

# 1990年度国際温度目盛に基づく既存温度 および熱力学諸量の数値変換

国際純正・応用化学連合 物理化学部門 熱力学委員会

Robert N. Goldberg and Ron D. Weir \* (National Institute of Science & Technology, Gaithersburg, Maryland 20899, USA and \* Department of Chemistry & Chemical Engineering, Royal Military College of Canada, Kingston, Ontario K7K 5L0, Canada)

(翻訳) 木村隆良, 菅 宏 \*

これまで使用されていた温度目盛(IPTS-68, EPT-76, IPTS-48, およびITS-27)と最新の国際温度目盛(ITS-90)との温度差, およびその温度微係数を一覧表の形で示した。また, 温度差( $T_{90}-T_{68}$ )とその温度微係数を再現しうる解析関数の形も与えた。これらの表は従来の熱力学データに, IPS-90に基づく変換を行なう上で必要欠くべからざるものである。これまでの正確な熱力学データは, まずその表示温度をIPS-90に変換し, 次にデータをこの目盛に基づいて修正するのが望ましい。以前に Douglas はエンタルピーのテーラー展開を使った変換式を報告している[J. Res. Natl. Bur. Stand. A73, 451-470(1969)]. これらの式は, 二つの温度目盛の差が小さい時には著しく簡略化される。IPTS-68からITS-90へ, IPTS-48からITS-90への変更に伴う熱力学諸性質への影響度を調べるため,  $\text{Nd}_2\text{ReO}_4$ (固),  $\text{BaSnF}_4$ (固),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (固),  $\text{BeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (固),  $\text{BeO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (固),  $\text{Mo}$ (固)について, 既存の熱容量, エンタルピー, エントロピーのデータをDouglas式で変換した。計算結果を表の形で示したが, 温度目盛の変更に伴う既存熱力学データへの影響を知る上で有効である。その結果, 最も正確な熱力学データのみが温度目盛の変更に伴う修正の考慮の対象となることが明らかになった。

本レポート作成時の熱力学委員会メンバー(1991-93)は, 以下の通りである。

委員長: P. A. G. O'Hare(USA), 委員長補佐: G. M. Olofsson (Sweden), 正委員: J. M. G. Barthel(FRG); G. Della-Gatta (Italy); M. B. Ewing(UK); M. T. Rätzsch(FRG); W. A. Wakeham(UK), 準委員: T. W. De Loos(Netherlands); J. H. Dymond(UK); R. N. Goldberg(USA); J. -P. E. Grolier (France); I. L. Khodakovskiy(Russia); J. L. Laynez(Spain); T.

Letcher (Republic of South Africa); C. A. Nieto de Castro (Portugal); S. L. Randzio(Poland); R. D. Weir(Canada); E. Wilhelm (Austria); J. Winkelmann(FRG), 国家代表: R. Fernández-Prini (Argentina); C. Airoidi(Brazil); I. Samohyl (Czechoslovakia); F. Rouquérol(France); E. Berecz(Hungary); H. Suga (Japan); R. Karim(Malaysia); P. J. McElroy(New Zealand); F. Grønvold (Norway); M. M. Kopecni(Yugoslavia).

## 序 論

本報告はIUPAC I.2 熱力学委員会で検討され, *Pure & Appl. Chem.* 64, No.10, 1545-1562(1992)に公表された。本誌は国際純正・応用化学連合出版委員会の許可を得て翻訳したものである。ここに謝意を表する次第である。

© 1992 IUPAC

近畿大学理工学部: 〒577 東大阪市小若江 3-4-1

\* 近畿大学理工学総合研究所: 〒577 東大阪市小若江 3-4-1

国際温度目盛1990(ITS-90)は, 1987年の第18回度量衡総会での決議7の要請に従って1989年度国際度量衡委員会により採用された<sup>1)</sup>。この温度目盛は, 1975年に改定された国際実用温度目盛1968(IPTS-68)と, 1976年に決められた0.5~30 K範囲の暫定温度目盛(EPT-76)に取って代わるものである。ITS-90( $T_{90}$ )の最近の総説<sup>2-6)</sup>は蒸気圧温度計, 気体温度計, 白金抵抗温度計, 放射温度計によって0.65 Kより高い温度で, どのようにしてこの温度目盛を実現し

うよう定義されているかを記載している。またこれらの総説は、ITS-90とIPTS-68( $T_{68}$ )の数値と図表での比較、およびEPT-76との数値比較を行っている。測温諮問委員会のワーキンググループは、ITS-90の制定と用法のためになされた技術的な議論を含む書物 "Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990" を発行したことを特記したい<sup>9)</sup>。公式に認定されたITS-90とEPT-76、およびIPTS-68との温度差の表は文献1と文献2~6に記載されている。いくつかの温度間隔でみられる修正温度差の範囲は、15~310 Kの範囲では-9 mKから+14 mK、310~930 Kでは0から-124 mK、930~4300 Kでは-2.58~+0.36 Kである。しかしながらこれらの温度差は、IPTS-68の実現精度より少ない偏差であることに注意すべきである。近年の温度目盛(IPTS-68, EPT-76, ITS-90)以前に使われていたものとして、IPTS-48(ITS-48としても知られている)、ITS-27、そして正常水素気体目盛(NHS)がある。NHS温度目盛は1887年に制定されている(文献7参照)。文献7はそれぞれ、 $t_{27}$ /°Cおよび $t_{68}$ /°Cの関数としてほぼ正確な偏差( $t_{27}-t_{48}$ )/°C、および( $t_{68}-t_{48}$ )/°Cの表を記載している。

熱力学の分野では、ITS-90への変更に伴う主な影響は二つある。先ず最初に、ITS-90で検定されていない温度計を用いた最も正確な研究に対して、新しい温度目盛に換算する必要があることである。次に既存の温度目盛を用いて報告された熱力学諸量をITS-90に数値変換することである。これらの換算方法を確立し、その大きさを知る必要がある。しかしこれらの補正が測定の不正確さより十分に小さく、それゆえに無視できることが非常に多い。本論文は、温度目盛の変更によって影響を受ける熱力学分野の研究を支援するためにこれらの詳細を記載する。したがって、以下のことを行なった。(1) 以前の温度目盛で報告されたものをITS-90に修正できる表を作成した。(2) 熱力学的諸量に必要な修正を行なうための手順をまとめた。(3) IPTS-48とIPTS-68からITS-90に変更したための熱力学的諸量へのおおよその効果を示した。

### ITS-90と既存温度目盛間との差

ITS-90とEPT-76の間、およびITS-90とIPTS-68の間の公式に推奨された偏差は、文献1の表VIに掲載されている。この表は $T_{90}/K$ の関数として差( $T_{90}-T_{76}$ )/Kと( $T_{90}-T_{68}$ )/K、さらに $t_{90}$ /°Cの関数として差( $t_{90}-t_{68}$ )/°Cを含む。しかしながら既存の温度目盛で報告された結果の修正に必要なものは、既存目盛の温度の関数としての差の表である。したがって本論文では表1( $t_{68}$ /°C=-180~4000)と表2( $T_{68}/K=14~4300$ )は文献1の表VIから作り直した。これらの表におい

