

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

稲葉 正一

Method of Positioning Temperature Sensor during Thermal Processing of Packaged Food

Shoichi Inaba

To measure the F_0 value during the thermal processing of packaged food, the temperature sensor needs to be located at the slowest heating point. Confirming this location quantitatively would provide advantage for trouble shooting and running safety trials when developing new packaged foods. In this study, the temperatures were measured at various locations inside plastic cups containing 6% liquid starch and in metal cans containing milky coffee.

Using the ambient temperature slide (ATS) calculation method, it was clear that the greater the heating delay times, the smaller the F_0 values achieved just before the cooling period started. This means that the method could be used to locate the slowest heating point. Although the location for the smallest F_0 value was not at the slowest heating point, the difference between these F_0 values was less than 1 minute. Therefore, this method is essential for knowing where to place the temperature sensor inside packaged food when checking the efficiency of a thermal process.

Key words: thermal processing, cold spot, the slowest heating point, F_0 value, temperature sensor, ATS Method, delay time, packaged food, canned beverage

1. はじめに

加熱殺菌において最も重要な管理値の一つに殺菌値が挙げられるが、殺菌値は最遅速加熱点で測定されなければならない¹⁾。最遅速加熱点で温度測定したという証拠を得るために通常の生産活動の範囲内で温度センサー位置が特定できれば、最遅速加熱点測定に関連する種々の課題の解決に有用と考えられる。

通常、伝導で伝熱する内容物では温度センサーは容器の幾何学的中心に配置されることが多いが¹⁾、容器内の含気や雰囲気温度パターン等の影響により必ずしも殺菌値の最小点は容器の幾何学的中心および最遅速加熱点ではない^{2) 3)} ことが知られている。

今回、最遅速加熱点を特定する方法として、ATS 法⁴⁾の遅れ時間が利用可能か検討した。ATS 法では、雰囲気温度の変化が中心部に反映されるまでの時間が遅れ時間であるとされている。容器詰食品の中心軸上で高さを変えて温度データを取得し、それらの位置における ATS 法の遅れ時間、容器内温度分布から求めた最遅速加熱点および殺菌値との関係から、温度センサー位置が特定できるか検討した。

2. 実験方法

2.1. 内容物

伝導伝熱である食品として 6 wt% デンプン水溶液プラスチックカップ詰を使用した。ワキシーコーンスターチ 30 g に水を加えて 500 g にし、かき混ぜながら 70℃まで加熱した後に徐冷した。

対流伝熱である飲料としてミルク入りコーヒーを使用した。日本コカ・コーラ株式会社製 Georgia エメラルドマウンテンをリパックした。

2.2. 容器、充填、密封

削り出しで製作した肉厚 1 mm の円筒形プラスチックカップにデンプン水溶液 82.5 g を充填し、シンワ機械製単発カップシール機 SN-2S 型を用いて、多層構成 (12 μm PET / 7 μm アルミ / 15 μm ナイロン / 50 μm ポリプロピレン) の蓋材を蓋の裏に気泡が残らないようデンプン液に密着させてから熱溶着で密封した。

東洋製罐製 TULC 缶 J200TF2 にミルク入りコーヒー 182 g を常温で充填し、スコア加工等を施していないシェル蓋を巻締めた。

2.3. 加熱殺菌装置、方式、条件

加熱殺菌は東洋製罐製シミュレーターレトルト (H130-

C110) を使用した。雰囲気温度は装置内の右奥, 中央, 左手前にスパーサーを用いて殺菌棚の底面から約 2 mm 浮かせてセンサーを取り付けた。

デンプン水溶液プラスチック詰の加熱殺菌は熱水シャワー・一定圧方式で行った。25℃から 120℃まで 11.1 分間で昇温し, 殺菌温度 120.1℃で 30.2 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, 30℃で 17.7 分間保持した。圧力は, 昇温時に雰囲気温度が 50℃になった 3.7 分から加圧を開始し, 2 分間で 0.18 MPa まで昇圧し, その後終了まで一定圧を保持した。

