

遠赤外線炉の理論的考察3

【背景】

昨今、コンピュータ性能の飛躍的向上により、遠赤外線炉の熱設計においても、複雑かつ非定常性を考慮した数値解析が容易になっている。ふく射に関する数値解析の手法としては、①空間分割法、②ふく射要素法、③FDTD 法等が考えられるが、①空間分割法は、後述する「射度」の概念を用いることにより、閉空間内のエネルギー収支を比較的簡潔な式体系で表現可能であり、システムの大局的な解析には有用である。

【実施(紹介)例】

赤外線加熱炉はおおむね直方体、ヒータは長方形形状であるため、下図のような簡潔なモデル化が可能である。

- (1) 無限平行面モデル (図 1 Infinite parallel plates model)
- (2) 直方体多分割面モデル (図 2 Finite multi-fractionated rectangular model)

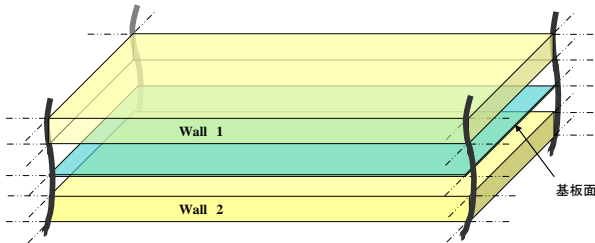


図 1. 無限平行面モデル

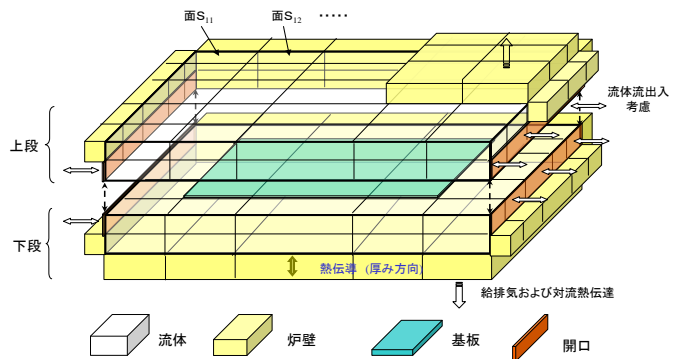
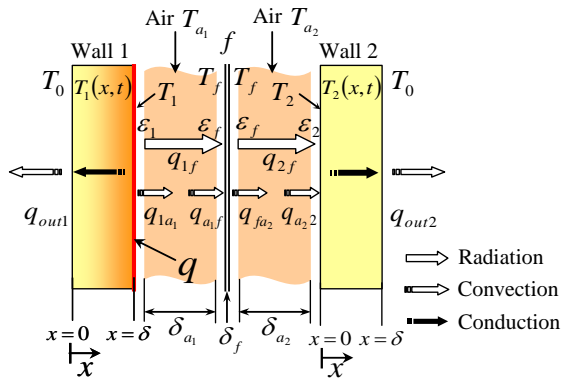


図 2. 直方体多分割面モデル

無限平行面モデルを用いた定式化の一例を下記に示す。Wall(炉壁相当)、空気層および基板 f に関するエネルギー収支式は、図 3 右側に示した 1 次元偏微分方程式により記述される(境界条件は別途必要)。



$$\rho_i c_{p,i} \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial t} = k_i \frac{\partial^2 T_i(x,t)}{\partial x^2}$$

$$\rho_{a_1} c_{p,a_1} \delta_{a_1} \frac{dT_{a_1}(t)}{dt} = q_{1a_1}(t) - q_{a_1f}(t)$$

$$\rho_{a_2} c_{p,a_2} \delta_{a_2} \frac{dT_{a_2}(t)}{dt} = q_{fa_2}(t) - q_{a_2}(t)$$

$$\rho_f c_{p,f} \delta_f \frac{dT_f(t)}{dt} = q_{1f}(t) - q_{f2}(t) + q_{a_1f}(t) - q_{fa_2}(t)$$

図 3. 無限平行面モデルの定式化例

ここで、主な記号は下記のとおりである。

c : 各部定圧比熱	[kJ/kgK]	t : 時間	[s]
ρ : 各部密度	[kg/m ³]	q : 熱流束	[W/m ²]
T : 固体部温度	[°C]	δ : 厚み	[m]
T_a : 気相部温度	[°C]	σ : Stefan-Boltzmann 定数	[W/m ² K ⁴]
x : 炉壁厚み方向座標	[m]		

