

# 缶詰を蒸気で殺菌する場合のレトルト 温度上昇期における諸因子の影響

池上義昭

## Effect of Various Factors in the Come-up Time on Processing of Canned Foods with Steam

Yoshiaki Ikegami

Ball experimentally established that 42% of the come-up time should be added to the processing time at retort temperature. However, the percentage sterilizing value in the come-up time should be different by various factors.

In the present paper, the percentage sterilizing values of the come-up time for various rates of retort temperature rise were calculated by means of the theoretical examinations.

When  $R(t)$  is the rate of retort temperature rise, the function  $R(t)$  for 4 model cases will be as follows:

$$(a) R(t) = It/t_1 + T_0$$

$$(b) R(t) = It^2/t_1^2 + T_0$$

$$(c) R(t) = -I(t-t_1)^2/t_1^2 + T_1$$

$$(d) R(t) = T_1 - I10^{-\frac{t}{k}}$$

By using these 4 equations, data calculated are given in table 2.

When the come-up follows a rectilinear curve as the equation (a), the percentage sterilizing value of the come-up time showed a variation from 40 to 50%, which is comparatively close to the figure suggested by Ball. However, the shapes of the come-up curves found in most of the commercial practices are rather the equations (c) and (d) than the equations (a) and (b). Therefore the magnitude of the fraction was found to vary from 60 to 80% depending on the values of  $fh/t_1$ . The values are comparatively close to the figure (70%) found by Alstrand and Benjamin with the case of the logarithmic rate of retort temperature rise in the come-up time.

### 1. 緒 言

缶詰を蒸気で殺菌する場合、レトルトに蒸気を入れてから所定の温度に到達するまでに時間を要する。一般にこの期間を“Come-up period”と称しており、この間のレトルト温度の上昇は、蒸気の供給量、レトルトの大きさ、型式などによって異なる。この時のレトルト温度の上昇変化によって缶内の温度上昇も変化する。

缶詰の殺菌条件を算出する場合、Ball<sup>1)</sup>はレトルトの温度上昇時間の42%を殺菌時間に加算すべ

きだとし、また、Alstrand 等<sup>2)</sup>はレトルトが対数的に上昇した場合には、加算する割合が平均70%だと述べている。しかしこれらの値は実験的な平均値である。

本報ではレトルト温度の上昇変化によって  $j$  の値や、殺菌時間に加算すべき割合がどのように変化するかを理論的に究明した。

## 2. 理論的考察

### 2.1 レトルト温度と缶内温度の関係

缶詰内の初期温度が一樣に  $T_0$  でレトルト温度が時間の函数  $R(t)$  のように変化した場合、熱の伝達が伝導であるとする缶詰内の温度変化は次式によって得られることが知られている<sup>3,4)</sup>。

$$T - T_0 = \frac{8}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{f'(2n-1)} \cos \frac{(2n-1)\pi l}{b} \cdot \frac{J_0(Rm r/a)}{Rm J_1(Rm)} \int_0^t F(\lambda) e^{-\frac{t-\lambda}{f'}} d\lambda \quad \dots\dots(1)$$

ただし  $F(t) = R(t) - T_0$  で

$$f' = \frac{1}{\left[ \frac{(2n-1)^2 \pi^2}{b^2} + \frac{Rm^2}{a^2} \right] k}$$

と置いてある。 $a$  は缶詰の半径、 $b$  は高さを示す。また、 $k$  は温度伝導率である。ここで、

$$j = \frac{8}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)} \cos \frac{(2n-1)\pi l}{b} \cdot \frac{J_0(Rm r/a)}{Rm J_1(Rm)} \quad \dots\dots(2)$$

と置くと(1)式は

$$T - T_0 = \frac{j}{f'} \int_0^t F(\lambda) e^{-\frac{t-\lambda}{f'}} d\lambda \quad \dots\dots(3)$$

となる。

(2)式より缶詰の中心点における  $j$  の値は2.04であるが、一般缶詰の場合、缶材の表面における熱抵抗、ヘッドスペース、および内容物の均一性などの影響により、かならずしもこの値にならないので、ここにおける  $j$  の値はレトルト温度が加熱の始めから殺菌温度であったときの臨界点における  $j$  の値とおきかえてもよいと思われる。

(3)式を使ってレトルト温度が温度上昇時間  $t_1$  まで1次函数として上昇 ( $R(t) = It/t_1 + T_0$ )、2次函数として上昇 ( $R(t) = It^2/t_1^2 + T_0$ ,  $-I(t-t_1)^2/t_1^2 + T_1$ ) し、 $t_1$  以後は殺菌温度  $T_1$  を保った場合、または指数函数として上昇 ( $R(t) = T_1 - I10^{-\frac{t}{k}}$ ) した場合などについて計算した。

