

ATS (Ambient Temperature Slide) 法のパラメータが殺菌値と殺菌時間の計算結果に与える影響

稲葉 正一, 藪川 啓司

Effect of the Accuracy of Parameters of the ATS Method (Ambient Temperature Slide) on Sterilization Values and Sterilization Times

Shoichi Inaba and Keiji Yabukawa

This paper describes the effect of the parameters of the ATS method (Ambient Temperature Slide) on calculating the sterilization values and sterilization times when food is heat-sterilized in containers.

When using the ATS method, we need to obtain the ATS parameters from a heat sterilization test. Although these parameters are determined semi-automatically, not enough information is available on the required accuracy for δ , the delay time. Therefore, we discuss how the calculated sterilization values and sterilization times are affected by small differences in the optimal values of δ .

In conclusion, we found that the differences in these values affected the sterilization times more than the sterilization values.

Key words: bATS method, heat sterilization, program, prediction, F_0 value

1. はじめに

容器詰食品の加熱殺菌において、必要な殺菌値を確保しながらも加熱劣化を抑え、さらに殺菌時間にも配慮して最適化する必要がある。そのためには少なくとも容器詰食品の内部で最も殺菌しにくい場所である最小加熱点^(※1)の温度を把握し、加熱殺菌条件の最適化を行うことが必要となる。加熱殺菌条件の温度および時間の組み合わせ（雰囲気温度パターン）の最適条件を決定するために数値計算を導入することは作業効率向上の一助になる。

本報告が対象とする数値計算法はATS (Ambient Temperature Slide) 法¹⁾である。ATS法は時分割方式であり、デジタルデータ処理との親和性が高く、データはMicrosoft Excel[®]上で表示され、Visual Basic Application[®]で計算される。ATS法は様々な利用方法が提唱されている²⁾³⁾が、今回想定する場面としては、容器詰食品の新製品開発および既存ラインの殺菌条件の見直しである。殺菌条件の設定で重要な観点として殺菌値と全工程時間が挙げられる。経験のない容器形態や食品を開発する場合、一定の殺菌値を確保しようとしても、殺菌条件として雰囲気温度パターンは様々な組み合わせがあり、加熱殺菌処理はその1バッチに時間が掛かるため、考えられる全てのパターンを実際の装置で検証しようとするのが長時間を要する。特に新製品開発は一度に何種類も検討されるので効率化が望まれる。既存殺菌条件の見直しでも同様である。

既存のプログラム⁴⁾はATS法の基本性能を備えていたが、食品会社が開発現場で使用するためには更に使いやすさの向上等プログラムの改良が必要であった。改良により手で求めていたATS法のパラメータの一つである遅れ時間 δ を半自動で求めることは可能になったが、 δ をどの精度まで求める必要があるか指針はない。本報では δ の最適値との差異が殺菌値および計算値に与える影響を検討した。

※1：容器詰食品の加熱殺菌において計測すべき位置とその温度についてはいくつかの用語がある。位置を示すのは、冷点、最遅速加熱点で、位置と温度を示すのは中心温度、温度のみは品温である。これらの用語は、温度について注目されているが、筆者は最も計測する必要があるのは殺菌値が最小の位置と考えているので、本報ではその位置を最小加熱点と呼ぶことにした。最小加熱点の温度は最小加熱点温度になる。英語ではCold Spotを使用することにする。

2. 理論

2.1. ATS法の計算法とパラメータの決定

ATS法では、容器詰食品の加熱殺菌特性である遅れ時間 δ と伝熱係数 τ を用いて雰囲気温度から最小加熱点温度が計算される。両パラメータは、加熱側と冷却側で別々に設定される。加熱側とは雰囲気温度において冷却開始時点までの期間を指し、冷却側とは冷却開始から全工程終了ま

での期間を指す。加熱側と冷却側は伝熱機構が異なるため、ATS法のパラメータも別々に求める必要がある。加熱側の遅れ時間を δ_h 、冷却側の遅れ時間を δ_c で表し、伝熱係数もそれぞれ τ_h と τ_c で表す。

雰囲気温度パターンから最小加熱点温度を計算する際には、時分割 n 番目の時点の経過時間を t とし、そのときの雰囲気温度： T_w から最小加熱点温度： T_{pn} を計算するときに、時分割 $n-1$ 番目の最小加熱点温度 T_{pn-1} と δ 、 τ を用いて(式1)で計算される³⁾。