て二つの目盛の差は、 $t_{68}$ /°Cあるいは $T_{68}/K$ の関数として、( $t_{90}-t_{68}$ )/°Cあるいは( $T_{90}-T_{68}$ )/Kのいずれかに等しい温度差 $\delta$ として与えられる<sup>10)</sup>。同時に、既存の温度目盛の関数として、温度差の微係数( $d\delta/d(T/K)$ )の値を含む。これらの微係数は1337.15 K(1064°C)以下の温度で数値計算された。我々は各区間の温度差を単調3次エルミート補間法によって得るためにNAGライブラリーのE01BFFサブルーチンを用いた。微係数もこのサブルーチンで計算した。これらの演算を遂行させる数学的なサブルーチンは入手するのは困難ではない(文献9)。1337.15Kより高温では、微係数を得るための正確な式(本文(10)式)を使った。これらの微係数は、IPTS-68からIPTS-90に熱力学諸量を修正するために後程必要になる。 $t_{90}$ /°C=630.60すなわち $T_{90}/K=903.75$ において微係数( $d\delta/d(T/K)$ )が不連続性を示すことにご注意頂きたい。同様に温度差 $\delta=(T_{90}-T_{76})/K$ と、 $T_{76}/K$ の関数として温度差の微係数( $d\delta/d(T/K)$ )を含む表3は、文献5の付録Aと文献2の表6から作成した。

文献7の表I. IIIには、 $t_{68}$ /°C=-100~4000の温度域での近似的温度差( $t_{68}-t_{48}$ )/°Cも示されている。本論文では表4を作成するために、本文中の表1と表2およびこの近似的温度差を用いた。この表は $t_{48}$ /°Cの関数としてこれらの温度差 $\delta=(t_{90}-t_{48})/°C$ とその温度微係数( $d\delta/d(T/K)$ )とを含む。同様にして $t_{27}$ /°Cの関数として( $t_{27}-t_{48}$ )/°Cの近似値を与える文献7中の表I、IIと本文中の表1、表2および表4より表5(省略)を作った。ここには $t_{27}$ /°Cの関数として近似的温度差 $\delta=(t_{90}-t_{27})/°C$ およびその温度微係数( $d\delta/d(T/K)$ )が与えられている。ITS-27とIPTS-48の定義は $t_{27}$ /°Cが630未満の温度域では同じであるので、 $t_{48}$ /°Cに対する同じ値を表4に記載した。国際的に認められた温度目盛ではないが13~90Kの温度範囲について、1955年に米国立標準局は独自の暫定温度目盛(NBS-55)を作成し、IPTS-68が確立されるまで使用してきた。 $T_{NBS-55}$ の関数としての( $T_{68}-T_{NBS-55}$ )の温度差の表は文献10の付録Cに記載されている。

正常水素気体目盛(HNS)は1887年、国際度量衡委員会に

### 注1)

本論文では独立変数を $T_{90}/K$ ( $t_{90}/°C$ )から $T_{68}/K$ ( $t_{68}/°C$ )に変えたために、温度差に対する2次補正が必要となる。しかしながらこの2次補正は全ての場合、二つの温度目盛の差より生じる最少の有効数字よりも小さいことが明らかになった。本論文の全ての表と式を作成する上で、温度目盛に使われた記号に触れなければならない。温度目盛を特定することが必要な時には、熱力学温度( $T$ )とセルシウス温度( $t$ )に添字を付記する。例えば、ITS-90の温度目盛は $T_{90}$ あるいは $t_{90}$ と表す。ケルビン温度は水の三重重点の熱力学温度の正確に1/273.16として決められている。セルシウス温度は $t/°C = T/K - 273.15$ と定義されている。

よって採用された。この温度目盛は Chappuis によって開発され、それぞれ氷点と沸点を0℃と100℃を決めた気体温度計測定の基礎となった。この温度目盛の最初の範囲は-25℃から100℃であったが、段階的に拡張された(文献7)。もし氷点と沸点の決定に誤差が含まれなく、この温度目盛が全範囲で直線的であるとすると、以下の関係が得られる:

$$\delta(t_{90} - t_{\text{NHS}})/^{\circ}\text{C} = -0.00026(t_{\text{NHS}}/^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

$$d\delta/d(T/\text{K}) = -0.00026 \quad (2)$$

まとめると、表1~5はITS-27, IPTS-48, IPTS-68, および EPT-76からそれぞれITS-90に換算するための近似的温度差、およびその温度微係数の両方を便利に求めるのに使うことが出来る。式(1)と(2)はNHSからITS-90に換算するために使われる。ITS-27では $T_{\text{z}}/\text{K} = t_{\text{z}}/^{\circ}\text{C} + 273.00$ であることに注意する必要がある。IPTS-48, IPTS-68およびITS-90では、 $T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$ である。おおよそ1948~1955年の間に発表された結果を利用する場合、大多数はケルビン温度への換算のために定数273.15の代わりに273.16が使われているので、どのように $t/^{\circ}\text{C}$ から $T/\text{K}$ に換算されたかについて特に注意すべきである。既存の温度目盛とITS-90との温度差を図1と図2(省略)に示した。

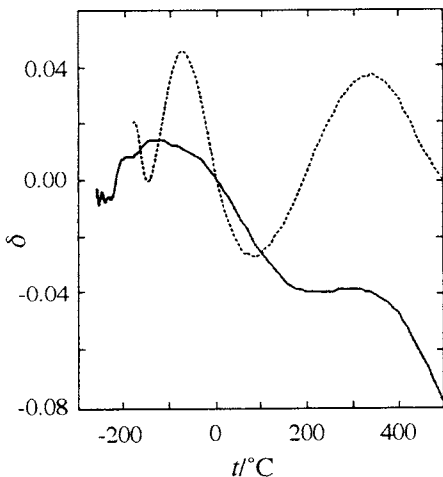


図1  $t/^{\circ}\text{C}$ の関数で表わした  $\delta = (T_{90} - T_x)/\text{K}$   
実線は  $x = 68$ , 破線は  $x = 48$  および  
 $x = 27$  を表わす

### $T_{68}$ から $T_{90}$ への換算のための解析関数

ITS-90とIPTS-68の間の温度差を解析関数で表現することは有用である。R. L. Rusbyによる力作は国際度量衡会議測定諮問委員会によって採用された(文献4)。まとめてこれらの式の係数を表6に記載した。

次の多項式は $T_{90}/\text{K} = 13.8 \sim 73.15$ の温度範囲で、温度差 $(T_{90} - T_{68})/\text{K}$ を約0.001 Kの精度で再現する。

$$(T_{90} - T_{68})/\text{K} = a_0 + \sum a_i \left\{ \frac{(T_{90}/\text{K}) - 40}{40} \right\}^i \quad (3)$$

