

真空冷却プロセス・モニタ用湿球センサの形態と適用性*

中島教博**・森嶋 博***・瀬尾康久****・相良泰行****

- * 平成3年度農業施設学会大会にて発表
- ** 宇都宮大学農学部, 〒321 宇都宮市
- *** 日本大学農獣医学部, 〒252 藤沢市
- **** 東京大学農学部, 〒113 東京都文京区

要 旨

真空冷却施設の効率的な運転を行うためには構成機器の適正な制御が必要であり、現在、これらの制御は槽内圧力に基づいて行われている。しかし、実用機の制御法に関する実態調査によれば、品温のモニタに槽内圧力を用いることには限界があることが分かった。そこで、槽内圧力に代わる制御因子、およびそのセンサの開発が必要と考え、湿球温度を真空冷却中の制御因子に選択し、センサとしての可能性を探るために、実用機に設置されている湿球の真空冷却中の温度変化を実測した。その結果、フラッシュポイント以後の品温モニタとして有用であるが、フラッシュポイントを検出するためにはセンサとしての形態を改善する必要があることが分かった。そこで室内実験により、フラッシュポイントの検出が可能な湿球センサの形態を決定し、このセンサを実用機に設置して、真空冷却施設の構成機器の制御因子として湿球センサが十分利用できることを確認した。

キーワード：真空冷却，湿球センサ，フラッシュポイント

1. はじめに

筆者らは我が国に設置されている実用規模の真空冷却施設について、その稼動状況、機器構成、自動制御法、冷却性能および操作法などの実態を調査し、これらに含まれる問題を指摘すると共に、その改善方針について報告した²⁾。この報告の中で特に、青果物を効率的に冷却するためには、①排気系における粗引系から本引系への切り替えがフラッシュポイント(真空冷却中における青果物表面および内部からの多量で急激な水分蒸発の開始点)を目安に行なわれること、②品温などの冷却状況を正確に把握すること、などが要求されることを示し、フラッシュポイントの検出法や適切なセンサの必要性を指摘した²⁾。ところで現在、真空冷却中の青果物の冷却状況を把握するため、①品温、②槽内圧力、③湿球温度などが計測され、実用機の制御・操作はそのほとんどが槽

内圧力を基準にして行われている。この理由としては、フラッシュは槽内圧力が青果物の初期品温に対する飽和圧力にほぼ等しくなると開始され³⁾、槽内の水は最終到達圧力に対する飽和温度にほぼ等しい温度まで冷却され、青果物の品温もそれに準ずると推定されるからである。しかし槽内圧力によって制御する方法では次に示すような点で限界があることが実態調査から判明した。すなわち、①現在実用機で使用されている圧力計の測定精度では十分な目標値設定や制御が困難である、②実用機における実測結果によれば、その大半の青果物は最終到達圧力に対する飽和温度まで冷却されない、③個々の冷却作業の度にフラッシュポイント時の槽内圧力をオペレータが推測し、設定することは困難であり、実際に設定変更が行われている例はほとんど無い、などである。一方、村田ら¹⁾は湿球温度がフラッシュポイントで急激に上昇することを指摘している。この湿球温度の特性はフ

ラッシュポイントを検出し、排気系を粗引系から本引系へ切り替えるためのセンサとして可能性を持つと考えられた。

本研究の目的は①実用機に実装されている湿球センサの形態とその真空冷却プロセスにおける温度変化特性を調査して、これをラッシュポイントの検出と品温モニタのセンサとして用いるための改善点を明らかにし、②室内実験によりセンサとしての形態に関する適切な条件を求め、③適正化した形態の湿球センサを実用機に設置して、このセンサが実用的にラッシュポイントの検出と品温モニタ用センサとして有用であるかどうかを確認することにある。

2. 実験装置および測定方法

(1) 実用機の湿球センサ

実用装置の湿球センサはその大部分が熱電対接点またはサーミスタをガーゼで包み込んで、常に水分が補給されるような形態となっている。その代表的測定方法を示すと、①ガーゼで包み込んだ熱電対接点を水壺内に固定し、その水壺を真空槽内に設置する方法、②真空槽壁の外側に、真空槽とパイプで通じるボックスを設けて、その中に水を半分ほど満たして水壺とし、ガーゼで包み込んだサーミスタセンサを水面から約5 cm 上部に設置する方法、などである。

