

令和4年度 特別研究

最適設計と金属積層造形による 伝熱プレートの均熱化の検討

長野県工業技術総合センター 材料技術部門

設計支援部 主任研究員 佐藤 真

金属材料部 研究員 鈴木 崇司

背景

○市場のニーズ

液晶や半導体製造工程において、不良率が低く、高品質に製造できるシステムが求められている

ex.熱プレス、成膜工程、モールディング…

○キーワード

均熱化

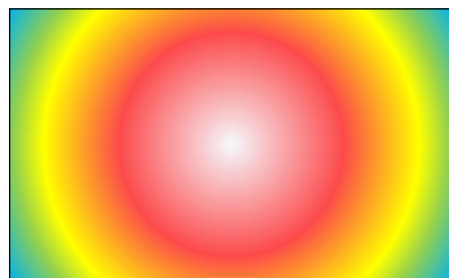
○均熱化とは

加熱面の温度がどの部分でも、ほぼ一様な温度分布にすること

200°C

190°C

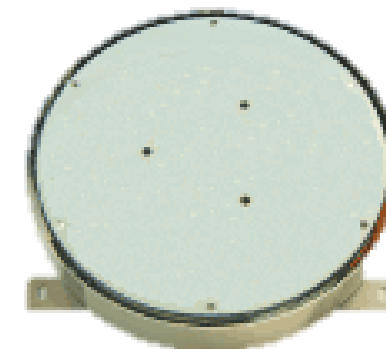
180°C



温度が不均一



温度が均一（均熱）



半導体製造用ホットプレート



半導体モールディング金型

目的

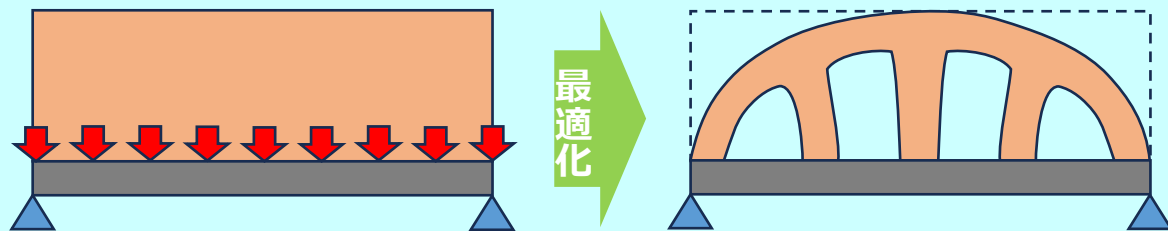
均熱性の高い伝熱プレートの開発

最適設計と金属積層造形を活用

○最適設計

- ・PCのハイスペック化
- ・構造最適化の市販ソフトウェアへの実装

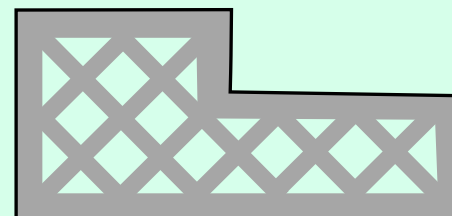
構造最適化がより身近に



最適な形状が創生されることで高性能化が期待できる

○金属積層造形

- ・金属3Dプリンタの普及
より自由度の高い設計が可能
今まで不可能だった内部構造の設計が可能

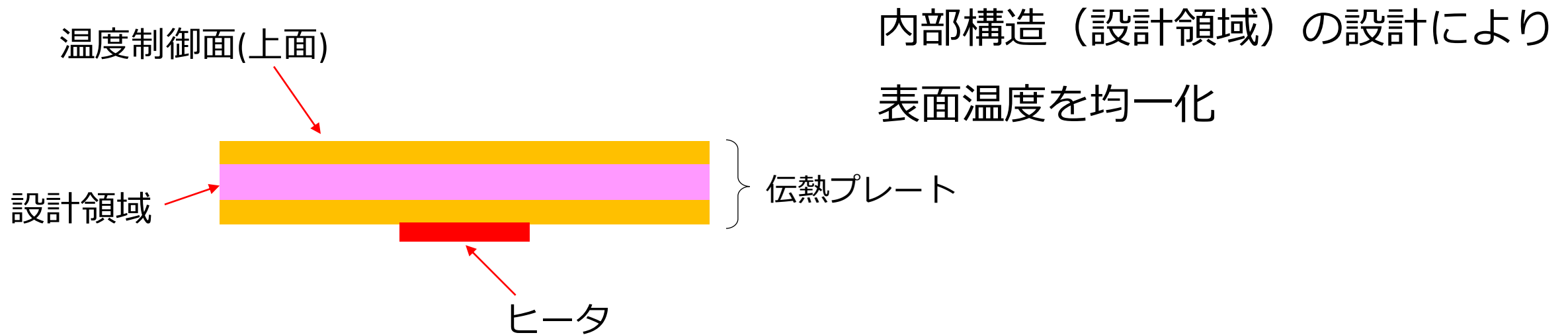


内部も使える分、さらなる高性能化が期待できる

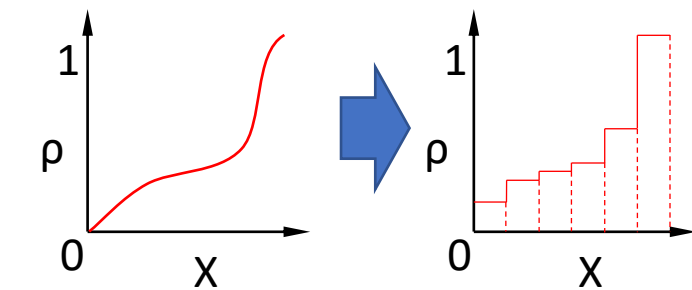
方法

案① 要素密度の離散化による方法

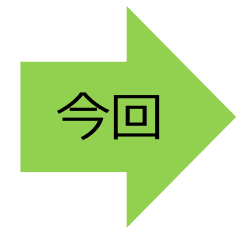
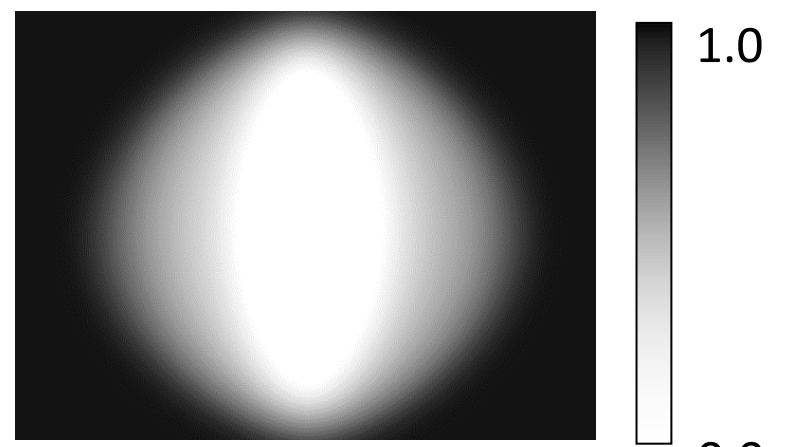
案② 熱伝導率の異方性による方法



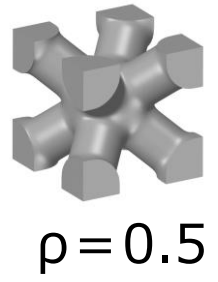
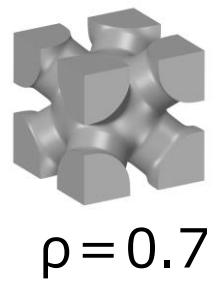
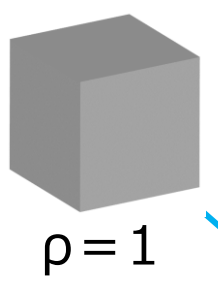
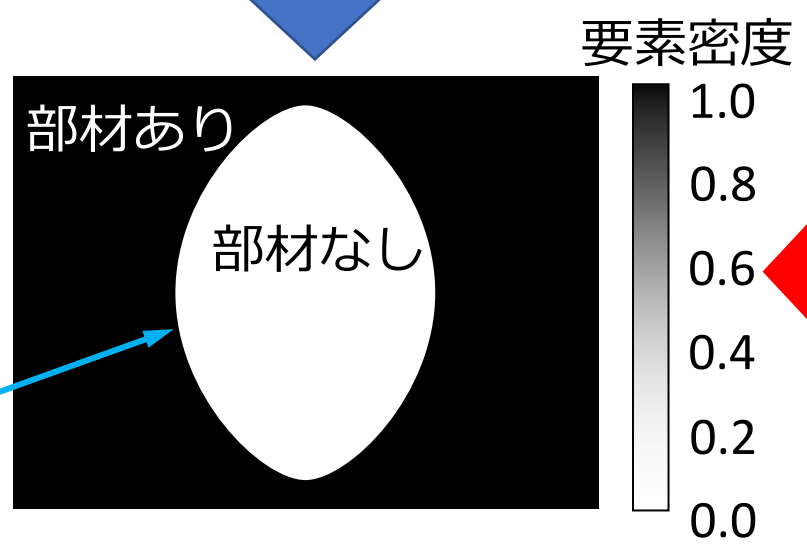
案① 要素密度の離散化による方法



