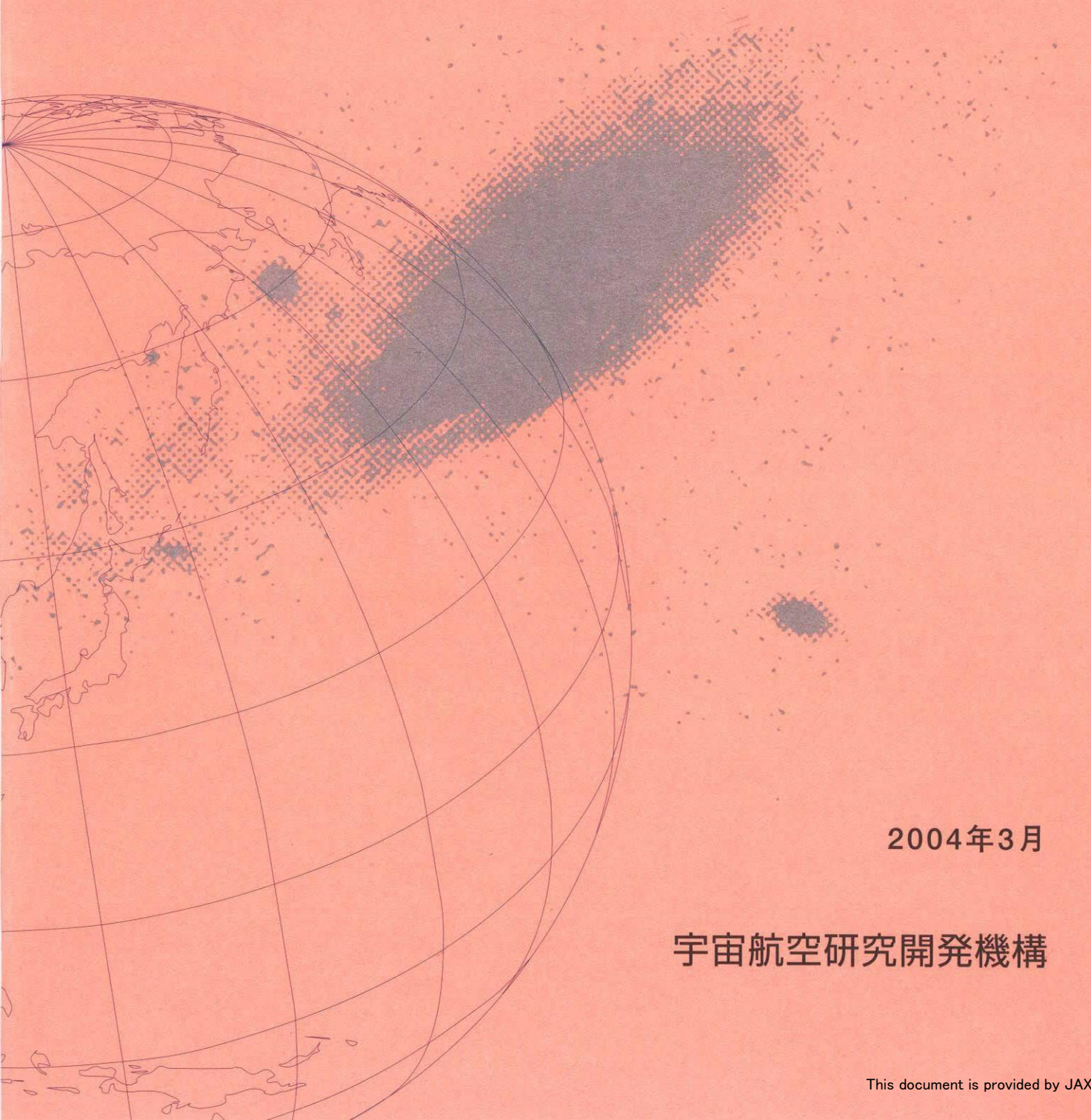


宇宙航空研究開発機構研究開発資料

# 高純度CVD-SiC静的加熱試験時の温度分布計測



2004年3月

宇宙航空研究開発機構

宇宙航空研究開発機構研究開発資料  
JAXA Research and Development Memorandum

高純度CVD-SiC静的加熱試験時の温度分布計測  
Temperature Measurements for the CVD-SiC Static Heating Tests

芳仲 敏成

Toshinari YOSHINAKA

総合技術研究本部 システム評価技術グループ  
Space Systems Evaluation Engineering Group  
Institute of Space Technology and Aeronautics

2004年3月  
March 2004

宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency



和 文 抄 録	<p>超高温材料研究センターの酸化揮散試験機を用いて高純度 CVD-SiC の静的加熱試験を実施する際に、装置各部で大きな温度分布が生じることが考えられる。装置各部で生じる現象を予測し、結果の評価等に活用可能なデータを得るために温度分布測定を行なったので報告する。</p>
和文キーワード	高純度 CVD-SiC、温度分布、耐熱材料、静的加熱試験



# 目 次

1. 緒言 .....	1
2. 実験 .....	1
2.1 Configuration .....	1
2.2 物性値 .....	3
3. 実験結果 .....	3
4. 評価 .....	8
4.1 温度分布 .....	8
4.2 耐火煉瓦の有効性 .....	8
4.3 熱の流れ .....	8
5. まとめ .....	19
6. 参考文献 .....	19
7. APPENDIX .....	20



## 1. 緒言

2000年度に実施した高純度CVD-SiCの静的加熱試験で加熱後にボス、遮光リングの表面にガラス状の物質が付着しているのが見られた。次の加熱時に熔融・蒸発してCVD-SiCの酸化に悪影響を与える可能性が考えられた。実験装置各部で温度を測定してその危険性を評価したので報告する。

## 2. 実験

### 2.1 Configuration

2000年度までのConfigurationで温度分布を把握し、次にFiber断熱材 (MLS) を耐火煉瓦 (CPM) に変更して影響を評価する。さらに2001年度新規に製作したCVD-SiCつきグラファイト製サンプルホルダーとダミーを用いて危険性を評価するため、以下のConfigurationで温度分布を測定した。概要を表1,図1に示す。

Table 1 Experimental configuration

Configuration	Date	実験ID	Fluid	Insulator	Holder	Dummy		Sample		Holder		Boss	Barrier ring		Spacer		Support ring		Alumina brick		Separation plate		
						Center	Outer*1	Center	Edge	Inside*2	edge		Upper	Lower	Side	Bottom	Upper	Lower	Inside	Outside	Inside	Outside	
1	2001.10.10	Dis-1	Air	MLS	Sinter-SiC	Type-B	NA	Type-B, Pyro	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Type-K	Type-K	Type-K	NA	NA	NA	NA	
		Dis-2	Air	MLS	Sinter-SiC	NA	NA	Type-B, Pyro	NA	NA	NA	Type-B	NA	NA	Type-R	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	2001.10.25	Dis-3	N <sub>2</sub>	CPM	Sinter-SiC	NA	NA	Type-B, Pyro	NA	Type-B	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Type-K	Type-K	Type-K	Type-K	
		Dis-4	Air	CPM	Sinter-SiC	NA	NA	Type-B, Pyro	NA	NA	Type-B	NA	Type-R	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Dis-5	Air	CPM	Sinter-SiC	NA	NA	Type-B, Pyro	Type-B	NA	NA	NA	NA	Type-R	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	2001.12.6 2001.12.7	Dis-6	Air	CPM	Graphite with CVD-SiC	Type-B	NA	Type-B, Pyro	NA	Type-B	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		Dis-7	Air/Air	CPM	Graphite with CVD-SiC	Type-B	NA	Type-B, Pyro	NA	Type-B	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Dis-8	Air/Air	CPM	Graphite with CVD-SiC	NA	Type-B	Type-B, Pyro	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ID of thermocouple						B-1	B-1a	B-2	B-2a	B-3	B-3a	B-4	R-1	R-1a	R-2	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	

\*1 : 8mm from the edge of the dummy

\*2 : 10 mm from the center of the sample

NA : Not applicable

### (1) Configuration-1

焼結SiC製のダミーとサンプルホルダーおよびFiber断熱材を用いた。温度測定位置を図1-1に示す。

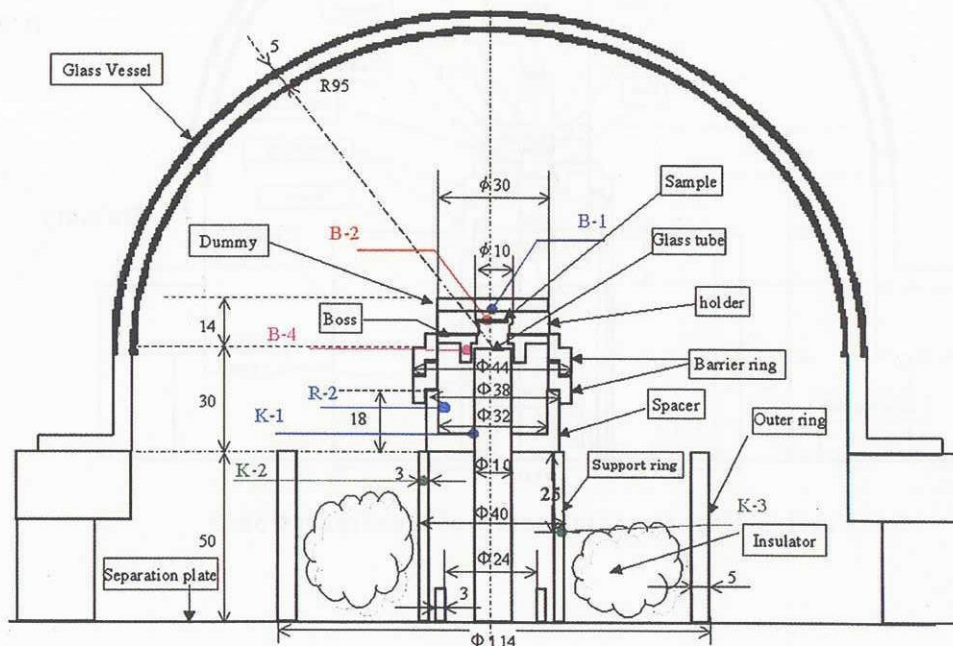


Fig.1-1 Experimental setup of Configuration-1



(2) Configuration-2

Fiber断熱材 (MLS) を耐火煉瓦 (CPM) に変更した。温度測定位置を図1-2に示す。

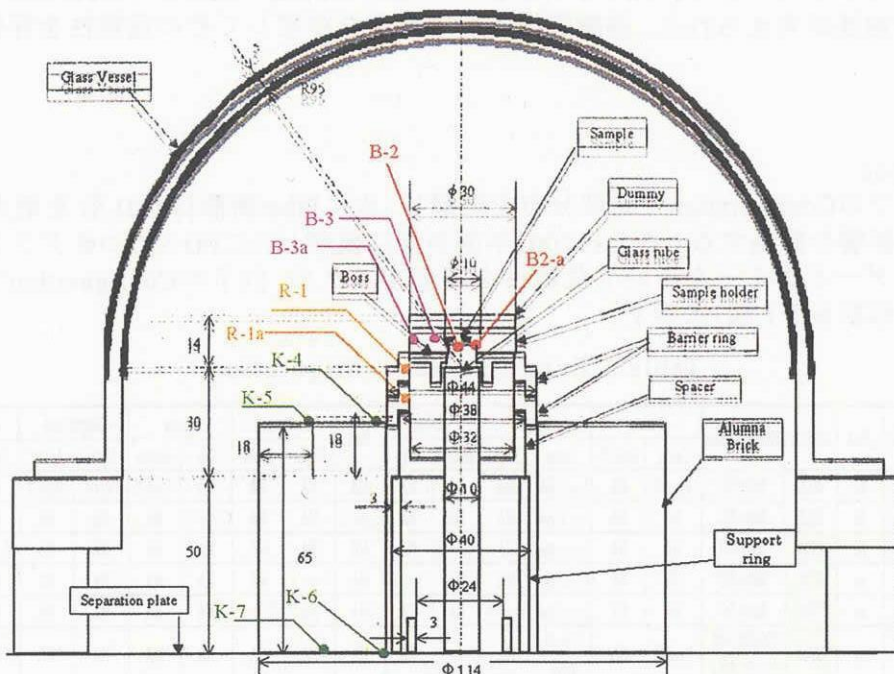


Fig.1-2 Experimental setup of Configuration-2

(Configuration-3)

新規製作したCVD-SiCつきグラファイト製サンプルホルダーとダミーに変更した。温度測定位置を図1-3に示す。

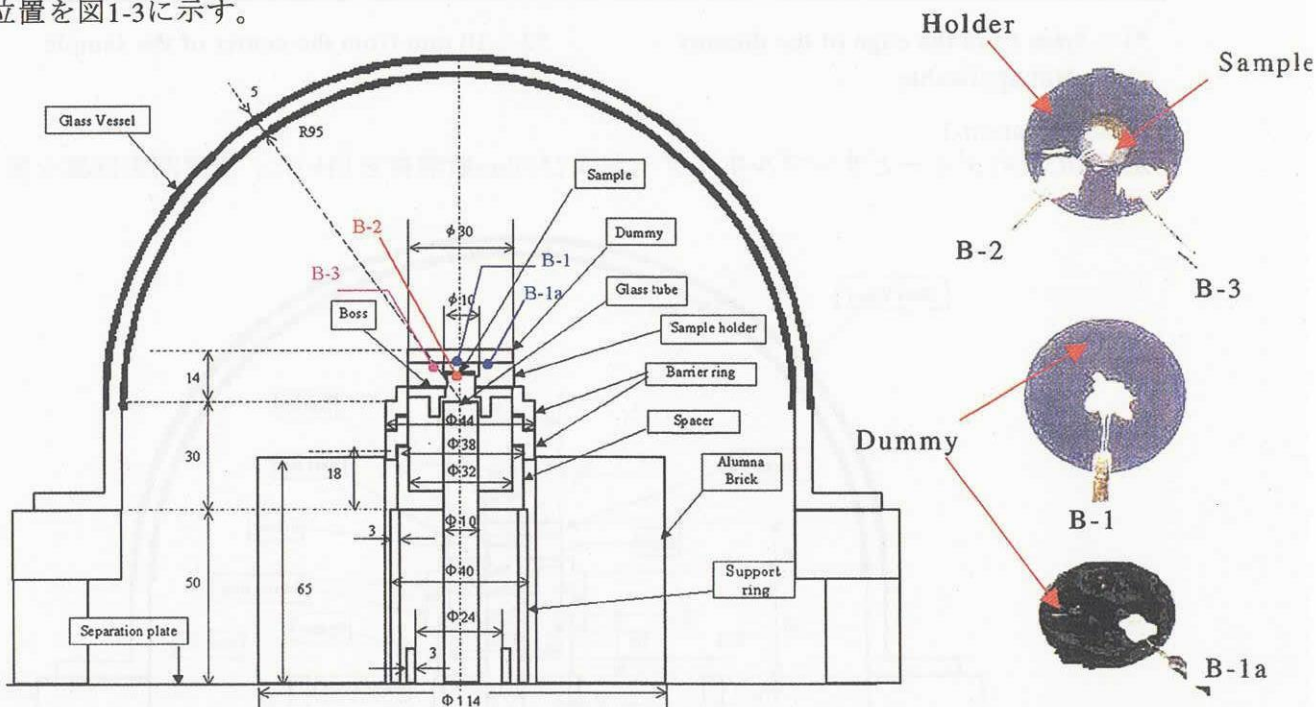


Fig.1-3 Experimental setup of Configuration-3

## 2.2 物性値

実験に用いた断熱材、耐火煉瓦、SiC 製ホルダー、ダミーの物性値を表 1 に示す。

Table-1(a) Material properties of Insulators

	Insulator	Almina brick
Name of the product	MAFTEC Blanket MLS	CP-M
Company	Mitsubishi Chemical	Nikkato
Composition	Mullite	Alumina
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	72	98
SiO <sub>2</sub> (%)	28	1
Bulk density (Kg/m <sup>3</sup> )	80	1400
Thermal conductivity (W/m · K)	0.45 (1200°C) 0.7 (1400°C)	0.8 (400°C)
Coefficient of thermal expansion (×10 <sup>-6</sup> )	Not applicable	8.0
Operation temperature (°C)	1600	1900

