

蒸熱処理装置の原理と特性



蒸熱消毒研究会

封鎖・殺菌の自動化技術

目 次

1. まえがき	3
2. 蒸熱処理装置の原理	
1. 差圧方式	5
2. 吹込方式	10
3. 水平気流棚方式	11
3. 差圧方式の特性	12
果実別果実センサーの差し方	14

食料衛生技術

【写真提供】
三州産業株式会社
株式会社竹中工務店
株式会社ダイヤモンドスター

1 まえがき

ミカンコミバエ種群、ウリミバエ、チチュウカイミバエ等は生果実の大害虫として世界的に有名で、未発生国は厳重な植物検疫を行って、これらミバエ類の侵入阻止に努めています。

植物検疫で最も厳しい処置は、その害虫の寄主植物の輸入を禁止することですが、輸出国が完全な殺虫技術を確立した場合、一定の処理を条件に輸入を認めるというのが世界のすう勢です。現在、生果実を対象としたミバエ類の殺虫には主に蒸熱処理及び低温処理の二つが利用されており、それぞれ生果実に適した処理方法が選ばれています。

蒸熱処理が植物検疫の処理方法として初めて取り上げられたのは1929年(昭和4年)のことで、アメリカ合衆国フロリダ州にチチュウカイミバエが侵入し、まん延を防止する措置として、同州から他州へ移動する生果実を全て蒸熱で処理することになったものです。日本の植物検疫で蒸熱処理が初めて登場したのは1969年(昭和44年)のことで、ハワイ産パパイヤの輸入を解禁するための措置でした。蒸熱処理基準はアメリカの試験結果を受け入れたものですが、日本の輸入検査で生きたミバエ幼虫が発見され、解禁後間もない1970年(昭和45年)に蒸熱処理が中止されました。

その後は、当時のもう一つの処理方法であったEDB剤によるくん蒸方法に移行しましたが、本剤も人の健康に害を及ぼす恐れがあるとの理由で1980年代(昭和55年)の前半に使用中止となり、再び蒸熱処理が登場しました。

再登場した蒸熱処理装置は“差圧方式”と呼ばれ、差圧を利用して強制的に空気の流れを作り、果実と果実の間の全ての間隙を差圧により蒸熱を通過させ、すべての果実にむらなく蒸熱が作用する方式が採用されました。この蒸熱処理装置はハイテク機器が装備され、高性能の温度センサーや温度を0.1℃、湿度を1%刻みで正確に制御できるコンピューターが組み込まれており、日本のメーカーにより開発されたものです。現在、蒸熱処理を条件に日本に輸入されているほとんどの生果実は、この方式の処理装置で処理されています。

ハワイ産パパイヤの解禁以降、マンゴウ、イエローピタヤ、マンゴスチン、レイシ等の品目や輸出国が増える中で、事故もなく長年にわたり蒸熱処理が行われてきました。しかし、残念なことに、2002年(平成14年)にフィリピン産パパイヤからミカンコミバエの生きた幼虫が発見される事故が発生しました。この原因は、施設側が蒸熱処理装置メーカーの保守管理を無視して補修改造を行い、十分な性能が確保されないまま使用されていたことが事故の発生につながったものと考えられています。

蒸熱消毒研究会では、わが国で開発された蒸熱処理機について理解を深めていただくため、差圧式蒸熱処理装置の原理、従来の吹込式や水平気流棚方式処理装置との相違点等について解説書を作成しました。本資料が関係者の参考になれば幸いです。

なお、わが国が蒸熱処理を条件に輸入を認めている生果実は、2008年(平成20年)8月現在、次表のとおりです。

品目	国名又は地域名	解禁年次	品 種	処 理 基 準
パパイヤ	ハワイ	昭和44年	ソロ種	飽和蒸気で生果実の中心温度が47.2℃になるまで処理
	フィリピン	平成6年	ソロ種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で70分間処理
	台湾	昭和57年	ソロ種	相対湿度40～60%の条件下で、生果実の中心温度が一定の上昇率で43℃まで上げ、引き続き飽和蒸気により中心温度が47.2℃になるまで処理
マンゴウ	フィリピン	昭和50年	マニラスーパー種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で10分間処理
	タイ	昭和62年	ナンカンワン種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46.5℃にし、46.5℃以上で10分間処理 生果実の中心温度を一定の上昇率で43℃に上げ、その後飽和蒸気で、生果実の中心温度を47℃にし、47℃で20分間処理
			ナンドクマイ種 ビムセンダン種 ラッド種 マハチャノ種	飽和蒸気で生果実の中心温度を一定の上昇率で43℃に上げ、その後、生果実の中心温度を47℃にし、47℃で20分間処理
			アーヴィン種 ハーティン種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46.5℃にし、その温度以上で30分間処理
	台湾	昭和57年	アーヴィン種 ハーティン種	飽和蒸気で生果実の中心温度を46.5℃にし、その温度以上で30分間処理
	オーストラリア	平成6年	ケンジントン種 R2E2種 ケイト種 ケント種 バルマー種	飽和蒸気で生果実の中心温度を47℃にし、47℃以上で15分間処理
	ハワイ	平成12年	ケイト種 ヘイデン種	飽和蒸気で生果実の中心温度が47.2℃になるまで処理
インド	平成18年	アルフォンソ種 ケサー種 チョウサ種 バンガンバリ種 マリカ種 ラングラ種	飽和蒸気で段階的に庫内温度を50℃以上とし、生果実の中心温度を47.5℃にし、47.5℃以上で20分間処理	
イエローピタヤ	コロンビア	平成11年		飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で20分間処理
マンゴスチン	タイ	平成15年		相対湿度50～80%の蒸気を利用して、一定の上昇率で43℃に上げ、その後飽和蒸気で生果実の中心温度を46℃にし、46℃以上で58分間処理
レイシ	台湾	昭和55年		(1) 蒸熱処理 飽和蒸気で生果実の中心温度を30℃から41℃まで45分以内で直線的に上げ、その後生果実の中心温度を46.2℃にし、46.2℃以上で20分間処理 (2) 低温処理 蒸熱処理終了後、6時間以内に生果実の中心温度を2℃にし、2℃42時間低温処理
	中国	平成6年		(1) 蒸熱処理 飽和蒸気で生果実の中心温度を30℃から41℃まで50分以内で直線的に上げ、その後生果実の中心温度を46.5℃にし、46.5℃以上で10分間処理 (2) 低温処理 蒸熱処理終了後、6時間以内に生果実の中心温度を2℃にし、2℃で40時間低温処理

