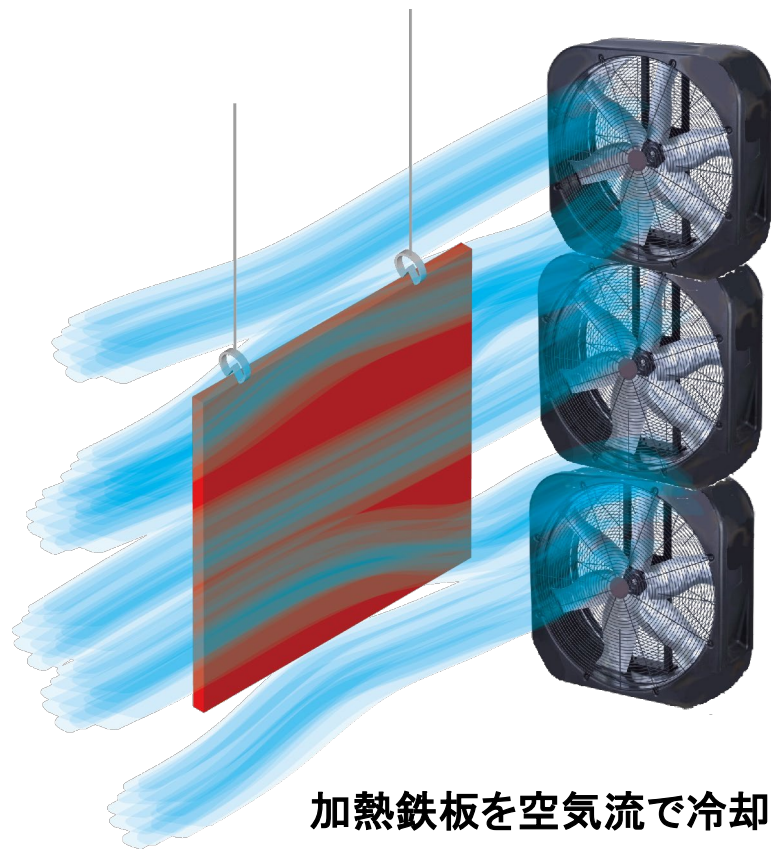




第2章 熱伝導（伝導伝熱）⑥

2-6. 非定常熱伝導の例題と演習問題



加熱鉄板を空気流で冷却する



冷蔵庫でスイカを冷やす

汎用熱伝導解析プログラムを用いて身近な非定常熱伝導問題を計算する



前回の内容

第2章 熱伝導（伝導伝熱）⑤

2-5. 非定常熱伝導

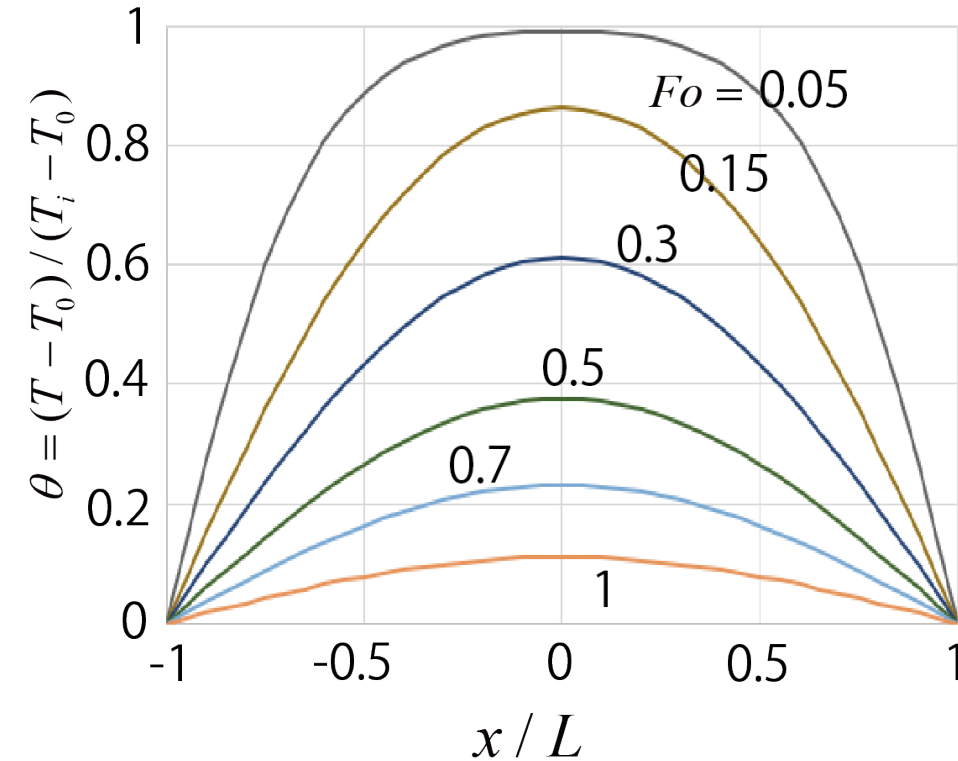
熱伝導方程式 $\frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}$

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2}$$

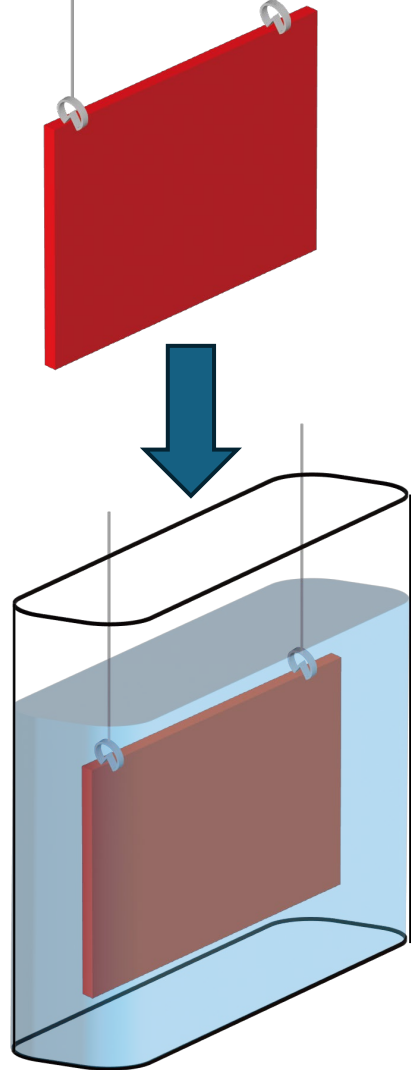
無次元数 Fo は、**フーリエ数**

$$\theta_s = \frac{T_s - T_\infty}{T_i - T_\infty}, \quad Bi = \frac{hL}{k}$$

無次元数 Bi は、**ビオ数**



非定常温度分布の無次元表示



均一に加熱された板を流体
に入れて冷却する場合



第2章 熱伝導（伝導伝熱）⑥

- 2-1. 定常熱伝導と物質の熱伝導率
- 2-2. 多層媒体の定常熱伝導
- 2-3. 定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-4. 熱伝導方程式と境界条件
- 2-5. 非定常熱伝導
- 2-6. 非定常熱伝導の例題と演習問題**
- 2-7. ニュートンの冷却法則



