

平成6年度 農林水産省補助事業
利用技術推進事業
木質材料資料整備事業

木材乾燥のマニュアル

Forest Products Laboratory
USDA, Forest Service 作成

装置編

平成7年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

概 要 (要約、キーワード)

この資料は、Forest Product Laboratory USDA, Forest Serviceによる「木材乾燥のマニュアル(1998年7月改正)」の一部を翻訳したものである。

内容は、乾燥装置に関するもので、

- ①乾燥機のタイプとその特徴、(乾燥システムの分類、乾燥機の構造、制御装置、特殊乾燥法)
- ②乾燥機の付帯機器(含水率測定機器、温・湿度測定装置、風速計)
- ③乾燥機および付帯機器の検査とメンテナンス(乾燥機の構造、乾燥機検査のチェックリスト、記録機器および制御機器、加熱システム、加湿システム、吸排気システム、空気循環システム、乾燥機のメンテナンス等)について述べられている。

キーワード

乾燥機、マニュアル、メンテナンス、運転方式、分室式、前進式、高温式、低温式、直接加熱、間接加熱、特殊乾燥法、制御システム、含水率計、蒸気、直火、電気加熱、温水、太陽熱、除湿、予備乾燥機、真空乾燥機

謝辞

資料の翻訳・取り纏めは、森林総合研究所乾燥研究室久田卓興氏、斎藤周逸氏、小林功氏、東京大学信田 聰氏の4氏を煩わした。ここに厚くお礼申し上げる次第である。

Dry Kiln Operators Manual

Dry Kiln Operator's Manual

Forest Products Laboratory

USDA, Forest Service 作成

(1988年7月改正)

HARDWOOD RESEARCH COUNCIL

P.O. Box 34518 Memphis TN 38184-0518

Dry Kiln Operators Manual

- 緒言
- 1 乾燥に関連する木材の性質
- 2 乾燥機のタイプとその特徴
- 3 乾燥機の付帯機器
- 4 乾燥機および付帯機器の検査とメンテナンス
- 5 乾燥機での積方法と挿入
- 6 乾燥機のサンプル
- 7 乾燥スケジュール
- 8 乾燥による欠点
- 9 乾燥機の操作
- 10 製材の貯蔵
- 11 乾燥におけるエネルギー
- 用語
- 索引

このうち以下について抄訳した。

- | | |
|---|----------------------|
| 2 | 乾燥機のタイプとその特徴 |
| 3 | 乾燥機の付帯機器 |
| 4 | 乾燥機および付帯機器の検査とメンテナンス |

2 乾燥機のタイプとその特長

2.1 乾燥システムの分類	1
2.1.1 運転方式	1
1) 分室式乾燥機	1
2) 前進式乾燥機	2
2.1.2 運転温度	2
1) 低温型	3
2) 標準型	3
3) やや高温型	3
4) 高温型	3
2.1.3 加熱方式とエネルギー源	3
1) 蒸気	4
2) 直火	4
3) 電気加熱	4
4) 温水および加熱オイル	4
5) 太陽熱	5
2.2 一般的な構造	5
2.2.1 構造材料	5
1) アルミニウム	5
2) コンクリートブロック、コンクリート、煉瓦ブロック	5
3) 木材および合板	6
4) 基礎と床の材料	6
2.2.2 加熱システム	7
1) 間接加熱	7
2) 直接加熱	8
2.2.3 スチームトラップおよびコントロールバルブ	8
1) スチームトラップ	8
2) コントロールバルブ	10
2.2.4 空気循環システム	10
1) 乾燥機のファン	10
2) 遮蔽装置（バッフル）	12
3) 増圧室（プレナムチャンバー）	13
2.2.5 吸排気および加湿システム	13
1) 吸排気	13
2) 加湿	14
2.3 乾燥条件を制御する装置	15
2.3.1 自動制御装置	15
1) 半自動制御システム	15
2) 完全自動制御システム	18

3) ゾーンコントロール	1 9
2.3.2 手動制御装置	2 0
1) 温度測定装置	2 0
2) 湿度測定装置	2 0
2.4 特殊乾燥法と乾燥装置	2 1
2.4.1 除湿乾燥機	2 1
2.4.2 予備乾燥機（プレドライヤー）	2 2
2.4.3 太陽熱乾燥機（ソーラードライキルン）	2 3
2.4.4 真空乾燥機	2 4
2.5 参考文献	2 5
2.6 その他の参考資料	2 5

3 乾燥機の付帯機器

3.1 含水率測定機器	-----	4 4
3.1.1 天秤と定規	-----	4 4
1) 三桿式物理秤	-----	4 4
2) 上皿電子天秤	-----	4 4
3) 含水率目盛付三桿式物理秤	-----	4 4
4) 目盛付上皿天秤	-----	4 5
5) 含水率定規	-----	4 5
3.1.2 鋸 類	-----	4 5
3.1.3 恒温器	-----	4 6
1) 電気加熱式恒温器	-----	4 6
2) 蒸気加熱式恒温器	-----	4 6
3.1.4 電気式含水率計	-----	4 6
1) 電気抵抗式含水率計	-----	4 7
2) 誘電率式含水率計	-----	4 7
3.1.5 蒸留器	-----	4 8
3.2 温度測定装置	-----	4 8
3.2.1 電気式デジタル温度計	-----	4 8
3.2.2 棒状温度計	-----	4 8
3.2.3 湿度計	-----	4 9
3.3 風速計	-----	4 9
3.4 参考文献	-----	5 0

4 乾燥機および付帯機器の検査とメンテナンス

4.1 乾燥機の構造	6 1
4.1.1 壁面、屋根および天井	6 1
1) プレファブのアルミニウムパネル式	6 1
2) 石造り式（コンクリートブロック等）	6 2
4.1.2 扉	6 3
4.1.3 床	6 3
4.1.4 レールおよびル支持材	6 4
4.2 乾燥機検査のチェックリスト	6 4
4.3 記録機器および制御機器	6 7
4.3.1 制御用センサーの正しい位置	6 7
1) 乾球温度センサー	6 7
2) 湿球温度センサー	6 7
3) 平衡含水率および相対湿度センサー	6 8
4.3.2 記録・制御装置の管理	6 8
4.3.3 記録・制御装置の較正	6 9
4.4 加熱システム	7 0
4.4.1 蒸気加熱の乾燥機	7 0
1) 配管の不適正な断熱	7 0
2) 管およびユニオン継手の洩れ	7 0
3) 管のたるみおよび歪み	7 1
4) 減圧弁等の欠陥	7 1
5) 圧力計の欠陥	7 1
6) 自動および手動弁の欠陥	7 1
7) 蒸気トラップの欠陥	7 2
4.4.2 直接加熱型の乾燥機	7 3
4.5 加湿システム	7 4
4.5.1 蒸気スプレイ	7 4
4.5.2 水のスプレイ	7 4
4.6 吸排気システム	7 4
4.7 空気循環システム	7 5
4.8 乾燥機の台車	7 7
4.9 保護コーティングの使用	7 7
4.10 乾燥機の周辺の保全とメンテナンス	7 7
4.11 乾燥機のメンテナンスと運転操作における問題の原因	7 8

2 乾燥機のタイプとその特徴

木材の乾燥機は、木材を適切に乾燥できるように加熱、加湿、風の循環等が制御できるように設計されている。近代的な乾燥機の開発にともない、加熱のメカニズム、ファンの配置およびタイプ、加湿のコントロール、乾燥室の構造材料などが改良されている。

乾燥機の設計はその操作性および乾燥効率に重要な意味を持つ。適正に設計されて運転できる乾燥機は、大部分の樹種の製材品等を3～19%の規定された含水率まで短時間で欠点を生じさせることなく乾燥することができる。

2.1 乾燥システムの分類

木材乾燥機は様々な方法によって分類できる。ここでは(1)運転方式、(2)運転温度、(3)加熱とエネルギー源に分類した。そのほかファンの配置、乾燥室への木材の搬入方法などによっても分類することができる。

2.1.1 運転方式

運転方式の分類では、一般的によく使われる分室式のものと、あまり普及してはいないが前進式のものに区別される。

1) 分室式乾燥機

分室式乾燥機(図2-1～図2-8)は乾燥釜という概念で設計されたもので、1回の工程で製材品を乾燥する方式である。乾球温度および湿度を乾燥室内でできるだけ均一にし、緻密に管理することができるようになっている。乾球温度および相対湿度は含水率と乾燥すべき木材の乾燥速度を考慮して設計されたスケジュールに基づいて、乾燥の進行にしたがって変えられる。乾燥スケジュールは樹種、厚さ、等級、材料の使用目的によって変わる。近代的な乾燥機はすべて強制空気循環方式を採用しており、風は木材の長さ方向に直角に、栈木に平行に栈積み内を流れる。加熱した空気が上昇するという原理に基づいた自然換気システムは現在では非能率的であると考えられ、歴史的な関心しかもたれていない。様々なタイプの空気循環方式については、この章の後半の一般的な構造の項で詳細に述べることにする。

分室式の乾燥機は積荷方法によって、さらに区分することができる。最も多いタイプはレール台車方式のものである。栈積み材は乾燥室内へ台車に乗せて出し入れされる。アメリカの針葉樹製材の大部分はこの方式の乾燥機で乾燥されている。その外の積荷方法としては製材の栈積みをフォークリフトで乾燥室に直接出し入れする方式がある。これらは一般にパッケージローデドキルン(積み込み式)と呼ばれているが、西部の針葉樹地域ではサイドローデドキルンと呼ばれることも多い。アメリカの広葉樹製材の多くはこの方式で乾燥される。

台車式の乾燥機は普通1あるいは2セットの軌道を持っているが、時には3セットのものがあり、それぞれシングル、ダブル、トリプルトラックと呼ばれている(図2-2～2-5)。台車1台当たりの製材の栈積み幅は一般的には1.8～2.7mである。台車1台よりも幅の広い乾燥室では、次の栈積み材が投入される前に乾燥条件が整えられている。

乾燥室の長さは、乾燥する製材品の長さの数倍である。12 m～37 mまで様々であるが、広葉樹乾燥用のものは12～20 m、針葉樹用のものは通常20～37 mである。製材収容力は約59 m³（1インチ材）～1040 m³（2インチ材）である。

台車式の乾燥機は一端あるいは両端にドアをもっており、乾燥室への材の出し入れが短時間でできるようにしてある。未乾燥材を乗せた台車は乾燥した木材が外に出される直後に乾燥室内に入れられる。乾燥した材が出てくる方は、冷却時間および次の加工を待つまでに天候の影響を受けないように屋根が付けられている。入口部分に屋根をつけているのは、製材が日光や雨や雪で生材の等級が落ちないようにするためである。図2-8は乾燥室の両端に屋根をつけた乾燥機である。台車式の長所としては積み込み積み出しに時間がかからず、棧積み幅が狭いので均一な乾燥が可能なことである。短所としては、軌道など土地面積が大きく必要で乾燥機の建築コストが高くなることである。

積み込み方式の乾燥機は一般に台車式よりも小さく、別の積荷方法を持っている（図2-6、2-7）。フォークリフトで材を乾燥室内に入れるためドアが大きくしてある。多くの乾燥室は奥行きが7.3 mであるが、一部には4.9 mのものもある。積み込み方式の乾燥機の風の流れは棧積みの幅方向に前から後へ（時にその逆の流れ）であるので材中の空気の流れの長さも7.3 mとなる。空気を再加熱する設備は一般には持っていない。積み込み方式の乾燥機の収容力は約59～2150 m³である。この乾燥機の長所は建設コストが安く広い土地も必要でないことであり、短所としては積み込み積み出しに時間がかかり、初期の含水率が25%以上の場合には含水率を均一にすることが難しいことである。棧積みの奥行きが短く木材の含水率がほぼ均一であれば、乾燥の均一性は増す。初期の含水率が25%以下であれば、通常台車式の乾燥機と同様に含水率を均一に乾燥できる。

2) 前進式乾燥機

前進式乾燥機は棧積みされた製材が生材として入口から入って、通常1日毎に前進して乾燥材として仕上がるまでにしだいに乾燥条件を変えていながら乾燥ができるように設計されたものである。材が次のゾーンに移動することによって温度は上昇し、湿度は下がる。このようにして設定したスケジュールを進めていく。必要な乾燥条件の範囲を達成するため前進式乾燥機の長さは乾燥すべき材の樹種や乾燥前後の含水率によって変わってくる。この方式は連続的な動きを必要とするので、前進式乾燥機は通常台車式のタイプである。分室式乾燥機の場合と同様に初期のモデルは自然換気によっていたが、インターナルファン（ファン内蔵型）あるいは外部ブローアーの方法が空気循環の好ましい方法とされている。

前進式乾燥機は樹種、寸法、含水率などの変化に対して融通がきかない。広葉樹では乾燥条件の緻密なコントロールができないし、針葉樹の場合には要求される乾燥スピードがでない。これらの理由から、アメリカではこの方式で運転しているものは比較的少なく、ここ数年は新しい施設が建造されていない。

2.1.2 運転温度

多くの木材乾燥機は一定の温度範囲の中で運転することを念頭に設計されている。この温度範囲は主として乾燥する材の樹種と品質、最終製品の用途による。また期待される生

産量、エネルギー源およびコンプレッサーやモーターのシステムの制約も考慮に入れなくてはならない。運転温度に基づいた乾燥機の一般的な区分は次のとおりである：

低温型	1 2 0°F以下（4 9℃）
標準型	1 8 0°F以下（8 2℃）
やや高温型	2 1 1°F以下（9 9℃）
高温型	2 1 2°F以上（1 0 0℃以上）

使用される温度にかかわらず、熱、湿度、および換気についての基本的な設計は変わらない。したがって、乾燥温度による乾燥機の区分は主として熱エネルギー源および乾燥機の構造によっている。

1) 低温型

低温型の乾燥機は一部には温度1 1 0°F（3 8℃）を越えないようにしているが、一般的には7 0～1 2 0°F（2 1～4 9℃）の温度で運転される。この区分には簡易型の乾燥機、予備乾燥機、真空乾燥機や除湿式および蒸気式乾燥機が含まれる。

2) 標準型

標準温度の乾燥機は一般的には1 1 0～1 8 0°F（3 8～8 2℃）で運転される。広葉樹製材の大部分および針葉樹製材のかなりの量がこの温度範囲で乾燥される。これらには蒸気式乾燥機および1 6 0°F（7 1℃）以下の温度で運転可能な除湿式乾燥機などが含まれる。多くの樹種および厚さの材が”標準型”で運転できることを前提としている。

3) やや高温型

やや高温型の乾燥機は一般的には温度1 1 0～2 1 1°F（3 8～9 9℃）で運転される。乾燥スケジュールの乾球温度は通常1 9 0°F（8 8℃）または2 0 0°F（9 3℃）で、時には2 1 0°F（9 9℃）という高めのものもある。多くのアメリカ西部の針葉樹工場と一部の南部の工場ではこの温度範囲で乾燥されている。一部の乾燥の容易な広葉樹についてもスケジュールの最終段階でこの高い温度を使うことがある。

4) 高温型

高温型の乾燥機は一般的には2 1 2°F（1 0 0℃）以上、通常2 3 0～2 8 0°F（1 1 0～1 3 8℃）の温度での乾燥スケジュールで使われている。サザンパイン製材の大部分および西部の針葉樹製材のかなりの割合のものが高温型で乾燥されている。これらの乾燥機は表面に若干の干割れや裂けが許される構造用製材の乾燥により多く使われる。また、極くまれに広葉樹製材が高温で乾燥される。

2.1.3 加熱方式とエネルギー源

人工乾燥の方式およびその加熱のためのエネルギー源は：蒸気、直火（熱気）、電気、温水あるいは熱したオイル、太陽熱等に代表される。乾燥機には次の4つの理由によって熱が必要である：（1）木材および木材中の水分を暖める、（2）木材から水分を蒸発させる、（3）乾燥機の壁体等の駆体に失われる熱を伝導と輻射によって補う、（4）空気

孔を持った乾燥機では機内に入る新鮮な空気を暖めること、である。

1) 蒸気

蒸気は古くから木材乾燥に最も広く使われている熱の媒体である。蒸気はボイラから蒸気配管を通じて乾燥機に送られる。歴史的に木材加工工場は様々な目的のために蒸気を必要としてきている。したがって木材の人工乾燥のために十分なボイラ設備がなくてはならない。製材工場が機械化されることにもなって、蒸気は人工乾燥施設で主に使われることになってきた。以前は木材残材を燃やしてボイラで蒸気を発生させることが一般的な方法であったが、石油や天然ガスが入手しやすくかつコストが安くなったので、多くの工場ではボイラのエネルギー源をこれらに変換した。1970年代には石油が不足して価格が上昇し、蒸気の発生は再び残材を利用することに戻ったこともある。

(ボイラについてのより詳細な説明は、サイズや運転能力を含めて後章に示す。) 熱伝導に関すること、および温度がどのようにして高められ、乾燥機でどのようにコントロールするかについては、この章の後部の加熱システムの項で述べる。

2) 直火

直火による加熱システムは蒸気加熱と違って、加熱空気は石油、天然ガス、木材残材などの燃焼によってつくられる。燃料の燃焼によってできた加熱空気は温度調整室を通過して乾燥室に入る(図2-5)。直火システムは針葉樹とくにサザンパインの高温乾燥に広く使われてきた。必要な設定温度は容易に達成可能で、かつコントロールすることができる。アメリカにおいて燃焼ガスによる木材の変色は多くの針葉樹ではほとんど影響がない。

3) 電気加熱

乾燥室の加熱のために電力を使うことは、最近では除湿乾燥システムあるいは電気エネルギー(高周波、マイクロ波、電気抵抗など)を使った真空乾燥システムで多くなっている。除湿乾燥では電気はコンプレッサーを動かしたり、あるいはポンプやヒーターを暖めることに使われ、しばしばコンプレッサーの高効率化のために乾燥室の温度を高めることにも使われる。1.2~2.4 m³の製材品を乾燥する小さな乾燥機では単に電気によるヒーターを使う設計もある。

4) 温水および加熱オイル

一部の乾燥機は蒸気ではなく温水で加熱が行われる。この方式は乾燥効率が悪いので一般的にあまり使われていない。しかしながら、温水加熱システムは蒸気の発生ができない、あるいはコストがかかりすぎるような小さな自家製の乾燥機、DIY施設などで使われていることがある。

加熱オイルを使う木材乾燥機はアメリカではほとんど使われていない。ただし、プレス機械と乾燥機をもっているパーティクル工場では、1980年代半ば以降このシステムを使うことについて関心が高まったことがある。

5) 太陽熱

アメリカおよびカナダでは木材乾燥室の加熱にソーラーエネルギーを使用することは、小さな事業所や生産計画をあまり必要としない個人営業所などに限られている。熱帯諸国などで通常のエネルギーが非常にコスト高であったり入手が困難である地域では、完全に太陽エネルギーに依存しあるいは補助的にそれを使うことについての関心が高いようである。

2.2 一般的な構造

2.2.1 構造材料

乾燥室はアルミニウム、プレファブパネル、コンクリートブロック、コンクリート、煉瓦、木材、合板など様々な材料によって建設が可能である。乾燥室の内部から構造材料やパネルへの水蒸気漏れを防ぐために色々な種類のシーリング材があり、構造物の劣化を防止している。また、熱効率を良くするために構造材から熱が逃げないように断熱が必要である。さらに、ドアその他の開口部は熱と蒸気のロスを最小限にするように密閉できるものでなければならない。建設材料の選択は、乾燥する材の種類によって決められる。それは、乾燥室耐用年数、投資資金、保険、エネルギー、加熱方法等によって決まる。

1) アルミニウム

過去10年間に建設された乾燥室の多くはグラスファイバーあるいは他の固形発泡断熱材料を使ったプレファブのアルミニウムパネルを使っている。パネルは互いに接合されてスチールかアルミニウムの構造用耐力部材にボルトで固定されている(図2-4から2-7)。現場で短時間に組み立てられるように予め決められた寸法のプレファブパネルが製造されている。また、すべての接合部分は熱のロスを最小限にするとともに、温度変化による金属の膨張収縮に耐えられるようになっていなければならない。アルミニウムは膨張収縮に耐えて本体を劣化から守る性質に長けている。アルミニウムは212°F(100°C)以上の操業をする乾燥室の材料として好ましい材料である。

乾燥室の扉も同様に軽量で断熱設計のアルミニウムのフレームで補強された筋交いがつけられている。扉の多くは扉上部のローラーに連結したハンガーで動かす。

アルミニウムは腐食に対して非常に強いので特別な目止め材や防水加工を必要としない。しかし、接合部にリークがないことを確かめるために絶えず検査するとともに、パネルの表面のひび割れや裂けは常に修理するべきである。さらに、室内の湿気が断熱材に漏れ入り、断熱効果を減少させないようにすることが必要である。鉄骨構造を使う場合には十分に塗装あるいはシールをして錆を防ぐ注意が必要である。また、鉄骨が低温になりやすい部分(表面に水分が凝結し易い)、たとえば扉の周辺や床面から30.5~45.7cmの部分は特に注意して保護しなければならない。

2) コンクリートブロック、コンクリート、煉瓦ブロック

これらの材料は総合的にメーソンリー(石構造)と呼ばれて、従来から色々な温度での乾燥室の建設材料として使われている(図2-2、2-3、2-8)。バーミキュライト

(蛭石)あるいは他の発泡材料を充填したコンクリートブロックが今日では最も普通の石造りのタイプである。近來はコンクリート壁の乾燥室はたまに見かけるが煉瓦造りはあまり使われなくなっている。石造りの乾燥室は耐力壁を持っているものと持っていないものがある。耐力壁構造になっていない場合は、ブロックあるいは煉瓦は屋根ビームおよびトラスを支える鉄骨の間に敷かれる。これらの材料は耐久性、断熱性能、温度湿度の変化に対する性能などを考慮して品質の良いものを選ばなければならない。モルタルも高品質のもでなければならない。石構造を湿気および結露から保護し、熱伝導等を減らすために内壁および天井は特殊な塗装を1回か2回すべきである。一部の乾燥室では断熱効果とコンクリートブロックへ湿気が入り込まないように、ブロック内部のコーティングもすべきであるとしている。そのような設計には蒸気に対するコーティングも必要である。乾燥操作中これらの石造りの材料の膨張収縮は壁体に割れを生じさせるので、これらの進行を防ぐために直ちにシールする必要がある。この膨張収縮があるために石造りは高温乾燥には向いていない。

石造り乾燥室の屋根材料は、プレファブのアルミニウムパネルあるいはフェルトの蒸気バリアーと断熱材を重ねた積み上げ式の屋根が使われる。

扉にはアルミニウムパネル式の乾燥室と同様にアルミニウムのプレファブパネルが使われている。古いものでは断熱木材パネルを使っているが、これらの扉は重く、壊れやすい。

3) 木材および合板

乾燥室の本体に木材を利用することは、経費がかからない短期的な施設で計画される場合や、小さな簡易型の乾燥室を考える場合に適当で、通常、低温での操業の場合に限られている。本体が金属製または木製の内壁に合板を使うことは除湿乾燥室ではかなり普及していることである。除湿乾燥室の構造には壁や屋根にR-20あるいはそれ以上の断熱値を必要とし、寒冷な気候では更に高い値を必要とする。蒸気漏れに対しては特に厳しくなければならない。設置する場合には適正なジョイントを確保しなければならない。

4) 基礎と床の材料

乾燥室はしっかりした基礎の上に建てなければならない。乾燥室は構造的な欠陥およびわずかな基礎工事によるひび割れは、他の建築よりも深刻な問題となる。乾燥室の不整合は、台車式の乾燥機ではトラックのシステムがだめになってしまい、問題を生ずる。ラインシャフトファンのシステムで不整合が生ずると、ファンシステムの磨耗とメンテナンスの問題が生ずる。

多くの乾燥室の床は通常厚さ615cmのコンクリートでできている。場合によっては厚い砂利の層を使うこともある。製材の出し入れにフォークリフトを使う乾燥室では砂利の床面は維持が困難である。床が平らでないと棧積みが傾いて乾燥が不十分になり、あるいはくずれて駆体を壊したり操作員に怪我をさせる危険がある。もう1つの欠点は熱が地面に逃げたり、地面の湿気が室内に入ってくることである。しかし、砂利は雪解けや氷の溶けた水の排水が良いということはある。

2.2.2 加熱システム

木材の乾燥には大量の水を木材中から取り除くことが必要である。たとえば、サザンパインの製材品を生材から含水率15%にまで乾燥するには $2.36 \times 10^{-3} \text{m}^3$ あたり0.87kgの水399kg/m³を取り除くことが必要である。また、厚さ1インチのレッドオークの製材品を生材から含水率7%にまで乾燥するには、 $2.36 \times 10^{-3} \text{m}^3$ あたり0.83kgの水352kg/m³を取り除くことが必要である。水の蒸発熱は約556kcal/kgであるので、大量の熱エネルギーを乾燥過程で循環空気および木材に送り込まなければならない。この章では熱の発生源から乾燥室への熱エネルギーの移動のメカニズムと熱伝導のタイプについて論じる。

熱を乾燥室に導く典型的な方法は、(1) 間接加熱：熱した流動体（通常スチーム）をパイプを通じて乾燥室に流し、適切な放熱面を通じて室内の空気を加熱する方法と、(2) 直接加熱：熱したガスを室内の空気中に直接流入させるする方法とがある。

1) 間接加熱

加熱した流動体を使った間接加熱システムの最も良い例は、蒸気、温水及び加熱したオイルを使う方法である。蒸気による方法が製材品の乾燥には最も一般的で、熱水や加熱オイルを使う方法は時には見られる。

a) 蒸気加熱

蒸気加熱では色々な圧力のものが想定される。蒸気加熱による温度は蒸気圧によって異なるので、一定の熱伝導率を保ちたい場合、たとえば高圧スチームではなくて低圧のスチームを使う場合にはより多くの放熱面が必要となる。

蒸気はボイラから大型の断熱パイプ（メインフィールドラインと呼ばれる）を通して、1つあるいはそれ以上の乾燥室に送られる。乾燥室内ではスチームはいくつかの分配ヘッドパイプに入り、それから加熱パイプの孔口が出ている（図2-9）。凝縮ヘッダーはパイプの孔口の反対側についている。しばらく前までは鉄のパイプが放射面として使われていたが、現在では殆ど例外なくフィン付きのパイプ加熱コイルが使われている（図2-10、2-11）。直径その他の要因にもよるが、フィン付きパイプは通常の鉄パイプよりも4倍から8倍の放熱能力があると考えられている。フィン付きパイプは鉄、アルミニウムあるいは銅でできており、熱伝導面積を大きくするために薄い金属片を巻つけたり円盤を取り付けたりしている。このフィンには様々な材料でできている。ゲージナンバーの大きい鉄製のものは最も堅固で使いやすいが錆易く、アルミニウムは熱伝導は優れているが損傷を受けやすい。銅も優れた熱伝導体であるが、乾燥機に広く用いるにはコスト高で軟らかく傷みやすい欠点がある。

リターンベンドの加熱システムが最も普通のパイプシステムで、この場合、パイプの束が分配ヘッドから出て乾燥室の幅方向の短いほうの長さに伸びて出口のヘッドに帰ってくる。奥行きがある乾燥室（20m以上）ではこれが両端に付いており、帰りは乾燥室の中央で出会うようになっている（図2-10）。

現在はリターンベンドコイルよりも加熱コイルを短いシングルパスの束に分けるほうが良いと考えられている。これらの短い束に別々にバルブを取り付け長いコイルよりも均一な温度を確保することができる。

熱は蒸気を媒体としてコイルを通過して室内の空気に伝えられるので、蒸気の温度は下がってしまう。それは凝結点まで下がるのでコイルの長さ方向に沿って水滴として集まり、室内の温度を不均一にする要因をつくってしまう。したがって、水平型コイルは30（cm）あたり0.3～0.6cmの勾配をつけて凝結水の排水ができるようにすべきである。

循環空気が複数の積層を通るダブルトラック以上の乾燥室では、積層と積層の間に真空ポンプあるいは再加熱コイルを設置するのが望ましい。コイルは水平でも垂直でも良いが、室内の温度をより均一にするためのものである。

b) 温水及び加熱オイル

温水及び加熱オイルのシステムでは、液体がポンプによって加熱コイルの中を流れる。大きな放熱表面を必要とするスチームと比べて得られる熱量は少ない。到達できる最高温度は180°F（82℃）で、多くの乾燥工場ではそれで十分である。しかしながら、今日ではこのシステムが使われることはアメリカではあまりない。加熱オイルのシステムは、加熱したオイルをパイプの中にポンプで流すという原理に基づいており、到達できる温度は温水の場合よりは高い。

2) 直接加熱

直接加熱の乾燥機では、ガス、オイル、または木材残廃材を燃焼してできた熱風を室内に直接流入させる。この熱風は温度を調節し室内に入る量を規制するために混合室を通過させることが多い。

バーナーは通常電気式あるいは油圧式で調節される燃料バルブがついており、それが自動制御装置で作動している。燃焼のための燃料と空気の供給は乾燥機の温度を一定に保つように制御されている。一部の設計では個別に操作可能なくつかのバーナーノズルを使っている。多くのバーナーは木材残材、石油またはガス等燃料には互換性がある。

混合室では燃焼による熱風と空気とを混合してその温度を必要な温度にする。燃焼室の入口および出口の温度制御スイッチは、オーバーヒートした場合には閉じるようになっている。流入する空気の温度は、通常425°F（218℃）から450°F（232℃）を最高として制御する。遠心ブローアーはバーナーからの加熱空気をダクトを通して加圧室に送り込み、空気を換気ファンで回す（図2-5）。多くの乾燥室では、空気は室内を繰り返し循環して一部だけが加熱室に帰ってくるようにしている。一部の設計では、熱エネルギーはバーナーから熱交換機を通して循環空気に移されて、燃焼ガスが直接室内に入るのを防いでいる。

2.2.3 スチームトラップおよびコントロールバルブ

スチームトラップおよびコントロールバルブは、スチームを保って加熱コイルの中でその流れを制御するために使われる。

1) スチームトラップ

どのような蒸気式乾燥機においても、熱エネルギーがコイルから周囲の大気中に放散する時に蒸気が冷却され、大量の凝結水ができる。252kcalの熱が放出する毎に約0.45kgの水が蒸気配管に凝結する。はじめは蒸気の温度と同じ凝結水もそれ用の排出口を持

っていなければならない、そうでないと凝結水は蒸気の流れを妨げてコイルの温度を下げてしまう。スチームトラップは自動バルブのように作動して蒸気流入をコントロールしたり、スチームを排出したりする。

スチームトラップは水蒸気をロスすることなく凝結水を取り去るために、排水用配管に取り付けられる。スチームトラップのもう1つの機能は、水蒸気に混じって閉じこめられた空気を逃がすことである。スチームトラップはコイルの下流でコイルの下に取り付けられるべきである。最善の方法としては、トラップの上流にはストレーナーを取り付けて埃や油を除き、トラップの下流にはチェックバルブを置いて逆圧あるいは凝結水の逆流を防ぐことである。また蒸気管の中の薄片や残滓を時々掃除するために、ブローダウンバルブをつけておくべきである。さらにすべての加熱コイルに別々にトラップを取り付けて、凝結水がコイルから他のコイルに移らないようにすべきである。ボイラへの帰りの蒸気管は、凝結水の最大値を考慮して十分な大きさにしなければならない。

