

加熱殺菌における雰囲気温度パターン異常の検出方法

稲葉 正一

Detection of an Abnormal Ambient Temperature Profile during the Thermal Processing of Packaged Food

Shoichi Inaba

Although thermal processing is controlled automatically using an electric device, changes in ambient temperature when the device has been used for a long time can sometimes cause errors in operation. If an abnormal ambient temperature profile could be detected quantitatively, it would be very helpful in providing an objective judgements of whether the manufacturing conditions need correction. Thus, the objective of this paper is to develop a method of detecting when the ambient temperature profile becomes abnormal.

The average temperature difference-the square root of the sum of squares of the differences between the standard temperature profile and the reference profile-was calculated for three different ambient temperature profiles. This revealed that the average temperature difference for the profile with the most fluctuating temperature was 20 times that of a normal profile. Segmenting the fluctuations which did not affect the F_0 value. Overall, this method of calculating the average temperature difference is effective for detecting an abnormal ambient temperature profile.

Key words: thermal processing, ambient temperature profile, average temperature difference, F_0 value, square root of sum of squares, packaged food

1. はじめに

加熱殺菌処理における雰囲気温度パターンは、最も重要項目の一つと考えられる。容器詰食品の製造工程において、雰囲気温度の異常を定量的な指標に基づいて発見できれば、製造管理、問題解決、メンテナンス時期の決定に有用と考える。このような観点から現状の安全性を更に高めるために、新たな指標として基準パターンと雰囲気温度パターンの偏差から求められる平均温度差を検討し、雰囲気温度パターンの異常をデジタル値として検出ができるか検討した。

本報では模擬的に温度変動幅の異なる雰囲気温度パターンで加熱殺菌データを取得し、明らかに変動したパターンと提案する指標がどの程度、整合するかを検証することを目的とした。

2. 実験方法

2.1. パターンの作成

加熱殺菌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、加熱殺菌方式は熱水シャワー方式を選択した。温度測定は、 $\phi 1.2$ -プローブ長さ100 mmの温度センサー SSA12100E-ID を接続したエ

ラブ社有線式温度計測システム(E-Val Flex)を用いて、右奥、中央、左手前の3点を3秒間隔で行った。1℃以上の温度差が生じていないことを確認して中央の測定値を解析に使用した。

雰囲気温度パターンの作成に当たっては、殺菌温度120℃かつ殺菌時間24分となるよう加熱装置の設定を同じにした。その上で蒸気加熱および水冷却を手動で変更し、設定値に対して温度変動幅の異なる雰囲気温度パターンを取得した。

基準の条件は、初期温度を25～30℃とし、20～22分間で120℃まで昇温し24分間保った後に、20～22分間で30℃付近まで冷却し、12～15分間保った。T1が基準値に近いパターンである。T2はデータ取得開始の後に2分間待ってから装置を稼働し、昇温のタイミングを変更した。また、昇温途中で給水し温度変動を与えた。T3は殺菌工程中の温度変動をT1より大きくしたパターンである。

T1について5項移動平均処理で基準パターンを求めた。その基準パターンと比較パターンとしてT1, T2, T3の間で平均温度差を算出した。

2.2. 平均温度差の計算における時間差への対応

基準パターンと比較パターン間におけるN個のデータ

の平均温度差は(式1)で求めた。

$$\text{平均温度差} = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \sqrt{(\text{比較温度} - \text{基準温度})^2} \cdots (\text{式1})$$

生産装置から雰囲気温度パターンデータを抽出した場合、データ取得の開始時期と昇温のタイミング、および工程の切り替えがすべて同じとは限らない。従って平均温度差が最も小さくなるように比較パターンをサンプリング時間単位で平行移動させて、平均温度差が最小となる条件を平均温度差の計算条件とした。このサンプリング時間単位で移動させることをスライドとし、スライドさせた幅を“スライド数”と定義する。スライドした場合、開始と終了に近い端のデータは使われないことになる。

スライドについてのイメージを図1に示した。比較パターンを図中で左側に移動させるようにスライドしたときには、スライド数は負数となる。スライド数はデータを移動させた幅の数である。

