まで増加するが、風量200m³/h・チップm³を越えると活用率の増加が小さくなる。
- ・乾燥後チップ1kgの乾燥に用いる電力消費量は、0.02～0.06kWhであり、投入エネルギー率は風量増加に伴い、4%程度まで低下する。

投入エネルギー率 (%) = 投入電気エネルギー/低位発熱量の増加分エネルギー
未利用熱活用率 (%) = チップ熱量増加エネルギー/投入未利用熱エネルギー

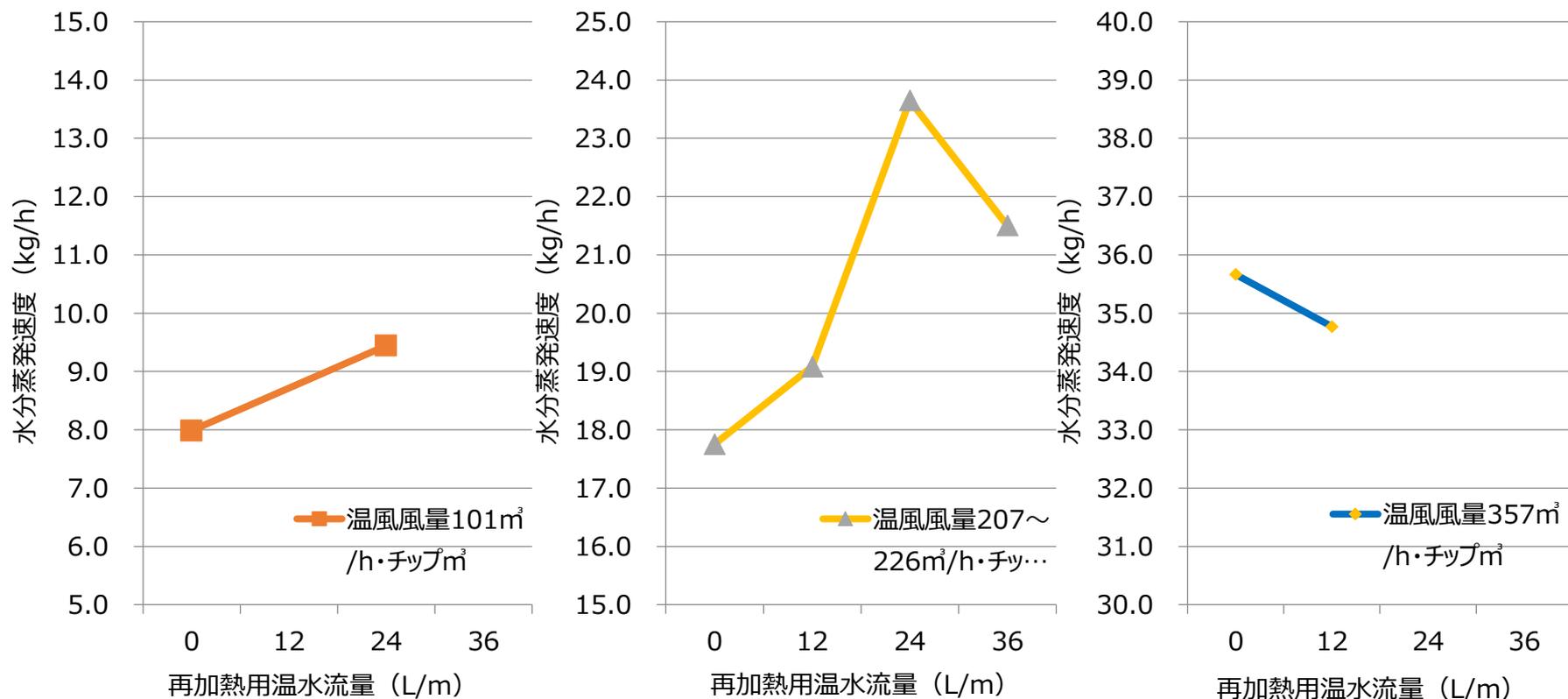
温風風量による各効率の変化



【温水流量の効果】

- ・風量が約 $230\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{チップ}\text{m}^3$ までは、温水による乾燥時間短縮の効果を確認できる。
これは、温水が乾燥パネル内を流れることにより、温風を再加熱した効果が大きいと考えられる。
- ・温風風量が $357\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{チップ}\text{m}^3$ になると、温水の効果は認められない。これは、温風風量が大きいため、温水から得られる熱量が相対的に小さいものであったためと考えられる。

