

アンモニア/水混合媒体における輸送的性質の推算

池上 康之*¹, 有馬 博史*¹
江原 正浩*², 西村 聡*²

The Calculation of Transport Property on Ammonia/Water Mixtures

Yasuyuki IKEGAMI, Hiroshi ARIMA, Masahiro EHARA and Satoshi NISHIMURA
IOES, Saga Univ, 1 Honjoh-machi, Saga-shi, Saga

The cycle efficiency of Power Plant is improved by using the sliding temperature of non-azeotropic mixture during the evaporation and condensation. When non-azeotropic mixture are used as working fluid, it is necessary to calculate the thermodynamic properties and transport properties. In this paper, we made approximate equations of heat conduction coefficient, viscosity and surface tension on ammonia and water; calculate transport properties on ammonia/water mixtures.

Key Words Non-azeotropic mixture, Transport Property, Ammonia/Water, Heat conduction coefficient, Viscosity, Surface Tension

1. 緒言

非共沸混合媒体は、エネルギー変換システムにおける高効率化の一つの手段として期待されている。特に、相変化の際に温度が変化するという特性を生かして、発電サイクルの作動流体として用いると、高効率化することが期待されている。しかし、混合媒体を用いることで物質伝達などの影響から、熱交換器の伝熱性能の低下など問題点もある。その中で混合媒体の特性を生かし高効率をはかるにはその熱力学的性質及び輸送的性質を把握する必要がある。

本稿では、アンモニア/水の混合媒体における熱伝導率、粘性率等の輸送的性質を計算する関係式を整理し、その計算プログラムについて報告する。

2. 関係式

アンモニアの輸送性質は、文献Thermophysical Properties of Refrigerants⁽¹⁾の相関式を用いて計算を行った。水の輸送的性質には、国際補間式⁽²⁾を用いて計算を行った。アンモニア/水混合媒体の輸送的性質にはThe Properties of Gases and Liquids⁽³⁾の書籍所載の近似式により計算を行った。

2. 1. 飽和液熱伝導率

2. 1. 1. アンモニア飽和液の熱伝導率

アンモニア飽和液の熱伝導率は、NeedhamとZieblandの解析⁽⁴⁾から以下の式で与えられる。

$$\lambda_{NH3l} = 1.17130 - 1.307210 \cdot T \quad [W/(m \cdot K)] \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_{NH3l}[W/(mK)]$ はアンモニア飽和液熱伝導率、 $T[K]$ は温度である。適用範囲は245~360[K]以下である。

2. 1. 2. 水飽和液の熱伝導率

水飽和液の熱伝導率は、国際実用補間式(1998)⁽²⁾で近似され以下の式で表される。

$$\bar{\lambda}_{H2O} = \bar{\lambda}_0(\bar{T}) + \bar{\lambda}_1(\bar{\rho}) + \bar{\lambda}_2(\bar{T}, \bar{\rho}) \quad (2)$$

$$\bar{T} = T/T^*, \quad \bar{\rho} = \rho/\rho^*, \quad \bar{\lambda} = \lambda/\lambda^*$$

$$\bar{\lambda}_0(\bar{T}) = \sqrt{\bar{T}} \sum_{k=0}^3 a_k \bar{T}^k$$

*1 佐賀大学 海洋エネルギー研究センター
(〒840-8502 佐賀市本庄町1)

*2 佐賀大学 工学系研究科 機械システム工学専攻
()

$$\bar{\lambda}_1(\bar{\rho}) = b_0 + b_1 \bar{\rho} + b_2 \exp\{B_1(\bar{\rho} + B_2)^{-1}\}$$

$$\bar{\lambda}_2(\bar{T}, \bar{\rho}) = \left(\frac{d_1}{\bar{T}^{10}} + d_2 \right) \bar{\rho}^{0.5} \exp\{C_1(1 - \bar{\rho}^{14})\} + d_2 S \bar{\rho}^0$$

$$\times \exp\left\{ \left(\frac{Q}{1+Q} \right) (1 - \bar{\rho}^{1+Q}) + d_4 \exp\left(C_2 \bar{T}^{3/2} + \frac{C_3}{\bar{\rho}^5} \right) \right\}$$

$$\Delta \bar{T} = |\bar{T} - 1| + C_4 \quad Q = 2 + \frac{C_5}{\Delta \bar{T}^{3/5}}$$

$$S = \frac{1}{\Delta \bar{T}} \quad (\bar{T} \geq 1) \quad S = \frac{C_6}{\Delta \bar{T}^{3/5}} \quad (\bar{T} < 1)$$

$T^*=647.26 [K]$	$\rho^*=317.7 [kg \cdot m^{-3}]$	$\lambda^*=1 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$a_0=0.0102811$	$a_1=0.00299621$	$a_2=0.0156146$
$a_3=-0.00422464$		
$b_0=-0.397070$	$b_1=0.400302$	$b_2=1.060000$
$B_1=-0.171587$	$B_2=2.393190$	
$d_1=0.0701309$	$d_2=0.0118520$	$d_3=0.00169937$
$d_4=-1.0200$		
$C_1=0.642857$	$C_2=4.11717$	$C_3=-6.17937$
$C_4=0.00308976$	$C_5=0.822994$	$C_6=10.0932$

2. 1. 3. アンモニア/水混合媒体飽和液の熱伝導率

混合媒体の飽和液熱伝導率は、NEL(National Engineering Laboratory)の混合式⁽³⁾を用い以下の式で表される。

$$\frac{\lambda_{mixl} - \lambda_{NH3l}}{\lambda_{H2O} - \lambda_{NH3l}} = \alpha \cdot \omega_{H2O}^{3/2} + \omega_{H2O} (1.0 - \alpha) \quad (3)$$

ここで、 $\lambda_{H2O} > \lambda_{NH3l}$ であり、 $\lambda_{mixl}[W/(mK)]$ は液体混合物の熱伝導率、 $\omega_{H2O}[kg/kg]$ は水の質量分率、 $\alpha [-]$ は0.1~1.0強の定数である。アンモニア/水の飽和液での熱伝導率の推算には、第一成分にアンモニア、第二成分に水を用い α の値は1.0とした。

2. 2. 飽和蒸気熱伝導率

2. 2. 1. アンモニア飽和蒸気の熱伝導率

アンモニア飽和蒸気の熱伝導率は、Lileyの相関⁽¹⁾より以下の式で与えられる。

$$\lambda_{NH3v} = 1.731(a + b \cdot T + c \cdot T^2) \quad [W/(m \cdot K)] \quad (4)$$

ここで、 $\lambda_{NH3v}[W/(mK)]$ はアンモニア飽和蒸気熱伝導率、 $T[K]$ は温度、その他係数は下記表の通りである。

Range(K)	a	b	c
244~322	$1.15774 \cdot 10^{-2}$	$2.94643 \cdot 10^{-5}$	$3.42262 \cdot 10^{-7}$

322~388	1.82143*10 ⁻²	-8.39286*10 ⁻⁵	8.03571*10 ⁻⁷
388~405	2.34340	-1.91800*10 ⁻⁵	4.00000*10 ⁻⁵