Table-1(b) Material properties of sample holder and dummy

	Sintered SiC	Graphite with CVD-SiC
Name of the product	SC-20	IG-610 PERMA KOTE
Company	NGK Insulator	Toyo Carbon
Density (Kg/m <sup>3</sup> )	3100	1850
Thermal conductivity (W/m · K)	150(RT)	128
Coefficient of thermal expansion (×10 <sup>-6</sup> )	4.4	4.7
Specific heat (J/kg · K)	700	2150 (1400°C)

## 3. 実験結果

### (1) Configuration-1

サンプルの中心に対して図2.1(a)、表2.1(a)に示す様な温度分布が生じた。各測定点とサンプル中心の関係式およびサンプルの中心温度が1600°Cでの各部の計算値を表2.1(b)、図2.1(b)に示す。

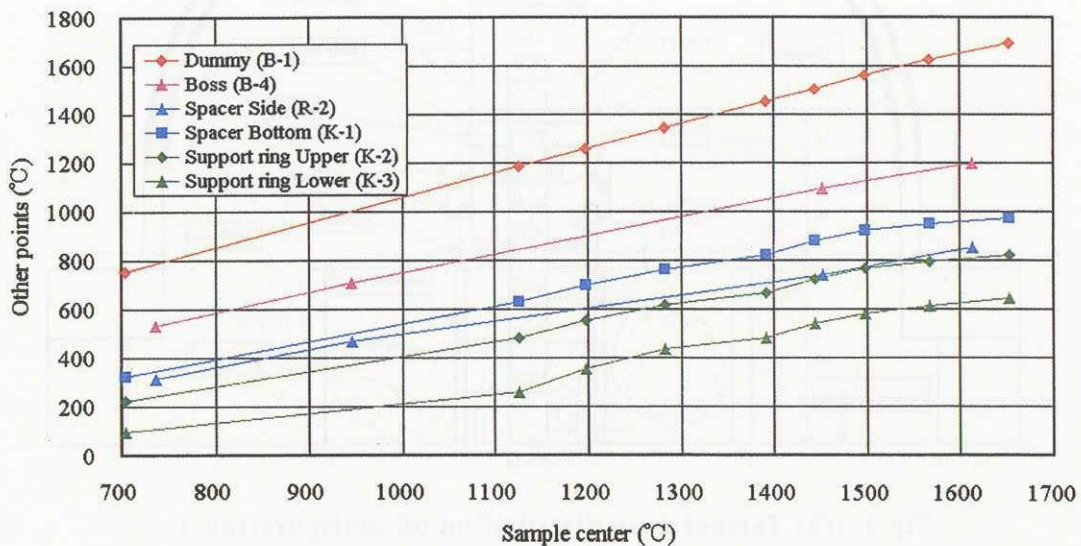


Fig.2.1(a) Measured temperatures of configuration-1

Table 2.1(a) Measured temperatures of configuration-1

Experiment	Measured temperatures (°C)						
	Dummy B-1	Sample B-4	Boss B-4	Spacer		Support ring	
				Side(R-2)	Bottom(K-1)	Upper (K-2)	Lower (K-3)
Dis-1	734.5	793.1			321.0	224.3	96.1
Dis-2		735.5	534.0	313.4			
Dis-2		945.5	719.5	467.0			
Dis-1	1186.5	1126.1			633.5	480.3	258.2
Dis-1	1258.7	1198.1			701.0	555.9	355.3
Dis-1	1347.7	1282.8			763.0	619.4	436.2
Dis-2		1452.8	1096.4	740.0			
Dis-1	1454.8	1391.8			822.6	666.2	480.7
Dis-1	1502.4	1444.3			880.5	723.7	543.1
Dis-2		1452.8	1096.4	740.0			
Dis-1	1562.4	1498.1			920.6	766.3	580.5
Dis-1	1625.4	1566.8			951.0	797.6	615.1
Dis-2		1612.1	1200.1	855.4			
Dis-1	1693.4	1652.0			970.7	821.5	645.7
Dis-1	NA	NA			990.7	843.2	680.1

Table 2.1(b) Correlations and calculated temperatures of configuration-1  
 近似式  $T = a \cdot T(\text{Sample center}) + b$

	Dummy	Boss	Spacer		Support Ring	
	B-1	B-4	Side(R-2)	Bottom(K-1)	Upper (K-2)	Lower (K-3)
a	0.9987	0.7641	0.5916	0.7112	0.657	0.6236
b	59.8	-19.8	-109.9	-163.6	-237.6	-376.3
R2	0.9930	0.9990	0.9964	0.9913	0.9927	0.9719
T (Sample center) = 1600°C	1658	1203	837	974	814	621

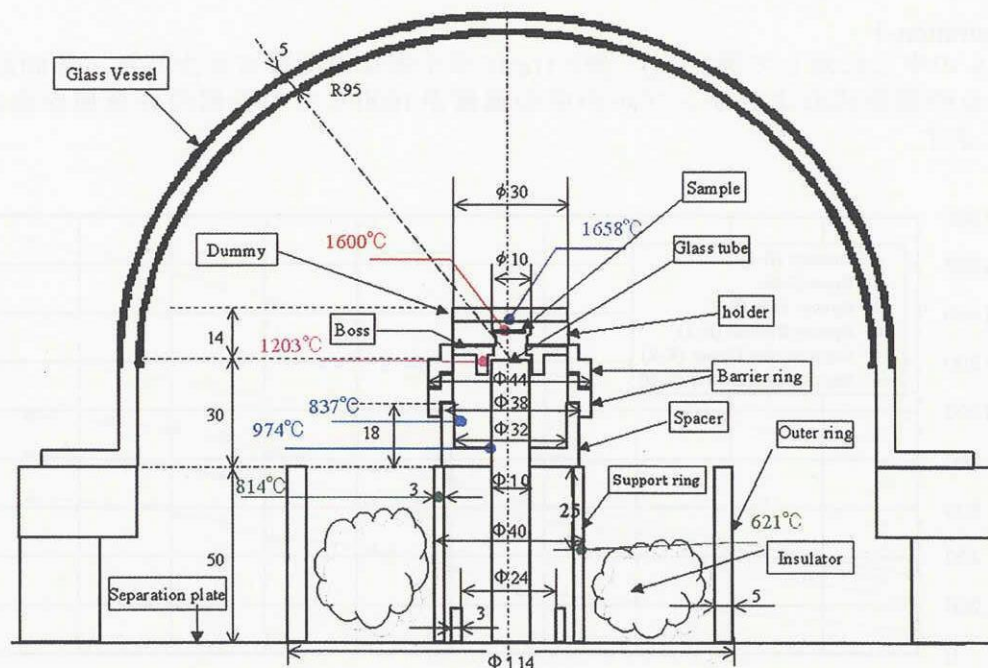


Fig.2.1(b) Temperature distribution of configuration-1  
 (Temperature at sample center is 1600°C)

(2) Configuration-2

サンプルの中心に対して図 2.2(a)、表 2.2(a)に示す様な温度分布が生じた。各測定点とサンプル中心の関係式およびサンプルの中心温度が 1600℃での各部の計算値を表 2.2(b)、図 2.2(b)に示す。

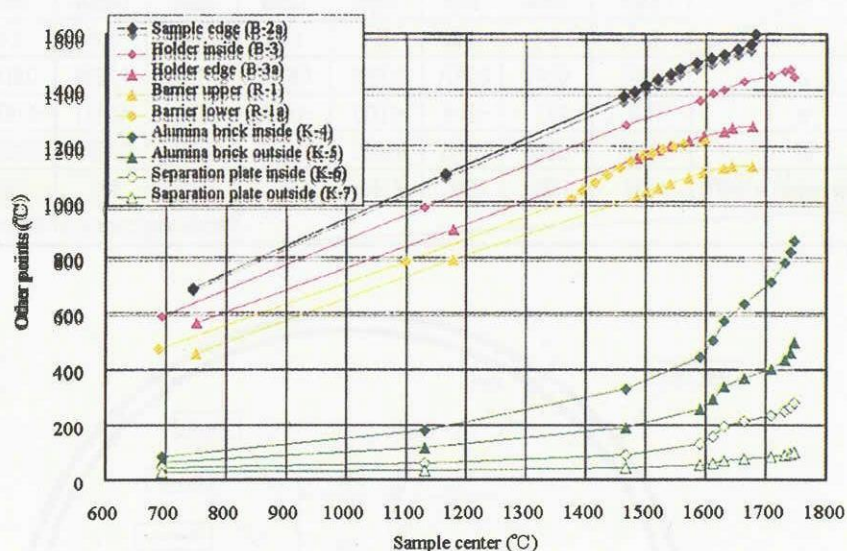


Fig.2.2 (a) Measured temperatures of configuration-2

Table 2.2 (a) Measured temperatures of configuration-2

Experiment	Measured temperatures (°C)									
	Sample		Holder		Barrier ring		Alumina brick		Separation plate	
	Center B-2	Edge B-2a	Inside B-3	Edge B-3a	Upper R-1	Lower R-1a	Inside K-4	Outside K-5	Inside K-6	Outside K-7
Dis-3	693.8		597.8				87.7	67.5	47.6	31.3
Dis-5	745.3	689.3				475.2				
Dis-4	751.3			572.0	459.8					
Dis-3	1130.7		993.8				184.4	118.5	64.9	37.5
Dis-5	1165.3	1100.0				791.8				
Dis-4	1179.2			913.5	804.5					
Dis-5	1463.0	1377.1				1023.9				
Dis-3	1467.2		1293.2				333.6	191.8	93.9	46.2
Dis-5	1480.7	1394.1				1054.6				
Dis-4	1485.6			1171.8	1031.5					
Dis-5	1500.2	1416.3				1082.2				
Dis-4	1502.4			1186.7	1048.5					
Dis-5	1519.5	1436.0				1109.8				
Dis-4	1521.3			1203.1	1063.6					
Dis-4	1540.5			1218.2	1080.3					
Dis-5	1541.3	1457.5				1135.9				
Dis-5	1556.5	1475.9				1159.5				
Dis-4	1571.4			1236.4	1100.0					
Dis-5	1584.1	1497.1				1178.9				
Dis-3	1591.1		1381.1				451.6	259.8	134.9	56.6
Dis-4	1596.6			1253.0	1119.8					
Dis-5	1608.6	1512.7				1191.5				
Dis-3	1611.7 *1		1407.1				508.7	297.6	160.7	63.2
Dis-3	1630.0 *1		1419.6				580.7	343.1	198.0	73.1
Dis-4	1630.4			1269.3	1137.3					
Dis-5	1630.7	1528.3				1203.5				
Dis-4	1644.0			1282.4	1144.3					
Dis-5	1653.5	1547.8				1213.3				
Dis-3	1664.7 *1		1450.1				643.7	372.2	216.5	79.1
Dis-5	1674.9	1563.8				1222.0				
Dis-4	1679.0			1290.9	1142.6					
Dis-5	1683.3	1600.5				1229.3				
Dis-3	1708.6 *1		1471.3				722.1	405.6	237.2	86.2
Dis-3	1732.4 *1		1485.5				794.7	441.1	254.8	92.9
Dis-3	1741.6 *1		1493.4				833.6	467.3	266.8	97.6
Dis-3	1747.0 *1		1466.9				873.7	504.6	281.7	103.9
Dis-3			1380.0				920	620	360	140

\*1: Calculated from the correlation data

Table 2.2 (b) Correlations and calculated temperatures of configuration-2

近似式  $T = a \cdot T(\text{Sample center}) + b$

	Sample	Holder		Barrier ring		Separation plate		Alumina Brick	
	Edge	Inside	Edge	Upper	Lower	Inside	Outside	Inside	Outside
	B-2a	B-3	B-3a	R-1	R-1a	K-4	K-5	K-6	K-7
a	0.951	0.847	0.7971	0.7602	0.8708	2.4745	1.3278	0.8141	0.2634
b	14.3	26.1	-21.6	-100.7	-142.4	-3477.0	-1842.1	-1147.6	-360.5
R2	0.9988	0.9958	0.9971	0.9962	0.9928	0.9852	0.9591	0.9591	0.9681
$T(\text{Sample center}) = 1600^\circ\text{C}$	1536	1381	1254	1116	1251	482	282	155	61
Sample temperatures are higher than $1591.1^\circ\text{C}$									

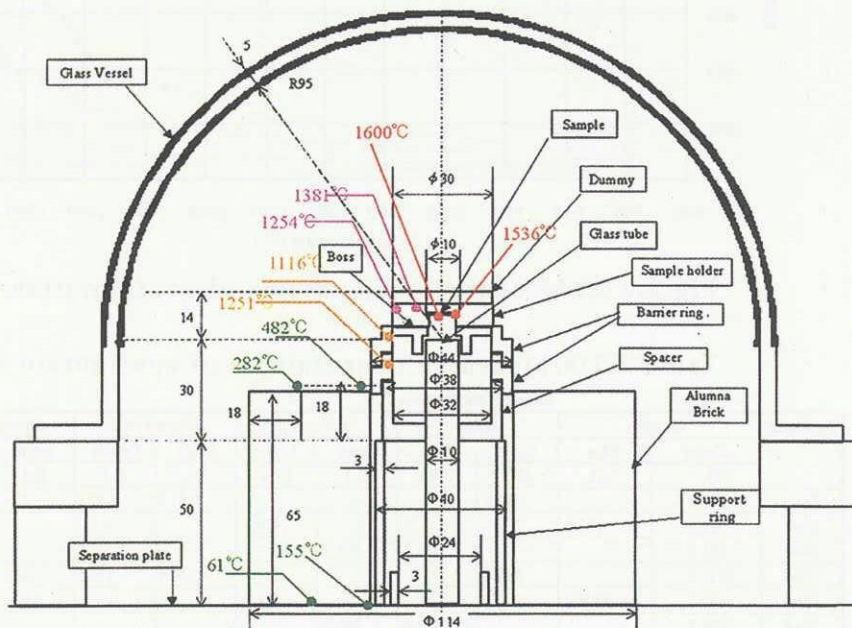


Fig.2.2(b) Temperature distribution of configuration-2  
(Temperature at sample center is  $1600^\circ\text{C}$ )

