

## 放電下の解凍プロセス

### Study of Thawing Process under Electric Discharge

加藤正平\* 大熊廣一\*\* 菊地謙次\*\*\* 大川 令\*\*\*\*

#### 1. はじめに

世界各地で捕獲された魚類は日本に運ぶために冷凍され、国内で解凍、冷蔵、調理される。これまでの解凍には自然解凍、マイクロ波加熱解凍、流水解凍などがある。冷凍品に電流を流してジュール熱で加熱する方法は加熱調理の予熱のために利用されるが、解凍そのものを目的として使用することは少ない。

本研究では、様々な形状の魚肉に対応可能で、緩やかで一様な解凍を実現するジュール熱解凍をコロナ放電電流で行う方法を検討する。

#### 2. 解凍法

##### 2.1 ジュール熱解凍法

解凍法には自然解凍のように伝熱を利用するものや、マイクロ波加熱やジュール熱加熱のような発熱を利用するものがある。伝熱タイプには流体を使用する流水解凍があるが、環境問題や解凍品質の問題がある。発熱タイプは解凍品の内部からの加温が可能であり、解凍品質が高くなることが期待される。しかし、氷を解凍する場合には電磁波加熱は解凍ムラが発生しやすい問題点がある。ジュール熱加熱(1-4)は、調理まで行えるため、近年、注目される解凍法の1つである。

ジュール熱加熱法の基本は解凍品の抵抗に流れる電流による発熱を熱源とする。解凍品は工業製品のような均一な材質や形状とすることは困難である。従って、解凍品の部分に応じた電流密度の選択や、電極を通して流入する電流密度を一定にするために電極と解凍品の密着が必要とされる。このため解凍調理への応用では練り製品のようにほぼ材質や形状が一定な対象物に限定されることが多い。この問題に対して、印加電圧の制御や、解凍品との密着を確保するために電極を複数に分割して、電流密度を制御する方法(5)が検討

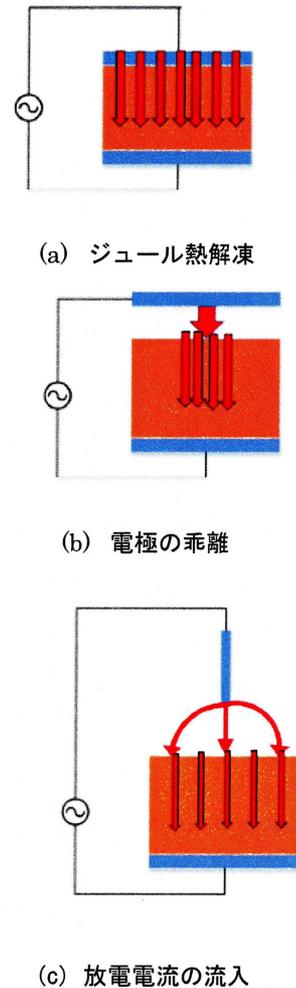


図1 放電ジュール加熱法

Fig.1 Joule heating by discharge electrode

されている。

##### 2.2 放電ジュール熱解凍法

本解凍法では不定形な魚に電極を接触した場合不均一な過熱が生じるので、電極を対象から離し、高電圧放電による荷電粒子流を電極の代わりに使用する。図1(a)に示す電極と均一な解凍試料が密着していれば、電流密度が均一になり一様な加温が期待できる。ところが図1(b)のように電極と解凍試料が離れると、試

料と電極間にアーク放電のような高電流密度が流れる部位が発生し、焼け焦げや解凍が不均一になることが多い。そこで図 1(c)のように電極を離し、電流として電極の放電電流を解凍試料に印加する。放電電流は空間電荷を形成するが、電流が小さな場合、ほぼ静電界の電気力線に沿って流れる。このため、図のように、電流が集中することなく空間に広がり、対向電極に流入する。解凍対象には、魚のように尖った部分があるのが一般的であり、電気力線の集中が発生し、発熱が局所的になる。しかし、電流がアーク放電ほど大きくなく、材料内の熱伝導によって熱拡散が期待できる程度の発熱量であれば、場所による温度変化を抑制することが可能になる。逆に、本方式では急速な加熱を行うことはできず、そのような要求に対しては、ほかの解凍法の採用や併用を考えなければならない。

