

多変数関数の最小化手法によるレトルト食品の加熱殺菌温度プロファイルの最適化

寺島好己* 野中保雄**

Optimization of Retort Temperature Profile during Thermal Processing of Conduction Heating Foods in Retortable Pouches using Minimization Method for Function of Several Variables

Yoshimi TERAJIMA*, Yasuo NONAKA**

In heat sterilization process for foods packed in cans or retortable pouches, it is particularly important to reduce quality deterioration at certain sterilizing value. For this purpose, high-temperature/short-time processing method has been conventionally used.

However, further investigation is required for retort temperature profile as well as retort temperature itself.

In the present study, a method for finding the minimum of a function of several variables was used to maximize quality retention for a given reduction in microorganism concentration during sterilization of conduction heating foods in retortable pouches.

The optimum retort temperature profile determined by this method was similar to the best profile, a trapezoid profile, presented in the previous paper.

This temperature profile could not have been obtained by a normal trial-and-error search method.

Keywords : Thermal processing, Sterilization, Optimization, Retort, Retort temperature, Retort temperature profile, Retortable pouch

缶詰食品やレトルト食品などの加熱殺菌においては、所定の殺菌効果を達成しながら、品質面での劣化をできるだけさけるようにすることが望ましく高温殺菌法などがよく知られている。しかし、殺菌温度だけでは十分でなく、加熱条件としてのレトルト温度の最適なプロファイルを検討する必要がある。本報では、前報と同様に一次元熱伝導をあてはめることができるレトルトパウチ詰食品のような偏平な被加熱体を対象とし、多変数関数の最小化の方法を応用して最適なレトルト温度プロファイルの探索をこころみた。その結果、 C_v 値の体積平均を対象にした場合も、表面の C_v 値を対象にした場合も、前報の5種類のプロファイルの中で一番よかった台形型とよく似たプロファイルが得られた。しかし、これらのプロファイルは前報の試行錯誤による探索では容易に得られないプロファイルであると考えられる。

キーワード : 加熱殺菌、殺菌、最適化、レトルト、レトルト温度、レトルトパウチ

* 東洋製罐 (株) 技術本部 (〒230 神奈川県横浜市鶴見区下野谷町1-8) : TOYO SEIKAN KAISHA, LTD., Technical Headquarters, Plastic Container Technical Department, 1-8, Shitanoya-cho, Tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 230 ** 東京理科大学工学部経営工学科 (〒162 東京都新宿区神楽坂1-3) : Department of Management Science, Faculty of Technology, Science University of Tokyo, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162

1. 緒言

缶詰やレトルトパウチ詰食品などの加熱殺菌においては、所定の殺菌効果を達成しながら、栄養素や、テクスチャなどの品質面での劣化をできるだけさけるようにすることが理想的であり、高温殺菌法などが提案されている。しかし、殺菌温度だけでは十分ではなく、加熱条件としてのレトルト温度の最適なプロフィールを検討する必要がある。

前報¹⁾では、一次元熱伝導をあてはめることができるレトルトパウチ詰食品のような扁平な被加熱体を対象とし、直接的な方法として、具体的なレトルト温度プロフィールをあらかじめ与えて各プロフィールごとに最適な諸条件を検討した。その結果、 C_v 値の体積平均を対象にした場合も表面の C_v 値を対象にした場合も、5種類の温度プロフィールのなかでは、標準型、下降傾斜型、上昇傾斜型、三角型、台形型の順に品質はよくなって台形型が最もよいことがわかった。

最適化の方法としては、前報のように種々のレトルト温度プロフィールを与えて最適プロフィールに近づく方法と、多変数関数の最小化法や変分法や動的計画法などを応用して最適なプロフィールを探索する方法がある。

Saguyら²⁾およびNadkarniら³⁾は、缶詰食品について、問題への取り組み方は異なるが、変分法の拡張であるポントリャギンの原理を応用して、加熱殺菌中に栄養素を最も多く残存させるのに最適なレトルト温度プロフィールを探索している。Bangaら⁴⁾はツナの缶詰について、確率論的最適制御アルゴリズムを用いて、最適な温度プロフィールを求めている。