(3) Configuration-3

サンプルの中心に対して図 2.3(a)、表 2.3(a)に示す様な温度分布が生じた。各測定点とサンプル中心の関係式およびサンプルの中心温度が  $1600^\circ\text{C}$  での各部の計算値を表 2.3(b)、図 2.3(b)に示す。

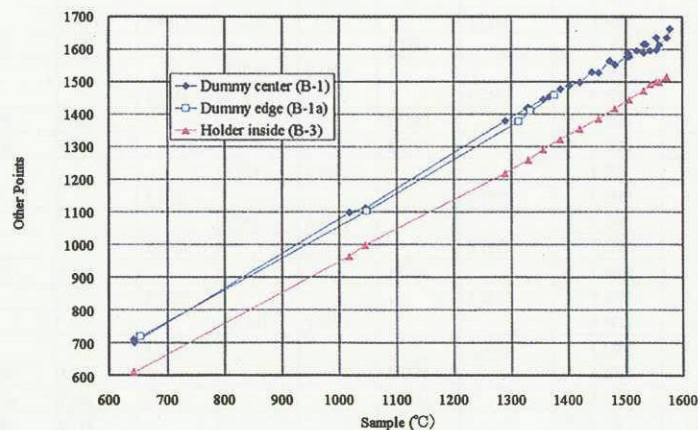


Fig.2.3(a) Measured temperatures of configuration-3

Table 2.3(a) Measured temperatures of configuration-3

Measured Temperatures (°C)				
Experiment	Dummy		Sample	Holder
	B-1	B-1a	B-2	B-3
Dis-6	700.6		643.7	609.6
Dis-7	708.7		641.4	611.3
Dis-8		718.5	654.1	
Dis-7	1097.8		1018.7	963.1
Dis-6	1111.8		1045.4	998.4
Dis-8		1102.4	1048.3	
Dis-7	1380.5		1290.5	1218.8
Dis-8		1378.3	1313.5	
Dis-6	1417.5		1328.6	
Dis-7	1419.4		1330.1	1258.2
Dis-8		1410.1	1334.5	
Dis-7	1446.1		1356.6	1290.8
Dis-6	1454.3		1367.7	
Dis-8		1458.2	1376.8	
Dis-7	1476.3		1387.1	1322.7
Dis-6	1489.3		1402.7	
Dis-7	1498.2		1421.5	1355.6
Dis-6	1529.4		1442.1	
Dis-7	1527.6		1453.1	1387.3
Dis-6	1562.7		1473.8	
Dis-7	1552.7		1482.1	1417.3
Dis-6	1576.9		1503.6	
Dis-6	1589.3		1504.1	
Dis-7	1577.2		1507.6	1444.9
Dis-6	1596.1		1520.6	
Dis-7	1588.3		1532.3	1473.5
Dis-6	1615.4		1532.5	
Dis-6	1616.1		1535.6	
Dis-7	1595.9		1544.2	1493.1
Dis-7	1597.3		1553.7	1499.3
Dis-6	1636.9		1554.8	
Dis-7	1614.6		1559.8	1500.0
Dis-7	1637.1		1572.2	1515.6
Dis-6	1663.1		1577.8	

Table 2.3 (b) Correlations and calculated temperatures of configuration-3

近似式  $T = a \cdot T(\text{Sample center}) + b$

Experiment	Dummy		Holder
	B-1	B-1a	B-2
a	1.004	1.019	0.972
b	69.8	45.9	-20.6
R2	0.9972	0.9992	0.9992
T (Sample center) = 1600°C	1677	1677	1534

- 図 2.3.(a)および表 2.3(b)に示す様にダミー裏中心とそこから 7mm の位置での温度が同じとなった。

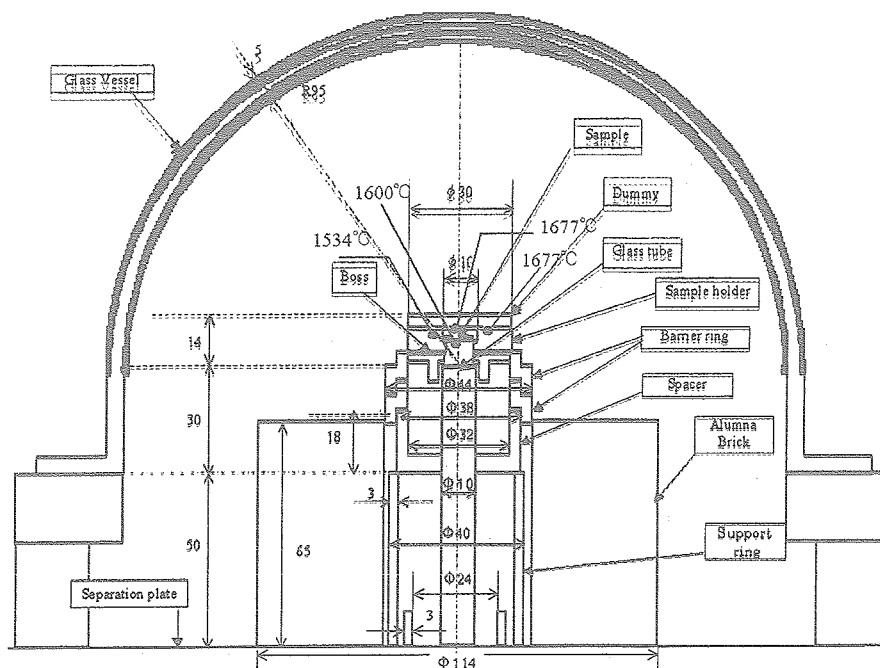


Fig.2.3(b) Temperature distribution of configuration-3  
(Temperature at sample center is 1600°C)

#### 4. 評価

##### 4.1 温度分布

表 2.1~2.3 より、サンプルが 1600°C の時、ダミーで 1660~1680°C、ホルダーで 1250~1530°C、ボスで 1200°C、スペーサで 970°C、耐火煉瓦で 480°C の温度分布が生じることがわかった。

##### 4.2 耐火煉瓦の有効性

表 2.2 よりサンプルを約 1750°C まで加熱した時に、耐火煉瓦の上面が 920°C で耐熱温度 1900°C よりも低かった。また、仕切り板の温度が 360°C であり、断熱材を使用時<sup>(4)</sup>の 491.8°C よりも低かった。したがって、耐火煉瓦 CP-M を使用可能である。

##### 4.3 熱の流れ

Configuration-1,2 での温度測定結果に基づいてサンプルの温度が 1600°C の時の内部での熱の流れを概略検討した。

##### 4.3.1 簡易モデル

以下示す様に形状を簡略化した。概略を図 3 に示す。

- ① ダミーを  $\phi 30$ mm 高さ 3mm の円盤で近似した。
- ② サンプルおよびホルダーを  $\phi 30$ mm 高さ 3mm の円盤で近似した。
- ③ サポートリング、スペーサー、遮光リング、ボスで構成される部分を内径 30mm、外径 40mm、深さ 6mm、高さ 30mm の円柱で近似した。
- ④ サポートリングを内径 34mm、外径 40mm、高さ 50mm の円柱で近似した。
- ⑤ 外側のリングとサポートリングの間に充填された断熱材を  $\phi 114$ mm、高さ 50mm の円筒で近似した。

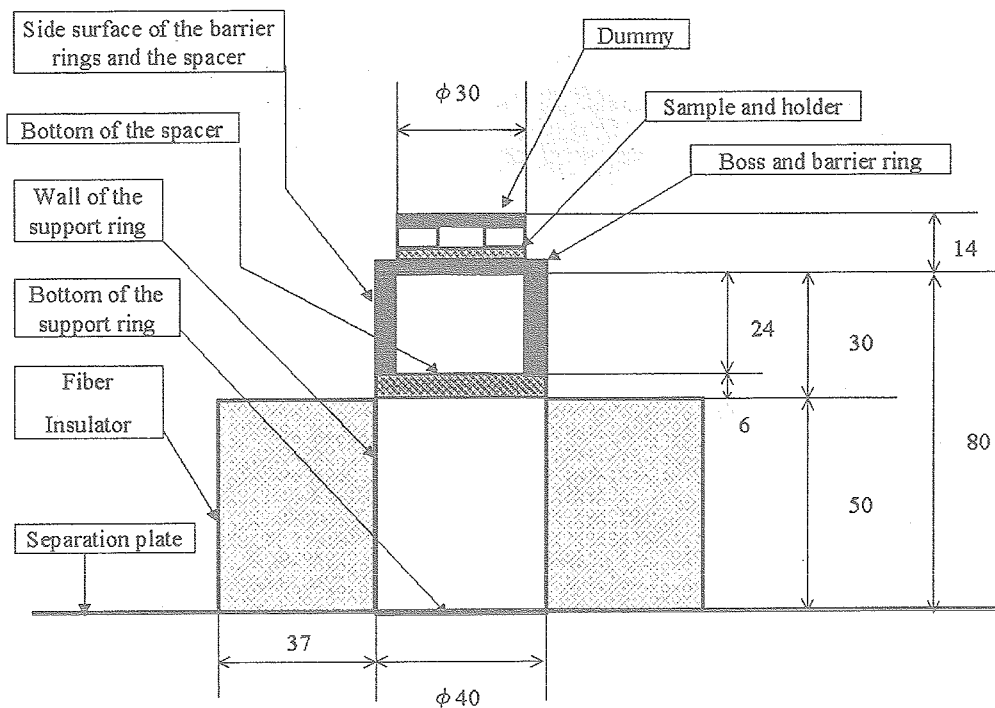


Fig.3 Schematic of the simplified thermal model

#### 4.3.2 熱流の概算

##### (1) サンプル周辺の熱収支

図 4 にダミー、ホルダー、アルミナチューブの位置関係、図 5 に放射熱交換ネットワークを示す。熱の流れを以下の仮定で概算した。

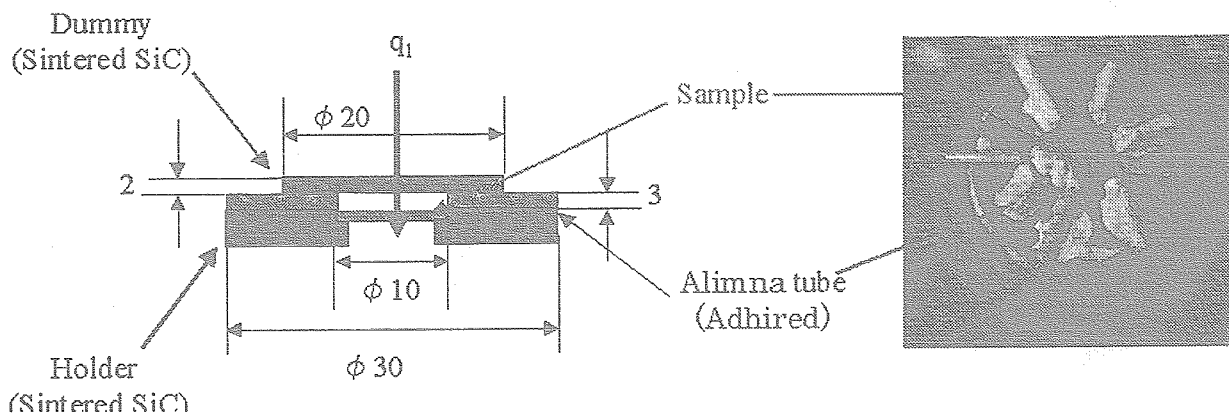


Fig.4 Arrangements of sample, holder and dummy

- Configuration-3 の実験結果よりダミー裏面中央で直径 10mm の部分の温度は均一である。
- 参考文献(1)より 1400-1800° K での SiC の放射率は 0.8-0.95 であることから、ダミーおよびサンプルの放射率は 0.85 と仮定する。



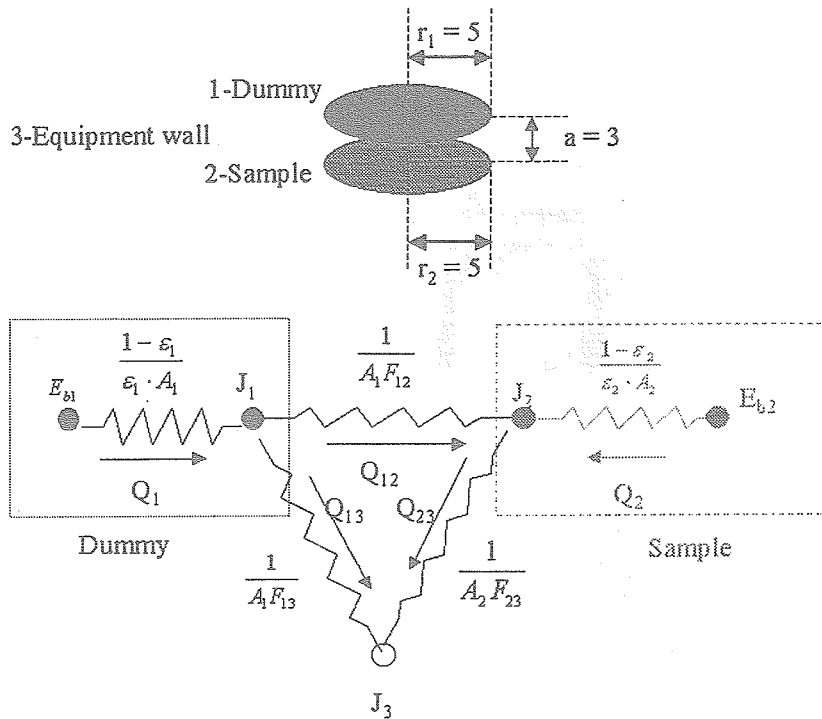


Fig.5 Network of radiation heat exchange between dummy and sample

ダミー（中心部）とサンプルの半径を  $r_1, r_2$ , 両者の距離を  $a$  とする。形状係数は  $r_1 = r_2 = 5$  (mm)、 $a = 3$  (mm)なので、参考文献(2)より

$$R_1 = \frac{r_1}{a} = R = 1.667 \quad (1-1)$$

$$R_2 = \frac{r_2}{a} = R = 1.667 \quad (1-2)$$

(1-1),(1-2)よりダミーとサンプル間の形状係数は

$$\begin{aligned} F_{12} = F_{21} &= \frac{1}{2R_1^2} \left\{ (1 + R_1^2 + R_2^2 - \sqrt{(1 + R_1^2 + R_2^2)^2 - 4R_1^2 R_2^2}) \right\} \\ &= \frac{1}{2R^2} (1 + 2R^2 - \sqrt{1 + 4R^2}) = 0.554 \end{aligned} \quad (1-3)$$