乾燥機のスチームトラップの適正なサイズは極めて重要で、木材乾燥操作では他のスチームトラップの場合よりも難しい。大きすぎても小さすぎてもいけない。小さすぎると凝結水の排出が悪くなり、水浸しの加熱状態になって効率が落ちる。大きすぎると一部のスチームが排出されてしまい、加熱システムの効率が下がりエネルギーのロスをもたらすからである。

木材乾燥機に一般に使われるスチームトラップには3つのタイプがある。機械式あるいは重力式、熱平衡式、および熱力学式である。

機械式あるいは重力式のトラップは、加熱システムが逆バケットあるいはオープンバケットの設計のものに使われることが多い。逆バケット設計のもの(図2-13)はオープンバケットに取って代わったタイプであり、最も普通に使われている機械的なトラップである。このトラップは次のような仕組みになっている。加熱管に水蒸気が凝結すると、凝結水がトラップに流れ込む。トラップが一杯になると凝結水は排水管から排出される。このシステムに凝結水がなくなると直ちにスチームが逆バケットに入る。スチームの圧力があがるとバケットがバルブアームに対して起きてバルブが塞がって出口が閉じる。バケットにとらえられた空気はトラップの上部の出口から逃げる。凝結水は蒸気におきかわって再びトラップに流れはじめ。凝結水はバケットがトラップの底につくまでバケットの浮力を減少させる。そうすると排出バルブが開いて凝結水がでていく。トラップの上部の空気は凝結する前に逃げるので、空気による障害は最小限である。バケットタイプのトラップは液体の凝結水または水を含むので、寒冷な気候のもとでは適当に断熱して、水が凍結してトラップを傷めることを防ぐことが重要である。

典型的な熱平衡型トラップ(図2-14)では、温度の変化によって拡張したり収縮したりする蛇腹がバルブについている。蛇腹の拡張収縮によってバルブが閉じたり開いたりする。加熱システムが動き出す前はコイルおよびトラップは冷えており、空気と水を含んでいる。この時には蛇腹は収縮しており、バルブは開いている。スチームがシステムに入ってくると、スチームが水と空気におきかわってそれらをバルブから追い出す。空気と水がすべて追い出されるとトラップはスチームで充たされ、その時までにはトラップの温度は上がって蛇腹が拡張してバルブを閉じて、スチームがトラップの出口から逃げるのを防ぐ。バルブが閉じると凝結水が溜まりはじめ、蛇腹が収縮して出口バルブを開くというサ

イクルを繰り返す。

第3のタイプは熱力学的あるいはインパルスタイプ（図2-15）である。このトラップを通る凝結水の流れは、導入室とコントロール室の圧力の差によって制御される。スチームが出てトラップが水で充たされている時には、導入室とコントロール室の圧力は同じで、その時はコントロールバルブはバルブのシートにしっかりついている。凝結水がトラップに入ると導入室の圧力はコントロール室よりも高くなり、コントロールディスクの下面の圧力がコントロールバルブを持ち上げて、空気と凝結水はバルブの開口部を通して排出ラインにでる。

コントロールシリンダーには逆テーパがついていて、凝結水がコントロールディスクを回ってコントロール室に入る流れを、ディスクの上下の圧力がバランスするまで調整する。凝結水の温度は熱い蒸気が近くにあるので上昇する。圧力の低いコントロール室に入る熱い凝結水は、蒸気中に流出するとき体積が増加して、コントロールバルブの開口部を通る凝結水の流れを減退させる。バルブおよびバルブディスクの上面の下方圧力がバルブディスクのリムの上方圧力を越えると、バルブは下がり、開口部を通る凝結水の流れを止め、コントロール室の温度が下がる。その後はこのサイクルを繰り返すことになる。

2) コントロールバルブ

加熱コイルへの蒸気の流れをコントロールするバルブとしては、手動式のものと同自動式のもの両方が使われる。スチームの圧力の調整には圧力レギュレーターと減圧バルブが使われる。

スチームの流れを自動制御するには、空気式コントロールバルブあるいは電気式コントロールバルブが、レコーダーや自動制御装置と併せて用いられる。手動式のゲートバルブは通常、スチーム供給を”On-Off”するコントロールバルブの上流に設置される。手動式バルブは個々の加熱コイルの出入口につけると特に広葉樹の乾燥には有利である。これらの手動式バルブによって操作員は一部のコイルを閉じて低温での温度調整を緻密に行い、過度の温度変動を減らすことができる。

2.2.4 空気循環システム

木材を乾燥するには温度と湿度を調整した空気が木材の表面を均一に流れなければならない。この循環する空気が木材乾燥のための2つの動力である。循環空気は2つの機能を持っている。すなわち木材に対して熱を運んで水分の蒸発を促すとともに、蒸発した水分を取り除くのである。空気の効率的かつ均一な循環にはいくつかの要素がある。空気を動かすファンの大きさと位置およびスピード、空気循環を逆転する装置、空気を栈積みの中に導くバッフル（遮蔽）の設置と利用、栈積みの内部に栈木を置いて各材の間の空気の流れを容易にすることなどである。

1) 乾燥機のファン

近代的な乾燥機では、ファンは2つのカテゴリーに区分される。インターナルファン、すなわち乾燥室の内部にファンを設置したものと、エクスターナルブローアースなわちファンあるいはブローアは乾燥室の外にあって、空気はダクトを通じて室内に導入されるタイ

プである。

これらの2つのタイプの差を論ずる前に、ファンに関する次の法則を参考にしてもらいたい。それは、(1) 流れる空気の量はファンの回転速度 (rpm) によって変わる。

(2) 静的な圧力はファン速度の2乗に比例して変わる、(3) 馬力はファン速度の3乗に比例し、空気密度と正比例して変わる。したがって、空気流量を2倍にするとパワーの消費は8倍になる。

a) インターナルファン

インターナルファンの乾燥機にはファンの配列に2つの原則的なタイプがある。それはラインシャフト型とクロスシャフト型である。いずれの場合もファンはファンと製材の積みの間に吊り天井あるいはデッキを設けて上部に置くが、積み幅を越えて広がらないようにする(図2-1~2-3、2-5、2-6)。

伝統的なラインシャフトの配列では、一連の翼付きのディスクファン(一部の大型の針葉樹乾燥機では直径213cmに及ぶ)が乾燥室の奥行き全体に単一のシャフトに取り付けられているものがある。ファンは左手と右手に交互になっている。それらは空気が室内を横切るように導く交互の遮蔽システムに収められている(図2-2、2-16)。そのため空気の循環は効率的に逆転でき、ファンはいずれの方向へも操作できる設計になっている。モーターは普通50~75馬力であるが、一般に操作室あるいは乾燥室の末端のコントロール室に置いてある(図2-17)。このラインシャフトタイプの配列は遅い速度(122m/minまで)で大量の空気を最小のパワーで動かし、初期含水率の比較的低い製材あるいはゆっくり乾燥することが必要な樹種の乾燥に適している。

ラインシャフトの方式で最近その応用として出てきたものに、ラインシャフトにプロペラファンを取り付けたものがある(図2-18)。このタイプのものは243.8m/min以上を出すことができ、プロペラファンはディスクファンよりも馬力換算するとかなり効率的である。ただしディスクファンのものをプロペラファンに改造するには、シャフトに使うベアリングのタイプを変える必要がある。

クロスシャフトの配列では、ファンは乾燥室の幅方向に配列した個々のシャフトに取り付けられる(図2-3、2-5)。それぞれのファンはベルト方式あるいは直結式でそれぞれのモーター(通常約7.5馬力)で駆動する。モーターは乾燥室の内部のものや外部のものがある。内部に設置する場合は高温に耐えるように特殊構造にしなければならない、メンテナンスのコストは高くなる。外部に設置する場合は天候、特に寒冷地の場合は凍結しないように保護する考慮が必要である。クロスシャフトの乾燥室ではディスクファンもプロペラファンも普通に使われる。いずれも伝統的なラインシャフトのものよりもかなり早い風速で大量の空気を送ることができる。最近では風速を速くする傾向があり、特に高温乾燥ではそれが好ましいのでプロペラファンが普及してきている。これらのファンは2枚ないし6枚の翼をつけており、可変ピッチのものもある。それらは鋳物のアルミニウムでできており、高速回転が可能で、空気速度457m/min以上出せるものがある(図2-19)。

一般的に乾燥機はファン速度、すなわち風速が乾燥期間中変化しないように設計されている。最も効率的な乾燥をするためには、乾燥初期に速く大きい風速が要求される。一方、乾燥スケジュールの後期には木材は乾燥してきており、蒸発させるべき水分も少ないので、

小さい風速で十分である。過去10年間に電気エネルギーコストが高くなっているので、運転中にファンの速度を変えてエネルギーコストを下げるようにファンモーターを調節できるようにすることに関心が高まっている。調節量は、一般に比較的高い含水率から乾燥をはじめ、乾燥による損傷を最小限にする針葉樹の乾燥の場合に大きいようである。広葉樹の乾燥では緩やかなスケジュールでゆっくり乾燥するので、乾燥後期にファン速度を変えてもエネルギーの節約はあまり目立たない。可変ファン（インバーターフィン）の大きな利点は様々な樹種、たとえば、パイン、メープル、オーク等を乾燥する工場で風速を弾力的に変えられるようにすることができることであろう。電気エネルギーコストが上昇してくるのに伴って速度の変えられるファンについての関心は高まり、その研究も進んでいくものと思われる。

b) エクスターナルファン

エクスターナルファンのシステムはインターナルファン程広く用いられていないが、空気循環のもう1つの方法である。これらは一般に1個のモーターを使い、ブロアーで乾燥室に空気を送っている。このシステムでは空気は棧積み物の出口から大きなダクトを通して、外側の遠心ブロアーに送られ、それから空気はヒーターの上を通して適度な湿度を持たせ、もう1つのダクトとのセットで乾燥室に再分配される。この方法の不利な点はダクトが長いので風速が弱くなり、空気循環の方向を逆転することが、不可能でないまでも困難なことである。この方法の利点は空気循環システム（乾燥室の主要な駆動部分）が操作しやすい場所に集中して設置でき、作業が容易になることである。

2) 遮蔽装置（バッフル）

含水率を均一にかつ速く乾燥するためには適当な温度と湿度を持った空気が棧積み中に均一に流れることが必要である。これを効果的に行うには棧積み物の上下および周囲の空気流をブロックして遮ることである。そのための最も良い方法は遮蔽板を使うことである。これを効果的に使わないと乾燥が不均一になったり遅くなったりする。台車式では棧積み物の下の気流は床に取り付けた遮蔽板で上向きに変えて、空気が棧積み物の下を流れてしまうのを防ぐことができる。それに変わるものとしては、乾燥室の床をレールとトラックが入れるに十分な幅で、棧積み物の最も下の部分が丁度床面になるような深さの段差をつけて設計をすることである（図2-2）。天井に遮蔽板をつけてその下端が棧積み物の上部にくるようにすれば、空気が棧積み物の上を流れてしまうのを防ぐことができる。棧積み物が乾燥中に収縮すれば遮蔽板も下がって棧積み物に接触しているようにしなければならない（図2-6）。棧積み物の端を回る気流は、乾燥室のコーナーの中や近くに折り畳みの遮蔽板を取り付けることによって妨げる。乾燥すべき材の棧積み物の長さや高さが均一ではないので、棧積み物との間に隙間ができないように乾燥室の設計にあたっては注意を払われなければならない。

乾燥室から棧積み物の取り出しを担当する人は、取り出しの前にすべての遮蔽板（床、天井および端部の）が棧積み物から離れているように細心の注意を払わなければならない。そうしないと遮蔽板を損傷する恐れがある。遮蔽板が傷んだ場合は直ちに取替えて均一な空気の流れを確保しなければならない。

3) 増圧室（プレナムチャンバー）

乾燥室の中での適正で均一な空気の流れるためには、増圧室の適正な設計と使用が必要である。増圧室は台車式の乾燥機の積積み材といずれかの壁面との間、あるいは積み込み式の積積み材とドアおよび壁面との間のスペースである（図 2-2、2-6）。この部分はファンに製材の間を通る前に僅かな空気圧を加えるスペースを提供し、それによって空気の流れを均一にするものである。ファンが逆方向の場合はプラスの圧力が逆サイドに働き、他のサイドがマイナスになる。増圧室はその中でできる静的圧力が床面から天井面まで均一で、空気の流れを確保するために十分な幅がなければならない。経験的な増圧室の幅の推定は、積木間の開口部の合計の幅に等しいということであり、もしその合計が60インチ（152.4cm）であれば、増圧室の幅も60インチ（152.4cm）ということになる。

積み込み式乾燥機でドアサイドの増圧室であるべき空間に余分な積み込みの列を入れてしまうと、空気の流れが不適正で不均一になるので行ってはならない。

2.2.5 吸排気および加湿システム

今まで述べてきたように、木材の乾燥には大量の水分を取り除くことが必要である。通常の乾燥機では水分は木材の間を循環する空気によって表面から運び去られる。木材の適正な乾燥を達成するためには乾燥室内の湿度は正確に制御されなければならない。乾燥室の湿度が設定よりも高い場合は、余分な湿気は外気へ換気して外からの空気を取り入れる。設定よりも低い場合はスチームスプレーあるいは水の噴霧によって乾燥室内の空気の湿度を増加させなければならない。

1) 吸排気

乾燥室内の余分な水分は2つの方法のいずれかで排気する。（1）室内で空気を循環させるファンによる自然排気、（2）追加のファンおよびダクトを使っての強制排気である。

自然排気では吸排気孔はファンの取り入れサイドと排気サイドの屋根に取り付ける。換気孔が開いているときは新鮮な空気がファンの吸入サイドから取り入れられ、湿った空気は圧力サイドに出される（図 2-1～2-3、2-5）。ファンの回転方向が逆の時は換気孔を通る空気の流れも逆になる。必要な換気孔の大きさと数は乾燥する樹種、すなわち木材から取り除くべき水の量によって決まる。パイン類やポプラ類などの樹種では、オークやハードメープルあるいは天然乾燥した材などの場合よりも多くの換気を必要とする。乾燥機はファンの配列によって長さ方向に1列または2列の換気孔を備えている。各列はそれぞれ油圧または自動制御装置によって作動するモーターによって開閉する。場合によってはそれに加えて手動で操作する換気孔の列を持っているものもある。大きな排気能力を必要とする樹種（シュガーパインやホワイトパイン）の乾燥ではこれらの換気孔を開く。自然排気は乾燥機で最も一般的な方法である。

強制排気システムでは屋根の排気孔の役割を、乾燥室の内部でファンデッキの上を全長にわたって走る金属ダクトがはたすことになる。これらのダクトはルーバーの開口を通して排気するようになっている。各ダクトの長さに沿って調節できる開口部は乾燥室への空気の出入量を制御し、それによって空気は乾燥室に均一に流れる。各ダクトの端部のファ

ンは空気の流れの方向によって、吸入あるいは排出に転換できるように働く。ファンが逆回転すると換気システムも逆になる。これらのシステムは既に棧積み材の間を通った湿潤な空気を排出し、より乾いた空気をファンに送るように設計されている。そのようなシステムを設計するコストは、安いメンテナンスコストによって相殺される以上だと言われている。

排気システムはいずれの乾燥室でも取り入れるよりは多くの空気を排出する、それは室内の温度が高く、取り入れた空気の膨張の余地があるからである。強制排気の場合はファンの翼の設計でそれができる。排気システムは通常の屋根の排気と同様に自動制御装置で制御される。一部の直火型の乾燥室では、遠心ブロアーで、帰りの空気の流れるダクトのダンパーを通して湿気を排気することで強制排気ができる。

空気中の余分な水分を制御するために排気が必要な場合、かなりの量の熱エネルギーが無駄になる。この現象は古くから認められているが、1970年代のエネルギー危機の時には熱交換機あるいは熱節約機器を開発して、換気孔からの排出エネルギーを使用あるいは再生することに関心が高まった。1980年代半ばまでに西部の針葉樹の乾燥室で経済的に使えるシステムが開発された。空気対空気の熱交換機が一般の排気システムにおきかわって乾燥室に入ってくる空気を予熱する。このシステムの改良型あるいは他の型のものが出てくる可能性があり、乾燥室を暖めるエネルギーコストの効率化と節約が今後増えてくるであろう。

2) 加湿

乾燥室内の湿球温度あるいは湿度の調整は、乾燥操作の中で乾燥、イコーライジング、コンディショニングの段階で重要である。湿球温度を緻密にコントロールすることは、表面割れを起こし易いオークやビーチなどの樹種及び針葉樹の高級材の乾燥の初期段階では特に重要である。そのことはまた乾燥の終わりにいずれの樹種でも応力の除去をする必要があるため、コンディショニングの段階でも重要である。

今まで述べてきたように、乾燥室内の空気の湿度が設定値よりも低い場合は加湿をする。蒸気加熱の乾燥室では、湿度は通常加熱コイルに供給するのと同じ供給源から生蒸気を噴霧する。生蒸気はファンの隣の空気噴き出し口に位置した加湿管の特殊なノズルから噴射される。そして生蒸気はそれが棧積み材に達する前に循環する空気と混合される（図2-2、2-6）。加熱システムと同様に加湿管は自動制御で行われる。

乾燥室の加熱に高圧蒸気を使う場合は、直接乾燥室の加湿に使ってはならない。高圧蒸気は湿度を加える以外に室内にかなりの熱を与える。これが乾球温度の変動の原因となり、必要な湿度の維持が困難または不可能になる。このことは湿球温度低下が特に重要なコンディショニングにおいては特に問題になり、大量のスチームの供給が湿球温度の上昇のために必要になる。したがって、加湿管の蒸気圧は乾燥室に入る前に約 15 lb/in^2 (105 kg/cm^2) に下げたおかなければならない。もし安全規制が許すならば、ボイラーと乾燥室の間のラインの部分は断熱処理をしないでにおいて、加湿のためのスチームは飽和点 ($121 \sim 127^\circ\text{C}$) 近くまで冷やしておくことである。もう1つの方法は加湿管に冷却装置を設置することである。これは水を細かい霧にして加湿管に吹き込み、それによって熱を奪ってスチームの温度を飽和点近くまで下げるのである。

加湿のためのスチーム源を持っていない設備では水スプレーが使われる。水は細かい霧の形で室内に噴射されるべきである。冷水は室内を冷やす効果があるのでスプレーする水は加熱しておくことが望ましい。一部の乾燥室では水のスプレーは加湿管と一緒に使っているところもあるが、水滴が栈積み材の上に落ちて材に汚れが生じないように特に注意する必要がある。

湿球温度のコントロールは、直火型の乾燥室でスチームがメインボイラーから得られない場合は、栈積み材のコンディショニングに必要な大量の低圧スチームを発生するために小型のボイラーを設置する必要がある。

2.3 乾燥条件を制御する装置

一般の多くの乾燥機の乾燥条件は自動あるいは半自動のコントローラで制御されるが、小さな設備あるいは自家設計の設備では手動制御も行われる。

2.3.1 自動制御装置

自動制御システムはさらに半自動と完全自動に分かれる。半自動式は乾燥中に操作員によって設定値が変えられる方式で、記録とコントロールが行われる。完全自動システムではプロセスコントロールの情報は乾燥操作の始めに組み入れられ、乾燥中の条件変更は自動的に行われる。

半自動式でも完全自動式でも、一部特殊な装置を使ったいくつかのプロセスコントロール技術が使える。それらにはゾーンコントロール、ファンの可変速度コントロール（乾燥機のファンの項参照）、乾燥室内水分計によるコントロールなどが含まれる。水分計には2つのタイプがあり、（1）電極（ピン）が製材の中に差し込まれる抵抗式水分計と、（2）電極（金属板）を製材の表面に平らに置く電気容量式水分計がある。電極は栈木と平行に材の間に挿入する。いずれのシステムでも電気信号は含水率に変換されてメーターに表示される。メーターは温度補正をするが、いずれも含水率30%以上ではあまり信用がおけない。抵抗式水分計は30%以下の含水率のモニターによく使われるが、乾燥スケジュールのコントロールにも使える。電気容量式水分計は針葉樹の乾燥機で30%以下の含水率のモニターに最も広く使われている。一部はコントローラーに連結され、所定の含水率になったときに乾燥機を止めるのに使われる。

1) 半自動制御システム

半自動制御システムは一般に指示調節計を持っているのが特徴である。この装置は乾燥室の条件を連続的に測定して図上に記録し、操作員がセットした条件に合うように温度と湿度を調節する。乾燥が進行すると、操作員は設定値を希望の条件（温・湿度）に変更する。これは乾燥開始後の経過時間あるいは抽出試験片によって測定した材の含水率によって行う。時間による方法（タイムスケジュール）は針葉樹の乾燥では一般的であり、後者（含水率スケジュール）は広葉樹の乾燥の場合普通に行われる。一度乾球温度と湿球温度が設定されると、装置は再設定されるまでその条件を自動的に維持する。

乾燥室内の現在の条件を示す信号は、室内のセンサーを通じて指示調節計に送られる。通常、湿球温度センサーは一つしかないが、乾球温度センサーは複数ある。これは湿球温

度は乾燥室全体でほとんど均一であるが、乾球温度は乾燥室の長さおよび高さによってかなりのムラが生じるからである。装置はこれらの乾燥室の条件を比較し、条件の変更は加熱システムを開閉する弁、換気口を電氣的に開閉する弁、及び必要に応じて乾燥室を設定された条件にする加圧システムへの信号を通じて行われる。

長年にわたって指示調節計およびそれにともなう弁のシステムはON/OFF式で作動してきた。即ち調節計（コントローラー）は弁に対して完全に開くか、完全に閉じるかを伝えるのである。この方法は時にはエネルギーをロスし、乾燥室の条件を希望どおりの緻密さでコントロールできない。最近では多くの乾燥機で比例制御弁による制御（比例ON/OFF）が行われるようになってきている。この方法では乾燥室の条件が設定値とどれだけ離れているかによって弁の開き具合が決まるため、より正確なコントロールができ、エネルギーの節約になる。

現在乾燥機で使われているセンサーには3つのタイプがある。50年以上も使われている伝統的なセンサーはガス充填または液体・蒸気システムである。近年導入されているものは測温抵抗体（RTD）を使った電氣的システムである。第3のタイプのセンサーは乾燥室の大気の平衡含水率（EMC）の測定に使われるものである。このセンサーは小さな木材試験片または乾燥室に取り付けたセルロースパッド（EMCウェファー）に取り付けた電極間の電気抵抗計によって直接EMCを測定するものである。

液体・蒸気あるいはガスを充填したシステムは4つの主要な部品からなっている。

（1）乾燥室内の温度検出器、（2）温度検出器を指示調節計に連結する保護された毛細管、（3）ペンを記録紙上で動かす機械的な力を与えるコントローラー内部の螺旋上の動きをするブルドン管、（4）記録チャートを回転させる時計と連動したモーターである。

乾球温度と湿球温度の検出器は通常制御室内におかれている。指示調節計の内部のブルドン管に長い毛細管で個別に連結されている（図2-20）。温度検出器、毛細管及びブルドン管は揮発性の液体（ブタン）またはその蒸気を充填して密封する。乾燥室の温度が上がると液体・蒸気システムの圧力が上がり、毛細管は圧力変化をブルドン管に伝え、それを膨張させる。この動きはペンのアームに伝えられ、それが半径方向に動いて記録紙に温度の上昇を示す。乾燥室の温度が下がると逆の動きになる。

ほとんどの乾燥室は通常1つの湿球温度計と2あるいはそれ以上の対の乾球温度計を備えている。湿球温度計は湿った芯（ガーゼなど）での蒸発による冷却効果からくる乾燥室の湿球温度を測定し、装置を介して湿度を調節する。対になった乾球温度計（2つの温度検出器は共通の毛細管につながれている）は乾燥室の空気取り入れ口側で乾燥室の温度を測定し、調節する。取り入れ口側は常に温度が高い。空気の循環が逆になると反対側の方が温度が高くなり、反対側の温度計がコントロール用になる。大きな乾燥室は色々なゾーンの温度管理をするためにこの乾球温度計を2対あるいはそれ以上備えている。

液体・蒸気式のシステムは乾燥室に入る水蒸気の量を調節する調節弁による圧搾空気システムである。ムーアの装置では指示調節計のケース中で各温度検出器からの毛細管は分かれており、一つは記録部につながり、他の一つは第2のブルドン管につながっている。フォックスボロおよびハニウエルの液体・蒸気システムではこの毛細管を分けず、機械的に連動させて同じ結果を得るようにしている。システムの中で圧力が変わると針状の空気弁が働いて乾燥室への熱の導入を正確にコントロールし、また換気、スプレーあるいは

は加湿をコントロールする。

ガス充填あるいは液体・蒸気のシステムは非常に信頼性が高く正確であるが、新しい電子式の指示調節計と比べると若干の不利な点がある。

電子式指示調節計は乾球温度及び湿球温度のセンサーとして白金の測温抵抗体（RTD）を使っており、16ゲージの3線式リード線で装置につないでいる。記録部は測温抵抗体の抵抗変化を測定するサーボ回路を持っており、これに従ってチャート上でペンを動かす。装置は測定系統ごとに個々のサーボ回路を持っている（図1-21）。例えば、3本ペンのシステムは3つのサーボ回路を持っており、1つは湿球温度用、2つが乾球温度用となっている。

システムの主要部分は比例ON/OFFあるいはON/OFF型の圧搾空気のコントロールユニットのいずれかで、測定値をペンの動きを通じて伝える。測定した値が設定値を横切ると、コントロールユニットが空気圧あるいは電氣的なリレーを働かせて、それが制御弁に命令を送って働かせる。

電子システムの心臓部はサーボ回路の集合体で、ブリッジ回路、バランシングアンプ、スライドワイヤーおよび直流バランスモーターからなっている。ブリッジ回路のエレメントの1つは乾球あるいは湿球の温度を感知する測温抵抗体である。ファンが逆転したときには外部のリレーが適切な測温抵抗体に切り換え、入ってくる空気の温度測定を確実に行うことができる。

液体・蒸気式および測温抵抗体コントロールシステムの長所と欠点は次のとおりである。

① 測温抵抗体による電子コントローラーは反応時間が短く、チャートの総半径（約10から1cm）をペンが走るのに公称4秒である。これは液体・蒸気式に比べると著しく早く、特に毛細管の長さが1.5mにもなると特にそうである。液体・蒸気式の記録チャートの目盛りは等間隔でなく、ハブの近くで狭く、エッジでは広がっている。電子式では間隔はどこも同じでセッティングと読みが容易である。

② 電子式システムはリード線の長さに制限がない。コントロール器具は600mまで離して設置しても精度と反応時間に問題がない。リード線の長さによって生ずる誤差があればそれは自動的に補正できる。これに対して液体・蒸気式のコントローラーは一般に導線の長さが約30mに制限され、毛細管はセンサーとコントロール器具の間の温度変化によっても影響される。

③ 電子式システムでは温度レンジは単に温度レンジのカードを替えるだけで容易に変えられる。液体・蒸気システムでは器具を乾燥室から取り外してそれを製造業者または修理業者に戻して、特殊な装置で再充填して調整し直さなければならない。

④ 液体・蒸気式の装置は器具の位置とセンサーの位置（高いか低い）に敏感である。もし何らかの理由でこの位置関係が変わると較正曲線に影響する。測温抵抗体による電子式システムではセンサーの位置に影響されない。センサーはいつでも動かせる。

⑤ 電子式システムのセンサー部に損傷が生じた場合にはその場で修理ができる。センサーは分単位の時間で交換でき、リード線の損傷は較正曲線の変更や器具の精度を落とさずに修理できる。液体・蒸気システムでは器具を毛細管と温度検出部と一緒に乾燥室から取りはずして、製造業者か修理業者に持って行かなければならない。

⑥ 電子式システムの最大の長所はおそらく較正が容易であることであろう。液体・蒸気

システムでは2人がかりで熱水または熱したオイルのバケツを使って長い時間をかけて行うのに対して、電子式システムの較正は1人でインピーダンス器を使って簡単にできる。色々な温度範囲で器具に一定の電気抵抗を与えて、較正が適正か不適正かチャートを読めばわかる。単純に調整するだけで、調整は器具の前で容易にできる。ただこの技術は器具の較正だけで、センサーの調整ではないことに注意しなければならない。センサーは一般に正確であると考えられている。センサーの抵抗はブリッジでチェックすることができる。システム全体（センサーおよび器具）をチェックするにはセンサーを氷水（0℃）に入れ、それから沸騰水（100℃）に入れてそれぞれの値をチャートで読み取る。

2) 完全自動制御システム

ここでは完全自動制御とは、プロセスコントロール情報あるいは乾燥スケジュール情報が乾燥操作の開始時に入れられていることを意味している。温度及び湿度の変更は操作中にコントローラーによって可能である。これらの変更は最終目標含水率および乾燥室の停止を含んでいる。これらのシステムではオーバーライド（手動による強制的な条件の変更）もできるが稀にしか使われない。半自動制御においては記録調節計は予めセットされた条件を維持するのみで、乾燥条件の変更は、操作員が行わなくてはならなかった。完全自動システムは、一部地域で何十年も使われたカム操作のコントローラーから、荷重を測るロードセルによるコントローラー、あるいは最近の乾燥室内の製材の含水率を測定するコンピューター化したコントローラーまでである。

カムコントローラーは完全自動制御の最も初期の試みである。タイムスケジュールで、樹種、厚さ、製材のグレード、含水率が決まっていれば乾燥室の条件は時間で決められるという想定によっている。二つの特別にカットしたカムが必要で、一つは乾球温度をコントロールし、他は湿球温度をコントロールするものである。樹種や厚さが変わると別のカムをセットしなければならない。

カムコントローラーの利点は次の通りである。（1）スケジュールが予め決められており監視が最小限ですむ、（2）スケジュールは一つの条件から他の条件に階段的でなくスムーズに動かすことができ、条件を急に替えることができるとともにエネルギーのロスやボイラーへの余分の負荷をなくすることができる、（3）カムは一定の厚さのもので経験に基づいて同じ初期含水率から出発する場合に、予測し得る再生できる結果を得られるようにカットすることができるということである。

カムコントローラーの不利な点としては次のようなことがある。（1）乾燥期間中にコントローラーと製材の含水率との間に直接の関連がなく、通常より乾燥の遅い材では含水率が希望より高いうちにスケジュールが終わってしまい、通常より乾燥の速い材では過乾燥になり易い、（2）記録・調節計がカムに固定されており、他の条件に容易には変えられない、（3）カムを正確にカットするのに注意と経験が必要である、（4）監視を怠ると、ボイラーの停止、スチームの洩れ、湿球に水が無くなるなどの不測の事態に対し必要な変更が行えないことがあるということである。

ロードセルシステムには乾燥の進行中に材料の重量またはその一部を秤量してスケジュールを変更できるものがある。試験材料をサンプルに取って通常の全乾重量法で初期含水率を算出する。この情報を実施すべきスケジュールの情報と一緒にして乾燥開始前にコン

トローラーに入力しておく、コントローラーは、その通りに実行する。この方法の主な問題点は、サンプリングおよび信頼すべき初期含水率の決定、サンプルの平均含水率に基づく乾燥、乾燥中の材の含水率のばらつきについての指標がないことなどである。望ましい方法は非常に小さいロードセルを使って個々のサンプルの重量減少を追跡し、これらのデータをコントロールシステムに入れることであろう。