2 蒸熱処理装置の原理

1. 差圧方式

●三州産業(株)製

a) パネルタイプ

生果実を積み込んだ底に孔の開いたプラスチック製のカゴを積み上げて煙突状の処理槽を作ります。この上部に軸流ファンを乗せたラッパ状のフードをかぶせ、ファンを作動させることによって1つの差圧ユニットにします。この差圧ユニットを温湿度コントロールされた空気が循環しているパネル処理庫の中に複数設置してあるのがパネル方式の蒸熱処理装置です。

通常1つのユニットにカゴを42個(1面6個の7段積)セットします。

標準的なマンゴウで1ユニット当たり約530kg処理できます。

1つのパネル処理庫に設置する差圧ユニットの数により、1バッチ当たりの処理量が決まってきます。(差圧ユニット10組の場合、 $530\text{kg} \times 10\text{組} = 5,300\text{kg}$ /バッチ)

但し、1バッチ当たりの処理量が少ない場合は、果実をセットした差圧ユニットのファンのみ作動させることにより無駄のない処理ができます。

b) コンテナタイプ

パネルタイプと同じプラスチック製のカゴを積み上げ煙突状の処理槽を作ります。このユニットをコンテナ状の処理庫に複数セットし、複数個の差圧ファンを作動させることにより温湿度コントロールされた空気が処理庫全体の各ユニット内の果実を包み込みます。コンテナ方式の場合、処理庫全体が差圧となります。

