液体窒素による食品の急速凍結

武 藤 文 男

日本酸素株式会社 食品開発グループ 東京都港区西新橋1丁目16番7号
(1968年7月31日受理)

Liquid Nitrogen Quick Freezing of Foods

Fumio MUTO

Food Application and Development Group, Japan Oxygen Co., Ltd.
16-7, 1-chome, Nishi-Shimbashi, Minato-ku, Tokyo
(Received July 31, 1968)

Liquid nitrogen freezing has made its debut in the U.S.A. along with the growth of space industry and, today, it is spreading rapidly as a characteristic method of freezing.

Although it has not been long yet since the liquid nitrogen freezing was introduced into this country, a considerable number of units have already been put into commercial operations and the range of application for foods is being expanded gradually.

In this report, the writer intends to explain about the liquid nitrogen freezing, i.e. growth history, theory of freezing, freezing systems and features.

1. 液体窒素凍結法の出現

1.1 米国における発展の経緯とその背景

液体窒素を食品冷凍の直接冷媒として利用しようという試みは、古く1926年、Birdseye によってなされているが¹⁾、着想の域を出ないまま30年を経過した。その後、1957年に至り、液体窒素に浸漬する方法がアカデミックな興味として提起されている²⁾。コマーシャルスケールの、最初の液体窒素凍結装置が Lique-freeze 社によって開発されたのは、1960年になってからで、1962年には Air Reduction 社によって浸漬式凍結装置が開発され、1964年になると Spray 式凍結装置が各社から発表されるようになってきた³⁾。したがって、米国における実用段階は1964年頃からといって過言でなく、歴史的に浅いものであることが理解できる。

着想としては古くからあったにもかかわらず、ごく最近になって実用化がはじまった背景について考えてみると、第一に宇宙開発があげられる。すなわち、大型ロケット用燃料として大量の液体酸素を供給するため、空気分離装置は大型化し、同時に液体窒素の大量

生産体制が整ったことである。もちろん、鉄鋼向酸素の需要増大にともなう装置の大型化も一つの要因として考えられるが、何れにしても量産化にともなう液体窒素のコストダウンが、かつては夢と見られていた液体窒素の食品凍結分野に対する利用を可能にした。第二の要因として、1960年から65年にかけての米国冷凍食品業界は、技術革新の必要にせまられていた。すなわち、① I.Q.F. 化^{*}、② 量産化、③ 高品質化の条件を満たす急速冷凍装置が必要となっていた。この時期に開発された機械式冷凍装置として Lewis 社の“Double Flo System”，Morris 社の“Freeze Master”，Frick 社の“Freeze-Pak”がある。液体窒素式凍結装置は、凍結コストの点を除けば理想的と考えられていたが、量産体制の確立と冷凍食品業界の技術革新の要請とが合致し、急速に実用化を迎えるに至ったとみられる。