(a)  $R(t) = It/t_1 + T_0$

岡田<sup>4)</sup>は、この場合について次の式を導いている。

$0 < t < t_1$  では、

$$T - T_0 = \frac{It}{t_1} - \frac{jIf'}{t_1} (1 - e^{-\frac{t}{f'}}) \quad \dots\dots(4)$$

(4)式を  $A(t)$  とおくと  $t_1 < t$  では Fig 1の(a)に示すように  $T - T_0 = A(t) - A(t-t_1)$  となるのでこれを計算すると

$$T - T_0 = I -$$

$$\frac{jIf'}{t_1} (e^{\frac{t}{f'}} - 1) e^{-\frac{t}{f'}} \quad \dots\dots(5)$$

となる。ここで  $f = 2.303 f'$  であるので(5)式より

$$\frac{T_1 - T_0}{T_1 - T_0} = \frac{jf}{2.303t_1} (10^{\frac{t_1}{f}} - 1) 10^{-\frac{t}{f}} \quad \dots\dots(6)$$

このときの  $j$  の値を  $j'$  とすると

$$\frac{j'}{j} = \frac{f}{2.303t_1} (10^{\frac{t_1}{f}} - 1) \quad \dots\dots(7)$$

この値は  $f/t_1$  によって変化するので、各々についての値を Table 1 の(a)に示した。

(b)  $R(t) = It^2/t_1^2 + T_0$

この式を(3)式に代入して積分すると  $0 < t < t_1$  では

$$T - T_0 = \frac{It^2}{t_1^2} - \frac{2jIf'}{t_1^2} (t - f' + f'e^{-\frac{t}{f'}}) \quad \dots\dots(8)$$

(8)式を  $B(t)$  とおくと  $t_1 < t$  では Fig 1 の(b)に示すように

$$T - T_0 = B(t) - 2A(t - t_1) - B(t - t_1)$$

となるので、これを計算すると

$$T - T_0 = I - \frac{2jIf'^2}{t_1^2} (1 - e^{\frac{t_1}{f'}} + \frac{t_1}{f'} e^{\frac{t_1}{f'}}) e^{-\frac{t}{f'}} \quad \dots\dots(9)$$

となる。ここで  $f = 2.303 f'$  であるので(9)式より

$$\frac{T_1 - T_0}{T_1 - T_0} = \frac{2jf^2}{2.303^2 t_1^2} (1 - 10^{\frac{t_1}{f}} + \frac{2.303t_1}{f} 10^{\frac{t_1}{f}}) 10^{-\frac{t}{f}} \quad \dots\dots(10)$$

$j'/j$  の値を Table 1 の(b)に示した。

(c)  $R(t) = -I(t - t_1)^2/t_1^2 + T_1$

$0 < t < t_1$  の場合、この式を(3)式に代入して積分しても得られるが、次のようにすれば簡単である。すなわち、

$$R(t) = -\frac{I(t - t_1)^2}{t_1^2} + T_1 = 2\left(\frac{It}{t_1} + T_0\right) - \left(\frac{It^2}{t_1^2} + T_0\right)$$

であるので、

$$T - T_0 = 2A(t) - B(t) \quad \dots\dots(11)$$

となり、これを計算すれば得られる。

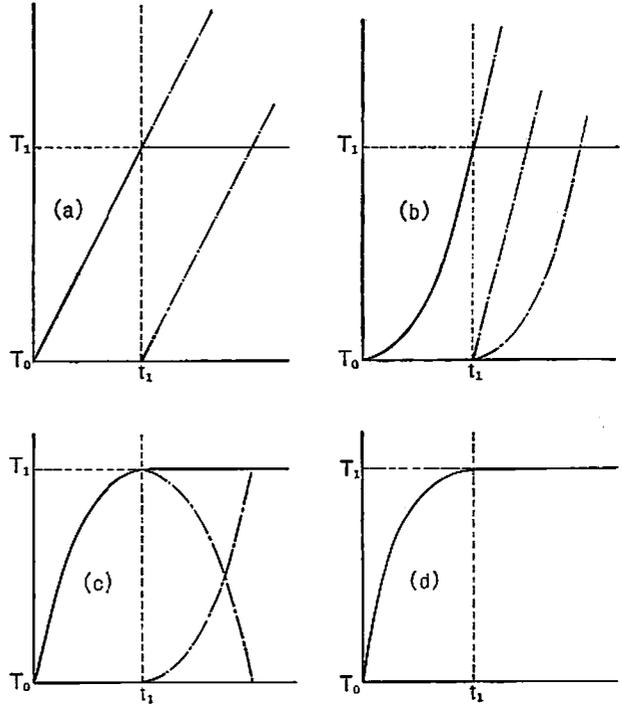


Fig 1 Curves showing various rates of retort temperature rise in the come-up time.  
 (a)  $R(t) = It/t_1 + T_0$  (b)  $R(t) = It^2/t_1^2 + T_0$   
 (c)  $R(t) = -I(t - t_1)^2/t_1^2 + T_1$  (d)  $R(t) = T_1 - I10^{-\frac{t}{f}}$

