

Appendix 均質化法による有効熱伝導率の算出法

均質化法による有効熱伝導率の算出の原理を Fig.A-1 のような空隙率0.7の2次元の発泡材料を例に説明する。x 軸方向のみを考えると、式(2-23)は以下のように変形できる。

$$\int_{\Omega} \mathbf{a} \left(\frac{\partial c_1}{\partial y_1} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_1} + \frac{\partial c_1}{\partial y_2} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_2} \right) dy + \int_{\Gamma} \text{Bi} \mathbf{n}_1 c_1 ds = \int_{\Omega} \mathbf{a} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_1} dy, \quad (\text{A-1})$$

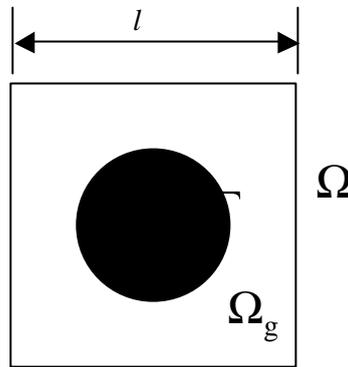


Fig.A-1 Schematic diagram of homogenization method

これは、微視領域において気固間熱伝達を考慮した c_1 に関する熱伝導（拡散）方程式と同等である。この時、右辺の生成項は各要素に対する x 軸方向の単位勾配であり、ここから得られる c_1 の分布は、x 軸方向に対して場がどれだけ乱されるかを意味している。気相、固相に関して、それぞれ、式(A-2), (A-3)が得られる。

・気相

$$\int_{\Omega_g} \Lambda \left(\frac{\partial c_1}{\partial y_1} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_1} + \frac{\partial c_1}{\partial y_2} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_2} \right) dy + \int_{\Gamma} \text{Bi} \mathbf{n}_1 c_1 ds = \int_{\Omega_g} \Lambda \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_1} dy \quad (\text{A-2})$$

・固相

$$\int_{\Omega_s} \left(\frac{\partial c_1}{\partial y_1} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_1} + \frac{\partial c_1}{\partial y_2} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_2} \right) dy + \int_{\Gamma} \text{Bi} \mathbf{n}_1 c_1 ds = \int_{\Omega_s} \frac{\partial \mathbf{n}_1}{\partial y_1} dy \quad (\text{A-3})$$

今回は、 $\Lambda(I_g/I_s)=1, 0.2, 0.02$ の場合について説明する。この場合、左辺第2項及び右

辺は気相、固相においてそれぞれ Fig.A-2 に示すようなベクトルとなる。右辺の生成項は各要素に対して負荷がかけられるが、連続領域ではそのベクトルは打ち消される。そのため、周期境界条件のもとでは、この生成項は不連続な気固界面に限定される。また、この左辺第 2 項の大きさ(Bi 数)によって c_1 の分布が決定される。Fig.A-3 に各 Λ において Bi 数が有効熱伝導率に及ぼす影響を示す。Bi 数が 1 を超えると Λ の影響が顕著に現れる。Fig.A-4 に気相側、Fig.A-5 に固相側での各 Bi 数で c_1 の分布を示す。気相側では Λ が小さく高 Bi 数で c_1 の分布が大きく反転する。 Λ が 1 の場合、Bi 数が大きくても左右の分布が逆転することはない。一方、固相側でも同様に、 Λ が 1 の場合 Bi 数に対して分布が逆転することはないが、 Λ が 1 より小さくなると高 Bi 数で反転する傾向が見られる。式(2-24)で示すように、 c_1 の分布を用いて、その勾配をユニットセルで積分し平均化することで有効熱伝導率となる