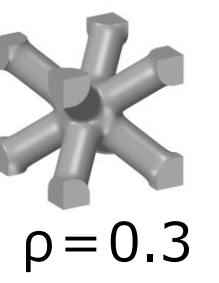
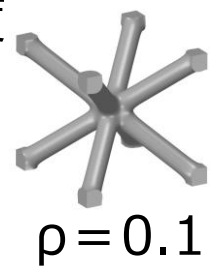
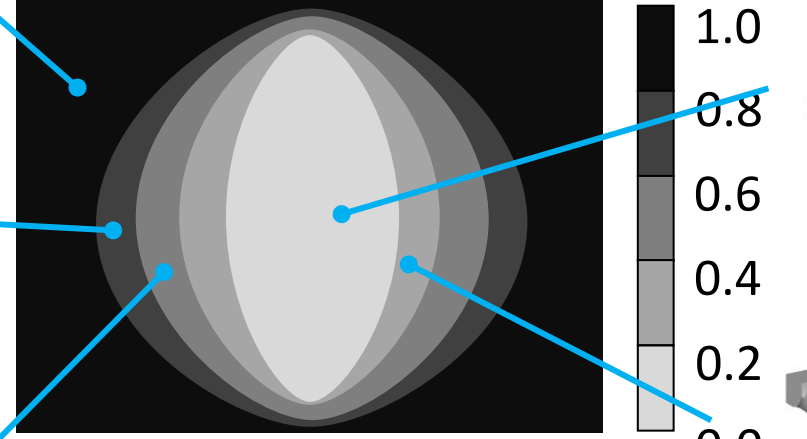
トポロジー最適化結果 要素密度



通常のトポロジー最適化



要素密度を離散化 要素密度



- 要素密度を離散化
- 要素密度 → 熱伝導率に変換
- ラティス構造で置き換え可能か検討

研究の流れ

実験

ラティス構造の造形性確認

ラティス構造による有効熱伝導率測定

造形により得られる熱伝導率範囲の把握

実験結果を反映

トポロジー最適化から要素密度算出

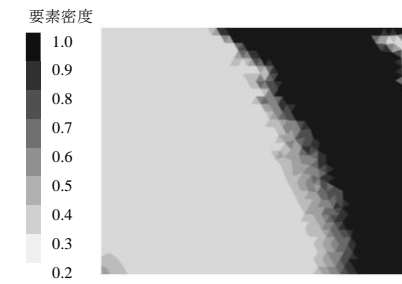
任意の要素密度範囲で領域分割

要素密度から熱伝導率算出

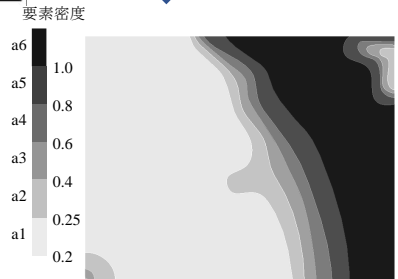
伝熱解析による均熱性の確認

解析

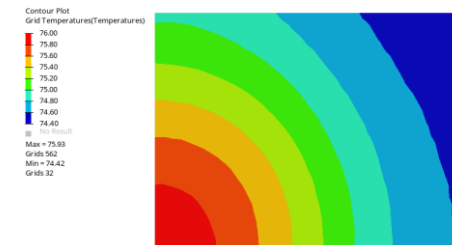
案① 要素密度の離散化による方法



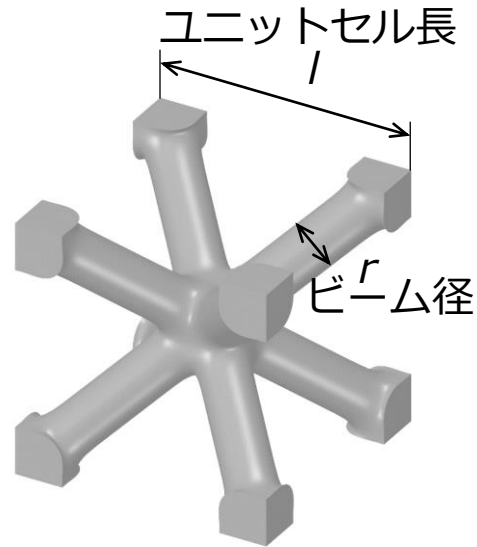
離散化



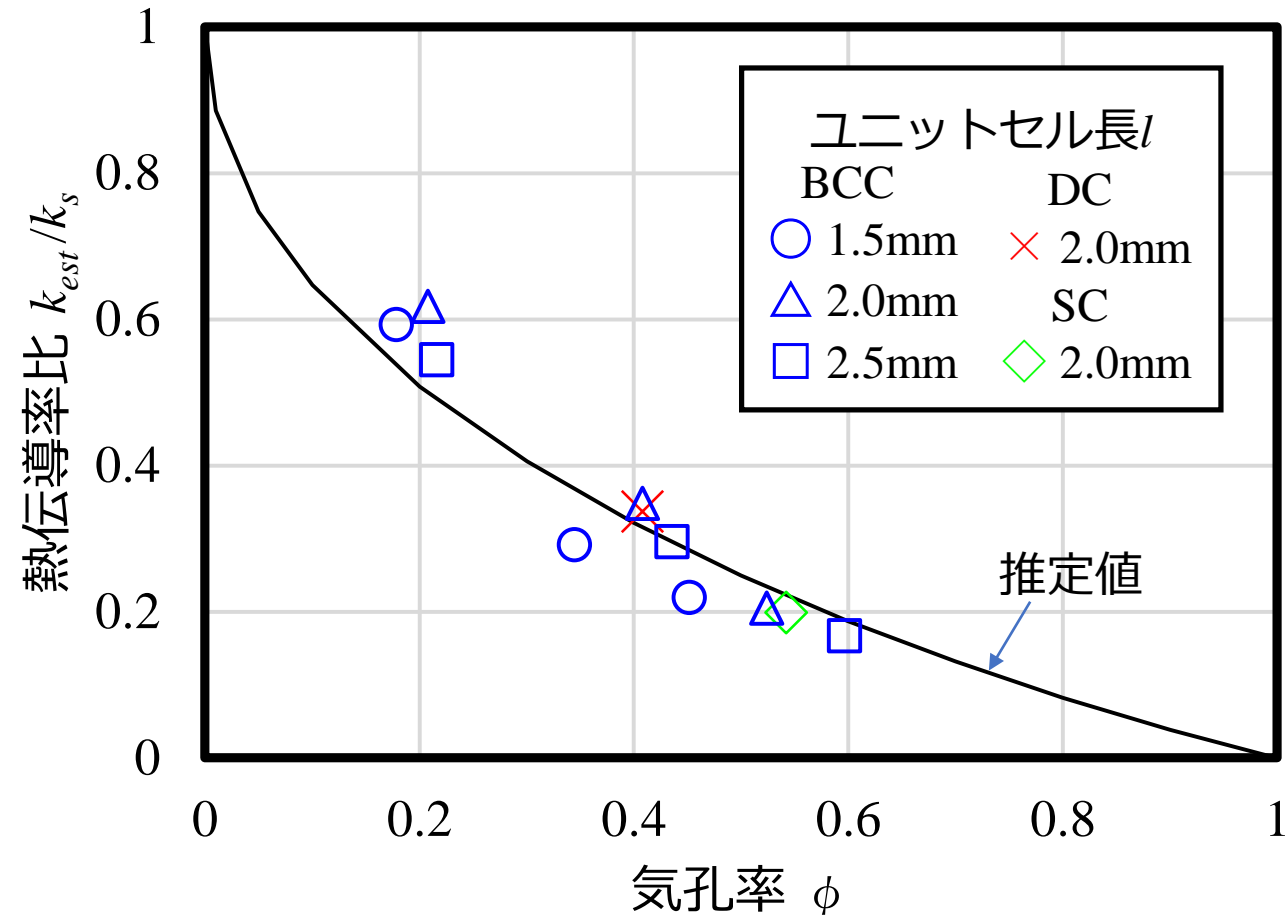
熱伝導率に変換
伝熱解析



ラティス構造による有効熱伝導率測定※1



形状	BCC	SC	DC
ユニットセル長 l	1.5mm、2.0mm、2.5mm	2.0mm	2.0mm
比率 r/l	0.10、0.17、0.23	0.17	0.17
セル層数	3層、4層、5層		



