

蓄冷材による食品の保冷

杉 山 邦 夫*

1. はじめに

蓄冷材が氷やドライアイスの代りとして、生鮮食品等の保冷配送などに使用されるようになってからおよそ10年になる。その間蓄冷材の有用性がしだいに認められるようになってきたが、その背景には半調理済惣菜の宅配業の隆盛、宅配便に代表される流通業界の革新などがある。現在では当初の主用途であった生鮮食品だけでなく乳製品、生菓子類など、あらゆる要保冷食品に応用されつつあり、医薬品やある種の電子材料部品の低温配送など食品以外の分野にも広く利用されるに至っている。

ところで、「蓄冷材」または「蓄冷剤」という用語は保冷配送や保冷具などの分野では一般に使用されているが、学術的には蓄熱材(剤)の一部として取扱われている。すなわち、冷熱も熱であることには変りはなく、従って蓄冷材も蓄冷熱材であって、蓄熱材の一部であるという考え方の方である。しかし、食品分野等での保冷のために使用する場合、蓄熱材と呼ぶのは実態にややそぐわない感はいなめない。むしろ蓄冷型保冷材または単に保冷材と呼ぶ方がふさわしいと思われる。また「材」と「剤」についても統一されていないが、中味成分を対象とする場合以外は「材」の方が望ましいと思われることから、本稿では以後「蓄冷材」と呼ぶこととする。

また、蓄冷材に関する報文、総説、成書類も余り見受けられず、この蓄冷材は学術的にはまだ未開拓の分野といえるだろう。

さて、以下に蓄冷材の基礎的概要、実際の使用方法および応用例の他、最近の動向、今後の課題等について述べてみたい。

2. 蓄冷材の分類

蓄冷材を分類する場合、いろいろな分類法が考えられる。例えば作用機構、用途、形態、内容物組成などからの分類法であるが、作用機構、原理上から分類した場合

表 1. 蓄冷材の作用機構上からの分類

種 類	原 理	例
融解潜熱型	固体→液体の潜熱利用	氷, 一般蓄冷材
昇華潜熱型	固体→気体の潜熱利用	ドライアイス
気化潜熱型	液体→気体の潜熱利用	液体窒素
溶解熱型	物質間の溶解熱利用	硝酸-水
顕熱型	物質の顕熱利用	氷, 石

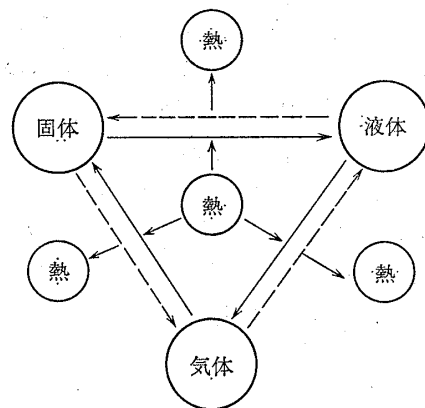


図 1. 物質の状態変化と熱の出入り

を表1に示す。

表1からも明らかなように、現在蓄冷材ないし保冷材と呼ばれているものは基本的には物質の状態変化にともなう熱の出入りを利用したものが主流となっている。

次に用途上から分類すると保冷配送貯蔵用、人体保冷具、産業装置用に大別されるが、以後本稿では保冷配送用に焦点を絞って述べる。

3. 蓄冷材の保冷原理

現在市販されている蓄冷材の主流である潜熱型蓄冷材の保冷の原理についてもう少し詳しく説明する。

物を冷す手段として、氷やドライアイスがよく使われてきたが、これは表1に示したように物質の状態変化にともなう熱を利用したものである。これを図示すると図1のようになる。

* 旭電化工業(株)

