

# ボルテックスブロワの原理と関連特性

## Principles and Characteristics of Vortex Blower

阿 部 正 博\*  
Masahiro Abe

### 要 旨

最近の産業界の省力化機器の一つとして、粉粒体の空気輸送、糸の吸引、印刷機の紙送り用などとして、各方面において小風量-高風圧特性のブロワの需要がめざましい伸びを示している。この現状に対処するため、増速なしの同期回転数で、しかも1段の羽根車という小形軽量のものでターボブロワの6~7倍の締切高風圧をもつブロワを開発した。これは、摩擦液体ポンプの原理を空气に適用したものであり、特性に及ぼす諸係数は握ることができた。本報告はおもに渦流運動の原理を説明し、ボルテックスブロワを紹介したものである。

### 1. 緒 言

ボルテックスブロワは摩擦ポンプの原理を気体に適用した渦流式ブロワと、2極インダクションモートルを1体構造にした新方式のモートルブロワである。一段の羽根車で小風量ながら高風圧特性をもつボルテックスブロワは、特性の面、小形軽量の面でかすかすの特長を有し、高速ターボファンや多段ターボブロワに代わるものとして開発されたもので、今後省力化が進むに従い空気動力源として、プラスチック工業、繊維工業、紙加工工業など、あらゆる産業界への著しい進出が期待される。

### 2. 原理と特性式

渦流式流体機械としては、流体として液体を用いたものが大部分でその作用については多くの人々が述べており、渦流 (Vortexflow) のほか、引摺 (ひきずり) (Drag), 再生 (Regenerative), 乱流 (Turbulent), 摩擦 (Friction) などの名称が用いられているが、ボルテックスブロワはこれらの作用を気体に適用して小風量-高風圧特性をもつようにした渦流式空気機械である。渦流理論については、大別して再生理論と乱流理論の二つに分類される。

#### 2.1 再 生 理 論

図2のように吸込口から流入した空気は羽根車の遠心力によって圧力が上昇し通風路に押し出され、その空気がケーシングの壁に押されて次の羽根にはいり、再度圧力上昇を受けるといふ渦流運動を起こしながら吐出口まで繰り返えられることによって高圧を得るのである。再生理論による特性は(1)~(4)式で表わされる。

$$Q = \frac{1}{2} \times \frac{r_2}{r_G} Q_s \left( k_1 \sigma + \frac{r_1^2}{r_2^2} k_2 \alpha \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$k_1 = k_3 + 2 \frac{At}{A} - \frac{C}{r_3} \frac{A_2}{A} - \frac{C}{D} \frac{A_1}{A}$$

$$k_2 = -k_3 + \frac{D}{r_1} \frac{A_3}{A} - \frac{A_3^2}{A} \frac{D}{6r_1^2 d} \left( 5 - 2 \frac{r_3}{r_1} \right)$$

$$k_3 = \frac{r_2}{r_G} \left[ \frac{A_5^2}{A_2} - \frac{At^2}{A^2} + \frac{C}{r_3} \frac{A_1}{A} \frac{A_2}{A} - \frac{1}{3r_1 d} \left( A_s - f_d \frac{r_3}{r_1} \right) \right]$$

$$\text{また } r_G = \frac{\int_A r dA}{A}$$

$$Q_s = r_G A \omega$$

$$P = \frac{Q_c}{Q_s} (\sigma U_2^2 - \alpha U_1^2) - k_t \left( \frac{Q}{D^2} \right)^2$$

$$= \frac{4\sqrt{2}a\theta}{A\sqrt{k_c}} \frac{r_2}{r_G} \sqrt{1 - \frac{r_1}{r_2}} (C_1 - \lambda) \sqrt{C_2 + \sigma\lambda - 2\lambda^2 - k_t'\lambda^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

