

「CO₂冷媒ヒートポンプによる省エネ木材乾燥技術」



国立研究開発法人 森林総合研究所 齋藤周逸

【研究グループ】

(研) 森林総合研究所、東京大学、東京工業大学、静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター、(株)前川製作所

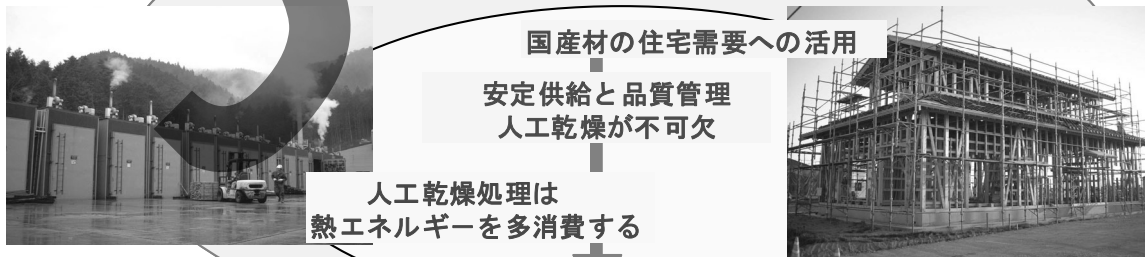
農林水産技術会議：新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：平成20～22年度

2017.0314 一般社団法人日本太陽エネルギー学会/太陽光化学・バイオ部会第8回、太陽熱部会第5回、太陽光発電部会第18回研究講演会:東京理科大学森戸記念館

はじめに

わが国のエネルギーを取り巻く状況は、地球温暖化の問題、原油価格高騰の回避対策等の解決が急務とされている。これらの対策として、政府は、省エネルギー技術の開発・普及、低炭素社会の構築に取り組んでいるところであり、温室効果ガスの排出量の削減が目標とされている。

※※研究開発のターゲット※※



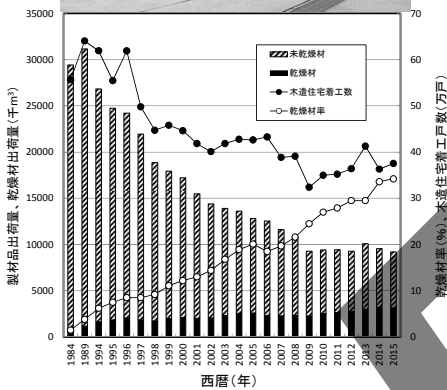
CO₂冷媒ヒートポンプ技術応用の木材乾燥装置
省エネ・二酸化炭素排出削減

省エネ:ヒートポンプ技術
低環境負荷:CO₂冷媒
ノンフロン、二酸化炭素排出削減

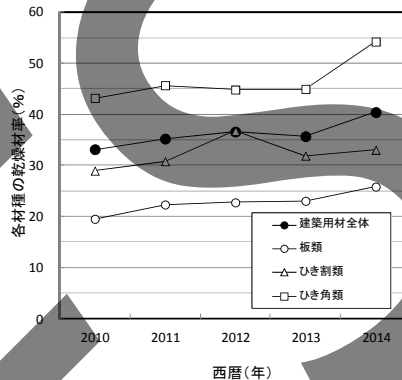
1. 木材乾燥の必要性

1.1 国内における乾燥材の状況

高品質木造住宅の供給には、材料性能を表示した木材を、量、質、価格ともども安定的に供給する必要が求められる。このためには一定期間で乾燥処理が可能な人工乾燥処理の普及が今後も必要不可欠と考えられる。



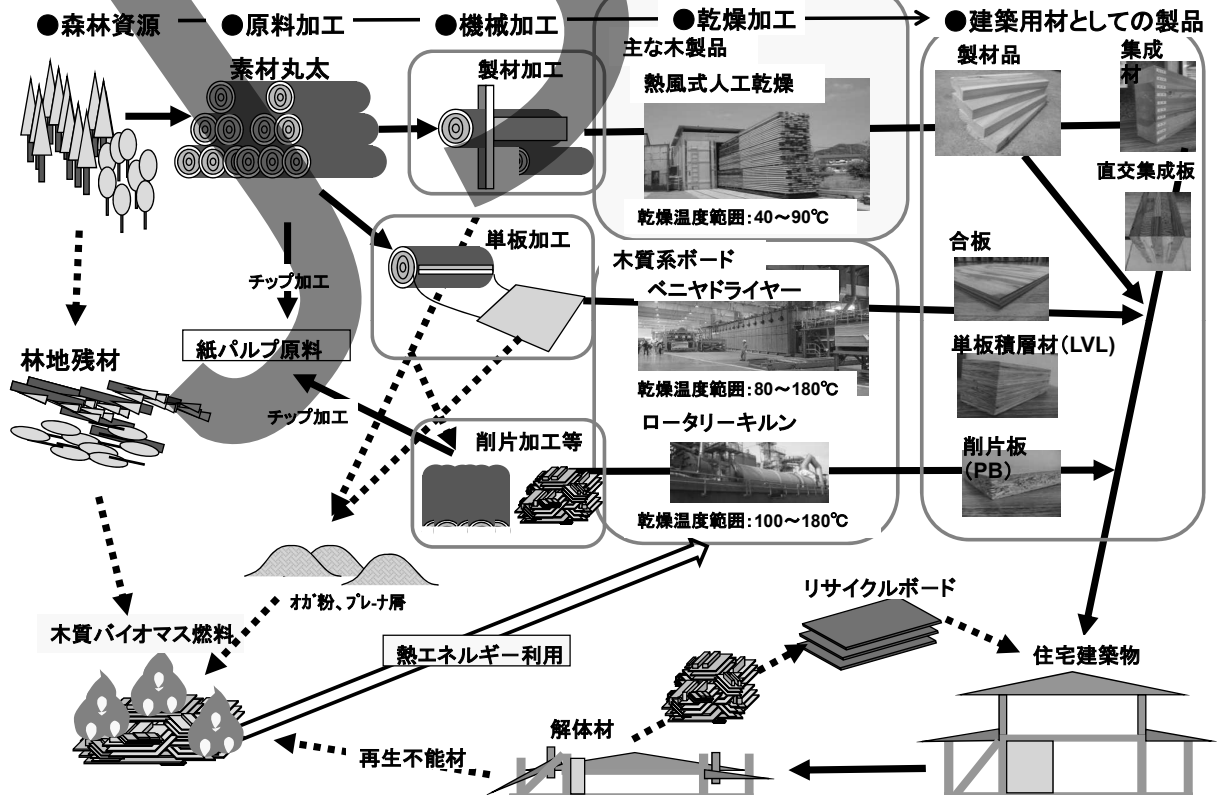
製材品出荷量と乾燥材率の推移



住宅部材別の乾燥材率の推移

1.2 木材産業における乾燥工程の温度域

主な木材製品生産で使われる乾燥加工工程の温度域(40~90℃)の温熱を作るためには、化石燃料の燃焼や電熱ヒータ方式、そしてヒートポンプ加熱方式がある。

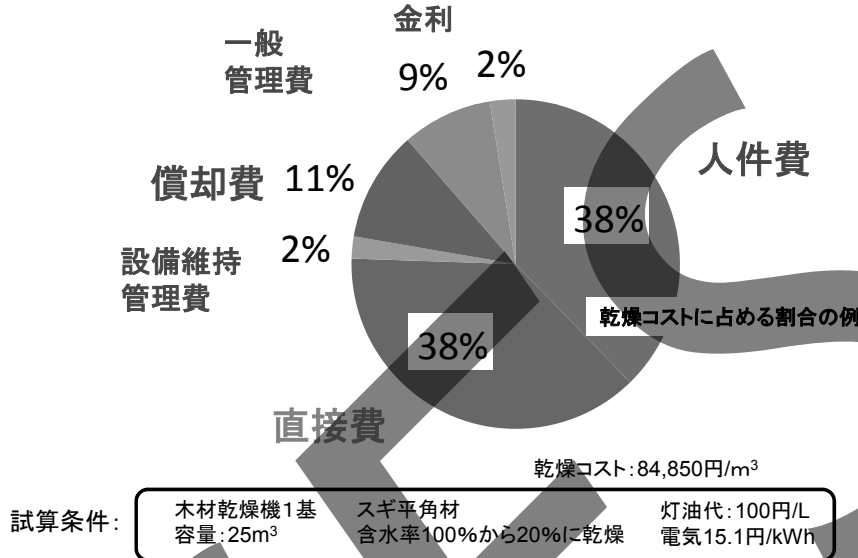


1.3 木材乾燥には加熱エネルギーが必要

工業的な木材乾燥法として国内シェアの8割を占める蒸気加熱式は、重油や灯油を使用するため、燃料代の高騰やCO₂排出という環境面の問題を含んでいると考えられた。そこで、省エネで環境負荷の小さい乾燥装置の開発が必要。