蓄冷材による食品保冷

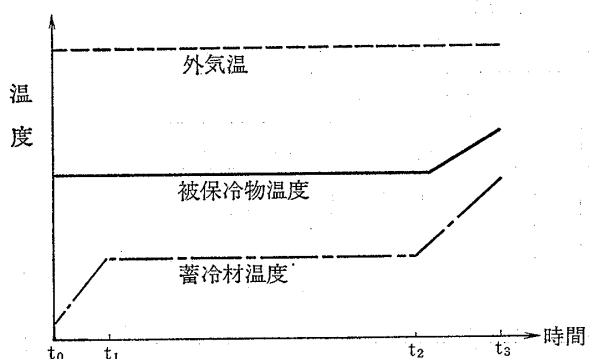


図 2. 保冷温度変化パターン

図 1 において→の方向に変化する場合、物質は熱を吸収し、逆に←の方向の場合は熱を放出する。それゆえ、→の変化を利用すれば蓄冷材となり、←の変化を利用すれば蓄熱材となる。これらの変化は可逆的である点において蓄冷材や蓄熱材としての利用価値が存在する。すなわち、いったん使用した蓄冷（熱）材は利用した逆方向の変化をおこさせることにより再び使用することができるからである。

さて、図 1 において固体から液体になる場合の熱を融解潜熱と呼び、この熱量は物質のもっているいわゆる顕熱に比べ非常に大きい。今、蓄冷材と保冷すべき物質を容器の中に入れておいた場合のそれぞれの温度変化は図 2 のようになる。

図 2 において、蓄冷材の潜熱を利用しているのは T_1 から T_2 までであり、顕熱を利用するのは T_0 から T_1 までと T_2 から T_3 までである。保冷容器等の条件にもよるが、一般には T_1 から T_2 までの保冷時間は全体の 7～8 割を占めることから、潜熱の有効性が理解できると思われる。

4. 蓄冷材の構成

一般に市販されている蓄冷材は基本的には中味成分と包材容器から構成されている。

中味成分は各メーカー、品種によって異なり、かつそれぞれノウハウとなっているため明らかでないが、一般には融解潜熱を利用するための主成分である水に、所定の温度で潜熱を取出すための凝固点（融点）調整剤、保形性を賦与するための増粘剤またはゲル化剤、腐敗防止のための防バイ剤、外観上あるいは万一の容器から洩れた場合の検知手段としての着色剤などから構成されている。

一方、容器はポリエチレン、ポリプロピレン、塩ビ等のプラスチック類を袋状、棒状、箱状等に加工したものが一般的である。現在市販されている商品の具体例を図



図 3. 市販蓄冷材の例

3 に示す。

5. 蓄冷材の要求特性

1) 保冷能

蓄冷材の最も基本となる特性である。市販蓄冷材の潜熱量としてはおよそ 60～80Kcal/kg であるが、実際の保冷能は使用条件等によって著しく影響を受ける。それゆえ、蓄冷材を実際に使用するにあたっては実際場面に即した条件下で確かめてみるのが肝要である。それぞれの条件下での試験実例については後述する。

2) 適正品温保持能

これも一種の保冷能といえる。低温保持といっても、対象となる品物の適正温度はまちまちである。

すなわち、冷凍食品類では -15°C 以下であることが必要であり、野菜類では一般に 0°C から 10°C 程度であることが望ましい。また最近では生鮮魚類などにおいて、パーシャルフリージング、氷温冷蔵などということが脚光を浴びているのは周知の通りである。

これらのそれぞれの適正品温を保つのに、氷やドライアイスでは冷熱のでの温度が固定されているために非常に困難となる。一般に保冷温度と蓄冷材の冷熱放出温度との間には図 2 で示したように温度差があり、その差は使用する容器や外気温などの条件によって異なるが、およそ 5°C から 10°C 程度であることが多い。それゆえ多くの用途に応じた蓄冷材を開発していくには、冷熱放出温度においても各グレードが必要となる。

3) 簡便性

どのような保冷手段を採用するにおいても、簡便であることは実際の作業場面において重要である。蓄冷材による保冷に際し、絶対不可欠な条件としては使用前に予冷しておくこと以外は特になく、随時にだれにでも使用できるという点においてきわめて簡便といえる。

