

5. 食品用ブライン凍結装置の実用化に向けた取り組み

応用技術支援グループ ○小林孝紀
ものづくり技術支援グループ 村田政隆
食産業技術支援グループ 青木 央
上加冷機工業（株） 広川正記、井川幸一、上加淳悦

1. はじめに

日本の冷凍技術は、日本人の海産物の生食文化に対応して進歩し、世界的に見ても先駆的な技術を保有している。日本の業務用冷凍技術は、大正 9 年に初めて、魚の冷蔵保存倉庫が道南の森町で建設されたことに始まり、昭和 40 年代からの冷凍技術の成長期を経て 2000 年頃を境に国内の冷凍技術は成熟期に入った。同時に、冷凍技術成長期の後半から、これまでの冷凍品の長期保存技術に加え、凍結品の高品質化を図るため、凍結装置を使った急速凍結の技術開発が始まった。急速凍結は、冷凍技術とは異なり、食品等の凍結過程において、氷結晶が成長する「最大氷結晶生成温度帯」(以下最大氷結晶生成帯と略す)と呼ばれる温度帯を短時間で通過させ、氷結晶を可能な限り小さい状態で凍結させる技術である。一方、凍結装置を用いないで最大氷結晶生成帯を長時間かけて通過する凍結を緩慢凍結と呼ぶ。図 1 は、急速凍結と緩慢凍結で、氷結晶が食品の細胞や構造に与える影響を模式的に表した図である。

急速凍結は氷結晶を成長させることなく凍結対象物の細胞や組織破壊を最小限に抑えた凍結技術で、解凍しても新鮮さを保持する特徴がある。このような背景から現在、各冷凍装置メーカーでは、

様々なタイプの凍結機の開発が行われ商品化している。

大量生産向け凍結装置としては、トンネル型凍結装置やボックスフリーザー等の急速凍結装置がよく知られているが、装置が大型で装置自体の冷却にも大きなエネルギーが必要でランニングコストも高い。小ロット向けの凍結装置では、冷凍庫タイプのショックフリーザーなどの導入も進んでいるが、凍結媒体が空気のため、冷えた空気を凍結する食材に直接吹き付けることによる対象食材の乾燥、あるいは空気の熱伝導の悪さから食材の冷却時に最大氷結晶生成帯通過時間が長くなり、緩慢凍結に近い凍結過程となるなどの欠点を有する。一方、小ロット向けの高効率な凍結装置としてブライン(アルコールなどの熱媒体)凍結機が近年注目され、本州の冷凍機メーカーで製造されている。しかし、ブライン液と凍結装置のマッチングについてはあまり検証されておらず、食材をブライン凍結装置で凍結させた結果のみの検証にとどまっている場合がほとんどである。また現在、北海道内でブライン凍結装置を製造しているメーカーはなく、道内の食品関連企業がブライン凍結装置を導入しても、凍結を制御できない、あるいはメーカーが遠隔地のためメンテナンス対応など多くの問題を抱える。

そこで、上加冷機工業(株)が工業技術センターとの共同研究で開発したブライン凍結装置の実用化に向けた取り組みについて試験データも交えて凍結装置の特徴等を報告する。

2. 試験及び評価

装置の実用化にあたり、ブライン凍結と通常の空冷凍結で冷却過程での各種食材の表面温度、芯温等の経時変化を計測した。凍結組織は、ブライン、空冷両条件で-3 0℃に達したサンプルについてミ

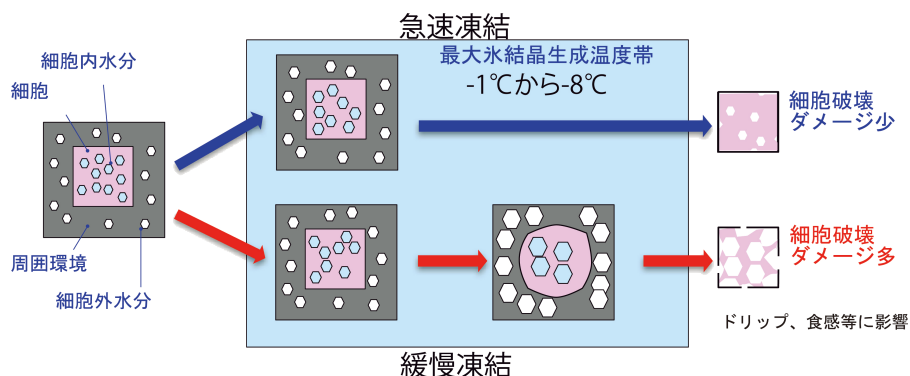


図1 急速凍結と緩慢凍結の模式図

クロトームによって観察用の切片をつくり、ホルマリン固定後、染色標本を作製し、光学顕微鏡で観察した。次に、これらの温度計測結果に基づいて示差走査熱量測定装置 (DSC) を用いてブライン凍結過程、空冷凍結過程の温度降下速度をシミュレーションし、凍結サンプルの温度経時変化および凍結時の熱量測定を実施した。さらに、ブライン凍結機の性能評価として運転時の凍結物最大投入量を調べた。

