金属カリウムの熱力学的特性

正員 増田 俊久 (電総研)

正員 今井 寛之 (電総研)

正員 是永 定美 (電総研)

1. ま え が き

現在、汽力発電所の熱サイクルは水蒸気を作業流体とするランキンサイクルであり、水蒸気の温度、圧力を高温、高圧化することにより熱効率は改善されてきた。しかし、水蒸気の蒸気圧力が使用するボイラーおよびタービン材料の使用限界に達しているため、熱効率は40%が限度であるとされている。

この熱効率を更に改善する方策として、ボイラーおよびタービン材料を開発し、水蒸気をより高温化(566→650°C)、高圧化(24.2→34.6 MPa)する超超臨界圧発電方式や、作業流体を変えてより高温で動作させる発電方式などが考えられている。

金属カリウムを作業流体とするカリウムランキンサイクル発電方式は、動作温度を上昇(～900°C)させることにより熱効率の改善を図る発電方式の一つであり、我が国をはじめアメリカ、オーストリア、西ドイツにおいて基礎研究が行なわれている。

このようなカリウムランキンサイクル発電方式の研究を行なうためには、金属カリウムの熱力学的特性データが必要である。金属カリウムに関する熱力学的特性データは、アメリカの宇宙開発計画において宇宙用電源としてカリウムランキンサイクル発電方式の開発研究が行なわれた際にかかなり整備されたが、必ずしも広い温度領域にわたって網羅されていない。

ここでは、アメリカ・オークリッジ国立研究所でまとめられた熱力学的特性データ⁽¹⁾をベースに、他の文献データとの比較を行ない、密度、比熱、エンタルピー、エントロピー、粘度、熱伝導率、抵抗率および飽和

蒸気圧などに関する近似式を作成したので報告する。

2. 記号および単位

本報告で使用する記号およびSI単位を以下に示す。
 T_K : 絶対温度 (K), p : 圧力 (Pa), V : モル体積 ($\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}$), γ : 密度 (kg/m^3), c_p : 定圧比熱 ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$), c_v : 定容比熱 ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$), h : エンタルピー (kJ/kg), s : エントロピー ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$), η : 粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$), λ : 熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$), ρ : 抵抗率 ($\mu\Omega\cdot\text{m}$), R : 気体定数 ($8314.4 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot\text{K}$), M : カリウムの原子量 (39.098), $t_{m,p}$: カリウムの融点 (63.7°C), 添字 l : 液体, g : 飽和蒸気

3. 液体金属カリウムの熱力学的特性近似式

液体金属カリウムの熱力学的特性データについては、実験が比較的容易であり、また熱媒体としての特性を調べるためにも多くの実験がなされており、熱力学的特性データはよくそろっている。このため気相に比べ液相の近似式を求めることは比較的容易である。

ここでは液体金属カリウムについて、その密度、比熱、エンタルピー、エントロピー、粘度、熱伝導率および抵抗率に関する近似式を作成する。

〈3・1〉 液体の密度 液体の密度については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている^{(1)~(8)}。データの温度範囲は、融点から 1,200°C までほぼそろっており、また各データ間の偏差も小さい。このため、すべてのデータを近似式作成データとした。

このようにして、約 100 点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、液体金属カリウムの密度について次式に示される近似式を得た。

$$\gamma_l = 900.77 - 0.21195 \cdot T_K - 3.4736 \times 10^{-5} \cdot T_K^2 + 1.6952 \times 10^{-8} \cdot T_K^3 \quad (1)$$

Thermodynamic Properties of Potassium. By Toshihisa Masuda, Member, Hiroyuki Imai, Member & Sadayoshi Korenaga, Member (Division of Energy Systems, Electrotechnical Laboratory).

増田俊久: 正員, 電子技術総合研究所エネルギーシステム部

今井寛之: 正員, 電子技術総合研究所エネルギーシステム部

是永定美: 正員, 電子技術総合研究所エネルギーシステム部

図 1 液体金属カリウムの密度

Fig. 1. Density of liquid potassium.