これらの研究は、缶詰内に分布しているある個数の芽胞をある一定の個数以下にするという条件下で、チアミンの残存量を最大にするということから、レトルト温度プロフィールの研究を行っている。

本報では、前報と同様に一次元熱伝導をあてはめることができるレトルトパウチ詰食品のような扁平な被加熱体について、厚み方向の中心でのF値を一定にするという条件でBrowning reactionを対象にし、 C_v 値の体積平均または表面における C_v 値を最小にするという観点から、多変数関数の最小化の方法を応用して最適なレトルト温度プロフィールの探索をこころみた。

2. 理論

2.1 多変数関数の最小化⁵⁾

つぎの式(1)のような n 個の変数 x_1, x_2, \dots, x_n の関数 J を最小にする問題について考える。

$$J = f(x) \quad (1)$$

ただし、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, T は転置を表す。

式(1)を変数 x_i で偏微分することにより、連立方程式(2)を作成する。

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

ただし、 $i = 1, 2, \dots, n$

この連立方程式を解いて、 x_1, x_2, \dots, x_n を求めればよい。

しかしながら、このような連立方程式が解析的に解けるのは、ごく限られた場合であって、一般には解析解が求まらない場合が多

い。このような場合は数値計算によって探索して行かねばならない。

数値計算による探索の基本となるのは、探索の方向を定めることと定められた方向にどれだけ進めばよいかというステップの長さを決めることである。

現在の位置を x_0 、探索の方向を d とし、踏み出すステップの長さを a とする。このとき、 $x = x_0 + a d$ という直線上で、現在位置よりも関数 $f(x)$ が最小になるステップの長さを求める必要がある。

$$g(a) = f(x) \quad (3)$$

$$\text{ただし、} x = x_0 + a d, (a > 0) \\ d = (d_1, d_2, \dots, d_n)^T$$

式(3)の一変数関数 $g(a)$ の最小値を求めるわけであるが、式(3)を a で微分すると式(4)となり、

$$g'(a) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial x_i}{\partial a} \quad (4)$$

さらに $a = 0$ とおくとつぎの式(5)となる。

$$g'(0) = f'_x(x_0) d \quad (5)$$

探索方向 d は現在位置から $f(x)$ が減少する方向に選ぶ必要があるので探索方向にたいしては、 $g'(0) < 0$ が成り立っていなければならない。これを満足させるためには、 d はつぎの式(6)のようにとればよい。

$$d = -f'_x(x_0) \quad (6)$$

このようにして、 d が決まると式(3)から $g(a)$ を最小にする a が計算でき

$x = x_0 + a d$ から x が決まる。

つぎに $x_0 = x$ とおいてくりかえし計算を行

ない $f(x)$ が最小値に収束したときの x を求めればよいわけである。

2.2 評価関数

微生物や栄養素などがある温度である時間さらされたときの濃度は、前報で述べたように、添字1は微生物を表わし、添字2は栄養素などを表わすことにすると、つぎの式(7)、(8)のように表わされる。

$$x_1 = x_{10} \exp \left\{ \frac{-2.303}{D_{10}} \int_0^T \exp \left(\frac{\theta - \theta_{15}}{z_1/2.303} \right) dt \right\} \quad (7)$$

$$x_2 = x_{20} \exp \left\{ \frac{-2.303}{D_{20}} \int_0^T \exp \left(\frac{\theta - \theta_{25}}{z_2/2.303} \right) dt \right\} \quad (8)$$

ただし、

- x_1, x_2 : 時間 t での微生物や栄養素などの濃度
- x_{10}, x_{20} : x_1, x_2 の初期値
- D_{10}, D_{20} : 基準温度で微生物や栄養素などの濃度を1/10にするのに要する時間
- z_1, z_2 : D_{10}, D_{20} を1/10にするのに必要な温度変化
- θ : 被加熱体の温度
- θ_{15}, θ_{25} : 基準温度
- t, T : 時間

