

|     | 彈性 | 粘性 | 粘彈性 |
|-----|----|----|-----|
| 微視的 | ●  |    |     |
| 巨視的 |    |    |     |

# 弾性変形

- 弾性変形の定義
  - 可逆変形(応力を取り除くと最初の形に戻る)
  - 瞬間的変形(変形に時間遅れがない)
  - 応力に対しで変位(ひずみ)が一義的に定まる  
(ひずみが応力に比例する)
- 弾性変形の性質
  - 微小変形では引張弾性率＝圧縮弾性率
  - 材料の弾性率は温度の関数
  - 等方性, 異方性
- さまざまな弾性率
  - 引張弾性率, せん断弾性率, 圧縮弾性率

# 微視的にみた弾性(1)

- エネルギー弾性(ポテンシャルエネルギー)

原子間には引力(クーロン力)と斥力(電子殻の重なり)が作用する.

エネルギー極小の点が安定な原子間距離

エネルギーを距離で微分すると力になる  
(ポテンシャルエネルギー曲線の一次微分が変位に対する抵抗  
力になる)

ポテンシャルエネルギー曲線の谷が急峻で底が深い場合  
高弾性率 = 低熱膨張率 = 高融点

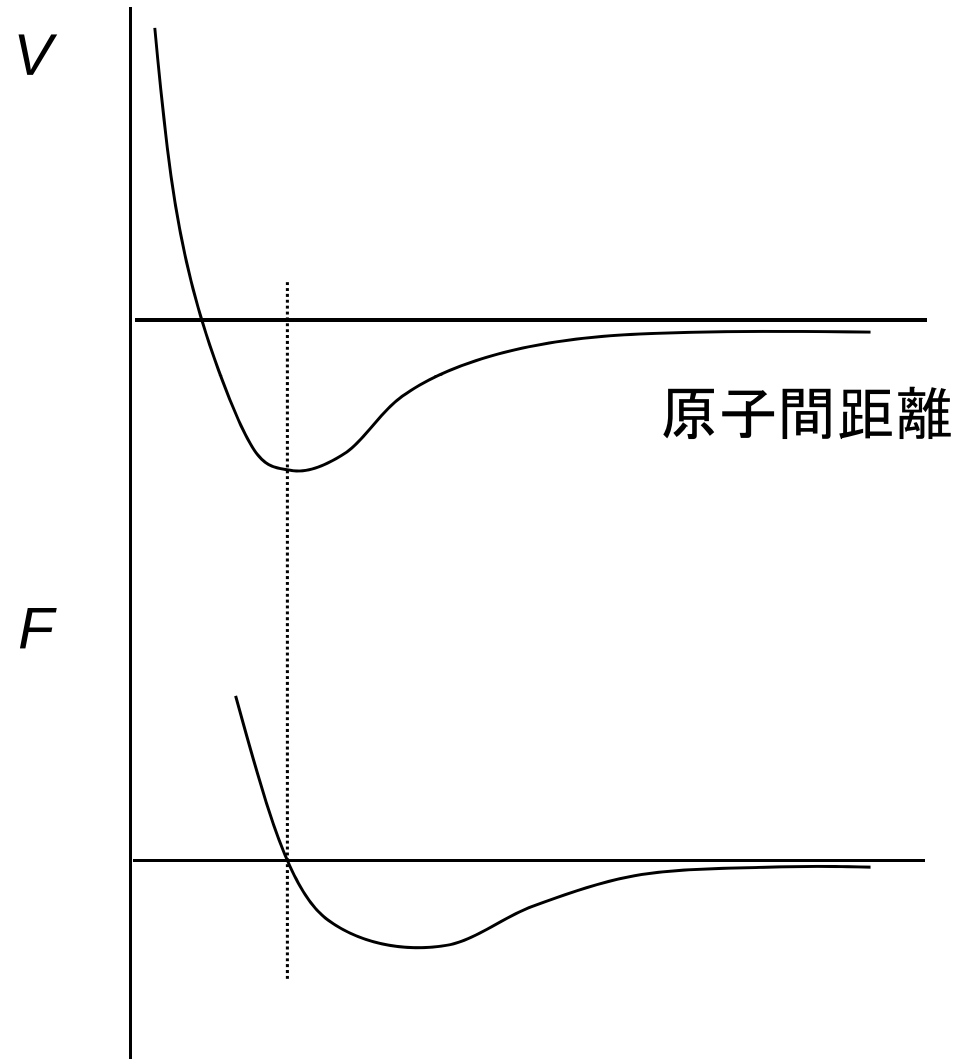
# ポテンシャルエネルギー

$$V = \frac{-A}{r^m} + \frac{B}{r^n}$$

引力+斥力

力はエネルギーの  
一次微分

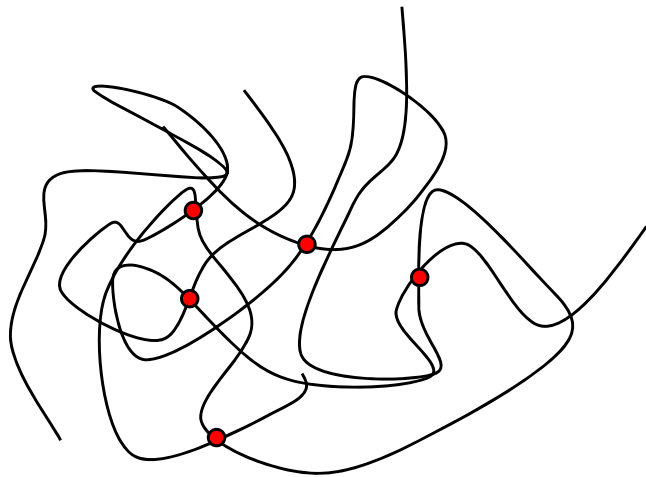
$$F = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{-mA}{r^{m+1}} + \frac{nB}{r^{n+1}}$$