木材乾燥に係るコストに対して直接費(燃料代)がおおきい

空気加熱法(灯油ボイラ)



2. ヒートポンプを応用した木材の除湿乾燥法

1970年代 木材の除湿乾燥法の幕開け

木材の除湿乾燥機としての研究段階から製品の乾燥機を使って当時の主要樹種の試験研究を行い、乾燥性能や省エネ性や乾燥機としての問題点を追及していた。

この時代背景には1973年の第一次オイルショックの影響で燃料油の価格が高騰した時代背景があることは見逃せない。当時の灯油価格は1970年20円/ℓ、1977年45円/ℓ。

1980年代 国産針葉樹の人工乾燥技術研究の幕開け

蒸気加熱式に比べて安価で、乾燥機の取り扱いや設置の簡便性等の理由から、比較的小型の乾燥容量10~20m³を中心に除湿式乾燥機が針葉樹製材工場に普及した。

灯油価格: 1982年100円/ℓ

運転可能温度冷媒: R-12は70℃、R-22は50℃

1990年代 除湿乾燥法の研究は燃料油の価格は安定していたため大きく進まず

灯油価格: 1990年40円/ℓ、2000年50円/ℓ

フロンガスの地球環境に係るオゾン層への影響問題

1989年に発効された「モントリオール議定書」により1996年に冷媒R-12が国際的に全廃規制されたことから装置自体が製造されなくなった。

2000年代 環境問題と燃料油の問題は除湿式乾燥法を再認識させる

ヒートポンプシステムの性能等についてCOP(成績係数)やエネルギー消費等の面から評価している。ただし、これらの研究ではフロン系ヒートポンプである

灯油価格: 2004年60円/ℓ、2006年90円/ℓ、2008年140円/ℓ、2010年72円/ℓ、2012年100円/ℓ

3. ヒートポンプ加熱は低炭素社会のキーテクノロジー

3.1 再生エネルギーとしてのヒートポンプ

ヒートポンプとは、太陽によって暖められた空気等の熱を活用して、二酸化炭素が発生する燃焼を伴わずに加熱が行える技術である。この加熱は冷媒と呼ばれる化学物質の圧力状態による液体と気体の相互変化によって生じる発熱や吸熱を応用する機器である。

■ドイツ環境省の再生可能エネルギーの分類

1次エネルギー原	自然エネルギー	エネルギー変換		2次エネルギー
		自然界	技術	
太陽	バイオマス	バイオマス生産	コージェネ、転換設備	熱、電気、燃料
	水力	蒸発、降水、融解	水力発電設備	電気
	風力	大気の流れ	風力タービン	電気
		波の動き	波力発電設備	電気
	太陽光線	海の潮流	潮流発電設備	電気
		地表や大気の熱	ヒートポンプ	熱
			海洋熱発電設備	電気
太陽光線		光分解	燃料	
		太陽電池	電気	
		太陽熱設備	熱	
月	引力	汐の干満	潮汐発電設備	電気
地球	放射性元素の崩壊	地熱	地熱コージェネ設備	熱、電気

■出典：ドイツ環境省「Renewable Energies - Innovations for a Sustainable Energy Future (2009)」

ヒートポンプも太陽を起源とする熱利用技術として、欧州ではヒートポンプを再生可能エネルギー利用技術として導入を支援している。日本でも2009年に「エネルギー供給構造高度化法」により再生可能エネルギーとして位置づけられた。

3.2 ヒートポンプ冷媒に関する動向

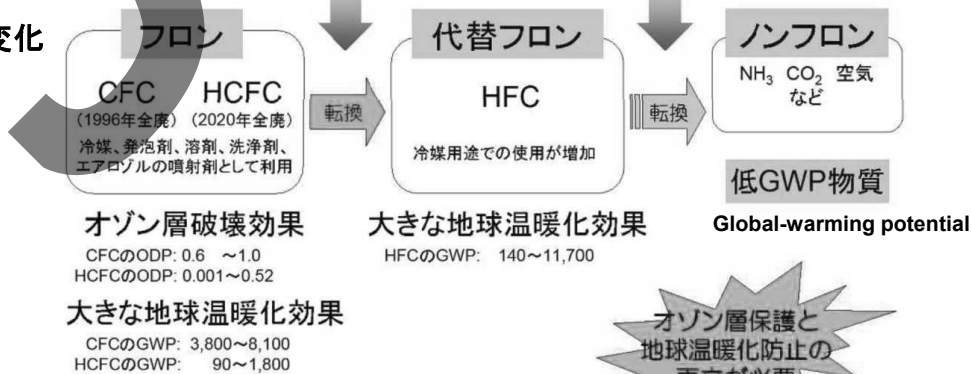
ヒートポンプには地球環境に悪影響を与えるフロンガスが使用されていたが、近年は自然に存在するCO₂ガスを応用したヒートポンプが開発された。現在、このヒートポンプシステムは年々大型化され、業務用や産業用としても応用可能な規模になった。

冷媒に関する政策動向

モントリオール議定書
オゾン層保護の観点

京都議定書
温室効果ガスとして削減対象

冷媒の変化



3.3 CO₂冷媒ヒートポンプ

CO₂冷媒ヒートポンプの特徴

CO₂冷媒ヒートポンプの大きな特徴は、従来のフロン系ヒートポンプでは凝縮熱を利用していたことに対して、二酸化炭素の臨界温度を超えた超臨界状態において顕熱を利用している

従来のヒートポンプ加熱方式では不可能であった温度域である70℃以上の空気加熱が可能であり、実用的には最高90℃が達成できる。省エネ性は高く、電気エネルギー換算で通常加熱の20～30%が削減可能である。環境面では、自然冷媒であるCO₂ガスは、オゾン破壊係数が0、地球温暖化係数が1であり、各数値が従来のフロンガスに比べて低い。

「エコキュート」給湯システムの誕生

2001年に東京電力(株)と(株)デンソーと共同で商品化し、(株)コロナが世界で初めて発売した一般家庭用給湯システムは自然冷媒であるCO₂冷媒(R-744)を利用したヒートポンプ装置を応用したものである。

基礎研究は1995年(財)電力中央研究所(現在は一般財団法人)の成果

各冷媒の特徴

冷媒	分類	種類	規制スケジュール		オゾン破壊係数 (ODP)	地球温暖化係数 (GWP)100年
			先進国	発展途上国		
規制フロン	CFC	R-12	1996年全廃	2010年全廃	1	10900
	HCFC	R-22	2020年全廃 (2015年欧州で全廃)	2040年全廃	0.055	1810
代替フロン	HFC	R-134a			0	1430
	HFC	R-410A			0	2090
	HFC	R-236fa			0	9810
自然冷媒	CO ₂	R-744			0	1

3.4. CO₂冷媒ヒートポンプ装置による木材乾燥機の開発

木材乾燥機の開発は(株)前川製作所製のCO₂冷媒ヒートポンプ装置を応用した。この装置は、それまでの湯沸し装置とは異なり、直接空気を加熱する装置で、吹き出し口で最高120℃の熱風を発生させることが可能。

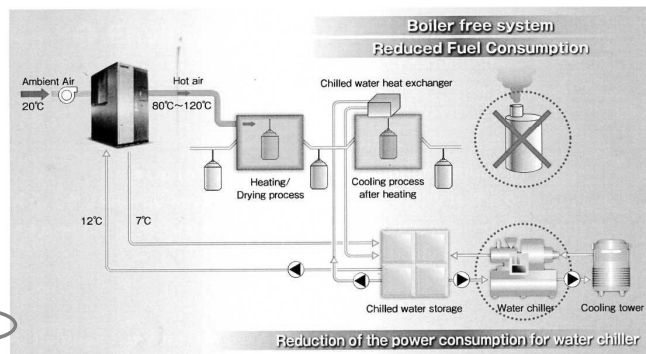


Market adaptation

○Drying and Dehumidification

- ・Drying in food processing plants
Livestock products, marine products, dried vegetables, dehydrated eggs, seasoned powders, pasta, pet foods, refined sugar etc.
- ・Drying in other industries
Plastic moldings, adhesive agents, pharmaceutical products, textiles, lumbers, painting processes in automobile industry

木材への応用



4. CO₂冷媒ヒートポンプを応用した木材乾燥機の開発

4.1 CO₂ヒートポンプ方式と従来方式の比較

<蒸気ボイラシステム>

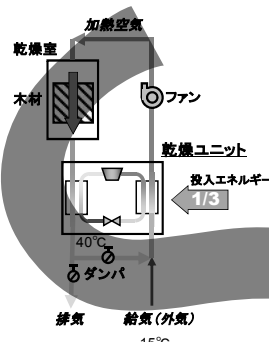
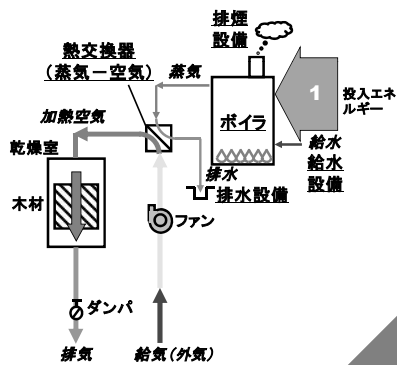
ボイラで蒸気を製造→蒸気で空気を加熱