(2) 実験装置

図1に湿球センサとしての適正な形態を検討するために実験室内で用いた真空冷却実験装置の概略図を示す。

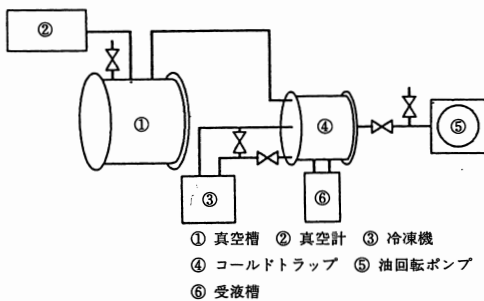


図1 実験装置の概略図

真空槽は内径500 mm、長さ1000 mmの円筒横置きで、その容積は約200 lである。円筒の両端は直径540 mmの亚克力製の円形扉を使用して槽内部が観察出来るよ

うにした。コールドトラップは円筒横置きで内部に直径10 mmの銅管にフィンを取り付けた熱交換器を収め、50%のメタノール水溶液をブラインとして循環(ブライン液量14 l、循環ポンプ27 l/min)させた。ブラインの冷却には冷凍機(冷凍能力、1.1 kw、温度調節範囲、常温 \sim 20 $^{\circ}$ C、東京理化工機(株)、クールエース CA 210)を用いた。

ブラインの温度調節は冷凍機を常時運転し、ブラインタンク内に設置したヒータの熱源を温度コントローラでオン・オフすることにより行った。真空槽の排気には真空ポンプ(排気速度300 l/min、到達圧力0.05 Torr、油回転式、佐藤真空機械工業(株))を用いた。

図2に真空チャンバ内に設置した水壺と湿球センサの相対的な位置を示す。水壺には内径50 mmの亚克力パイプを用い、実験条件に合わせて、任意の長さパイプを切断し、その一端をゴム栓で塞いだものを用いた。湿球センサは被覆形T熱電対(素線径0.32 mm)の測定接点をガーゼで包み、その先端を水壺に垂らした。

(3) 実験方法

図2の(A)は熱電対の測定接点を水壺内部に、(B)は外部に設置した場合を示している。

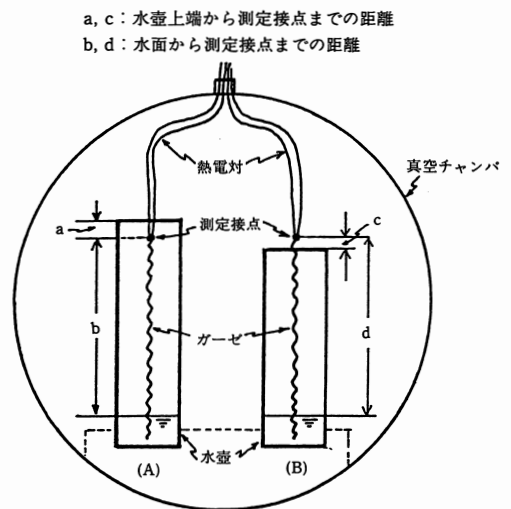


図2 チャンバ内の水壺の設置状況図

湿球センサとしての適切な形態を検討するための実験区は次のように設定し、それを表1にまとめて示した。

表1 実験区と実験条件

	実験区	固定条件	可変条件
測定接点がある水壺合(A)	A-1	水壺の上端からの距離(a=3 cm) 水温(29.5℃)	水面からの距離(b=5, 10, 15, 20 cm)
	A-2	水面からの距離(b=10 cm) 水温(31℃)	水壺の上端からの距離(a=3, 4, 5 cm)
	A-3	水壺の上端からの距離(a=3 cm) 水面からの距離(15 cm)	水温(10, 30, 48, 57℃)
測定接点がない水壺合(B)	B-1	水壺の上端からの距離(c=2 cm) 水温(30℃)	水面からの距離(d=10, 15, 20, 25 cm)
	B-2	水面からの距離(d=10 cm) 水温(30.5℃)	水壺からの距離(c=1, 2, 3, 4 cm)
	B-3	水壺の上端からの距離(c=2 cm) 水面からの距離(d=15 cm)	水温(8, 31, 47, 57℃)

但し、水壺内の水はすべて水深5 cmと一定である

①測定接点を水壺内部または外部に設定した場合(表中A, Bとして分類), ②測定接点から水面までの距離を変化させた場合(水壺上端からの距離は固定: 表中"1"として分類), ③水壺上端からの距離を変化させた場合(水面からの距離は固定: 表中"2"として分類), ④水壺中の水温を変化させた場合(表中"3"として分類)。これらの実験区では共通して、コールドトラップのブライン温度, チャンパ内の乾球温度および各水壺内の水温を計測し, これらのデータをデータ集録装置(データメモリ3000, 6チャンネル, 安立計器(株), AM-7001 T)に取り込み, 測定終了後, パーソナルコンピュータ(NEC, PC-9801 VX)に転送して処理した。真空槽内の圧力はデジタル真空計(岡野製作所(株), VA-2076)の電圧出力をマルチメータでAD変換後GP-IBボードを介して, 20秒間隔でパーソナルコンピュータに取り込み, 自動計測した。

