

# 小規模解凍におけるジュール加熱の利用

渋川祥子\* 辰口直子\*\*

## Study on the ohmic heating as the small scale defrost method

Shoko SHIBUKAWA\* Naoko TATSUGUCHI\*\*

### SUMMARY

Ohmic heating was examined as a possible method of defrosting on a small scale. Mashed alaska pollock was used as the samples. Defrost times, the relationship between an electric current and sample temperature of fish blocks which were different in size and salt concentration, and the temperature distribution of sample were measured and compared to defrosting by the microwave oven method.

As a result,

- 1) Sample temperature was able to be adjusted by an electric current. However, the relationship between the electric current and the temperature of each sample be clarified respectively.
- 2) In the case of both ohmic heating and the microwave oven, certain parts of the fish blocks were overheated.
- 3) As for the defrost time, it took longer by ohmic heating than by the microwave oven. Ohmic heating needs to be improved for domestic use.

### 1 緒言

冷凍技術が発達した現代では、食品の保存や流通の手段としてごく普通に冷凍保存が行われるようになり、家庭においても冷凍冷蔵庫の普及とともに解凍は調理に使われる頻度の高い操作となった。

解凍には加熱調理をしてそのまま食べる状態とする加熱調理解凍と一度食品を生の状態にもどす解凍方法がある。家庭で行われる解凍は多様であるが、凍結品を生の状態に戻す場合も多いと考えられる。生ものの解凍方法としては、自然解凍、冷蔵庫内解凍、及び電子レンジ解凍等が一般的であるが、家庭での解凍方法を評価した場合、電子レンジ解凍等、解凍時間の短い方法が好ましい結果を得られることが分かっている。<sup>1)</sup>

---

\* 家政学教室 Dept. of Home Economics

\*\* 川崎市立総合科学高等学校定時制非常勤講師 Kawasaki City High School for science and Technology

しかし、電子レンジ解凍には、確実な温度制御ができないという問題点があり、短時間で食品の温度を上昇させることができ、温度ムラが無く、なおかつ品温があがりすぎないように簡単に制御できるような方法が望まれる。そこで、電子レンジ加熱と同様に食品そのものを発熱させ、加熱時間が短いジュール加熱が有効ではないかと考えた。

ジュール加熱は、食品に通電して電気抵抗の発熱をさせるもので、オームの法則を利用したものである。<sup>2)</sup> これまでは大規模な業務用での利用は行われており、蒲鉾<sup>1)</sup>、じゃがいもやなすの加熱<sup>3)</sup>の例がある。解凍を行った研究では、BALABANらが流水解凍と比較して、解凍時間の短縮、解凍品に差がないこと、コストを削減したことを報告している。<sup>4)</sup>

そこで本研究では、ジュール加熱の食品の温度分布、加熱ムラの程度、電流制御による温度調節の可能性を調べ、家庭での実用化の可能性について検討した。試料には魚肉すり身を用い、大きさ、電解質濃度を変化させ、温度、電流を測定し、電子レンジ解凍との比較を行った。

## 2 試料及び実験方法

### 1) 試料

魚肉のすり身には冷凍すり身（すけそうだら，砂糖，リン酸塩）広瀬水産株式会社製を使用した。凍結状態で購入したすり身を使用分切り取り，冷蔵庫内（庫内温度3～7℃）で12時間かけて解凍し，所定の大きさの亚克力製の型に詰め成形した。塩添加すり身の場合は，解凍後のすり身に重量の1%分の塩を攪拌して混ぜ込んだのち成形した。

以上の試料をメディカルフリーザーMDF-130（庫内温度 -25～-30℃）で金属板に挟み再凍結した。

### 2) 解凍方法

ジュール加熱解凍：図1の試験機器，セラミック電極搭載スーパージュール910（東洋アルミ株式会社）を使用した。試料を電極の間に挟み，密着させ電圧100V（周波数50Hz）で通電して解凍を行った。