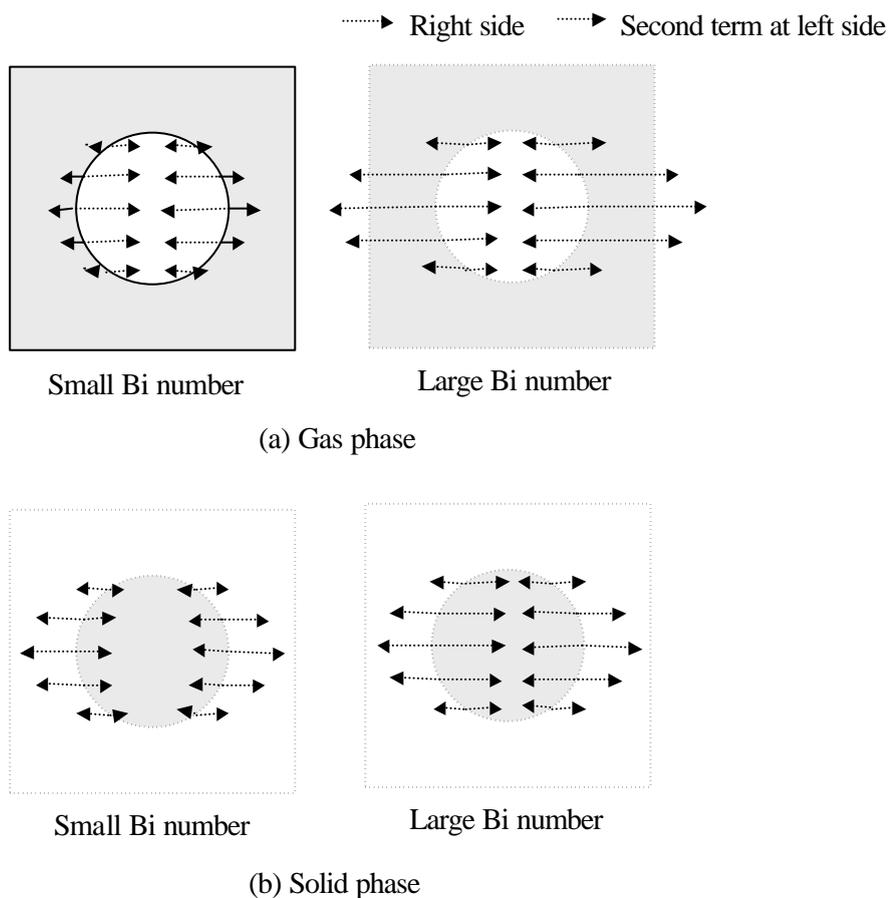


Fig.A-2 Load vector at micro region

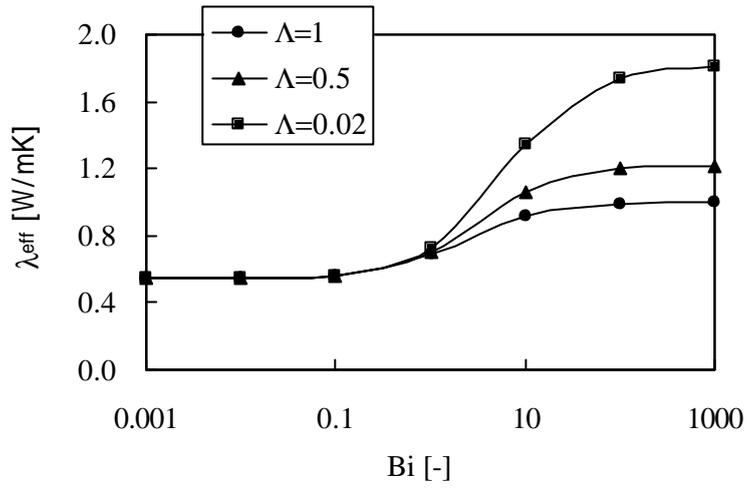


Fig.A-3 Effect of Biot number on effective thermal conductivity