時間 T が0から冷却終了時間 t_f まで経過したとき、ある一定量の微生物を破壊し栄養素などをできるだけ多く残存させるためにはどうしたらよいかということであるが、それには、式(7)、(8)のなかの殺菌学で F 値、 C_v 値⁶⁾(Cook-value)として知られている量に関し、 F 値を一定とし、 C_v 値を最小にするという問題を解けばよいことになる。 F 値と C_v 値はつぎのように表わされる。

$$F = \int_0^{t_f} \exp \left(\frac{\theta - \theta_{15}}{z_1/2.303} \right) dt \quad (9)$$

$$C_v = \int_0^{t_f} \exp \left(\frac{\theta - \theta_{25}}{z_2/2.303} \right) dt \quad (10)$$

ここでは一次元熱伝導を想定し、F 値は中心温度を対象にすることにし、 C_v 値の体積平均に関して、ペナルティ法を適用し、つぎのような新しい評価関数 J を考える。

$$J = y_2(t_f) + \frac{1}{2}\mu (y_1(t_f) - F_c)^2 \quad (11)$$

$$y_1(t_f) = \int_0^{t_f} \exp\left(\frac{\theta_1 - \theta_{1s}}{z_1/2.303}\right) dt \quad (12)$$

$$y_2(t_f) = \int_0^{t_f} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) dx dt \quad (13)$$

ただし、 a : 被加熱体の厚みの $1/2$
 θ : 被加熱体の温度
 θ_1 : 被加熱体の中心温度
 F_c : あらかじめ与えられる F 値
 μ : あらかじめ与えられる定数

被加熱体の表面を対象にする場合には、式 (13) は表面温度を対象にすればよい。

3. 結果および考察

3.1 評価関数の勾配

レトルト温度プロファイルとして、Fig. 1 のような多段型の温度プロファイルを考えたと、変数としてはレトルト温度 u_i ($i = 1, 2, \dots, N$) と加熱時間 t_h であるが、実際に計算を進めるためには、評価関数の勾配を計算する必要がある。すなわち、式 (11) の評価関数 J に関して次の式 (14)、(15) を計算しなければならない。

$$\frac{\partial J}{\partial u_i} = \frac{\partial y_2(t_f)}{\partial u_i} + \mu (y_1(t_f) - F_c) \frac{\partial y_1(t_f)}{\partial u_i} \quad (14)$$

$$\frac{\partial J}{\partial t_h} = \frac{\partial y_2(t_f)}{\partial t_h} + \mu (y_1(t_f) - F_c) \frac{\partial y_1(t_f)}{\partial t_h} \quad (15)$$

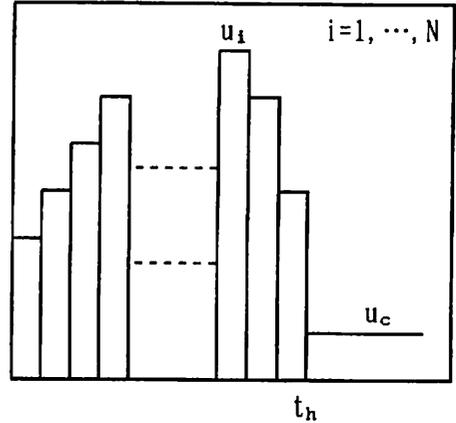


Fig.1 Sequence of multiple steps

(1) J_{u_i} ($= \partial J / \partial u_i$) の計算

式 (14) の偏微分項は、つぎの式 (16)、(17) のように表わされる。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial y_1(t_f)}{\partial u_i} \\ &= \int_0^{t_f} \exp\left(\frac{\theta_1 - \theta_{1s}}{z_1/2.303}\right) \frac{1}{z_1/2.303} \frac{\partial \theta_1}{\partial u_i} dt \end{aligned} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial y_2(t_f)}{\partial u_i} \\ &= \int_0^{t_f} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) \frac{1}{z_2/2.303} \frac{\partial \theta}{\partial u_i} dx dt \end{aligned} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (17)$$

