

ヒートパイプ熱交換器を 木材乾燥装置に利用する

中 島 厚

はじめに

木材乾燥コストが製材価格の積算によろしく正式に認められ始めている近年、乾燥コストの節減は、木材関連業界において大きな関心事であります。そこで、蒸気式乾燥装置の排気筒から排出される排気熱の再利用をヒートパイプ式熱交換器によって行い、使用蒸気量が何割減少するかを基礎実験により試算したので紹介します。

ヒートパイプ熱交換器

ヒートパイプとは熱伝導が大きい金属パイプの中に熱輸送する作動液を封入し、その液を内部で循環させるウイック等により構成された、一種の伝熱素子を指します。金属パイプ・作動液は適材料の中から種々選ぶことができ、今回の試験で使用したヒートパイプはアルミニウム製のフィン付きパイプで、作動液にフロンR11を用いています。一般の熱交換器と異なる点は、作動液の循環を電気ポンプで行うのではなく毛細管作用を持つウイックと呼ばれる、金属繊維で液循環させることです。

すなわち、ヒートパイプはこれらの3要素（パイプ・作動液・ウイック）で構成され、ウイックの中に浸み込んでいる作動液が加熱されると気化熱を得て蒸発を始め、他の温度の低い位置まで移動すると凝縮し液に戻り、この際凝縮熱を放出するため、パイプはその位置で熱を得て、加熱部とほぼ等しい温度まで上昇します。液に戻ったフロンはウイックの中に浸み込み、毛細管力で加熱部まで移動し、再び蒸発・凝縮が繰り返される仕組み

みです。さらに容器は熱伝導率の高い金属を用いているため、加熱・放熱の即応性が良く、動力源を必要とせずに熱輸送が可能となるなど優れた特徴を持った、熱交換器と言えます。

試験方法

熱交換器の性能把握のために、ヒートパイプ1本によって予備実験を次の要領で行いました（写真1）。長さ約0.8mのヒートパイプ1本を木製の密閉容器内に固定設置し、容器の中央に仕切り板を設け、加熱・放熱部に分けて簡易熱交換器を試作しました。木製容器および仕切り部は耐熱性塗料を塗布し、また接合部には隙間なくコーキングを施し熱ロスを防止することに努めました。

容器内には外気からの吸気、熱交換後の吸気、室内からの排気、熱交換後の排気の各空気温度を測定するため各部に熱電対を配し、一定時間毎にそれらの温度を測定しました。ヒートパイプの加熱は恒温乾燥機の温度調整された温風をファンで



写真1 予備実験内部

引き込むことによって行いました。なお、本試験は主にヒートパイプの最適な傾斜角度を設定するために実施したもので、したがって、本装置は全体が中央部を支点に自由に傾斜できる構造としました。

次に実大規模の乾燥装置に熱交換器を付設し、実証試験を行いました。実証の熱交換器は予備実験より得られた性能値を基に試作し、**図1**に示したごとく乾燥装置の吸排気筒（1対）に付設しました（**写真2, 3**）。ここで排気ファンは、ヒートパイプに加熱（室内）空気を効率的に誘導するために設備したもので、シロッコファンにより排気経路からバイパス式でダンパ開放時に、強制吸

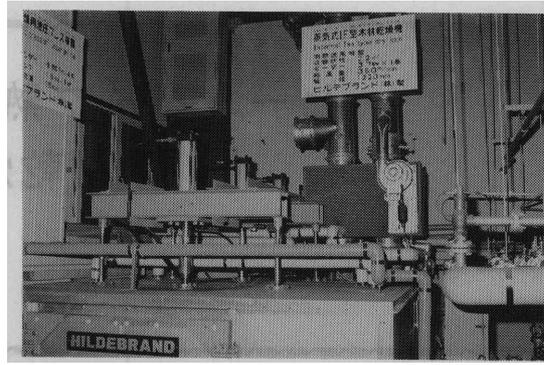


写真3 熱交換器の設置状況

引します。

図中に示すT1～T4は、それぞれ吸気（外気）、熱交換後の吸気、排気（乾燥室内）、熱交換後の排気の温度測定位置を示しています。

本装置を用い消費蒸気量削減効果を判定するため、熱交換器を用いない従来方法による使用蒸気量と付設後のそれを比較します。供試材はミズナラ材（厚さ25mm）を用い、条件は標準スケジュールによって行い、蒸気量はオーバル機器製のスチームメータにより計測しました。