1980年代半ば以降、針葉樹にも広葉樹にもコンピュータ化されたコントローラーが導入された。机上サイズのパソコンの導入はコンピューターコントロールシステムの普及に拍車をかけた。コンピューター化されたコントロールシステムには、電気的カムによる時間ベースのシステムとあまり変わらないものから、一定の範囲内で木材の含水率を測定し、それ以外の範囲では、含水率を推定するものまである。

秤量による以外は繊維飽和点（約30%）以上の木材の含水率を正確に測定する方法がないので、30%以上の値は乾燥室内の温度と湿度から推定される。繊維飽和点以下の含水率の値は、材に差し込んだ金属のピンまたは電極の間の電気抵抗を測定することによって決定する。ピンの長さを変えることによって中心部あるいは表面に近い部分の含水率を測定することができ、それによって含水率傾斜をある程度知ることができる。一部のシステムでは温度及び湿度条件を綿密に監視し制御するばかりでなくファンのスピードを変え、エネルギー消費を監視しあるいは制御することができるものもある。一つのコンピュータで1室から8～10室までの乾燥室をコントロールすることができる。

コンピュータ化されたコントローラーは将来は製材産業にもっと広く受け入れられるようになる。最近の設備の多くはコンピュータ化によって乾燥室の操作がより容易になり、高品質の製材の生産コスト削減ができることを示している。技術は急速に進歩しており、収縮、応力、木材の温度および含水率などの検出について研究が進むにつれてコンピュータコントローラーでの木材乾燥の正確さは増してくるであろう。

3) ゾーン コントロール

ゾーンコントロールは乾燥室全体として乾球温度を均一にするもので、半自動でも全自動のコントロールシステムでも使えるプロセスコントロールの技術である。乾燥室のクールスポット（温度の低い部分）が希望よりも高い含水率の製材を作る不均一乾燥の原因とされている。また、ホットスポットでは希望以上に乾燥した材が出来る。ゾーンコントロールでは乾燥室は温度センサーで制御される加熱システム、あるいはダンパーでいくつかのゾーンに分けられる。普通はゾーンは乾燥室の長さ方向に分けるが、一部の設計では垂直（縦割り）にも分けている。独立にコントロールするゾーンの数は2～24にもなる。歴史的にはガス充填記録調節計でのゾーンコントロールは、長い（20m以上）乾燥室を2つのゾーンに分けるものであった。すなわち長さ方向に2つに分けるか、あるいはダブルトラック式乾燥室において再加熱コイルの操作によって1つのゾーンをコントロールし、他のゾーンは天井の加熱コイルの操作によってコントロールする方式であった。電子式センサーによるコンピュータ化された制御システムでは、より多くの数のゾーンを制御することができるようになった。コンピュータ制御では、対になったセンサーが温度低下を測定し、すべてのゾーンで同じ水準の乾燥速度を維持できるようにしている。この技術は成功しており、アメリカの南部でも西部でも針葉樹の最近の高温乾燥に広く使われるように

なっている。古いモデルや改造した針葉樹用の乾燥室、あるいは一部の広葉樹用にも普及してることが期待される。しかしながら、通常の温度の広葉樹乾燥室では横方向の温度低下はあまり大きくないので、これを使ってのコントロールはあまり有望ではない。

2.3.2 手動制御装置

アメリカ、カナダではなんらかの形の自動制御が事業的な乾燥室に普通に使われている。しかし、手動制御も可能であり、規模の小さい事業では一般に関心が高く、自家設計の装置や一人で殆どフルタイムで乾燥室を監視する事業ではしばしば使われる。乾燥条件を手動で制御して成功するには、乾球温度および湿球温度がわかっていなければならない。これらの温度が希望と違っている場合はスチームの流れ（熱）およびスプレイ（湿度）を希望の値が得られるまで調整しなければならない。適正な換気量についても観測し調整しなければならない。希望温度に近付けるためにはモニターや弁の細かい調整にかなりの時間がある。

1) 温度測定装置

手動制御に使われる温度測定装置には2つのクラスがある。指示式と記録式である。ガラスの棒状温度計が多く用いられる。最も良いガラス棒温度計は軸に目盛りが刻んである。取り付けられた金属板に目盛りを刻んだものは、金属板が温度計からずれて読みが不正確になる恐れがあってあまりよくない。近年、圧力バネ式のものに替わってデジタル指示温度計が用いられるようになった。これらのデジタル温度計のセンサーは熱電対あるいは測温抵抗体である。Tタイプの熱電対（銅コンスタンタン）が乾燥室には多い。

ガラス棒の指示温度計では最高温度計も乾球温度の測定に使われる。最高温度計はそれが到達した最高の温度を示す。読み取りを行った後は体温計のように振って戻しておかなければならない。最高温度計の場合は温度がピークに達するまで十分な時間を置かなければならない。

温度を記録する必要がある場合は、プリンターを取り付けることのできるデジタル温度計もある。指示式の温度計と同様に記録式温度計のセンサーは熱電対でも測温抵抗体でも良い。

2) 湿度測定装置

手動で標準化された乾燥スケジュールにしたがって条件を変化させるには、室内を循環する空気の湿球温度または相対湿度を知ることが必要である。これは相対湿度を直接読み取る装置、あるいは湿球温度を読み取る装置を使うことによってできる。乾球と湿球の温度の差が乾湿球温度差である。この値から、相対湿度図表を使って相対湿度が算出できる。湿球のセンサーは常にぬれており、十分な空気の流れがあって、芯（ガーゼなど）が常に水を適当に蒸発して湿球温度が正確に得られるような場所に置かなければならない。芯は度々交換して乾いて硬くならないようにしなければならない。

もしも相対湿度と乾球温度を監視しながら乾燥室を制御しようとするのであれば、質の良い相対湿度センサーを入手すべきで、普通の店で見られる安いセンサーやメーターは較正が完全にできていないし、読みに誤りを生じやすいので推奨できない。手動制御には乾

湿球湿度計が時には使われる。通常、乾球温度計と、湿球温度計は同一の器具に取り付けられている（3章の図参照）。

2.4 特殊乾燥法と乾燥装置

2.4.1 除湿乾燥機

除湿乾燥機はこの章で何度か取り上げている。多くの点で蒸気加熱あるいは直火式の乾燥室と似ているが、別物である。除湿乾燥機にはいくつかの利点がある。応力除去が必要な場合以外はボイラーが不要で、エネルギー効率が良く、初期温度を低くし湿度をできるだけ高くしておかなければならない樹種の乾燥には、コントロールが容易で設備費が安いなどである。不利な点としては除湿乾燥では電気エネルギーが必要で、それが一部の地域ではガス、オイルあるいは廃材よりも高い。また最高温度は約70℃に限定され、一部の設備では50℃に限定される。場合によっては化学薬品の凝結の心配もある。

空気循環システムは本質的には蒸気や直火の場合と同じである。除湿装置は通常乾燥室の外にあり、送風機は両者の空気を循環させる。乾燥室内の空気循環は他のタイプと同様である。昔の設計では空気速度は比較的低い水準であったが、業界では漸次空気速度をあげてきており、通常温度の広葉樹乾燥室と同じくらいになっている。典型的な除湿乾燥機を図1-22に示した。

除湿乾燥機と他のタイプの乾燥機との相違は、水分を乾燥室の空気から取り除く方法である。換気孔がなく、水はすべて除湿器のコイルに凝結させるのが一般的である。このため除湿乾燥機ではエネルギー効率が非常に高い。第1に湿潤な空気が乾燥室の外にでないで、暖かい湿った空気に含まれるエネルギーが失われない。第2に、空気中の水分が冷たい除湿器のコイルに凝結する時に気化熱が回収される。多くの除湿乾燥室はこの回収したエネルギーを木材の乾燥に使うように作られている。製材から453gの水を蒸発させるのに必要な約1054kJのエネルギーがこの凝結によって回収される。

除湿乾燥機での制御方法は通常他の乾燥機とは違っている。コンプレッサーをタイマーで動作させる方法が普通に用いられる。多くの場合、測温抵抗体の乾湿球センサーをつけた記録装置を持っており、温湿度の記録を行う。除湿機は乾湿球システムあるいはタイマーによらないで恒湿器として動かされる場合もある。一般的に電気による補助加熱装置を持っており、乾燥スケジュールの終わり頃に高い温度まで上げるのにも使うことができる。

壁体の材料は木材から石造りあるいはプレファブのアルミニウムパネルまでである。主な基準は乾燥室が十分に断熱されてエネルギー効率が十分に発揮され、気密性に優れ湿気に対する抵抗性が高いということである。中型あるいは大型の乾燥室では断熱値は壁にはR-20、屋根にはR-30が推奨される。気候が暖かい地方ではその値はもっと小さくても良い。小さな乾燥室（容量24m³以下）ではより高いRの値が必要である。非常に実用的でコストの安い乾燥室が、大型でも小型でも簡単な木材フレーム構造でできる。

一般に除湿乾燥機の場合も、他のタイプの乾燥機の場合と同様に、乾燥後に乾燥応力が残ると考えられている。除湿乾燥機は蒸気式乾燥機のようなボイラーがないので、この点について特別の用意がなければならない。小さい能力の電気あるいはガスによるボイラー

がこのために取り付けられることが多い。これは電熱ヒーターを使わずに予熱するのにも使用できる。

2.4.2 予備乾燥機（プレドライヤー）

予備乾燥機は本乾燥で最終含水率に下げる前に、木材の含水率を約25%にまで下げておく大きな低温の乾燥機である。倉庫乾燥機（ウエヤーハウスドライヤー）とも言われており、製材の収容量は120 m³から240 m³にも及ぶものがあり、収容力は乾燥機の能力の4倍くらいである。（図2-23）。

一般に予備乾燥機ではフォークリフトが使われる。多くはスチール構造で塗装したスチールまたはアルミニウムのシーリングの間に3～5 cmの発砲断熱材を入れ、床はコンクリートである。温度は25～38℃、相対湿度は60～90%である。

予備乾燥機は、天然乾燥の条件が良くない気候が長く続くアメリカ北方地域では25年以上も前から一部の企業で使われており、欠点の発生を防止し乾燥時間を短くすることで成功している。しかし、近年においては製材価格の高騰と高い金利で、製材業者の関心は他の方式に移りつつある。特に乾燥機での最終乾燥の前に60～90日、あるいはそれ以上天然乾燥してきた広葉樹生産業者がそうである。

予備乾燥が土場での天然乾燥より勝れている点は、製材の色が明るく、乾燥製材の含水率がより均一で、乾燥による欠点が少なく、時間が約1/3短くてすむことである。在庫量を1/2から1/3減らすことができ、資本と土場面積が節約になる。これらの予備乾燥ではいくつかの樹種および厚さをミックスできる。したがって、含水率、樹種、厚さの異なった製材を同時に収容することができ、早く乾燥した材を取り出して未乾燥の材と入れ替えることができる。通常は同じ樹種、厚さ、含水率のものをブロックに分けておく。予備乾燥が天然乾燥よりも不利な点は、多くは建築費用、エネルギーおよびメンテナンスにかかわるものである。

予備乾燥機では蒸気およびフィン付きのコイルで加熱するのが一般的である。湿度は高くなりすぎると換気孔で調節され、また製材から放出される水分によって必要な湿度が保たれる。大きな予備乾燥室は2つあるいは3つのゾーンに分けられ、条件は別々にこの章で説明したのと同様の記録調節計で制御する。温湿度条件を除湿機で調節するものもある。

温度は通常測温抵抗体で検出し、湿度は湿球温度計あるいはセルローズパッドなどを使った相対湿度センサーによって検出する。センサーをたるきの上に置くことについては批判がある。棧積みされた木材に触れている空気を代表していないということである。しかし、フリースパンの建物であるので、どこにセンサーを置くかについてあまり選択の余地はない。

空気の循環は通常2列の製材の間に空間に水平に並べた天井ファンで行う（図2-22）。空気はベルトドライブまたは直結式のファンで下方に送られて製材の間を通る。予備乾燥機に対する批判の1つは空気の流れが均一でなく、上と下で乾燥が不均一になるということである。これを改善して空気の流れを均一にする色々な形式の遮蔽板のシステムが提案されている。換気は湿った排気が屋根に直接あたらないように設計すべきである。そうしないと屋根が部分的に損傷する危険がある。直接上方に排出して建物の外に出すほうが良い。

天然乾燥よりは予備乾燥機を使うという考え方は広葉樹産業では広く受け入れられている。しかし、うまく機能している技術ではなく、すべて事業や設備に有利というわけではない。技術はまだ改良されつつあり、今後色々な変化があるであろう。

2.4.3 太陽熱乾燥機（ソーラードライキルン）

太陽熱乾燥機については1970年代半ばのエネルギー危機までは関心が低かった。太陽熱乾燥機の利点はただで豊富なエネルギーが得られることであるが、不利な点はエネルギーを集めるのにコストがかかることである。ただのエネルギーはまた密度の低いエネルギーということでもあり、極めて高価な特殊な集熱器を使わないかぎり乾燥室の温度が約55℃に制限されることが多い。エネルギーを集めるコストを別にして、太陽熱乾燥機のもう1つの利点は比較的小さく簡単に経費の安い乾燥室ができ、この技術が小規模の事業に適しているということである。

アメリカで水平面で得られる年平均の太陽エネルギーは、1 m²あたりで1日に2700～5400 kcalである。いくつかの地域での平均の量は表1-1に示した。集熱器の表面を太陽に対して直角に傾けて太陽の直射密度を最大限にし、反射によるロスを最小限にする。通年ベースで太陽の照射を最大限にする一般的なルールは、集熱器を地面に対してある角度で傾けることである。もしも緯度と大気の状態から冬場に乾燥ができない地域で夏場に太陽照射を最大限にしようとするのであれば、傾斜角度を緯度よりも15%小さく傾けることによって直射は最大限になる。北半球では集熱器は直接南に向けるべきである。

太陽熱乾燥機は直接太陽光線を集める方式（温室タイプ）でも、集光器は乾燥室と若干離して置く間接集光の方法でも操作することができる。太陽エネルギーだけでもよいし、補助的エネルギー源を付けても良い。太陽熱乾燥機の4つのタイプは次の通りである。

①直接集光（温室型）

- a. 太陽熱のみ。昼間型で温度と相対湿度が日々変わるのが特長である。
- b. 太陽熱に補助エネルギー源をつけたもの。乾燥スケジュールに従って作業ができるが、透明なカバーの低い断熱効果のために夜間の熱のロスが大きいのが特色である。

②間接集光（独立の乾燥機）

- a. 太陽熱のみ。温湿度の日中の変化は、エネルギーを蓄えておいて夜間の熱のロスを少なくすることができる。
- b. 太陽熱に補助エネルギー源をつけたもの。スケジュールによる乾燥が可能で夜間の熱のロスが少ない。

太陽熱乾燥機の一般的な設計は図2-24に示した。可能な集光表面は南向きの壁面、東西の壁および屋根である。集光は直接（図2-24 a, c）あるいは間接（図2-24 b, d）である。集光表面は夜間は断熱しないもの（図2-24 a, b）あるいは断熱するもの（図2-24 c, d）がある。

最も簡単な断熱しない方式（図2-24 a）では空気は吸光面（A b）の両側を流れる。乾燥室と集光表面は温室と同じように1つのユニットになっている。若干改良した設計（図2-24 b）では集光表面（RおよびS）および外の吸光面（A b）は乾燥室と独立

させておく。吸光面で吸収したエネルギーは吸収器を通じてその内部表面に流れ、そこから乾燥室内の循環空気に送られる。これらのシステムはいずれも夜間の熱のロスが大きい。

断熱する設計では2つの形式がある。簡単な方式（図2-24c）では空気は図2-24a）と同様に流れるが、毎日の断熱（In）はシャッターやブランケットなど外的な方法で行われる。集光器と吸光器は図2-24dに示したように独立しており、乾燥空気が熱伝導の媒体となる。ダンパー（Da）が開いているときは空気は黒い吸光面（Ab）の上を流れ乾燥室に戻る。ダンパーが閉じているときは夜間の空気の流れは遮断され、夜間の熱のロスを減らす。このタイプの乾燥室のより詳細な図を図2-25に示した。もう1つの普通の断熱型の乾燥室では太陽集光器と別になっており、加熱した空気を送風機で集光器から乾燥室に運ぶ（図2-26）。

現在は太陽熱乾燥はアメリカではあまり広く使われていない。多く使っているのは大きな乾燥能力を必要とせず、乾燥機に多額の投資を行いたくない素人愛好家や小規模木工業者などである。

2.4.4 真空乾燥機

木材の真空乾燥は新しい考え方でなく今世紀はじめから考えられてきたものである。しかしながら、経済的でないと考えられていたので1970年代までは使われなかった。真空乾燥の主な魅力は完全な真空ではなくても、ある程度減圧すれば水の沸点は下がるので、温度を100℃まで上げなくても、常温で100℃以上の高温で行う乾燥の場合と同じように、速いスピードで自由水を蒸発させ、取り除くことができることである。したがって100℃以上の高温で発生し易い欠点が発生する危険がなく乾燥速度を高めることができる。真空乾燥は要するに低温での高速乾燥である。1970年代の初期には真空乾燥の経済的見通しが良くなってきた。その大きな原因は、長い乾燥プロセスの間大量の在庫を抱えるコストが高騰したからである。このことは厚い乾燥しにくい高価な樹種の場合に切実であり、そしてこれらの樹種は通常の乾燥機に比べると、ほんの少しの時間で安全に乾燥することができる。

現在市販されているいくつかのタイプの真空乾燥機の違いは熱を製材に伝える方法の差である。減圧下での通常の空気加熱は不可能なので2、3の方法が考案され用いられている。その第1は、減圧と常圧を交互に繰り返すものである。常圧に戻した時に通常の空気加熱が行われ、減圧時に低温で水分を取り除く。第2のタイプは常に真空を維持しながら蒸気を通した熱板や、電氣的に熱された熱伝導性のおおいを材に接触させ、熱エネルギーを直接与える方法である（図2-27）。

第3のタイプは高周波を使って製材を加熱する方法である。いずれのタイプでも水は乾燥機からポンプで取り除かれる。

表 2 - 1 アメリカ各地での年間平均の 1 日当たりの太陽照射量

都 市	太陽照射量 × 10 ³ (cal/m ² /day)
アンブケルケ、NM	5, 1 9 5
アメス、IA	3, 4 5 3
アトランタ、GA	3, 9 4 4
ボイス、ID	3, 9 4 9
ボストン、MA	3, 1 1 4
コーバリス、OR	3, 4 0 4
デービス、CA	4, 3 3 5
フォートワース、TX	4, 4 4 4
グランドジャンクション、CO	4, 5 4 4
グリーンズボロー、NC	3, 8 2 5
インディアナポリス、IN	3, 4 5 3
レキシントン、KY	4, 0 8 6
リトルロック、AR	3, 3 8 5
シュレブポート、LA	3, 9 5 5

2.5 参考文献

- Rasmussen, E. F. 1961. Dry kiln operator's manual. Agric. Handb. No. 188. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
- Rice, W. W. 1977. Dry kiln: A design to season 500 board feet. Fine Woodworking. Spring: 39-43.
- Rosen, H. N. 1979. Potential for energy recovery from humid air streams. Res. Pap. NC-170. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.

2.6 その他の参考資料

- Bramhall, G.; Wellwood, R. W. 1976. Kiln drying of western Canadian lumber. Western Forest Products Laboratory Information Report VP-X-159. Vancouver.
- Cech, M. Y.; Pfaff, F. 1977. Kiln operator's manual for eastern Canada. Eastern Forest Products Laboratory Report OPX192E. Ottawa.
- Knight, E. 1970. Kiln drying western softwoods. Moore-Oregon, Portland. (Out of print.)
- McMillen, J. M.; Wengert, E. M. 1978. Drying eastern hardwood lumber. Agric. Handb. No. 528. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
- Tschernitz, J. L. 1986. Solar energy for wood drying using direct or indirect collection with supplemental heating. Res. Pap. FPL-477. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Wengert, E. M.; Oliveira, L. C. 1985. Solar heated, lumber dry kiln designs. Blacksburg, VA: Department of Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University.

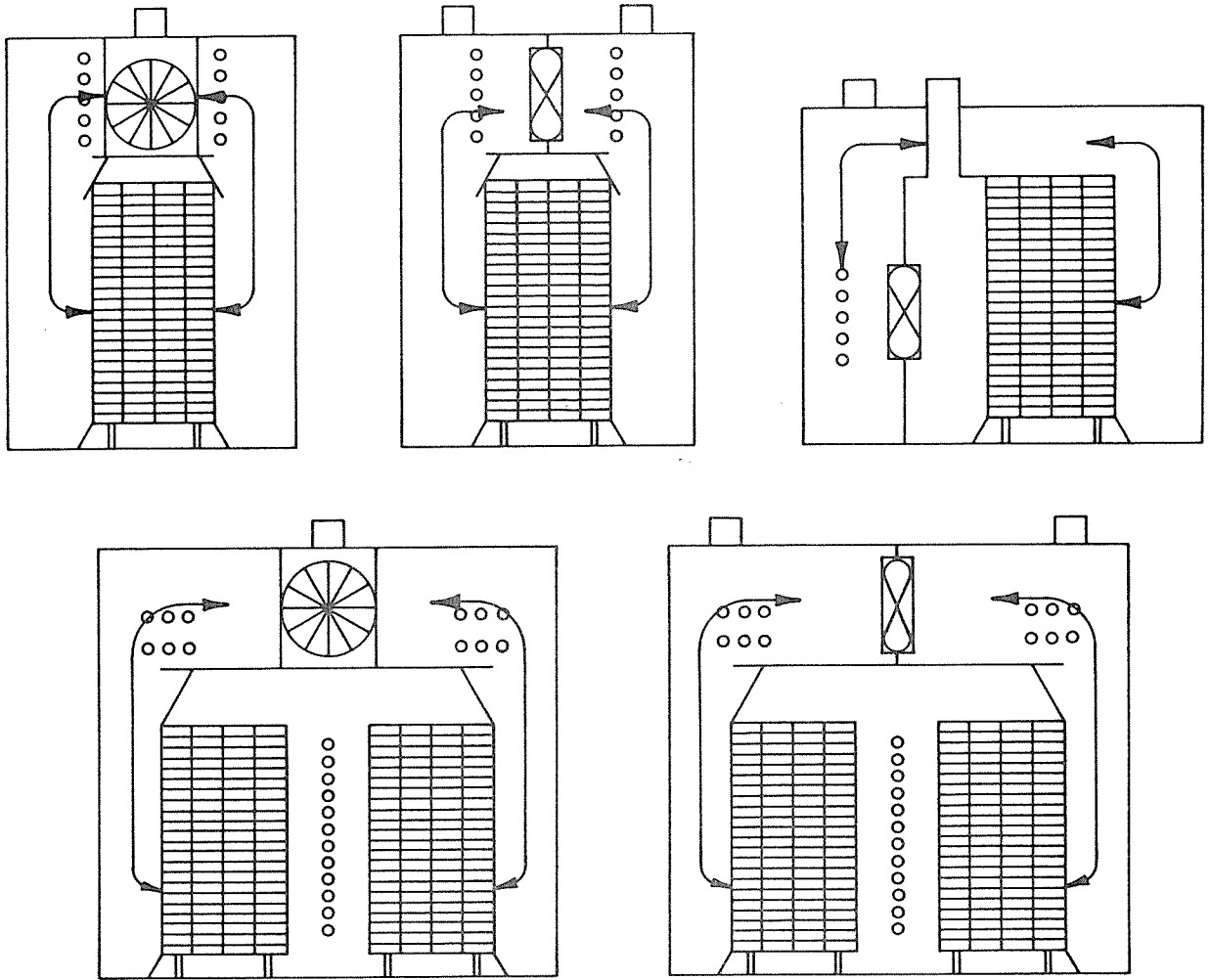


図 2 - 1 乾燥室におけるファンと遮蔽板の位置の例(M 115599)

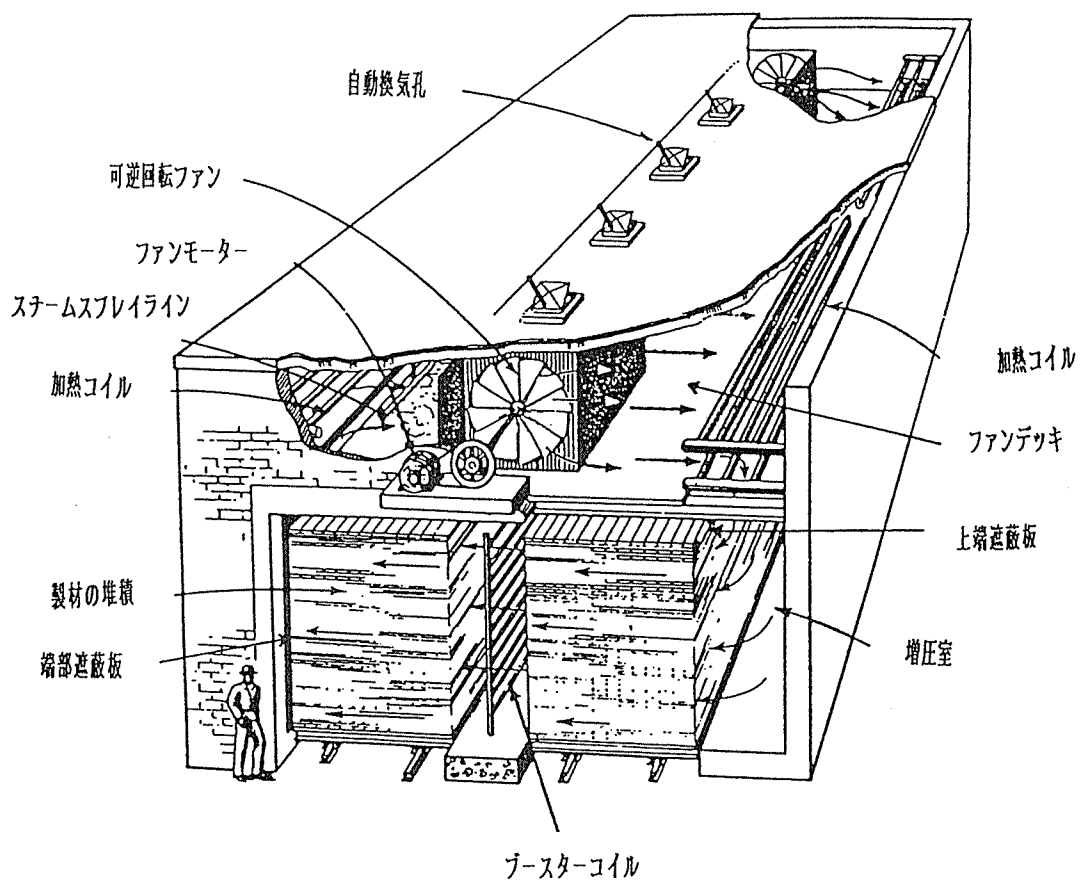


図 2 - 2 交互に逆向きファンをつけたラインシャフト、ダブルトラックの乾燥室。
換気孔はファンの間のファンシャフトの上にある。ファンの高圧側の換気孔は空気循環の方向が逆になると新鮮な空気の入り口となる。