※1 参照規格: JISH7903

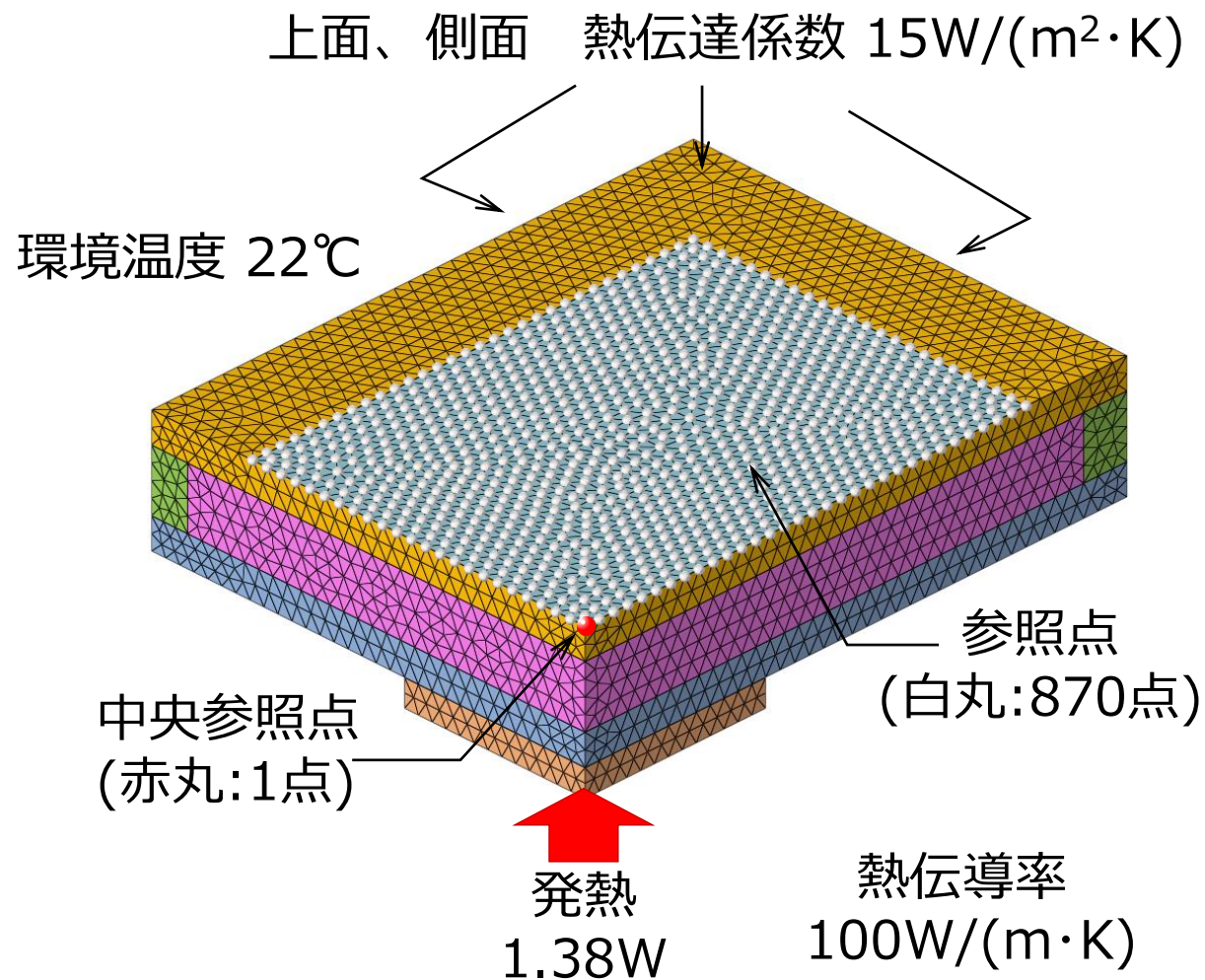
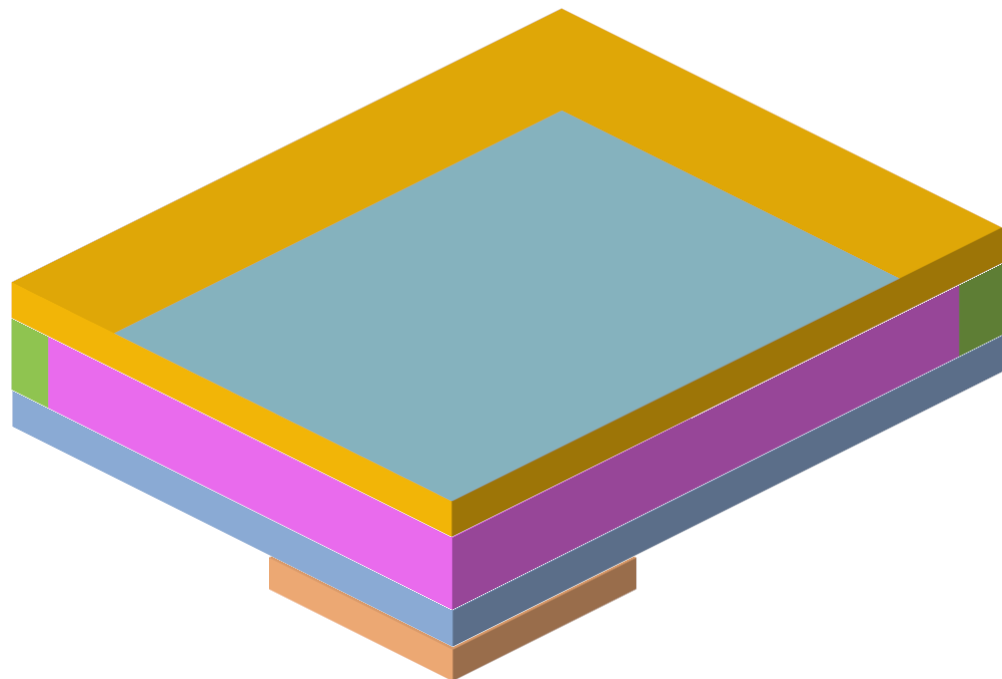
ラティス構造の条件により、任意の有効熱伝導率をもった部材が製造可能であることが分かった。

