

## Ⅱ．コールドチェーンの現状

コールドチェーンの現状を把握するために、既存のコールドチェーンに関連報告書の調査を行ったところ、以下の様な報告があった。いずれもコールドチェーンに関する提言はおこなっているものの、コールドチェーン全体を俯瞰して現状把握したものでは無かった。

またコールドチェーンに関しては農林水産省のみでは無く、国土交通省、厚生労働省、環境省なども関連する報告書を刊行しており、総合的に議論すべき課題であることが分かる。以下に各種報告書の概要を示す。

### ①平成20年度農林水産省補助事業東アジア産学官ネットワーク構築支援事業

「中国コールドチェーン実態調査報告書」

平成21年3月食品産業センター，日本冷凍食品協会編

中国におけるコールドチェーンの現状の課題と問題点，中国におけるコールドチェーンの標準化に関して報告されている。

### ②卸売り市場における品質管理の高度化に向けた規範作成のためのマニュアル

(農林水産省委託事業平成18年度卸売市場整備基本方針実施状況実体調査委託事業)

平成19年3月(株)流通システム研究センター編

青果，水産，畜産，花き卸売市場の温度管理の実態把握と規範作成をおこなっている。

### ③「コールドチェーンの効率化の推進に関する調査報告書」

平成22年3月 国土交通省政策統括官付参事官(物流施設)室編

コールドチェーンの効率化の推進を図るために，パレット規格に合わせた効率的なカートンケースの規格標準化に焦点を当てた調査検討結果がしめされている。

### ④平成19～21年度厚生労働省食品の安心・安全確保推進研究事業「冷凍食品の安全性確保に関する研究」

平成22年3月国立医薬品食品衛生研究所 春日文子ほか

冷凍流通食品の種類・流通量・衛生面の調査を行い，冷凍食品と比較対象することにより，冷凍食品への規制の必要性を論じている。

### ⑤平成21年度環境省請負業務結果報告書平成21年度食品廃棄物等の発生抑制対策推進調査報告書

(株)エックス都市研究所

食品廃棄物の発生要因別の調査，小売業に着目した消費者の意識や行動パターンを踏まえた発生抑制対策について述べている。

本報告書においては、コールドチェーンの上流から下流までを俯瞰的に見るため、以下の3つの視点より現状と課題を抽出した。

①コールドチェーンユーザー：家庭（個人ユーザー），流通，外食

②コールドチェーンを流れる食品特性：農産物，水産物，畜産物，冷凍食品，惣菜・米飯類

③コールドチェーンを構成する設備・機器：冷却凍結装置，保管・流通装置，解凍装置，家庭用の凍結・保管・解凍装置

### 1. コールドチェーンユーザーより見た現状と課題

コールドチェーンを下流（ユーザーサイド）から見た場合，最も重要なのは，コールドチェーンを通して食品を消費する立場の家庭（個人ユーザー）である。また個人ユーザーは家庭内での内食だけでなく外食として食品を消費することも考慮すれば外食産業も重要なユーザーである。またコールドチェーンの現状と課題を議論する中で，冷凍食品メーカーとこれらユーザーを結び，流通においても課題が見られることが分かった。

この章では，家庭（個人ユーザー），流通，外食の3つの視点からコールドチェーンの現状と課題を明確にした。なお，コールドチェーンに食品を供給する冷凍食品メーカーもユーザーともいえるが，冷凍食品メーカーの現状と課題は次に述べる食品特性・設備・機器面の記述と重なるため，この章では扱わなかった。また，現状と課題については技術専門委員会の議論を踏まえ，各節ごとに最適と考えられる担当者を決め執

筆した。そのため各節ごとに若干の用語の差異がみられる点があるが、出身分野により用いられる用語が異なる点も踏まえ、あえて統一を図らなかった。その点ご了承頂きたい。

「家庭」、「流通」の2節については、長年冷凍食品メーカー会社に勤務し、現在日本冷凍食品協会常務理事の山本宏樹が執筆した。日本冷凍食品協会では大手冷凍食品メーカー各社のお客様対応窓口担当者で構成されるCS研究会活動をおこなっており、その活動で得られた情報を元に現状と課題を明確にした。

「外食」については、ぐるなび総合研究所理事高井睦雄が執筆した。ぐるなび総合研究所は「食」に関する総合的な調査・研究を推進し、創出した新たな「知」を食に関わるさまざまなステークホルダーに提供することで、外食産業、ひいては食文化の発展に貢献することを目指す団体である。

## 1.1 家庭

冷凍食品に対する一般消費者の理解は、業界の長年にわたる技術開発、商品開発、加えて広報・啓発活動の成果もあり、「おいしく、便利な」加工食品として食生活を豊かにし、日々の生活に欠かせない食品と受け止められるようになった。

しかし、これが食品冷凍技術の本質的価値である「食品が凍結されていれば微生物は休眠状態であるために腐敗・変質等がほぼ完全に抑制されること」、「急速凍結により食品細胞が破壊されることが少なく凍結前の品質がかなり再現できること」、「マイナス18℃以下で保管すれば凍結前の食品の品質を安定的に長期間保持できること」などについて必ずしも十分に理解されていることとイコールではない。

我が国の食料自給状況、輸入食品への依存状態などから見ても、今後とも豊かで安定した食生活の維持のためには国産・輸入いずれについても食品流通にコールドチェーンが果たす役割は益々大きくなると思われる。しかし、前述の消費者の冷凍技術に対する理解の実態からみれば、コールドチェーンの高度化、効率的利用推進等が食料供給システムの発展に貢献するためには、まず冷凍食品の基本的な価値に関する知識の普及・啓発等により、最終ユーザーである消費者に食品の冷凍技術の理解・支持を得ることが重要かもしれない。

食品冷凍に関する理解の状況は、販売の全体数量に対する比率としては極めて小さいながらも消費段階で発生するさまざまな消費者苦情（クレーム）からもある程度読み取れる。社団法人日本冷凍食品協会では冷凍食品企業に寄せられる消費者苦情の中から消費者の誤認、誤使用のケースを整理・分析し、冷凍食品の適切な取扱いについて消費者の理解の現状を把握すると共に、消費者への啓発活動を行っている事例を情報開示している。

参考資料として、「誤使用・異物誤認苦情事例」を示す。

## 1.2 流通

冷凍食品には製造過程、流通過程、あるいは消費者の取扱い過程に原因があると推定される様々な品質上の問題や取扱上の齟齬が生じている。これらは製造事業者（販売事業者を経由するものも含めて）へ苦情（クレーム）として持ち込まれ、慎重かつ丁寧な対応が欠かせないため、製造企業の顧客対応窓口等業務の重要性は益々大きくなっている。苦情の中には製造工程の原材料、加工、包装、検査、品質管理、その他製造工程に由来すると思われるもの、一般的に「工場責任クレーム」と呼ばれるものがあるが、流通過程、あるいは消費者の取扱いに問題があつたと推察されるもの（製造過程に原因を見出すことが難しいケース）も近年増加傾向にある。これらは一般的に「工場責任クレーム」と対比して「流通クレーム」と呼ばれている。

これら流通クレームの中でも、特に冷凍食品にとって基本的に重要な要件である「マイナス18℃以下の低温管理」が適切に行われていないのではないかと疑われるケースは、冷凍食品の商品価値を著しく損なう可能性も高く問題にもなりやすい傾向にある。

このような流通苦情の防止についても前述の消費者誤使用・誤認事例と同様に、コールドチェーンを構成する消費者を含む関係者全体に実態が充分理解され、必要な対応が行われることが望ましい。

参考資料として、「物流・保管等に起因する苦情事例」を示す。

### 1.3 外食

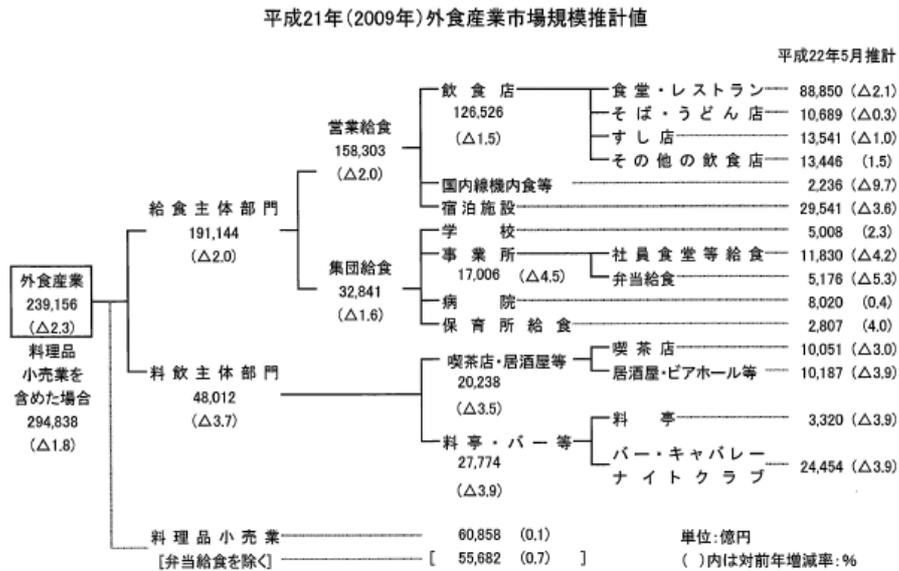
#### 1.3.1 はじめに

日本におけるコールドチェーンの展開は1960年科学技術庁資源調査会からいわゆる「コールドチェーン勧告」と呼ばれる「食生活の体系的改善に資する食料流通体系の近代化に関する勧告」が出たときに始まる。一方、チェーン外食店としては1970年、大阪万博の会場にケンタッキーフライドチキンが出店、1971年銀座三越にマクドナルド第一号店等が次々に開店している。1970年、ファミリーレストランとして“すかいらーく”、“ロイヤルホスト”が出店している。コールドチェーンの確立に歩調を合わせるようにして、ファーストフード、ファミリーレストランの各店舗が出現したことは食材の輸送が容易になったことによるのであろう。

#### 1.3.2 外食産業

外食産業は図1に示すように、給食主体部門、料飲主体部門、料理品小売業の3部門に分けられる。料理品小売業は個人商店である。大型外食店の総売上は23.9兆円、うち給食主体部門19.1兆円、料飲主体部門4.8兆円（平成21年実績）である。料理品小売業の売り上げは6兆円に達している。売り上げは前年に比して減少している。

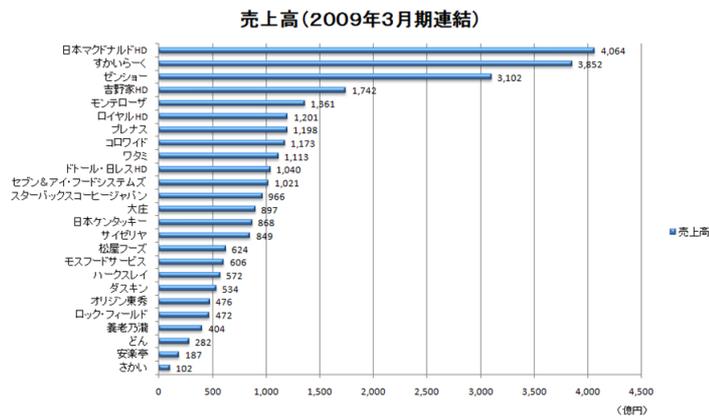
外食産業がややもすればチェーン店をイメージしやすいが、集団給食の事業は3.2兆円にも達しており、高齢化社会に向かいこの部門売り上げ増加が期待される。図1に外食産業の2009年の市場規模を、図2、3、に外食産業の売上高、営業利益、従業員数をそれぞれ示した。<sup>1)</sup>



資料: (財)食の安全・安心財団 附属機関外食産業総合調査研究センターの推計による。  
 注1) 平成20年外食産業市場規模は平成22年5月現在の推計値で24兆4,836億円である。  
 2) 売上高のうち、持ち帰り比率が過半の店は、「料理品小売業」に格付けされる。  
 3) 産業分類の関係から、料理品小売業の中には、スーパー、百貨店等の売上高のうちテナントとして入店している場合の売上高は含まれるが、スーパー、百貨店が直接販売している売上高は含まれない。  
 4) 外食産業の分類は、基本的には日本標準産業分類に準じている。一部、最近の業態の変化を考慮してわかりやすく表現したものがあがる。  
 5) 病院給食は、17年以前は入院時食事療養費及び標準負担額の合計額であったが、18年以降は入院時食事療養費、標準負担額、入院時生活療養費及び生活療養費標準負担額の合計額となっている。

(財)食の安全・安心財団 : 外食産業総合調査研究センター

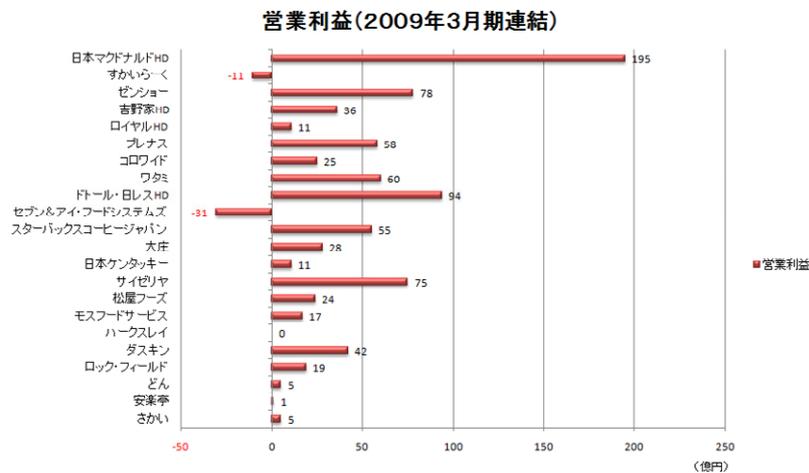
図1 外食産業の構造と規模



最新「日本の業界研究・業界地図・業界動向」より



図2 外食産業売上高



最新「日本の業界研究・業界地図・業界動向」より

図3 外食産業営業利益

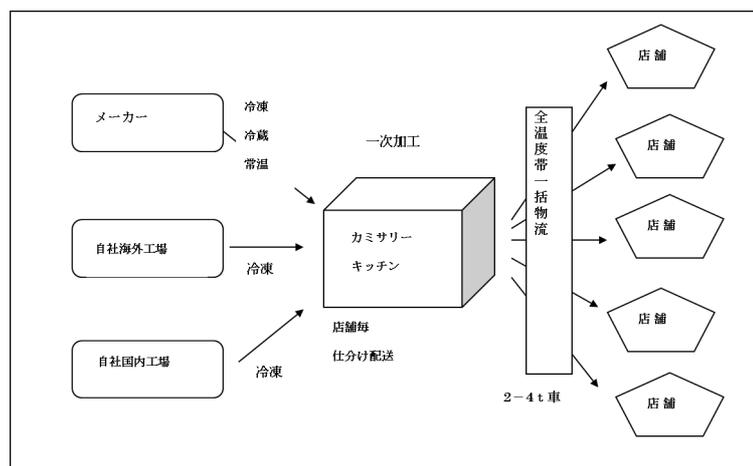
ここに示した、店舗が今後どのような展開を遂げるのか不明であるが今後の発展が期待されている。

### 1.3.3 外食産業におけるサプライチェーン

外食産業業態はチェーン店を作り上げ、客にサーブする飲食物等は一括してセントラルキッチン、カミサリーで一括品揃え各店舗に配送される。

店舗が必要とする物品には、当日の献立メニューの料理材料、生鮮野菜、調味料、アルコール等飲料、雑貨類を含む種々雑多なものがあり、これらの品物を確実に各店舗に配送することが必要である。

配送品の温度帯により冷凍品、冷蔵品、生鮮品、常温品に分けることが出来る。これらのものを一括配送するには温度領域が広いため困難である。冷凍品・冷蔵品、その他、と区分し配送システムを構築している。図4



作:光浦食品技術事務所 光浦暢洋

図4 外食産業の物流モデル<sup>2)</sup>

### 1.3.4 セントラルキッチン、カミサリー

外食産業の提供する主要な品物は調理済みの冷凍食品、半完成の食材であり、セントラルキッチンで調理した冷凍食品、委託調理した冷凍食品、サラダ等の生鮮食品、等々必要なアイテムを各店舗毎に品揃えする場所を設けている。この施設はセントラルキッチンあるいはカミサリー（Commissary：米軍基地内、もしくは米軍住宅地内にある品揃え豊富なスーパーや百貨店のこと）とよばれており外食産業の重要な機能をしめる。この施設には各店舗が必要とするものを集積しているこのような設備を外食産業が保持するメリットについては検討の余地がある。ファーストフードのチェーンでは取り扱う品数も限定されており、地域の中心に例えばハンバーガーの冷凍パテ、冷凍フレンチフライ用冷凍ジャガイモ等を冷凍貯蔵する施設を保有し冷凍トラックにて各店舗に配送を行っている。

ファミリーレストランのように、供給アイテムが多岐に亘るものでは店舗配送の品揃えまでも含めて委託することが行われるようになってきている。このような第三者に委託し配送するシステム「3PL」（サードパーティーロジスティクス）が盛んに行われるようになってきているが、「3PL」に委託する外食産業が競合相手であるような場合も起きており、守秘義務等難しい問題が起きる可能性も懸念される。

### 1.3.5 輸送温度帯管理の問題点

各店舗が必要とする物は冷凍品、冷蔵品、常温品、一般物品であり、これらを一括輸送するためには温度管理が充分になされた車両を利用することになる。冷凍品、冷蔵品を温度域を分けた冷凍・冷蔵車を準備し配送ルートを構築することで、各店舗の注文をこなしていると思われるが品質維持、輸送コストと環境負荷の点からも検討を要する事項である。