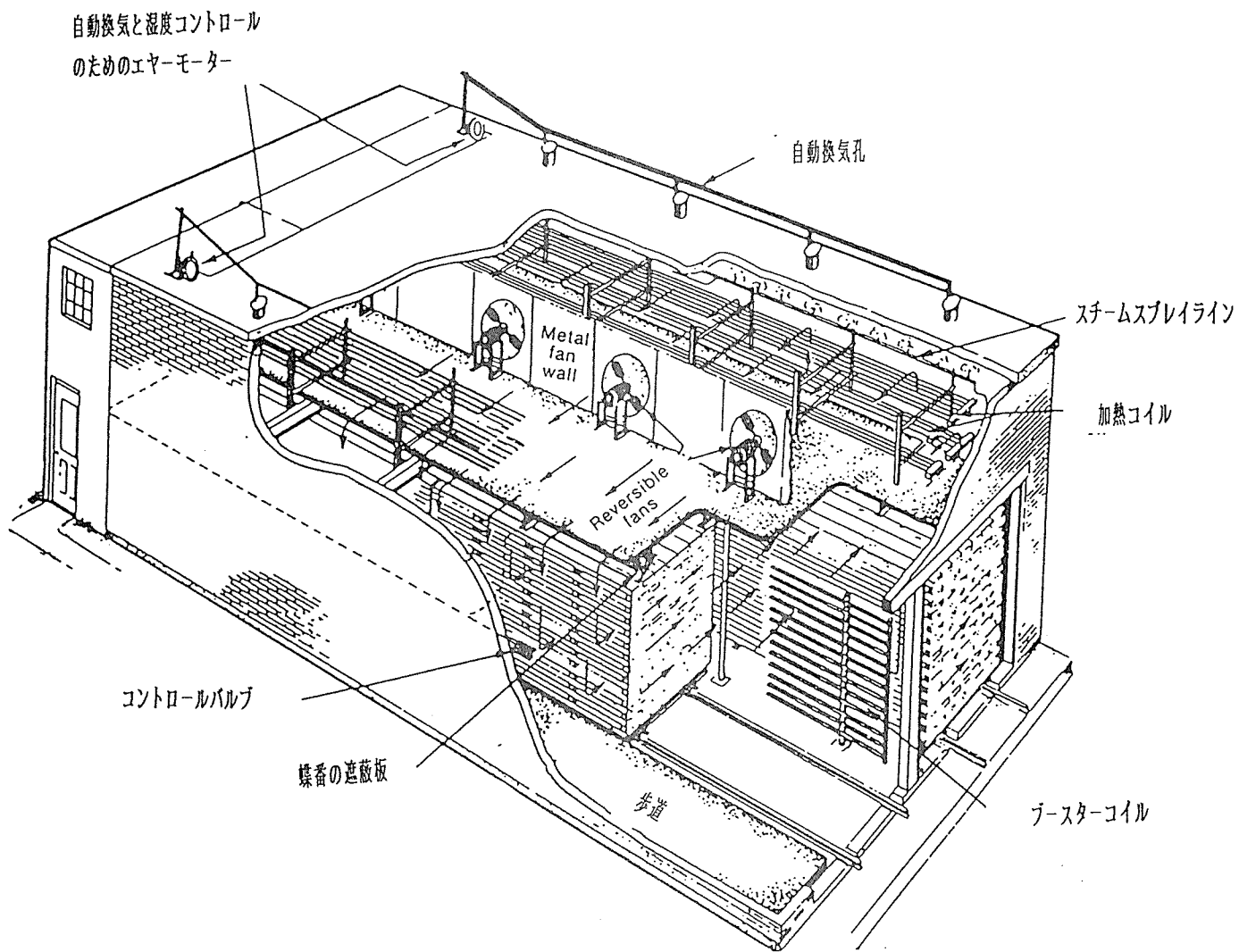


図 2 - 3 ファンをモーターに直結したダブルトラック乾燥室。棧積み材は端部から入れ、材は側面と側面で堆積する。空気は棧木と平行に流れる(M 105906)。

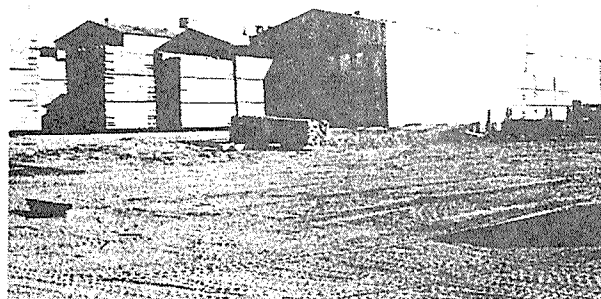


図 2 - 4 アルミニウムプレファブのダブルトラック乾燥室。両端にドアがついている。

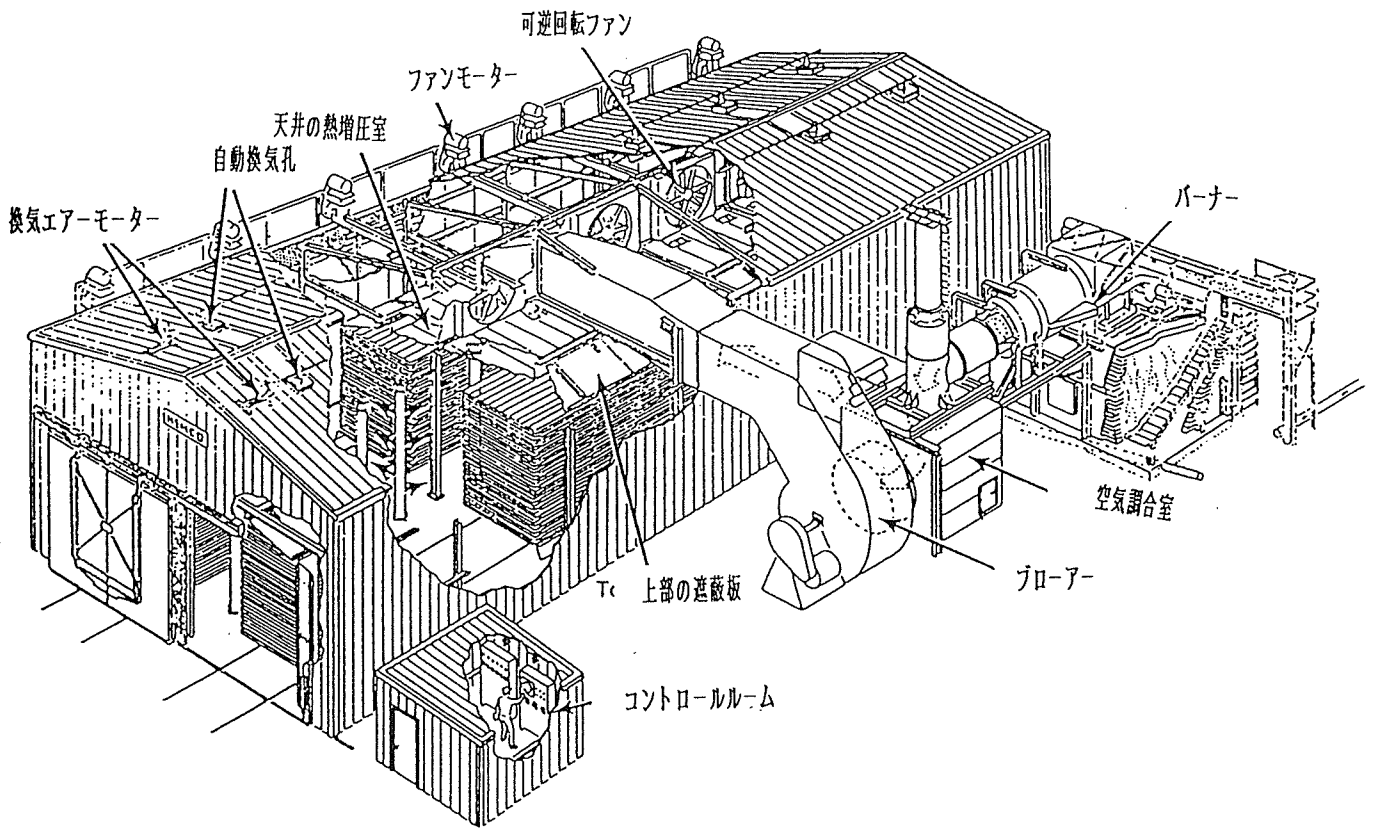


図 2 - 5 直接加熱方式のダブルトラック高温乾燥室。燃焼による熱風が乾燥室内の循環空気流の中に直接送り込まれる。

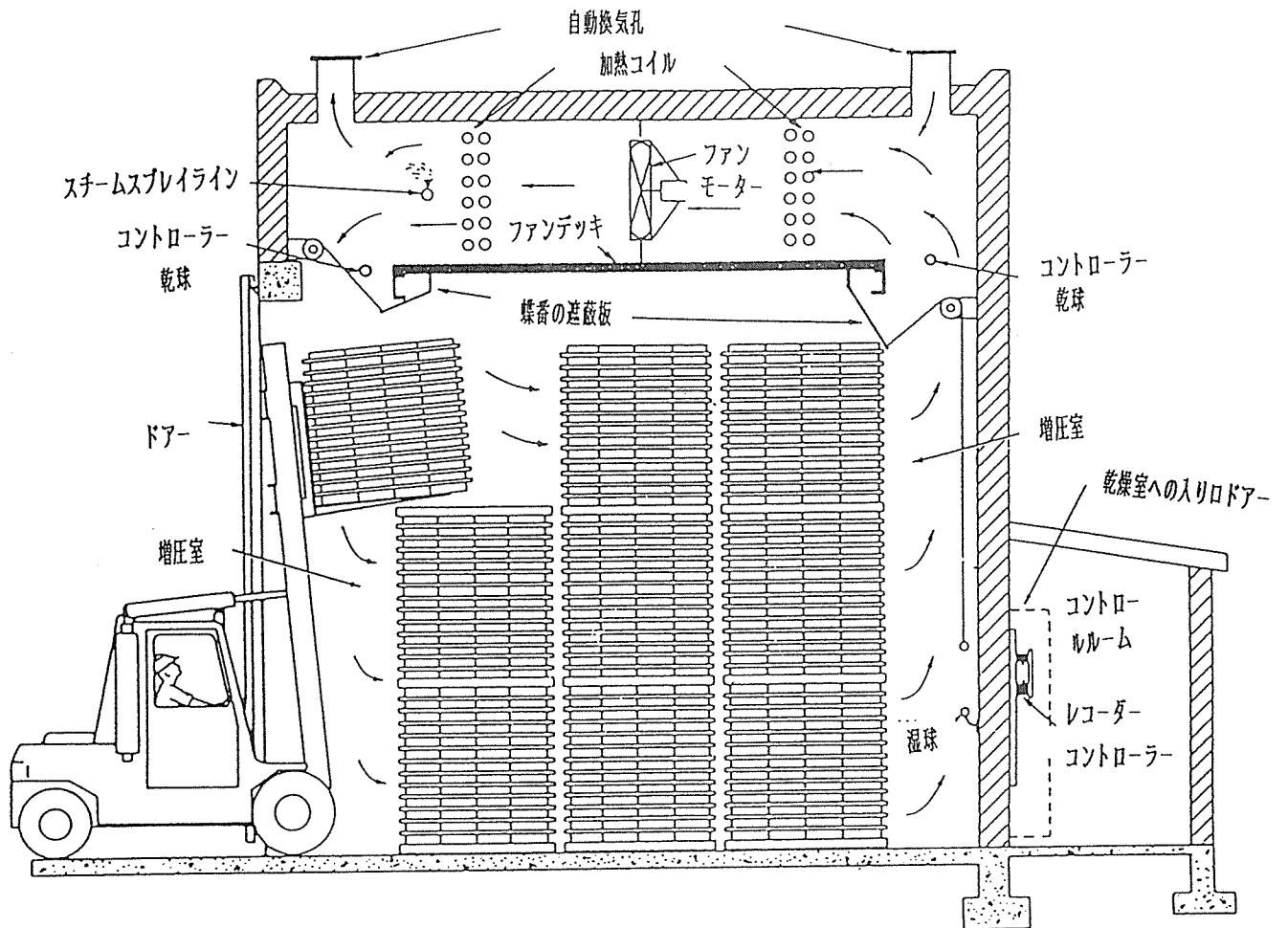


図 2 - 6 ファンモーターが直結したパッケージロード乾燥室

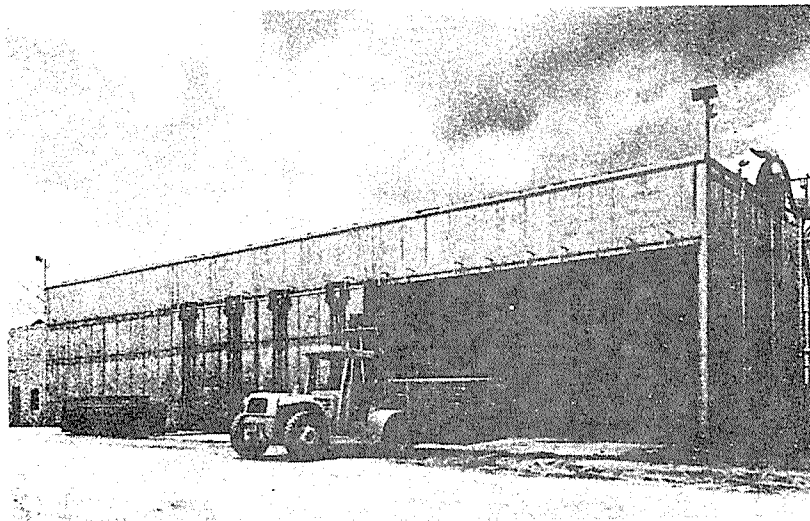


図 2 - 7 栈積み材を乾燥室に送り込むフォークリフト

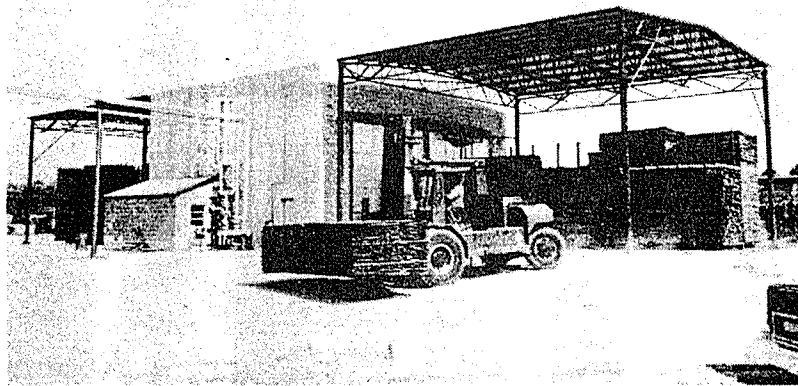


図 2 - 8 トラックロード型のコンクリートブロック製の乾燥室
ドアと屋根が乾燥室の両端についている。

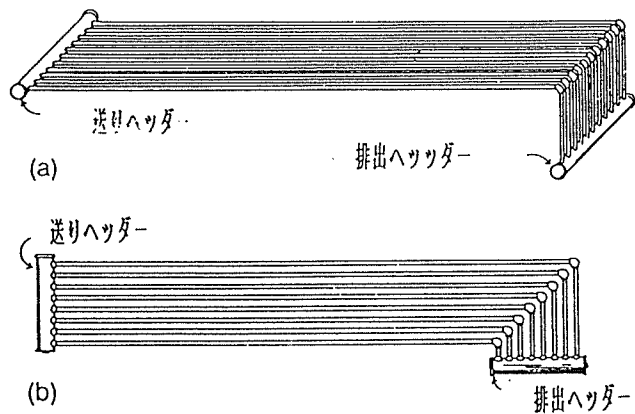


図 2 - 9 加熱コイルをつけたヘッダー

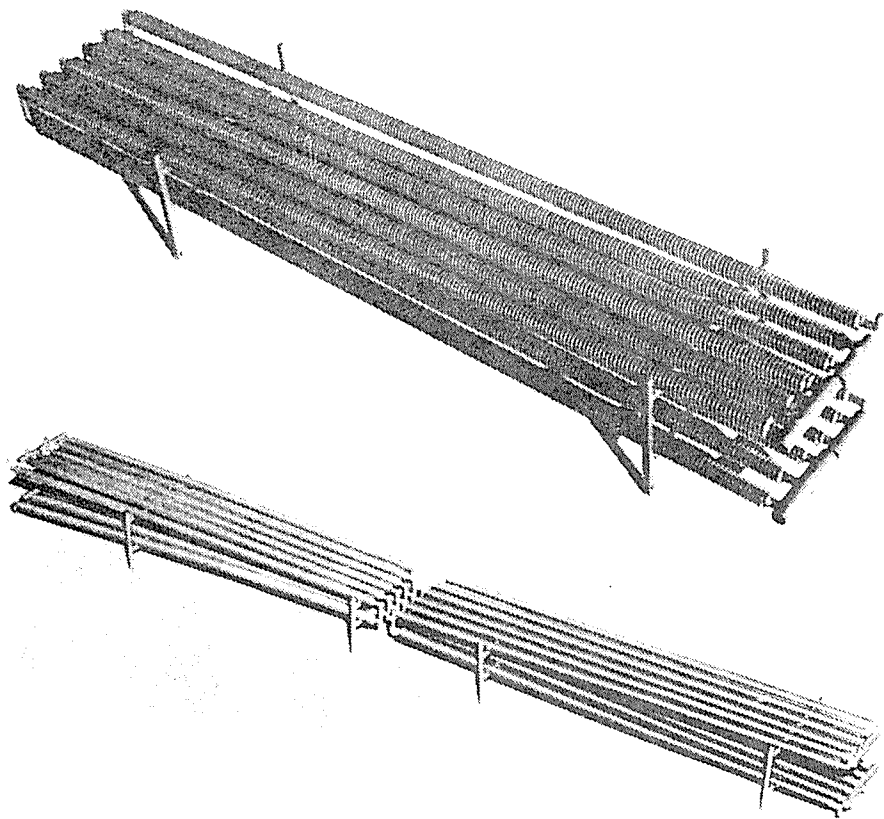


図 2 - 1 0 フィン付きパイプでできたリターンベンド型の加熱コイル

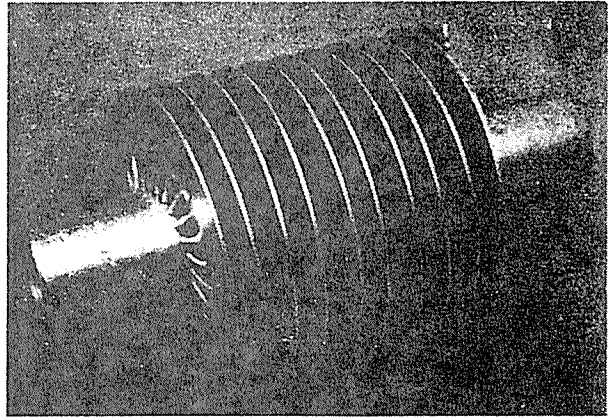
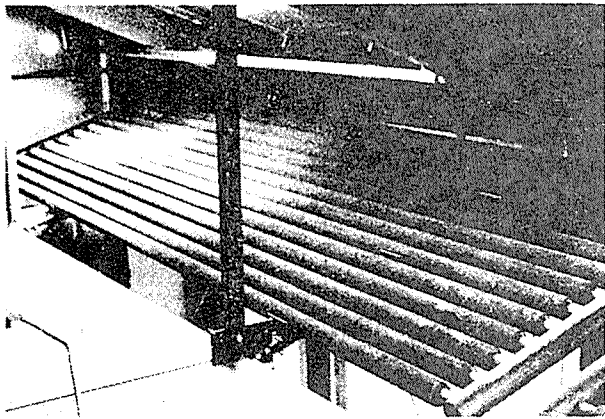


図 2 - 1 1 水平型の片道ヘッダーとその拡大図

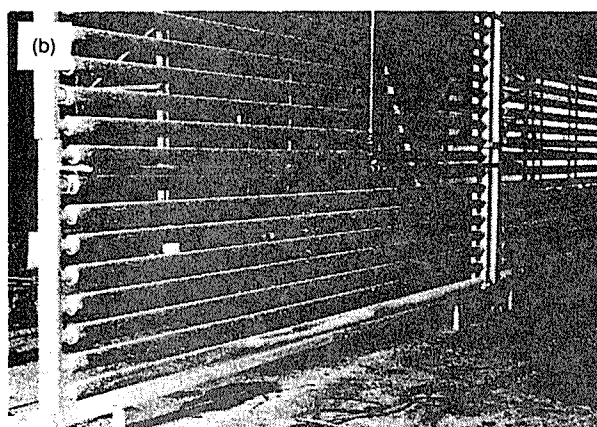
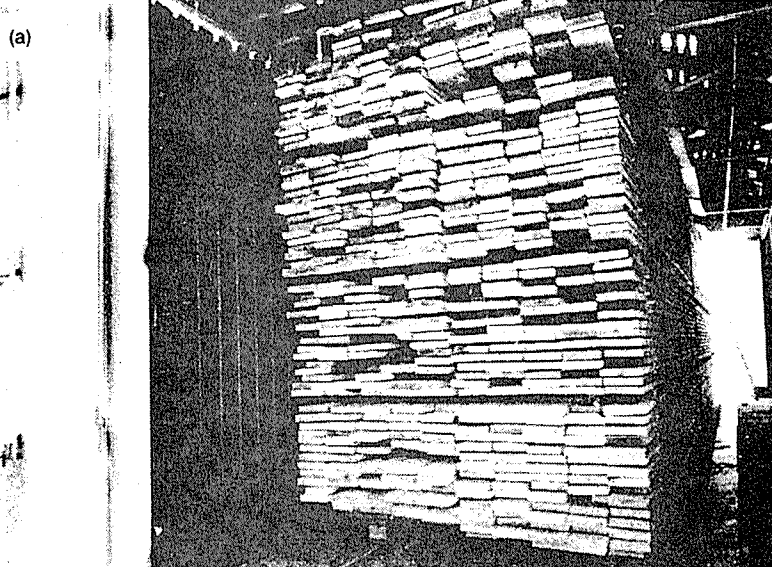


図 2 - 1 2 ブースターコイル (a)台車式の乾燥室内の棧積み間にある垂直型ブースターおよび再加熱コイル
(b)水平型のブースターコイル

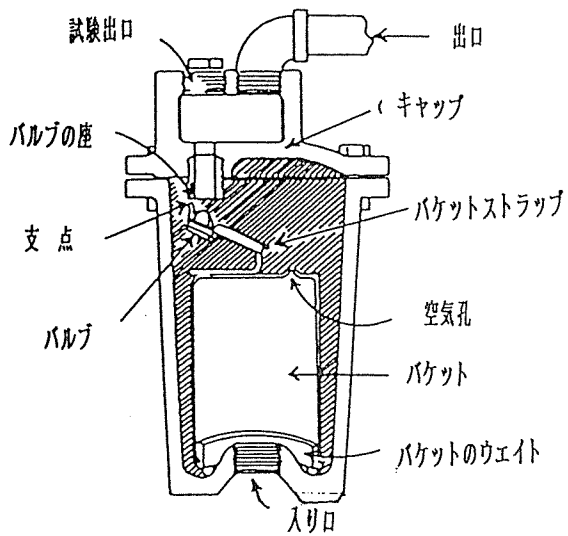


図 2 - 1 3 バケツ挿入型のスチームトラップ

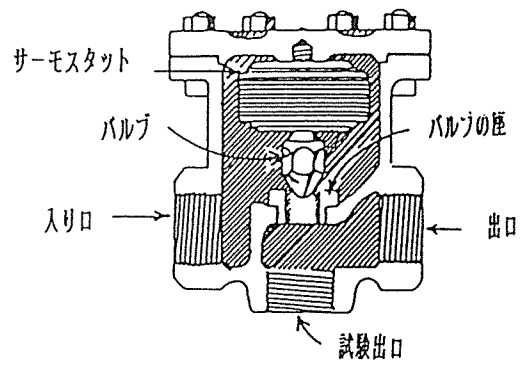


図 2 - 1 4 熱平衡型のスチームトラップ

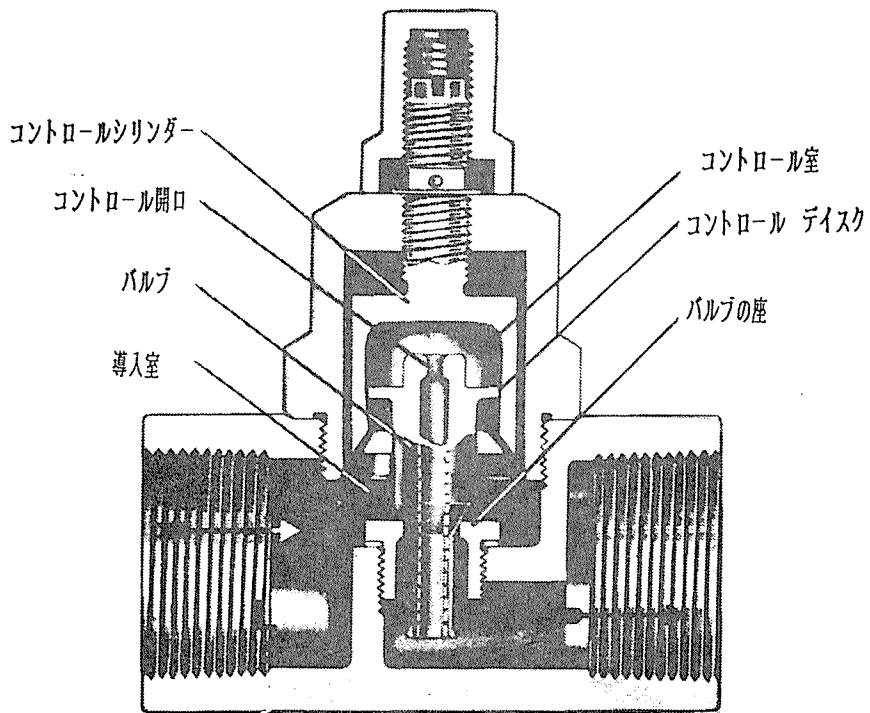


図 2 - 1 5 インパルス型のスチームトラップ

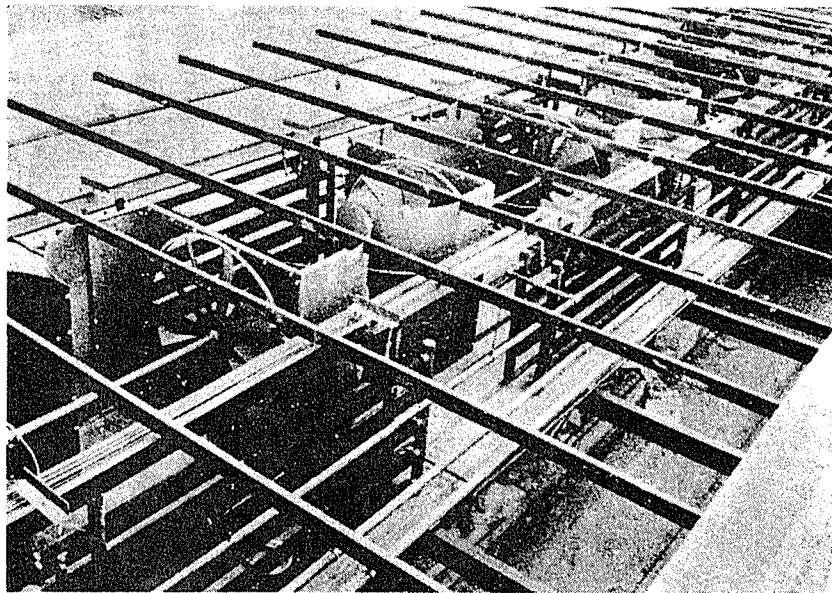


図 2 - 1 6 ディスクファンおよび交互の遮蔽システムを示すラインシャフト配列のファン。このことによって風の循環は、ファンおよびモーターの回転方向にしたがって、両方向になる。

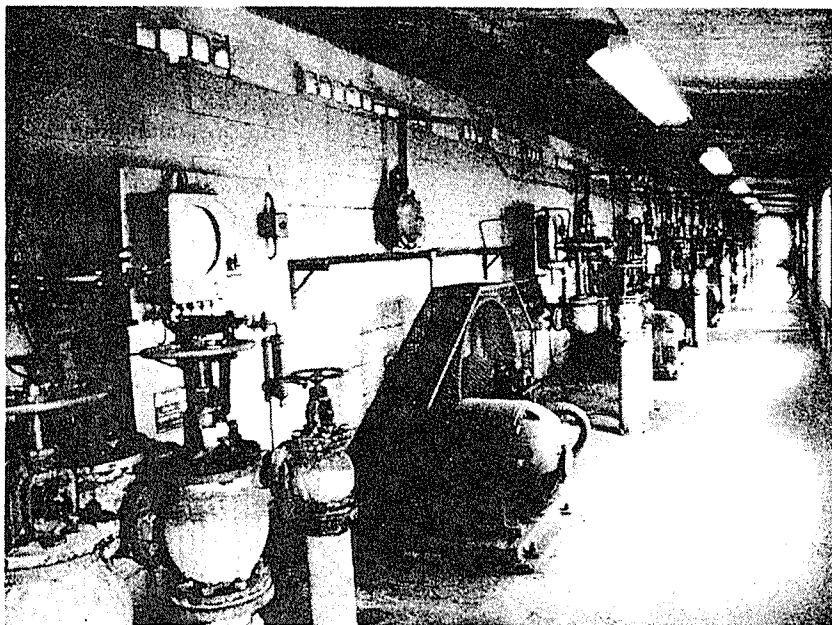


図 2 - 1 7 ラインシャフト乾燥室のコントロールルーム
ラインシャフトのモーターおよびプーリー、制御装置および記録計、ヘッダーへの空気作動弁、手動のバルブ、および空気作動による換気孔を示す。

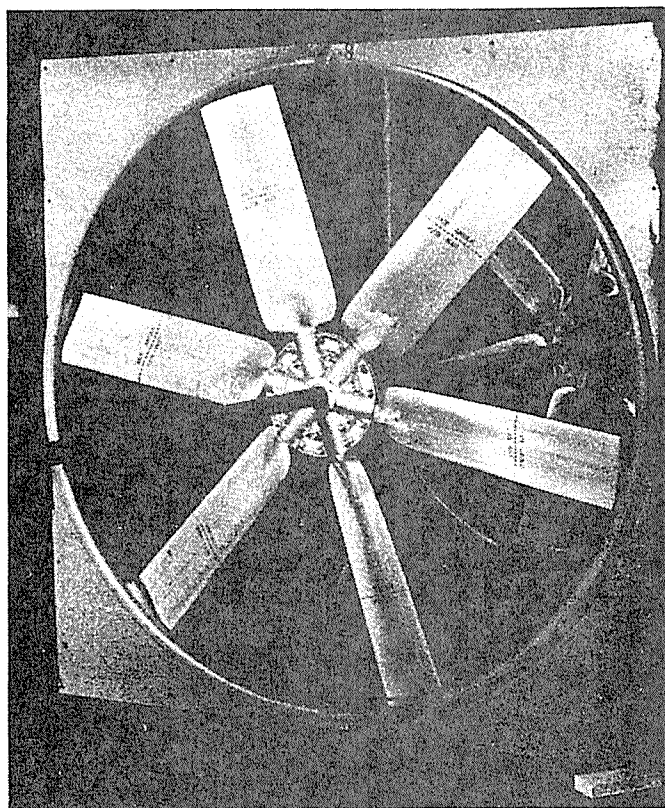


図 2 - 1 8 ラインシャフトに取り付けられたプロペラファン

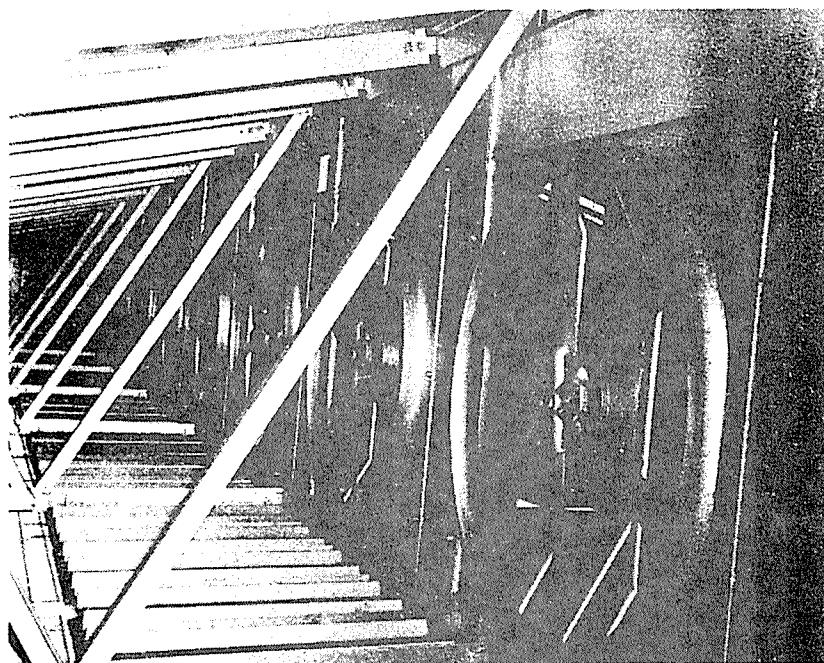


図 2 - 1 9 クロスシャフト配列にみられるアルミニウム製のプロペラファン

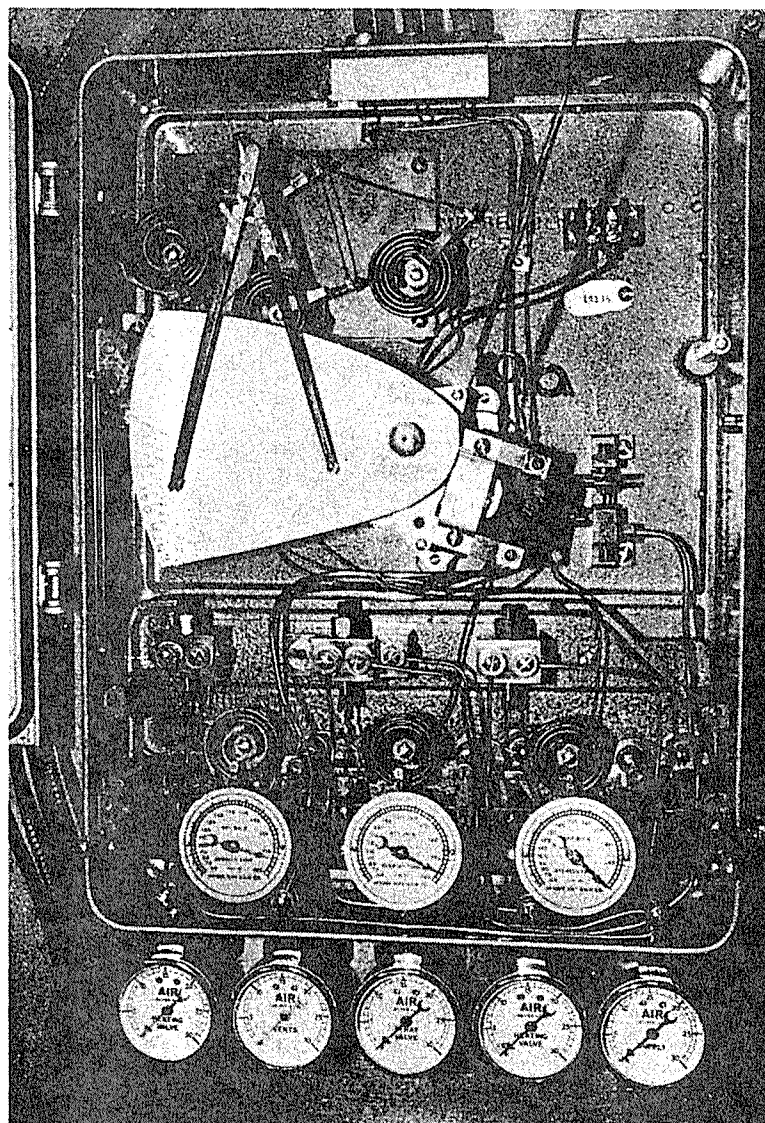


図 2 - 2 0 3 本ペンのガス充填式記録調節計(ムーア型)の内部
(ブルドン管、空気リレー、時計、ゲージおよびダイヤルを示す)

