

第 30 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：公益社団法人日本冷凍空調学会 冷凍技士運営委員会
日 時：平成25年7月25日（木） 13：30～16：00
場 所：東京海洋大学海洋科学部 港区港南4-5-7

高品質でしかも低コストの凍結食品を開発・生産するためには、食品の凍結という複雑な現象を理解し、それをモデル化した数式を正しく使いこなすことが重要です。

本研修では、食品の凍結現象を理解することを目的に、まずは実際の凍結プロセスと、その過程における食品の温度変化の測定および凍結所要時間の求め方について解説します。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。

東京海洋大学渡辺学准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（代理出席可。但し技士優先）

CPDポイント 3.8

集合時間： 13：30（時間厳守）

集合場所： 東京海洋大学海洋科学部（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： 〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 13-7 日本橋大富ビル 5F

公益社団法人日本冷凍空調学会 冷凍技士研修会係

TEL 03-5623-3223 FAX 03-5623-3229

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30回冷凍技士研修会

「食品の凍結所要時間の予測」研修会

竹埜 正敏 Masatoshi TAKENO

1. はじめに

今回の研修会は、食品冷凍の実務に取り組まれている食品冷凍技士の皆様に、改めて食品冷凍の基礎のおさらいとして、古典的な凍結モデルである Plank モデルを用いた凍結時間の予測や、再現性の高いデータを取る測定方法の習得などを目的として、研修会での勉強が皆様の実務に役立てられることを期待し、本学会が大変お世話になっている東京海洋大学において技士研修会を企画した。日時など詳細は、以下のとおりである。

主催：(公社)日本冷凍空調学会 冷凍技士運営委員会

日時：平成 25 年 7 月 25 日 13 時 30 分から 16 時 30 分

場所：東京海洋大学 品川キャンパス

食品冷凍学研究室（港区港南 4-5-7）

講師：東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科

食品冷凍学研究室 渡辺 学准教授

アシスタント 鈴木 翔氏 小南友里氏

参加者：研修生 18 名（欠席 2 名），事務局 5 名

2. 研修会の内容

研修会は、下記の流れで行われた。

- ① 食品凍結現象の基礎
- ② Plank の凍結モデル
- ③ Plank のモデルを用いるための実験方法
- ④ デモンストレーション
サンプル作成、実験、データ処理と評価
- ⑤ 本試験による予測精度、実施例
- ⑥ 凍結時間を正しく評価する方法

3. 全体の概要説明

研修会は、渡辺先生から、Plank の凍結モデルの説明に入る前段として、冷却時（非凍結）の温度変化、凍結時の温度変化、温度分布がある場合の冷却・加熱・凍結、食品材料の熱物性値、実際の食品の凍結曲線の事例などの基礎的な講義から入り、その後 Plank の凍結モデルの説明とこのモデルを用いるための実験方法についてパワーポイントによる詳細な講義をしていただいた（図 1）。引き続き、研究室の装置による凍結実験（図 2）、実

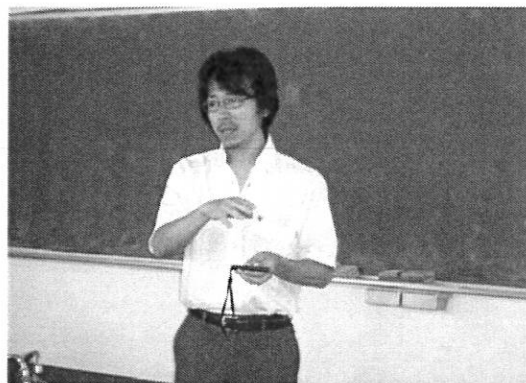


図 1 渡辺先生の講義

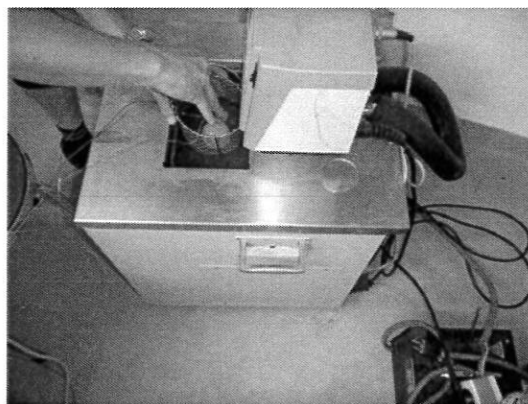


図 2 凍結実験 エタノールバス

験での実測値と理論的予測値の比較と考察、実食品の凍結試験事例、再現性を担保するポイントなどの講義、食品凍結中に磁場が及ぼす効果検証に関する講義、希望者による食品冷凍学研究室の実験装置の見学、とまことに盛りだくさんで有意義な研修になった。研修生には、パワーポイントの詳細なテキストが配布されたが、この報告記では概要とポイントとなる部分を簡単に報告する。