この点からも前述した「3PL」の方式が各外食企業の独立性が保たれ、効率の良い輸送車両と経路選択が実現できる事が期待される。<sup>3)</sup>

### 1.3.6 これからの外食産業

経済が収縮してきている環境では外食は中食へと変わり、外食産業の売り上げは減少してきている。しかし、大手の外食産業は様々な工夫を凝らしながら食材を大量に仕入れることにより単価を下げる工夫をしながらサービスを提供しているところであり、配送、品揃え、出来るだけ人手の要らない調理済み食品の開発に知恵を絞っていることと思われる。

高齢化が進む我が国においては老人向けの給食、学校給食、病院給食への割合が高まることが予測できる。

## 文 献

1) (財)食の安全・安心財団 付属機関：外食産業総合調査研究センターより

- 2) 光浦暢洋氏（光浦食品技術事務所）からの個人的コメント
- 3) 全温度帯一括物流の新たな潮流：野口英雄：  
[http://www.sakata.co.jp/nletter/nletter\\_041008.html](http://www.sakata.co.jp/nletter/nletter_041008.html)

いずれにしても冷凍温度帯、冷蔵温度帯での輸送と、保存が不可欠であり、断熱性に優れた輸送車、冷凍システムの高効率化が期待されている。

大手外食産業のみならず、個人経営の外食業においても調理済み冷凍食品の利用とそこに一工夫を加えたその店独自のメニューの開発等が今後十分に検討されるべき事項である。

## 2. 食品特性より見た現状と課題

この章では、コールドチェーンを流れる食品ごとに現状と課題を明確にした。食品素材としての農産物、水産物、畜産物は凍結耐性が異なり、各々が独自のコールドチェーンを築いている。またそれら食品素材を調理加工した調理冷凍食品、CVS中心に独自のコールドチェーンを持つ総菜・米飯類についても別途節を設けた。

ここでは各々のコールドチェーンの特徴と執筆者の紹介を行う。

### <農産物>

農産物は通常チルド流通される。また青果物の特徴としては①生命活動を収穫後も維持している、②収穫によるストレスを感じる、③水分含有率が多いので水分が飛びやすい、④利用部位は根、果実、葉、花など様々、⑤多品目で個体ごとの不均一性がある、といった点があり、温度・時間以外の様々な要因に気を付ける必要がある。食品の高品質流通技術に関する研究を専門とする食品総合研究所食品工学研究領域流通工学ユニット長椎名武夫が執筆した。

### <水産物>

水産物においてマグロが超低温コールドチェーンで成功したことは大きな意義がある。しかし漁船で超低温が維持されていても陸上に上がると昇温が見られ、せっかくの長期の低温エネルギーが無駄にされているような事例がある。水産物は低温にするほど高品質が維持できることは間違いのない事実と認識して良い。日本における水産物冷凍の専門家水産大学校特任教授福田裕が執筆した。

### <畜産物>

一般的に、国内では食肉はチルド状態で輸送、加工されるが、輸入牛肉の場合は、冷蔵品と凍結品が半々の割合である。食肉加工ロボットなど食肉生産自動化システムと凍結装置を得意とする前川製作所より技術研究所副所長篠崎聡が執筆した。

### <冷凍食品>

冷凍食品とりわけ、調理冷凍食品のジャンル、品目、用途等は益々多岐にわたり、今後共主要な食品分野として成長が期待される。冷凍食品メーカーの業界団体である日本冷凍食品協会常務理事の山本宏樹が執筆した。

### <総菜・米飯>

惣菜・米飯の多くは、常温で販売されるケースが多く、いわゆる消費期限の短い商品群である。数多くの食品工場、飲食店舗視察の経験がある、東京海洋大学大学院食品流通安全管理専攻教授日佐和夫が執筆した。

## 2.1 農産物

2010年11月10日技術専門委員会における講演要旨

(文責：コールドチェーン高度化開発普及協議会 事務局)

日本における野菜の消費量はだんだん減っており、現在の消費量はアメリカより少なくなっており、韓国の半分でしかない。食品の品質要素面からみると、野菜はビタミン・ミネラル・食物繊維が重要なファクターとして含まれており、現代社会の生活習慣病の増加傾向に対して、現在の野菜の消費量に満足するのでは無く、野菜よりのビタミン・ミネラルの供給量を増やす必要がある。ここで青果物の食品としての特徴を述べると、以下の5点があげられる。

①青果物は生命活動を収穫後も維持しており、酸素の消費、水分蒸散、エネルギー消費を起こす。

- ②青果物収穫時にストレスを感じて、鮮度が落ちる場合がある。
- ③青果物は他の食品と比較して水分含有率が多いので、含有する水分が飛びやすい。
- ④青果物の食品としての利用部位は根、果実、葉、花など様々なので、部位により食品としての特性が異なる。
- ⑤青果物は多品目で個体ごとの不均一性があり、工業製品の様な均一なものとして扱えない。

これらの青果物の食品としての特性を考慮すると、農産物の場合は冷凍食品の様な TTT（温度、時間が重要な要素との考え方）で無く TET（time environment tolerance）で考えるべきである。品質に影響を与える因子としては、温度、湿度、ガス組成、振動、衝撃などがあり、これらをデータベース化すれば賞味期限を予想することができると考えている。

青果物保管時の温度、湿度、ガス（酸素、二酸化炭素、エチレンなど）濃度などの重要な物理環境ファクターの中で特に雰囲気温度の影響は大きく、一般的に雰囲気温度が 10℃上昇すると呼吸速度が 2~4 倍になる。（なお 10℃上昇で呼吸速度が増大する率を呼吸の温度係数  $Q_{10}$  と呼ぶ）。従って「予冷」といって収穫後青果物の温度を下げることは青果物の低温管理の要で、具体的な方法としては以下の 3 手法がある。

- ①低温の空気での冷却する「空気冷却」
- ②圧力を下げ青果物の水分を蒸発させることにより気化熱で青果物を冷却する「真空冷却」
- ③空気よりも伝熱速度の速い冷水を用いる「冷水冷却」がある。

冷却方式は各々特徴を持ち、平成 8 年度で全国に 3397 か所設置されている。また日本全国の新規施設設置数は平成 2 年にピークでそれ以後減少傾向にある。予冷後出荷されている主要農産物はレタス・キャベツ・白菜で、予冷後出荷される農産物全体の 46%を占める。（平成 8 年度で 186 万 t）また野菜の収穫量の全体の 20%程度相当が予冷後出荷されている計算であり、予冷は日本のコールドチェーンの重要な位置付けを占めるものである。

予冷として最も一般的な「差圧冷却」の場合の問題点として以下の 2 点がある。

- ①差圧冷却の場合は、圧力差を利用して空気が野菜表面に直接当たることを特徴とする。野菜を入れる容器の積み方が悪い（容器の通風孔がうまく接続されていない）場合は、空気がうまく回らず、十分な冷却ができない。
- ②青果物単体での実験結果と比較し、段ボール箱入りの場合は冷却に 1.5 倍の時間が掛かる、パレットへの箱積みの場合は 2 日掛っても冷えない、といった積み方による差異が大きく、きちんとした冷却ができない。

近年、青果物の低温流通に関する動向としては以下の様な進化がある。①産地間協力による予冷農産物の周年供給を考え、移動式とした「移動式真空冷却装置」の開発（ナラサキ産業）2010 年度 2 件導入済み、②「壁面冷却式冷蔵庫（氷蔵庫）」はきわめて安定した温度管理ができ、長野県のナシなど長期保管可能とした。ただし冷却時間はかなりかかるので事前冷却が必要である。なお低温貯蔵により、クリシギゾウムシの殺虫効果（-2℃2 週間）、栗の糖含量の増加の効果もねらっている。③高電場（1000~3500V）と低温を併用した冷蔵庫の評価も行ったが、実際はオゾンの効果が大部分で、コストメリットが小さいと判断した。④北海道の野菜用 CA 貯蔵庫（玉葱などを保管）など通常とは異なるガス組成で成果を上げている例もある。最近ではエチレンガスを使った馬鈴薯の出芽防止を行う例、将来的にはエチレン阻害剤（1-MCP、農薬として登録された）を使ったリンゴ・なし・カキの日持ち向上が考えられる。エチレン阻害剤については既にアメリカ・ニュージーランドなどにおいて導入済みである。

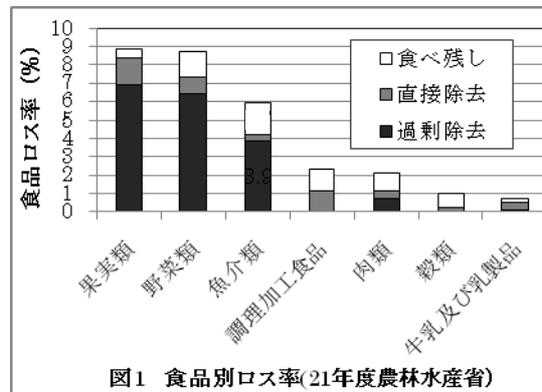
最後に、環境負荷低減のための定量的品質管理としては LCA 手法が利用できる。ポストハーベスト処理（たとえば予冷、低温倉庫）をやりすぎると環境負荷が多くなり、しなすぎると農産物の損耗率が増えてくる。ポストハーベスト処理の大小による、環境負荷と農産物損耗率に関して最適点を探す必要がある。

## 2.2 水産物

(1) 投棄魚：世界の食料資源で最初に増加慣性を失ったのは水産資源であり、この 20 年間海洋の漁獲量は増加していない。一方で、食料資源となる前にロスとなる投棄魚も多い。トロール漁業などでは商業的価値を生み出さない魚介類は洋上で廃棄される。1994 年に FAO の報告書によれば、1988~1990 年に漁獲

された水産生物の内 1790～3950 万トン/年、平均で 2700 万トン/年の生物が投棄されたと推定された。この数値は当時の世界年間漁獲量の約 27%に相当した。その後 2005 年には 680 万トンと修正されたが、いずれにしても膨大な量であり、投棄魚を資源化する手段が求められている。

2) 水産物のロス：農林水産省の平成 21 年度食品ロス統計調査(世帯調査)では、世帯食のロス率は 3.7%と発表された。その内訳は食残し 1.0%、「直接除去」0.6%、「過剰除去」2.0%である。「直接除去」は賞味期限などで、「過剰除去」は不可食部と一緒にまたは腐敗などにより、それぞれ廃棄された可食部分のことである。世帯一人 1 日当たりの食品使用量は 1,116 g で、内訳は「野菜類」、「調理加工食品」、「穀類」等と比べ、「肉類」と「魚介類」は 4%と少ない。一方ロス量は一人 1 日当たり 41 g で、内訳は「野菜類」49%、「果実類」16%、「調理加工食品」11%、次に「魚介類」は 6%とロス率では「穀類」、「牛乳及び乳製品」、「肉類」より多い。食品別のロス率(図 1)は「果実類」と「野菜類」が 9%、「魚介類」6%とこの 3 食品のロスが高く、いずれも過剰除去率が高く、魚介類では非可食部とともに可食部が廃棄され、腐敗による廃棄率も高い。しかし、冷凍貯蔵中の魚介類のロスについては調査が無く、不明である。



3) 水産物の流通：国産の水産物は生産者から産地卸売市場と消費地卸売市場を通り、卸・加工業者そして小売業者(量販店など)を経由して消費者に届く。輸入水産物は、商社などの輸入業者から消費地卸売市場または卸・加工業者そして小売業者(量販店など)を経由して消費者に届く。以上が主要な経路であるが、最近では市場経由が 60%と減少傾向である。

4) 水産物の需給動向：平成 21 年は、国内生産量が 487 万トン、輸入量が 450 万トンで、国内で 919 万トンが消費され、このうち 690 万トンが食料となり、229 万トンが餌料など非食料に向けられ、輸出が 67 万トンであった。

5) 水産物の冷凍：水産物の冷凍には、生鮮形態の魚類・貝類・水産動物類を凍結室で凍結した生鮮冷凍品、及び水産物を主原料として加工または調理した後、-18℃以下で凍結し、凍結状態で保持した冷凍食品(包装食品)がある。平成 20 年は、生鮮冷凍品は 166 万トンあり、サバ類 41 万トン、イワシ類 22 万トン、サンマ 20 万トン、サケ・マス類 14 万トンで、冷凍食品は 33 万トンあった。

6) 水産物のコールドチェーン：魚介類の筋肉タンパク質、脂質などは非常に不安定であり、魚介類を主要な食料資源とする我が国では、品質安定保管のためコールドチェーンが良く発達してきた。マグロの超低温冷凍保管がその典型である。アフリカ沖などの遠洋延縄漁船では、漁獲されたメバチ、インドマグロなどは急速凍結され-50～-70℃の超低温保管で半年から 1 年かけて我が国へ運ばれ、国内でもさらに 1~2 年間も保管される場合があり、超低温の品質保持効果は非常に高い。伝播や選抜育種で人類のニーズに应运ってきた農産物に対して、水産物ではコールドチェーンが代わって重要な役割を果たしてきたと言っても過言ではない。最近では、マグロ以外でも船上での超低温保管が広がっている。

## 2.3 畜産物

### 2.3.1 畜産物の輸入

日本国内の畜産物は、そのほとんどが冷蔵品(チルド)であり、輸入される冷凍品(冷凍品)との差別化を図っている。また、海外からの輸入肉は、その多くが加工用となっており、凍結解凍後に加工、加熱

処理され、再度凍結される。このように、凍結解凍を繰り返すことによる、品質の劣化が予想される。畜産物のコールドチェーンでは、海外を視野に入れると、多くの技術的、社会的なハードルが存在すると考えられる。

食肉における需給量は、500万トンを超える程度で推移しており、割合は、牛肉、鶏肉、豚肉とそれぞれ約30%程度である。国産自給率は、畜産肉で60%であり、内訳は、牛肉で40%、豚肉で50%、鶏肉で80%程度であり、自給率は比較的安定している。

一般的に、国内では、食肉はチルド状態で、輸送、加工されるが、輸入牛肉の場合は、冷蔵品と凍結品が半々の割合である。

### 2.3.2 衛生的な課題

チルド状態での流通では、0℃近傍であれば、微生物の爆発的な増殖を抑制できるが、温度管理、衛生管理技術の問題などで、課題は残る。流通される肉から、検出される微生物は、低温でも生存可能な細菌である。多くの一般生菌は、肉の表面に付着している細菌で、温度の上昇によって、増殖を開始する。凍結後も微生物は、死滅せずに、常温に復帰した時点から増殖が開始される。水分活性と温度管理は、非常に重要である。また、毒素を生産する細菌では、危惧が予想され、大きな問題となる。特に、鶏肉では、サルモネラ、カンピロバクターなど問題を生じる微生物の管理が不可欠である。

### 2.3.3 凍結技術

畜産物の輸入品のうち、凍結の割合は、牛肉で50%、豚肉で70%、鶏肉で100%であり、多くの畜産物が、冷凍状態で輸入されると考えてよい。肉類の凍結において、最大氷結晶生成帯を速やかに通過することが重要である。また、凍結処理以外に、貯蔵中の劣化も大きな要因となる。これは、細胞内の水分が再結晶し、細胞を破壊することによる劣化が大きい。むしろ、貯蔵期間の劣化のほうが大きなウェイトを占める可能性がある。貯蔵中の温度変化により、氷結晶の成長、冷凍焼け、筋肉タンパクの変性を生じさせ、ドリップなどの増加を引き起こす。

以下に、豚肉の凍結温度と保管条件の試験結果を示す。豚肉200グラム程度スライスし、-20℃と-50℃で凍結させ、これをそれぞれ20日、30日保管した際のドリップ量を測定した。凍結曲線を図1、ドリップ量を図2に示した。

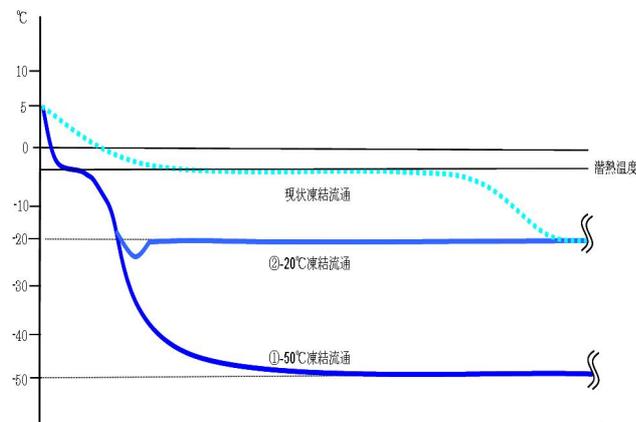


図1 豚肉の凍結曲線

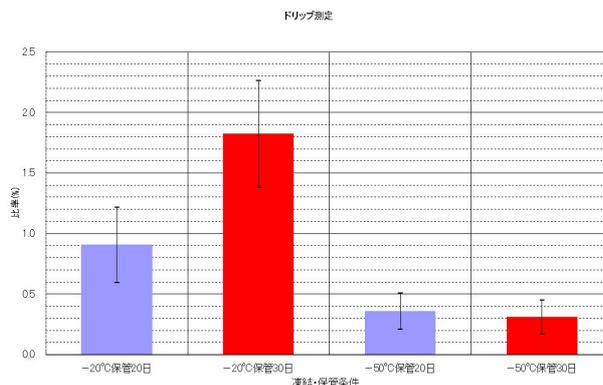


図2 豚肉の凍結保管温度と期間によるドリップ量の変化

この試験結果では、 $-20^{\circ}\text{C}$ では保管期間の増加により、ドリップ量が急激に増加し、 $-50^{\circ}\text{C}$ では、ドリップの変化が少なくなった。このように、低温での保管が、ドリップ量の減少に結びつくことが理解できる。