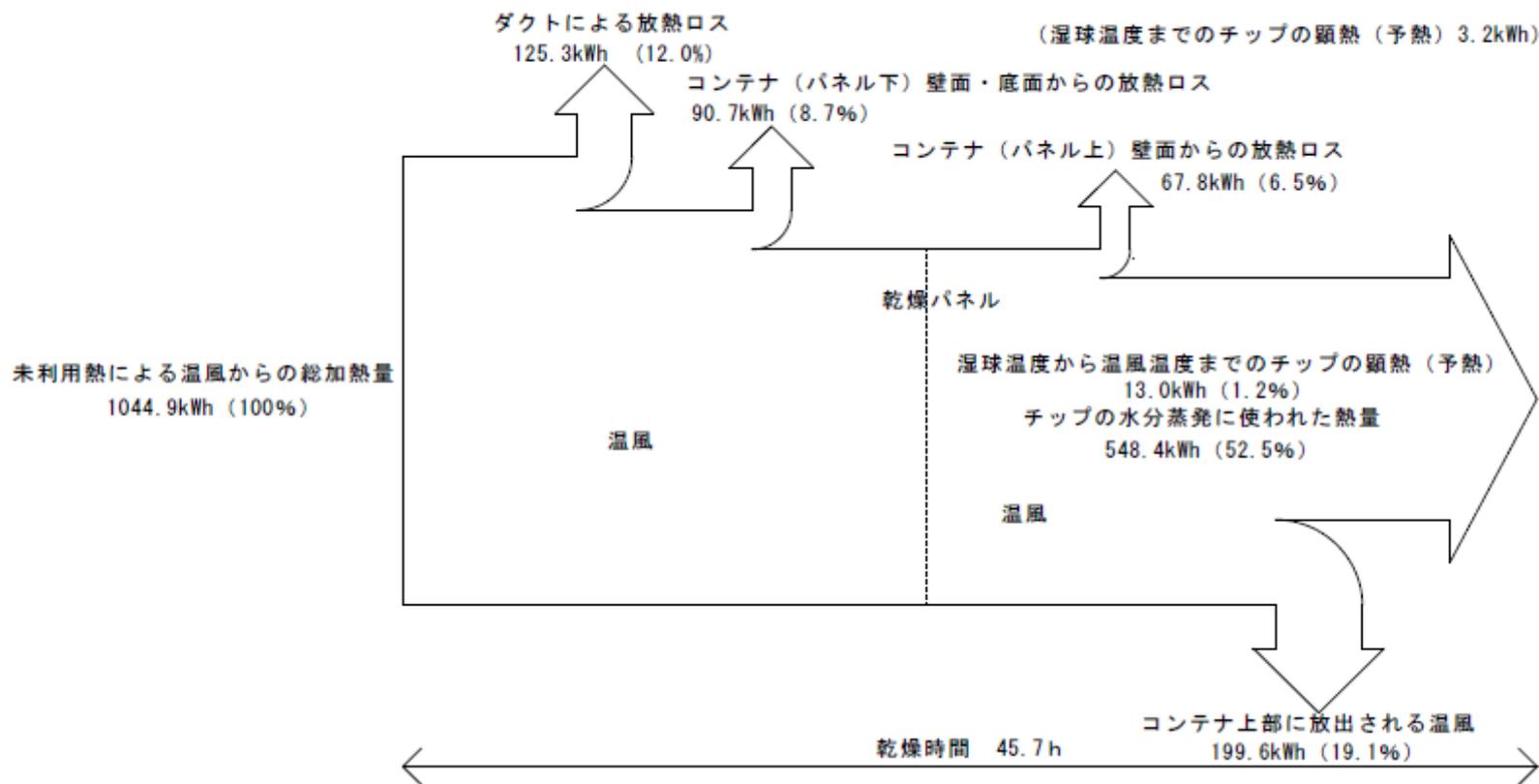
熱源温水の2次利用による水分蒸発速度比較



【エネルギー収支の把握】

試験設定： 温風風量約200m³/h・チップm³ 温水流量0L/min

- 総加熱量1044.9kWhの内、548.4kWhが乾燥に用いられている（乾燥効率52.5%）。
- 乾燥対象となるチップに熱を伝えるまでに、216.0kWh(20.7%)の放熱ロスがある。このロスの削減が効率向上への課題となる。



【想定する用途】

乾燥システムの導入検討の段階で、外部条件と可変条件から乾燥能力の目安を事前に想定し、システム検討に活用できるようにすること。※対流伝熱の効果が大きいいため温風乾燥を前提とする。