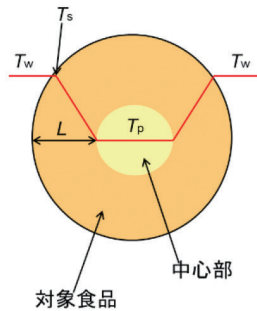


図1 ATS法の記号の説明図

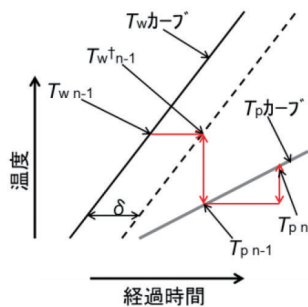


図2 ATS法の計算イメージの説明図¹⁾

$$T_{pn} = T_{pn-1} + \tau \cdot (T_w(t - \delta) - T_{pn-1}) \dots \text{(式1)}$$

ATS法を容器詰食品の加熱殺菌工程の検討に用いる場合、当該容器詰食品が想定される充填形態で一度加熱試験を実施し、得られた雰囲気温度と最小加熱点温度の関係からATS法のパラメータを求める。

ATS法のパラメータの決定方法を説明する。まずATS法のプログラムに δ を与えると、式1で計算した計算値と実測値で得られた殺菌値が最も小さくなるように τ が決定される。これを、「収束計算」と呼ぶ。様々な δ で収束計算を行い、(式2)でズレ比率⁵⁾を計算し、ズレ比率が最も小さくなった δ と τ をパラメータとして採用する。

$$\text{ズレ比率} = \sum_{\text{開始}}^{\text{終了}} \sqrt{\frac{(\text{計算温度} - \text{実測温度})^2}{\text{実測温度}^2}} \dots \text{(式2)}$$

ズレ比率が小さいほど雰囲気温度パターンから計算され

る最小加熱点温度の再現性が高い。

今回は時分割経過時間中で最もズレ比率の小さい δ を最適値とし、加熱側の δ の最適値を δ_{ho} 、冷却側の δ の最適値を δ_{co} とする。

3. 実験方法

3.1. デンプン液缶詰、パウチ詰、カップ詰の充填・殺菌条件

3.1.1. 内容物の調整

熱伝導性である6wt%デンプン液は、デンプン(ワキシコーンスターチ)90gに水1410gを加え、かき混ぜながら70℃まで加熱して調整し、充填は徐冷中に行った。加熱殺菌試験は室温まで自然冷却してから開始した。

3.1.2. 各容器の充填・密封

缶詰は、呼び内径74.1mm天地巻締 缶高81.3mm内容積322mlの5号缶に6wt%デンプン液285gを充填して301蓋を東洋製罐製M-2セミオートマチックバキュームシーマーで、チャンバーバキュームゲージ圧設定-15kPaで密封した。

パウチ詰は、層構成の外側から12 μ m PET / 15 μ m ナイロン / 7 μ m アルミ / 50 μ m PP、目安容量300gのスタンディングパウチ 幅140mm×高さ180mm×厚さ38mmに6wt%デンプン液200gを充填し、富士インパルスシーラー F1-450-10Wでエアが残らないよう密封した。

カップ詰は、口径73mm高さ32mm呼び内容積105mlのオキシガードカップLRX84-105Wに6wt%デンプン液70gを充填し、ユタカ産業製SMX-2S形を用いて炭酸ガス5l/min、窒素ガス5l/minの混合ガスでガス置換しながら、シンワ機械製単発カップシール機SN-2S型を用いて、層構成外側から12 μ m PET / 7 μ m アルミ / 15 μ m ナイロン / 50 μ m PPの蓋材を熱溶着で密封した。

3.1.3. 加熱殺菌装置と温度測定機器

レトルト装置は東洋製罐製シミュレーターレトルト(H130-C110)を使用し、加熱殺菌方式は各種容器詰食品に共通して適用できるシャワー方式を選択した。温度測定は、エラブ社有線式温度計測システム(E-Val Flex)と ϕ 1.2でプローブ長さ100mmの温度センサーSSA12100E-IDを用いた。

