

N 841-77-62

(配付限定)

資料は 2011. 6. - 6 日付で登録区分、
更する。

[技術情報室]

熱伝導率測定 (I)

酸化物燃料 (UO_2)

Thermal Conductivity Measurment of UO_2

1977年11月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

1977年11月30日

熱伝導率測定(I)

登録区分
2001.6.6
変更表示

酸化物燃料(UO_2)Thermal Conductivity Measurment of UO_2

実施責任者：小泉益通(プルトニウム部)

本田裕(")

報告者：山口俊弘(")

畠山二三男(")

金子洋光(")

古屋廣高⁽¹⁾横内洋二⁽²⁾

研究目的；混合酸化物燃料($30\% \text{PuO}_2 - 70\% \text{UO}_2$)の低O/M燃料ペレットの熱伝導率を知るための先行試験とし、 UO_2 燃料の熱伝導率を測定する。

研究概要；熱伝導率の測定方式は、中心加熱法を用い行なった。装置は、米国より1975年2月に購入し、翌年の7月までに、改造ならびに原子力安全局への申請業務、装置の据付け工事等を行なった。

UO_2 試料は、三菱原子力工業(株)に依頼し、製造したものである。直径 $20\phi_{\text{mm}}$ 、内径 $5\phi_{\text{mm}}$ の形状のものである。また、ペレット側面に温度測定用の深さの違った穴を4ヶあけてあるものである。

温度の測定には、オプティカル バイロメータを使用した。バイロメータの補正は、標準電球を用い 2300°C までの補正を行なった。測定中の雰囲気は、Heガスである。測定温度範囲は、 $900^{\circ}\text{C} \sim 2300^{\circ}\text{C}$ である。

測定結果を、Baily-Asamoto, Lyons等のデータを基に比較評価した。この結果良く一致した値を得た。熱伝導率は、Lyonsのデータに似た傾向を示し、 1800°C 近傍で上昇している。今回の実験で得られた、 UO_2 熱伝導率の式を以下に示す。

$$K_{\text{UO}_2}(93.4) = \frac{1}{6.8381 + 0.02926 \times T} + 8.2032 \times 10^{-13} \cdot T^3 \quad (T: ^{\circ}\text{C}, K: \text{w/cm} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

(1) 九州大学工学部・応用原子核工学部 助教授

(2) 科学技術庁・原子炉規制課

目 次

I まえがき	1
II 測定装置および方法	2
1. 測定装置	2
2. 測定方法	2
III 測定試料	5
1. 製造工程および条件	5
2. ベレット仕様	6
IV 測定前試料と測定後試料の比較	7
V 測定結果および考察	8
1. 測定結果	8
2. 他測定者のデータとの比較	8
3. 誤差評価	9
VI 結論	10
参考文献	25
Appendix 1	26

I まえがき

燃料の熱伝導率を知ることは、燃料ピンの設計、解析または照射中の燃料挙動を知る上で重要なものである。

我々の実験は、混合酸化物燃料の 30 wt% PuO₂—NUO₂、低 O/M の熱伝導率を測定することを、最終目的としている。今回の UO₂ 燃料の測定は、その先行として行なった。UO₂ を先行試料に選んだ理由は、(1) 混合酸化物燃料に近い物性値を持っている。(2) 現在までに多数の測定報告がなされ、測定値は、ほど同一傾向を示している。(3) 装置を改良する場合に、取扱いが容易である。などのためである。

今回の実験では、測定温度を 900 °C～2300 °C の範囲を目的に行なった。測定値は、我々が目標とした、Bailey-Asamoto, Lyons 等の値と一致している。高温領域では、電子伝導、輻射による寄与があり、熱伝導率が高くなるという説のごとく、我々の実験においても、1800 °C～1900 °C 近辺より次第に熱伝導率は高くなっている。しかし、2200 °C 以上からは、測定値が予想より低いものとなった。この理由は、測定穴が、この温度領域より塞がり、正確な測温ができなかった為である。

実験に用いた UO₂ ペレットは、O/U = 2.00、密度 = 93% T.D の縦割スリット入りの中空ペレットであり、外径 20 mm^φ のものである。なお、縦割スリットは、ペレットの熱膨張分を吸収し、UO₂ ペレットの割れを防ぐためのものである。この効果は大きく、測定中には、ほとんど UO₂ ペレットが割れなかった。

II 測定装置および方法

測定装置は、米国セントア社製のもので、1975年（昭和50年）2月に購入したものである。同年の4月より、科学技術庁原子力安全局への申請を行ない、グループボックスへの据え付け、局の立合検査をへて、翌月にUO₂の熱伝導率測定試料の製造発注を行なった。試料は、同年7月に納入された。また、パイロメータの補正、装置の昇温テスト、装置の改良を行ない、1976年11月より1977年4月まで測定を行なった。

1. 測定装置

本装置は、ペレット中心加熱用のロッドヒーターと、ペレットの側面加熱用のメッシュヒーターおよびリフレクター板より構成されている。この他に真空系、電源系、冷却系により、構成されている。

電源は、低電圧、高電流のもので、ロッドヒーター出力8KVA、メッシュヒーター出力25KVAである。最大使用温度は、真空中でロッドヒーターが3000°C、メッシュヒーターが2800°Cである。また、不活性ガス雰囲気中では、ロッドヒーターが2800°C、メッシュヒーターが2500°Cである。

真空系のバルブは、遠隔操作型で、電磁バルブを使用している。真空度は、 10^{-6} ~ 10^{-5} Torrである。不活性ガス中の水分量は、チタニウム金属を酸素ゲッターとして使うことにより、10 ppm以下におさえた。今回の実験で使用している不活性ガスは、ヘリウムである。

安全対策は、(1) 温度異常上昇制御、(2) 断水時の制御、(3) 停電時の制御等が施されている。装置図を図-1に示す。その写真を写真-1に示す。

2. 測定方法

測定に先だって、試料をロッドヒーターにセットする。測定試料の形状を図-2に示す。ロッドヒーターは、タンクステン製の直径4.9 mm^Φのものである。測定試料は、ロッドにセットする前に、外径、測定穴の深さを測定する。この試料のセットは、図-3の様に、下部電極側から6ヶの断熱UO₂ペレットを積み上げ、その上に測定試料をセットする。また、この測定ペレットの上に6ヶの断熱ペレットを積み上げる。この断熱ペレットを積むことによって、測定試料位置からの軸方向の熱の流れを防止することができる。

試料の積み上げが終了した後に、上部測定試料の貫通穴から下部測定試料の貫通穴までの距離を測定する。以上の工程で試料セットが終了する。

加熱炉は、真空引きを行なった後に、4~5回のヘリウムガス置換を行なう。ヘリウムガスは、ガス精製器により、水分量を、低く抑えている。

昇温は、900°Cまでは、外部メッシュヒーターを用い行なう。この時、昇温速度は、約800°C/hrで行なっている。

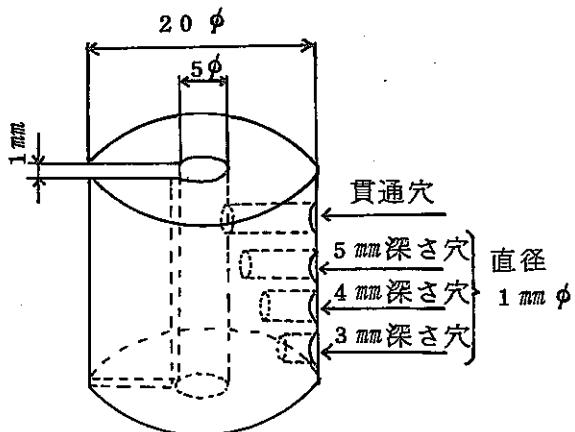


図-2 測定試料

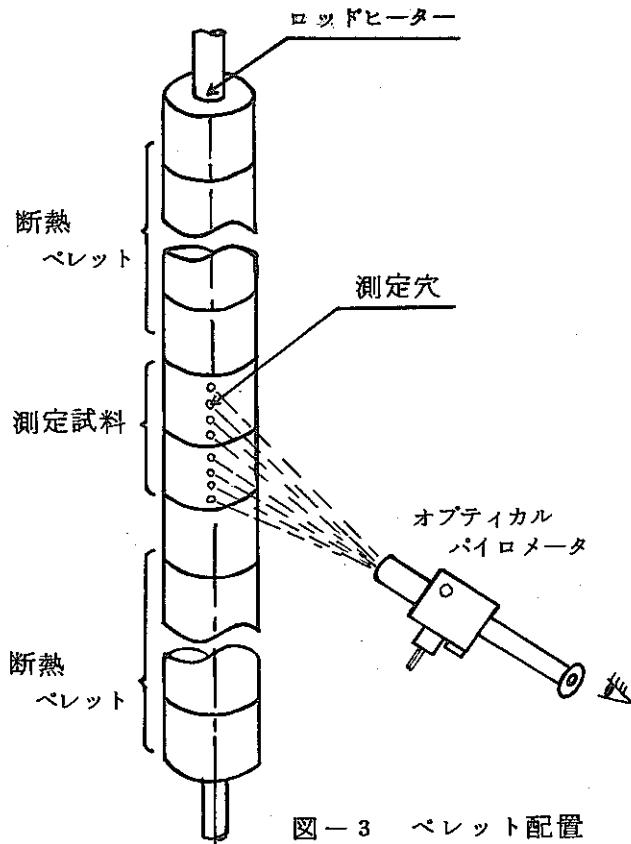


図-3 ペレット配置

900°Cまでの昇温終了後にロッドヒーターに電流を流し、ペレット中心と外面に温度差を付ける。この温度差は、5mm深さの測定穴と3mm深さの測定穴との間に200°C以下とした。混合酸化物の低O/Mペレットを測定する時に、この温度差以上であると、ペレット半径方向に酸素の再分布が起りO/Mは半径方向に一定でなくなってしまうわけである。