気孔率0.2~0.8であれば造形可能であることを確認 → この結果を解析条件に反映

解析

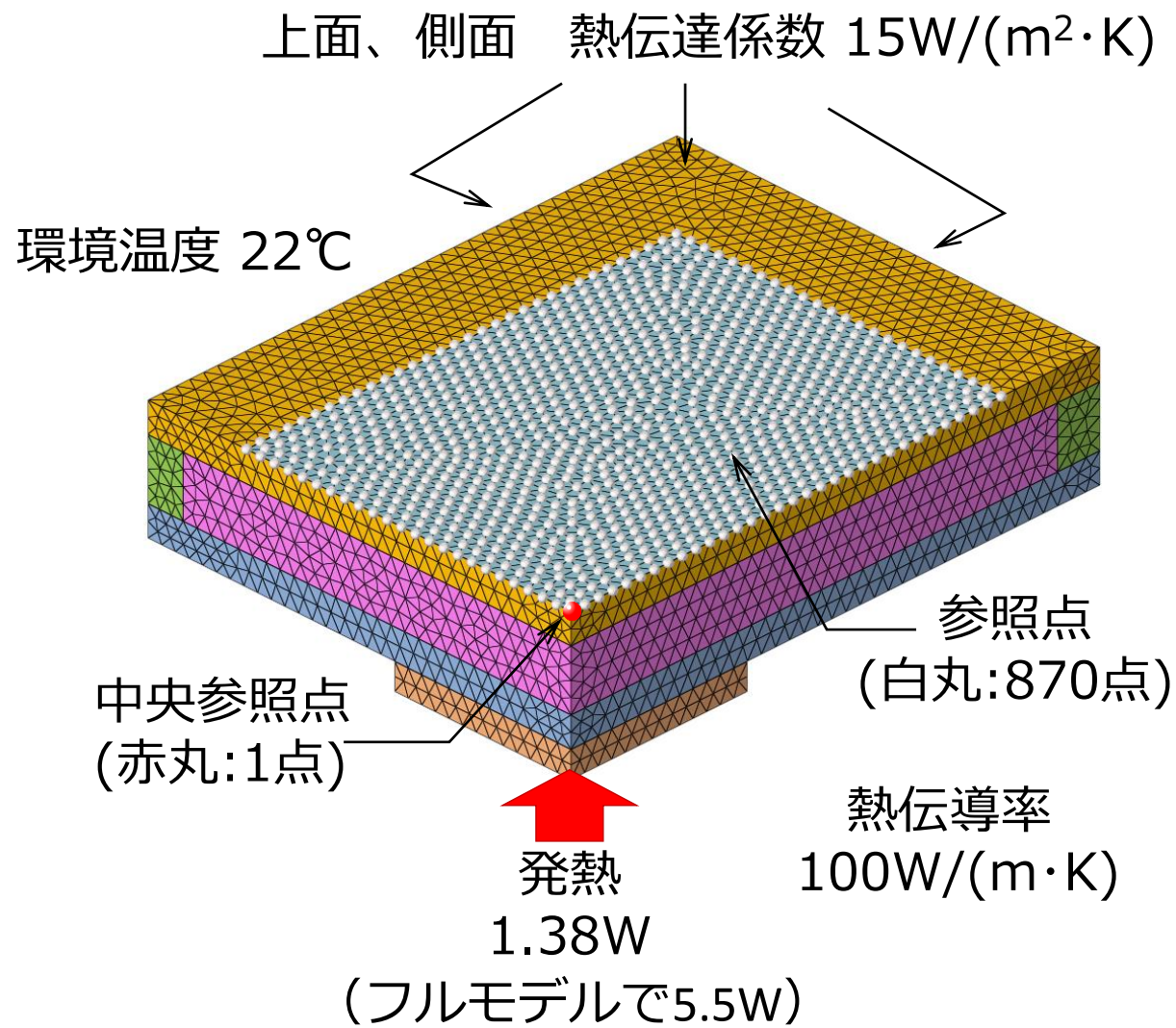
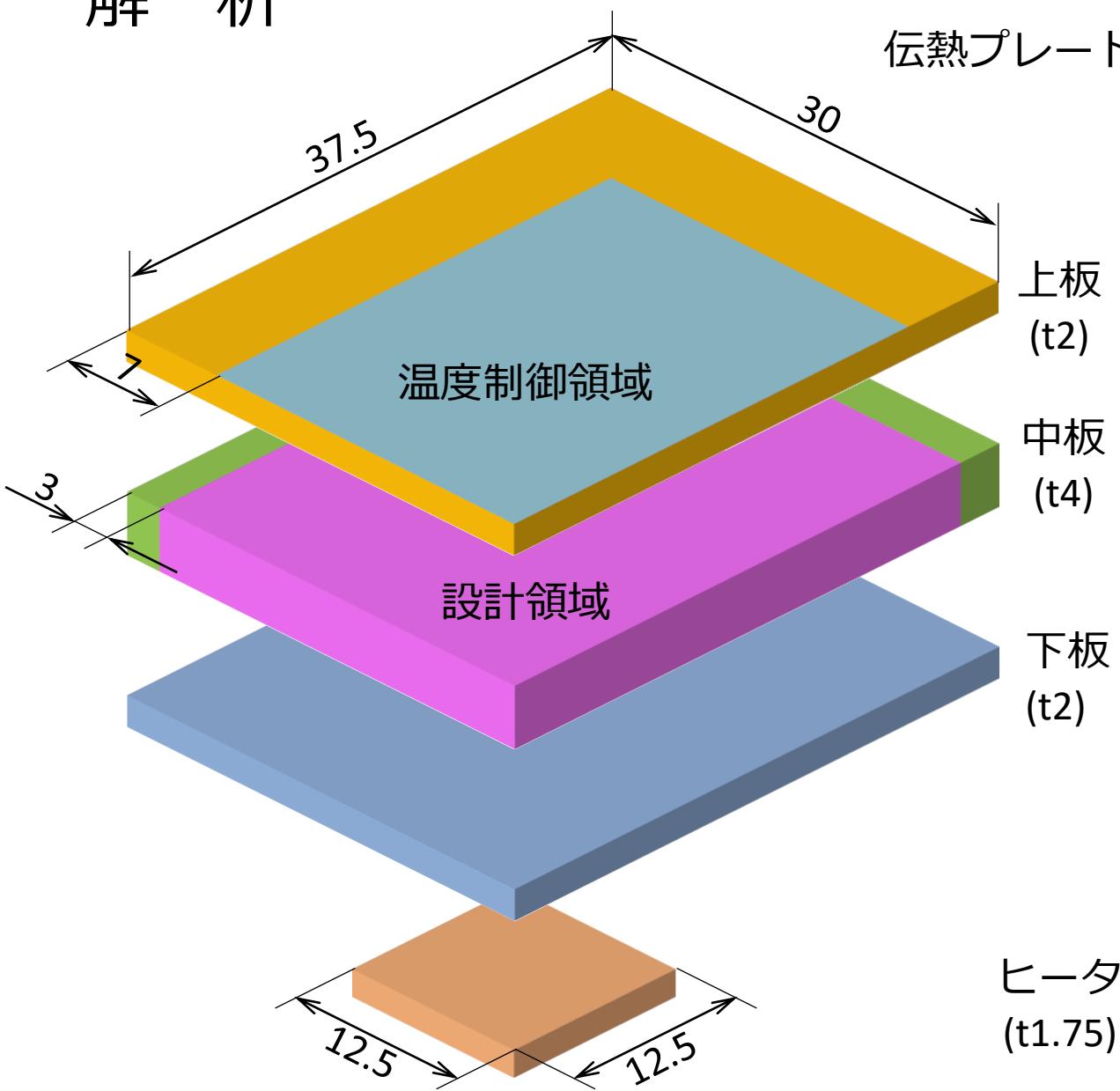
案① 要素密度の離散化による方法

伝熱プレート 1/4モデル

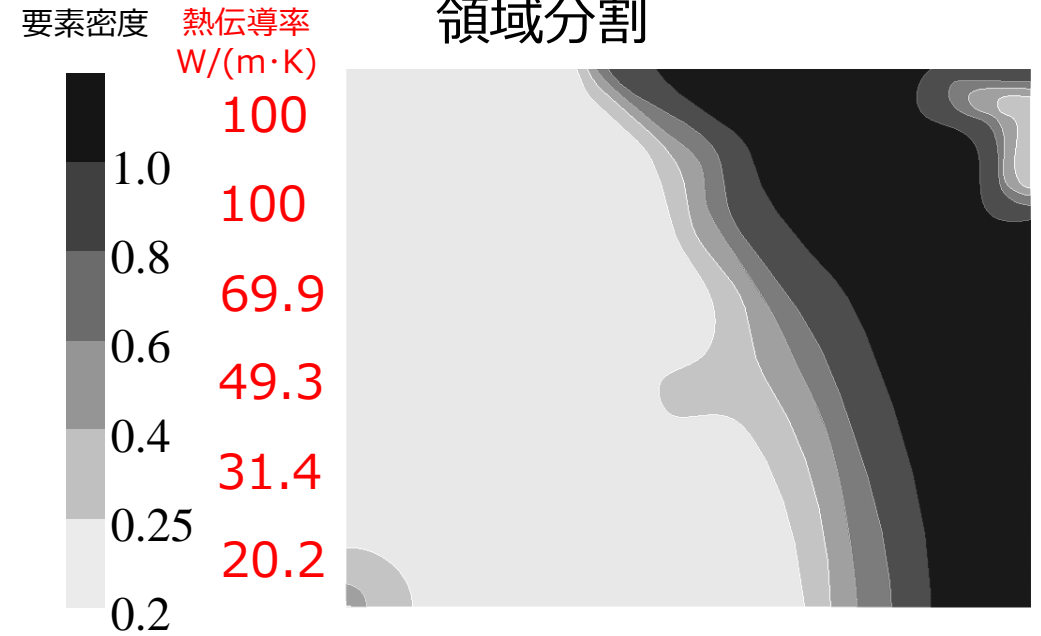
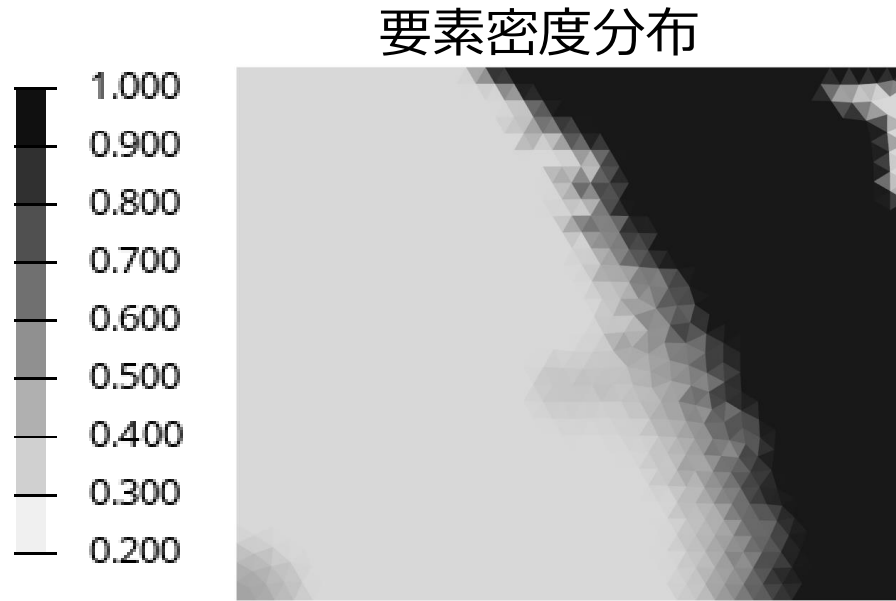