最小加熱点温度は、それぞれの容器詰食品において、容器の幾何学的中心にセンサーを配置して、3個の容器詰食品で品温を測定し、最も殺菌値の小さかった温度データを最小加熱点温度とした。雰囲気温度はスパーサーを用いて殺菌棚の底面から約2mm浮かせてセンサーを取り付けた。

3.1.4. 加熱殺菌条件

缶詰の場合、雰囲気温度を18℃から121.1℃まで10分

間で昇温し、殺菌温度 121.1℃で 53 分間保持した後、4 分間で 100℃まで、その後の 4 分間で 30℃まで冷却し、最小加熱点温度が 40℃になるまで 30℃を保持した。最終的な殺菌値は $F_0=6.4$ 分であった。パウチ詰の場合も同様に、雰囲気温度 18℃から 10 分間で 120℃まで昇温、殺菌温度 120℃で 23 分保持した後、4 分間で 90℃までその後の 4 分間で 30℃まで冷却し、最小加熱点温度が 40℃になるまで 30℃を保持した。最終的な殺菌値は $F_0=12.8$ 分であった。カップ詰の場合は、雰囲気温度を 18℃から 80℃まで 10 分間で昇温、その後 15 分間で 120℃まで昇温し、殺菌温度 121.1℃で 17 分間保持した後、7 分間で 100℃までその後 13 分間で 30℃まで冷却し、最小加熱点温度が 40℃になるまで 30℃を保持した。最終的な殺菌値は $F_0=6.8$ 分であった。

得られたデータについて、ATS 法の収束計算を行って各パラメータを求めた。

3.2. プログラムの改良項目

ATS 法を用いて雰囲気温度パターンを検討する場合、目標とする殺菌値と全工程時間に近づけるために、何度も計算を繰り返し替えることが必要とされる (図 3)。

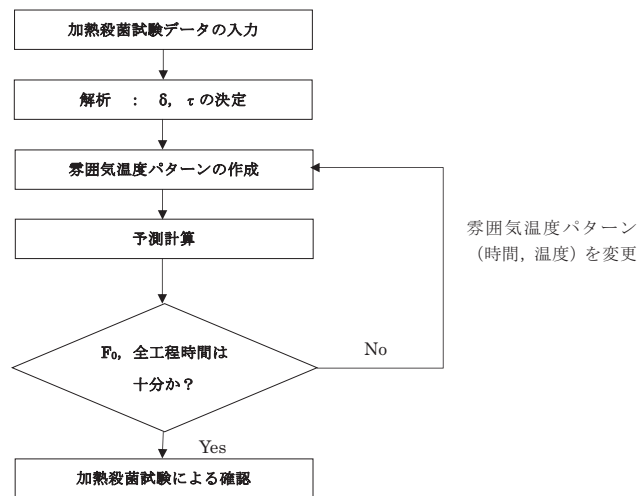


図 3 ATS 法を用いた加熱殺菌条件の検討手順の例

3.3. ATS 法のパラメータの決定精度が予測に及ぼす影響の検討方法

本報においては、加熱殺菌データの取得における時間分割はすべて 3 秒間隔で実施し、 δ は測定時の時分割時間である 3 秒の倍数の範囲で扱うこととした。

雰囲気温度パターンを同じにして、 δ の最適値から異なる値で計算した殺菌値と全工程時間と δ の最適値で計算した結果を比較した。今回は冷却終了を最小加熱点温度 40℃として全工程時間を計算した。

δ の最適値で計算した殺菌値を F_0 、 δ の最適値以外での計算した殺菌値を FD 、 δ の最適値で計算した全工程時間を T_0 、 δ の最適値で計算した全工程時間を TD とし

て、殺菌値の誤差率: RF 、全工程時間の誤差率: RT を (式 3) および (式 4) で評価した。

$$RF = \frac{(FD - F_0)}{F_0} \times 100 \quad \dots (式 3)$$

$$RT = \frac{(TD - T_0)}{T_0} \times 100 \quad \dots (式 4)$$

最初に δ の最適値を用いて缶詰、パウチ詰、カップ詰について、ATS 法のパラメータを取得した条件と異なる雰囲気温度パターンで殺菌値 $F_0=6.0$ 分となる条件を求めた。同時に全工程時間も計算される。次に δ が最適値でないときに収束計算をして τ を求め、それらのパラメータを用いて同じ雰囲気温度パターンで殺菌値と全工程時間を求めた。