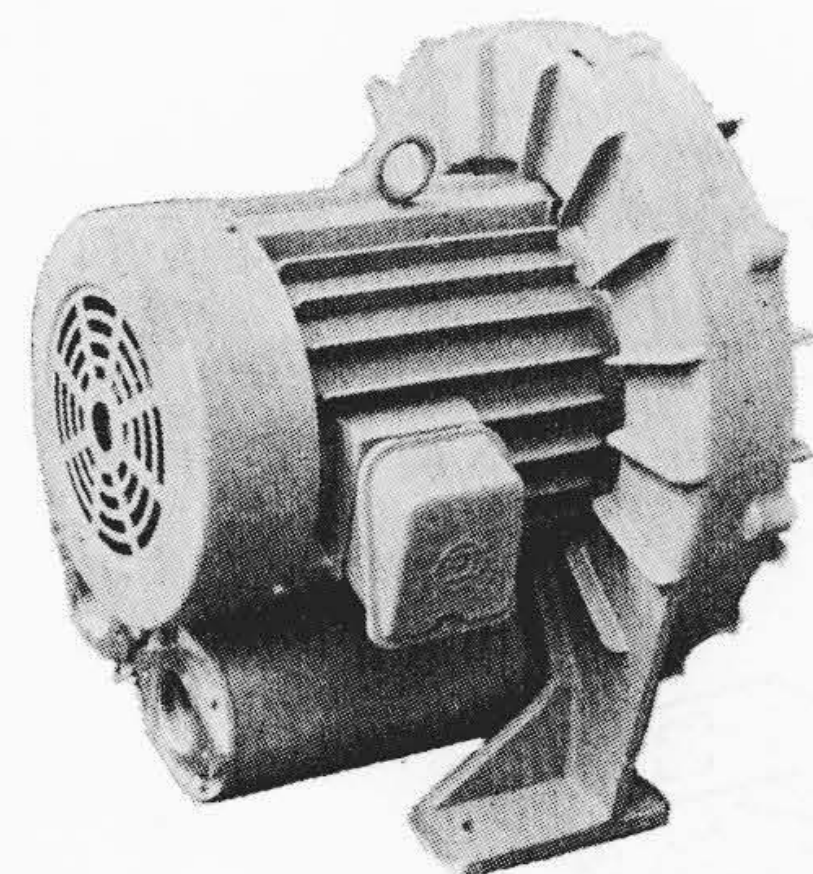


図1 ボルテックスブロワ

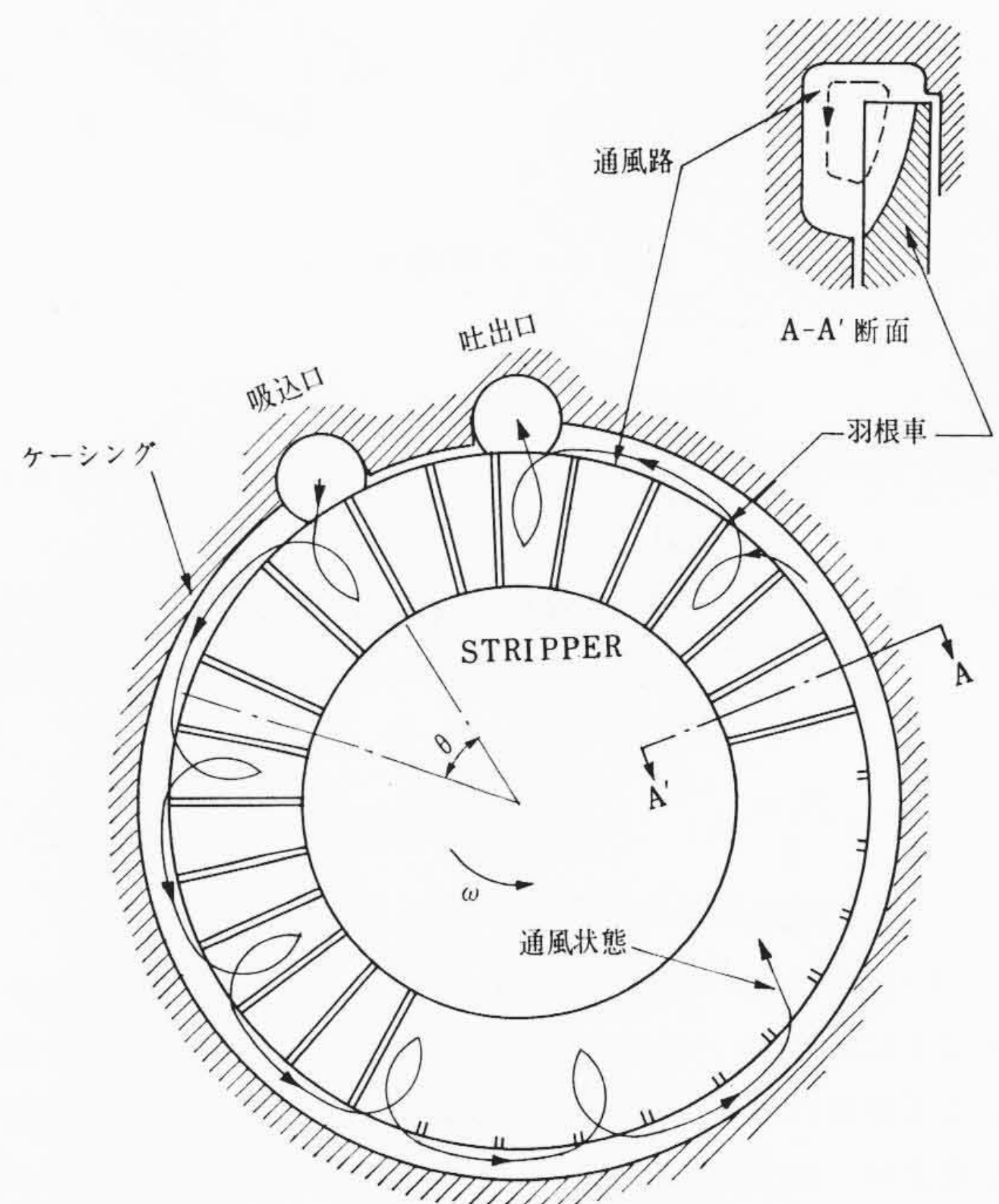


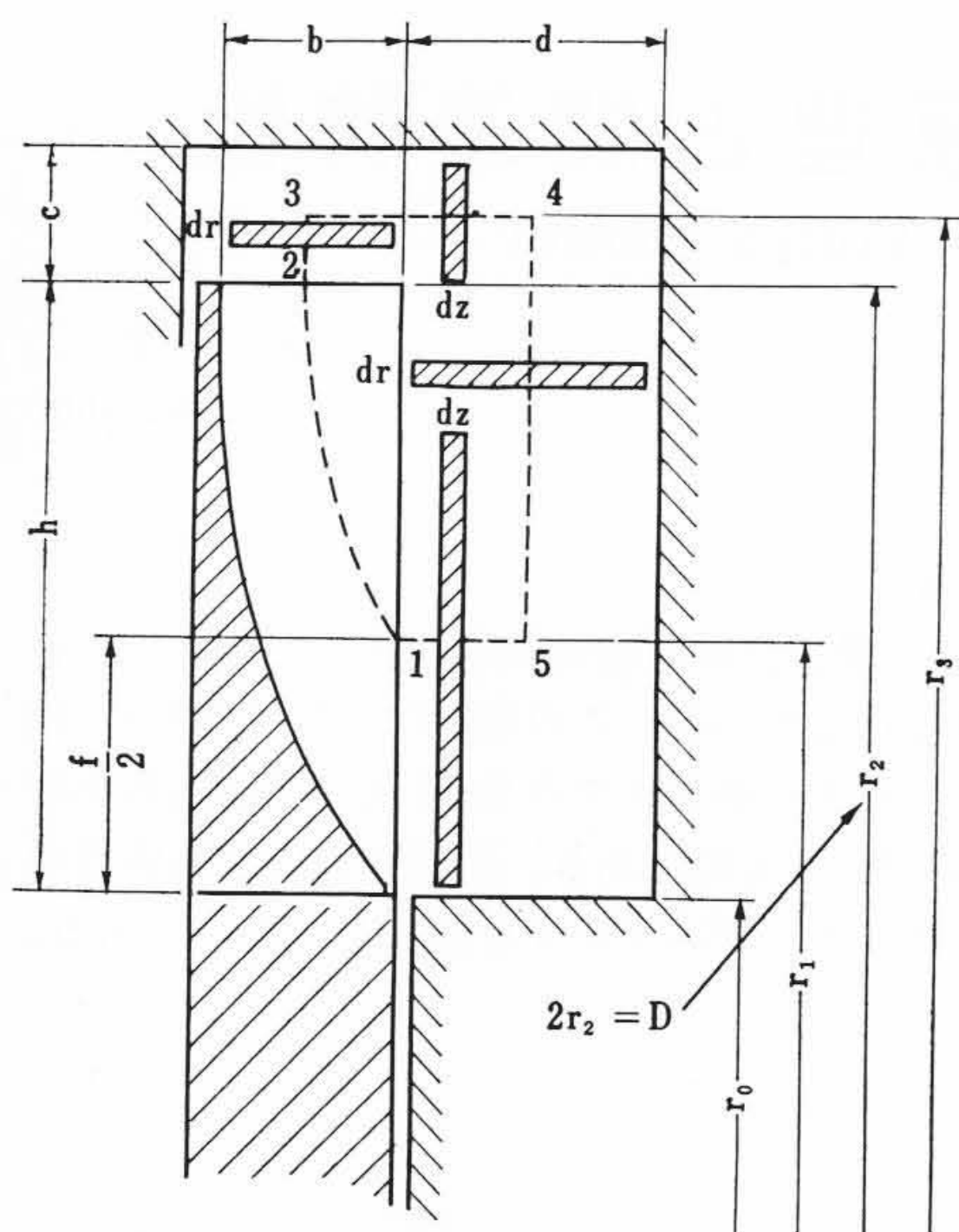
図2 通風路部形状

$$C_1 = \frac{\sigma}{2} \left( 1 + \frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$C_2 = \frac{\sigma \left( 1 - \frac{\sigma}{2} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2}{1 - \frac{r_1}{r_2}}$$

$$L = g Q_s \left[ P + k_t \left( \frac{Q}{D^2} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (3)$$

\* 日立製作所習志野工場



$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{bc}{2} & A_t &= A_1 + A_2 \\ A_2 &= \frac{b+d}{2} c & A_s &= A_3 + A_4 \\ A_3 &= (r_3 - r_1) \cdot d \\ A_4 &= \frac{fd}{2} & A &= A_t + A_s \end{aligned}$$

