

真空冷却装置の制御・操作の実態と改善法について

中島教博・森嶋 博・瀬尾康久・相良泰行

Actual Process Control and Operational Conditions of Commercial
Vacuum Cooling Plants and its Improvement Instructions

Michihiro NAKAJIMA, Hiroshi MORISHIMA, Yasuhisa SEO and Yasuyuki SAGARA

農業施設 第23巻第1号(通巻54号)別刷

1992年7月

Reprinted from

The Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan

Vol. 23, No. 1 (No. 54) July, 1992

真空冷却装置の制御・操作の実態と改善法について*

中島教博**・森嶋 博***・瀬尾康久***・相良泰行***

〔 ** 宇都宮大学農学部, 〒321 宇都宮市
*** 東京大学農学部, 〒113 東京都文京区 〕

要 旨

我が国に設置されている実用規模の真空冷却装置を対象として、その稼動状況、機器構成、自動制御法、青果物の冷却特性および操作上の問題点などについて実態調査を行った。また、これらの結果に基づく標準的「真空冷却プロセス工程」を定義し、これを比較のための基準として各装置の自動制御および操作法の特徴を工程的に類別して各工程における問題点を指摘すると共に改善法の指針を示した。

1. はじめに

近年、生鮮青果物の流通過程における鮮度保持を目的とし、収穫直後に圃場熱を除去する操作、すなわち予冷が一般的に行われるようになってきた。

真空冷却は原理的に比表面積の大きな葉菜類、特に他の方法では予冷が困難な結球野菜の冷却に適しており、実用規模の施設でもバッチ当り30分前後の比較的短い時間で冷却操作が可能である。これらの特徴を有することから真空冷却装置の設備費が他に比べてかなり高くなるにもかかわらず普及してきた。

一方、我が国では1966年頃から科学技術庁が中心になって生鮮青果物のコールドチェーンを整備するための実験が広く進められ、その一環として真空冷却装置に関する試作・実用化の研究が多く行われ、^{1),2),3),5)}その後、実験室規模で青果物の冷却特性についての理論解析などが行われた。^{4),7)}しかし、現在稼動中の実用規模の装置について、その制御・操作法との関連から青果物の冷却特性を実測した事例は数少ない。また、筆者らの調査では、これらの装置は自動運転を行うための制御機構を装備しているにもかかわらず、それらの能力が十分に発揮されず、冷却・操作効率の低下を招くなどの問題点が生じている施設もあった。

本研究の目的は現在、わが国に設置されている実用規模の真空冷却装置を対象として、その機器構成、稼動状況、特に自動制御機構とその制御法および対象品目の冷却状態を調査し、最適な運転操作法を確立するための指針を得ることにある。このために導入実績上位3社の5基を対象にしてその運転操作の実態を調査し、その結果に基づき、制御法と操作法上の問題点を指摘すると共にこれの改善法を検討した。

2. 調査対象および計測方法

1) 調査対象機種

平成元年度末までに我が国に設置された真空冷却装置は258基を数える⁶⁾。主なメーカーごとにその設置台数の内訳を示すと神奈川県機(株)製95基、栃崎産業(株)製63基および日立プラント(株)製48基となり、これら上位3社で全体の79.8%を占めている。これより主として3社の機種について栃木県と茨城県に導入された施設を選んで調査した。すなわち、日立プラント(株)製2基(栃木県小山市および大田原市)、栃崎産業(株)製1基(栃木県上三川町)、神奈川県機(株)製1基(茨城県岩井市農協)および同系列の丸紅設備(株)製1基(茨城県総和町農協)である。なお、以後製造社名を順にH社、N社、K社、M社と称し、これを機種名とした。

2) 装置の概略

図1に機種別排気システムの概略図、表1にその主要

*平成3年度農業施設学会大会にて発表
原稿受理 1991年11月27日

諸元をそれぞれ示した。

3) 調査・測定項目と方法

調査項目は1) 装置の仕様と構造, 2) 自動制御方式および運転操作法, 3) 性能試験などである。

性能試験の測定項目は槽内の圧力, 湿球温度, コール

ドトラップ表面温度および青果物の品温などである。真空槽内の青果物の品温変化は携帯用データ・コレクタ(安立計器社製, AM7001T, 6チャンネル)を試作したアルミ製気密カプセルの中に収納し, これを真空槽内に設置して現場で測定した。温度センサとしてシームレスシースおよび被覆T型熱電対(素線径, 0.32mm)を使用した。冷却終了後データ・コレクタ内に集録された温度測定データをパーソナルコンピュータ(日本電気社製, PC-9801)に転送し, データ処理を行った。青果物品温以外の測定項目は個々の装置にモニター用として計装されている計測機器の指示値を読み取った。

