

含気容器詰の加熱殺菌における F_0 値測定位置の検討

稲葉 正一

Study of the Location of the Minimum F_0 Value during the Thermal Processing of Food Packages Containing Air

Shoichi Inaba

The effect of the air-containing part of food packages on the location of the minimum F_0 value was investigated. A 6% gelatinized starch liquid was packed into a cylindrical cup also containing air, and the temperature was measured at six points on the central vertical axis during thermal processing at 120 °C for 30 minutes. As a result, the position where the F_0 value was at a minimum was found to be closer to the air-containing part than to the geometric center of the cylinder. When the temperature curves at each position were analyzed using the delay time (δ) of the ATS method, it was confirmed that the minimum F_0 value occurred where the temperature rise was slow and the cooling was fast. These minimum F_0 values were approximately 10% to 15% of the F_0 value at the geometric center position. It is thus necessary to consider the risks of an inadequate thermal treatment due to assuming an incorrect temperature measurement location by not taking air pockets into account.

Key Words: F_0 value, packaged food, retort, minimum, plastic cup, ATS method

1. はじめに

殺菌値 (F_0 値) は容器詰食品の加熱殺菌における安全性確保のための指標で、温度履歴から計算される。加熱殺菌する食品の温度測定位置について、食品衛生法では単に「中心部」と表記されている。また、一般的に伝導で伝熱する食品についての温度測定は、加熱時に最も熱の伝わりにくいとされている容器の幾何学的中心が、冷点 (Cold Spot) または最遅速加熱点 (The slowest heating point) と呼ばれて選択されている (松田&藤原 2013)。しかし、半世紀以上前から幾何学的中心が殺菌値の最小点位置ではないという計算結果が複数報告されている (Teixeira *et al.* 1969; 寺島 2002; 寺島 2024)。これら報告は容器の幾何学的形状と F_0 値の最小値位置を検討した結果であり、 F_0 値の最小値位置が中心部でない場合には、円筒容器では中心軸上またはその周辺の同心円状の位置、角形容器では、中心軸上または中心面の対角上となっている。中心部でない場合の F_0 値と中心部の F_0 値との差異の最大値は、扁平型の角形容器で 5% であった。計算対象は、伝熱が伝導によると限定しているため含気はない場合と推測される。

容器詰食品の加熱殺菌における条件設定においては、過剰な殺菌条件の設定は加熱による食品の加熱劣化が大きく、商業的無菌を達成する条件において加熱強度を下げる工夫が行われる。例としては、指標菌の耐熱性を勘案して

F_0 値を定める方法である。その方法では容器の種類や寸法を変更しても F_0 値を目安にすれば殺菌条件は決めやすい。ただし、容器詰内における F_0 値の最小値と比較しないと F_0 値の基準が整合しない懸念がある。

含気部が食品の温度分布に影響を与えることを示唆された例があるが (岩田 2009)、 F_0 値に与える影響について定量的な議論は行われていない。カップ・トレイ詰食品においては、熱溶着部での噛み込みシール防止のためには含気は必要不可欠な場合が多い。ロングライフチルド製品の種類も多いカップ・トレイ詰食品は、殺菌値^{*1)}の最小値の把握は殺菌にとって最重要項目であることから、今回は F_0 値が最小となる位置と含気の関係について検証した結果を報告する。

*1) ロングライフチルド食品では殺菌温度が低く、指標菌も異なるため F_0 値が使われない場合がある。

2. 実験方法

2-1. 測定サンプルの作成

実験に使用したカップ容器を Fig. 1 に示す。ポリプロピレン (PP) 製で内側高さ 30 mm、外径 61 mm であり、本カップ容器は側壁および底部の肉厚を同一厚さに指定して削り出しで製作した。厚さ $t = 0.5, 1.0, 2.0$ mm である。

水溶した後に 70°C まで加熱して自然冷却した 6% 糊化でんぷん液 60.0 g をカップに充填し、東洋製罐製フィル

ム蓋材 (12 μm ポリエチレンテレフタレート (PET) / 7 μm アルミニウム / 15 μm ポリアミド / 70 μm PP) を 175 $^{\circ}\text{C}$ - 1.7 秒間 - 1kN / カップの設定で、シンワ機械製単発カップシール機を使用し、熱溶着して密封した。糊化でんぷん液は高さ 22.5 mm で残りの 7.5 mm 分の隙間は空気である。