- 熱源機:ボイラおよび付帯設備+熱交換器
- 使用エネルギー:水+油+電気

<CO₂ヒートポンプシステム>

CO₂ヒートポンプユニットで空気を直接加熱

- 熱源機:CO₂ヒートポンプユニット
- 使用エネルギー:電気のみ

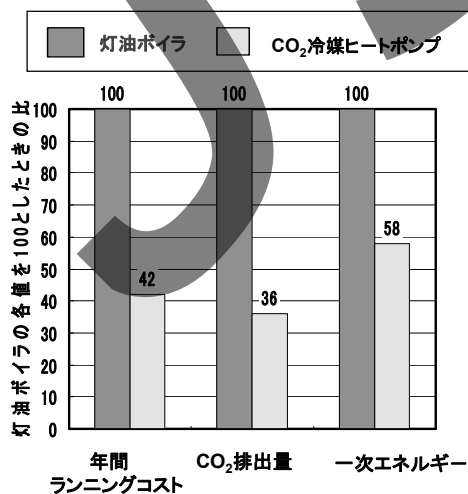


CO₂ヒートポンプの利点

- ・除湿による温熱空気の再循環利用、
- ・ヒートポンプ採熱側への空気排熱利用によるCO₂ (P成績係数) 向上
- ・除湿による凝縮有用成分の回収
- ・フロン冷媒では課題であった、季節・気候に依存しない安定操作

4.2 CO₂ヒートポンプ方式の省エネルギー効果の試算

CO₂冷媒ヒートポンプを応用した低環境負荷型木材乾燥装置の開発を行うために、熱量計算モデルによって木材乾燥にかかるエネルギーを想定し、予め熱源別の二酸化炭素発生量や加工に係る総エネルギーの試算を行った。乾燥熱源の比較対象として、灯油焚きボイラや従来のフロン型ヒートポンプ方式等で検証した。



東京電力高圧電力A: 11.3円/kWh	0.339 kg-CO ₂ /kWh
灯油:81円/ℓ	2.49 kg-CO ₂ /ℓ-灯油
工業用水:30円/m ³	成績係数COP=3

ランニングコスト、二酸化炭素排出量
大幅にダウン

一次エネルギー換算でも有効性を確認

設計用想定ケース

乾燥装置容量:46m³ 1基

処理温度60~80℃

含水率100%から20%へ
(JAS乾燥材相当)

7日間の乾燥時間を想定

年間生産量:2196m³

4.3 熱量計算モデルによる省エネ・低環境負荷設計の検討

ヒートポンプシステムの性能指標である成績係数(COP) (消費電力1kWあたりの冷却・加熱能力)を各加熱システムと運転温度で比較すると、従来のフロン冷媒では70°Cを超える加熱では熱効率が悪くなり、成績係数(COP)が低下するため、省エネ性の評価は低くなる。

一方、開発対象のCO₂冷媒ヒートポンプは60~80°Cまでの温度域で3.41~3.99と良好な試算結果であり、60~70°Cの加熱条件で成績係数が3.99と最も高い試算結果であった。

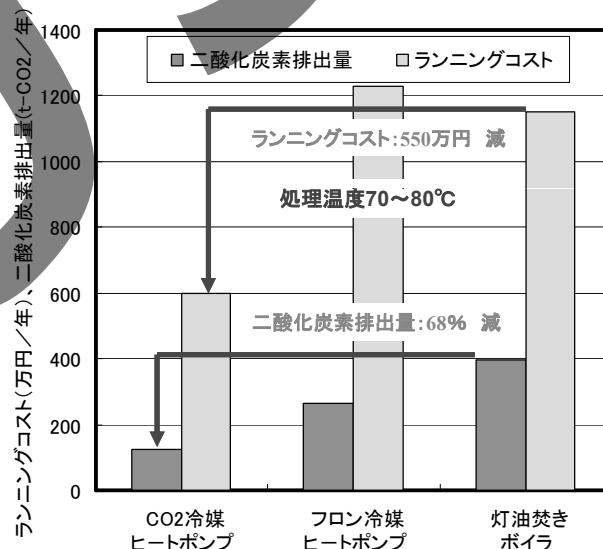
各加熱システムによる成績係数(省エネ性)と環境負荷の比較

加熱システム		CO ₂ 冷媒ヒートポンプ			フロン冷媒ヒートポンプ			灯油ボイラ
		60~70	65~75	70~80	60~70	65~75	70~80	70~80
乾球温度	°C	60~70	65~75	70~80	60~70	65~75	70~80	70~80
相対湿度	%	100~26	86~43	87~57	100~26	86~43	87~57	87~57
成績係数(COP) *1		3.99	3.96	3.41	3.46	2.5	1.8	-
二酸化炭素排出量	t-CO ₂ /年	167	162	174	257	302	365	416
二酸化炭素削減率	%	60	61	58	38	27	12	-

*1: COP: Coefficient of Performanceの略、消費電力1kWあたりの冷却・加熱能力を表した値。

表の結果を基に、住宅用間柱や集成材用のスギ板材を人工乾燥することを想定して、CO₂冷媒ヒートポンプによる省エネ性は年間ランニングコスト、環境負荷は二酸化炭素排出量により、効果を試算した。

この結果、灯油焚きボイラを用いた乾燥システムに比べて、二酸化炭素排出量を68%程度削減でき、またランニングコストは年間550万円程度の削減効果が期待出来る試算結果であった。



各加熱システムによるランニングコストと二酸化炭素排出量の比較

4.4 CO₂冷媒ヒートポンプを応用した乾燥機の特徴

1. 温度範囲のアップ:

50~90°Cの温度範囲で乾燥機の運転が可能。

2. 省エネ性:

電気エネルギー換算でボイラ加熱の20~30%削減が可能である。

3. 低環境負荷:

自然冷媒であるCO₂ガスは、オゾン破壊係数が0、地球温暖化係数が1である。

5. CO₂冷媒ヒートポンプ木材乾燥装置設計・開発

5.1 設計・開発

空気を直接加熱可能な産業用CO₂冷媒ヒートポンプを応用し、産業用の木材乾燥装置として実用化する。

1. ヒートポンプ装置の開発

加熱温度、高効率

- 省エネと低環境負荷を兼ね備えた新型木材乾燥装置を作製する。
- 電気エネルギーだけで稼動する木材乾燥装置を作製する。

2. 乾燥機の開発

断熱性、空気循環、温度分布等

3. 装置制御による乾燥性の検証

スギ、ヒノキ板材の乾燥試験

- 乾燥技術者の不足を補うため、自動運転制御ソフトを作製する。

4. 経済性の検討

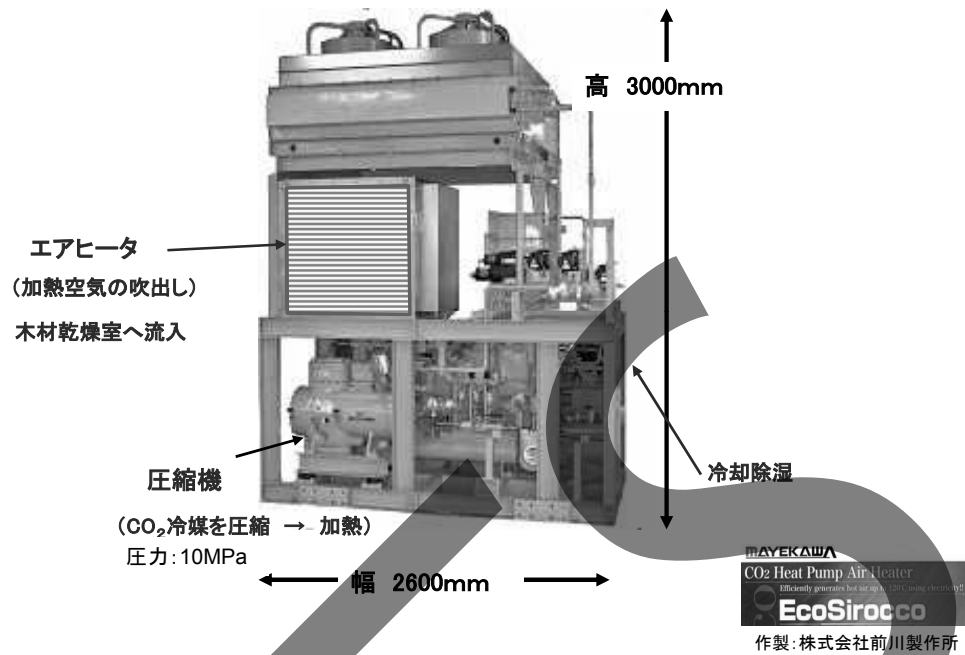
試算による好適な導入規模の提案

副産物: 排水に含まれる有機物

開発装置による乾燥試験で凝縮抽出・分析

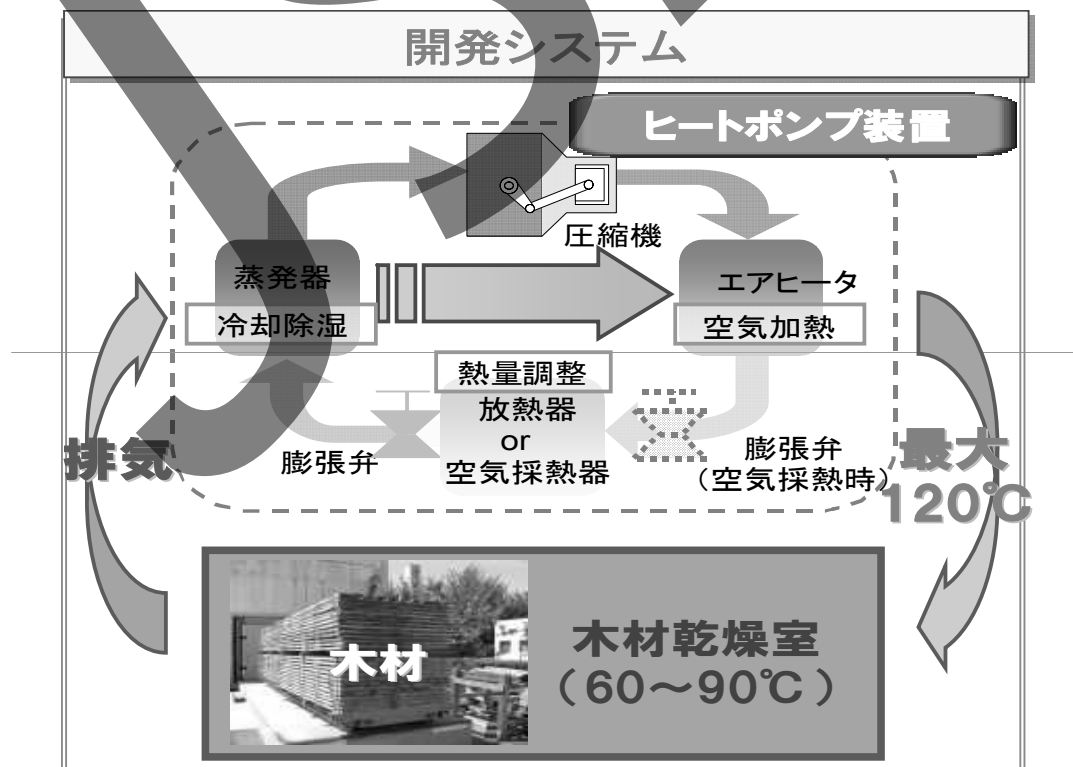
5.2 ヒートポンプ装置の開発

研究開発により作製されたCO₂冷媒ヒートポンプ装置（正面図）



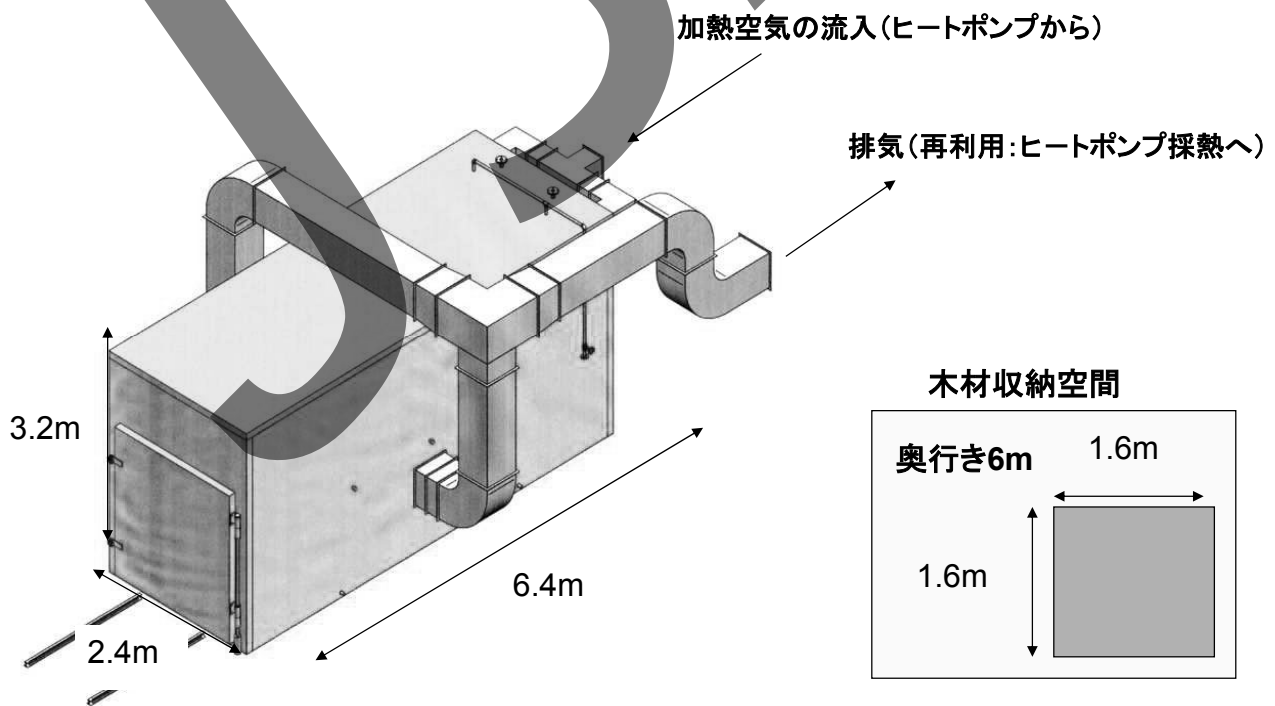
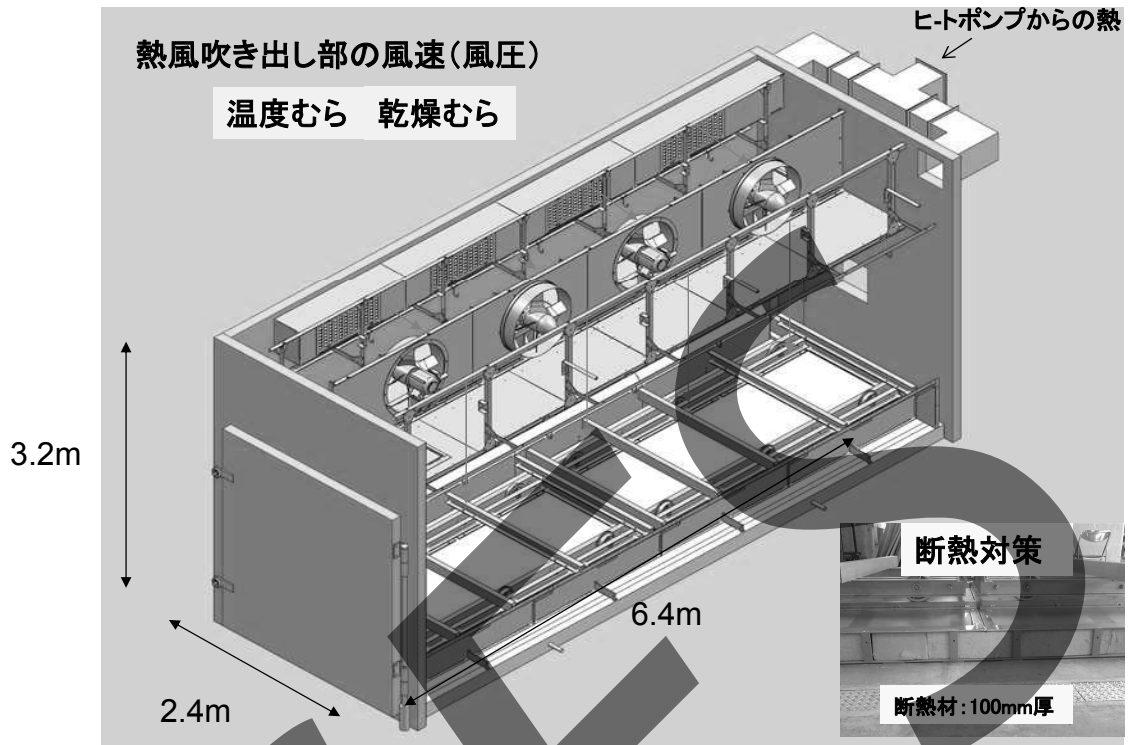
燃焼を必要としないので二酸化炭素ガスを排出しない低環境負荷で節電型の加熱装置