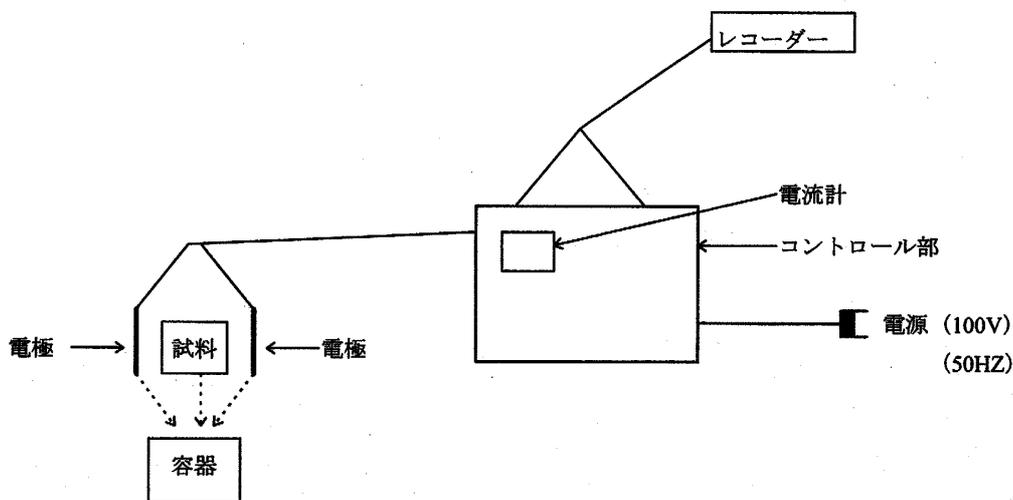


図1 ジュール加熱装置概略図

電子レンジ解凍：オープンレンジ（三菱電気株式会社製，RO-810AF形）を使用し，レンジ弱加熱（定格高周波出力100W）解凍時間は2分とした。

### 3) 測定事項

#### (1) 試料内部温度，解凍時間の測定

ジュール加熱：中心と表面から5mm部分に，アルメル・クロメル熱電対（直径0.1cm）を試料成形の時にあらかじめさしこみ凍結し，解凍時の温度を測定した。（図2：A，B）

電子レンジ：ファイバー温度計（安立計器株式会社）を使用した。測定箇所は図2と同様で，凍結後試料に錐で穴をあけ，ファイバー温度計をその穴に入れ試料初期温度を揃えるため再冷凍し，解凍時の温度を測定した。

#### (2) 電流量の測定

解凍中食品に流れる電流を測定した。ジュール加熱中の本体器機をレコーダー（東亜電機株式会社）に接続して経時的に記録した。

#### (3) 温度分布の測定

試料は包丁を冷却して切断し，図2：C，Dに示した表面部，及び中心断面部の温度分布を赤外線温度計コンパクトサーモTVS-2000（日本アビオニクス株式会社）を使用し，下記の条件で測定した。温度設定範囲はジュール加熱：-10～22℃，電子レンジ：-10～33℃，放射率1，試料とカメラとの距離30cm。

これらの測定はすべて4から5回行った。

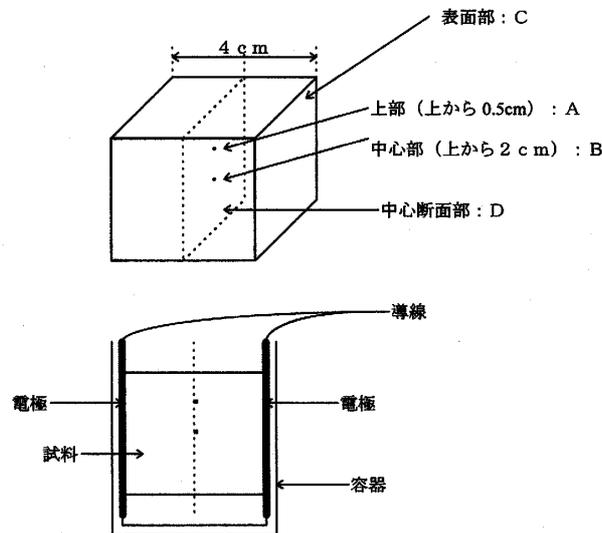


図2 熱電対による温度計測位置及び温度分布測定位置と試料と電極の位置関係  
（大きさ1辺4cmの例）

### 3 結果と考察

#### 1) 電流による加熱制御について

ジュール加熱は電圧をかけ、電流を流すことによって発熱する機構を利用した加熱装置である。家庭で普及している代表的な解凍機器として電子レンジがあるが、加熱ムラができ、部分的に温度が上がりすぎることが欠点である。ジュール加熱の場合、品温によって電流量が定量的に変われば電流制御ができ、温度管理が簡便にできる。そこで電流と品温の関係を調べた。この際、試料の大きさは所定の(断面積)×厚さ(cm<sup>3</sup>)とし、断面に対して垂直方向に電流を流した。