(1-3)よりダミーおよびサンプルと装置壁面との熱交換は

$$F_{13} = 1 - F_{12} = 1 - 0.554 = 0.446 \quad (1-4)$$

$$F_{23} = 1 - F_{21} = 1 - 0.554 = 0.446 \quad (1-5)$$

放射熱交換する部分の面積は

$$A_1 = A_2 = \frac{\pi}{4} \times (10^{-3})^2 = 7.854 \times 10^{-5} (m^2) \quad (1-6)$$

(1-1)~(1-6)よりダミーおよびサンプルの表面抵抗は

$$\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 \cdot A_1} = \frac{1 - 0.85}{0.85 \times 7.854 \times 10^{-5}} = 2.247 \times 10^3 (1/m^2) \quad (2-1)$$

(2-1),(2-2)よりダミーとサンプル間の放射熱抵抗は (2-2)

$$\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 \cdot A_2} = \frac{1-0.85}{0.85 \times 7.854 \times 10^{-5}} = 2.247 \times 10^3 (1/m^2) \quad (2-3)$$

$$\frac{1}{A_1 F_{12}} = \frac{1}{0.554 \times 7.854 \times 10^{-5}} = 2.298 \times 10^4 (1/m^2)$$

(1-4)~(1-6)よりダミーおよびサンプルと装置壁面の放射熱抵抗は

$$\frac{1}{A_1 F_{13}} = \frac{1}{0.446 \times 7.854 \times 10^{-5}} = 2.856 \times 10^4 (1/m^2) \quad (2-4)$$

$$\frac{1}{A_2 F_{23}} = \frac{1}{0.446 \times 7.854 \times 10^{-5}} = 2.856 \times 10^4 (1/m^2) \quad (2-5)$$

表 2.1(b)よりダミー裏面中央の温度は 1658°Cなので黒体輻射は

$$E_{b1} = \sigma T_1^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times (273 + 1658)^4 = 7.883 \times 10^5 (W/m^2) \quad (3-1)$$

サンプル表面は 1600°Cであるから黒体輻射は

$$E_{b2} = \sigma T_2^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times (273 + 1600)^4 = 6.978 \times 10^5 (W/m^2) \quad (3-2)$$

以上より熱の流れは

$$Q_1 = \frac{E_{b1} - J_1}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1} = \frac{7.883 \times 10^5 - J_1 (W/m^2)}{2.247 \times 10^3 (1/m^2)} = \frac{7.883 - j_1}{2.247} \times 100 = 350.8 - 44.5 j_1 (W) \quad (4-1)$$

$$Q_{12} = \frac{J_1 - J_2}{1/A_1 F_{12}} = \frac{J_1 - J_2 (W/m^2)}{2.298 \times 10^4} = \frac{j_1 - j_2}{2.298 (1/m^2)} \times 10 = 4.352 (j_1 - j_2) (W) \quad (4-2)$$

$$Q_{13} = \frac{J_1 - J_3}{1/A_1 F_{13}} = \frac{J_1 - J_3 (W/m^2)}{2.856 \times 10^4 (1/m^2)} = \frac{j_1 - j_3}{2.856} \times 10 = 3.501 (j_1 - j_3) (W) \quad (4-3)$$

$$Q_{23} = \frac{J_2 - J_3}{1/A_2 F_{23}} = \frac{J_2 - J_3 (W/m^2)}{2.856 \times 10^4 (1/m^2)} = \frac{j_2 - j_3}{2.856} \times 10 = 3.501 (j_2 - j_3) (W) \quad (4-4)$$

$$Q_2 = \frac{E_{b2} - J_2}{(1-\varepsilon_2)/\varepsilon_2 A_2} = \frac{6.978 \times 10^5 - J_2 (W/m^2)}{2.247 \times 10^3 (1/m^2)} = \frac{6.978 - j_2}{2.247} \times 100 = 310.5 - 44.5 j_2 (W) \quad (4-5)$$

ただし、

$$J_1 = j_1 \times 10^5 \quad J_2 = j_2 \times 10^5 \quad \text{とする}$$

ダミーおよびサンプル、つまり  $J_1, J_2$  での熱収支は 0 であるから

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{13} \quad (5-1)$$

$$Q_2 + Q_{12} = Q_{23} \quad (5-2)$$

(4-1)~(4-5),(5-1),(5-2)より

$$350.8 - 44.5j_1 = 4.352(j_1 - j_2) + 3.501(j_1 - j_3) \quad (6-1)$$

$$319.5 - 44.5j_2 + 4.352(j_1 - j_2) = 3.501(j_2 - j_3) \quad (6-2)$$

(6-1),(6-2)式を整理すると

$$52.353j_1 - 4.352j_2 - 3.501j_3 = 350.8 \quad (7-1)$$

$$-4.352j_1 + 52.353j_2 - 3.501j_3 = 310.5 \quad (7-2)$$

装置壁面の温度は、サンプルやダミーより相当低いので  $J_3=0$  と仮定して

$$52.353j_1 - 4.352j_2 = 350.8 \quad (7-3)$$

$$-4.352j_1 + 52.353j_2 = 310.5 \quad (7-4)$$

(7-3),(7-4)より

$$j_1 = 7.244 \quad (8-1)$$

$$j_2 = 6.533 \quad (8-2)$$

(4-1)～(4-5)に代入して

$$Q_1 = 28.4(W) \quad (9-1)$$

$$Q_{12} = 3.1(W) \quad (9-2)$$

$$Q_{13} = 25.3(W) \quad (9-3)$$

$$Q_{23} = 22.9(W) \quad (9-4)$$

$$Q_2 = 19.8(W) \quad (9-5)$$

ダミーで発生する 28.4W のうち、3.1W がサンプルへ、25.3W が他へ流れる。ダミーへは Xe 光によって加熱されるので、ダミーへの熱流束( $W/m^2$ )は

$$q_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{28.4(W)}{7.854 \times 10^{-5}(m^2)} = 3.616 \times 10^5 (W/m^2) \quad (9-6)$$

## (2) ダミーでの熱収支

表 2.1(b)よりダミー裏面中央の温度は 1658℃である。ダミーの厚さは 3mm、表 1 より熱伝導率は常温で 150W/m・K であり、1700℃での値を参考文献(3)から推定して 40W/m・K とすると

$$q = k \frac{dT}{dx} \quad (10-1)$$

より

$$dT = \frac{qdx}{k} = \frac{3.616 \times 10^5 (W/m^2) \times 2 \times 10^{-3}(m)}{40(W/m \cdot K)} = 18.1(K) \quad (10-2)$$

したがって、ダミー表面の温度は 1676℃と推定する。

ダミーに入る熱は、中央の  $\phi 10$  に入る熱が 28.4W であるから、面積比率およびホルダーへの伝導熱を  $Q_c$  として

$$Q_{in-1} = 28.4(W) \times \frac{20^2}{10^2} + Q_c = 113.6 + Q_c(W) \quad (11-1)$$

ダミーの表面から外への放射熱は

$$Q_{out-1} = 0.85 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (1676 + 273)^4 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 20^{-3}\right)^2 = 218(W) \quad (11-2)$$

ダミーの側面から外への放射熱は

$$Q_{out-2} = 0.85 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (1676 + 273)^4 \times (2 \times 10^{-3} \times \pi \times 20^{-3}) = 87.4(W) \quad (11-3)$$

(11-1)~(11-3)よりダミーへ照射される熱は、

$$Q_{in} = 113.6 + 218 + 87.4 + Q_c = 419 + Q_c(W) \quad (11-4)$$

以上より、ダミーの熱収支を図6に示す。

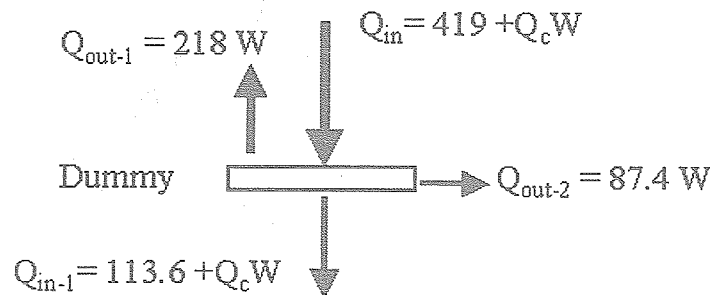


Fig.6 Heat flows at the dummy

(3) ホルダーでの熱収支

表 2.2(b)よりホルダーの端は 1254°Cであるから、側面から外への放射熱は

$$Q_{out-3} = 0.85 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (1254 + 273)^4 \times \pi \times 30 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-3} = 74.1(W) \quad (12-1)$$

したがって、ボスより下へ流れる熱は

$$Q_{in-2} = 113.6 - 74.1 = 39.5(W) \quad (12-2)$$

以上より、ホルダーでの熱収支を図7に示す。

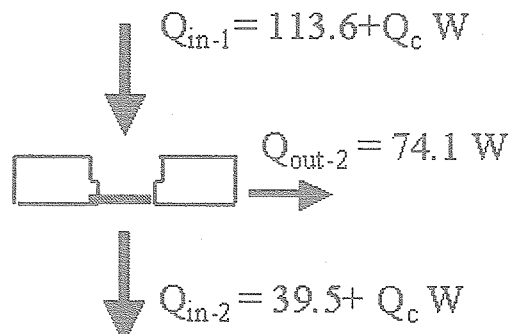


Fig.7 Heat flows at the holder

(4) ボス、遮光リング、スペーサー間の熱収支

ボス、遮光リング、スペーサーの位置関係と輻射熱交換ネットワークを図8に示す。

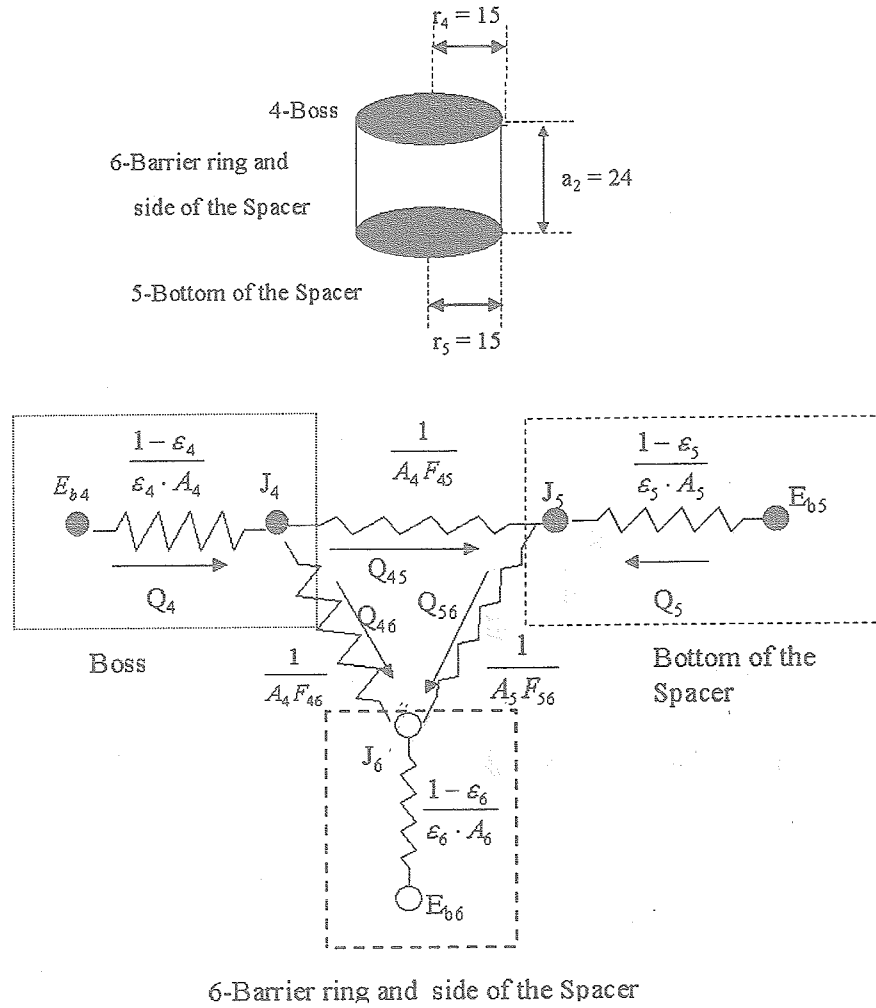


Fig.8 Network of radiation heat exchange between boss, barrier ring and spacer

参考文献(2)より、ボスとスペーサー底面の半径を  $r_4, r_5$ 、両者の距離を  $a_2$  とすると、形状係数  $F_{45}$  は

$$R_4 = \frac{r_4}{a_2} \quad (13-1)$$

$$R_5 = \frac{r_5}{a_2} \quad (13-2)$$

$$F_{45} = F_{54} = \frac{1}{2R_4^2} \left\{ (1 + R_4^2 + R_5^2 - \sqrt{(1 + R_4^2 + R_5^2)^2 - 4R_4^2 R_5^2}) \right\} \quad (13-3)$$

$r_4 = r_5 = r' = 15(\text{mm})$      $a_2 = 24(\text{mm})$   なので

$$R' = \frac{r'}{a_2} = \frac{15}{24} = 0.625 \quad (13-4)$$

$$F_{45} = F_{54} = \frac{1}{2R'^2} (1 + 2R'^2 - \sqrt{1 + 4R'^2}) = 0.231 \quad (13-5)$$

$$F_{46} = 1 - F_{45} = 1 - 0.232 = 0.769 \quad (13-6)$$

$$F_{56} = 1 - F_{54} = 1 - 0.232 = 0.769 \quad (13-7)$$

放射熱交換する部分の面積は

$$A_4 = A_5 = \frac{\pi}{4} \times (30 \cdot 10^{-3})^2 = 7.068 \times 10^{-4} (\text{m}^2) \quad (14-1)$$

$$A_6 = 30 \times 10^{-3} \pi \times 24 \times 10^{-3} = 2.262 \times 10^{-3} (\text{m}^2) \quad (14-2)$$

(13-1)～(14-2)よりボスおよびスペーサ底面の表面抵抗は

$$\frac{1 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 \cdot A_4} = \frac{1 - 0.85}{0.85 \times 7.069 \times 10^{-4}} = 249.64 (1/\text{m}^2) \quad (15-1)$$

$$\frac{1 - \varepsilon_5}{\varepsilon_5 \cdot A_5} = \frac{1 - 0.85}{0.85 \times 7.069 \times 10^{-4}} = 249.64 (1/\text{m}^2) \quad (15-2)$$

$$\frac{1 - \varepsilon_6}{\varepsilon_6 \cdot A_6} = \frac{1 - 0.85}{0.85 \times 2.262 \times 10^{-3}} = 78.02 (1/\text{m}^2) \quad (15-3)$$