### 3. 解凍実験

#### 3. 1 放電ジュール熱解凍

解凍実験に使用した試料は紫烏賊の重量約 38g、65x40x20mm の直方体形状切り身である。以下のすべての実験で同じ試料を使用した。ただし、測定後は廃棄し、常に新しい冷凍試料を使用した。試験環境は、人工環境試験装置を用意できなかったため、室温 (14°C~20°C) で行い、スチロールの断熱材の箱の中に電極を置いて、周囲からの風の影響

を受けないようにしている。

温度測定は、試料表面を放射温度計で行う。試料の表面と内部では温度が異なることが考えられるが、高電圧を使用することから、離れた位置で温度を測定できる方法として放射温度計を使用した。ファイバー方式の温度計を使用すれば内部温度も測定できるであろう。

不定形な魚に電極を接触した場合不均一な過熱が生じるので、放電のための棒電極を対象から離し、高電圧放電による荷電粒子流を電極の代わりに使用する。

図 2 に使用した電極系を示す。大地に水平な直径 15 cm の円板電極と、これに垂直な直径 5mm 長さ 30 cm の棒電極で試料と棒電極でギャップ長 5 cm の不平等電界とする。平板電極上の厚さ 12mm のポリスチロールで

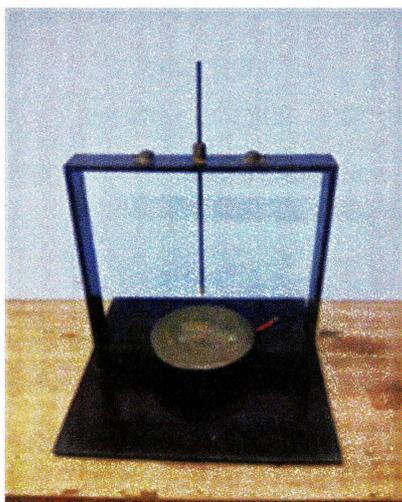
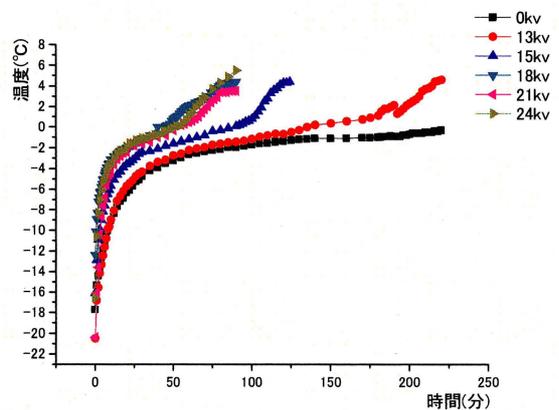
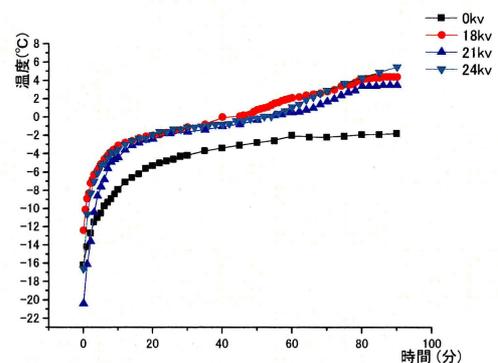


