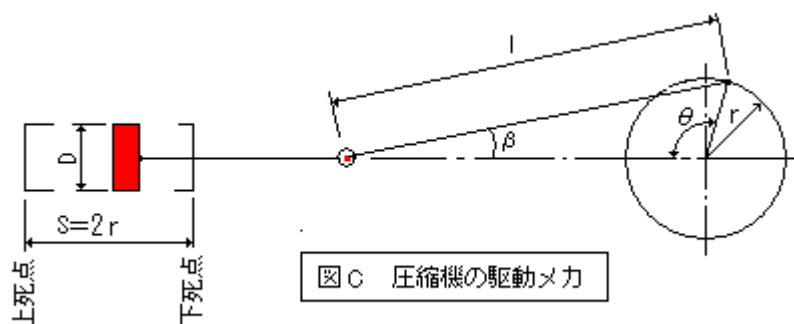
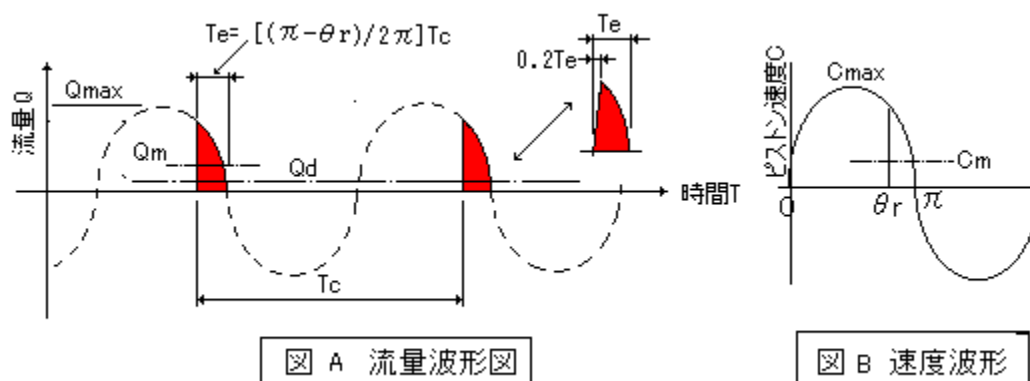


【整番】 FE-18-RP-005	【標題】 往復動圧縮機の脈動波形の簡易計算法
分類：流れ(脈動流)/種別：推奨指針	作成年月：H17.8/改訂：Ver0.0 (H18.6) 作成者：N.Miyamoto

全4枚

脈動解析に必要な往復動圧縮機の流量波形は、本来、ベンダーから提出されるものであるが、中小のベンダーの中には、データがないといって提出できない者もある。こんなときの為に極く簡易的な脈動波形の推定方法を述べる。以下。

1. 単段単動コンプレッサの吐出流量波形は下図のようになると思われる。



着色部でシリンダ出口弁が開き T_e 秒間ガスを排出し、それ以外、殆どガスを排出しないとすると

$$Q_m T_e = C_m A_c T_e = Q_d T_c \quad \longrightarrow \quad C_m = (Q_d / A_c) (T_c / T_e)$$

ここで、 Q_m = 吐出期間(着色部分)の平均流量(m^3/s)、 Q_d = 平均吐き出し流量(m^3/s)

T_e = 吐出期間/1 ストローク(sec)、 T_c = 吐出周期(sec)、

A_c = ピストン断面積 = $\pi D_e^2 / 4$ (m^2)、 C_m = 吐出期間の平均ピストン速度(m/s)、

D_e = ピストン径(m)、

上記の式で平均ピストン速度 C_m は次式で得られる(図 B 参照)。

$$C_m = \{C_{\max} / (\pi - \theta r)\} \int \sin \theta d\theta = C_{\max} \{(1 + \cos \theta r) / (\pi - \theta r)\} \quad [\theta r \sim \pi \text{ 間積分}]$$