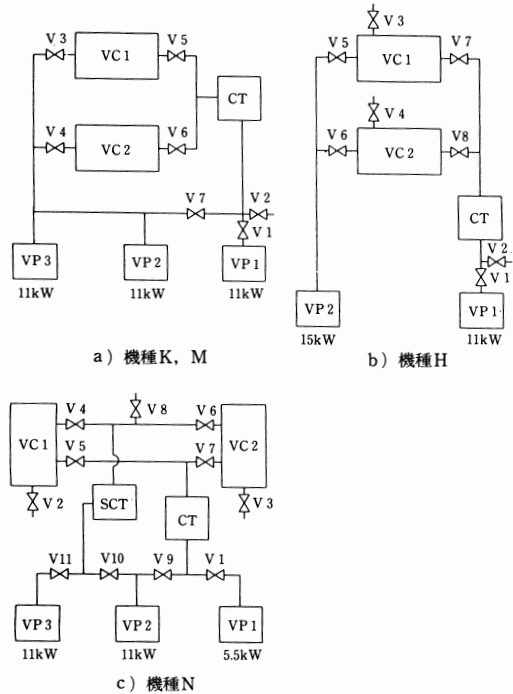


図1 機種別排気システムの概略

3. 調査結果および考察

1) 真空冷却プロセスの概略

調査対象とした各機種の機器構成および制御方法はそれぞれ異なることが分かった。これらの特徴や得失を検討するためには真空冷却のプロセスを機種に共通な操作法に基づき, 数工程に分けて定義しておく必要があると考えた。本稿では真空冷却プロセスを図2および次に示すとおり, 4工程に分けて定義した。

- a) 粗引工程; 排気開始からフラッシュポイントまで ($P_0 - P_f$)
- b) 本引工程; フラッシュポイントから設定圧力まで ($P_f - P_s$)
- c) 仕上工程; 設定圧力から最終圧力まで ($P_s - P_e$)
- d) 復圧工程; 最終圧力から大気圧力まで

表1 各施設の主要諸元

機種	K, M		H		N	
施設名	岩井市農協	総和町農協	小山市農協	大田原市農協	上三川町農協	
真空槽	取容量	9パレット	9パレット	5パレット	4パレット	5パレット
	容積	1.9×2.1×9.2 36.7 m ³	1.9×2.0×9.5 36.1 m ³	1.9×2.1×6.75 26.9 m ³	1.75×2.15×6.1 23.0 m ³	1.9×2.1×7.0 27.9 m ³
真空ポンプ	台数	3台	3台	2台	2台	3台
	出力	11kw×3	11kw×3	15kw×1 11kw×1	11kw×1 7.5kw×1	11kw×2 5.5kw×1
	排気速度	7,000 l/min	7,000 l/min	10,500 l/min 7,400 l/min	7,400 l/min 5,000 l/min	7,500 l/min 3,700 l/min
冷凍機	出力	42kw×2	84kw×1	30kw×2	30kw×2	42kw×1 20.5kw×1
	冷却能力	182,000kcal/h	207,000kcal/h	140,000kcal/h	140,000kcal/h	124,000kcal/h 57,000kcal/h

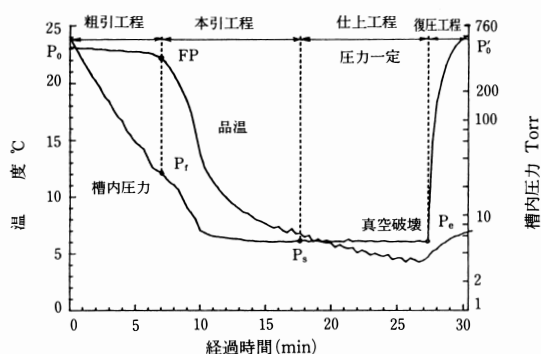


図2 真空冷却プロセスの工程区間

$$(P_e - P_0)$$

粗引工程は基本的に真空ポンプで真空チャンバ内空気を排気する工程であり、この段階では水分蒸発量が微小なため真空ポンプの能力が圧力降下速度の律速因子となる。本引工程はコールドトラップを通して排気する工程であり、フラッシュポイント後全圧に占める水蒸気分圧の割合が高くなるため、排気速度はコールドトラップの能力に左右される度合いが大きいと考えられている。仕上工程は青果物の凍結を防止しながら青果物の温度分布の均一化を図る工程であり、槽内圧力はほぼ一定に制御される。

