

第 10 回冷凍技士研修会

「食品の凍結所要時間の予測」研修会

主 催：(社)日本冷凍空調学会 冷凍技士運営委員会
日 時：平成17年11月16日(水) 14:00~17:00
場 所：東京海洋大学 海洋食品科学科 食品冷凍学研究室 港区港南4-5-7

高品質で、しかも低コストの冷凍食品を開発・生産の実現には食品の凍結プロセスを数式で表されるモデルとして理解することが重要です。

本研修では、食品の凍結がどのように進行するのかを理解することを目的に、まず実際に食品を凍結し、その過程における食品の温度変化を測定して食品の凍結所要時間を求め、次に食品の凍結時間の推算に広く用いられている Plank モデルを用いて凍結所要時間の推算値を計算し、両者の比較を行い、実験方法および推算方法の妥当性を検討します。食品凍結の基本が身に付き、実力アップの良いチャンスになるはずです。

東京海洋大学鈴木徹教授のご厚意により研修会実現の運びとなりました。関心ある方のふるってのご参加をお待ちしております。

募集人数： 20名(冷凍空調技士、食品冷凍技士の有資格者)定員になり次第締め切ります。

参加費： 無 料(代理出席不可)

CPDポイント 3.0

集合時間： 13:30(時間厳守) 変更の際は追ってご連絡致します。

集合場所： 東京海洋大学正門前(JR品川駅徒歩10分)

申込方法： 下記申込書に必要事項ご記入の上、学会へFAXまたは郵送でお申し込み下さい。
参加券・集合場所の地図をお送りします。

申込先： 〒160-0008 東京都新宿区三栄町8番地 三栄ビル

(社)日本冷凍空調学会 冷凍技士研修会係

TEL 03-3359-5231 FAX 03-3359-5233

切 取 線

NO. 「食品の凍結所要時間の予測」 技士研修会 申込書

氏 名	技士登録 NO.() ★継続教育(CPD)登録者は番号をご記入願います NO.()		
会社名			
住 所			
TEL	()	FAX	()

第10回冷凍技士研修会

「食品の凍結所要時間の予測」実技研修会

白石 真人 * Masato SHIRAISHI

1. はじめに

家庭で作り置き料理を冷凍庫にとりあえず入れるときでも、小袋に入れ、厚さを薄くし、袋の中の空気を抜くなどのことをすることが多いが、これは経験的なものなのだろうか？どんな理論的な根拠があることなのだろうか？

今回の第10回冷凍技士研修会では、食品冷凍学研究の最先端に行く東京海洋大学 海洋科学部 海洋食品科学科 食品冷凍学研究室にて、鈴木徹教授、助手の渡辺学先生のご指導で「食品の凍結所要時間の予測」として企画・実施された。16名の研修生の参加があった。日時など詳細は表1に示す。

2. 食品の冷凍を基礎から考え直すと何がわかるのかな？

今回の研修会は日夜、食品冷凍の実務に取り組まれている食品冷凍技士にも、もう一度食品冷凍の物理的基礎の確かさを実感していただく絶好の機会になった。さらに冷凍技術を深化・発展させ、研究開発、生産、品質管理など実務に応用していただくためのスキルアップとしても充実した半日になったように思う。

研修会は渡辺先生による、食品の凍結所要時間を予測するプランクの式がそもそもどういうものだったのかというところから、今日的視点で再評価したときの問題点と応用について、数式理論を交え詳細なパワーポイントによる講義が90分あった(図1)。その後、研究室の装置による凍結実験(図2)、理論的予測と実験での実測値の比較、考察と、予定時間一杯まで質疑応答があった。その後、希望者だけで食品冷凍学研究室の実験装置の見学があり、盛りだくさんの有意義な研修になった。研修生には詳細なテキストが配布されたが、この報告記では概要と周辺の状況を簡単に報告する。

3. 食品はいつ凍るのかな？

食品を冷凍庫に入れて暫くして取り出すと、凍結しているのが目で見てわかるが、いつどのように凍結したのか詳しいことは見たり触ったりしただけではわからない

表1 研修会の開催情報

名称：第10回冷凍技士研修会
主催：(社)日本冷凍空調学会 冷凍技士運営委員会
日時：平成17年11月16日(水) 14:00～17:20
会場：東京海洋大学 海洋科学部 海洋食品科学科 食品冷凍学研究室 実験室(3号棟、港区港南4-5-7)
講師・指導：助手 渡辺学先生
参加者：研修生16名(欠席3名)、事務局3名