Q 伝熱工学 クイズ 2

【問題】

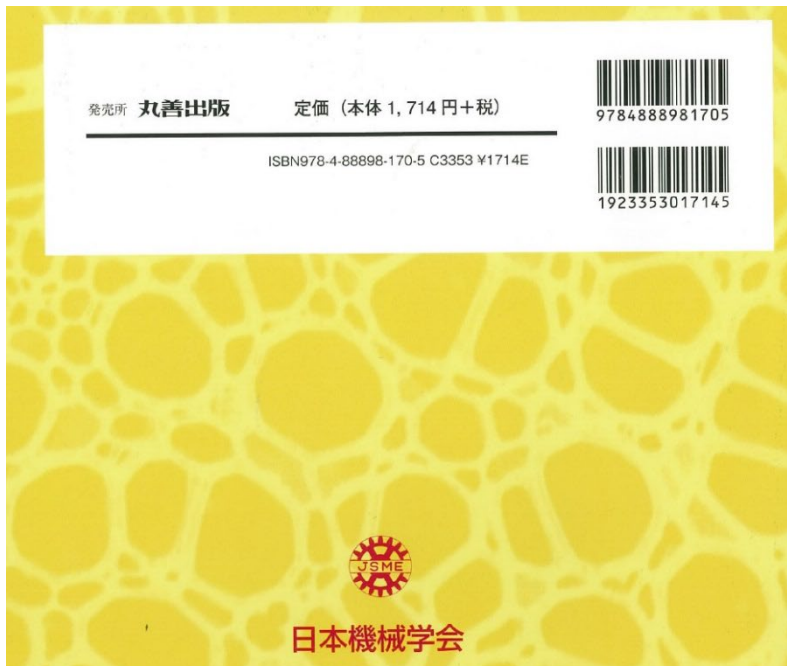
一辺が10cmの立方体のねずみ鋳鉄の固まりがある。この固まりの非定常伝熱を考えると、以下の問いに答えよ。ただし参考書「演習 伝熱工学」巻末の物性値を使うこと。

- (1) 特性長さ L と熱拡散率 α を求めよ。
- (2) フーリエ数 $Fo=\alpha t/L^2$ が1に相当する時間 t を計算せよ。
- (3) この立方体表面の熱伝達率を $100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ とすると、ねずみ鋳鉄の固まりのビオ数 $Bi=hL/k$ を計算せよ。

ここでビデオを止めて電卓を使って計算してみましょう。



伝熱工学クイズ2 物性値表の使い方



代表的物質の物性値

(日本機械学会, 伝熱工学資料, 改訂第4版, 1986, より抜粋)

物質の主要物性値

物性値	記号	単位	物性値	記号	単位
温度	T	K	プラントル数	Pr	—
圧力	p	Pa	表面張力	σ	mN/m
密度	ρ	kg/m ³	電気抵抗率	σ_e	$\Omega \cdot m$
比熱	c	J/(kg · K)	融点	T_m	K
定圧比熱	c_p	J/(kg · K)	沸点	T_b	K
粘度	μ	Pa · s	融解熱	Δh_m	J/kg
動粘度	ν	m ² /s	沸点における蒸発熱	Δh_v	J/kg
熱伝導率	k	W/(m · K)	臨界温度	T_c	K
熱拡散率	α	m ² /s	臨界圧力	p_c	Pa

固体の物性値

物質	T	ρ	c_p	k	α	ρ_e	備考
		$\times 10^3$	$\times 10^4$		$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-4}$	
銀 Ag	300	10.490	0.237	427	17.4	1.61	$T_m = 1235.08$
アルミニウム Al	300	2.688	0.905	237	9.68	2.75	$T_m = 933.5$
金 Au	300	19.30	0.129	315	12.8	2.25	$T_m = 1337.6$
銅 Cu	300	8.880	0.386	398	11.7	1.55	$T_m = 1357.6$
鉄 Fe	300	7.870	0.442	80.3	2.27	9.7	$T_m = 1810$
マグネシウム Mg	300	1.737	1.02	156	8.74	4.02	$T_m = 923$
ニッケル Ni	300	8.899	0.447	90.5	2.29	7.6	$T_m = 1728$
白金 Pt	300	21.460	0.133	71.4	2.52	10.5	$T_m = 2045$
けい素 Si	300	2.330	0.713	148	8.80	1.4×10^6	$T_m = 1685$
チタン Ti	300	4.506	0.522	21.9	0.925	47	$T_m = 1953$
タングステン W	300	19.250	0.133	178	6.62	5.0	$T_m = 3660$
亜鉛 Zn	300	7.131	0.389	121	4.16		$T_m = 692.7$
ねずみ錆鉄(3.35C-1.87Si)	300	7.320	0.503	42.8	1.16		
機械構造用炭素鋼 S35C(0.34C)	300	7.850	0.465	43.0	1.18		
オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304(18Cr-8Ni)	300	7.920	0.499	16.0	0.407	70.6	
インコネル 600(Ni-16Cr-6Fe)	300	8.420	0.444	14.8	0.396	103	
超ジュラルミン (展伸用) A2024-T4 (Al-4.5Cu-1.5Mg-0.25Cr)	300	2.770	0.88	120	4.92	5.8	$T_m = 911$
耐食アルミニウム展伸材 A-6060 (Al-3.5Mg-0.25Cr)	300	2.660	0.900	127	5.30	5.4	$T_m = 916$
6/4 黄銅(Cu-40Zn)	300	8.390	0.375	123	3.91	6.16	$T_m = 1178$
りん青銅(Cu-5Sn-0.2P)	300	8.860	0.380	84	2.50	8.7	$T_m = 1333$
ニクロム(Ni-10Cr)	300	8.670	0.444	17.4	0.45		$T_m = 1668$
6Al-4V 合金(Ti-6Al-4V)	300	4.420	0.537	7.6	0.213	168	$T_m = 1933$
はんだ(Sn-50Pb)	300	8.890	0.21	46.5	2.49	15.6	$T_m = 489$
アルミナ セラミックス Al_2O_3	300	3.890	0.779	36.0	1.189		気孔率 2%
マグネシア セラミックス MgO	300	3.510	0.924	48.4	1.49		気孔率 2%
サファイア (単結晶) Al_2O_3	300	3.970	0.779	46	1.49		
石英ガラス	300	2.190	0.74	1.38	0.085		
ソーダガラス	300	2.520	0.80	1.03	0.047		
天然ゴム	293	0.911	1.9	0.13	0.0078		軟質
シリコンゴム	293	0.970	1.6	0.20	0.014		
アクリル樹脂	293	1.190	1.4	0.21	0.012		
ふっ素樹脂 (テフロン)	293	2.170	0.96	0.24	0.012		
ポリエチレン樹脂	300	0.920	2.3	0.34	0.016		
花崗岩	400	2.650	1.1	4.3	0.15		
石灰岩	293	1.650	0.92	0.93	0.061		
木炭	293	0.191	1.0	0.07	0.038		
石灰岩コンクリート	293	2.400	0.90	1.2	0.057		
透明氷	273	0.917	2.0	2.2	0.12		
グラスウール断熱材	330	0.016	0.87	0.051	0.37		密度によって異なる
フォームポリスチレン	300	0.0159	2.8	0.042	0.097		密度によって異なる
押出発泡ポリスチレン	300	0.0286	1.9	0.038	0.071		密度によって異なる