ミルク入りコーヒー缶詰の加熱殺菌は飽和蒸気加熱・シャワー冷却方式で行った。25℃から 105℃まで 2 分間で昇温し, 105℃を 5 分間保ったのち, 120℃まで 1 分間で昇温し, 殺菌温度 120.3℃で 12.4 分間保持した後, 1.5 分間で 30℃に降温し, 30℃で 6 分間保持した。圧力は, 105℃までは大気圧と同等で, その後, 殺菌工程終了までの圧力は蒸気圧と同じである。冷却直前に 0.18 MPa まで空気加圧を行い, 冷却開始とともに 2 分間保持したのち, 15 分間で大気圧まで徐々に減圧するペースで減圧した。

2.4. 加熱殺菌温度の測定方法と装置

温度測定は, エラブ社有線式温度計測システム (E-Val Flex) を使用した。

デンプン水溶液プラスチックカップ詰の場合, $\phi 1.2$ でプローブ長さ 100 mm の温度センサー SSA12100E-ID を容器の横側面から挿入し, 感温部を底部から高さ 5, 10, 15, 20, 25 mm の高さの中心軸上に設置した。その位置関係を図 1 に示す。

ミルク入りコーヒー缶詰の場合, $\phi 2$ の 4 点センサー (5, 10, 15, 20 mm) および SSR-20100 センサーの温度センサーを正立した缶のシェル蓋中央から挿入し, 感温部を中心軸上の底部から高さ 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70, 90mm に設置した。その位置関係を図 2 に示す。

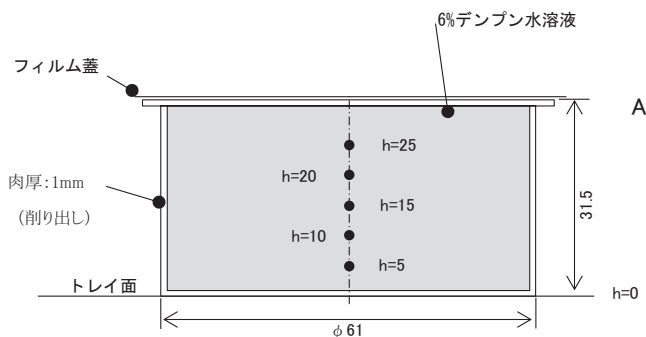


図 1 でんぷん水溶液円筒カップ詰の寸法および温度測定位置

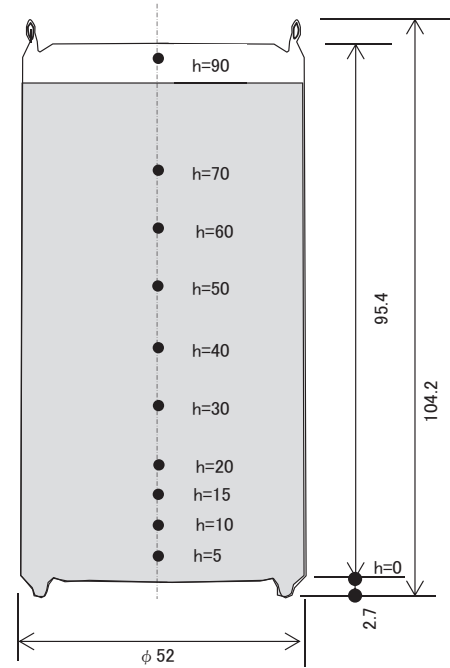


図 2 ミルク入りコーヒー缶詰の寸法と温度測定位置

2.5. ATS 法による解析

得られた雰囲気温度, 各部における温度を経時時間と共に ATS 法ソフト ATS-TiFT ver1.0.0⁵⁾ で解析し, それぞれ加熱側, 冷却側の遅れ時間: δ_h , δ_c , 伝熱係数: τ_h , τ_c , および F_0 値を計算した。また加熱側, 冷却側それぞれで得られる F_0 値も計算した。

