

## 動揺式殺菌における適正内容物粘度

田口 憲人, 高橋 英史

### The Suitable Viscosity of Contents for Various Agitating Retorts

Norihito Taguchi and Hidehito Takahashi

The packaged foods stored at ambient temperature are heat-treated to secure commercial safety from a risk by microorganism. By excessive heating, a color and a texture of food were changed, and in addition a taste and nutritional value were deteriorated. As a technique which improve the heat transfer of the contents by shaking, the method of agitating sterilization was devised. The sterilization method such as the rotary, the swing, the reciprocating, can shorten sterilization time in comparison with the static. This report shows the upper limit of contents viscosity using agitating methods. The biological indicator was inoculated into a flat pouch (200×300mm) with 1.2 kg of starch liquid and calculated the degree of agitation from the survival ratio after retort treatment. The upper limit of viscosity (Pa·s) mixed evenly was the rotary 10, the swing 5.5, the reciprocating (the number of vibrations 60 cpm) 4.2, the reciprocating (the number of vibrations 75 cpm) 11.

**Key words:** Retort, Agitating, Static, Rotary, Swing, Reciprocating, Viscosity, Biological indicator

常温流通可能な容器包装詰食品は、商業的無菌を確保するために加熱殺菌を必要とする。低温長時間殺菌と高温短時間殺菌を、同等の殺菌効果が得られる条件で比較すると、高温短時間殺菌の方が栄養素の残存率が高くなる傾向があり、品質の良いものが得られる場合が多い。このような傾向は多くの食品に認められている<sup>1)</sup>。

容器包装詰食品の品質低下を抑制する方法の1つは、加熱殺菌時の熱伝達性向上である。加熱殺菌中に内容物を強制的に攪拌することで熱伝達性を向上させる動揺式殺菌法が考案された。動揺式には回転式、揺動式、摺動式があり、外力を利用し攪拌するため、静置式に比べ殺菌時間は短縮でき、特に粘稠液で、その効果が発揮できることに特徴がある。

各動揺式でパウチ詰を殺菌する場合において、生物指標菌を用い効果的に実施できる内容物粘度の上限を探索した。

### 実験方法

#### 1. 容器

220 × 300 mm の平パウチ (12 μm PET /25 μm Ny /7 μm Al/ 100 μm CPP) を使用した。

#### 2. 試料

ワキシーコーンスターチとスターチを 8:2 の割合で混合したものを 0.1 M リン酸緩衝液 (pH7.0) で濃度が 4~8% となるよう調整した。調製した粘稠液を平パウチに 1.2 kg

充填した。この時の充填率は、使用するパウチの最大容積のおよそ 50% (w/w) とした。図 1 にスターチ濃度と粘度の関係を示した。粘度は試料の温度を 80℃ とし、B 型粘度計 (TOKI SANGYO) で測定した。

#### 3. 密封およびヘッドスペース量 (HS 量)

摺動式と揺動式に用いる試料はヘッドスペースが生じないようにインパルスシーラー (富士インパルス社 F1-450-10W) でシールした。回転式に用いる試料はシール後、内容液量の 5% 容量となるように、針付シリンジ (TERUMO) で空気を注入し、ヘッドスペースを設けた。注入口は、インパルスシーラーで再度シールした。

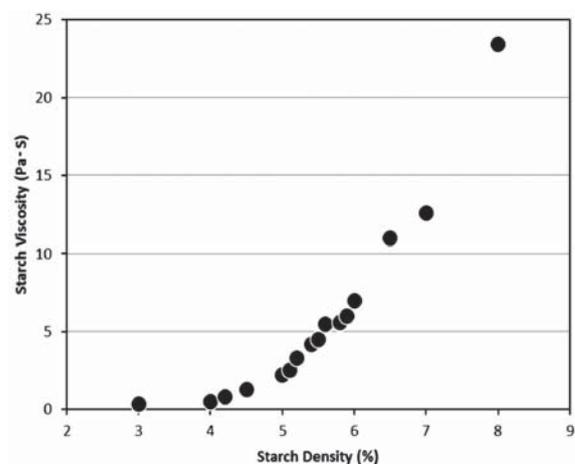


図 1 スターチ濃度と粘度の関係

#### 4. 品温測定

有線式熱電対（エラブジャパン社）の感温部を容器の幾何学的中心に固定後、レトルト温度モニタリング装置（YOKOGAWA 社）に接続し、品温の熱履歴を測定した。

#### 5. 殺菌条件

##### 5.1 装置

レトルト装置は、シミュレーターレトルト（東洋製罐 H130-C110）を使用した。

##### 5.2 静置式殺菌

熱水シャワー一定圧殺菌・シャワー冷却式で、雰囲気殺菌温度（121℃）に到達するまでの時間（CUT）を10分間、殺菌圧力 0.23 MPa で行った。30℃の冷却水で品温が60℃以下になるまで冷却した。