$t_1 < t$  の場合には Fig 1 の(c)に示すごとく  $T - T_0 = 2A(t) - B(t) + B(t - t_1)$  となり、これを計算すると

$$T - T_0 = I - \frac{2jIf'^2}{t_1^2} \left( e^{\frac{t_1}{f'}} - 1 - \frac{t_1}{f'} \right) e^{-\frac{t}{f'}} \quad \dots\dots(12)$$

(12)式に  $f = 2.303f'$  を代入すると

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \frac{2jf^2}{2.303^2 t_1^2} \left( 10^{\frac{t_1}{f}} - 1 - \frac{2.303t_1}{f} \right) 10^{-\frac{t}{f}} \quad \dots\dots(13)$$

この時の  $j'/j$  の値を Table 1 の(c)に示した。

$$(d) \quad R(t) = T_1 - I10^{-\frac{t}{k}} = T_1 - Ie^{-\frac{t}{k}}$$

この式を(3)式に代入して積分すると

$$T - T_0 = I - jI \left( \frac{k'}{k' - f'} e^{-\frac{t}{k'}} - \frac{f'}{k' - f'} e^{-\frac{t}{f'}} \right) \quad \dots\dots(14)$$

したがって

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = j \left( \frac{k'}{k' - f'} e^{-\frac{t}{k'}} - \frac{f'}{k' - f'} e^{-\frac{t}{f'}} \right) \quad \dots\dots(15)$$

(15)式を書きかえると

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \frac{jk'}{k' - f'} \left( 1 - \frac{f'}{k'} e^{\left(\frac{1}{k'} - \frac{1}{f'}\right)t} \right) e^{-\frac{t}{k'}} \quad \dots\dots(16)$$

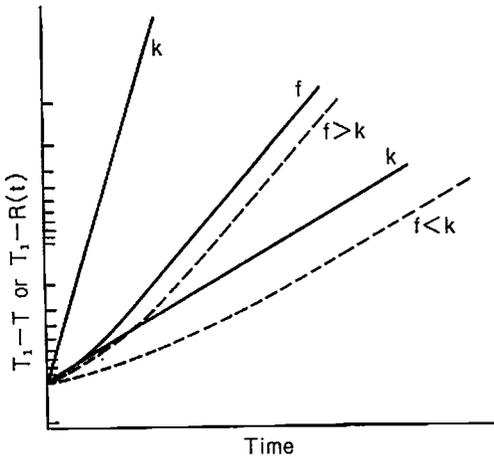


Fig 2 Heating curves for logarithmic rate of retort temperature rise in the come-up time.

Table 1  $j'/j$  values for various  $f/t_1$  values.

$f/t_1$	(a)	(b)	(c)	(d)
1	5.29	3.91	2.53	2.00
2	2.23	1.88	1.53	1.33
3	1.69	1.50	1.31	1.20
4	1.48	1.35	1.22	1.17
5	1.37	1.27	1.17	1.11
6	1.30	1.22	1.14	1.09
7	1.25	1.18	1.12	1.08
8	1.21	1.16	1.10	1.07
9	1.19	1.14	1.09	1.06
10	1.17	1.12	1.08	1.05
11	1.15	1.11	1.07	1.05
12	1.14	1.10	1.07	1.04
13	1.13	1.09	1.06	1.04
14	1.12	1.09	1.06	1.04
15	1.11	1.08	1.05	1.03
16	1.10	1.08	1.05	1.03
17	1.10	1.07	1.05	1.03
18	1.09	1.07	1.04	1.03
19	1.08	1.06	1.04	1.03
20	1.08	1.06	1.04	1.03
$\infty$	1	1	1	1

となるので、 $k' > f'$  の場合、 $t$  が充分大きいところでは〔 〕は1に近づく。したがって

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \frac{jk'}{k' - f'} e^{-\frac{t}{k'}} = \frac{jk}{k - f} 10^{-\frac{t}{k'}} \quad \dots\dots(17)$$