3. 実験結果と考察

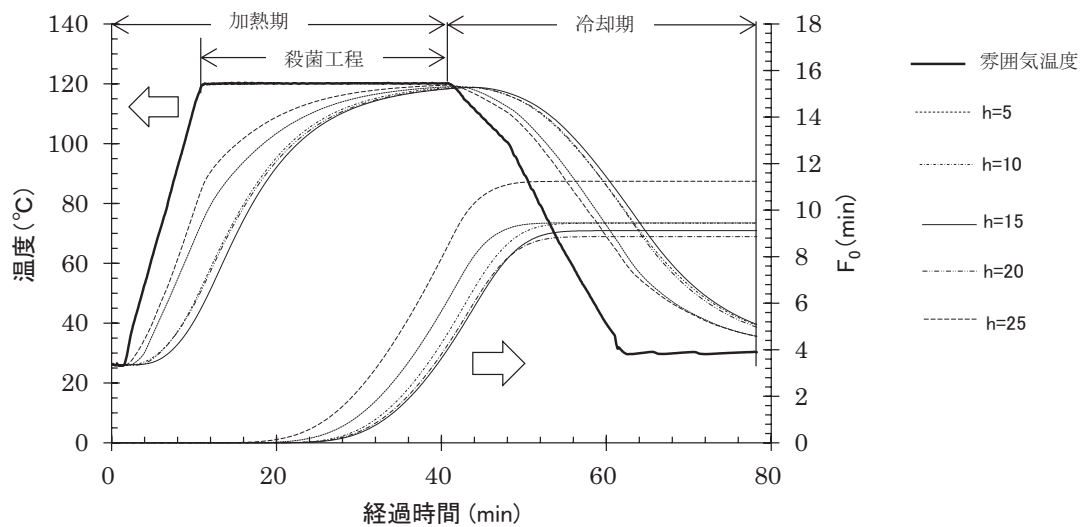
3.1. 温度の経時変化について,

各容器詰食品を加熱殺菌試験して得られた温度と F_0 値の経時変化を図 3, 4 に示す。

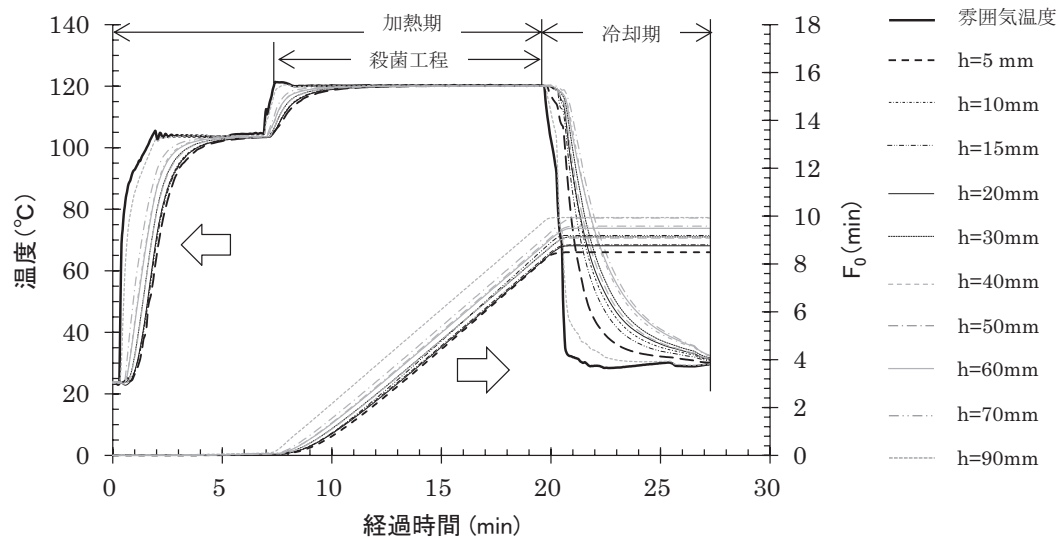
図 3 より, 高さが 5 mm と 25 mm の温度は, 中央部である高さ 10 mm, 15 mm, 20 mm より雰囲気温度への追従性が高く, 中央部の 3 点はほぼ同等の温度であった。高さ 25 mm の位置では雰囲気温度への追従性は高かったが, F_0 値は中央部の 3 点とほぼ同等の 9 分程度となった。