一次微係数 $d(T_{90} - T_{68})/dT_{90}$ は、温度目盛の変更に伴って生じる熱力学諸量の変化を計算する上で必要となる。この微係数は以下ようになる:

$$\frac{d(T_{90} - T_{68})}{dT_{90}} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{12} i a_i \left\{ \frac{(T_{90}/\text{K}) - 40}{40} \right\}^{i-1} \quad (4)$$

83.8~903.75 K (-189.35~630.6℃)の範囲では、 $(T_{90} - T_{68})/\text{K}$ は次の式で表される。

$$(T_{90} - T_{68})/\text{K} = \sum_{i=1}^8 b_i \left\{ \frac{(T_{90}/\text{K}) - 273.15}{630} \right\}^{i-1} \quad (5)$$

この式の精度は83.8~273.15 Kの範囲で0.0015 Kであり、273.15~903.75 Kでは0.001 Kである。83.8~903.75 Kの温度範囲での微係数 $d(T_{90} - T_{68})/dT_{90}$ は次のようになる。

$$\frac{d(T_{90} - T_{68})}{dT_{90}} = \frac{1}{630} \sum_{i=1}^8 i b_i \left\{ \frac{(T_{90}/\text{K}) - 273.15}{630} \right\}^{i-1} \quad (6)$$

$(T_{90} - T_{68})$ を $T_{90}$ で微分すると、その一次微係数が903.75 K (630.6℃)で不連続性を示すことに注意すべきである。930.75~1337.33 K (630.6~1064.18℃)の温度範囲においては、 $(T_{90} - T_{68})/\text{K}$ は約0.01 K以内に次式で再現される。

$$(T_{90} - T_{68})/\text{K} = c_0 + \sum_{i=1}^7 \left\{ \frac{(T_{90}/\text{K}) - 1173.15}{300} \right\}^i \quad (7)$$

この温度範囲(930.75~1337.33 K)における一次微係数は

$$\frac{d(T_{90} - T_{68})}{dT_{90}} = \frac{1}{300} \sum_{i=1}^7 i c_i \left\{ \frac{(T_{90}/\text{K}) - 1173.15}{300} \right\}^{i-1} \quad (8)$$

となる。1337.33 K (1064.18℃)以上では、 $(T_{90} - T_{68})/\text{K}$ の演算式は

$$(T_{90} - T_{68})/\text{K} = T_{90}^2/\text{K} \left\{ \frac{T_{90}(\text{Au}) - T_{68}(\text{Au})}{T_{90}(\text{Au})T_{68}(\text{Au})} \right\} \quad (9)$$

となる。ここで金の凝固点 $T_{90}(\text{Au})$ は1337.33 Kであり、 $T_{68}(\text{Au})$ は1337.58 Kである。したがって、鉤括弧のなかの

項は $-1.398 \times 10^{-7}$ の定数である。この式は更に簡単であり、文献4の(1.5)式と本質的に同等である。銀、金および銅の凝固点は放射温度計目盛の構築に使われる。上記の式より得られた微係数は

$$\frac{d(T_{90} - T_{68})}{dT_{90}} = 2T_{90} \left\{ \frac{T_{90}(\text{Au}) - T_{68}(\text{Au})}{T_{90}(\text{Au})T_{68}(\text{Au})} \right\} \quad (10)$$

となる。上記の式(5)および(7)はそれぞれ文献4の表1.6にある(1.3)と(1.4)式から、セルシウス温度の代わりにケルビン温度で表現するために変形されたものである。

Rusbyは最近(文献11)、 $T_{68}$ から $(T_{90} - T_{68})$ を直接計算できるように上記の諸式を改良した。Rusbyの改良式が有効な温度範囲は、上述のものと少し違ってくる(3)式に対しては13.81~83.8Kの範囲; 式(5)に対しては73.15~803.89Kの範囲; そして(7)式では903.89~1337.58Kの範囲。上記の式で計算された微係数は、公式に発表された温度差 $(T_{90} - T_{68})/K$ (文献1)からエルミート補間で直接計算されたものと合理的に一致する。しかしながら上記の式で計算された微係数は、エルミート補間で計算されたものより一段とスムーズである。以下に示すように、IPTS-68からIPT-90への変更に伴う熱力学諸性質への効果はほとんど測定量の実験誤差内である。それゆえ、微係数 $d(T_{90} - T_{68})/dT_{90}$ の不正確度が算出補正量に大きな効果を持つとは考えられない。しかしながら実際に測定されたデータが非常に高い確度をもつ場合は、測定されたそれぞれの温度を順次ITS-90に換算した上で再計算することが推奨される。

### 熱力学的諸性質の換算

最も正確な熱力学的諸性質に対しては、まず前述の概要にしたがって原論文の温度目盛から $T_{90}$ に換算し、これをもとにして熱力学諸量を修正することが望ましい。しかしながら、温度目盛の変更にとまらぬ熱力学諸量の直接的補正式がDouglas(文献12)によって誘導された。エンタルピー $H$ 、熱容量 $C_p$ 、そしてエントロピー $S$ のテラー展開を無限系列の形で行なえば、補正量 $\delta H$ 、 $\delta C_p$ および $\delta S$ を決定しうる正確な式が導かれる。ITS-90とIPTS-68の温度差は十分小さいので、無限系列の高次項を無視しても、鋭い相転移の起こる範囲を除いてほとんどすべての場合について正確な近似式となる。エンタルピー、熱容量およびエントロピーの各補正量は、次のように簡略化して与えられる。

$$\delta H = -(T_{90} - T_x)C_p \quad (11)$$

$$\delta C_p = -(T_{90} - T_x) \frac{dC_p}{dT} - C_p \frac{d(T_{90} - T_x)}{dT} \quad (12)$$

$$\delta S = - \int_0^T \left\{ (T_{90} - T_x)C_p / T^2 \right\} dT - (T_{90} - T_x)C_p / T \quad (13)$$

ここで $T_x$ は任意の既存目盛(NHS, ITS-27, IPTS-48, IPTS-68あるいはEPT-76)による熱力学温度である。式(11)、(12)、および(13)はそれぞれ文献12の式(52)、(53)および、(56)に相当する。このようにして求められた熱力学諸性質は、目指す $T_{90}$ 温度での値となる。計算された熱力学的性質の差(例えば $C_p(90) - C_p(68)$ )に対する誤差は、種々の因子(とくに式(12)で使われている $dC_p/dT$ と $d(T_{90} - T_x)/dT$ )の不確定性に起因している。それで表7にある熱力学的諸性質の近似的修正量を得るために、既に最適化されている結果を時として使った。最適化の操作はスムーズな結果を生じる傾向があり、これを行なうことによって実際研究に使った温度目盛や温度測定などに含まれる誤差を少なくする傾向があることを指摘したい。もしITS-90に基づく熱力学的諸性質の正確な値を望むならば先ず原報の温度数値を補正し、次にDouglas式を使って最適化済みの結果を修正することより、むしろ修正済みの熱力学諸性質を最適化するほうが望ましい。それゆえにDouglas式で得られた熱力学的性質の修正が、温度目盛の変更による熱力学的諸性質への近似的補正量の評価には十分であっても、既存の温度目盛を用いたデータを最適化する際にもとの測定における実験の詳細の一部をすでに平滑化して了っていることに注意する必要がある。このように正確な結果は式(11)、(12)、(13)では得られないが、熱力学的諸性質の近似的修正量の計算には十分である。