温度の測定は、標準電球で補正したオプティカルパイロメータにより行なった。

以上の手順、方法で900°C~2300°Cまでの測定を行なった。

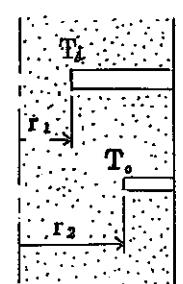
測定原理は、円筒形状の場合の熱伝導の式-1を用い行なった。

$$Q = -2\pi r K \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots(1)$$

計算体系を図-4に示す。

(1)式より

$$-KdT = \frac{Q}{2\pi r} dr \dots\dots\dots(2)$$



燃料中心 燃料表面

図-4 熱伝導率計算体系

(2)式を $T_1 \sim T_o$, $r_1 \sim r_2$ 間で積分する。(但し $T_1 > T_o$, $r_2 > r_1$)

$$K = \frac{Q}{2\pi(T_1 - T_o)} \ell_n \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{w/cm}^{\circ}\text{C})$$

$$\begin{cases} Q : ロッドヒーター出力 (w/cm) \\ T_1, T_o : 測定穴温度 (°C) \\ r_1, r_2 : 中心から測定穴までの距離 (cm) \end{cases}$$

以上の式から熱伝導率を求めることができる。

1) オプティカルパイロメータの補正方法

オプティカル パイロメータ は、測定物の前にある障害物（例えは、ガラス、アクリル、気体等）により誤差が生ずる為、標準電球の前方に、グローブボックスパネル、石英ガラス、距離等を実際に測定する時と同様にセットし補正を行なった。その結果を表-1、図-5に示す。

2) ロッドヒーターの出力評価

ロッドヒーターからの出力評価法には、2通りある。1つは、ロッドヒーター間の電圧を測定し、そこを流れる電流から、出力を評価する方法である。もう1つの方法は、タンゲステンロッドヒーターの電気抵抗と、そこを流れる電流から求める方法である。今回の実験では、後者の方法で Q を求めた。前者の方法を用いなかった理由には、(1) 加熱炉の外にリード線を引きだすのが難しい。(2) 加熱炉内でのリード線の絶縁が難しい。(3) ロッドヒーターに巻きつけたリード線の保守が容易でない。等である。後者の方法の場合、前者の欠点は、解消されるが、ロッドヒーターの電気抵抗値が必要となる。この電気抵抗値、また、下式の S , ℓ 等にも誤差要因があり、前者の方法に比較すると誤差要因が多くなるという欠点を持っている。この誤差評価も含めて、熱電導率の測定誤差評価を行なえば、良いとの判断で後者方法を決定し行なった。

以下に出力を算出するため用いたデータを示す。なお、ロッドヒーターの抵抗 R (Ω) は、以下の式より求めた。

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

$$\begin{cases} \rho : 電気比抵抗 (\Omega, m) \\ S : ロッドヒーター断面積 (m^2) \\ \ell : ロッドの有効長 (m) \end{cases}$$