図 4 より, ミルク入りコーヒーの場合にはデンプン液よりすべての位置で雰囲気温度への追従性が高く, F_0 値のばらつきもデンプン水溶液より小さかった。これは伝導伝熱と対流伝熱の違いにより起こったと考えられる。上方の温度が下方の温度より雰囲気温度への追従性が高い傾向があった。

A

図3 でんぷん水溶液円筒カップ詰の加熱殺菌中の雰囲気温度内部温度と F_0 値の経時変化

B

図4 ミルク入りコーヒー缶詰の加熱殺菌中の雰囲気温度内部温度と F_0 値の経時変化

3.2. 温度分布

でんぷん水溶液プラスチックカップ詰について5分毎の中心軸高さ方向の温度分布を図5 (A, B) に示す。加熱側、冷却側ともに中央部が遅れて変化していた。また、高さが10 mmから20 mmまでの範囲で温度がほぼ同等に推移しており、中心軸上での温度がほぼ均一な領域が存在した。図5 Aより最も昇温が遅い位置は高さ15 mmであり、最遅速加熱点であることがわかった。

ミルクコーヒー缶詰について1分ごとの中心軸上の温度分布を同様に図6 (A, B) に示す。図6 Aよりミルクコーヒー缶詰の場合、加熱側の昇温は5～20 mmが最も遅く、上部に行くほど速くなった。最も昇温が遅かったのは高さ5 mmの位置であり、最遅速加熱点である。図6 Bより冷却側では50～70 mmの領域の温度が下がりにくい傾向にあり、最も冷却が遅いのは高さ70 mmの位置であった。

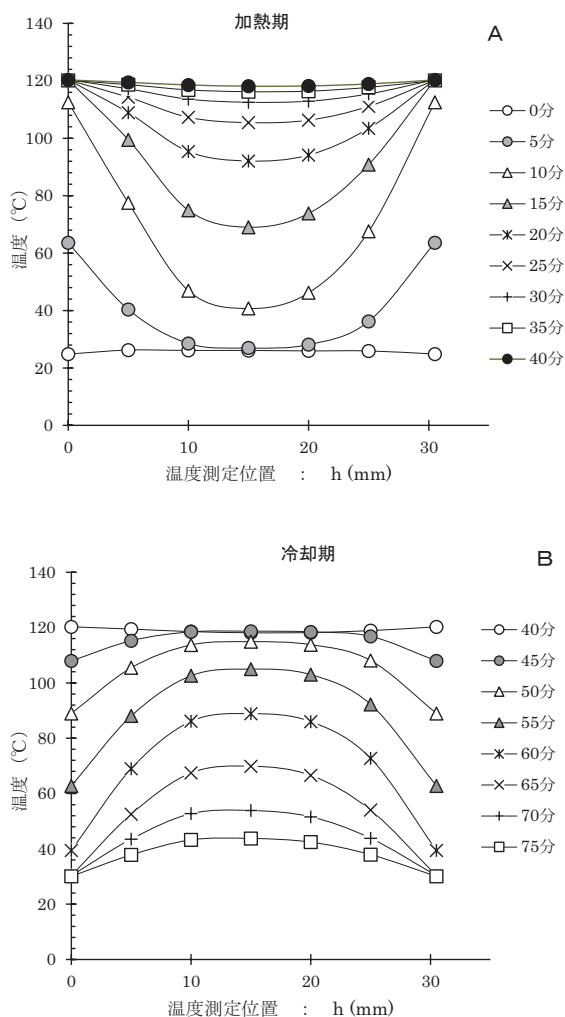


図5 でんぷん水溶液円筒カップ詰内高さ方向の温度分布推移 (A:加熱側 B:冷却側)