講義では、まず食品凍結現象の基礎についての解説と、食品の凍結所要時間の予測が困難である理由を明らかにされた。その後、Plank の式（図 3）がどのようにして導かれたか、Plank の凍結モデル（図 4、5）に基づき説明を伺う。

今回は、直径 25 mm と 50 mm の 1.5 % 寒天ゲルをモデルとして、Plank の式の前提条件に合うように工夫し

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

t : 凍結所要時間

L_f : 凍結潜熱	<物性値>	336 kJ/kg (水 0℃)
ρ : 未凍結層の密度	<物性値>	999.9 kg/m ³ (水 0℃)
T_F : 凍結温度	<実測値>	0℃ (水)
T_R : 冷媒温度	<実測値>	(℃)
d : サンプル厚さ	<実測値>	(m)
h : 表面熱伝達率	<推定値>	(W/m ² K)
k : 凍結層の熱伝導率	<物性値>	2.206 W/mK (氷 0℃)

図3 Plankの式

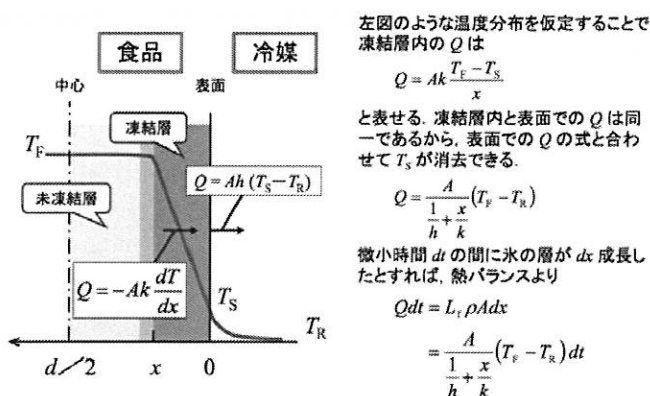


図4 Plankの凍結モデル(無限平板)(1)

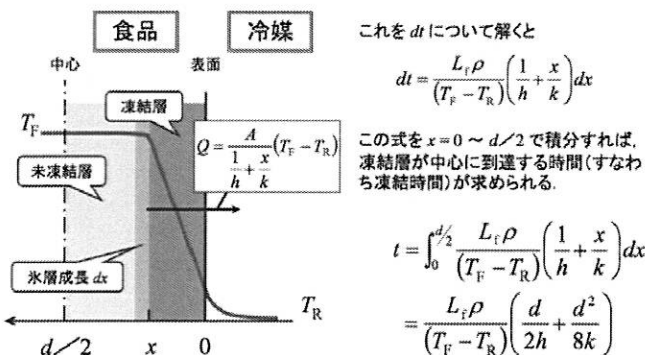


図5 Plankの凍結モデル(無限平板)(2)

て凍結実験を行う。

Plankモデルの仮定は、以下のとおり。

- ① サンプル内部での熱伝導が1次元的事であること。
- ② サンプル温度測定点はサンプル中心であること。
- ③ 冷媒温度 T_R が時間・空間的に一定であること。
- ④ 凍結開始から終了までサンプル温度 T_F は一定であること。
- ⑤ サンプルの物性値が既知であること。
- ⑥ サンプルが常に均一であること。

実験は、寒天ゲルの作り方、熱電対の挿入方法などの

寒天ゲルの凍結時間推定

$$t = \frac{L_f \rho}{(T_F - T_R)} \left(\frac{d}{6h} + \frac{d^2}{24k} \right)$$

t : 凍結所要時間

L_f : 凍結潜熱	<物性値>	336 kJ/kg (水 0℃)
ρ : 未凍結層の密度	<物性値>	999.9 kg/m ³ (水 0℃)
T_F : 凍結温度	<実測値>	0℃
T_R : 冷媒温度	<実測値>	-20℃
d : サンプル直径	<実測値>	25 mm
h : 表面熱伝達率	<推定値>	580.6 W/m ² K
k : 凍結層の熱伝導率	<物性値>	2.2 W/mK (氷 0℃)

以上の値を用いて計算

$$t = \frac{336 \times 999.9}{\{0 - (-20)\}} \left[\frac{25}{6 \times 580.6} + \frac{25^2}{24 \times 2.2} \right] \approx \mathbf{319 \text{ [sec]}} \text{ 推定値}$$