ITS-68からITS-90への変更がもたらす効果を広い範囲にわたって検討するために六個の物質を選び、式(11)~(13)を使って計算を行なった。これらの物質は断熱型熱量計による熱容量の研究が行なわれた $\text{ND}_4\text{ReO}_4(\text{固})$ (文献13)と断熱型熱量計と示差走査熱量計DSCの両方で研究された $\text{BaSnF}_4(\text{固})$ (文献14, 15)、断熱型および落下式熱量計で測定された $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(\text{固})$ (文献16, 17, 18)、 $\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3(\text{固})$ (文献19, 20)、および $\text{BeO}_3 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3(\text{固})$ (文献21, 22)、断熱型、落下式、パルス加熱型熱量計によって測定された $\text{Mo}(\text{固})$ (文献23, 24)である。計算の結果は、IPTS-68からITS-90への変換については表7に示し、IPTS-48からITS-90への変換については表8に示した。式(12)における $C_p d(T_{90} - T_x)/dT$ の項によって生じる顕著な寄与は、 $10^2 \{ C_p(90) - C_p(68) \} / C_p(90)$ の効果が16~18Kの間と903.75~1320Kの間で最も大きくなることを予測せしめる。このため、結果はそれにふさわしい温度間隔で表7と8(省略)に示した。これらの二つの表は既存の温度目盛(IPTS-48とIPTS-68)からITS-90に変更することによる熱力学的性質へのおおよその量的効果を評価するのに使うことが出来る。結果の不正確度が表

7(あるいは表8)に示されている近似的効果より少ない場合は、原報のデータの再計算が明かに正しいことが判る。表7と8を作成するために用いた実験データの不精密度は、903.75~1320 Kの温度範囲(表7と表8)と100~400 Kの温度範囲(表8)で示された近似的修正量より少ない。実際、ある研究者は温度目盛の不適切さが実験値の偏差の起因になることを認めた。例えばDitmarsとDouglas(文献18)は、彼らの実験結果の最適化した結果が $T=873\sim 1023$  Kの範囲でスムーズではないことを見つけた。非平滑さ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ にたいするエンタルピーの現在のデータと1956年のNBSデータの両方)をひき起こす原因が、IPTS-68を実現する上での系統誤差、とりわけこの温度目盛と真の熱力学温度目盛との差にあることを記述している。同様にFurukawaとReilly(文献25, 26)は、IPTS-48温度目盛が白金抵抗温度計と熱電対温度計のつなぎあわせで作成されている酸素点の付近で、いくつかの物質の熱容量に見掛けの異常が現われることを示した。これらの異常は、温度目盛を適当に修正することにより簡単に取り除かれた。Ginningsは文献27で、0~100°Cの範囲で液体の水の熱容量データは0.01から0.02%以内の精度と信じられると述べている。したがって、Osborne等(文献27)の水の熱容量の結果は、温度目盛が新しくなったことから再検討の対象となろう。DitmarsとDouglasの結果(文献18, 20, 22), FurukawaとSabaの結果(文献19, 21), Changの結果(文献17)およびOsborne等の結果(文献28)は膨大な文献中で最も高い熱力学的測定データ精度をもつ。このように前述の式(11), (12), (13)で計算された効果より少ない不確定性をもっていると判断された結果のみが、温度目盛の変更によって生じる修正と再検討を必要とする。統計力学から計算された熱力学諸性質は、暗黙の裡に熱力学温度が使われている。それゆえ、この論文で議論された修正は全く必要がない。

## 付 録

最近、測温諮問委員会のワーキンググループ2の後援で、八つの研究室が白金抵抗温度計で決定した1990年国際温度目盛での範囲630~1064°Cにわたって、温度差 $\delta=(t_{90}-t_{68})/^\circ\text{C}$ を決定した(文献29, 30, 31)。これらの結果は630~1064°Cの範囲で既存の結果(文献1と本論文の表1, 2を参照)から0.32 K程度の差を示した。Burns等(文献30)は以下の多項式でこの新しい温度差を表現した。

$$\begin{aligned} \delta = & 7.8687209 \times 10^{-1} - 4.7135991 \times 10^{-1} (t_{90}/^\circ\text{C}) \\ & + 1.0954715 \times 10^{-3} (t_{90}/^\circ\text{C})^2 - 1.2357884 \times 10^{-6} (t_{90}/^\circ\text{C})^3 \\ & + 0.67736583 \times 10^{-10} (t_{90}/^\circ\text{C})^4 - 1.4458081 \times 10^{-13} (t_{90}/^\circ\text{C})^5 \quad (14) \end{aligned}$$

680~880°C ( $T=953.15\sim 1153.15$  K)の範囲でこれらの新し

い温度差の絶対値とその温度微係数の絶対値は、表1と2に示した量よりも実質上小さい。このようにこれらの新しい温度差と、その温度微係数とで計算された熱力学的諸性質の近似的修正量は、実質上953~1153 Kの温度範囲で表7と8に記載した概算値より小さい。

## 謝 辞

著者はR. E. Bedford, P. Bloembergen, および R. L. Rusby 博士から、温度目盛の差を表す未公表の式をお送り頂いたことにお礼申し上げます。G. W. Burns, G. F. Strouse 博士からは630~1064°Cの領域でITS-90とITPS-68の温度差に関する最新情報を提供頂いた。L. Bowness氏には計算をお手伝い頂いた。L. Crovini, K. M. de Reuck, M. Ewing, G. T. Furukawa, B. W. Mangum, P. A. G. O'Hare, F. Pavese, T. J. Quinn, F. RighiniおよびW. A. Wakeham博士よりは有益な御助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) *Procès-verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres, France (1990).
- 2) H. Preston-Thomas, *Metrologia* **27**, 3 (1990); *Metrologia* **27**, 107 (1990).
- 3) M. L. McGlashan, *J. Chem. Thermodyn.* **22**, 653 (1990).
- 4) H. Preston-Thomas, P. Bloembergen and T. J. Quinn, *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres, France (1990).
- 5) R. E. Bedford, G. Bonnier, H. Maas and F. Pavese, *Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990*, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres, France (1990).
- 6) B. W. Mangum and G. T. Furukawa, *Guidelines for Realizing the International Temperature Scale of 1990 (IST-90)*, NIST Technical Note 1265, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland (1990).
- 7) H. Preston-Thomas, P. Bloembergen, and T. Quinn, *Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76*, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres, France (1983).
- 8) *NAG Fortran Library Manual-Mark 13*, Numerical Algorithms Group, Ltd., Oxford (1988).
- 9) R. Boisvert, S. E. Howe, D. K. Kahaner, and J. L. Springmann, *Guide to Available Mathematical Software*,