3.3. F_0 値と温度センサー位置の関係

図7にデンプン水溶液プラスチックカップ詰の加熱側, 冷却側, および最終的な F_0 値を示す。加熱側の F_0 値が最も小さかった位置は高さ15 mmの位置であり, 10 mmと20 mmの加熱側の F_0 値も同等であったが, 20 mmの方がより小さかった。冷却側で最も F_0 値が小さかったのは, 高さ20 mmの位置で最終的な F_0 値も高さ20 mmが最小であった。

細かく見ると F_0 値にわずかな差はあるが, 10 mmから20 mmまでの最終的な F_0 値の差は0.5分であった。例えば, 加熱殺菌の指標となる耐熱性菌の一種である *Bacillus coagulans* の場合, 121℃でD値が1.6分, z値7.8分との報告がある⁶⁾。120℃ではD値は約2分となるため, 菌数は0.5分で50%減少する程度であり, 対数で考察する殺菌効果においては実質的な差はないと考えられる。

図8にミルク入りコーヒー缶詰の加熱側, 冷却側, および最終的な F_0 値を示す。ミルク入りコーヒー缶詰の場合には, 最終的な F_0 値がすべて8.5分から9.9分の間に入っており差は非常に小さかった。加熱側の F_0 値は最終

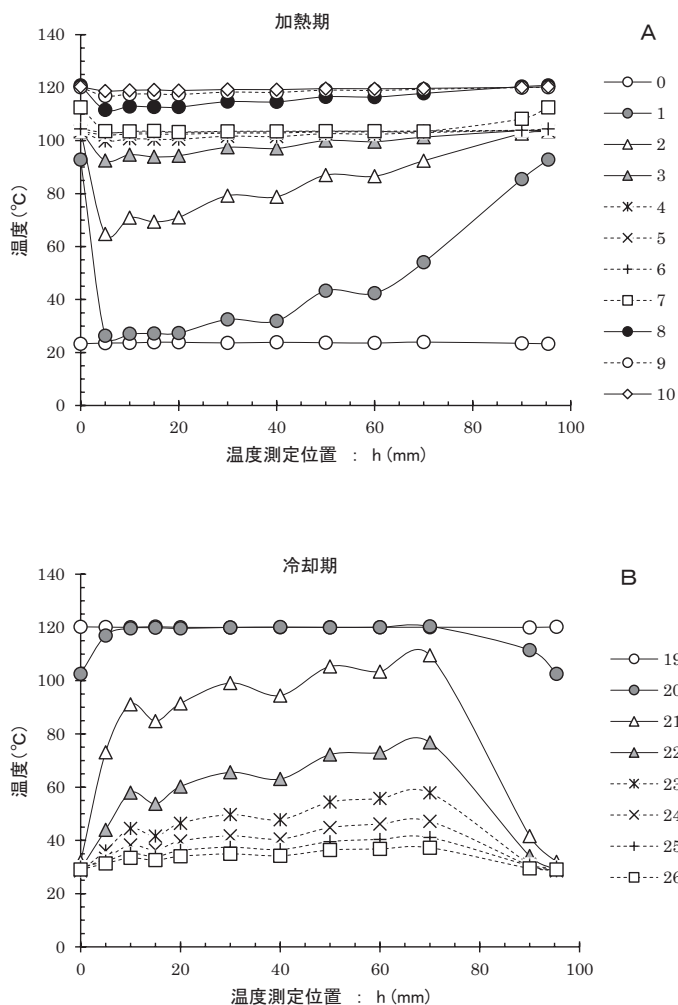


図6 ミルク入りコーヒー缶詰内高さ方向の温度分布推移 (A:加熱側 B:冷却側)

的な F_0 値とほぼ同等であり, 加熱側の影響が大きいことが確認された。高さ15 mmを除く20 mmより底に近い位置の F_0 値が小さく, 中でも最終的な F_0 値は高さ5 mmが最も小さかった。高さ15 mmでは殺菌工程で5 mm, 10 mm, 20 mmより0.2 ~ 0.3℃高温に維持されたために, F_0 値が大きくなった。

