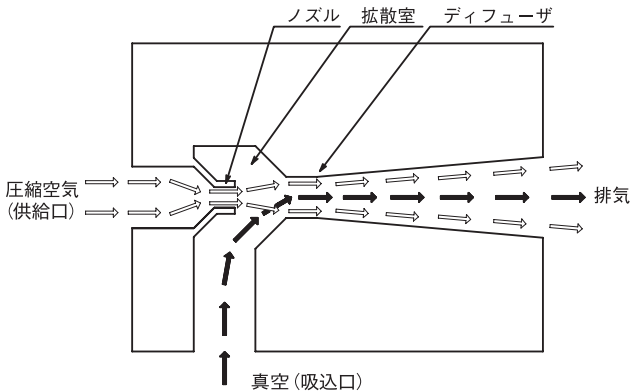


コンバム（真空エジェクタ）の原理

コンバムは圧縮空気を利用して真空（負圧）を発生させる真空発生機器です。圧縮空気をノズルから放出（エジェクト）させて真空を発生させることから「エジェクタ」又は「エジェクタポンプ」と呼ばれます。



コンバムの真空発生原理

- ① 圧縮空気を供給ポート（一次側）に供給すると、供給空気はノズルに導かれます。
- ② 圧縮空気はノズルで絞られ、拡散室に高速（音速）で放出され、膨張拡散しディフューザに流入します。
- ③ 高速流により拡散室の圧力が低下して（ベルヌーイの定理）、拡散室へ真空ポート（二次側）の空気が流入します。
- ④ 流入した二次側の空気はノズルから放出された圧縮空気と共にディフューザから大気へ放出されます。

図に示すように、真空発生部には可動部がない単純構造ですので、寿命がありません。

使用単位

圧力

1 MPa=1000kPa
1 Pa=1N/m²

流量

標準状態に換算して表示し（ANR）を使用する。
ℓ/min（ANR）

従来単位との換算

（網掛部分は従来単位）

kPa	MPa	bar	kgf/cm ²	mmHg
1	1×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1.019 ×10 ⁻²	7.501
1×10 ³	1	1×10	1.019 ×10 ⁻²	7.501 ×10 ³
1×10 ²	1×10 ⁻¹	1	1.019	7.501 ×10 ²
9.807 ×10	9.807 ×10 ⁻²	9.807 ×10 ⁻¹	1	7.355 ×10 ²
1.333 ×10 ⁻¹	1.333 ×10 ⁻⁴	1.333 ×10 ⁻³	1.359 ×10 ⁻³	1

力

N	kgf
1	1.019×10 ⁻¹
9.807	1

管用ねじ

ねじの呼び	ねじ山数	有効径（mm）
R、Rc1/8	28	9.147
R、Rc1/4	19	12.301
R、Rc3/8	19	15.806
R、Rc1/2	14	19.793
R、Rc3/4	14	25.279
R、Rc1	11	31.770

注）ねじ山数は25.4mmにつき

ねじ表示

	JIS	旧JIS	英規格	米規格
テーパ雄ねじ	R	PT	BSPT	NPT
テーパ雌ねじ	Rc	PT	BSPT	NPT
平行雌ねじ	Rp	PS	—	—
平行雄ねじ	G	PF	BSPP	NPTF
平行雌ねじ	G	PF	BSPP	NPTF

注）ISO規格にはJIS、英規格は対応しているが、米規格は対応していない。

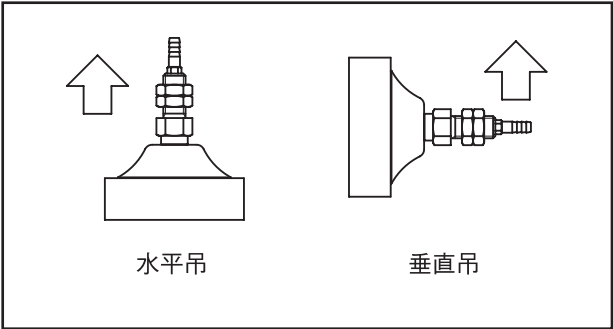
技術資料

選定

1. ワークの検討

下記の事項を検討してください。

- ① ワークの特性
表面状態、通気性の有無、嫌静電気、嫌銅イオン、形状が変化するか（紙、ビニール）
- ② ワークの形状
吸着面の大きさ、平坦度（曲面の度合い）、形（直方体、球体、円筒状）
- ③ ワーク質量
- ④ ワーク吊り上げ方向
水平吊り、垂直吊り