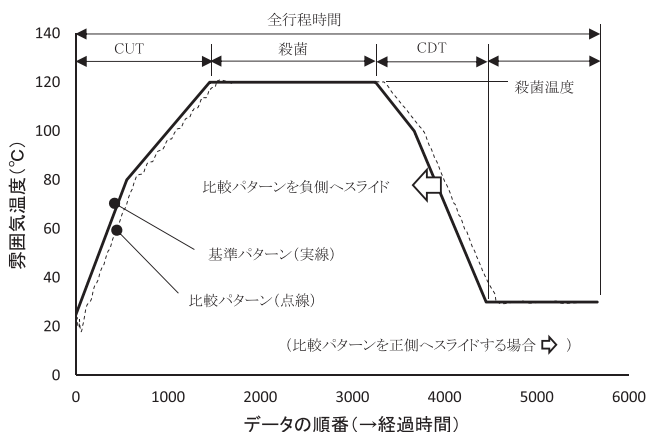


図1 雰囲気温度パターンのスライド

2.3. 各工程データの抽出

Come Up Time (CUT), 殺菌, Come Down Time (CDT) の各工程について使用するデータを抽出し平均温度差を算出した。CUTは、35℃から120℃に到達するまで、殺菌は120℃到達から最後の120℃のデータまで、CDTは120℃の最後のデータから31℃までのデータとした。

3. 実験結果および考察

3.1. 雰囲気温度パターンの生成

図2(A-C)に生成した雰囲気温度パターンT1～T3を示す。T1はCDTの一部を除きほぼ直線的なパターンであった。T2は19分過ぎに大きな温度変動があり、設定温度の±5℃とした警報が作動した。T3は変動回数が多く変動幅が大きいパターンになった。

表1に雰囲気温度パターンの各工程の時間をまとめた結果を示す。120℃に到達した時点から最後に120℃となった期間の平均温度である殺菌温度はどのパターンで

あっても約120℃であり、殺菌工程の時間も24～25分間で、ほぼ同一条件であった。

CUTは20.4～21.6分と若干異なっていた。CDTも冷却バルブの操作が行われたために一定値ではなく、CDTはT2のみ大きく、T1とT3は大きな差異はなかった。

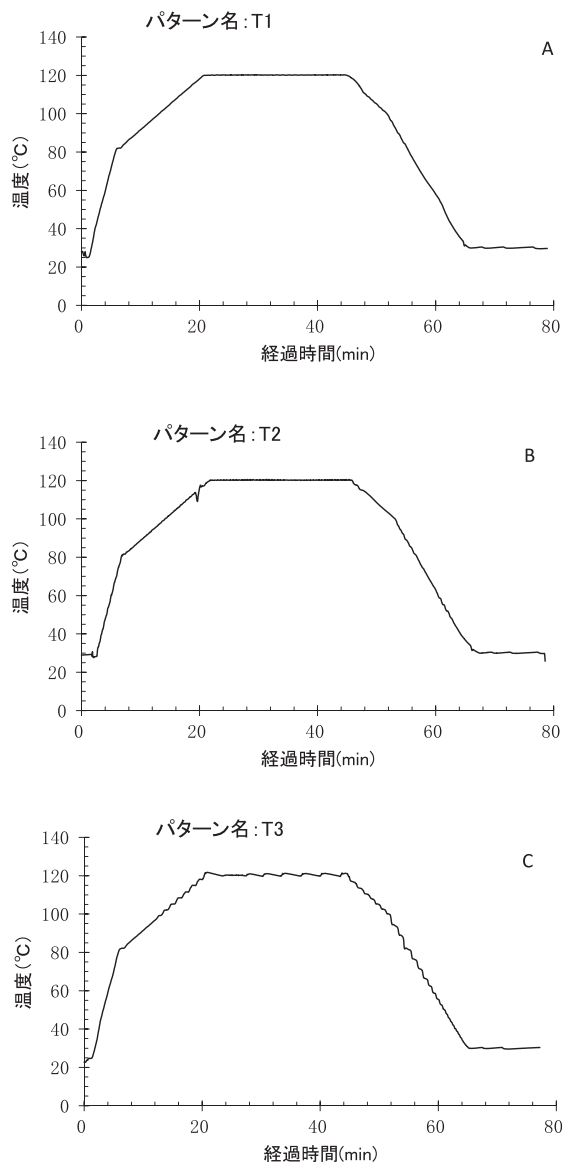


図2 評価に用いた雰囲気温度パターン
(A: T1, B: T2, C: T3)

表1 雰囲気温度パターンの評価結果

パターン名	T1	T2	T3
CUT min	20.5	21.6	20.4
殺菌温度 °C	120.2	120.2	120.5
殺菌時間 min	24.7	24.3	24.4
CDT min	20.6	22.4	20.5
全工程時間 min	81.0	78.6	78.6

3.2. 基準パターンの検討

基準温度パターンとしての適性を殺菌処理時に得られた温度データとそれを直線で近似したパターンおよび雰囲気温度パターンの移動平均からなるパターンで比較した。

得られた雰囲気温度パターンは温度制御によりわずかであるが設定温度に対して上下に変動する。得られた実測値を基準として、他の実測値と比較したときに波形の位相が同じならば両者の差は小さく、逆の場合には差が大きくなる。従って同等な制御が行われていたとしても波形成分の分だけ再現性が劣ることになるため、加熱殺菌を実施したそのデータを基準パターンとはしなかった。