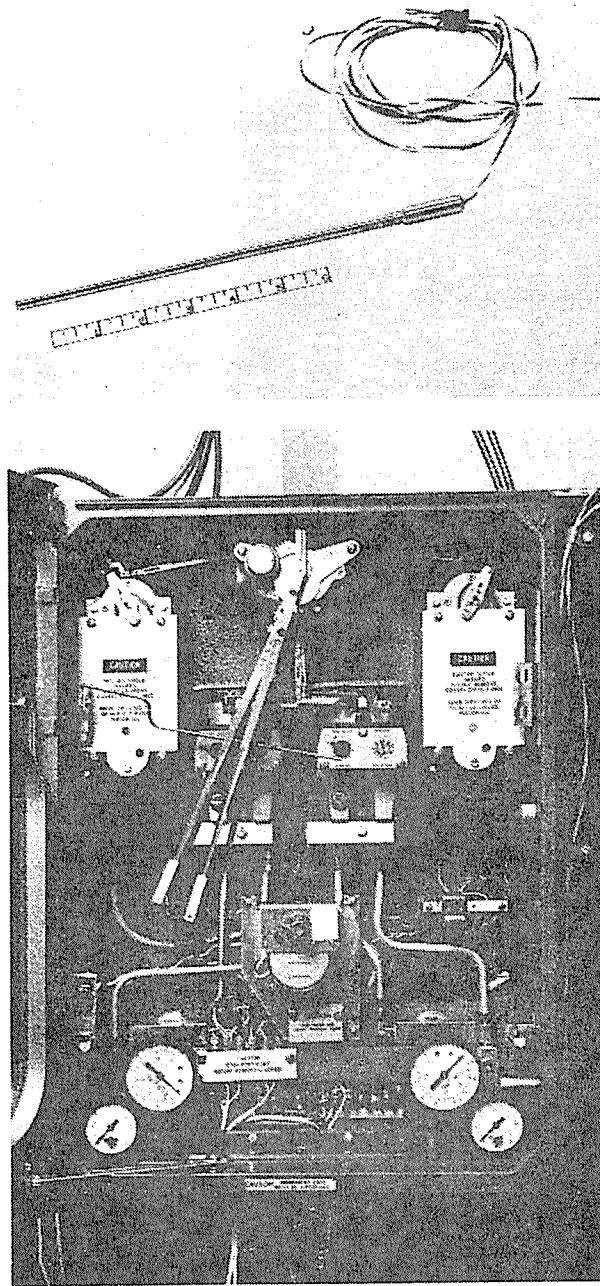
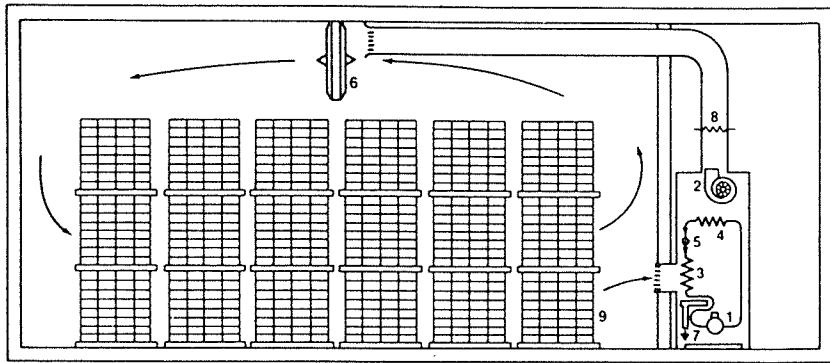


図 2 - 2 1 温度センサーと電子式指示調節計



- | | | |
|------------|-----------|--------------|
| 1. コンプレッサー | 4. コンデンサー | 7. 凝結水 (ドレン) |
| 2. ブローアー | 5. 膨張弁 | 8. 補助ヒーター |
| 3. 蒸発器 | 6. メインファン | 9. 栈積み材 |

除湿乾燥の基本原則

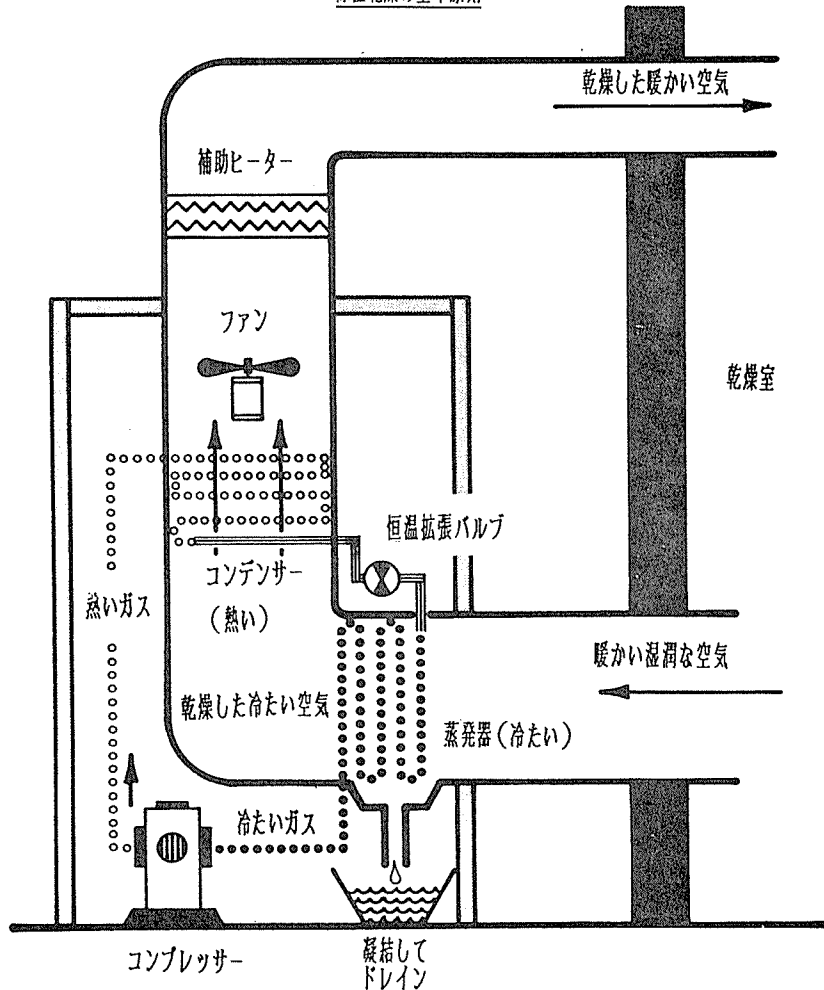


図 2 - 2 2 一般的な除湿乾燥機と除湿乾燥システムの原理図

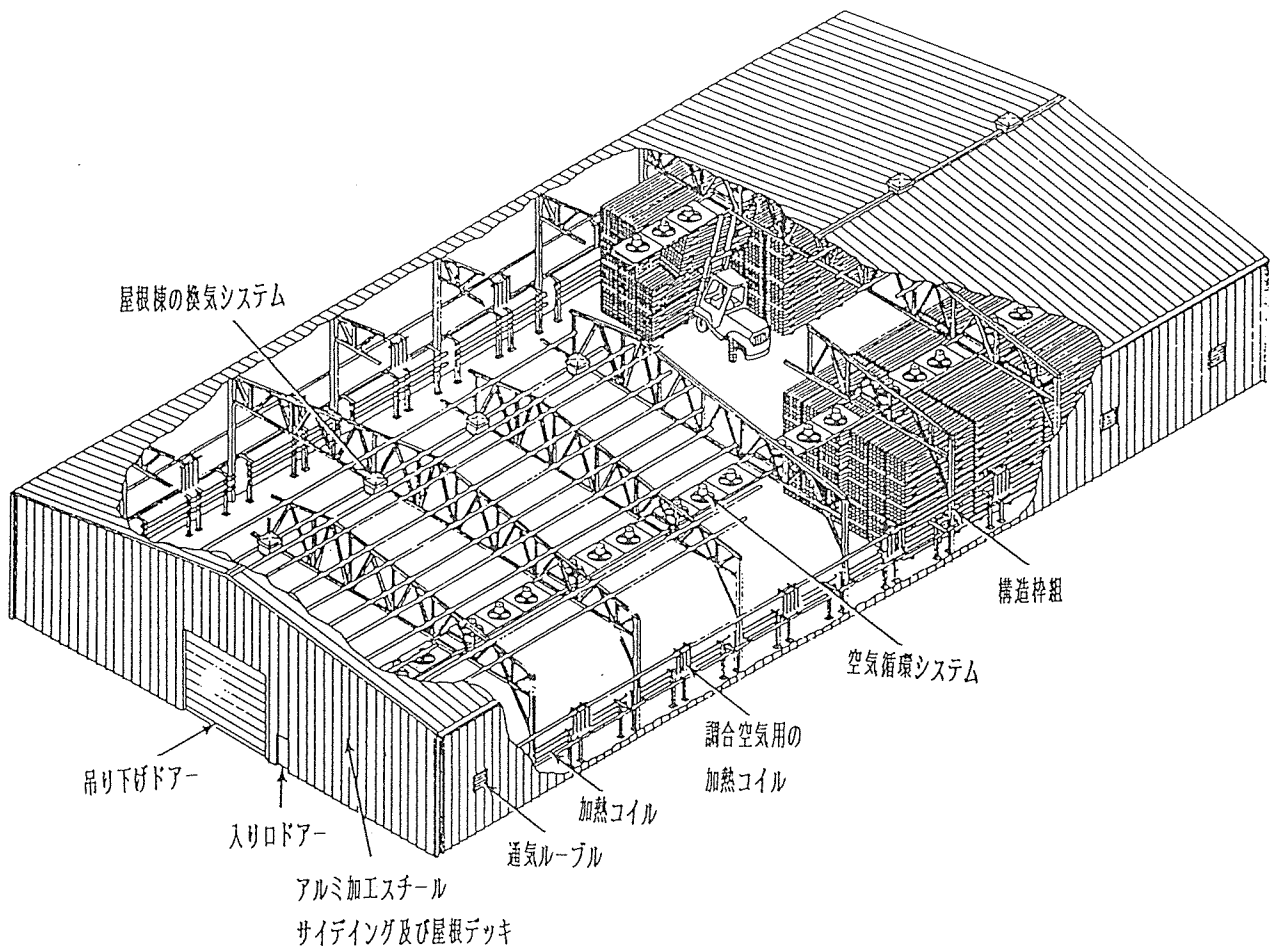


図2-23 一般的な予備乾燥機

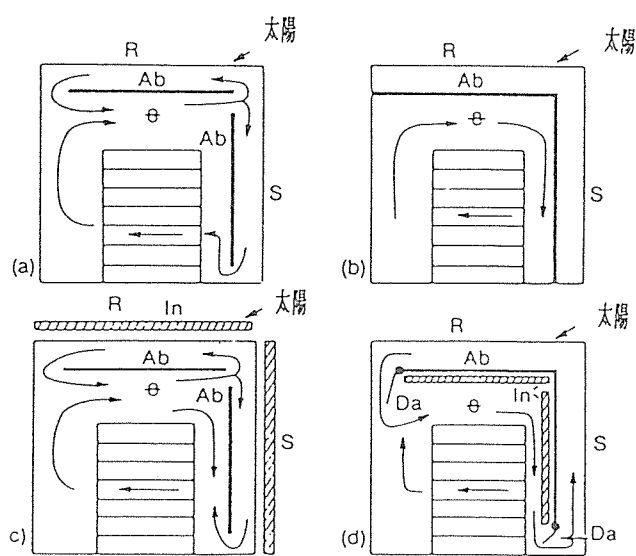


図2-24 一般的な太陽熱乾燥機の構造(ML85 5484)
 (a)断熱していない乾燥で空気は吸光パネル(Ab)の両側を流れる、(b)断熱しない改良型の設計で、空気のみを流れる、(c)外側を断熱(In)する。空気の流れは昼夜ともAbの両側を流れる、(d)内側を断熱(In)する。ダンパー(Da)が開いている時は空気が吸光パネルの前を流れる。

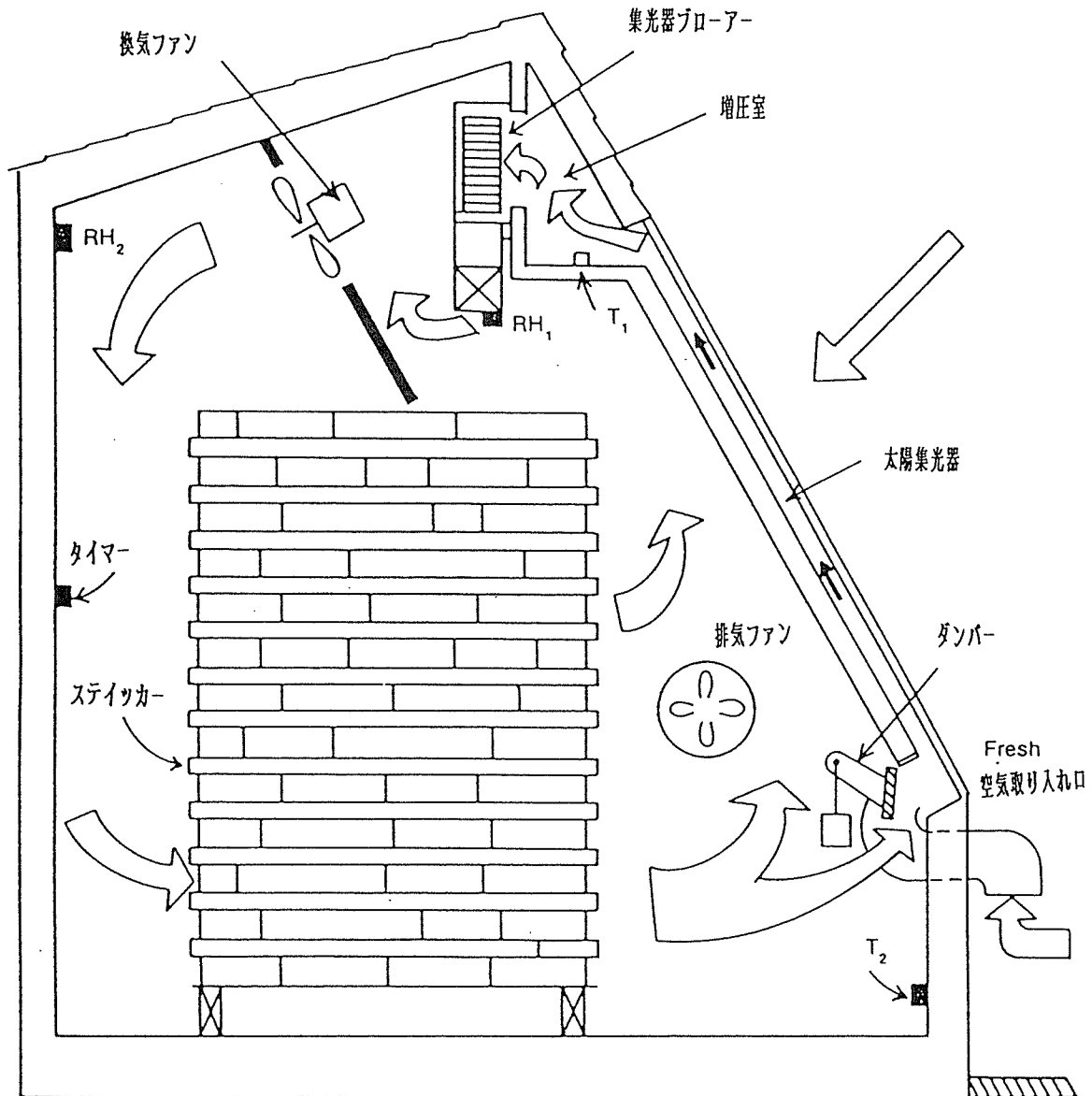


図 2 - 2 5 北部地方での太陽熱乾燥機の構造
 (比較的経費のかからないコントロールシステムの例)

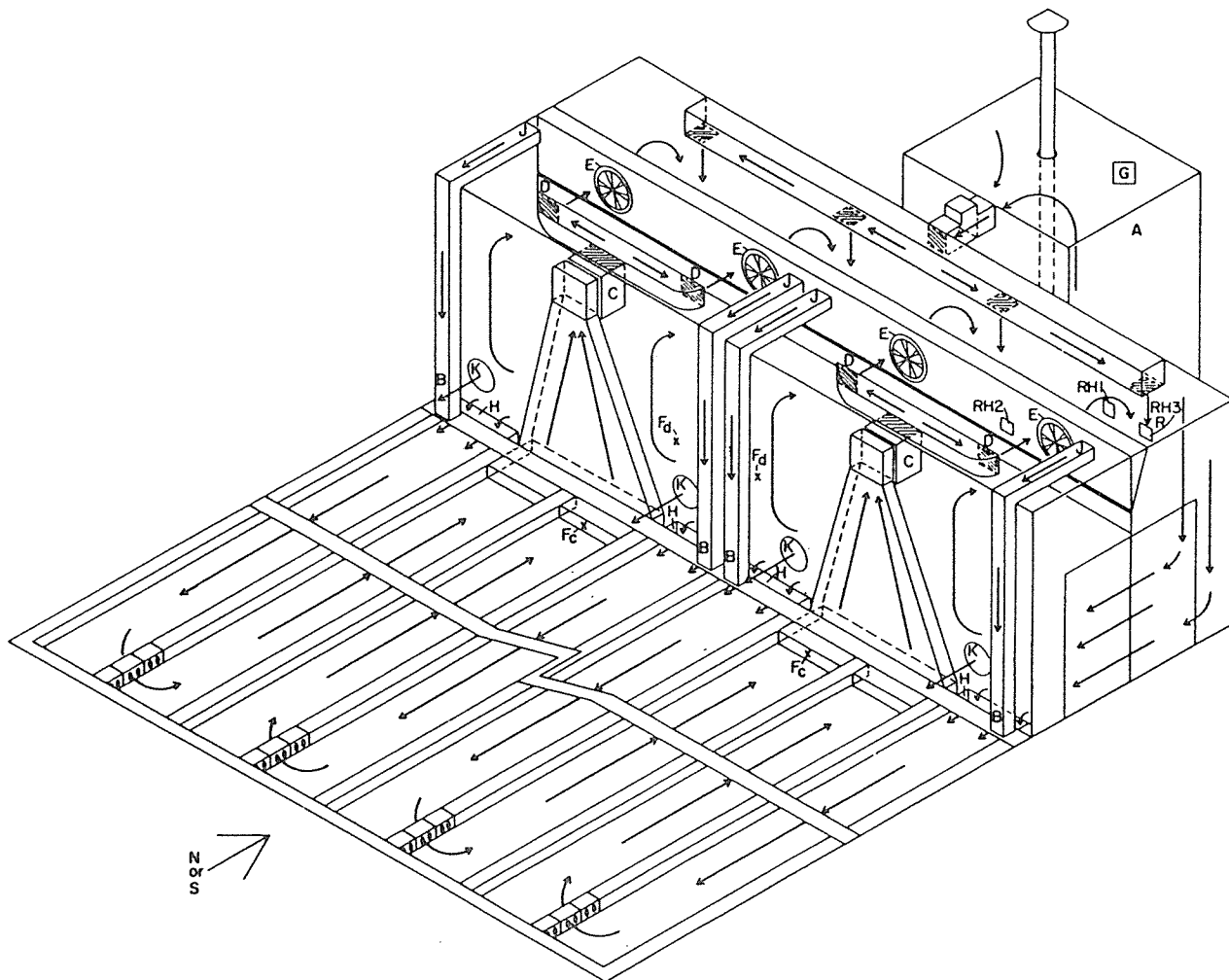


図2-26 廃材利用太陽熱乾燥機の構造
 A, 炉室; B, 集光器に入る空気取り入れ口; C, ブローアー; D, 太陽加熱空気のための多岐のダクト; E, 内蔵ファン; Fc, 温度センサー(集光器); Fd, 温度センサー(乾燥室); G, 加湿器; H, 乾燥室から集光器への帰りの空気ダクト(夜は閉める); J, 空気取り入れ口; K, 排気孔; RH1, 排気孔Kの恒湿器; RH2, 湿度が高い時に乾燥室を閉じる恒湿器; RH3, 加湿器Gの恒湿器。

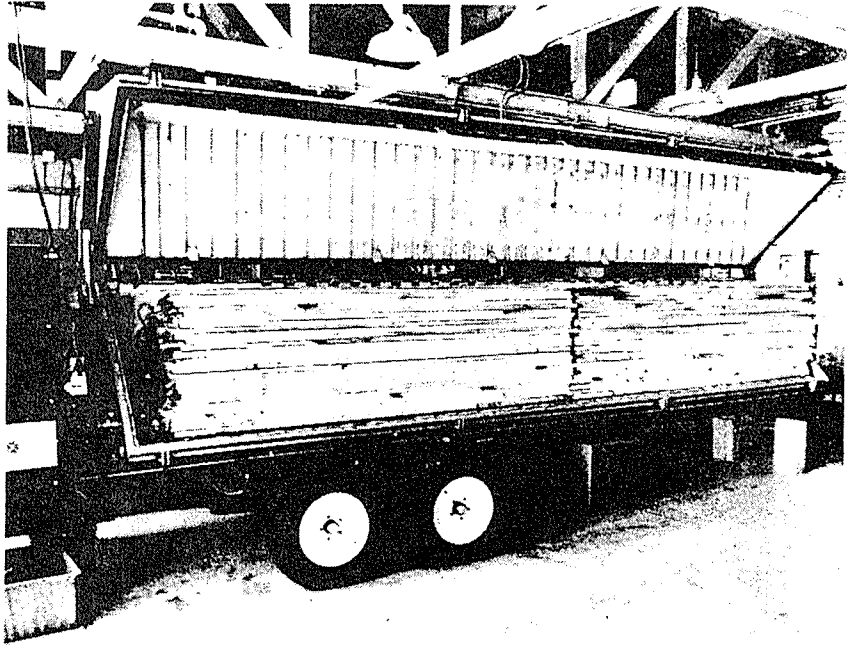


図 2 - 2 7 真空乾燥タイプで、熱は電気加熱されたおおいによって製材に伝えられる。

3 乾燥機の付帯機器

乾燥機を最も経済的に運転して良い乾燥結果を得るためには信頼できる付帯機器が必要である。被乾燥材の含水率が解っていなければ含水率スケジュールはうまく適用できない。したがって、材の含水率計が必要である。また温度や湿度及び迅速な乾燥のためには乾燥機内の風速をチェックするための風速計も必要である。

3.1 含水率測定機器

木材の含水率を測定するには、天秤、定規、鋸、恒温器、電気式含水率計などの器具が使われる。比較的大量のオイル、樹脂、木材防腐剤あるいは防火剤などを含んでいる木材の含水率を正確に求めるためには蒸留器も使われる。

3.1.1 天秤と定規

1) 三桿式物理秤

小試片を秤量するには図3-1に示した三桿式物理秤が最も普通に使われる。含水率切片を秤量するのに推奨される天秤は、最大容量が少なくとも1000gあって、少なくとも0.1g（できれば0.01g）の精度が要求される。

2) 上皿電子天秤

上皿電子天秤には容量、精度、型、および価格が様々なものがある。重量を記録するプリンターを持ったものや、バッテリーで操作するポータブルなモデルもある。小試片を秤量するのに適した2つのタイプを図3-2に示した。秤量する材辺の大きさおよび秤量に必要な精度の関係で、小さな含水率試片ともっと大きなコントロール材を同じ秤で計ることはできない。含水率試片を秤量するには容量が少なくとも1000g、精度は少なくとも0.1g（できれば0.01g）までのものでなければならない。コントロール材を秤量するのに適した天秤のタイプを図3-3に示した。コントロール材を秤量するには最大容量が少なくとも15,000g、1.0gまではかれるものでなければならない。幅の広い高密度の広葉樹材の測定には、最大容量が20,000gから30,000gのものを考えるべきである。

3) 含水率目盛付三桿式物理秤

含水率を計算するには、木材試片の元の重量と全乾重量を知る必要がある。重量減少を全乾重量で割ったものが含水率である（その方法は6章を参照）。含水率目盛付三桿式物理秤は図3-4の上部に示すようなものであるが、含水率計算をスピードアップしあるいはそれを全くなくするように開発されたもので、図3-4の下部に示したように、含水率の読みは、10%以下の場合には至近0.5%まで、10%以上の場合には至近1.0%まで可能である。この秤を使って含水率測定を行う場合は製造業者が用意した操作手順に従うことが必要である。

4) 目盛付上皿天秤

図3-5に示すような指示天秤はコントロール材の秤量に使える。分銅は左側の皿の上に載せ、コントロール材が替わる毎に替える必要がある。指示計の読みと皿に載せた分銅重量の両方に気をつけて総重量を出すように注意しなければならない。指示計の読みは1g刻みで読むが、一部のモデルは1/100ポンド(4.54g)になっている。

5) 含水率定規

乾燥機内においたコントロール材の日々あるいは現在の含水率を測定するのに含水率定規(図3-6)がある。この定規は目盛りのある長い竿の上に移動する分銅がついている。竿の短い腕に付いているのは半円形が目盛で含水率をパーセントで目盛っている。この目盛りの上にフックのついた可動式の移動指示アームがのっている。

含水率定規を正確に使うためには、一定の手続きに従うことが必要である：

1. 含水率試片を切りとったら直ちに秤量し、残りのコントロール材の木口をコーティングし、コントロール材をフックで移動指示アームに吊るし、指示計をゼロにセットする。長い竿の分銅を移動させて竿が水平に保たれる点まで動かす。その時のコントロール材のバランスする点の値を記録し、コントロール材を乾燥機にもどす。

2. 含水率試片を恒量に達するまで全乾にし、含水率の値を計算する。

3. コントロール材から採取した小試片の含水率が得られたら、コントロール材を乾燥室から取り出し、それを移動指示フックに吊るして指示計をゼロにセットし、長い竿の移動分銅を1.で決定した位置まで動かす。それから金属分銅をコントロール材の端部に載せて長いさおが平衡するようにする。

4. 金属分銅を載せたまま移動指示腕を2.で決めた小試片の含水率の値にセットし、長いさおの分銅を平衡するまで動かす。コントロール材の前に記録した値を消去して新しい値を記録する。この新しい値がその後のすべての含水率決定に使われる長いさおの上の分銅の位置になる。

5. コントロール材から金属分銅を取り除く。4.で得た新しい値でセットした分銅で、指示腕を平衡するまで動かす。それからコントロール材の現在の含水率を半円計の目盛で読み取る。

6. コントロール材のその後の含水率の値は、長い腕の移動分銅を4.で得られた新しい平衡の値にセットすることによって得られる。乾燥機のコントロール材を移動指示フックに吊るし、指示腕をさおが平衡するまで動かすのである。現在の含水率を半円形が目盛りで読み取ることができる。

3.1.2 鋸類

含水率小試片を切り取るには帯鋸、木工丸鋸盤、自在丸鋸、振り子式丸鋸盤、あるいは卓上丸鋸盤が一般的に使われる。手鋸は推奨できない。帯鋸は含水率分布および残留応力の程度を調べる櫛型の試験のための小さい試片を切り取るのに特に適している。鋸は鋭利で適切にセットされ、適当な安全装置の付いたものでなければならない。鋭利でないあるいはセットの良くない鋸を使うと、木材が加熱したり焼けたりして小試片の含水率が変わる傾向がある。

3.1.3 恒温器

含水率試片の乾燥にはいくつかの種類恒温器が使われる。恒温器は乾燥する木材試片の間に十分な空間が取れる適当な広さがなければならない。恒温器の温度は温度調節器などを用いて希望の設定温度（ $100^{\circ}\text{C} \pm 1.7$ 、 $100 \sim 103^{\circ}\text{C}$ ）になるようにコントロールしなければならない。温度が高すぎると試片が焦げたり燃えたりすることがある。 100°C よりも低い温度では木材中の水分が完全に出ない。恒温器は上部あるいは側面および底部に換気口を付け、水分が蒸発して逃げるようにしておくべきである。

1) 電気加熱式恒温器

全乾にするには電気加熱式恒温器（図3-7）が普通に使われる。空気を循環させるファンを付けて乾燥を促進させる恒温器が一般に推奨され、特に大量の試片をしばしば乾燥する場合にはそれが望ましい。空気の循環が自然対流式の恒温器は効率が低く、試片から水を完全に除くのに時間がかかる。恒温器が空の時は恒温器の上部の穴に温度計を差し込んで温度調節器のセッティングをチェックする。恒温器の中に漏れたあるいは水分の多い木材を入れる場合は、温度ははじめに下がり、木材が乾燥するにつれて上がってくる。木材を入れてから温度調節器を再調節したりしない。もしそうすると木材が乾燥した時に温度が設定値以上にあがってしまう。

近年においては、含水率試片を全乾にするのに家庭用の電子レンジを使う人が多くなっている。これを使う場合にはかなりの注意が必要である。試片は分単位の時間で乾燥できるが、過乾燥（中心部が焦げる）になったり、乾燥不十分（全乾にならない）になったりし易く、含水率試片の正確な全乾重量が出ない恐れがある。不均一な乾燥を避けるために温度のやや低い、あるいは低い設定値で回転皿を付けた電子レンジを使う方法もある。全乾に要する時間は乾いた材で約10分、生材で20分あるいはそれ以上である。

2) 蒸気加熱式恒温器

蒸気加熱式恒温器は蒸気の適切な供給が続けば十分使える。この種の恒温器は普通自家製または手製で自然通風のものもあるし、強制換気のものもある。恒温器の中の温度は蒸気弁の操作によって規制あるいは調節する。恒温器の上部に差し込んだ温度計にしたがって温度（ $102 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ）を維持するように弁を調節する。電気加熱式恒温器と同様に、恒温器に木材を入れてからでなく、恒温器が空の時に温度をセットする。含水率試片を載せる棚は、穴あきの金属または大きなメッシュの金網にする。水分を含んだ空気を除く換気口を付ける。

3.1.4 電気式含水率計

電気式含水率計は、適切に使えば、迅速で便利で、30%以下の含水率の測定には十分に正確な手段となる（James 1988）。防腐あるいは防火の目的で塩類で処理した木材ではメーターの読みが通常高く出るので、電気式含水率計の使用は推奨できない。電気式含水率計は携帯型の手持ちユニット、あるいはコンベヤーに乗ってくる木材の含水率を測定する定置型のものがある。正確な測定のためには温度補正と樹種補正が必要で、そのデータは装置の製造業者が用意している。一般に使われるメーターには電気抵抗型（コンダクタ