案① 要素密度の離散化による方法

解析



任意の要素密度範囲で領域分割

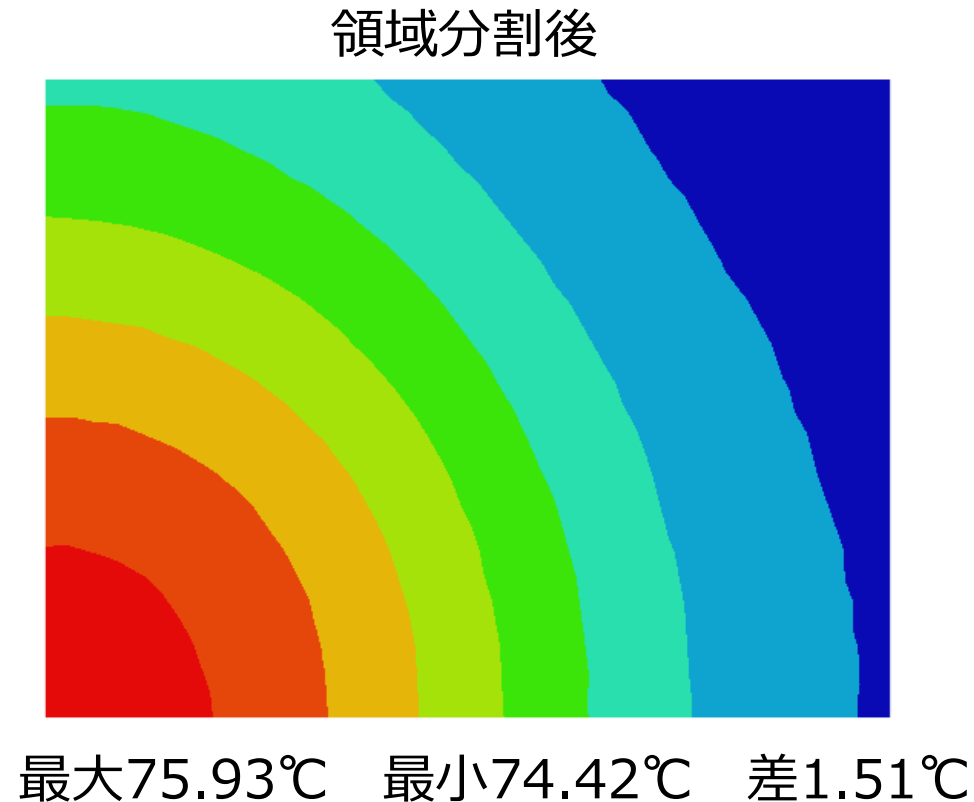
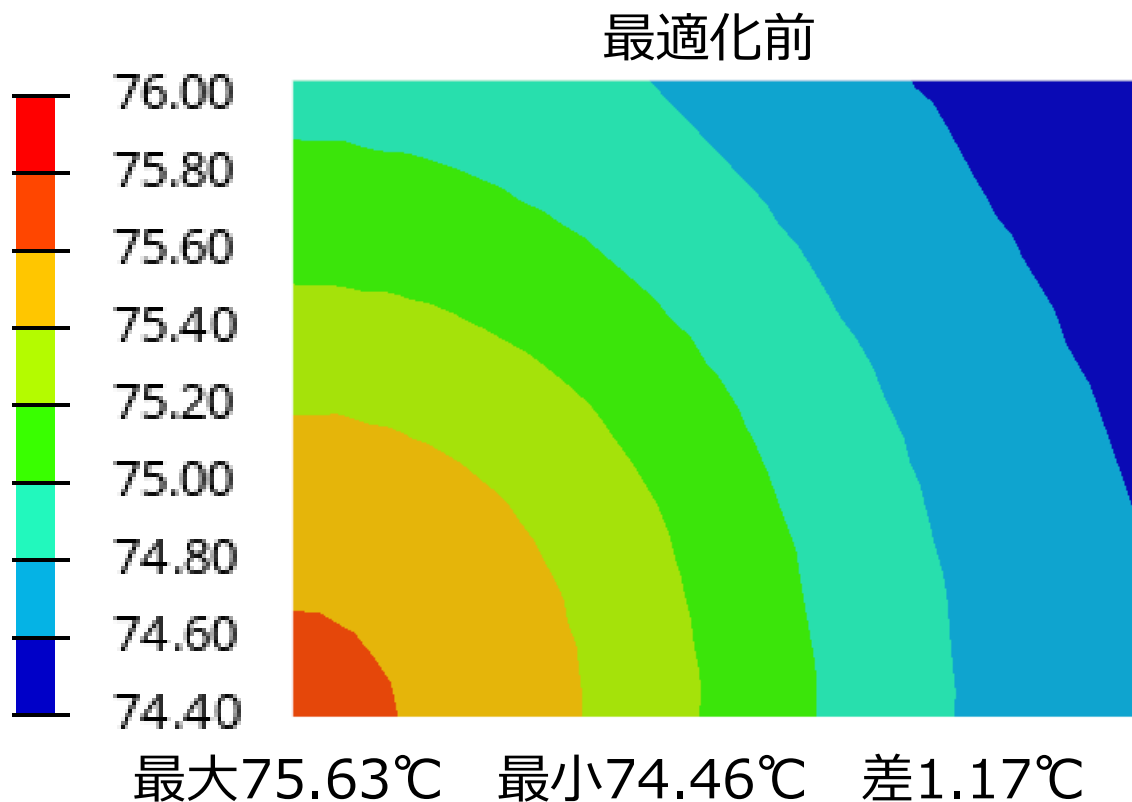


要素密度から熱伝導率算出

$$\lambda = \lambda_0 \rho^p$$

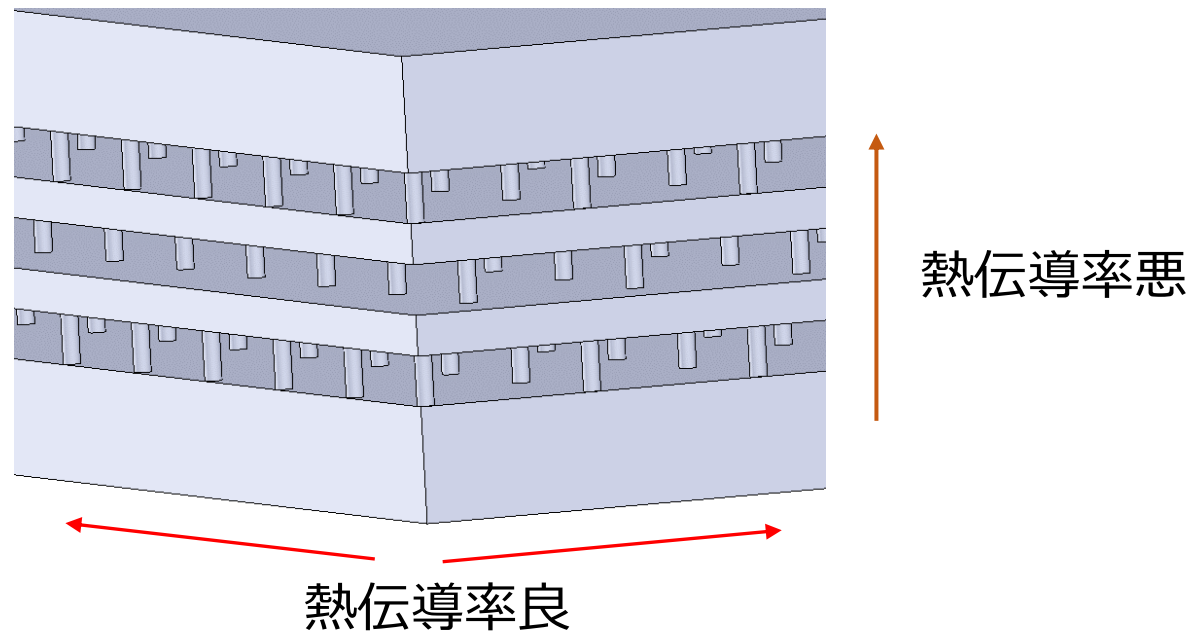
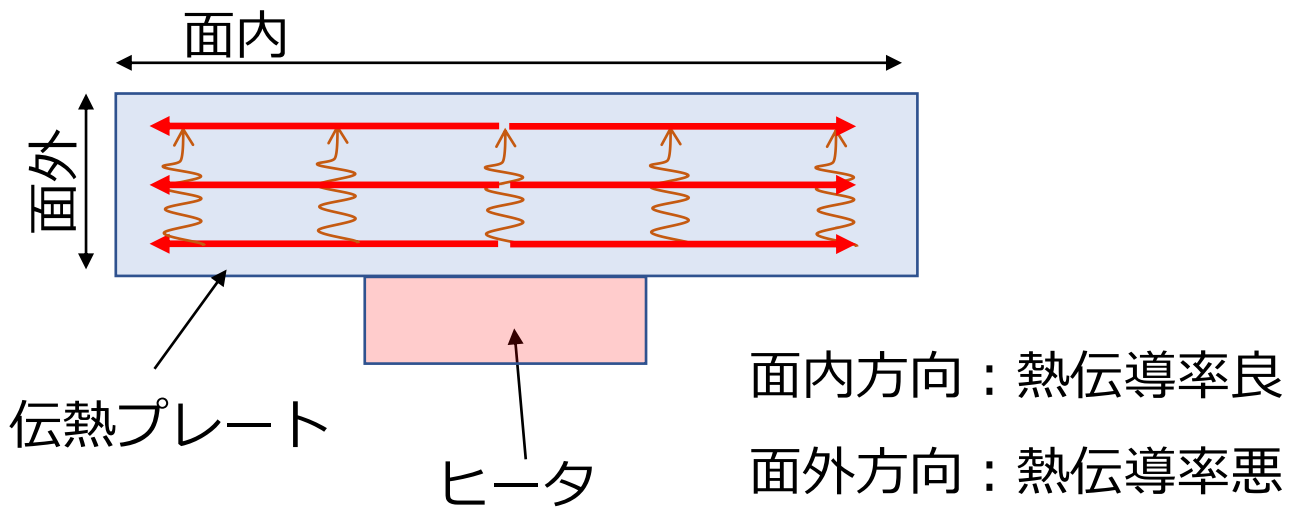
λ : ペナルティ後の熱伝導率
 ρ : 要素密度

