

冷凍用自動制御機器

目 次

ま え が き	松 岡 文 雄	
1. 膨 張 弁		(1)
1.1 概 説	新 井 士 朗	(1)
1.2 温度自動膨張弁およびディストリビュータ		(6)
1.2.1 温度自動膨張弁の働き	新 井 士 朗	(6)
1.2.2 膨張弁の均圧方式	新 井 士 朗	(8)
1.2.3 ディストリビュータ	隅 田 嘉 裕	(10)
1.2.4 各種感温筒封入方式	新 井 士 朗	(11)
1.2.5 構造	新 井 士 朗	(15)
1.2.6 使用上の注意	新 井 士 朗	(20)
1.2.7 容量表および外形寸法	新 井 士 朗	(22)
1.3 定圧膨張弁	新 井 士 朗	(22)
1.4 キャピラリーチューブ	高 雷	(24)
1.5 電子膨張弁	新 井 士 朗	(33)
付表1-1 温度膨張弁の容量および寸法	新 井 士 朗	(36)
付表1-2 定圧膨張弁の容量および寸法	新 井 士 朗	(80)
付表1-3 電子膨張弁の容量および寸法	新 井 士 朗	(82)
2. 電 磁 弁		(91)
2.1 概 説	森 田 紀 幸	(91)
2.2 種 類	森 田 紀 幸	(91)
2.3 使用例ならびに使用上の注意		(96)
2.3.1 液 冷 媒 用	小谷津 雅 隆	(96)
2.3.2 高圧ガス冷媒用	三重野 純	(99)
2.3.3 吸入ガス冷媒用	木 幡 至 宏	(100)
2.3.4 水, ブライン用	木 幡 至 宏	(100)
2.3.5 取り扱い上の注意	森 田 紀 幸	(102)
2.4 容量および寸法	森 田 紀 幸	(102)
付表2-1 電磁弁の容量および寸法	森 田 紀 幸	(103)
3. 四方切換弁		(109)
3.1 概 説	森 田 紀 幸	(109)
3.2 種 類	森 田 紀 幸	(109)
3.3 使用例ならびに使用上の注意	隅 田 嘉 裕	(111)
3.4 容量および寸法	森 田 紀 幸	(112)
付表3-1 四方切換弁の容量および寸法	森 田 紀 幸	(113)
4. 圧力調整弁		(116)
4.1 概 説	新 井 士 朗	(116)
4.2 種 類	新 井 士 朗	(116)
4.3 使用例ならびに使用上の注意		(127)
4.3.1 蒸発圧力調整弁	古 屋 浩 志	(127)
4.3.2 吸入圧力調整弁	小谷津 雅 隆	(131)
4.3.3 高圧圧力調整弁	三重野 純	(132)
4.4 構造, 容量および寸法表	新 井 士 朗	(134)
付表4-1 圧力調整弁の構造, 容量および寸法	新 井 士 朗	(135)

5. 冷媒液面制御器	(153)
5.1 概 説	田 代 英 史 (153)
5.2 フロートスイッチ	岩 下 友 彦 (154)
5.3 特殊液面制御器	鶴 見 博 文 (160)
6. その他の制御機器	小 堺 紳 (165)
6.1 圧力センサ	(165)
6.2 圧力スイッチ	(168)
6.3 自動制水弁	(176)
6.4 サーモスタット(温度スイッチ)	(185)
7. 安全装置	(204)
7.1 安 全 弁	小 堺 紳 (204)
7.2 高圧圧力スイッチ	小 堺 紳 (208)
7.3 低圧圧力スイッチ	小 堺 紳 (213)
7.4 油圧保護スイッチ	小 堺 紳 (218)
7.5 可 溶 栓	梅 澤 仁 志 (221)
7.6 断 水 ス イ ッ チ	小 堺 紳 (221)
7.7 安全装置の作動圧力	橋 本 公 秀 (226)
7.8 設計圧力, 許容圧力, 試験圧力および 安全装置作動圧力の関係	橋 本 公 秀 (227)
8. 配管付属品	(229)
8.1 止 め 弁	梅 澤 仁 志 (229)
8.2 逆 止 め 弁	梅 澤 仁 志 (231)
8.3 フィルタドライヤ	梅 澤 仁 志 (232)
8.4 ス ト レ ー ナ	梅 澤 仁 志 (234)
8.5 サイトグラス	梅 澤 仁 志 (235)
8.6 アキュムレータ	梅 澤 仁 志 (236)
8.7 配管接続法	古 川 亮 太 (236)
付表8-1 配管付属品	梅 澤 仁 志 (242)
9. 冷媒制御方式	(248)
9.1 ポンプダウン制御	山 下 哲 也 (248)
9.2 デフロスト制御方式	山 下 哲 也 (251)
9.3 容量制御方式	隅 田 嘉 裕 (255)
9.4 ウインタコントロール方式	佐 藤 圭 一 (257)
9.5 液ポンプ方式	新 井 豊 (260)
9.6 満液式蒸発器	岸 本 啓 (264)
10. 海外規格・規制について	新 井 士 朗 (266)
10.1 概 説	(266)
10.2 CEマーキングについて	(266)
10.3 CEマーキング適合宣言書	(270)
10.4 IEC/EN規格のポイント	(270)
10.5 ULについて	(278)
10.6 CSAについて	(281)
10.7 CCCとCQCについて	(282)
10.8 韓国KCマーク	(283)
10.9 海外規格・規制の将来	(284)