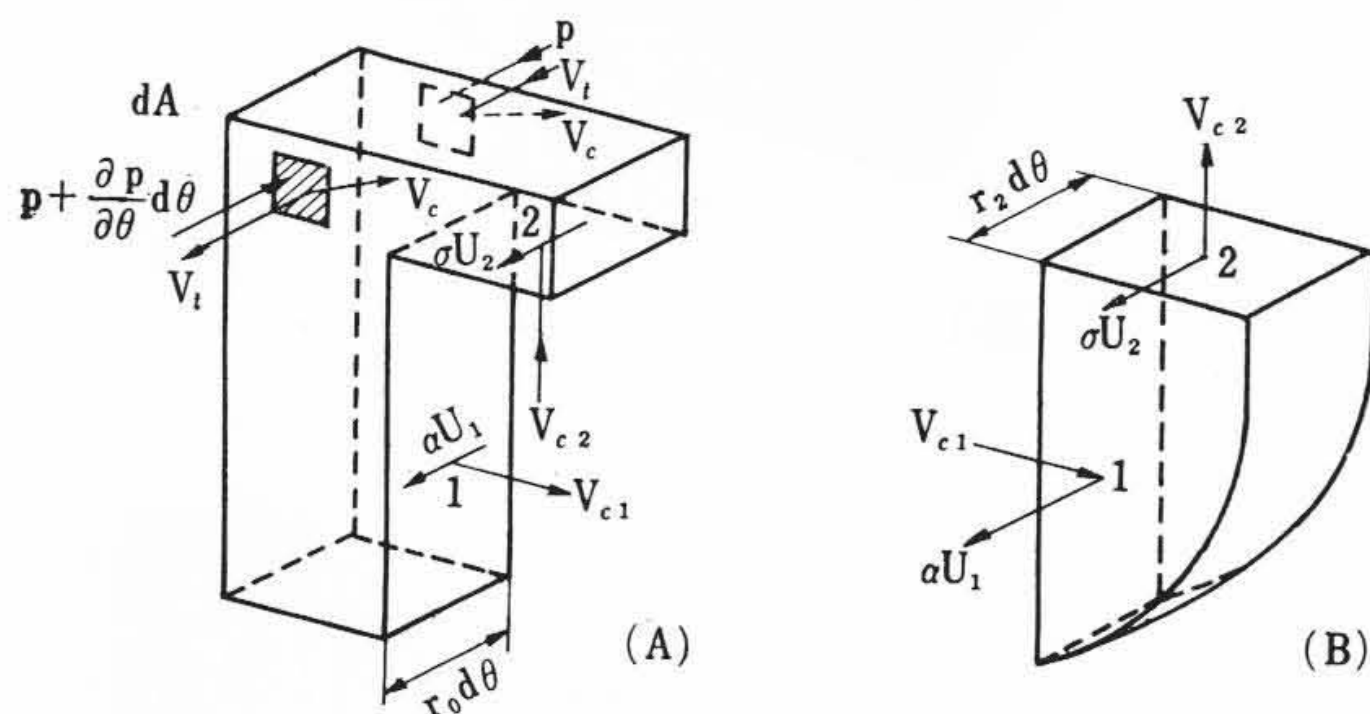


図3 渦流ブロワ解析モデル

$$\eta = \frac{gQp}{L} = \frac{\frac{Q}{Q_s}}{1 + \frac{k_t \cdot Q^2}{PD^4}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $Q$ : 流量  $\alpha$ : 羽根入口係数  $\lambda$ : 流量係数  
 $P$ : 圧力  $\sigma$ : すべり係数  $\phi$ : 圧力係数  
 $L$ : ファン入力  $k_t$ : 損失係数  $\eta$ : 効率

$$k_t' = \frac{A_c \omega}{2} k_t: \text{入出口の終端効果による損失係数}$$

$\theta$ : 有効流路角  $U_2$ : 羽根車周速

(1)~(4)式中未知の係数  $\sigma$ ,  $k_t$ ,  $k_c$  の値が定まれば各特性値が求まる。 $\sigma$  は1に近いほど性能が向上し、 $k_c$ ,  $k_t$  は損失を表わす係数で小さいほど性能は向上する。これら  $\sigma$ ,  $k_t$ ,  $k_c$  の値は各部寸法形状によって定まり、空気におけるこれらの値については石崎氏<sup>(3)</sup>が求めている。また、理論式の詳細については W. A. Wilson 氏<sup>(1)</sup>が解析している。