4. 結果と考察

4.1. 最適値で予測した雰囲気温度パターンと殺菌値および全工程時間

各容器詰食品の加熱殺菌試験により得られた ATS 法のパラメータ (表 1)⁶⁾ を使用して、各容器詰食品について殺菌条件を求めた (表 2, 図 4)。

表 1 デンプン液容器詰の ATS 法パラメータ

	遅れ時間 (秒)		伝熱係数	
	δ_h	δ_c	τ_h	τ_c
デンプン液缶詰	462	153	0.95×10^{-3}	0.65×10^{-3}
デンプン液パウチ詰	42	9	5.1×10^{-3}	4.0×10^{-3}
デンプン液カップ詰	171	3	2.7×10^{-3}	1.5×10^{-3}

表 2 予測に使用した雰囲気温度パターン

a ~ g は、図 4 の雰囲気温度パターン上において a ~ g で示した点に相当する

	缶詰		パウチ詰		カップ詰	
	温度 (°C)	時間 (分)	温度 (°C)	時間 (分)	温度 (°C)	時間 (分)
a	18.0	0.0	25.0	0.0	20.0	0.0
b	121.1	10.0	123.0	4.5	80.0	10.0
c	121.1	65.9	123.0	16.5	117.0	25.0
d	90.0	69.9	95.0	18.5	117.0	50.8
e	30.0	73.9	30.0	21.5	100.0	54.8
f	30.0	140.9	30.0	29.5	30.0	61.8
g					30.0	86.8

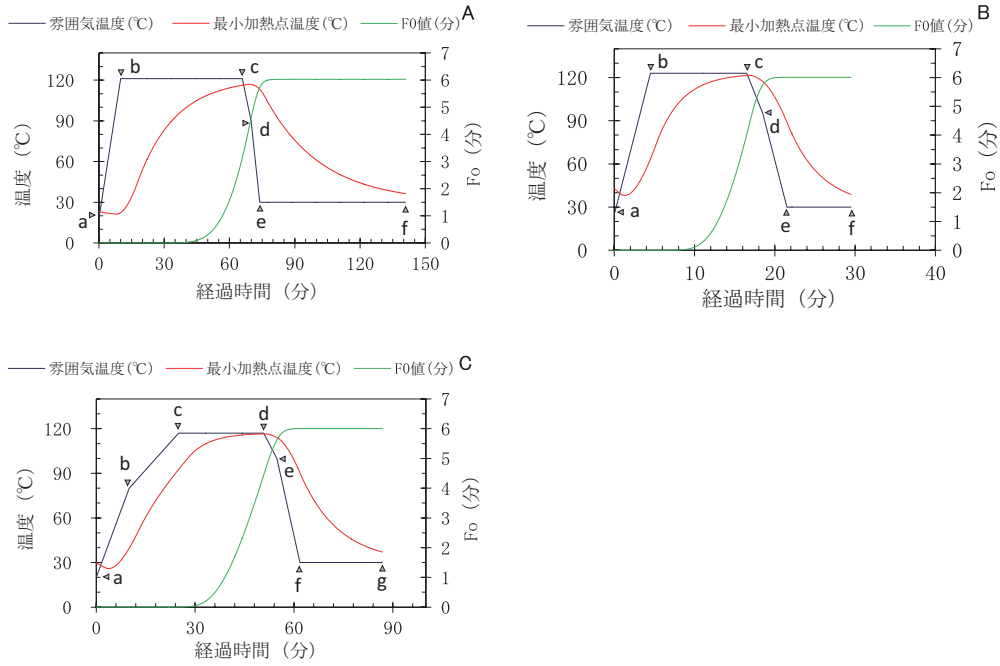


図4 各容器詰食品において $F_0 = 6.0$ 分になった雰囲気温度パターンと計算結果としての最小加熱点および殺菌値
A: 缶詰 B: パウチ詰 C: カップ詰