- NBSIR 90-4237, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland (1990).
- 10) J. L. Riddle, G. T. Furukawa, and H. H. Plumb, *Platinum Resistance Thermometry*, Natl. Bur. Stand. Monograph 126, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (1972).
  - 11) R. L. Rusby, *J. Chem. Thermodyn.* **23**, 1153 (1991).
  - 12) T. B. Douglas, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A73*, 451 (1969).
  - 13) R. J. C. Brown, J. E. Callanan, R. D. Weir, and E. F. Westrum, Jr., *J. Chem. Thermodyn.* **18**, 787 (1986).
  - 14) J. E. Callanan, R. D. Weir and E. F. Westrum, Jr., *Internat. J. Thermophys.* **9**, 1091-1100 (1988).
  - 15) J. E. Callanan and R. D. Weir, *J. Chem. Thermodyn.* **23**, 411 (1991).
  - 16) D. A. Ditmars, S. Ishihara, S. S. Chang, G. Bernstein and E. D. West, *J. Res. Natl. Bur. Stand.* **87**, 159 (1982).
  - 17) S. S. Chang, *Proceedings of the Seventh Symposium on Thermophysical Properties*, ASME, held at the National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, May 10-12, 83 (1977).
  - 18) D. A. Ditmars and T. B. Douglas, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A75*, 401 (1971).
  - 19) G. T. Furukawa and W. G. Saba, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A69*, 13 (1965).
  - 20) D. A. Ditmars and T. B. Douglas, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A71*, 89 (1967).
  - 21) G. T. Furukawa and G. W. Saba, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A71*, 3 (1967).
  - 22) D. A. Ditmars and T. B. Douglas, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A71*, 97 (1967).
  - 23) K. Klusius and P. Franzosini, *Z. Naturforsch. A: Phys. Chem. Kosmophys.* **14**, 991 (1959).
  - 24) D. A. Ditmars, A. Cezairliyan, S. Ishihara, and T. B. Douglas, *Enthalpy and Heat Capacity Standard Reference Material: Molybdenum SRM 781, from 273 to 2800K*, Natl. Stand. Spac. Pub. 260, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (1970).
  - 25) G. T. Furukawa and M. L. Reilly, *J. Res. Natl. Bur. Stand., Sect. A69*, 5 (1965).
  - 26) G. T. Furukawa and M. L. Reilly, in *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 4, (H. H. Plumb, editor-in-chief), pp. 27 Instrument Society of America, Pittsburgh, Pennsylvania (1972).
  - 27) D. C. Ginnings, in *Precision Measurement and Calibration: Selected NBS Papers on Heat*, Natl. Bur. Stand. Spec. Pub. 300- Vol. 6, (D. C. Ginnings, editor), pp. 1, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (1970).
  - 28) N. S. Osborne, H. F. Stimson, and D. C. Ginnings, *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)* **23**, 197 (1939).
  - 29) G. W. Burns, G. F. Strouse, B. W. Mangum, M. C. Croarkin, W. F. Guthrie, P. Marcarino, M. Battuello, H. K. Lee, J. C. Kim, K. S. Gam, C. Rhee, M. Chattle, M. Arai, H. Sakurai, A. I. Pokhodum, N. P. Moiseeva, S. A. Perevalova, M. J. de Groot, J. Zhang, K. Fan and S. Wu, *New reference function for platinum-10% rhodium versus platinum (type S) Thermocouples based on the ITS-90. Part I: Experimental Procedures*, in *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (J. F. Schooley, editor), American Institute of Physics, New York, in press.
  - 30) G. W. Burns, G. F. Strouse, B. W. Mangum, M. C. Croarkin, W. F. Guthrie, P. Marcarino, M. Battuello, H. K. Lee, J. C. Kim, K. S. Gam, C. Rhee, M. Chattle, M. Arai, H. Sakurai, A. I. Pokhodum, N. P. Moiseeva, S. A. Perevalova, M. J. de Groot, J. Zhang, K. Fan and S. Wu, *New reference function for platinum-10% rhodium versus platinum (type S) thermocouples based on the ITS-90. Part II: Results and Discussion*, in *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (J. F. Schooley, editor), American Institute of Physics, New York, in press.
  - 31) W. F. Guthrie, M. C. Croarkin, G. W. Burns, G. F. Strouse, P. Marcarino, M. Battuello, H. K. Lee, J. C. Kim, K. S. Gam, C. Rhee, M. Chattle, M. Arai, H. Sakurai, A. I. Pokhodum, N. P. Moiseeva, S. A. Perevalova, M. J. deGroot, J. Zhang, K. Fan and S. Wu, *Statistical analysis of type S thermocouple measurements on the International Temperature Scale of 1990*, in *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (J. F. Schooley, editor), American Institute of Physics, New York, in press.

表1  $t_{68}/^{\circ}\text{C}$ の関数としての温度差  $\delta=(t_{90}-t_{68})/^{\circ}\text{C}$ とその微係数 $d\delta/d(T/\text{K})$ 