第1表⁴⁾は米国における液体窒素式凍結装置メーカー、納入先食品メーカー、適用対象食品および装置容量を記したものであるが、その後に設置されたものを

* Individually Quick Frozen の略、個別急速凍結の意

第 1 表 米国における液体窒素凍結の現状

凍結装置および液体窒素メーカー	ユ ー ザ ー	凍 結 製 品	装置容量 (lb/hr)
“Magic Freeze” Air Reduction Co Inc.	(1) San Juan Fisheries Co. (Seattle, Wash.)	I.Q.F. 魚切身	1,000~1,500
	(2) Sebastian Stuart Fish Co. (Astoria, Ore.)	“	600~1,000
	(3) North Marian Fruit Co. (Woodburn, Ore.)	いちご類 (浸漬凍結)	2,000~4,000
	(4) Paul Mariani Co. (Santa Clara, Cal.)	メロンボール, 他	1,000
	(5) Frigid Foods . (Escondito, Cal.)	アボガド, メロン半裁	2,000
	(6) Valley Frozen Foods Co. (Port Isabel, Tex.)	皮, すじ抜き生えび	1,500
	(7) John Chauvin Co. (Gretna, La.)	I.Q.F. 生および調理えび, かに	1,000
	(8) New Orleans Shrimp Co (New Orleans, La.)	皮, すじ抜き生えび	1,000
	(9) Freeze-Rite Co. (Goshen, N.Y.)	加工卵	200
	(10) Lykes Brothers Co. (Tampa, Fla.)	ミートパター	1,800
	(11) Ocean Foods Co. (Astoria, Ore.)	魚切身	1,500
“Cryotransfer” Liquid Carbonic Div. General Dynamics	(1) Viking Seafoods, Inc. (Boston, Mass.)	魚切身	1,500
	(2) Ventura Coastal Corp. (Ventura, Cal.)	レモン, スライストマト, アボガド	1,000
	(3) Idle Wild Farm (Pomfred Center, Center, Cal.)	鳥 (コルニッシュゲームヘーン)	1,500
	(4) Pan Alaska Fisheries (Anacortes, Wash.)	魚切身	2,500
	(5) Capitol Foods (San Fernando, Cal.)	マッシュポテト, イタリア料理	2,000
	(6) White Castle System (Cincinnati, Ohio)	ハンバーガーロール	2,000
	(7) Davis-Cleaver Produce Co. (Quincy, Ill.)	鳥さき身	1,000
	(8) Board of Education (Cleveland, Ohio)	学校給食	1,000
	(9) Table Talk Pastry Inc. (Worcester, Mass.)	フルーツパイ (Baked)	2,000
“Cryo-Quick” Air Products and Chemicals, Inc.	(1) Morrison Merchandising Corp. (Tampa, Fla.)	ステーキ, ビーフパター	1,500~1,800
	(2) Willis Bros. Inc. (Williston, N.C.)	帆立貝, 鯉	1,000
	(3) Reuther's Seafood Co. (New Orleans, La.)	調理えび	1,200
	(4) Schaible's Bakery (Eston, Pa.)	パン, 練り菓子 (Unbaked)	1,200~1,800
	(5) Polo Food Products (Chicago)	鳥さき身	600
	(6) Seapak Trade Winds (Savannah, Ga.)	生, 調理えび	500
	(7) Canteen Corp. (Compton, Cal.)	調理食品	400
“Ultra Freeze” National Cylinder Gas.	(1) The Mr. Shrimp Co. (Atlanta, Georgia)		
Union Carbide Corp. Linde Div.	試作機		500~3,000

含めると現在では約50台が稼動している⁵⁾。本年3月の Quick Frozen Foods 誌⁶⁾によると、全米の冷凍食品メーカーに対する冷凍設備計画のアンケートの結果、この1~1.5年間に液体窒素凍結装置の導入を計画しているところが、約150社に達するという数字が発表されている。

この凍結法は、エビとか高級魚の切身を主体に普及がはじまったが、その後パン、ケーキ、一部の果物にも適用されるようになり、最近の傾向は肉製品および調理食品の分野でも注目されている。

1.2 わが国における発展の経緯

わが国でも、液体窒素を食品冷凍に応用しようという試みは、昭和37年頃にはじまっている。大洋漁業が農林省の補助金を受け、日本酸素が設計した連続式凍結装置により水産物の急速凍結の研究を実施したが、当時コスト的に実用化が困難であったことから、研究段階の域を出ないままで推移した。昭和40年頃から、ようやくコールドチェーンの気運が盛り上がり、食品業界においても合理化に関する認識が高まる一方、液体窒素の入手が容易になってきたことから、昭和41年12月、日本酸素は米国エアリダクション社と、液体窒素式急速凍結装置“マジックフリーズ”に関する技術提携を結ぶに至り、つづいて昭和42年2月に大洋漁業は米国クライオス社と技術提携を結ぶなど、ようやく活発化してきた。国内の実績としては、昨年10月、わが国初のコマーシャル装置として、ペーカリーメーカーの神田精養軒に設置されたマジックフリーズをはじめ、約10台がすでに稼動を開始している。適用対象食品も、パン(生地も含む)、ケーキ、パイ、和菓子、アイスクリーム、高級水産物、各種調理食品と広範囲になっている。