これらの式を計算するためには、さらに、 $\partial \theta_1 / \partial u_i$, $\partial \theta / \partial u_i$ を求めなければならない。

一次元熱伝導の場合、周囲の温度が時間によって変化するときの、被加熱体の厚み方向の温度 θ の理論解は、Duhamel の定理を使うと、つぎの式 (18) のように求められる。

$$\begin{aligned} \theta(x, t) &= \theta_0 \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-B_n t) C_n \\ &+ \int_0^t u(\tau) \sum_{n=1}^{\infty} A_n B_n \exp(-B_n(t-\tau)) C_n d\tau \end{aligned} \quad (18)$$

ただし、
 θ_0 : 初期温度
 $u(t)$: 周囲温度
 α : 温度伝導率

$$A_n = 2\sin\left(\frac{2n-1}{2}\pi\right) / \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)$$

$$B_n = \alpha \left(\frac{2n-1}{2}\pi \frac{1}{a}\right)^2$$

$$C_n = \cos\left(\frac{2n-1}{2}\pi \frac{x}{a}\right)$$

この式 (18) を使ってレトルト温度が Fig. 1 のように表わされる場合の被加熱体の温度を求めるとつぎの式 (19) となる。

$$\theta =$$

$$u_i - (u_i - u_{i-1}) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - (i-1)\Delta T\}] C_n$$

$$- (u_{i-1} - u_{i-2}) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - (i-2)\Delta T\}] C_n$$

$$\vdots$$

$$- (u_2 - u_1) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - 1 \cdot \Delta T\}] C_n$$

$$- (u_1 - \theta_0) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - 0 \cdot \Delta T\}] C_n$$

(19)

ただし、 $\Delta T = t_h/N$, $(i-1)\Delta T \leq t \leq i\Delta T$, $i = 1, 2, \dots, N+1$

式 (19) より $\partial \theta / \partial u_i$ はつぎの式 (20) のように求められる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial u_i} = 0 \quad 0 \leq t \leq (i-1)\Delta T$$

$$= 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - (i-1)\Delta T\}] C_n \quad (i-1)\Delta T \leq t \leq i\Delta T$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - i\Delta T\}] C_n - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp[-B_n \{t - (i-1)\Delta T\}] C_n \quad i\Delta T \leq t$$

(20)

ただし、 $\partial \theta_1 / \partial u_i$ は厚み方向の中心温度を問題にしているので式 (20) で $C_n = 1$ とおけばよい。

(2) J_{th} ($= \partial J / \partial t_h$) の計算

式 (15) を計算するためには、つぎの式 (21)、(22) を計算しなければならない。

$$\frac{\partial y_1(t_r)}{\partial t_h} = \frac{\partial}{\partial t_h} \int_0^{t_r} \exp\left(\frac{\theta_1 - \theta_{1s}}{z_1/2.303}\right) dt \quad (21)$$

$$\frac{\partial y_1(t_r)}{\partial t_h} = \frac{\partial}{\partial t_h} \int_0^{t_r} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) dx dt \quad (22)$$

式 (22) の計算結果から容易に式 (21) の計算結果が得られるので、ここでは式 (22) について考えることにする。

Fig. 1 で、 t_h を N 分割して $\Delta T = t_h/N$ とすれば、式 (22) は式 (23) のように変形できる。

$$\frac{\partial y_2(t_r)}{\partial t_h} = \frac{\partial}{\partial t_h} \left[\int_0^{\Delta T} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) dx dt + \dots \right.$$

$$+ \int_{\Delta T}^{2\Delta T} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) dx dt + \dots$$

$$+ \int_{(N-1)\Delta T}^{N\Delta T} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) dx dt$$

$$\left. + \int_{N\Delta T}^{t_r} \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \exp\left(\frac{\theta - \theta_{2s}}{z_2/2.303}\right) dx dt \right] \quad (23)$$