### 2.3.4 国内外のコールドチェーン

国内の畜産物の流通は、冷蔵であり、現状のシステムでは、日持ちの向上が大きな課題である。鶏肉では、低温での貯蔵でエイジングを行うことがあるが、日持ちの関係でデリバリーのエリアが限定される課題がある。

海外からの輸入鶏肉では、冷凍品がほとんどであり、この流れを、図3に示した。ブラジルなどで、処理された鶏肉が、冷凍状態で輸送され、陸揚げ後に日本の食品メーカーで解凍されて、加工食品などとして、利用され、再度冷凍食品として、凍結される場合がある。

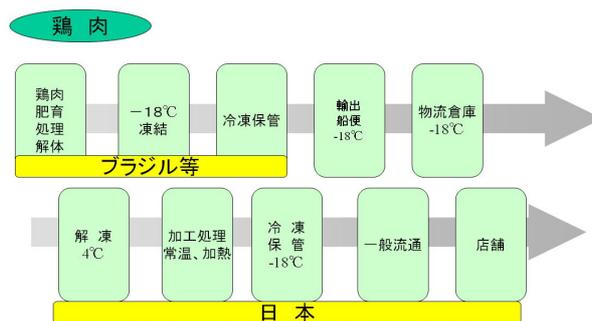


図3 輸入鶏肉のコールドチェーン

豚肉、牛肉の国内流通は、冷蔵で主体あり、温度管理されたコールドチェーンによって、店舗に配送される。海外からの輸入では、冷凍品の割合が増えるが、これも鶏肉の事例と同様である。

### 2.3.5 コールドチェーンの課題

畜産物では、海外で生産された肉類の温度管理、輸送温度、鮮度状態、衛生状態など、多くのばらつきがあり、さらに、海外を渡る一定のコールドチェーンが存在せずに、鮮度保持輸送は大きな課題がある。長期間の輸送にも関わらず、チルドとフローズンの2カテゴリーの輸送温度であり、品質と衛生面から、課題があると考えられる。

また、ロス（廃棄物）の側面からは、衛生状態による廃棄を除けば、大きなロス率になっているとは、考えにくい。残念ながら、数値的な統計データは、追跡できないが、多くの場合加工処理によって、利用されていると考えられる。

このような、ロスという観点からみると、コールドチェーンの高度化による畜産物への貢献は、大きなものではないと考えられる。

今後、国内の畜産を海外へ輸出するケースが考えられるが、付加価値のある畜産品であることが不可欠である。検疫などの問題があり、輸入を制限している国が多く、これは、コールドチェーンの周辺の課題として、検討が必要である。

## 文 献

- 1) 食肉通信、「2008 数字で見る食肉産業」、食肉通信社、(2008)

## 2.4 冷凍食品

我が国の食料自給の現状では、豊かで安定した食生活の維持のためにはある程度輸入食料に依存せざるを得ない。しかし国産品であれ、輸入品であれ食料供給に果たす品質保持機能という点からコールドチェーンの価値は共益々重要になると考えられる。

しかし、前述の「1.1 家庭(個人ユーザー)」で述べた通り、食品冷凍技術の本質的価値である三つの特性・要件などが必ずしも十分に理解されていないことは認識しておかなければならない。

冷凍食品についての基礎的な知識の普及により、食品冷凍技術の価値が理解されることがコールドチェーンの高度化による冷凍技術の効率的利用の拡大について消費者の支持を得ることに繋がり、結果的にコ

ールドチェーンの高度化取り組みの推進力となることも期待される。

我が国では、農・水・畜産物の素材型冷凍食品の需要はこれからも増加することが見込まれると共に、調理冷凍食品のジャンル、品目、用途等も益々多岐にわたり、今後共主要な食品分野として成長が期待される。一方でこれらの製品の貯蔵温度等管理の条件と品質変化の相関、コールドチェーンの各ステップでの品質保持課題等々に関する科学的な情報も充分とは言い難い面も多い。今回のコールドチェーン高度化開発普及協議会の取り組みがこのような科学的情報の収集にも寄与することを期待するものである。

参考資料として、「冷凍食品の定義」、「冷凍食品の意外とスゴイキャンペーン」、「食品の凍結速度と品温変化の関係」、「食品の凍結速度と細胞の変化」、「食品の保存温度と微生物の増殖の関係」、「冷凍食品の貯蔵温度と品質保持期間の関係」、「冷凍食品の貯蔵温度・期間と栄養保持」、「解凍と対応する冷凍食品の例」といった日本冷凍食品協会が広報・啓発活動に用いている資料を添付する。

## 2.5 惣菜・米飯類

### 2.5.1 惣菜・米飯類の製造・加工・販売環境

惣菜・米飯類におけるロス率の低減は、単なるロス管理にはとどまらず、現場サイドにおいては、生産管理、さらには衛生管理や安全管理の向上に影響を与えるものと考えられる。その理由としては、一部の企業を除いて、これらの業界は、いわゆる「井勘定」の体質の中で成長してきた経緯があり、また、「職人体質」のなかで「原価やロスを無視したところでの品質」が職人の技術であるという評価があったことも歴史的な事実であろう。その結果、管理概念の希薄が見られる。従って、この分野における「ロス率低減」は、経営的に見れば、生産管理・品質管理などの向上であり、技術的に見れば衛生管理・安全管理などの向上などの効果が期待でき、広義の経営改善に寄与できるものと思われる。

#### 2.5.1.1 惣菜・米飯類の特徴

惣菜・米飯の多くは、常温で販売されるケースが多く、いわゆる消費期限の短い商品群である。常温商品については、製造（多くは盛り付け）後、販売教養時間が数時間であるケースが多く、冷蔵販売されるものについては、当日あるいは翌日までの消費期限のものが多い。一方、CVS などでは、冷凍保存したものを電子レンジなどで解凍して販売するスタイルでロス防止を図っているところもあるが、その多くは、消費期限近くで売れ残った商品は廃棄されているのが実情である。

#### 2.5.1.2 惣菜・米飯類の微生物規格基準

惣菜・米飯の食品衛生法に基づく規格基準はない。しかし、各都道府県での指導基準や「弁当・そうざいの衛生規範」での指針はある。また、CVS などでは独自の微生物基準などを設定している。

さらに、これらの基準をクリアするための要件として、CVS などが独自の加工方法やチェックリストに基づく工場監査（第三者監査）がなされている。

このように小売業主導の衛生管理によって、販売基準が設定され、基準を超えた（売れ残った）商品は「飲食適」と思われても廃棄されているのが実情である。この背景には、PL（製造物責任）法の施行後や消費者保護の視点などから消費者が購入した後の取扱・保管などについての責任を問うことが困難であることなどにより、それらの責任を小売業が製造者に独自の製品規格や販売期限等の制約を求めており、それがロス率につながっている。

#### 2.5.1.3 惣菜・米飯類の製造環境

基本的には、惣菜・米飯の加工は、家庭調理の延長線上であり、ある一定の調理設備を備えておれば、比較的、設備投資が少なく商品化が可能である故、中小規模の加工メーカー及びスーパーや市場でのバックヤード加工など加工場数が多いこと、多品種少量生産であることから調理場の二次汚染などが見られること、従事者の衛生観念や衛生教育が十分でないこともあるなど課題が多い業種である。

#### 2.5.1.4 惣菜・米飯類の販売環境

惣菜・米飯類のスーパーや CVS での販売形態は、①外部工場からの製品納品 ②店内加工（バック

ヤード)での製造加工販売 ③外部工場からの半製品の小分け包装加工販売(例:つくだ煮など)が見られる。一般的にロス発生率が高いのは②であるが、そのロス量は工場に比べて少ないが、加工店舗数が多いのでロス総量は無視できないと推測される。さらに、CVSなどは顧客ニーズに対応して、従来の商品構成に加え、生鮮及び生鮮加工品や店内加工を行う店舗が急増している。これらの顧客ニーズ拡大によるロスも無視できない状況になるとと思われる。一般的には店内加工によるロスについては、商品アイテムごとの加工形態やその特性などによってロス率は異なるものと思われる。

## 2.5.2 惣菜・米飯などのロス率の実情

食品におけるロスが問題になるのが、CVS やスーパーへの納品形態及びバックヤードで製造される惣菜・米飯類や日配食品(豆腐・麺類など)、飲食店現場における販売機会ロスにCVSによる日配食品の売上構成率は約33.7%、1店当たりの月間売上高は約500万円[1]に迫る主力製品群であるが、CVSでは日配食品による食品ロスが経済コストの問題としてしばしば問題になっている。日本のCVSはフランチャイズチェーンによる拡大が多くなされてきたが、CVS本部が加盟店から徴収するロイヤリティ及びCVS本部が決めた販売許容時間(期限表示以前)を越える食品の店頭撤去(いわゆる食品廃棄ロス)は加盟店の収益から差し引かれることになっている。[2]。

この関係が大きく取り上げられた事例として、2009年にコンビニ最大手セブン・イレブン・ジャパン(以下SEJ社)による見切り販売制限問題がある。CVS加盟店は1店舗あたり原価相当額で年間平均約530万円もの食品廃棄ロスの抑制のために廃棄を恐れる消極的な発注や、販売期限が短くなった商品を値下げする見切り販売という手法に走り易くなる。一方のCVS本部は食品廃棄に関わる経済コストを被る必要が無い場合積極的な発注による品揃えの充実や、CVSのブランド保持のために見切り販売を制限する等の要求を加盟店に対して行っていた[3]。この問題は同年6月22日に公正取引委員会がSEJ社に対し、見切り販売の制限が優越的な地位の乱用に当たるとして排除措置命令を下した[3]。

その翌日の6月22日にSEJ社は食品廃棄ロスの15%(年間約100億円と言われている)を補填するとして、引き続き加盟店に販売機会のロスを防ぐための積極的な商品発注を呼び掛ける政策を発表した[4]。こうした流れに伴って、食品廃棄ロスと販売機会のロスを防ぐ取組は今後のCVS発展に向けた本部と加盟店共通の課題となっている。

## 2.5.3 ロス低減対策の課題

### 2.5.3.1 ロス低減のための品質管理(複合調理食品:弁当類の期限設定に関する研究[5])

惣菜・米飯類(弁当類も含む)は複合調理食品といえる。これらの期限設定(消費期限)を迅速・簡易的に製造・加工段階で測定し、予測することができれば生産管理におけるロス低減と品質管理が可能と思われる。

本調査では、弁当類の期限表示を設定する手段として、弁当類中の個別食品を測定し、個別の食品の保存性を予測することによって、生産計画(ロス管理や消費期限予測)の視点からロス低減が可能であると考えられる。

#### 2.5.3.1.1 背景・目的

複合調理食品(弁当類)の期限設定は科学的根拠の中で特に微生物検査による期限設定が科学的根拠とされている。食品の期限表示設定については、平成17年に「食品期限表示の設定のためのガイドライン」によって食品の特性を配慮した客観的な項目(指標)に基づいて期限を設定するように示されている。しかしながら、複合調理食品(弁当類)の消費期限の設定は経験的な判断(外観・官能など)に基づく設定が多いのが実状である。一方、科学的根拠となるデータを蓄積するには多大な労力が必要であることが原因であると考えられる。

この問題を解決するには、設備を要する検査機器が必要な理化学検査や培養時間のかかる微生物検査を用いず、実務(工場)レベルで簡易・迅速に期限の設定及びその修正ができる方法を選択する必要があると思われる。そこで、本研究は食品成分特性と予測微生物モデルに着目し、食品成分測定と既存の予測微生物モデルを活用した複合調理食品(弁当類)の期限設定は科学的根拠になりうるのかを検証することを

目的とし、そのことが現場での品質管理でのコスト削減及び生産計画における生産品（半製品）在庫の有効な活用、ロス低減のための冷凍技術の活用による解凍（フローゼンチルド）後の消費期限の予測による解凍時期の設定などに有効活用できるとの予測をたてた。

### 2.5.3.1.2 方法

- 1) 分類調査：購入した市販複合調理食品（弁当）の品目単位で品目群別に分類した。
- 2) 食品成分特性：品目群ごとに簡易計測器を使用して食品成分特性を測定した。

①pH ②水分活性 (Aw) ③塩分 (NaCl)

- 3) 予測微生物モデル：測定した食品成分特性値から黄色ブドウ球菌（弁当は常温で流通される。低温流通食品はその温度帯で最適に発育微生物を選定する必要がある。）を指標菌とした既存の予測モデル（ComBase Predictor）で増殖曲線のシミュレーションをおこなった。

以上の結果から以下のことが明らかになった。

### 2.5.3.1.3 結果および考察

複合調理食品の食品特性 (34検体)

食品群	検体数	pH	塩分 (%)	水分活性 (Aw)
飯類	6	5.1~6.6	0.0	0.996~1.000
煮物	10	5.2~7.1	0.2~1.2	0.977~1.000
乳物	4	5.5~6.0	0.7~0.8	0.981~0.988
お弁当	5	5.1~6.0	0.2~0.7	0.985~0.988
惣物	2	5.5~6.0	0.3~0.5	0.980~0.987
麺類	3	4.0~6.0	0.4~0.6	0.984~0.986
漬物	4	3.4~5.4	0.6~1.5	0.969~0.992

複合調理食品 6 種類 34 品目を 7 つの品目群に分類した。簡易測定した結果は、pH は 5.5~6.5、Aw0.98~1.00、塩分は 1.0%以下に分布するものが大半を占めていた。例えば、調査した中でハンバーグ (pH5.8 Aw0.986 塩分 0.7%) の ComBase Predictor での予測増殖曲線は 30℃ 8~9 時間、20℃ 22~24 時間、18℃ 31~34 時間、10℃ 250 時間以上で基準とした 10<sup>5</sup>に達した。

### 煮物10品目の保存温度の違いによる増殖予測時間

設定条件: 初発菌数 10<sup>2</sup>/g、到達菌数10<sup>5</sup>/g  
 指標菌: 黄色ブドウ球菌

	10℃	18℃	20℃	30℃
pH-塩分系	175~180	30~31	21~23	7.5~8.5
pH-Aw系	170~195	29~33	21~24	7.5~8.5

(単位:h)

20℃ ⇒ 24h(コンビニ)、30℃ ⇒ 7h(衛生規範)

- 1) 今回調査した品目では、業界での期限設定と予測モデルによる期限設定では著しい差は認められなかった。
- 2) 食品成分特性測定と予測モデルによる消費期限予測結果は、従来の細菌検査 (Mix 法) と比べても消費期限予測においては有効な試験方法であると判断された。
- 3) 予測モデルによる pH - NaCl 系と pH - Aw 系測定による設定では、著しい差は認められなかった。よって、pH - NaCl 系による特性のある品目では、現場測定による消費期限の予測に pH - NaCl 系測定は有効であると思われた。
- 4) 現場でおこなう通常検査において食品特性を測定することにより、製品の品質管理と消費期限予測を同時におこなえると推測される。

- 5) 従来実施している惣菜・米飯類の商品の微生物検査の代替えとして pH - NaCl 系測定を常時実施することにより、検査コスト及び人件費の削減や結果の迅速予測が期待できると共に、従来の微生物検査は pH - NaCl 系迅速・簡易測定の見直し方法として位置付けられる。
- 6) 本 pH - NaCl 系迅速・簡易測定は、瞬時に保存性が予測されるので、ロス削減のための生産計画に活用ができる。
- 7) 本 pH - NaCl 系迅速・簡易測定と工場監査手法と連携することにより、食品安全（特に微生物腐敗及び変敗）の信頼性や期限表示の妥当性が証明される。

#### 2.5.3.2 フローズンチルドの可能性

近年の冷凍技術及びその解凍技術の進歩は、多品種少量生産の生産形態を冷凍という技術の中で、特定品目（例：生菓子やケーキ類）ごとの期間別大量生産を可能にしたり、生鮮食品をベースにした生鮮加工食品やそれをベースとした加工食品（惣菜・米飯・弁当など）等の生産が可能となる。また、解凍技術が確立することにより、フローズンチルド食品の増加と共に、流通・販売における予測微生物による消費期限や流通・販売温度管理が徹底されることにより受発注管理精度向上による販売機会損失でのロスも軽減されると思われる。

#### 2.5.4 今後の課題

冷凍技術の発達により食品加工形態の変化、解凍技術の開発による品質低下の防止や従来の冷凍・解凍技術において不可能と思われていた商品開発が可能になると推測される。このことは惣菜・米飯類のフードチェーンにおける生産・加工・製造・流通・販売などでの変化が見られると想定される。特に、水産物を中心とした漁獲基地での生鮮加工のみではなく、加工食品の生産が可能になることにより漁獲基地での漁獲の安定とロス低減に大きく貢献できるものと思われる。また、販売（消費地）においては、生産地とのコラボレーションによるフローズンチルドの商品開発が可能になり、かつ、高価格商品の予約販売がロスが発生することなく可能となる。その背景においては、生産地加工場の工場監査手法と pH - NaCl 系測定法の確立が急がれる。

### 文 献

- [1] 社団法人日本フランチャイズチェーン協会. コンビニエンスストア統計調査月報 2010 年 1 月度～6 月度より推計  
<http://www.jfa-fc.or.jp/particle/42.html>
- [2] 金頭哲. コンビニエンス・ストア業態の革新. 有斐閣. p109-120, 2001
- [3] 公正取引委員会. 株式会社セブン・イレブン・ジャパンに対する排除措置命令について. 平成 21 年 6 月 22 日. 報道発表資料  
<http://www.jftc.go.jp/pressrelease/09.june/09062201.pdf>
- [4] 日本経済新聞. セブンイレブン, 弁当廃棄損失 15%補てん, 排除命令受け, 年 100 億円負担. 2009/06/24. 朝刊
- [5] 松本崇・豊福肇・日佐和夫, 複合調理食品(弁当)の期限設定の一手法について, 日本食品保蔵科学会平成 22 年度学術講演会, 2010(那覇市)