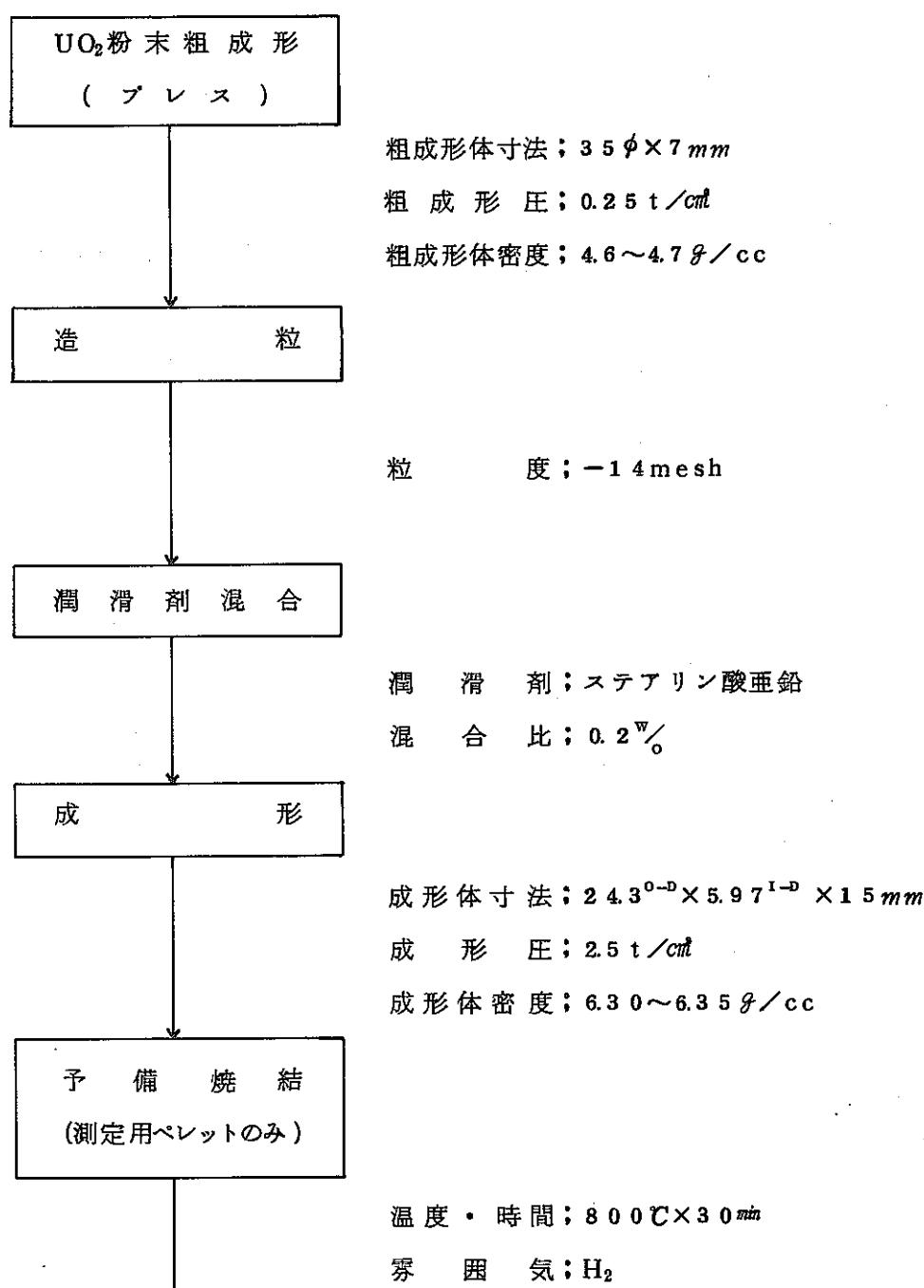
表-2, 図-6に電気比抵抗値を示し、図-7, 表-3に熱膨張係数値を示す。

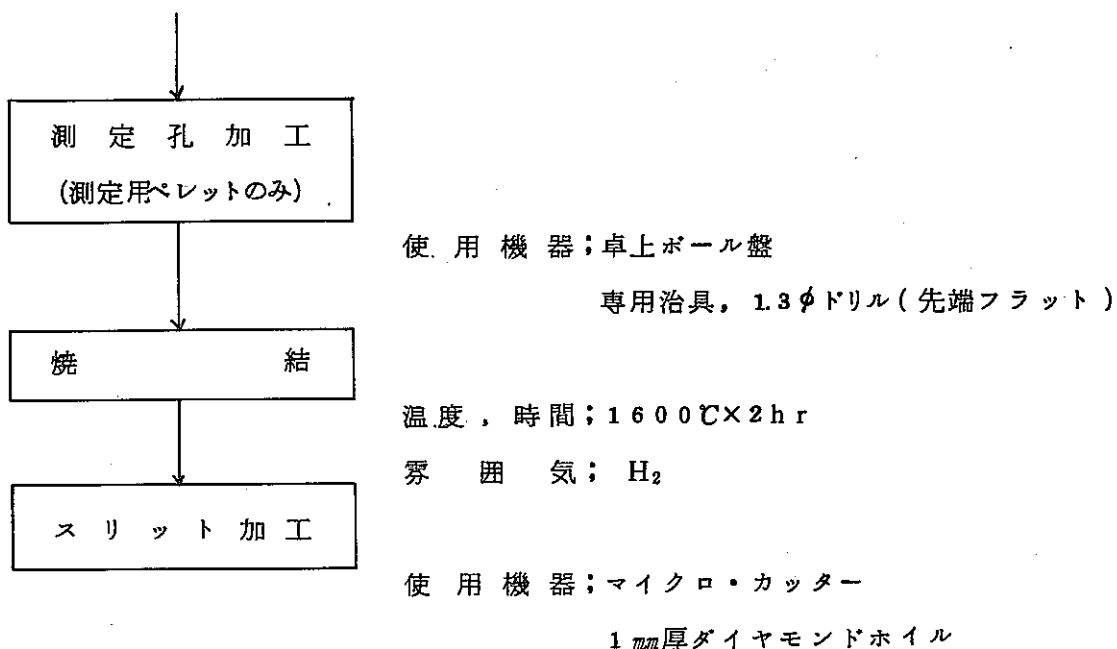
III 測 定 試 料

測定試料、断熱用ペレットを、三菱原子力工業(株)に製造依頼し、製造した。

製造個数は、測定試料が30個、断熱用ペレットが100個の計130個であった。以下に
製造工程、物性値を示す。

1. 製造工程および条件





2. ペレットの分析物性値

UO₂の熱伝導率は、O/U比、密度、不純物、温度等の要因で変化する。したがって、本実験に用いたUO₂ペレットの分析物性値について記載する。

分析物性値項目	測 定 値
O/U比	1.997
密度(%T.D)	平均 93.4%T.D(水浸法)
化学析值	
O	23 ppm
N	3.6
Cl	<5
F	<5
Ag	<0.2
Al	100
B	<0.3
Ca	<10
Cd	<0.4
Cr	50
Cu	<1
Fe	100
Mg	5

Mo	2
Ni	2 0
Pb	<1
Si	5 0
Sn	<1
全放出ガス ($\mu\text{L/g-S.T.P}$)	5.7

ペレットの成形時のダイスは、三つ割り型のもので、片押しタイプである。この為、焼結後のペレットは、上下で、 $2 \sim 3 / 100 \text{ mm}$ 程度の差が出来ている。また、温度測定穴の加工は、ペレット直徑より大きい直徑の治具を作り、その治具に測定穴をあけ、この治具をペレットにかぶせ治具にあけた測定穴にドリルを挿入し、ペレットに任意の深さに穴をあけた。この工程のあと、焼結し、穴の深さをダイヤルゲージにより直読した。

IV 測定前試料と測定後試料の比較

測定前試料と、測定後の試料で、密度、O/U比、測定穴の深さ等に変化が あってはならないので、水浸法での密度測定、化学分析、ディブスゲージによる寸法測定および測定試料の金相試験を行なった結果を報告する。測定結果を表-6 に示す。

表-6 測定前後の試料の比較

項目	測定前試料	測定後試料
O/U比	2.00	2.00
密度	93.4%T.D	-
寸法		
5 mm穴	5.00, 5.01, 5.02	4.95, 4.95, 4.95
4 " "	4.00, 4.00, 4.00	3.95, 3.97, 3.97
3 " "	2.95, 2.96, 2.95	2.94, 2.94, 2.94

この結果、 O/U は変化せず、寸法も大きさ変化はなかった。密度に関しては、測定ペレットの中心部で、結晶成長が見られこの部の密度は上昇しているものと思われる。参考の為に測定後試料を測定した。密度として、95.2%T.Dという値を得た。金相で測定穴位置の結晶成長を観察すると、5mm穴と4mm穴の領域でややグレーンサイズが大きくなっている程度であり、この密度変化の影響は、熱伝導率測定の誤差範囲と思われる。

測定後の試料を写真-7に示す。

V 測定結果および考察

1. 測定結果

測定ペレットの密度を93%T.D近辺に固定し、測定試料7ヶの測定を行なった。測定点は約300点であり、この中より、約260点のデータを用い、評価を行なった。表-4、図-8に測定結果を示す。この測定値を基に、最小自乗法を用い次に示す式を得た。

$$K_{UO_2} (93.4\% T.D) = \frac{1}{6.8381 + 0.02926 \times T} + 8.2032 \times 10^{-3} \times T^3 (\text{w/cm} \cdot \text{°C})$$

T : °C

$$K_{UO_2} (93.4\% T.D) = \frac{1}{0.03144 \times T - 3.3901} + 6.0859 \times 10^{-3} \times T^3 (\text{w/cm} \cdot \text{°K})$$

T : °K

測定結果でバラツキの多い温度領域は、980°C以下と2200°C以上であった。980°C以下の領域では、バイロメータの測定範囲の最低のところであり、誤差の大きい部分であることが主原因であると思われる。また、2200°C以上の領域では、ロッドヒーターの温度が、~2500°C近辺に達しており、 UO_2 の蒸発が激しくなる。このため、測定穴の温度の低い領域に UO_2 蒸気が凝縮し測定穴が塞がってしまう。

このため測温の誤差が大きくなることが主原因と思われる。

図-8のグラフで、1400°C~1500°C近辺でのデータのバラツキが多くみられるのは、この領域に、バイロメータの測温切換レンジがあるためであると思われる。

2. 他測定者のデータとの比較

今回の実験結果を、Baily-Asamoto, Lyons等のデータと比較した。その結果を、表-5、図-9に示す。

この結果よりわかる様に、低温部では、Godfrey, Baily-Asamoto等のデータに非常に良く一致し、高温部では、Lyons等のデータに良く一致した。

高温部での値は、Lyons等のデータよりも若干高目であるが、ほぼ一致すると考えられる。

3. 測定値の誤差評価

測定値の誤差評価は、間接測定における誤差評価法を用いた。熱伝導率Kの誤差 P^2 は、次の式より求められる。

$$P^2 = PQ^2 \left(\frac{\partial K}{\partial Q} \right)^2 + P^2 r \left(\frac{\partial K}{\partial r_2} \right)^2 + P^2 r_1 \left(\frac{\partial K}{\partial r_1} \right)^2 + P A T^2 \left(\frac{\partial K}{\partial (AT)} \right)^2 \dots\dots(1)$$

ここで、Q：ロッドヒーター出力 (w/cm)

r_1, r_2 ：試料中心から、測温点半径方向距離 (cm)

AT ： r_1, r_2 の位置での温度差 (°C)

さらに、出力の誤差 PQ^2 は、

$$PQ^2 = PI^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial I} \right)^2 + PT^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)^2 + PL \left(\frac{\partial Q}{\partial L} \right)^2 \dots\dots\dots\dots(2)$$

ここで、I：ロッドヒーターに流れる電流 (A)

T：ロッドヒーターの温度 (°C)

L：ロッドヒーターの抵抗を一定とした軸方向長さ (cm)

上記の(1)、(2)式の偏微分項は、各々以下のようになる。

$$K = \frac{Q}{2\pi AT} \cdot \mathcal{E}_n \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad Q = I^2 R/L \quad R = (0.26 \cdot T - 18) \times 10^{-6}$$

の式から

$$\left(\frac{\partial K}{\partial Q} \right) = \frac{1}{2\pi (AT)} \cdot \mathcal{E}_n \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial r_2} \right) = \frac{Q}{2\pi (AT)} \cdot \left(\frac{1}{r_2} \right)$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial r_1} \right) = -\frac{Q}{2\pi (AT)} \cdot \left(\frac{1}{r_1} \right)$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial (AT)} \right) = -\frac{Q}{2\pi (AT)^2} \cdot \mathcal{E}_n \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial I}\right) = 2 I R \cdot \frac{1}{L}$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right) = I^2 \times 0.26 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{L}$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial L}\right) = -I^2 (0.26 \times T - 18) \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{L^2}$$