図 1 に、この近似式と各データとを比較して示す。液体の密度はほぼ温度に比例して減少する。各データに対する近似式の偏差を計算すると、Weatherford 氏⁽⁴⁾ および Handbook⁽⁶⁾ の 1,000°C 以上のデータに対して、近似式の偏差は ±2% 以上になる。しかし、1,000°C 未満であれば各データに対する近似式の偏差は ±2% 未満であり、良い精度で近似できていると考えられる。

〈3・2〉 液体の定圧比熱 液体の比熱については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている^{(1)(3)(4)(5)(7)(9)~(13)}。データの温度範囲は、Weatherford 氏⁽⁴⁾ および JANAF⁽¹²⁾ では 1,200°C まで示されているが、他のデータは約 800°C までである。1,200°C までのデータも含めて二次の近似式を作成したが、500°C 近傍での偏差が大きくなったため、近似式作成データとしては 100°C から 1,000°C までのデータを採用することにした。

このようにして、約 80 点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、液体金属カリウムの定圧比熱について次式に示される近似式を得た。

$$c_{pL} = 0.95065 - 4.8899 \times 10^{-4} \cdot T_K + 3.1508 \times 10^{-7} \cdot T_K^2 \dots\dots\dots (2)$$

図 2 に、この近似式と各データとを比較して示す。1,000°C 以下の温度範囲においてデータと近似式は良い一致がみられ、各データに対する近似式の偏差は ±0.3% 未満である。しかし図には示されていないが、1,000°C 以上の温度領域において近似式は熱力学線図⁽⁹⁾ および JANAF⁽¹²⁾ のデータより大きく、1,100°C での偏差は -2% である。

〈3・3〉 液体のエントロピー 液体の場合、エンタルピーは定圧比熱を積分することにより求めることができる。すなわち、(2)式を

図 2 液体金属カリウムの定圧比熱

Fig. 2. Specific heat of liquid potassium.

$$c_p = a + b \cdot T_K + c \cdot T_K^2 \dots\dots\dots (3)$$

とした場合、基準温度(25°C)に対する任意の温度におけるエンタルピー h_T は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} h_T - h_{298} &= \int_{298}^T c_p dT \\ &= a \cdot T_K + (1/2) \cdot b \cdot T_K^2 \\ &\quad + (1/3) \cdot c \cdot T_K^3 - \text{const.} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

絶対温度 0K におけるエンタルピーを零とした場合、基準温度におけるエンタルピー h_{298} は Weatherford 氏⁽⁴⁾、Evans 氏⁽¹¹⁾ および JANAF⁽¹²⁾ に示されており、Weatherford 氏と Evans 氏のデータの間にある JANAF のデータ (239.72 kJ/kg) を採用した。

このようにして、(2)式および(4)式より液体金属カリウムのエンタルピーについて、次式に示される近似式を得た。

$$\begin{aligned} h_L &= -24.768 + 0.95065 \cdot T_K \\ &\quad - 2.4450 \times 10^{-4} \cdot T_K^2 + 1.0503 \times 10^{-7} \cdot T_K^3 \\ &\quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

液体のエンタルピーについては、文献にそれぞれのデータが示されている^{(1)(2)(4)~(6)(9)(11)~(13)}。

図 3 に、(5)式の近似式と各データとを比較して示す。液体のエンタルピーは、やや値が小さく近似式が良く一致するグループと^{(4)~(6)(11)(12)}、やや値が大きいグループ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁹⁾⁽¹³⁾とに分かれる。各データに対する近似式の偏差は、前者のグループに対しては ±0.2% 未満であり、後者のグループに対しては +3.5% 未満である。

〈3・4〉 液体のエントロピー 液体のエントロピーについても、エンタルピーと同様に、(3)式の定圧比熱の式を積分することにより求めることができる。すなわち、基準温度 (25°C) に対する任意の温度におけるエントロピー s_T は次式で与えられる。

図 3 液体金属カリウムのエンタルピー
Fig. 3. Enthalpy of liquid potassium.

$$\begin{aligned}
 s_T - s_{298} &= \int_{298}^T (c_p/T) dT \\
 &= a \cdot \ln T_K + b \cdot T_K + (1/2) \cdot c \cdot T_K^2 \\
 &\quad - \text{const.} \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