### 3. 設備・機器から見た現状と課題

この章においては、コールドチェーンを形成する産業用設備・機器をその機能面から、冷却凍結装置（温度を低下させる装置）、保管・流通装置（温度を維持させる装置）、解凍装置（温度を上昇させる装置）の 3 つに分類して、現状と課題を確認した。また家庭用コールドチェーン関連設備についても別途記載した。ここでは各々の設備・機器の特徴と執筆者の紹介を行う。

### <冷却凍結装置>

冷却凍結装置に関しては、「農産物の冷却設備」と、「自然冷媒による凍結設備」を取り上げる。

農産物のコールドチェーンは、1965年に科学技術庁・資源調査会から出された「食生活の体系的改善に資する食糧流通体系の近代化に関する勧告」通称「コールドチェーン勧告」を契機として、農林水産省主導のもの関係機関や農協などで構成される組織で調査研究が進められた。その結果、昭和40年代には、輸送に関する調査研究がまとまり、昭和50年前後には産地予冷設備の開発が完成し全国整備が進められ、1981年（昭和56年）頃にはほぼ一貫したシステムの確立を見た。その後、種々改良が重ねられ現状ではほぼ完成したシステムとして機能している。日立プラントテクノロジー高松邦夫がこの節を担当する。

また自然冷媒による凍結設備は、フロンおよび代替フロンの規制により近年主力になりつつある。従来産業用冷凍システムにはフロンが冷媒として用いられていたが、オゾン層を破壊する物質として1987年に締結された「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」と1997年の地球温暖化防止京都会議（気候変動枠組み条約第3回締結国会合、COP3）で採択され、2005年2月に発効された「京都議定書」により代替フロン（HFC：ハイドロフルオロカーボン）が規制を受けたことで、産業分野ではオゾン層破壊、地球温暖化の両方に対して影響がほとんどない自然冷媒への転換が急ピッチで進んだ。現在、使用されている自然冷媒としては、アンモニア、二酸化炭素、ハイドロカーボン（プロパン、イソブタン等）、水、空気に関して、前川製作所技術研究所篠崎聡が担当する。

### <保管、流通装置>

冷凍保管庫は食品の自給率低下、食の高級化・多様化に伴い、生産（冷凍食品加工）用、港湾埠頭用、消費地用、中継基地用の増加、及び大型化、自動化・立体倉庫化、さらに入出庫の多頻度化と変化して来ている。また、冷凍保管庫は食品を短期或いは長期にわたり保管する流通の要であり、年間・昼夜を問わず連続運転されるため環境負荷と深い関わりがあり、この課題にも取り組まなければならない。

保管流通装置一般に関しては、三菱電機冷熱プラント小澤明が担当する。

また取り扱い貨物の多様化と物量の季節的变化に対応するため、一つの冷蔵室において、F級からC級まで幅広い温度帯での運転が可能な機能を付加し、荷扱いにフレキシブル性を持たせた冷蔵庫への改修需要も増加している。これらの需要に対応するための複数温度帯対応型冷凍ユニットに関してダイキンアプライドシステムズ中村隆が担当する。

また近年の消費者のニーズである「食の安心・安全」を満足するためには、温度履歴の他にも産地情報など製品に関する種々の情報の伝達や管理が要求されてきている。これらトレーサビリティに関しては日立プラントテクノロジー高松邦夫が担当する。

### <解凍装置>

冷凍食品の解凍後の品質は、原料の品質、凍結方法・条件、保管（期間）・流通管理温度等の要因の集積に左右されるが、解凍方法・条件にも大きく影響される。食品の解凍は、食品の外表面から熱を入れる方法と食品内部を発熱させ解凍する方法が有るが、本項では外部加熱解凍について三菱電機冷熱プラント小澤明が担当する。

### <家庭用コールドチェーン関連設備>

家庭用コールドチェーン関連設備としての冷凍冷蔵庫、また家庭における解凍方法について、東京海洋大学海洋科学部教授鈴木徹が担当する。

## 3.1 冷却凍結装置

### 3.1.1 農産物の冷却設備

農産物のコールドチェーンは、1965年（昭和40年）に科学技術庁・資源調査会から出された「食生活の体系的改善に資する食糧流通体系の近代化に関する勧告」通称「コールドチェーン勧告」を契機として、農林水産省主導のもの関係機関や農協などで構成される組織で調査研究が進められた。その結果、昭和40年代には、輸送に関する調査研究がまとまり、昭和50年前後には産地予冷設備の開発が完成し全国整備

が進められ、1981年（昭和56年）頃にはほぼ一貫したシステムの確立を見た。その後、種々改良が重ねられ現状ではほぼ完成したシステムとして機能している。

農産物のコールドチェーンにおける冷却設備は、図1に示す通り産地予冷設備に始まり、一時保管、運送、加工処理、二次保管、仕分け配送、小売り、消費者の保管すべての工程に関係しており、必要不可欠の技術・製品となっている。

### 3.1.1.1 農産物の品質保持と問題点

農産物の品質劣化に関する主要な要因と抑制法を表1に示す。

品質保持のためには、収穫から消費までの流通においては、以下のことが求められる。

- ① 品種に最適な温度に保つ
- ② 成長（成熟）ホルモンであるエチレン濃度の抑制
- ③ 乾燥防止（高湿度、氷蔵、フィルム包装等）

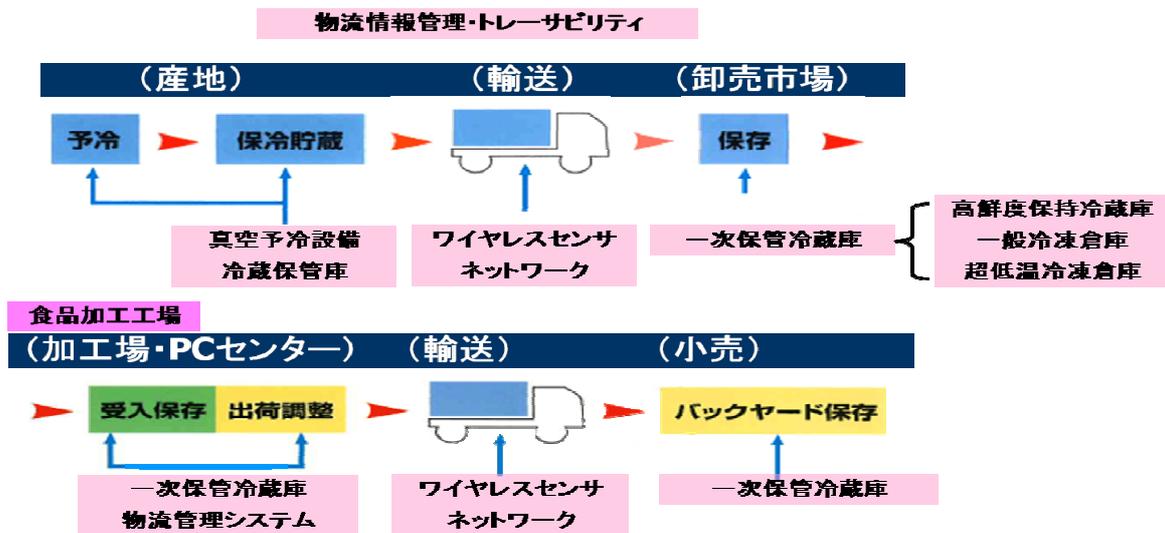


図1 コールドチェーンと冷凍技術の関係<sup>4)</sup>

コールドチェーンがほぼ確立された現在においても、収穫から消費までの一貫した管理体制や情報伝達は十分とは言えず、下記の問題点が指摘される。

- ① 上記の機能が整備されていない施設もある。
- ② 荷役作業や運搬時の管理が確認できない。
- ③ 農産物には、品種や産地により最適保管条件が異なるが、それらが完全に理解されていないと間違った条件で保管され品質の低下を招く。

表1 農産物の品質劣化とその抑制法

要因	鮮度低下の現象	抑制法
呼吸作用	栄養分の消耗 追熟→軟化	温度調節 エチレン除去
蒸散作用	水分損失（しおれ） 変色	低温処理 湿度調節
微生物作用	腐敗 病原菌の繁殖	低温処理 殺菌処理 紫外線照射 オゾン処理

### 3.1.1.2 産地予冷設備

農産物は、収穫後に直ちに予冷処理を行い一時保管庫に出荷まで保管される。

主な予冷設備とその特徴を表2に示す。現在では葉菜類は真空予冷方式が、果実などは強制通風方式か差圧通風方式が主流となっている。

#### 1) 強制通風方式

これは、通常の冷蔵倉庫と同様の設備構成であり、保管庫に比べ予冷熱負荷の分だけ容量が大きい。

#### 2) 差圧通風方式

差圧通風方式は、冷却設備の構成としては一般的に使用されている強制通風方式と同様である。強制通風方式との違いは、品物の周囲の冷風を均一にすることにより、熱交換効率を上昇させ冷却時間を短縮しているところにある。一般的な強制通風方式は、冷風を吹出している部分は風速が早く風量も多いが、密に積まれた品物の間や特にカートンケースに收容されているものの内部には、冷風が入り込む量は非常に少なく冷却効率は悪い。これを改善する方策として開発されたのが差圧通風方式である。

強制通風方式は、品物に向けて冷風を吹出すが、差圧通風方式は、逆に品物側から冷風を吸引する流れとなる。このことにより、品物の間から均一に風が流れ均一な冷却が可能となる。

#### 3) 真空予冷方式

「真空」がもたらす冷却作用は、水の沸点の変化を利用している。水の沸点は、大気圧では100℃であるが、気圧の低い場所、例えば山の上などでは水は沸点が下がることは衆智のことであり、圧力が4.6mmHgになると、水は0℃で沸騰し蒸発する。このとき、水分の蒸発に伴い品物から気化熱を奪うことを利用し冷却することができる。

真空槽に野菜(平均温度+25～+30℃)を入れて減圧すると、野菜の持つ水分は、品物の温度に対応する飽和水蒸気圧力(約25～30mmHg)で急激に蒸発を始め、同時に野菜を冷却する。

真空冷却設備の特徴としては、品物からの水分蒸発を原理としていることから、表面積の大きい葉菜類に適しているが、ダイコン、ニンジンなどの根菜類にも適用されている。

また、根菜類や果実類への応用装置として、品物に水をかけることにより水分の蒸発量を多くすることで冷却効率を向上させるハイドロバキュームクーリングがある。

図2に真空予冷の概要を、図3に施設全体を、図4に真空冷却設備を示す。予冷設備は、現状では殆どの産地に配備されており、予冷後の出荷による品質保持は徹底されているが、近年の傾向として、施設の集約により施設数を少なくしていることから畑と予冷施設との距離が長くなってきている。また、予冷設備の消費するエネルギーは主に電気であり、その消費量は大きなものでもあること、建設費が高いことなどから、今後は以下の開発が望まれている。

- ① 小型で安価な設備を開発し、少数の農家単位でも施設を完備し、収穫後に直ちに予冷処理が行えるようにする。
- ② 農家からの集荷用トラックも保冷機能を備えたものとする。
- ③ 予冷設備の省エネルギー化

表2 予冷設備の冷却方式と特徴

冷却方式	特 徴	
冷風冷却	強制通風	① 冷気をファンにより野菜に吹付けて冷却する。 ② 冷却に時間かかり、冷却ムラがしやすい。 ③ 建設費が比較的安く応用できる品目が多い。
	差圧通風	① 特別な積荷として、ファンにより容器の相対する2側面に圧力差を生じさせ、容器内の野菜の間に冷気を通して冷却する。 ② 冷却速度は強制通風に比べて速く、冷却ムラも比較的少ない。 ③ 強制通風に比べて収容能力がやや落ち、セットするのに手間がかかる。 ④ 建設費は真空冷却に比べて安価である。
真空冷却	① 野菜から蒸発潜熱が奪われる事を利用して冷却する。 ② 冷却速度が非常に速く、冷却ムラが少ない。 ③ 体積の割合に表面積の少ない果菜根菜などは冷えにくい。 ④ 建設費が高く、保冷库が必要である。	
冷水冷却	① 冷水シャワーや冷水浸漬により冷却する。 ② 冷却速度は速い。 ③ 野菜が水濡れ状態になる為、問題がある。別に保冷库が必要である。	

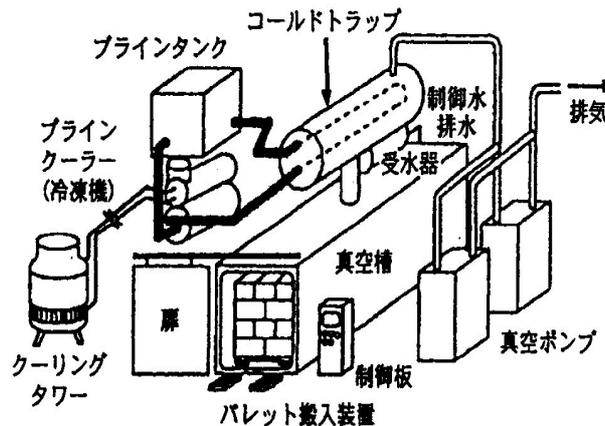


図2 真空冷却設備の概要<sup>2)</sup>



図3 真空予冷施設全体外観<sup>1)</sup>



図4 真空冷却設備外観<sup>1)</sup>

### 3.1.1.3 一次保管冷蔵庫

産地集出荷施設における一次保管庫は、強制通風式の冷蔵倉庫が主に採用されているが、その他、氷鮮庫（低温高湿度保管庫）やCA貯蔵庫が用いられている。

#### 1) 強制通風方式保冷库

実績も多く建設費が比較的安価なこと、運用も容易なことから現在の主流となっている。最近の保冷库は、前記の品質保持向上のため以下の機能と設備が設けられているものも多い。

- ① 布製冷風ダクトの採用（乾燥防止）（図5）
- ② エチレン除去設備（成熟防止）
- ③ 砕氷供給設備（乾燥防止，温度保持）
- ④ 電解水・オゾン水等供給設備（殺菌洗浄）

また、作業性を考慮し壁や天井が移動できる稼働間仕切り方式なども採用されている。図6に稼働間仕切り方式の設置例を示す。



図5 布製冷風ダクト採用保冷库<sup>1)</sup>



図6 可動間仕切り方式<sup>1)</sup>

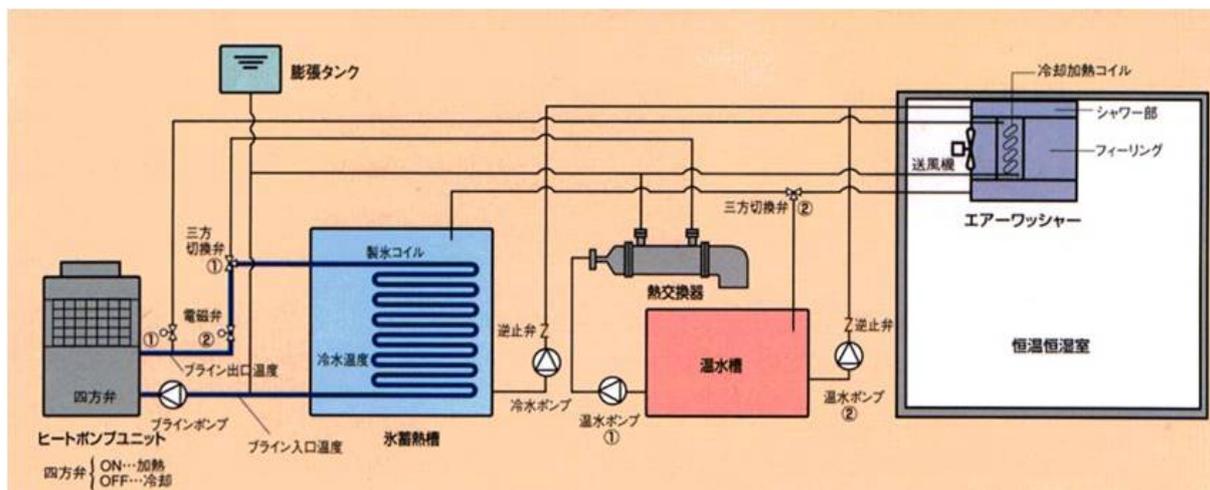


図7 氷鮮庫システム概要<sup>4)</sup>

## 2) 氷鮮庫（低温高湿度保管設備）

湿式の冷却設備を使用し、室温+5℃、湿度 90%以上に維持できる保管設備であり、その機能により農産物を長期保管可能とした設備である。この設備の大きな特徴として、強制通風方式ではデフロスト時に室温が上昇してしまうが、この設備はデフロストの必要がなく、温度上昇つまりヒートショックを防止できることが挙げられる。図7に概要を示す。

この設備は、すべての農産物に適用可能であるが、その品質保持期間は品種や産地などにより異なるので、それぞれに適した条件を確認する必要がある。

## 3) CA貯蔵庫

保管雰囲気（空気）の成分をコントロールすることにより農産物の成長、劣化を防止し長期保管を可能とした設備である。図8に設備概要を示す。また、表3に対象農産物と保管条件を示す。現状では対象品が限られているが、新たな品種改良などにより対象品目を増加させることにより、この設備との組み合わせで長期的な保管による食糧確保が可能になると考えられる。