3. 結果および考察

(1) 実用機湿球センサの温度変化特性

a. 湿球温度の上昇点とフラッシュポイント

実用機の中には湿球温度を測定項目に含めない機種もあったが, 多くの機種では測定方法の項で述べたような方法で湿球温度を計測している。図3の(a), (b)は実用機実装の湿球センサによる湿球温度の経時変化をスイートコーンの冷却例, およびレタスの冷却例(連続運転により水壺内の初期水温が低い事例)について示している。

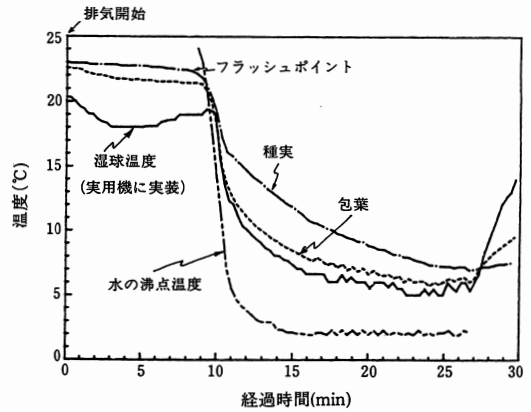


図3 (a)実用機における湿球温度とスイートコーンの品温変化

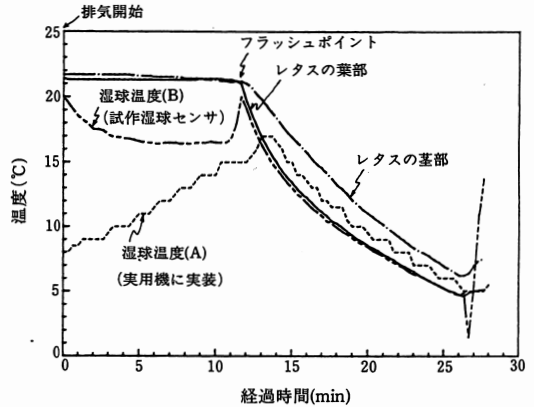


図3 (b)実用機における湿球温度とレタスの品温変化

スイートコーンの冷却例(図3(a))では湿球温度の上昇開始点が排気開始点とフラッシュポイントの中間領域にあった。図3(b)の湿球温度(A)の初期温度は, 前回の冷却操作で冷却された水壺内水温の影響を受けて青果物の初期品温と比較して相当に低い温度を示している。また, この機種において水壺の水温が青果物の初期品温にほぼ等しいときに, 排気開始点からフラッシュポイントまでの間, 湿球温度は一定値を示すことも確認した。このように大部分の実用装置では湿球温度の上昇開始点とフラッシュポイントはほとんど一致しないことが観察され, 現状のまま湿球温度をフラッシュポイントのセンサとして用いるのは適切でないことが分かった。しかし, フラッシュポイント以後の湿球温度は青果物の冷却され易い部位の温度変化を近似的に示しており, この期間の品温モニタとしては実用的であると判断された。

b. 湿球温度と最終品温

表2の(a), (b), (c)は機種を異にする真空冷却施設において各種の青果物を冷却した場合の最終到達圧力, その圧力に対する水の飽和温度, 最終圧力到達時(真空破壊時)における湿球温度および青果物の測定部位中の最低品温と最高品温を示している。

表2 最終圧力到達時(真空破壊時)の湿球温度と青果物の品温

(a)機種 H

測定 NO	日付	最終到達圧力		湿球温度 (°C)	産物の温度(°C)		産物名
		Torr	飽和温度°C		低温部	高温部	
1	5/9	6	3.8	5.6	5.6	6.0	シイタケ
2	5/14	6	3.8	1.9	1.9	4.3	シイタケ
3	5/24	7	6.0	4.1	4.4	5.0	シイタケ
4	6/14	6	3.8	1.3	1.5	4.2	シイタケ
5	6/18	7	6.0	1.0	1.1	1.7	シイタケ
6	5/17	7	6.0	4.7	4.8	7.8	レタス
7	5/17	7	6.0	4.3	4.3	5.0	レタス
8	5/17	7	6.0	4.1	5.6	7.1	レタス
9	5/21	7	6.0	4.5	4.5	4.7	レタス
10	5/21	6	3.8	4.7	4.8	5.2	レタス
11	5/24	6	3.8	3.7	3.8	4.1	レタス
12	5/24	6	3.8	5.2	6.7	8.5	キャベツ
13	6/14	6	3.8	2.1	13.5	16.1	ブロッコリ