また、吐出期間 T_e は $T_e = \{(\pi - \theta r) / 2\pi\} T_c$ である。従って、

$$(1 + \cos \theta_r) / (\pi - \theta_r) = \{Q_d / (A_c C_{\max}) \{2\pi / (\pi - \theta_r)\}\}$$

$$1 + \cos \theta_r = \{2\pi Q_d / (A_c C_{\max})\}$$

最大シリンダ速度 C_{\max} は次の式で与えられる。

$$C_{\max} = r\omega = (0.5S) (2\pi N/60) = (\pi/60) SN$$

ここで、 r = クランク径 = $S/2$ 、 S = ストローク長さ (m)、 N = 回転数 (rpm)

従って、前式は、 $1 + \cos \theta_r = 120Q_d / (SNA_c)$ になる。

故に、シリンダ出口弁が開き始める時のクランク角度 θ_r は次式で表される。

$$\theta_r = \cos^{-1} [120Q_d / (SNA_c) - 1] \quad \text{----- (1)}$$

θ_r がわかると、流量波形のプロポーシオンがわかる。即ち、

ピーク流量 : $Q_p = C_{\max} \cdot A_c \cdot \sin \theta_r$ 吐出期間 : $T_e = \{(\pi - \theta_r) / (2\pi)\} T_c$ $\theta_r \rightarrow \pi$ までの流量 : 正弦波変化	----- (2)
--	-----------

なお、実際の波形は急峻な立ちあがりではなく、図 A の右上のように多少傾くのではないかとと思われる。

2. 以上は、単動コンプレッサの場合である。単段復動コンプレッサの場合は吐出周波数は 2 倍になり吐出回数も 2 倍になる。従って、

$$2Q_m T_e = 2C_m A_c T_e = Q_d T_c \quad (\text{但し吐出周期 } T_c = 30/N \text{ --- クランクの半回転分})$$

前項と同様に変形して、

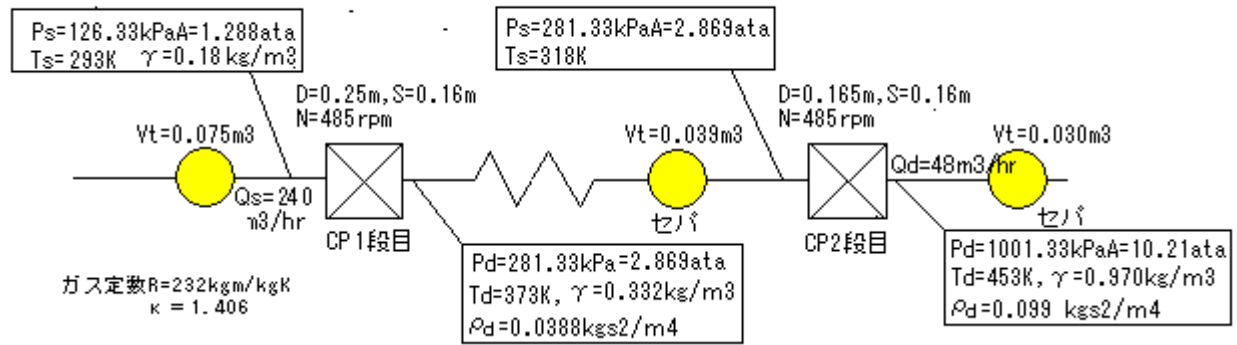
$$\theta_r = \cos^{-1} [60Q_d / (SNA_c) - 1] \quad \text{----- (3)}$$

吐出期間は、

$$T_e = 2 \{(\pi - \theta_r) / 2\pi\} T_c \quad \text{----- (4)}$$

3. 同位相で動く多段コンプレッサの場合は、各段について、脈動波形を求める。

例題) 下図のような 2 段復動コンプレッサの脈動波形を推定する。



まず、1 段目コンプレッサについて。

平均吐出流量は $Q_d = (0.18/0.332) \times 240 = 130 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.0361 \text{ m}^3/\text{s}$ 、これを用いて
シリンダ出口弁が開き始める時のクランク角度 θ_r は、

$$\theta_r = \cos^{-1}[60Q_d / (\text{SNAc}) - 1] = \cos^{-1}[60 \times 0.0361 / (0.16 \times 485 \times 0.0491) - 1] = 2.017 \text{ ラジアン} (115.5^\circ)$$

$$\text{ここで } A_c = \pi \times 0.25^2 / 4 = 0.0491 \text{ m}^2, C_{\max} = (\pi/60) \times 0.16 \times 485 = 4.06 \text{ m/s}$$