### 3.1.1.4 農産物の産地におけるロス削減

現在、産地におけるロスは次のようなことが問題となっている。

- ① 豊作により市場価格が低下することが予測される場合は、収穫および出荷を制限し破棄されることもある。
- ② 形や大きさが規格外のものは出荷されない。

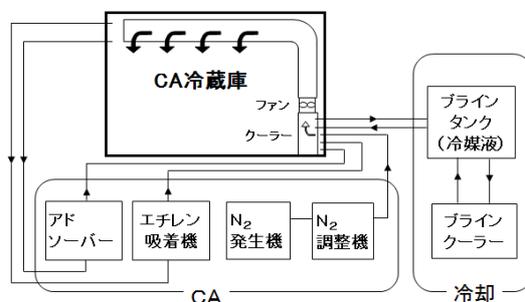


図8 CA貯蔵庫概要<sup>3)</sup>

表3 CA貯蔵対象農産物と貯蔵条件<sup>3)</sup>

品目	温度 (°C)	酸素 (%)	二酸化炭素 (%)	貯蔵期間 (日)
アスパラガス	2	空気	10~14	7
イチゴ	0	0	5~10	28
オクラ	10	空気	4~10	
カリフラワー	0	2~3	3~4	28~35
キャベツ	0	2~3	3~6	120~150
キュウリ	12	1~4	0	—
サヤエンドウ	0	10	3	28
スイート・コーン	0	2~4	5~10	—
セロリー	0~0.6	0.5~1	0	16
タマネギ	0	0~1	0	—
トマト	6~8	3~10	5~9	35
ナガイモ	3~5	4~7	2~4	240~300
ニンニク	0	2~4	5~8	300~360
ハクサイ	0	1~2	0	
バレイショ (メークイン)	3	3~5	3~5	210~240
バレイショ (男爵)	3	3~5	2~3	240~300
パセリ	0	8~10	8~10	—
ブロッコリー	0	1~2	5~10	—
ホウレンソウ	0	7~10	5~10	21
マッシュルーム	0	空気	10~15	—
芽キャベツ	0	1~2	5~7	—
メロン	4.4	1	0~5	30
リーフレタス	0	1~3	0	—
レタス	0	1	0	28~42

青果物予冷貯蔵施設協議会編 (1991)

また、低温、雨量の不足、過多など天候不順、台風などの自然災害などにより、農家の収益は大きく影響される。

これらを最小限に抑えるため、下記の対策が行われている。

- ① カット野菜工場の建設  
形や大きさの規格外品を加工処理することで製品価値を高める。
- ② ジュース加工工場の建設  
台風などにより収穫前の果実の落下により製品価値をなくした果実類をジュースに加工処理することで製品価値を再生する。
- ③ 漬物工場  
豊作で余剰となった野菜を長期保存し原料を確保することにより、生產品ロスの低下および生産期以外に作業を行うことでの雇用を促進。

上記の他、熱処理を施した加工製品の製造工場も考えられる。

農産物の確保には、鮮度保持期間に制限があることが大きな課題である。保管期間の大幅な延長のためには、加工と冷凍処理が大きく貢献すると考えられる。また、加工施設での一次保管や消費地への運搬並びに二次保管を考慮すると、冷凍処理を行うことが望まれる。

### 3.1.1.5 二次保管設備

二次保管設備は、配送センター、販売店での保管に必要なものであり、現状は強制通風方式の冷蔵倉庫が最も普及している。

基本的には、産地の保管庫と同様の仕様で建設されるべき施設であるが、現状では流通段階では、それぞれ受け持つ企業が異なることから管理は一元化されていない。そのため、各施設が有する品質保持の機能には相違があり、温度管理以外は十分とは言えない。この問題は、別項の流通に関する項目で述べるが、温度やその他の品質保持に関するデータのトレーサビリティなどを充実していくことが必要と考えられ

る。

### 3.1.1.6 くん蒸設備

くん蒸設備は、植物防疫法に基づき輸入青果物や野菜、穀類の殺虫のための施設である。

表4にくん蒸設備の対象物や条件くん蒸の目的及び種類を、図11に施設全体外観を、図12に設備の概要を示す。

くん蒸作業においては、殺虫効果を確保するため保管温度を上げる必要があり、ここでコールドチェーンは短期間ながら途切れることになる。コールドチェーンの完遂のためには、今後の改良が望まれる。

現在は、輸入農産物が対象である施設であるが、今後は逆に農産物の輸出を促進する場合には、輸出品対応として整備されることになっていくと考えられる。

この設備は、殺虫剤としてシアン化水素、臭化メチル、リン化アルミニウムなどを使用する。それらは劇物毒物取締法に該当する薬品であり、その取扱い並びに運用は国家資格が必要となる。

### 3.1.1.7 今後の展望

今後、農産物産地の経済基盤整備やコールドチェーンの高度化について、下記のようなことが望まれる。

- ・より収穫地に近いところでの予冷処理と予冷後の低温管理。
- ・産地におけるロス削減のため、産地近隣への加工施設の整備。
- ・農産物の輸出を視野に入れたコールドチェーンの確立。
- ・新たな加工および冷凍処理による保管期間の大幅な延長。



図11 くん蒸施設全体外観<sup>1)</sup>

表4 くん蒸の目的および種類<sup>1)</sup>

<b>1. くん蒸の目的</b> <b>植物検疫くん蒸</b> 海外から輸入される農作物に付着してくる害虫が国内でまん延しないよう水ぎわで防止する。				
<b>2. くん蒸の種類</b> <b>■倉庫くん蒸</b>				
ガスの種類	対象物	くん蒸時間 (時間)	投薬量 (g/m <sup>3</sup> )	排気時間 (時間)
青酸ガスくん蒸	青果物	0.5	1.8	1.5以下
臭化メチルくん蒸	青果物(柑橘類)	2~3	32.5~48.5	1.5以下
	穀類(主に袋詰)	24~48	9~42	規定なし
リン化アルミくん蒸	穀類(主に袋詰)	120~168	0.5~2.0	規定なし
<b>■サイロくん蒸</b> 空気輸送する穀類をサイロのなかでくん蒸 くん蒸剤：臭化メチル・リン化アルミニウム		<b>■本船くん蒸</b> 海上で船内の木材等をくん蒸 くん蒸剤：臭化メチル		
<b>■天幕くん蒸</b> ヤード上の木材をビニールシートで覆ってくん蒸 くん蒸剤：臭化メチル		<b>■はしけくん蒸</b> 植物防疫所の許可を受けたはしけに係留した船内の穀物をくん蒸 (他に方法が無い場合のみ) くん蒸剤：臭化メチル・リン化アルミニウム		

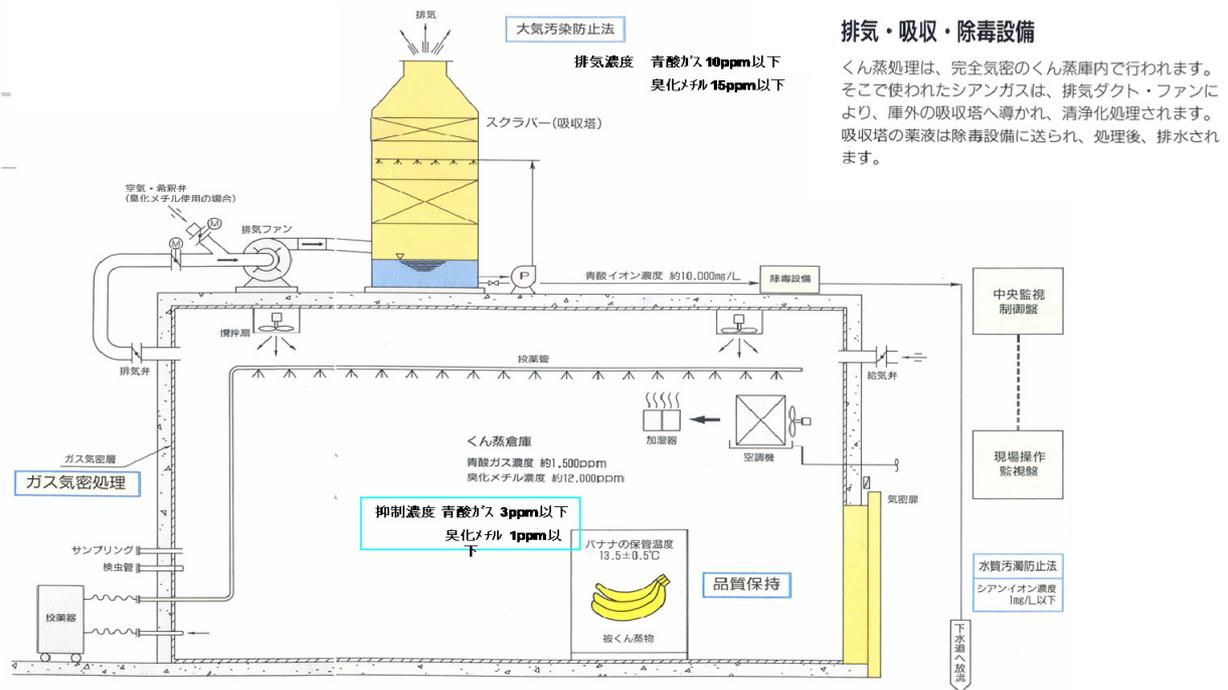


図 12 くん蒸設備の概要<sup>1)</sup>

## 文 献

- 1) 日立プラントテクノロジーカタログ
- 2) 初谷誠一：冷凍 85 巻 第 994 号 P43 2010
- 3) 藤崎和夫：冷蔵技術とCA冷蔵庫
- 4) ケーイーコーポレーション技術資料

### 3.1.2 産業用自然冷媒冷却・加熱システム紹介

#### (1) ナチュラルファイブとは

産業分野においては、加熱・給湯・空調・冷却・冷蔵・冷凍等の工程があり、それぞれの温度範囲に最適な 5 つの自然冷媒（炭化水素、アンモニア、二酸化炭素、水、空気）を用いた冷却・加熱システムを“ナチュラルファイブ”と呼び、利用する温度帯や用途において効率に優れた最適な冷却・加熱システムを選択することで省エネと自然冷媒化（ノンフロン化）を同時に達成できるシステムをお客様に提案している。

（利用温度別、冷媒別に適用可能な自然冷媒冷却・加熱システムを表 1 に示す。表中の太線部が最適なシステムを表している。）

表1 産業用自然冷媒冷却・加熱システム

◎適用良, ○適用可, △適用限界, ×適用不可

適用温度	主な用途	自然冷媒				
		アンモニア NH <sub>3</sub>	二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	炭化水素系 HC	水 H <sub>2</sub> O	空気
90℃<	加熱・乾燥	×	◎	開発中	×	×
60～90℃	給湯	○	◎	○	排熱回収	×
20～45℃	空調（冷暖房）	◎	○	◎	◎	×
0℃	C級冷蔵庫	◎	◎二次冷媒	◎	△	×
-25℃	F級冷蔵庫	◎	◎二次冷媒	◎	×	△
-35℃	フリーザ	◎	◎二次冷媒	○	×	○
-45℃	凍結乾燥	△	◎二元冷凍	△	×	◎
<-60℃	鮪保管	×	×	×	×	◎
GWP(100年)		<1	1	3	0	0

## (2) 冷媒の特性と動向

産業用冷凍システムに用いる冷媒は、従来フルオロカーボン（一般的にはフロン）が主流として用いられていたが、オゾン層を破壊する物質として1987年に締結された「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」と1997年の地球温暖化防止京都会議（気候変動枠組み条約第3回締結国会合、COP3）で採択され、2005年2月に発効された「京都議定書」により代替フロン（HFC：ハイドロフルオロカーボン）が規制を受けたことで、産業分野ではオゾン層破壊、地球温暖化の両方に対して影響がほとんどない自然冷媒への転換が急ピッチで進んでいる。オゾン層を破壊するハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）に関しては、2004年よりモントリオール議定書による規制が始まっており、2020年に全廃の予定である。既に冷媒の価格も上昇し、今後は入手も困難になってくるものと思われる。現在、使用されている自然冷媒としては、アンモニア、二酸化炭素、ハイドロカーボン（プロパン、イソブタン等）、水、空気などがあげられるが、どの冷媒もオゾン層破壊係数（ODP）：0、地球温暖化係数（GWP）：0～4であるが、HFCについては、ODP：0であるものの、GWP：千～数千と地球温暖化への影響が大きいため、冷媒漏洩や廃棄時の未回収分の大気放出のリスクが大きく、今後の温室効果ガス全体に占める割合が増加すると予想されている。

## (3) アンモニア冷凍システム（二次冷媒システム）

アンモニア冷凍システムは、「アンモニア保有量の極小化」、「新冷凍機油の開発」、「高性能熱交換器の採用」、「高安全性を有した全自動制御システムの開発」、「工場生産型パッケージ」等の新技術の開発によって、高い安全性・信頼性、高性能化、生産コストの低減が図られており、現在では産業用として広く市場に普及している。

冷蔵倉庫のなかで最も需要の多いF級冷蔵庫（庫内温度：-25℃）をターゲットにした冷蔵倉庫専用アンモニア冷凍機「NewTon3000」（2008年6月に販売開始）のフローを図1、外観を図2に示す。CO<sub>2</sub>を二次冷媒として使用し、潜熱を利用できるためCO<sub>2</sub>循環量が少なくて済み、二次側搬送ポンプ動力を従来の顕熱搬送の1/10にまで低減させることが可能となった。従来の直膨方式で課題となっていた蒸発器伝熱性能への冷凍機油の影響がなく、潜熱利用の特徴として温度安定性が高いため、クーラーの小型高性能化も可能となった。NH<sub>3</sub>専用歯形と半密閉型高性能IPMモータを採用したNH<sub>3</sub>専用小型二段スクリー圧縮機を搭載し、COPは従来のアンモニア冷凍機に対して20%向上、HFC404A直膨方式に対しても30%向上（どちらも当社比）させ、ノンフロン化と省エネを両立させた。なお、「NewTon3000」は、2008年度地球温暖化防止活動環境大臣賞、2008年日経優秀製品・サービス賞日経産業新聞賞を受賞した。

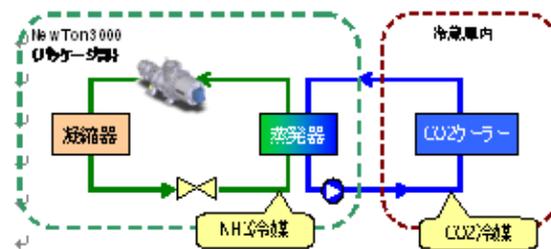


図1 NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>クーリングシステムのフロー



図2 冷蔵倉庫専用アンモニア冷凍機「NewTon3000」

(4) CO<sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機「エコキュート」

図3に当社の業務用・産業用CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機「エコキュート」の外観を示す。高圧対応・高効率レシプロ圧縮機により出湯温度65°CのCOPh=4.1（空気熱源，50Hz）と高効率を達成し、最高90°Cまでの出湯も可能な仕様となっている。空気熱源タイプは、温浴施設、病院、ゴルフ場を中心に多くの納入実績がある。ヒートポンプだけによる加熱給湯の他に、既設のボイラをそのまま利用したボイラ併用運転も可能である。さらに、業務用・産業用分野のニーズに対応するため、水熱源タイプもラインナップしている。ヒートポンプの加熱熱源を空気ではなく水とすることで、年間を通してさらに安定した高効率運転が可能となる。熱源となった水は冷却されるため、これを冷熱として利用した冷温同時利用運転を行うと、工場等で温排水を熱源に出来る場合、冷却側、加熱側を合わせた総合効率はCOPt=8となり、冷熱側で氷蓄熱を行った場合でもCOPt=4.8での運転が可能である。食品工場における加熱殺菌や冷却工程に適用すると従来のボイラ+チラーの方式と比べ、50%以上のCO<sub>2</sub>排出量削減が可能な場合もある。乳業・飲料工場、麺・うどん工場、ハム・ソーセージ工場などでの導入が始まっている。



空気熱源タイプ      水熱源タイプ

図3 業務用・産業用CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機「エコキュート」

(5) CO<sub>2</sub> ヒートポンプ式熱風発生装置「エコシロッコ」

図4に2009年10月より国内において販売を開始したCO<sub>2</sub>ヒートポンプ式熱風発生装置「エコシロッコ」の外観を示す。本システムは、前述の業務用・産業用CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機「エコキュート」の技術を流用して80~120°Cまでの熱風を発生させることが可能な装置である。CO<sub>2</sub>圧縮機は給湯機同様に当

社製の半密閉レシプロ型（モータ定格出力 25kW）を用いた。主に食品工場や化学工場の乾燥工程や塗装乾燥工程などの 80～120℃の温度帯をターゲットとし、乾燥後の排気や工場内に存在する排熱を利用して高効率で熱風を発生させることができる。乾燥工程に用いた場合、熱風温度 80℃の場合で加熱量 80～100kW、COP:3.9～5（加熱器入口温度で可変）の性能を示す。また、最高温度 120℃の熱風を高効率で発生可能である。前述の CO<sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機（水熱源タイプ）と同様に冷温同時利用運転を行なうと、さらに COP が向上し、CO<sub>2</sub> 排出量削減効果も大きくなる。CO<sub>2</sub> 排出量はガス焼きボイラと比較して約 70% の大幅削減ができ、ランニングコストも 40% 以上削減が可能である。