ンス型、抵抗の逆数)のものと誘電率型のものがある。

1) 電気抵抗式含水率計

携帯用含水率計で最も一般的なものは電気抵抗式(コンダクタンス型とも言われる)である。電気抵抗式の含水率計では、木材に差し込む2本のピンの電極を使う。この種の含水率計の実用範囲は、含水率約7%から30%までである。一部の機械では繊維飽和点(通常約30%)以上を読み取る目盛を付けたものがあるが、30%以上での精度は問題である。いくつかの含水率計を図3-8に示した。

長方形断面の材片に抵抗式の含水率計を使う場合は、平均含水率を出すためにピンを材の厚さの1/4から1/5の深さに差し込む。円形断面の場合はピンの深さは直径の1/6にすべきである。正確な測定をするためには、ピンは電流が木理に平行に流れるように位置させ、ピンは材の幅の広い側にさす。幅の広い方に刺すことが不便な場合は、狭い方の面で木理に平行に差し込んでかなり正確な読みができる。読みの針が振れるときは、電極を材に差し込んだ直後に読み取る。実際の含水率(温度および樹種補正をすれば)が含水率計の目盛にあらわれる。

製材、柱あるいは杭丸太などでは、2本のピンの電極が普通に使われる。長さ約2.5cmの絶縁したピンを使った電極が最も普通のタイプである(図3-8a、c)絶縁したピンは木材が雨や雪などで表面が濡れている場合に、読みに誤りを生じさせない助けとなる。また、先端を除いて絶縁したピンを使うことによって、ピンが木材中に入る深さを変えて材の中の含水率傾斜をある程度知ることができる。杭丸太の平均含水率を推定するには、特に長いピン(約6.4cm)を使う。図3-8bに示したようなモデルでは短い絶縁しないピン(約1.6cm)が使われる。適当な深さに差し込んだピンは、厚さ約5cmまでの材で正確な平均含水率が得られる。

単板や厚さ約2.5cm以下の薄い製材には、4本ピンの電極が普通に使われる。2本ピンの電極と同様に、厚さ約5cmまでの材には短い(8mm)絶縁していないピンで正確な読みが得られる。

2) 誘電率式含水率計

誘電率式の携帯型の含水率計を図3-9に示した。押し当て電極は材中に差し込まず、使う材料によって形状は異なる。図の機械は円板のまわりに均一に分布した8個のクッション付きの接触点を持っている。この設計のものは主として素材の測定に使われる。電極からの電場は約1.9cmの深さまで入り、厚さ約3.8cmまでの製材の測定ができる。押し当て電極では、材の表面性状はメーターの読みに大きな影響を持っている。他の電極の組合せのものは表面仕上げした製材および単板に使われる。平滑な表面の電極の例は図3-10に示した。

これらの誘電率式の含水率計の測定範囲は0から約30%までである。一部の製造業者は実際の含水率が直読できるメーターを作っている。他のものは実際の含水率計の値はダイヤルからは読み取らず、別の表から求めるようになっている。定置式の含水率計で、非接触型センサーを用いて、チェーンの上を移動する製材の含水率をモニターするもの(図3-11)もあるし、プレーナーから出てくる製材含水率をモニターするものもある。

そのようなシステムでは、あらかじめセットした含水率基準値からはずれた、含水率規制に該当しない材をマークしあるいは取り除くことができる。ある装置では材の数、その平均含水率、特定の含水率範囲区分での分布を打ち出すようになっているものもある。

3.1.5 蒸留器

一部の木材には揮発性成分あるいは油性の防腐材を含んでいるものがある。揮発性成分は全乾の過程で逃げて行き、正しい含水率が出ない。そのような木材には蒸留器（ASTM 1986）を使うべきである。

3.2 温度測定装置

乾燥機内の温度チェックは、不均一な乾燥の原因を調べたり、乾燥機内測温部の周辺と乾燥機内の他の部分との温度の差を調べるなどしばしば必要となる。時には、制御装置のセンサーの示す温度が正確であることを確かめるのに使用されることもある。温度測定は通常棧積の空気の入り口側で行われるが、出ていく空気の温度も同時に調べれば、材を通ることによる温度低下が測定できる。電気式デジタル温度計、棒状温度計、時には湿度計がこの目的に使われる。

3.2.1 電気式デジタル温度計

熱電対またはRTD（測温抵抗体）を使った電気式デジタル温度計は、乾燥室の温度測定用に急速に普及してきた。それらは携帯型のモデル（図3-12）のものと、制御室の制御盤に組み込んで使用するパネル型あるいはベンチトップ型のもの（図3-13）がある。熱電対はTタイプ（銅・コンスタンタン）のものが乾燥機では広く使われているが、Jタイプ（鉄・コンスタンタン）やKタイプ（クロメル・アルメル）のものも時には使われる。熱電対の接合はハンダ付けするか溶接する。一部の商業的に製造された熱電対は、金属製の保護管に内臓されており、ややRTDセンサーと似ている。測温抵抗体は通常白金タイプで、すべてのリード線は金属の保護管に納まっている（図3-14）。

これらの温度計はセンサーからの電気信号をデジタルの読みに変えるポテンショメーターの一種である。これらの電気温度計は熱電対、RTDセンサーあるいはその両方を一緒に使えるものがあり、設計によって1個から12個の温度をモニターできる。一部では得られたデータを記録するプリンターの付いたものもある。熱電対の精度は±1.1℃も違うことがあり、あまり高価でない温度計では±2.0℃も違うこともあるので注意を要する。より高価な温度計を使うことによってその誤差は約±0.8℃に減少させることができる。測温抵抗体センサーは熱電対より正確であると考えられ、それらをあまり高価でない温度計と併用することによって、±0.3℃前後の精度が得られる。このことは乾燥機内の同じ所に置いたセンサーからの温度を比較する場合、あるいは熱電対の読みを制御部からの読みと比較する場合に考えておかなければならない。

3.2.2 棒状温度計

ガラスに水銀を入れ、ガラス棒に目盛りをつけた温度計が乾燥機の温度チェックにしばしば使われる。それらは乾燥機の中のチェックすべき位置に置いて、温度を読む時に動か

さないことが必要である。乾燥機の操作員が乾燥機の中に入って温度を読み取る。

注：低温あるいは通常温度の乾燥機では、湿球温度が 49°C 以上の場合、操作員は皮膚全体（首、腕、および手を含む）を被う保護衣料をまとして、顔にはマスクをすべきである。やや高温あるいは高温の乾燥機では、操作員が室内に入ることは推奨できない。

低温あるいは通常温度の乾燥機では、いくつかの温度計をチェックすべき色々な位置におけば、速やかに温度測定を行うことができる。金属の保護管に収めておけばガラス温度計が壊れる恐れが少ない（図3-15）。保護管付きの温度計は乾球温度の測定に適しているが、湿球温度を測定するには保護管を取り除いてガーゼが温度計の水銀バルブに直接あたるようにすべきである。

最高温度計も乾燥機の温度チェックに使える、2つの最高温度計を1つのフレームに取り付けて、1つにはガーゼをつけて水を供給すれば、最高の湿球温度と乾球温度の読みができる。これらは非常に短い期間であっても最も高い温度を示すので、乾燥機内での設置場所に注意すべきである。

3.2.3 湿度計

乾湿球湿度計は循環する空気の乾球と湿球の温度を測定する器具である。これらには手持ちで操作する吊り下げ乾湿計（図3-16）と定置型（図3-17）のものがある。関係湿度を直接読み取る器具も湿度計と考えられる。

図3-18に示したような湿度計は、時には乾燥機の温度チェックにも使われる。そのような湿度計には棒に目盛りをつけた温度計あるいは隣接する金属板で補正するものがある。一方の湿球には常に水を供給して湿球の読みとする。これらのデータを湿度表を使って平衡含水率と相対湿度の値を決定することができる（資料1参照）。吊り下げ湿度計は乾燥機あるいは倉庫で乾湿球温度をチェック（それによって相対湿度と電気式含水率計の値を決定する）するのに便利である。自記温湿度計は温度と相対湿度を測定し記録する装置である。それらは倉庫その他で温度が約 49°C を越えない場所での条件を連続的に記録しておくのに便利である（図3-19）。

3.3 風速計

風向と風速は乾燥機の操作には重要因子である。風速は風速計（アネモメーター）で測定でき、風向もこれらの測定器から得られる。

風速計は空気の速度あるいは風力を測定する機器である。いくつかのタイプの風速計が乾燥機内の空気の速度測定に使われる。一般的に使われているタイプの1つは熱線式あるいは温熱的風速計と呼ばれているものである（図3-20）。測温部にある端末の線をバッテリーからの電気で加熱する。熱線の冷却の速度は線を通る空気の速度に比例する。速度は ft/min の単位に換算して目盛りに直接指示される。

もう1つの一般的に使われるタイプでは、空気は穴あるいは窓を通じて装置に入り、その速度はダイヤル上で ft/min の単位で直接読み取る。このタイプのものは羽根ふれ風速計といわれ、図3-21に示した。

乾燥機で使われるもう1つの風速計は風車型風速計で、この器具のセンサーはベアリン

グをつけた風車で回転計をつけたものである。空気速度はダイヤルまたはある種のデジタル読み取り器で、 ft/min の単位で直接読み取るようになっている。

3.4 参考文献

- American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test methods for moisture content of wood. ASTM D 2016-74. (Reaffirmed in 1983). Philadelphia, PA: American Society of Testing and Materials.
- James, W. J. 1988. Electric moisture meters for wood. Gen. Tech. Rep. FPL-6. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Wengert, E. M. 1984. Using a home microwave oven for ovendrying. Wood Drying New Digest B-4.11, Forest Products Research Society; Apr.

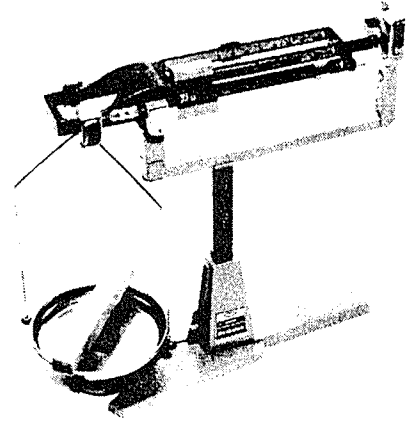
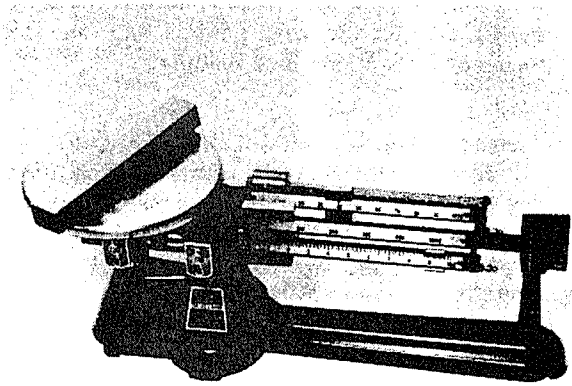


図3-1 三桿式物理秤の2つのタイプ
含水率試験片の秤量に適する(M87 0198, M87 0169)。



図3-2 上皿電子天秤
小さな含水率試験片の秤量に適する(M87 0200, M87 0175)。

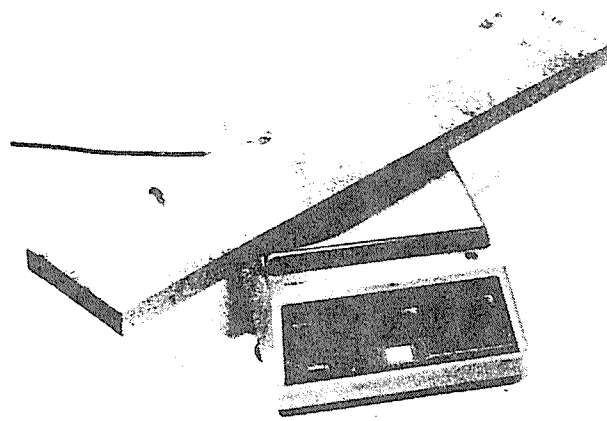


図3-3 コントロール材の秤量のための上皿電子天秤

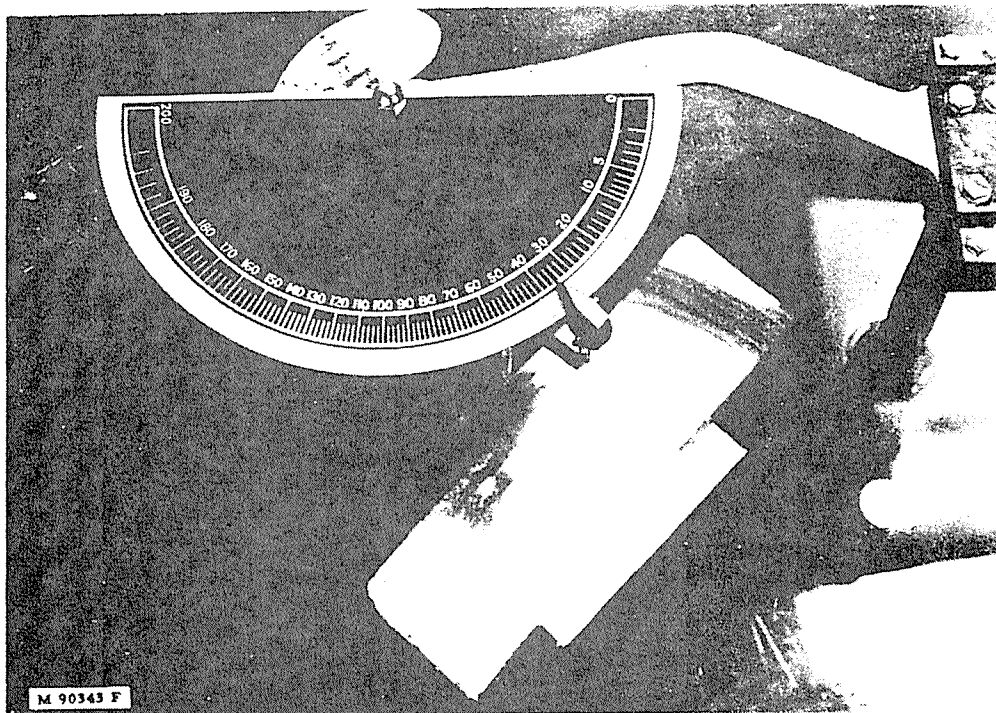
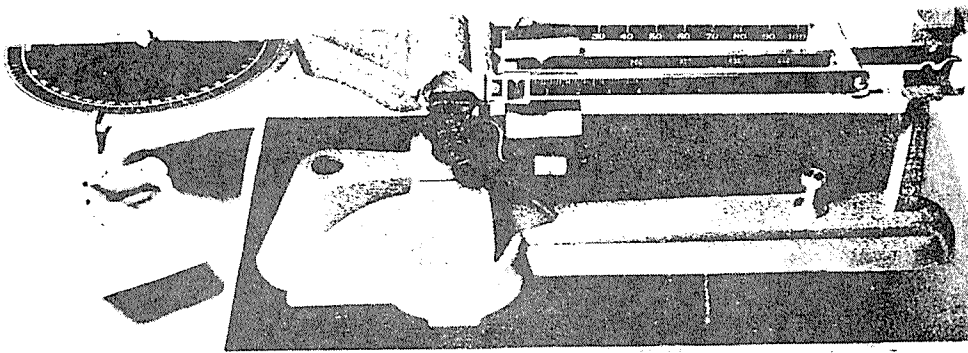


図3-4 含水率目盛付三桿式物理秤
 上：三桿式物理秤で標本皿の上に特殊なスケールを置いて、全乾後に含水率試験片の含水率を計算するのに使う。
 下：標本皿は回転する指示盤の上において、スケールに直接含水率を示す。

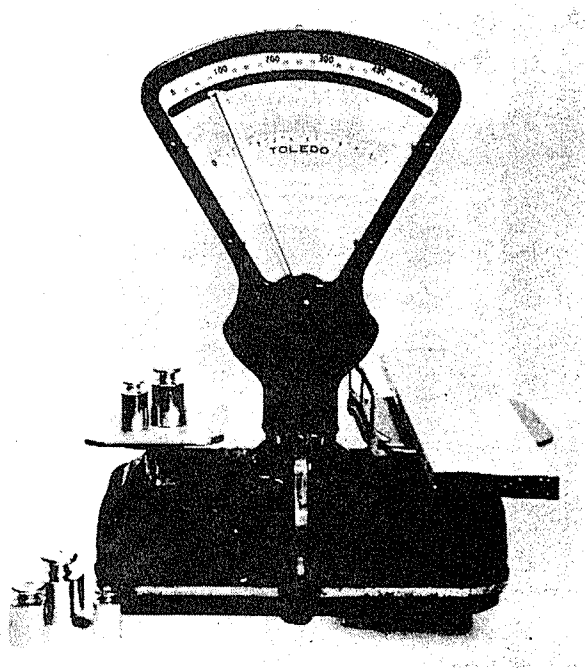


図3-5 目盛付上皿天秤(M 87 0199)

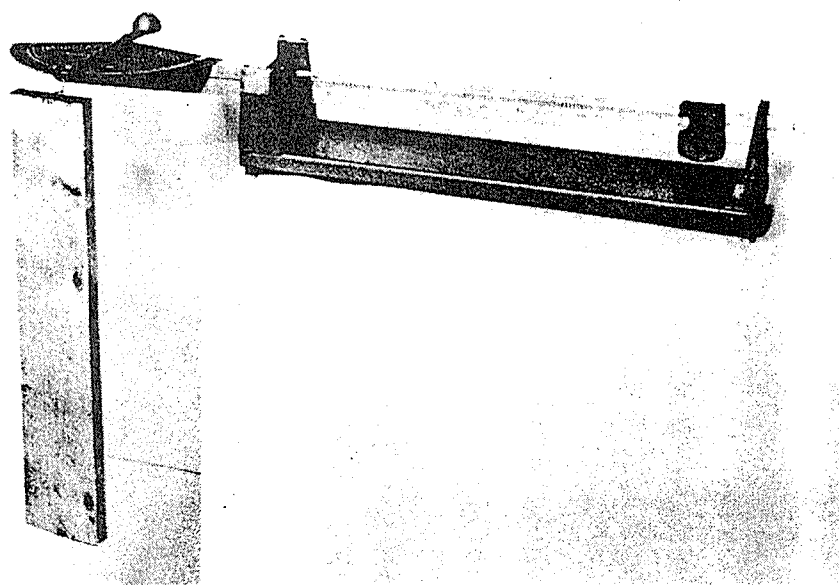


図3-6 乾燥室のコントロール材含水率を測定するための含水率定規
(M87 0168)

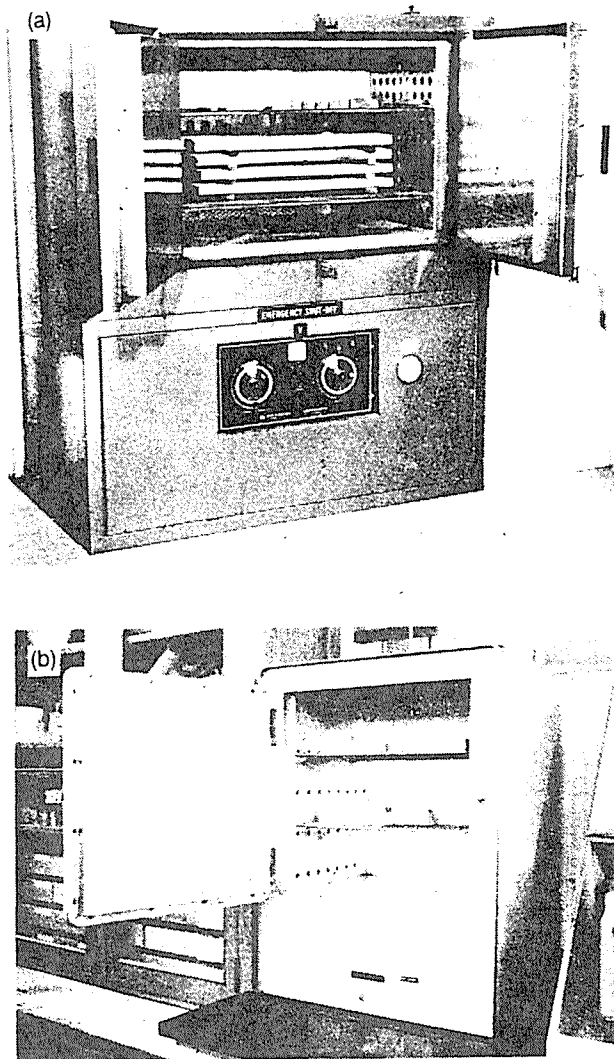


図3-7 含水率試験片を全乾にするための電気加熱式恒温器
(a) 大型床置型 (b) 小さな卓上型 (M87 0193)

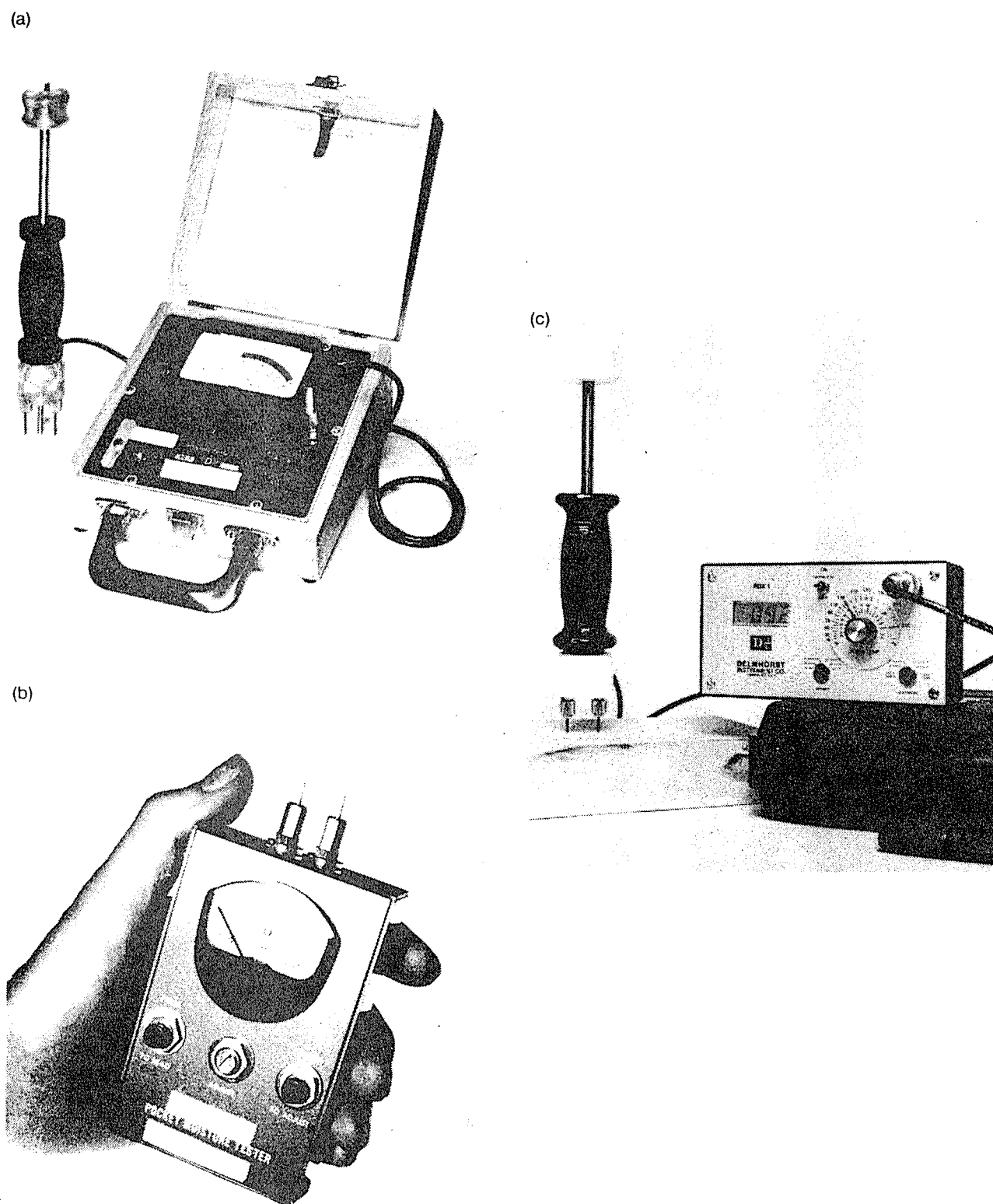


図3-8 抵抗型含水率計のいくつかのモデル

- (a) 絶縁した2針電極式のアナログメーター
- (b) 絶縁しない2針電極式のアナログメーター
- (c) 絶縁した2針電極式のデジタルメーター (M 134790)

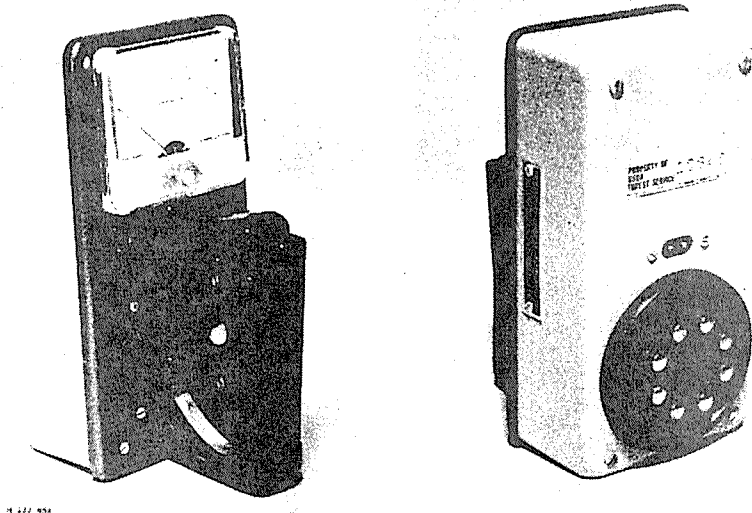


図3-9 誘電率式の含水率計 (M 133689)

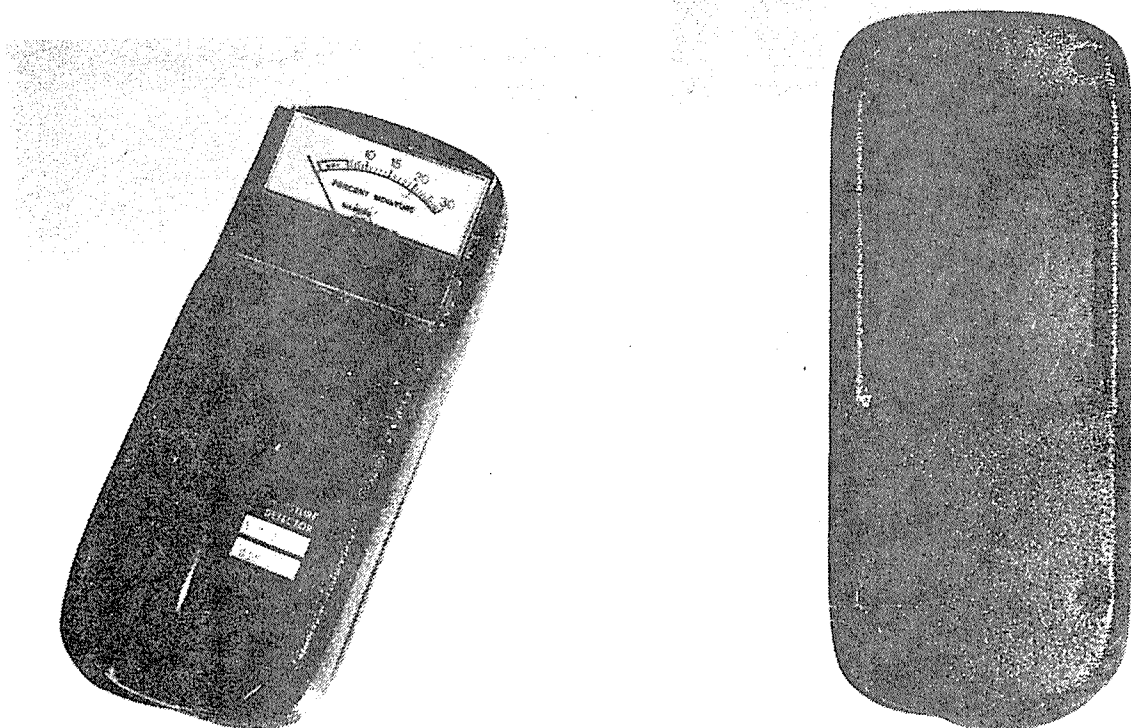


図3-10 表面が平滑の電極を持った誘電率式の電気含水率計

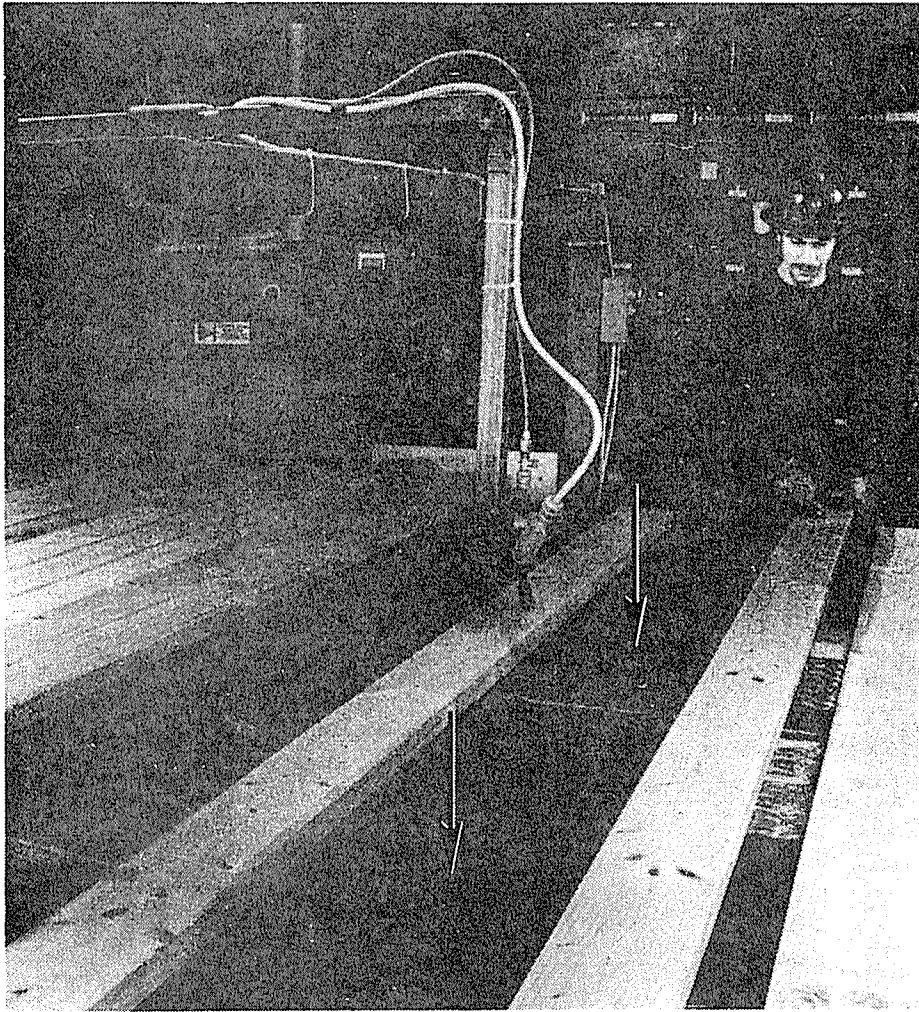


図3-11 ラインに据え付けた定置型の含水率計
矢印は無接触センサーの位置を示す。リミットスイッチの
向こうにマーキングスプレーのノズルが見える

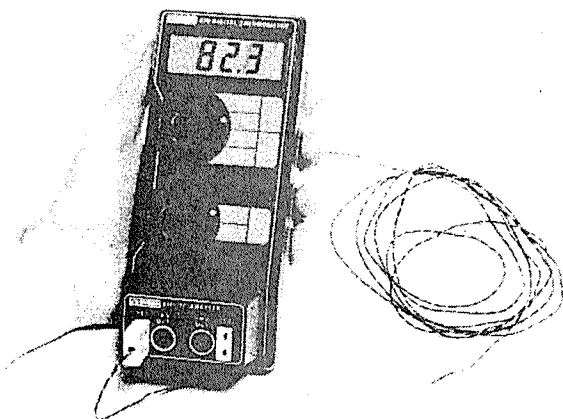


図3-12 携帯型デジタル温度計
(M87 0171)