1. 膨 張 弁

1.1 概 説

膨張弁は、冷凍システムにおいて冷媒流量の制御を行う最も重要な役割をもっている。

それは冷凍システムにおいての圧縮機容量、蒸発器による熱吸収の割合、凝縮器による熱放出の割合、冷媒流量の割合によって均衡を保つからである(図1.1)。

普通冷凍システムでは圧縮機の最大容量に合わせて熱交換器は選択構成されていると仮定すれば、冷媒の流量制御は圧縮機の容量に合致しなければならない。

一般に使用されている圧縮機はどのようなシステムで、どのような容量制御を行うかによってその能力は異なるため、そのシステムに応じた流量制御によって常に安全、かつ効果的に運転しなければならない。

器内部において最適な流量を確保することであり、冷却負荷の増減によって変化する圧縮機の容量に合わせて、吸込まれる冷媒ガスの過熱度を一定範囲内に保持し、液戻り、異常過熱を防止することである。

(2) 膨張弁の能力計算

膨張弁の口径を通る冷媒の量については冷凍機械工学ハンドブック¹⁾によると次式によって示されている。

$$M=720C_D A \sqrt{2g\rho(P_1-P_2)}$$

M ：冷媒の流量 (lb/min)

ρ ：弁の入口における冷媒液の密度 (lb/ft³)

g ：重力の加速度 (= 32.2 ft/sec²)

C_D ：流出係数

A ：弁の流出面積 (ft²)

P_1 ：膨張弁入口圧力 (lb/in²·G)

P_2 ：膨張弁出口圧力 (lb/in²·G)

研究結果における流出係数 C_D は

$$C_D = 0.0802 \sqrt{\rho_1} + 0.0396 V_2$$

ρ_1 ：膨張弁入口における液冷媒の密度 (lb/ft³)