表 2. 各保冷方法における経済性比較

○熱量 2,500Kcal にかかわる場合 (4t 保冷車で外気温より 10°C 低く約10時間保冷に相当)

保 冷 剤	潜 熱 (Kcal/kg)	単 価 (円/kg)	所 用 量 (kg)	1 回 当 り 費 用 (円)*	30 回 当 り	
					費 用 (円)	比
アデカエバクルール { パック { コールド	72	300	34	10,404	16,220	1.0
	72	500	34	17,204	23,120	1.4
氷	80	50	31	1,500	46,500	2.8
ドライアイス	150	130	17	2,210	66,300	4.1
液体窒素	96	45	26	1,170	35,100	2.2

* アデカエバクルールの予冷費用≒204円/回

表 3. 毒性の区分 (ラットによる経口投与)

区分(ランク)	1	2	3	4	5	6
毒性の程度	超 毒 性	強 毒 性	中程度毒性	軽 度 毒 性	実際無毒性	實際上無毒
LD ₅₀ (mg/kg)	1 以下	5~50	50~500	500~5000	5g~15g	15g 以上
人間の致死量(mL)	1 滴	4mL	30	250	1000	1000以上

4) 経済性

保冷配送においてどの方法を採用するか、最終的には経済性から判断される場合が多い。蓄冷材は氷やドライアイスなどに比べ、イニシャルコストは高くなるが、繰り返し使用が可能であることからランニングコストは大幅に低減する。このコストの比較例を表2に示す。

5) 安全性

食品の保冷配送において安全であることは絶対的な前提となる。それゆえ、蓄冷材においても中味成分、包装材料ともにその安全性が確認されたものでなくてはならない。現在、蓄冷材を規制する法律もないことから、安全性についても各メーカーの判断にゆだねられているのが現状である。実際の使用場面からみて、内容物については食品添加物または天然物、あるいは表3に示す毒性区分においてランク6に入っていること、一方包装材料としては食品衛生法に合致していること、などが一つの基準として考えられるであろう。

6. 蓄冷材の使用法

蓄冷材を保冷の手段として実際に使用する場合は概略図4のようになる。

1) 蓄冷材の選定

すでに述べてきたことからわかるように、蓄冷材を使う場合その場に適したものを選定することが大切である。すなわち、容器に応じてどのような形状のものにするか、使用頻度等に応じてどの程度の包材の強度のものにするか、適正品温に応じてどの温度グレードのものにするかなどについて充分吟味する必要がある。

2) 使用量の決定

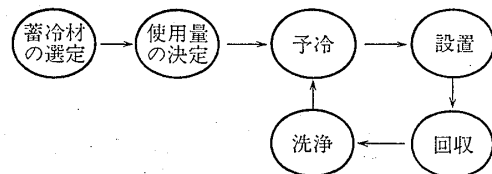


図 4. 蓄冷材の使用工程図

蓄冷材で保冷する場合、どれくらいの量でよいのか、またはどれくらいもつかという質問をよく受けるが、これは保冷容器の大きさ、断熱特性、外気温と許容品温との温度差、保冷時間など多くの要因によって異なるが、およそ次の計算式から求められる。

$$x = \frac{K \cdot A (t_2 - t_1) \cdot T \cdot n}{H} \dots \dots \dots \text{式 1}$$

ここに x 蓄冷材の必要量 (kg)
 H 蓄冷材の単位潜熱量 (Kcal/kg)
 K 容器の熱貫流率 (Kcal/m²・hr・°C)
 A 容器の伝熱面積 (m²)
 t_2 外気温度 (°C)
 t_1 容器内保冷温度 (°C)
 T 保冷時間 (hr)
 n ドア (フタ) 開閉回数係数