2. 真空パッドの選定

1) 真空圧力の設定

真空発生源の仕様から余裕をみて設定します。
コンバム（エジェクタ）の場合は、 -66.6kPa を目安にします。
ただし、ワークに通気性があったり、表面状態が粗い場合は真空圧力が上がりません。別途テストが必要になりますのでご相談ください。

2) 真空パッド径の算出

パッド形状が円形の場合、次の式よりパッド径を算出します。

$$D=2\sqrt{\frac{M\times 9.8\times S\times 1000}{\pi\times n\times P}}$$

D：必要パッド径（mm）
M：ワーク質量（kg）

S：安全係数 水平吊り：S=4
 垂直吊り：S=8
n：パッドの個数
P：真空圧力（ $-\text{kPa}$ ）

注）質量（M）に9.8Nをかけて必要吸着力とします。

ワークの吸着可能な寸法（面）を考慮して、カタログより求めた必要パッド径（D）以上のパッドを決定します。
パッドの外径は、吸着時に変形し10%程度大きくなります。ワークからパッドがはみ出さないように選定してください。
求めたパッド径がカタログ値を超えている場合は、パッドの数を2個以上にして算出ください。
パッド形状が円形でない場合はご相談ください。

計算例 水平吊り

丸形パッドの径を算出する。
ワーク質量：M=0.5 kg
真空圧力：P= -70 kPa
パッド個数：n=1個
安全係数：水平吊りなので：S=4

$$D=2\sqrt{\frac{M\times 9.8\times S\times 1000}{\pi\times n\times P}}$$
$$D=2\sqrt{\frac{0.5\times 9.8\times 4\times 1000}{\pi\times 1\times 70}}$$
$$=18.8\text{ (mm)}$$

パッド径φ20を選定する。

吸着面積は真空圧によりパッドが変形し、パッド径より小さくなります。変形度はパッド材質、形状、ゴム硬度により異なりますので、パッド径を算出する場合は余裕を持って行う必要があります。安全係数には変形分も含まれています。

吸着面積

吸着面積はパッド径から算出します。

$$A = \frac{3.14 \times D^2}{4 \times 100}$$

A：吸着面積（cm²）

D：パッド径（mm）

有効吸着面積

パッド径はパッド外径を表しておりますが、真空圧でワークを吸着すると、真空圧によりゴムが変形し吸着面積が縮小します。これを有効吸着面積といい、その時のパッド径を有効パッド径といいます。

有効パッド径は真空圧力、パッドゴムの肉厚、ワークとの摩擦係数などにより異なりますが、一般的な場合10%縮小することを見込んでください。

理論吊上げ力(吸着力)

1) 水平吊りの場合

真空圧から吊上げ力を算出します。

$$F = 0.1 \times A \times P$$

F：理論吊上げ力（N）

A：パッドの吸着面積（cm²）

P：真空圧力（-kPa）

2) 垂直吊りの場合

真空圧の吸着力とワークとパッドの吸着面の摩擦力が吸着保持する力（吊上げ力）になります。

$$F = \mu \times 0.1 \times A \times P$$

F：理論吊上げ力（N）

μ：摩擦係数

A：パッドの吸着面積（cm²）

P：真空圧力（-kPa）

摩擦力はワーク、パッドの材質、ワーク表面の面粗さなどで大きく変化します。実際にお使いになる場合は実測して求める方法をお奨めします。

理論吊上げ力(吸着力)

円形パッド

(N)