図6 Plankモデル(球)を用いた計算

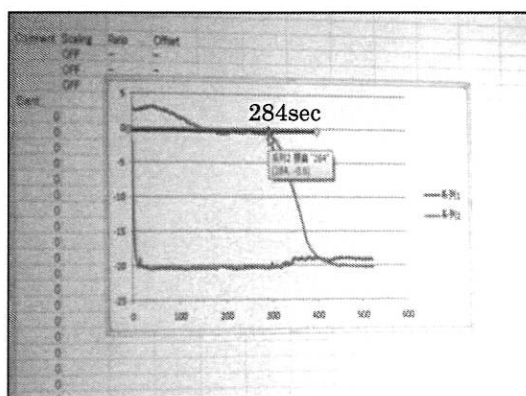


図7 凍結時間 284 sec

説明を受けながら、鈴木 翔氏の手慣れた操作で測定が行われた。また、実際には食品は3次元であることから、魚肉による一次元凍結サンプルの作成方法と試料ホルダーを見せていただいた。

実験の手順は、以下のとおり。

- ① 中心部に熱電対を刺し、試料をホルダーにセット。
- ② 試料を氷水に浸漬し、サンプルを均一に0℃とする。
- ③ 試料を-20℃のエタノールバスの冷媒内に浸漬。
- ④ 温度測定器により、連続的に試料の中心温度を測定。
- ⑤ 測定結果をモニタリングしながら実験を進め、測定温度が一定の値を示すようになったら測定を止める。
- ⑥ 凍結曲線を検証。25 mm 球について Plank の式を使用し、凍結時間の推定値を計算する。

Plankモデルを用いた寒天ゲル25 mm 球の凍結時間推定値は、319 secである(図6)。今回の実測値は、284 sec(図7)であり、良い精度で予測できていることがわかった。

実験終了後、エアブラストフリーザーによる寒天ゲルの凍結時間推定値と実測値の比較、実食品としてシェウマイの事例、実業の世界でも物議をかもししている食品凍結中に磁場がおよぼす効果についての実験的検証の説

明、と非常に興味深く有意義な講義をお聞かせいただいた。さらに講義終了後には、再現性の高い凍結実験を可能とした前川製作所製の実験用特殊エアブラストフリーザーの実機を見学させていただいた。

4. お わ り に

今回の講義では、高い再現性をもって凍結所要時間を評価する方法、凍結装置の性能を客観的に評価できる可能性の示唆など、幅広くわかりやすい講義をいただき、今一度、食品冷凍の物理的基礎の確かさを実感し、充実した講義であったと思います。

今回の研修に多大なるご協力をいただいた鈴木 徹教授、渡辺 学准教授、鈴木 翔氏、小南友里氏に改めてお礼を申し上げます。

竹埜 正敏 Masatoshi TAKENO

東京水産大学卒業

富士通商(株)
Fuji Trading Co., Ltd.
取締役

原稿受理 2013年8月22日

食品技術者のバイブル

新版 食品冷凍技術

食品冷凍技術改訂委員会 編集
公益社団法人 日本冷凍空調学会 発行
B5判 本文285ページ 2009年9月発行
定価5,800円(税込) 会員特価5,500円(税込)

お申込み・問合わせ先

公益社団法人 日本冷凍空調学会
〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町13-7 日本橋大富ビル
TEL 03-5623-3223 FAX 03-5623-3229
下記申込欄にご記入の上、FAXでご注文下さい。

氏 名:

☐会員 ☐非会員

住 所:〒
(送本先)

TEL:

「新版 食品冷凍技術」を
() 冊) 注文する。

送料: 380円 (1冊の場合)
注文を承り次第、本と請求書(送料加算)をお送りします。

本書の特色

◆本書は食品製造、品質管理、生産管理、冷凍装置にかかわる方を対象にした、(公社)日本冷凍空調学会の認定資格「食品冷凍技士」の講習会用テキストとして使用されています。

◆2000年発行の旧版との違い

- ☆ 全章の「冷凍の基礎理論」に関して、最大氷結晶生成帯、ミオグロビンの酸化など、各分野における基本概念の統一、理論の統一を図りました。
- ☆ HACCPを基盤とした食品安全マネジメントシステムとして作成された、ISO22000における基本概念の形に変更しました。
- ☆ 調理冷凍食品のJAS改訂、冷凍食品の取り扱いについての東京都指導基準の廃止といった、最新の法令の変化に対応しました。
- ☆ 個々の冷凍設備の解説にとどまらず、冷凍設備の動作原理にも触れました。
- ☆ 豆知識などを掲載したコラムを設け、より親しみやすい書籍となるよう工夫を凝らしました。
- ☆ 巻末資料: 代表的な食品の成分、凍結点、比熱などのデータを掲載し、冷蔵設備必要能力計算、凍結速度シミュレーションの便を図りました。