図 2 棒—平板電極系

Fig.2 Rod-plane electrode



(a) 長時間特性



(b) 初期特性

図 3 放電電極使用時の解凍特性

Fig3. Thawing temperature time characteristic

電極からの熱伝導を防ぎ、その上に試料を置いた。さらに棒電極のコロナ放電による荷電粒子が試料に集まるように、棒電極の直下に試料を置いている。

印加電圧をパラメータにして試料の温度変化を図3に示す。各測定は電極の同じ位置に試料を置き、初めに電圧を印加した測定をおこない、その後、別試料で電圧を加えないで温度を測定した。電圧印加によって、約5~8度の温度上昇が生じている。棒電極からコロナ放電が発生しているが試料表面からの放電は認められなかった。図3(a)は解凍後の室温に上昇するまでを示している-4℃から-2℃間で温度上昇が緩やかになるが氷から水に変化する融解熱のためである。図3(b)は初期の変化を示し、放電の効果が表れている。解凍目標温度として-4℃(調理のため軟らかさが確保できるといわれる温度)を考えれば、自然解凍では約40分を要するに対して、18kVを印加することで約10分の時間で解凍できることがわかる。

図4に、解凍開始から30分後の温度と印加電圧の関係を表す。約15kV以下では電圧印加の効果は少ないがこの電圧以上では温度が高く、すなわち解凍が促進されることがわかる。これは18kVでコロナ放電が発生するためである。しかし20kV以上にしても温度の上昇は限られる。

図3の結果は初期に温度上昇が大きく、-4℃付近で緩やかな温度上昇になっている。これは固相から液相に水が変化するため、融解熱を使うためであり、0℃以上で温度上昇が再び大きくなるのは氷が水に変

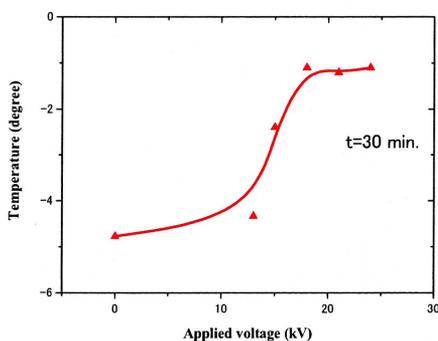


図4 温度と電圧の関係

Fig.4 Relation between temperature and voltage

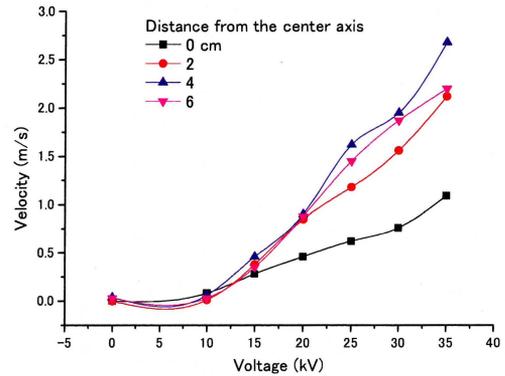


図5 イオン風速と電圧の関係

Fig.5 Relation between ion wind velocity and voltage

化したためである。

### 3.2 イオン風

図2のような電極系ではイオン風が発生し、電極温度の低下を生じることがよく知られている。このため種々の機器やデバイスの冷却への応用が試みられている。

この現象は電極の周囲媒体(大気や水など)によって電極の熱が、放電によって発生するイオン風によって熱交換が生じることから冷却される。周囲媒体の温度が高ければ逆に電極の温度が上昇することが生じる。

本報告の解凍では、解凍物の周囲大気(室温)の温度が高く、この熱を解凍物に伝えることで解凍が促進されることが考えられる。そこで平板電極上の風速分布を測定した。測定には熱線式風速計を使用した。

図5に対称軸からの距離をパラメータにして、印加電圧と風速の関係を示す。電圧が15kV以上になると風速が1m/s以上になる。電圧が高いほど風速は大きくなる傾向がみられる。図6に電圧をパラメータにして、対称軸からの距離と風速の関係を示す。軸付近より周辺部で風速が大きくなっている。これは、棒電極の対称軸付近の放電より端部の高電界部からの放電が優勢なためである。棒電極ではなく針電極を使用する場合には電極直下の空間の風速は増大するであろう。し