2. 食品凍結の所要寒冷と液体窒素の冷凍能力

2.1 食品凍結の所要寒冷

食品の中心温度を時間の経過とともに測定すると、第1図のような曲線が得られる。これを食品の凍結曲線と呼んでいる。AからBまでの間は食品の初期温度 t_1 から t_0 まで冷却する過程を示すが、BからCまでの間は食品の凍結点で、食品中の水分を氷結させるため、その潜熱をうばうのに寒冷が費やされる。全部の水分が氷結してしまうと、以後の冷却は食品の顕熱をうばうために費やされ、所定の到達温度に達して冷凍が完了する。

第1図 食品の凍結曲線

温度 t_1 の食品を温度 t_2 まで冷却、凍結するのに必要な寒冷量 Q_1 は次式によって得られる。

$$Q_1 = C_1 (t_1 - t_0) + q_F + C_2 (t_0 - t_2) \quad (1)$$

ここで

- C_1 ……食品の凍結前比熱 (kcal/kg °C)
- C_2 ……食品の凍結後比熱 (//)
- q_F ……食品の凍結潜熱 (kcal/kg)
- t_1 ……食品の初期温度 (°C)
- t_0 ……食品の凍結点 (//)
- t_2 ……食品の冷凍終温 (//)

食品の比熱は含水率によって決定的に支配され、また食品の実質は均一でないから、同一種類でも個々によって多少の差があるので、実測により求めるべきであるが、近似式として Siebel は次のような式を発表しており、一般的にはこの式によっている。

$$C_1 = 0.008 P + 0.2 \text{ (kcal/kg °C)} \quad (2)$$

第2表 食品凍結基礎データ

食 品 名	平 均 水 分 凍結点 t_0 (°C)	含 有 量 P (%)	比 熱 (kcal/kg °C)		凍結潜熱 q_F (kcal/kg)
			凍結前 C_1	凍結後 C_2	
アスパラガス	-1.22	93.0	0.94	0.48	74.3
とうもろこし	-1.72	75.5	0.80	0.43	59.9
マッシュルーム	-1.0	91.1	0.93	0.47	72.2
いちご	-1.17	90.0	0.92	0.47	71.7
魚	-2.22	70.0	0.76	0.41	56.0
か き	-2.78	87.0	0.90	0.46	69.4
豚 肉	-2.22	60.0	0.68	0.38	48.0
鳥	-2.78	74.0	0.79	0.37	58.8
ソーセージ	-3.33	65.0	0.89	0.56	51.6
アイスクリーム	-2.78	58~66	0.78	0.45	53.2

$$C_2 = 0.003P + 0.2 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \quad (3)$$

ここで

P ……食品の水分含有量 (%)

食品の凍結潜熱 q_F は

$$q_F = 80 \times P/100 = 0.8P \text{ (kcal/kg)} \quad (4)$$

これらの関係から、食品を冷凍するに必要な寒冷 Q_1 は、食品の水分含有量、凍結点がわかれば近似式により計算できる。表2は各種食品についてこれらの結果をまとめたものである。

2.2 液体窒素の冷凍能力

1 kg の液体窒素が大気圧において蒸発するとき、周囲から 48 kcal の潜熱をうばう。気化した窒素ガスは -196°C の温度にあり、さらに顕熱として 0.247 kcal/kg $^\circ\text{C}$ GN_2 の冷却能力を持っている。したがって、1 kg の液体窒素を蒸発させ、温度 $t^\circ\text{C}$ で大気に放出する場合、利用できる寒冷量 Q_2 は次のようになる。

$$Q_2 = 48 + 0.247 \{t - (-196)\} \quad (5)$$

表3は液体窒素凍結装置から排出される窒素ガスの

第3表 液体窒素の冷凍能力

ガス温度 ($^\circ\text{C}$)	冷凍能力 (kcal/kg)	ガス温度 ($^\circ\text{C}$)	冷凍能力 (kcal/kg)
0	96.5	-40	86.5
-10	94.0	-50	84.0
-20	91.5	-60	81.6
-30	89.0	-70	79.0