2~3回/hr $n=1$ 4~5回/hr $n=2$

上記計算式は被保冷物、容器ともに予冷されてある場合の理論値であるが、実際の保冷実験値との比較については後述する。

3) 蓄冷材の予冷

蓄冷材による食品保冷

融解潜熱型蓄冷材が保冷能を発揮するためには、あらかじめ蓄冷材を予冷、すなわち凍結凝固させておくことが不可欠である。予冷の方法は蓄冷材の大きさや予冷装置（一般には冷凍庫）の能力仕様等の条件にもよるが、通常蓄冷材の凝固点（融点）より 10°C 以上低い冷凍庫で10時間前後放置する必要がある。

4) 実使用方法

さて、蓄冷材を保冷配送等に実際に使用する場面であるが、充分予冷された蓄冷材を保冷しようとする品物の上部に設置し、容器を密閉するというだけでよく、きわめて簡単である。

その他、特別な作業・工程は不要であるが、一般的な留表事項について、2, 3ふれておく。

まず第1に、蓄冷材と被保冷物との接触であるが、一般には冷凍品の場合は特に問題はないが、チルド製品や所定温度より少しでも低温になることをさけたい場合、あるいは被保冷物が水分をきらう場合などは直接の接触はさける必要がある。

次に、蓄冷材を投げたり乱暴に扱うことは当然さけるべきであるが、配送中に移動したり落下したりしないようにする工夫が必要であり、できれば容器に所定の設置場所をつくり固定させておくことが望ましい。

さて、使用した後の蓄冷材は回収し、洗浄することにより再び予冷して再使用が可能となるが、その場合、破袋や内容物の異常、漏洩などのチェックをすることも大切なことである。

その他、細かい注意事項については別の機会にゆずりたい。

7. 保冷性能試験例

蓄冷材の保冷性能について、具体的な試験例で以下に紹介する。

1) 発泡スチロール箱におけるモデル試験

発泡スチロール箱に被保冷物として JIS で定められたテストパッケージ（擬似食品）と蓄冷材をセットし、それぞれの温度変化を測定した。その概要図を図5に示す。

〔試験条件〕

容 器	発泡スチロール箱
寸 法	245×320×110mmH（肉厚中心部）
肉 厚	20mm（ $K=1.5\text{Kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ ）
伝熱面積A	0.28m ²
被保冷物	テストパッケージ（JIS・B 8611）
重 量	W_2 2kg
初期温	t_4 5°C
蓄 冷 材	アデカエバクール NS-5

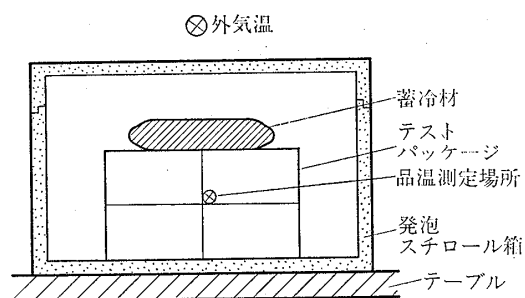


図 5. 発泡スチロール箱による保冷試験図

融解温度 -5°C 単位潜熱量 H 75Kcal/kg使用量 x 1kg予冷温度 t_3 -25°C

〔試験結果〕

平均外気温 28°C において、被保冷物テストパッケージの温度(品温) 10°C までの保冷時間は32時間であった。

〔解 析〕

・保冷時間の理論計算値

9 ページの式 1 から逆算すると

$$\text{保冷時間 } T = \frac{H \cdot x}{K \cdot A \cdot (t_2 - t_1) \cdot n} \dots\dots\dots \text{式 2}$$

$$= 75 \times 1 / 1.5 \times 0.28 \times (28 - 10) \times 1 = 9.9\text{hr}$$

・補正① 蓄冷材の顕熱量 Q_1

予冷した蓄冷材の顕熱分 ($-25^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$) として

$$Q_1 = C_1 (t_1 - t_3) \times x = 23.5\text{Kcal}$$

ここに C_1 蓄冷材の平均比熱

・補正② 被保冷物の顕熱量 Q_2

$$Q_2 = C_2 (t_1 - t_4) \cdot W_2 = 5\text{Kcal}$$

ここに C_2 被保冷物の平均比熱

補正③ 容器の伝熱面積

容器の伝熱面積 A は六面体の全面として計算しているが、実際の試験は約 30mm の厚さの木のテーブル上で実施している。仮に底面からの熱の侵入はないものとする伝熱面積 A' は 0.20m^2 となる。