放射熱抵抗は

$$\frac{1}{A_4 F_{45}} = \frac{1}{7.069 \times 10^{-4} \times 0.231} = 6.124 \times 10^3 (1/\text{m}^2) \quad (16-1)$$

$$\frac{1}{A_4 F_{46}} = \frac{1}{7.069 \times 10^{-4} \times 0.769} = 1.840 \times 10^3 (1/\text{m}^2) \quad (16-2)$$

$$\frac{1}{A_5 F_{56}} = \frac{1}{7.069 \times 10^{-4} \times 0.769} = 1.840 \times 10^3 (1/\text{m}^2) \quad (16-3)$$

ボス、スペーサでの黒体放射は

$$E_{b4} = \sigma T_4^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times (273 + 1254)^4 = 2.620 \times 10^5 (\text{W}/\text{m}^2) \quad (17-1)$$

$$E_{b5} = \sigma T_5^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times (273 + 974)^4 = 1.165 \times 10^5 (\text{W}/\text{m}^2) \quad (17-2)$$

$$E_{b6} = \sigma T_6^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times (273 + 837)^4 = 0.732 \times 10^5 (\text{W}/\text{m}^2) \quad (17-3)$$

以上より熱の流れは

$$Q_4 = \frac{E_{b4} - J_4}{(1 - \varepsilon_4) / \varepsilon_4 A_4} = \frac{2.620 \times 10^5 - J_4 (\text{W}/\text{m}^2)}{249.64 (1/\text{m}^2)} \quad (18-1)$$

$$Q_5 = \frac{E_{b5} - J_5}{(1 - \varepsilon_5) / \varepsilon_5 A_5} = \frac{1.165 \times 10^5 - J_5 (\text{W}/\text{m}^2)}{249.64 (1/\text{m}^2)} \quad (18-2)$$

$$Q_6 = \frac{E_{b6} - J_6}{(1 - \varepsilon_6) / \varepsilon_6 A_6} = \frac{0.732 \times 10^5 - J_6 (\text{W}/\text{m}^2)}{78.02 (1/\text{m}^2)} \quad (18-3)$$

$$Q_{45} = \frac{J_4 - J_5}{1/A_4 F_{45}} = \frac{J_4 - J_5 (W/m^2)}{6.124 \times 10^3 (1/m^2)} \quad (18-4)$$

$$Q_{46} = \frac{J_4 - J_6}{1/A_4 F_{46}} = \frac{J_4 - J_6 (W/m^2)}{1.840 \times 10^3 (1/m^2)} \quad (18-5)$$

$$Q_{56} = \frac{J_5 - J_6}{1/A_5 F_{46}} = \frac{J_5 - J_6 (W/m^2)}{1.840 \times 10^3 (1/m^2)} \quad (18-6)$$

熱収支から

$$Q_4 = Q_{45} + Q_{46} \quad (19-1)$$

$$Q_{45} + Q_5 = Q_{56} \quad (19-2)$$

$$Q_{46} + Q_{56} + Q_6 = 0 \quad (19-3)$$

(18-1)~(18-6), (19-1)~(19-3)より

$$J_4 = j_4 \times 10^5 \quad J_5 = j_5 \times 10^5 \quad J_6 = j_6 \times 10^5 \quad \text{として整理すると}$$

$$28.86 j_4 - j_5 - 3.33 j_6 = 64.27 \quad (19-4)$$

$$j_4 - 28.86 j_5 + 3.33 j_6 = -28.58 \quad (19-5)$$

$$j_4 + j_5 - 25.58 j_6 = -17.26 \quad (19-6)$$

(19-4)~(19-6)より

$$j_4 = 2.36 \quad (20-1)$$

$$j_5 = 1.17 \quad (20-2)$$

$$j_6 = 0.814 \quad (20-3)$$

(18-1)~(18-6)に代入して

$$Q_4 = 104(W) \quad (21-1)$$

$$Q_5 = 0(W) \quad (21-2)$$

$$Q_6 = -104(W) \quad (21-3)$$

$$Q_{45} = 19.5(W) \quad (21-4)$$

$$Q_{46} = 84.5(W) \quad (21-5)$$

$$Q_{56} = 19.5(W)$$

したがって、ボスへの入熱は

$$Q_{in-3} = Q_4 = 104(W) \quad (22-1)$$

スペーサ側面および遮光リングから外への放射熱は

$$Q_{out-3} = -Q_6 = 104(W) \quad (22-2)$$

スペーサ、遮光リング間の熱収支を図9に示す。

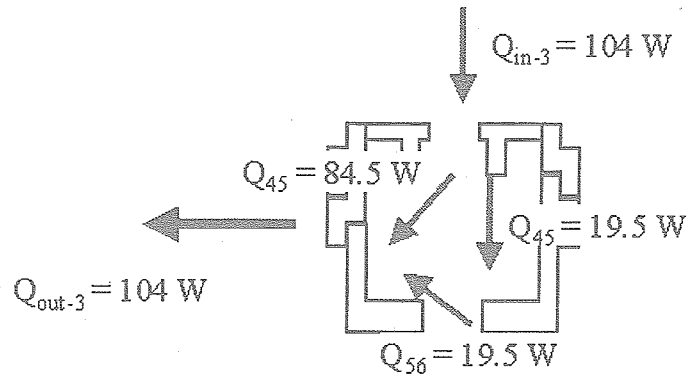


Fig.9 Heat flow between boss, barrier ring and spacer

(12-2),(21-2)よりホルダーからボスへの伝導での入熱は

$$Q_c = 104 - 39.5 = 64.5(W) \quad (23-1)$$

これと(11-1),(11-4)より

$$Q_{in-1} = 113.6 + 64.5 = 178.1(W) \quad (23-2)$$

$$Q_{in} = 419 + 64.5 = 483.5(W) \quad (23-3)$$

(1)-(4)で述べたことにより、ダミーに 483.5W 照射されたうち、218W はダミー上面から、265.5W は側面から放射されることになる。状況を図10に示す。

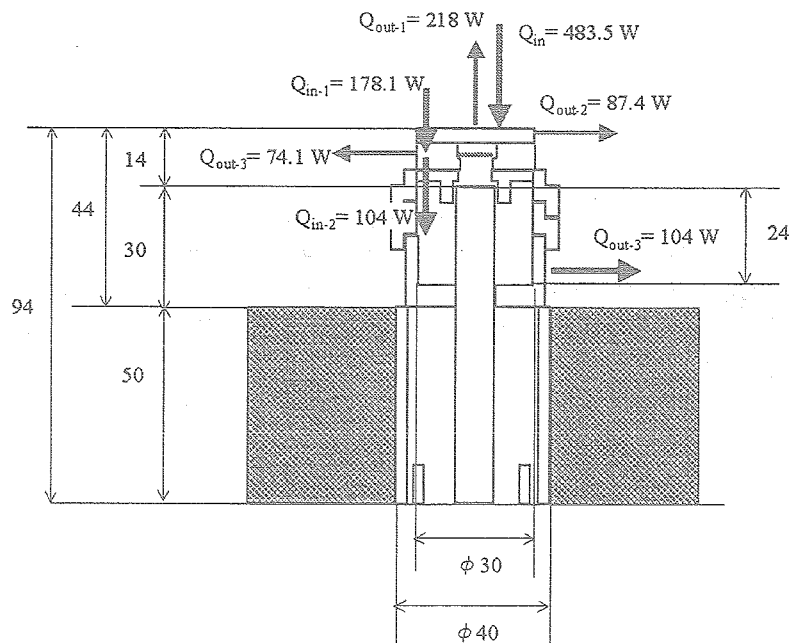


Fig.10 Whole aspect of the heat flow

(5) 断熱材への入射熱

① 断熱材とサンプルサポート上部の形状係数



断熱材とサンプルサポート上部の放射熱交換を模式的に図 11 に示す。2重円筒の筒の部分 (7) をサンプルサポート上部、底面 (8) を断熱材、仮想的に外側の円筒 (9) を考える。

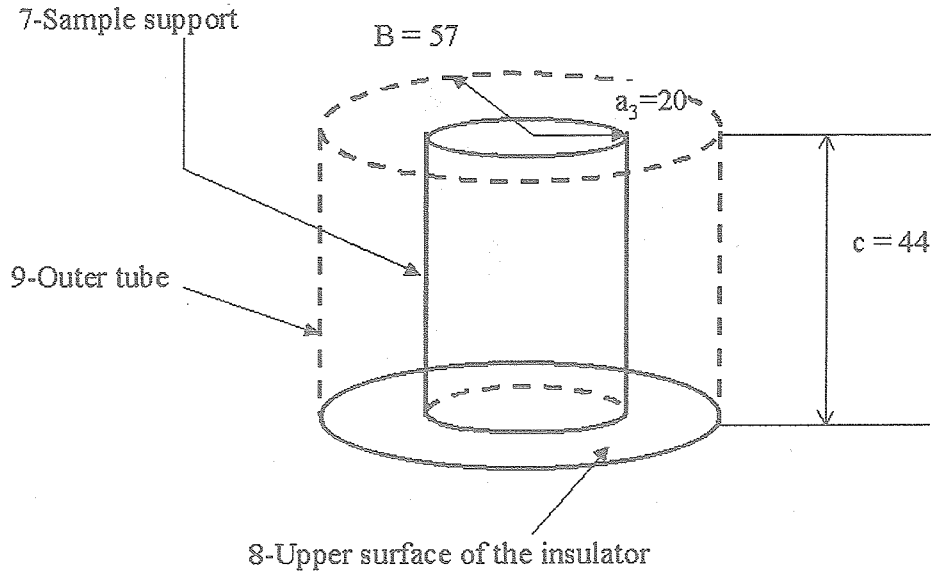


Fig.11 Heat exchange between the insulator and the upper part of the sample support

参考文献(2)より、内径を  $a_3$ 、外径を  $b$ 、高さを  $c$  とすると、内側の円筒 (7) と外側の円筒 (9) 間の形状係数  $F_{79}$  は、

$$X = \frac{b}{a_3} = \frac{57}{20} = 2.85 \quad (24-1)$$

$$Y = \frac{c}{a_3} = \frac{44}{20} = 2.2 \quad (24-2)$$

$$A = X^2 + Y^2 - 1 = 2.85^2 + 2.2^2 - 1 = 12.0 \quad (24-3)$$

$$B = -X^2 + Y^2 + 1 = -2.28 \quad (24-4)$$

より

$$F_{79} = \frac{1}{X} - \frac{1}{\pi X} \left[ \cos^{-1} \frac{B}{A} - \frac{1}{2Y} \left\{ \sqrt{(A+2)^2 - (2X)^2} \cos^{-1} \frac{B}{XA} + B \sin^{-1} \frac{1}{X} - \frac{\pi A}{2} \right\} \right]$$

$$= 0.3509 - 0.1117 \times [1.7628 - 0.2273 \times \{12.746 \times 1.638 - 0.818 - 18.79\}]$$

$$= 0.3509 - 0.1117 \times [1.7628 - 0.2273 \times 1.267]$$

$$= 0.186 \quad (24-5)$$

したがって、サンプルサポート上部と断熱材の形状係数は、

$$F_{12} = \frac{1 - F_{13}}{2} = 0.407 \quad (24-6)$$

断熱材への入熱は

$$Q_i = 0.407 \times 265.5 = 108.1(W) \quad (25)$$

## 5.まとめ

- ・ 静的加熱試験時に装置各部の温度を測定して分布を把握した。
- ・ 耐火煉瓦を静的加熱試験に使用できることを確認した
- ・ 加熱試験時の熱の流れを概算した。

## 6.参考文献

- (1) Y. S. Touloukian : THERMAL RADIATIVE PROPERTIES Coating
- (2) ドイツ技術者協会編、高松武一郎・荻野文丸監修、木内学（訳）、「熱計算ハンドブック」日本能率協会、1984年
- (3) 日本熱物性学界編、「熱物性ハンドブック」養賢堂、2000年

7. APPEXDIX  
 7.1 Configuration-1  
 7.1.1 Dis-1

(1) 測定位置

ダミー（裏面中央）、サンプル、スペーサ（底面で中央ガラス管近傍）、サンプルサポート（上端から 5mm および 25mm）の温度を測定した。測定位置を図 12-1(a)に示す。

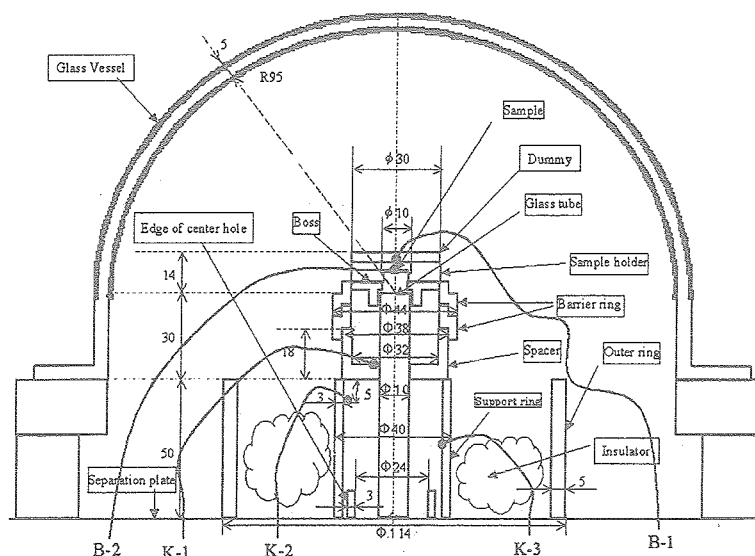


Fig.12-1(a) Experimental setup of Dis-1

(2) データ取得状況

取得した温度、時刻履歴をそれぞれ表 3.1、図 12-1(b)に、概要を以下に示す。

- ① ダミーの熱電対測定値は Step-9 で 1693.4℃まで達したが、断線のためそれ以降は温度測定できなかった。
- ② サンプルの熱電対測定値は Step-9 で 1652.0℃まで達した。放射温度計測定値は Step-8 で 1325℃に達したそれ以降は変動したが、1325℃以上にはならなかった。
- ③ スペーサやサポートリングの温度測定値は加熱終了後に 990.7℃, 843.2℃, 680.1℃に達した。
- ④ ダミーやサンプルが定常状態になっても、スペーサやサポートリングは定常にはならず温度が上昇した。

Table 3-1 Measured temperatures of Dis-1

Step	Current(A)	Dummy	Sample(°C)		Spacer (°C)	Support Ring (°C)	
		B-1	Pyrometer	B-2	K-1	K-2 (5mm)	K-3(25mm)
1	400	754.5	702	703.1	321.0	224.3	96.1
2	400	1186.5	985	1126.1	633.5	480.3	258.2
3	450	1258.7	1044	1198.1	701.0	555.9	355.3
4	500	1347.7	1105	1282.8	763.0	619.4	436.2
5	400	1454.8	1202	1391.8	822.6	666.2	480.7
6	450	1502.4	1260	1444.3	880.5	723.7	543.1
7	500	1562.4	1308	1498.1	920.6	766.3	580.5
8	550	1625.4	1325	1566.8	951.0	797.6	615.1
9	600	1693.4	NA	1652.0	970.7	821.5	645.7
10	NA	NA	1326	NA	990.7	843.2	680.1