2) 排気システムと制御法の概略

図1で前述したように真空冷却装置は通常、真空槽2基、コールドトラップ1~2基、真空ポンプ2~3台より構成されているが、これらの機器構成と排気系の制御法は機種・工程によって異なる。調査対象機種について工程別排気法および制御法の特徴を類別して表2に示した。

粗引工程の排気時間はタイマおよび圧力計で設定されるが、設定者は各機種毎に製造会社（メーカー）と作業員に分けられる。メーカー設定の場合は作業員による設定変更は通常行われていないため、表中には半固定設定と表示した。

本引工程ではコールドトラップ1基と真空ポンプ1~3台を組み合わせて真空槽を排気するが、排気系の連続運転を行うために他の真空槽の粗引も同時に行っている。この場合の工程の排気系機器構成は機種により異なる。例えば機種K、Mでは圧力計の設定により本引工程をaとbの2区間に分け、真空ポンプの台数をa区間では3台、b区間では1台とし、残りの2台を他の真空槽の粗引工程用として使用している。機種Nではタイマで本引

表2 制御法の概略

工程	機種	K, M	H	N
粗引	設定法および設定者	タイマ(メーカー) (半固定) 10分(岩井市) 7.5分(総和町)	圧力計(メーカー) (半固定) 36~37Torr(小山市) 39~40Torr (大田原市)	圧力計(作業員) (任意設定)
	排気系	VC1→VP2+VP3	VC1→VP2	VC1→SCT→VP2+VP3
本引	設定法および設定者	圧力計(作業員) a区間、b区間に分ける(任意設定)	圧力計(作業員) (任意設定)	タイマおよび圧力計(最終圧力)(作業員、任意設定)
	排気系	a区間:VC1→CT→VP1+VP2+VP3 b区間:VC1→CT→VP1 (VC2→VP2+VP3) 粗引工程	VC1→CT→VP1 (VC2→VP2) 粗引工程	VC1→CT→VP1+VP2 (VC2→SCT→VP3) 粗引工程
仕上	設定法および設定者	タイマおよび圧力計(最終圧力)(作業員、任意設定)	タイマおよび圧力計(最終圧力の上限、下限の2点)(作業員、任意設定)	タイマ、圧力計共本引工程で設定 引口弁V1と真空制御弁V2の開閉
	排気系	VC1→CT→VP1 V1、→V2の開閉 引口弁の開閉および外気導入	VC1→CT→VP1 V1、→V2の開閉 外気導入およびVP1のON-OFF	VC1→CT→VP1+VP2 引口弁V1と真空制御弁V2の開閉
腹圧	真空破壊 所要時間	大気導入(約1分)	大気導入(約3分)	大気導入(約3分)

時間を設定しているが、別途、圧力計で最低圧力を設定し、真空槽の異常な圧力低下を防止している。

仕上工程の排気系は各機種共に本引工程と同様であるが、仕上時間をタイマで設定しておき、圧力計でコールドトラップと真空ポンプとの間に設けた引口弁や真空制御弁および真空ポンプの動作を制御することにより真空槽内圧力をほぼ一定に維持している。ただし、機種Nでは本引工程と仕上工程時間を区別せず、本引から復圧開始時刻までをタイマで設定している。