## 2.2 乱流理論

図5に示すように周縁にみぞを切った円板を回転させることによって、この回転車の周と外殻との間隙(げき)にある流体を擦(す)り動かし連れ去ろうという乱流特性による運動量伝達によって高圧を得るというのである。乱流理論による特性は(5)~(8)式で表わされる。

$$Q = \sqrt{\frac{2A^2 Z_c}{c_c \rho}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

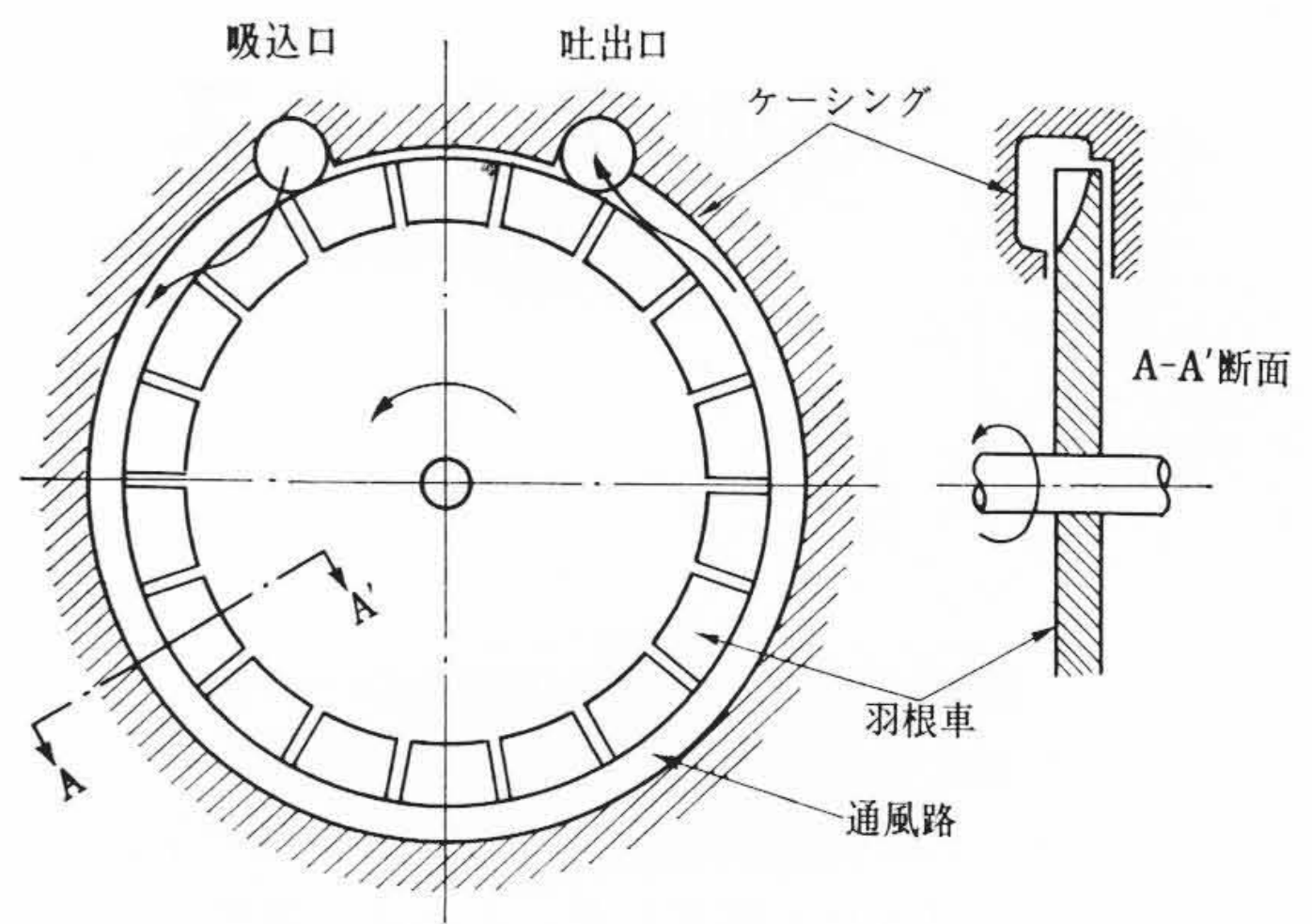


図4 通風路部形状

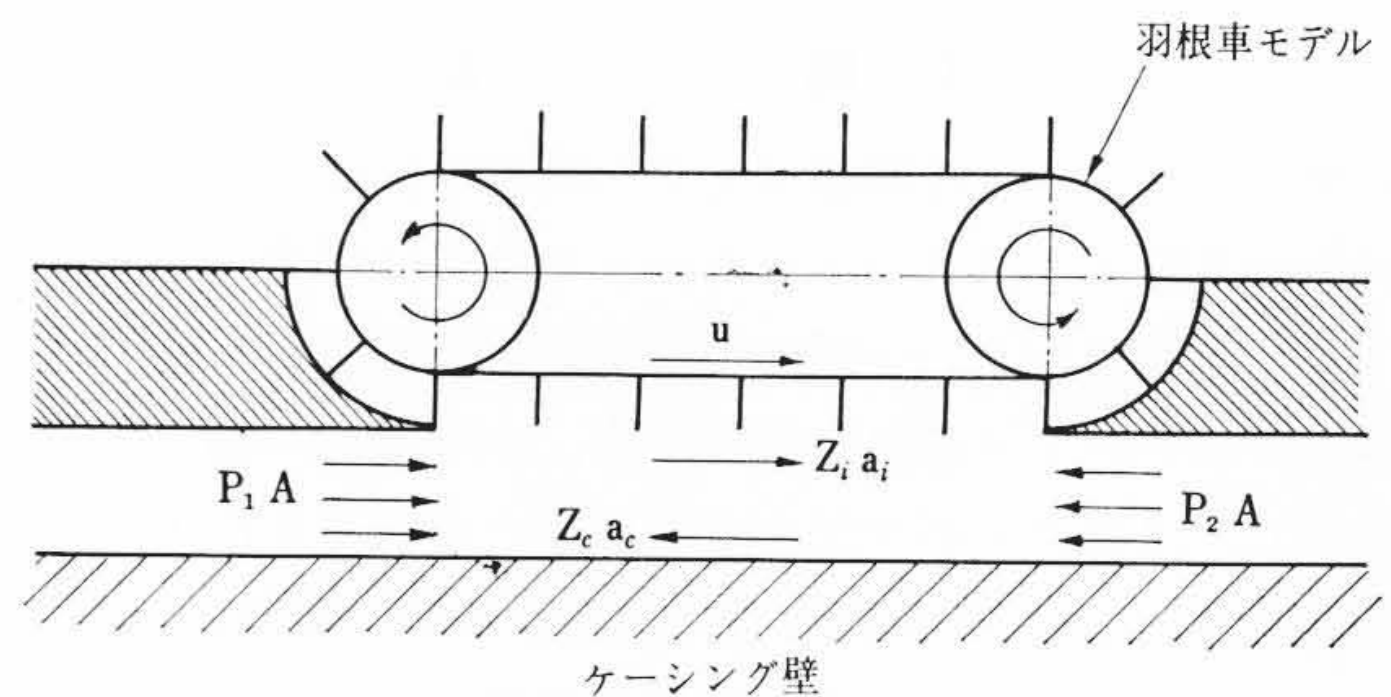


図5 渦流ブロワ解析モデル

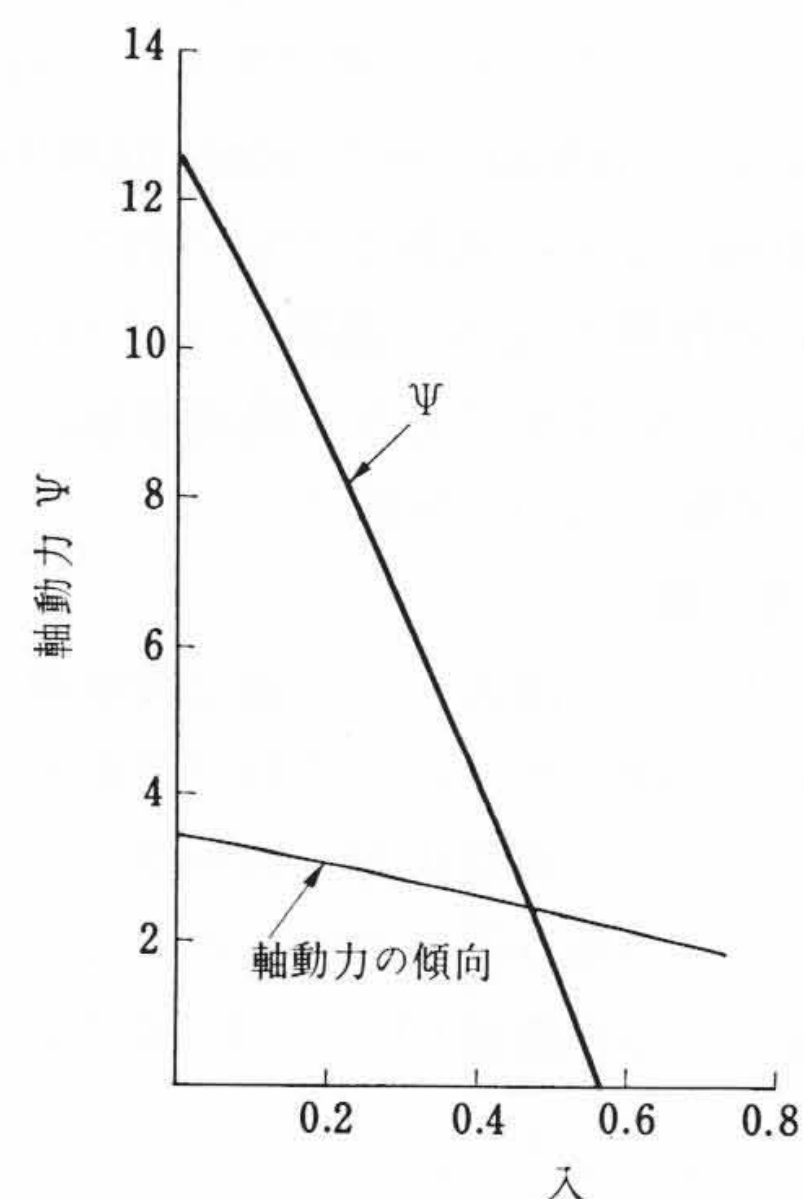


図6 無次元特性

$$\begin{aligned} P &= \frac{C_i a_i u^2}{2gA} \left[ \left( 1 - \frac{Q}{uA} \right)^2 - \frac{C_c a_c}{C_i a_i} \left( \frac{Q}{uA} \right)^2 \right] \\ &= \frac{\gamma u_2^2}{2g} \left[ \frac{k_c r_2 b_2 \theta}{A_c} \{ (1-\lambda)^2 - k_t \lambda^2 \} \right] \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$L = \frac{C_i a_i p u^3}{2} \left( 1 - \frac{Q}{uA} \right)^2 = k_c (1-\lambda)^2 \frac{r_2 b_2 \theta r u_2^3}{2g} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\eta = \frac{QrH}{L} = \frac{Q}{uA} \left[ 1 - \frac{C_c a_c}{C_i a_i} \left( \frac{Q}{uA} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、

$Q$ : 風量  $A \equiv A_c$ : 流路断面積  $\lambda$ : 流量係数  
 $P$ : 圧力  $Z_c$ : 壁からの剪(せん)断応力  
 $\phi$ : 圧力係数  $L$ : 軸動力