となり、各々を(1)式に代入し、熱伝導率Kの誤差P²を求めた。

尚、今回の実験での電流、ロッドヒーター温度などの誤差を以下に示す。

$$PI = \pm 3\%, PT = \pm 1\%, Pr_2 = \pm 1\%, Pr_1 = \pm 1\%, P(AT) = \pm 1\%, PL = \pm 1\%$$

以上から、熱伝導率Kの誤差P²が求まる。このP²は、正規分布と仮定して、90%信頼区間での測定誤差を求めた。その結果、90%信頼区間で、±15%という値が得られた。図-10に結果を示す。

熱伝導率測定精度としては、信頼のおけるデータである。

VI 結 論

1. UO₂ (93.4%T.D.) の試料測定の結果、次のような熱伝導率の式を得た。

$$K(0.934) = \frac{1}{6.8381 + 0.02962 \cdot T} + 8.2032 \times 10^{-3} \cdot T^3$$

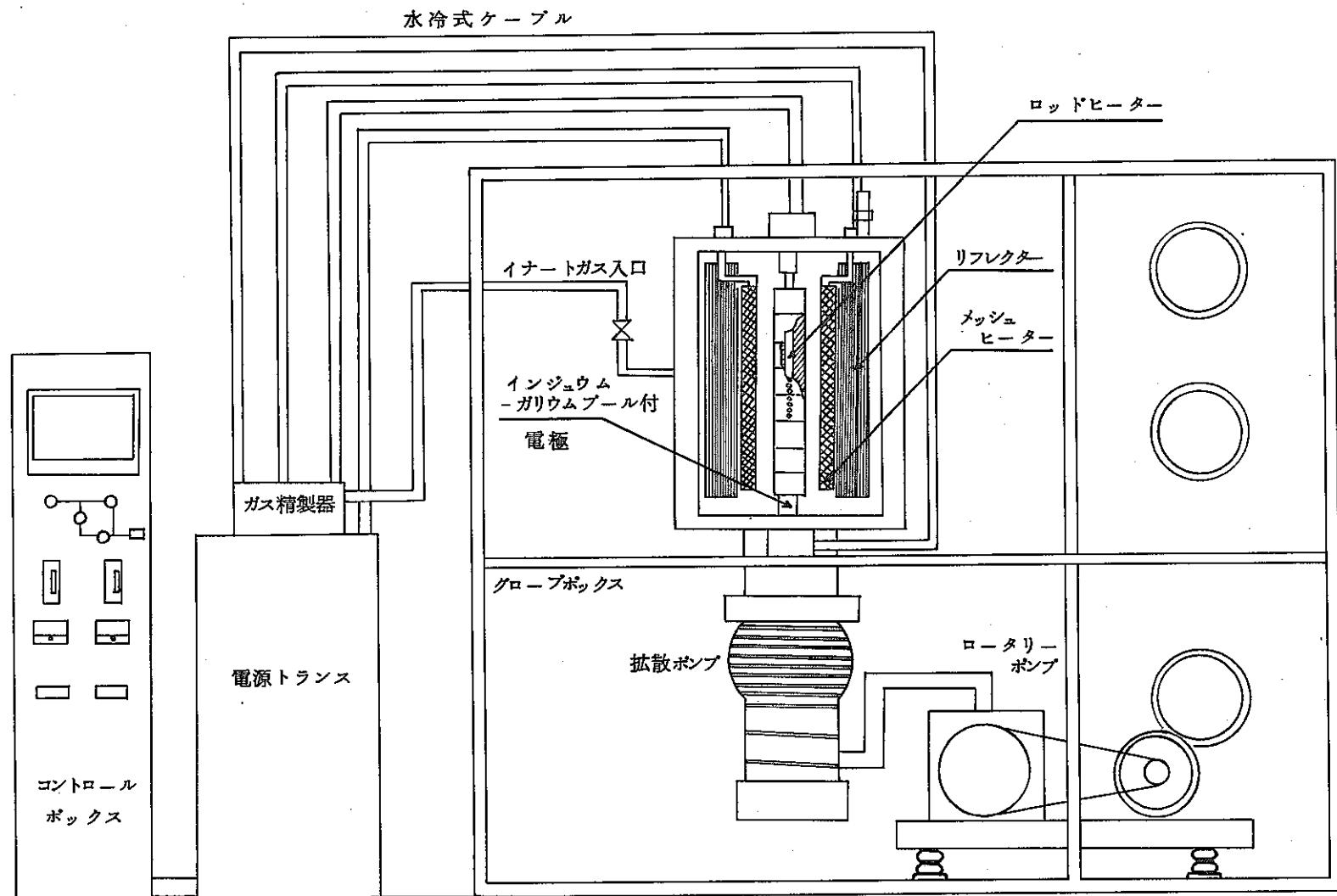
ここで T = °C, K = W/cm·°C である。

2. 測定上の誤差は、90%信頼度で±15%であった。

3. 今回の測定で特長的なことは、1800°C近辺以上で、熱伝導率が大きくなっていることである

4. 他の報告者のデータと比較すると、低温部では、Godfrey等のデータと良く一致し、高温部では、Lyon等のデータと一致している。

5. 中心加熱法での測定は、PNCとして最初の試みであり、PuO₂-UO₂測定の先行とし行なった本実験で、操作にも馴れ、測定値の信頼度もよく、今後の測定に期待出来る。



図一1 測定装置概略図

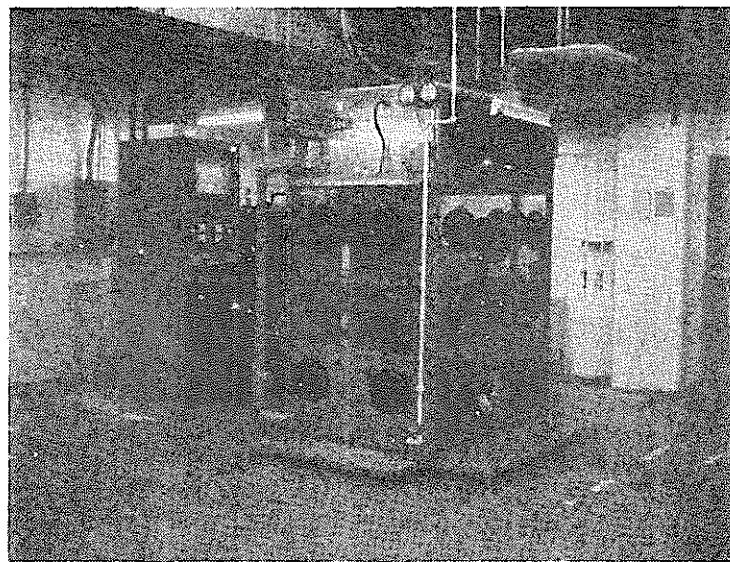


写真-1 热伝導測定装置とグローブボックス外観

表-1. 温度補正值

真温度 (°C)	標準電球 の電流値	光路に障害物なし 温度 (°C)	光路に障害物あり (ガラス+アクリル) 温度 (°C)
1227	6.79mA	1222	1205
1300	7.24	1304	1283
1400	7.89	1407	1386
1500	8.55	1490	1470
1600	9.27	1600	1560
1700	10.00	1695	1665
1827	11.02	1815	1780
1900	11.67	1890	1850
2000	12.60	1985	1950
2100	13.53	2090	2040
2200	14.57	2190	2145
2300	15.58	2285	2235
2400	16.62	2370	2315