【検討順序】

- ① 木質チップの充填層乾燥に関する試算プログラムを作る。
- ② プログラムと実証にて得られたデータから、未知数であった入力値を明らかにする。
- ③ 他の条件での実証結果にもプログラムを適用し、その一致性を確認する。

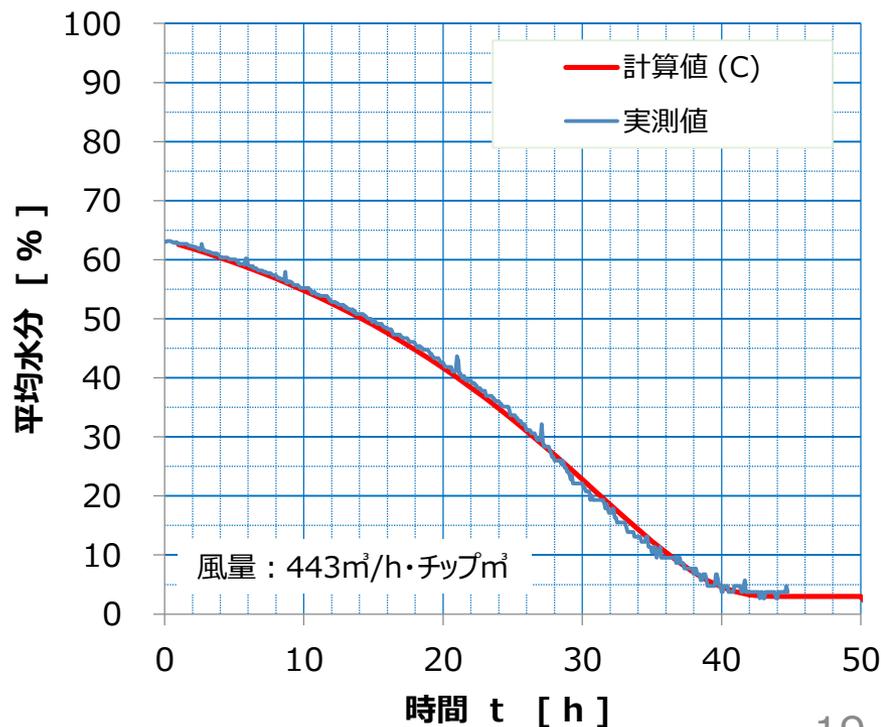
入力：

- ①外部条件：
外気温度、湿度→導入想定地域からの推測も可能。
- ②チップ条件：
希望年間チップ乾燥処理量、乾燥開始時水分
乾燥目標水分、
- ③熱源条件：熱源種類、熱源温湿度、風量、等