直線近似パターンには波形成分が含まれないが、直線近似をするために、曲線部分の直線への変換が必要であり差異が残る。

実測パターンを移動平均処理した場合、波形成分の消去が可能で、曲線部分にも対応可能と考えられる。

以上より基準温度は T1 の 5 項移動平均を求めたものとした。

3.3. パターン全体の平均温度差

基準パターンと比較パターン T1, T2, T3 間で平均温度差を計算した。各スライド数は、T1 が -2, T2 が 24, T3 が 1 であった。スライド後のデータで比較パターンの温度と基準パターンの温度との差異の経時的なプロットを図 3 (A ~ C) に、パターン全体の平均温度差を図 4 に示す。

図 3 A より T1 はその移動平均との差であるため、T1 の波形成分のみが差となり、元来変動成分の小さい T1 との平均温度差は 0.03℃以下と他の値と比較して極めて小さい値となった (図 4)。

図 3 B より T2 は 19 分過ぎに発生した温度変動が温度差 5.3℃程度であった。また、CDT を含む 44.5 ~ 68 分において -2 ~ 1℃程度の温度差が生じた。その結果、全体としての平均温度差は 0.44℃と T1 の 10 倍となった (図 4)。T2 は昇温するまでに 2 分間程度経っていたため、殺菌開始直後から昇温が始まる T1 と比較するためには 72 秒分データをスライドして比較する必要があった。

図 3 C より T3 は常に温度差がほぼ終始波形となっていた。特に大きい温度差は経過時間が 2 ~ 3 分後と 54 分後であった。平均温度差は T1 の 26 倍であり (図 4)、温度変動が大きいと生産時にこのような波形が観測された場合、装置の設定や状態を点検すべき状況と考える。

仮に通常生産が T1 パターンの近傍で行われ続けたならば、平均温度差 0.2℃に閾値を設けることが可能となり、T2 および T3 は警戒すべきパッチとして抽出されることになる。どこに閾値を設けることが可能かという点に関しては、通常生産における平均温度差の分布が狭ければ閾値の値が小さくても異常判定数が少なくなるが、分布が広い場合には閾値の値を大きくしなければ異常判定が増えて対応が難しくなると言える。

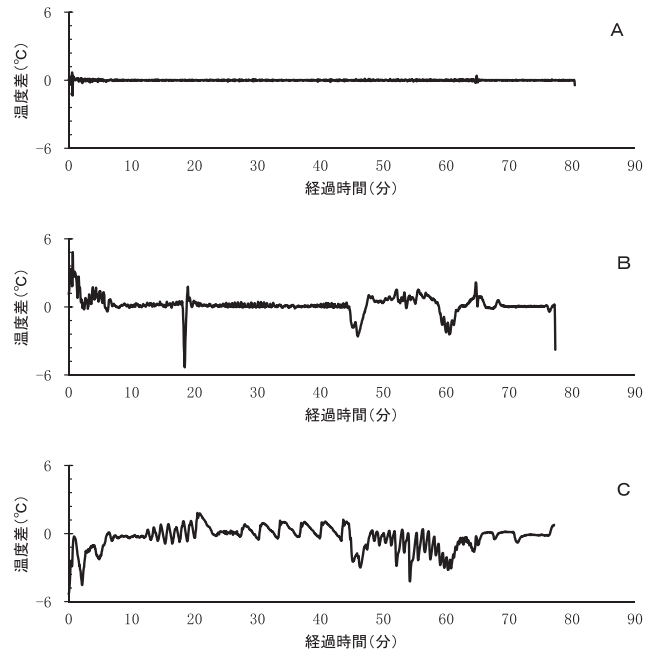


図 3 各雰囲気温度パターンと基準雰囲気温度パターンとの差異 (A : T1 B : T2 C : T3)