パッド径 (φmm)	吸着面積 (cm ²)	真空圧力(kPa)					
		-40	-50	-60	-70	-80	-90
2	0.031	0.126	0.157	0.188	0.220	0.251	0.283
3.5	0.096	0.385	0.481	0.577	0.673	0.770	0.866
5	0.196	0.785	0.982	1.178	1.374	1.571	1.767
6	0.283	1.131	1.414	1.696	1.979	2.262	2.545
8	0.503	2.011	2.513	3.016	3.519	4.021	4.524
10	0.785	3.142	3.927	4.712	5.498	6.283	7.069
15	1.77	7.069	8.836	10.60	12.37	14.14	15.90
20	3.14	12.57	15.71	18.85	21.99	25.13	28.27
25	4.91	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18
30	7.07	28.27	35.34	42.41	49.48	56.55	63.62
35	9.62	38.48	48.11	57.73	67.35	76.97	86.59
40	12.57	50.27	62.83	75.40	87.96	100.5	113.1
50	19.63	78.54	98.17	117.8	137.4	157.1	176.7
60	28.27	113.1	141.4	169.6	197.9	226.2	254.5
80	50.27	201.1	251.3	301.6	351.9	402.1	452.4
95	70.88	283.5	354.4	425.3	496.2	567.1	637.9
100	78.54	314.2	392.7	471.2	549.8	628.3	706.9
120	113.1	452.4	565.5	678.6	791.7	904.8	1017.9
150	176.7	706.9	883.6	1060	1237	1414	1590
200	314.2	1257	1571	1885	2199	2513	2827

楕円パッド

(N)

パッド径 (φmm)	吸着面積 (cm ²)	真空圧力(kPa)					
		−40	−50	−60	−70	−80	−90
2 × 4	0.071	0.286	0.357	0.428	0.500	0.571	0.643
3.5 × 7	0.219	0.875	1.094	1.312	1.531	1.750	1.968
4 × 10	0.366	1.463	1.828	2.194	2.560	2.925	3.291
4 × 20	0.766	3.063	3.828	4.594	5.360	6.125	6.891
4 × 30	1.166	4.663	5.828	6.994	8.160	9.325	10.49
5 × 10	0.446	1.785	2.232	2.678	3.124	3.571	4.017
5 × 20	0.946	3.785	4.732	5.678	6.624	7.571	8.517
5 × 30	1.446	5.785	7.232	8.678	10.12	11.57	13.02
6 × 10	0.523	2.091	2.614	3.136	3.659	4.182	4.705
6 × 20	1.123	4.491	5.614	6.736	7.859	8.982	10.10
6 × 30	1.723	6.891	8.614	10.34	12.06	13.78	15.50
8 × 20	1.463	5.851	7.313	8.776	10.24	11.70	13.16
8 × 30	2.263	9.051	11.31	13.58	15.84	18.10	20.36

3) パッド材質

使用条件、使用流体、雰囲気により適切な材質を選定します。主な特性は下記の表を参照してください。詳細はお問い合わせください。

この他、吸着跡のつきにくいゴム、耐熱温度300℃のシリコンゴム、抗菌シリコンゴム、非粘着処理ゴム、水素添加ニトリルゴム（HNBR）、エチレンプロピレンゴム（EPDM）も製作いたしますのでご相談ください。

材質	対象ワーク
NBR	一般ワーク
シリコンゴム	半導体、薄物、食品、成形品
ウレタンゴム	鉄板、ベニヤ板、ダンボール
フッ素ゴム	薬品
導電性NBR	半導体
導電性シリコンゴム	半導体

項目 材質	硬度 HS	使用温度 範囲 ℃	特性							
			耐油性	耐候性	耐オゾン性	耐酸性	耐アルカリ性	耐摩耗性	電気 絶縁性	耐気体 透過性
NBR	55	−30~120	◎	×	×	△	○	◎	×	○
シリコンゴム	55	−60~250	△	◎	◎	△	○	×	◎	×
ウレタンゴム	55	−20~75	△	◎	◎	×	×	◎	○	○
フッ素ゴム	70	−10~230	◎	◎	◎	◎	△	○	◎	◎
クロロプレンゴム	15	−30~130	○	○	◎	○	◎	○	○	○
天然ゴム	40	−60~80	×	△	×	○	○	×	◎	△