2. 2. 2. 水飽和蒸気の熱伝導率

水飽和蒸気の熱伝導率は、2.1.2.で用いた国際実用補間式(1998)⁽²⁾と同じものを使用する。

2. 2. 3. アンモニア/水混合媒体飽和蒸気の熱伝導率

混合媒体の飽和蒸気熱伝導率の推算には、Wassilijewaの経験式⁽³⁾を用いて計算した。

$$\lambda_{mixv} = \sum_{i=1}^2 \frac{y_i \lambda_i}{\sum_{j=1}^2 y_j A_j} \quad [W/mK] \quad (5)$$

ここで、 $\lambda_{mixv}[W/(mK)]$ は気体混合物の熱伝導率、 $y_i, y_j[mol/mol]$ は成分i及びjにおけるモル分率、 $\lambda [W/(mK)]$ は純成分における熱伝導率である。

また A_{ij} は、以下のLindsay-Bromieyによる修正式を用いた。

$$A_{ij} = \frac{\left\{ 1.0 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{RMW_j}{RMW_i} \right)^{1/4} \right\}^2}{\left\{ 8.0 \left(1.0 + \frac{RMW_i}{RMW_j} \right) \right\}^{1/2}}$$

ここで、 μ_i, μ_j は純成分i, jにおける粘性係数、 RMW_i, RMW_j は純成分i, jにおける分子量、 A_{ij} については上式のiとjの添え字を交換すれば得られる。アンモニア/水の飽和蒸気での熱伝導率の推算には、第一成分にアンモニア、第二成分に水を用いた。

2. 3. 飽和液粘性係数

2. 3. 1. アンモニア飽和液の粘性係数

アンモニア飽和液の粘性係数は、以下の式⁽¹⁾で近似される。

$$\mu_{NH3l} = \exp\left(-7.97320 + \frac{2641.41}{T} + \frac{243288}{T^2}\right) \quad [10^{-3} Pa \cdot s] \quad (6)$$

ここで、 $\mu_{NH3l}[Pa \cdot s]$ はアンモニア飽和液の粘性係数、 $T[K]$ は温度である。適用範囲は240~390[K]である。

2. 3. 2. 水飽和液の粘性係数

水飽和液の粘性率は、つぎの国際補間式(1997)⁽²⁾によって与えられ以下の式で表される。

$$\bar{\mu}_{H2O} = \bar{\mu}_0(\bar{T}) \cdot \bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho}) \cdot \bar{\mu}_2(\bar{T}, \bar{\rho}) \quad (7)$$

$$\bar{T} = T/T^*, \quad \bar{\rho} = \rho/\rho^*, \quad \bar{\mu} = \mu/\mu^*$$

$$\bar{\mu}_0(\bar{T}) = \frac{\sqrt{\bar{T}}}{\sum_{i=0}^3 H_i / \bar{T}^i}$$

$$\bar{\mu}_1(\bar{T}, \bar{\rho}) = \exp\left[\bar{\rho} \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^6 H_{ij} \left(\frac{1}{\bar{T}} - 1 \right)^i (\bar{\rho} - 1)^j \right]$$

$$\bar{\mu}_2 = 1$$

T*=647.226 [K]	$\rho^*=317.763$ [kg·m ⁻³]	$\mu^*=55.071$ [μPa·s]
H ₀ =1.000000	H ₁ =0.978197	H ₃ =0.579829
H ₃ =-0.202354		

i	j	H _{ij}
0	0	0.5132047
1	0	0.3205656
4	0	-0.7782567
5	0	0.1885447
0	1	0.2151778
1	1	0.7317883
2	1	1.241044
3	1	1.476783
0	2	-0.2818107

i	j	H _{ij}
1	2	-1.070786
2	2	-1.263184
0	3	0.1778064
1	3	0.4605040
2	3	0.2340379
3	3	-0.4924179
0	4	-0.04176610
3	4	0.1600435
1	5	-0.01578386
3	6	-0.003629481

2. 3. 3. アンモニア/水混合媒体飽和液の粘性係数

混合媒体の飽和液粘性係数は「熱物性ハンドブック」⁽⁴⁾の値を用いて近似式を導出した。

$$\mu_{mixl} = \frac{a + b \cdot T + c \cdot \omega_{NH3} + d \cdot \omega_{NH3}^2 + e \cdot \omega_{NH3}^3}{1.0 + f \cdot T + g \cdot \omega_{NH3} + h \cdot \omega_{NH3}^2 + i \cdot \omega_{NH3}^3} \quad [10^{-4} Pa \cdot s] \quad (8)$$

ここで、 $\mu_{mixl}[Pa \cdot s]$ は混合媒体の飽和液粘性係数、 $T[K]$ は温度、 $\omega_{NH3}[kg/kg]$ はアンモニアの質量分率、その他係数は下記表の通りである。

a=16.181889	b=-0.056579317	c=5.2290876
d=-34.693975	e=23.855997	f=0.026717354
g=-1.3098073	h=-3.093013	i=9.019727

2. 4. 飽和蒸気粘性係数

2. 4. 1. アンモニア飽和蒸気の粘性係数

アンモニア飽和蒸気の粘性係数は、Jossiらの相関方程式⁽¹⁾を用い以下の式で表される。

$$\mu_{NH3v} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3 \quad [10^{-3} Pa \cdot s] \quad (9)$$

ここで、 $\mu_{NH3v}[Pa \cdot s]$ はアンモニア飽和蒸気の粘性係数、 $T[K]$ は温度、その他係数は下記表の通りである。

Range(K)	240-350	350-390
a	-5.34835*10 ⁻³	-0.80640
b	1.14180*10 ⁻⁴	6.87245*10 ⁻³
c	-3.35825*10 ⁻⁷	-1.93571*10 ⁻⁵
d	4.72675*10 ⁻¹	1.83333*10 ⁻⁸

2. 4. 2. 水飽和蒸気の粘性係数

水飽和蒸気の粘性係数は、2.3.2.で用いた国際実用補間式(1997)⁽²⁾と同じものを使用する。

2. 4. 3. アンモニア/水混合媒体飽和蒸気の粘性係数

混合媒体の飽和蒸気粘性係数は、Wilkeの方法を用いて次の近似式⁽³⁾により推算を行った。

$$\mu_{mixv} = \frac{(y_{NH3} \cdot \mu_{NH3v})}{(y_{NH3} + y_{H2O} \cdot \phi_{NH3,H2O})} + \frac{(y_{H2O} \cdot \mu_{H2Ov})}{(y_{NH3} \cdot \phi_{H2O,NH3} + y_{H2O})} \quad (10)$$

ここで、 $\mu_{mixv}[Pa \cdot s]$ は混合媒体の飽和蒸気粘性係数、 $y_{NH3}, y_{H2O}[mol/mol]$ はモル分率、 $\phi_{NH3,H2O}$ は次式で表される。

$$\phi_{NH3,H2O} = \frac{\left\{ 1.0 + \left(\frac{\mu_{NH3v}}{\mu_{H2Ov}} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{RMW_{H2Ov}}{RMW_{NH3v}} \right)^{1/4} \right\}^2}{\left\{ 8.0 \cdot \left(1.0 + \frac{RMW_{NH3v}}{RMW_{H2Ov}} \right) \right\}^{1/2}}$$