出力：

チップの水分の時間変化
乾燥に要する日数（時間数）
年間乾燥処理量、等

平均水分（湿り基準）の変化



- 実証により得られた結果を基に、商用パターンを検討。

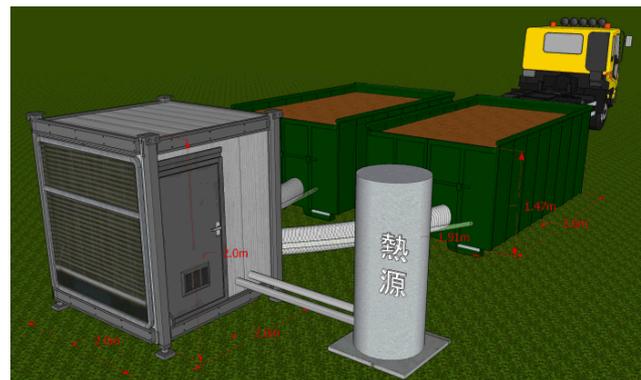
【システムの特徴】

- 未利用の熱を用いて木質チップを効率よく乾燥することができる。
- 熱交換ボックスを設置し熱源からの配管接続ができれば導入完了となるシステム。
- 熱源（温水、温風等）に合わせて乾燥システムをアレンジ可能。
- 各センサーとインバータ制御により、システムの稼働状況を把握。
- 通常乾燥に用いる対流伝熱（温風）に加えて、条件により対流伝熱に用いた後の熱源（温水）併用により乾燥時間を短縮。
- 脱着式コンテナ（アームロール等）を用いるため、乾燥後そのまま運搬が可能。

【基本仕様】

- 熱源条件 : 85℃⇔65℃温水 100kW-th温水
- 乾燥期間 : 1～2日（条件による）
- 乾燥処理量 : 3,000m³/年～6,000m³/年程度
- 乾燥量 : 木質チップ約10m³（バッチ式）の専用コンテナ（7t車用）×2基＝約20m³/回
- 乾燥開始水分 : M55
- 乾燥目標水分 : M25
- 温風風量 : 100m³～300m³/h・チップm³
- 温風温度 : 50℃～70℃
- 温水流量 : 0～24L/min
- 消費電力量 : 約4kWh/チップm³