##### 5.3 回転式殺菌

熱水押上定値殺菌・満水冷却方式で CUT 10 分間、殺菌温度 120℃、殺菌圧力 0.23 MPa で行った。30℃の冷却水で品温が60℃以下になるまで冷却した。回転数は 10 rpm とし、殺菌工程中と冷却工程中、殺菌棚を回転させた。

##### 5.4 揺動式殺菌

熱水シャワー一定圧殺菌・シャワー冷却式で、CUT10分間、殺菌温度 121℃、殺菌圧力 0.23 MPa で行った。30℃の冷却水で品温が60℃以下になるまで冷却した。1秒間で水平角度 15°まで傾け、1秒間停止、次の 1.5秒間で逆方向に動かし水平 15°まで傾ける動作を全ての工程で繰り返した。

##### 5.5 摺動式殺菌

熱水シャワー一定圧殺菌・シャワー冷却式で、CUT10分間、殺菌温度 125℃、殺菌圧力 0.23 MPa で行った。冷却水の温度を 30℃として品温が60℃以下になるまで冷却した。振幅 75 mm で 60 及び 75 cpm の振動数で殺菌中、水平に殺菌棚を往復させた。

#### 6. 生物指標菌を用いた動揺殺菌の攪拌効果の検証

##### 6.1 菌種

生物指標菌（以下 BI）として、高温蒸気滅菌の指標菌に用いられている *G. stearothermophilus* (NBRC 13737) を用いた。

##### 6.2 芽胞懸濁液の調製

BI の培養液 0.1 ml を芽胞形成用平板培地（373 培地：Nutrient broth（以下 NB, OXOID 社）6.5 g, 脱塩水 1 L, 寒天 15 g）に接種し、55℃で4日間培養した。芽胞形成確認後、菌苔を滅菌綿棒でかきとり、滅菌水で3回遠心洗浄し、滅菌水に再懸濁したものを芽胞懸濁液とした。

##### 6.3 BI の耐熱性測定

耐熱性細菌芽胞の耐熱性は加熱培地によって変化することが知られている<sup>1)</sup>。使用する加熱培地ごとに耐熱性を確認するため、加熱培地として 0.1M リン酸バッファー（pH 7.0）で調製した 4.2% スターチ液（粘度：0.8 Pa・s）を用いた。加熱培地に芽胞懸濁液を加えた試験液 1 mL を TDT 試験管に溶封し、オイルバス（東京理科器械社 NTB-221）を用い 115℃、121.1℃、125.0℃で所定の時間加熱後、流水中で冷却、開封して適宜希釈後、パールコア標準寒天培地（以下 SMA, 栄研化学）に混釈し、55℃で48時間培養した。生残菌数から使用する BI の D 値と z 値を算出した。

##### 6.4 攪拌効果の検証

平パウチに粘度 0.33 Pa・s から 12 Pa・s に調整したスターチ液を 1.2kg 充填後、BI を  $10^7 \sim 10^8$  CFU/pouch 接種し、各種レトルト殺菌でおよそ 2 対数（2 × D）芽胞菌が減る程度に加熱処理した。加熱後に図 2 に示した + マーク 15 か所から内容液 1 mL を針付シリンジで抜き取り、適宜希釈後 SMA に混釈し、55℃で24時間培養した。培養後、生残菌数を計測し殺菌効果を算出した。殺菌効果の差が小さい程、攪拌されているとして、その差が 0.5 × D より小さい場合に、十分攪拌されていると判断した。



図 2 抜き取り箇所

#### 結果および考察

##### 1. BI の耐熱性測定

BI の 4.2% (w/w) スターチ中の耐熱性測定結果を表 1 に示した。図 3～5 に加熱温度ごとの生残曲線を示した。加熱時間と生残曲線の結果から、最小二乗法によって直線方程式を求め、その勾配の逆数を取り D 値を算出した。それぞれ  $D_{115.0}=17.1$  分、 $D_{121.1}=3.3$  分、 $D_{125.0}=1.3$  分であった。図 6 に 3 つの D 値をプロットし TDT (Thermal death time) 曲線を示した。TDT 曲線から算出した Z 値は 9.0℃であった。