一辺が10cmの立方体のねずみ鑄鉄の固まりがある。この固まりの非定常伝熱を考えると、以下の問いに答えよ。ただし参考書「演習 伝熱工学」巻末の物性値を使うこと。

(1) 特性長さと熱拡散率を求めよ。

物体の体積を V 、表面積を S とすると

立方体は6面の正方形で構成されるから、特性長さは

$$L = \frac{V}{S} = \frac{0.1 \times 0.1 \times 0.1}{0.1 \times 0.1 \times 6} = 1.667 \times 10^{-2} \text{ m}$$

巻末の「個体の物性値」より熱拡散率 α は

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} = 1.16 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$



一辺が10cmの立方体のねずみ鋳鉄の固まりがある。この固まりの非定常伝熱を考えると、以下の問いに答えよ。ただし参考書「演習 伝熱工学」巻末の物性値を使うこと。

(2) フーリエ数 $Fo=\alpha t/L^2$ が1に相当する時間 t を計算せよ。

定義式から、フーリエ数が1となる時間は

$$t = \frac{FoL^2}{\alpha} = \frac{1 \times (0.01667)^2}{1.16 \times 10^{-5}} = 23.96 = 24.0 \text{ s}$$



一辺が10cmの立方体のねずみ鋳鉄の固まりがある。この固まりの非定常伝熱を考えると、以下の問いに答えよ。ただし参考書「演習 伝熱工学」巻末の物性値を使うこと。

(3) この立方体表面の熱伝達率を $100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ とすると、ねずみ鋳鉄の固まりのビオ数 $Bi=hL/k$ を計算せよ。

ねずみ鋳鉄の熱伝導率は巻末の物性値より $k = 42.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

ビオ数は
$$Bi = \frac{hL}{k} = \frac{100 \times 1.667 \times 10^{-2}}{42.8} = 3.895 \times 10^{-2}$$

$Bi \ll 1$ なので、集中熱容量モデルが適用できる



非定常熱伝導の例題 1

【問題】

右図に示すように、工業プロセスで用いられる、加熱平板を空気流で冷却する場合を考える。

初期温度 530°C に加熱された厚さ 5cm の鋼板を、 30°C の空気流中に置いて冷却する場合を考える。平板の大きさは、厚さに比べて十分大きいとする。

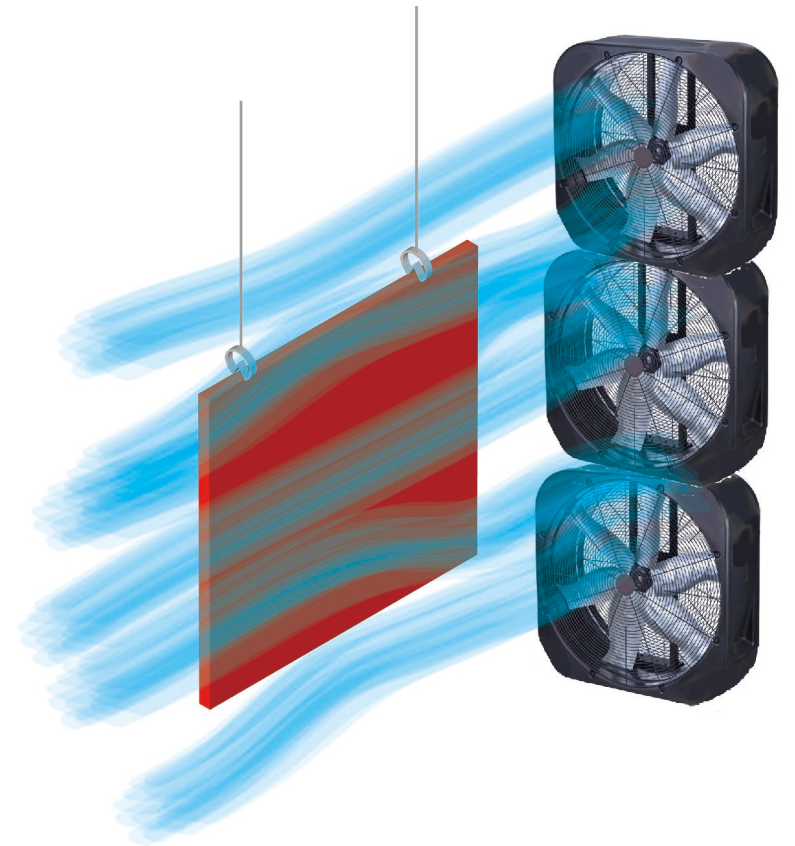
鋼板の中心温度が 180°C になる時間を計算せよ。

鋼板の熱物性値は、JSMEテキストシリーズ 演習伝熱工学 裏表紙の機械構造用炭素鋼の値を使用する。

つまり、鉄板の密度、比熱、熱伝導率を

$\rho=7850\text{ kg/m}^3$, $c_p=465\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $k=43\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ とする。

ふく射の寄与も考慮した、鋼板の強制対流総括熱伝達率は、 $h=80\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ とする。



均一に加熱された板を空気流で冷却する



【フリーソフトの導入】

講師が開発した、非定常熱伝導の汎用解析ソフトを導入する。

この画像下の説明文の「もっと見る」をクリックし、下記のアドレスのホームページを開く。

技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

<https://www.ifs.tohoku.ac.jp/komiya/maru/lecture/index.html>

そのホームページにある**汎用伝熱解析ソフト**をクリックし、プログラムのZipフォルダーをダウンロードし、その中のフォルダーを自分のコンピュータにコピーする。

このフォルダーには、このレクチャーシリーズで使う、熱流動の汎用ソフトが収納されている。実際の機器開発にも使用できるソフトが多いので、大いに活用していただきたい。

フォルダーの中に**汎用[非定常]熱伝導解析**が収納されている。今回は、このプログラムを使用するので、そのエクセルファイルを開ける。

他の汎用プログラムについては、この後のレクチャーシリーズで使い方を順次説明する。



東北大学

工学部

汎用[非定常]熱伝導解析Ver.2 表紙

伝熱工学の
基礎と応用

2-6

TDMAを用いた対称平板、円柱、球、両面平板、円管、球殻の非定常熱伝導解析プログラム Ver.2.1 圓山重直作成

数値解法の詳細や例題は、圓山重直、日本機械学会論文集 Vol.88, No.911, https://www.jstage.jst.go.jp/article/transjme/88/911/88_22-00105/article/-char/ja 参照
使い方と注意:赤字のセルに数値入力またはプルダウンしてください。物体各部の温度変化と物体内の温度分布が計算されます。本プログラムの使用によって発生した直接的・間接的責任は負いませんのでご了承ください。
空間分割数N=20の場合、TDMA(3重対角行列アルゴリズム)を使用して、対称平板、中央円柱、球、両面平板、中央円管、球殻の形状について、
1つのプログラムで、3種類の境界条件と単位体積当たりの発熱量を任意に与えた条件で計算可能な汎用Excelプログラムを提示します。