さらに、 ΔT を M 分割して $\Delta t = \Delta T/M = t_h/N/M$ とすれば、式 (23) の NS 番目の項は式 (24) のようになる。

ただし、 $f_x(x_k)$ は行ベクトルであり、 $\{f_x(x_k) \cdot f_x^T(x_k)\}$ はベクトルの内積を示す。

⑦ $d_{k+1} = -f_x^T(x_{k+1}) + \beta_k d_k$ を計算する。

$k = k + 1$ とおく。③へいく。

⑧ $x_0 = x_n$ 、 $k = 0$ とおいて、②へいく。

Fig. 1 に示されているレトルト温度と加熱時間の最適値の探索は、具体的には、各段のレトルト温度と加熱時間を変数とし、上記のアルゴリズムで計算をすすめた。ただし、②の計算は3.1にしたがって行なった。

③の直線探索の計算方法には、黄金分割法やニュートン法など種々の方法があるが、前にも述べたように、ここでは放物線近似法を用いた。

3.3 最適レトルト温度プロフィール

3.3.1 諸係数

数値計算は、一次元熱伝導を対象にし、被加熱体の表面温度はレトルト温度とし、温度計算には理論解を用いた。

被加熱体の厚みは10 (mm)、温度伝導率は $9.6 \text{ (mm}^2/\text{min)}^7$ 、初期温度は $20 \text{ (}^\circ\text{C)}$ とし、冷却温度は $20 \text{ (}^\circ\text{C)}$ とした。また、その他の各係数は次の通りである。 $F_c = 5.0 \text{ (min)}$ 、 $z_1 = 10 \text{ (}^\circ\text{C)}$ 、 $z_2 = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}^7$ 、 $\theta_{1s} = 121.1 \text{ (}^\circ\text{C)}$ 、 $\theta_{2s} = 100 \text{ (}^\circ\text{C)}$

z_2 は栄養素や色やテクスチャなどのうちのどれを対象にするかによってことなるが、ここでは、Browning reaction⁷⁾を対象にした。

3.3.2 標準型プロフィール (1 段型)

Fig. 2 のような標準型プロフィールに関し、レトルト温度の初期値を $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 、加熱時間の初期値を 200 sec として式 (11) の評価関数 J の任意定数 μ を種々変えて、共役勾配法

により最適化の計算を行なった。その結果を Table 1 に示す。

F 値、 C_v 値などの計算は前報で述べた理由と同じ理由で中心温度 θ_1 が $70 \text{ }^\circ\text{C}$ より低くなった時点で計算を打ち切った。以下の諸計算も同様である。数値計算の時間きざみは加熱時間を400分割した時間とした。

Table 1 より、最適なレトルト温度は $134 \text{ }^\circ\text{C}$ 近辺であることがわかるが、この結果は加熱時間 t_h 、 C_v 値をも含めて前報の計算結果とほとんど一致している。また、 μ が大きくなると F 値は設定値の $F_c = 5$ に近づく傾向がみられる。収束するまでの計算のくりかえし数 N_c は、 $\mu = 50$ の時は100回程度であるが、 μ が大きくなるにつれて増える傾向にあり、 $\mu = 200$ では300回程度となっている。

3.2の共役勾配法のアルゴリズムの⑥で $\beta_k = 0$ とおけば、最急降下法による計算ができるが、以上の計算をこの最急降下法によって行なった結果を Table 2 に示す。計算のくりかえし数を Table 1 の共役勾配法による計算の場合と同じにしたとき、最急降下法ではまだ十分に収束していないようであり、この問題では共役勾配法の方が最急降下法より収束がはやいと判断できる。