多分割面モデルの場合は、上式群に加えて、射度 $[W/m^2]$ (任意の分割面において、当該面の自己放射+外来照射の反射)に関する連立方程式を解く必要が生ずる。対象とする系に応じて、さらに蒸発や膜収縮等、プロセスを特徴づける諸要素を、サブルーチンの式体系に組み込む。

図4にロールツーロール型の赤外線乾燥炉の形状イメージ、図5にその中で搬送熱処理される、塗布膜を伴ったフィルムについての解析事例を示す。塗布膜部に関する支配方程式形状は、組成が3成分以上では一般的な手法は存在せず、着目する組成物質の性質に合わせた個別定式化が必要になる。

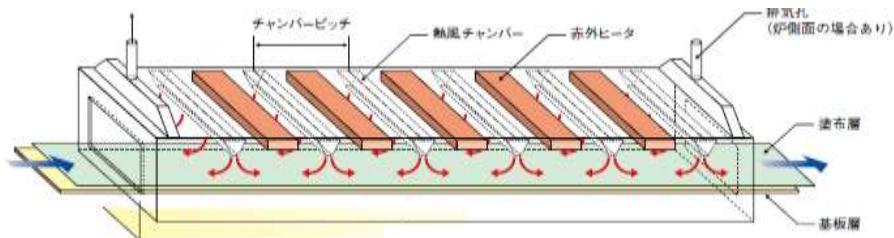


図4. 遠赤外線乾燥炉の例

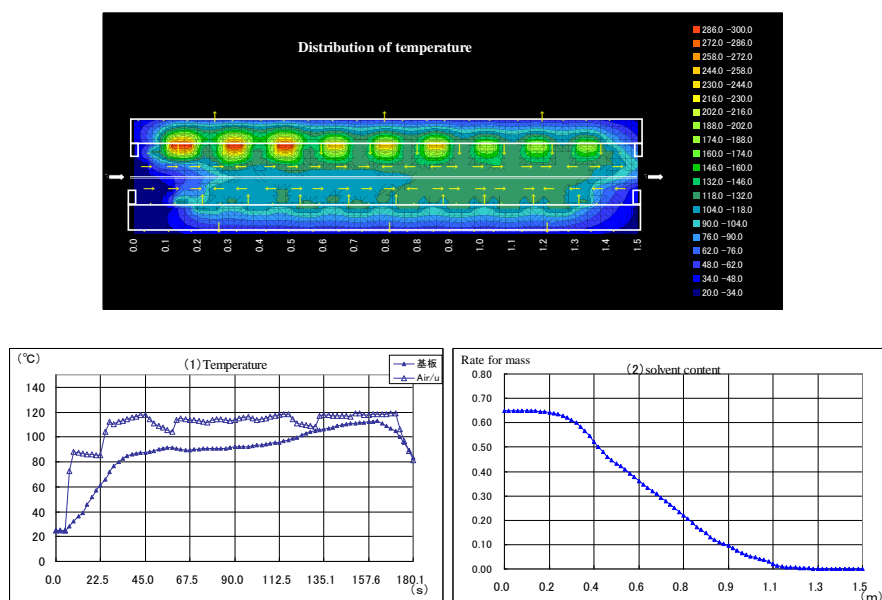


図5. 解析例

図5の上側は、炉縦断面内の温度分布、下側左は炉内の製品温度推移および気相部温度分布、右は塗布膜内の溶剤濃度推移を示す。こうした手法は、近年大きな注目を集めるリチウムイオン電池の電極乾燥プロセス等にも適用可能である。

加熱プロセスの効率性は単にその迅速性のみでは評価できない。いくら速く溶剤乾燥が行われたとしても、乾燥後の塗布膜性能が不十分では本末転倒となってしまう。近年の計算速度の向上や新たな定式化手法の導入等により、乾燥速度のみならず、被加熱物の品質・性能まで予測可能な解析技術も実現されつつある。

より詳細な情報については、下記までお問い合わせください。

一般社団法人 遠赤外線協会 TEL:[03-3438-4108](tel:03-3438-4108)

e-mail: jira@enseki.or.jp