◎：優 ○：良 △：可 ×：不可
注）ゴム硬度はパッドで使用している標準的な硬度です。
この表は天然ゴム、合成ゴムの一般的特性を示したものです。

4) パッドの形状

ワークの形状、材質によりパッドの形状を選択します。
実際にサンプルにて吸着テストを行う必要がある場合はご相談ください。

パッド形状	対象ワーク
平形	一般的なワーク ワーク表面が平らで変形が小さいワーク
深形	球形ワーク
ジャバラ形	パッドでバッファ機能を行う場合 ワーク吸着面が斜めの場合

その他ワークにあわせたパッドを製作いたします。ご相談ください。

3. コンバム（エジェクタ）の選定

1) ノズル径の決定

- ① 吸込量
特性表から、必要な吸込量よりノズル径を選択します。
- ② 真空到達時間
特性表からノズル径を選択します。ただし、配管内径が太い場合、配管長さが長い場合は真空到達時間は長くなりますので、余裕をみて選定します。
- ③ パッド径
通気性ワークなど漏れの少ない標準的なワークで、パッド1個の場合の目安は次表を参照してください。

パッド径	ノズル径
φ80以下	φ0.5
φ150以下	φ1.0
φ200以下	φ1.5

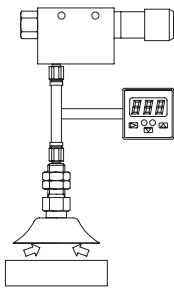
漏れのあるワークの場合は1ランク以上のノズル径を選定してください。

- ④ パッドの個数
パッドを複数個使用する場合は1ランク以上のノズル径を選定してください。

テストによる漏れ量の算出

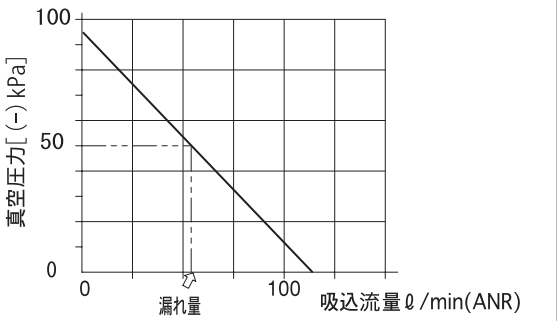
ワークの漏れ量は、真空パッド、コンバム（エジェクタ）を設定して、真空センサを取り付けてサンプル試験をすることにより測定することができます。

試験回路



コンバムCV-20HSでワークを吸着したところ、圧力センサの圧力が-50kPaとなった。このときのパッドとワークからの漏れ量は？

吸込流量－真空圧力特性より漏れ量を算出する。



-50kPa時の流量を読み取り、45 ℓ／min（ANR）
これがパッド、ワーク間の漏れ量となる。

2) 真空タイプの決定

真空タイプを決定します。

① 重量物ワーク：圧力形 Hタイプ

鉄板など重量物の場合は、吸込量は少ないが到達真空度の高いHタイプを選定します。

② 通気性ワーク：流量形 Lタイプ

ダンボール紙など通気性のあるワークの場合は、到達真空度は低いが吸込量の多いLタイプを選定します。

3) 定格圧力タイプの選定

定格圧力から選定します。供給空気圧はコンバム作動時の圧力で設定してください。

定格圧力	供給空気圧タイプ
0.5MPa	S
0.35MPa	R

4) 流路状態

電磁弁搭載形の場合、流路状態を選定します。

① 常時閉タイプ

電磁弁ON時（通電時）に真空を発生します。

② 常時開タイプ

電磁弁OFF時（非通電時）に真空を発生します。

5) オプション

ユニットタイプの場合は次のようなオプションがありますので、個別の仕様を確認の上選定します。

- ① 圧力・真空センサ
- ② 真空破壊機能
- ③ 真空用フィルタ
- ④ サイレンサ
- ⑤ その他

4.吸着時間（真空到達時間）の算出

1) コンバム使用時

コンバム使用時にパッドで吸着する場合、コンバムへの空気圧供給用電磁弁をON（通電）後、パッド内の真空圧力が一定の真空圧力に到達するまでの時間（真空到達時間）は次の式で算出します。

$$T= (V/C)^{1/\alpha}$$

- T：真空到達時間（s）
- V：コンバムからパッドまでの配管容積（ℓ）
- C：最高真空圧力による常数（表1参照）
- α：コンバムタイプによる係数（表1参照）