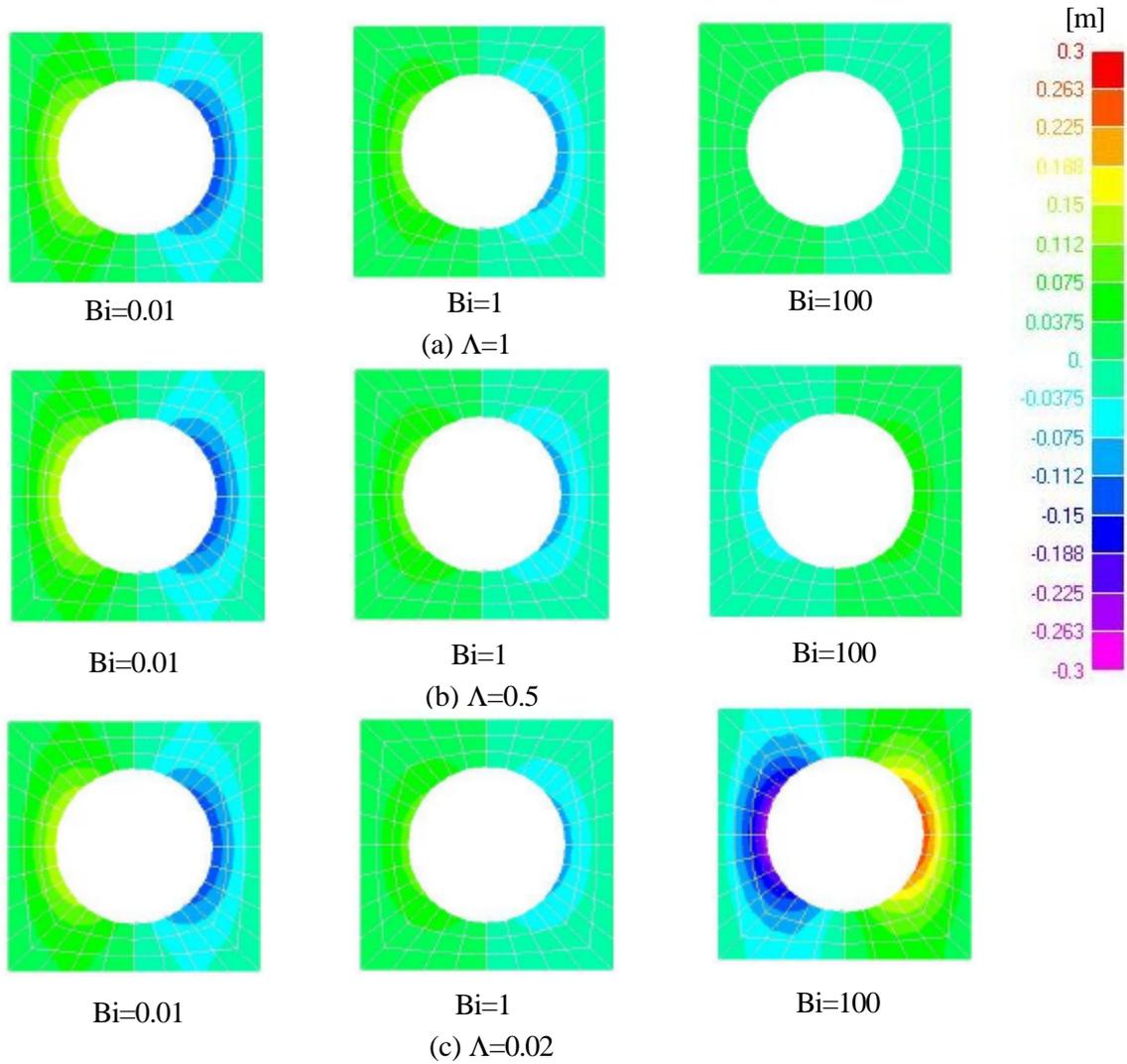


Fig.A-4 Distribution of c_1 in gas phase against Λ

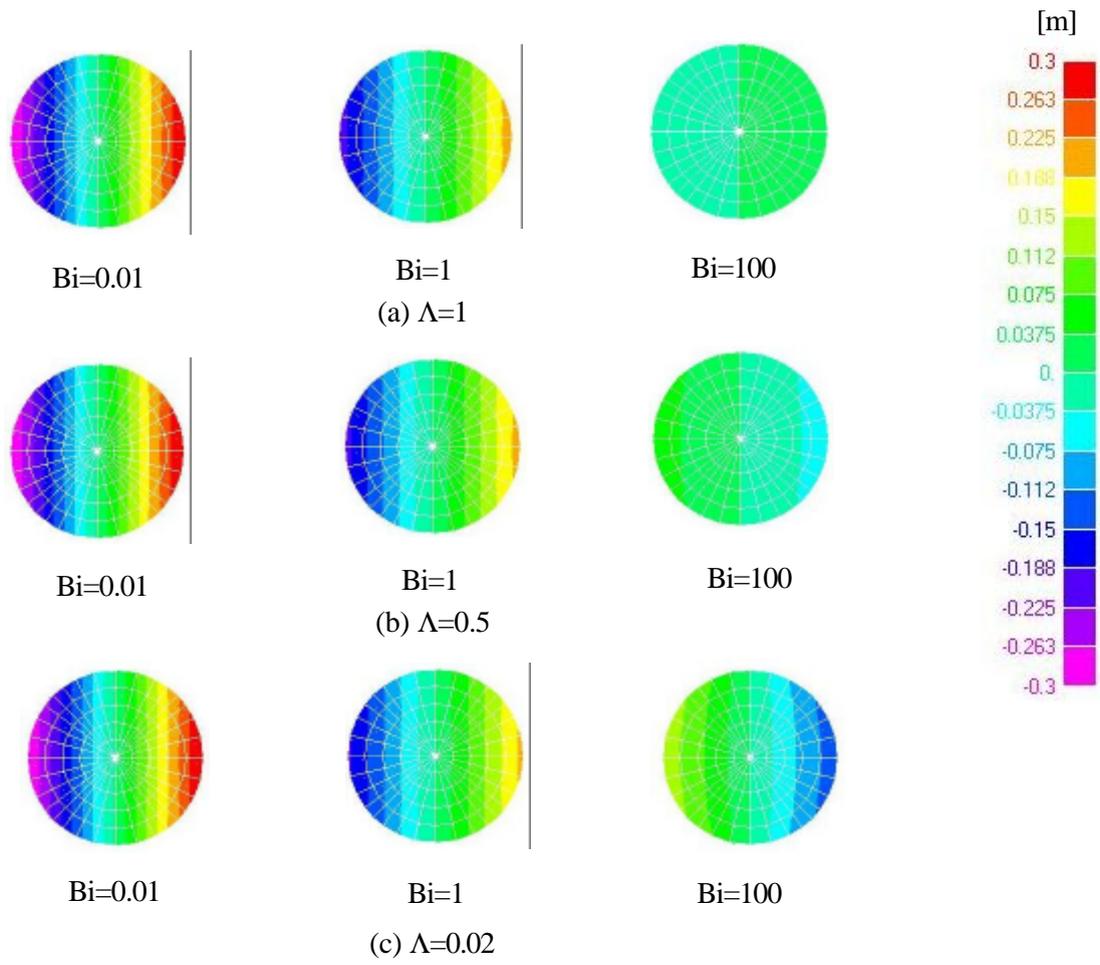


Fig.A-5 Distribution of c_1 in solid phase against Λ