

問題 2. 液化天然ガス

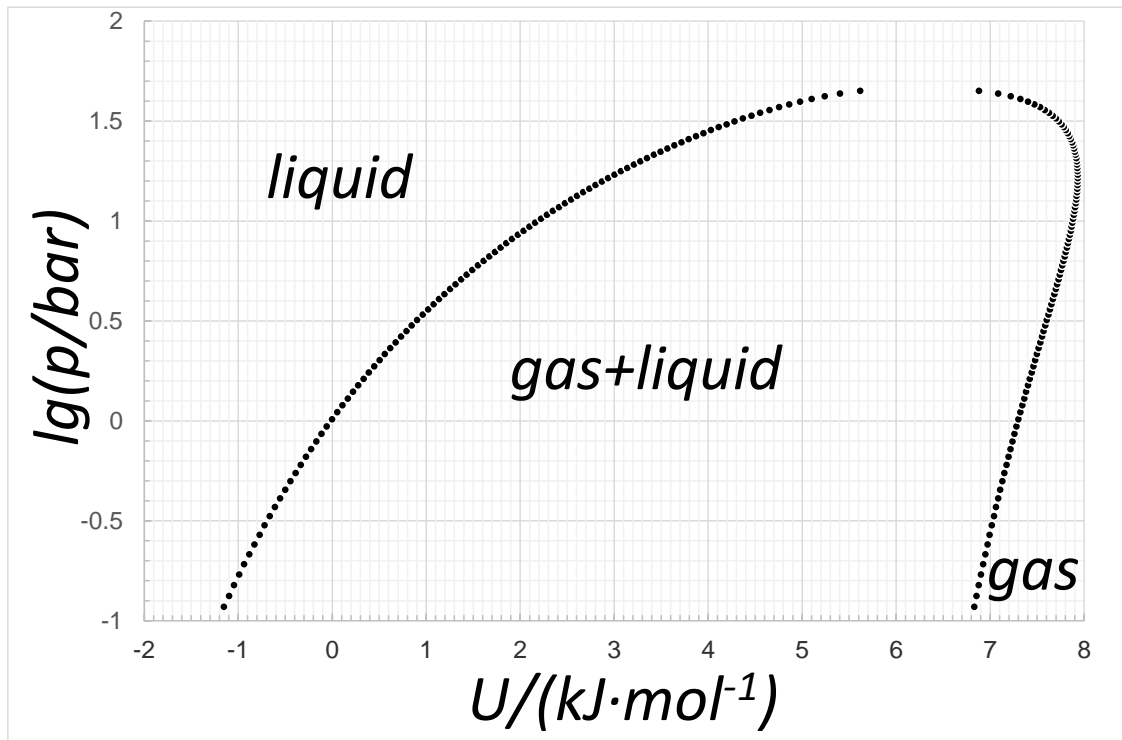
全世界における液化天然ガス(LNG)の生産量は増加しつつある。LNG は圧縮天然ガスに比べて高いエネルギー密度を持つため、液化は長距離の輸送(とくに海上輸送)において大きなメリットがある。LNG の主成分(> 95%)はメタンである。メタンの沸点の圧力依存性については、次の経験式がよく成立する。

$$\log (p/\text{bar}) = 3.99 - 443 / (T/\text{K} - 0.49)$$

1. 大気圧におけるメタンの沸点を求めよ。

LNG の海上輸送に用いられる典型的な極低温タンクは 40 000 m³ の容積を持ち、内容物の温度は-159 °C に保たれている。このタンクは外部から冷却されておらず、また内部の圧力は一定に保たれている。出航時、タンクは 16800 tons の液体メタンで満載状態となっているが、航海中にその一部が蒸発する。蒸発したガスは輸送船のエンジンの燃料として用いることができる。

2. 液化メタンの体積エネルギー密度は、室温(298 K)で 300 bar のシリンダー内にある気体のメタンの体積エネルギー密度の何倍か。(この条件におけるメタンの圧縮率因子は 1 に近いいため、理想気体の法則を適用してよい。)



上に示したメタンの相図は、縦軸を「bar 単位で表した圧力の常用対数」($\log p$), 横軸を内部エネルギー(U)として表示されている。これは実験的に得られたデータ [Setzmann and Wagner, 1991]に基づいている。黒点(データ点)で囲まれた領域は、液体のメタンと気体のメタンが平衡となって共存する範囲であり、この領域の外ではメタンは全て液体または全て気体である。この相図を用いて以下の設問に答えよ。

3. 輸送時の条件におけるメタンの蒸発エンタルピーを求めよ。
4. 15 日間の航海で蒸発するメタンの割合(%)を求めよ。極低温タンクには外部から 50 kW の熱が流入するものとする。
5. LNG を長期間貯蔵するために、蒸発するメタンを放出せずタンク内に封入しておくことが提案されている。試験的な実験が先程と同じタンク(温度 $-159\text{ }^{\circ}\text{C}$)に、液体メタンを正確に 1/3 だけ満たして実施された。9 ヶ月間貯蔵すると、タンク内の圧力は 16.4 bar まで上昇した。タンク内で蒸発したメタンの割合(%)を求めよ。外部からの熱流入は前問と等しいと仮定する。

6. 液化メタンが存在しうる最高温度を求めよ。また、そのときの容器内の圧力を求めよ。