(b)機種 N

測定 NO	日付	最終到達圧力		湿球温度 (°C)	産物の温度(°C)		産物名
		Torr	飽和温度°C		低温部	高温部	
1	3/26	4.9	1.0	7.1	7.5	8.3	レタス
2	3/26	4.9	1.0	7.8	7.9	8.1	レタス
3	3/27	4.0	-1.8	3.4	3.3	3.5	レタス
4	3/27	4.0	-1.8	3.7	3.8	4.1	レタス
5	4/2	4.0	-1.8	4.0	4.4	4.9	レタス
6	10/11	4.6	0.1	4.2	4.6	5.7	レタス
7	10/19	4.9	1.0	8.6	8.8	9.4	レタス
8	10/19	5.0	1.2	5.2	5.3	6.4	レタス
9	10/22	5.0	1.2	4.1	4.8	6.4	レタス
10	10/22	4.5	0.2	3.3	3.4	4.8	レタス
11	10/23	4.5	0.2	6.0	6.2	7.9	レタス
12	10/23	4.0	-1.8	4.0	4.2	5.3	レタス
13	6/28	4.9	1.0	3.6	4.4	5.8	ピーターコーン
14	7/3	4.9	1.0	4.7	6.0	7.2	ピーターコーン
15	7/3	4.9	1.0	5.6	6.3	7.0	ピーターコーン
16	7/10	4.9	1.0	4.8	5.7	6.9	ピーターコーン
17	7/10	4.7	0.4	8.2	8.8	9.5	ピーターコーン
18	7/19	4.9	1.0	5.6	7.3	10.1	ピーターコーン

19	7/19	4.0	-1.8	5.1	5.5	9.9	ピーターコーン
20	10/19	4.9	1.0	8.6	8.9	16.5	ブロッコリ
21	10/19	4.9	1.0	9.6	9.9	15.4	ブロッコリ
22	10/19	5.0	1.2	5.2	6.5	14.1	ブロッコリ
23	10/22	5.0	1.2	4.1	4.8	14.0	ブロッコリ
24	10/22	4.5	0.2	3.3	6.2	15.0	ブロッコリ
25	10/25	4.5	0.2	6.0	7.6	15.4	ブロッコリ
26	10/23	4.0	-1.8	4.0	5.0	15.6	ブロッコリ
27	11/14	4.9	1.0	5.5	5.9	12.6	ブロッコリ
28	11/14	4.9	1.0	5.5	7.4	16.1	長ネギ
29	11/14	4.9	1.0	5.1	6.0	13.1	ブロッコリ
30	11/14	4.9	1.0	3.1	3.9	5.9	ブロッコリ

(c)機種 K および機種 S

測定 NO	日付	最終到達圧力		湿球温度 (°C)	産物の温度(°C)		産物名
		Torr	飽和温度°C		低温部	高温部	
1	6/7	5.8	3.3	7.3	7.2	11.4	レタス
2	10/18	7.3	6.6	3.8	4.2	8.7	レタス
3	10/18	5.5	2.6	4.7	4.6	7.6	レタス
4	10/18	5.5	2.6	4.5	4.0	6.0	レタス
5	10/18	5.0	1.2	4.9	4.4	6.2	レタス
6	10/14	4.1	-1.5	2.0	2.0	3.0	レタス
7	10/31	4.4	-0.5	5.0	4.5	6.8	レタス
8	10/18	7.3	6.6	3.8	4.6	10.0	グリーンカール
9	10/18	5.0	1.2	4.9	4.9	5.8	グリーンカール
10	10/18	5.5	2.6	4.7	4.6	7.6	サニーレタス
11	10/18	5.5	2.6	4.5	4.2	8.6	サニーレタス
12	10/18	5.3	2.2	4.2	4.3	6.3	サニーレタス
13	10/31	4.5	-0.2	3.5	3.7	7.2	サニーレタス
14	10/18	5.3	2.0	4.2	4.2	6.2	キャベツ
15	10/31	4.5	-0.2	3.5	7.2	10.8	キャベツ
16	10/31	4.4	-0.5	4.5	4.7	12.7	キャベツ
17	6/7	4.0	-1.8	-1.2	2.7	12.2	ブロッコリ
18	10/14	4.5	-0.2	-0.7	-1.0	0.1	ブロッコリ
19	10/31	4.4	-0.5	5.0	4.9	10.6	ハクサイ
20	10/31	4.4	-0.5	4.5	3.8	5.3	ハクサイ