温度別に、液体窒素の冷凍能力をまとめたものであるが、実際には液体窒素貯槽、断熱配管の熱損失、凍結装置のクールダウンロスなどを考慮し、経験的に顕熱部分に効率をかけて実際とよく合致するようにしている。

式(1)と(5)から食品 1 kg を冷凍するに必要な液体窒素量 W が得られる。

$$W = Q_1/Q_2 \text{ kg LN}_2/\text{kg 食品}$$

水分含有量の比較的多い果実、魚では、 $W=1.1\sim 1.3(\text{kg/kg})$ になり、水分の少ないパン生地とか肉類では $0.8\sim 1.0(\text{kg/kg})$ となる。一般に、液体窒素凍結法では食品と等量の液体窒素が必要であるということが出来る。

3. 液体窒素凍結の方式

液体窒素凍結を大別すると(1)浸漬式、(2)スプレー式の二方式があり、このうちスプレー式が今日もっとも多く採用されている。このほか冷気循環式といって液

体窒素を蒸発器によって気化させ、その冷気を循環させて食品を凍結する方式がある。

3.1 浸漬式

この方式は、断熱した液体窒素の浴槽内に凍結すべき食品を瞬間的に浸漬し、後冷却 (Post Cool) によって凍結を完了せしめるものである。凍結時間は他のいかなる方式よりも速いので、大量の食品を短時間で処理することができる。しかし、この方式の問題点は、常温の食品が -196°C の液体窒素に直接浸漬されるため急激な熱移動が起こり、不均一の形状の食品では割れが入ることと、蒸発した窒素ガスの顕熱を効率よく回収することが難しいことである。現在までのところ、この方式の装置は米国エアリダクション社で数台製作し、いちごのような均一な形状で、大量に凍結処理を必要とするような場合に利用されている程度である。第2図は浸漬式凍結装置の一例を図示したものである。

第2図 浸漬式凍結装置の一例

3.2 スプレー式

第3図はスプレー式の代表例として、米国エアリダクション社“マジックフリーズ”の構造概要を図示したものである。

凍結せんとする食品は、図の右方よりベルトコンベヤーで凍結トンネル内に送入される。食品がスプレーゾーンに達すると、液体窒素のシャワーによって一気に凍結が行なわれ、さらに後冷却部 (Post Cool Zone) において温度の均質化が行なわれる。スプレーヘッダーから噴射された液体窒素は、食品に触れると瞬間的に気化するが、まだ十分な顕熱を持っており、コンベヤー上の食品を予冷しながら入口に向かって流れ、寒冷を十分回収したのち、ダクトを経て屋外に強制排

第3図 スプレー式液体窒素凍結装置(マジックフリーズ)

写真 マジックフリーズ MF 200 型

気される。コンベアーへの投入から取り出しまで、食品の種類、形状によって若干異なるが、5～15分というスピードで凍結が行なわれる。

今日、米国で実用化している液体窒素凍結装置はほとんどのスプレー方式で、各社によってトンネルの断熱構造、スプレー構造、窒素気流攪拌方式に若干の特徴が見られるが、原理的にはほとんど似ている。

わが国で国産化されている凍結装置もこの方式のもので、写真は日本酸素が製作している“マジックフリーズ” MF 200 型の外観を示したものである。

4. 液体窒素凍結法の特徴

第4図⁷⁾は液体窒素による急速凍結と、従来の機械冷凍による凍結曲線を示したものである。凍結速度がきわめてはよいということ、窒素が不活性であることから、品質その他の面で多くの特徴が見出せる。

4.1 品 質

(1) 氷 結 晶

魚とか肉その他多くの食品の、組織中の水分は 0℃以下 -5℃までにはほぼ80%が凍結を完了する。この温

第4図 凍結曲線 (液体窒素式と機械式)