復圧工程では真空槽または排気配管系に設けた電磁弁によって制御し、大気を導入している。

3) 制御法の特徴と冷却特性

表3に機種別の真空冷却条件に関するデータを、図3~5にこれに対応するレタスの冷却特性をそれぞれ示した。

図3~5はレタスを主品目とし、これにサニーレタスやブロッコリを加えて1バッチとし、真空槽を満杯の状態にして運転した場合の典型的冷却特性である。

(a) 機種K、Mの冷却特性

本機種によるレタスの冷却特性を図3に示す。

本機種の制御法の特徴は本引工程を2つの区間(図中

表3 真空冷却時の冷却条件

機 種	K, M	H	N
測定年月日	1990.10.18	1990.10.25	1990.10.22
対 象 品 目	540ケース レタス420ケース サニー120ケース	300ケース レタス240ケース サニー60ケース	400ケース レタス220ケース プロッコリ180ケース
冷却標準重量	3,900kg	2,160kg	2,120kg
粗 引 設 定	タイマ 10min	圧力計 37Torr	圧力計 24Torr
本 引 設 定	圧力計 22Torr 5Torr	圧力計 7 Torr	タイマ 15min 圧力計 5Torr
仕 上 げ 設 定	0.8min	1.3min	
初 期 品 温	21.5℃	18.5℃	19.0℃
最 終 品 温	葉 5.0℃ 軸芯 7.5℃	葉 5.5℃ 軸芯 7.0℃	葉 5.5℃ 軸芯 8.5℃
冷却所要時間	27.6min	29min	26min

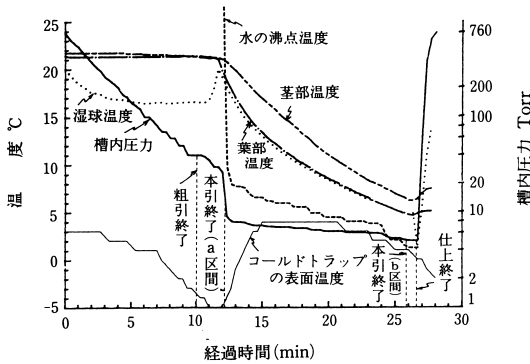


図3 機種K, Mにおけるレタスの冷却特性

のaおよびb区間)に分けて排気系の機器構成を変えていることにある。粗引工程はタイマで10minに設定され、この区間の到達圧は約40Torrであるが、品温(葉部、茎部)の変化はほとんど観られない。表3に示したように本引工程のa、b区間の終了点はそれぞれの区間の到達圧力(22および5Torr)で設定され、排気開始後の経過時間はそれぞれ12.2minおよび26minであった。経過時間11~12min、すなわちa区間終了際で、品温の急激な降下、湿球温度とコールドトラップ表面温度の上昇が始まっていることからこの時点がフラッシュポイントと推察された。本引工程はフラッシュポイント以降約14min、b区間

で終了し、これに続く仕上工程は45secであった。この間、葉部は指数関数的な温度降下を示し、初期品温21.5℃から5.0℃まで冷却された。復圧工程は約1minで他の機種に比べて大変短く、この間に品温上昇は基部で約1℃であった。

(b) 機種Hの冷却特性

本機種の特徴は能力の異なる2台のポンプ(表1参照)を粗引および本引専用に分けて使用し、両工程を圧力計による到達圧力で制御していることにある。この機種によるレタスの冷却特性を図4に示す。

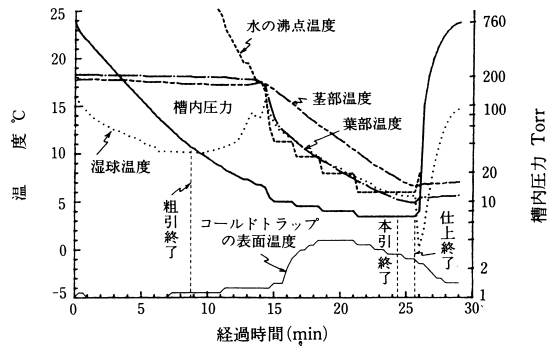


図4 機種Hにおけるレタスの冷却特性

粗引工程は真空槽内が設定圧力(37Torr)に到達した時点で終了し、その所要時間は約8.7minであった。続いて本引工程に移り、終了時の圧力設定は7.0Torrで、この圧力は仕上工程の下限設定圧力でもある。本引および仕上工程の所要時間はそれぞれ15.7min、1.3minであった。フラッシュポイントは本引工程開始後5.3minで起こり、これ以後、葉部温度は仕上工程終了時まで18.5℃から5.0℃へと降下した。この後約3分間の復圧工程で葉部において0.5℃の温度上昇が観られた。

(c) 機種Nの冷却特性

本機種では粗引工程にも小型のコールドトラップを使用し、真空ポンプへの水分混入を避けるようにしている。また本引工程と仕上工程を区別せず、圧力計で真空槽内最低圧力を設定すると共に本引から復圧開始までの時間をタイマで設定している。図5に本機種で得られたレタスの冷却特性を示す。