$t_{68}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/(T/\text{K})$	$t_{68}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/(T/\text{K})$	$t_{68}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/(T/\text{K})$	$t_{68}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/(T/\text{K})$
-180	0.008	0.00020	210	-0.040	0.00000	600	-0.115	-0.00030	990	-0.18	-0.0010
-170	0.010	0.00020	220	-0.040	0.00000	610	-0.118	-0.00034	1000	-0.19	-0.0010
-160	0.012	0.00013	230	-0.040	0.00000	620	-0.122	-0.00034	1010	-0.20	-0.0010
-150	0.013	0.00010	240	-0.040	0.00000	630	-0.125	0.00000	1020	-0.21	-0.0010
-140	0.014	0.00000	250	-0.040	0.00000	640	-0.08	0.0049	1030	-0.22	-0.0010
-130	0.014	0.00000	260	-0.040	0.00000	650	-0.03	0.0050	1040	-0.23	-0.0010
-120	0.014	0.00000	270	-0.039	0.00000	660	0.02	0.0044	1050	-0.24	-0.0010
-110	0.013	0.00000	280	-0.039	0.00000	670	0.06	0.0044	1060	-0.25	0.0000
-100	0.013	0.00000	290	-0.039	0.00000	680	0.11	0.0050	1070	-0.25	-0.00038
-90	0.012	0.00000	300	-0.039	0.00000	690	0.16	0.0040	1100	-0.26	0.00038
-80	0.012	0.00000	310	-0.039	0.00000	700	0.20	0.0040	1200	-0.30	-0.00041
-70	0.011	-0.00010	320	-0.039	0.00000	710	0.24	0.0040	1300	-0.35	-0.00044
-60	0.010	-0.00010	330	-0.040	0.00000	720	0.28	0.0034	1400	-0.39	-0.00047
-50	0.009	-0.00010	340	-0.040	0.00000	730	0.31	0.0024	1500	-0.44	-0.00050
-40	0.008	-0.00013	350	-0.041	-0.00010	740	0.33	0.0020	1600	-0.49	-0.00052
-30	0.006	-0.00020	360	-0.042	-0.00010	750	0.35	0.0013	1700	-0.54	-0.00055
-20	0.004	-0.00020	370	-0.043	-0.00013	760	0.36	0.0000	1800	-0.60	-0.00058
-10	0.002	-0.00020	380	-0.045	-0.00013	770	0.36	0.0000	1900	-0.66	-0.00061
0	0.000	-0.00020	390	-0.046	-0.00013	780	0.3	0.0000	2000	-0.72	-0.00064
10	-0.002	-0.00024	400	-0.048	-0.00024	790	0.3	-0.0010	2100	-0.79	-0.00066
20	-0.005	-0.00024	410	-0.051	-0.00024	800	0.3	-0.0013	2200	-0.85	-0.00069
30	-0.007	-0.00024	420	-0.053	-0.00024	810	0.3	-0.0024	2300	-0.93	-0.00072
40	-0.010	-0.00030	430	-0.056	-0.00030	820	0.2	-0.0034	2400	-1.00	-0.00075
50	-0.013	-0.00030	440	-0.059	-0.00030	830	0.2	-0.0034	2500	-1.07	-0.00078
60	-0.016	-0.00024	450	-0.062	-0.00030	840	0.2	-0.0034	2600	-1.15	-0.00080
70	-0.018	-0.00024	460	-0.065	-0.00030	850	0.1	-0.0040	2700	-1.24	-0.00083
80	-0.021	-0.00030	470	-0.068	-0.00034	860	0.1	-0.0040	2800	-1.32	-0.00086
90	-0.024	-0.00024	480	-0.072	-0.00034	870	0.1	-0.0040	2900	-1.41	-0.00089
100	-0.026	-0.00020	490	-0.075	-0.00034	880	0.0	-0.0034	3000	-1.50	-0.00091
110	-0.028	-0.00020	500	-0.079	-0.00040	890	0.0	-0.0034	3100	-1.59	-0.00094
120	-0.030	-0.00020	510	-0.083	-0.00040	900	-0.0	-0.0027	3200	-1.69	-0.00097
130	-0.032	-0.00020	520	-0.087	-0.00034	910	-0.0	-0.0024	3300	-1.78	-0.00100
140	-0.034	-0.00020	530	-0.090	-0.00034	920	-0.0	-0.0024	3400	-1.89	-0.00103
150	-0.036	-0.00013	540	-0.094	-0.00040	930	-0.0	-0.0020	3500	-1.99	-0.00105
160	-0.037	-0.00010	550	-0.098	-0.00034	940	-0.1	-0.0020	3600	-2.10	-0.00108
170	-0.038	-0.00010	560	-0.101	-0.00034	950	-0.1	-0.0020	3700	-2.21	-0.00111
180	-0.039	0.00000	570	-0.105	-0.00034	960	-0.1	-0.0020	3800	-2.32	-0.00114
190	-0.039	0.00000	580	-0.108	-0.00034	970	-0.1	-0.0013	3900	-2.43	-0.00117
200	-0.040	0.00000	590	-0.112	-0.00034	980	-0.17	-0.0010	4000	-2.55	-0.00119

表2  $T_{68}/K$ の関数として微係数と温度差  $\delta = (T_{90} - T_{68})/K$  その微係数  $d\delta/d(T/K)$

$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$
14	-0.006	0.0050	55	-0.002	0.0010	96	0.008	0.0000	460	-0.039	0.00000
15	-0.003	0.0000	56	-0.001	0.0010	97	0.009	0.0000	470	-0.040	0.00000
16	-0.004	-0.0013	57	0.000	0.0010	98	0.009	0.0000	480	-0.040	0.00000
17	-0.006	-0.0020	58	0.001	0.0010	99	0.009	0.0000	490	-0.040	0.00000
18	-0.008	-0.0013	59	0.002	0.0010	100	0.009	0.0000	500	-0.040	0.00000
19	-0.009	0.0000	60	0.003	0.0000	110	0.011	0.00020	510	-0.040	0.00000
20	-0.009	0.0000	61	0.003	0.0000	120	0.013	0.00013	520	-0.040	0.00000
21	-0.008	0.0010	62	0.004	0.0000	130	0.014	0.00000	530	-0.040	0.00000
22	-0.007	0.0000	63	0.004	0.0000	140	0.014	0.00000	540	-0.039	0.00000
23	-0.007	0.0000	64	0.005	0.0000	150	0.014	0.00000	550	-0.039	0.00000
24	-0.006	0.0010	65	0.005	0.0000	160	0.014	0.00000	560	-0.039	0.00000
25	-0.005	0.0010	66	0.006	0.0000	170	0.013	-0.00010	570	-0.039	0.00000
26	-0.004	0.0000	67	0.006	0.0000	180	0.012	0.00000	580	-0.039	0.00000
27	-0.004	0.0000	68	0.007	0.0000	190	0.012	0.00000	590	-0.039	0.00000
28	-0.005	-0.0010	69	0.007	0.0000	200	0.011	-0.00010	600	-0.040	0.00000
29	-0.006	0.0000	70	0.007	0.0000	210	0.010	-0.00010	610	-0.040	0.00000
30	-0.006	0.0000	71	0.007	0.0000	220	0.009	-0.00010	620	-0.041	-0.00010
31	-0.007	0.0010	72	0.007	0.0000	230	0.008	-0.00010	630	-0.042	-0.00010
32	-0.008	0.0000	73	0.007	0.0000	240	0.007	-0.00013	640	-0.043	-0.00010
33	-0.008	0.0000	74	0.007	0.0000	250	0.005	-0.00020	650	-0.044	-0.00013
34	-0.008	0.0000	75	0.008	0.0000	260	0.003	-0.00020	660	-0.046	-0.00013
35	-0.007	0.0000	76	0.008	0.0000	270	0.001	-0.00026	670	-0.047	-0.00015
36	-0.007	0.0000	77	0.008	0.0000	273.15	0.000	-0.00021	680	-0.050	-0.00024
37	-0.007	0.0000	78	0.008	0.0000	280	-0.001	-0.00019	690	-0.052	-0.00024
38	-0.006	0.0000	79	0.008	0.0000	290	-0.004	-0.00024	700	-0.055	-0.00030
39	-0.006	0.0000	80	0.008	0.0000	300	-0.006	-0.00024	710	-0.058	-0.00030
40	-0.006	0.0000	81	0.008	0.0000	310	-0.009	-0.00030	720	-0.061	-0.00030
41	-0.006	0.0000	82	0.008	0.0000	320	-0.012	-0.00030	730	-0.064	-0.00030
42	-0.006	0.0000	83	0.008	0.0000	330	-0.015	-0.00024	740	-0.067	-0.00034
43	-0.006	0.0000	84	0.008	0.0000	340	-0.017	-0.00024	750	-0.071	-0.00034
44	-0.006	0.0000	85	0.008	0.0000	350	-0.020	-0.00030	760	-0.074	-0.00034
45	-0.007	0.0000	86	0.008	0.0000	360	-0.023	-0.00024	770	-0.078	-0.00040
46	-0.007	0.0000	87	0.008	0.0000	370	-0.025	-0.00020	780	-0.082	-0.00040
47	-0.007	0.0000	88	0.008	0.0000	380	-0.027	-0.00020	790	-0.086	-0.00034
48	-0.006	0.0000	89	0.008	0.0000	390	-0.029	-0.00020	800	-0.089	-0.00034
49	-0.006	0.0000	90	0.008	0.0000	400	-0.031	-0.00020	810	-0.093	-0.00040
50	-0.006	0.0000	91	0.008	0.0000	410	-0.033	-0.00020	820	-0.097	-0.00034
51	-0.005	0.0000	92	0.008	0.0000	420	-0.035	-0.00020	830	-0.100	-0.00034
52	-0.005	0.0000	93	0.008	0.0000	430	-0.037	-0.00013	840	-0.104	-0.00034
53	-0.004	0.0010	94	0.008	0.0000	440	-0.038	-0.00010	850	-0.107	-0.00034
54	-0.003	0.0010	95	0.008	0.0000	450	-0.039	0.00000	860	-0.111	-0.00034