3. 結果

約 250mm (長さ) × 210mm (最大幅) × 35mm のサーモンの凍結時の時間毎の温度測定の結果、ブライン凍結では約 70 分後には、 -30°C に到達したが、空冷では -30°C 到達時間に約 360 分を要しており、ブライン凍結と比較して約 5 倍程度の時間を要した。特に最大氷結晶生成帯の -1°C から -8°C の温度域でのサンプル中心部の冷却に要する時間はブライン凍結では 20 分以内であったのに対し空冷では 3 時間以上を要する結果となった。急速凍結の定義では、最大氷結晶生成帯温度域を 40 分未満で通過させるとあるが、開発したブライン凍結装置は極めて良好な急速凍結が可能であった。

次に、凍結した食材の組織観察した結果を図 3 に示す。ブライン凍結では、氷結晶が微細状態で維持されており、凍結物の細胞組織に与える損傷が認められないが、空冷凍結では最大氷結晶生成帯での保持時間が長いため、氷結晶が大きく成長し、細胞組織を大きく破壊している。いずれの海産物でもブライン凍結を実施することで凍結物の組織損傷が少ない結果となり本装置を用いることで凍結物の高品質化が実現できた。

サーモンの DSC 測定結果を図 4 に示す。ブライン凍結での芯温をシミュレーションした温度降下速度で DSC 測定を実施した結果、サーモンの温度は -16°C 付近まで一定速度で低下し、その後、細胞の凍結に由来する発熱が過冷却状態で発現した。DSC 測定時にサンプルの温度をモニタした結果、細胞凍結最大発熱時にサンプル自体は温度上昇するものの、発熱ピークは -10°C 以下で最大氷結晶生成帯の -8°C まで温度上昇していないことが確認でき、DSC の結果からも、本装置が急速凍結装置として優れた性能を有していることが明らかとなった。

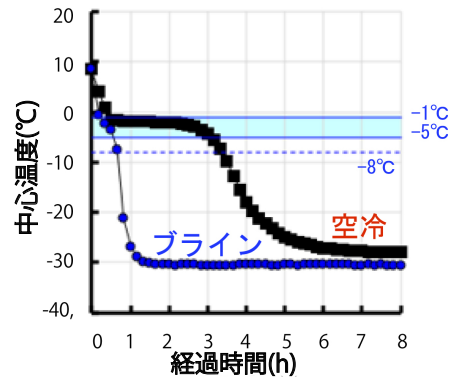


図 2 急速と緩慢凍結温度変化

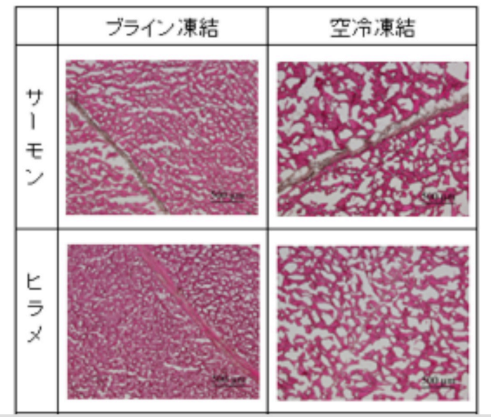


図 3 凍結後の組織観察

4. まとめ

凍結方法の違いによる食品の凍結状況について評価試験を実施した結果、開発したブライン凍結装置は急速冷凍に適しており、空冷凍結と比較して有意な差のある評価が得られた。また、本研究での実験的評価法は、ブライン液と装置のマッチングも含めた装置の性能を明確化することが出来た。

謝辞

本研究は、経済産業省「平成 26 年度補正ものづくり・商業・サービス革新補助金」の支援及び、北海道補助事業「参入促進支援事業 (地域のものづくり技術力向上)」を活用し実施しました。関係者の皆様には感謝申し上げます。

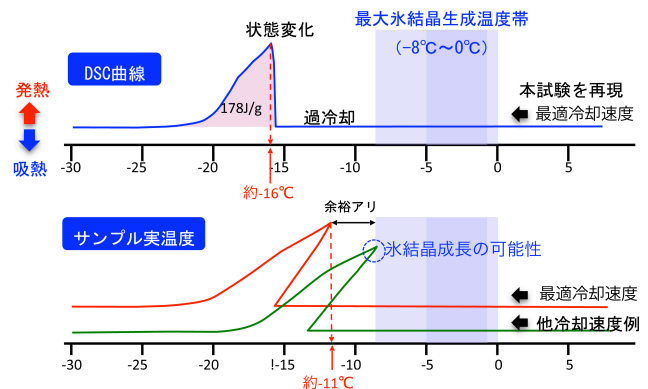


図 4 DSCによる凍結シミュレーション