注）この計算式は実験により求められたもので、計算値はあくまでも目安としてください。

計算例

φ10の円形パッドに内径φ4長さ1mのウレタンチューブを使用してコンバムで吸着時間（-80kPaに到達する時間）を算出する。

1) 配管容積を求める。

$$V= \frac{\pi \times d^2 \times L}{4 \times 1000}$$

- V：配管容積（ℓ）
- d：配管内径（cm）
- L：配管長さ（cm）

$$V= \frac{\pi \times 0.4^2 \times 100}{4 \times 1000}$$

$$= 0.012 \text{ (ℓ)}$$

2) 真空到達時間の算出

コンバムはHタイプ、ノズル径φ0.5とした。
表より、φ0.5、真空圧-80 kPaの場合
C=0.05、α=1.02

真空到達時間は

$$T = (V/C)^{1/\alpha}$$

$$= (0.012/0.05)^{1/1.02}$$

$$= 0.23 \text{ (s)}$$

表1 コンバムC、α一覧表
圧力形(Hタイプ)

真空 タイプ	定格圧力 タイプ	ノズル径	C						α
			真空圧 (kPa)						
			−40	−50	−60	−70	−80	−90	
H	S	φ0.5	0.19	0.12	0.08	0.07	0.05	0.03	1.02
	S	φ0.7	0.42	0.25	0.15	0.12	0.09	0.06	1.02
	S	φ1.0	0.83	0.50	0.33	0.26	0.20	0.12	1.09
	S	φ1.3	1.50	0.92	0.53	0.41	0.28	0.18	1.03
	S	φ1.5	1.85	1.17	0.76	0.60	0.45	0.25	1.00
	R		1.75	1.10	0.65	0.55	0.39	0.24	1.06
	S	φ2.0	3.80	2.30	1.45	1.10	0.86	0.62	1.09
	R		2.85	1.75	1.00	0.80	0.58	0.37	1.17
	S	φ2.5	6.10	3.51	2.11	1.61	1.14	0.69	1.00
	S	φ3.0	10.3	5.70	3.15	2.45	1.60	0.97	1.00

流量形(Lタイプ)

真空 タイプ	定格圧力 タイプ	ノズル径	C			α
			真空圧 (kPa)			
			−40	−50	−60	
L	S	φ0.5	0.26	0.18	0.11	1.06
		φ0.7	0.71	0.50	0.31	1.02
		φ1.0	0.90	0.60	0.25	1.09
		φ1.3	1.60	1.00	0.50	1.09
		φ1.5	2.30	1.60	0.74	1.09
		φ2.0	3.60	2.40	1.00	1.09
		φ2.5	6.80	4.72	3.27	1.00
		φ3.0	10.0	7.40	4.88	1.00

Q (大容量) タイプ

真空 タイプ	供給 空気圧 タイプ	ノズル径	C	α
			真空圧 (kPa)	
			−40	
Q	S	φ1.0	1.30	1.00
		φ1.5	4.00	1.00
	R	φ1.0	1.00	1.00
		φ1.5	3.20	1.00

2) 真空ポンプ使用の場合

真空ポンプ使用時パッドで吸着する場合、真空切換用電磁弁をON（通電）後、パッド内の真空圧力が一定の真空圧力に到達するまでの時間（真空到達時間）は次の式で算出します。

$$T = 2.3 \times \alpha \times (V/Q) \times 60 \times \text{Log} (101 / (101 - P)) \\ = 2.53 \times (V/Q) \times 60 \times \text{Log} (101 / (101 - P))$$