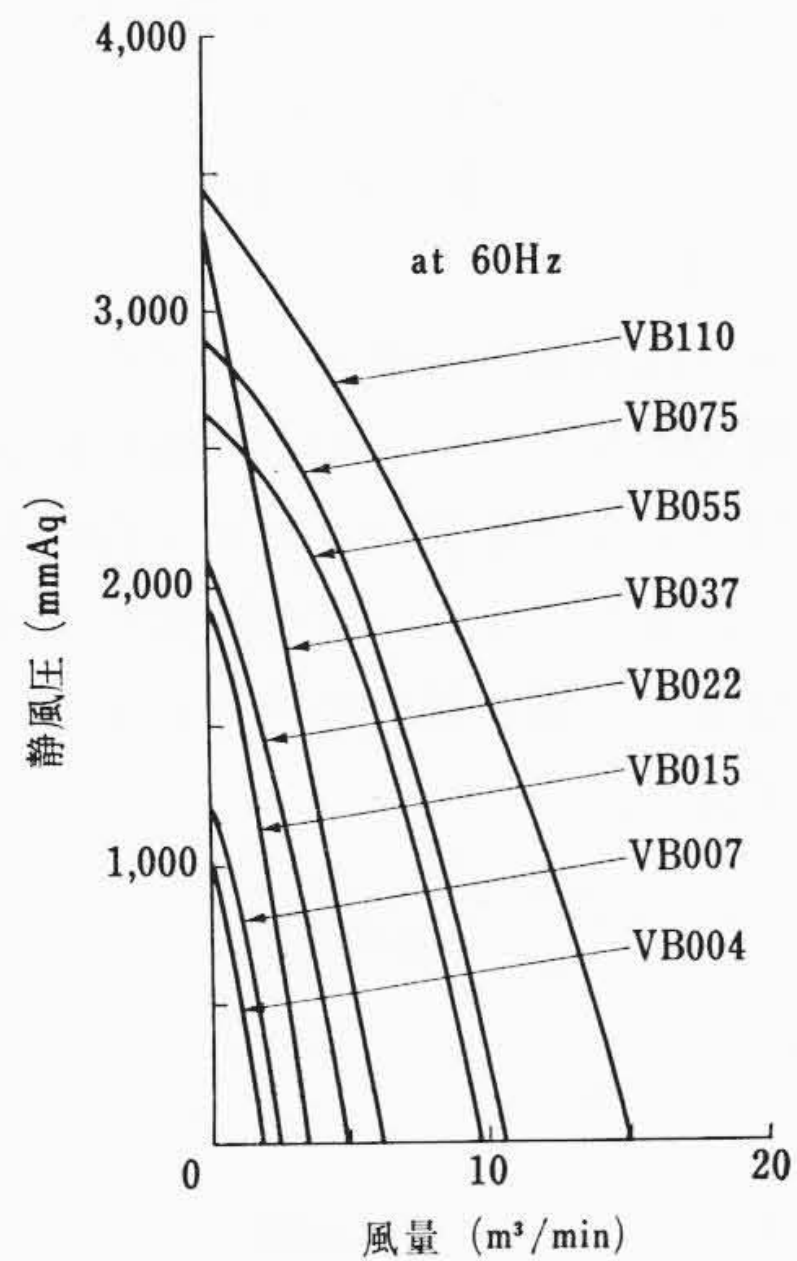


図7 ボルテックスブロワの風量-風圧特性

| 表1 ボルテックスブロワの仕様 |                                |
|-----------------|--------------------------------|
| 形番と出力           | VB 004 (0.4 kW)～VB 110 (11 kW) |
| 最大風量            | 1.35/1.6～12.5/15 (m³/min)      |
| 最大風圧            | 750/1,000～2,950/3,550 (mmHg)   |
| 極数              | 2 (P)                          |
| 周波数             | 50/60 (Hz)                     |
| 同期回転数           | 3,000/3,600 (rpm)              |
| 定格              | 連続                             |

$Z_i$ : 羽根車によるせん断応力  $u=u_2$ : 周速  
 $\eta$ : ファン効率  $a_c$ : 壁の有効面積  
 $\theta$ : 有効流路角  $a_i=r_2b_2\theta$ : 羽根車の  $Z_i$  にきく有効断面面積  
 $r_2$ : 羽根車半径  
 $\gamma$ : 比重  $k_i \equiv \frac{C_c a_c}{C_i a_i}$   
 $\rho$ : 密度  $k_c \equiv c_i$

(5)～(8)式中未知の係数は  $k_i$ ,  $k_c$  の2個となり再生理論の未知数3個の場合よりやや簡明である。実験結果の一例によると空気の場合,  $k_i=0.3\sim0.7$  程度となり  $k_c$  については  $0.5\sim1.5$  程度になり, 流路形状によって異なっている。また理論式の詳細については H. W. Iversen 氏<sup>(2)</sup> が解析している。

### 2.3 無次元特性と相似律

上記渦流理論をボルテックスブロワに適用し, 特性を無次元化するとほぼ図6のように表わされる。

$$\lambda = \frac{Q}{A_c} \dots\dots\dots (9)$$

$$\phi = \frac{P}{\gamma u_2^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$\mu = \frac{QP}{A_c \gamma u_2^2} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q \propto ND^3 \dots\dots\dots (12)$$

$$P \propto N^2 D^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$L \propto N^3 D^5 \dots\dots\dots (14)$$