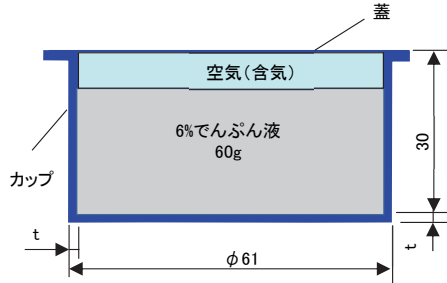


Fig. 1 でんぷん液カップ詰の断面図

2-2. 加熱・冷却試験

加熱・冷却試験は東洋製罐製 SIMULATOR RETORT H130 (C110) で近接センサーを使用した等圧熱水シャワー方式で実施した。試験で使用した雰囲気温度パターンは昇温工程が長い含気カップ詰食品の加熱殺菌に倣ったパターンとした。初期品温は室温 (16 ~ 25 $^{\circ}\text{C}$)、昇温工程は 70 $^{\circ}\text{C}$ まで 10 分間、120 $^{\circ}\text{C}$ まで 20 分間で、殺菌工程における最高温度 (120 $^{\circ}\text{C}$) の保持時間は 30 分間、冷却工程は 100 $^{\circ}\text{C}$ まで 7 分間、100 $^{\circ}\text{C}$ から 30 $^{\circ}\text{C}$ まで 13 分間で行い、その後冷却水温度を 30 $^{\circ}\text{C}$ に保持した。30 $^{\circ}\text{C}$ 保持の終了は中心軸上で底部から高さ 15 mm の温度が 40 $^{\circ}\text{C}$ を下回った時点とした。加熱殺菌処理の開始から殺菌工程が終了するまでを加熱過程、殺菌工程終了から終了時までを冷却過程と呼ぶ。

雰囲気温度およびカップ内の温度測定は Ellab 社製計測システムを使用した。T 型熱電対式温度センサー SSA-12100 (ϕ 1.2 mm) を、装置内圧力は圧力センサー DIGITAL PRS SENSOR を、データ記録計 E-Val Flex に接続して測定した。高さ方向の温度分布は容器底部外面を $h=0$ として、中心軸上の $h=5, 10, 15, 20, 22.5, 25$ mm の位置を測定した。22.5 mm は糊化でんぷん液の界面付近、25 mm は含気部である (Fig. 2)。

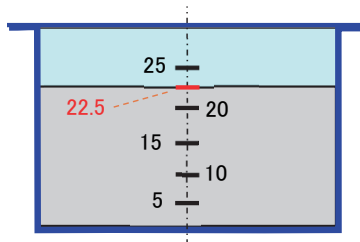


Fig. 2 でんぷん液カップ詰温度測定位置

中心軸上のカップ底外面からの高さ 5 mm ずつ配置した温度センサーで測定。ただし 22.5 mm は気液界面として特別に配置。

2-3. 測定結果の評価

全ての品温および含気部測定結果について F_0 値および ATS 法のパラメータを求めた (向井 2021)。また、測定結果から 5 分毎の高さ方向の温度分布を求めた。 F_0 値は、3 秒ごとに取得した N 個の温度データ: T_j を $j=1$ から順番に計算して求めた (式 1)。

$$F_0 \text{ 値(分)} = \frac{3}{60} \sum_{j=1}^N 10^{\frac{T_j - 121.1}{10}} \dots (1)$$

ATS 法の遅れ時間パラメータ: δ (sec) は、温度測定点に雰囲気温度が影響するまでの遅れ時間として計算される (式 2)。内容物温度を様々な位置で測定し、 δ を算出すると δ は温度測定位置と密接な関係があった。ATS 法における δ は本来中心部温度の遅れ時間を表す指標である。温度は点の温度を測定するが、その測定点に影響を及ぼす殺菌庫の温度 T_w に曝されるのは容器表面全面である。そのため、 δ に影響するのは単なる表面からの寸法による距離ではなく、3 次元的な熱的な距離と解釈される (稲葉 2020)。従って δ が大きいほど温度センサー位置は表面から熱的に離れた位置にあると考えられ、その距離は伝熱のメカニズムに依存するため、加熱過程と冷却過程では異なっても矛盾はない。

$$T_p(t_n) = T_p(t_{n-1}) + \tau(T_w(t_{n-1}) - \delta) - T_p(t_{n-1}) \dots (2)$$

