

ターボ機械用ガステーブルの作成

岩井 益美^{*1}
IWAI Masumi

キーワード：ガステーブル，サイクル計算，データ解析，相対圧力，一次元流れ関数

1. はじめに

ガスタービンの性能計算プログラムの開発を容易にする目的でターボ機械用ガステーブルを作成した。この度GTSJのホームページからダウンロードできる体制を用意して頂いたので、本テーブルの概要について報告する。なお、GTSJホームページからは、ユーザのプログラムに組み込みが可能なサブルーチンと説明書、VB版のプログラム（図1）およびこれを用いた計算例がダウンロード可能である。

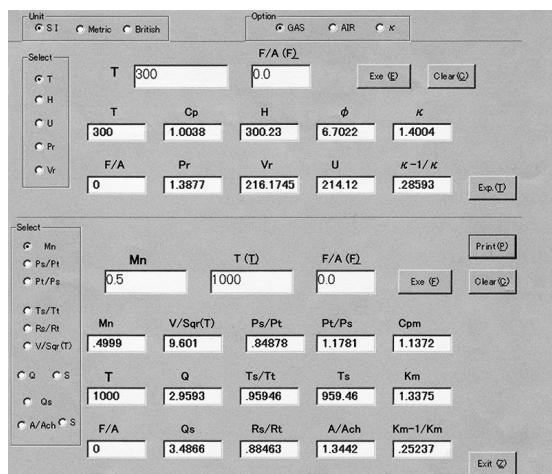


図1 ガステーブル/VB版

2. 主な仕様

本テーブルは熱物性値だけでなく、ターボ機械の計算に便利な9種類のFlow Functionを容易に求めることができる。

- (1) 単位系：SI, Metric, British から選択
- (2) 対象とする流体：空気、燃焼ガス（燃料を $CH_{1.927}$ として燃料と空気の割合 F を指定）
- 燃料割合； F は入力値により以下の特性値をとる。
 $0 \leq F < 0.1$ 積空比； f/a
 $0.1 \leq F \leq 1.4$ 相対燃空比； $\phi \equiv \frac{f/a}{(f/a)_{st}}$
 $1.4 < F$ a/f

さらに、比熱比； $\kappa = \text{一定}$ を選択することもできる。

- (3) 使用範囲；
 温度； $0 \sim 5000\text{ (K)}$
 燃空比； $f/a = 0 \sim 0.06825$ (理論混合比)
 マッハ数； $Mn = 0 \sim 25$
- (4) パラメータ

下記の Thermodynamic Function と Flow Function それぞれについて、任意のパラメータを指定して、他のパラメータを算出することができる。

Thermodynamic Functions (図2)

- 定圧比熱； $C_p [kJ/kg]$
- エンタルピー； $h [kJ/kg]$
- 内部エネルギー； $u [kJ/kg]$
- エントロピー関数； $\phi [kJ/kg K]$
- 比熱比； κ
- 比熱比割合； $(\kappa - 1)/\kappa$
- 相対圧力； Pr
- 相対容積； Vr
- エントロピー； $s = \phi - R \ln P$

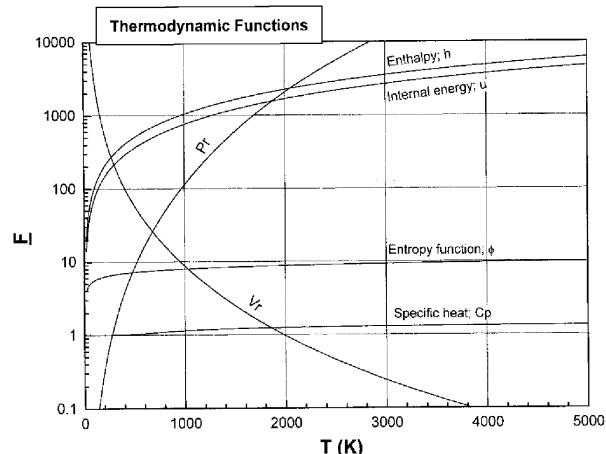


図2 Thermodynamic Functions

原稿受付 2006年1月12日

*1 元トヨタ自動車㈱ 東富士研究所
〒410-0011 静岡県沼津市岡宮807-3

Flow Functions (図3)

| | |
|---|---|
| マッハ数 ; Mn | 圧力比 ; Ps/Pt |
| 圧力比 ; Pt/Ps | 温度比 ; Ts/Tt |
| 密度比 ; ρ_s/ρ_t | 速度 ; $V/\sqrt{T_t} \left[\frac{m/sec}{\sqrt{K}} \right]$ |
| 流量 (全圧) ; $q \equiv \frac{G\sqrt{T_t}}{A P_t} \left[\frac{(kg/sec)\sqrt{K}}{cm^3 MPa} \right]$ | |
| 流量 (静圧) ; $q_s \equiv \frac{G\sqrt{T_t}}{A P_s} \left[\frac{(kg/sec)\sqrt{K}}{cm^3 MPa} \right]$ | |
| 面積比(ラバール管) ; A/A_{ch} | |

