159. 遠赤外照射加熱される下地のある平板状含水物の加熱特性に関する理論的考察

— 下地を含む熱系の模擬回路の比較検討 —

中尾 久徳
(名城大学)

市川 眞人
(名古屋大学名誉教授)

1)~3)

1. まえがき さきに、遠赤外・熱風併用加熱（遠赤・熱風併用加熱系も、熱風単独加熱系も、遠赤単独加熱系に帰して論じることができる）される被熱物の裏面を理想熱絶縁として加熱特性を考察した。

本報告では、遠赤源からの入力を定熱流源 q_0 、熱風源を定温度源 Θ （基準温度から測った上昇温度）との併用熱源で、平板状含水被熱物 W （水で置き換えられると仮定）の裏面に下地 S が密着し、その S の裏面は室温の自然対流に曝されている場合の熱系の等価模擬回路の加熱特性（昇温、熱流、昇温期間）について考察する。

W 及び S の熱抵抗 R 、 R_s 、熱容量 C 、 C_s 、対流伝熱抵抗 r_h 、 r'_h 、真の蒸発抵抗 r_v とすれば

(1) W を逆 L 形、 S を Γ 形の縦続回路 {図 1 (a)}、

(2) W 、 S とともに逆 L 形の縦続回路 {図 1 (b)} の二つの簡易近似回路を得る。

この簡易近似回路は、解析解を得るため、計算機解を得るためには、 W を n 分割、 S を m 分割した精密近似回路を用いる。この両近似回路を比較して計算上のチェック、及び全熱系に関し大きな見通しを得ることができる。なお、図 1 (a) の簡易近似回路は一次系、図 1 (b) の簡易近似回路は二次系となる。

2. 簡易近似回路による解析解 温度、熱流を図 1 (a)、(b) のように定義すれば、

(a) 簡易回路一次系

(b) 簡易回路二次系

図 1 片面遠赤外、熱風併用加熱、同面蒸発、他面下地、下地裏面对流伝熱抵抗の簡易模擬回路
図 1 (a) の一次系の被熱物表面温度 θ_0 、顕熱流 q_c は、

$$\theta_0 = r(q_0 + \Theta/r_h)[(R + R_s + r'_h)/(R + r + R_s + r'_h) + \{r/(R + r) - (R + R_s + r'_h)/(R + r + R_s + r'_h)\}e^{-t/\tau}]$$

$$q_c = \{r(q_0 + \Theta/r_h)/(R + r)\}e^{-t/\tau}$$

但し、 $\tau = (C + C_s)(R + r)(R_s + r'_h)/\{(R + r) + (R_s + r'_h)\}$ $r = r_v r_h / (r_v + r_h)$

図 1 (b) の二次系の θ_0 、 q_c は、

$$\theta_0 = [r(q_0 + \Theta/r_h)/\{CC_s R_s r'_h (R + r)(\alpha - \beta)\}][\{(R + R_s + r'_h)(e^{-\alpha t}/\alpha - e^{-\beta t}/\beta) - \{R r'_h (C + C_s) + R_s (C_s r'_h + CR)\}(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) + (\alpha - \beta)(R + R_s + r'_h)/\alpha\beta\}]$$

$$q_c = [r(q_0 + \Theta/r_h)/\{(R + r)(\alpha - \beta)\}][\{(\alpha e^{-\alpha t} - \beta e^{-\beta t}) - \{r'_h (C + C_s) + C_s R_s\}(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})\}]$$

但し、 $\alpha, \beta = a \pm \sqrt{a^2 - 4b}$ $a = \{C(R + r)(R_s + r'_h) + C_s r'_h (R + R_s + r)\}/CC_s R_s r'_h (R + r)$
 $b = (R + r + R_s + r'_h)/CC_s R_s r'_h (R + r)$

式 (1)、(3) と式 (2)、(4)、すなわち一次系、二次系の θ_0 、 q_c の初期値、定常値はそれぞれ

$$\theta_0|_{t=0} = r(q_0 + \Theta/r_h)R/(R + r) \quad q_c|_{t=0} = r(q_0 + \Theta/r_h)/(R + r)$$

$$\theta_0|_{t=\infty} = r(q_0 + \Theta/r_h)(R + R_s + r'_h)/(R + r + R_s + r'_h) \quad q_c|_{t=\infty} = 0$$

となり、明らかに同一状態となる。

Temperature-rise Analysis of Water Containing Flat Substance with Under layer

by Long-wave Infrared Radiation and/or Hot-air Convection. Hisanori Nakao, Mahito Ichikawa