T：真空到達時間（s）

V：真空ポンプまたは真空切換弁からパッドまでの配管容積（ℓ）

Q：切換弁又は真空ポンプのどちらか少ないほうの吸込み流量（ℓ/min）

$$V = \frac{\pi \times d^2 \times L}{4 \times 1000}$$

V：配管容積（ℓ）

d：配管内径（cm）

L：配管長さ（cm）

P：到達真空圧力（−kPa）

α：係数（≒1.1）

注）この計算式による計算値はあくまでも目安としてください。

計算例

Φ10の円形パッドに内径Φ4長さ1mのウレタンチューブを使用して切換弁ユニット MPV3での吸着時間（－80kPaに到達する時間）を算出する。

1) 配管容積を求める。

$$V = \frac{\pi \times d^2 \times L}{4 \times 1000}$$

V：配管容積（ℓ）

d：配管内径（cm）

L：配管長さ（cm）

$$V = \frac{\pi \times 0.4^2 \times 100}{4 \times 1000}$$

$$= 0.012 \text{ (ℓ)}$$

2) 真空到達時間の算出

カタログより

吸込み量：Q = 50（ℓ/min）

到達真空圧力：－80（kPa）

$$\begin{aligned} T &= 2.53 \times (V/Q) \times 60 \times \log(101 / (101 - P)) \\ &= 2.53 \times (0.012 / 50) \times 60 \times \log(101 / (101 - 80)) \\ &= 0.024 \text{ (s)} \end{aligned}$$

5.パッド金具の選定

1) パッド取付け金具

パッドと組み合わせて使用する金具は次の種類から使用目的に合わせて選定します。

1) 固定式金具

一般的に使用します。

2) スプリング式金具

スプリングによるバッファ機構付の金具です。ワークの破損防止などストロークに余裕をもちたい場合に有効です。

ジャバラ形パッドによるバッファ機能では十分にカバーできない場合に有効です。

3) 回り止め式金具

バッファ機構に回り止め機構を付加した金具です。

ワークの吸着位置を保持したい場合に使用します。

その他、首振り形、ガイド付なども製作可能です。

2) ポート取り出し位置

金具のポート位置により次の種類から選定します。

① ポート縦取り出し

金具の軸端にポートが設けられています。

② ポート横取り出し

金具のサイド面にポートが設けられています。

3) ポート継手

ポートサイズ及び配管径に合わせて選定します。ポートサイズがM3、M5の場合はプッシュイン（インスタント）継手、バーブ継手をオプションで準備しております。

6.配管

1) パッドへの真空回路の配管

真空圧の場合、圧力の高い正圧と比較して、配管抵抗などの影響されやすい特性をもっております。特に真空到達時間は配管の内径と長さにより大きく影響されます。できるだけ配管容積が小さくなるような配管を選定します。

真空パッドとコンバム又は真空切換弁の間はできるだけ短くすることが肝要です。

2) コンバムへの正圧供給配管

コンバムへは消費空気量を十分カバーできる内径を持った配管を選定します。

次の表を目安にして選定します。

コンバム ノズル内径 (mm)	ナイロン チューブ (外径×内径)	ウレタン チューブ (外径×内径)
φ0.5	φ6×4	φ6×4
φ0.7	φ6×4	φ6×4
φ0.9	φ6×4	φ6×4
φ1.0	φ6×4	φ6×4
φ1.5	φ8×6	φ8×5
φ2.0	φ8×6	φ10×6.5
φ2.5	φ10×7.5	φ12×8
φ3.0	φ10×7.5	φ12×8

7.コンバム供給用電磁弁

コンバムの消費空気量を満足する有効断面積を持った電磁弁を選定します。選定の目安はコンバムのノズル径の断面積の3倍以上の有効断面積を持った電磁弁を選定します。

おおよその目安を下表に示します。

コンバム ノズル径 (mm)	推奨電磁弁の 有効断面積 (mm ²)
φ0.5～1.0	3以上
φ1.3～1.5	7以上
φ2.0	12以上
φ2.5	18以上
φ3.0	25以上

8.コンプレッサ

コンバムによる消費空気量を安定して供給できる容量のコンプレッサを選定します。

空気消費量とコンプレッサの消費電力の目安は、レシプロ式の場合80ℓ/min (ANR) が735Wに相当しますので、次の式で算出したコンプレッサの相当電力以上のコンプレッサを選定します。

$$W=735 \times R / 100 \times (Q / 80)$$

W：コンプレッサの相当電力 (W)