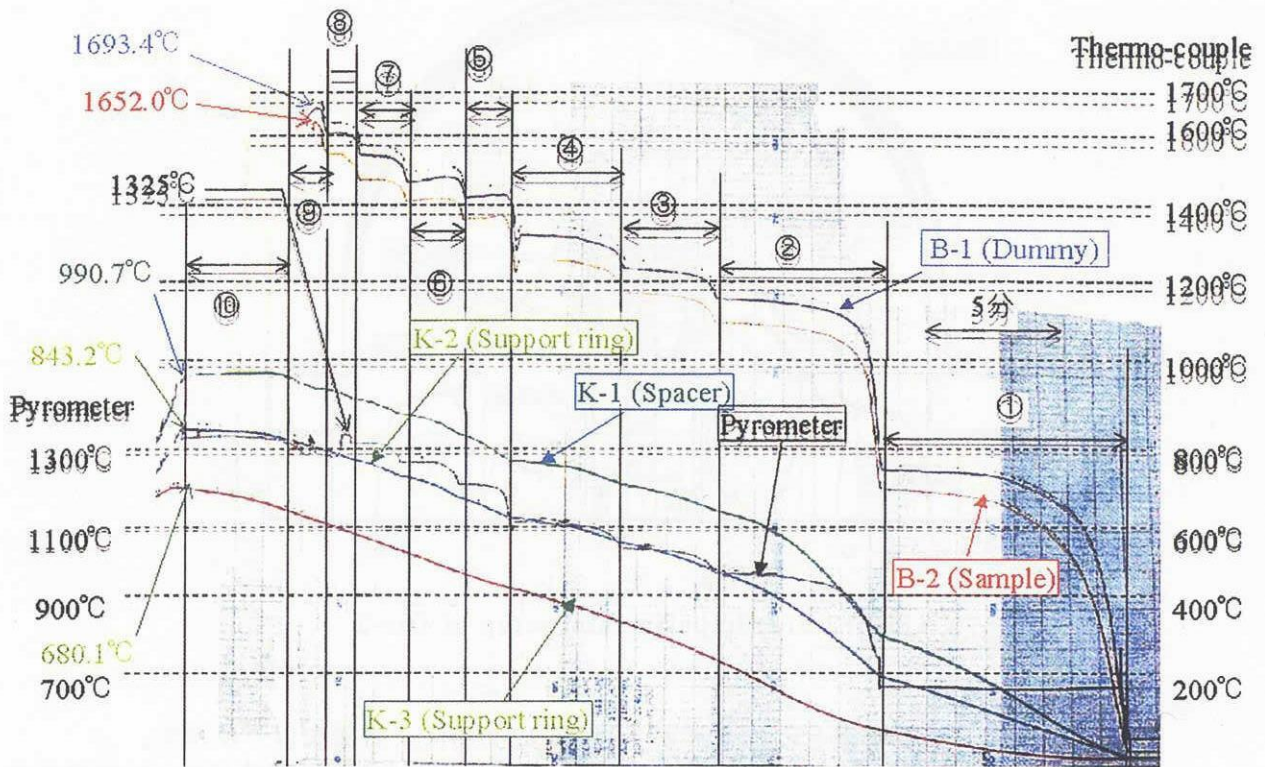


Fig.12-1(b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-1

(3) 温度相関

図 12-1(c)に示す様に、サンプル温度の放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。

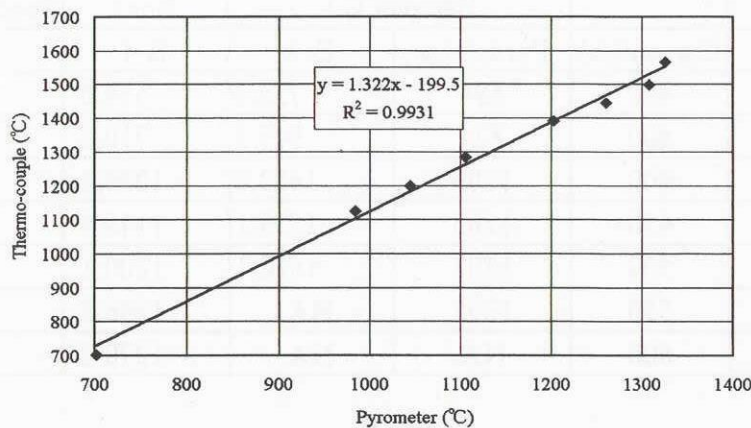


Fig.12-1(c) Correlation of sample temperature of Dis-1

7.1.2 Dis-2

(1) 測定位置

サンプル、ボス（下部）、スペーサ（側面で上から5mm）の温度を測定した。測定位置を図 12-2(a)に示す。

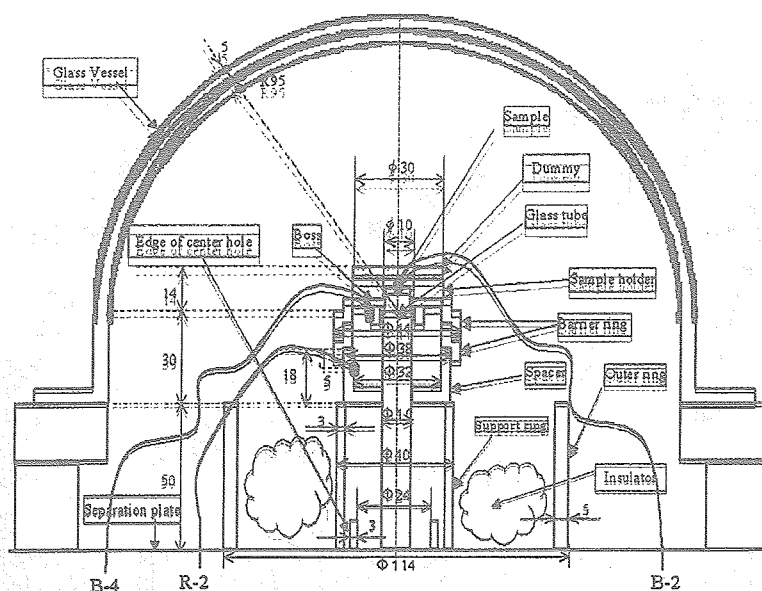


Fig.12-2(a) Experimental setup of Dis-2

(2) データ取得状況

取得した温度、時刻履歴をそれぞれ表 3.2、図 12-2(b)に、概要を以下に示す。

- ① サンプルの熱電対測定値は Step-5 で 1612.1°Cまで達した後に断線した。放射温度計によるサンプル温度測定値は Step-5 で 1302°Cに達したそれ以降は下降した。
- ② ボスとサポートリングの温度測定値は加熱終了後に 1270.3°C, 919.7°Cに達した。また、サンプルやボスが定常状態になっても、スペーサの温度は上昇した。

Table 3.2 Measured temperatures of Dis-2

Step	Current(A)	Sample(°C)		Boss	Spacer (°C)	
		Pyrometer	B-2		B-4	R-2
1	400	694	735.5	534.0		315.4
2	400	834	945.5	710.5		467.0
3	400	1209	1452.8	1096.4		740.0
4	450	1263	1539.1	1148.4		814.3
5	500	1302	1612.1	1200.1		855.4
6	550	1295	NA	1246.9		892.4
7	600	NA	NA	1270.3		919.7

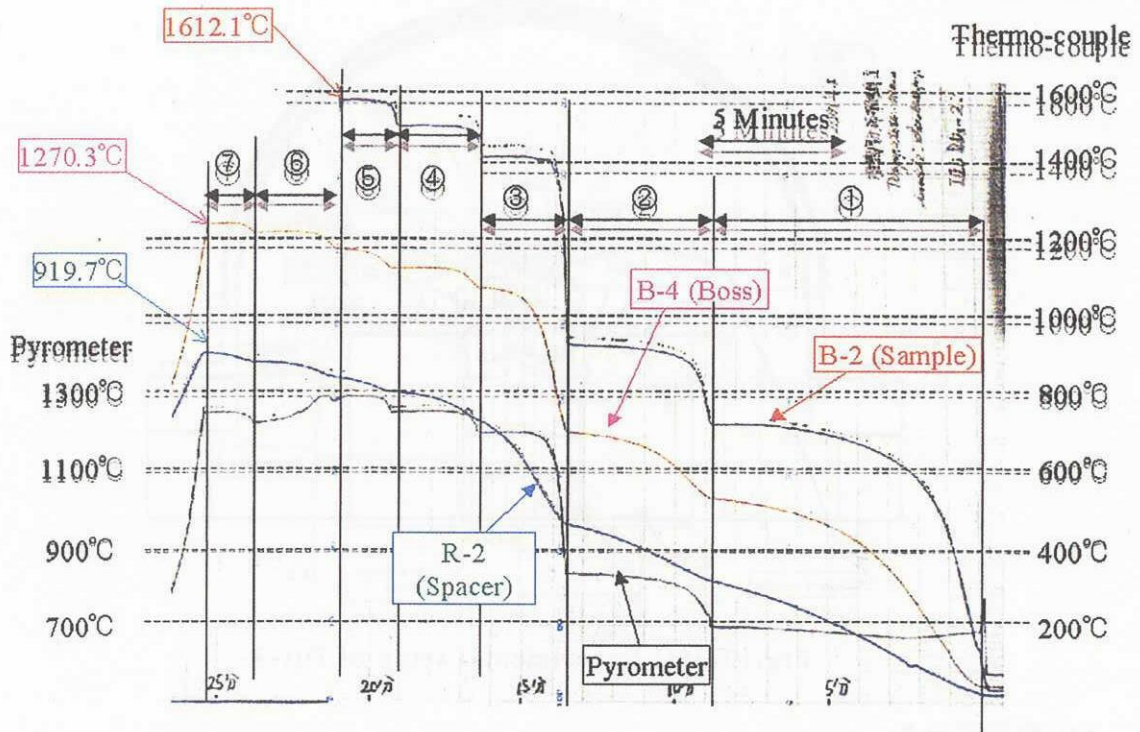


Fig.12-2(b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-2

(3) 温度測定結果

図 12-2(c)に示す様に、サンプル温度の放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。

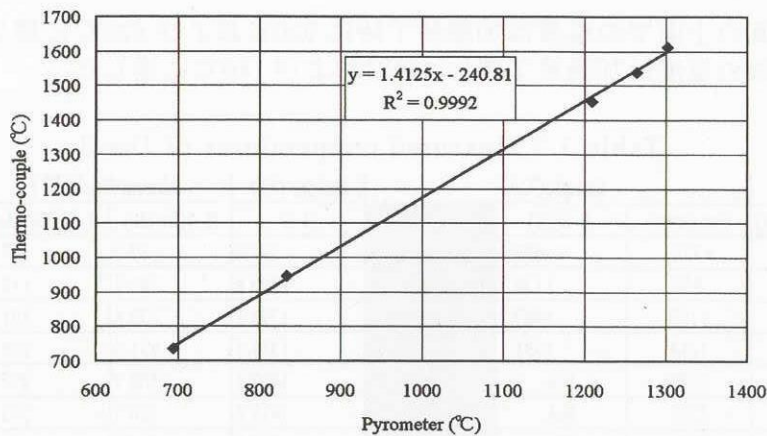


Fig.12-2(c) Correlation of sample temperature of Dis-2

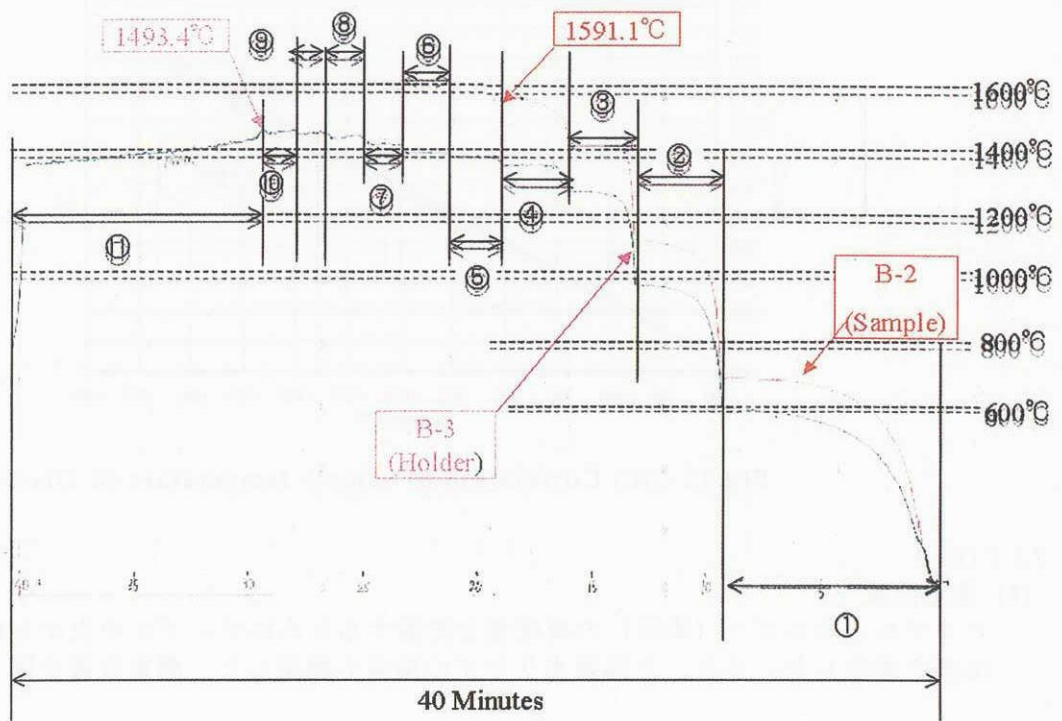
7.2 Configuration-2

7.2.1 Dis-3

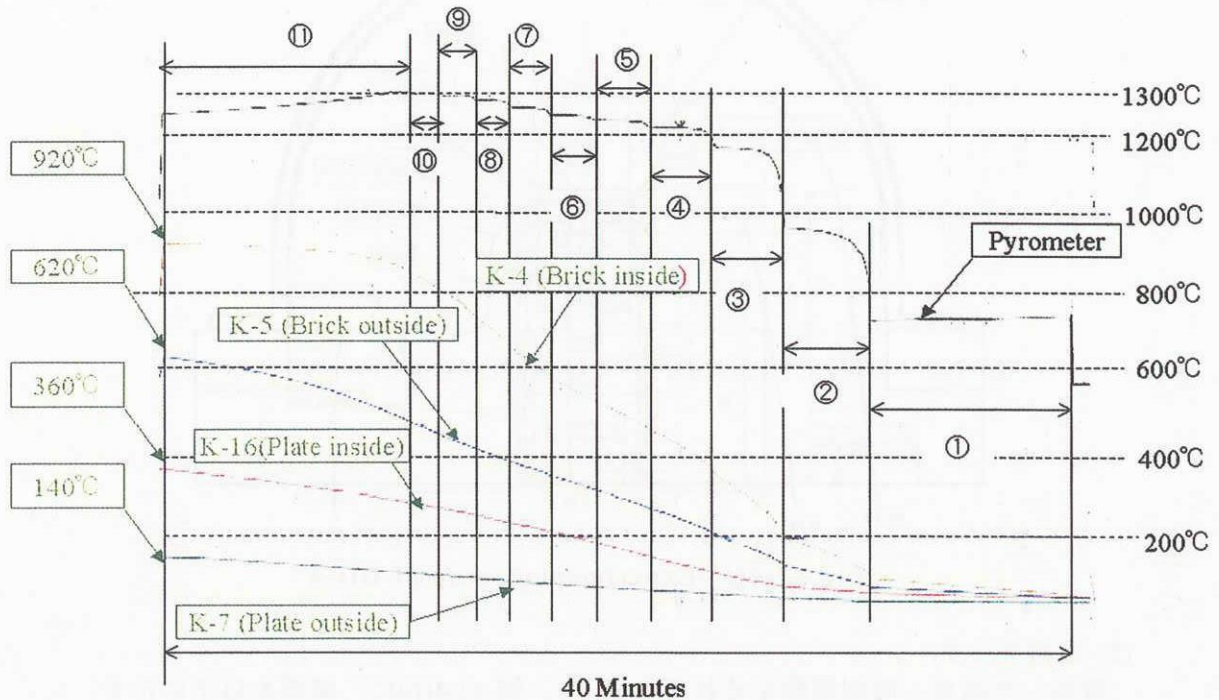
(1) 測定位置

サンプルとホルダー（中央）の温度差を把握するためにサンプル中央から 10 mm の位置で温度を測定した。また、耐火煉瓦上面、仕切り板上での温度分布を測定した。尚、サンプルサポートの酸化を防ぐために窒素雰囲気中で加熱した。測定位置を図 12-3(a)に示す。