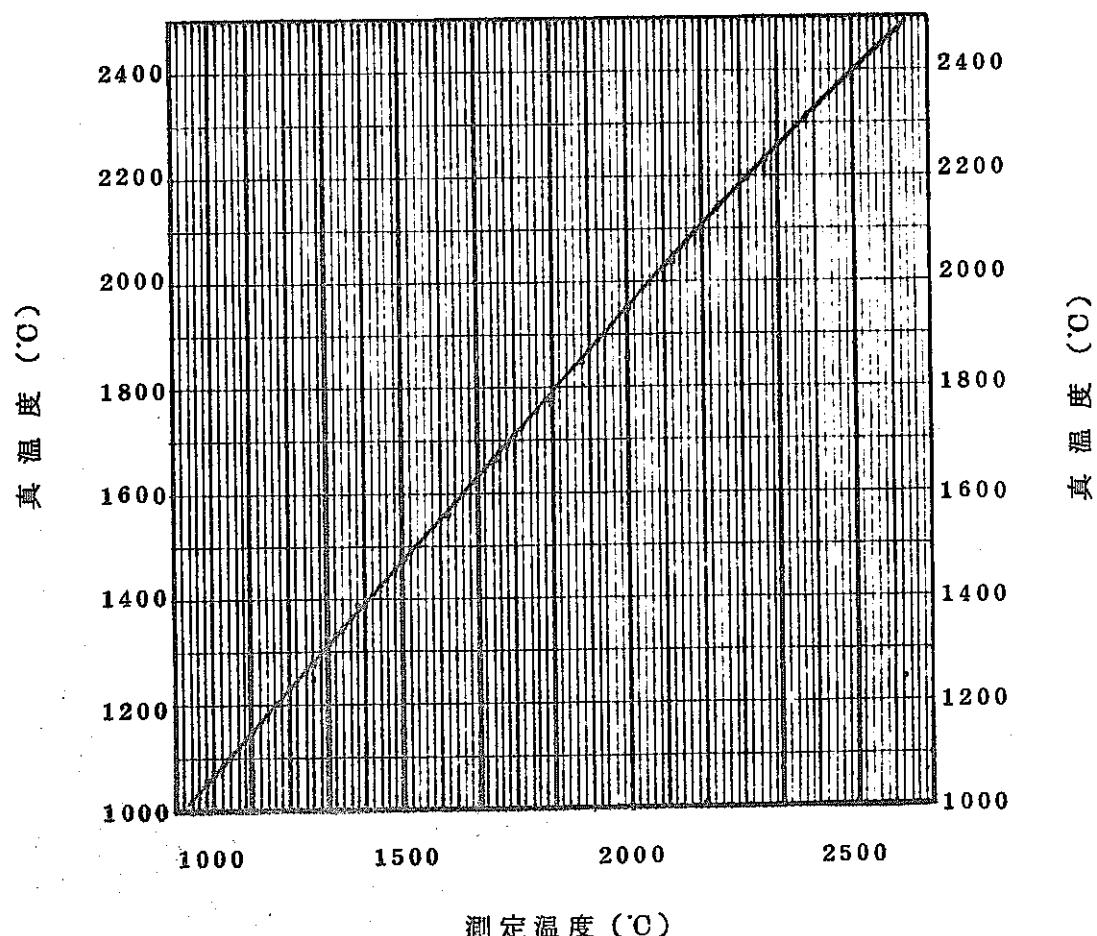


図-5 温度補正曲線

表-2 タングステンロッドの電気比抵抗と温度の関係

温 度 (°C)	電気比抵抗 ($\mu\Omega \cdot m$)
2 0	0.055
4 0 0	0.155
8 0 0	0.270
1 2 0 0	0.390
1 6 0 0	0.525
1 8 0 0	0.590
2 0 0 0	0.660
2 2 0 0	0.730
2 4 0 0	0.805
2 6 0 0	0.880

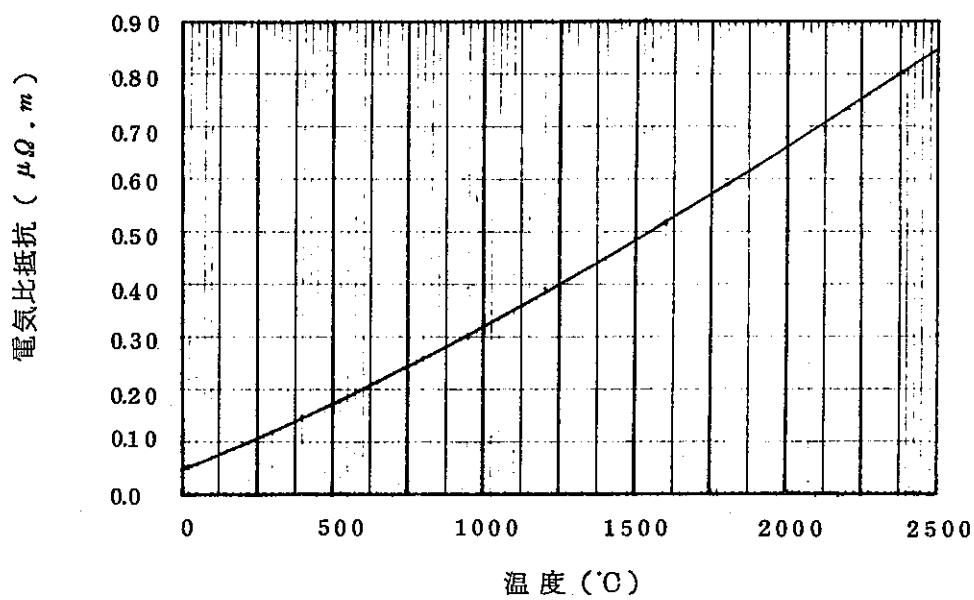


図-6 タングステンロッドの電気比抵抗と温度の関係

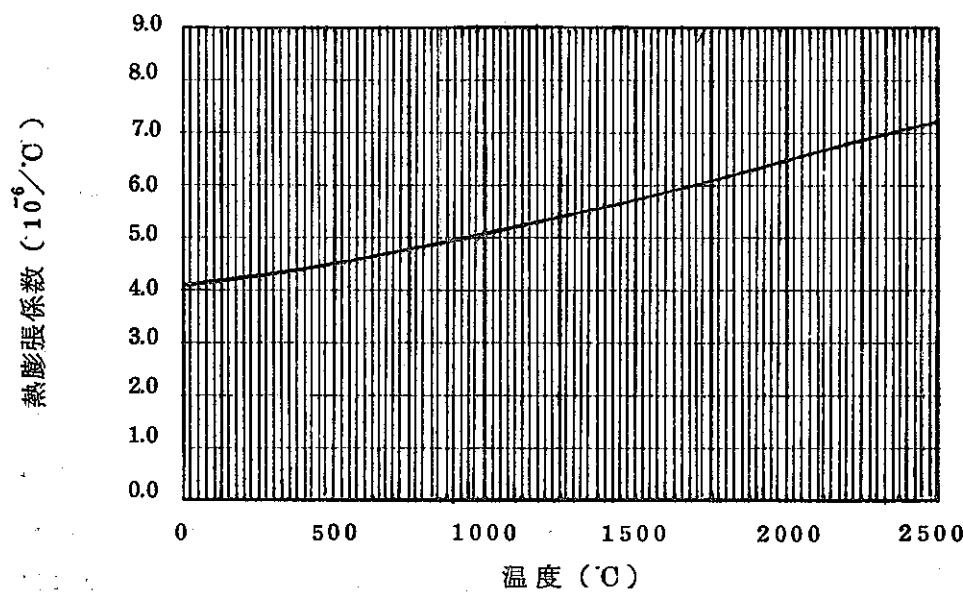


図-7 タングステンロッドの温度と熱膨張係数の関係

表-3. タングステンロッドの温度と熱膨張係数の関係

温 度 (°C)	熱膨張係数 ($10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
2 0	4. 1
4 0 0	4. 4
1 0 0 0	5. 1
1 4 0 0	5. 7
1 8 0 0	6. 2
2 0 0 0	6. 5
2 2 0 0	6. 8
2 4 0 0	7. 1
2 6 0 0	7. 4

表-4. 測定結果

温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)	温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)	温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)	温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)
964	0.0291	1241	0.0251	1482	0.0328	1706	0.0300
987	0.0292	1243	0.0341	1491	0.0253	1706	0.0236
997	0.0284	1247	0.0247	1495	0.0317	1706	0.0229
1101	0.0321	1250	0.0257	1500	0.0296	1706	0.0222
1119	0.0290	1254	0.0237	1506	0.0264	1725	0.0191
1119	0.0249	1260	0.0233	1527	0.0244	1765	0.0291
1124	0.0367	1268	0.0284	1533	0.0216	1772	0.0247
1134	0.0223	1269	0.0223	1536	0.0195	1776	0.0183
1134	0.0201	1271	0.0234	1537	0.0245	1788	0.0235
1139	0.0243	1291	0.0314	1544	0.0227	1789	0.0171
1142	0.0247	1295	0.0204	1546	0.0212	1798	0.0223
1145	0.0322	1296	0.0236	1546	0.0193	1801	0.0196
1145	0.0281	1319	0.0258	1548	0.0256	1806	0.0235
1157	0.0311	1321	0.0255	1549	0.0207	1845	0.0212
1158	0.0328	1323	0.0261	1551	0.0236	1849	0.0243
1163	0.0279	1325	0.0245	1564	0.0230	1855	0.0184
1165	0.0255	1338	0.0254	1571	0.0204	1870	0.0293
1195	0.0214	1348	0.0280	1599	0.0257	1875	0.0219
1205	0.0258	1359	0.0282	1622	0.0213	1881	0.0261
1208	0.0256	1367	0.0225	1624	0.0240	1892	0.0279
1210	0.0231	1373	0.0273	1627	0.0213	1902	0.0251
1212	0.0275	1374	0.0295	1629	0.0242	1935	0.0256
1219	0.0253	1436	0.0233	1630	0.0205	1944	0.0235
1224	0.0342	1447	0.0248	1640	0.0232	1987	0.0280
1234	0.0349	1447	0.0215	1641	0.0321	1987	0.0218
1236	0.0261	1453	0.0227	1641	0.0213	1003	0.0295
1236	0.0264	1469	0.0216	1650	0.0208	1005	0.0278
1237	0.0338	1471	0.0251	1693	0.0250	1010	0.0272
1240	0.0274	1481	0.0219	1696	0.0210	1015	0.0391