表2に示したように個々の機種の最終到達圧力は4~7 Torrの範囲でそれぞれ異なり, これの設定が施設により異なることを示している。また, 前述したように理論的には青果物の最終品温は槽内の最終到達圧力に対する飽和温度まで冷却される筈である。しかし, 表2に示す飽和温度と青果物の最も冷却されたと見られる部位の品温には大きな差がみられる。この点を確認するために, この表に示した飽和温度とレタス低温部の最終品温の関係を各々の機種について図4に示した。

この図でレタスのみについて示したのはレタスが他の品目に比べて冷却され易く, 冷却むらが少ないため, 最

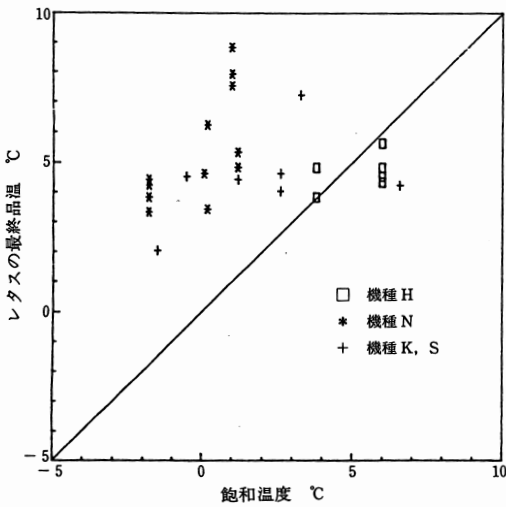


図4 槽内の最終到達圧力に対する水の飽和温度とレタスの最も冷却されたと見られる部位の品温の関係

終品温と飽和温度間の温度差が最も小さくなるからである。しかし、そのレタスでさえ最終品温の大部分が3~6℃であるのに対して、最終圧力に対する飽和温度は不規則的に-2~6℃の範囲に分散し、飽和温度と最終品温が異なることが明白であった。機種別にみても、機種Hでは飽和温度と最終品温の差が比較的小さく、機種Nでは最終品温が全体的に飽和温度よりかなり高い傾向を示した。これらは実用機における計測結果であり、様々な冷却条件、また異なる機種で計測したものを含ん