粗引工程は圧力計で任意に設定(24Torr)され、その所要時間は約7.3minであった。本引工程(設定時間、15min)の開始から約7minで最終圧力(5Torr)に到達し、その後約8min、この圧力が維持され、この期間が仕上工程に相当する。フラッシュポイントは本引開始後約1.7min

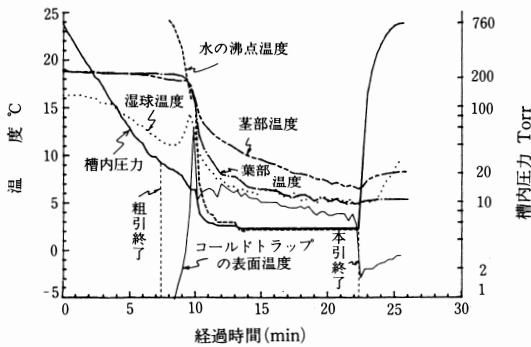


図5 機種Nにおけるレタスの冷却特性

の時点と推定され、これ以後葉部温度は19°Cから5.5°Cまで冷却された。この後約3minで復圧されるが、この間に基部で約1.5°Cの温度上昇が観られた。

4) 制御・操作法の実態と問題点

先に真空冷却プロセスを、真空槽内の圧力変化および青果物の冷却特性に基づいて、4工程に区分し、定義した。青果物を所望の最終品温まで効率よく冷却するためには、ここで定義した各工程の冷却プロセスに果たす役割と制御因子を把握し、冷却時間の短縮を促進するための合理的な制御並びに操作法を確立する必要がある。しかし本調査の結果より真空冷却装置の排気系における機器構成と制御法が機種・操作法により異なり、これらの中に今後改善すべき問題点も残されていることが分かった。以下にこれらの問題点と改善法の指針を項目別に列挙する。

(a) 粗引と本引工程の切り替え時期について

このタイミングはフラッシュポイントの直前であることが望ましく、このポイントは青果物の初期品温、さらに正確には附着水分の温度と真空槽内圧力に依存して変動する。粗引工程の排気速度は排気系の機器構成によりほぼ決定されるので、青果物の初期品温がフラッシュポイントの時期を左右し、工程の切り替え時期の制御因子となる。しかし、表2に示したように実際の粗引工程終了点はタイマ(機種K, M)、圧力計(機種N, H)で半固定的に設定され、任意設定が可能な場合(機種N)でも作業員により変更されることは少ない実状にある。さらにこれらの設定は水蒸気の真空ポンプへの混入を避けるため、安全側にセットされている。これの典型的な例として機種Hが導入されている2施設について、対象品目に関係なくそれらの初期品温に対して粗引終了時からフラッシュポイントまでの経過時間をプロットして図6

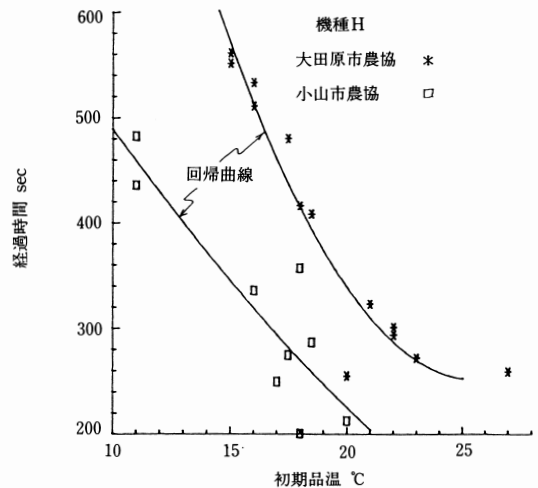


図6 初期品温と粗引終了からフラッシュポイントまでの経過時間

に示した。

この図に示すように経過時間は初期品温が低いほど、特に表2に示した設定圧力が高い場合(大田原市農協)に増大し、さらに粗引排気系に代わり、能力の低い本引排気系が用いられるので(図1参照)排気効率の低下を招いている。また、通常2つの真空槽で併行運転を行うが、1つの真空槽の粗引工程が終了しても他槽の本引・仕上げ工程が終了するまでは排気系の切り替えが不可能で、この待ち時間の増大が連続運転効率の低下を招く場合もあった。機種K, Mでは粗引時間をタイマで固定しているが、これに続く本引工程をa, bの両区間に分け、フラッシュが起こるa区間の排気能力が最大となるような機器構成を採っている。これは粗引工程の時間固定による欠点を本引工程、特にフラッシュポイント時の排気能力を強化することで補っているものと考えられる。何れにせよ青果物の初期品温と真空冷却装置の粗引排気能力の観点から理想的にはフラッシュポイントを予測、または検出し、粗引から本引工程への切り替えを自動的に行う制御法の確立が望ましい。

