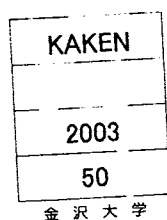


Novel Technology for Cryopreservation of Food by Utilizing Active Enhancement of Supercooling due to Microwave Irradiation

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-12-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Tada, Yukio メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00049454

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.





パルスマイクロ波を用いた過冷却の促進による 食品の低損傷・凍結保存技術の開発

(研究課題番号 14550175)

平成14年度～平成15年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者 多田 幸生
(金沢大学工学部助教授)

金沢大学附属図書館



0400-05021-8

1. はしがき

コールドチェーンの発達に伴って水産物や畜産物などの食品を凍結保存する技術の確立が求められている。凍結保存は、原理的には、低温化と活性水分の低減により、微生物、酵素あるいは化学的な反応に基づく食品の腐敗を阻止し、元の品質を長期維持することが目的である。しかし、凍結操作により、細胞（食肉では筋繊維が単位）レベルでの複雑なミクロ挙動が生じ、これが品質低下に直接つながる細胞膜等の組織の破壊、タンパク質の変性・不溶化、ATPaseの失活などをもたらす。したがって、食品の品質（風味、テクスチャー）を損なわない効果的な冷却技術の開発が必須となる。

代表的な食品凍結法であるエアブラスト方式では、冷風を食品に吹き付けて凍結させるため、食品内部では局所冷却速度が低下し、氷晶の粗大化と細胞の脱水によりタンパク質の変性やドリップ（液汁の流出）を起こしやすくなる。改善の方策として、従来、圧力シフト法が提案されているが、装置の構造が複雑であり、かつ高圧場が食品に与えるダメージなどの問題がある。また、添加剤を用いる方法では、食味の変化や組織体内部への浸透が困難であるなどの問題がある。

以上の観点から、本研究課題では、マイクロ波を付与することにより凍結過程における過冷却現象の能動的促進を追究した。すなわち、マイクロ波照射により、極性分子である水分子の回転運動を励起し、それにより水素結合で凝集しているクラスターを解離させ、過冷却の促進を図る。具体的には、水溶液および食品組織体を供試した凍結実験を行い、過冷却度をマイクロ波の特性ならびに冷却操作と関連づけて実験的に追究し、食品の味・風味を損なわない冷凍技術として、食品全域を過冷却状態から瞬時に凍結させる方式の可能性について検討した。本報告書は、研究計画に基づいて実施された水溶液の凍結実験、食品を供試した凍結実験、ならびに食品の凍結モデルを用いた損傷の数値シミュレーションに関する2年間の成果をまとめたものであり、次のような章構成からなる。

- 第1章 マイクロ波を利用した食品の低損傷・凍結保存技術
- 第2章 生体細胞のミクロ凍結機構の速度論
- 第3章 食品凍結における氷晶形成と損傷機序
- 第4章 食品凍結における伝熱と損傷の数値シミュレーション
- 第5章 水溶液および食品凍結に及ぼすマイクロ波の効果

2. 研究組織

研究代表者： 多田 幸生（金沢大学工学部人間・機械工学科助教授）
 研究分担者： 瀧本 昭（金沢大学工学部人間・機械工学科教授）
 研究分担者： 大西 元（金沢大学大学院自然科学研究科助手）
 研究分担者： 百生 登（富山県立大学工学部助手）

3. 交付決定額（配分額）

	直接経費	間接経費	合計
平成14年度	2,400千円	0千円	2,400千円
平成15年度	1,100千円	0千円	1,100千円
総 計	3,500千円	0千円	3,500千円

4. 研究発表

(1) 学会誌

- (1) 多田幸生, 宮島啓輔, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷の数値シミュレーション, 第39回日本伝熱シンポジウム講演論文集, II, pp.525-526, 2002年.
- (2) 多田幸生, 富野和則, 瀧本昭, 林勇二郎, マイクロ波を利用した過冷却の促進, 第40回日本伝熱シンポジウム講演論文集, II, pp.545-546, 2003年.
- (3) 多田幸生, 瀧本昭, 石井芳明, 林勇二郎, 外部氷晶の植氷作用に対する細胞膜のバリエーションに関する研究, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, VII, pp.49-50, 2003年.
- (4) Yukio Tada, Yujiro Hayashi and Akira Takimoto, Microbehavior and Intracellular Ice Formation during Freezing of Biological Cell, Proceedings of Twelfth International Heat Transfer Conference, 249-255, 2003.
- (5) 多田幸生, 中谷博行, 瀧本昭, 林勇二郎, 食品凍結における3次元マイクロ構造と損傷機序, 第41回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 2004年.