δ の最適値で収束計算した場合は、実測値と計算値はほぼ重なるが (図5 A), δ を最適値から大きくしたときには計算値は実測値より大きな値に (図5 B), δ を小さくした場合には計算値は実測値より小さな値となった (図5 C). δ を変更して収束計算を行うと収束計算の過程で、実測値の殺菌値と計算値の殺菌値の差が小さくなるような

伝熱係数とするアルゴリズムを採用しているために低温領域で最小加熱点温度の実測値と計算値の差が大きくなる傾向となる。それに加えて加熱側は初期品温が固定されているので初期値と高温領域の中間で実測値との差が大きくなる。冷却側は冷却終了温度が固定されていないため、低温側の乖離が大きくなる。

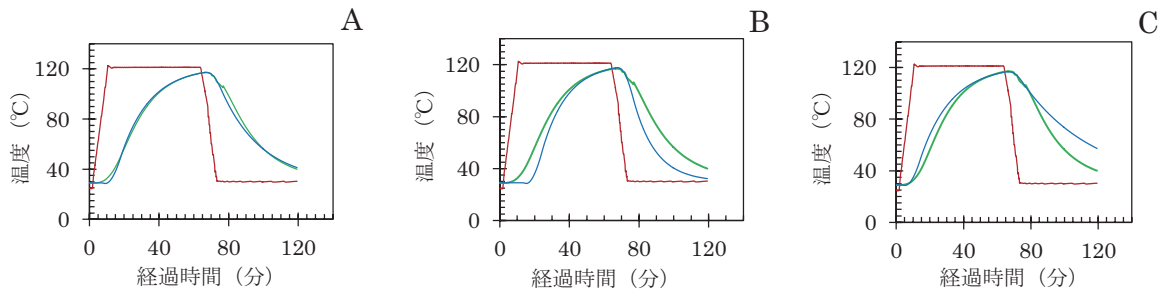


図5 δ を変更して収束計算を行った場合の実測値と計算値の位置関係

赤線は雰囲気温度, 青線は最小加熱点温度の実測値 緑線は最小加熱点温度の計算値 A (δ の最適値での収束計算の結果) $\delta_{ho} = 348$ $\delta_{co} = 156$ $\tau_h = 1.0 \times 10^{-3}$ $\tau_c = 0.72 \times 10^{-3}$, B (δ が最適値より大きい場合) $\delta_h = 800$ $\delta_c = 200$ $\tau_h = 1.2 \times 10^{-3}$ $\tau_c = 1.3 \times 10^{-3}$, C (δ が最適値より小さい場合) $\delta_h = 200$ $\delta_c = 100$ $\tau_h = 0.90 \times 10^{-3}$ $\tau_c = 0.40 \times 10^{-3}$ (δ の単位は秒)

δ を最適値から 10% 程度変えても殺菌値予測値の誤差は 1% に満たなかった (図6). 従って、殺菌値予測をする場合には、 δ_h を少なくとも最適値から 10% 以内になる

ように求めておけば予測値は 1% 以内に収まると考えられる。 τ を求める収束計算で殺菌値を使用しているためと考えられる。

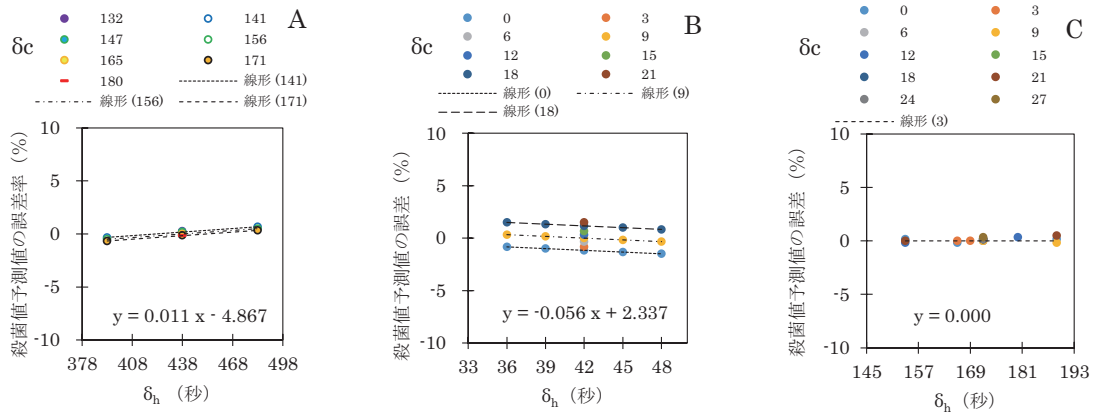


図6 最もズレ比率の最小となる δ から δ を変更した場合の殺菌値予測の誤差率

A デンブン液缶詰 $\delta_{ho}=438, \delta_{co}=156$, B デンブン液パウチ詰 $\delta_{ho}=42, \delta_{co}=9$, C デンブン液カップ詰 $\delta_{ho}=169, \delta_{co}=3$