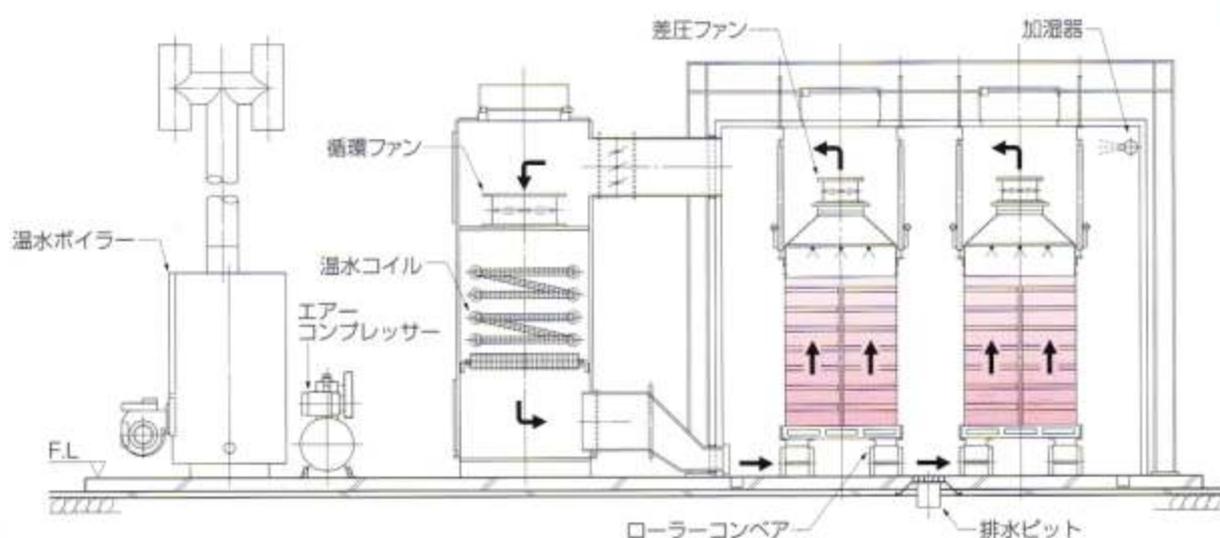
1つのユニットにカゴを36個(1面6個の6段積)セットします。

標準的なマンゴウで1ユニット当たり約460kg処理できます。

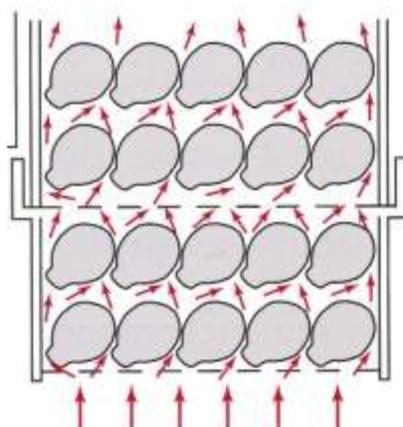
1つのコンテナ処理庫に設置するユニットの数により、1バッチ当たりの処理量が決まってきます。(ユニット10組の場合、 $460\text{kg} \times 10\text{組} = 4,600\text{kg}$ /バッチ)

1バッチ当たりの処理量が少ない場合は、各ユニットの積み込み量を減らし各ユニットの積み込み量を均一にして処理します。

三州産業（株）製の蒸熱処理装置の概略

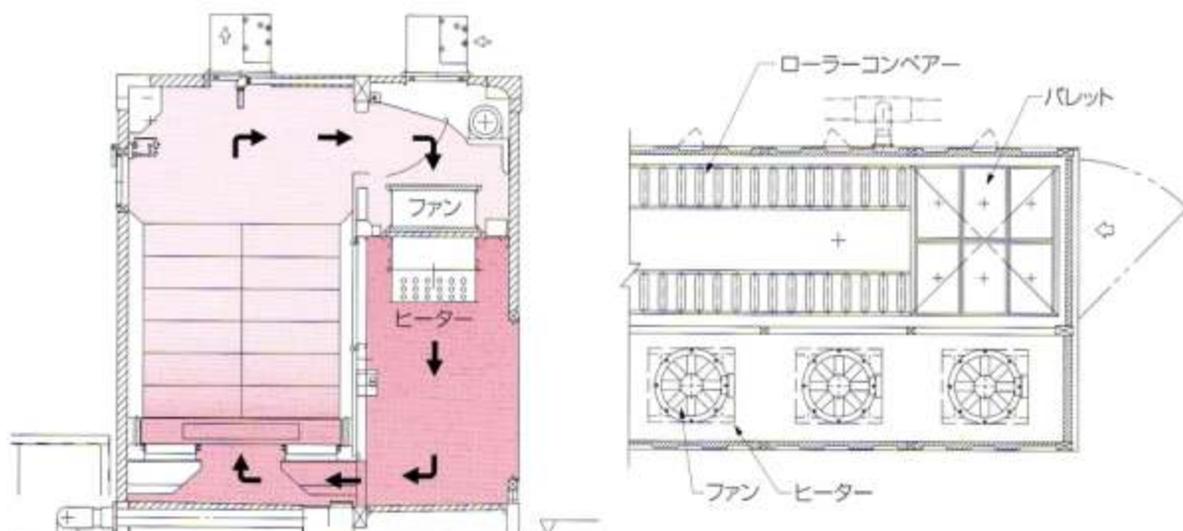


パネル型 EHK-500MP



■パネルタイプ

形式	EHK-500MP	EHK-1000MP	EHK-1200MP	
処理量(マンゴウの場合)	5,000Kg/回	7,500Kg/回	9,000Kg/回	
処理パレット数	10パレット	15パレット	18パレット	
処理室(mm)	L4,200×W7,200×H3,500	L6,000×W7,200×H3,500	L6,000×W8,400×H3,500	
性能	温度範囲	室温+10℃～60℃		
	湿度範囲	55%～95%RH		
	温度調節幅	0.1℃		
	湿度調節幅	0.1%RH		
定格	電源	3Φ 50/60Hz 200V		
	最大消費電力	94Kw	140Kw	150Kw
	最大消費水量	116 ℓ/hr.(蒸熱時)	165 ℓ/hr.(蒸熱時)	194 ℓ/hr.(蒸熱時)
		630 ℓ/min.(冷却時)	945 ℓ/min.(冷却時)	1134 ℓ/min.(冷却時)
最大消費油量	20.0 ℓ/hr.(蒸熱時)	26.4 ℓ/hr.(蒸熱時)	40.7 ℓ/hr.(蒸熱時)	



コンテナ型 EHK-200MC

■コンテナタイプ

形式		EHK-230MC	EHK-460MC
処理量(マンゴウの場合)		2,300Kg/回	4,600Kg/回
処理パレット数		5パレット	10パレット
処理室(mm)		L6,320×W2,350×H3,160	L12,500×W2,350×H3,160
性能	温度範囲	室温+10℃~60℃	
	湿度範囲	55%~95%RH	
	温度調節幅	0.1℃	
	湿度調節幅	0.1%RH	
定格	電源	3Φ 50/60Hz 200V	
	最大消費電力	115Kw	230Kw
	最大消費水量	27ℓ/hr.(蒸熱時) 300ℓ/min.(冷却時)	68.5ℓ/hr.(蒸熱時) 600ℓ/min.(冷却時)