2025.06.04改訂

解析形状

円柱

解析形状をプルダウンで選択

解析形状(Pull Down)

初期温度 T_1 (°C, K)

赤字の部分だけ数値を入れる
その他は入力不可

基本長さ1, 初期温度0, 熱物性値1, 境界条件の値を1とすると、ピッチが1の無次元表示と同じになり、時間はフォーエバーとなる

0.001 to N+1の値を入れる。
対称平板、中央円柱、球の場合は0を入れる

基本長さ L, R (m)

外側境界の長さを入れる

対称パラメータ Fo が1の特性時間 (s)

現象の時間が短く、熱透過深さが浅いときは、外側境界の長さを熱透過深さの数倍に設定し、外側境界は断熱条件とする

媒体の熱物性

熱伝導率 k (W/(mK))

密度 ρ (kg/m³)

比熱 c_p (J/(kgK))

体積当たり発熱量 $\dot{q}$ (W/m³)

内側境界条件

第1種境界条件(Pull Down)

壁面温度 (°C)

壁面熱流束 q (W/m²)

熱伝達率 h (W/(m²K))

外部流体温度 T_{∞} (°C, K)

外部流体温差 (°C)

外側境界条件

第1種境界条件(Pull Down)

壁面温度 (°C)

壁面熱流束 q (W/m²)

熱伝達率 h (W/(m²K))

外部流体温度 T_{∞} (°C, K)

外部流体温差 (°C)

第1種境界条件: 温度が境界で与えられる場合
第2種境界条件: 熱流束が境界で与えられる場合
第3種境界条件: 熱伝達率と外部流体温度が与えられる場合

壁面熱流束 q (W/m²)

熱伝達率 h (W/(m²K))

外部流体温度 T_{∞} (°C, K)

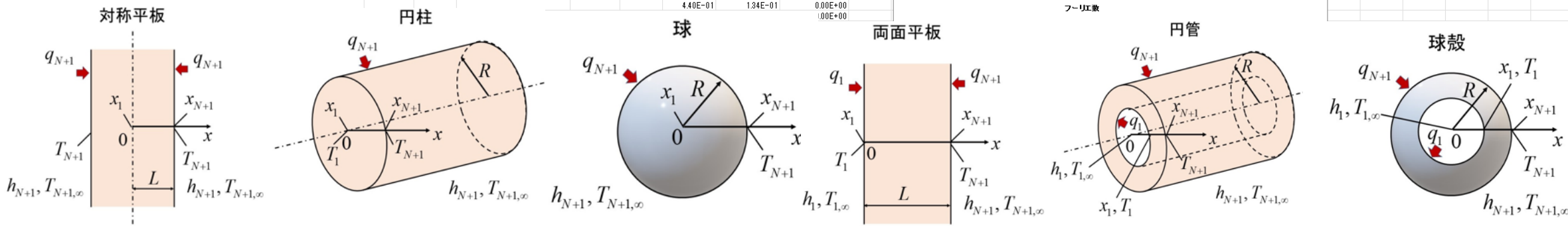
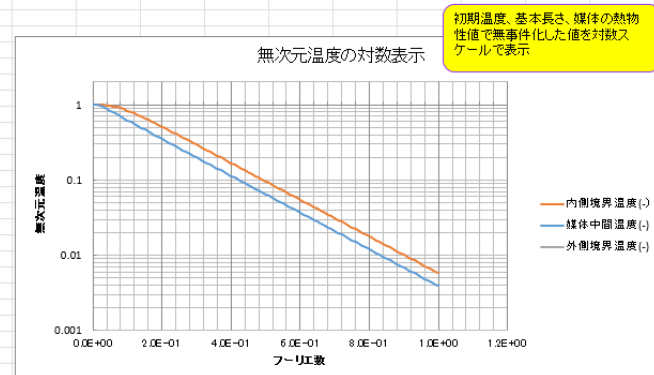
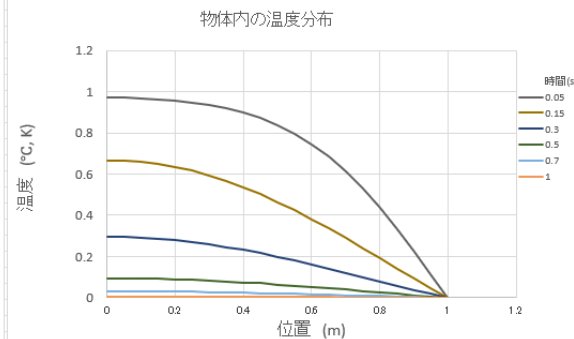
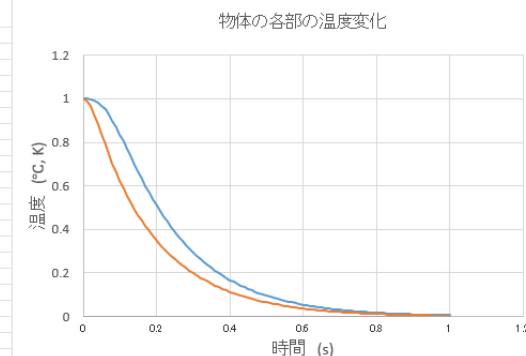
ピッチ数 Bt

境界条件に対応した値を入力する

時間(s)

内側境界温度 (°C, K)