λ_0 : 元の熱伝導率
 p : ペナルティ係数
 $p = 1.0001$

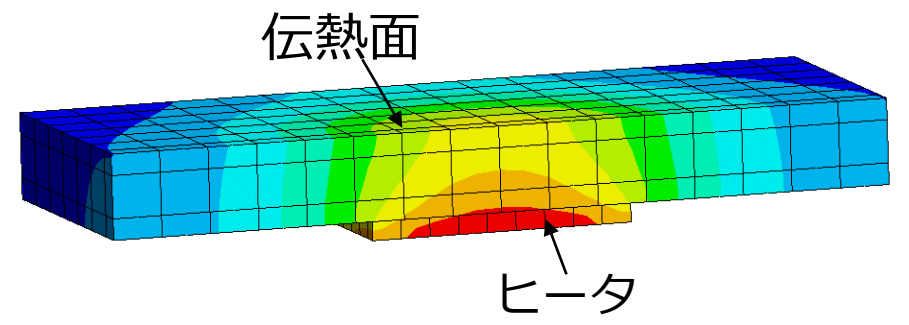


要素密度の離散化による方法では、均熱化ができないことが分かった

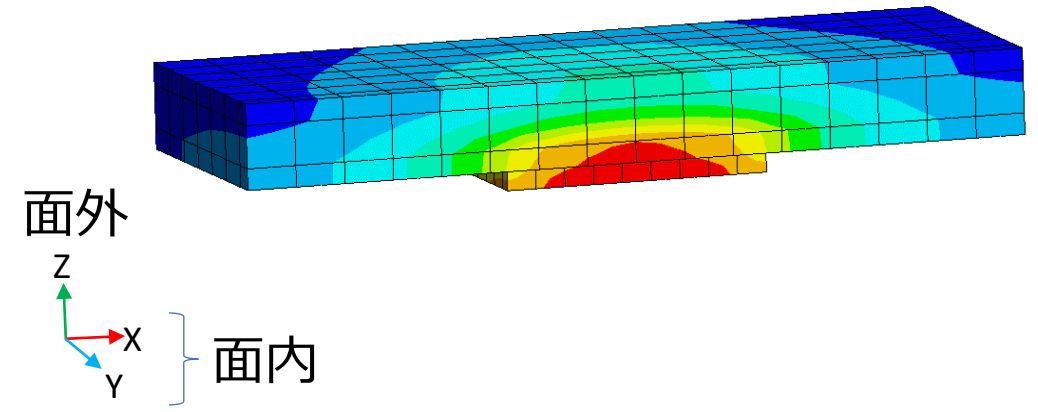
案② 熱伝導率の異方性による方法



異方性なし $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda$

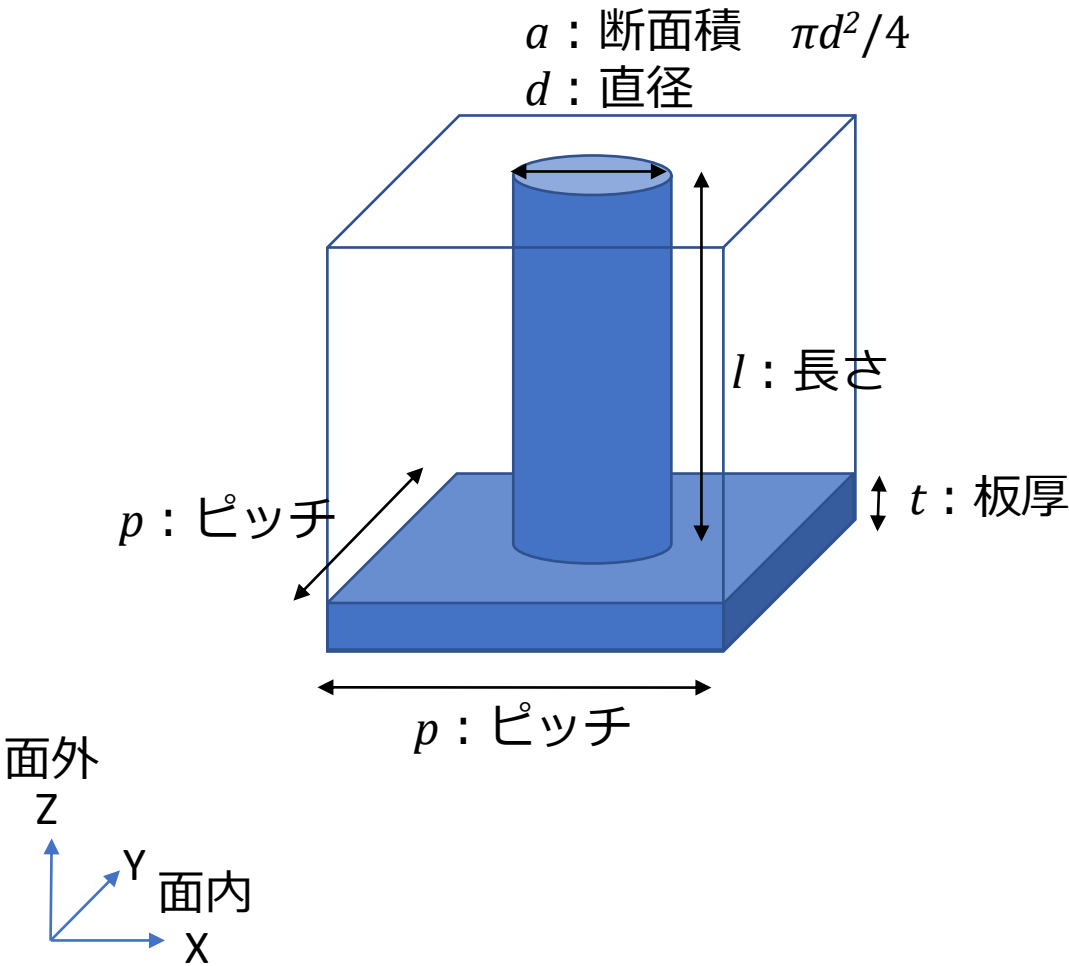


異方性あり $\lambda_x = \lambda_y = \lambda$
 $\lambda_z = \lambda/10$



形状の決定方法について

繰り返しの最小単位の形状において、面内方向と面外方向の熱抵抗の比が最も大きくなる形状を選択



○熱抵抗の基礎式

$$R = \frac{l}{\lambda A}$$

R : 熱抵抗 l : 長さ
 A : 断面積 λ : 熱伝導率

○面内方向の熱抵抗

$$R_i = \frac{1}{\lambda t}$$

○面外方向の熱抵抗

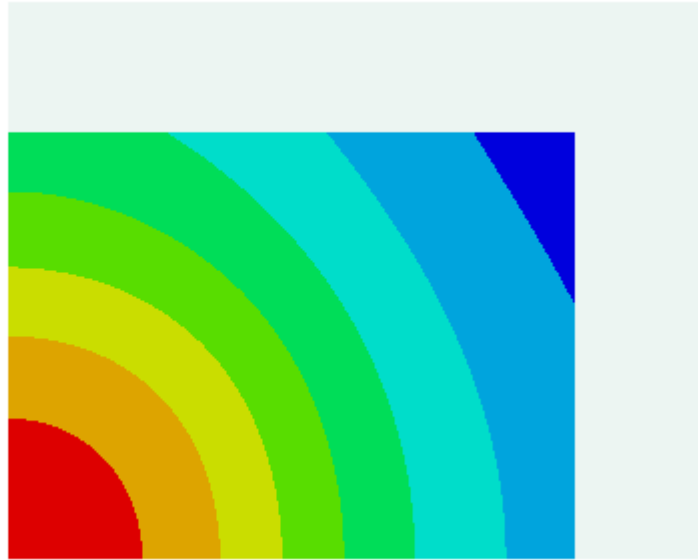
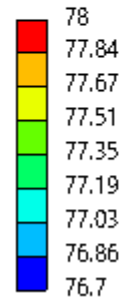