3.3.3 2 段型プロフィール

Fig. 3 のような2段型の場合、レトルト温度 u_1 と u_2 を互いに变化させて逐次計算で最適値を求めると、 u_1 、 u_2 の最適値はそれぞれ $115 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $136.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度であり、加熱時間 t_h は約 235 sec であった。

レトルト温度 u_1 と u_2 の初期値を $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 、加熱時間 t_h の初期値を 200 sec として、式 (11) の評価関数 J の任意定数 μ を種々変えて、共役勾配法により最適化の計算を行なった。数

加熱殺菌温度プロフィールの最適化

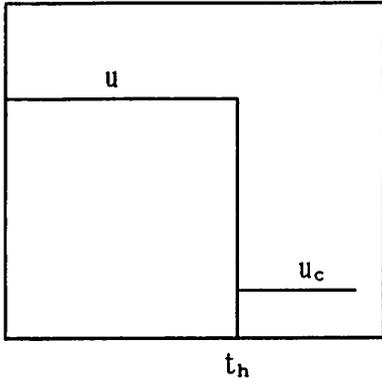


Fig. 2 Standard process

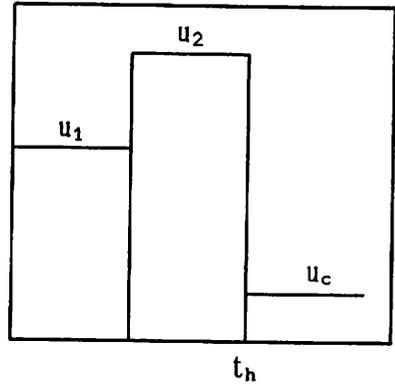


Fig. 3 Sequence of two steps

Table 1 Standard process (Conjugate gradient method)

μ	u	t_h	F	C_v	N_c
50.0	134.54	207.98	4.953360	28.55290	100
100.0	134.50	208.42	4.976766	28.60802	130
150.0	134.72	206.77	4.984606	28.62320	170
200.0	133.99	212.80	4.988131	28.65957	300

Units : u ($^{\circ}$ C), t_h (sec), F (min), C_v (min), N_c (cycle)

Table 2 Standard process (Steepest ascent method)

μ	u	t_h	F	C_v	N_c
50.0	124.18	380.73	4.902902	36.36184	100
100.0	126.56	315.31	4.962492	32.75165	130
150.0	124.73	364.49	4.970690	35.60263	200
200.0	124.24	381.02	4.976774	36.59504	300

Units : u ($^{\circ}$ C), t_h (sec), F (min), C_v (min), N_c (cycle)

Table 3 Sequence of two steps (Conjugate gradient method)

μ	u_1	u_2	t_h	F	C_v	N_c
50.0	117.58	136.79	230.73	4.957100	26.91672	250
100.0	117.24	136.59	233.09	4.978438	26.95462	250
150.0	118.77	136.53	230.34	4.985698	27.00176	500
200.0	115.80	136.80	234.68	4.989324	26.96121	1000

Units : u_1, u_2 ($^{\circ}$ C), t_h (sec), F (min), C_v (min), N_c (cycle)

値計算の時間きざみは加熱時間 t_h を400分割した時間とした。その結果をTable 3に示す。Table 3の $\mu = 200$ の場合の計算結果は逐次計算の結果とほぼ一致していることがわかる。

3.3.4 多段型プロフィール

1段型と2段型の場合について、共役勾配法による最適化の計算結果は、逐次計算による計算結果とほとんど一致した。そこでFig. 1のような多段型の場合について、共役勾配法により最適化の計算を行なった。段数は40段としたが、各段のレトルト温度の初期値は、前報で報告した台形型の最適プロフィールを参考にして設定した。 μ は200、加熱時間 t_h の初期値は300secとし、 t_h を1000分割した時間きざみを用いて、温度、F値、 C_v 値などを計算し、収束計算を行なった。その計算結果をFig. 4に示す。また、Fig. 5に表面を対象にした場合の計算結果を示すが、体積平均を対象にした場合も表面を対象にした場