数種の大きさの試料についての温度と電流の関係の測定結果を図3に示す。この結果より温度が上昇すると電流が流れやすくなるのがわかるが、-5℃付近で急に電流が増加する。この結果は-5℃~0℃は最大氷結晶融解帯<sup>5)</sup>であり、氷は水より電気伝導率が低い<sup>6)</sup>ためであると思われる。どの大きさについても、電流と温度の関係は比例関係ではなかった。

食品には塩分を含むものも数多くあり、このような電気的方法の場合、塩分含有量の違いにより温度上昇や解凍時間、電流の流れ方に影響があると考えられる。そこで塩を添加し、無添加試料と同様の実験を行った。解凍条件は温度測定位置2点のうち、1点が0℃になったところで終了とした。温度と電流測定の結果を大きさ別に表したものを図4に示す。-5℃までデータがないものは終了時に中心温度がこの-5℃まで到達しなかったためである。この結果から、大きさの違いによるばらつきが見られるが-10℃付近から電流が大きくなっていく傾向が認められる。また、塩無添加に比較して電流は大きい。これは塩を添加したことによって、電気伝導度が増したためであろう。また、ばらつきの原因としては、すり身の粘着性が強いことによって塩分濃度が均一にならなかったためと考えられる。

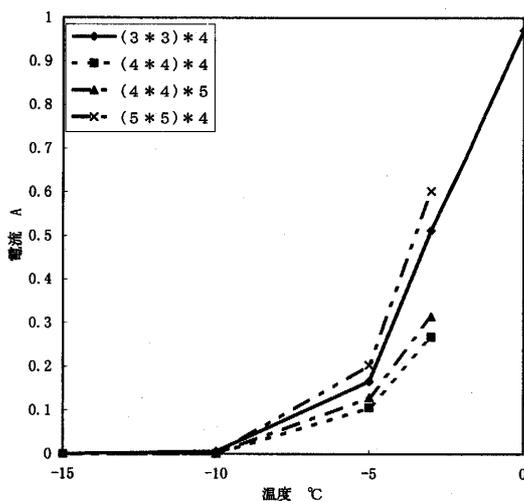


図3 大きさの異なる試料の中心温度と電流の関係  
(塩無添加の場合)

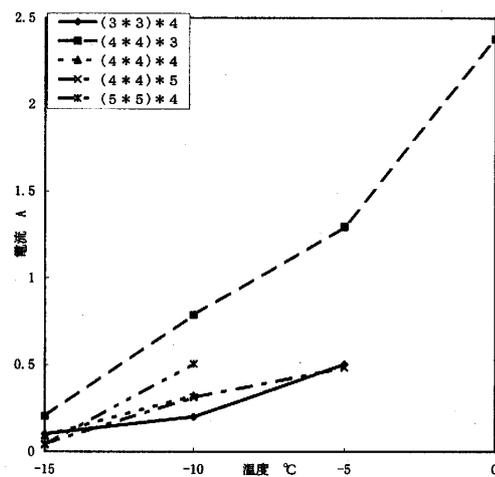


図4 大きさの異なる試料の中心温度と電流の関係  
(塩添加の場合)

以上の結果より、温度が高くなるにつれて電流量が増え、電解質濃度が高くなると低温でも電流量が増えることが分かった。ある温度で急に電流が増加することから、一定量の電流が流れると電流が切れるようにすることによって、過加熱を防ぐ温度調節が可能と思われる。しかし食品は電解質濃度や形状が多様であることから、電流制御のためには個々の食品についての温度と電流の関係データが必要と思われる。

2) 試料の大きさと温度上昇について

次に試料の大きさの変化と解凍時間の関係について検討した。断面積が一定で厚さが異なる場合について、及び厚さが一定で断面積が変化した場合について解凍時間を測定した。図は4~5回繰り返した平均値と標準偏差を示す。この際、断面積に対して垂直方向に電流を流した。ここでは-20℃から-5℃までの時間を解凍時間とした。

厚さが増すほど中心温度が-5℃に到達するまでの時間が長くなった。(図5) 厚さが一定で断面積が異なる場合(図6)、断面積が大きくなるほど-5℃に到達するまでの時間が長くなった。試料の厚みが増せば抵抗が大きくなり、これに比例して解凍に時間がかかると推定できる。断面積が大きくなると抵抗は小さくなるはずであるが、ここでは体積が増えているため、断面積に比例して解凍に時間がかかったと思われる。