## 3. ボルテックスブロワの紹介

### 3.1 仕様と特性

ボルテックスブロワの仕様を表1に示し, 特性を図7に示す。

### 3.2 構造

ボルテックスブロワの構造は, 図8に示すように大別してブロワ

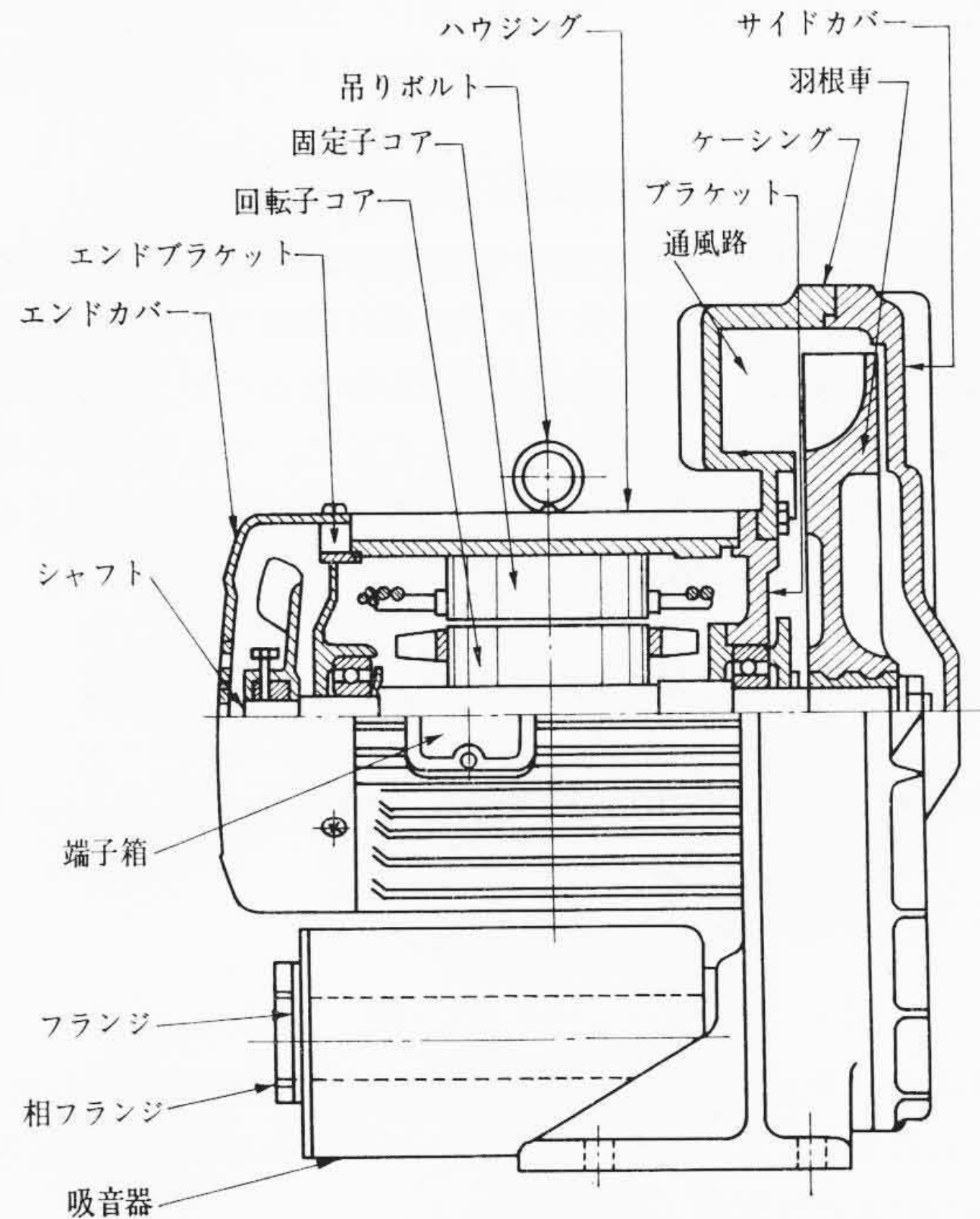


図8 ボルテックスブロワの構造

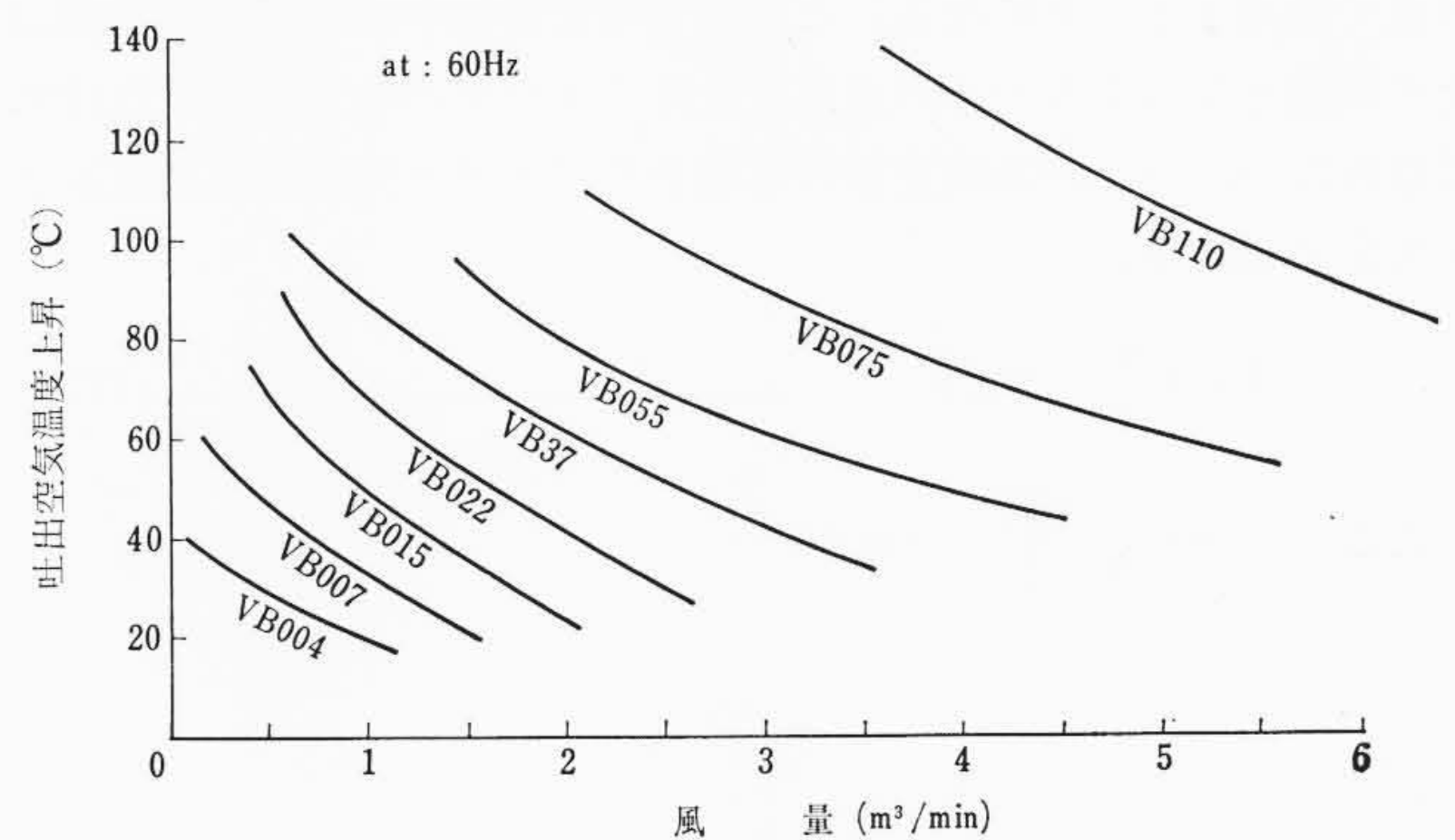


図9 吐出電気温度上昇曲線

部, モートル部, 吸音器部の三部分から構成されている。ブロワ部は約30～50枚の羽根を有する羽根車を囲んでケーシングとサイドカバーで通風路を形成しており, 放熱性および軽量化の面からアルミ合金鋳物製となっている。モートル部は全閉外扇形2極モートルで, 温度上昇が高いので, 大容量機種については, グリース交換形玉軸受を採用している。またモートルと平行配置された吸吐口には吸音装置が内蔵されている。

### 3.3 特長と用途

ボルテックスブロワの第一の特長は小形軽量でコンパクトなことである。吸吐口接続はフランジ配管, ネジ配管とも容易であり, しかも正逆回転双方とも同じ特性を有する。さらに簡単な構造で保守取扱いが容易である。そのほか数々の特長をもっているが, 現在までに小風量-高風圧特性を生かして開拓されたおもな用途としては次のようなものがあげられる。

プラスチック工業……粉粒体の空気輸送

繊維工業……糸の吸引保持, 風綿の吹き飛ばし, 縫製用布糸送り, 衣服プレス排気用

印刷工業……紙の吸着, 紙送り, エアクッション

食品機械工業……自動びん詰め用, ソーセージ皮むき用, 水滴除去, 食品の搬送

その他……加工物の保持, 部品吸着, 小形浄化槽(そう), 各種工業クリーナ用, 燃焼炉給気用

#### 4. 保護装置に関する考察

##### 4.1 温度上昇曲線と連続運転使用範囲について

ボルテックスブロワは締切り状態の高圧範囲でかなりの温度上昇が起こり連続運転にはじゅうぶん注意を要するので, 銘板刻印風量値よりも開放状態を連続使用範囲としている。ブロワ中での発熱量は, 断熱圧縮による発熱を無視し, 損失の大部分が発熱によるものとした場合, (15)~(16)によっても表わされる。

$$\text{発 熱 量: } q = 0.24 \frac{Q \times P(1-\eta)}{60 \times 102} \text{ (kcal/s) ... (15)}$$

$$\text{吐出空氣の温度上昇: } \Delta T = \frac{q}{GC_p} \text{ (°C) ..... (16)}$$

$$\text{ここで, } G = \frac{1.2 \times Q}{60} \text{ (kg/s)}$$

$\eta$ : 効 率  $C_p$ : 比 熱

図9はボルテックスブロワの吐出空氣温度上昇値を示したもので, これに示すように実際にはケーシング壁からの放熱があるため(15)~(16)式の計算値よりは低くなる。