温度(°C)	熱伝導率 (W/cm·°C)	温度(°C)	熱伝導率 (W/cm·°C)	温度(°C)	熱伝導率 (W/cm·°C)	温度(°C)	熱伝導率 (W/cm·°C)
1025	0.0282	1169	0.0245	1295	0.0283	1464	0.0201
1030	0.0228	1169	0.0347	1297	0.0314	1474	0.0199
1033	0.0252	1171	0.0281	1303	0.0234	1474	0.0184
1043	0.0300	1176	0.0273	1307	0.0237	1477	0.0213
1055	0.0360	1179	0.0245	1311	0.0241	1479	0.0288
1069	0.0247	1182	0.0262	1322	0.0249	1483	0.0162
1074	0.0230	1184	0.0234	1328	0.0199	1489	0.0240
1082	0.0265	1186	0.0231	1334	0.0249	1489	0.0238
1084	0.0274	1187	0.0309	1336	0.0217	1489	0.0175
1085	0.0276	1190	0.0262	1339	0.0238	1505	0.0275
1091	0.0287	1191	0.0274	1340	0.0238	1507	0.0207
1095	0.0282	1193	0.0255	1345	0.0272	1516	0.0226
1099	0.0335	1197	0.0253	1348	0.0250	1516	0.0257
1100	0.0287	1199	0.0218	1359	0.0255	1519	0.0217
1104	0.0289	1200	0.0221	1364	0.0236	1523	0.0178
1107	0.0194	1201	0.0217	1364	0.0218	1526	0.0189
1110	0.0220	1234	0.0275	1371	0.0216	1540	0.0180
1110	0.0259	1235	0.0282	1371	0.0252	1543	0.0274
1115	0.0290	1244	0.0215	1384	0.0242	1548	0.0188
1116	0.0252	1253	0.0204	1388	0.0220	1549	0.0151
1117	0.0242	1257	0.0247	1393	0.0200	1552	0.0156
1120	0.0260	1259	0.0256	1409	0.0200	1563	0.0204
1129	0.0251	1263	0.0222	1410	0.0290	1564	0.0182
1129	0.0339	1263	0.0227	1426	0.0198	1564	0.0238
1132	0.0308	1266	0.0240	1437	0.0154	1584	0.0195
1140	0.0259	1272	0.0250	1439	0.0190	1589	0.0170
1156	0.0254	1276	0.0238	1441	0.0251	1591	0.0152
1159	0.0272	1278	0.0239	1442	0.0151	1602	0.0192
1163	0.0256	1280	0.0198	1453	0.0178	1605	0.0185
1163	0.0273	1284	0.0228	1457	0.0218	1608	0.0150
1164	0.0234	1290	0.0268	1462	0.0225	1610	0.0188

温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)	温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)	温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)	温度(℃)	熱伝導率 (W/cm·℃)
1616	0.0202	1802	0.0210	2012	0.0264		
1617	0.0203	1802	0.0190	2020	0.0284		
1620	0.0165	1821	0.0163	2023	0.0219		
1628	0.0240	1825	0.0190	2038	0.0180		
1632	0.0191	1826	0.0233	2044	0.0250		
1636	0.0160	1832	0.0164	2057	0.0252		
1638	0.0201	1832	0.0166	2068	0.0252		
1646	0.0175	1837	0.0177	2080	0.0243		
1657	0.0187	1840	0.0202	2106	0.0252		
1660	0.0286	1840	0.0201	2120	0.0216		
1690	0.0204	1859	0.0229	2130	0.0200		
1697	0.0211	1866	0.0208	2133	0.0209		
1716	0.0186	1867	0.0221	2196	0.0206		
1716	0.0179	1870	0.0210	2211	0.0204		
1718	0.0172	1876	0.0199	2256	0.0212		
1712	0.0215	1879	0.0211	2261	0.0197		
1721	0.0194	1899	0.0212	2272	0.0210		
1747	0.0275	1902	0.0279				
1749	0.0200	1912	0.0250				
1756	0.0231	1916	0.0274				
1759	0.0191	1926	0.0221				
1761	0.0185	1940	0.0224				
1762	0.0202	1944	0.0179				
1762	0.0187	1956	0.0194				
1791	0.0249	1965	0.0161				
1796	0.0201	1968	0.0242				
1796	0.0204	1972	0.0253				
1797	0.0180	1992	0.0234				
1799	0.0191	1998	0.0198				
1801	0.0211	1998	0.0221				
1802	0.0187	2002	0.0221				

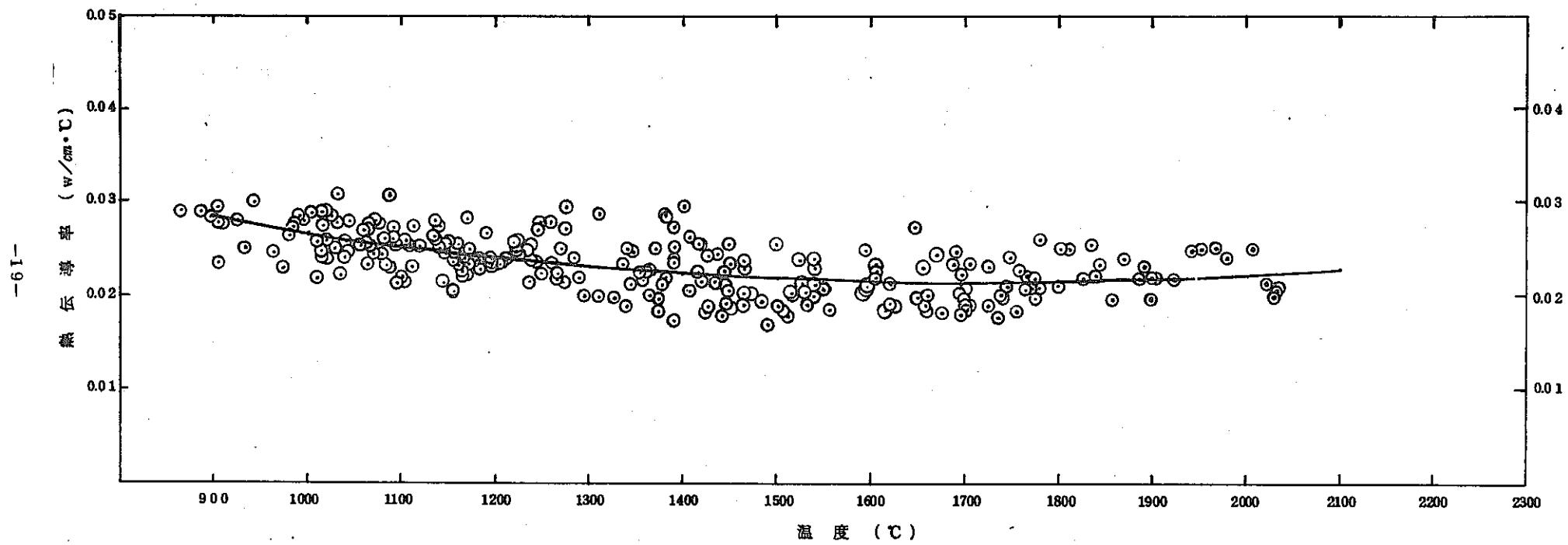
図-8 UO_2 热伝導率測定結果

表-5. PNCデータと、他データとの比較

熱伝導率 (W/cm·°C)	Lyon's Equation	Godfrey's Equation	Baly- Asamoto's Equation	MATPRO Equation	This work
温度(°C)					
1 0 0 0	0.0 2 6 3	0.0 2 7 8	0.0 2 7 8	0.0 2 8 1	0.0 2 8 5
1 1 0 0	0.0 2 4 9	0.0 2 6 1	0.0 2 6 4	0.0 2 6 4	0.0 2 6 7
1 2 0 0	0.0 2 3 8	0.0 2 4 6	0.0 2 5 3	0.0 2 5 0	0.0 2 5 3
1 3 0 0	0.0 2 2 9	-	0.0 2 4 4	0.0 2 3 8	0.0 2 4 1
1 4 0 0	0.0 2 2 2	-	0.0 2 3 5	0.0 2 2 8	0.0 2 3 1
1 5 0 0	0.0 2 1 6	-	0.0 2 2 8	0.0 2 2 0	0.0 2 2 5
1 6 0 0	0.0 2 1 3	-	0.0 2 2 2	0.0 2 1 4	0.0 2 2 0
1 7 0 0	0.0 2 1 1	-	0.0 2 1 7	0.0 2 2 2	0.0 2 1 7
1 8 0 0	0.0 2 1 0	-	0.0 2 1 2	0.0 2 2 6	0.0 2 1 6
1 9 0 0	0.0 2 1 1	-	0.0 2 0 8	0.0 2 3 4	0.0 2 1 6
2 0 0 0	0.0 2 1 3	-	0.0 2 0 4	0.0 2 4 2	0.0 2 1 9
2 1 0 0	0.0 2 1 6	-	0.0 2 0 0	0.0 2 5 2	0.0 2 2 2
2 2 0 0	0.0 2 2 1	-	0.0 1 9 7	0.0 2 6 5	0.0 2 2 8
2 3 0 0	0.0 2 2 6	-	0.0 1 9 4	0.0 2 8 0	0.0 2 3 5