塩を添加した場合には、無添加試料よりも3~4分解凍時間が短くなっている。これは電流がながれ易くなり、温度上昇が速くなったためである。試料の大きさの変化については無添加試料と同様の傾向が見られた。

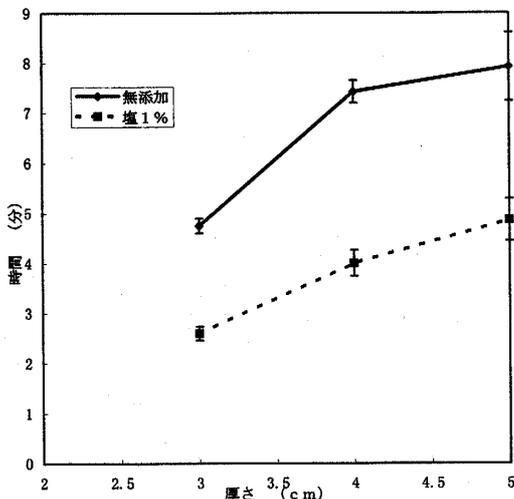


図5 試料の厚さと解凍時間の関係 (中心温度-20℃~-5℃まで)  
断面積 (16cm<sup>2</sup>) 一定  
Iは標準偏差を示す

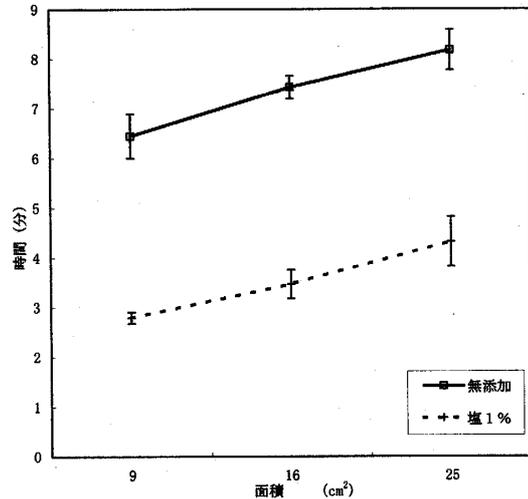


図6 試料の断面積と解凍時間の関係 (中心温度-20℃~-5℃まで)  
厚さ (4cm) 一定  
Iは標準偏差を示す

### 3) ジュール加熱解凍と電子レンジ解凍の比較

電子レンジは家庭で一般に普及している解凍のための代表的な機器である。そのため家庭でのジュール加熱解凍機器の使用を考える場合、特に電子レンジとの比較が必要である。ここでは試料の温度分布と食品の体積の変化による解凍時間を比較した。ジュール加熱解凍の試料は断面積×厚さが  $(3 \times 3) \times 4$ ,  $(4 \times 4) \times 4$ ,  $(5 \times 5) \times 4$  (cm<sup>3</sup>) と断面積の大きさを变化させ、断面積に垂直に電流を流した。電子レンジ解凍の試料は電子レンジの加熱特性を考慮して立方体に成形し、それぞれの大きさを  $3 \times 3 \times 3$ ,  $4 \times 4 \times 4$ ,  $5 \times 5 \times 5$  (cm<sup>3</sup>) とした。

よい解凍の条件として、解凍終温が低く、一定であることが望ましい。そこで試料の中心温度と表面に近い部分の内部温度を熱電対により測定した。結果を図8に示す。ジュール加熱の温度変化は、表面から5mm部分と中心部の温度差は小さく、0℃に近づくと表面から5mm部分の温度が上がる事がわかる。パクラによれば、蒲鉾加熱の場合、ゲル断面での温度分布は中心を最高温度として周辺で放熱により若干低下する可能性があるといわれている<sup>8)</sup>が、凍結状態から解凍されるまでの間では、これと異なる結果となった。電子レンジ加熱は表面に近い部分と中心部で1~4℃の温度差が見られ、中心部の方が温度が低かった。