(17)式より $k > f$ の場合には Fig 2 に示すごとく、缶内の  $fh$  は  $k$  に近づく。

また、 $k < f$  の場合には同じようにして

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \frac{jf'}{f' - k'} e^{-\frac{t}{f'}} = \frac{jf}{f - k} 10^{-\frac{t}{f'}} \quad \dots\dots(18)$$

となり、この場合には Fig 2 に示すごとく、缶内の  $fh$  は  $f$  に近づく。

ここで  $t_1 = 2k$  と仮定すると(18)式は

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \frac{2jf}{2f - t_1} 10^{-\frac{t}{f}} \quad \dots\dots(19)$$

このときの  $j$  の値を  $j'$  とすると

$$\frac{j'}{j} = \frac{2f}{2f - t_1} = \frac{2f/t_1}{2f/t_1 - 1} \quad \dots\dots(20)$$

となり、この値は  $f/t_1$  によって変化するので、各々についての値を Table 1 の(d)に示した。

このようにレトルト温度が所定の温度に到達するまでの曲線の式がわかっているならば、その時の缶内の温度上昇も知ることができる。

レトルト温度の上昇が(a), (b), (c), (d)式のように上昇した場合について計算したが、Fig 3 に示すようなS字型を画く場合も考えられる。この場合も同じようにして計算できる。

Fig 3 においてレトルト温度が  $0 < t < at_1$  では  $y_1$ ,  $at_1 < t < t_1$  では  $y_3$ ,  $t_1 < t$  では  $T_1$  と変化した場合、曲線  $y_1$ ,  $y_4$ ,  $y_6$  の関係は

$$y_6 = ay_1 = (1-a)y_4 \quad \dots\dots(21)$$

また、曲線  $y_2$  は(11)式より

$$y_2 = 2y_5 - y_1 \quad \dots\dots(22)$$

であるので、 $0 < t < at_1$  では  $y_1(t)$ ,  $at_1 < t < t_1$  では(21)式と(22)式より

$$\begin{aligned} & y_1(t) - y_1(t - at_1) - 2y_5(t - at_1) + y_3(t - at_1) \\ &= \frac{y_6(t)}{a} - \frac{y_6(t - at_1)}{a} - \frac{y_6(t - at_1)}{1-a} \\ &= \frac{y_6(t)}{a} - \frac{y_6(t - at_1)}{a(1-a)} \end{aligned}$$

である。 $t_1 < t$  では

$$\begin{aligned} & \frac{y_6(t)}{a} - \frac{y_6(t - at_1)}{a(1-a)} + y_4(t - t_1) \\ &= \frac{y_6(t)}{a} - \frac{y_6(t - at_1)}{a(1-a)} + \frac{y_6(t - t_1)}{1-a} \\ &= \frac{1}{a(1-a)} \{ (1-a)y_6(t) - y_6(t - at_1) + ay_6(t - t_1) \} \quad \dots\dots(23) \end{aligned}$$

$y_6(t)$  は(8)式で表わされているので、これを代入すると

$$T - T_0 = I + \frac{2jIf'^2}{a(1-a)t_1^2} \left( a - 1 + e^{\frac{at_1}{f'}} - ae^{\frac{t_1}{f'}} \right) e^{-\frac{t}{f'}}$$

したがって

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} = \frac{2jIf'^2}{a(1-a)t_1^2} \left( 1 - a + ae^{\frac{t_1}{f'}} - e^{\frac{at_1}{f'}} \right) e^{-\frac{t}{f'}} \quad \dots\dots(24)$$

このときの  $j$  の値を  $j'$  とすると  $j'/j$  の値は  $f/t_1$  によって変化する。

②式で  $a = 0$  のときは①式と同じであり、 $a = 1$  のときは③式になる。

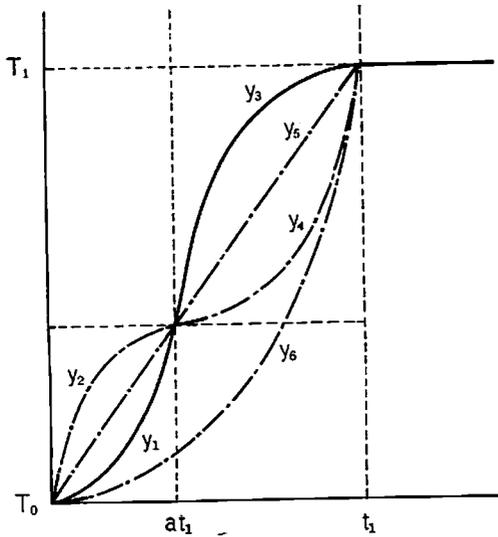


Fig 3 Curve showing for sigmoidal rate of retort temperature rise in the come-up time.