ここで $T_p(t_n)$ は n 番目に測定した時間 t_n の時の糊化でんぷん液の温度、 $T_w(t_{n-1})$ は $n-1$ 番目に測定した時間 t_{n-1} の時の殺菌庫内の温度、 τ (単位なし) は伝熱係数を示す。 $(\tau$ も ATS 法で用いるパラメータである。)

3. 結果と考察

3-1. 温度、殺菌値、圧力の経時変化

Fig. 3 に糊化でんぷん液 $t=2.0$ mm 肉厚カップ詰の温度、圧力の経時変化を測定した結果を代表例として示す。Fig. 3 において雰囲気温度は昇温より冷却の方が急激に変化している。そのため加熱過程の雰囲気温度 70 $^{\circ}\text{C}$ の時の

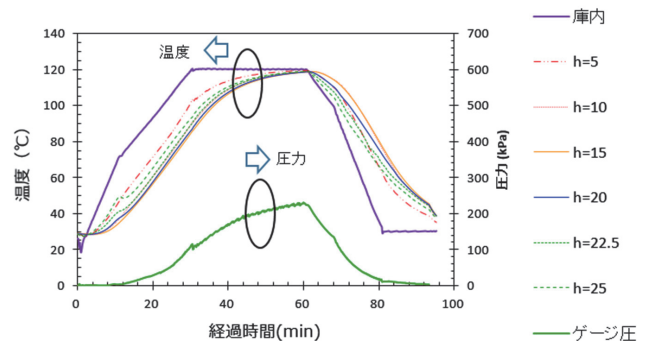


Fig. 3 加熱殺菌時の雰囲気温度と糊化でんぷん液各位置の温度および圧力の時間推移

肉厚 $t=2.0$ mm の糊化でんぷん液カップ詰の場合。圧力はゲージ圧。

温度幅が 14.3℃であるのに対し、冷却過程における雰囲気温度 70℃での内容物の温度幅は 16.7℃とわずかに温度幅が大きくなった。加熱過程では $h=15$ 、20 mm の昇温が最も遅く、そこから遠い位置ほど昇温は速く、冷却過程では $h=10$ 、15 mm の位置の降温が遅いことが示唆された。

3-2. 中央軸上の高さ方向温度分布

Fig. 4 に $t=2.0$ mm の肉厚のカップ詰における加熱期および冷却期の高さ方向の温度分布を代表例として示す。温度分布の形状は、加熱過程においては下に凸、冷却過程においては上に凸であった。図示はしないが他の肉厚のカップ詰も同様であった。加熱過程における最遅速加熱点は $h=15$ 、20 mm 付近であり、冷却過程に温度変化の遅い位置は $h=10$ 、15 mm 付近であることが認められた。最遅速加熱点近傍であるにも関わらず、冷却過程の温度低

下が速いため $h=20$ mm 近傍が Fo 値の最小点になると推測される。

3-3. Fo 値が最小となる位置が幾何学的中心以外に発生する理由

Fig. 5 に 3 種類のカップ詰について各高さにおける Fo 値を示す。 $h=25$ mm を除きカップ肉厚が厚くなるにつれて Fo 値が小さくなる傾向が認められた。 $h=25$ mm は含気部であり、 $h=22.5$ mm は含気部と糊化でんぷん部の界面であるが参考のために測定した。加熱殺菌時に等圧制御を行っているが、その時の蓋材の弛み状況は殺菌庫内の圧力に応じて一定ではない。蓋材が温度センサーの感温位置に近い場合には温度が上がりやすくなるなどの Fo 値のばらつきが大きくなる要因がある。 $h=22.5$ mm についても含気部の界面であるためばらつきが大きくなる可能性がある。