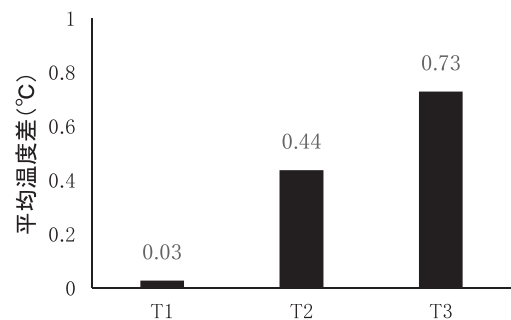


図 4 各雰囲気温度パターン全体の平均温度差

3.4. 各工程の平均温度差

殺菌工程の温度差の経時変化を図 5 (A ~ C) に、各パターンにおける各工程の平均温度差を図 6 に示す。

図 5 A より T1 はほとんど温度差がなく、平均温度差も全体とほぼ等しい 0.03℃であった (図 6)。図 5 B より T2 には細かい変動はあるが、大きな目立つ差異はなかった。殺菌工程に限定すると平均温度差は 0.10℃と小さく、全体の平均温度差と異なり T1 に近い値と言える (図 6)。図 5 C より T3 の殺菌工程には周期の長い変動が存在した。平均温度差は 0.48℃であった (図 6)。

T2 は T1 の 3 倍であり、T3 は T1 の 10 倍以上の値であるため、仮に閾値を T1 の 5 倍程度の値に設定できたとすると、T3 だけが警戒すべき値になり、通常より厳しく生産品を調べるか、または生産条件について調査が行われることになる。

図 6 より一見正常に見える T2 の CDT の平均温度差が大きな値になった。理由は CDT が長くなったためと考えられる。これを正常と判断するかという点については、こ

のデータのみでは不明である。T3 は、CUT および CDT の変動によりそれらの区間における平均温度差の値が大きくなったと考える。

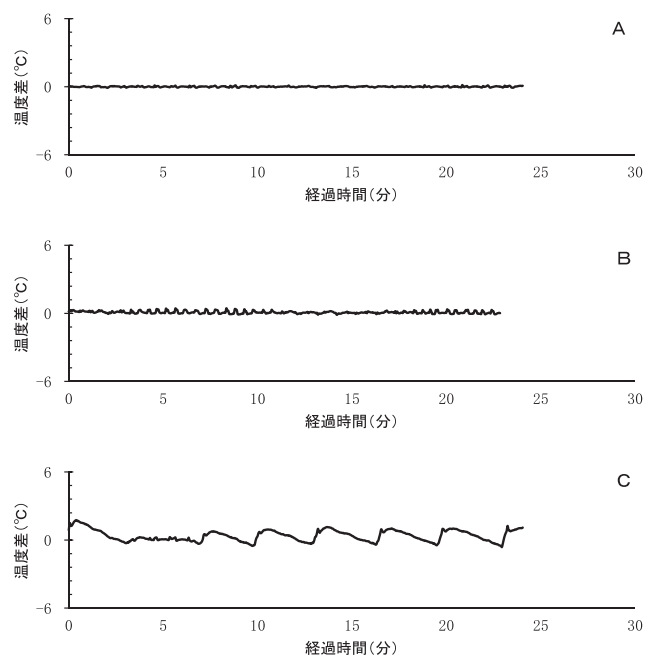


図5 殺菌工程における各雰囲気温度パターンと基準雰囲気温度パターンの差異 (A : T1 B : T2 C : T3)

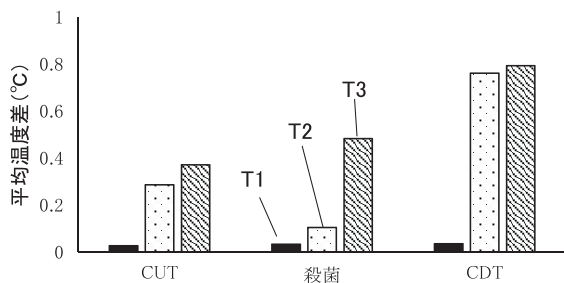


図6 各工程の平均温度差

4. まとめ

加熱殺菌工程において、実測値から移動平均で基準となる雰囲気温度パターンを作成し、そのパターンから平均温度差を計算することによって、加熱殺菌条件の異常を検出できる可能性が示唆された。平均温度差は二乗根を算出するために常に正の値となり、それぞれの差が相殺されることなく累積される。更にこの指標は単位が温度であるので実感しやすい。

雰囲気温度パターン全体の平均温度差を計算することにより加熱殺菌のパターンの差異が定量的に表され、意識的に変動させたパターンは通常パターンより10倍以上の大きな差異になった。この手法を実用的に使用できるかどうかについては、通常生産における平均温度差のばらつきを把握し、それから外れたところに閾値を設定できるかがポ

イントとなる。つまり本来検出すべき異常パターンの平均温度差のみが、通常生産の平均温度差の分布から決めた閾値より大きくなれば疑似異常が少なくなり円滑な運用が可能となる。

各工程で平均温度差を算出した。例えばT2は殺菌工程での平均温度差が小さいため、製造条件としては許容できるが、昇温途中で変動が発生したことが明白になったので、その原因究明を行う警戒状態であることを認識することができるかと推測する。