$T_c = 30/485 = 0.0619$ であるから、

$$\text{ピーク流量: } Q_p = C_{\max} \cdot A_c \cdot \sin \theta_r = 4.06 \times 0.0491 \times \sin 2.017 = 0.1798 \text{ m}^3/\text{s} = 647 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{吐出期間: } T_e = 2 \times \{(\pi - \theta_r) / 2\pi\} T_c = 2 \times \{(\pi - 2.017) / 2\pi\} \times 0.0619 = 0.02215 \text{ sec}$$

115.5° → 180° までの 64.5° 区間流量: 正弦波変化

ピーク流量は平均吐出流量(130m³/hr)の 4.98 倍になっている。

次に、2 段目コンプレッサについて。

平均吐出流量は $Q_d = 48 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.01333 \text{ m}^3/\text{s}$ 。シリンダ出口弁が開き始める時のクランク角度 θ_r は、

$$\theta_r = \cos^{-1}[60Q_d / (\text{SNAc}) - 1] = \cos^{-1}[60 \times 0.01333 / (0.16 \times 485 \times 0.0214) - 1] = 2.116 \text{ ラジアン} (121.2^\circ)$$

$$\text{ここで } A_c = \pi \times 0.165^2 / 4 = 0.0214 \text{ m}^2, C_{\max} = (\pi/60) \times 0.16 \times 485 = 4.06 \text{ m/s}$$

$T_c = 30/485 = 0.0619$ であるから、

$$\text{ピーク流量: } Q_p = C_{\max} \cdot A_c \cdot \sin \theta_r = 4.06 \times 0.0214 \times \sin 2.116 = 0.074 \text{ m}^3/\text{s} = 267 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{吐出期間: } T_e = 2 \times \{(\pi - \theta_r) / 2\pi\} T_c = 2 \times \{(\pi - 2.116) / 2\pi\} \times 0.0619 = 0.0202 \text{ sec}$$

121.2° → 180° までの 64.5° 区間流量: 正弦波変化

ピーク流量は平均吐出流量(48m³/hr)の 5.57 倍になっている。

本圧縮機付きのセパレータの脈動率(P-P)は8%で計画されている。これがどうなのか、末尾の計算図表を用いてチェックしてみる。1 段目の吐き出しガス容量/1 ストローク V_s は、

$$V_s = (\pi D_e^2 S / 4) \eta_v (P_s / P_d) (T_d / T_s) = 0.7856 \times 0.25^2 \times 0.16 \times 0.7 \times (126.3 / 281.3) (318 / 293) = 0.00268$$

コンプレッサ側のタンク(セパレータ)の容積は 0.039m³ であるので、 $V_t / V_s = 0.039 / 0.00268 = 14.5$ 、

また比熱比 $\kappa = 1.406$ 、 $r_t = (\pi - \theta_r) / 2\pi = (3.1424 - 2.017) / 6.285 = 0.179$ 。この場合、

計算図表から 脈動率(P-P)は約8%になるので、ほぼ合っているようだ。

2 段目の吐き出しガス容量/1 ストローク V_s は

$$V_s = (\pi D_e^2 S / 4) \eta_v (P_s / P_d) (T_d / T_s) = 0.7856 \times 0.165^2 \times 0.16 \times 0.7 \times (281.3 / 1001.3) (453 / 318) = 0.00096$$

コンプレッサ側のタンク(セパレータ)の容積は 0.03m³ であるので、 $V_t / V_s = 0.03 / 0.00096 = 31.3$ 、

また比熱比 $\kappa = 1.406$ 、 $r_t = (\pi - \theta_r) / 2\pi = (3.1424 - 2.116) / 6.285 = 0.163$ 。この場合、