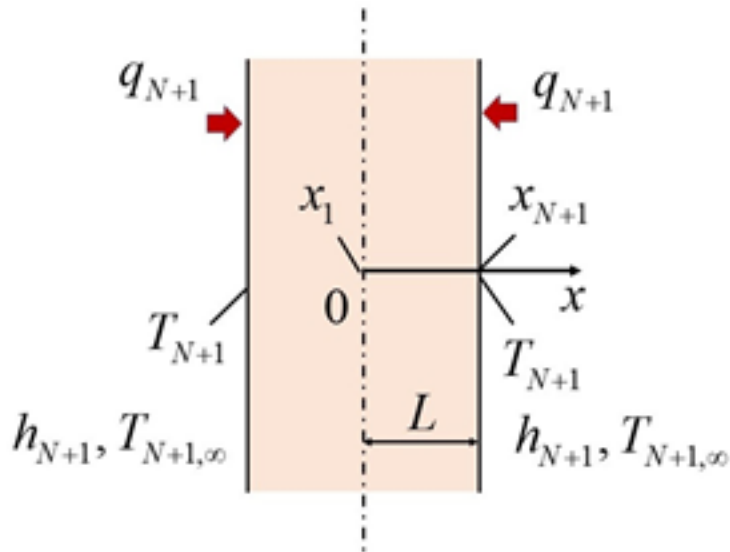
外側境界温度 (°C, K)



非定常熱伝導の例題 1 データ入力

解析形状

対称平板



解析形状(Pull Down)

x_1
 x_{N+1}
 領域分割数 N
 解析時間 (s)
 初期温度 T_i (°C, K)

赤字のデータを入力

対称平板

0
 2.50E-02
 20
 3.60E+03
 530

媒体の熱物性

熱伝導率(W/(mK))
 密度(kg/m³)
 比熱(J/(kgK))
 体積当たり発熱量(W/m³)

43
 7850
 465
 0

内側境界条件

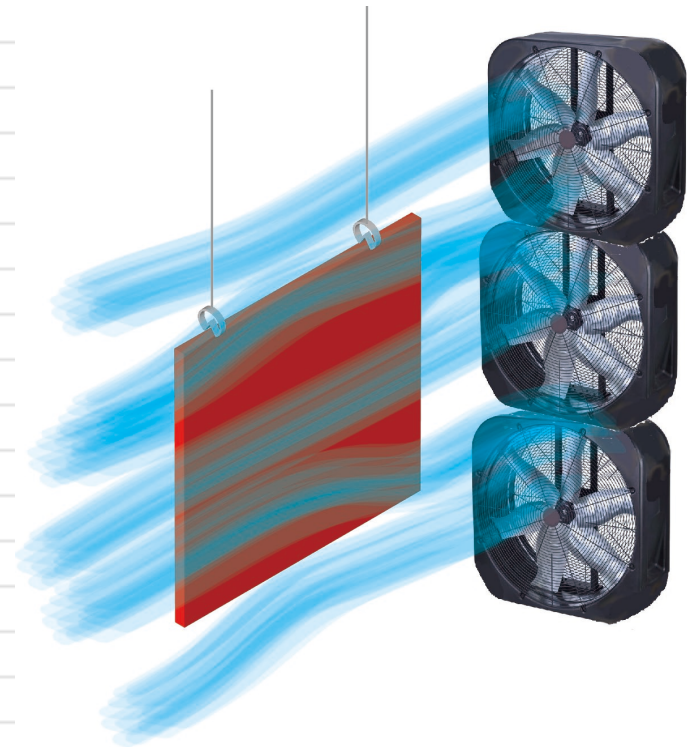
第 ? 種境界条件(Pull Down)
 壁面温度(°C)
 壁面熱流束(W/m²)
 熱伝達率(W/(m²K))
 外部流体温度(°C)

2
 0
 0.00E+00
 0
 0

外側境界条件

第 ? 種境界条件(Pull Down)
 壁面温度(°C)
 壁面熱流束(W/m²)
 熱伝達率(W/(m²K))
 外部流体温度(°C)

3
 0
 0
 80
 30



均一に加熱された板を空気
流で冷却する



非定常熱伝導の例題 1 解析結果

形状条件

基本長さ L, R (m)	2.500E-02
空間差分 Δx (m)	1.250E-03
時間差分 Δt (s)	3.600E+01
δ	0
対称パラメータ	0
Fo が1の特性時間 (s)	2.12E+03

内側境界条件

壁面温度 T_1 (°C, K)	—
壁面熱流速 q_1 (W/m ²)	—
熱伝達率 h_1 (W/(m ² K))	—
外部流体温度 $T_{1\infty}$ (°C, K)	—
ビオ数 Bi	—

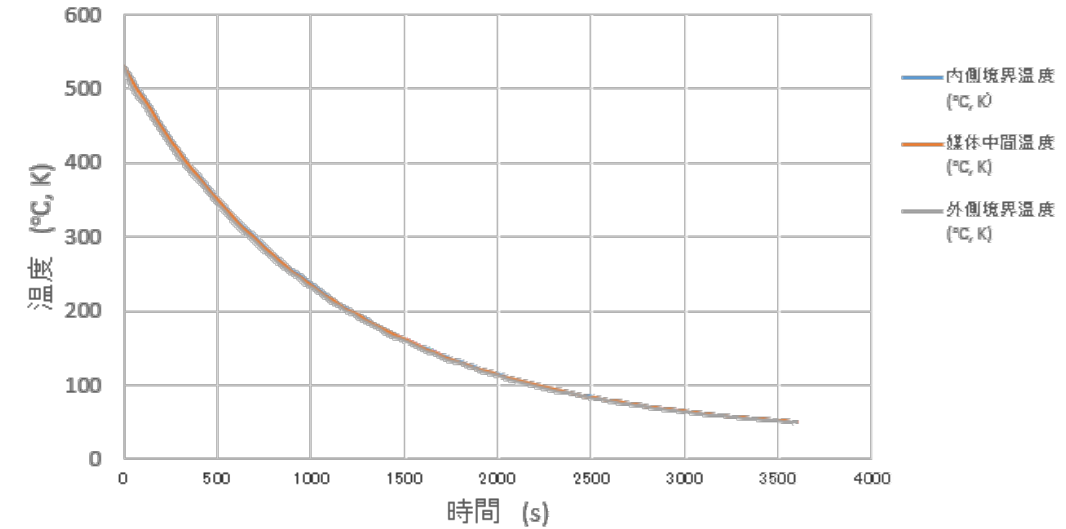
外側境界条件

熱伝達率一定	
壁面温度 T_{N+1} (°C, K)	—
壁面熱流速 q_{N+1} (W/m ²)	—
熱伝達率 h_{N+1} (W/(m ² K))	80
外部流体温度 $T_{N+1\infty}$ (°C, K)	30
ビオ数 Bi	4.65E-02