絶対温度 0K におけるエントロピーを零とした場合、基準温度におけるエントロピー s_{298} は Handbook⁽⁶⁾ および Evans 氏⁽¹¹⁾ のデータに示されており、より偏差が小さくなる Evans 氏のデータ (1.8104 kJ/kg·K) を採用した。このようにして、(2)式および(6)式より液体金属カリウムのエントロピーについて、次式に示される近似式を得た。

$$\begin{aligned}
 s_t &= -3.4743 + 2.1890 \cdot \log_{10} T_K \\
 &\quad - 4.8899 \times 10^{-4} \cdot T_K + 1.5754 \times 10^{-7} \cdot T_K^2 \\
 &\quad \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

液体のエントロピーについては、文献にそれぞれのデータや近似式が示されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

図 4 に、(7)式の近似式と各データとを比較して示

図 4 液体金属カリウムのエントロピー
Fig. 4. Entropy of liquid potassium.

す。液体のエントロピーはエンタルピーと同様に、やや値が小さく近似式が良く一致するグループ⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽¹¹⁾と、やや値が大きいグループ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁹⁾⁽¹²⁾とに分かれる。しかし、各データに対するこの近似式の偏差は Graves 氏の 350°C で +1.5% というデータを除けば ±1% 未満であり、良い精度で近似できていると考えられる。

〈3・5〉 液体の粘度 液体の粘度については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている^{(1)(3)(4)(6)(7)(14)~(16)}。しかし 400°C 以下の低温側において、値が大きいグループ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁽¹⁴⁾と、値が小さいグループ⁽⁶⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾とに分かれる。機械学会の報告書⁽³⁾では、この両方のデータを併記し、Graves 氏⁽¹⁾の近似式を採用している。

また $1/T$ -log 目盛でプロットすると、ほぼ 400°C を境にして低温側と高温側とではこう配が異なる直線となる。このため 400°C 以下の約 60 点および 400°C 以上の約 50 点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、液体金属カリウムの粘度について次式に示される近似式を得た。

$$\begin{aligned}
 \log_{10} \eta_t &= 285.21/T_K - 4.1098 \\
 (t_{mp} \sim 429^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \log_{10} \eta_t &= 399.84/T_K - 4.2732 \\
 (429 \sim 1,000^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

図 5 に、この近似式と各データとを比較して示す。近似式としては、前述の値の大きいグループと、値の小さいグループとの平均を近似する形となっている。Graves 氏の近似式を使用すると、値の小さいグループに対する偏差は -15% にもなるが、ここで作成した近似式では 100°C から 600°C の温度範囲においては ±10% 未満であり、600°C から 1,000°C の温度範囲においては ±2% 未満である。いずれにしろ、200°C から 600°C の温度範囲におけるより正確な実測データに

図 5 液体金属カリウムの粘度
Fig. 5. Viscosity of liquid potassium.

図 6 液体金属カリウムの熱伝導率

Fig. 6. Thermal conductivity of liquid potassium.

より、近似式を修正する必要がある。

〈3・6〉 液体の熱伝導率 液体の熱伝導率については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている(1)(3)(4)(7)(17)(18)。200℃以下の各データの偏差は大きいので削除し、200℃から800℃までの約60点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、液体金属カリウムの熱伝導率について次式に示される近似式を得た。

$$\lambda_L = 58.6563 - 2.8310 \times 10^{-2} \cdot T_K + 1.4799 \times 10^{-6} \cdot T_K^2 \dots\dots\dots (10)$$

図6に、この近似式と各データとを比較して示す。300℃以下の温度範囲において、Graves氏⁽¹⁾およびGrosse氏⁽¹⁸⁾のデータが他のデータからはずれており、これらのデータに対する近似式の偏差は100℃において+8%である。しかし300℃以上の温度範囲においては、各データに対する近似式の偏差は±3%未満であり、近似式として使用できると考えられる。

〈3・7〉 液体の抵抗率 液体の抵抗率については文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されているが(3)(6)(7)(18)、データの数は少なく機械学会⁽³⁾のデータが主である。