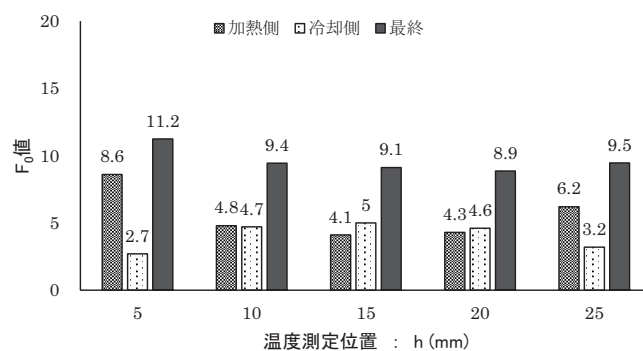
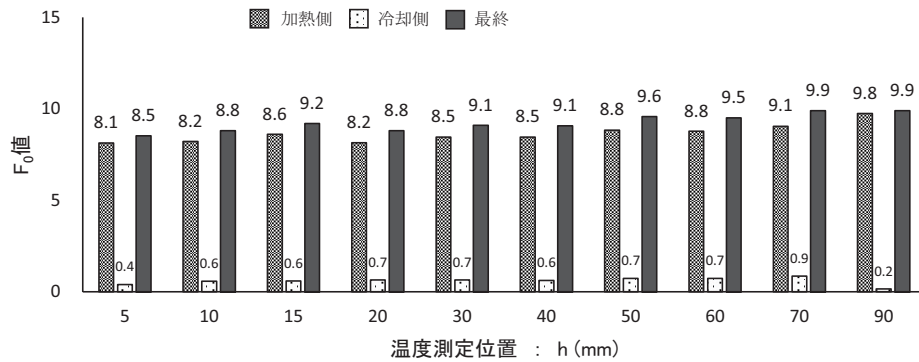


図7 でんぷん水溶液円筒カップ詰内中心軸上高さ方向の F_0 値の分布

図8 ミルク入りコーヒー缶詰内中心軸上高さ方向のF₀値の分布

3.4. ATS法パラメータ

図9にデンプン水溶液プラスチックカップ詰で位置ごとにATS法の遅れ時間を求めた結果を示す。中央部の遅れ時間が大きく周辺で小さい値となり、中央部と周辺部の位置による差異が明確に表れた。ATS法の理論では、遅れ時間は温度センサーの位置が容器表面に近い場合にはゼロに近づくが理論的には負にはならない。しかし、温度センサーが中心部にない場合には温度センサー周辺の熱流分布の対称性がなく、中心部に温度センサーが位置するとして構築されたATS法では想定されない負の値に計算されたと考えられる。本報では温度センサーの位置の議論には影響しないため、そのまま負の値で議論を進めた。

図10にミルク入りコーヒー缶詰で測定位置ごとにATS法遅れ時間を求めた結果を示す。下方においては、 δ_h が大きく δ_c が小さくなった。温度分布を反映していると考えられる。特に高さ5mmと15mmの加熱側の遅れ時間が大きかった。

デンプン水溶液プラスチックカップ詰(図11)とミルク入りコーヒー缶詰(図12)で位置ごとに τ_h , τ_c を求めた結果を示す。どちらの容器詰でも測定位置とはほぼ無関係と言えることがわかった。