表2の続き

$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{68}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$
870	-0.114	-0.00030	1070	0.34	-0.0010	1270	-0.19	-0.0010	2400	-0.81	-0.00067
880	-0.117	-0.00034	1080	0.33	-0.0015	1280	-0.20	-0.0010	2500	-0.87	-0.00070
890	-0.121	-0.00034	1090	0.30	-0.0034	1290	-0.21	-0.0010	2600	-0.95	-0.00073
900	-0.124	-0.00000	1100	0.26	-0.0034	1300	-0.22	-0.0010	2700	-1.02	-0.00075
903.75	-0.125	-	1110	0.23	-0.0034	1310	-0.23	-0.0010	2800	-1.09	-0.00078
910	-0.09	0.0037	1120	0.19	-0.0040	1320	-0.24	-0.0010	2900	-1.17	-0.00081
920	-0.05	0.0044	1130	0.15	-0.0040	1330	-0.25	-0.00030	3000	-1.26	-0.00084
930	0.00	0.0050	1140	0.11	-0.0040	1340	-0.25	-0.00037	3100	-1.34	-0.00087
940	0.05	0.0044	1150	0.07	-0.0034	1350	-0.26	-0.00038	3200	-1.43	-0.00089
950	0.09	0.0044	1160	0.04	-0.0034	1360	-0.26	-0.00038	3300	-1.52	-0.00092
960	0.14	0.0050	1170	0.00	-0.0027	1400	-0.27	-0.00039	3400	-1.62	-0.00095
970	0.19	0.0044	1180	-0.02	-0.0024	1500	-0.31	-0.00042	3500	-1.71	-0.00098
980	0.23	0.0040	1190	-0.05	-0.0024	1600	-0.36	-0.00045	3600	-1.81	-0.00101
990	0.27	0.0034	1200	-0.07	-0.0020	1700	-0.40	-0.00048	3700	-1.92	-0.00103
1000	0.30	0.0024	1210	-0.09	-0.0020	1800	-0.45	-0.00050	3800	-2.02	-0.00106
1010	0.32	0.0020	1220	-0.11	-0.0020	1900	-0.50	-0.00053	3900	-2.13	-0.00109
1020	0.34	0.0020	1230	-0.13	-0.0020	2000	-0.56	-0.00056	4000	-2.24	-0.00112
1030	0.36	0.0000	1240	-0.15	-0.0020	2100	-0.62	-0.00059	4100	-2.35	-0.00115
1040	0.36	0.0000	1250	-0.17	-0.0013	2200	-0.68	-0.00061	4200	-2.46	-0.00117
1050	0.36	0.0000	1260	-0.18	-0.0010	2300	-0.74	-0.00064	4300	-2.58	-0.00120
1060	0.35	-0.0010									

表3  $T_{7d}/K$ の関数として温度差  $\delta = (T_{90} - T_{7d})/K$ とその微係数  $d\delta/d(T/K)$ 

$T_{7d}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{7d}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{7d}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$	$T_{7d}/K$	$\delta$	$d\delta/d(T/K)$
5	-0.0001	-0.00010	11	-0.0007	-0.00010	17	-0.0016	-0.00020	23	-0.0030	-0.00024
6	-0.0002	-0.00010	12	-0.0008	-0.00013	18	-0.0018	-0.00020	24	-0.0032	-0.00024
7	-0.0003	-0.00010	13	-0.0010	-0.00013	19	-0.0020	-0.00020	25	-0.0035	-0.00030
8	-0.0004	-0.00010	14	-0.0011	-0.00013	20	-0.0022	-0.00024	26	-0.0038	-0.00030
9	-0.0005	-0.00010	15	-0.0013	-0.00013	21	-0.0025	-0.00024	27	-0.0041	-0.00030
10	-0.0006	-0.00010	16	-0.0014	-0.00013	22	-0.0027	-0.00024			

1990年度国際温度目盛に基づく既存温度および熱力学諸量の数値変換

表4  $t_{48}/^{\circ}\text{C}$ の関数としての温度差  $\delta = (t_{90} - t_{48})/^{\circ}\text{C}$ とその微係数  $d\delta/d(T/\text{K})$