図4 CO<sub>2</sub> ヒートポンプ式熱風発生装置  
「エコシロッコ」

#### (6) ハイドロカーボン系ヒートポンプ

空調分野は、最もノンフロン化が進んでいない分野の一つであり、この空調分野の自然冷媒ヒートポンプとして、ハイドロカーボン系冷媒を用いたセントラル方式空調給湯用ヒートポンプを開発した。ハイドロカーボン系冷媒は、可燃性ではあるがアンモニアのように毒性はなく、また冷媒特性としても空調条件では高い COP を達成できる。図 5 に開発試作機の外観を示す。強い可燃性があるために、半密閉型スクリー壓縮機の採用、冷媒漏洩時のマシンケース内の安全濃度までの拡散希釈、装置内電気機器の防爆仕様化、などにより空調用としても安全に使用可能な設計を行い、その検証も行った。冷房・暖房・給湯の各モードで高 COP 運転が可能ないようにプロパン（R290）とイソブタン（R600a）の混合比の最適化を図り、HFC134a セントラル方式空調用ヒートポンプより 20% の COP 向上を達成した。給湯条件では、最高 80℃までの加熱が可能である。



図5 業務用・産業用ハイドロカーボン系冷媒  
セントラル方式空調給湯用ヒートポンプ

#### (7) 吸着式冷凍機「アドレフ・ノア」

吸着式冷凍機は圧縮機を使わず、吸着剤と水分の吸着・脱着反応により、排熱を冷熱に変換するシステムである。図 6 に当社の吸着式冷凍機の外観を示す。吸着式冷凍機の主な機器は、凝縮器、蒸発器、そして吸着剤を内部に保持した 2 つの吸着熱交換器から構成され、運転工程は、吸着剤へ水分を吸着させる「吸

着工程」と吸着剤から水分を放出させる「再生工程」を交互に繰返して冷水を作るバッチ型のシステムである。高効率吸着剤であるゼオライトを用いることで「再生工程」での熱源に 60～80℃の中低温排熱の利用が可能となり、従来機（吸着剤：シリカゲル）と比べ小型化が可能となった（吸着剤重量比で 70%の削減）。また圧縮機等の機械的な駆動部がないため電力をほとんど必要とせず、日常管理やメンテナンスが容易であり、振動、騒音もほとんどない。また、排熱温度 75℃以下でも駆動する特徴を活かし、太陽熱を再生熱源として利用するシステムも導入され始め、NEDO 補助事業他で 4 件の実績がある。

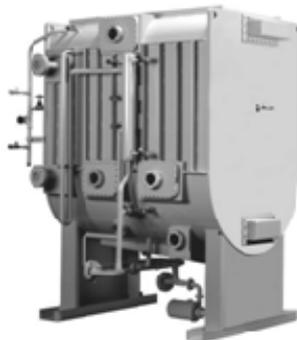


図 6 吸着式冷凍機「アドレフ・ノア」

#### (8) 空気冷凍システム「パスカルエア」

空気冷凍システム「パスカルエア」は、冷凍冷蔵庫内の超低温の空気を直接冷媒として循環させる開放型の空気冷凍システムで、膨張機一体型圧縮機(圧縮・膨張)、一次冷却器(放熱)、冷熱回収熱交換器(熱回収)の 3 つの機器で構成される。図 7 にシステムフロー、図 8 に冷凍機ユニット(屋内仕様)外観を示す。圧縮機と膨張機は中央にビルトインモータを配置した同軸構造を採用し、膨張機で発生する断熱膨張仕事を、モータを介して圧縮機の動力として使用できるため、圧縮機の動力が約 2/3 となり、高効率の運転が可能になっている。冷蔵庫内温度は、-50～-80℃までを対象としている。最高使用圧力が 0.2[MPa]以下であり、作動圧力がほぼ大気圧でダクト搬送される低压運転となり、高压ガス保安法適用外であるため、設置時の届出・申請が不要であり、日常の設備管理も容易である。また、空気を使用した開放型のシステムであるため、冷媒漏洩によるプラント周辺への環境汚染の心配も全く無く、地域住民・従業員の方にとって安全なシステムである。さらに、設備の配置換えや冷却対象物の変更等については、ダクト経路の変更だけで対応でき、従来の冷凍システムに必要な冷媒回収や充填等の処理や大掛かりな工事等が不要のため、メンテナンスを含む運用コストが大幅に削減できる。

パスカルエアは、従来システムに対して、庫内温度-60℃の場合で最大 50%の省エネ、CO<sub>2</sub> 排出量削減効果が期待できる。既に導入後 1 年を経過した鮪・鯉保管用超低温冷蔵庫においては、実測値として 40%程度の省エネ効果が得られており、今後の同種冷蔵庫においては普及が見込まれている。また、空気系統を閉サイクルにし、超低温ラインを熱交換器にて冷却するシステムも実現でき、-100℃以下までの冷却も可能である。

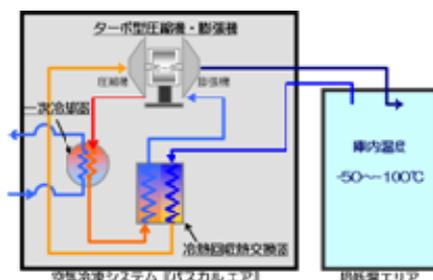


図 7 空気冷凍システム「パスカルエア」  
システムフロー



図8 空気冷凍システム「パスカルエア」  
冷凍機ユニット（屋内仕様設置例）

## 文 献

- 1) 町田明登, 「省エネとノンフロンを実現する冷凍システム」, 潤滑経済, No.512, 2008-7
- 2) 町田明登, 「CO<sub>2</sub>ヒートポンプ式熱風発生装置」, 生産と電気, 第61巻第7号, 2009-7
- 3) 町田明登, 「空気を冷媒に用いた冷凍システム「パスカルエア」の紹介」, 冷凍食品技術研究, No.84, 2009-9

## 3.2 保管・流通装置

### 3.2.1 冷凍保管装置

冷凍保管庫は食品の自給率低下, 食の高級化・多様化に伴い, 生産(冷凍食品加工)用, 港湾埠頭用, 消費地用, 中継基地用の増加, 及び大型化, 自動化・立体倉庫化, さらに入出庫の多頻度化と変化して来ている。また, 冷凍保管庫は食品を短期或いは長期にわたり保管する流通の要であり, 年間・昼夜を問わず連続運転されるため環境負荷と深い関わりがあり, この課題にも取り組まなければならない。

#### (1) 冷凍・冷蔵冷却システムの主な変遷と特徴

冷凍・冷蔵冷却システムはその時代背景, 社会的要求, 技術の進歩により表1のような変遷を辿ってきている。表2にはセントラル方式と個別分散方式の主な特徴について示した。

表1 冷凍・冷蔵冷却システムの主な変遷と特徴

年代	熱源機(冷却源)	放熱源	主な特徴
・1960年代	セントラル型	水冷式	・機械室集中化(圧縮機, 凝縮器, 受液器) ・圧縮機の大型化
・1970年代	個別分散型化 {一体型(ユニット型)化}	水冷式 (河川水, 井戸等)	・機械分散設置型(負荷近傍設置) ・放熱源多様化 ・工期短縮 ・信頼性向上 ・超低温化
・1980年代	ユニット/セパレート型 (壁開口面積縮小化)	水冷式 空冷式(水質管理不要化)	・熱源機屋外設置 ・空冷凝縮器の腐食対策強化
・1990年代	凝縮器ユニット+冷却器	空冷式	・空冷凝縮器の低騒音化 ・機械室省略化 ・省エネ訴求
・2000年代	同上	空冷式	・小型分散化(危険分散・組合せ多様化) ・代替冷媒対応機(単段領域の拡張) ・冷却器腐食対応
・2010年代以降	同上	空冷式	・更なる省エネ, CO <sub>2</sub> 削減(冷却システムの効率化)

表2 冷凍熱源システム形態の主な特徴

	一般的な特徴	
	セントラル型	個別分散型
設備容量	1. 全負荷に対する安全率を小さく取ることが可能で、トータル設備容量を小さく出来る可能性がある。 2. 配管距離が長く、冷媒充填量が多くなる。	1. 冷凍機は倉庫個別対応と成るため、トータル設備容量は大きくなる可能性がある。 2. 配管距離は短く、冷媒充填量が少ない。
省エネルギー性	1. 配管距離が長くなるため、配管圧力損失が大きくなる。 2. アンロード運転が必要となり、効率が低下する。	1. 冷凍庫近傍に設置されるため配管距離が短く、配管圧力損失が小さく出来る。 2. 冷凍機を個別にON - OFF運転させることにより高効率な運転が可能となる。
省力化	1. 50法定トン以上で冷凍保安責任者が必要になる。 2. 機械の重要部分の集中管理が可能である。 3. 施工期間が長く、また管理が煩雑になる。	1. 冷凍保安責任者が不要となる機器の選定が可能である。 2. 機械の遠隔集中管理装置が必要になる。 3. 施工期間が短く出来管理が容易である。
信頼性	1. 冷凍機が故障した場合、その影響は大きくなる。	1. 一倉庫に対し複数台の冷凍機を設置する事により、一台の冷凍機が故障してもその影響は小さくなる。
安全性	1. 冷媒充填量が多いため、漏えい時の安全対策が必要になる。	1. 冷媒充填量が少なく、漏えい時の安全対策が取り易い。

## (2) 保管庫の分類

現在冷凍・冷蔵保管業界では食品の保管温度に応じてC級（1～3）、F級（1～4）と表現されている。表3には級別管理温度と主な保管品例を示す。ここで冷凍保管とは主にF級倉庫での食品保管を指す。また、日本の産業用冷凍・冷蔵庫の大半（84.3%）はこのF級倉庫となっている。

表3 冷凍・冷蔵倉庫級別と保管温度

冷蔵室の級別	保管温度（℃）	保管品例
C3級	+10以下-2未満	鮮魚、生肉、青果物、卵、牛乳
C2級	-2以下-10未満	バター、チーズ、燻製品
C1級	-10以下-20未満	凍結魚、凍結肉
F1級	-20以下-30未満	冷凍食品、冷凍畜産物、アイスクリーム
F2級	-30以下-40未満	凍結魚、凍結肉
F3級	-40以下-50未満	カツオ
F4級	-50以下	マグロ

## (3) 庫内冷却方式

庫内冷却方式には、直接膨張冷却方式（乾式、満液式、液循環式）と間接冷却方式（顕熱利用、潜熱利用）が現在利用されている。

### 1) 直接膨張冷却方式

本方式は冷凍庫内に蒸発器を設け、冷媒の蒸発潜熱を利用して冷凍庫内空気を冷却するものである。

### 2) 間接冷却方式

本方式は主に二次冷媒とした不凍液を蒸発器で冷却し、この不凍液を冷凍庫内の熱交換器に供給し庫内空気を冷却するものである。各方式の主な特徴について表4に示す。

表4 庫内冷却方式と主な特徴

庫内冷却方式		主な特徴
直接膨張方式	乾式	1. 冷凍サイクルがシンプルで、イニシャルコストのメリットが高い。 2. 冷媒充填量が少なく、漏洩時の安全性が高い。 3. 蒸発器が大きくなる。
	滴液式	1. 冷媒充填量が多く、漏洩時の危険性が高い。 2. 乾式に比べ蒸発器が小さくなる。
	液循環式	1. 冷媒充填量が多く、漏洩時の危険性が高い。 2. 乾式に比べ蒸発器が小さくなる。 3. 冷媒液ポンプが必要になり、コストが高くなる。
間接冷却方式	顕熱利用	1. 冷却方式がシンプルであるが、システムCOPは低くなる傾向にある。 2. 温度制御精度に優れている。 3. 不凍液ポンプが必要になり、コストが高くなる。
	潜熱利用	1. CO <sub>2</sub> を利用する場合、配管系のイニシャルコストが高くなる。 また、停止中の圧力上昇にも対策が必要な場合がある。 2. 自然冷媒の採用が可能である。 3. 二次冷媒ポンプが必要になるが、比較的ランニングコストは低くなる傾向にある。

#### (4) 貯蔵品冷却方式

冷凍保管品の冷却方式の代表的な方式として、自然対流冷却方式（天井冷却コイル方式、壁面冷却方式）と強制通風冷却方式がある。それぞれの特徴について表5に示す。

#### (5) フロストの抑制

冷凍保管庫の蒸発器には水蒸気等の水分が接するとフロストを生じ、冷却を阻害し冷却システムの効率低下要因となる。水蒸気発生源としては主に、冷凍品からの蒸散、作業員からの発生、被冷却物の入出庫に伴う外気の侵入であり、これらを防止することが蒸発器のフロストの抑制に繋がる。また、冷却器内の蒸発温度を上げることによりフロスト量を減らすことも有効である。冷凍品からの蒸散防止に関しては被冷却物の密閉化が、作業員からの発生防止については自動化等が対策として挙げられる。最近の傾向として貯蔵品の入出庫多頻度化に伴い、被冷却物入出庫時の外気侵入が大きな要因となっており、これを防止するべく以下の様な対策が取られている。

##### 1) ドックシェルター等の設置

冷凍品が直接外気にさらされることなく貨物車と出入り出来るよう荷捌き室にドックシェルターやエアシェルターを設置し、極力外気の侵入を防いでいる。

##### 2) 前室の設置

外気が直接冷凍本庫に侵入しない様に本庫の手前に予備室として前室を設ける。前室には冷却器を設置して積極的に除湿を行うことが多い。

##### 3) 入出庫用防熱扉とその制御

入出庫用防熱扉を電動式とし、荷役車両と連動した短時間の開閉や、前室と本庫の扉が同時に開放とならないような運用を行う。

##### 4) エアーカーテン等の設置

入出庫の扉近傍にはエアーカーテンやフリードアを設置し、扉開放時の外気侵入を防止する。ただしその設置に関しては作業性や耐久性等を考慮する必要がある。

また、処理した外気を対象室に送気し陽圧制御する方法も採られている。

前室の在り方を含め、外気侵入の防止は今後の課題の一つであろう。

表5 貯蔵品冷却方式と主な特徴

貯蔵品冷却方式		主な特徴
自然対流冷却方式	天井冷却コイル方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 冷凍品に冷風があたりず、水分の蒸散が軽減できる。</li> <li>2. 庫内の温度分布精度が悪くなる傾向がある。</li> <li>3. 超低温庫や負荷変動の大きい倉庫には不向きで、長期保管庫に適す。</li> <li>4. 送風機が不要な為、ランニングコストが低く抑えられる。</li> <li>5. デフロストに工夫を要する。</li> </ol>
	壁面冷却方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 上1～3項に同じ。</li> <li>2. 送風機の設置が必要なため、ランニングコストが高くなる傾向にある。</li> <li>3. デフロスト方式には柔軟な対応が可能である。</li> <li>4. 蒸発器のメンテナンスには工夫を要する。</li> </ol>
強制通風冷却方式		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 自然対流冷却方式に比べ、蒸発器を小さく出来る。</li> <li>2. 送風機の設置が必要なため、ランニングコストが高くなる傾向にある。</li> <li>3. デフロスト方式には柔軟な対応が可能である。</li> <li>4. 冷却設備設計に自由度がある。</li> </ol>

#### (6) デフロスト方式

冷凍保管庫を連続運転させる場合デフロストを行わなければならないが、その熱的入力に冷凍機及び保管庫の熱負荷となるので、システムの信頼性を含め最適な方式を選択する必要がある。表6にそのデフロストの方式と主な特徴について示した。

なお、デフロストは庫内の温度上昇を招き冷凍保管品の品質劣化の原因になることから注意が必要である。また、デフロスト時の負荷低減には冷却器の防熱処理や吹き出しダンパー、吸い込みカバーの設置が有効である。

表6 デフロスト方式と主な特徴

デフロスト方式	主な特徴
散水方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 冷却器全体の霜が取れる。</li> <li>2. 散水温度、水質の管理に注意を要する。</li> <li>3. 散水飛散対策が必要となる場合がある。</li> <li>4. 超低温庫での信頼性に劣る。</li> </ol>
不凍液散布方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 冷却器全体の霜が取れる。</li> <li>2. 不凍液濃度（再生）、水質の管理に注意を要する。</li> <li>3. 散水飛散に配慮が必要となる。</li> <li>4. 超低温庫では不凍液の粘度が上がり、不向きである。</li> </ol>
電気ヒーター方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 比較的設置が容易で、自動制御もし易い。</li> <li>2. ヒーター本体の温度変化が大きく、高湿度環境になるため管理に注意を要する。</li> <li>3. エネルギーコストが大きくなる。</li> </ol>
ホットガス方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 蒸発器の冷却管内からガス冷媒の顕熱・潜熱を利用して加熱するため、外部加熱の他方式と比べ効率的且つ短時間でデフロストが可能である。</li> <li>2. デフロスト時の庫内温度上昇が低く抑えられる。</li> <li>3. 冷媒配管が他方式比べ複雑になる。</li> </ol>

### (7) フロスト感知とデフロスト終了感知

冷凍保管庫の蒸発器(冷却器)へのフロスト状態は外気状態や荷役、施設の運用により大きく変化する。従って適正なフロスト感知、デフロスト終了感知は冷却設備の信頼性と省エネの面から重要なシステム課題となる。

フロスト感知方法としては、送風機の電流値変化、冷却コイル風路前後の差圧変化、庫内温度と冷媒蒸発温度差の変化を感知するものがある。これらの方式は定期的にデフロストを開始するタイマー方式に比較してフロスト直接感知に近い方法であるが、試運転時にデータを取り設定値を事前に決定する必要がある。しかし外乱、装置の経年変化、機器運転条件、信頼性・保守等様々な変動要因を勘案し管理・運用する必要がある。

デフロスト終了感知は投入エネルギーの最適化の上でも重要であり、タイマー方式と合せて冷媒ガス吸入管温度上昇を感知する方法が採用されている。

冷凍保管品の入出庫時の温度変動と併せて、フロスト・デフロスト時の保管庫の温度変動も保管品の品質劣化の要因となり得るので十分な検討が必要である。さらに、デフロストの最適化は冷凍保管庫の省エネ・環境負荷低減にも繋がる今後の課題の一つと云える。