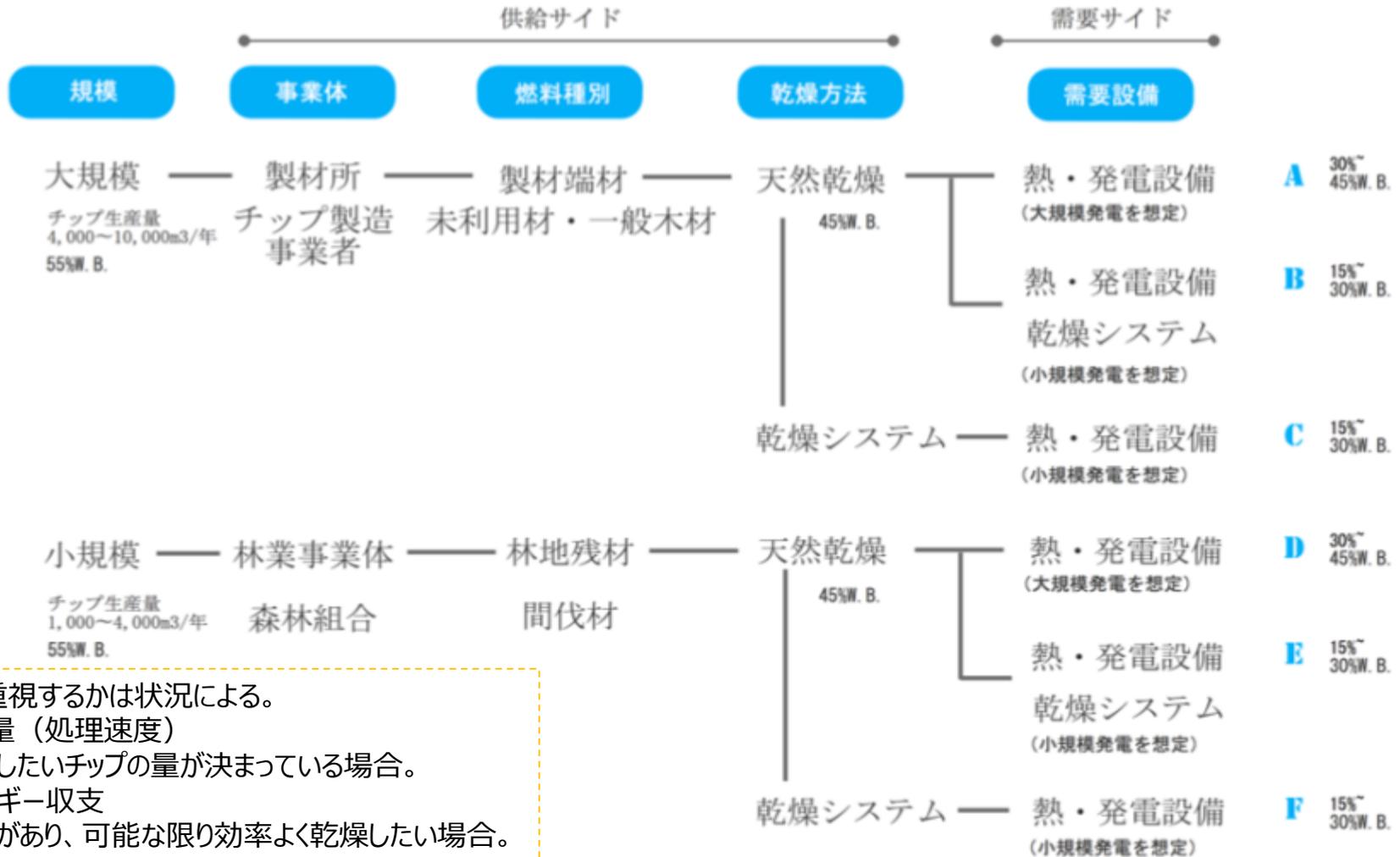
システムイメージ



⑤乾燥システムの導入要件～供給モデル～

- 規模や事業体に応じて求められる乾燥条件が異なることが想定される。
- 今後は実際のヒアリングを行い、さらに顧客の課題や状況を把握していくことが重要となる。

乾燥チップ供給モデルパターン



※何を重視するかは状況による。

①処理量 (処理速度)

乾燥したいチップの量が決まっている場合。

②エネルギー収支

熱源があり、可能な限り効率よく乾燥したい場合。

③乾燥コスト

乾燥チップの販売価格が明確になっている場合。

⑤乾燥システムの導入要件～取扱量試算～

- 年間のチップ乾燥処理量は温風乾燥で約750 t、温風+温水乾燥で808 tとなる。
- 乾燥により50万kWh以上の低位発熱量を増加させる。

チップ乾燥処理能力	温風乾燥	温風+温水乾燥		
年間稼働日	330	330	日/年	
チップ容量	10	10	m ³ /コンテナ	
コンテナ数	2	2	基	
チップ乾燥量	20	20	m ³ /回	
乾燥日数	1.8	1.6	日/回	7～12時間を運送・準備等に要すると想定
年間乾燥回数	188	202	回/年	
合計チップ乾燥処理量	3,754	4,041	m ³ /年	