● (株)竹中工務店製

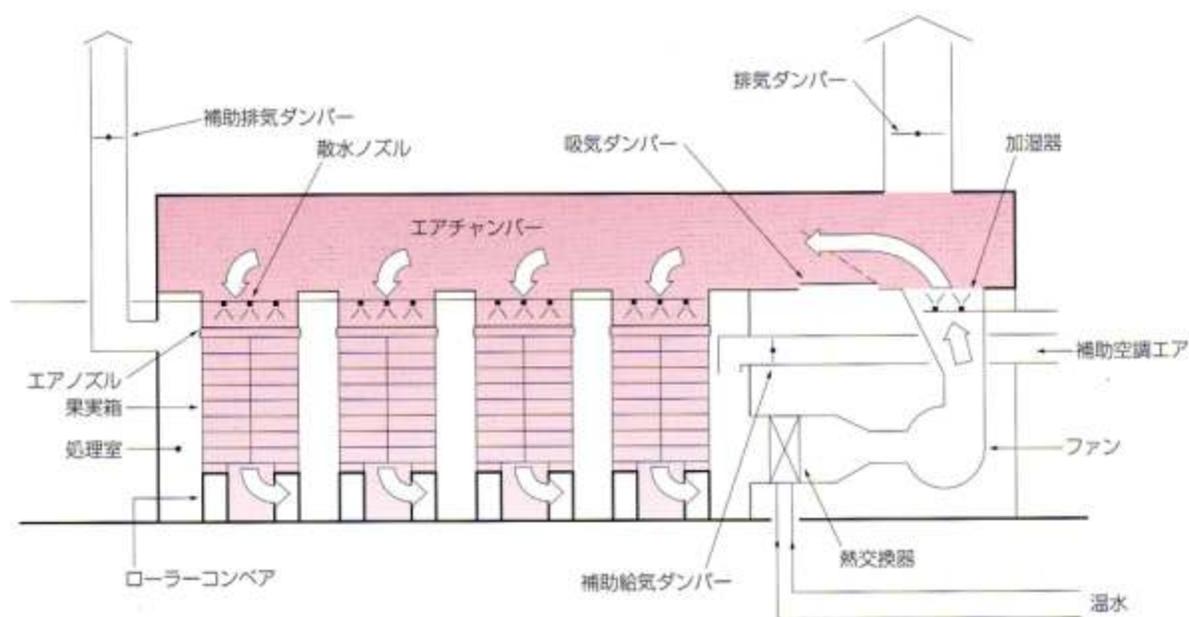
処理庫全体を1つの処理ユニットとして、強制循環ファンを用いて差圧状態を作り処理するシステムです。処理庫内に底に孔の開いたコンテナに果実を充填して、1パレット上に積み上げて煙突状の処理槽を作ります。