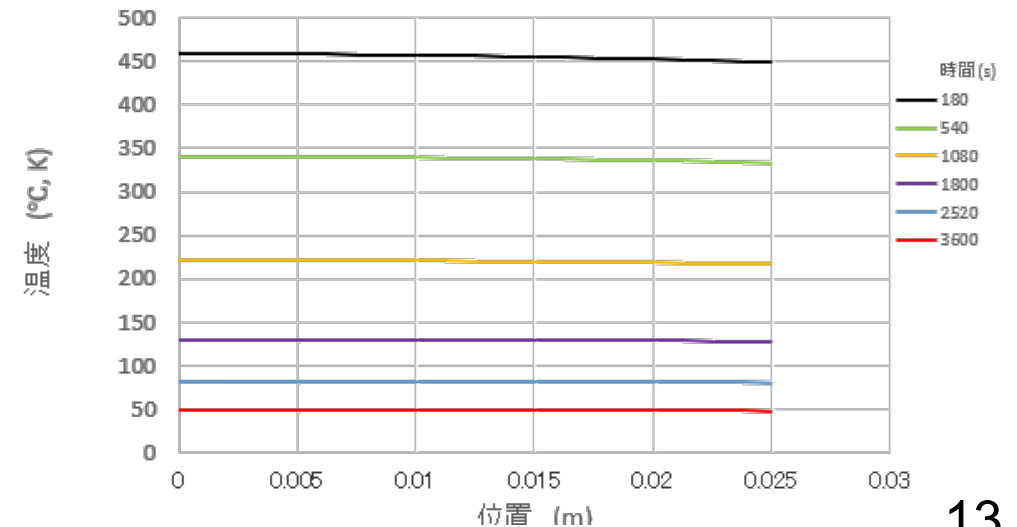
時間(s)	内側境界温度 (°C, K)	外側境界温度 (°C, K)
1.19E+03	2.04E+02	2.00E+02
1.22E+03	1.99E+02	1.95E+02
1.26E+03	1.93E+02	1.90E+02
1.30E+03	1.88E+02	1.85E+02
1.33E+03	1.83E+02	1.80E+02
1.37E+03	1.78E+02	1.75E+02
1.40E+03	1.74E+02	1.70E+02
1.44E+03	1.69E+02	1.66E+02
1.48E+03	1.65E+02	1.62E+02
1.51E+03	1.60E+02	1.57E+02
1.55E+03	1.56E+02	1.53E+02
1.58E+03	1.52E+02	1.49E+02
1.62E+03	1.48E+02	1.46E+02

中心温度が180°Cになる
までに約22分かかる。

物体の各部の温度変化

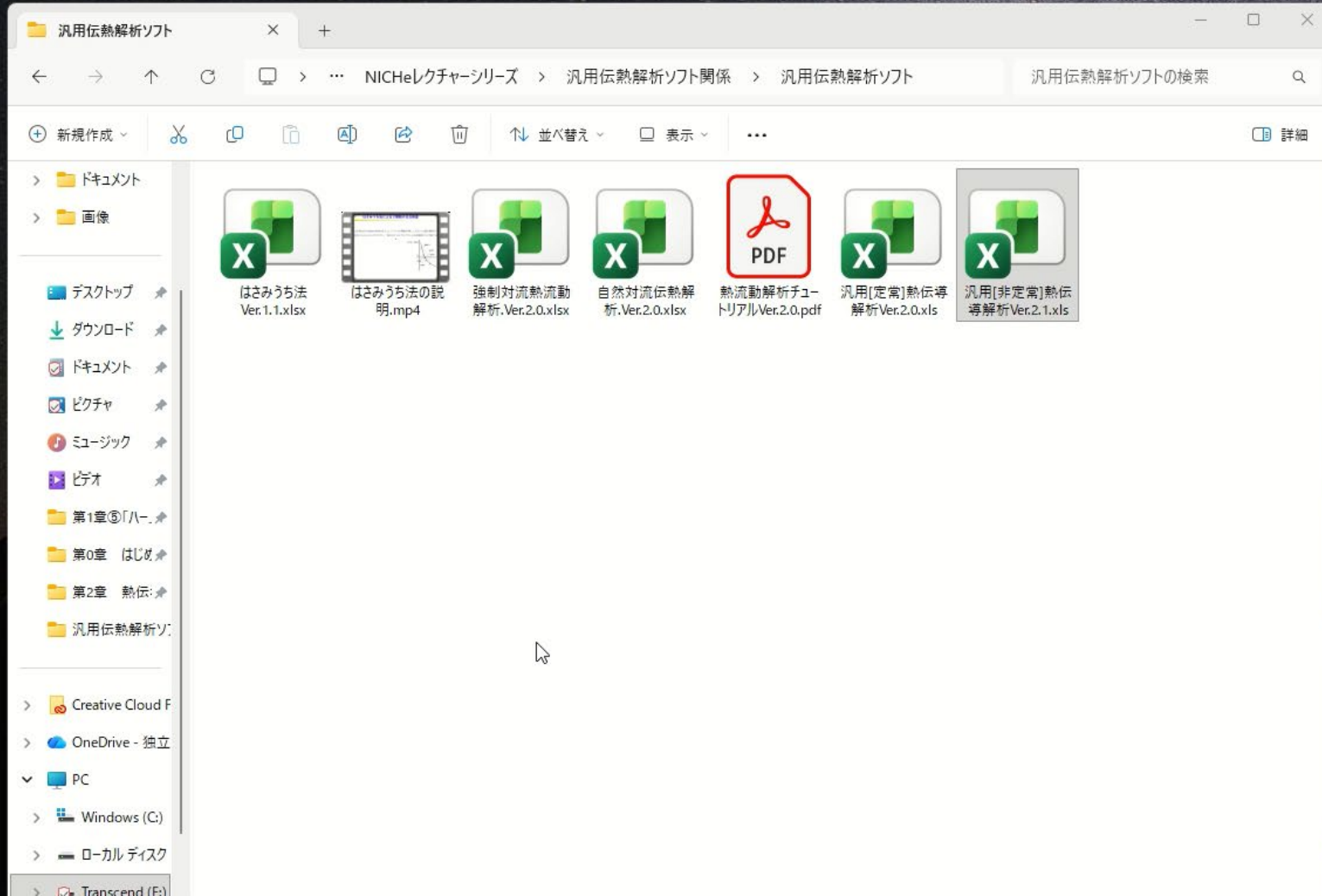


物体内の温度分布





汎用エクセルプログラムの使用例



圓山, Excel に対応した3重対角行列アルゴリズムを用いた汎用1次元熱伝導解析(平板・円筒・球の陰解法非定常熱伝導の統一解析), 機械学会論文集, Vol.88, No.911, (2022).