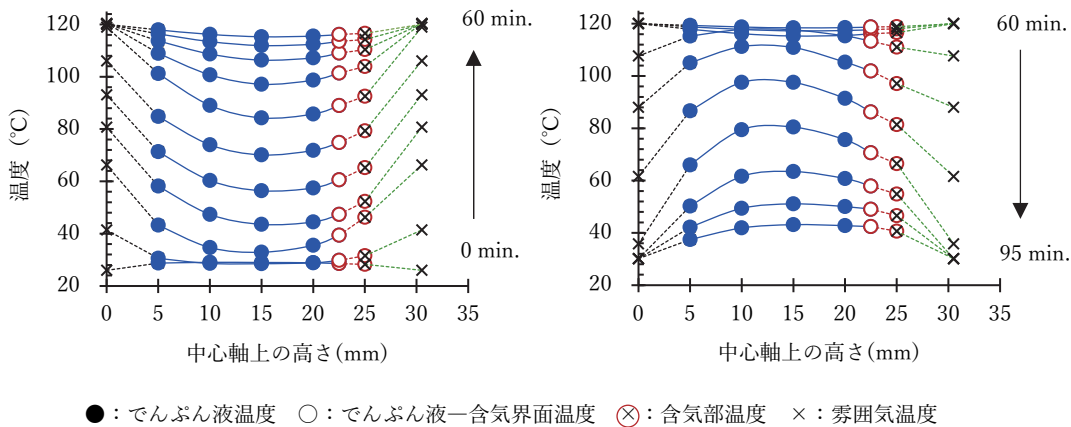


Fig. 4 糊化でんぷん液含気カップの高さ方向の温度分布 A: 加熱過程 B: 冷却過程

肉厚 $t=2.0$ mm のカップ詰における中心軸上の 5、10、15、20、22.5 (気液界面)、25 (含気部) mm で温度を測定し、5 分毎に表示した。

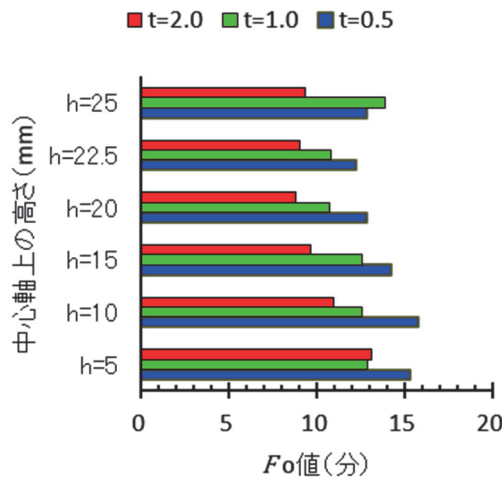


Fig. 5 中心軸上各高さにおける Fo 値
肉厚 $t=0.5$ 、1.0、2.0 mm の糊化でんぷん液カップ詰

$h=25$ mm および $h=22.5$ mm を除くと F_0 値が最小となる位置は $h=20$ mm であり、幾何学的中心に近い $h=15$ mm の F_0 値と比較すると 85 ~ 90% である。これは 5 mm 毎の測定結果であるため、温度測定位置を更に細かく設定した場合には、更に F_0 値が小さい位置が存在する可能性がある。

次に Fig. 6 に各高さにおける ATS 法のパラメータ: δ を示す。Fig. 6 より加熱過程において δ が大きい位置は $h=15$, 20 mm であり、 δ により最遅速加熱点であることが明確になった。しかし、冷却過程においては $h=20$ mm の δ が負の値になっていることから冷却で温度が急激に低下することが定量化された。従って、今回測定した範囲においては、昇温が遅く冷却が速い $h=20$ mm が中心軸上における F_0 値の最小点になったことが確認された。

冷却過程で $h=20$ mm の δ が負になり*、測定点温度の雰囲気温度への追従性が高い理由であるが、含気部での水蒸気の発生が要因の一つと考えられる。冷却過程では内容物の含気界面は蓋材内面より温度が高い。内容物の温度が高いほど内容物の含気界面からは気化熱とともに水蒸気が発生し、水蒸気は蓋材内面で低温の蓋材に接して凝縮する。凝縮時に発生する凝縮熱は蓋材に移行し反対面に流れる冷却水に移行する。本サイクルが持続すると内容物の含気界面の温度が低下し、内容物上部の温度低下速度が高くなると推測される。更に蓋材内面に凝縮して冷却された水滴が内容物表面に滴下することによる冷却効果も考えられる。半径方向等のあらゆる場所を測定していないため冷却過程の温度変化カーブによっては中心軸上以外に F_0 値の最小点がある可能性を否定はできないが、中心軸から離れるほど加熱過程で温度が上がりやすい。冷却過程において上記のメカニズムで含気部の界面が均一に冷却されると考えられるならば、中心軸上の F_0 値がほぼ最小値であると推測する。