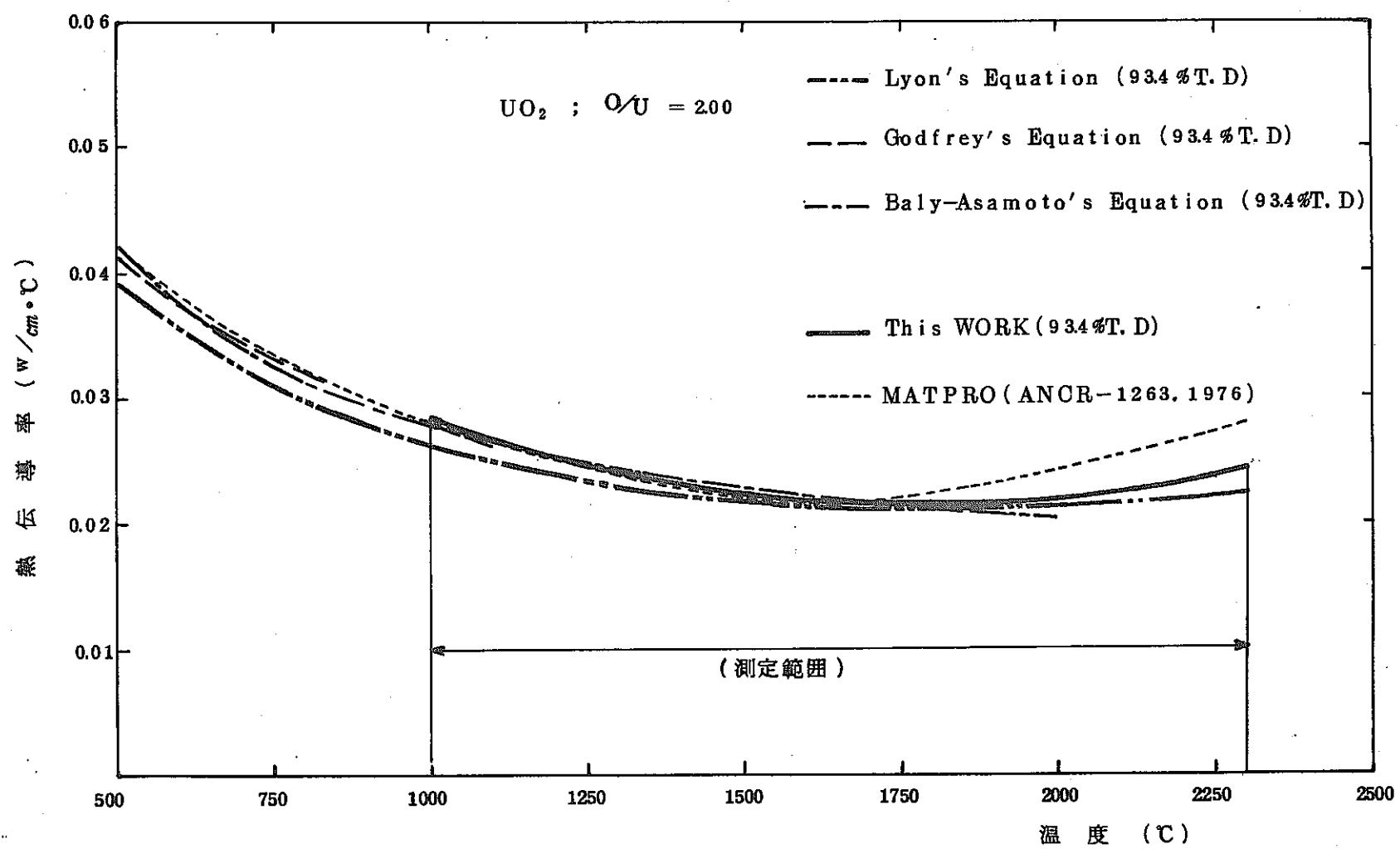


図-9 今回のデータと他実験値との比較

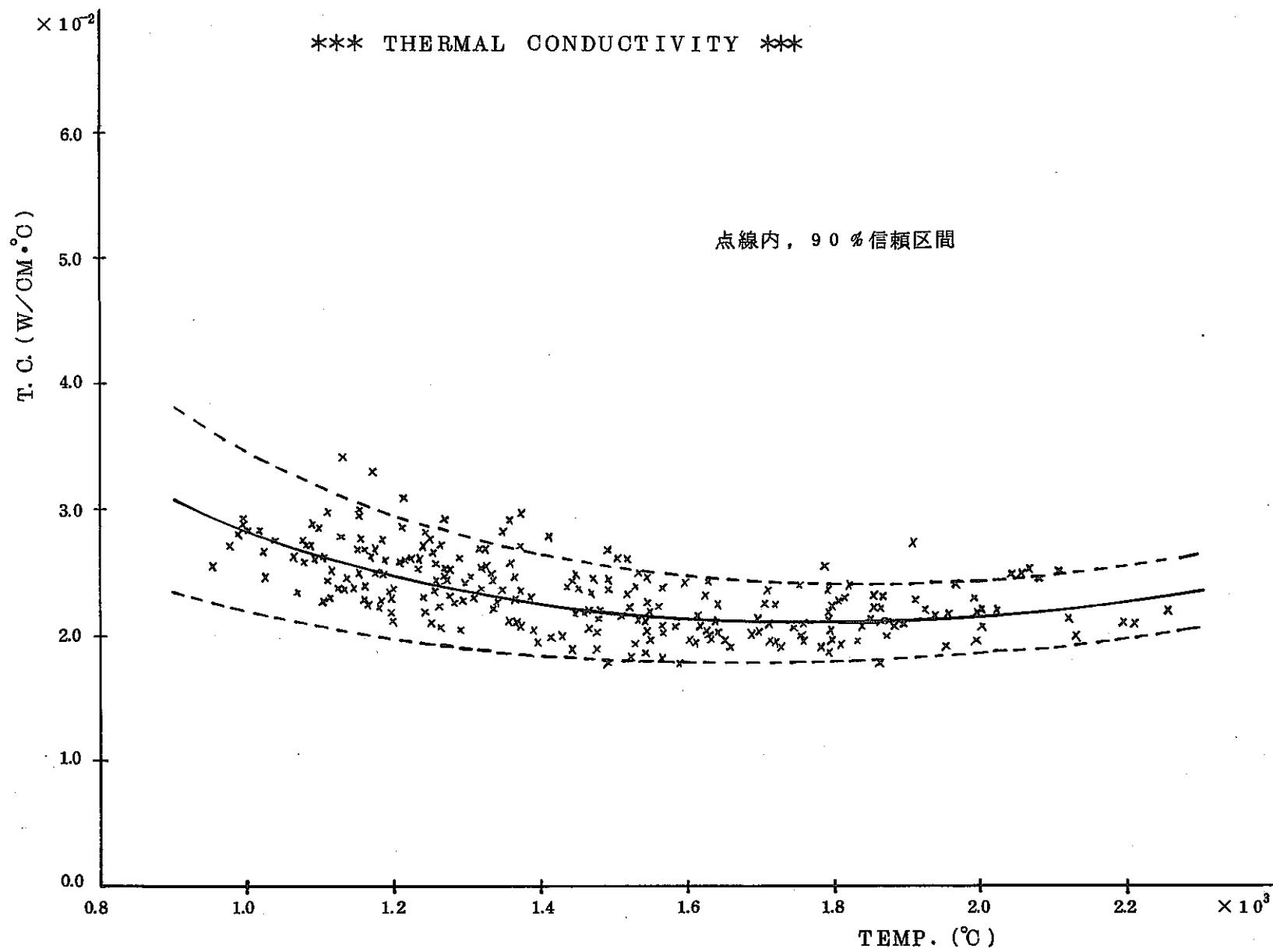
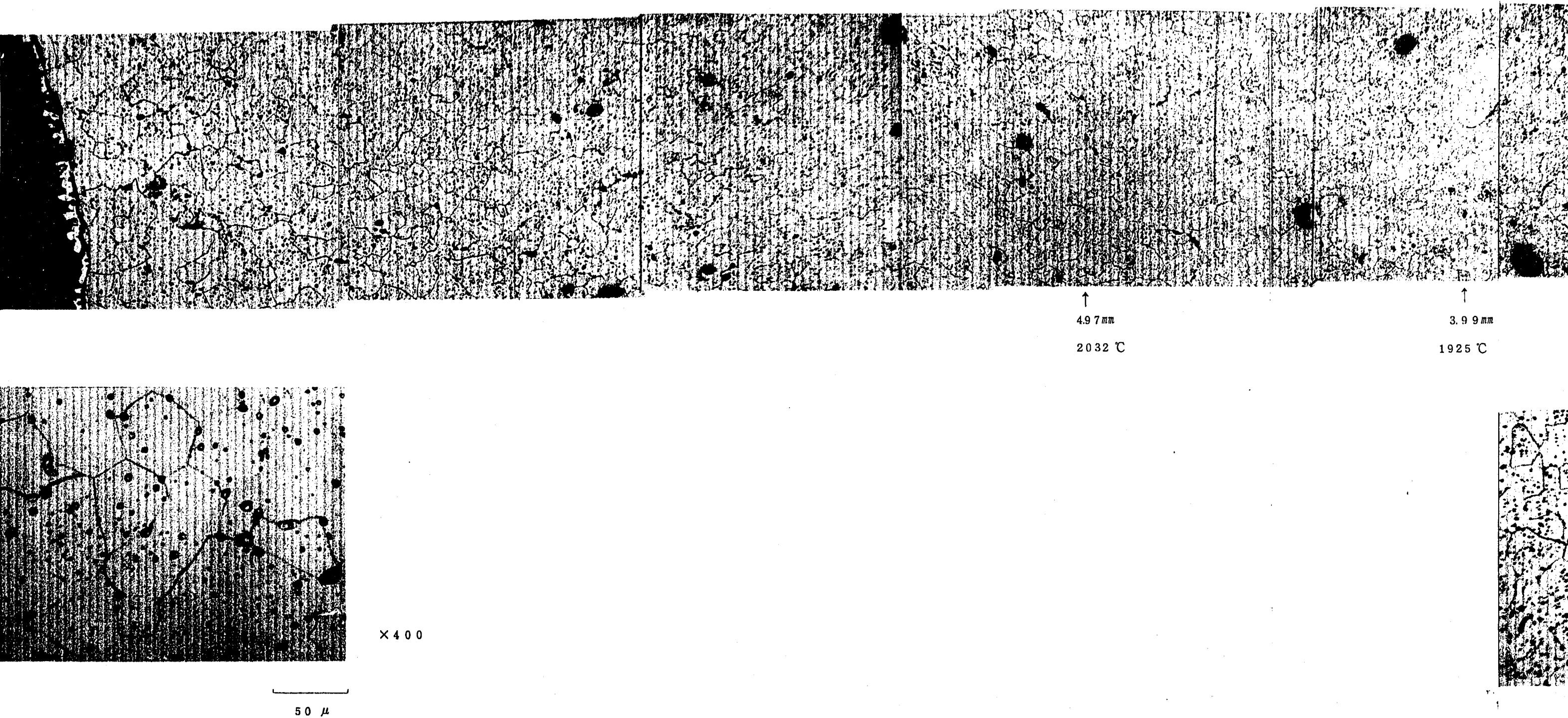