非定常熱伝導の例題 2

【問題】

右図に示すように、スイカを冷蔵庫に入れて冷やす場合を考える。

直径20cm、初期温度30°Cのスイカを、庫内温度5°Cの冷蔵庫に収納する場合を考える。

スイカを冷蔵庫に入れてから、中心部の温度が10°Cになる時間を計算せよ。

スイカの成分は大部分が水なので、スイカの熱物性は水の値とする。熱物性値は、JSMEテキストシリーズ 演習伝熱工学裏表紙の300Kの水の値を使用する。

つまり、スイカの密度、比熱、熱伝導率を

$\rho=997 \text{ kg/m}^3$, $c_p=4179 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $k=0.610 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ とする。

ふく射の寄与も考慮した、球の自然対流総括熱伝達率は、 $h=10 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ とする。



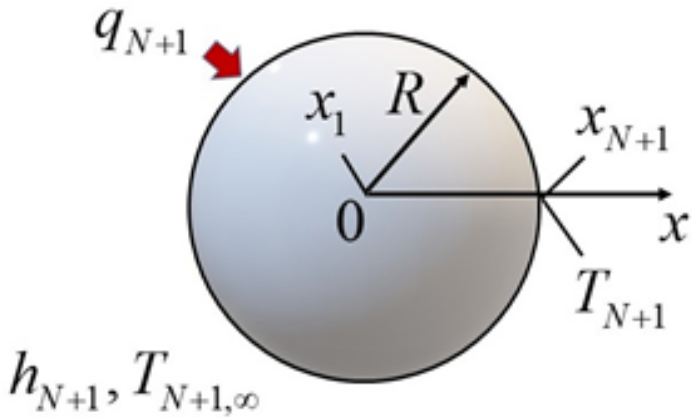
スイカを冷蔵庫に入れて
冷却する



非定常熱伝導の例題2 データ入力

解析形状

球



解析形状(Pull Down)

x_1	0
x_{N+1}	1.00E-01
領域分割数 N	20
解析時間 (s)	4.32E+04
初期温度 T_i (°C, K)	30

赤字のデータを入力

球

媒体の熱物性

熱伝導率(W/(mK))	0.6104
密度(kg/m ³)	999.7
比熱(J/(kgK))	4179
体積当たり発熱量(W/m ³)	0

内側境界条件

第 ? 種境界条件(Pull Down)	2
壁面温度(°C)	0
壁面熱流束(W/m ²)	0.00E+00
熱伝達率(W/(m ² K))	0
外部流体温度(°C)	0

外側境界条件

第 ? 種境界条件(Pull Down)	3
壁面温度(°C)	0
壁面熱流束(W/m ²)	0
熱伝達率(W/(m ² K))	10
外部流体温度(°C)	5

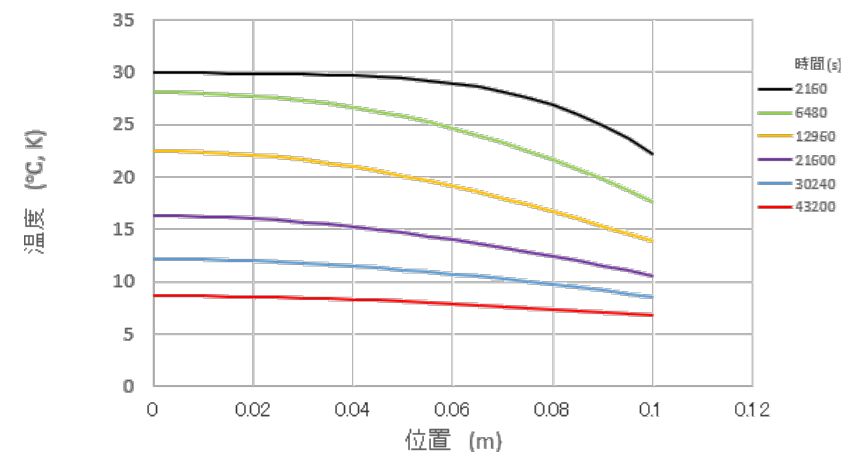
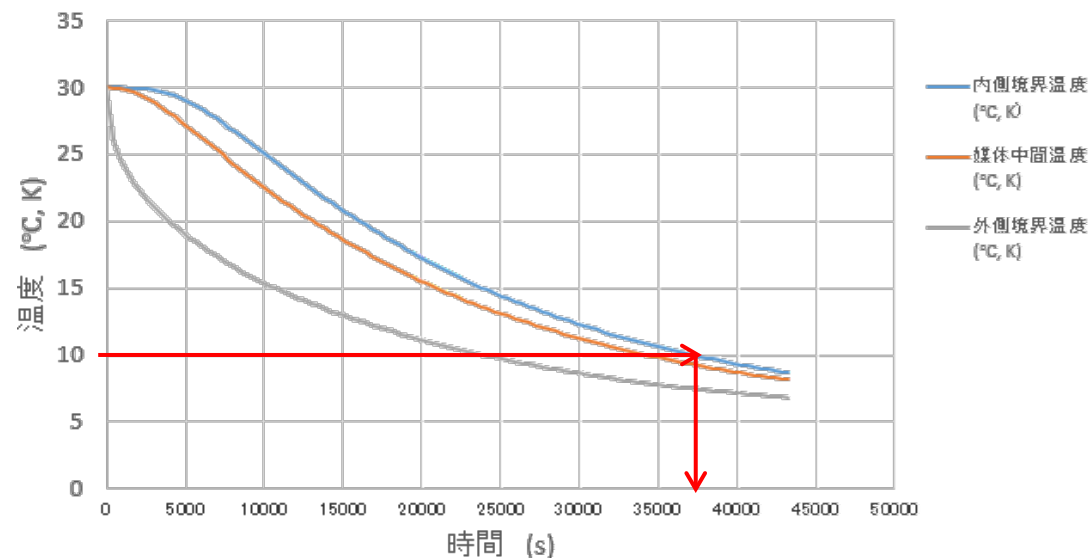


スイカを冷蔵庫に入れて
冷却する



非定常熱伝導の例題2 解析結果

物体の各部の温度変化



中心温度が10°Cになる
までに約10時間かかる。

4等分すると冷却時間は1/4になる。

形状条件	
基本長さ L, R (m)	1.000E-01
空間差分 Δx (m)	5.000E-03
時間差分 Δt (s)	4.320E+02
δ	2
対称パラメータ	0
Fo が1の特性時間 (s)	6.84E+05
内側境界条件	
壁面温度 T_1 (°C, K)	—
壁面熱流速 q_1 (W/m ²)	—
熱伝達率 h_1 (W/(m ² K))	—
外部流体温度 $T_{1\infty}$ (°C, K)	—
ビオ数 Bi	—
外側境界条件	
熱伝達率一定	
壁面温度 T_{N+1} (°C, K)	—
壁面熱流速 q_{N+1} (W/m ²)	—
熱伝達率 h_{N+1} (W/(m ² K))	10
外部流体温度 $T_{N+1\infty}$ (°C, K)	5
ビオ数 Bi	1.64E+00

時間(s)	内側境界温度 (°C, K)	外側境界温度 (°C, K)
3.50E+04	1.06E+01	7.80E+00
3.54E+04	1.05E+01	7.74E+00
3.59E+04	1.04E+01	7.68E+00
3.63E+04	1.02E+01	7.62E+00
3.67E+04	1.01E+01	7.56E+00
3.72E+04	1.00E+01	7.50E+00
3.76E+04	9.91E+00	7.45E+00
3.80E+04	9.80E+00	7.39E+00
3.84E+04	9.69E+00	7.34E+00
3.89E+04	9.59E+00	7.29E+00
3.93E+04	9.48E+00	7.24E+00
3.97E+04	9.38E+00	7.19E+00
4.02E+04	9.29E+00	7.14E+00

