

## 「工学初学者のための熱力学入門」 補足資料

### 付録 A

液体および実在気体の状態量について、それぞれ A.1 節および A.2 節で述べている。ここでは、実在気体（液体を含む）としての水について、図 2.3 に示した圧力および温度とモル体積の関係の 3 次元状態図も含め、REFPROP によって圧力および温度と体積、内部エネルギー、エンタルピー、エントロピー、ヘルムホルツ自由エネルギー、およびギブズ自由エネルギーの関係を求め、それらを 3 次元状態図として示す。これによって、A.1 節および A.2 節に示した図の理解が深まるであろう。

図 S.1 は、実在気体（液体を含む）としての水について、体積に関する 3 次元状態図であり、(a) および (b) はそれぞれモル体積  $\bar{v}$  [ $m^3/mol$ ] および圧縮係数  $Z$  [-] と圧力  $P$  [Pa] および温度  $T$  [K] の関係を示す。(a) は図 2.3 と同じである。(a) より図 A.1 および図 A.6(b) を理解できるであろう。また、(b) より図 A.6(a) も理解できるであろう。

図 S.2 は、実在気体（液体を含む）としての水について、内部エネルギーに関する 3 次元状態図であり、(a) および (b) はそれぞれモル内部エネルギー  $\bar{u}$  [ $J/mol$ ] および剩余内部エネルギー係数  $Z_U$  [-] と圧力  $P$  および温度  $T$  の関係を示す。なお、局面の形状を把握しやすくするため、(b) は圧力軸の周りに反時計回りで  $90^\circ$  回転させており、以下の図 S.3～図 S.6 の (b) でも同様である。(a) より図 A.2(a) および図 A.7(b) を理解できるであろう。また、(b) より図 A.7(a) も理解できるであろう。

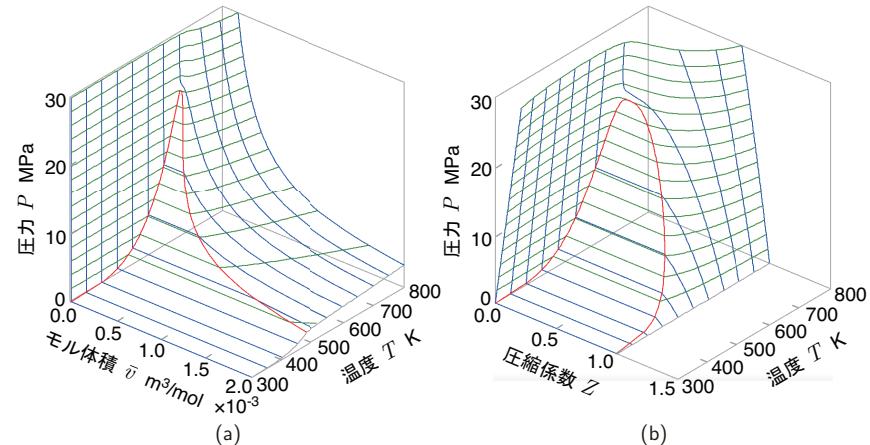


図 S.1 実在気体（液体を含む）としての水の体積に関する 3 次元状態図：(a) モル体積、(b) 圧縮係数

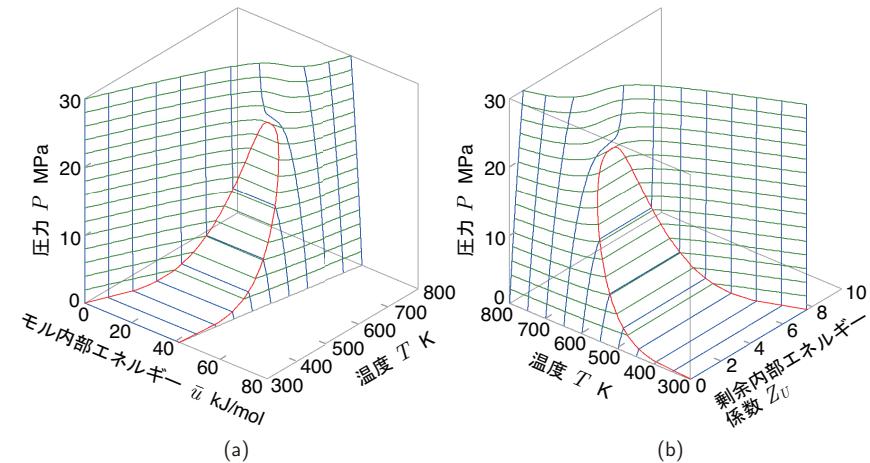


図 S.2 実在気体（液体を含む）としての水の内部エネルギーに関する 3 次元状態図：(a) モル内部エネルギー、(b) 剰余内部エネルギー係数

図 S.3 は、実在気体（液体を含む）としての水について、エンタルピーに関する3次元状態図であり、(a) および (b) はそれぞれモルエンタルピー  $\bar{h}$  [J/mol] および剩余エンタルピー係数  $Z_H$  [-] と圧力  $P$  および温度  $T$  の関係を示す。 (a) より図 A.3(a) および図 A.8(b) を理解できるであろう。また、(b) より図 A.8(a) も理解できるであろう。