以上の補正項を式 2 にあてはめると

$$T = \frac{H \cdot x + Q_1 + Q_2}{K \cdot A' \cdot (t_2 - t_1) \cdot n} = 19.2\text{hr} \dots\dots\dots \text{式 3}$$

となる。

〔考 察〕

上記試験における保冷時間実測値が、理論計算値よりかなり長くなっているが、この要因の最大のものは、容器内の温度を実用上の目的から被保冷物の中心部の温度、すなわち品温としたことにあると思われる、すなわち、本来品温と容器内の温度はほぼ一致してしかるべきであ

るが、品物の熱伝導率、比熱などの関係から実際には大きな時間的ズレがある。換言すれば、保冷すべき品物の熱特性や置き方なども実際には重要なファクターとなるといえるだろう。

いずれにしても、本試験により、式2ないし式3に従って蓄冷材の使用量を設定すれば、目的の保冷時間は充分確保できるものと考えることができる。

なお、上記試験とほぼ同条件のもとで、宅配便による実車試験を実施したところ、上記試験値とほぼ同じ値が得られた。

2) シッパーによる冷生地の保冷試験

冷生地を入れたシッパーに蓄冷材および比較としてドライアイスそれぞれセットし、温度変化を測定した。

〔試験条件〕

容 器 アルミ蒸着シッパー 容積 70L

被保冷物 冷生地 重量12kg

蓄冷材 { アデカエバクール NH-25 使用量1.5kg
ドライアイス 使用量 1kg

外 気 温 24°C

〔試験結果〕〔考察〕

ドライアイスの場合、5時間後のシッパー空間、冷生地温度ともに初期温よりも低くなっており、一方蓄冷材

表 4. シッパーによる冷生地保冷試験結果

蓄 冷 材	温度場所	初期温度	5時間後温度
エバクール NH-25	シッパー空間	-4°C	-4°C
	生地中心部	-23	-21
ドライアイス	シッパー空間	-8	-10
	生地中心部	-23	-25