最大20パレット(1パレットは1段に8コンテナの7段積みで計56コンテナ、果実重量1t)処理ができます。

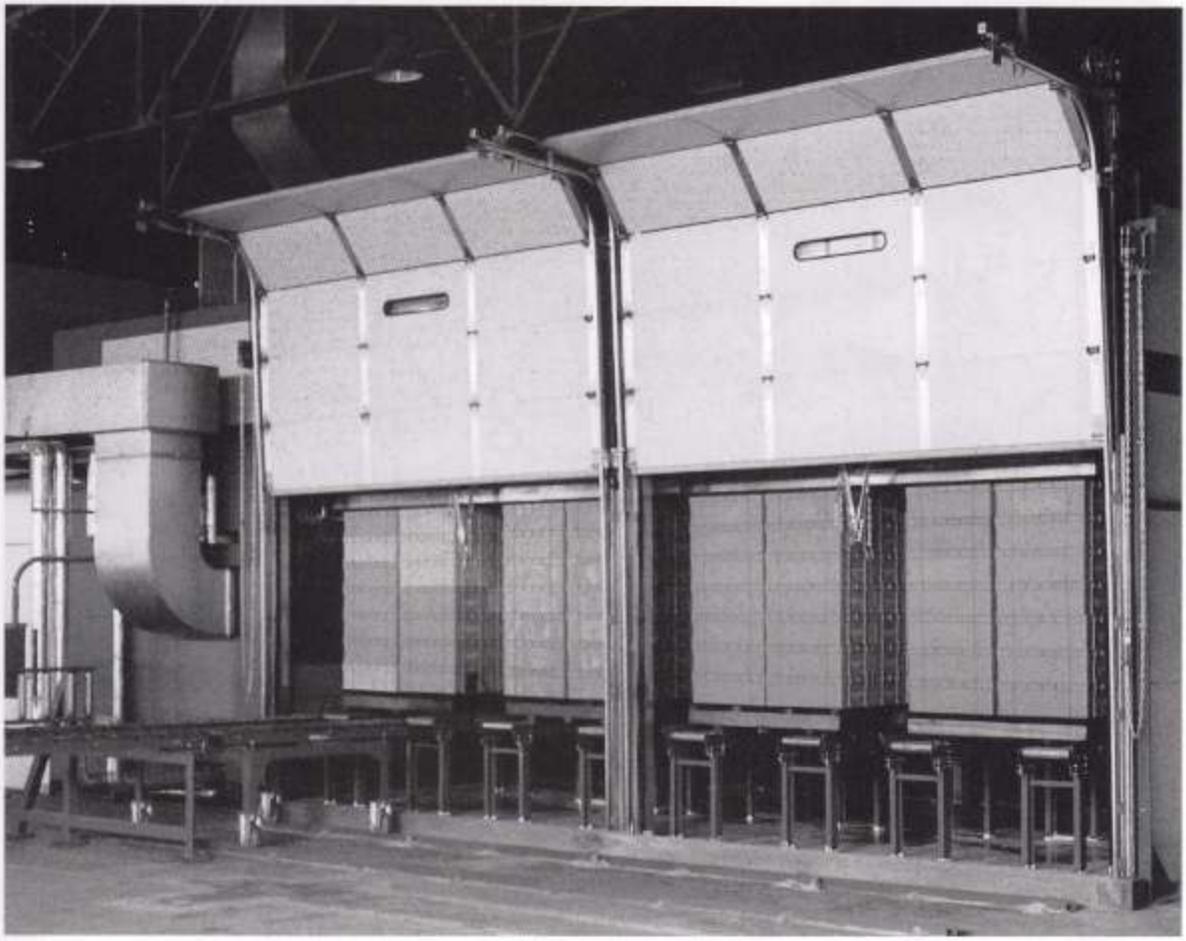
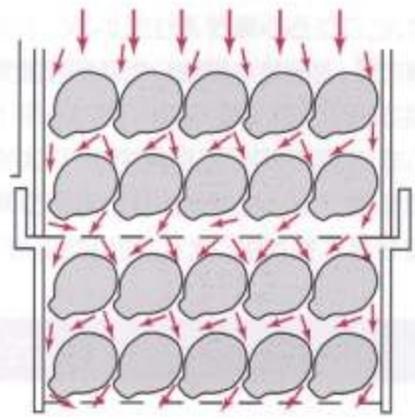
処理中は下図のエアチャンバーが伸縮することにより、各パレットと結合して差圧に必要な密閉状態を作り出し、温湿度制御された空気が上部より入り、果実の隙間を通過し下部へ抜けるようになっています。

処理中は常に一定の風量を循環させて温湿度分布を安定させ、果実の温度上昇にバラツキがないよう配慮して最良の状態で行います。果実が所定の温度を確保した後に、排気ダンパーと吸気ダンパーを開放して、外気を庫内に取り入れて果実を冷却します。

(株)竹中工務店製の蒸熱処理装置の概略



此種蒸籠式蒸籠係由多個蒸籠單元組成，每個蒸籠單元均設有蒸籠蓋及蒸籠體，蒸籠蓋及蒸籠體均設有蒸氣孔，蒸氣可經由蒸籠蓋及蒸籠體之蒸氣孔排出，使蒸籠內之食物均勻受熱，且可節省能源。