なお, 管系の抵抗によって締切り付近が作動状態となる機会は少ないが, 取り扱う品物を吸着することで避けられない場合は締切り付近で使用するようになる。この場合は管路途中に連続使用範囲以上の風量となるようバイパス穴またはリリーフバルブを設けなければならない。バイパス穴を設ける場合のバイパス穴面積は次式によって定められる。

$$A = a \frac{q_2}{v} \text{ (m}^2\text{) ..... (17)}$$

$$\text{ここで, } v = \sqrt{\frac{2gP}{\gamma}} \text{ (m/s)}$$

$q_2 = Q - q_1$ : ブロワ風量と必要作動風量の差(バイパス穴を通る風量)

$\alpha$ : 流 量 係 数

##### 4.2 フィルタ

ボルテックスブロワは羽根車とケーシングを狭い間隙で保ち高い圧力をシールする構造になっているので, 粉体輸送などで吸引用として使用する場合はフィルタを設け, ブロワ内に異物がはいることを避けねばならない。またフィルタは(18)式に示すように圧力損失にならないよう, なるべく損失係数の小さいものとし広い面積をとるようにしたほうが良い。

$$\text{圧力損失: } P_h = \xi \frac{\gamma v^2}{2g} \text{ (mmAq) ..... (18)}$$

$$\text{ここで, } v = \frac{Q}{A} \text{ (m/s)}$$

$A$ : 風の通るフィルタ面積

$\xi$ : フィルタの損失係数

#### 5. 結 言

渦流式理論を空氣に適用した場合の諸係数値をは握し, 小形軽量にしてかつ簡明な構造で高風圧特性を有するブロワのシリーズ化を完成したので, その原理および製品について報告した。

最後に終始ご指導, ご協力いただいた日立製作所機械研究所の各位に対し深く感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- (1) W. A. Wilson: A Theory of the Fluid-Dynamic Mechanism of Regenerative Pumps
- (2) H. W. Iversen: Performance of the Periphery Pump
- (3) 石崎公祥: 渦流ブロワの開発, 日立製作所研究報告第1581号
- (4) 下坂 実: 渦流ポンプ特性の研究, 日本機械学会論文集, 25巻 157号

#### 第 32 卷

日

立

#### 第 10 号

目

次

・表 紙 / 日立展コンピュータツアーより  
 ・グ ラ フ / '70年代をひらく日立展  
 ・解 説 / 移り変る技術の進歩  
 ・解 説 / 画像通信時代  
 ・ル ポ / 京都市防災無線網

・ハ イ ラ イ ト / 米国ラディングトン向けポンプ水車  
 ケーシング  
 ・ル ポ / 伸びゆく新潟の素顔  
 ・ル ポ / サヨウナラ万国博  
 ・ホ ー ム サ イ エ ン ス

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号  
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地  
郵便番号 101

振替口座 東京 20018番