データの温度範囲は融点から1,100℃までそろっており、また各データの間の偏差も小さい。このため、すべてのデータを近似式作成データとして採用した。

このようにして、約50点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、液体金属カリウムの抵抗率について、次式に示される近似式を得た。

$$\rho_L = -9.2124 \times 10^{-2} + 7.8231 \times 10^{-4} \cdot T_K - 5.2762 \times 10^{-7} \cdot T_K^2 + 5.1903 \times 10^{-10} \cdot T_K^3 \dots\dots\dots (11)$$

図7に、この近似式と各データとを比較して示す。

図 7 液体金属カリウムの抵抗率

Fig. 7. Resistivity of liquid potassium.

近似式はHandbook⁽⁶⁾の一部のデータに対して100℃において+8%の偏差を示すが、200℃以上の温度範囲においてはその偏差は±4%未満であり、近似式として使用できると考えられる。

4. 飽和カリウム蒸気の熱力学的特性近似式

気体金属カリウムの熱力学的特性データについては、実験が困難であるためあまり実験がなされておらず、実験データは少ない。このため気体金属カリウムの熱力学的特性データについては、熱力学に基づく理論計算が主である。

ここでは金属カリウムの飽和蒸気について、その飽和蒸気圧、密度、エンタルピーおよびエントロピーに関する近似式を作成する。

〈4・1〉 飽和蒸気圧 金属カリウムの飽和蒸気圧については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている(1)~(7)(9)(10)(19)~(21)。

これらのデータでは200℃以下の低温および900℃以上の高温におけるデータが少なく、また各データ間の偏差も大きい。このため、カリウムランキンサイクル発電方式の概念設計などを行なうときに必要な温度領域において、平均値よりも大きな偏差をもつデータは近似式作成データより除くことにした。この結果、700℃において他のデータより偏差の大きいHandbook⁽⁶⁾のデータの一部および金属データブック⁽⁷⁾、化学便覧⁽¹⁰⁾のデータは近似式作成データより除いた。

このようにして、約220点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、金属カリウムの飽和蒸気圧について次式に示される近似式を得た。

$$\log_{10} p = 10.209 - 4477.7/T_K - 0.28666 \cdot \log_{10} T_K \dots\dots\dots (12)$$

図8および図9に、この近似式と各データとを比較

図 8 金属カリウムの飽和蒸気圧

Fig. 8. Saturation vapor pressure of potassium.

図 9 金属カリウムの飽和蒸気圧

Fig. 9. Saturation vapor pressure of potassium.

して示す。図8におけるデータは、すべて近似式作成データとして採用しているため、各データに対する近似式の偏差は $\pm 10\%$ 未満である。しかし、図9のHandbookのデータの一部および化学便覧のデータは、近似式作成時に考慮していないので偏差が大きく、特に 100°C 以下の低温において偏差が -30% を越えるものもある。

今後、信頼性のある実測データにより、これを修正する必要がある。

〈4.2〉状態方程式 実存気体の状態方程式は、高圧の場合を除いて次式のように蒸気体積のべき級数で表わすことができる。

$$\frac{pV}{RT} = A(T) + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V^2} + \frac{D(T)}{V^3} \dots (13)$$

ここで $A(T)$, $B(T)$, $C(T)$, $D(T)$ はそれぞれ第一、第二、第三、第四ビリアル係数である。これらの係数は、金属カリウムの過熱蒸気に関する p - V - T データより計算することができ、Graves 氏⁽¹⁾、Ewing 氏⁽²⁾