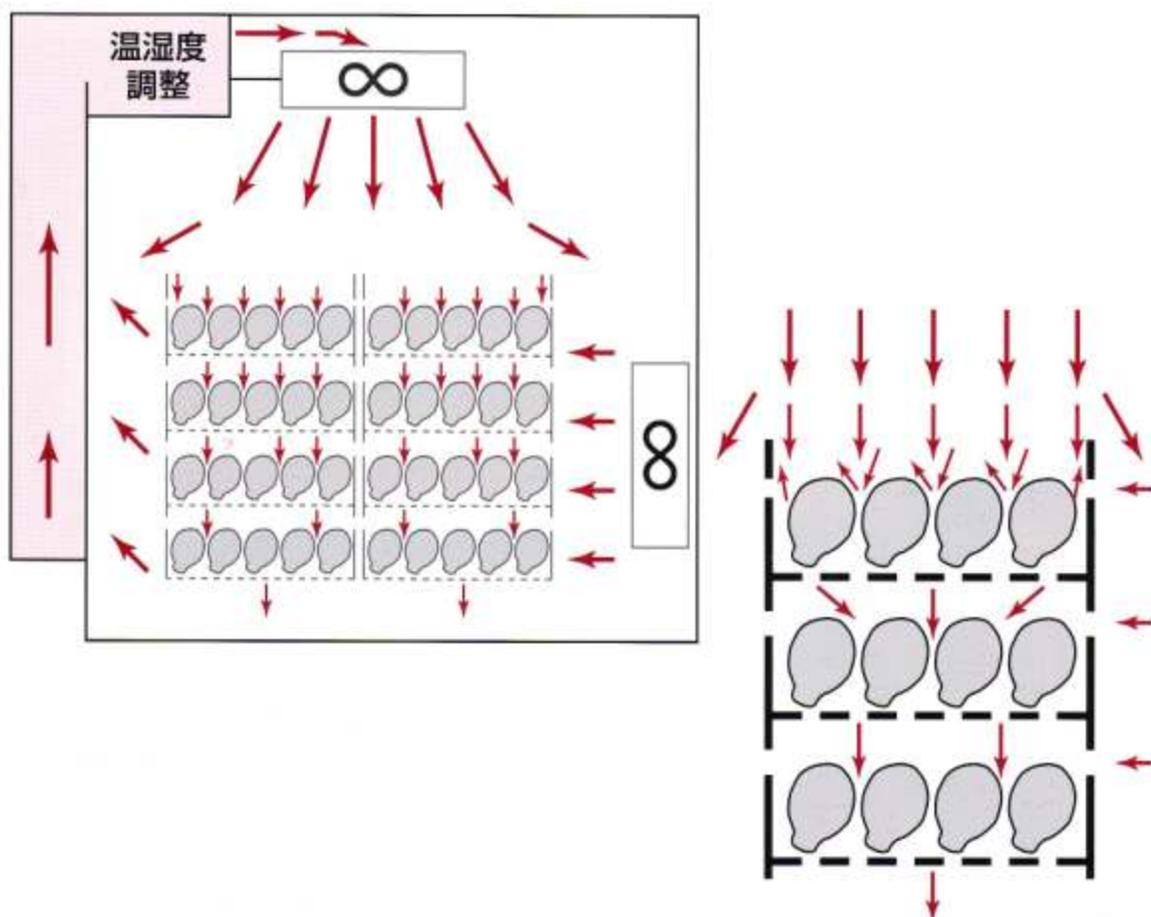
2.吹込方式

1960年代後半まで使用された方式です。処理庫内のパレット上に生果実を収容した木箱を数段に積み上げます。木箱の底と側面の棧に隙間があり、風が通る構造です。また、箱の横面に手持ちのための孔があり、ここからも風が入ります。

処理庫には、温湿度を調整した蒸熱が連続して送り込まれ、部屋の天井及び側方に置かれた強力なファンにより、生果実の箱に風が送られます。

この方式は、気流の径路が拘束されていないため、抵抗の少ない箱外側に大半の風が流れ、抵抗の多い箱内部には風が少しかいかないという欠点があります。そのため上位の果実と箱内部の果実との間に、蒸熱の接触量に差が生じます。短時間処理の場合、果実の置かれた位置によって温度上昇に差が生じます。