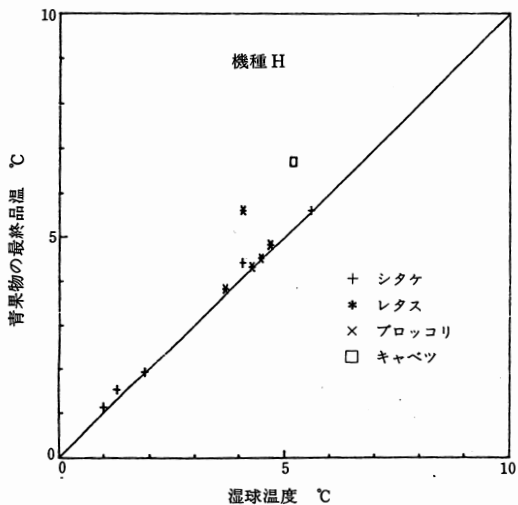


図5 (a)最終到達圧力時の湿球温度と青果物の最も冷却されたと見られる部位の品温の関係

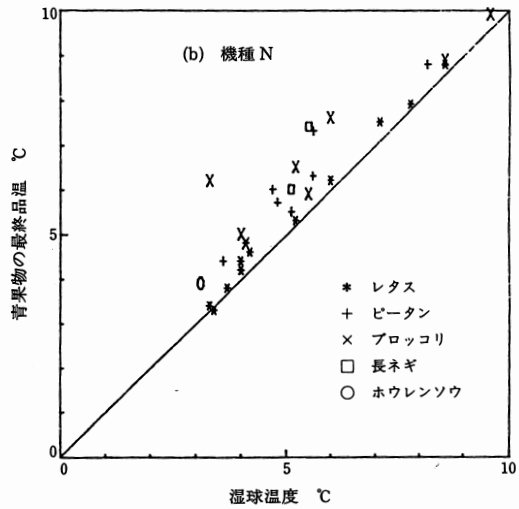


図5 (b)最終到達圧力時の湿球温度と青果物の最も冷却されたと見られる部位の品温の関係

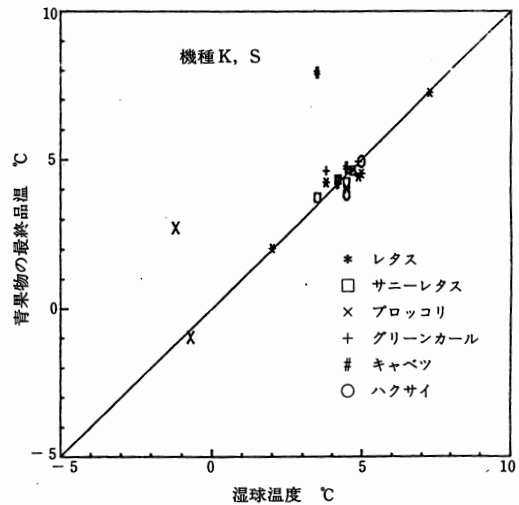


図5 (c)最終到達圧力時の湿球温度と青果物の最も冷却されたと見られる部位の品温の関係

でいるので、一概には言えないが、最終品温は冷却処理量、排気速度、コールドトラップの表面温度、および実装されている圧力計の精度など多くの要因によって影響を受けるものと考えられ、最終到達圧力が同値でも最終品温は異なることが判明した。従って、現行のように水の飽和温度を基準に最終到達圧力を設定する方法はある程度の目安にはなるとしても、これによって最終品温を精度良く制御することは不可能であることが分かった。

次に湿球温度の最終品温モニタとしての可能性を検討

するために、施設ごとに湿球温度と青果物の最も冷却されたと見られる部位の温度の関係を図5(a), (b), (c)に示した。

機種Nでは湿球温度より品温がやや高い傾向にあったが、機種Hおよび機種K, Sでは両者がほぼ一致した。品目別に見るとレタスやシイタケのような冷却され易く、全体的に冷却むらの少ない青果物は真空破壊時の低温部品温と湿球温度がほぼ等しいことを示している。ブロッコリ、長ネギ、キャベツなどのように、冷却むらの大きい品目では真空破壊時の湿球温度と低温部品温の間に比較的大きい温度差を示すものもあった。真空破壊時の低温部品温は最も冷却され易いと推定される部位を選んで熱電対を挿入したが、冷却むらの大きな品目ほどこの位置の特定が困難であり、真の低温部品温とは“ずれ”があるとも考えられた。このように測定結果の全体的傾向から判断すれば、湿球温度は青果物の最も冷却され易い部位の品温を示すと推定される。実用装置では、冷却サイクルごとに青果物の品温を測定することが困難な状況にあり、また凍結防止の観点からは青果物の代表温度として最低品温をモニタすることが望ましいことなどを考え合わせると、湿球温度の特性はこれらの実用的な要望と合致しており、青果物の最終品温モニタとして湿球センサを用いることは合理的と考えられた。

(2) 湿球センサの形態

上述のように青果物の最終品温のモニタには現行の湿球温度測定法でも十分に判断されたが、さらにフラッシュポイントの検出にまで利用する可能性を探るためにはセンサとしての適切な形態を実験的に検討する必要があると考えられた。

a. 熱電対接点を水壺内に設置した場合

図6は実験区A-1、すなわち図2の距離aの値を3cmに固定し、距離bの値を5, 10, 15および20cmと変化した時の湿球温度、および水壺内水温の経時変化を示す。

排気開始後、いずれの湿球温度も極小点まで急激に低下する傾向を示した。その極小温度は熱電対接点と水面の距離bの値が大きくなるほど、低い値を示し、この傾向はbの値が15cm以下では繰り返し実験により再現性が確認できた。また、これらの極小点からの温度上昇時期は水面からの距離bが大きくなるほど水のフラッシュポイントに近づいた。ここで排気開始と共に湿球温度が急激に低下するのはガーゼ表面からの水分蒸発、および真空槽内の空気断熱膨張によって槽内が一時的に冷却されることに起因すると見られる。一方、同時に水面からの水分蒸発も始まるため、水面に近い水壺空間ほど早

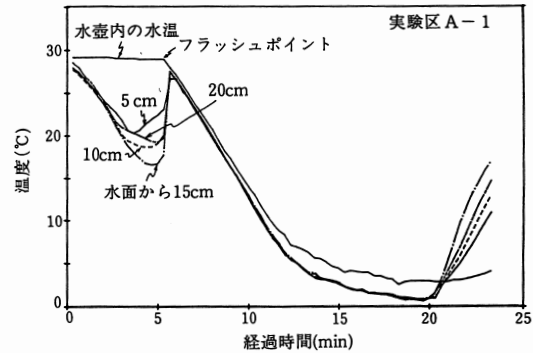


図6 水面からの距離の相違による湿球の温度変化の比較
(水壺の上端から3cm内部に設置)