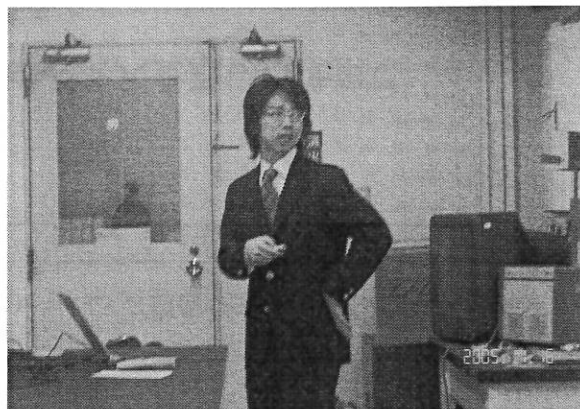


図1 渡辺学先生の講義

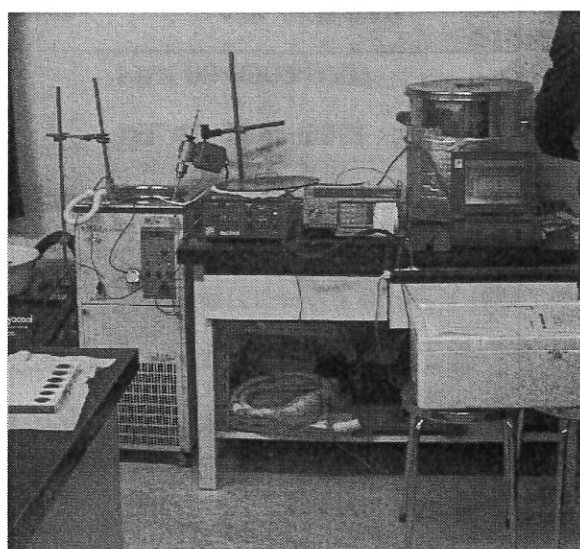


図2 凍結実験装置

* 冷凍技士運営委員会
原稿受理 2005年12月20日

食品の中心部が凍結するまでの時間を凍結所要時間 t とすると、プラנקの式はこのように表わされる。

$$t = \frac{\rho L_f}{T_f - T_a} \left(\frac{d}{2h} + \frac{d^2}{8k} \right)$$

ρ : 0℃における氷の密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

L_f : 凍結潜熱 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

T_f : 凍結開始温度 (℃)

T_a : 食品外部の雰囲気温度 (℃)

h : 食品外部雰囲気と食品表面の熱伝達係数 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

k : 氷の熱伝導率 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

d : サンプルの厚さ (m)

図3 プラנקの式

い。ここには単なる知的好奇心だけではなく、当然産業的にも重要なポイントがある。

プラנקが1913年に食品の凍結所要時間を予測することができる数式を報告した。その数式はいつも使われているわけではないが、今でもその代表的なものの一つである(図3)。

4. プラנקの式の実用的な使い方はあるのかな？ (講義)

渡辺先生の講義を簡単に紹介する。

食品冷凍法は広く普及しているが、本格的に食品を長期保存したり、食品の凍結装置を設計、稼働させるときには、食品が凍結するまでの所要時間の算出、推定が必要になることが多い。その大前提として、食品が冷却されたときの凍結課程での温度変化を正確に実測することが必要であり、時間によって変化する凍結状態を予測することが可能になる。しかし、この凍結時間の予測は意外と難しい問題であることが明らかにされた。

今回の研修会では、このプラנקの式がまずどのようにして導かれたか詳しい説明があり、そのときプラנקはどのように考えていたのか、さらに今日的視点で応用を考えるとというような、普通教科書には載っていない興味ある内容であった。この講義内容はいずれ渡辺先生から直接総説として「冷凍」誌に発表されることを期待している。なお、凍結課程を数式としてモデル化して取り扱うポイントは次のような点であった。

- ① モデルとして数式で扱うためには、形状近似が重要で0次かせいぜい1次近似(平板、円筒も1次近似で扱える)までにする。
- ② 予測の数値計算は意外と検証が難しい。
- ③ 凍結試料(サンプル)の物性値が既知である。
- ④ サンプルが凍結課程で常に(熱的に)均一であること。
- ⑤ 凍結課程の温度変化は凍結曲線として測定するが、試料の特性によってはまだわからないこともあるなど。

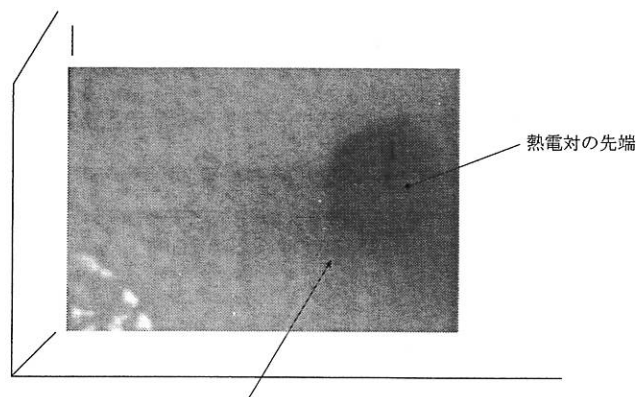


図4 サンプルホルダー

そこで、今回先生の食品冷凍学研究室での新しい取り組みとして、サンプルと凍結条件をプラנקの式の前提条件に合うように工夫して凍結実験を計画された。サンプルは直径1.5%の寒天ゲルをモデルとして用いた。サンプルの凍結方向を一定にするために、サンプルホルダーにも様々な工夫がされている(図4)。