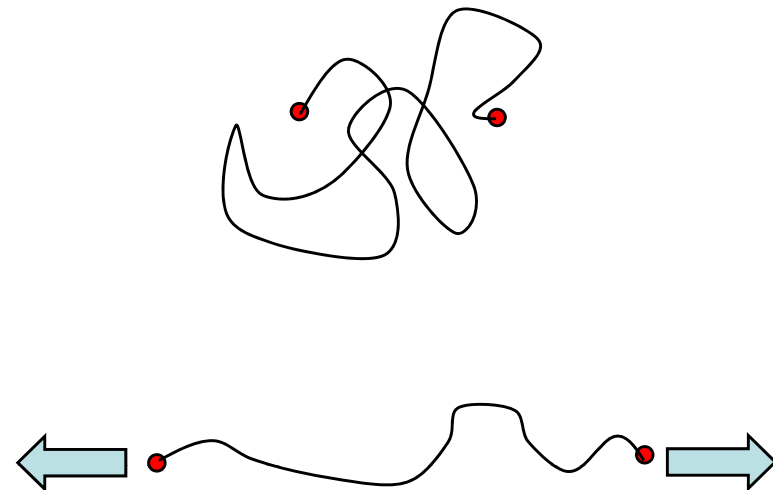
# 微視的にみた弾性(2)

- エントロピー弾性  
場合の数が多い方が安定  
場合の数が少ない状態にすると、場合の数が多い状態に戻ろうとする。

例えばゴムの分子：架橋点間の分子鎖は自由に運動できる。  
(最も起こりやすい隣接架橋点間距離が存在する)



● 架橋点



## 熱力学的にみた弾性

$$A = U - TS$$

$A$ : ヘルムホルツの自由エネルギー

$U$ : 内部エネルギー

$S$ : エントロピー

$T$ : 温度

準静的 (quasi static) 変化の場合,  
 $dW'$  を系に加えられた力学的仕事とすると

$$dU = TdS + dW'$$

従って

$$\begin{aligned} dA &= dU - SdT - TdS \\ &= dW' - SdT \end{aligned}$$

温度一定の場合

$$dA = dW'$$

体積変化が無視できるとき, 変形による仕事は, 力  $\times$  変位 だから

$$\Delta A = \Delta W = f \Delta x$$

$$f = \left( \frac{\Delta A}{\Delta x} \right)_{T,V}$$

従って

$$f = \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)_{T,V} - T \left( \frac{\partial S}{\partial x} \right)_{T,V}$$

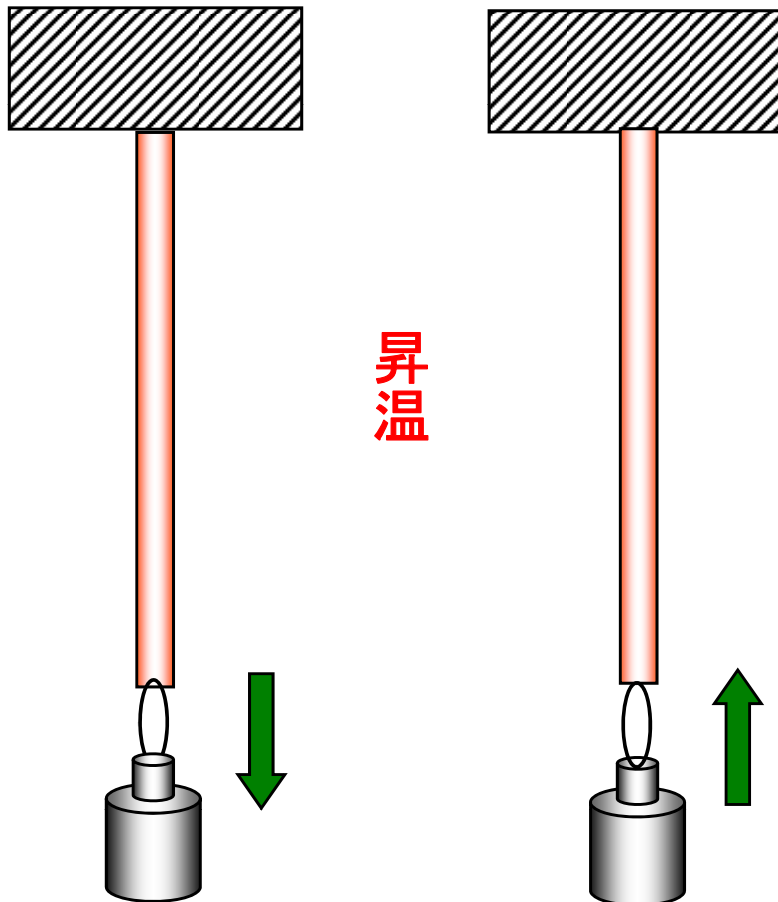
↑  
エネルギー的な力

↑  
エントロピー的な力

# エネルギー弾性とエントロピー弾性の温度依存性

## エネルギー弾性

熱振動のため、温度の上昇に伴い  
弾性率は低下する



## エントロピー弾性

架橋点間の分子は熱振動のため、  
糸鞠状になろうとする。  
(=エントロピーの大きい状態になろうとする)

この力が弾性力となる。

従って、熱運動の激しい高温の方が  
高弾性率を示す