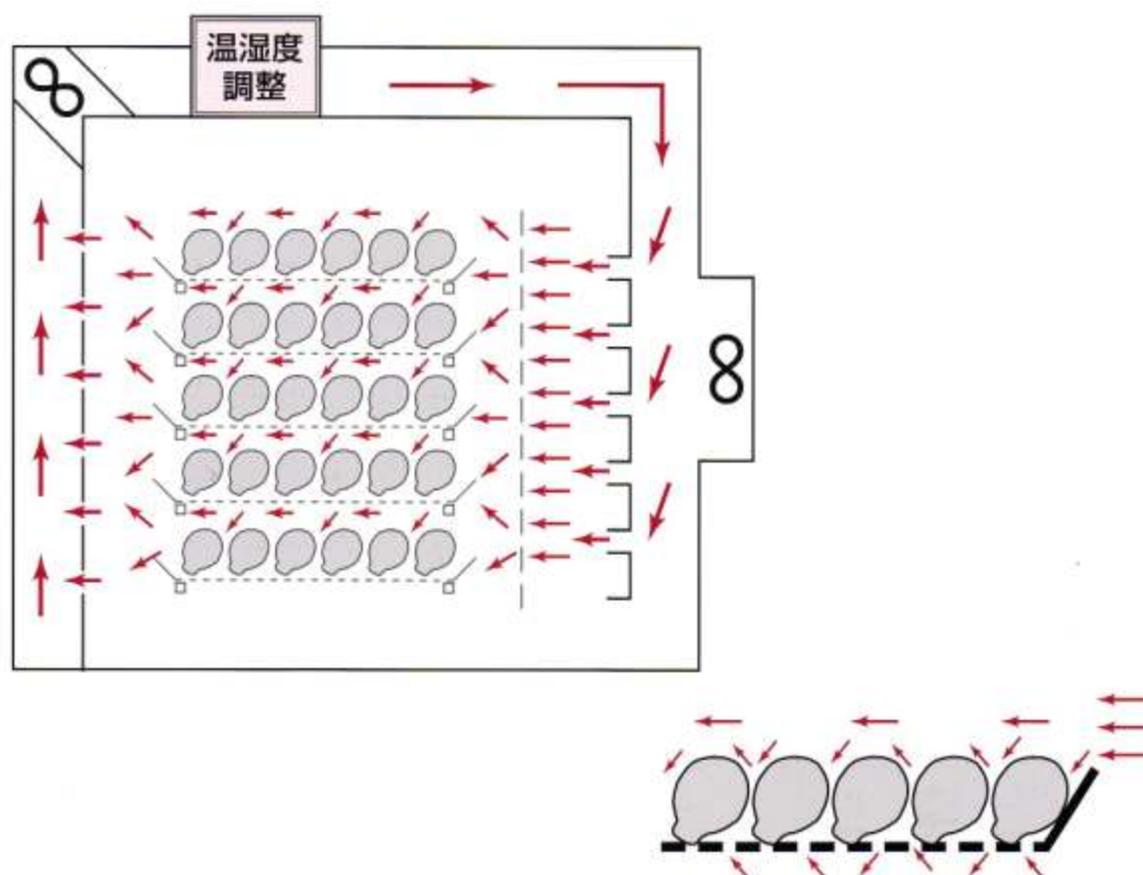
吹込方式蒸熱処理装置の概略



3.水平気流棚方式

吹込方式の欠点を補った改良型で、蚕の飼育棚のような間隔をとった多重棚構造が特徴です。各棚毎に一層に並べられた果実が、すべて横風にあたるよう工夫されています。蒸熱と果実の接触は、吹込方式に較べるとかなり良く、差庄方式に近づいたといえます。風は、果実の上面を多く通過し、また、棚の下の開放部分からも作用します。しかし、基本的な問題として気流径路の拘束がないため、抵抗の少ない果実上面部に多くの風が流れ、果実と果実の接触部及び果実下部への風の流れは少ないこととなります。そこで、「邪魔板」等を適当に配置して、乱気流を作り、それでカバーする対応策が考えられていますが、差庄方式に較べると熱効率は均等でなく、処理毎に温度の上昇に再現性が得られないという問題があります。

水平気流棚方式蒸熱処理装置の概略



3 差圧方式の特性

差圧方式の特性について少し詳しく述べることにします。

①**差圧を利用した強制循環**が第1の特徴です。処理庫の中に、果実の収容容器を利用してチムニー（煙突の束）を作り、ファンの作動によって生じる差圧を利用したものであることは、原理の項で述べたとおりです。

差圧方式は蒸熱が処理槽内の果実と果実の隙間を強制的に通り返る仕組みです。ですから、積み込まれた果実全部に蒸熱がむらなく作用します。積み込んだ果実の量が少なくて、ある程度多い方が、熱効率は高まります。果実の量が少なくて荷のない部分の通気抵抗が少なくなるため多くの空気がこの部分を通り、通気抵抗の大きい荷のある部分を通る空気が少なくなり、果実の温度上昇に寄与する空気が効率的に流れなくなりますが、果実の量を多くし、荷が全体にまんべんなく配置されると、全体の通気抵抗が一様になるため、空気と果実の熱交換が効率的に行われます。

②**果実の収容容器（コンテナ）**が第2の特徴です。容器は上面が空いた立方体で、4側面は壁状、底面は空気が自由に通過するよう多数の小孔が規則正しく開けられています。この孔は、処理する果実の種類や大きさによって変えなければならないことがあります。

当然のことですが、孔の直径は果実の直径より小さいことが必要です。また、果実が密着して孔をふさぐと風が通らなくなります。孔の上に果実が位置した場合でも、風が抜けるように孔の開け方に工夫がされています。

差圧方式の基本は、この孔あき容器にあるといえます。孔と通風との間には次の関係があります。

イ) コンテナ内を通る蒸熱の量は、孔を通過する風速に比例する。

ロ) 差圧の圧力は、孔を通過する風速の2乗に比例する。

ハ) 通風量は、果実中心温度の上昇時間に反比例する。

こうした関係からいえることは、果実温度を早く上げるため、風量を多くしても、圧力ばかりが高くなり、効果は低いこととなります。それに、果実の種類による大小、あるいは積み込んだコンテナの高さ等によっても差がでます。

その果実、果実により、自ずと適正値がありますので、あらかじめ実験を繰り返し、その果実に合った処理の仕方を探し出すことが必要です。

③**クイックランアップ(短時間での温度上昇)が可能**ことが第3の特徴です。差圧方式以外では、クイックランアップは不可能です。パパイヤ処理の場合、12時間というような長時間処理でよいなら、どの方式でも温度は均一に上がります。しかし、5時間で仕上げるとなると、差圧方式以外は温度にバラツキが生じます。さらに短時間で処理したい場合は、これはもう差圧方式以外では不可能です。

差圧方式なら、比較的大型果実のパパイヤでも、100~120分で均一に温度を上昇させることが可能です。こうした能力が、温度上昇についてさまざまなバリエーションを可能にするわけで、果実にダメージを与えない加熱法が選べることになります。

④**果実温度上昇のバラツキの少なさ**、これが第4の特徴です。差圧方式と水平気流棚方式で、同条件の場合、果実温度の上昇にどの程度バラツキの差がでるか、パパイヤで試験を行った結果があります。パパイヤの大きさは470g前後、処理は6~7時間、果実中心温度は47.2℃という条件設定でした。差圧方式では、最初の果実が47.2℃になってから、全部のものが所定温度になるまで40分を要しました。水平気流棚方式の方は90分でした。この能力の違いが果実に与えるダメージに影響します。また、さらに大切なことは、果実温度の上昇を確認する温度センサーの配置数に関係するということです。水平気流棚方式が、処理毎にコールドスポットの箇所が一定しないという、言いかえると、温度上昇に再現性がないという問題があるため、温度確認センサーは、差圧方式よりかなり多くを必要とします。センサーを十分に使用しなければ、コールドスポットを見逃し、最悪の場合、不完全殺虫という事態が生じる恐れがあります。