装置機器の開発: 木材乾燥装置用として設計したCO₂冷媒のヒートポンプ加熱装置



5.3 乾燥機の開発

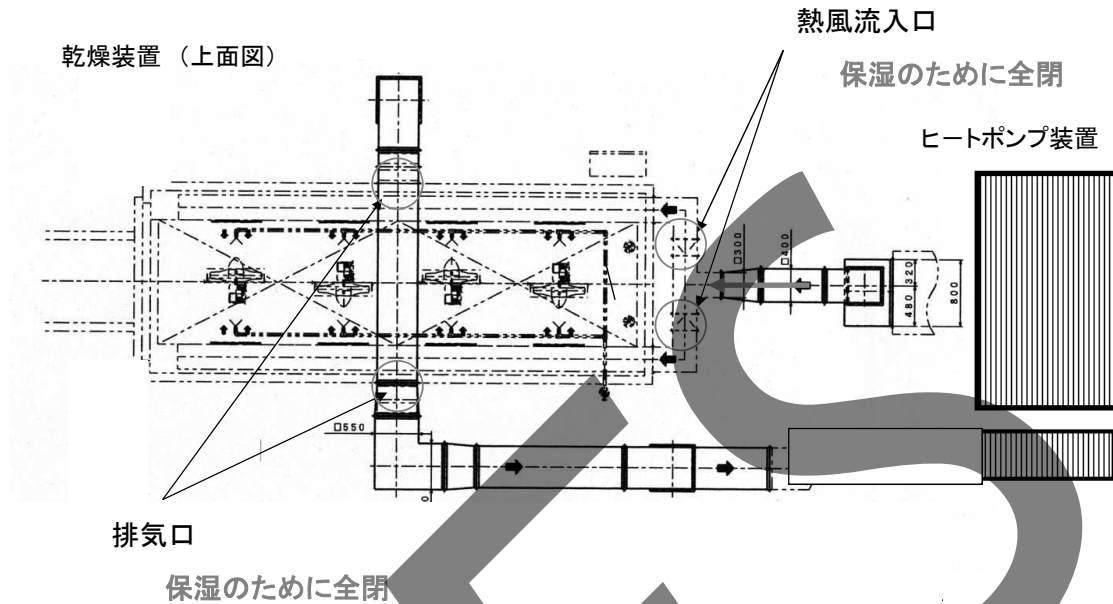
開発装置の断面図 (実用装置の1/3の容量)



板材で500~600枚、柱材で200~300本
乾燥容量6.5m³(実用機の1/3規模)

5.4 木材に含まれる水分を活用するため、 乾燥初期等に湿潤空気を逃がさない構造

木材乾燥の乾燥に必要な湿度条件を、木材からの水分だけで補う



5.5 開発装置の運転ソフトの開発

スケジューリング機能により時間ごとの温湿度設定が可能

スケジュール1 09/03/19 12:31

立ち上げ運転時 GC空気出口温度設定	012.4℃	デフロスト運転時 GC空気出口温度設定	012.4℃
-----------------------	--------	------------------------	--------

乾燥運転モード 経過時間	乾燥室温度設定 スケジュール現在値	乾燥室湿度設定 スケジュール現在値	GC出口温度設定 スケジュール現在値
012345.7時間	012.4℃	012.4%	012.4℃

乾燥運転モードスケジュール設定

スケジュール 追加/削除	時間設定	乾燥室温度設定 TE-30	乾燥室湿度設定 HE-01	GC出口温度設定 TE-12
	乾燥運転開始	012.4℃	012.4%	012.4℃
[削除]	01234時間後	012.4℃	012.4%	012.4℃
[削除]	012.4時間後	012.4℃	012.4%	012.4℃
[削除]	012.4時間後	012.4℃	012.4%	012.4℃
[削除]	012.4時間後	012.4℃	012.4%	012.4℃

スケジュール 経過時間 温湿度設定

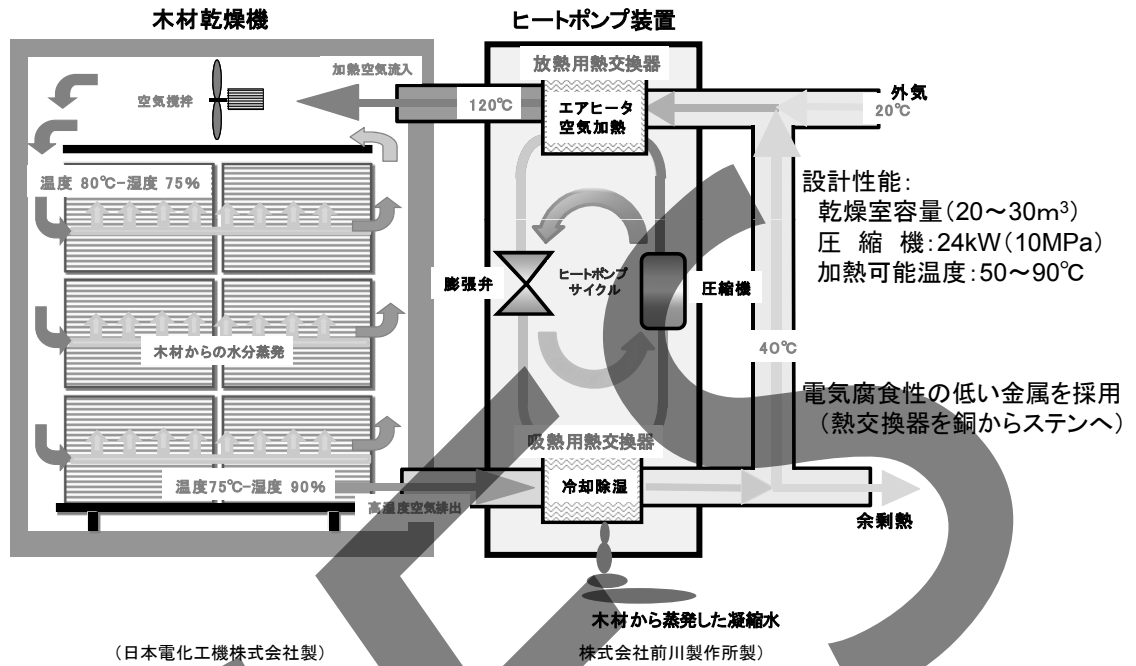
次画面
運転画面
設定画面
PID画面
メニュー画面

5.6 作製したCO₂冷媒ヒートポンプ木材乾燥機

ヒートポンプ装置に接続される乾燥室:

設計乾燥材積の約1/3(実効材積7~8m³相当)に設定

高気密高断熱、室内空気の温度むらが少ない空気循環



6. 開発乾燥装置の検証試験

6.1 スギ板材の乾燥試験

対象材:スギ板材、480枚、積載量:6.8m³、寸法:35×134×3000mm



試験検証項目

運転可能温度

自動運転ソフト開発

蒸発水分の湿度利用

精油回収可能 等

6.1 スギ板材乾燥のための温湿度スケジュール

乾燥温度: 70~80°C

相対湿度: 79~57°C

湿度条件は、木材中の水分のみで制御を目標

プログラム ステップ	生材 処理時間 (時間)	乾球温度	湿球温度	乾湿球 温度差	水蒸気圧	相対湿度	絶対湿度	平衡含水率
		t [°C]	t' [°C]	dt [°C]	E [hPa]	H [%]	S [g/m ³]	EMC [%]
昇温、昇湿度	1	50	50	0	272	100	83	-
	2	70	70	0	312	100	197	-
	3	70	65	5.0	247	79	156.0	12.0
	4	71	65	6.0	246	75	155.1	10.9
	5	73	65	8.0	245	69	153.4	9.3
	6	75	66	9.0	256	66	159.2	8.7
	7	77	67	10.0	267	63	165.3	8.2
	8	79	68	11.5	272	59	167.5	7.5
	9	80	68	12.5	271	57	166.6	7.2
降温 総時間	10 168	30 -	20 -	-	-	-	-	-