B-2, B-3



(Pyrometer, K-4 ~ K-7)

Fig.12-3 (b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-3

(3) 温度測定結果

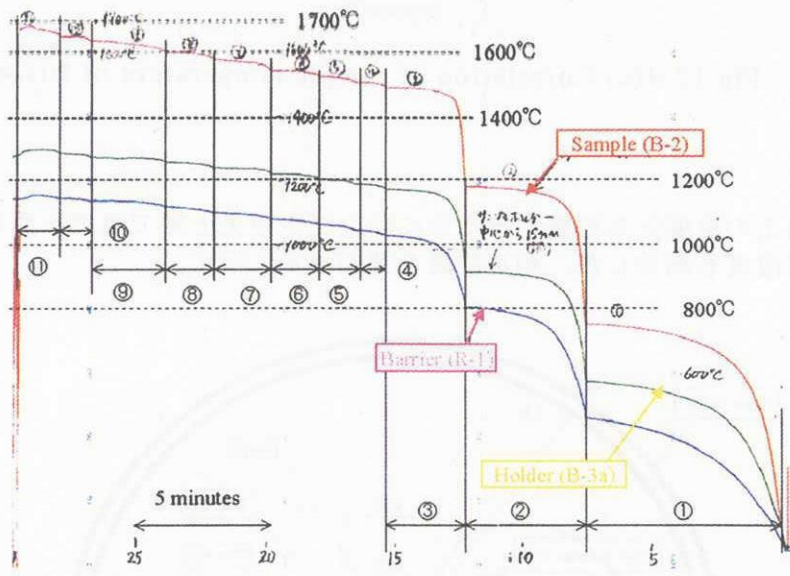
図12-3(c)に示す様に、サンプル温度の放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。



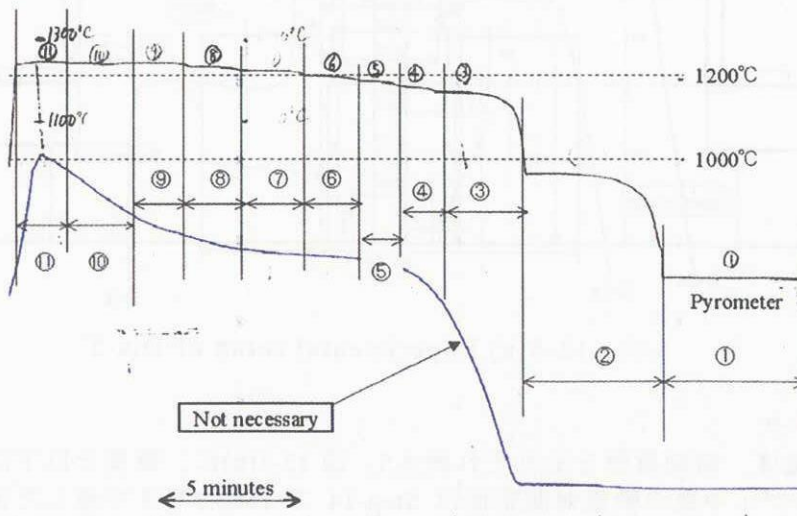


Table 3.4 Measured temperatures of Dis-4

Step	Current(A)	Sample(°C)		Holder(°C)		Barrier
		Pyrometer	B-2	B-3a	R-1	
1	400	700	751.3	572.0	459.8	
2	400	963	1179.2	913.5	804.5	
3	400	1166	1485.6	1171.8	1031.5	
4	410	1180	1502.4	1186.7	1048.5	
5	420	1194	1521.3	1203.1	1063.6	
6	430	1200	1540.5	1218.2	1080.3	
7	440	1221	1571.4	1236.4	1100.0	
8	450	1232	1596.6	1253.0	1119.8	
9	460	1239	1630.4	1269.3	1137.3	
10	470	1239	1644.0	1282.4	1144.3	
11	480	1236	1679.0	1290.9	1142.6	



(B-2, B-3a, R-1)



(Pyrometer)

Fig.12-4 (b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-4

(3) 温度相関

図 12-4(c)に示すように、放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。

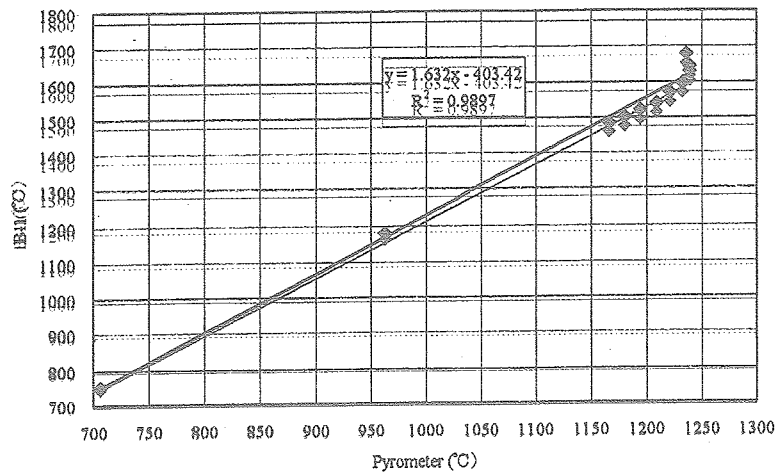


Fig.12-4(c) Correlation of sample temperature of Dis-4

7.2.3 Dis-5

(1) 測定位置

サンプル表面上の温度分布把握するためにサンプル中央と端で温度を測定した。また、下部遮光リング温度も測定した。測定位置を図12-5(a)に示す。

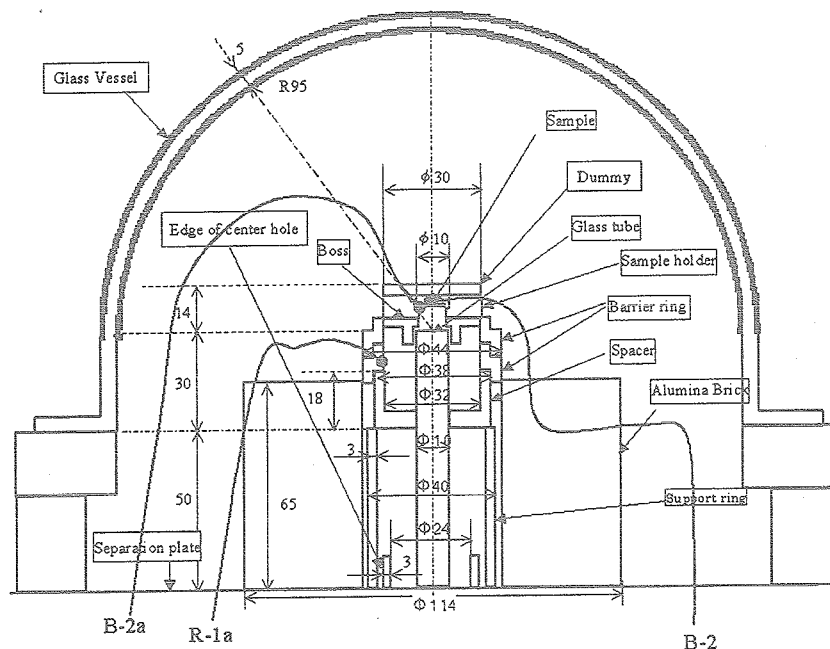


Fig.12-5(a) Experimental setup of Dis-5

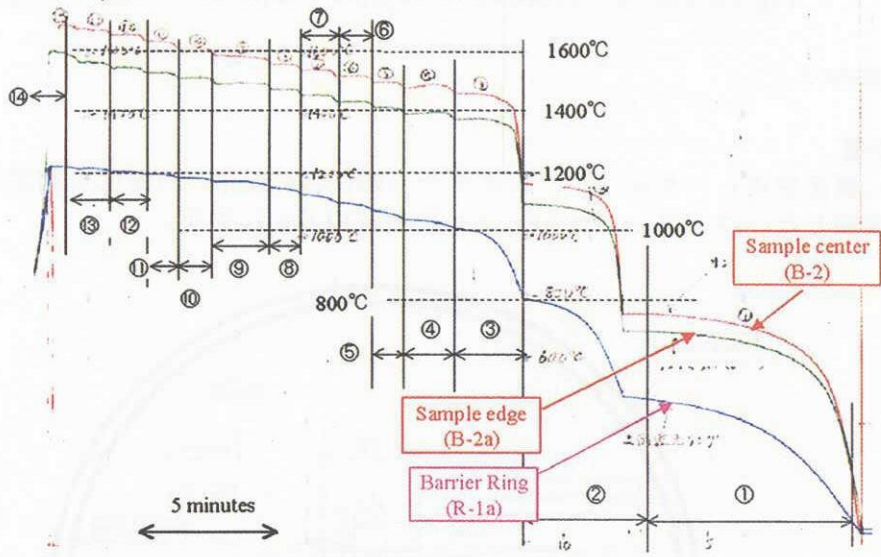
(2) 取得データ

取得した温度、時刻履歴をそれぞれ表 3.5、図 12-5(b)に、概要を以下に示す。

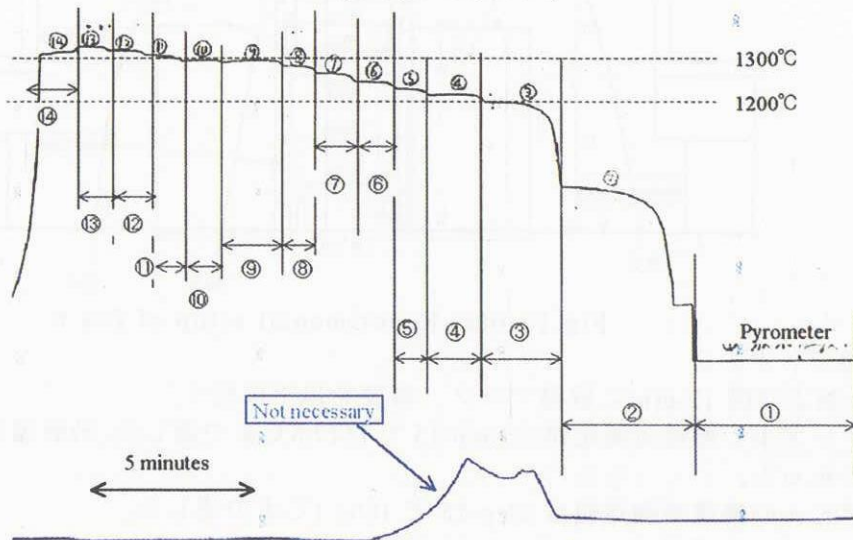
- ① サンプル中央の熱電対測定値は Step-14 で 1683.3°Cまで達した後に断線した。その時に端は 1600.5°Cであった。
- ② 放射温度計測値は Step-13 で 1349°Cまで上昇したが Step-14 で 1329°Cに低下した。
- ③ 下部遮光リングは Step-14 でそれぞれ 1229.3°Cに達した。
- ④ サンプル、下部遮光リングの温度はそれぞれ定常状態になった。

Table-3.5 Measured temperatures of Dis-5

Step	Current(A)	Sample(°C)			Barrier (°C)
		Center		Edge	R-1a
		Pyrometer	B-2	B-2a	
1	400	705	745.3	689.3	475.2
2	400	863	1165.3	1100.0	791.8
3	400	1202	1463.0	1377.1	1023.9
4	420	1221	1480.7	1394.1	1054.6
5	440	1237	1500.2	1416.3	1082.2
6	460	1256	1519.5	1436.0	1109.8
7	480	1275	1541.3	1457.5	1135.9
8	500	1288	1556.5	1475.9	1159.5
9	520	1308	1584.1	1497.1	1178.9
10	540	1313	1608.6	1512.7	1191.5
11	560	1326	1630.7	1528.3	1203.5
12	580	1338	1653.5	1547.8	1213.3
13	600	1349	1674.9	1563.8	1222.0
14	620	1329	1683.3	1600.5	1229.3



(B-2, B-2a, R-1a)



(Pyrometer)