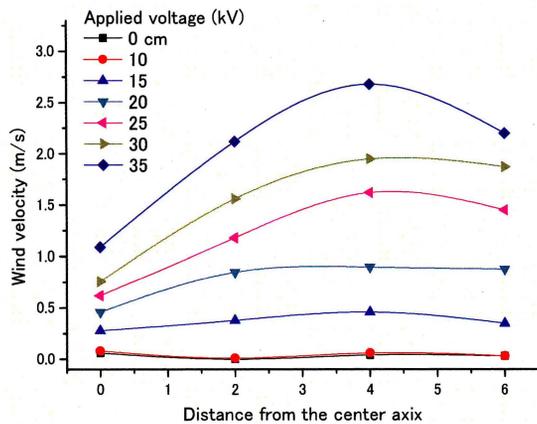


図6 電極位置におけるイオン風速の変化

Fig.6 Relation between ion wind velocity and

たつて、イオン風を効果的に解凍に利用するためには電極と解凍物の位置関係を考慮する必要がある。

イオン風は交流、直流電圧で異なり(6)、また電極の極性でも異なることから、解凍への影響も電圧の種類に依存する可能性がある。

図7に放電電流による加温とイオン風の関係を示す。イオン風がなければ荷電粒子による電流が解凍対象内でジュール熱を生じる。イオン風が適度な速度であれば(b)のように、環境の熱を伝え、加温することができる。しかし、風速が大きくなれば、解凍対象物の表面からの蒸発や昇華が発生するため、温度低下を招いてしまう。適切な放電量が必要となる。

高温物体の冷却や高速流体のエネルギー損失を抑制するために荷電粒子の固相、気体の境界層の剥離の利用があるが、本解凍法でもこの現象による熱伝導率の向上を期待できるであろう。

放電電流が小さいため、消費電力は数ワットであるが、環境からの熱の流入を大きくすることができれば、ヒートパイプのように省エネルギーで、自然解凍より速く、高品質な解凍が実現できるであろう。

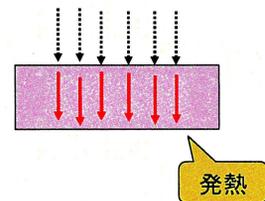
#### 4. まとめ

冷凍魚の解凍に高電圧印加ジュール熱を使用する方法を検討した。魚類の形状に合わせた電極に替え、放

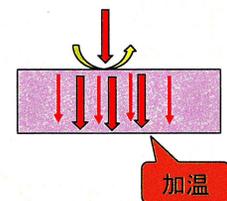
電によって発生する荷電粒子を解凍対象に加える方法を検討した。電界を加えない場合に比して、数°C以上の表面温度差を維持して解凍を行うことが可能な結果が得られた。

#### 参考文献

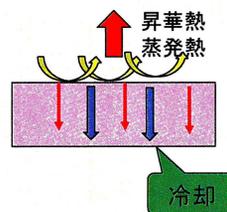
- 1) 渋谷、辰口：「小規模解凍におけるジュール加熱の利用」横浜国立大学教育紀要 37, 79-87, 1997-11-28 (1997)
- 2) 小林：「ジュール熱加熱の食品への応用」, 冷凍食品技術研究, Vol.97, No.12 pp.1-9 (2012年)
- 3) 秋山：「ジュール加熱技術の食品利用への近況」, ジャパンフードサイエンス, Vol.47, No.10 pp.26-30 (2008)
- 4) 加川、長縄、小松：「ジュール加熱食品加工における温度推定法」, 計測自動制御学会東北支部第 266 回研究集会 266-11 pp.1-6 (2011)
- 5) 長縄、伊藤、秋山、山田：「ジュール加熱法における電極板面積の影響について」, 日本食品化学学会誌, Vol.9, No.1 pp.43-50 (2008)
- 6) 足立、山下、中林、正田：「5種類のイオン風の特性比較」, 山口大学工学部研究報告, Vol.27, No.1 pp.105-112 (1976)



(a) イオン風がない場合



(b) イオン風による加温



(c) イオン風による冷却

図7 イオン風の効果

Fig.7 Effect of ion wind