R：コンバムの稼働率 (%)

$$R=T / 60 \times 100$$

T：1分間当たりの稼働時間 (s)

Q：コンバムの消費空気量 (ℓ/min (ANR))

計算例

コンバムユニットMC2-10HSの5連マニホールドを5セット使用している。使用圧力は0.5MPa、コンバムは10秒稼働し、20秒休止している。この時のコンプレッサを選定する。

コンバムの稼働率は、1分間に20秒稼働しているので

$$R=20 / 60 \times 100$$

$$=33.3 (\%)$$

消費空気量はカタログより

1台当たり

$$Q=44 (\ell / \text{min})$$

5連、5セットですので、総消費空気量は

$$Q=44 \times 5 \times 5$$

$$=1100 (\ell / \text{min (ANR)})$$

コンプレッサの相当電力は

$$W=735 \times R / 100 \times (Q / 80)$$

$$=735 \times (33.3 / 100) \times (1100 / 80)$$

$$=3365 (\text{W})$$

$$=3.3 (\text{kW})$$

約3.3kWのコンプレッサを選定します。

機器の流量特性

1. 有効断面積からの流量計算

空気圧機器にかかる空気圧力によって計算式が異なります。

機器の上流側と下流側の圧力比から判定し、式を選びます。

$$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} \leq 0.5 \text{ (チョーク流れ) のとき}$$

$$Q=120S (P_1+0.1) \sqrt{\frac{293}{273+t}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} > 0.5 \text{ (亜音速流れ) のとき}$$

$$Q=240S \sqrt{(P_2+0.1)(P_1-P_2)} \sqrt{\frac{293}{273+t}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

※S：有効断面積[mm²]

P₁：機器の上流側ゲージ圧[MPa]

P₂：機器の下流側ゲージ圧[MPa]

t：供給空気温度[℃]

2. 音速コンダクタンスと臨界圧力比からの流量計算

機器の流量[Q]を求める式は

$$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} \leq b \text{ (チョーク流れ) のとき}$$

$$Q=600 \times C (P_1+0.1) \sqrt{\frac{293}{273+t}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} \geq b \text{ (亜音速流れ) のとき}$$

$$Q=600 \times C (P_1+0.1) \sqrt{1 - \left[\frac{\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} - b}{1-b} \right]^2} \sqrt{\frac{293}{273+t}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

※C：音速コンダクタンス[dm³/(S・bar)]

b：臨界圧力比[単位なし]

※計算例

A. 有効断面積4mm²の電磁弁に0.3MPaの空気圧を供給し、下流側を大気に開放する。弁を開いたときの流量を求めよ。（供給空気温度は20℃とする）

電磁弁の上流側・下流側の圧力比は

$$\frac{0+0.1}{0.3+0.1} = 0.25$$

圧力比が0.5より小さい場合、流路はチョーク流れとなるので（1）式に条件を代入する。

$$120 \times 4 (0.3+0.1) \sqrt{\frac{293}{273+20}} = 192 [\text{dm}^3/\text{min}]$$

B. 音速コンダクタンスが2.0、臨界圧力比が0.3の電磁弁に0.5MPaの空気圧を供給する。下流側配管を0.2MPaとしたときの流量を求めよ。（供給空気温度は20℃とする）

電磁弁の上流側・下流側の圧力比は

$$\frac{0.2+0.1}{0.5+0.1} = 0.5$$

臨界圧力比より大きくないので亜音速流れである。（4）式に代入し、

$$600 \times 2.0 (0.5+0.1) \sqrt{1 - \left[\frac{\frac{0.2+0.1}{0.5+0.1} - 0.3}{1-0.2} \right]^2} \sqrt{\frac{293}{273+20}}$$

$$= 600 \times 1.2 \times \sqrt{\frac{5}{16}} \times \sqrt{1}$$

$$= 402.5 [\text{dm}^3/\text{min}]$$