(b) 真空ポンプおよびコールドトラップの適正能力

図1のc)に示すように機種Nでは真空槽(VC1)の粗引工程は11kwの真空ポンプ2台、本引工程は5.5kw, 11kwの真空ポンプ(VP1と2)2台で排気している。この本引工程中に他の真空槽(VC2)の粗引を同時併行して行う場合、残りの真空ポンプ(VP3, 11kw)一台をこれに当てている。図5に示したように、真空槽内圧力は排気開始から12minでほぼ最終設定圧力に到達し、その

後は真空ポンプ2台を稼働させながら引口弁の開閉によって一定値に維持されている。しかし、仕上工程は1台の真空ポンプの排気能力で十分と考えられ、他の1台をVC2の粗引に充当し、粗引工程の効率化を図ることが可能と思われる。このように、2槽の連続運転を円滑・効率的に行うためには各工程に於ける真空ポンプの適正能力や組合せ台数を合理的に決め、改善を計る必要があると考えられた。

図3～5に示したように全ての機種について通常フラッシュポイント以降は排気された水蒸気の凝縮によってコールドトラップの表面温度が高くなるが、青果物の品温と湿球温度がこのコールドトラップ表面温度以下に降下することはなかった。コールドトラップ表面温度の上昇傾向は機種Nについて著しく、槽内圧力が低く維持されているにもかかわらず冷却効果が得られなかった。これは表1に示したように機種Nでは2台の冷凍機を装備しているが、この内1台は施設内に設置されている保冷库のライン冷却用にも使用されているため、他機種に比べて冷凍能力が小さくなっていたためと考えられた。従って、コールドトラップ表面温度の上昇が著しい機種では適正な冷凍負荷の算定法が設計上の問題点として残されているものと考えられた。

(c) 制御因子としての槽内圧力

表2にも示したように真空冷却プロセスは基本的に槽内圧力に基づいて操作・制御されているのが現状である。この理由は水の温度と飽和水蒸気圧の平衡関係が成立し、槽内圧力から青果物の温度を予測できると仮定しているためである。真空冷却プロセスの進行速度が遅く、この仮定がほぼ成立すると考えられる機種Hの場合には、槽内圧力から求めた水の沸点温度と青果物の品温とがほぼ一致している(図4)。しかし、図3および5に観られるように、フラッシュポイント以後の圧力降下速度が速い機種K、MとNでは、両者間にかなりの差があることが分かった。また、図7に示すように真空破壊時の青果物の温度と水の沸点温度との間にも差が観られた。

このように実用装置では冷却工程全てにわたって槽内圧力から青果物の品温変化を予測することが困難であることが分かった。これは現実には真空槽内の全圧が水蒸気と空気の分圧で構成され、さらにプロセスの進行速度が速い場合には水と飽和水蒸気圧の平衡という仮定が成り立たないためであり、この方法に基づく制御法にも限界があるものと考えられた。これに対し、何れの機種でもフラッシュポイント以後の湿球温度はレタス葉部の温度とほぼ一致するため、粗引工程以後の制御因子に湿球

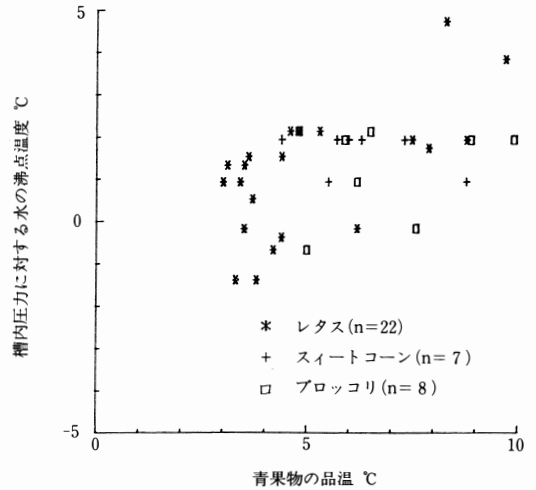


図7 真空破壊時の槽内圧力に対する水の沸点温度と青果物の品温の関係 (n: データ数)