の場合はいずれもわずかながら上昇している。このことから、蓄冷材はドライアイスに比べ保冷能はやや劣るがこのような場面にも充分実用性能をもっていることがわかる。

3) テイクアウト用紙箱でのケーキの保冷試験

テイクアウト用菓子箱の上部に蓄冷材および比較としてドライアイスそれぞれセットし、ケーキの品温を測定した。その概要図を図6に示す。

〔試験条件〕

容 器 紙製ケーキ箱 150×227×85mmH

被保冷物 ショートケーキ 個数7ヶ

初期温度 10°C

蓄冷材 { アデカクールクイン 40g×1ヶ
ドライアイス 70g
なし

〔試験結果〕〔考察〕

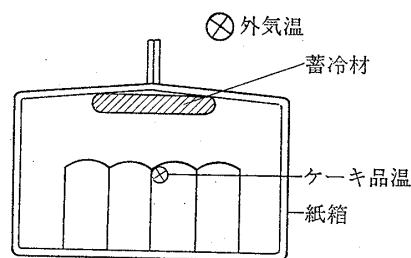


図 6. ケーキの保冷試験図

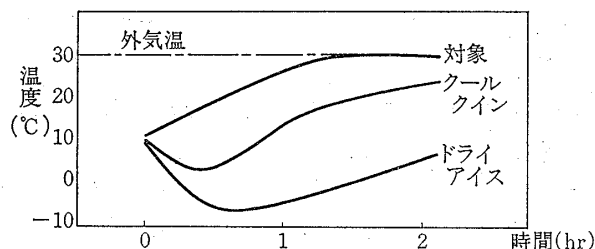


図 7. ケーキ保冷試験結果

図7から明らかなように、蓄冷材を使用しない場合、ケーキ品温が15°Cまで昇温するのに約20分であるのに対し、蓄冷剤「クールクイン」約40g品を1ヶ使用することにより15°Cまでの昇温時間は1時間以上となる。一方、ドライアイスの場合、ケーキの表面附近は-8°Cまで下がり、ケーキの種類によって風味等に影響を与える可能性があることを示している。

8. 蓄冷材に関する最近の動向

蓄冷材は当初、生鮮食品の保冷配送の補助的手段として、いうなればコールドチェーンの接ぎ目的な存在として登場した。その後、国民生活の向上、多様化、さらには食習慣の変化などを反映した流通システムの変革にともない蓄冷材も単なる補助的手段にとどまらず、保冷の重要な役割を果たすような用途も次々に開発されるようになってきた。

現在蓄冷材が応用されている対象分野としては農産品、畜産品、水産品、惣菜類、冷食類、菓子ケーキ類、医薬品、化学薬品などで、保冷を必要とするほとんどの分野に拡まっている。またその応用場面も工場間、ストックポイント間などの大型配送の他、宅配便、デパートの贈答用、末端テイクアウト用など千差万別である。このような中から、調理ふぐの産地直送、畜肉、乳製品のお中元用、生酒の保冷配送など従来になかった新しい流通も実現化してきた。また生菓子や鮎などのテイクアウト用のように、単に保冷という実用性のほかに、顧客に高級感、安心感を与えることによる新しい販売形態も見られるようになってきた。

次に蓄冷材そのものの動向をみると、用途の拡大にと

蓄冷材による食品保冷

もなう高機能化, システム化, 多様化が進む一方, 競争激化にともなう廉価汎用品化といった二極分化の傾向がみられる。

先に蓄冷材が保冷配送の重要な役割を果たすようになってきたと述べたが, 蓄冷材は必ずしも万能ということではなく, 性能面, 用途面において当然ながら限界がある。この限界を乗り越えていく手段として, ユーザーニーズに合せた商品設計が考えられる。すなわち, ユーザーサイドの使用法, 設備, 条件などに合せて蓄冷材の形態, 重量, 保冷能などを設定し, システム化, 高機能化をはかっていくもので, その結果として多様な蓄冷材の品種あるいは容器等の関連部材などが商品化されるようになってきた。

また一方では用途の拡大とともに新規参入のメーカーも相次いでおり, 競争激化にともない廉価品も多く見受けられる。廉価であることはユーザーサイドからみれば歓迎すべきことではあるが, 中には商品名, メーカー名すら表示されていない蓄冷材も出廻っており, 技術的にもやや疑問と思われるものも散見される。このような傾

向は広く浸透しつつある蓄冷材に対する信頼性を場合によっては逆に低減させる可能性もあることをお互いに認識し合っていくことが重要であると思われる。

このような状況の中で, 昨年より保冷材に関する JIS 規格化の準備が進められている。これは人体用保冷具を主体にしたものであるが, 現在「携帯用保冷具」として専門委員会で審議されている段階である。

9. おわりに

蓄冷材が食品類の保冷配送分野を中心に年々増大していることは, 蓄冷材の有用性がユーザーサイドで広く認められてきたと解釈できるだろう。今後さらにこの傾向を維持拡大させていくためには, よりユーザーニーズに合致した製品, すなわち高機能化, システム化した製品, しかも簡便で安心して使える製品を開発し, ユーザーの信頼を獲得していくことが肝要と思われる。

なお本稿では保冷のための蓄冷材について述べてきたが, 蓄冷材とは逆の保温のための蓄熱材も今後の興味ある課題といえるだろう。