講義では、予備的に寒天で測定された凍結温度曲線と実際の食品としてマカジキ(17mmと12mm)での実験結果と解析例について詳しく解説された。

5. 凍結曲線の測定と凍結時間予測の実験

実験は教室に用意されていた専用の装置を使い、食品冷凍学研究室の大越さんと深沢さんの手馴れた操作で測定が行われたため、研修生は実際に手を動かして参加することはなかった。凍結法は浸漬凍結であった。手順は渡辺先生のテキストによると次のとおりである。

- ① 試料をホルダーにセットし、中心部に熱電対を刺す。このとき試料の厚さ d を測定しておく(図4、写真)。
- ② ホルダーにセットした試料を氷水に漬けて、サンプル全体が約0℃になるまで待つ。
- ③ 試料を凍結装置の冷媒内に浸漬する。このとき、冷媒の温度を測定しておく(この温度が T_a となる)。
- ④ 温度測定機器により、連続的に試料の中心部の温度を測定しパソコンに入力する。
- ⑤ 測定結果をグラフでモニタリングしながら実験を進める。30分ほどで凍結が終了した。
- ⑥ 測定温度がほぼ一定の値を示すようになったら測定を止める。

6. 凍結所要時間の推定と総合討議

プラנקの式(図3)を使って凍結所要時間の推算値を計算する。計算に必要な定数は、以下を用いることにする。

0℃における氷の密度 $\rho = 917 \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-3})$

凍結潜熱 $L_f = 3.33 \times 10^5 \text{ (J} \cdot \text{kg}^{-1})$

ブライン浸漬時の表面熱伝達率 $h = 510 \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$

氷の熱伝導率 $k = 2.209 \text{ (W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$

その結果、今回の凍結所要時間の予測値は468秒と計算された。実験による測定値は445秒であった。誤差については、食品冷凍学研究室の測定でも良い精度で予測できていることがわかったということである。少し専門的だが予測精度をより向上させるために、金属球を用いた熱伝達率測定についても新しい取り組みがあり、微分方程式の解法もハイスラー線図を利用できるものもあるとのことが紹介された。

7. お わ り に

既に消費生活に広く普及している冷凍食品あるいは水畜産食品などでは、実用的な凍結技術も確立され、その生産、加工、流通、販売、家庭などでの保存・調理に関

する情報も、便覧などの市販書物、マニュアル、公的機関の公開情報などから比較的簡便に得られ、整備されているようになっている。しかし、食品冷凍技術の核になる冷凍科学はまだ多くのフロンティアが残され、最高学府では真摯に取り組まれていることがよく理解できた。

今回、研修会にご協力いただいた食品冷凍学研究室の皆様には心より感謝いたします。今回の研修も参加者はCPD（継続教育）3.0ポイントが取得できます。参加者の技量の向上、異業種交流など、研修会の有用性が広く認識されてきていることもあり、熱心に最後まで研修に参加された参加者の活躍が期待できます。

これまでの関連の食品冷凍技士研修会

「パソコンによる食品の温度測定」、冷凍、78(907)、431(2003)。

「リキッドフリーザー（浸漬凍結）」、冷凍、79(924)、798(2004)。

2002年3月20日発行

吸収冷凍技術の進展

炎で冷やした半世紀

未来を創る吸収式冷凍機

〈B5〉P353 定価 5,000円（会員価 4,500円）送料 450円

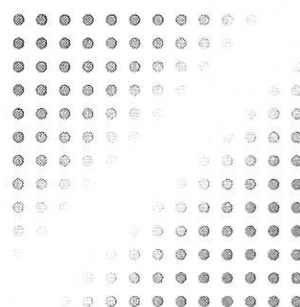
目次

- 第1章 吸収式冷凍機の歩み
- 第2章 吸収式冷凍機を用いた空調・冷凍システムの概要
- 第3章 吸収式冷凍機の種類と構造
- 第4章 吸収式冷凍機の研究開発
- 第5章 水／臭化リチウム系吸収式冷凍機の技術開発
- 第6章 アンモニア吸収冷凍機の技術開発
- 第7章 その他の吸収式冷凍機の技術開発
- 第8章 吸収式冷凍機排熱利用システム
- 第9章 吸収式冷凍機のIT化技術
- 第10章 吸収式冷凍機の技術開発の展望
- 第11章 吸収式冷凍機の研究開発業績
- 第12章 吸収式冷凍機業界の変遷と現状
- 第13章 参考資料
- 特別対談 吸収冷凍技術の新潮流

吸収冷凍技術の進展

炎で冷やした半世紀

未来を創る吸収式冷凍機



Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers
社団法人 日本冷凍空調学会

〒160-0008 東京都新宿区三栄町8

社団法人

日本冷凍空調学会

TEL 03(3359)5231
FAX 03(3359)5233