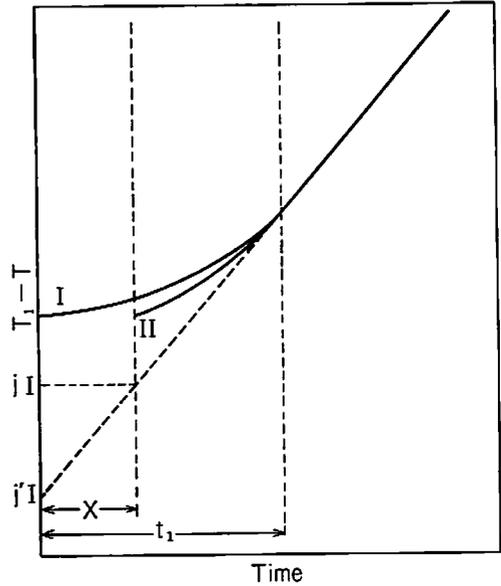


Fig 4 Heating curves for cans for different come-up time.

### 2・2 殺菌時間に加算すべき割合

Table 1 に示すように  $j'/j$  の値は  $f/t_1$  によって変化する。この場合の  $fh$  の値は変化しない。そこで Fig 4 に示すようにレトルト温度が Come-up まで変化した場合の缶内温度を曲線 I とし、レトルト温度が瞬間的に所定の温度に到達したと仮定したときの缶内温度を曲線 II とすると、その時の時間のずれ  $X$  は

$$X = f \log \frac{j'}{j} \quad \dots\dots(25)$$

であるから、時間  $t_1$  における  $t_1 - X$  の割合は

$$\frac{t_1 - X}{t_1} = 1 - \frac{f}{t_1} \log \frac{j'}{j} \quad \dots\dots(26)$$

②式を使用して種々の  $f/t_1$  の値に対する  $(t_1 - X)/t_1$  の値を、それぞれの上昇温度曲線について計算し、パーセントとして表わしたのが Table 2 である。

レトルトの上昇温度曲線が対数的である場合には、レトルト温度は所定の温度に接近するが到達しない。Table 2 に示した値は、 $t_1 = 2k$  と仮定した場合の値である。ここで  $t_1 = 3k$  と仮定した場

合には(18), (26)式により当然  $t_1=2k$  の場合より大きい値になるが, (18), (25)式より  $k, f$  が一定であれば  $t_1$  に関係なく  $X$  は一定である. したがって  $t_1=2k$  と仮定した場合の値だけで充分である.

このようにレトルトの上昇温度曲線の式および  $f/t_1$  の値がわかっているならば Table 2 により殺菌時間に加算する割合を知ることができる.

### 3. 要 旨

缶詰を蒸気で殺菌する場合のレトルト温度曲線の変化によって, 殺菌時間に加算すべき割合は変化するが, 普通のレトルトの場合には, その曲線が(c)に示したように下に弯曲している2次曲線か, または(d)に示したように対数的に変化した曲線が多いと思われる. したがって殺菌時間に加算する割合は60~80%が適当である.

Table 2 Percentage sterilizing values of the come-up time for various  $f/t_1$  values.

$f/t_1$	(a)	(b)	(c)	(d)
1	40.75	27.65	59.75	69.90
2	45.26	30.31	63.32	75.01
3	46.82	31.28	64.47	76.25
4	47.61	31.78	65.03	76.80
5	48.08	32.08	65.36	77.12
6	48.40	32.29	65.58	77.33
7	48.63	32.45	65.72	77.47
8	48.80	32.54	65.86	77.58
9	48.94	32.63	65.95	77.66
10	49.04	32.70	66.02	77.72
11	49.13	32.76	66.08	77.78
12	49.20	32.80	66.13	77.82
13	49.26	32.84	66.17	77.86
14	49.31	32.88	66.21	77.89
15	49.36	32.91	66.24	77.91
16	49.40	32.94	66.26	77.94
17	49.43	32.97	66.28	77.96
18	49.47	32.99	66.30	77.98
19	49.50	33.00	66.33	77.99
20	49.52	33.01	66.35	78.01
$\infty$	50.00	33.33	66.67	78.28

### 文 献

- 1) C. O. Ball : sterilization in Food Technology. (1957)
- 2) D. V. Alstrand and H. A. Benjamin ; Food Res, 14, 253 (1949)
- 3) T. G. Gillespy : J. Sci Food Agric., 4, 553, (1953)
- 4) 川口武男・岡田光世 : 缶詰学 (昭23)