3. 簡易、精密近似回路による計算機解析

被熱物 W を水⁴⁾厚さ1 [mm] : $1 R \approx 16$ [deg/(W/cm²)] [Ω]、 $C \approx 0.42$ [W·s/cm²·deg] [F]、
 (1) 下地 S を木板⁴⁾厚さ10 [mm] : $R_s \approx 740$ [deg/(W/cm²)] [Ω]、 $C_s \approx 1.32$ [W·s/cm²·deg] [F]
 (2) 下地 S を鉄板⁴⁾厚さ1 [mm] : $R_s \approx 0.96$ [deg/(W/cm²)] [Ω]、 $C_s \approx 0.38$ [W·s/cm²·deg] [F]
 熱風源と被熱面間の対流伝熱抵抗 $r_h \approx 400$ [deg/(W/cm²)] [Ω]、下地 S の裏面は自然対流状態にあるとすれば対流伝熱抵抗 $r'_h \approx 1700$ [deg/(W/cm²)] [Ω]、 $r_v/r_h \approx 0.3$ と仮定すれば、 $r_v = 120$ [deg/(W/cm²)] [Ω]、 $r = r_v/r_h \approx 92.3$ [deg/(W/cm²)] [Ω]。

遠赤単独加熱時の定率乾燥期の表面昇温期待値を $\theta_0|_{t=\infty} = 22$ [deg]とすれば必要な遠赤入力は式(6)から $q_0 = (r + R + R_s + r'_h)/r(R + R_s + r'_h)\theta_0|_{t=0} \approx 0.25$ [W/cm²] [A]

熱風温度 Θ (基準温度室温からの上昇分) = 30 [deg]。(室温20 [°C]とすれば50 [°C])とし、被熱物 W を水(水厚=1 [mm])、下地 S 木板(厚さ=10 [mm])の被熱物表面の昇温 θ_0 、顕熱流 q_c の計算機解を図2に示す。

ただし、定率乾燥昇温値(定常温度)に達するまでの時間、すなわち、予熱期間を与える基準となる時間には図1(a)の模擬回路で得られた時定数 t_r を用いて横軸を t/t_r に、左縦軸の昇温 θ_0 は、 S の裏面理想熱絶縁時の W 表面の昇温 $r(q_0 + \Theta/r_h)$ 、右縦軸全顕熱流 $\sum q_c$ は全供給熱流 $(q_0 + q_h)$ でそれぞれ規準化して各無次元量として示した。

図2 片面遠赤、熱風併用加熱、同面蒸発、他面下地 (木板10 [mm]) の昇温と顕熱流特性

W 内部で熱伝導が支配的に働く多くの場合について、含水物の遠赤照射加熱の特徴的な性質を明示した。今後は、乾燥の進行に伴う被熱物 W の厚みの変化による加熱特性について検討したい。

文献

- 1) 市川、中尾：遠赤外加熱される含水物中の熱伝導に関する理論的考察；照学誌78-2 pp 51-57(1994)
- 2) 中尾、市川：遠赤外加熱される含水物中の熱伝導に関する理論的考察；照学誌79-2 pp 116-121(1995)
- 3) 市川、中尾：遠赤外照射、熱風、及び併用加熱される平板状含水物の昇温、熱流、及び乾燥速度に関する理論的考察；照学誌80-5 pp 339-348(1996)
- 4) 伝熱工学資料(改訂第4版) 機械学会 p 314, p331
- 5) ジャック著、高橋訳：応用伝熱 コロナ社 p 95

4. むすび 被熱物 W に密着した下地 S が遠赤、熱風併用加熱源で加熱される系の簡易近似回路を、一次系及び二次系の一次元線形回路で模擬して理論及び計算機解析を行い、予熱期から定率乾燥期初期までの昇温、熱流、予熱期間長について考察した。

W の表面温度 θ_0 、全顕熱流 q_c の定率乾燥期の昇温値は一次系・二次系の簡易・精密両近似回路何れの場合も等しいが、予熱期間(昇温過程)は下地の熱容量 C_s の効果により昇温速度は異なる。

(1) 一次系の昇温速度は、昇温初期は簡易近似回路の方が精密近似回路よりも小さく、後大きくなる。

(2) 二次系の昇温速度は、一次系とは逆に簡易近似回路の方が精密近似回路よりも昇温初期では大きく、後小さくなる。

(3) 一次系と二次系の昇温過程は、簡易近似回路では大きく異なるが、精密近似回路ではほぼ一致する。

なお、 W 水厚さ1 [mm]、 S 鉄板厚さ1 [mm]のときは、一次・二次の簡易・精密近似回路、何れの場合も殆ど一致する。