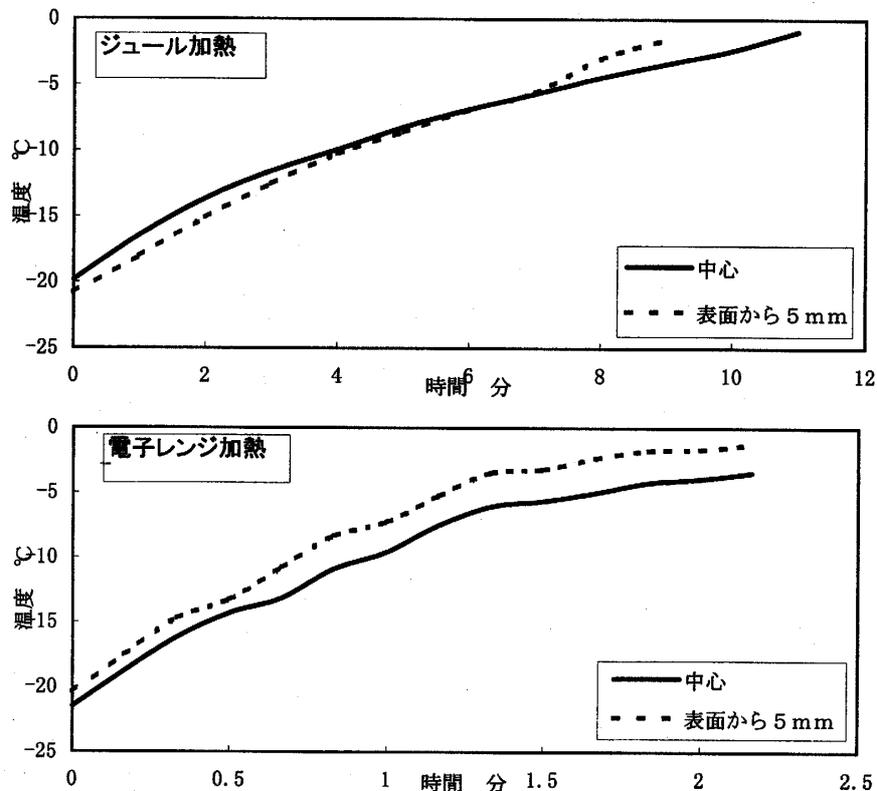


図7 解凍後の試料内部温度

次に、更に細かく温度分布を知るため赤外線カメラにより試料全体の温度分布を測定した。解凍後試料の表面部の結果を図8に示す。ジュール加熱，電子レンジともに角部分の温度が高いことが分かった。ジュール加熱の加熱ムラが起こった原因として電極の圧力による試料の変形が考えられる。凍結されていて試料が硬い場合には，試料の側面がぴったりと電極に接しているが，試料が解凍により軟化し，電極から離れたり，電極の圧力で試料がつぶれて長さが変わると，電流の流れ方が変わるため，試料内の温度差が大きくなり，加熱むらをおこしたと思われる。電子レンジ加熱は角や表面部に部分的過加熱を起こしており，魚肉すりみのような含水率の高い食品では端部が昇温するという<sup>8)</sup>理論と一致した結果となった。