(2) 口頭発表

- (1) 多田幸生, 宮島啓輔, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷の数値シミュレーション, 第39回日本伝熱シンポジウム, 2002年5月.
- (2) 多田幸生, 富野和則, 瀧本昭, 林勇二郎, マイクロ波を利用した過冷却の促進, 第40回日本伝熱シンポジウム, 2003年5月.
- (3) 多田幸生, 瀧本昭, 石井芳明, 林勇二郎, 外部氷晶の植氷作用に対する細胞膜のバリエーションに関する研究, 日本機械学会2003年度年次大会, 2003年8月.
- (4) Yukio Tada, Yujiro Hayashi and Akira Takimoto, Microbehavior and Intracellular Ice Formation during Freezing of Biological Cell, Twelfth International Heat Transfer Conference (Grenoble, France), August, 2003.
- (5) 多田幸生, 中谷博行, 瀧本昭, 林勇二郎, 食品凍結における3次元マイクロ構造と損傷機序, 第41回日本伝熱シンポジウム, 2004年5月(発表予定).

第 1 章

マイクロ波を利用した食品の低損傷・凍結保存技術

1. マイクロ波による過冷却の促進の原理

水分子は酸素原子1個と水素原子2個からできており、酸素原子と水素原子の結合電子対は酸素原子側に偏っているため、酸素原子はいくぶん陰性（マイナス）に、逆に水素原子は陽性（プラス）に帯電している極性分子となっている。さらに、酸素原子と2個の水素原子に結合角は104.5度であり、酸素原子の負電荷と2個の水素原子の正電荷の重心が一致せず、水分子は電気双極子モーメントを有することになる。

このような水の性質のため、バルク中の水分子は、図1(a)に示されるように水素結合により複数個が結びつき、水の分子塊（クラスター）を形成している。したがって、なんらの手段によりクラスターサイズを小さくできれば、核生成が抑制されると考えられる。本研究で対象とするマイクロ波による促進の原理を図1(b)に示す。マイクロ波交番電場によって生ずるトルクを水分子に付与することにより、水分子の間の水素結合を切断し、これにより、水素結合で凝集しているクラスターの解離を促進し、過冷却の増進を図る。本手法の特徴としては、(1) 過冷却度の大きさを任意の値に設定でき、制御性に優れる、(2) 試料の内部まで適用できる、(3) 消費電力が少ない、などがあげられ、生体・食品へ適用可能であると考えられる。

2. 食品凍結における階層的取り扱いとマイクロ波の効果

生体や食品に含まれる水は、物理化学的に拘束された自由水あるいは結合水の状態で、代謝を基本とする生命活動の担い手として、また食品の官能性を発現する媒体として機能する。水をマトリックスとする生体や食品を一つの相と見なせば、生存の状態や官能性もまた一つの相である。凍結保存は、前者の相変態（水分子運動の凍結）による低温化と水分活性の低減により、後者の相の長期維持を図るものである。しかしながら、凍結の過程で、細胞内外での氷晶の偏在形成、細胞膜を通じた水分移動、さらには濃縮や変形等の細胞レベルでのミクロ挙動が生じ、これらが種々の機械的・膠質的損傷をもたらす。

以上の食品の凍結の凍結保存における損傷機構の解明においては、図2に示される階層的な取り扱いが必要である。すなわち、(a)マクروسコピックには、固相、液相、固液共存相（マッシュ域）の3領域からなる熱伝導問題となり、冷却操作により温度や凍結率が変化するマクロな移動