ここで、 RMW_{NH3}, RMW_{H2O} :アンモニア、水の分子量である。 $\phi_{NH3,H2O}$ は添え字を変換して算出する。

2. 5. 表面張力

2. 5. 1. アンモニアの表面張力

アンモニアの表面張力は、Othmerの関係⁽⁵⁾から以下の式が与えられる。

$$\sigma_{NH_3} = \sigma_1 \left\{ \frac{T_c - T}{T_c - T_1} \right\}^n \quad [N/m] \quad (11)$$

ここで、 $\sigma_{NH_3}[N/m]$ はアンモニアの表面張力、 $T[K]$ 温度、 σ_1 、 n 、 T_c 、 T_1 は定数で、 $\sigma_1=0.003667[N/m]$ 、 $n=1.1548$ 、 $T_c=132.4[^\circ C]$ 、 $T_1=-45.0[^\circ C]$ を与える。適用範囲は $-77.74 \sim 126.85[^\circ C]$ である。

2. 5. 2. 水の表面張力

水の表面張力は、つぎの国際補間式(1994)⁽²⁾によって与えられ以下の式で表される。

$$\sigma_{H_2O} = B \cdot \tau^\mu (1 + b \cdot \tau) \quad [N/m] \quad (12)$$

ここで、 $\sigma_{H_2O}[N/m]$ は水の表面張力、 B 、 b 、 μ 、は定数で、 $B=235.8[mN/m]$ 、 $b=-0.625$ 、 $\mu=1.256$ を与える。

また、 τ は次式で与えられ、 $T[K]$ は温度、 T_c は定数で、 $T_c=647.096[K]$ を与える。

$$\tau = 1 - \frac{T}{T_c}$$

有効範囲は $273.16 \sim 647.096[K]$ である。

2. 5. 3. アンモニア/水混合媒体の表面張力

混合媒体の表面張力の推算には、Tamura、KurataおよびOdaniの方法⁽⁶⁾を用いた。混合媒体の表面張力は、以下の式で推算される。

$$\sigma_{mix}^{1/4} = \phi_w^\sigma \cdot \sigma_w^{1/4} + \phi_o^\sigma \cdot \sigma_o^{1/4} \quad (13)$$

添え字 W と O は、水及び有機物を表す。

ここで、 σ_w 、 σ_o は純水及び純粋の有機物の表面張力、 ϕ_w^σ は表面相中の水の表面容積分率で次式で与えられる。

$$\phi_w^\sigma = \frac{x_w^\sigma V_w}{V^\sigma}$$

ここで、 x_w 、 x_o は本体相中の水及び有機物のモル分率、 V_w 、 V_o :純水及び純粋の有機物の分子容量である。また、 ϕ_o^σ についても同様である。

3. 推算結果

関係式を用いて推算したアンモニア/水混合物の輸送的性質の結果について、それぞれ以下の図のような結果が得られた。

3. 1. 飽和液の熱伝導率

図1に式(3)を用いたアンモニア/水混合媒体飽和液の熱伝導率の推算結果を示す。

3. 2. 飽和蒸気の熱伝導率

図2に式(5)を用いたアンモニア/水混合媒体飽和蒸気の熱伝導率の推算結果を示す。

3. 3. 飽和液の粘性係数

図3に式(8)を用いたアンモニア/水混合媒体飽和液の粘性係数の推算結果を示す。

図中の点は、「熱物性ハンドブック」⁽⁴⁾での値となっており、近似式の精度がよいことが確認できる。

3. 4. 飽和蒸気の粘性係数

図4に式(10)を用いたアンモニア/水混合媒体飽和蒸気の粘性係数の推算結果を示す。

3. 5. 表面張力

図5に式(13)を用いたアンモニア/水混合媒体の表面張力の推算結果を示す。

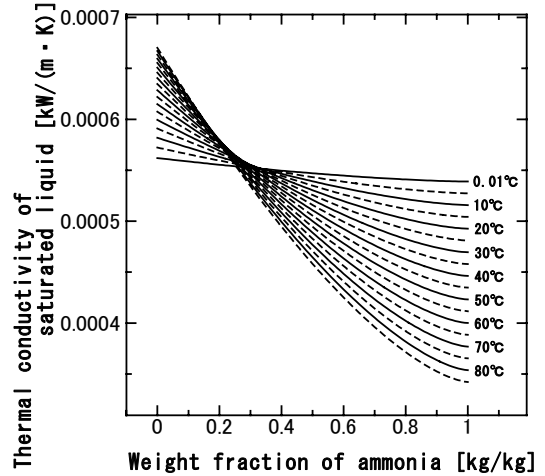


Fig.1 Calculated result of heat conduction coefficient of binary saturation liquid (ammonia/water)

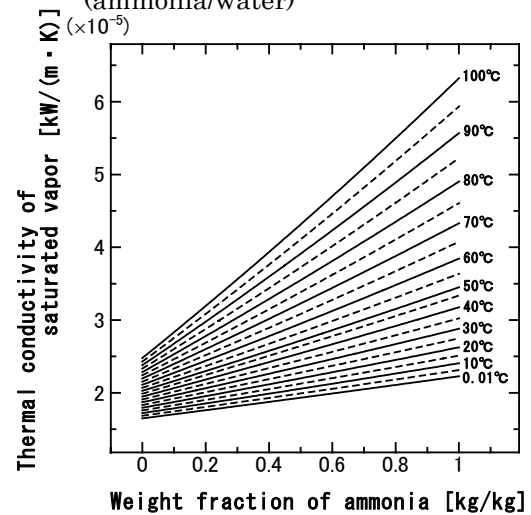


Fig.2 Calculated result of heat conduction coefficient of binary saturation vapor (ammonia/water)

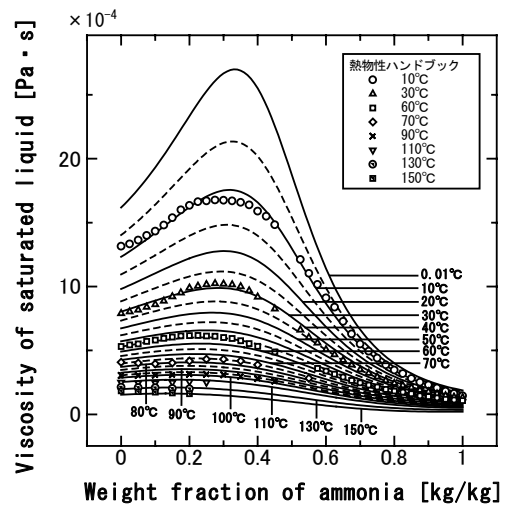


Fig.3 Calculated result of viscosity of binary saturation liquid (ammonia/water).

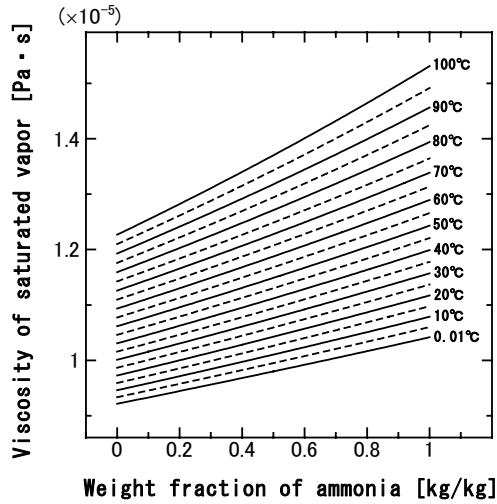


Fig.4 Calculated result of viscosity of binary saturation vapor (ammonia/water).