以上(3)～(7)に述べた各方式の特徴を活かした冷凍保管庫冷却システムの構築がコールドチェーン高度化に役立つものとする。

### (8) 年間運転を考慮した省エネ冷却システムの構築

蒸気圧縮式冷凍機は一般的に、蒸発温度をより高く、凝縮温度をより低い運転状態に制御するとCOPが向上する特性がある。この特性を活かした低圧縮比冷却設備が近年実用化されてきており、年間を通じた省エネに大きく寄与できるシステムとして期待されている。

また、蒸発温度を高く制御することにはさまざまなメリットがある。一つはフロストの成長速度が抑制されるため、デフロストの回数を減らせることである。これによりデフロスト時の加熱・再冷却に必要なエネルギーが抑えられるほか、保管品の品質劣化防止に有効であると考えられる。また、冷却器からの吹出し温度が上がることにより、冷凍焼けの抑制も期待できる。さらに、従来の二元圧縮冷凍サイクルで対応していた $-60^{\circ}\text{C}$ 以下の冷凍保管庫に、比較的構成が簡単な二段冷凍サイクルでの対応が可能になり、超低温コールドチェーンの構築、凍結技術の効率化にも有効であろう。

上記のメリットを活かした低圧縮比冷却設備は、設置場所・運用条件により、従来のシステムに比べて年間消費電力で20～40%の削減が可能であると試算されている。冷凍保管設備は、設備自体への投入エネルギーや食品のライフサイクルエネルギー、食の安全・安心を含めた商品価値を評価する上で重要な位置にあると考えられる。今回紹介した低圧縮比冷却設備は、負荷状況、稼働・運用状況、維持・管理、将来運用等を鑑みながらトータルエンジニアリング力をもって構築・運用することで、コールドチェーンの高度化・最適化の諸課題解決に大きく役立つであろう。

## 3.2.2 複数温度対応型冷凍ユニット

### (1) 冷凍設備のニーズ

冷凍・冷蔵倉庫の主流が保管型倉庫から物流センター型へ性格を変えていくに連れて、冷凍設備の設計コンセプトも変化してきた。荷の滞留時間は短く、扉の開閉の時間や頻度は大きくなり、作業員数の増大など設備設計のコンセプトや、冷凍機械に求められるニーズも変化してきた。

低温物流業界からのニーズは

- ①年間消費電力の低減
- ②冷凍品物流から冷蔵品物流まで幅広い温度設定が可能で、庫内温度も安定した保管スペース
- ③庫内温度の上昇を最小限に、また庫内に霜を発生させないデフロスト方式
- ④バックアップが可能で信頼性が高い冷凍システム
- ⑤配管長や外気温度に左右されない能力特性
- ⑥容易なメンテナンスとメンテナンスコストの低減
- ⑦機械の省スペース

などがあり、一方機械を据付けるセットメーカーからは

- ①ユニット化・プレハブ化
  - ②配管工事・配線工事の簡素化
  - ③距離、高低差など設置条件の高い自由度
- などが求められる要件である。

また社会的な要請であるオゾン層保護と地球温暖化防止、低炭素社会への取り組みにも応えていかなければならない。

## (2) 保管温度の複数温度帯設定

国内の冷蔵設備容量は、F級庫が全体の約85%を占めており、F級とC1～C3級との比率も、近年大きくは変化していない。(社団法人日本冷蔵倉庫協会全国冷凍工場名簿による)しかしながら、物流型冷蔵庫の需要の増加に連れて、多温度帯対応型への冷蔵設備の仕様変更の事例も増加している。F級庫とC級庫は、庫内温度の違いによる建屋防熱設計(防熱厚や防湿仕様などの防熱性能)が異なるし、冷凍設備は各温度帯毎に最高のCOPになるように設計された機械を選定するため、冷凍機器も異なったシリーズで設備されるのが一般的である。そのため、F級もC級もそれぞれの温度帯に応じて、冷蔵室を固定してきた。取り扱い貨物の多様化と物量の季節的变化に対応するため、一つの冷蔵室において、F級からC級まで幅広い温度帯での運転が可能な機能を付加し、荷扱いにフレキシブル性を持たせた冷蔵庫への改修需要も増加している。

多温度帯対応型冷蔵庫への改修を実施したあるユーザーの年間を通じての物流の傾向は、夏季は冷凍需要が増加し、年末は冷蔵品需要が増加している。そのため、F級からC級への切り替えは10月、C級からF級への切り替えは6月に実施している。

多温度帯対応型冷蔵庫への改修事例の多くはF級庫として建設した冷蔵庫をC級庫でも使用が可能な、設備に改造するものである。

建屋防熱はF級用に設計されたものはC級にも適応が可能である。一方、冷凍機械設備の変更は、膨張弁の切り替えと、冷凍機のアンロード制御と吸入圧制御を組み合わせる方法への改造が従来は一般的で、コストをかけずにF級C級兼用の運転を可能にしてきた。

しかしながら、この方法は庫内温度と冷凍機の運転条件の組み合わせが最適と言いつても、ランニングコストや機械の耐久性などについてはやや課題を残していた。

## (3) 複数温度帯対応型冷凍ユニットの開発

低温物流業界からのニーズに応え、冷蔵庫の温度帯の巾を拡大することが可能な冷凍ユニットが市場に投入されてきている。1999年に初号機が納入されて以降150台以上の納入実績があるが、2007年にフルモデルチェンジされ今日に至っている。

様々な温度帯における最適運転の方法は、複数台の圧縮機の台数制御と2元冷凍または2段圧縮冷凍の組み合わせによるものである。

以下に冷凍の仕組みと、モデルチェンジ前後の仕様の相違を記載する。

表1に2007年のモデルチェンジの概要を示すが、特定フロンの脱却と省エネルギー性、そして使い勝手が主たる改良ポイントである。

図1に従来の一室一温度の冷凍システムとFC切り替え型新旧システムの三方式の比較を示す。FC切り替え型は3ピースのパッケージタイプの形式をとっている。

旧型から新型への開発をした際の省エネ目標は表2の通りである。

ある物流倉庫の一室を用い、6月から9月までをF級での温度帯で、その他の月をC級の温度帯で運用した時、従来方式、FC切替型の新旧のランニングコストを比較したものが図2である。

表1 F・C切替対応型冷凍ユニットモデルチェンジの概要

	開発項目	旧型からの省エネ率
1	2元冷凍方式→2段圧縮冷凍方式変更によるロス低減	△ 5%
2	圧縮機と室外ファンのDCインバーター化	△ 10%
3	最適中間圧制御	△ 3%
4	室外ファンによる最適高圧制御技術	△ 1%
5	電子膨張弁化	△ 1%
	合計	△ 20%

表2 開発項目の消費電力低減への寄与度

	諸元	F・C切替対応型冷凍ユニット旧型	F・C切替対応型冷凍ユニット新型
1	機種シリーズ	20HP・25HP	30HP
2	冷媒	特定フロンR22	R410A
3	制御方式	セットメーカー調達制御盤	機械付属制御BOXリモコン
4	ユニット構成	室内機+室外機+カスケード熱交換機	室内機+室外機+ブースター機
5	配管工事	カスケード⇄室内機 4管式	ブースター⇄室内機 3管式 配管サイズ 2サイズダウン
6	省エネモーター	定速圧縮機 室外機ファンACモーター	インバーター圧縮機 室外機ファンDCモーター
7	冷凍方式	2元冷凍システム	2段圧縮冷凍システム

#### (4) 今後の展開

効率がよく、巾広い温度帯に対応可能で、取り扱いの簡便な冷凍システムが普及すると、フレキシブルな複数温度帯コールドチェーンの新たな用途拡大が期待できる。

#### 3.2.3 流通（トレーサビリティ）

食品の流通は、低温下での管理すなわちコールドチェーンが品質保持のためには非常に重要である。コールドチェーンは、国及び関係機関ならびに民間企業の努力により現在ではほぼ確立したと言える状況ではあるが、そのデータ管理に関しては未整備の状況である。その理由としては、流通構造の複雑さがあげられる。

図1に青果物の流通構造を示す。この図が示すように流通構造は複雑であり、且つそれぞれの工程は独立した別の組織や企業が運営管理を行っているため、産地から消費までを一元管理することは、現状では非常に難しい状況である。

しかしながら、近年の消費者のニーズである「食の安心・安全」を満足するためには、温度履歴の他にも産地情報など製品に関する種々の情報の伝達や管理が要求されてきている。

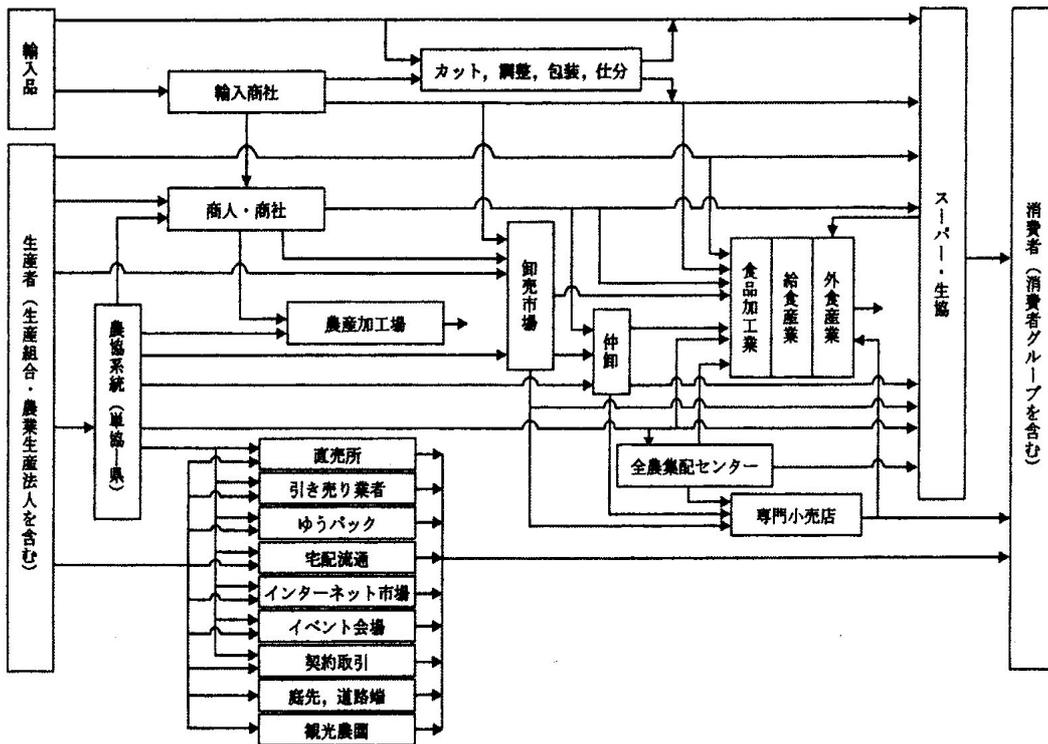


図1 青果物の流通構造<sup>1)</sup>

近年、これらの情報管理はトレーサビリティと表現され、あらゆる分野での取り組みがなされてきている。食品関係も同様に冷凍食品の温度履歴や食肉の各種情報に関するトレーサビリティが進められている。図2にトレーサビリティシステムの概念を示す。

トレーサビリティシステムは、業種や品物により管理情報やシステムに対する要求が異なることから、それぞれの団体や企業ごとにいろいろシステムが検討され試されている。それらのシステムを統合するには、法制化または行政指導などが必要と考えられるなど多くの課題を残している。

本項では、前期の取り組み事例を通してトレーサビリティシステム構築のツールとなるセンサと管理ソフト、更に各種情報管理に活用されている電子タグを利用したRFIDについて紹介する。

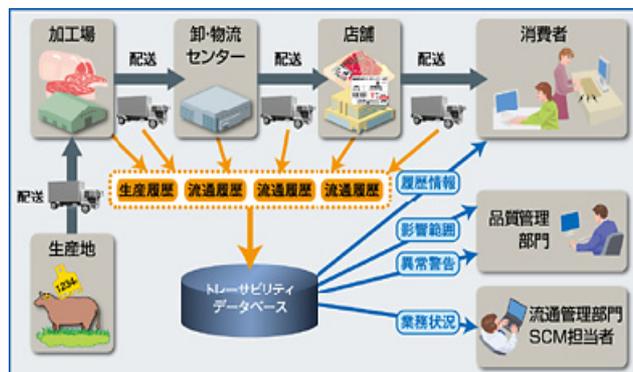


図2 トレーサビリティシステムの概念<sup>2)</sup>

### 3.2.3.1 センサネットワークシステム

食品の品質管理には、低温管理（コールドチェーン）の他 HACCP（Hazard Analysis Critical Control Point）がある。HACCPとは、Hazard Analysis（危害分析）と Critical Control Point（重要管理点）のそれぞれの単語の頭文字をとった略称であり、危害分析・重要管理点方式と訳される。

日本では、1996年5月に食品衛生法の一部を改正して HACCP を組み込んだ総合衛生管理製造工程の承認制度が創設され、食品工場への HACCP 導入の動きが本格化している。2010年末時点で国内 564 の食品加工工場がこの承認を受けている。

HACCP に不可欠なモニタリングの管理基準を満たすには新たなセンサシステムが求められており、それに対応したワイヤレスモニタリングシステムが開発されている。

HACCP 対応のセンサシステムの導入課題は、下記の3点である。

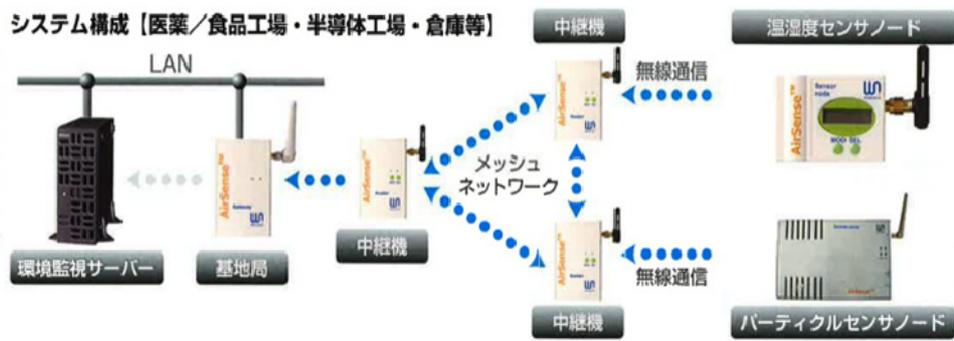


図3 ワイヤレスセンサシステムの構成例<sup>3)</sup>

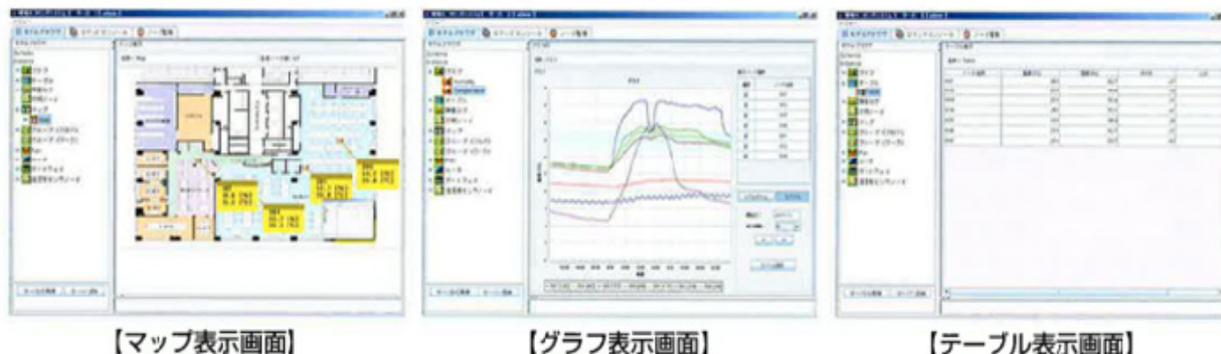


図4 モニタリングデータ監視画面<sup>3)</sup>

- ① データのリアルタイム性と履歴の信頼性
- ② システム構築・設置の簡便性
- ③ 部門間の情報共有と戦略的な活用

これらの要求にマッチしたセンサおよびシステムを紹介する。

図3にワイヤレスモニタリングシステムのシステムの構成例を示す。

センサは電池を内蔵し、無線でデータを送信するため、設置場所にLANや電源が不要であり配線が不要で設置が容易である。無線通信距離は、70m~100mである。

図4にモニタリングデータ監視画面の例を示す。このデータはサーバに格納され、ネットワーク上のPCから参照可能であり情報の共有化が図られる。

更に、センサネット統合管理ソフトウェアも用意されており、おもな機能は次のとおりである。

- ① 無線ネットワークの管理
- ② データ計測、計測データの管理、グラフ表示、ブラウザ表示、日報出力
- ③ 障害検知、無線障害などにより発生した欠損データの自動的なリカバリ
- ④ 上位アプリケーションと接続するためのAPI (Application Programming Interface) を装備

### 3.2.3.2 RFID を利用したトレーサビリティシステム

RFID (Radio Frequency Identification) とは、情報が書き込まれた電子タグとリーダライタが無線通信によって情報をやり取りする技術のことを指している。従来のバーコードと比較すると、以下の特徴があげられる

- ① 読み取り範囲が広く、数 cm~数 m の非接触通信が可能である。



表1 要求事項

項目	内容
対象品	国内で生まれたすべての牛と輸入牛
対象業務	と畜業および販売業に関する業務
制度の主な内容	・ 個体識別番号の表示と識別 ・ 仕入れ販売に関する帳簿の据え付けと保存（3年間保存）