図 S.4 は、実在気体（液体を含む）としての水について、エントロピーに関する3次元状態図であり、(a) および (b) はそれぞれモルエントロピー  $\bar{s}$  [J/(mol·K)] および剩余エントロピー係数  $Z_S$  [-] と圧力  $P$  および温度  $T$  の関係を示す。 (a) より図 A.4 および図 A.9(b) を理解できるであろう。また、(b) より図 A.9(a) も理解できるであろう。

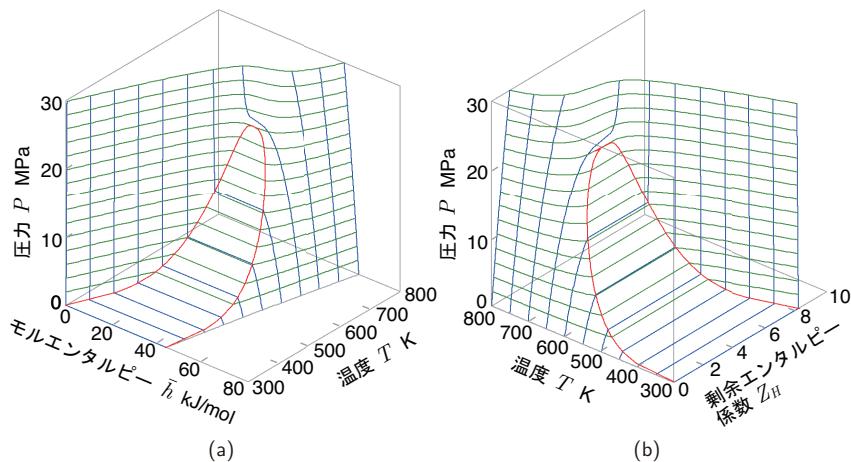


図 S.3 実在気体（液体を含む）としての水のエンタルピーに関する3次元状態図：(a) モルエンタルピー、(b) 剰余エンタルピー係数

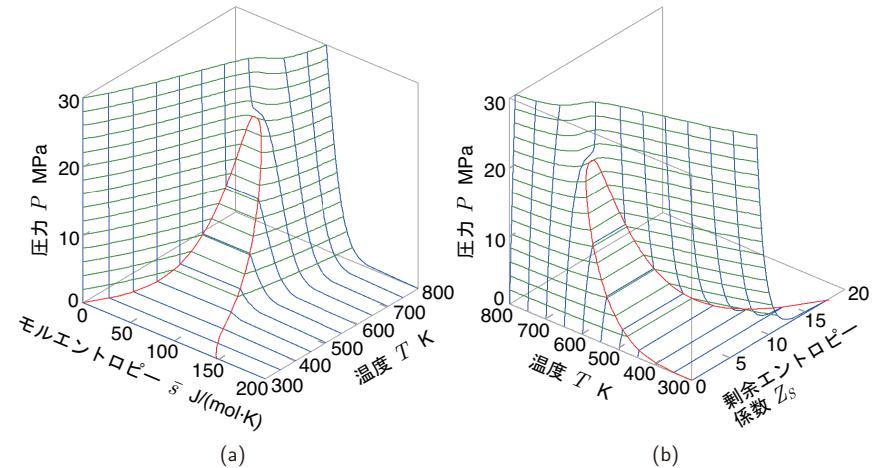
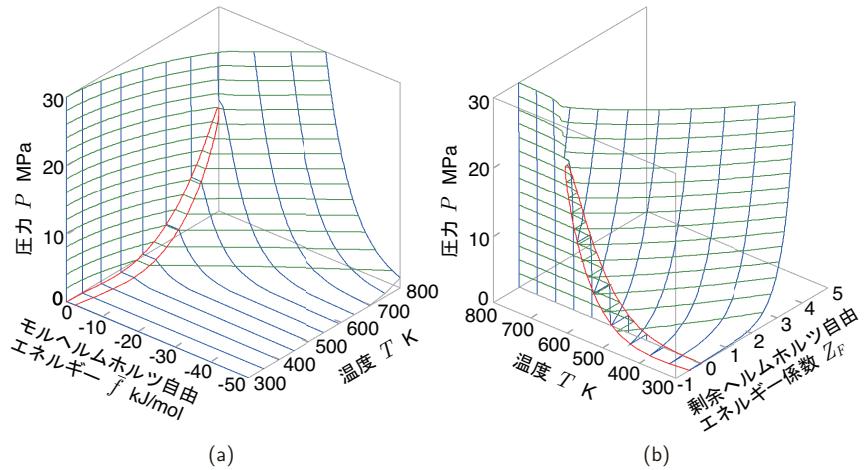