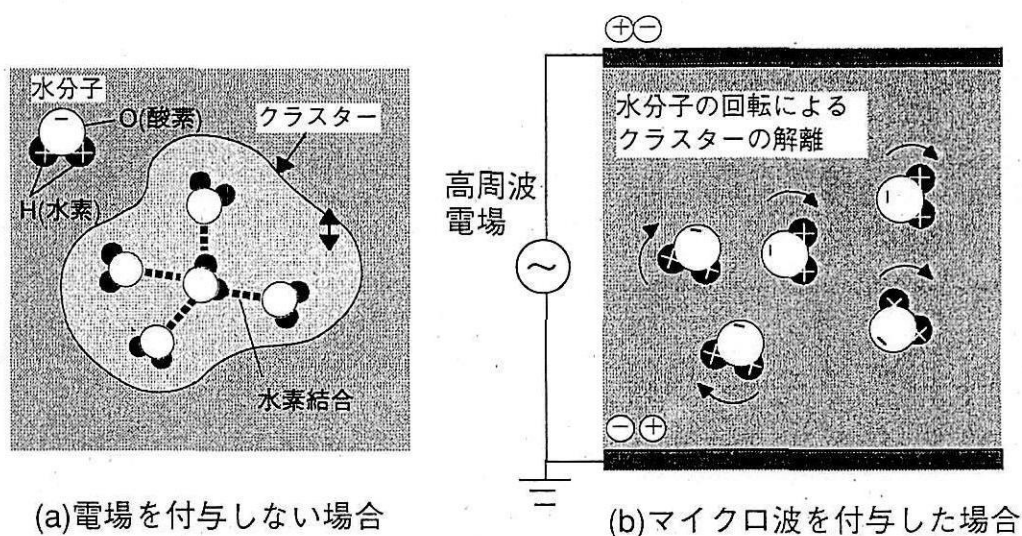


図1 マイクロ波を利用した過冷却の促進

現象として捉えられる。ミクロスコピックには、(b)細胞外の優先凍結、細胞膜を通した水分移動、細胞の変形、過冷却状態からの細胞内氷晶の形成など細胞レベルのミクロ挙動が問題となる。このレベルでは、氷晶による細胞膜の機械的損傷によりドリップの発生や食感（テクスチャー）が問題となる。さらに、分子レベルでは、(c)細胞内溶液の濃縮に伴う塩析やcross-linkingなどに起因するタンパク質の変性が発生するため、最終的にはこのレベルでの取り扱いが究極となる。すなわち、味に関わる分子レベルの状態を、ミクロレベルの挙動や状態変化を媒介として制御するのは、潜熱を除去する熱操作であり、直接的には場の温度あるいはその勾配を規定するマクロスケールの伝熱である。このため、食品の品質変化を評価し得る物理量を直接的・間接的に熱伝導方程式に組み込まなければならない。

本研究課題では、まず、図2における食品の凍結過程における細胞内外での氷結晶の生成・分散状態と細胞の状態変化（第2章、3章）、ミクロ挙動と品質の連関とそれらを記述する凍結モデル（第4章）を提示した後、マイクロ波が食品内部の氷晶形成と損傷軽減に及ぼす影響（第5章）を追究する。

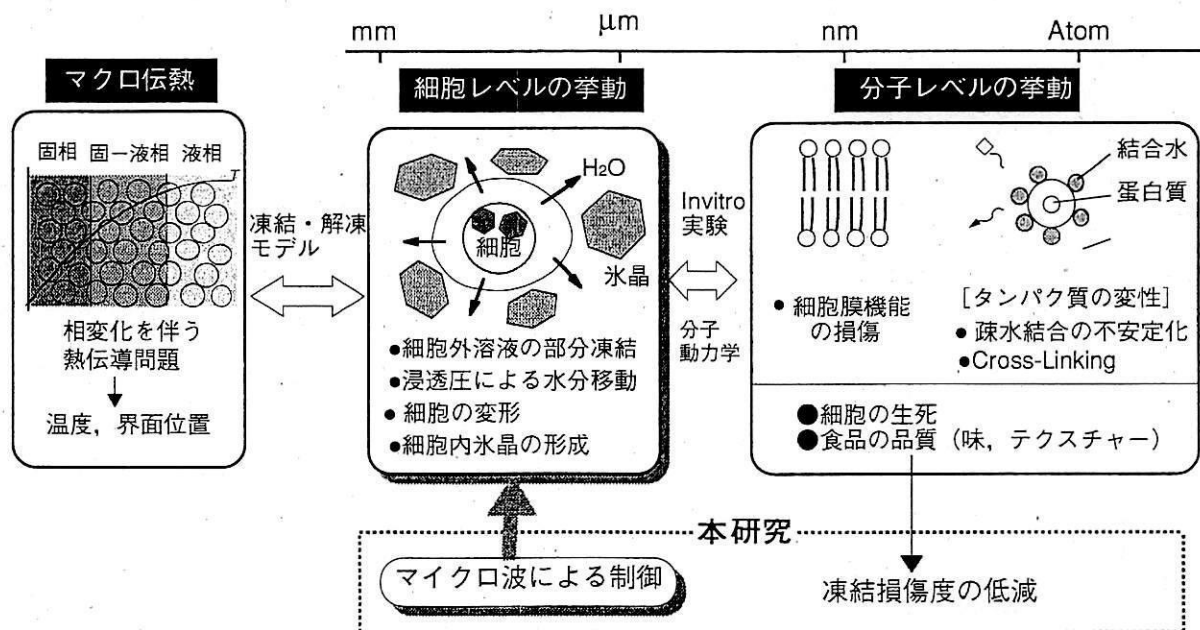


図2 食品凍結における階層的視点