図-10 誤差評価コードによる計算結果

S N 841-77-62

熱伝導率測定実験

Pellet No. 34



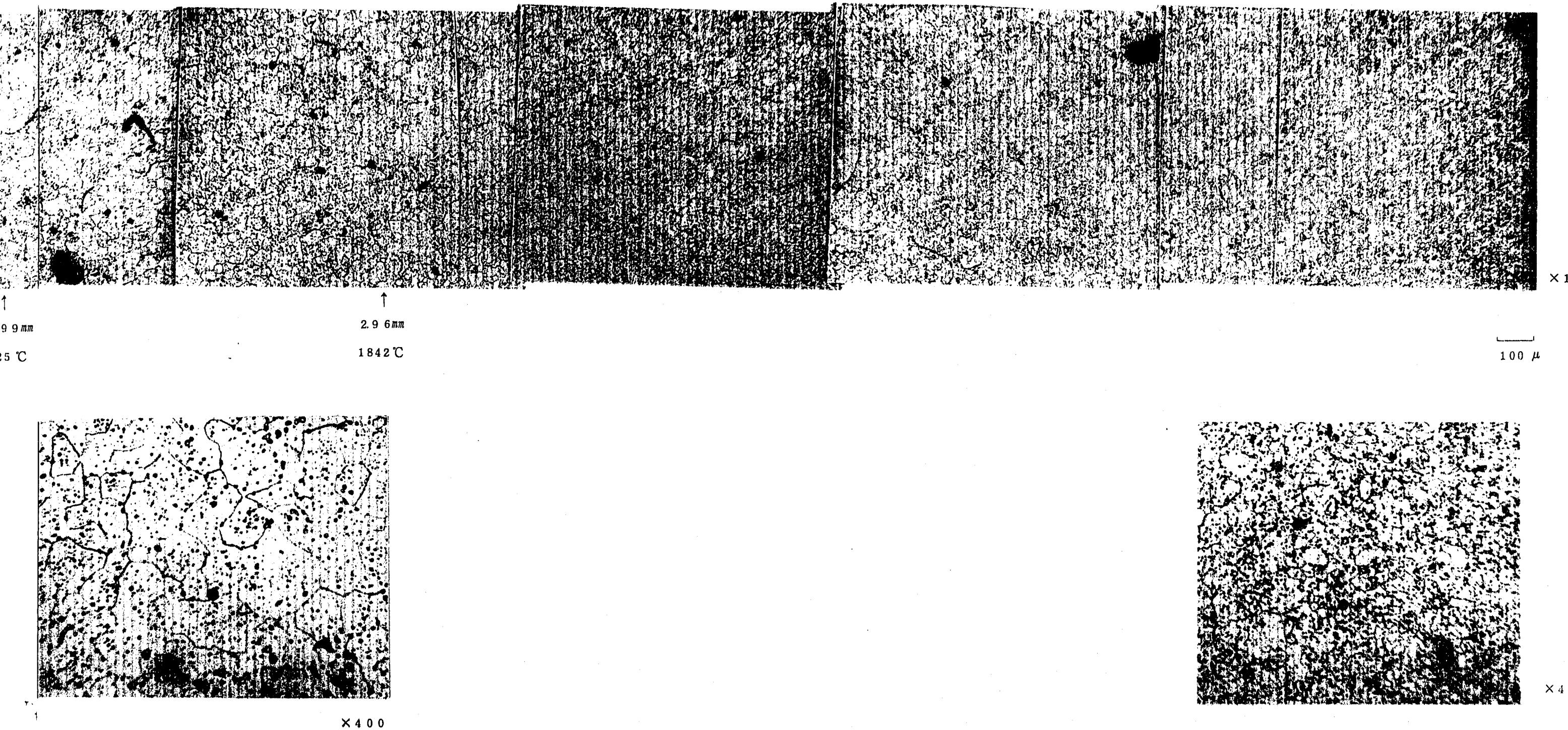


写真-2 測定後試料の金相

参考文献

- (1) R. R. Asamoto et al.; The Effect of Density on the Thermal Conductivity of Uranium Dioxide. GEAP-5493(1968)
- (2) M. F. Lyons et al.; UO₂ Powder and Pellet Thermal Conductivity During Irradiation. GEAP 5100-1
- (3) エ. エヌ. マル. メル, オ. エス. グルヴッチ, エリ. エフ. マリツェヴァ共著; 高温材料 (日ソ通信社)
- (5) Idaho National Engineering Laboratory ; A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior. ANCR-1263(1976)
- (6) R. A. Laskievic 2 ; Thermal Conductivity of Uranium-Plutonium Oxide GEAP-13733(1971)
- (7) J. B. Conway and A. D. Feith
An Interim Report on a Round Robin Experimental Program to Measure the Thermal Conductivity of Stoichiometric Uranium Dioxide. G. E(1969)
- (8) H. Kashihara et al.; Thermal Conductivity Measurment of UO₂±x by using a Transient Technique. PNCT-3086(1967)
- (9) 沼倉三郎著; 測定値計算法 (森北出版)

Appendix I • タイムスケジュール