温度を採るのも一つの方法であると考えられ、今後、基礎実験によりこの方法の有効性を確認する必要があると思われる。

(d) 最終圧力の設定と冷却効果

機種Nにおいて最終圧力を4.5Torr(事例1)と6Torr(事例2)に設定したときのレタスの葉部と茎部の冷却特性を図8に示す。

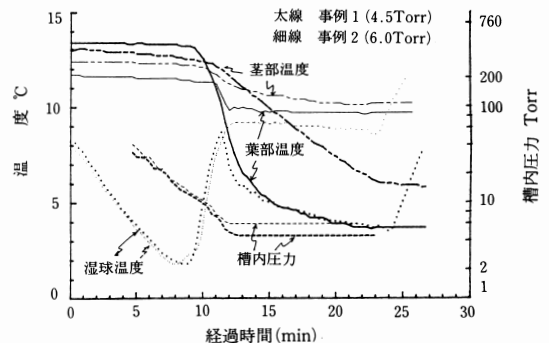


図8 最終圧力の相違によるレタスの冷却特性

この図に示されるようにレタスの初期品温は11.5～13℃であり、事例1、2とも排気開始から10～11min経過するとフラッシュが始まるが、後者ではそれから約1min後に槽内圧力が設定値に達したため、排気開始から15min経過以降はほとんど冷却効果は観られず、最終品温は約10℃であった。一方、前者では排気開始から約13min経過する

と設定圧力の4.5Torrに到達し、葉部で4℃、基部でも6℃以下に冷却された。このように本施設に於いては最終圧力をその青果物の冷却目標温度に対する飽和蒸気圧よりもかなり低い値に設定しないとその温度まで冷却されないことが示された。特に春期において、初期品温が低い場合、これの凍結を防止する意図で最終設定圧力を夏期より高く変更したため、全く冷却されなかったり、ときには復圧工程でかえって品温上昇が観られることさえあった。このことは作業員が真空冷却の原理を理解していないことから生ずる人為的な操作法上の問題点であり、調査した多くの施設で同様な誤操作が行われている現状にあった。

(e) 処理量の大小と温度むら

機種N(満杯時処理量5kg箱×600ケース=3000kg)でスイートコーン529ケース(満杯時の約88%)と223ケース(37%)を冷却した場合の排気開始以後の包葉と種実の冷却特性を図9に示した。

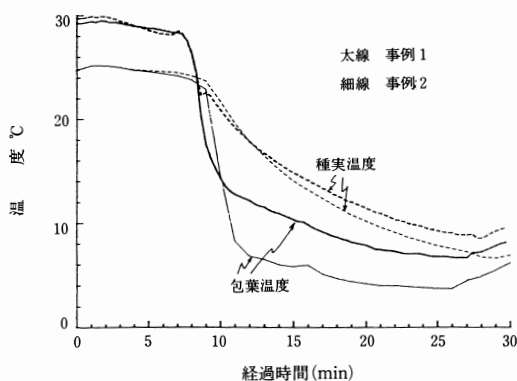


図9 冷却処理量の大小による冷却特性
(スイートコーン)

事例1, 2について包葉と種実間の温度差をそれぞれ比較すると、排気開始から約11minでは8℃と13℃, 真空破壊時では2.1℃と4.1℃であった。このように冷却負荷が小さい場合には包葉のように冷却され易い部位の冷却効果が他の部位に比べて大きくなり、結果として温度むらが大きくなる傾向が観られた。このような傾向は全ての施設において、また多くの品目について観察された。従って処理量が小さい場合には仕上工程を比較的長時間に設定して温度むらの解消に努める必要があると考えられた。

4. 摘要

現在我が国で稼動している実用規模の真空冷却装置を対象として、その機器構成、稼動状況、特に自動制御法、対象品目の冷却特性および操作上の問題点について実態調査を行った。また性能を比較するための基準として「標準的真空冷却プロセス工程」を定義し、これを尺度として各機種の工程別自動制御および操作法の特徴を把握して、それらの問題点を指摘すると共に、今後の改善法について幾つかの指針を示した。これらの結果を以下に要約する。