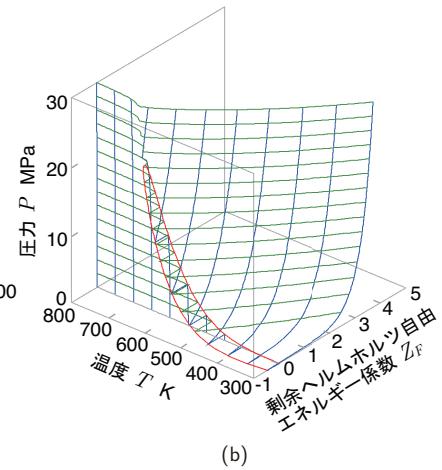
図 S.4 実在気体（液体を含む）としての水のエントロピーに関する3次元状態図：(a) モルエントロピー、(b) 剰余エントロピー係数

図 S.5 は、実在気体（液体を含む）としての水について、ヘルムホルツ自由エネルギーに関する3次元状態図であり、(a) および (b) はそれぞれモルヘルムホルツ自由エネルギー  $\bar{f}$  [J/mol] および剩余ヘルムホルツ自由エネルギー係数  $Z_F$  [-] と圧力  $P$  および温度  $T$  の関係を示す。 (a) より図 A.5(a) および図 A.10(b) を理解できるであろう。また、(b) より図 A.10(a) も理解できるであろう。

図 S.6 は、実在気体（液体を含む）としての水について、ギブズ自由エネルギーに関する3次元状態図であり、(a) および (b) はそれぞれモルギブズ自由エネルギー  $\bar{g}$  [J/mol] および剩余ギブズ自由エネルギー係数  $Z_G$  [-] と圧力  $P$  および温度  $T$  の関係を示す。 (a) より図 A.5(b) および図 A.11(b) を理解できるであろう。また、(b) より図 A.11(a) も理解できるであろう。

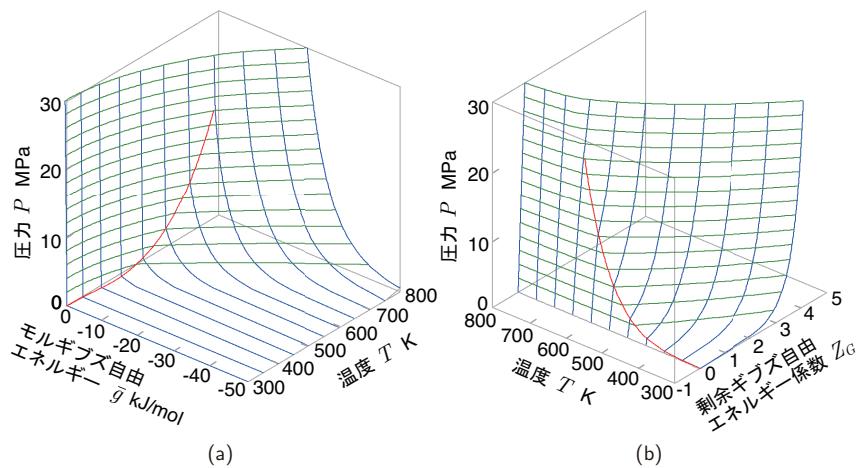


(a)

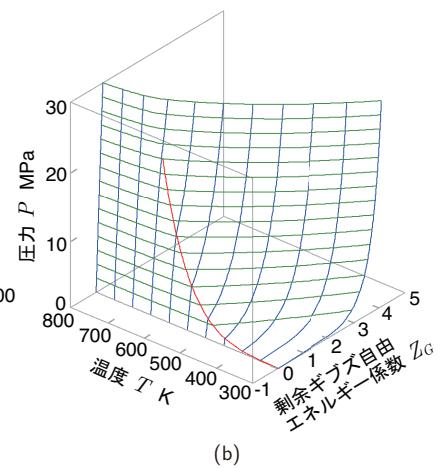


(b)

図 S.5 実在気体（液体を含む）としての水のヘルムホルツ自由エネルギーに関する3次元状態図：(a) モルヘルムホルツ自由エネルギー, (b) 剰余ヘルムホルツ自由エネルギー係数



(a)



(b)

図 S.6 実在気体（液体を含む）としての水のギブズ自由エネルギーに関する3次元状態図：(a) モルギブズ自由エネルギー, (b) 剰余ギブズ自由エネルギー係数