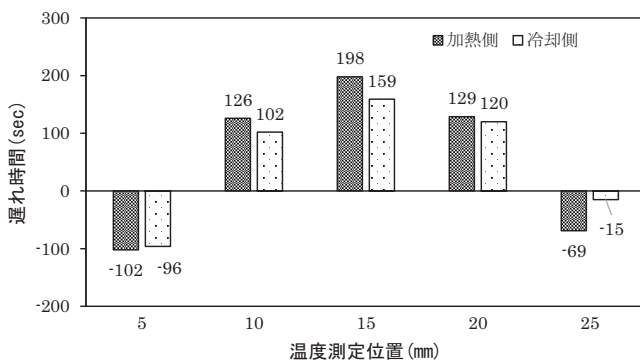


図9 でんぷん水溶液円筒カップ詰内中心軸上におけるATS法の遅れ時間の分布

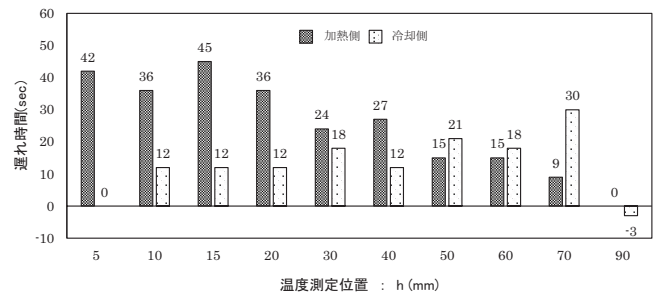


図10 ミルク入りコーヒー缶詰内中心軸上におけるATS法の遅れ時間の分布

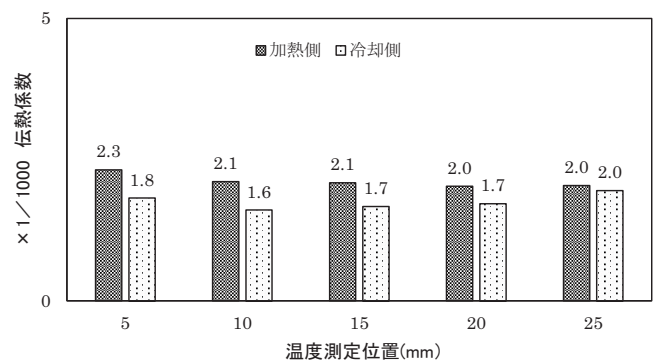


図11 でんぷん水溶液円筒カップ詰内中心軸上におけるATS法の伝熱係数の分布

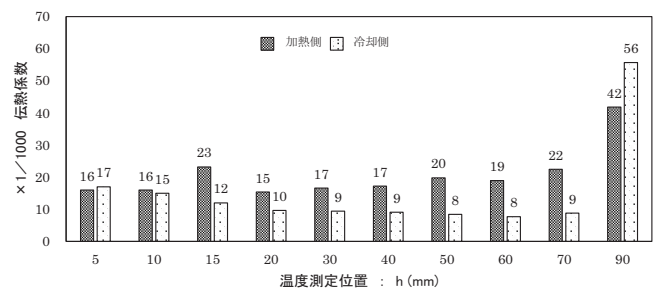


図12 ミルク入りコーヒー缶詰内中心軸上におけるATS法の伝熱係数の分布

3.5. ATS 法加熱側遅れ時間と加熱側 F_0 値の関係

前節 3.3 および 3.4 の結果を合わせると、 δ_h と加熱側での F_0 値に相関関係がある可能性が考えられた。そこでデンプン水溶液プラスチックカップ詰 (図 13)、ミルク入りコーヒー缶詰 (図 14) における δ_h と加熱側 F_0 値の関係を調べた。その結果、 δ_h が大きくなるほど加熱側 F_0 値が単調に小さくなる傾向であることが分かった。また R^2 は図 13 では 0.89、図 14 では 0.94 と強い相関があった。実験結果からも今回の容器詰の場合には、 δ_h により温度センサーが、 F_0 値が小さくなる位置に配置されたかを特定できる可能性が高いことがわかった。

予め製品内で位置を変えて行う温度測定等から最小となる F_0 値と最大となる δ_h を求めておき、問題や疑問が生じた場合に当該データから δ_h を求めて事前の記録と比較することにより温度センサー位置の特定が可能になると考えられる。

F_0 値の最小値は δ_h が最大値をとる位置と少し異なる場所にあった。今回の結果では最遅速加熱点の最終的な F_0 値は、カップ詰の高さ 15 mm の 9.1 分で殺菌値の最小値である高さ 20 mm の 8.9 分と差は小さかった。缶詰の最遅速加熱点である高さ 5 mm の 8.5 分は殺菌値の最小値でもあった。