最後に、 F_0 値が幾何学的中心と比較して 10% 以上も小さい場所が存在するのであれば、指標菌の耐熱性から殺

菌値を決める場合、精密な試験を行うほど理論値との不整合が顕在化するため F_0 値の最小値の場所を中心部と決めつけずに探索することが重要と考えられる。

*2) 田辺の式 (田辺 2010) である (3) によれば、 δ が負の値の時は Ball の Formula 法で j が 1 以下の値に相当する。

$$\delta = f \log_{10} j \dots (3)$$

4. 結論

含気のある糊化でんぷん液含気プラスチック容器詰を加熱殺菌し、容器詰中心軸上の高さ方向で 6 点の温度推移を測定した。その結果、中心軸上における F_0 値の最小点は幾何学的中心位置より含気部に近い位置であり、幾何学的中心との F_0 値の差は 10 ~ 15% 程度小さいことが確認された。含気容器詰では最小 F_0 値の位置を検討項目に加えておく方が良い場合がある。

5. 謝辞

ATS 法の δ が負の値について見解を下さった、(公社) 日本缶詰びん詰レトルト食品協会の五味様に感謝いたします。

6. 引用文献

- 稲葉 正一, 2020, 加熱殺菌における容器詰食品内の温度センサー位置の特定方法, 東洋食品研究所 研究報告書, 33, p.79-84.
 岩田 均, 2009, ほんねで語るモノづくり実験とシミュレーション, 日本食品工学会誌, 7(3), p.211-213. DOI: 10.11301/jsfe2000.7.211.

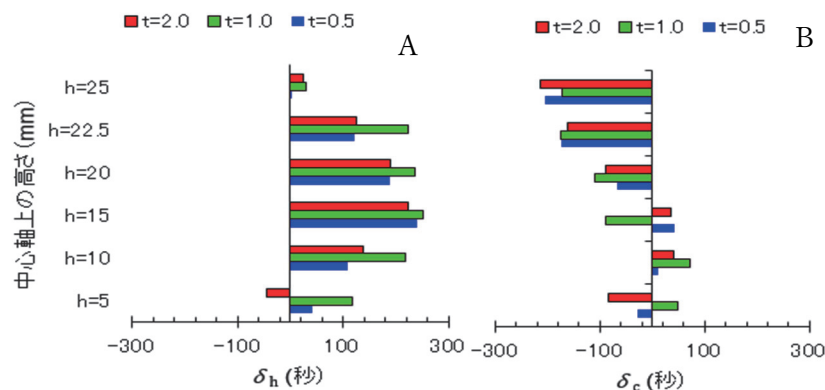


Fig. 6 糊化でんぷん液カップ詰中心軸上各高さにおける ATS 法の δ 値 (遅れ時間パラメータ)

A: δ_h (加熱過程) B: δ_c (冷却過程) 肉厚 $t=0.5, 1.0, 2.0$ mm の糊化でんぷん液カップ詰

- 松田 典彦; 藤原 忠, 2013, 容器詰食品の加熱殺菌 (理論および応用), 第3版, 公益社団法人日本缶詰協会, 東京, p.54.
- 向井 勇, 2021, Verification for ATS Method of New Sterilizing-Value-Estimation-Method., *日本食品工学会誌*, **22**(3), p.77-86. DOI: 10.11301/jsfe.21589.
- 田辺 利裕, 2010, 向井のATS法とBallの数式法におけるパラメータの関係, *缶詰時報*, **89**(6), p.551-557. (東洋食品研究所 研究報告書, **28**, p.73-78, 2010)
- Teixeira, A. A.; Dixon, J. R.; Zahradnik, J. W.; Zinsmeister, G. E., 1969, Computer determination of spore survival distribution in thermally-processed conduction-heated foods., *Food Technol.*, **23**, p.78-80.
- 寺島 好己, 2002, レトルト殺菌における容器詰伝導食品のFo値の最小点, *缶詰時報*, **81**(6), p.25-33. (東洋食品工業短期大学 東洋食品研究所 研究報告書, **24**, p.49-57, 2002)
- 寺島 好己, 2024, 加熱殺菌における缶詰食品のFo値の最小点の位置 一二分法の応用による算出, *缶詰時報*, **103**(3), p.25-33.