球の基準長さ
$$L = \frac{V}{S} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{4\pi r^2} = \frac{r}{3}$$

4等分した球の基準長さ
$$L = \frac{V}{S} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 / 4}{\pi r^2 \times 2} = \frac{r}{6}$$



汎用エクセルプログラムの使用例

TDMAを用いた対称平板、円柱、球、両面平板、円管、球殻の非定常熱伝導解析プログラム Ver.2.1

空間分割数 $N=20$ 、数値解法の詳細や例題は、圓山重直、日本機械学会論文集 Vol.88, No.911, https://www.jstage.jst.go.jp/article/transjsme/88/911/88_22-00105/_article/-char/ja/ 参照

使い方と注意: 赤字のセルに数値入力またはプルダウンしてください。物体各部の温度変化と物体内の温度分布が計算されます。本プログラムの使用によって発生した直接的・間接的責任は負いませんのでご了承ください。

解析形状

対称平板

解析形状 (Pull Down)	対称平板	形状条件
x_1	0	基本長さ L, R (m)
x_{N+1}	2.50E-02	空間差分 Δx (m)
領域分割数 N	20	時間差分 Δt (s)
解析時間 (s)	3.60E+03	δ
初期温度 T_i (°C, K)	530	対称パラメータ
		Fo が1の特性時間 (s)
媒体の熱物性		
熱伝導率(W/(mK))	43	
密度(kg/m3)	7850	
比熱(J/(kgK))	465	
体積当たり発熱量(W/m3)	0	
内側境界条件		
第? 種境界条件(Pull Down)	2	壁面温度 T_1 (°C, K)
壁面温度(°C)	0	壁面熱流速 q_1 (W/m2)
壁面熱流束(W/m2)	0.00E+00	熱伝達率 h_1 (W/(m2K))
熱伝達率(W/(m2K))	0	外部流体温度 $T_{1\infty}$ (°C, K)
外部流体温度(°C)	0	ピオ数 Bi
外側境界条件		
第? 種境界条件(Pull Down)	3	壁面温度 T_{N+1} (°C, K)
壁面温度(°C)	0	壁面熱流速 q_{N+1} (W/m2)
壁面熱流束(W/m2)	0	熱伝達率 h_{N+1} (W/(m2K))
熱伝達率(W/(m2K))	80	外部流体温度 $T_{N+1\infty}$ (°C, K)
外部流体温度(°C)	30	ピオ数 Bi

時間(s)	内側境界温度 (°C, K)	外側境界温度 (°C, K)
0.00E+00	5.30E+02	5.30E+02
3.60E+01	5.17E+02	5.07E+02
7.20E+01	5.02E+02	4.92E+02
1.08E+02	4.87E+02	4.77E+02
1.44E+02	4.73E+02	4.63E+02
1.80E+02	4.59E+02	4.49E+02
2.16E+02	4.45E+02	4.36E+02
2.52E+02	4.32E+02	4.23E+02
2.88E+02	4.19E+02	4.10E+02
3.24E+02	4.07E+02	3.98E+02
3.60E+02	3.95E+02	3.87E+02
3.96E+02	3.83E+02	3.75E+02
4.32E+02	3.72E+02	3.64E+02
4.68E+02	3.61E+02	3.54E+02
5.04E+02	3.51E+02	3.44E+02
5.40E+02	3.41E+02	3.34E+02
5.76E+02	3.31E+02	3.24E+02
6.12E+02	3.21E+02	3.15E+02
6.48E+02	3.12E+02	3.06E+02
6.84E+02	3.03E+02	2.97E+02
7.20E+02	2.95E+02	2.89E+02
7.56E+02	2.86E+02	2.80E+02
7.92E+02	2.78E+02	2.72E+02
8.28E+02	2.70E+02	2.65E+02
8.64E+02	2.63E+02	2.57E+02
9.00E+02	2.55E+02	2.50E+02
9.36E+02	2.48E+02	2.43E+02
9.72E+02	2.41E+02	2.36E+02
1.01E+03	2.35E+02	2.30E+02
1.04E+03	2.28E+02	2.24E+02
1.08E+03	2.22E+02	2.17E+02
1.12E+03	2.16E+02	2.12E+02
1.15E+03	2.10E+02	2.06E+02
1.19E+03	2.04E+02	2.00E+02
1.22E+03	1.99E+02	1.95E+02

この PC に保存済み

物体の各部の温度

表紙 入力・表示 +

無次元温度

圓山, Excel に対応した3重対角行列アルゴリズムを用いた汎用1次元熱伝導解析(平板・円筒・球の陰解法非定常熱伝導の統一解析), 機械学会論文集, Vol.88, No.911, (2022).



次回予告

第2章 熱伝導（伝導伝熱）⑦

- 2-1. 定常熱伝導と物質の熱伝導率
- 2-2. 多層媒体の定常熱伝導
- 2-3. 定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-4. 熱伝導方程式と境界条件
- 2-5. 非定常熱伝導
- 2-6. 非定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-7. ニュートンの冷却法則

技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用



「もっと見る」欄に記載の今回の[要約](#)とホームページの[pdf資料](#)で理解を深めることができる。



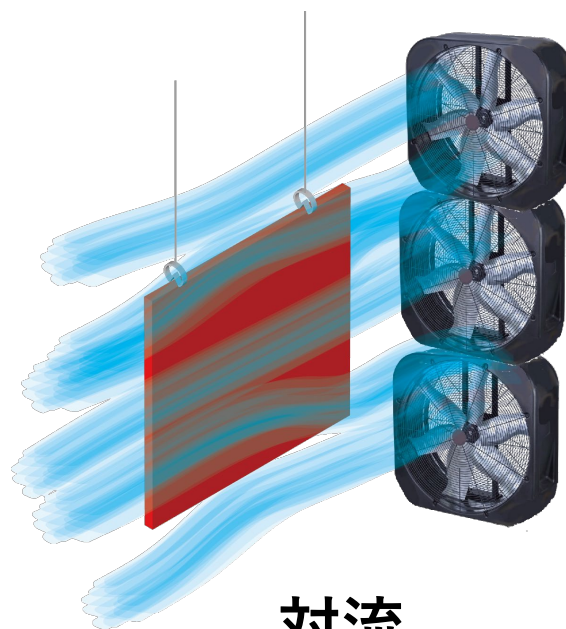
東北大学未来科学技術共同研究センター レクチャーシリーズ

— 熱プロセスを習得したい人のための入門と実践的応用 —

伝熱現象



熱伝導



対流



熱ふく射

講師 圓山重直

東北大学未来科学技術センター シニアリサーチ・フェロー
東北大学名誉教授・八戸高専名誉教授