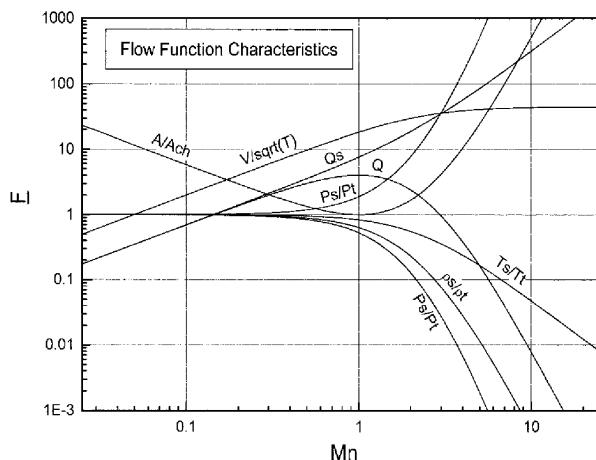


図3 Flow Functions

3. 演算例

Thermodynamic Functions

入り口温度 ; $T_1 = 288.15 [K]$, 圧力比 ; $P_2/P_1 = 10$. の空気圧縮機の断熱温度は ;

$T_2 = T_1 (P_2/P_1)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 288.15 (10)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$ で与えられるが, 実際には κ の値は一定ではないので繰り返し計算が必要になる。ところが本テーブルを用いれば, 以下に示すように容易に計算を行うことができる (作動点1)。

| 作動点 | T | Cp | h | u | ϕ | Pr | Vr |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1 | 288.15 | 1.0032 | 288.33 | 205.62 | 6.6617 | 1.2052 | 239.074 |
| 2 | 552.3 | 1.0397 | 557.16 | 398.63 | 7.3226 | 12.052 | 45.8275 |
| 3 | 704. | 1.0757 | 717.55 | 515.49 | 7.579 | 29.4465 | 23.9074 |

(太字が入力値)

圧縮後の相対圧力 ; Pr_2 は ;

$$Pr_2 = Pr_1 (P_2/P_1) = 1.2052 (10) = 12.052$$

これより $T_2 = 552.3 [K]$ が求まる (作動点2)。圧縮比 ; $\varepsilon = 10$ のピストンエンジンの場合は ;

$$T_3 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} = 288.15 (10)^{\kappa-1} \text{ であり, VB版では ;}$$

$$Vr_3 = Vr_1 / \varepsilon = 239.074 / 10 = 23.9074 \text{ より}$$

$$T_3 = 704 [K] \text{ が得られる (作動点3)。}$$

結果として圧縮機では $\kappa = 1.3938$ を, ピストンエンジンでは $\kappa = 1.388$ を用いたこととなる。

オットーサイクルの熱効率 ; $\eta = 1 - 1/\varepsilon^{\kappa-1}$ を Vr を用いた演算結果と対比してみるのも興味のある問題である。

Flow Function

VB版の下段は流れ関数である。圧力比 ; $P_s/P_t = 0.9$ に対する値を下表に示す。

| M_n | P_s/P_t | P_s/P_s | T_s/T_t | ρ_s/ρ_t | $V/\sqrt{T_t}$ | q | q_s | A/A_t |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------------|--------|--------|---------|
| 0.3907 | 0.9 | 1.1111 | 0.9703 | 0.92754 | 7.718 | 2.4943 | 2.7715 | 1.6206 |

(太字が入力値)

$$\text{ここに ; } \frac{V}{\sqrt{T_t}} = q = \frac{G\sqrt{T_t}}{A P_t}, \quad q_s = \frac{G\sqrt{T_t}}{A P_s}$$

これらはいずれも次元を有する特性値である。

 P_s/P_t がオリフィスの圧力比とすると, 速度 ; V は ;

$$V = (V/\sqrt{T_t})\sqrt{T_t} = 7.718\sqrt{288.15} = 131.01 (m/sec)$$

更に空気流量が $G=1. (kg/sec)$, 圧力が $P_t = 0.101325 (MPa)$ であったとすると ;

$$Q \equiv \frac{G\sqrt{T_t}}{P_t} = \frac{1. \sqrt{288.15}}{0.101325} = 167.53 \left[\frac{(kg/sec)\sqrt{K}}{MPa} \right]$$

これよりオリフィスの有効面積 ; A は次式で求まる。

$$A = Q/q = 167.53/2.4943 = 67.165 [cm^2]$$

4. あとがき

- サブルーチンプログラムのバイプロダクトとして作成したVB版は, 性能計算用の電卓としてデータチェックに有効である。ターボ機械分野の文献にはBritish単位が使用されていることが多い。VB版のBritish単位はこれらの文献の数値のチェックに便利である。

- 本テーブルには比熱比 ; $\kappa = \text{一定}$ のオプションがある。 κ で表示された関係式と相対圧力 ; Pr , 相対容積 ; Vr を用いた演算結果を対比することにより Pr , Vr の使用法が理解できる (教育用)

- 燃空比の使用範囲は [空気～理論混合比] 間である。この範囲を越えて作動するガソリンエンジンには使用できない。

- 本テーブルには熱解離の影響は入っていない。実際の燃焼ガスでは1600 (K) 以上では熱解離の影響が大きくなる。理論混合比以上の燃空比をカバーし, 热解離を考慮した同様のガステーブルを期待したい。

- GTSJ/HP にはサブルーチンプログラム用の説明書 (SYTBL2.pdf) とファイル集 (ExSY2.lzh) がセットになっています。ご利用下さい。尚VB版を用いた計算例としてガスターインとピストンエンジンのサイクル計算を添付しました (CYCLE.pdf)。