乾球のみが急激に上昇しないように昇温、昇湿度では相対湿度を100%に設定した

6.2 温湿度制御システムの開発

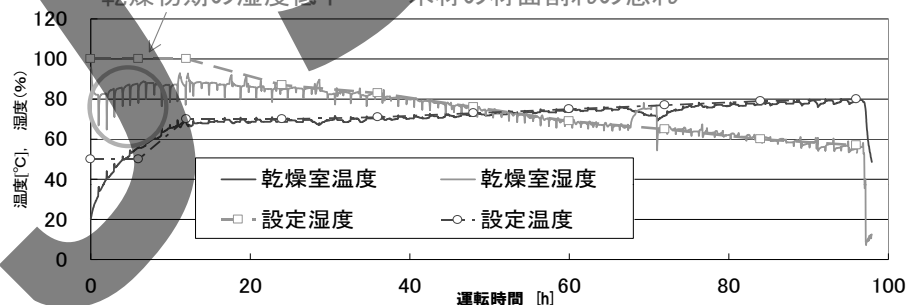
樹種、材種、最終用途に対応した乾燥 技術の自動化ソフト

課題: 木材の人工乾燥の湿度制御を木材中の水分だけでおこなう

湿度増加は、木材から出てくる水分のみ

相対湿度は、水分量と温度で決まる

乾燥初期の湿度低下 → 木材の材面割れの恐れ



[乾燥室内の温度上昇における飽和湿度量増加] ≠ [木材からの水分排出量]

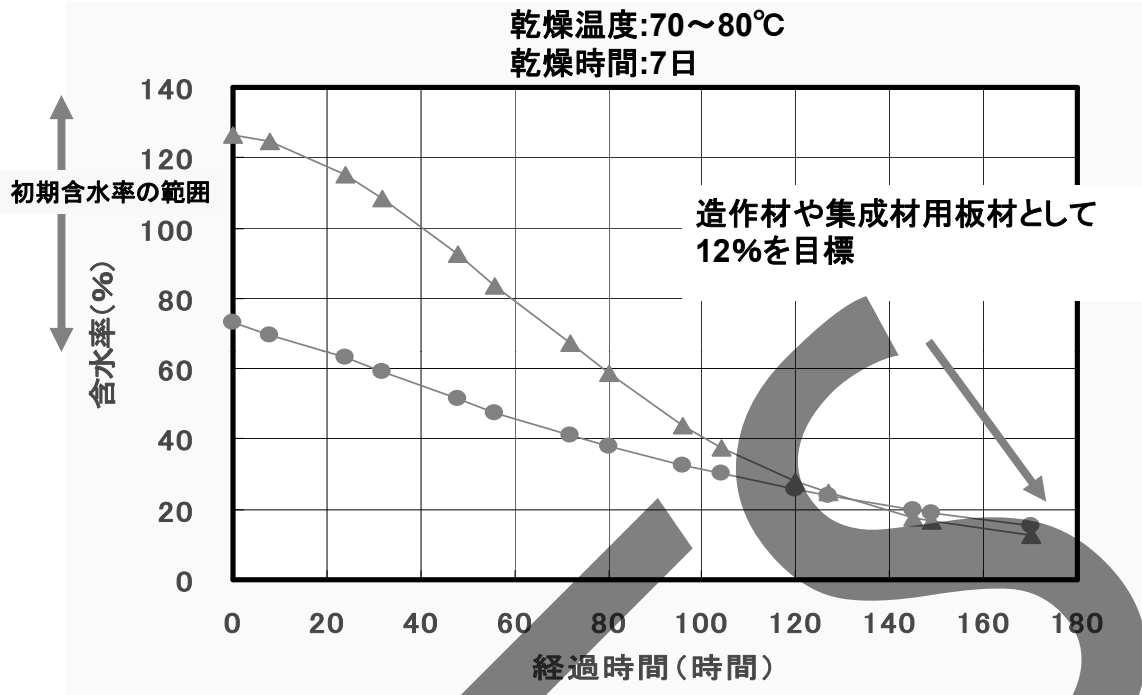
対象木材の樹種によって、材内水分量が異なる。

対象木材の最終的な品質によっては、温湿度制御の精度が重要視される

木材の材質、用途によって制御方法の変更が必要

(湿度重視 あるいは 温度重視)

6.3 スギ板材の乾燥試験結果



乾燥木材の90%程度が、目標含水率12%を達成した。

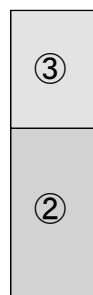
品質を低下させるような乾燥ワレや変形等が見られず、良好な結果が得られた。

重量の変化

乾燥枚数	480 枚	
乾燥前木材重量	4427 kg ①	
乾燥後木材重量	2777 kg ②	
乾燥水分量	1650 kg ③	
採取水分量	1220 kg	採取水分量は74%



乾燥前

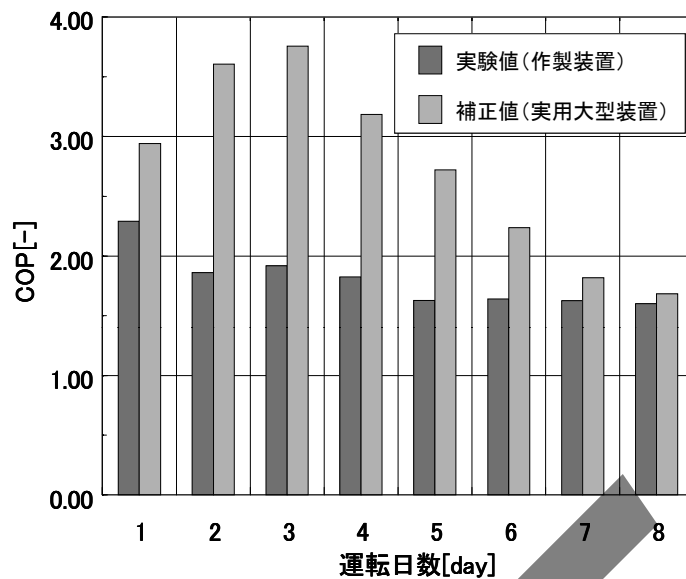


乾燥後

③ 蒸発水分

$$① = ② + ③$$

6.4 検証試験によるヒートポンプの加熱効率



検証試験によるヒートポンプの加熱効率
: 平均COP = 1.8

実用型乾燥機(容量約25m³相当)として補正
ヒートポンプの加熱効率
: 平均COP = 2.7

スギ板材の乾燥時における加熱効率の変化

注: COP: 成績係数 (消費電力1kWに対する加熱冷却能率)
COP=2であれば1kWで2kW相当の加熱ができたことを表す。

- 20%以下の含水率域でも消費電力は低い
- 稼働に必要なエネルギーは電気のみ

6.5 開発乾燥装置の検証試験結果

1. スギ板材(7m³)の乾燥試験:

乾燥温度70~80℃, 相対湿度57~79%で温湿度制御が可能であった。

2. ヒートポンプの加熱効率:

実験的に平均COPで1.8であった。

実用型乾燥機(容量約25m³相当)として補正した場合,
平均COPは2.7であった。

3. 装置内の湿度制御:

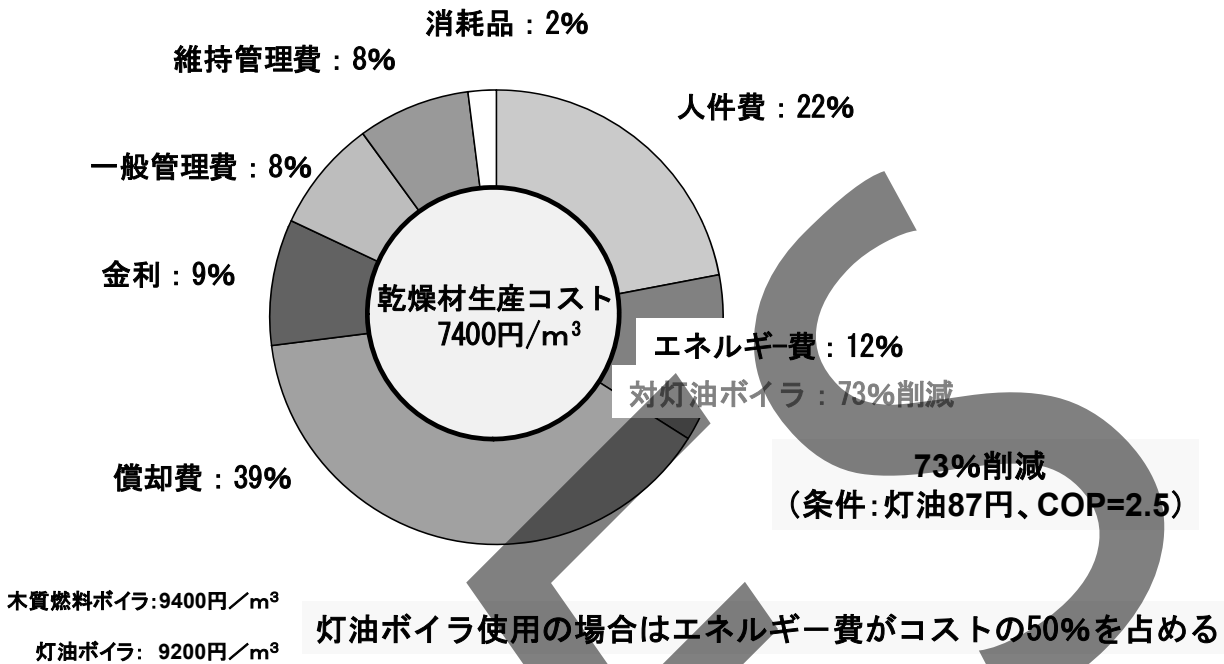
木材から蒸発する水分を利用することで達成できた。

- 乾燥温度80~90℃の運転も可能であった
- 初期含水率が低いヒノキ材でも、蒸発した水分で湿度調整が可能であった。

7. 経済性の試算

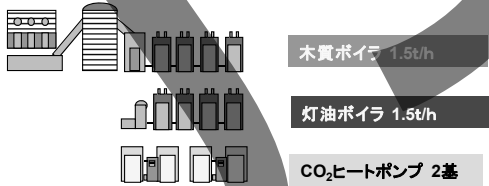
7.1 CO₂冷媒ヒートポンプによる乾燥コスト割合

乾燥材年間生産量3000~7000m³規模の生産工場をモデル



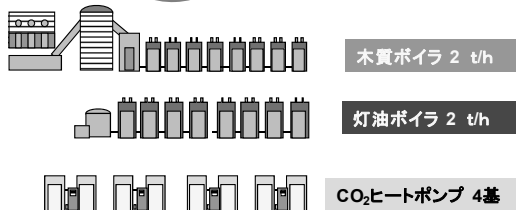
7.2 工場規模による設備償却も含めた乾燥材生産コスト

② 乾燥材年間生産量: 3000~7000m³



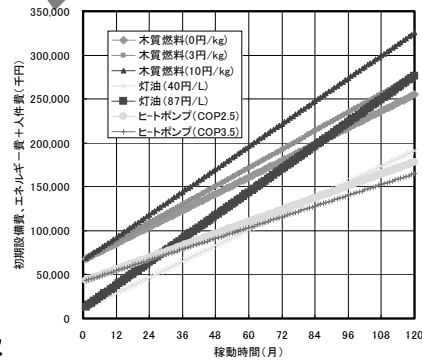
対灯油ボイラでは2年半の期間でランニングコストにより初期投資増を回収

③ 乾燥材年間生産量: 7000~12000m³

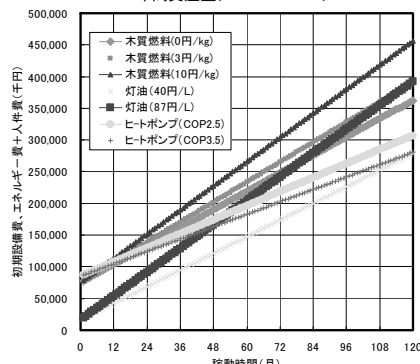


対灯油ボイラでは4年の期間でランニングコストにより初期投資増を回収

2. 年間生産量(3000~7000m³)



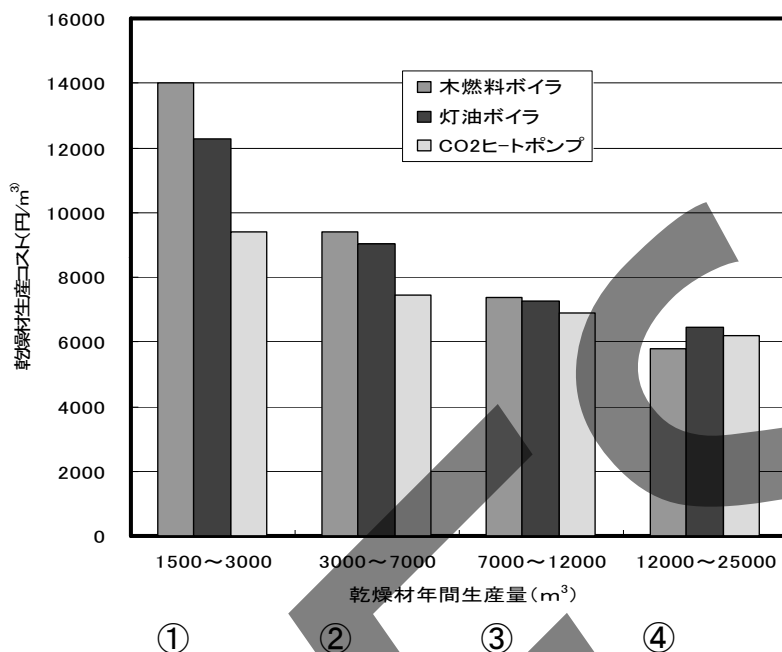
3. 年間生産量(7000~12000m³)



- 灯油焚きボイラ加熱方式に比べて初期投資は高いが、ランニングコストが安い

7.3 生産工場の規模による乾燥材生産量あたりのコスト

乾燥材生産規模により効果は異なるが、ヒートポンプによるコスト削減は直接費の比率が50%程度の生産量3000~7000m³規模程度になると効果大



7.4 経済性の試算

1. 設備償却を含めた乾燥コスト

CO₂冷媒ヒートポンプを2基(乾燥機4基)とし、この比較対象を灯油ボイラ(蒸気発生量2 t/h, 燃料代87円/l)とした結果、燃料代等が現状のままで推移した場合に、対灯油ボイラでは2年半の期間でランニングコストにより初期投資増を回収でき、その後は低コストで乾燥材生産が可能と考えられた。

この生産規模の乾燥コストは、7,400円/m³と試算され、対灯油ボイラ方式に対し18%の乾燥材生産コストの削減が見込まれた。

したがって、年間生産量が3000~7000m³(乾燥容量25m³が4~6基)を超えない中規模以上の製材乾燥工場が、生産コスト面から開発装置の導入に相当と考えられた

**CO₂冷媒ヒートポンプ乾燥機を導入するならば、
製材工場として中規模から大規模工場に適している**

7.5 CO₂ヒートポンプ木材乾燥装置の推奨導入規模

工場規模と乾燥装置の加熱システム

	工場数	乾燥装置数	加熱方法				電気ヒータ
			木質燃料ボイラ	木質油併用	油焚き燃料ボイラ	ヒートポンプ	
小規模製材工場 (素材消費量 2000立米未満)	5787	1~5	×	×	○	○	○
中規模製材工場 (素材消費量 2000~10000立 米)	2215	5~10	×	×	○	○	×
大規模製材工場 (素材消費量 10000立米以上)	480	10~	△	○	○	△	×
(素材消費量 20000立米以上)		20~	○	○	○	×	×
(素材消費量 40000立米以上)		30~	○	△	△	×	×

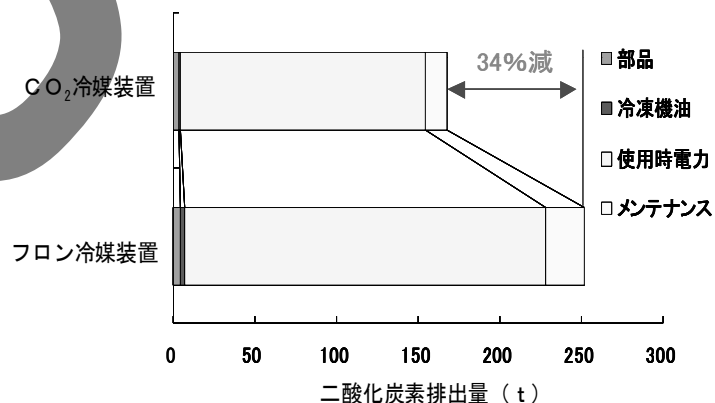
○:適している、△:可能である、×:適当ではない

8. 環境負荷の検証

8.1 冷媒の違いによる二酸化炭素排出量

製品の生産、製造に係る評価は、原料、製造装置、燃料等の製造開発エネルギー等を行うことが重要視されている。ここでは、開発装置機器の環境負荷を評価するため、LCAを実施し製造段階から使用段階までの二酸化炭素排出量を求めた。

使用段階については年間2000時間稼働で10年間運転したときの使用電力やメンテナンス条件により二酸化炭素排出量を算出した。



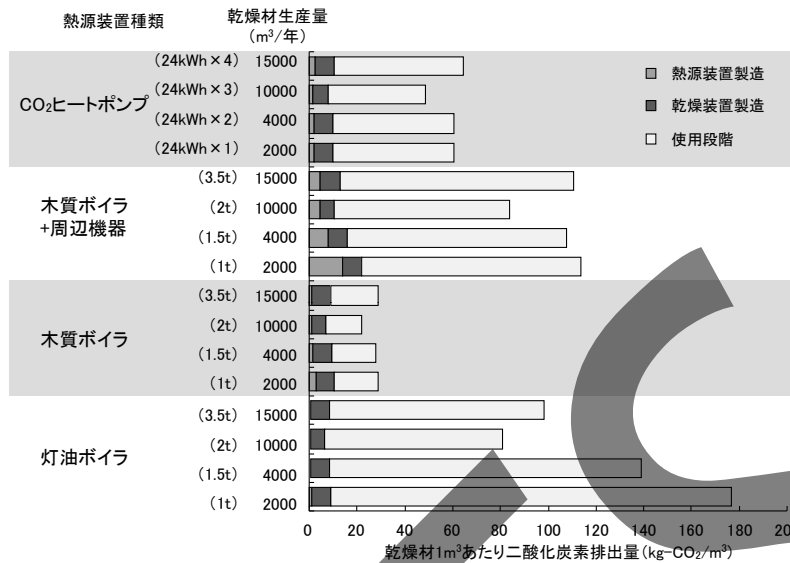
二酸化炭素排出原単位: 0.425 kg-CO₂/kWh(東京電力2007年度環境指標)