$$R_o = \frac{\frac{t}{p^2} + \frac{l}{a}}{\lambda t}$$

板厚方向に3層形成, ピッチ p を3mmとし

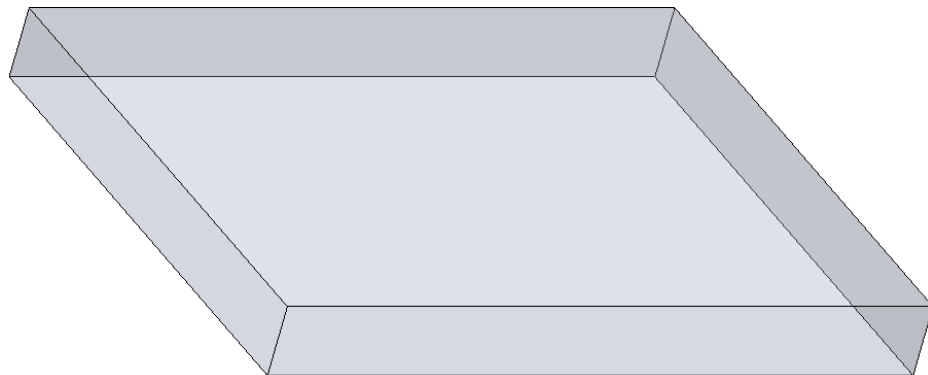
$\frac{R_o}{R_i}$ が最大になるよう, l, t, d を決定

解析結果

K: ムク板
 温度 2
 タイプ: 温度
 単位: °C
 時間: 1
 最大: 77.95
 最小: 76.77

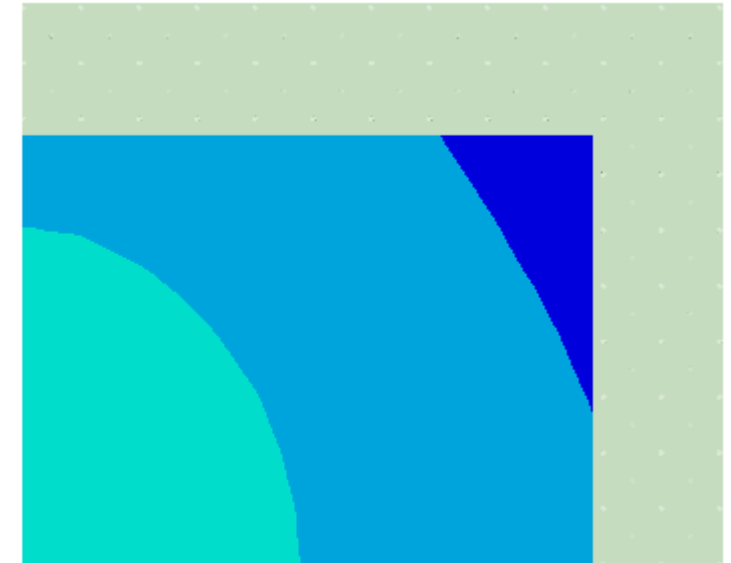
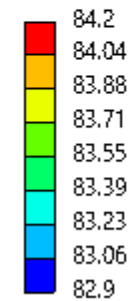


最大77.95°C 最小76.7°C 差1.18°C

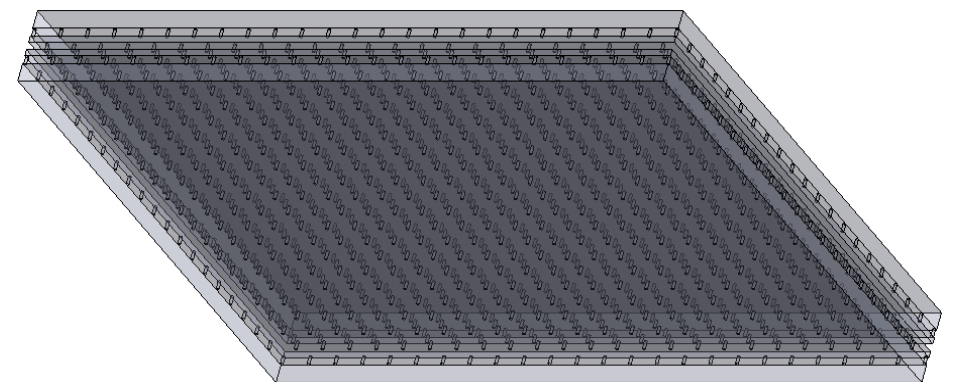


ムク

J: 異方性
 温度 2
 タイプ: 温度
 単位: °C
 時間: 1
 最大: 83.3
 最小: 82.99

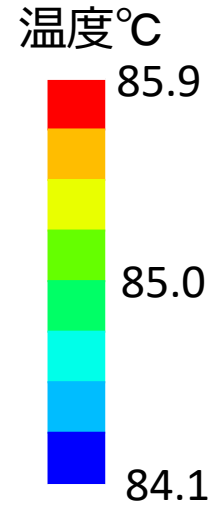
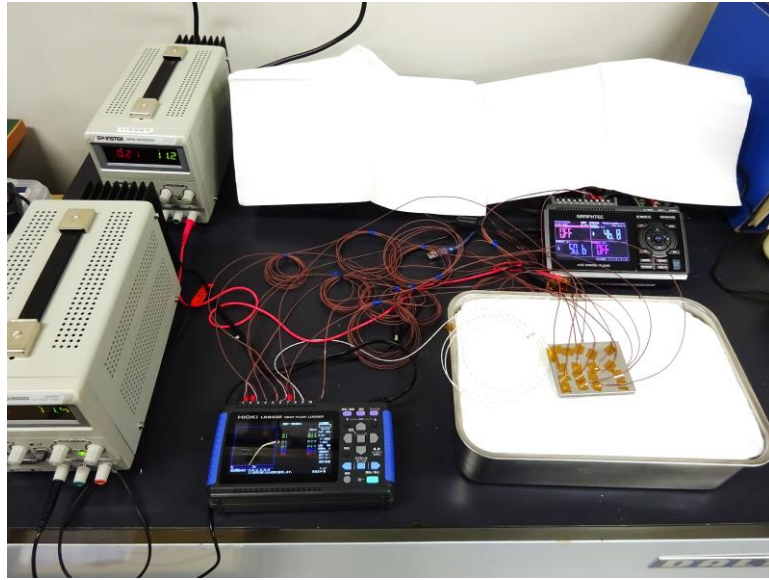


最大83.3°C 最小82.99°C 差0.31°C



異方性

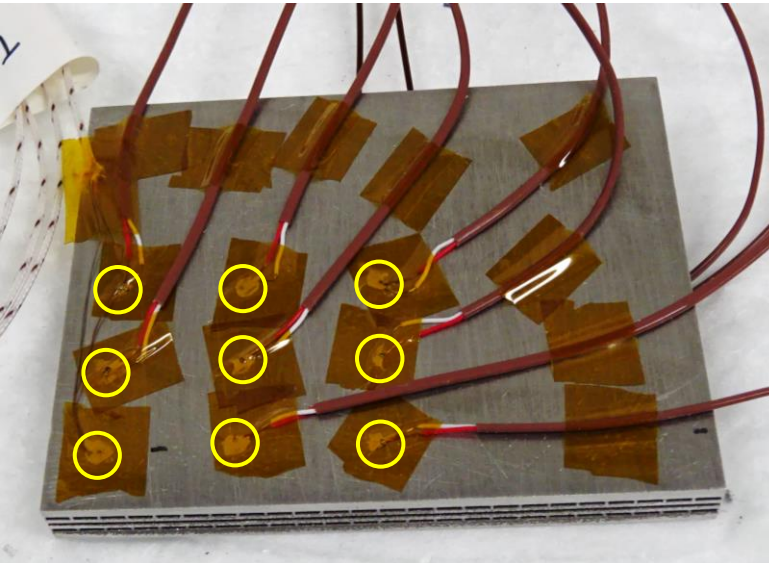
温度測定 (熱電対による多点測定)