低位発熱量の増加

乾燥前生チップ水分	55	55	%W.B.	
生チップかさ密度 (55%W.B.)	333	333	kg/m ³	50%W.B.時に300kg/m ³
生チップ年間取扱量	1,251,185	1,346,939	kg/年	55%W.B.時
生チップ低位発熱量	1.7	1.7	kWh/kg	55%W.B.時
生チップ総発熱量	2,101,991	2,262,857	kWh	55%W.B.時
乾燥後チップ水分	25	25	%W.B.	
乾燥チップかさ密度 (25%W.B.)	200	200	kg/m ³	50%W.B.時に300kg/m ³
乾燥チップ年間生産量	750,711	808,163	kg/年	25%W.B.時
乾燥チップ低位発熱量	3.5	3.5	kWh/kg	25%W.B.時
乾燥チップ総発熱量	2,619,981	2,820,490	kWh/年	25%W.B.時
増加低位発熱量	517,991	557,633	kWh/年	
熱量増加率	125%	125%		

《現状》

- 乾燥に要するコストは、現状の積み上げの中では、約4.0円/kg(25%W.B.)となる。
- 水分55%W.B.のチップ販売価格が10円/kgとした場合、熱量としては20.8円/kgの価値がある。一方で、乾燥によるチップの減少量を考慮すると、熱量ベースでの付加価値は約4.1円/kg(25%W.B.)となる。

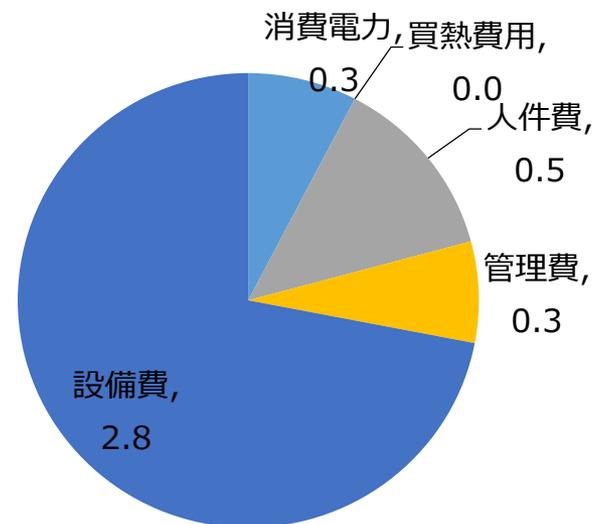
《今後》

- 効率向上や設備費精査により、乾燥コストの削減が必要。
- チップの熱量ベースでの取引や化石燃料価格とのバランス、乾燥チップの熱量以外の付加価値についても認識が広まることが期待される。

《熱量ベースの付加価値》

項目	水分 55%W.B.	水分 25%W.B.	単位
発熱量	1.7	3.5	kWh/kg
単価（熱量ベース）	10.0	20.8円/kg	
取扱量	1,251	751	t/年
売上	12,511,848	15,595,125	円/年
売上差		3,083,277	円/年
付加価値（熱量ベース）		4.1円/kg	

木質チップ乾燥コストの内訳（円）



《乾燥コスト》

	温風乾燥	温風+温水乾燥	
重量乾燥コスト	3.9	4.0	円/kg 25%W.B.時。設置費、運搬機械含まず。
容積乾燥コスト	775	791	円/m ³ 25%W.B.時
容積乾燥コスト（チップ収縮率含む）	816	832	円/m ³ 収縮率5%分のチップを追加と想定した場合。

《成果》

- ①燃料材として一般的な木質チップの乾燥特性を明らかにした。
- ②温風風量の効果と温水流量の影響を把握した。
- ③実証結果を用い、導入検討時に用いるための乾燥性能の試算式を作成した。
- ④100kW程の未利用熱を熱源とする乾燥システムを商用パターンとして検討した。
- ⑤乾燥システムの適用パターンを考案し、目安となる乾燥コスト約4円/kgを算出した。



《課題》

- ①断熱性能向上等により、乾燥効率や消費電力の削減効果を検討。
- ②未利用熱源の特徴をより詳細に把握し、システムの詳細を検討。
- ③乾燥チップの供給事業者とともに自らが未利用熱源と乾燥ニーズのマッチングする事業をつくる。
- ④乾燥コスト低減に向けたシステムの詳細検討の実施により、買熱もできるモデルをつくる。

ありがとうございました。