い時期に水蒸気分圧が高くなり、湿球からの水分蒸発速度が抑制され、温度降下速度は緩やかになり、温度降下の停止時期も早くなる傾向を示す。また、水温より早く温度降下した湿球に逆に水蒸気が凝縮するため水面に近いほど湿球温度の上昇開始時期が早くなるものと考えられた。また実験区A-2、すなわち図2の距離bを10cmと固定し、距離aをそれぞれ3, 4および5cmに設定した時も同様に安定した結果は得られなかった。

これらの結果より、熱電対の測定接点を水壺内に設定すると、フラッシュポイント以前に湿球温度は水蒸気分圧の影響を受けて湿球温度の上昇開始時期とフラッシュポイントが一致しないことはもちろん、水面からの距離や水壺の上端からの距離が変化することによって湿球温度の経時変化に差が見られ、安定した結果が得られないため、フラッシュポイントの検出は不可能と考えられた。そこで測定接点を水壺外部に設置することを考え、次項に示すような実験を試行した。

b. 熱電対接点を水壺外に設置した場合

表1に示した実験区B-2、すなわち水壺外の熱電対接点と水壺上端の距離(図2のC)をそれぞれ1, 2, 3および4cmと変化した場合の結果から、水壺上端から2cm以上外部に測定接点を設置することによって安定した結果が得られると共に、湿球温度の急上昇点とフラッシュポイントがほぼ一致することが確認された。

そこで実験区B-1、すなわち図2の距離cを2cmに固定して、距離dを10, 15, 20および25cmと変え、比較したところ、図7に示したように距離dに関係なく安定した結果が得られ、湿球温度の急上昇とフラッシュポイントが一致した。この結果は繰り返し実験により再現性があることも確認された。

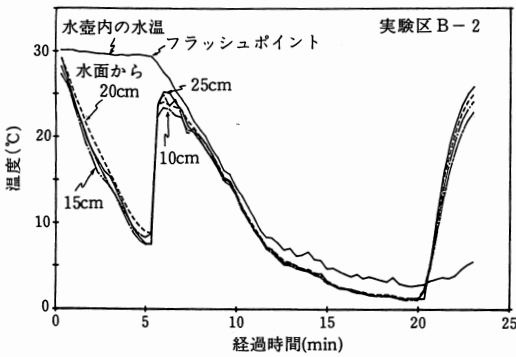


図7 熱電対の測定接点設置位置の相違による湿球温度の比較
(水壺上端から2 cm 外部に設置, 水面からの距離を変えた場合)

c. 水壺内の水温の影響

図8は実験区B-3, すなわち接点を水壺の上端から2 cm 上部に固定して, 水壺内の初期水温をそれぞれ8, 31, 47および57℃と変化させた場合, 図9は実験区A-3, すなわち測定接点の位置を水壺の上端から3 cm 内部に, また水面から15 cm の距離に固定して, 水壺内の初期水温を10, 30, 48および57℃に変化させた場合のそれぞれの湿球温度と水壺内の水温の経時変化を示す。

図8と図9に示すように熱電対接点を水壺外に設置したときには排気開始時の湿球温度は, 水壺内の初期水温が8~57℃の範囲であるにもかかわらず, ほとんど差が見られない。これに対して水壺内に設置した場合には水壺内の初期水温(10~57℃)に影響された湿球温度は最大約8℃の差が見られた。また実験区B, すなわち, 測定接点を水壺外部に設置した場合には湿球温度の上昇開始点は水温の影響をほとんど受けないが, これに対して実験区Aでは, この上昇開始点が著しく水温に影響することが示された。前項の実験結果と併せた結果, 測定接点を水壺の上端から2 cm 以上外部に設置すると水面からの距離の影響や水壺内の水温の影響をほぼ避けることができ, 排気開始以後に顕著な温度降下が生じ, その降下の程度も大きい。さらにフラッシュポイントでの温度上昇が明確であり, フラッシュポイントの検出には有効であることが分かった。

(3) 湿球温度の特性と適切な形態

湿球温度をフラッシュポイントの検出および品温モニタ用センサとして利用するためには次に示すような諸条件を満たす必要があることが分かった。

① 熱電対の測定接点は水壺上端から2 cm 以上外部に

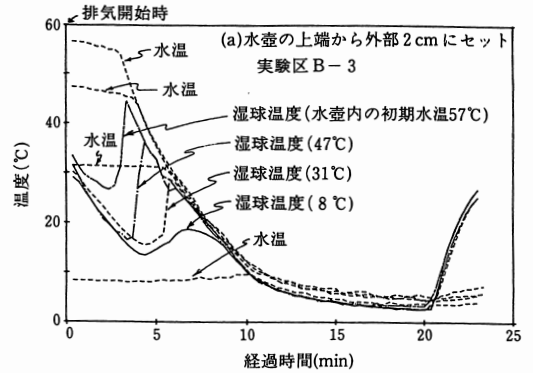


図8 水壺内の水温の相違による湿球の温度変化の比較
(測定接点を水壺外に設置したとき)