度の範囲を最大氷結晶生成帯と称し、氷の形状は結氷せしむる時間に関係する。この温度範囲を速やかに通過すればするほど氷晶の形が小さく、組織を破壊することがないので解凍時ドリップの流出が少なく、凍結前の状態に復元できる。

(2) たんぱく質の変性

食品の細胞中には、たんぱく質のコロイド状溶液のほか、塩類の水溶液も混在している。細胞液が凍結して水分が氷結すると塩類の濃縮が起こり、コロイド溶液からのたんぱく質の沈殿がはじまる。これがたんぱく質の変性で、従来の方法によると凍結が緩慢となるため塩分の濃縮が激しくなるが、凍結が急速であればこの変化は少ない。たんぱく質が変質すると食品のフレーバーが変化し、たんぱく質のもつ結合水が外に出て食品が乾燥する。また塩分の変化によって食品のpHも変わり、食品の質に影響が出てくる。

(3) 凍結による微生物の変化

一部の細菌は凍結によって破壊死滅するものもあるが、液体窒素温度（ -253°C ）においても死滅しなかったという例が報告されている⁸⁾。液体窒素による凍結の場合も、一部の細菌は死滅せしめることができるが、完全な殺菌は期待できない。しかし、一般にどの細菌も -10°C 附近になると繁殖は認められなくなる。凍結速度がおそいと、 -10°C に至るまでに長時間を要するので、凍結工程中細菌の繁殖が起こる。急速凍結の場合は短時間でこの温度に到達できるため、繁殖の機会が短くなるわけである。第5図はこの関係を図示したものである。

第5図 凍結速度と細菌成長の関係

また、従来のエヤブラスト法では、空気中の雑菌が搬入される機会が多いが、液体窒素凍結法では、凍結中に外部から空気の侵入することがなく、また液体窒素そのものも、製造の過程で数段階にわたり洗滌、ろ過、加熱（圧縮による）が繰り返されるため、ほとんど細菌の搬入されることはなく、この点からも特徴ある凍結法といえる。

(4) 酸化

凍結中に魚の切身が褐変したり、獣肉が退色し、灰褐色を帯びるといった変化はいずれも空気中の酸素による酸化現象で、またビタミンB、Cは酸化によって変化し、食品の栄養価に影響を及ぼす。このような現象を防ぐために、液体窒素の不活性が利用できるわけである。

4.2 経済性

液体窒素凍結の経済性を論ずる場合、直接の冷凍コストだけを取上げることは妥当でない。2.2で記したごとく、食品1kgを冷凍するに液体窒素がほぼ等量必要であることから、現在の液体窒素価格では直接冷凍コストだけで25～30円/kg(食品)（大量消費の場合）になるからで、販売価格の安い食品では負担が大きい。しかし次に記すような特徴も十分加味して比較すれば、必ずしも高コストの凍結法とはいえない。

(1) 設備投資

液体窒素凍結法は機械冷凍法よりも急速に凍結できるため小型化ができ、同能力の設備において装置価格は約1/2となり、また据付面積も1/4程度で済むので、工場建物を含めた全体の設備投資額はかなり節減できる。

(2) 所要動力

機械冷凍法ではアンモニヤ、フロン等の冷凍機を駆動するため、大きな動力設備が必要であるが、液体窒素凍結法ではコンベヤー駆動用、排気ブローおよび攪拌用の小型モーターが心要なだけで、全体の所要動力はわずかで足りる。たとえば450kg/hの水産物を1日当り8時間程度凍結するために、機械冷凍では45kW程度の動力が必要であるが、液体窒素凍結法では3～4kWでよい。

(3) 人件費

短時間で、しかも連続的に凍結できるので、作業員を増やさずに生産量を増大することができる。食品工業の多くは長時間勤務が普通とされているが、基準外賃金の増大と、それにも増して作業員の定着率が年々悪化している。このことから連続作業を可能にする液体窒素凍結法が注目されている。1,000lb/hのエビを凍結する工場で従来の方式では45人を要したのが、この方式を採用することにより、28人ですむようになったという事例が米国で報告されており、これは40%の節減に相当することになる。