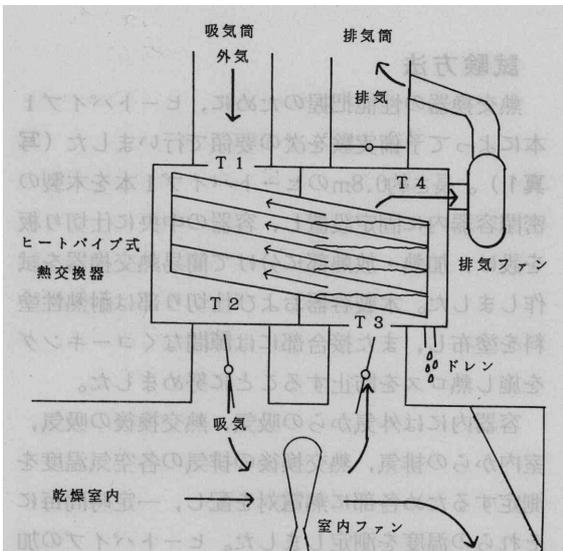


図1 熱交換器付設方法と風の流れ

試験結果

1. 予備試験

ヒートパイプの傾斜角度を0, 5, 20, 40度に設定し、それぞれの各温度域における熱交換効率を算出した結果、平均約11%と低い値になりました。熱交換効率とは一般に以下の式によって計算される吸気空気の温度（エンタルピー）上昇率で示されます。

$$\eta = \frac{T2 - T1}{T3 - T1} \times 100 (\%)$$

η : 吸気側熱交換効率 (%)
 T1 : 吸気温度あるいは熱量 (外気)
 T2 : 熱交換後の吸気温度あるいは熱量
 T3 : 排気温度あるいは熱量 (室内)

この予備実験ではヒートパイプ1本のみを使用したために、容器内容積に対し空隙率が大きく熱

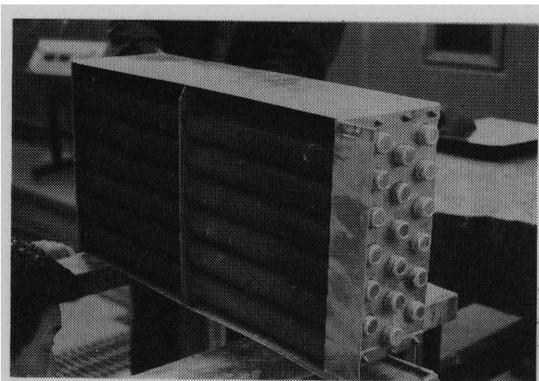


写真2 ヒートパイプ

伝達にロスが生じ、効果はあまり上がりませんでした。排気温度は35～96℃でヒートパイプ傾斜角度別に効率を平均すると、0度が10%、5および20度が11%、40度が12%となり傾斜角度間にほとんど差はありません。この理由としては、ヒートパイプがこの実験内では熱回収能力のほぼ最大値を示したためと考えられます。すなわち、傾斜角度が熱交換効率に影響を与える要素として、ヒートパイプのフィン形状、パイプ配列、風速等がもたらす加熱空気からパイプへ熱移動する時の伝熱抵抗およびパイプから吸気空気に熱移動する時の伝熱抵抗など諸々の条件が考えられますが、これらの条件が整い、熱回収量が上限に達していれば、傾斜角度は効率にほとんど関係ないことが指摘できます。今回の場合は、吸・排気とパイプの間で熱移動するときの熱抵抗の合計が十分小さく、ヒートパイプの伝熱能力が熱回収量を上回ったために生じた結果と考えることができます。

また実用化のためのパイプ数量は、以下の条件設定により行いました。すなわち、吸排気量、排気空気の温湿度、吸気空気の温湿度、熱交換効率、ヒートパイプ自体の性能値を、それぞれ乾燥中期を想定し、340m³/hr、60℃・80%RH、10℃・70%RH、30%、ヒートパイプ性能値はメーカーの資料を参考にして計算した結果、有効長70cmのパイプが約20本必要であることが判明しました。

2. 実証化試験

予備試験の結果を受け、小型乾燥装置に付設する実大の熱交換器を試作しました。傾斜角度は10度、パイプ本数は予備試験結果より若干の余裕をみて24本としました。

これにより通常乾燥をミズナラで実施し、熱交

換による蒸気使用節減結果を表1に示します。乾燥試験条件は付設・無し（従来法）ともほぼ同じで、蒸気使用節減効果は約9%という結果が得られました。また乾燥中期に吸気側の温度交換効率とエンタルピー交換効率を前述した式により計算すると、温度交換効率で約65%、エンタルピー交換効率が約21%となりました。一般には熱交換器の能力は温度交換効率を示す場合が多いのですが、木材乾燥では熱量（エネルギー）として捉える方が合理的のようです。すなわち、排気空気は蒸発潜熱を多量に含むため、この潜熱（凝固熱）を利用することが本来の熱交換目的とされるからです。しかし、ここでエンタルピー交換効率（約21%）は実際の蒸気使用節減効果（約9%）と一致しません。この差は乾燥経過中に消費される全熱量を考慮していないためです。乾燥装置が消費する全熱量はおおまかに、壁面および扉からの損失、室温上昇に必要な熱量（木材加熱）、そして本テーマで問題となる吸排気筒からの排気熱などに大きく区分することができ、これらの全消費熱量に占められる排気熱量の割合にエンタルピー交換効率を乗じれば、本来の省エネルギー効果が求められますので、今後は乾燥装置全消費熱量の視点で検討を加える必要があると思われます。