δ_h が最大値をとる位置の殺菌値はカップ詰の高さ 15 mm の 9.1 分、缶詰の高さ 15 mm の 9.2 分であり、 F_0 値の最小値との差は 1 分以下であった。前述の通り耐熱性菌における殺菌効果の差は実質的にないと思われる。

上記の結果より、今回実験で使用したカップ詰と缶詰の場合には、 δ_h が最大の位置であれば、それは最遅速加熱点であり、最遅速加熱点の F_0 値は最小値であることが推測される。クレーム対応、実験時の解析、更に HACCP 管理等に利用価値がある可能性があると考えられる。

ただし、伝導伝熱の内容物で容器内に空隙がある場合については、冷却時に空隙の影響で上部が速く冷却される可能性があるため改めて試験する必要がある²⁾。

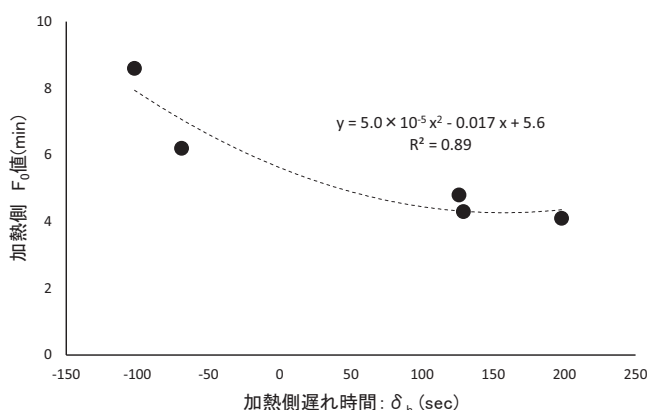


図 13 でんぷん水溶液円筒カップ詰中心軸上における ATS 法の遅れ時間と加熱側 F_0 値の関係

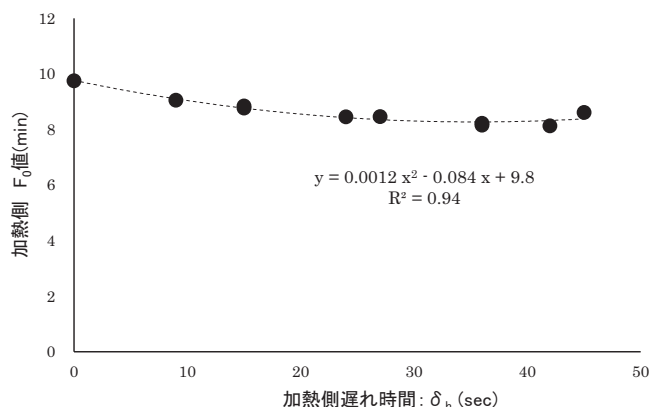


図 14 ミルク入りコーヒー缶詰中心軸上における ATS 法の遅れ時間と加熱側 F_0 値の関係

4. まとめ

伝導伝熱方式である 6wt% でんぷん水溶液カップ詰および対流伝熱方式であるミルク入りコーヒー缶詰で加熱殺菌試験を行い、温度分布と F_0 値、ATS 法の加熱側遅れ時間： δ_h の分布とそれらの相関を調べた。 δ_h が温度測定位置および殺菌値と高い相関関係があり、加熱殺菌における温度センサー位置の特定方法となりうる可能性が示唆された。

5. 引用文献

- 1) 殺菌主任技術者資格認定講習会テキスト「容器詰食品の加熱殺菌」公益社団法人 日本缶詰協会 p54
- 2) 食品化学新聞社「ほんねで語るモノづくり」—食品エンジニアのひとり言— 日本食品工学会 インダストリー委員会編 p87-95
- 3) 寺島好己「レトルト殺菌における容器詰伝導食品の F_0 値の最小点」缶詰時報, Vol.81, No.6, 553 ~ 560 (2002)
- 4) 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
- 5) 公益財団法人 東洋食品研究所ホームページ
- 6) 中條均紀「変敗した低酸性食品缶詰より分離した *Bacillus coagulans* 孢子の耐熱性」Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi Vol.32, No.10, 725 ~ 730 (1985)