(4) 収率

凍結が緩慢であると、凍結中、乾燥脱水による製品の目減りが起こる。魚の切身とか、ステーキ肉をエヤ

ブラスト凍結した場合、凍結中平均5%の脱水目減りが認められるが、液体窒素凍結では0.25~0.5%という結果がでている。製品価格の高い食品の場合には、この差だけで液体窒素価格に相当する分が出てくる。

(5) 運転・保守

液体窒素凍結の場合は、凍結装置と液体窒素貯槽を断熱配管で接続するだけで、他の設備は要らない。運転も対象食品ごとにベルトスピードと弁開度を設定すれば、容易に連続運転に入れるので、運転および保守はこれまでの冷凍装置に比較し、かなり簡単であるから、わずかの補修費で長期の耐用年数が得られる。

(6) 年間稼働率

機械冷凍装置は冷凍工場に設置されるが、液体窒素凍結装置および液体窒素貯槽は容易に運搬ができ、簡単に設置できるので、季節とか地域に限定されて生産される食品の凍結に利用計画を効率よく組めば、年間稼働率の向上が期待でき、コストの低減が図れる。

(7) その他

従来の冷凍法では品質的に満足なものが得られなかったある種の食品が、液体窒素による急速凍結で可能となってきた。たとえばしいたけ、かまぼこ、米飯、玉子あるいはめん類などである。このことは新製品開発の可能性を示唆するものといえる。

このように、液体窒素凍結法はいろいろの特徴を持っているが、すべてに適用できるというものではない。たとえばまぐろのような肉厚のものには現在のスプレー式は無理であり、また包装後に凍結しなければならないものには効率的な適用ができないという欠点もある。

5. 実 例

米国およびわが国における液体窒素凍結の実例⁹⁾をいくつか紹介しよう。

5.1 水 産 物

水産物の中でも液体窒素凍結を適用しているのは、エビとかシタビラメ、スズキ、メカジキの切身といった高級水産物である。エビの適用例は比較的多く、フロリダの Singleton Packing Corp. の実例¹⁰⁾では、従来ブラストフリーザーで -38℃ の雰囲気により2時間かかって凍結していたため、脱水ロスが4~4.5%もあった。これを液体窒素凍結に切換えたところ、作業時間は凍結から包装までを含め20分以下となり、脱水ロスも0.4~0.45%にすることができた。液体窒素の費用は、4%の脱水ロス防止でカバーでき、品質が著

しく向上した。

シャトルの San Juan Fishing & Packing Co.¹¹⁾では、エヤリダクション社の1,000 lb/h マジックフリーズが設置されており、14品目の魚切身が年間10ヶ月生産されている。切身は1.7℃の保冷器から取り出され、コンベヤーベルト上に人手で置かれ、-29~-37℃の品温で約10分後取出口からあらわれてくる。液体窒素の利用によって、冷凍製品1ポンドあたり3.5~4セント(28~32円/kg)となるが、高品質であること、設備費、保守の費用が節約でき、作業員を増さずに増産ができ、凍結中の目減りが防げることなどにより十分採算がとれるといっている。

わが国でも、近海のエビ、タイ、ハマチの切身を対象に液体窒素凍結が実施されており、切身など貯蔵後解凍の際、あらいの現象が得られるほど新鮮であることが確認されている。

5.2 肉 製 品

肉製品に対する液体窒素凍結の適用は比較的新しい。昨年4月、エヤリダクション社がフロリダの Lykes Brothers 社に、1,800 lb/h のミートパティー(ハンバーグ)凍結装置を設置したが、トンネル長さ約10m、ベルト幅約1mの装置を平均3分で通過させている。同社では従来機械式冷凍で行なっていたが、人手がかかることから液体窒素式を導入したところ、肉の色が非常に良く、液体窒素コストは凍結目減りでカバーできたとして満足している。また品質がよいということでも販売量も著しく伸びていると報告されている。