得られた耐熱性の値を用い各動揺式の殺菌効果を算出した。

表1 *G. stearothermophilus* の耐熱性

Temperature (°C)	115	121.1	125
D value (min)	17.1	3.3	1.3
z value (°C)		9.0	

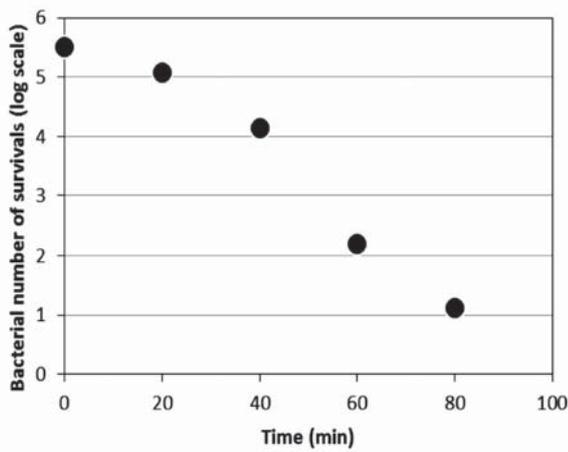


図3 生残曲線 (115°C)

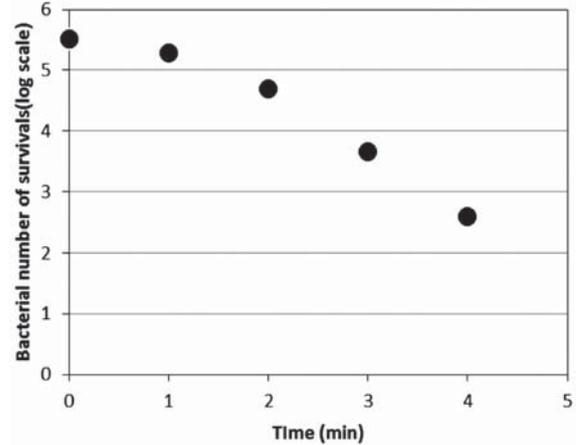


図5 生残曲線 (125°C)

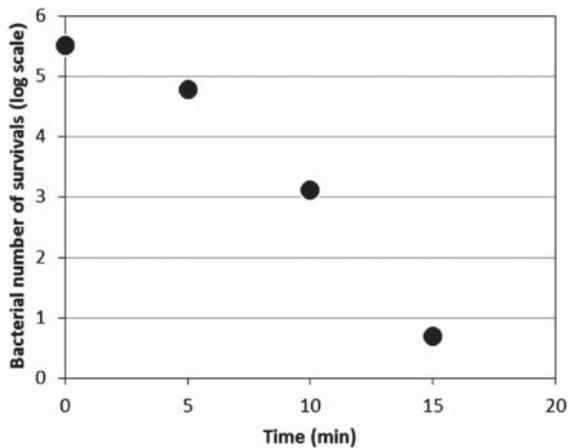


図4 生残曲線 (121.1°C)

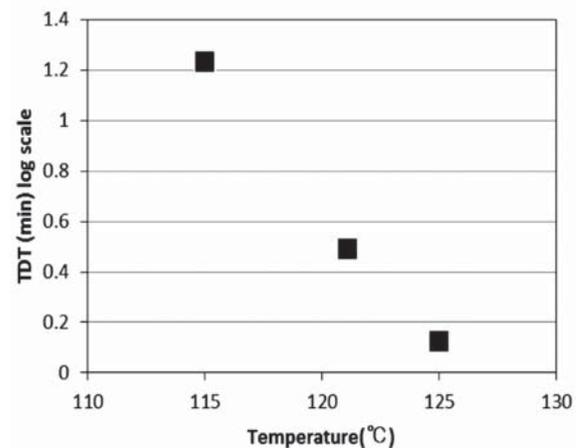


図6 加熱致死時間曲線

2. 攪拌効果の検証

図7に静置式と回転式、揺動式のスターチ粘度と容器内殺菌効果の差を示した。静置式では低い粘度 (1.3 Pa·s) でも容器内の殺菌効果の差が2.7 × Dとなり、容器内は攪拌されていないことが分かった。