および Stone 氏⁽²²⁾らの p - V - T データより、次式に示される近似式を得た。

$$A = 1.0 \dots (14)$$

$$\log_{10}|B| = -4.8195 + 2710.3/T_K + \log_{10}T_K \quad (B < 0) \dots (15)$$

$$\log_{10}|C| = -1.8011 + 3545.7/T_K \quad (C > 0) \dots (16)$$

$$\log_{10}|D| = -2.2419 + 4556.0/T_K \quad (D < 0) \dots (17)$$

ただし、実験データの温度範囲は 870°C から $1,370^\circ\text{C}$ までであるが、低温領域まで拡張することにした。また蒸気体積および密度は、(13)式の状態方程式から導かれる次の四次方程式を解くことにより求めることができる。

$$p \cdot V^4 - R \cdot T(V^3 + B \cdot V^2 + C \cdot V + D) = 0 \dots (18)$$

$$\gamma = M/V \dots (19)$$

この四次方程式の根のうち、正の実根の最大値が過熱蒸気の体積であり、その逆数が密度となる。

〈4.3〉飽和カリウム蒸気の密度 飽和カリウム蒸気の密度は、(18)式および(19)式の圧力項に飽和蒸気圧を代入することにより求めることができ、求められた結果について最小自乗近似を行ない、飽和カリウム蒸気の密度について次式に示される近似式を得た。

$$\log_{10}\gamma_0 = 5.1323 - 4236.5/T_K - 0.44050 \cdot \log_{10}T_K \dots (20)$$

飽和カリウム蒸気の密度については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

図10に、(20)式の近似式と各データとを比較して示す。各データに対する近似式の偏差は $\pm 10\%$ 程度であり偏差は大きい。しかし、飽和蒸気圧の近似式と

図 10 飽和カリウム蒸気の密度

Fig. 10. Density of saturated potassium vapor.

同程度の精度でこの近似式を使用できると考えられる。

(4.4) 蒸発潜熱 飽和カリウム蒸気のエンタルピー、エントロピーを求めるには、液体金属カリウムのエンタルピー、エントロピーから始める方法と、(13)式の状態方程式より熱力学の一般式を利用して求める方法とがある。Graves 氏⁽¹⁾および Ewing 氏⁽²⁾は後者の方法でエンタルピー、エントロピーを求めているが、ここでは液体金属カリウムのエンタルピー、エントロピーから始めて、飽和蒸気のエンタルピー、エントロピーを求めることとする。

一般に、液体と気体のエンタルピー、エントロピーの間には次式のような関係がある。

$$h_g = h_l + \Delta h \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$s_g = s_l + \Delta s \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\Delta s = \Delta h / T_K \quad \dots\dots\dots (23)$$

ただし、 Δh 、 Δs は蒸発に伴うエンタルピー、エントロピー変化である。

金属カリウムの蒸発潜熱については、文献にそれぞれのデータや近似式が示されている⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。データの温度範囲も 200°C から 1,100°C までそろっているが、Evans 氏⁽¹¹⁾および JANAF⁽¹²⁾のデータは他のデータからの偏差が大きく、近似式作成データより除いた。

このようにして、約 120 点の近似式作成データについて最小自乗近似を行ない、金属カリウムの蒸発潜熱について次式に示される近似式を得た。

$$\begin{aligned} \Delta h = & 2261.2 - 9.4496 \times 10^{-2} \cdot T_K \\ & - 1.9407 \times 10^{-4} \cdot T_K^2 \\ & - 8.1799 \times 10^{-9} \cdot T_K^3 \quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

図 11 に、この近似式と各データとを比較して示す。Evans 氏のデータに対する近似式の偏差は 700°C に

図 11 金属カリウムの蒸発潜熱

Fig. 11. Vaporization enthalpy of potassium.

図 12 金属カリウムの蒸発に伴うエントロピー変化

Fig. 12. Vaporization entropy of potassium.

おいて +5% と大きい。しかし、これを除けば各データに対する近似式の偏差は ±3% 未満であり、近似式として使用できると考えられる。

また蒸発に伴うエントロピー変化は、(24)式の蒸発潜熱を(23)式に代入することにより、次式のように求められる。

$$\begin{aligned} \Delta s = & 2261.2 / T_K - 9.4496 \times 10^{-2} \\ & - 1.9407 \times 10^{-4} \cdot T_K - 8.1799 \times 10^{-9} \cdot T_K^2 \\ & \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

金属カリウムの蒸発に伴うエントロピー変化については、文献にそれぞれのデータあるいは近似式が示されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁹⁾。