わが国ではまだこの分野での稼働を見ていないが、試験段階でのデータからは適用できるとの結果を得ており、近くミートパティー、ハム、ソーセージ、スライスしたステーキ肉の液体窒素凍結が開始されるものと予想される。

5.3 ベーカリー

ベーカリー業界における液体窒素凍結実施例は、ベークオフした製品の凍結と生地凍結の二つがある。ベークした製品は、+21℃から-6.7℃の間で急速に老化する。これを防ぐため、-6.7℃以下に急速に降下させることが必要である。急速冷凍によってフレーバーやテクスチャーの改良が得られる。一方、生地の場合、緩慢な冷凍によるとイーストの活性が失われ、生地内部氷結晶の増大によってテクスチャーにも影響が出てくるから、同じように急速冷凍が必要である。しかし、あまり deep freeze にすると、イースト菌の低温耐性に限界があり、死滅するおそれがあるの

でコントロールが必要である。

米国の Palmer Frozen Foods 社¹²⁾ では約50種のパン生地を液体窒素凍結し、小売店に卸している。小売店では、店頭で小型のオーブンを置き、焼き立てのフレッシュなパンを消費者に販売して成功している。少ない売場面積と人員で売上げは3倍に伸び、利益は6.4%から10.9%に増加したと報告されている。

このような例はすでにわが国でも実施されている。前記した神田精養軒がそれで、従来分散していた工場を1箇所に集中し、センター工場から冷凍生地を直売店に発送して効果をあげている。

ベーカリーの分野では、パンのほかにケーキ類の凍結もすでに実施されている。とくに生クリームの品質保持の点で急速凍結が効果的な働きをしている。

5.4 半調理、調理済食品

給食用のカツ、フライ類(パン粉付きフライング前)といった半調理食品に液体窒素凍結が採用されている。従来、冷凍庫で10時間位かかって冷凍にされていたが、肉のテクスチャー、玉ねぎの変色、解凍時のドロップなど品質面で不満があった。液体窒素凍結を採用した結果、品質面の問題はすべて解決され、当初コスト面で若干の不安があったが、販売量の増加によって採算がとれるようになったという国内の事例がある。

米国においても、最近高級ディナーの液体窒素凍結が徐々に採用されはじめた。肉料理を主体とした調理食品で効果が認められている。

いわゆる“hard to freeze”のものとして、従来凍結が困難とされていたわが国独特の御飯物各種、めん類、水産練製品などについて、すでに多くのテストが実施され、品質面の確認がなされている。今後、この

ような分野への応用も大いに期待される。

実際例については上記したほかに、和菓子、果物、高級農産物などがある。

6. 結 び

米国で生まれた液体窒素凍結法は、実質まだ10年を経ておらず、わが国に導入されてからも数年という新しい技術である。しかし、極低温と不活性という独特の性質を利用したこの凍結法は、今日の食品工業界で注目され、従来の冷凍法との厳密な比較の結果、徐々に適用の範囲をひろげつつある。

この凍結法の今後の正常な発展を支えるものは、正しい認識、評価と技術の向上にあると思う。拙文を通じ、いささかなりともそれに役立てば幸せである。

参 考 文 献

- 1) Chemical Week, October 14 (1961) 72
- 2) Food Engineering, September (1962) 69
- 3) D.D. Shelton: Quick Frozen Foods, June (1965) 29
- 4) L. Trauberman: Food Engineering, December (1966) 86
- 5) U.S. トレードセンター農務部 Seminar Proceedings (1967)
- 6) Quick Frozen Foods, March (1968) 46
- 7) 武藤: MOL, Vol. 5, No. 7 (1967)
- 8) 谷川・秋場: 冷蔵の科学 (中巻) (昭和28年)
- 9) 武藤: 食品機械装置, 7 (1968)
- 10) Food Processing & Marketing, March (1966) 48
- 11) E.R. Ruthford and K. Robe: Food Processing & Marketing, June (1965)
- 12) P. Gelber: Food Processing & Marketing, December (1966)