$t_{48}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/d(T/\text{K})$	$t_{48}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/d(T/\text{K})$	$t_{48}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/d(T/\text{K})$	$t_{48}/^{\circ}\text{C}$	$\delta$	$d\delta/d(T/\text{K})$
-180	0.020	0.00000	200	0.003	0.00040	570	0.011	0.00051	940	0.97	0.0010
-170	0.017	-0.00046	210	0.007	0.00040	580	0.018	0.00070	950	0.98	0.0000
-160	0.007	-0.00082	220	0.011	0.00034	590	0.025	0.00082	960	0.98	0.0000
-150	0.000	0.00000	230	0.014	0.00034	600	0.035	0.0011	970	0.99	0.0013
-140	0.001	0.00018	240	0.018	0.00034	610	0.047	0.0012	980	1.01	0.0020
-130	0.008	0.00079	250	0.021	0.00030	620	0.060	0.0014	990	1.03	0.0020
-120	0.017	0.00090	260	0.024	0.00034	630	0.075	0.0025	1000	1.05	0.0020
-110	0.026	0.00090	270	0.028	0.00027	640	0.15	0.0072	1010	1.07	0.0020
-100	0.035	0.00072	280	0.030	0.00020	650	0.22	0.0075	1020	1.09	0.0020
-90	0.041	0.00048	290	0.032	0.00020	660	0.30	0.0075	1030	1.11	0.0020
-80	0.045	0.00000	300	0.034	0.00013	670	0.37	0.0075	1040	1.13	0.0020
-70	0.045	0.00000	310	0.035	0.00010	680	0.45	0.0075	1050	1.15	0.0020
-60	0.042	-0.00034	320	0.036	0.00000	690	0.52	0.0070	1060	1.17	0.0020
-50	0.038	-0.00048	330	0.036	0.00000	700	0.59	0.0070	1070	1.19	0.0018
-40	0.032	-0.00069	340	0.037	0.00000	710	0.66	0.0070	1100	1.2	0.0016
-30	0.024	-0.00080	350	0.036	-0.00010	720	0.73	0.0058	1200	1.4	0.0007
-20	0.016	-0.00080	360	0.035	-0.00010	730	0.78	0.0050	1300	1.5	0.0007
-10	0.008	-0.00080	370	0.034	-0.00013	740	0.83	0.0050	1400	1.6	0.0015
0	0.000	-0.00069	380	0.032	-0.00020	750	0.88	0.0044	1500	1.8	0.0015
10	-0.006	-0.00060	390	0.030	-0.00020	760	0.92	0.0027	1600	1.9	0.0015
20	-0.012	-0.00048	400	0.028	-0.00027	770	0.94	0.0024	1700	2.1	0.0014
30	-0.016	-0.00040	410	0.024	-0.00027	780	0.97	0.0024	1800	2.2	0.0014
40	-0.020	-0.00034	420	0.022	-0.00024	790	0.99	0.0020	1900	2.3	0.0014
50	-0.023	-0.00030	430	0.019	-0.00034	800	1.01	0.0013	2000	2.5	0.0017
60	-0.026	0.00000	440	0.015	-0.00034	810	1.02	0.0000	2100	2.7	0.0017
70	-0.026	0.00000	450	0.012	-0.00030	820	1.01	-0.0010	2200	2.9	0.0017
80	-0.027	0.00000	460	0.009	-0.00024	830	1.00	0.0000	2300	3.1	0.0016
90	-0.027	0.00000	470	0.007	-0.00024	840	1.00	0.0000	2400	3.2	0.0017
100	-0.026	0.00013	480	0.004	-0.00024	850	0.99	-0.0010	2500	3.4	0.0022
110	-0.024	0.00013	490	0.002	-0.00020	860	0.98	-0.0010	2600	3.7	0.0015
120	-0.023	0.00015	500	0.000	-0.00013	870	0.97	-0.0013	2700	3.8	0.0015
130	-0.020	0.00024	510	-0.001	-0.00010	880	0.95	0.0000	2800	4.0	0.0021
140	-0.018	0.00020	520	-0.002	0.00000	890	0.95	0.0000	2900	4.2	0.0021
150	-0.016	0.00027	530	-0.001	0.00010	900	0.94	0.0000	3000	4.4	0.0021
160	-0.012	0.00034	540	0.000	0.00013	910	0.95	0.0000	3100	4.6	0.0020
170	-0.009	0.00034	550	0.002	0.00029	920	0.95	0.0000	3200	4.8	0.0024
180	-0.005	0.00040	560	0.007	0.00044	930	0.96	0.0010	3300	5.1	0.0024
190	-0.001	0.00040									

表6 式(3)から(8)の変数  $a_i, b_i, c_i$  の数値表

$i$	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$i$	$a_i$	$b_i$	$c_i$
0	-0.005903	0	-0.00317	7	1.411912	7.438081	5.04151
1	0.008174	-0.148759	-0.97737	8	25.277595	-3.536296	0
2	-0.061924	-0.267408	1.25590	9	-19.183815	0	0
3	-0.193388	1.080760	2.03295	10	-18.437089	0	0
4	1.490793	1.269056	-5.91887	11	27.000895	0	0
5	1.252347	-4.089591	-3.23561	12	-8.716324	0	0
6	-9.835868	-1.871251	7.23364				

表7 IPTS-68からITS-90への温度目盛の変換にともなう物質の熱力学諸量(熱容量, エンタルピーおよびエントロピー)へのおおよその効果.  $C_p(x), H(x)$ , および  $S(x)$  はそれぞれ IPTS-68 および ITS-90 温度目盛の熱容量, エンタルピー, エントロピーである.

T/K	$10^2\{C_p(90)-C_p(68)\}/C_p(90)$						$10^2\{H(90)-H(68)\}/H(90)$					
	ND <sub>2</sub> ReO <sub>4</sub> (s)	BaSnF <sub>6</sub> (s)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	Mo(s)	ND <sub>2</sub> ReO <sub>4</sub> (s)	BaSnF <sub>6</sub> (s)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	Mo(s)
16	0.18	0.19	0.23	0.23	0.23	0.23	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.08
40	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06
100	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03
200	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01
300	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
400	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
500	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
650	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
800	-	-	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	0.02	0.02	0.02	0.01
850	-	-	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	0.02	0.02	0.02	0.02
900	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.02	0.02	0.02	0.02
920	-	-	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01
950	-	-	-0.44	-0.45	-0.45	-0.47	-	-	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
980	-	-	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-	-	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
1000	-	-	-0.25	-0.24	-0.25	-0.25	-	-	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
1020	-	-	-0.21	-0.20	-0.21	-0.21	-	-	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04
1050	-	-	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-	-	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04
1080	-	-	0.15	0.15	0.14	0.14	-	-	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
1100	-	-	0.34	0.34	0.34	0.34	-	-	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
1150	-	-	0.34	0.34	0.34	0.34	-	-	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
1200	-	-	0.20	0.20	0.20	0.20	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01
1300	-	-	0.10	0.10	0.10	0.11	-	-	0.02	0.02	0.02	0.02
1600	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	-	-	0.03	0.03	0.03	0.03
2000	-	-	0.06	0.07	0.07	0.08	-	-	0.04	0.04	0.04	0.04
2150	-	-	0.06	0.07	0.07	0.08	-	-	0.04	0.04	0.04	0.04
2400	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	0.05
2600	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	0.06
2800	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	0.06

T/K	$10^2\{S(90)-S(68)\}/S(90)$						T/K	$10^2\{S(90)-S(68)\}/S(90)$					
	ND <sub>2</sub> ReO <sub>4</sub> (s)	BaSnF <sub>6</sub> (s)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	Mo(s)		ND <sub>2</sub> ReO <sub>4</sub> (s)	BaSnF <sub>6</sub> (s)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	BeO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	Mo(s)
16	0.11	0.11	0.09	0.11	0.12	0.05	1000	-	-	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
40	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06	0.05	1020	-	-	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
100	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	1050	-	-	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
200	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	1080	-	-	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1100	-	-	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
400	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1150	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
500	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1200	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01
650	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1300	-	-	0.01	0.02	0.02	0.01
800	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	1600	-	-	0.02	0.02	0.02	0.01
850	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	2000	-	-	0.02	0.02	0.02	0.02
900	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	2150	-	-	0.02	0.03	0.03	0.02
920	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	2400	-	-	-	-	-	0.02
950	-	-	0.00	0.01	0.00	0.00	2600	-	-	-	-	-	0.03
980	-	-	-	-	-	-							