- 1) 調査対象とした実用規模の真空冷却装置は真空槽2基、コールドトラップ1~2基および真空ポンプ2~3台より構成されているが、これらの機器構成と排気系の制御法は図1と表2に示すように機種や工程によって異なる。
- 2) 各機種の制御法を比較検討するために、真空冷却プロセスをa)粗引, b)本引, c)仕上およびd)復圧の4工程に分けて定義し(図2), これに基づく工程的排気法と制御法を機種別に類別して表2に示した。
- 3) 各機種の工程別制御法の特徴(表3)とこれに対応するレタスの冷却特性を図3~5に示した。
- 4) 性能・制御法および排気上の改善指針として, (a)青果物の初期品温と粗引工程の排気能力からフラッシュポイントを予測して粗引から本引工程への切り替えを自動的に行う制御法の確立, (b)コールドトラップの冷凍負荷および(c)真空ポンプの能力と2槽併行排気時の組合せの適正化, (d)冷却負荷変動に対処した品温むらの解消などを指摘した。
- 5) 冷却プロセスは基本的に槽内圧力に基づいて操作・制御されているのが現状であるが、この方法は青果物の冷却状態をモニタする方法としては必ずしも適当ではない。これに代わりフラッシュポイント以後の品温モニタ因子として湿球温度を採用する可能性を指摘した。

参考文献

1. 安生三雄(1968): 野菜の真空冷却装置, 冷凍, 43, 486, p. 9-16.
2. 万豆剛一他(1967): その葉の品質に関する研究(第3報): パキュームクーリングについて, 静岡県農業試験場報告, No. 12, p. 127-137.
3. 石橋貞人他(1970): 真空冷却装置に関する研究(第2報), 農機誌, 32, 1, p. 53-58.
4. 村田敏他(1972): 野菜の真空冷却理論, 冷凍, 47, 539, p. 785-801.

5. 酒井克己他(1968)：真空冷却装置の試作と試験報告 (1), 冷凍, 43, 485, p. 1-18. 術関係資料集, p. 9.
 6. 青果物予冷貯蔵施設協議会(1990, 3)：園芸予冷技 7. 鳥取 浩(1969)：野菜の真空冷却装置, 冷凍, 44, 501, p. 656-661.

Actual Process Control and Operational Conditions of Commercial Vacuum Cooling Plants and its Improvement Instructions

Michihiro NAKAJIMA**, Hiroshi MORISHIMA***, Yasuhisa SEO*** and Yasuyuki SAGARA***

(** Faculty of Agriculture, Utsunomiya University., Utsunomiya, 321)
 (*** Faculty of Agriculture, The university of Tokyo, Bunkyo, 113)

Summary

A comparative investigation of commercial vacuum cooling plants has been carried out to obtain the improvement instructions in both process control and cooling performance for a continuous operation.

Three models were selected from among the most typical systems operated in Japan, and their system's components, actual operating conditions and controlling methods and cooling performance of vegetables were evaluated by applying a standardized measure of vacuum cooling processes, which was defined from the viewpoints of most rational control procedures based on the cooling mechanism of vegetables.

The results and recommendations obtained from this study have been summarized as follows ;

1. Although commercial vacuum plants are usually consist of two vacuum chambers, one or two cold traps and two or three oil rotary vacuum pumps as shown in Fig. 1, there are many variations in their design and combination as well as controlling methods of the components in a evacuation system, depending on the manufacturers and the steps of cooling process.

2. To compare and evaluate the controlling and operational methods of each plant, a standardized vacuum cooling process was defined by dividing it into four steps such as air-evacuation, flash-cooling, finishing and pressure recovering as shown in Fig. 2. The evacuation and controlling methods each model are classified as indicated in Table 2 by comparing these with the standardized process.

3. The features of controlling methods for each model of the plants as well as step of the process are summarized in Table 3 and the corresponding cooling characteristics of lettuce are presented in Fig. 3-5.

4. As the improvement instructions of the plant for cooling performance, controlling and operated methods, the following items have been indicated ; namely a) the development of controlling method to set the timing from the air-evacuation stage to flash-cooling, predicting the flash point from the information of initial product temperature and the capacity a evacuation system, b) the rationalization of both assessment method for the refrigeration load of the cold trap and c) the arrangement of evacuation system considering a required capacity of each cooling step. d) the finding of operational procedures to disappear the temperature gradients within the cooled vegetables which were found to be affected by the variation of the cooling load.

5. Although at present the process is essentially operated and controlled based on the chamber pressure, it is not necessarily considered to be an appropriate factor for monitoring the cooling conditions of vegetables. As an alternative, we have appointed the possibility of the wet-bulb temperature in the vacuum chamber as a monitoring factor product temperature especially after the flash point of the cooling process.