回転式では粘度 12.6 Pa·s を超えると殺菌効果の差が0.9 × D以上となった。これは、およそ10 Pa·sを超えるとヘッドスペースガスが移動できなくなり、攪拌効果が無くなったためと考えられる。10 Pa·s以下では殺菌効果の差が0.5 × D以下であり十分に攪拌された。

揺動式では粘度 5.5 Pa·s の場合、0.8 × D殺菌効果に差が生じ、粘度が12 Pa·sを超えると1.7 × D以上殺菌効果に差が生じた。揺動式では流動性のある内容物が、殺菌棚が傾いている間に容器内を移動しなければ攪拌されな

い。5.5 Pa·sを超えると、今回設定した揺動プログラムでは傾いている時間が短いため、内容液が移動し難くなったためであり、設定時間を長くすれば流動すると思われる。

図8に静置式と揺動式(60 cpm および 75 cpm)のスターチ粘度と容器内殺菌効果の差を示した。揺動式の60 cpmでは、スターチ粘度 4.2 Pa·sまでは容器内の殺菌効果の差は0.5 × D以下であった。4.2 Pa·sを超えると容器内の殺菌効果の差は1 × D以上となった。揺動式の75 cpmではスターチ粘度 11 Pa·s以下では、殺菌効果の差が0.5 × D以下となり十分に攪拌された。

殺菌効果の差から攪拌効果を検証した結果、動揺式殺菌のうち揺動式の60 cpmが攪拌可能な粘度範囲が狭かった。回転式と揺動式の75 cpmは同等の攪拌効果を示した。

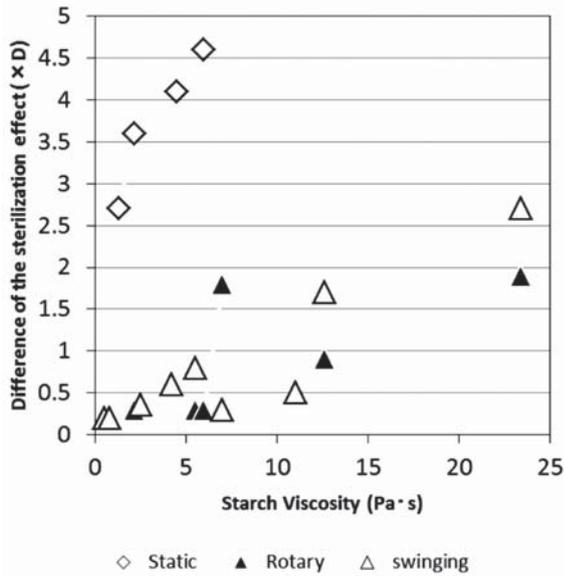


図7 回転式と揺動式でのスターチ粘度と殺菌効果の差の関係

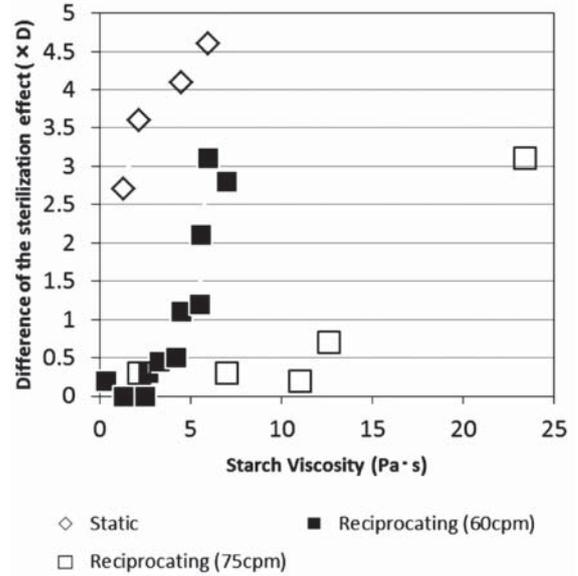


図8 撻動式でのスターチ粘度と殺菌効果の差の関係

回転式では、1分間あたりのサイクル数を増やすと、同バッチ内でも回転軸からの距離によって殺菌効果に差が生じた。これは、試料が置かれている殺菌棚の位置によって与えられる力（加速度）が異なるためと考えられる。一方、撻動式では60から75cpmにサイクル数を増やしても、試料に伝わる力は、試料を置く場所によっても違いはなく、他の方式では見られない特徴である<sup>2)</sup>。