計算図表から 脈動率(P-P)は約4%になるので、多分に余裕があると思われる。

計算結果から想定されるコンプレッサ 1,2 段目の吐出流量波形は下図のようになると思われる。

1 段目吸込み流量波形は、1 段目の吐出波形を比重量補正したものとする。

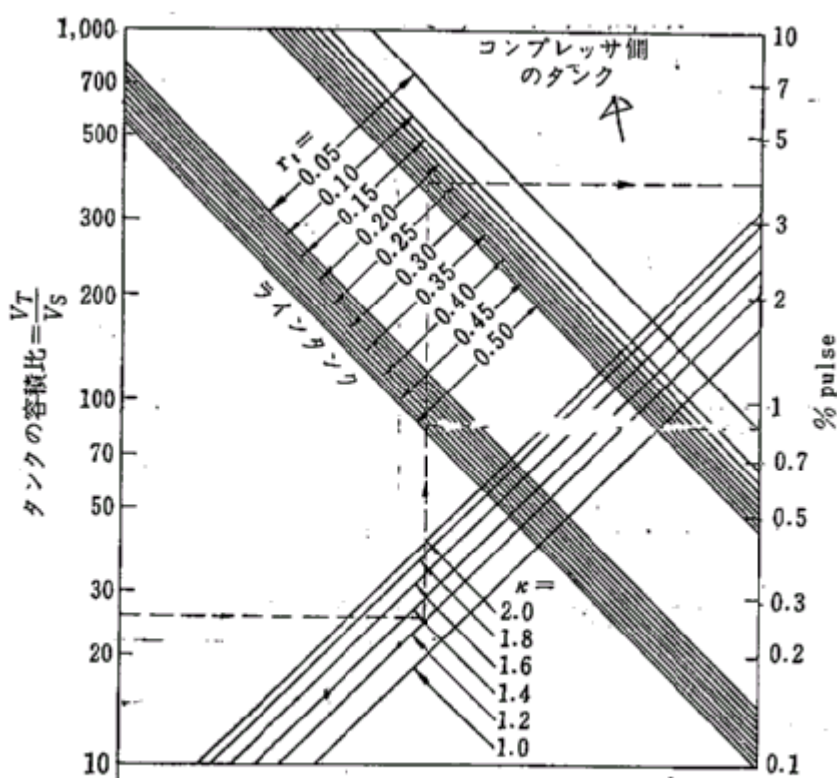
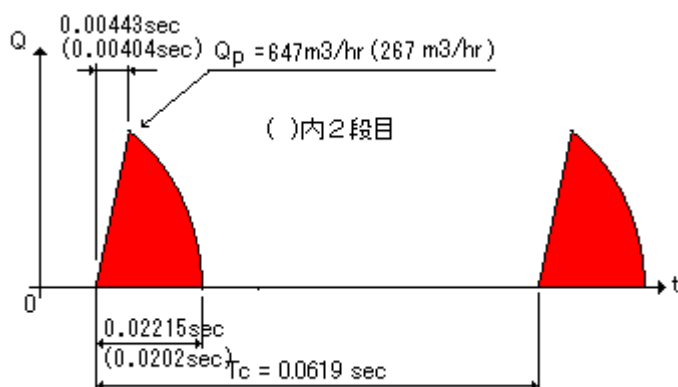


図7.9 単一緩衝タンクにおけるタンク容積と圧力振幅との関係

(V_T = タンク容積, V_S = 1 ストローク当り流れるガス容積, %パルス = (圧力振動の全振幅/平均絶対圧力) × 100, k = 比熱比, r_L = 吐出周期に対する吐出期間の割合)

(注) 上図は Chilton、Handley; Trans ASME 7 4.8.1952 による。

コンプレッサ側タンクの方を適用。

引用文献： 実用機械シリーズ“容積形圧縮機”伊藤茂ほか(産業図書)