おわりに

木造建築においても乾燥材の使用が一般的となってきた今日、乾燥コストの低減は関連業界の重要テーマであると言えます。そこで本目的のため筆者が人工乾燥装置に着目し実施してきた事は、すでに本誌前号に投稿した風速変換による電力量の低減と、今回報告した熱交換器による蒸気量の低

表1 熱交換器効果比較の一例（収容材積2.5m³乾燥機使用）

条 件	使用樹種	使用温度 (°C)	初期/末期含水率 (%)	乾燥時間 (hr) A	蒸気消費量 (kg) B	B/A (kg/hr)
熱交換器(a)	ミズナラ	45~80	53.3/10.4	212	2125	10.02
無し (b)	〃	〃	51.0/10.3	203	2239	11.03

蒸気使用節減効果 (a/b) : $(1 - 10.2 / 11.03) \times 100 = \text{約}9.2\%$

減についての2つの課題です。その結果、風速変換技術では電氣量が従来に比較しおおむね半減できる予想が立てられ、また今回の熱交換試験では消費蒸氣量が約1割削減可能と結論できました。

ここで乾燥のトータルコストにこれらの効果を反映させた場合の節減効果をおおまかに予測してみたいと思います。乾燥コスト試算については企業ごとで独自性があり確定はできませんが、ここでは仮に針葉樹建築用材を生材から含水率約15%まで人工乾燥処理するとして m^3 単価を1万円に

設定します。この総コスト(人件費・設備償却費・金利等を含む)の内、エネルギーコストが占める割合を約45%(内訳:重油による蒸氣使用約7割、電氣使用約3割)とすると、風速変換技術により約700円/ m^3 の節減、また熱交換技術により約300円/ m^3 の節減効果となり両技術を併用すれば総コストの約1割程度の節約が可能と予想されます。今後は熱交換効率向上の可能性に関し、再検討を行う予定です。

(林産試験場 乾燥科)

内外の話題

外からみた日本の品質管理

仏・木材家具中央研究所(CTBA)のパトリス・グラニエ家具部長は、品質管理が日本工業界成功の鍵であるとみて、トートー、ヤマハピアノ、ホンダ、セキスイハウスなど七社を歴訪し、その導入と実施状況を以下のように伝えています。

西的にみえても、日本人は東洋的徳目を企業に捧げているようだ。無作為にいくつかの言葉を列挙すると、行動の正確さ、高水準の教育、明瞭な伝達、挑戦意欲などのキーワードが浮かんでくる。日本人は厳格、規律、清潔、尊敬、集団への所属観念を幼児から身につけ、職業生活で管理下に置かれても、強制とは感じないのである。また一方で、80%が大学受験資格をもつ高い教育水準は、ブルーカラー＝ホワイトカラーの平等意識を作り出している。

組織化は、高人口密度という事情から生まれ、日常生活でこれに順応するため、いつも想像力を必要とし、それが能率化された生産システム管理

を容易にしているのである。例としてのJ.A.T.(Just At Time)生産方式は、需要に応じ製造し、在庫の大部分を除く方法である。情報の正確さと豊富さが、これを可能にしているのである。また、挑戦意欲も日本文化に属し、他の企業より向上させる改善案を、常に提案しなければならず、この競争心は成績と報酬によって管理されている。

日本の品質管理の基本は、需要の推移および得意先の満足度に気配りすることであり、明瞭な伝達、従業員の意識と参加、首脳の役割、機械、顧客と納入業者の情報、人事編成などの動的常時点検から構成される。

日本は品質管理を第二次大戦後に米国から輸入した。日本人の成功の秘訣は、国民性の強みにまして、忍耐強く応用したことだった。しかし日本と同じ方法でフランス企業に導入するのでは失敗するだろう。フランスの企業は、他の行き方、すなわち創造性、技術力、文化、伝統、生活様式によって能力の開発に好都合で、各人の行動に本当の感性を与える雰囲気をつくりあげることにより、同様に成し遂げることができる、と結んでいます。(CTBA Into, No.15, 1987)