⑤**処理後果実の冷却が短時間で可能**です。これが第5の特性といってよいでしょう。処理後、早いうちに果実温度を元に戻し、さらには、一定の低い温度に冷却することは、果実の品質保持に直結します。差圧方式だと、冷気を強制循環させることが可能ですから、他方式に比べ短時間で冷却が可能となります。また、さらに、チムニー方式の処理槽を利用してシャワー冷却も可能です。

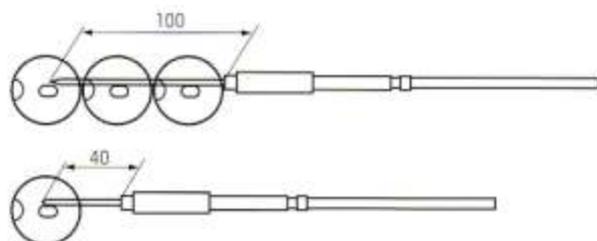
⑥**果実搬送容器がそのまま蒸熱の処理容器**となるため、輸送効率は抜群です。これが第6の特徴であるといえます。

果実別 果実センサーの差し方

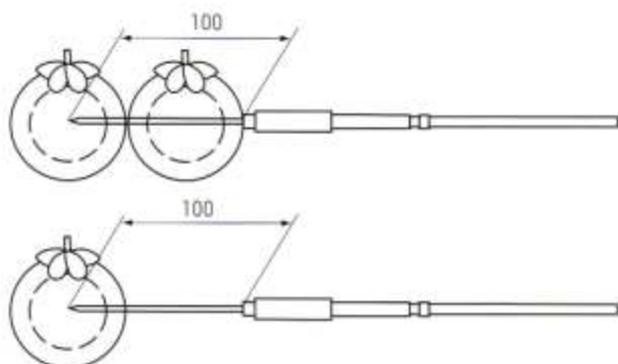
センサーの感温部が果実の中心にくるようにセットする。

下記のセンサーの感温部は先端にある。

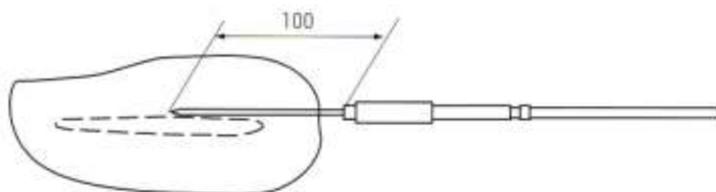
レイシ



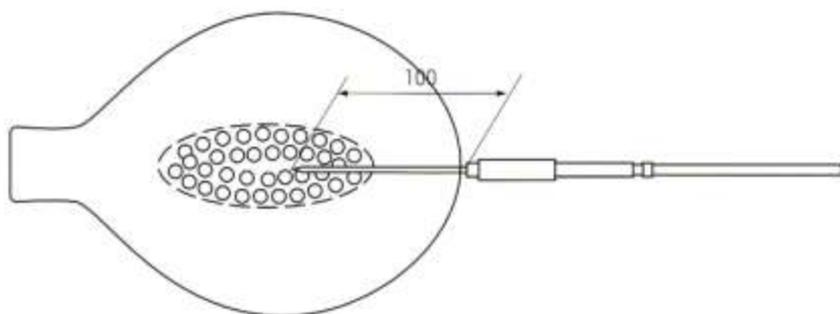
マンゴスチン



マンゴウ



パパイヤ





発行 1995年3月

改訂 2004年6月

2008年9月

発行所 蒸熱消毒研究会

事務局 (社)日本くん蒸技術協会

Japan Fumigation Technology Association (JAFTA)

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6

TEL03-3833-6923

FAX03-3833-6925

差圧方式と水平気流棚方式及び吹込方式の特性比較

項目	差圧方式	水平気流棚方式	吹込方式	コメント
蒸熟と果実の接触面積	広い	普通	狭い	温度上昇時間の遅速に関係
空隙部の風速	早い	多少遅い	遅い	
温度上昇の均一性	均一的に上昇	ほぼ均一的に上昇	バラツク	果実温度確認のセンサー配置数に影響する。
コールドスポットの再現性	再現性あり	多少再現性あり	再現性なし	差圧方式はコールドスポットの発生は少なく、発生した場合も同様の箇所に発生する
コールドスポットの再現性発生箇所(少なさ)	ほとんどない	少ない	多い	
果実中心温度の上昇の速さ	速い	普通	遅い	温度上昇パターンが多くなれば、処理ダメージの回避につながる。また、短時間処理が可能。
処理時間設定の容易さ	簡単	難しい	やや簡単	果実温度確認のセンサー配置数に影響する。
果実の処理容器	輸送容器になる	輸送容器にならない	輸送容器になる	処理容器そのものが輸送容器となる。
収容率	多い	少ない	少ない	
冷却時間	短い	普通	やや長い	
施設の建設コスト	高い	安い	安い	