δ を最適値から変更した場合、全工程時間の誤差率は、 δ_c の値に線形に依存し、 δ の最適値からの差と誤差率は負の相関があった (図7)。一方、 δ_h は δ_c に比べると誤差率への影響が圧倒的に小さかった。今回の3つの結果のう

ち全工程時間の誤差率の近似直線の傾きが大きい缶詰の場合、傾きが-0.33であるため、誤差率を1%以下に収めるためには、 δ_c を最適値から3秒以内にする必要があることが判った。

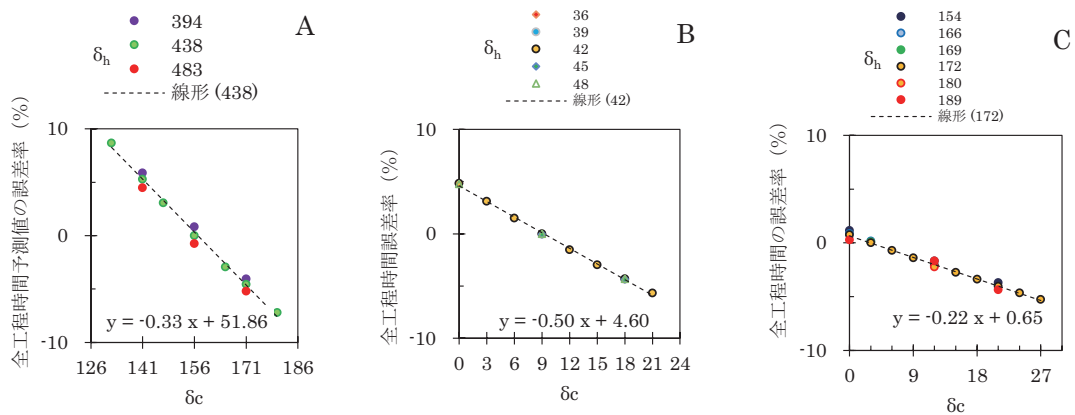


図7 最もズレ比率が最小となる δ から δ を変更した場合の全行程時間予測の誤差率

A デンブン液缶詰 $\delta_{ho}=438, \delta_{co}=156$, B デンブン液パウチ詰 $\delta_{ho}=42, \delta_{co}=9$, C デンブン液カップ詰 $\delta_{ho}=169, \delta_{co}=3$

5. 結論

ATS法の計算結果の特性を調べるために、最適値と異なるATS法のパラメータの場合を想定し、それと殺菌値および全工程時間の誤差率との関係を調べた。その結果、 δ の最適値からの差が殺菌値の誤差に与える影響は小さく、冷却側 δ の最適値からの差が全工程時間の誤差に与える影響が大きいことが分かった。

引用文献

- 1) 向井勇, レトルト殺菌における食品温度履歴の簡便な推定法, 日本食品工学会誌, 7, 197-205 (2006)
- 2) 赤崎直秀, 長田隆, 一般社団法人 日本缶詰びん詰レ

- トルト食品協会 第65回技術大会プログラム p24-25
- 3) 特許第3078545号 株式会社日阪製作所
- 4) 一般社団法人 ATS法研究会より提供
- 5) 向井勇, 朱政治, 温度履歴曲線の相似関係によるATS法の理論的課題の解明, 日本食品工学会誌, Vol.16, No.3, pp209-207, Sep.2015
- 6) 稲葉正一, 藪川啓司 公益財団法人 東洋食品研究所 第32号研究報告書「ATS (Ambient Temperature Slide) 法のパラメータ決定に関する研究」

謝辞

ATS法プログラムの提供およびアドバイスを頂きました向井氏に感謝します。