注: 加熱能力比率による補正あり

熱源装置の製造から実稼働時における二酸化炭素排出量の差

8.2 熱源の違いによる二酸化炭素排出量

乾燥材を1年間生産したときの熱源装置および乾燥装置の製造～使用段階の二酸化炭素排出量
(乾燥材1m³あたり)



原単位項目	CO ₂ 排出原単位	単位	出典
漆材			
鉛板の製造	1.31	kg-CO ₂ /kg	*1
ステンレス鉛板の製造	0.83	kg-CO ₂ /kg	*1
電気鋼	0.94	kg-CO ₂ /kg	*2
アルミニウム圧延品(板材)	7.11	kg-CO ₂ /kg	*1(参考値)
シームレス鋼管	2.04	kg-CO ₂ /kg	*2
軟質ウレタンフォーム	2.45	kg-CO ₂ /kg	*3
エネルギー等			
電力	0.425	kg-CO ₂ /kWh	*4
灯油・燈焼	2.49	kg-CO ₂ /L	*5
工業用水	0.138	kg-CO ₂ /m ³	*3

<原単位出典>

- *1 JLCA-LCAデータベース2010年度 4版
- *2 未踏科学技術協会「環境負担評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書(1995)
- *3 (社)化学経済研究所「基礎素材のエネルギー解析調査報告書」(1993)
- *4 H19年度電気事業者別CO₂排出係数(経済産業省及び環境省公表値)
- *5 環境省:算定省令第2条第3項、第4条第1項、別表第1及び別表第5

注) 原単位には、製造段階のみ(採掘～製品の輸送は対象外)のもの、および出発原料(天然素材)の採掘・採取の工程エネルギーを含まないものがある。

8.3 結果

1. CO₂ヒートポンプのエネルギーコスト削減効果は大きい

対灯油ボイラ 73%減

2. 乾燥材の生産規模が大きくなると、エネルギーコストの割合が大きくなる

CO₂ヒートポンプの導入によりコスト削減効果は大きい

3. CO₂ヒートポンプ加熱による木材乾燥装置は乾燥材生産量7000m³を超えない工場規模に導入しやすい(25m³乾燥装置1～6基程度)

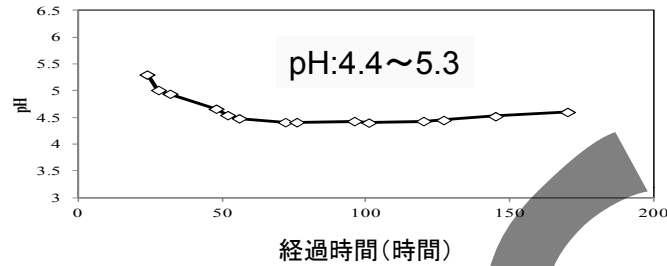
バイオマス発電等で余剰電力が供給できれば使用可能でもある

9. 副産物 スギ材乾燥工程で排出される凝縮水

9.1 凝縮水の精油成分

針葉樹の乾燥では比較的含まれているため、その有効利用も可能である。

スギ材凝縮水のpH



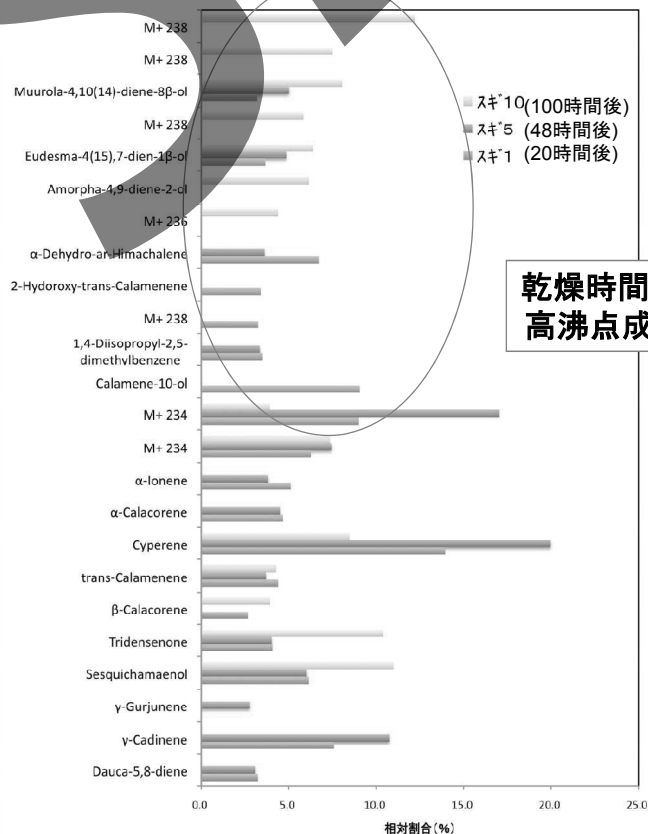
開始 24時間後 → 終了 170時間後

9.2 スギ材乾燥過程で排出される抽出物の組成

セスキテルペン類が殆ど

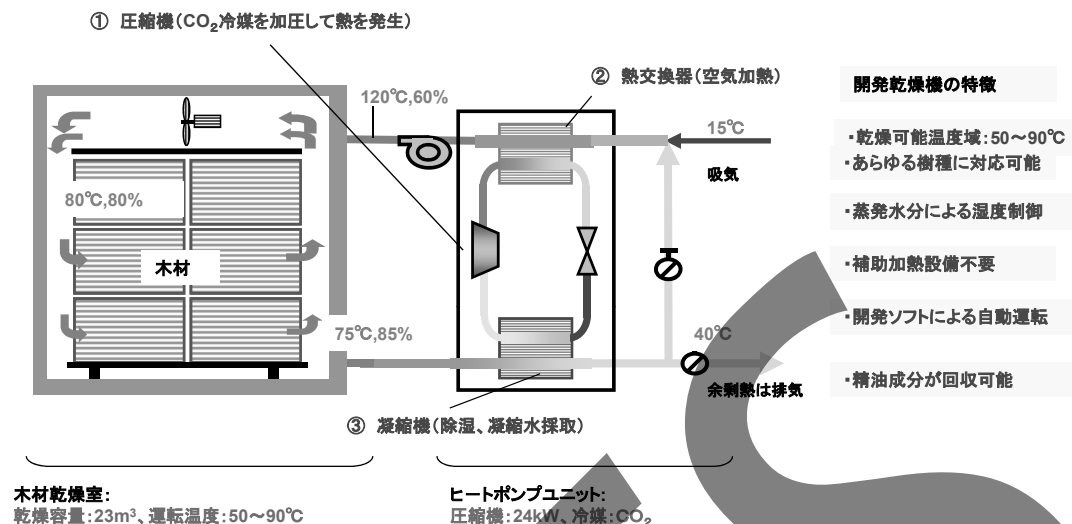
沸点高い ↑

沸点低い ↓



乾燥時間が経過すると高沸点成分が多くなる

10. 木材乾燥装置として実用化可能なシステム



開発乾燥機の特徴

- ・乾燥可能温度域: 50~90°C
- ・あらゆる樹種に対応可能
- ・蒸発水分による湿度制御
- ・補助加熱設備不要
- ・開発ソフトによる自動運転
- ・精油成分が回収可能

図高効率・低環境負荷の性能を持つCO₂ヒートポンプ木材乾燥機のシステム

- 節電、低環境負荷型の木材乾燥装置
- 中大規模の製材乾燥工場に導入することで高品質乾燥木材の安定供給
- 国産材による高品質乾燥木材の安定供給
- バイオ発電等の新エネルギーを活用可能
- 農林水産物の加工に応用可能

11. CO₂冷媒ヒートポンプ装置の応用性

1. シイタケの発生室・芽出し室・休養室・栽培室
2. エノキ・しめじ・マイタケ・ナメコなどの培養室・育成室
3. 野菜・園芸ハウス
4. 保冷库・・・シイタケ・野菜・花
5. 倉庫・・・資材置場・車庫
6. 貯蔵庫・・・米・穀物・他
7. 豚舎・鶏舎・牛舎・堆肥舎等

必要温度: 15~20~25°C
湿度: 60~80%