図 12 に、(25)式の近似式と各データとを比較して示す。各データに対する近似式の偏差は ±3% 未満であり、近似式として使用できると考えられる。

(4.5) 飽和カリウム蒸気のエンタルピー 飽和カリウムのエンタルピーは、(21)式により(5)式の液体のエンタルピーと(24)式の蒸発潜熱を加えることにより、次式のように求めることができる。

$$\begin{aligned} h_g = & 2236.4 + 0.85616 \cdot T_K \\ & - 4.3856 \times 10^{-4} \cdot T_K^2 + 9.6847 \\ & \times 10^{-8} \cdot T_K^3 \quad \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

飽和カリウム蒸気のエンタルピーについては、文献に、室温から 1,200°C までのデータあるいは近似式が示されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

図 13 に、(26)式の近似式と各データとを比較して示す。Weatherford 氏⁽⁴⁾および Evans 氏⁽¹¹⁾のデータは 600°C 以上の温度範囲で偏差が大きい。しかし、これを除けば各データに対する近似式の偏差は ±2% 未満であり、良い精度で近似できていると考えられる。

図 13 飽和カリウム蒸気のエンタルピー

Fig. 13. Enthalpy of saturated potassium vapor.

図 14 飽和カリウム蒸気のエントロピー

Fig. 14. Entropy of saturated potassium vapor.

〈4・6〉 飽和カリウム蒸気のエントロピー 飽和カリウム蒸気のエントロピーも、(22)式により(7)式の液体のエントロピーと(25)式の蒸発に伴うエントロピー変化を加えることにより、次式のように求めることができる。

$$s_g = 2261.2/T_K + 2.1890 \cdot \log_{10} T_K - 3.5688 \\ - 6.8306 \times 10^{-4} \cdot T_K + 1.4936 \times 10^{-7} \cdot T_K^2 \\ \dots\dots\dots(27)$$

飽和カリウム蒸気のエントロピーについては、文献に室温から1,200°Cまでのデータあるいは近似式が示されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁹⁾。

図14に、(27)式の近似式と各データとを比較して示す。データは400°C以上しかないが、近似式は良い一致がみられ、各データに対する近似式の偏差は±1%未満である。

5. あとがき

金属カリウムの熱力学的特性データを調査、収集し、

表 1 近似式の適用温度範囲および偏差

Table 1. Temperature range and deviation in applying the approximate equation.

相	種 類	近 似 式	適用温度範囲(°C)	偏差(%)
液相	密 度	(1)式	mp~1,000	±2
	定 圧 比 熱	(2)式	mp~1,000	±0.3
	エンタルピー	(5)式	mp~1,000	-0.2~+3.5
	エントロピー	(7)式	mp~1,000	±1
	粘 性 係 数	(8), (9)式	mp~1,000	±10
	熱 伝 導 率	(10)式	300~1,000	±3
気相	抵 抗 率	(11)式	200~1,000	±4
	飽 和 蒸 気 圧	(12)式	200~1,000	±10
	密 度	(20)式	200~1,000	±10
	蒸 発 潜 熱	(24)式	200~1,000	±3
	エントロピー変化	(25)式	200~1,000	±3
	エンタルピー	(26)式	200~1,000	±2
	エントロピー	(27)式	200~1,000	±1

カリウムランキンサイクル発電方式の概念設計を行なうために必要な熱力学的特性データの近似式を作成した。

これら近似式の適用温度範囲および偏差を表1にまとめて示す。近似式の適用温度範囲は、カリウムランキンサイクル発電方式の動作温度範囲を考慮して1,000°Cを上限とし、偏差は1,000°Cまでの温度範囲における近似式の最大偏差を示している。1,000°C以上の温度においても近似式を適用することは可能であるが、偏差は大きくなるので注意する必要がある。

液体の粘度は、100°Cから600°Cの温度範囲において値の大きいグループと値の小さいグループの二系統のデータがあるため近似式の偏差が大きく、精度ある実測データが望まれる。

飽和蒸気圧は温度と共に急激に上昇するため、特に低温および高温領域において精度ある測定は困難ではあるが、信頼性のある実測データが望まれる。

飽和カリウム蒸気の密度は、密度を求める際に偏差の大きい飽和蒸気圧の近似式を代入して計算しているためであり、飽和蒸気圧の近似精度を高める必要がある。しかしながら、これらの近似式はカリウムランキンサイクル発電方式の概念設計を行なううえで、低温から高温までの広い温度領域にわたって計算でき、実用上十分な精度を持っていると考えられる。

最後に、本研究において有益な御助言をいただいた当所エネルギーシステム部エネルギー貯蔵研究室長小沢丈夫博士に深く感謝いたします。

(昭和59年7月19日受付)

文 献

- (1) R.L. Graves: "Documentation of the Engineering Properties of Cesium and Potassium", ORNL-5344 (1977-11)

- (2) C. T. Ewing, et al.: "High Temperature Properties of Potassium", *J. Chem. Eng. Data*, **11**, 460 (1966-10)
- (3) 高速電磁液流に関する調査研究分科会: 高速電磁液流に関する調査研究分科会成果報告書 (昭 48-12) 日本機械学会
- (4) W. D. Weatherford, Jr., et al.: "Properties of Inorganic Energy-Conversion and Heat-Transfer Fluids for Space Applications", WADD TR 61-96 (1961-11)
- (5) 服部・山本: 「省エネルギー技術の開発 (高温ヒートパイプを中心として)」, 公害資源研究所第9回研究講演会 (予稿集) (昭 54-11) 工業技術院公害資源研究所
- (6) J. W. Beams, et al.: CRC Handbook of Chemistry and Physics (61st Ed.) (1980~1981) CRC Press
- (7) 日本金属学会編: 金属データブック (昭 49) 丸善
- (8) J. P. Stone, et al.: "High Temperature Specific Volumes of Liquid Sodium, Potassium, and Cesium", *J. Chem. Eng. Data*, **11**, 320 (1966-7)
- (9) 原: 化学熱力学線図 (昭 45) 化学工業社
- (10) 日本化学会編: 化学便覧 (基礎編) (昭 56) 丸善
- (11) W. H. Evans, et al.: "Thermodynamic Properties of the Alkali Metals", *J. Research NBS*, **55**, 83 (1955-8)
- (12) D. R. Stull, et al.: "JANAF Thermochemical Tables, (Second Ed.)", NSRDS-NBS 37 (1971)
- (13) T. B. Douglas, et al.: "Heat Capacity of Potassium and Three Potassium-Sodium Alloys between 0° and 800°, the Triple Point and Heat of Fusion of Potassium", *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 2472 (1952-5)
- (14) Y. S. Chiong, et al.: "Viscosity of Liquid Sodium and Potassium", *Proc. Roy. Soc. (London)*, **A 157**, A 891-2, 264 (1936)
- (15) C. T. Ewing, et al.: "Viscosity of the Sodium-Potassium System", *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 1168 (1951-3)
- (16) C. T. Ewing, et al.: "Viscosity of the Sodium-Potassium System", *J. Phys. Chem.*, **58**, 1086 (1954-12)
- (17) C. T. Ewing, et al.: "Thermal Conductivity of Liquid Sodium and Potassium", *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 11 (1952-1)
- (18) A. V. Grosse: "Electrical and Thermal Conductivity of Metallic Potassium, over its Entire Liquid Range, i.e., from the Melting Point (336.4 K) to the Critical Point (2,450 K)", *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **28**, 795 (1966)
- (19) R. W. Ditchburn, et al.: "The Vapor Pressures of Monatomic Vapors", *Rev. Modern Phys.*, **13**, 310 (1941-10)
- (20) M. M. Makansi, et al.: "Vapor Pressure of Potassium", *J. Phys. Chem.*, **60**, 128 (1956-2)
- (21) W. T. Hicks: "Evaluation of Vapor-Pressure Data for Mercury, Lithium, Sodium, and Potassium", *J. Chem. Phys.*, **38**, 1873 (1963-4)
- (22) J. P. Stone, et al.: "High Temperature PVT Properties of Sodium, Potassium, and Cesium", *J. Chem. Eng. Data*, **11**, 309 (1966-7)