中心断面部については全体的に温度が低く，表面部ほど顕著な加熱ムラは見られなかった。

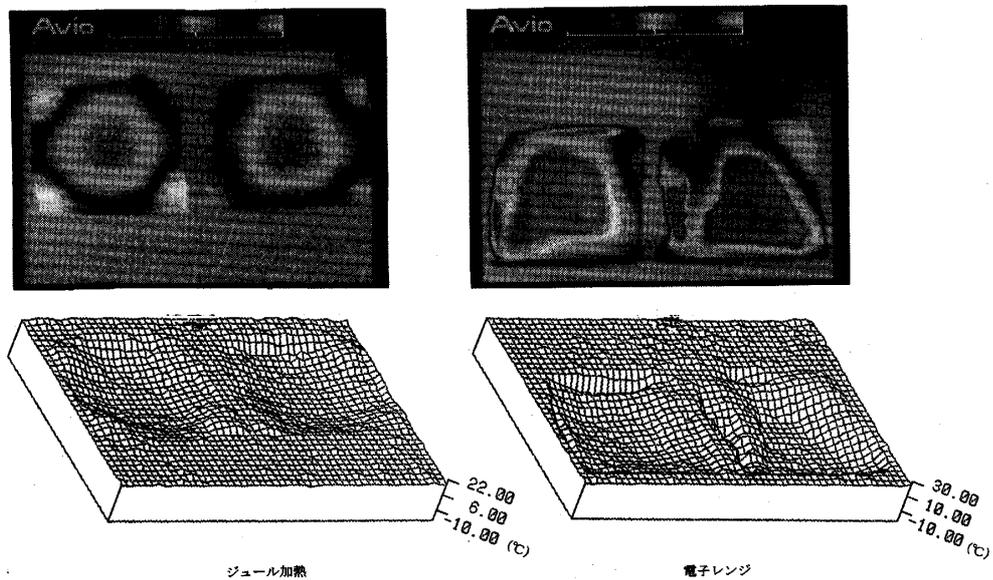


図8 解凍後試料表面部の温度分布

以上の結果から，ジュール加熱も電子レンジ解凍も加熱ムラがみられるが，電子レンジ解凍の方が加熱ムラが顕著であることがわかった。

次に試料の体積の変化と解凍時間についての結果を図9に示す。体積による時間の変化に大差はなく，この結果から，時間的な面から考えると家庭で解凍を行う場合，特にジュール加熱の利点はない。図から電子レンジ加熱のほうが6分程速いことがわかる。

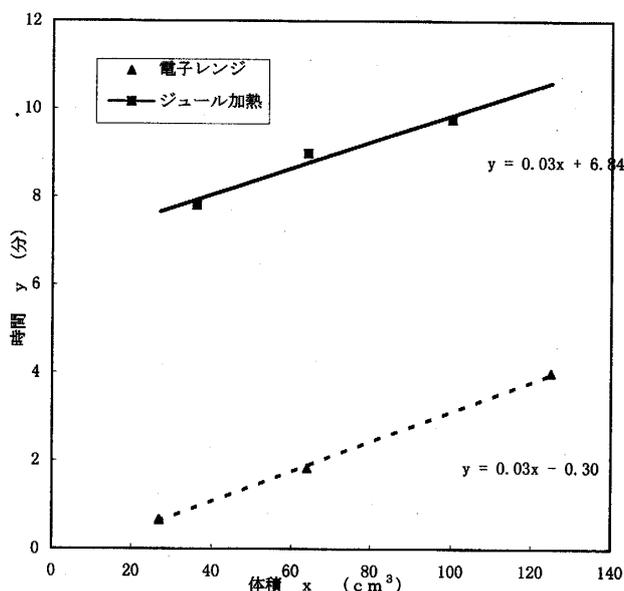


図9 解凍に要する時間  
(中心温度-20℃から-3℃まで)

#### 5) ジュール加熱の家庭での利用の可能性について

以上の結果よりジュール加熱は速やかに加熱されるといわれていたが、電子レンジ解凍と比較すると解凍時間は速くないことがわかった。また均一に加熱されるといわれていたが、形や電解質濃度による影響が強いことがわかった。

よって家庭でジュール加熱を使用する場合、食品は不定形のものが多い為、それらをカバーできるような電極を開発したり、解凍時間を短縮する為には電圧を高くするなど工夫が必要と考えられる。

#### 4 要約

ジュール加熱が小規模での解凍機器として利用可能であるかを検討した。魚肉すり身を試料として用い、温度分布、電流制御による温度調節の可能性を調べた。大きさ、電解質濃度を変化させ、温度、電流を測定し、電子レンジ解凍との比較を行った。

- 1) 温度が上昇すると電流が流れやすくなり、電流制御による温度管理の可能性は認められた。しかし大きさや電解質濃度による影響が大きいため、多様な食品の通電時の電流量のデータが必要と思われる。
- 2) 電子レンジ解凍試料と同様、ジュール加熱試料にも加熱ムラが認められた。
- 3) 電子レンジ解凍と比較すると、ジュール加熱の方が解凍に時間がかかることが分かった。

以上の結果からジュール加熱を家庭で利用するのは、現段階では大きな利点のないことが明らかとなった。

**参考文献**

- 1) 辰口直子, 渋川祥子: 横浜国立大学家政教育学会誌第8号 pp.13-20 (1997)
- 2) 柴真: 日水誌 58(5), pp.895-901(1992)
- 3) K.HALDEN, A.A.P.DEALWIS & P.J.FRYER: International Journal of Science and Technology 25, pp.9-25(1990)
- 4) BALABAN, M.O., HEDERSON, T., TEXEIRA, A. and OTWELL, W.S.: Developments in Food Engineering edited by YANO, T., MATHUNO, K. and NAKAMURA, K., (Blackie Academic & Professional, UK), p.307 (1994)
- 5) 田中武夫: 食品工業 36(4) pp.33-45 (1993)
- 6) 日本化学会編: 化学便覧 基礎編2 丸善株式会社
- 7) バク, 金, 植村, 野口: 日本食品科学工学会誌142(8) pp.569-574 (1995)
- 8) 肥後温子, 島崎通夫: 家政誌 41(7) pp.585-596(1990)