また、回転式ではヘッドスペースガスが無ければ撻拌効果は得られないが、揺動式と撻動式ではヘッドスペースガス量は殺菌時間に大きな影響を与えないため、内容液の充填時に厳密にヘッドスペースガス量を管理する必要はない。

各動揺式において、1キロ平パウチにスターチ液 1.2 kg を充填した場合に、むらなく加熱殺菌できる有効粘度の上限は回転式と撻動式（75 cpm）では、およそ 10 Pa・s、揺動式では 5.5 Pa・s、撻動式（60 cpm）では、4.2 Pa・s であることがわかった。

充填量が使用する容器の最大容積に対して、適正な範囲内であれば効果が十分に得られるが、充填量が適正な範囲を逸すると効果は低下する。

粘度が高い溶液であっても、アンドラーデの粘度式（計算式は以下に示す）に従い、加熱により粘度は低下することが知られている。

モデル液の粘度と温度の逆数をプロットしたところ直線性が認められた（図9）。60℃での粘度 1.05 Pa・s のモデル液は、80℃では 0.82 Pa・s となり、得られた直線から 120℃でのレトルト殺菌中にモデル液の粘度は 0.38 Pa・s になると予想できる。

容器壁面に近い部分から流動性が生じた場合には、撻拌されることで熱伝達効率が向上し、殺菌時間の短縮は可能である。一方で 20 Pa・s を超えるような粘度の内容液の

場合、冷却時には容器に近い方から粘度が増すため、冷却時の時間短縮は期待できない。

$$\left( \eta = A \exp \frac{E}{RT} \right)$$

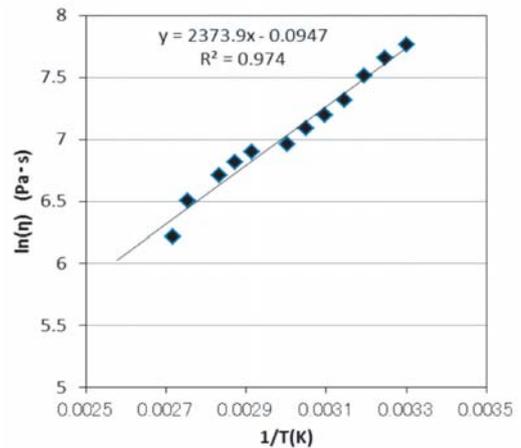


図9 アンドラーデの粘度式

図10に回転式殺菌でのスターチの粘度の違いによる品温の温度履歴を示した。スターチの粘度 7 Pa・s と 12.6 Pa・s では、昇温時の温度カーブが乱れていることから容器内のヘッドスペースガスが移動し、スターチ液が撻拌されていると考えられる。スターチ粘度が 23 Pa・s の場合、昇温時の温度カーブに乱れは生じず、前述のように回転による撻拌効果が得られていないと考えられる。

パウチを殺菌対象とした動揺式殺菌では、内容物ごとに異なるが一定以上の加速度と時間をかける場合には容器損傷が問題であり、繰り返しの屈曲に耐える包材の開発や容

器に負荷をかけずに熱伝達効率を向上できる動揺式殺菌法の開発が望まれる。

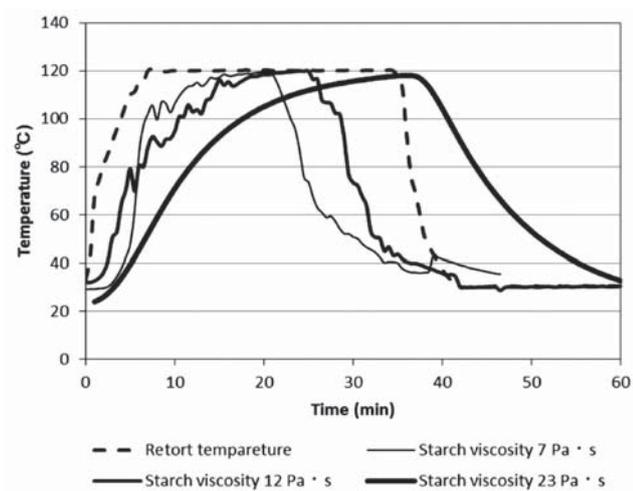


図 10 回転式温度チャート

## 文献

- 1) 芝崎 勲：改訂増補 新食品殺菌工学, 光琳 (1998)
- 2) 池田正臣, 山口尹通：特開昭 57-5678