Fig.12-5 (b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-5

(3) 温度相関

図 12-5(c)に示すように、放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。

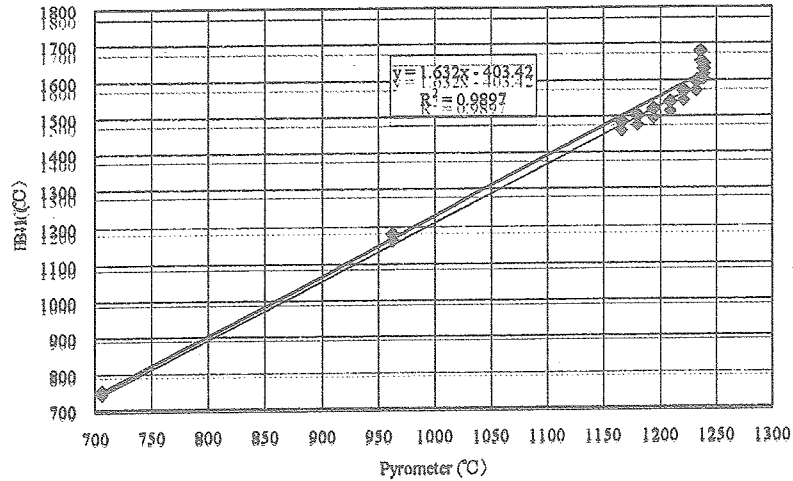


Fig.12-5(c) Correlation of sample temperature of Dis-5

7.3 Configuration-3

7.3.1 Dis-6

(1) 測定位置

ダミー（裏面中央）、サンプル、ホルダー（端から4.5mm）の温度を測定した。加熱は空气中で実施した。コンフィギュレーションを図12-6(a)に示す。

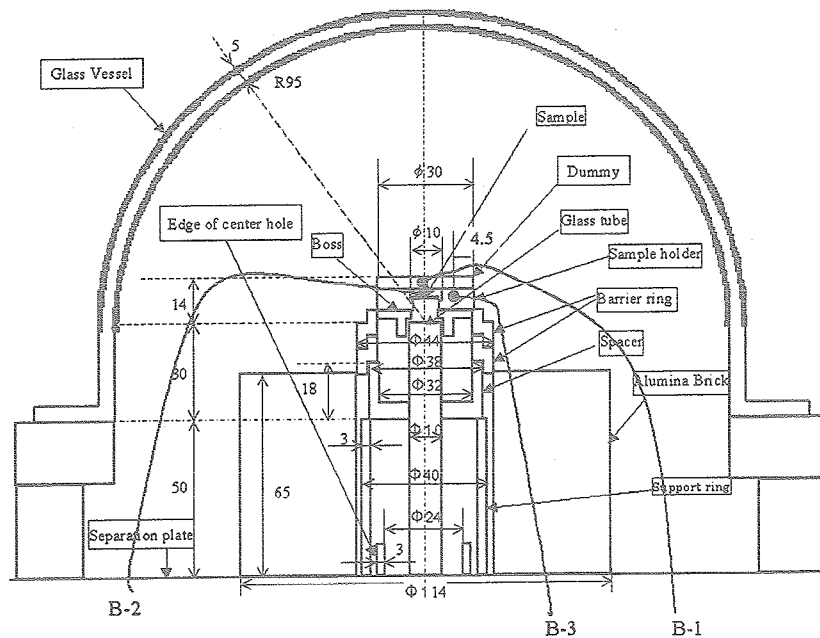


Fig.12-6(a) Experimental setup of Dis-6

(2) 取得データ

表 3.6 および図 12-6(b)に取得データ、概要を以下に記す。

- ① サンプルの熱電対測定値は Step-15 で 1577.8℃まで達した、放射温度計測値は 1250℃であった。
- ② ダミーの熱電対測定値は Step-15 で 1663.1℃まで達した。
- ③ ホルダーの温度は Step-2 で 998.4℃に達したが、断線のためそれ以降の温度測定はできなかった。

Table-3.6 Measured temperatures of Dis-6

Step	Current(A)	Dummy(°C)		Sample(°C)		Holder(°C)	
		B-1	Pyrometer	B-2	B-3		
1	400	700.6	625	643.7	609.6		
2	400	1111.8	882	1045.4	998.4		
3	400	1417.5	1088	1328.6	NA		
4	420	1454.3	1112	1367.7	NA		
5	440	1489.3	1138	1402.7	NA		
6	460	1520.4	1165	1442.1	NA		
7	480	1562.7	1183	1473.8	NA		
8	500	1589.3	1206	1504.1	NA		
10	NA	NA	NA	NA	NA		
9	520	1615.4	1223	1532.5	NA		
11	560	1576.9	1205	1503.6	NA		
12	580	1596.1	1212	1520.6	NA		
13	600	1616.1	1225	1535.6	NA		
14	620	1636.9	1237	1554.8	NA		
15	640	1663.1	1250	1577.8	NA		

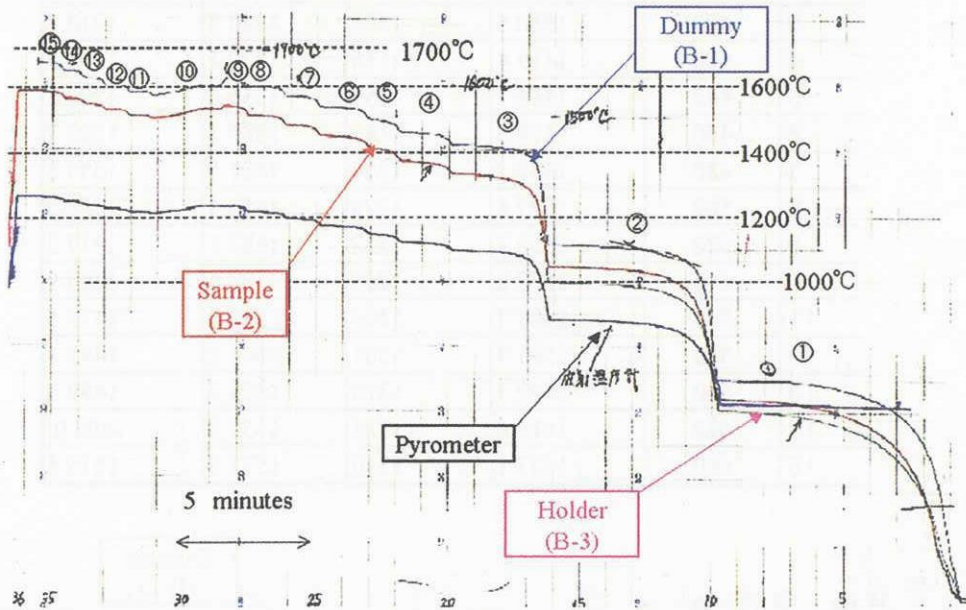


Fig.12-6(b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-6

(3) 温度相関

図 12-6(c)に示すように、放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。

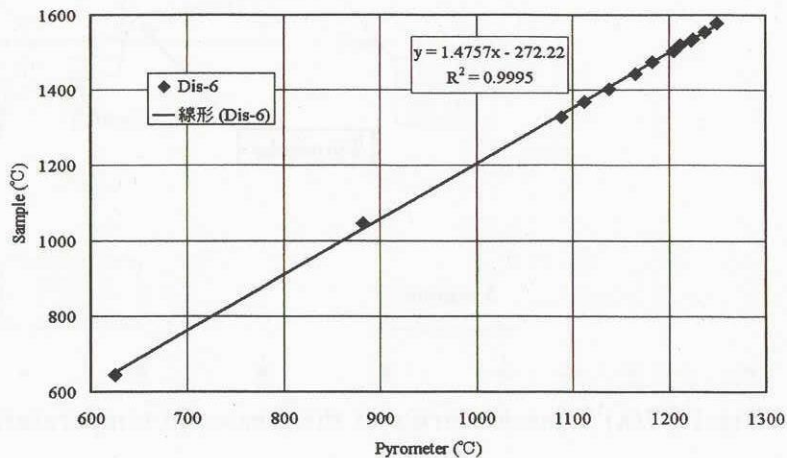


Fig.12-6(c) Correlation of sample temperature of Dis-6

### 7.3.2 Dis-7

#### (1) 測定位置

温度分布測定試験-6時にホルダーの温度取得ができなかったため、Dis-6と同じコンフィギュレーションで再度加熱を実施した。尚、加熱途中で空気からアルゴンに雰囲気を変えた。

#### (2) 取得データ

表 3.7 および図 12-7(a)に取得データ、概要を以下に記す。

- ① サンプルの熱電対測定値は Step-15 で 1572.2℃まで達した、放射温度計測値は 1340℃であった。
- ② ダミーの熱電対測定値は Step-15 で 1637.1℃まで達した。
- ③ ホルダーの温度は Step-15 で 1515.6℃に達した。

Table 3.7 Measured temperatures of Dis-7

Step	Current(A)	Dummy(°C)		Sample(°C)		Holder(°C)	
		B-1	Pyrometer	B-2	B-3		
1	400	708.7	635	641.4	611.3		
2	400	1097.8	896	1018.7	963.1		
3	400	1380.5	1105	1290.5	1218.8		
4	420	1419.4	1135	1330.1	1258.2		
5	440	1446.1	1157	1356.6	1290.8		
6	460	1476.3	1180	1387.1	1322.7		
7	480	1498.2	1204	1421.5	1355.6		
8	500	1527.6	1228	1453.1	1387.3		
9	520	1552.7	1252	1482.1	1417.3		
10	540	1577.2	1268	1507.6	1444.9		
11	560	1588.3	1286	1532.3	1473.5		
12	580	1595.9	1301	1544.2	1493.1		
13	600	1597.3	1318	1553.7	1499.3		
14	620	1614.6	1325	1559.8	1500.0		
15	640	1637.1	1340	1572.2	1515.6		

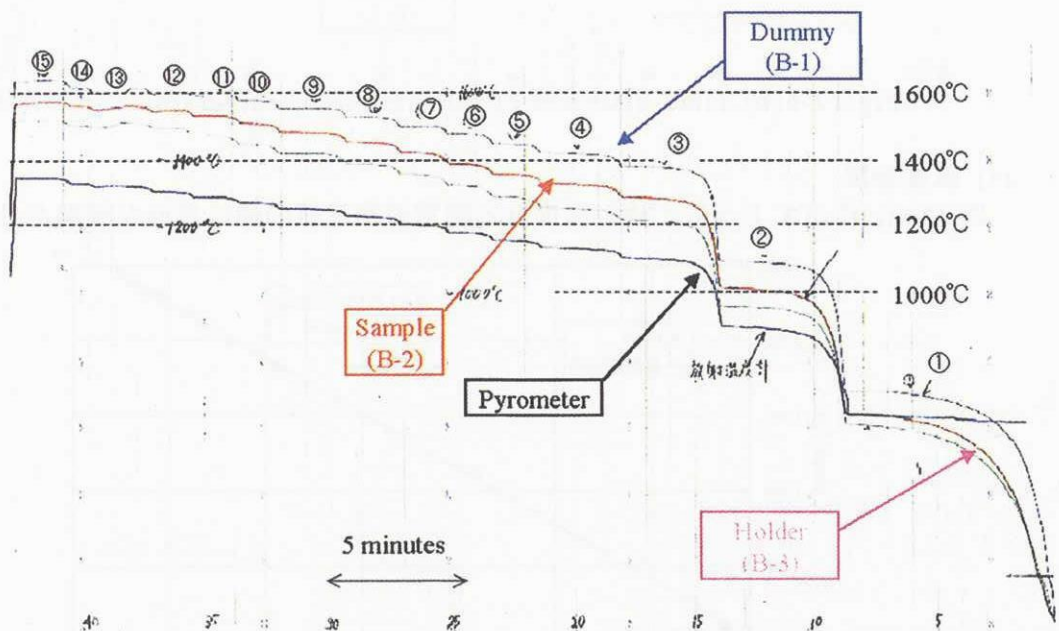


Fig.12-7(a) Time-histories of the measured temperatures of Dis-7





Table 3.8 Measured temperatures of Dis-8

Step	Current(A)	Dummy(°C)		Sample(°C)	
		B-1a	Pyrometer	B-2	
1	400	718.5	738	654.1	
2	400	1102.4	988	1048.9	
3	400	1378.9	1211	1213.5	
4	420	1410.1	1241	1334.5	
5	450	1458.2	1281	1376.8	

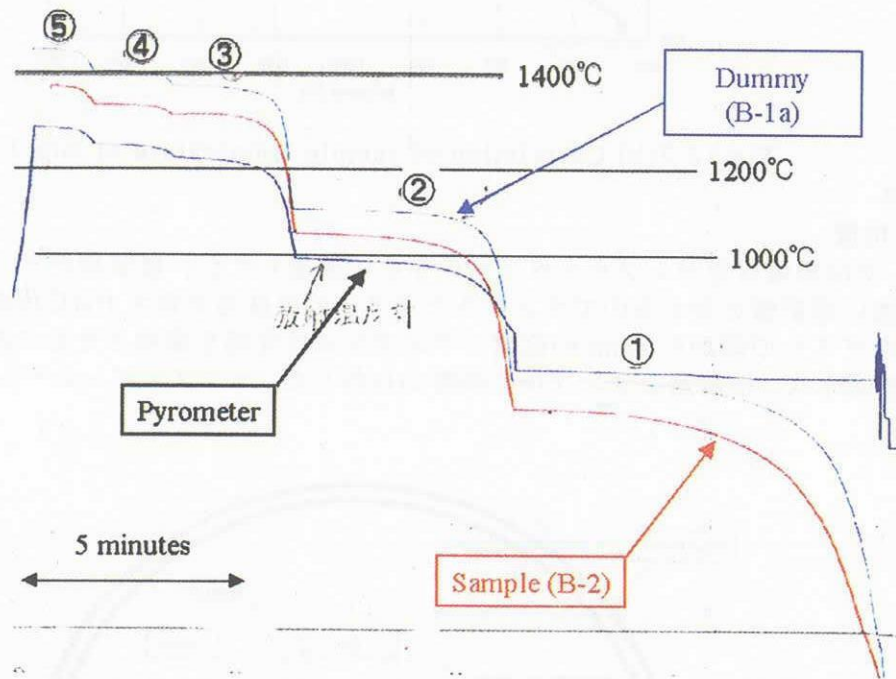


Fig.12-8(b) Time-histories of the measured temperatures of Dis-8

(3) 温度相関

図 12-8(c)に示すように、放射温度計と熱電対測定値の間に良好な相関が見られた。

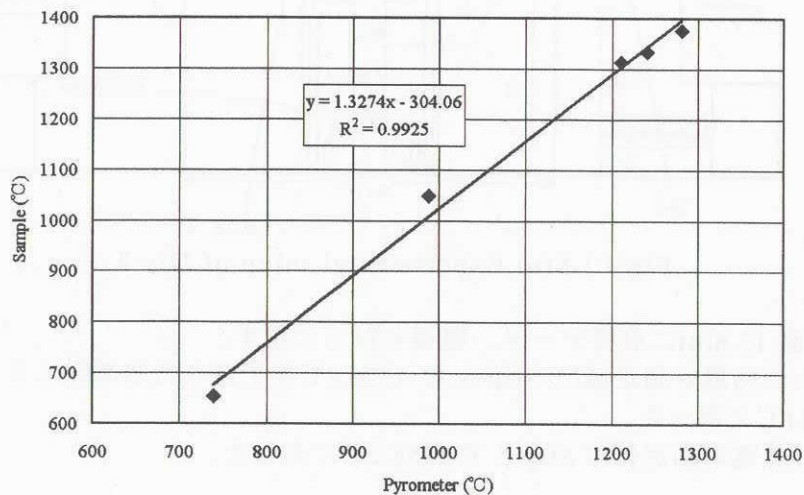


Fig.12-8(c) Correlation of sample temperature of Dis-8

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-03-012

---

発行日 2004年3月25日  
編集・発行 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構  
〒182-8522  
東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1  
TEL 0422-40-3000 (代表)  
印刷所 株式会社 ビー・シー・シー・  
東京都港区浜松町2-4-1

---

©2004 JAXA

※本書(誌)の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複写、複製、転載、テープ化およびファイル化することを禁じます。

※本書(誌)からの複写、転載等を希望される場合は、下記にご連絡ください。

※本書(誌)中、本文については再生紙を使用しております。

<本資料に関するお問い合わせ先>

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 情報化推進部 宇宙航空文献資料センター



宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency