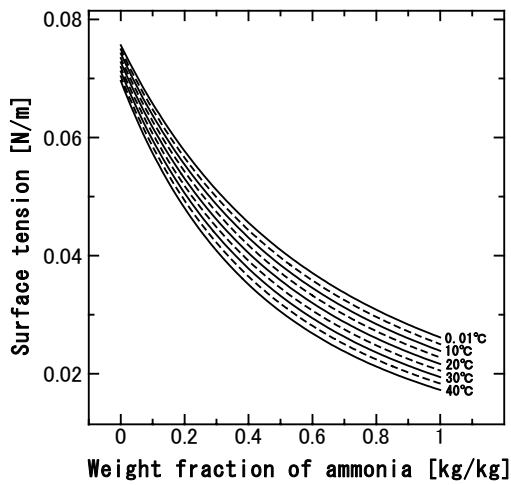


Fig.5 Calculated result of Surface Tension (ammonia/water).

4. 結言

温度範囲 280~350[K]における、アンモニア、水およびアンモニア/水混合媒体の輸送的性質の推算式を検討し、実際に推算を行った。

それにより、飽和状態における熱伝導率、粘性係数および表面張力の値を推算することができた。

引用文献

- (1)ASHRAE,Thermophysical Properties of Refrigerants, New York (1976) 145,146.
- (2)JSME,STEAM TABLES 1999
- (3)Robert C.Reid,Thomas K.Sherwood,The Properties of Gases and Liquids:their estimation and correlation
- (4)熱物性ハンドブック,日本熱物性学会編
- (5)Wilke,C.R.,J.Chem.Phys.,18:517(1950)
- (6)Tamura,M,M.Kurata,and.Odani,Bull.Chem.Soc.Jpn.,28:83(1955)

サブルーチンの利用

- 利用者が直接CALLするサブルーチン

サブルーチン名	機能
LAMLMX	温度と質量分率を与えて混合物の飽和液熱伝導率を求める。
LAMVMX	温度と質量分率を与えて混合物の飽和蒸気熱伝導率を求める。
MULMX	温度と質量分率を与えて混合物の飽和液粘性係数を求める。
MUVMX	温度と質量分率を与えて混合物の飽和蒸気粘性係数を求める。
SIGMAMX	温度と質量分率を与えて表面張力を求める。
ARAMDAL	温度を与えてアンモニアの飽和液熱伝導率を求める。
ARAMDAV	温度を与えてアンモニアの飽和蒸気熱伝導率を求める。
AMIUL	温度を与えてアンモニアの飽和液粘性係数を求める。
AMIUV	温度を与えてアンモニアの飽和蒸気粘性係数を求める。
ASIGMA	温度を与えてアンモニアの表面張力を求める。
WRAMDAL	温度を与えて水の飽和液熱伝導率を求める。
WRAMDAV	温度を与えて水の飽和蒸気熱伝導率を求める。
WMIUL	温度を与えて水の飽和液粘性係数を求める。
WMIUV	温度を与えて水の飽和蒸気粘性係数を求める。
WSIGMA	温度を与えて水の表面張力を求める。

- サブルーチンの使用法

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. LAMLMX (<u>T</u> , <u>WL</u> , LAMLL) | 11. WRAMDAL (<u>T</u> , WRAML) |
| 2. LAMVMX (<u>T</u> , <u>WV</u> , LAMVV) | 12. WRAMDAV (<u>T</u> , WRAMV) |
| 3. MULMX (<u>T</u> , <u>WL</u> , SMIUL) | 13. WMIUL (<u>T</u> , WMYUL) |
| 4. MUVMX (<u>T</u> , <u>WV</u> , BMIUV) | 14. WMIUV (<u>T</u> , WMYUV) |
| 5. SIGMAMX (<u>T</u> , <u>WL</u> , SIGML) | 15. WSIGMA (<u>T</u> , WSIG) |
| 6. ARAMDAL (<u>T</u> , ARAML) | |
| 7. ARAMDAV (<u>T</u> , ARAMV) | |
| 8. AMIUL (<u>T</u> , AMYUL) | |
| 9. AMIUV (<u>T</u> , AMYUV) | |
| 10. ASIGMA (<u>T</u> , ASIG) | |

※ここで、アンダーラインは与える変数、その他は結果を示す。

- 引数の内容および単位

変数	内容	単位
T	温度	K
WL(2)	液相の質量分率	Kg/kg
WV(2)	気相の質量分率	Kg/kg
LAMLL	混合液の飽和液熱伝導率	kW/mK
LAMVV	混合液の飽和蒸気熱伝導率	kW/mK
SMIUL	混合液の飽和液粘性係数	Pa・s
BMIUV	混合液の飽和蒸気粘性係数	Pa・s
SIGML	混合液の表面張力	N/m
ARAML	アンモニアの飽和液熱伝導率	kW/mK
ARAMV	アンモニアの飽和蒸気熱伝導率	kW/mK
AMYUL	アンモニアの飽和液粘性係数	Pa・s
AMYUV	アンモニアの飽和蒸気粘性係数	Pa・s
ASIG	アンモニアの表面張力	N/m
WRAML	水の飽和液熱伝導率	kW/mK
WRAMV	水の飽和蒸気熱伝導率	kW/mK
WMYUL	水の飽和液粘性係数	Pa・s
WMYUV	水の飽和蒸気粘性係数	Pa・s
WSIG	水の表面張力	N/m

※その他の注意事項

- これらサブルーチンとともに PROPATH を用いること。
- 温度範囲別に係数を定めている計算式ではその範囲が変わるとき、算出される値が不連続となる。そのため、計算はそれぞれ OTEC の計算で必要な一つの範囲でのみ計算ができるようになっている。
- 水の物性値計算サブルーチンにおいて、0°Cでの計算はできない。

```

-----
C          TRANSMIX2002
C          アンモニア・水混合物
C          熱伝導率、粘性係数、表面張力、計算プログラム
C          === OTEC 用 ===
-----
C          SUBROUTINE LAMLMX(T,WL,LAMLL)
C*****
C          HEAT CONDUCTION COEFFICIENT OF BINARY SATURATION LIQUID
C          INPUT
C          T : TEMPERATURE ( K )
C          WL(2) : WEIGHT FRACTION
C          OUTPUT
C          LAMLL : HEAT CONDUCTION COEFFICIENT ( kW/m K )
C*****
!-----
!          NEL(National Engineering Laboratory) の式
!
!          alpha :混合物によって決まる定数(ここでは 1.0 とする)
!-----
          IMPLICIT REAL (A-H,L-M,O-Z)
          COMMON/CONST1/RMW(2),PC(2),TC(2),VVC(2),W(2)
          DIMENSION WL(2),LAM(2)

          ALPHA=1.0
          CALL ARAMDAL(T,ARAML)
          CALL WRAMDAL(T,WRAML)
          LAM(1)=ARAML
          LAM(2)=WRAML
          W1=WL(1)
          W2=1.0-WL(1)
          LAMLL=LAM(1)+(ALPHA*W2**((3.0/2.0)+W2*(1-ALPHA)))*(LAM(2)-
+ LAM(1))
          RETURN
          END

          SUBROUTINE LAMVMX(T,WV,LAMVV)
C*****
C          HEAT CONDUCTION COEFFICIENT OF BINARY SATURATION VAPOR
C          INPUT
C          T : TEMPERATURE ( K )
C          WV(2) : WEIGHT FRACTION ( - )
C          OUTPUT
C          LAMVV : HEAT CONDUCTION COEFFICIENT ( kW/m K )
C*****
          IMPLICIT REAL (A-H,L-M,O-Z)
          COMMON/CONST1/RMW(2),PC(2),TC(2),VVC(2),W(2)
          DIMENSION WL(2)

          TT=T
          TT=TT-273.15
          AA=16.181889
          DIMENSION WV(2),YV(2),LAM(2),MUV(2),TB(2),PHAY(2,2)

          CALL ARAMDAL(T,ARAMV)
          CALL WRAMDAL(T,WRAMV)
          LAM(1)=ARAMV
          LAM(2)=WRAMV

          CALL AMIUV(T,AMYUV)
          CALL WMIUV(T,WMYUV)
          MUV(1)=AMYUV
          MUV(2)=WMYUV
          TB(1)=239.8
          S1=1.5*TB(1)
          TB(2)=373.15
          S2=1.5*TB(2)
          S12=0.73*(S1*S2)**0.5
          A11=1.
          A22=1.

          DO 11 I=1,2
          DO 12 J=1,2
          PHAY(I,J)=((1.+(MUV(I)/MUV(J))*0.5*(RMW(J)/RMW(I))*0.25)**2.)
+ /((8.*(1+RMW(I)/RMW(J)))**0.5)
          12 CONTINUE
          11 CONTINUE
          A12=PHAY(1,2)
          A21=PHAY(2,1)
          YV(1)=(WV(1)/RMW(1))/((WV(1)/RMW(1))+(WV(2)/RMW(2)))
          YV(2)=1.0-YV(1)
          LAMVV=YV(1)*LAM(1)/(YV(1)*A11+YV(2)*A12)+
+ YV(2)*LAM(2)/(YV(1)*A21+YV(2)*A22)
          RETURN
          END

          SUBROUTINE MULMX(T,WL,SMIUL)
C*****
C          VISCOSITY OF BINARY SATURATION LIQUID
C          INPUT
C          T : TEMPERATURE [K]
C          WL(2) : WEIGHT FRACTION
C          OUTPUT
C          SMIUL : VISCOSITY [PA S]
C*****
          IMPLICIT REAL (A-H,L-M,O-Z)
          COMMON/CONST1/RMW(2),PC(2),TC(2),VVC(2),W(2)
          DIMENSION WL(2)

          TT=T
          TT=TT-273.15
          AA=16.181889

```

```

AB=-0.056579317
AC=5.2290876
AD=-34.693975
AE=23.855997
AF=0.026717354
AG=-1.3098073
AH=-3.093013
AI=9.019727
SMIUL1=AA+AB*TT+AC*WL(1)+AD*(WL(1)**2.0)+AE*(WL(1)**3.0)
SMIUL2=1.0+AF*TT+AG*WL(1)+AH*(WL(1)**2.0)+AI*(WL(1)**3.0)
SMIUL=SMIUL1/SMIUL2
SMIUL=SMIUL*1.0E-04
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MUVMX(T,WV,BMIUV)
C*****
C  VISCOSITY OF BINARY SATURATION VAPOR
C
C  INPUT
C    T : TEMPERATURE [K]
C    WV(2) : WEIGHT FRACTION
C  OUTPUT
C    BMIUV : VISCOSITY [PA S]

```

C*****

```

IMPLICIT REAL (A-H,O-Z)
REAL MUV(2)
COMMON/CONST1/RMW(2),PC(2),TC(2),VVC(2),W(2)
DIMENSION WV(2),YV(2),PHAY(2,2)

WV(2)=1.0-WV(1)
YV(1)=(WV(1)/RMW(1))/((WV(1)/RMW(1))+(WV(2)/RMW(2)))
YV(2)=1.0-YV(1)

CALL AMIUV(T,AMYUV)
CALL WMIUV(T,WMYUV)
MUV(1)=AMYUV
MUV(2)=WMYUV

```

C*****

```

C  WILKE の近似解
C*****

```

```

DO 21 I=1,2
DO 22 J=1,2
PHAY(I,J)=(1.+(MUV(I)/MUV(J))**0.5*(RMW(J)/RMW(I))**0.25)**2.)
+          /((8.*(1+RMW(I)/RMW(J))**0.5)
22 CONTINUE
21 CONTINUE

```

```

BMIU1=(YV(1)*MUV(1))/(YV(1)+YV(2)*PHAY(1,2))
BMIU2=(YV(2)*MUV(2))/(YV(1)*PHAY(2,1)+YV(2))

```

```

BMIUV=BMIU1+BMIU2
RETURN
END

SUBROUTINE SIGMAMX(T,WL,SIGML)
C*****
C  SURFACE TANTION OF BINARY LIQUID
C
C  INPUT
C    T : TEMPERATURE [K]
C    WV(2) : WEIGHT FRACTION
C  OUTPUT
C    SIGML : SURFACE TANTION [N/m]
C*****

```

```

IMPLICIT REAL (A-H,L-M,O-Z)
COMMON/CONST1/RMW(2),PC(2),TC(2),VVC(2),W(2)
DIMENSION WL(2),YL(2),ROL(2),SIG(2),PSAI(2)

CALL ASIGMA(T,ASIG)
CALL WSIGMA(T,WSIG)
SIG(1)=ASIG
SIG(2)=WSIG
Z=1.0

```

!-----PROPATH において質量分率は[mol]ではなく[kg]で計算すること-----

```

CALL SUBPB(J,T,P,Z,VNH,H,S)
IF(J.NE.0)THEN
WRITE(*,*)'ERR SIGMIX 表面張力は 0.0 で出力します'
PAUSE
SIGML=0.0
GO TO 999
END IF
ROL(1)=1.0/VNH
CALL WRHOL(T,RHOL)
ROL(2)=RHOL
YL(1)=(WL(1)/RMW(1))/((WL(1)/RMW(1))+(WL(2)/RMW(2)))
YL(2)=1.0-YL(1)
E1=(YL(1)*RMW(1))/ROL(1)
E2=(YL(2)*RMW(2))/ROL(2)
PSAI(1)=E1/(E1+E2)
PSAI(2)=E2/(E1+E2)
Q31=SIG(1)**(1.0/4.0)*PSAI(1)
Q32=SIG(2)**(1.0/4.0)*PSAI(2)
SIGML=(Q31+Q32)**4.0

```

```

999 CONTINUE
RETURN
END

```


NH3

B=1.14180*1.0E-04

C*****

C=-3.35825*1.0E-07

C アンモニア飽和液 粘性係数 計算プログラム

D=4.72675*1.0E-10

C 計算範囲:-28°C~106.85°Cまで

END IF

C 入力

C---- 計算範囲 350~390[K]

C T: 温度[K]

IF(T.GT.350.0)THEN

C 出力

A=-0.80640

C AMYUL: 粘性係数[Pa*s]

B=6.87245*1.0E-03

C*****

C=-1.93571*1.0E-05

SUBROUTINE AMIUL(T,AMYUL)

D=1.83333*1.0E-08

IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

PAUSE

IF(T.LT.245.15.OR.T.GT.380.0)THEN

END IF

WRITE(*,*) 計算領域エラー AMIUL'

AMYUV=A+B*T+C*(T**2)+D*(T**3) ![10**-3. Nsm**-2.]

WRITE(*,*) '値は 0 で出力されます'

AMYUV=AMYUV*1.0E-03 ![Pa*s]

AMYUL=0.

999 CONTINUE

PAUSE

RETURN

GO TO 999

END

END IF

AMYUL=EXP(-7.97320+(2614.41/T)+(-243288./(T**2.)))

C*****

+ ![10**-3. Nsm**-2.]

C アンモニア飽和液 熱伝導率 計算プログラム

AMYUL=AMYUL*1.0E-03 ![Pa*s]

C 計算範囲:-28°C~86.85°Cまで

999 CONTINUE

C 入力

RETURN

C T: 温度[K]

END

C 出力

C ARAML: 熱伝導率[kW/mK]

C*****

C*****

C アンモニア飽和蒸気 粘性係数 計算プログラム

SUBROUTINE ARAMDAL(T,ARAML)

C 入力

IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

C T: 温度[K]

IF(T.LT.245.15.OR.T.GT.360.0)THEN

C 出力

WRITE(*,*) 計算領域エラー ARAMDAL'

C AMYUV: 粘性係数[Pa*s]

WRITE(*,*) '値は 0 で出力されます'

C

ARAML=0.

C 注意: 計算範囲 240~390[K]

PAUSE

C*****

GO TO 999

SUBROUTINE AMIUV(T,AMYUV)

END IF

IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

ARAML=1.17130-0.002315*T ![W/mK]

IF(T.LT.240.0.OR.T.GT.390.0)THEN

ARAML=ARAML/1000.0 ![kW/mK]

WRITE(*,*) 計算領域エラー AMIUV'

999 CONTINUE

WRITE(*,*) '値は 0 で出力されます'

RETURN

AMYUV=0.

END

PAUSE

GO TO 999

C*****

END IF

C---- 計算範囲 240~350[K]

C アンモニア飽和蒸気 熱伝導率 計算プログラム

C 入力

IF(T.LE.350.0)THEN

C T: 温度[K]

A=-5.34835*1.0E-03

C 出力

C ARAMV: 熱伝導率[kW/mK]

C---- 換算定数 ----

TA=1.0 ![K]

PA=1.0 ![MPa]

C-----

AN(1)=0.11670521452767*1.0E+04

AN(2)=-0.72421316703206*1.0E+06

AN(3)=-0.17073846940092*1.0E+02

AN(4)=0.12020824702470*1.0E+05

AN(5)=-0.32325550322333*1.0E+07

AN(6)=0.14915108613530*1.0E+02

AN(7)=-0.48232657361591*1.0E+04

AN(8)=0.40511340542057*1.0E+06

AN(9)=-0.2385557567849

AN(10)=0.65017534844798*1.0E+03

C-----

C---- 温度関数 G ----

G=(T/TA)+AN(9)/((T/TA)-AN(10))

A=G*G+AN(1)*G+AN(2)

B=AN(3)*G*G+AN(4)*G+AN(5)

C=AN(6)*G*G+AN(7)*G+AN(8)

P=((2.*C/(-1.*B+(B*B-4.*A*C)**0.5))**4.0)*PA

999 CONTINUE

RETURN

END

C*****

C 水の飽和液密度を求めるプログラム

C 入力

C T: 飽和液温度[K]

C 出力

C RHOL: 飽和液密度[kg/m³]

C 実用国際状態方程式 IF97 使用

C*****

SUBROUTINE WRHOL(T,RHOL)

IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

DIMENSION AI(34),AJ(34),AN(34),GPP(34)

DATA AI(1),AJ(1),AN(1)/0.,-2.,0.14632971213167/

DATA AI(2),AJ(2),AN(2)/0.,-1.,-0.84548187169114/

DATA AI(3),AJ(3),AN(3)/0.,0.,-0.37563603672040E+01/

DATA AI(4),AJ(4),AN(4)/0.,1.,0.33855169168385E+01/

DATA AI(5),AJ(5),AN(5)/0.,2.,-0.95791963387872/

DATA AI(6),AJ(6),AN(6)/0.,3.,0.15772038513228/

DATA AI(7),AJ(7),AN(7)/0.,4.,-0.16616417199501E-01/

DATA AI(8),AJ(8),AN(8)/0.,5.,0.81214629983568E-03/

DATA AI(9),AJ(9),AN(9)/1.,-9.,0.28319080123804E-03/

DATA AI(10),AJ(10),AN(10)/1.,-7.,-0.60706301565874E-03/

DATA AI(11),AJ(11),AN(11)/1.,-1.,-0.18990068218419E-01/

DATA AI(12),AJ(12),AN(12)/1.,0.,-0.32529748770505E-01/

DATA AI(13),AJ(13),AN(13)/1.,1.,-0.21841717175414E-01/

DATA AI(14),AJ(14),AN(14)/1.,3.,-0.52838357969930E-04/

DATA AI(15),AJ(15),AN(15)/2.,-3.,-0.47184321073267E-03/

DATA AI(16),AJ(16),AN(16)/2.,0.,-0.30001780793026E-03/

DATA AI(17),AJ(17),AN(17)/2.,1.,0.47661393906987E-04/

DATA AI(18),AJ(18),AN(18)/2.,3.,-0.44141845330846E-05/

DATA AI(19),AJ(19),AN(19)/2.,17.,-0.72694996297594E-15/

DATA AI(20),AJ(20),AN(20)/3.,-4.,-0.31679644845054E-04/

DATA AI(21),AJ(21),AN(21)/3.,0.,-0.28270797985312E-05/

DATA AI(22),AJ(22),AN(22)/3.,6.,-0.85205128120103E-09/

DATA AI(23),AJ(23),AN(23)/4.,-5.,-0.22425281908000E-05/

DATA AI(24),AJ(24),AN(24)/4.,-2.,-0.65171222895601E-06/

DATA AI(25),AJ(25),AN(25)/4.,10.,-0.14341729937924E-12/

DATA AI(26),AJ(26),AN(26)/5.,-8.,-0.40516996860117E-06/

DATA AI(27),AJ(27),AN(27)/8.,-11.,-0.12734301741641E-08/

DATA AI(28),AJ(28),AN(28)/8.,-6.,-0.17424871230634E-09/

DATA AI(29),AJ(29),AN(29)/21.,-29.,-0.68762131295531E-18/

DATA AI(30),AJ(30),AN(30)/23.,-31.,0.14478307828521E-19/

DATA AI(31),AJ(31),AN(31)/29.,-38.,0.26335781662795E-22/

DATA AI(32),AJ(32),AN(32)/30.,-39.,-0.11947622640071E-22/

DATA AI(33),AJ(33),AN(33)/31.,-40.,0.18228094581404E-23/

DATA AI(34),AJ(34),AN(34)/32.,-41.,-0.93537087292458E-25/

C---- 定数 ----

R=0.461526 ![kJ/kgK]

C---- 換算定数 ----

TA=1386.0 ![K]

PA=16.53 ![MPa]

CALL WSATT(T,P)

PAI=P/PA

TAU=TA/T

C---- 無次元ギブス自由エネルギーの導関数 GP

I=1

A=7.1-PAI

B=TAU-1.222

GP=0.0

DO 100 I=1,34,1

GPP(I)=-1.*AN(I)*AI(I)*(A**AI(I)-1.0))*(B**AJ(I))

GP=GP+GPP(I)

100 CONTINUE

VL=PAI*GP*R*T/(P*1.0E+3)

RHOL=1./VL

RETURN

END

C*****

C 水の飽和蒸気密度を求めるプログラム

C

C 入力

C T: 飽和蒸気温度[K]

C 出力

```

C          RHOV: 飽和蒸気密度[kg/m^3]
C          実用国際状態方程式 IF97 使用
C*****
SUBROUTINE WRHOV(T,RHOV)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)
DIMENSION AI(43),AJ(43),AN(43),GPRR(43)

DATA AI(1),AJ(1),AN(1)/1.,0.,-0.17731742473213E-02/
DATA AI(2),AJ(2),AN(2)/1.,1.,-0.17834862292358E-01/
DATA AI(3),AJ(3),AN(3)/1.,2.,-0.45996013696365E-01/
DATA AI(4),AJ(4),AN(4)/1.,3.,-0.57581259083432E-01/
DATA AI(5),AJ(5),AN(5)/1.,6.,-0.50325278727930E-01/
DATA AI(6),AJ(6),AN(6)/2.,1.,-0.33032641670203E-04/
DATA AI(7),AJ(7),AN(7)/2.,2.,-0.18948987516315E-03/
DATA AI(8),AJ(8),AN(8)/2.,4.,-0.39392777243355E-02/
DATA AI(9),AJ(9),AN(9)/2.,7.,-0.43797295650573E-01/
DATA AI(10),AJ(10),AN(10)/2.,36.,-0.26674547914087E-04/
DATA AI(11),AJ(11),AN(11)/3.,0.,0.20481737692309E-07/
DATA AI(12),AJ(12),AN(12)/3.,1.,0.43870667284435E-06/
DATA AI(13),AJ(13),AN(13)/3.,3.,-0.32277677238570E-04/
DATA AI(14),AJ(14),AN(14)/3.,6.,-0.15033924542148E-02/
DATA AI(15),AJ(15),AN(15)/3.,35.,-0.40668253562649E-01/
DATA AI(16),AJ(16),AN(16)/4.,1.,-0.78847309559367E-09/
DATA AI(17),AJ(17),AN(17)/4.,2.,0.12790717852285E-07/
DATA AI(18),AJ(18),AN(18)/4.,3.,0.48225372718507E-06/
DATA AI(19),AJ(19),AN(19)/5.,7.,0.22922076337661E-05/
DATA AI(20),AJ(20),AN(20)/6.,3.,-0.16714766451061E-10/
DATA AI(21),AJ(21),AN(21)/6.,16.,-0.21171472321355E-02/
DATA AI(22),AJ(22),AN(22)/6.,35.,-0.23895741934104E+02/
DATA AI(23),AJ(23),AN(23)/7.,0.,-0.59059564324270E-17/
DATA AI(24),AJ(24),AN(24)/7.,11.,-0.12621808899101E-05/
DATA AI(25),AJ(25),AN(25)/7.,25.,-0.38946842435739E-01/
DATA AI(26),AJ(26),AN(26)/8.,8.,0.11256211360459E-10/
DATA AI(27),AJ(27),AN(27)/8.,36.,-0.82311340897998E+01/
DATA AI(28),AJ(28),AN(28)/9.,13.,0.19809712802088E-07/
DATA AI(29),AJ(29),AN(29)/10.,4.,0.10406965210174E-18/
DATA AI(30),AJ(30),AN(30)/10.,10.,-0.10234747095929E-12/
DATA AI(31),AJ(31),AN(31)/10.,14.,-0.10018179379511E-08/
DATA AI(32),AJ(32),AN(32)/16.,29.,-0.80882908646985E-10/
DATA AI(33),AJ(33),AN(33)/16.,50.,0.10693031879409/
DATA AI(34),AJ(34),AN(34)/18.,57.,-0.33662250574171/
DATA AI(35),AJ(35),AN(35)/20.,20.,0.89185845355421E-24/
DATA AI(36),AJ(36),AN(36)/20.,35.,0.30629316876232E-12/
DATA AI(37),AJ(37),AN(37)/20.,48.,-0.42002467698208E-05/
DATA AI(38),AJ(38),AN(38)/21.,21.,-0.59056029685639E-25/
DATA AI(39),AJ(39),AN(39)/22.,53.,0.37826947613457E-05/
DATA AI(40),AJ(40),AN(40)/23.,39.,-0.12768608934681E-14/
DATA AI(41),AJ(41),AN(41)/24.,26.,0.73087610595061E-28/
DATA AI(42),AJ(42),AN(42)/24.,40.,0.55414715350778E-16/
DATA AI(43),AJ(43),AN(43)/24.,58.,-0.94369707241210E-06/

```

```

C---- 定数 ----
R=0.461526    ![kJ/kgK]
C---- 換算定数 ----
TA=540.0      ![K]
PA=1.0        ![MPa]
CALL WSATT(T,P)
PAI=P/PA
TAU=TA/T
C---- 無次元ギブス自由エネルギーの導関数 GPZERO,GPR
C---- GPZERO=理想気体項 ,GPR=残余項
GPZERO=1.0/PAI+0.0
I=1
GPR=0.0
DO 100 I=1,43,1
  GPRR(I)=AN(I)*AI(I)*(PAI**(AI(I)-1.0))*((TAU-0.5)**AJ(I))
  GPR=GPR+GPRR(I)
100 CONTINUE
VV=PAI*(GPZERO+GPR)*R*T/(P*1.0E+3)
RHOV=1./VV
RETURN
END
C*****
C          水の表面張力を求めるプログラム
C          入力
C          T: 温度[K]
C          出力
C          WSIG: 表面張力[N/m]
C          国際補間式使用
C*****
SUBROUTINE WSIGMA(T,WSIG)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

IF(T.LT.273.16.OR.T.GT.373.15)THEN
WRITE(*,*)'計算領域エラー WSIGMA 出力値は 0 にします'
WSIG=0.0
PAUSE
GO TO 999
END IF

TC=647.096    ![K]
B=235.8       ![mN/m]
BD=-0.625
CMYUU=1.256
TAU=1.0-T/TC

WSIG=B*(TAU**CMYUU)*(1.0+BD*TAU)
WSIG=WSIG/1000.

999 CONTINUE

```

```

RETURN
END

HH(6,5)=0.0000000

HH(1,6)=0.00000000
HH(2,6)=-0.01578386
HH(3,6)=0.00000000
HH(4,6)=0.00000000
HH(5,6)=0.00000000
HH(6,6)=0.00000000

C*****
C      水の粘性係数を求めるプログラム
C      入力
C      T:温度[K]
C      RHO:密度[kg/m^3]
C      出力
C      AMYU:粘性係数[Pa*s]
C      国際補間式使用
C*****C

SUBROUTINE WMIU(T,AMYU,RHO)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)
REAL I,II,JJ
DIMENSION H(4),HH(6,7)

HH(1,1)=0.5132047
HH(2,1)=0.3205656
HH(3,1)=0.0000000
HH(4,1)=0.0000000
HH(5,1)=-0.7782567
HH(6,1)=0.1885447

HH(1,2)=0.2151778
HH(2,2)=0.7317883
HH(3,2)=1.241044
HH(4,2)=1.476783
HH(5,2)=0.000000
HH(6,2)=0.000000

HH(1,3)=-0.2818107
HH(2,3)=-1.070786
HH(3,3)=-1.263184
HH(4,3)=0.000000
HH(5,3)=0.000000
HH(6,3)=0.000000

HH(1,4)=0.1778064
HH(2,4)=0.4605040
HH(3,4)=0.2340379
HH(4,4)=-0.4924179
HH(5,4)=0.0000000
HH(6,4)=0.0000000

HH(1,5)=-0.04176610
HH(2,5)=0.00000000
HH(3,5)=0.00000000
HH(4,5)=0.1600435
HH(5,5)=0.00000000

H(1)=1.000000
H(2)=0.978197
H(3)=0.579829
H(4)=-0.202354

C---- 換算定数
TA=647.226      ![K]
RHOA=317.763   ![kg/m^3]
AMYUA=5.5071E-05 ![Pa*s]
TBA=T/TA
RHOBA=RHO/RHOA

C-----
I=1.
SIGMA3=0.0
DO 100 I=1,4,1.
SIGMA3=SIGMA3+H(I)/(TBA**(I-1.0))
100 CONTINUE
AMYUBA0=(TBA**0.5)/SIGMA3
II=1.
JJ=1.
SIGMA56=0.0
DO 200 II=1,6,1.
DO 300 JJ=1,7,1.
ABC=HH(II,JJ)*((1.0/TBA-1.0)**(II-1.0))*((RHOBA-1.0)**(JJ-1.0))
SIGMA56=SIGMA56+ABC
300 CONTINUE
200 CONTINUE
AMYUBA1=EXP(RHOBA*SIGMA56)
AMYUBA2=1.0
AMYU=AMYUA*(AMYUBA0*AMYUBA1*AMYUBA2)
RETURN
END

```

C*****

```

C          水の熱伝導率を求めるプログラム          IF(TBA.GE.1.0)THEN
C          入力          S=1.0/DELTATBA
C          T:温度[K]          END IF
C          RHO:密度[kg/m^3]
C          出力          IF(TBA.LT.1.0)THEN
C          RAMDA:熱伝導率[W/mK]          S=C6/(DELTATBA**(3./5.))
C          国際実用補間式使用          END IF

```

C*****

```

SUBROUTINE WRAMDA(T,RAMDA,RHO)          Q=2.0+(C5/(DELTATBA**(3./5.)))
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)          E1=(SD1/(TBA**10.)+SD2)*(RHOBA**(9./5.))
REAL K          E2=EXP(C1*(1.0-RHOBA**(14./5.)))
DIMENSION A(4)          E3=E1*E2
          E4=SD3*S*(RHOBA**Q)*EXP((Q/(1.0+Q))*(1.0-RHOBA**(1.0+Q)))
C----- 換算定数 -----          E5=SD4*EXP(C2*(TBA**(3./2.))+C3/(RHOBA**5.))
          TA=647.26      ![K]          RAMDABA2=E3+E4+E5
          RHOA=317.7    ![kg/m^3]          RAMDA=RAMDAA*(RAMDABA0+RAMDABA1+RAMDABA2)
          RAMDAA=1.0    ![W/mK]          RETURN
C-----          END

```

```

A(1)=0.0102811
A(2)=0.0299621
A(3)=0.0156146
A(4)=-0.00422464
SB0=-0.397070
SB1=0.400302
SB2=1.060000
B1=-0.171587
B2=2.392190

```

```

SD1=0.0701309
SD2=0.0118520
SD3=0.00169937
SD4=-1.0200
C1=0.642857
C2=-4.11717
C3=-6.17937
C4=0.00308976
C5=0.0822994
C6=10.0932

```

```

C-----
          TBA=T/TA
          RHOBA=RHO/RHOA
          K=1.
          SIGMA3=0.0
          DO 100 K=1.,4.,1.
          SIGMA3=SIGMA3+A(K)*(TBA**(K-1.0))
100 CONTINUE
          RAMDABA0=(TBA**0.5)*SIGMA3
          RAMDABA1=SB0+SB1*RHOBA+SB2*EXP(B1*((RHOBA+B2)**2.0))
          DELTATBA=ABS(TBA-1.0)+C4

```

C*****

```

C          水の飽和液粘性係数を求めるプログラム
C          入力
C          T:温度[K]
C          出力
C          WMYUL:粘性係数[Pa·s]
C          国際補間式使用

```

C*****C

```

SUBROUTINE WMIUL(T,WMYUL)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)
IF(T.LT.273.16.OR.T.GT.373.15)THEN
WRITE(*,*)'計算領域エラー WMIUL 出力値は 0 にします'
WMYUL=0.0
PAUSE
GO TO 999
END IF
CALL WRHOL(T,RHOL)
CALL WMIU(T,WMYUL,RHOL)
999 CONTINUE
RETURN
END

```

C*****

```

C          水の飽和蒸気粘性係数を求めるプログラム
C          入力
C          T:温度[K]
C          出力
C          WMYUV:粘性係数[Pa·s]

```

```

C          国際補間式使用
C*****
SUBROUTINE WMIUV(T,WMIUV)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

IF(T.LT.273.16.OR.T.GT.373.15)THEN
WRITE(*,*)'計算領域エラー WMIUV 出力値は 0 にします'
WMIUV=0.0
PAUSE
GO TO 999
END IF

CALL WRHOV(T,RHOV)
CALL WMIU(T,WMIUV,RHOV)
999 CONTINUE
RETURN
END

C*****
SUBROUTINE WRAMDAV(T,WRAMV)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

IF(T.LT.273.16.OR.T.GT.373.15)THEN
WRITE(*,*)'計算領域エラー WRAMDAV 出力値は 0 にします'
WRAMV=0.0
PAUSE
GO TO 999
END IF

CALL WRHOV(T,RHOV)
CALL WRAMDA(T,WRAMV,RHOV)
WRAMV=WRAMV/1000.0      ![kW/mK]
999 CONTINUE
RETURN
END
    
```

```

C*****
C          水の飽和液熱伝導率を求めるプログラム
C          入力
C          T: 温度[K]
C          出力
C          WRAML: 熱伝導率[kW/mK]
C          国際実用補間式使用
C*****
    
```

```

SUBROUTINE WRAMDAL(T,WRAML)
IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)

IF(T.LT.273.16.OR.T.GT.373.15)THEN
WRITE(*,*)'計算領域エラー WRAMDAL 出力値は 0 にします'
WRAML=0.0
PAUSE
GO TO 999
END IF

CALL WRHOL(T,RHOL)
CALL WRAMDA(T,WRAML,RHOL)
WRAML=WRAML/1000.0      ![kW/mK]
999 CONTINUE
RETURN
END
    
```

```

C*****
C          水の飽和蒸気熱伝導率を求めるプログラム
C          入力
C          T: 温度[K]
C          出力
C          WRAMV: 熱伝導率[kW/mK]
C          国際実用補間式使用
    
```