合も、前報の5種類のプロフィールの中で一番よかった台形型とよく似たプロフィールが得られた。しかし、これらのプロフィールは、前報の試行錯誤による探索では容易に得られないと考えられる。

4. 結論

一次元熱伝導をあてはめることができるレトルトパウチ詰食品のような偏平な被加熱体について、多変数関数の最小化の方法を応用し、共役勾配法を用いて、多段型レトルト温度プロフィールの最適化をこころみた。

その結果、 C_v 値の体積平均を対象にした場合も、表面の C_v 値を対象にした場合も、前報の5種類のプロフィールの中で一番よかった台形型とよく似たプロフィールが得られた。

本報の最適化問題では、共役勾配法の方が最急降下法より収束がはやいと考えられる。

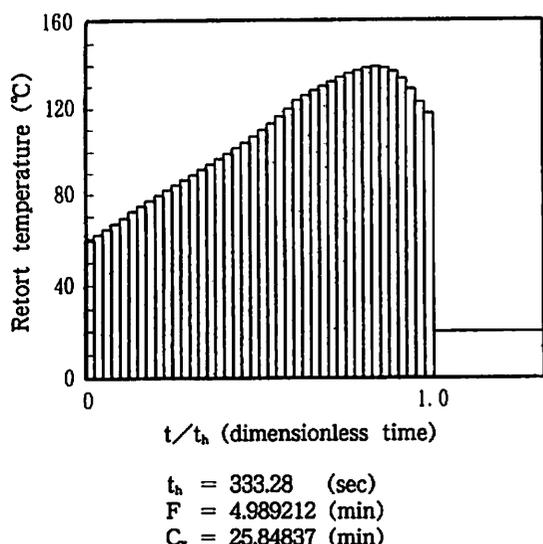


Fig. 4 Best sequence of multiple steps showing minimum volume average cook-value (C_v)

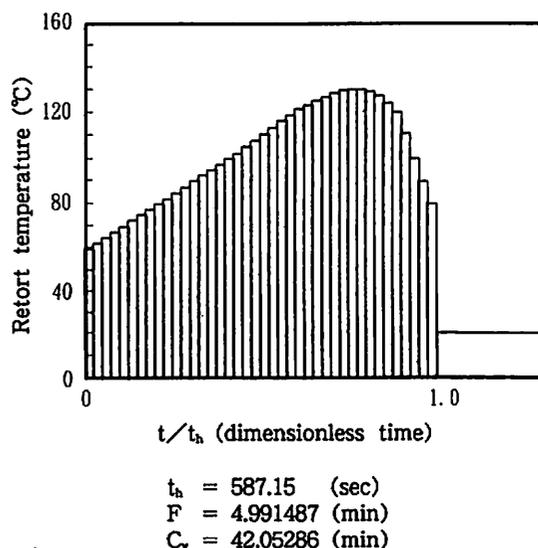


Fig. 5 Best sequence of multiple steps showing minimum surface cook-value (C_s)

加熱殺菌温度プロフィールの最適化

<引用文献>

- 1) 寺島好己、野中保雄、日本包装学会誌、3 (3) (1), 25 (1991)
152 (1994)
- 2) Saguy, I. and Karel, M., J. Food Sci., 44, 1458 (1979)
- 3) Nadkarni, M. and Hatton, T., J. Food Sci., 50, 1312 (1985)
- 4) Banga, J. R., Perez-Martin, R. I., Gallardo, J. M. and Casares, J. J., J. Food Eng., 14 (原稿受付 1993年10月25日)
(審査受理 1994年 6月10日)
- 5) 嘉納秀明、“システムの最適理論と最適化”、コロナ社、p.54, 85 (1990)
- 6) Ohlsson, T., J. Food Sci., 45, 836 (1980)
- 7) Ohlsson, T., J. Food Sci., 45, 848 (1980)