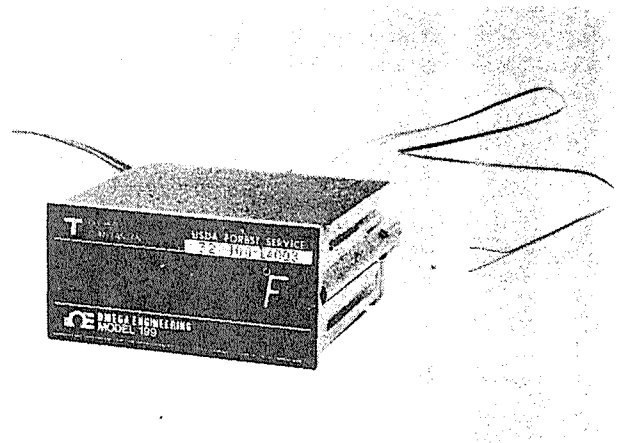


図3-13 デジタル温度計(M 87 0197)
温度計測のための回路パネル
が入っている据置型

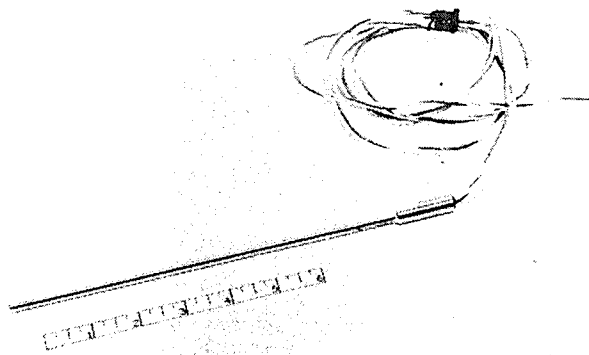


図3-14 測温抵抗式温度センサー(RTD)
(M-870167)

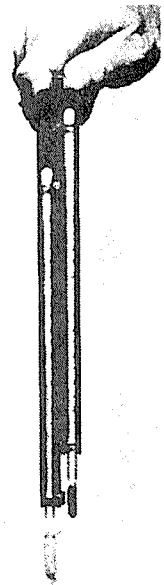


図3-16 相対湿度測定用吊下湿度計
(M87 0196)

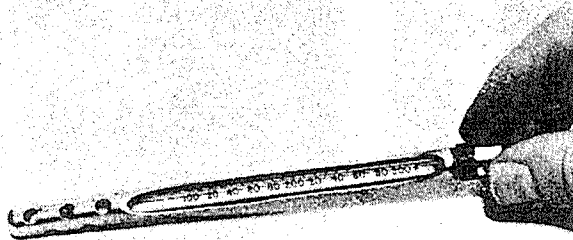


図3-15 ガラス棒に目盛りを付け金属
保護ケースに入れた棒状温度計
(M87 0195)

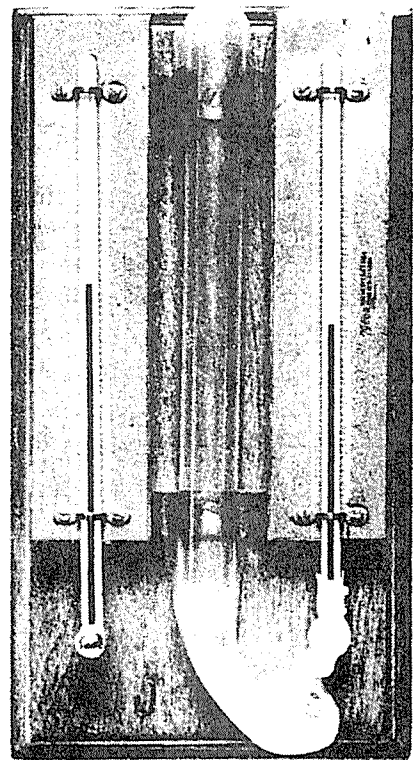


図3-17 定置式の乾湿球湿度計(M 137003)

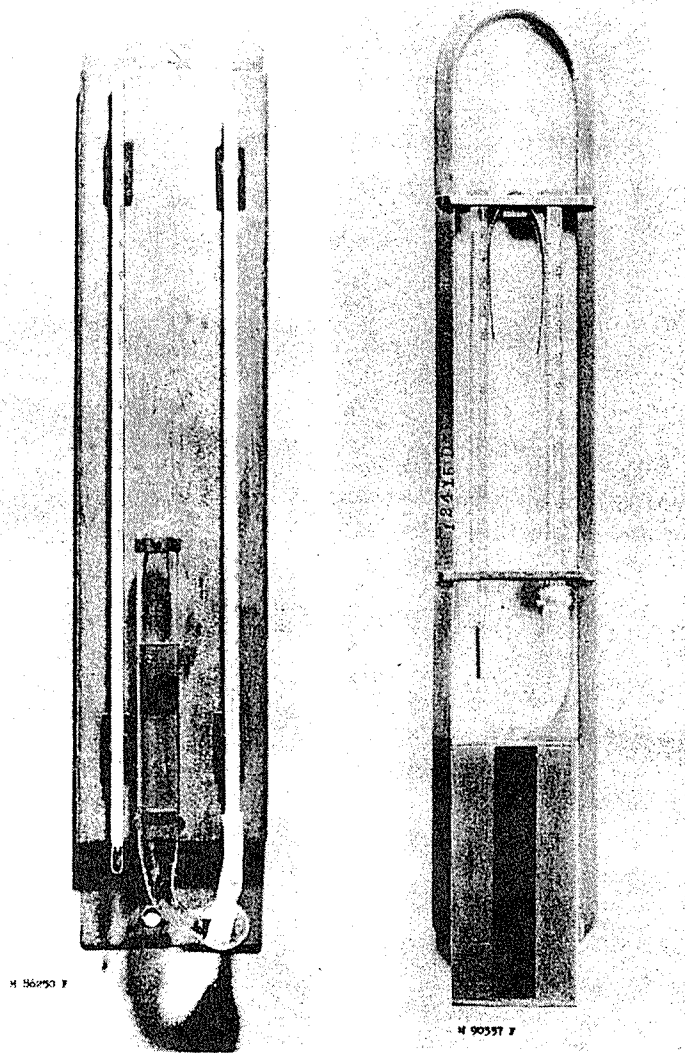


図3-18 湿度計
左：2本の目盛り付きガラス温度計からなる乾湿球湿度計
右：最高温度計による乾湿球湿度計(M 86250, M 90337)

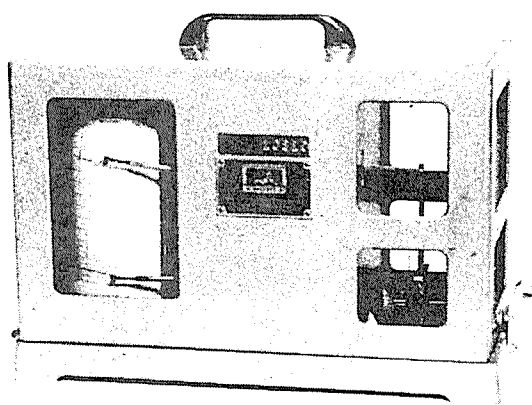


図3-19 温度および相対湿度を測定し記録する自記温湿度計 (M87 0172)

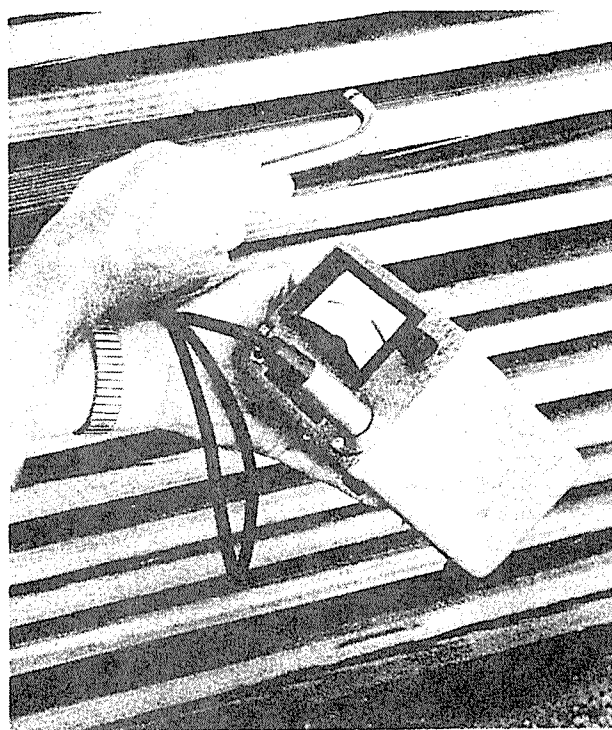


図3-20 熱線風速計 (M87 0194-18)

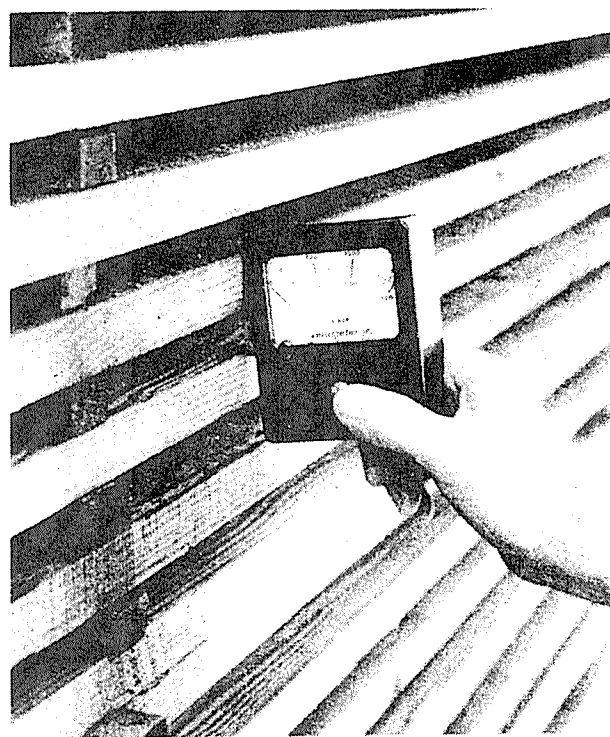


図3-21 羽根ふれ風速計 (M87 0194-13)

4 乾燥機および付帯機器の検査とメンテナンス

乾燥機の適正なメンテナンスは、優れた設計施工と同時に乾燥機の効率的な運転にとって重要なことである。適正なメンテナンスは乾燥機および付帯機器の定期的な検査を通じてのみ達成できる。もし検査によって修理あるいは交換が必要であると判明した場合は、トラブルを避けるためにできるだけ速やかに実施しなければならない。

定期的、組織的な検査は、乾燥機の構造、大扉；床面；台車；制御装置；加熱管、蒸気管および吸排気のシステム；棧積台車；製材の荷扱い設備；および一般的な建物管理などの項目をカバーしなければならない。検査が完全であるかどうかを確認するために、操作員は乾燥機構造や機器をチェックリストに載せて置かなければならない。チェックリストは特定の乾燥設備にあわせて作成する。

4.1 乾燥機の構造

乾燥機は使われる材料に関係なく通常の建物の場合よりも厳しい条件に耐えることが要求される。乾燥機は極端な外的気象条件に耐えるばかりでなく、より苛酷な室内条件に耐えるものでなければならない。相対湿度は5%から95%にもなり、温度は-7℃（外気温度）から高温乾燥機では121℃にもなる。さらに、乾燥中の木材から出る蒸気は時には腐食性がある。乾燥機の構造部材および内部の保護コーティングはこれらの幅広い操業環境に耐えることのできるものでなければならない。

4.1.1 壁面、屋根および天井

今日商業的に建てられた蒸気加熱式あるいは直接加熱式の乾燥機は、（1）銅製またはアルミニウムの構造フレームの上にプレファブのアルミニウムパネルを付けたもの、あるいは（2）石造り、主としてコンクリートブロックまたは軽量ブロックあるいはプリキャストのコンクリートのいずれかでできている。アルミニウムプレファブの乾燥機は大きな資本投資を必要とするが、メンテナンスの経費はコンクリートブロック構造よりもかなり安くてすむ。

1) プレファブのアルミニウムパネル式

乾燥機の壁面および屋根のためのプレファブのアルミニウムパネルは1950年代の半ばに開発され、1960年までには幅広く受け入れられるようになった。初期の設計ではインシュレーションボードのタイプを使ったが、それは住宅および商業建築に広く使われるようになった。後の設計ではガラス繊維の断熱材が使われ、より最近では硬質発砲断熱材が使われている。

壁面、屋根、および扉のパネルの設計と構成は同じものが多いが、場合によっては屋根のパネルにはもっと厚くて断熱性の良いものが使われる。アルミニウムパネルは一般に121℃から149℃というような高温になるサイクルであっても、乾燥サイクルによって生じる膨張および収縮によって影響されない。約102℃以上の高温では一部の製造業者はガラス繊維の断熱材を推奨しているが、アルミニウムパネルに硬質発砲断熱材を

入れるところもある。

アルミニウムパネルの乾燥機の断熱値はR値で厚さ約5cmのパネルで約1.6、厚さ約10cmのパネルで約3.2である。これに対してコンクリートブロックの乾燥機では、R値は厚さおよび中に断熱材を入れるか入れないかによって異なるが、1から3に過ぎない。木材フレーム壁面のR値は間柱の空間を断熱材で埋めない場合に4～5、断熱材を入れた場合に約1.2である。

アルミニウムパネルのメンテナンスは、通常湿気がパネル面材を通して断熱材を濡らし、その効果を減ずることがないようにするだけで良い。これはパネル面材に穴が開いたり裂け目ができたりしたら直ちに補修するということである。アルミニウム面材と枠材との間の隙間の補修にも注意すべきである。湿気はこの通路を通っても面材の穴を通してでもパネルの内部に入り、断熱材を濡らしてしまう。パネルの下部には通常水抜き穴を穿っているが、その穴は鋸屑や埃で詰まらないように絶えず開いているようにしなければならない。

乾燥機の鋼製の部材は、乾燥中にナラやベイツガ等特定の樹種からでる腐食性の蒸気や水蒸気から保護して置くことが必要である。これには耐湿性の塗料やコーティングを施しておくのが普通である。2年ないし5年毎に再塗装が必要である。乾燥機の製造業者が適当なコーティング材料を提供している。

2) 石造り式（コンクリートブロック等）

石造りの乾燥機は乾燥中に室内の温度が変化するために生ずる膨張収縮によって割れが入ることがある。この問題は室の内外の温度差が大きくなると著しくなることが多い。コンクリートブロックを含めてコンクリート製はやや多孔質で、乾燥機の内部空気から大量の水蒸気を吸収し易い。割れは小さいうちにシールしないとだんだん大きくなり、熱と蒸気の異常な損失を生じ、構造の破壊を早める。大きな割れは乾燥機に冷たい領域を作って、乾燥を遅らせたり、この領域の製材にカビや変色を発生させたりすることもある。

コンクリート乾燥機あるいはコンクリートの部材のメンテナンスは、問題の部分を速やかに発見して迅速に修復することである。コンクリート構造の乾燥機の良いメンテナンス実施方法は次の通りである：

① 石造りあるいは木製（合板で内張り）の乾燥機では、乾燥機を使用する前および必要な時に内部表面を蒸気および腐食に耐える材料でコーティングする。通常2ないし5年毎に再塗装する必要がある。適当なコーティング材料は乾燥機の製造業者などから入手できる。石造りあるいは木製の乾燥機の外表面には耐湿性のコーティングを行ってはならない。ただし澆水性のコーティングは必要なら行っても差し支えない。

② 築材料の膨張収縮の繰り返しによる構造の割れはできるだけ速やかにシールする。割れが小さい場合は塗料を塗るだけで十分であるが、大きな割れはゴムやに、モルタルあるいはセメントを詰めるべきである。それが固まった後に塗装をする。

③ 構造が固まることによる割れは、膨張収縮による割れと同様に応急修理をすることができるが、将来のメンテナンスのコストを下げるためには、その原因をはっきりさせて速やかに治すことである。

④ 乾燥機構造で蒸気管、他の配管、送風機のシャフトなどのための開口部はできるだけ

小さくすべきである。開口部には筒を差し込んで、パイプなどで占められていないスペースをエポキシあるいはシリコンなどの樹脂で塞ぐ。

⑤ 木材あるいは合板を使用している乾燥機では、剥ぎ目の隙や割れを充填剤で速やかに塞ぎ、浮き上がっている板はできるだけしっかり打付けて置く。

⑥ できれば金属金具は腐食しないものを使う。

⑦ 構造部材が壊れた場合は直ちに修理あるいは交換する。

乾燥機の金属部品は、蒸気およびナラやベイツガなど一部の樹種から出る腐食性のガスから保護されなければならない。これには普通金属性部材の上に耐腐食性の塗料を塗装あるいはスプレイすることが行われる。通常2年から5年毎に再塗装することが必要である。適当な塗料は乾燥機の製造業者から得られる。

4.1.2 扉

扉は乾燥機の構造で最も弱い部分であることが多い。それらは不注意に開閉する時、フォークリフトの運転者が荷物の積み降ろしに注意が足りなかった場合などに破壊し易い。アルミニウムのパネル式扉が一般的に使われるようになって、1930年代、1940年代、1950年代に乾燥機の扉に関連して生じた問題の多くが解決した。当時は強固で軽量で取扱い易い、断熱効果の良い、腐食に耐える大型の扉の設計と建造は難しかった。

良くメンテナンスされていない扉、扉吊り具、停止装置、ローラー、ローラートラック、パッキンなどは熱や蒸気の余分のロスを引きやすく、開閉にも不便である。扉が損傷していたりしっかり閉まらなかったりすると、冷たい空気が入って低温部分が生じ、その部分の乾燥が遅くなる。高温乾燥機では、乾燥操作が終わって扉を開いた時に扉の近くのフレーム部分に大量の凝結水ができる。鋼製部材は腐食や錆がでないように適切に保護すべきである。扉および扉設備をおろそかにすることは作業員の障害にもなる。扉および扉設備の良いメンテナンスは次のようにすべきである：

① 損傷した扉吊り具、ローラー、ローラーの軌道は速やかに修理または交換する。

② 部品は製造業者の指示にしたがって研磨して置く。

③ 裂けたあるいは無くなったパッキン材料、または既に適当なシールのできないパッキンは修理または交換する。

④ フォークリフトの運転手に対して、荷物の出入りに際して扉その他に損傷を与えないように警告する。

⑤ フォークリフトで棧積材を搬入する乾燥機では、棧積が安定しており、扉や壁にあたらないようにする。

⑥ 台車を利用する乾燥機では、車輪止めをして台車が滑って扉にあたらないようにする。

4.1.3 床

普通の乾燥機の床はコンクリートでできている。一部の小さな乾燥機は間欠的に運転操作されており、おそらく自家設計の場合は、床は碎石、製材あるいは土や砂でできている場合もある。いずれのタイプのもでもメンテナンスが必要である。

良いメンテナンスは次のようなものである：

① 新しいコンクリートの床には耐水処理を施して、破碎したり鱗片状になるのを防ぐ。

- ② コンクリートの膨張収縮によって生ずる床の割れを修理し、シールする。
- ③ 石、土または砂の床は均一な床の水準を保ち、必要に応じて穴などを埋める。
- ④ 適当な排水口を設けて雨や流水が床に溢れないようにする。

4.1.4 レールおよびレール支持材

一般に送風機が乾燥機の天井や側面に付いている乾燥機では、レールおよびレール支持材は十分に固定してあるのであまり問題がない。古い変造の自然換気、あるいは古い設計の強制換気の乾燥機では、ファンや送風ダクトが台車位置の下に位置しているため、重い荷重でレールあるいはレールの支持材が破壊したり広がったりすることがある。レールあるいはレールの止め具の破損は乾燥機を壊したり、作業員に怪我させたり乾燥時間が長くなったりすることになる。

レールおよびレール支持材の良いメンテナンスは次の通りである：

- ① 壊れたあるいは弛んだ止め具を速やかに交換または締め直す。
- ② レールの広がりや歪みを速やかに正し、支持材に堅固に取り付ける。
- ③ 扉の下のレールに切れ目を置き、凝結水の滴下による腐食を防ぐ。
- ④ 必要に応じてレール、支持材および止め具に耐腐食性の塗装を施して置く。

4.2 乾燥機検査のチェックリスト

(メンテナンスあるいは交換が必要と認められた場合は乾燥機の番号を記録する)

I. 乾燥機の構造

1. 扉および扉吊り具の現状：

- 扉吊り具は適正に作動しているか
- 扉はしっかり閉まるか
- パッキンは適正に扉をシールしているか
- どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

2. 壁面の現状：

- 保護コーティングは適正か（石造り乾燥機）
- 割れは補修してあるか、穴は充填してあるか
- どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

3. 構造鋼製部材の現状：

- 保護コーティングは適正か
- どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

4. 屋根または天井の現状：

- 保護コーティングは適正で腐食や蒸気の漏れを最小限にしているか
- どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

5. 床および通路：

- どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

6. レールおよび支持材の現状：

- どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

II. 制御系

1. 制御記録計の現状：

装置に正しく紙が入っているか

制御記録計は適正に校正されているか

毛細管は保護されているか

R T D のリード線および接合部は適正に保護されているか

温湿度センサーは適正に位置し、乾燥機の条件を正確に読み取るようになっているか

E M C マットは交換を必要としているか

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

2. 給水系：

湿球温度計への水の供給管路は開いているか

湿球温度計の水皿は清潔か

供給される水は異常に高温または低温ではないか

水皿からの排水管路は開いているか

湿球温度計のガーゼは定期的に交換されているか

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

3. 吸排気系：

圧縮空気の供給は正しい圧力で、清潔で支障なく行われているか

コンプレッサーは良い条件にあるか

水およびグリースのトラップは良い条件にあるか

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

III. 加熱および加湿系

1. 蒸気管路およびヘッダーの現状：

管路およびヘッダーは適正に断熱されているか

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

2. 加熱コイルおよびダクトの現状：

蒸気が完全に流れるようにすべての管が開いているか

ダクトは曲がったりその他の故障をしていないか

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

3. トラップの現状：

トラップは最も適当な位置にあるか

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

4. ドレイン管路の現状：

凝結水のポンプは適正に作動するか

管路の寸法は送り量に対して適当か

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

5. 自動および手動の制御弁の現状：

自動制御弁は適正に作動するか

スプリングおよび振動板は適正に作動するか

手動の噴出弁がトラップに付いているか
手動弁は個々のコイルを閉じているようにできているか
チェック弁は適正に作動するか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

6. 蒸煮管路の現状：

蒸煮の穴またはノズルは開いているか
蒸煮管路からの雫が材の上に落ちていないか
蒸煮管路は適正にトラップされているか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

7. 吸排気口の現状：

すべての吸排気口が適正に開閉するか
ダンパーモーターおよび連結部は適正に作動するか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

IV. 空気循環系

1. ファンおよびモーターの現状：

電気の接続とスイッチの現状はどうか
ファンはシャフトの上をスリップしているか
すべてのファンは適正な（同じ）方向に回転しているか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

2. シャフトとベアリングの現状：

モーターおよびシャフトのベアリングは適正に研磨されているか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

3. ファンの遮蔽板、カバー、ファン設置面の現状：

どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

4. 棧積材の遮蔽板の現状：

棧積材の遮蔽板は改良できるか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

5. 空気の通路（直接加熱型の乾燥機のダクトを含む）：

空気の通路は開いており、障害物はないか
空気の動きは改良できるか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か

V. 土場、乾燥機、および制御室の一般的状況

土場退勾配と表面は排水が乾燥機に来ないようにしているか
通路はフォークリフトの運行に適正になっているか
乾燥機の台車軌道は良い条件にあるか
どのようなメンテナンスまたは交換が必要か
制御室は整頓され清潔であるか
乾燥機の記録は適正に保管されているか
乾燥機およびその周辺は整頓され清潔であるか

4.3 記録機器および制御機器

乾球および湿球（温度および相対湿度）の正確な制御は、乾燥機の効率的な運転操作に極めて重要である。制御の最も普通で最も良い方法は、半自動または完全自動の記録制御装置を使うことである。これらの機器は通常効率的であるが、時にはトラブルの元になる。一部の問題は乾燥室内に設置するセンサーの位置の不適正に関連するものである。センサーが適正に配置されている場合でも、較正が適正でない場合、湿球への水の流れが悪い場合、湿球のガーゼ等が汚れている場合には問題が起こる。空気式の機器の効率は圧搾空気の中の油、水および埃などによって著しく阻害される。これらの器具の障害の約25%は汚れた空気の供給によるものである。

4.3.1 制御用センサーの正しい位置

1) 乾球温度センサー

温度を正確に感知するためには、センサーは乾燥機内の空気の主流の所に設置すべきである。壁面にあまりに近かったり、製材にあまりに近くてはならない。センサーおよび毛细管を、蒸気管その他の熱源のあまり近くに置くと、読みに誤りを生じ易いので注意を要する。通常の方法は少なくとも2つの乾球センサーと1つの湿球センサーを乾燥機内に置くことである。長い乾燥機では乾球センサーを4つ、湿球センサーを1つ置くのが普通である。これは二重制御装置と言われる方式で、1つの乾球センサーのセットは乾燥機の長さの一端から約 $1/4 \sim 1/3$ の所に設置し、他のセットは他の端から $1/4 \sim 1/3$ の所に設置する。乾球センサーは壁の両側で空気の入り口側（最も熱い）のセンサーが装置に信号を送るようにする。ファンによって空気の流れが逆になると、反対側のセンサーが制御用センサーになる。乾球の位置が不適当であると、温度が非常に高くなって乾燥による損傷を生じたり、温度が非常に低くなって乾燥時間が長くなり、カビや汚染の原因となる。

乾球センサーの1つを湿球センサーの近くに置くのが普通であるが、乾球センサーを湿球センサーの下に置いてはならない。湿球の水がオーバーフローしたり乾球センサーに水がかかると、冷却され実際の温度よりも低い温度を感知することになる。この誤った低い温度は加熱弁を開かせることになり、乾燥機が過熱して品質劣化の原因となる。乾燥機の製造業者が用意するセンサー支持具を使って設置し、その指示に従うことがセンサーの読みを適正にすることである。

2) 湿球温度センサー

湿球センサーは常にその回りを空気が循環できるように配置すべきである。経験では風速は 0.8 m/s という遅いもので十分であるが、風速が 1.5 m/s あるいはそれ以上の場合に正確な読みができる。湿球温度は乾燥機内どこでも同じで乾球温度のような変異はないので、湿球センサーは乾燥室1つに1個付けている。湿球センサーは乾燥機の長さの中央付近に、ガーゼの状態や水位を調べるのに便利のように、床面よりやや高い所に設置すべきである。位置が不適正であったり湿球センサーの管理を怠ったりすると、湿球温度の制御がうまく行かない。乾燥操作中は絶えず新鮮な水を供給して、ガーゼが濡れているようにしなければならない。ガーゼが乾燥していると、装置に記録される温度は乾燥機

の実際の湿球温度よりも高くなり、装置は湿度を減らすために排気口を開く信号を出すことになる。したがって、湿球の水槽を時々清掃しておくことが推奨される。水槽への水の流は通常ニードル弁で制御するが、それを時々管理することが必要である。もし水の流が早すぎると、その温度はそれが湿球センサーに到達した時に低くなりすぎることがあり、温度の読みを誤ることがある。

一部の蒸気加熱の乾燥機では、コイルのドレイン側の凝結水を湿球のガーゼに供給するようになっている。凝結水はドレイン管路から冷却用の銅のチューブを通じてパイプに流し、水槽に送っている。このシステムを使う場合は、水が適当に冷却されているように注意しなければならない、水が熱すぎると読みに誤りを生ずる恐れがある。

湿球センサー自体は、どのような状況のもとでも水槽の水に触れたり、センサーに水が直接かかったりしてはならない。

水槽にはオーバーフローの線を付けておくべきで、その排出端部は乾燥機の外に出して置き、水の供給はその流れが継続的な流れでなく滴るようにして規制すべきである。オーバーフロ管路は絶えず開けて置き、水が皿の上部に溢れて乾燥機に入らないようにすべきである。乾燥機を1日あるいはそれ以上止めておく場合は水の供給は止めておく。もしこの場合乾燥機内の温度が氷点下になるようであれば、水抜きをしておく。止めてあった乾燥機を再開する時は湿球のガーゼは取り替える。

汚れたガーゼあるいは包み込みの悪いガーゼは湿球温度の制御に影響する。湿球のガーゼは吸水性の高い布でできている必要がある。乾燥機の収容材を入れ替える度に、あるいはそれ以上に頻繁に新しいものと取り替える。

ガス充填あるいは液-蒸気システムの湿球センサーは、腐食を防止するためにメッキしたものが多く、ガーゼを取り替える時はセンサー表面に異常がないことを確かめる。必要な場合は装置の製造業者によってセンサーを再度メッキするか交換してもらう。

蒸発による冷却効果があるので、乾燥機の湿球温度は通常乾球温度よりも低く、高いことはない。読みが高すぎる場合は較正ができていないのである。

3) 平衡含水率および相対湿度センサー

一部の制御・記録計および一部の乾燥システムでは、湿球温度ではなく直接平衡含水率および相対湿度を感知するセンサーを使っている。後者の場合製造業者の指示によるべきことは勿論であるが、これらのセンサーについても乾球センサーの位置についての原則が当てはまる。

4.3.2 記録・制御装置の管理

制御装置が信頼できる機能を長期間発揮するためには、適切な管理が重要である。記録計および制御機器の部品は、精密にできており破損し易い。しかし、それらは障害や埃に対して十分に保護されており、長い間管理せずに放置することがなければ何年も支障なく使用することができる。ガラスのカバーが破損したら直ちに交換する。装置のケースに溜まった埃を拭うのに圧搾空気、ブラシあるいは布を使うのは禁物である。

一般にガス充填あるいは液-蒸気のシステムの修理を現場で行おうとすべきではない。装置の修理と清掃には特殊な器具、熟練および施設が必要で、そのような作業は製造業者

の工場または資格あるサービスマンによって行われるべきである。

制御装置で研磨を必要とする部品は時計だけであって、それはしばしば実施すべきである。連結アームの旋回支軸の部分を研磨してはならない。

空気式の装置に入る圧搾空気の通路は、油や水分を無くしておかなければならない。圧搾空気の質は極めて重要である。このため空気は装置に入る前にフィルターまたはトラップを通るようになっている。トラップした油や水分は少なくとも1日に1回は弁を開けて排出させる。通常フィルターの部品は1年1回、あるいは変色してきたらもっと頻繁に交換しなければならない。