表2 工程別の主な管理項目

工程	主な管理項目
入荷・保管	・ 入荷品の識別 ・ 仕入れ情報の登録
脱骨・整形・包装	・ 加工品の識別
計量・梱包	・ 入荷品情報と軽量部位の紐付け ・ 計量情報の記録 ・ 表示ラベルの貼り付け
保管・出荷	・ 販売先情報の記録

3.2.3.3 センサネットワークとRFIDの組み合わせ

前に述べたセンサネットワークシステムまたはRFID単独のシステムではトレーサビリティが要求する情報をすべて管理することはできない。そこで、トレーサビリティ確立のためにはそれらを組み合わせたシステムを構築する必要がある。

その確立を目指し、鮮魚の産地から消費地までの流通管理や輸送・保管時の温度を管理する実証試験が実施された。行われた鮮魚トレーサビリティ実証試験の概念を図7に示す。

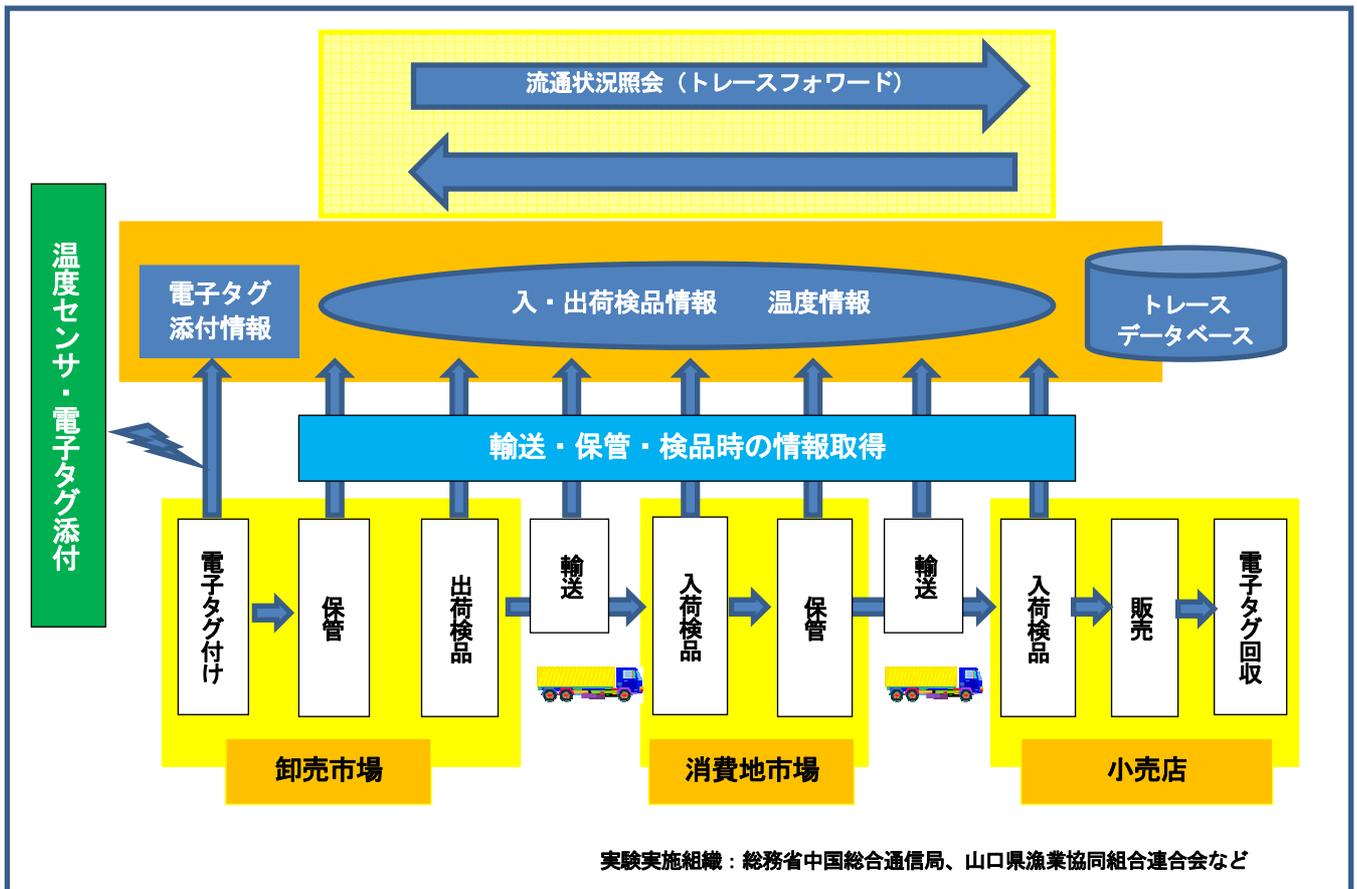


図7 鮮魚トレーサビリティ実証試験の概念<sup>4)</sup>

### 3.2.3.4 今後の展望

トレーサビリティシステムは、「食の安心・安全」という消費者のニーズから国産品のみならず輸入品も含めたシステムの構築が望まれる。現在までに種々の製品やシステム、管理ソフトが開発され実証試験がなされている。今後、トレーサビリティシステムの確立へ向けて下記に示すような製品やシステムの開発や社会全体としての制度の確立が必要と考えられる。

- ① 電子タグの低価格化（使い捨て可能なまで）
- ② インターネットを使用したデータの共通化システム
- ③ 業種・製品別の管理システムの共通化
- ④ 情報管理機構の確立
- ⑤ 品質管理用各種センサの開発
- ⑥ センサと IC チップの一体化

## 文 献

- 1) 初谷誠一：冷凍 85 巻 第 993 号 P41 (2010)
- 2) 日立製作所技術資料
- 3) 日立製作所カタログ
- 4) 真下祐一，山本 克，森谷 修，水野善弘：日立評論  
Vol. 88 No. 07 540-541 (2006)

## 3.3 解凍装置

冷凍技術の進歩，食材のグローバル化，食の多様化に伴い冷凍食品は加工食品含め 1970 年代から急速な増加傾向にある。冷凍食品の解凍後の品質は，原料の品質，凍結方法・条件，保管（期間）・流通管理温度等の要因の集積に左右されるが，解凍方法・条件にも大きく影響される。食品の解凍は，食品の外表面から熱を入れる方法と食品内部を発熱させ解凍する方法が有るが，本項では外部加熱解凍について述べる。

### （1）外部加熱解凍方式と主な特徴

外部加熱解凍は，解凍食品自体の熱伝導の関係上急速解凍には物理的に限界があるものの，産業用としては広く採用されている。主な外部加熱解凍について，その原理・主な特徴等について表 1 に示す。（調理解凍は除く）

解凍が完了した食品は品質の劣化を考慮し，迅速に後処理工程に移すべきであるが，食品によっては解凍終了後に保管や熟成が必要な場合がある。空気解凍方式及び常圧蒸気（過熱蒸気含む）解凍方式では，解凍庫で引き続き保管・熟成が可能であることが多いが，水，コンタクト解凍設備では別に用意した保管庫に食品を移動させる必要がある。また，空気解凍方式及び常圧蒸気解凍方式では温度・湿度の変更（段階制御）が比較的容易であり，解凍品の性状に合わせた対応が可能である。

### （2）解凍方法の選択

凍結食品の解凍方式の選択にあたっては，凍結品の品質に与える各種の解凍条件（原料では「最大氷結晶生成帯」・「メト化の進行温度帯」・「解凍水の復水復元」など）を明確にし，表 1 で述べた各方式の特徴（例えば「解凍中の乾燥・目減り防止（気中）」・「解凍中の吸収・溶解防止（液中，蒸気凝縮）」），凍結食品の性状（例えば「解凍速度」・「解凍完了温度」・「解凍品のガス環境制御包装」，解凍後の工程（例えば「半解凍・完全解凍」・「保存（熟成）温度」）を勘案し，設備の維持・管理，省エネ性を吟味し選択されるべきである。また，直前（使用，販売，調理，消費）解凍の装置設計に当たっては，新規形態も含めこれらの既存技術，省エネ機器・システムを構築することでコールドチェーン高度化に寄与できるものとする。

表 1 外部加熱解凍方式と主な特徴

解凍熱媒体	解凍方式	解凍原理	主な特長	適用食品例
空気	低温微風	加熱・加温・冷却装置を持ち、低温（0～5℃）・高温（75℃前後）の環境を作り低風速で庫内空気を循環させる。解凍後は冷蔵保管が可能である。	15時間前後かけて解凍し（一夜解凍）、加工食品工場の作業性が考慮されている。	加工食肉、魚肉原料
	加温送風	低温微風方式と同様な構成であるが、解凍時間を早めるため温度・風速を高めた装置である。	解凍時間を早めるため解凍庫内温度を初温から終温まで数段階に分け均一解凍を図っている。	豚肉、牛肉、マグロ ハム・ソーセージ原料
	加圧送風	低温微風方式と同様な構成であるが、解凍時間を早めるため庫内圧力を高めた装置である。	空気密度を高め解凍時間の短縮を図ったものであるが、大型化には不向きである。	魚貝類、食肉原料
	浸漬流水	冷却、加熱源としてヒートポンプ等を採用し、流水の温度制御（10℃前後）により年間安定した解凍が可能である。解凍品によっては流水に塩水などが利用される場合もある。水循環式は水質、一過式は排水処理に配慮が必要となる。	解凍品を水（含む塩水）に浸漬することにより空気解凍より解凍速度を早めることができる。	ラウンド魚、ブロック魚 包装肉、液卵、果汁
水	発泡	浸漬流水方式と同様の原理であるが、解凍水槽に気液混合ノズルを設置する。	気液混合ノズルにより水槽内の温度均一化と解凍速度の向上が図れる。	同上
	打撃散水	ブロック凍結品を温度制御された（15℃前後の循環）散水流の打撃力でブロックを崩しながら急速解凍する装置である。	解凍品を浸漬しないので食品の吸水膨潤は比較的に受けにくく、半解凍状態で解凍を終了できる。	ブロック魚・エビ
	低圧	解凍庫を解凍温度（10～20℃）で水が蒸発する圧力まで減圧し、蒸発した水蒸気を凍結品表面で凝縮させ、その凝縮熱で解凍する装置である。凝縮水の排水処理に配慮が必要となる。	水蒸気の凝縮潜熱を利用し、比較的解凍ムラの少ない急速解凍が可能であるが、解凍庫は大気に対して耐圧化させる必要があり、真空装置・コーロトトラップ等も必要な事から設備は複雑になる。また、加湿源水は蒸発潜熱分加熱される。	肉類、魚類、加工食品 すり身 液卵、果汁
	常圧	常圧下の解凍庫に加湿器を設置し低温高湿環境を作り、水蒸気の凝縮潜熱を利用する方法である。加湿方法としては、遠心式、超音波、気液接触、ペーパーパン、蒸気加湿式等がある。	凝縮潜熱を利用する点は低圧方式と同様であるが、蒸気は加湿器により発生させる必要があり、解凍食品の品質は加湿器の性能・特性に左右される。	同上
	常圧・過熱蒸気	常圧下の低温（5～15℃）解凍庫に過熱蒸気を導き、庫内空気中では極力凝縮させずに解凍品に到達させ凝縮潜熱を有効に利用する方式である。また、理論的には5℃以下の解凍も可能である。	加湿された過熱水蒸気の凝縮潜熱を有効に活用できるので冷却、加湿の省エネルギーに繋がる。	同上
接触	凍結品を25℃前後の加熱板にはさまみ、両面からの大きな接触熱伝導を活用し加熱解凍する装置である。	加熱板は柔軟性がないため凍結すり身などコンタクトフリー等で凍結された定形食品の急速解凍に向く。	定形食品、すり身 エビ、オキアミ	

### 3.4 家庭用コールドチェーン関連設備

家庭から廃棄される食品は年間200～400万トンにのぼり、国内の食品廃棄量全体のおよそ4割にもなる。したがって、家庭での食品保持期間すなわち日持ちの向上は重要な廃棄率減少を図るうえでも重要な意味を持つ。しかし、コールドチェーンの最終ランナーでもある家庭での冷凍、貯蔵、解凍のそれぞれの機器・システムは、品質保持、賞味期限延長によるロスの削減といった観点からは、はなはだしく進歩が遅れている。その根本原因のひとつとして、コールドチェーン関連家電製品を利用する消費者に冷凍された食品を扱う上での基本的原理が十分理解されていないことが上げられる。そのため、保管温度を-30℃にするなど、より低く設定し、真に品質保持性能を向上させ得る機種を家電メーカーが開発したとしても消費者に受け入れられず、普及が困難となっている。

今後、消費者に対する冷凍技術の理解促進を図ることが、自然と家庭用コールドチェーン関連設備の性能拡充へと発展し、家庭における食品ロスの削減につながることを期待される。

#### 3.4.1 冷凍冷蔵庫

現状；家庭用冷凍冷蔵庫は、普及初期に比べ断熱材の進歩、冷凍機等ハードの進歩により格段の省エネルギー化がはかれるようになった。さらに、ここ数年、冷凍庫の配置を下部に位置変更、冷凍室の大型化、凍結室の設置、野菜室の光や湿度コントロール機能など、新機能を付加した機種が毎年、モデルチェンジされ発売されている。しかし、基本的な保管温度（-18℃）、冷凍能力に関しては大きな変革は無い。

課題1 低温度保管庫開発； TTTの観点から家庭用冷凍貯蔵庫においてもより低い温度設定を可能とする機種の開発普及を図るべきである。その際にも、省エネルギー化を十分に満たす機種開発が必要とされる。

課題2 氷保管の設備化； 家庭における食材の冷凍貯蔵中の劣化要因のほとんどは乾燥による。保存用ビニール袋やプラスチック容器に密閉したとしても、なお包装内部に空間があると食材の乾燥・霜発生は進行する。小魚、貝類等水産物などでもそれらを防止すれば、家庭用冷凍庫でも十分長期にわたって品質保持を可能することができる。業務用の手法として、グレージングといった表面に氷の皮膜をつくる手法が利用されているが、これを行うことにより業務用ではカニ類、エビ類は一年以上の冷凍貯蔵を可能としている。しかしながら、家庭において、グレージング処理を行うことは困難であるため、簡易な代替手法として氷漬け冷凍保管が推奨されている。すなわち、水に直接接触させても良い食材の場合には、袋や容器に食材を入れ、食材が埋まる程度の水を満たしたうえで、冷凍庫にいれ冷凍する手法である。

食材は一切空気に触れず酸化が完全に抑制される。かつ食材と氷の蒸気圧が常に等しいことから食材内部に空間があっても乾燥が進まない優れた乾燥防止法である。

こういった操作を家庭用冷凍庫にて簡易に行える機能付加冷凍冷蔵庫の開発が期待される。

課題3 野菜・果物の冷凍保管法の開発；食材の中でも生鮮野菜、果物等の植物系食材は冷凍保管は難しく（復元性に乏しい）通常、冷蔵室（野菜室）等で保管される。しかし、シェルフライフが短く食材廃棄の大きな割合をしめている。しかしながら、果実野菜類を、生のままで食するメニューはそれほど多くなく、加熱調理用であったり、形を崩して食する機会がむしろ多い。後者の利用形態では果実野菜類といえども冷凍保管に十分耐えうる。現実には、業務用食材としては、多くの野菜果実類が冷凍食品として流通されている。家庭においても、これを可能とするソフト技術開発の普及を図ることにより、ロスの削減が期待される。

#### 3.4.2 解凍技術

凍結食品の解凍段階は、解凍後の品質を左右する重要なプロセスである。しかし、業務用においてさえこれまでその重要性にもかかわらず科学的に十分に検討が行われてこなかったため、多くの混乱を招いている。冷凍マグロなどの刺身用の解凍方法に関しては料理店で開発された経験的によいとされる解凍方法が普及している。一方で、マイクロ波、高周波解凍、オーミックヒーティングを利用した解凍装置なども次々に開発実用化され技術先行状態にある。家庭における、凍結保管食品の解凍においても、同様な状態であり、かつ食材種が多く、解凍と調理が一体化されている場合が多いため、問題がさらに複雑化している。

課題1 解凍法の食材側から整理体系化； 混乱した状況を整理し、目的に応じた適切な解凍法の選択設定が行えるようにするため、必要な伝熱物性、反応特性のデータベース化を図った上で、解凍シミュレーションソフトの開発を行う。これにより、最適な解凍条件が設定可能となり、電子レンジを含む家庭用の解凍装置開発の基盤技術となる。結果として解凍時における品質劣化によるロスの削減が期待できる。

課題2 氷水解凍の普及・装置化； すでに業務用冷凍マグロサクの解凍手法として、課題1の手法にのっとり、最適な解凍が見出されつつある。すなわち凍結マグロ赤肉ブロックの任意の解凍条件を設定し（媒体、またその温度、試料の大きさなど）マグロ肉の表面や内部の任意の位置におけるメト化、K値変化の進行をコンピュータシミュレーションで再現できることを示した。これを利用して最適な条件を探るツールとすることが可能である。まだ、完成しているとはいえないが、今後こういった手法で魚体サイズを入力すれば適切な解凍条件を選択することが可能になると考えられる。ちなみに、この手法で簡易的に冷凍魚を良い品質の状態で解凍するにはゼロ度付近の水、すなわち氷水中で解凍することが品質的にも良く、時間も比較的短いことが示された。実際の試料を用いた場合にも妥当な結果が得られている。

この氷水解凍法は、他の水産物にも広く応用可能であることから、業務用とともに、家庭用に向けても装置開発、かつ消費者に利用普及を図る必要がある。