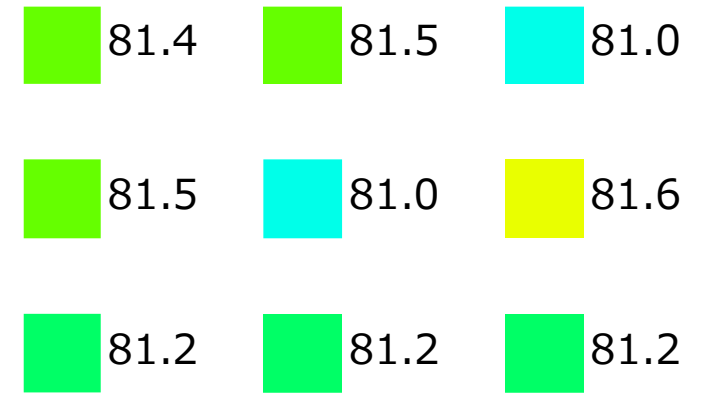
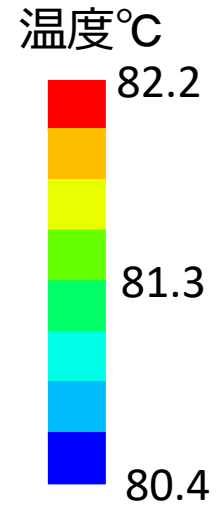
案② 熱伝導率の異方性による方法



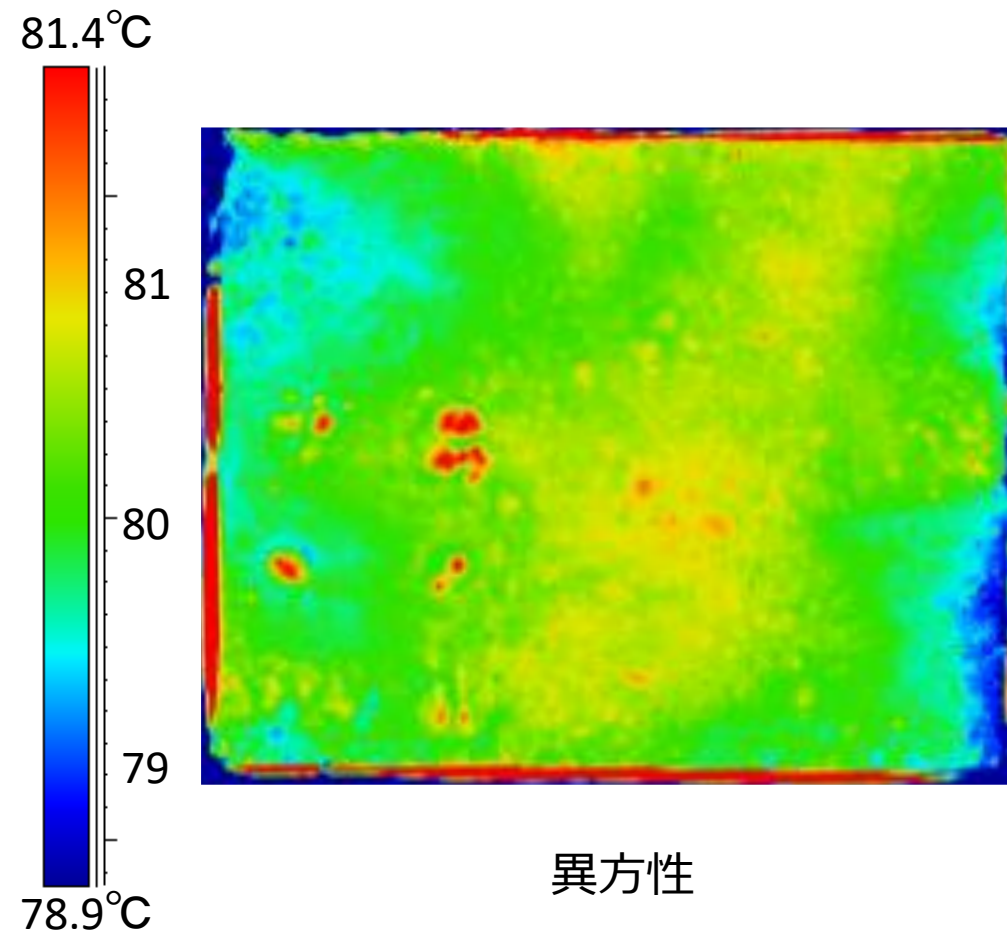
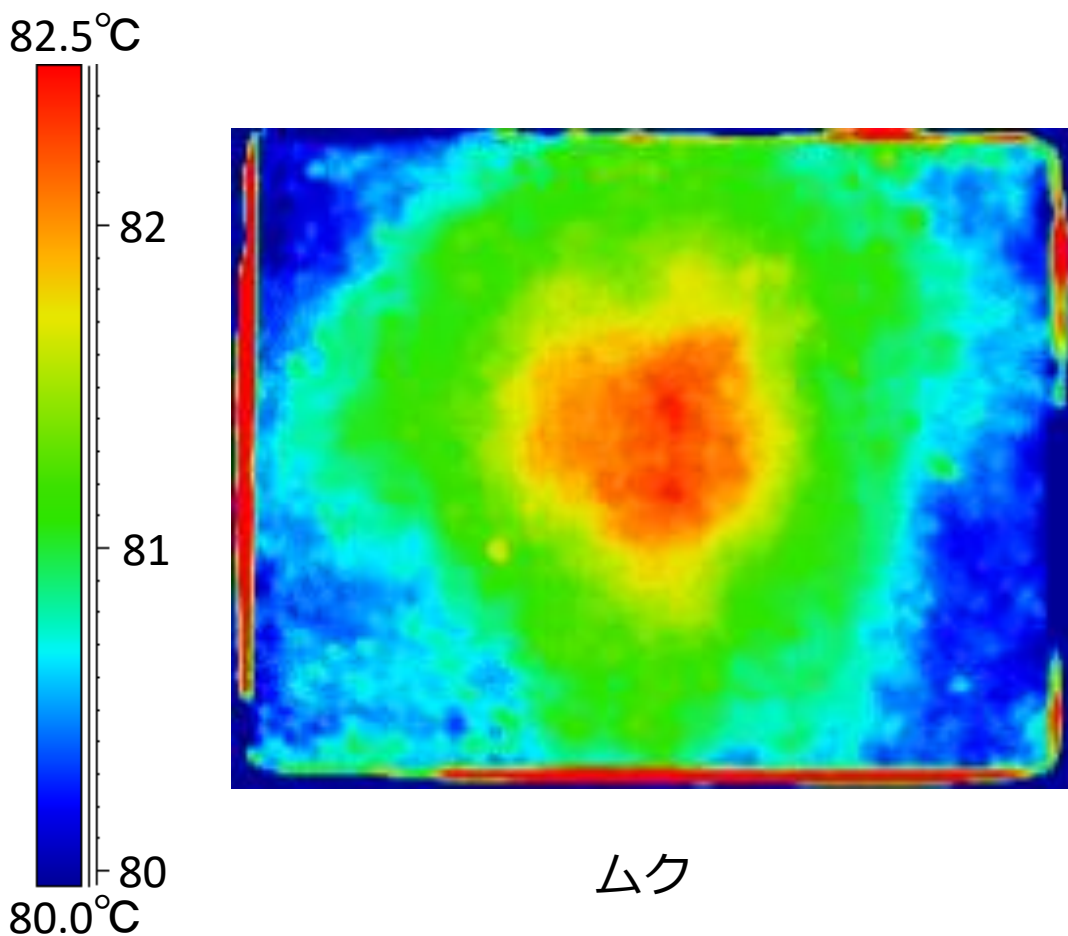
ムク 温度差 1.66°C



9点を測定



異方性 温度差 0.62°C



熱伝導率に異方性を持たせることで均熱化が図れることが分かった

まとめ

本研究では最適設計と金属積層造形による伝熱プレートの均熱化について検討を行い、以下のことが分かった。

- (1) ラティス構造の条件により、任意の有効熱伝導率をもった部材が製造可能であることが分かった。
- (2) 要素密度の離散化による方法では、均熱化ができないことが分かった。
- (3) 熱伝導率に異方性を持たせることにより、均熱化が図れることが分かった。