電子あるいはコンピューター化した制御記録装置の修理は、経験ある技術者または資格のあるサービスマンによってのみ行われるべきである。必要な技術と工具はガス充填のシステムのものとは異なる。空気式の弁を制御する装置では、圧搾空気は清浄で油や水分から保護されなければならない。時計は時々研いでおかなければならない。サーボモーターのスライドワイヤーもペンの動きが鈍くならないように清掃することが必要である。

4.3.3 記録・制御装置の較正

装置の較正ができていないと乾燥機内の実際の乾燥条件が記録紙に記録されたものと違ってきて、重大な乾燥欠陥が出たり乾燥時間が長くなったりする。新しい装置は輸送中に衝撃を受けることもあるので、設置する間に2、3の点でチェックの較正を行う必要がある。その後温度計を使って正確度をしばしばチェックする。

誤差を発見した記録制御装置を再度較正することは難しいことではないが、注意深く行うべきである。必要なものは液体容器と正確な温度計測器具である。ガス充填システムのセンサーと記録制御装置のケースの高さの相違が記録された温度に影響するので、装置のケースの内側についている指示板の注意書によってチェックしてセンサーが装置に対して正しい高さにあることを確かめるべきである。装置についてセンサーが上下大体同じ高さにあることを較正する。RTDでは高さは影響しない。較正には二人が必要で、一人は液体容器のセンサーに、一人は装置にあたる。

較正の手続きは次の通りである：

- ① 液体容器に水または油をセンサーが完全に没する深さまで満たす。水の場合は93℃まで、油の場合は138℃まで温度を高めて容器をセンサーの近くに置く。
- ② センサーを止め具から外して加熱した液体に完全に沈める。乾湿球センサーが乾燥機内に一緒にあるときはそれも一緒に較正する。ガス充填システムのチューブを鋭角に曲げることは避ける。センサーは容器の側面または底に触れてはならない。二重の乾球システムでは通常1つのセンサーだけ較正すれば良い。ファンの回転が逆になった時に、乾球温度計によって示された温度に差があった場合は各センサーを別々にチェックする。液体容器に位置している人は較正中に液体をゆっくりと絶えず攪拌する。
- ③ 約10分後に、液体容器にいる人は温度計などで加熱した液体の温度の読みを行う。装置にいる人はそれからこの読みを装置が示した対応する温度と一緒に記録する。
- ④ これらの温度は液体が冷却するのに従って11℃毎に記録する。ガス充填システムで較正の時間を短縮するために冷たい水を加える場合は、温度を測定する前に5～10分経過させて温度変化が装置に反応するまで待つ。抵抗温度計によるシステムでは直

ちに安定する。液体温度が乾燥機で使っている最低乾燥温度以下に下がるまで時々チェックの読みを行う。

- ⑤ 装置の記録紙に示された温度が液温より一定の幅で常に低かったり高かったりした場合は、記録計のペンの腕に付いている小さな螺子を回して上下に調節する。指示温度と液温の温度差が一定でない場合は、熟練した技術者に調節してもらう。それが調整されるまでの中間期間については装置が使えるように補正表を作ることができる。
- ⑥ 次の段階である調節計の調整は専門家に任せるべきである。指示器は圧搾空気あるいは電気をONにしておいて調節する。温度調節計の温度を記録紙の上のペンが示す温度以下に設定してから、調節計を制御する電動弁が開きはじめるまで上げて行く。その時の設定値を記録する。次に調節計の設定値を下げてゆき、電動弁が閉じはじめる。もし2つの記録した温度の平均がペンの記録した温度と違っている場合は、付いている調節スクリュウによって調節計を、その差の程度だけ上下に動かして調節する。

一部の乾燥機操作員は装置のペンあるいは指示器を調整したからない。その代わりに彼らは較正のデータをリストして置き、そのリストを装置の傍においてそれを装置の設定の指標として使っている。

抵抗型のセンサーは上記のようにしてあるいは正確な電気抵抗計を使って較正できる（さらに完全な較正については第2章の自動制御システムの項目を参照）。

乾燥機操作員は制御装置の管理とメンテナンスについて、製造業者の指示に精通していなければならない。装置に不具合が生じた場合は熟練したサービスマンの指示とサービスを求めるべきである。

4.4 加熱システム

適正に設計され正しくメンテナンスされた加熱システムが乾燥機の均一な乾燥条件を作る。残念ながら加熱システムのメンテナンスについては疎かにされている場合が多く、その結果乾燥機の条件が不均一になり、乾燥時間は長くなり、製材の含水率は不均一になり、乾燥コストも増加する。一方、検査を頻繁にし速やかに是正することで多くの悪影響を最小限にすることができる。

4.4.1 蒸気加熱の乾燥機

蒸気加熱の乾燥機で発生する問題としては、配管や継手の不適正な断熱、管や継手の洩れ、管のたるみや破損、減圧弁等の欠陥、圧力計の欠陥、自動および手動の制御弁の欠陥、蒸気トラップの欠陥などがある。

1) 配管の不適正な断熱

ボイラーから乾燥機へのメインの配管をすべて断熱することは蒸気温度、圧力および蒸気消費量のロスを減少させる。作業員がしばしば出入りする制御室その他の場所、蒸気配管、ヘッダー、および弁は安全のために断熱すべきである。蒸気配管の断熱は不適正であったり損傷を受けていることがあり、それらはできるだけ速やかに修理または交換すべきである。

2) 管およびユニオン継手の洩れ

腐食あるいは機械的な損傷による管の漏れは蒸気の消費量を増加する。もしも乾燥機内で蒸気の漏れがあると湿球温度に影響する。漏れている管は修理するか交換する。必要な場合はすべての管および接合部を清掃する。

3) 管のたるみおよび歪み

配管およびコイルの支持具は時に破損し、管がたるんだり歪みを生じたりする。たるみのある管に凝結水や湯垢が溜まると管が詰まってしまう。たるんだコイルに水が溜まると熱を乾燥機に送る能力が著しく減少する。たるんだり歪みを起こした管は真っ直ぐにするか交換する。腐食に対して管の支持材を保護し、検査の結果不相当であることが判明した場合はそれらを補強するか交換する。

4) 減圧弁等の欠陥

減圧弁の欠陥による蒸気圧の変動は、不均一な乾燥条件をもたらす。調整で条件を是正できない場合は、欠陥のある部品を修理あるいは交換する。

5) 圧力計の欠陥

減圧弁に連結して用いる圧力計は、時に較正から外れる。正確であると解っている圧力計に対してもときどき再調整し、あるいは欠陥のあるゲージは交換する。

6) 自動および手動弁の欠陥

蒸気の流れを制御する自動弁は、漏れを生じたり開閉が適正に行われない場合がある。空気式モーター弁が開かなくなるのは、通常空気の送りラインの洩れ、仕切板の損傷あるいはパッキングのナットの締め過ぎ等によるものである。一部の弁では開くのを容易にするための圧縮スプリングが付いているが、閉じるのを容易にするためのスプリングを付けたものもある。スプリングは適正に作動するかどうかを時々チェックしなければならない。電動弁の欠陥は、出力不足、ワイヤーの損傷、モーターの故障などによって生ずる。部品が摩耗したり湯垢が溜まったりして弁に漏れがあることは、通常温度を設定値以上にゆっくり連続的に上げて行くことで見付けることができる。開くのが遅かったり開かなくなった弁は、装置が熱を求めている時に温度を徐々に設定値以下に下げることで見付けることができる。

欠陥のある弁は修理するか交換する。予備の弁を用意して置くとともに、仕切板、スプリング、パッキン、弁の軸および座金などの部品を用意しておくことである。弁のパッキンナットの周辺で漏れが生じた場合は、ナットを締め直すかパッキンを取り替える。

手動弁は蒸気加熱システムだけに使われる。これらの弁は通常仕切弁のものであるが、広く開くか完全に閉じるかで操作すべきである。弁を時々開閉することによって、開または閉の位置での錆や腐食が避けられる。もし弁の軸のパッキンナットの周辺に漏れを生じた場合は、自動弁の時と同じ手続きに従う。交換用弁と予備の部品を手持ちして置く。

7) 蒸気トラップの欠陥

トラップシステムの欠陥を最小限にするためには、トラップの設備について乾燥機製造業者、技術者およびトラップ製造業者に相談することである。次に示した要点はトラップ問題の所在と解決について操作員の助けとなる。

蒸気トラップがうまく作動しない理由は次のような点である：（１）過剰な蒸気圧力、（２）復水がトラップに到達しない、（３）フロートの穴が詰まっている（フロートタイプの場合）、（４）トラップに埃が入っている、（５）部品が摩耗しているか欠陥がある、（６）復水のもどり管路に過度の逆圧がかかっている等である。蒸気の送りラインでの過剰な圧力は、減圧弁の欠陥によることや、圧力計の不正確な読みあるいはトラップの操作範囲を越えた蒸気圧の上昇等によることがある。復水がトラップに到達しないことは、送り管路の弁が閉じていたり、コイルとトラップの間の管路の手動弁が閉じていたり、復水がトラップに流れるようにするバイパス弁が開きあるいは漏れていたり、あるいは蒸気管路が水で塞がっていたりして生ずる。埃、錆、湯垢などはフロートの入り口を塞ぐことがある。この問題はトラップの前に濾過器を設置して時々清掃することで最小限にすることができる。濾過器はトラップ自体に埃が溜まるのを防ぐことにもなる。すべてのトラップに吹き出し弁を付けて毎日短時間吹き出しを行う。

トラップから絶えず水が出ているということは、トラップあるいはトラップの口の寸法が適正でない（すなわち使う蒸気圧に対して開口が小さすぎる）ということであり得る。また円板トラップの座の下に埃や湯垢が溜まっていたり、座が摩耗してうまく閉じなかったり、錆びていたりすることもある。これらの問題は正しいサイズのトラップを付けて凝結水のピーク（通常初期の温度上昇の期間に起こる）に十分応じ得るサイズにすることによって避けられる。

トラップが生蒸気を吹き出すのは放出弁が外れているのかもしれない。生蒸気を吹き出すフロートトラップはその用をなさなくなっているのかもしれない。著しく摩耗した弁の座、あるいは弁と弁の座の間の埃は弁の座りを悪くする。用をなさなくなったトラップでは突然あるいはしばしば蒸気圧が落ちる。これが時々起こるようであったらトラップの前に良いチェック弁を付けることである。蒸気圧を安定して供給することがこの問題を最小限にしてくれる。

摩耗あるいは欠陥のあるトラップの部品は完全に壊れることがある。一部の部品は作業時間を殆どロスすること無く容易に交換することができる。交換はトラップの回りにバイパスを付けておけば更に簡単に行える。欠陥のあるトラップが現場で修理できない場合は新しいトラップに取り替える。欠陥のあるトラップは最初の機会に修理することである。すべてのトラップは毎年清掃し修理することが推奨される。

トラップの欠陥はトラップからの放出を観察し、供給側と放出側の温度を調べ、あるいはトラップの作動の音を聞くことによって見つけることができる。多くのトラップの放出機能は試験的に放出してみることでわかる。時々開けてみることである。もし正しい寸法のトラップで蒸気が引き続いて出るようであったら、トラップは正しく機能していないのであって、原因を調べてそれを是正する。蒸気の突然の放出を生蒸気と混同してはならない。圧力変化による蒸気放出は弁を出る時に白色である。生蒸気は一般に連続的な流れとして出てきて、弁を出る時に透明である。

動いているトラップの音を注意深く聞くことによって、復水の放出を目で見なくてもチェックする事ができる。したがってこの方法は閉鎖された復水の帰りのシステムで作業する場合に便利である。必要な道具は工業的な聴診器あるいは自家製の補聴器で、ハンドルを付けた長さ60cm、直径5mmの金属棒、木材の丸棒、あるいは螺子回しである(表4-1)。それほど経験がなくてもこれらの自家製の道具を使って、単に道具の一端をトラップの蓋に当てて他の端を耳に当てるだけで、トラップ内部の状態を聞くことができる。

蒸気トラップは本質的には自動腹水弁であって、その唯一の機能は腹水を通して蒸気の逆流を押さえることである。これは適切に機能するトラップの上流側と下流側ではかなりの温度差が存在するということを意味する。したがって、トラップの機能はトラップの上流側と下流側の蒸気管路の温度を測定することによってチェックできる。この方法について要求される2つのことは、パイプの表面温度を測定するための接触高温計とトラップの上流下流の管内圧力について知っていることである。各蒸気圧について対応するスチーム温度がある。表4-2はいくつかの操業圧力に対する典型的な管の表面温度の読みを示したものである。

蒸気配管系の上流の圧力を 10.5 kg f / cm^2 と想定し、トラップの下流の圧力を 1.1 kg f / cm^2 と想定しよう。高温計は上流温度 168°C 、下流温度を 107°C (高温計の接触を良くするためにパイプの測定点にはワイヤブラシをかける)と示す。表4-2は上流のゲージ圧 10.5 kg f / cm^2 では高温計の読みは 176°C から 165°C の間であるはずであるということを示している。下流のゲージ圧 1.1 kg f / cm^2 では高温計の読みは 114°C から 107°C の間であることが望ましい。それによってトラップは適切に機能していることがわかる。

同じ圧力で上流の高温計の読みが 168°C で、下流の読みが 149°C であるという場合を想定しよう。両方の温度に十分な開きがないということは生蒸気が復水の管路に入り込んでいるということを示している。トラップは開いて壊れており、修理または交換の必要がある。

もう1つの例を取って、トラップの両側の高温計の読みがいずれも 99°C である場合を想定しよう。ゲージ圧が 1.1 kg f / cm^2 であるので下流の読みとしてはそれは正しい。しかし、上流のゲージ圧は 10.5 kg f / cm^2 であるので、この読みは低すぎる。上流の温度が低いことは恐らくトラップへの圧力を減少する管路に障害があることを示している。詰まった濾過器が原因と考えられるので、他の原因を求める前にトラップを吹き出させてみることである。

これらの例は閉鎖型の帰りのシステムについてのものであるが、温度測定の方法は大気中に放出するトラップについても使える。もちろんこの場合下流の圧力は常に大気圧である。

4.4.2 直接加熱型の乾燥機

直接加熱型の乾燥機では、ガス、石油あるいは木材残材の燃焼による高温のガスが乾燥機に直接吹き込まれる。バーナーは一般には電氣的にあるいは油圧で調整する燃料弁が付いている。温度を制限するスイッチは燃焼室の入口と出口に付いていて、予め設定した値を越えて加熱した場合にはバーナーを止めるようになっている。すべてのセンサー、温度

制限スイッチ、およびバーナーに付随する安全装置などの適切な監視およびメンテナンスに特別に注意を払う必要がある。製造業者の指示と勧告および国の安全基準は忠実に守られなければならない。

4.5 加湿システム

4.5.1 蒸気スプレー

蒸気スプレーは希望の相対湿度を維持するのに必要な場合に、乾燥機に水分を供給するものである。この目的のためには、過熱した”乾燥”蒸気よりは飽和した”湿った”蒸気が好ましい。飽和蒸気を作るには圧力の低い蒸気を使うか、蒸気ラインに過熱低減器を設置するのが普通の方法である。乾燥機への蒸気スプレーの流れを制御するための人手によるあるいは自動的な弁は、蒸気加熱システムで要求されたのと同じメンテナンスを必要としている。弁が閉じている場合の蒸気スプレーラインからの蒸気あるいは復水の流れは、制御弁の洩れを示している。制御装置が蒸気スプレーを要求している時に湿球温度が下がることは、乾燥機へのスプレーの供給が十分でないか、あるいは弁が開かないことを示している。欠陥のある弁は直ちに修理するか交換することである。

蒸気スプレーラインは通常出口から下に傾斜している。低い端部に集まった復水は、通常乾燥機の外に小さな排出口から出されるようになっている。このドレイン抜きは絶えず開けておく。蒸気スプレーラインは時々検査して排出口あるいはノズルが開いているかどうかを確かめ、管がまがったりして製材や器具の制御弁などにスプレー蒸気がかかっているかどうかを確認する。

4.5.2 水のスプレー

加湿が必要な場合に水分を供給するために、乾燥機に水のスプレーラインが設置されていることが少なくない。一般に、水のスプレーはコンディショニングに必要な十分な水蒸気を提供することができない。スプレーラインに水を送る流れを制御する弁をしばしば検査して、欠陥のある弁は直ちに修理または交換する。詰まったスプレーの穴やノズルを明け、管路に損傷がある場合は修理または交換する。

4.6 吸排気システム

多くの乾燥機には熱い湿潤な空気を乾燥機の外に排出して新鮮な空気を取り入れる吸排気口が付いている。過剰な換気は加熱と加湿を必要とするので、それは吸排気システムの適切な調整とメンテナンスによって避けるべきである。過剰な換気を避ける効果的でコストのかからない方法は、換気調節弁の所の空気ラインに空気抜き弁を取り付けることである。

制御装置および吸排気システムは、吸排気とスプレーが同時に行われないように調整しなければならない。これは明らかにエネルギーのロスであって、寒冷な気候ではスプレーは冷たい空気に触れて凝結しやすく、凝結水が金属の表面の腐食を早める。

換気は手動によっても自動的にも操作することができるが、自動操作が推奨される。過剰な吸排気を防止するために、システムをしばしば点検して良く修理して置く。一般には

地上から見ればかりでなく乾燥機の屋根にあがって調べる。吸排気の検査およびメンテナンスには次のようなことが必要である：

- ① 二個あるいはそれ以上の吸排気の蓋、あるいはダンバーを繋ぐ連結システムは良く研いでおき、損傷の有無を時々検査し、連結部が摩耗していないかどうかを確かめる。ピン、ヒンジ、ロッド、チェーンおよびレバー等で曲がったり壊れたり摩耗したりしているものは、真っ直ぐに修理しあるいは交換する。
- ② 吸排気口の蓋あるいはダンバーは、それが閉じている時に検査する。もし部分的に開いている場合は、連結部を調整してしっかり閉まるようにする。この調整は多くの乾燥機では容易にできる。
- ③ 吸排気口がしまっている時に余分の漏れがある場合には、吸排気口のまわりにパッキンを付ける。
- ④ 過剰な吸排気を避ける。吸排気に必要な分だけダンバーが開くように連結部を調整する。強い風が吹くと制御弁に空気を送らないのに吸排気口の蓋が開いたままになっていることがある。これは錘で防げる。
- ⑤ 吸排気機構を制御装置に繋いで、空気の漏れを防ぐ空気ラインあるいは電気回路を点検する。
- ⑥ 吸排気機構を操作する圧搾空気は、常に乾燥した潤滑油のいらぬものにしておく。空気供給ラインに水が入ると、寒い気候の時にはモーター弁を凍結させることがある。もし乾燥した圧搾空気が得られない場合は、空気供給ラインを凍結しないように保護することが必要である。

4.7 空気循環システム

乾燥機内における空気の均一な循環は適正な乾燥には極めて重要であって、それは空気循環装置の良い管理によってできる。空気循環システムの構成部材に故障や損傷があると、乾燥時間が長くなり乾燥が不均一になることもある。したがって、空気循環システムの構成部材のメンテナンスと手入れが重要である。

空気循環システムの定期的な検査でチェックすべき項目およびメンテナンスの手続きは次のようなものである：

- ① ファンモーター
 - a. 製造業者の指示にしたがってファンモーターを研磨し、漏れのあるベアリングシールは交換する。
 - b. 翼および電機子は埃がないように保ち、埃を払うには乾燥した圧搾空気を使う。
 - c. モーターケースおよびアンカーボルトはしっかり締めておく。
 - d. 乾燥機の外にあるファンモーターを外気から保護する。
 - e. ファンモーターが過熱するのを防ぐために制御室を適当に換気する。
 - f. 乾燥機内では高温高湿に耐えるように設計されたファンモーターを使用する。
 - g. ファンモーターが過剰負荷にならないように保護する。少し、過剰な負荷がかかったらそれを止めるリレーを付けるべきである。
 - h. 損傷しあるいは著しく摩耗したモーターは修理または交換する。
 - i. 電気回路すべての要素を定期的に検査し、それらを良い条件のもとに保つ有資

格の電気技術者を置く。

② ファンのシャフト

- a. 製造業者の指示にしたがってシャフトのベアリングを研磨し、洩れのあるシールを交換する。
- b. ベアリングの支持材を強固にし、シャフトに接合させておく。
- c. ファンシャフトを水平的にも垂直的にも整合させる。整合が悪いとファンモーターに過剰の負荷がかかり、シャフトとベアリングを痛める。
- d. 軸受合金のベアリングをしっかりと締めておく。
- e. 損傷しあるいは著しく摩耗したベアリングを交換する。
- f. キー溝が著しく摩耗したものは交換する。
- g. シャフトの継手をしっかりとさせておく。
- h. 損傷したファンシャフトは交換する。

③ プーリーおよびベルト

- a. プーリーはシャフトにしっかりと締め付けて置く。
- b. ベルトの摩耗あるいはスリップを防止するために著しく摩耗したあるいは損傷したプーリーは交換する。
- c. 製造業者の支持にしたがってベルトを締める。締め過ぎてはならない。
- d. 伸びすぎたり損傷したベルトは交換する。
- e. 多数のベルトのシステムではすべてのベルトが一樣に引っ張られゆるみのないようにする。

④ ファン

- a. ファンの小さな損傷は修理し、著しい損傷のあるものは交換する。
- b. ファンをファンシャフトにしっかりと固定する。
- c. ファンの翼の先端とファンの保護カバーの間の隙間を見て製造業者の勧告に適合しているかどうか調べる。
- d. すべてのファンが同じ方向に回転し、適当な時期に逆転することを確認する。これは水平シャフトファン配置の場合に特に重要である。

注意：ファンが動いている時にチェックしなければならないことに特に注意しなければならない。ファンが動いている時にファンデッキに立たないで、梯子の上に立ってファンデッキの端部から見る。動いているファンの検査中の不注意から大きな怪我をすることがある。

⑤ ファンの遮蔽板とフローア

- a. ファンの遮蔽板とフローアの損傷は修理または交換する。
- b. ファンの遮蔽板のアンカーボルトを堅固にして置き、ファンの振動と損傷を最小限にする。

⑥ 棧積材の遮蔽システム（上部、床面および端部の遮蔽板を含む）

- a. 傷んだ遮蔽板は修理または交換する。
- b. 遮蔽板の蝶番を研磨しておく。
- c. 遮蔽板システムのプーリーとケーブルを良い状態に保っておく。

⑦ 油管路、接合部およびベアリング

- a. 油管路、接合部およびベアリングでの洩れは安全性を減じ、火災の危険を増加し、作業環境を悪化させるし、製材を汚染することもある。
- b. 油洩れや接合部の弛みを定期的に検査し、整備する。
- c. 損傷した管路は交換する。

4.8 乾燥機の台車

乾燥機の台車をしばしば検査し、メンテナンスを行うことによって時間が節約され事故が最小限になる。適当に研磨しておくことは台車の寿命を長くする。推奨されるメンテナンスの手続きは次の通りである：

- ① 台車のフレーム、車軸およびベアリングに損傷のあるものは修理または交換する。
- ② 台車フレームのボルトとナットは十分締めておく。
- ③ 金属または木材の横の支持材で損傷のあるものは修理または交換する。
- ④ 能力以上に積載できる台車はないので、十分な台数を確保しておく。

4.9 保護コーティングの使用

乾燥機の（金属）の部品は錆がでたり腐食したりするので、時々検査することが必要である。錆を取り去ってその部分を適当な保護ペイントでコーティングする。そのようなペイントは乾燥機の製造業者が用意している。早く腐食する部分は扉の周辺で、アルミニウムのパネル式プレファブ乾燥機で構造部材の低いほうから41～61cmの部分、鋼製の柱または桁が乾燥機の床や壁に接している所、長い間に凝結水が溜まる場所などである。ブロックおよびコンクリートの乾燥機では、湿度と凝結に耐えて石造りを保護する耐熱耐湿塗料が必要である。石造り乾燥機の外壁には使ってはならない。それは湿気が壁面に滞留して構造の破壊を早めるからである。

4.10 乾燥機の周辺の保全とメンテナンス

乾燥機の周辺を良く保全する事は重要である。怪我、装置の損傷、台車の故障、あるいは火災の可能性は、乾燥機、制御室、およびその周辺を良く清掃しておくことで最小限にすることができる。実施すべき管理は次のようなことである：

- ① 棧積から外した栈木は速やかに拾って適宜栈木ラックに入れておく。
- ② 棧積材から落ちた製材は拾ってもとの位置に戻すか倉庫に戻す。
- ③ 乾燥機の屋根に溜まった鋸屑その他の残材は取り除く。
- ④ 乾燥機の通路に障害物がないようにする。
- ⑤ できれば、通路に飛び出した栈木や製材を正しい位置に戻し、作業員が怪我をしないようにする。空気が流れる空間あるいは棧積材の材間の間に突き出た板は、製材の間を通る空気の速度が不均一になる原因となる。
- ⑥ ベアリング、ファン、送風機、およびモーターの油洩れを止め、できるだけ速やかに漏れた油を拭き取る。ベアリングから滴る油やグリースは受け皿を使って受け、密閉した容器に入れおく。
- ⑦ 制御室は常に清掃して埃が溜まらないようにし、常に通風を良くする。
- ⑧ 乾燥機の台車の出し入れの設備を良く整備し、補修しておく。

- ⑨ 階段および梯子をしばしば検査し、弱くなっている部材を直ちに交換する。
- ⑩ 屋根に沿った通路を良く補修しておき、吸排気口、吸排気口のモーター弁、吸排気口の連結部、ベアリングのオイルキャップ、その他乾燥機の部品の検査に支障がないようにしておく。

4.11 乾燥機のメンテナンスと運転操作における問題の原因

乾燥のうまく行かない原因を速やかに発見する助けとして、この節では問題の一般的な発生源の概要を示した。

もしも設定乾球温度が通常の時間で到達しないということであれば、その原因は次の通りである。

- ① 蒸気の圧力が足りない。
- ② 熱の伝達が不十分である。
- ③ 加熱コイルが傷んでいるか、水または空気が詰まっている。
- ④ 蒸気供給あるいはドレイン管路の手動弁が閉まっているか部分的しか開いていない。
- ⑤ 自動電動弁が開かない。
- ⑥ 蒸気トラップに欠陥がある。
- ⑦ 蒸気トラップの回りのバイパスの弁が開いている。
- ⑧ ボイラーへの戻りの管路の逆圧が大きすぎる。
- ⑨ 換気が過剰である。
- ⑩ 乾燥機構造および回りの扉からの洩れが大きすぎる。
- ⑪ 制御機器のシステムが次の理由から機能していない。
 - a. 空気または電気の信号が制御装置から電動弁（モーター弁）に伝達されていない。
 - b. センサー（ガス充填あるいはRTD）が適正に作動していない

もしも乾球温度が設定値以上に上がるようであれば、その原因は次の通りである。

- ① 自動電動弁（空気圧モーター弁）が漏れている。
- ② 電動弁（空気圧モーター弁）が開いたままになっている。
- ③ 熱が隣の乾燥機との共通の壁を通して伝わっている。
- ④ 蒸気スプレイからの熱が過剰である（乾湿球温度差の小さい時、あるいは乾燥スケジュールがコンディショニングの時に多い）。

もしも湿球温度が普通の長さの時間で設定に達しないとすれば、その原因は次の通りである。

- ① 蒸気管路に入る蒸気の量が次の理由で不十分である。
 - a. 蒸気システムへの蒸気の供給が不足している。
 - b. 自動電動弁が開かない。
 - c. 送りラインの手動弁が閉じているか部分的にしか開いていない。
 - d. 蒸気管路の穴またはノズルが詰まっている。

- ② 乾燥機構造または扉の周辺からの熱および蒸気の洩れが多すぎる。
- ③ 換気が過剰である。

もしも湿球温度が引き続き設定値よりも上昇するようであれば、その原因は次の通りである。

- ① 蒸着管路の電動弁（空気圧作動弁）に洩れがある。
- ② 蒸着管路の電動弁（空気圧作動弁）が開いたままになっている。
- ③ 乾燥機の床に水が入っている。
- ④ 乾燥機の蒸気または水の管路が洩れている。
- ⑤ 電動弁の回りのバイパス管路の弁が開いている。
- ⑥ 換気が不十分である。
- ⑦ 湿球のガーゼが乾燥しあるいは埃が付いている。

もしも製材の乾燥が不均一であったり、あるいは乾燥機内に高温や低温の領域が発生したために品質低下が著しい場合があるとすれば、その原因は次の通りである。

- ① 高温領域は次の理由による。
 - a. 棧積方法の誤りおよび不適性な遮蔽によって加熱コイルを通る空気速度が平均よりも大きい。
 - b. 乾燥機の隔壁に共通の壁を通して熱が洩れている。
 - c. 加熱コイルに洩れがある。
- ② 低温領域は次の理由による。
 - a. 乾燥機の壁の割れまたは扉の周辺を通して冷たい空気が入ってくる。
 - b. ファンまたはファンモーターが損傷している。
 - c. 誤った棧積み方法あるいは不適正な遮蔽により空気が短絡経路を通っている。
 - d. コイルからの凝結水の排出が悪い。
 - e. 吸排気口を通しての下向き通風がある。

乾湿球温度の記録が正しくないのは次の理由による。

- ① 御設備の較正ができていないかまたは破損している。
- ② 制御弁の上の空気の循環が不適正である。
- ③ 制御弁あるいは毛細管が露出していて、加熱コイルや送り管路からの熱放射を受けているか、あるいは蒸気噴射管からの熱の影響を受けている。
- ④ 乾球に水が付いている。
- ⑤ 湿球のガーゼが汚れていたり乾燥していたり、あるいはガーゼが不適当な布でできている。
- ⑥ 湿球の水受けへの水の流れが早すぎたり遅すぎたりしている。
- ⑦ 湿球にガーゼがない。
- ⑧ 誤って湿球でなく乾球にガーゼが付いている。
- ⑨ 記録計の記録紙が間違っている。
- ⑩ ガス充填あるいは液-蒸気システムで過剰な毛細管が乾燥機に集まっている（余分の

毛细管は乾燥機でなく制御室に集めるのが良い)。

表 4-1 色々なタイプのトラップの作動音

トラップのタイプ	適正に作動している トラップの作動音	適正に作動していない トラップの作動音
ディスク式(インパルス または熱力学的)	ディスクが開く時および閉じる ときのパチンという音	通常開く故障 開いている時--毎分 60サイクル以上
機械式(バケットタイプ)	バケットの開閉の時の周期的な音	開いている時--蒸気の流れ の音 閉まっている時--音がしな い
サーモスタット式	負荷が中ないし高い時は周期的 排出の音：負荷が軽い時は音が しない	閉まっている時--音がしな い

表 4-2 色々な蒸気圧でのパイプの表面温度

蒸気圧(ゲージ圧 1 kgf/cm ²)	蒸気温度(°C)	パイプの表面温度(°C)
1. 1	121	114 - 107
3. 5	148	139 - 128
7. 0	170	161 - 151
10. 5	186	176 - 165
14. 0	198	187 - 176
31. 5	238	225 - 212