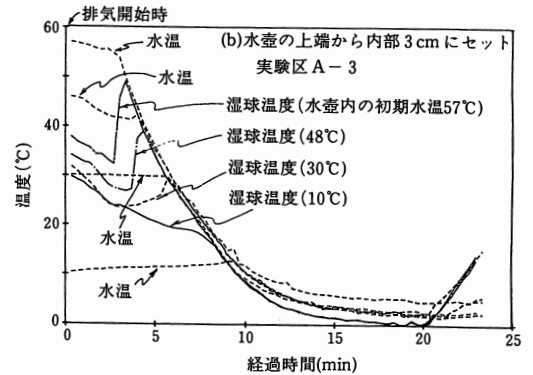


図9 水壺内の水温の相違による湿球の温度変化の比較
(測定接点を水壺内に設置したとき)

設置すること。

② 水壺内の水面と測定接点は10~15 cm 離すことが好ましい。(水壺内の水が沸騰するとき, 測定接点に水が掛かったり, 水壺外部に水をこぼさないため)

③ 水壺内の水温は産物の初期品温以下であることが好ましい。(通常の連続運転では必然的にこの条件が満たされる)

(4) 実用装置におけるフラッシュポイントの検出

室内実験で適正化した形態の湿球センサの有効性を確認するために実用機実験を行った。図10は実用機の真空槽内に上記の条件を満たす形態の湿球温度センサを設置し, 真空冷却プロセスにおけるレタスの葉部品温と湿球温度の経時変化を測定した例である。図10における湿球温度と前掲の図3(b)の湿球温度(B)は試作センサによる典型的な計測結果を示している。

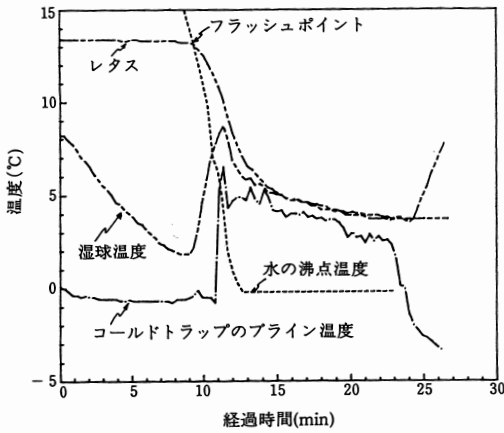


図10 レタスの葉部品温と湿球温度の経時変化

従来から実装されていた湿球(図3(a), 図3(b)の湿球温度(A))に比較して, 本湿球センサの温度上昇開始点は青果物のフラッシュポイントと良好に一致し, 繰り返し実験によりその再現性が確認された。このような結果から上述した形態上の条件を満足する湿球センサを用いることにより, 実用機において安定的にフラッシュポイントの検出が可能で, 且つ, それ以後の品温および最終品温のモニタ用としても実用上, 十分利用できることが確認された。

4. 摘 要

真空冷却プロセスにおける湿球温度を装置の制御因子として利用することを目的に湿球センサの形態やその特性を室内実験および実用機において調べ, 次のようなことを明らかにした。

- 1) 実用機に実装されている湿球温度計はフラッシュポイント以後の品温モニタとして有用であり, かつ最終品温モニタ用センサとしては槽内圧力よりはるかに精度が良いことを示した。
- 2) フラッシュポイントを検出するためには現在, 実用機に実装されているセンサの形態では不十分で, センサとしての形態を改善する必要があることを指摘した。
- 3) 室内実験により, フラッシュポイントの検出が可能な湿球センサの形態上の条件を以下のように決定した。
 - ① 熱電対の測定接点は水壺上端から2 cm 以上外部に設置すること。
 - ② 水壺内の水面と測定接点は10~15 cm 離すこと。
 - ③ 水壺内の水温は産物の初期品温以下であること。
- 4) 試作した湿球センサは真空冷却施設の構成機器の制御因子として実用上, 安定的に利用できることを確認した。

参考文献

1. 村田 敏(1972): 野菜の真空冷却理論, 冷凍, 47(539), P 785-801
2. 中島教博他(1992): 真空冷却装置の制御・操作の実態と改善法について, 農業施設, 23(1), P 25-32
3. 鳥取 浩(1969): 野菜の真空冷却装置, 冷凍, 44(501), P 656-661