1.1.1 膨張弁の働き、および能力の計算

(1) 膨張弁の働き

膨張弁の主目的は、凝縮器から出た高温高压の液冷媒を断熱膨張により蒸発しやすい状態に減圧し、蒸発

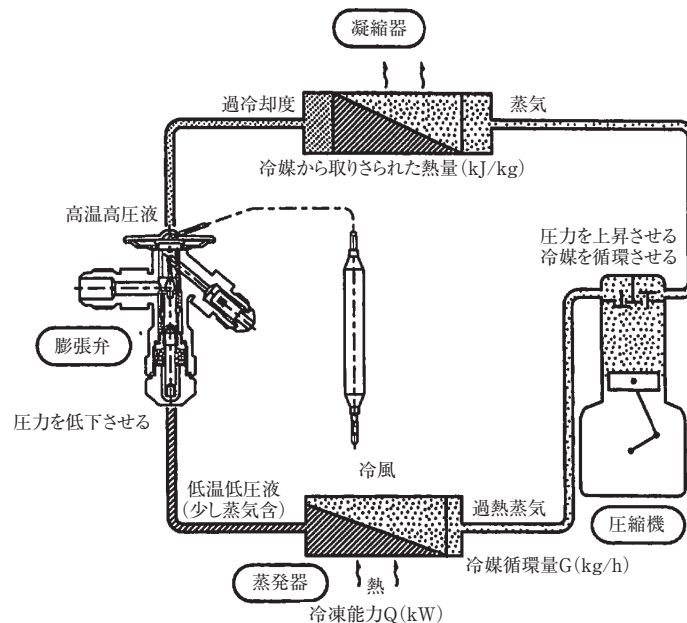


図1.1 膨張弁と冷凍サイクル

V_2 : 膨張弁出口圧力における冷媒（液、ガス混合物）の比体積（ ft^3/lb ）

これらの式をメートル法単位に換算すると、通常運転の範囲では、

$$R22 : M = 5470 C_D A \sqrt{P_1 - P_2}$$

$$R717(\text{NH}_3) : M = 3880 C_D A \sqrt{P_1 - P_2}$$

$$C_D = 0.02005 \sqrt{\rho_1 + 0.634 V_2}$$

$$R22 \quad C_D = 0.65 \sim 0.85$$

$$R717(\text{NH}_3) \quad C_D = 0.5 \sim 0.8$$

R22 について上式をまとめると、

M : 冷媒の流量（ kg/h ）

Q : 冷凍能力（ kcal/h ）

h_1 : 膨張弁直前温度における液のエンタルピー（ kcal/kg ）

h_2 : 蒸発器出口のガスのエンタルピー（ kcal/kg ）

q : 冷凍効果（ kcal/kg ）

A : 弁の流出面積（ cm^2 ）

P_1 : 膨張弁入口圧力（ kg/cm^2 ）

P_2 : 膨張弁出口圧力（ kg/cm^2 ）

ρ_1 : 膨張弁入口における液化冷媒の比重（ kg/m^3 ）

V_2 : 膨張弁出口圧力における冷媒（液・ガス混合物）の比体積（ m^3/kg ）

$$M = 5470 (0.02005 \sqrt{\rho_1 + 0.634 V_2}) A \sqrt{P_1 - P_2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$M = Q/q \quad \dots\dots\dots(2)$$

式(1)と(2)より

$$A = Q/5470 (0.02005 \sqrt{\rho_1 + 0.634 V_2}) q \sqrt{P_1 - P_2} \quad (\text{cm}^2) \quad \dots\dots\dots(3)$$

SI 単位に換算すると、

M : 冷媒の流量（ kg/h ）

Q : 冷凍能力（ kW ）

h_1 : 膨張弁直前温度における液のエンタルピー（ kJ/kg ）

h_2 : 蒸発器出口のガスのエンタルピー（ kJ/kg ）

q : 冷凍効果（ kJ/kg ）

A : 弁の流出面積（ mm^2 ）: 実際の弁サイズに合わせた

P_1 : 膨張弁入口圧力（ MPa ）

P_2 : 膨張弁出口圧力（ MPa ）

ρ_1 : 膨張弁入口における液化冷媒の比重（ kg/m^3 ）

V_2 : 膨張弁出口圧力における冷媒（液・ガス混合物）の比体積（ m^3/kg ）

これらより、R22 について上式をまとめると、

$$M = 174.7 C_D A \sqrt{P_1 - P_2} \quad \dots\dots\dots(1')$$

式(1')と(2)より

$$A = Q/174.7 (0.02005 \sqrt{\rho_1 + 0.634 V_2}) q \sqrt{P_1 - P_2} \quad (\text{mm}^2) \quad \dots\dots\dots(3)'$$

式(3)および(3')により弁の有効面積が算出される。

したがって、弁揚程（弁リフト）および針弁角度（ニードル角度）が決定されることにより口径が算出される。

実務的には、JIS B8619「冷媒用温度自動膨張弁－性能試験方法」に従って実流量を測定し、弁部形状/寸法を決め、能力を検証している。

通常膨張弁の形状および接手が同一の場合においては弁開度（過熱度）特性も等しくしてあり、そのため弁能力の区別は口径の大きさによって決定されることが最も多い。

実際に膨張弁（バルブ）を選択する場合は、製作メーカーのカatalog内に表示されている能力（ kW 数や冷凍トン数）によって知ることができる。

1冷凍トン当りの熱量は、米国冷凍トン（USRt）では $3024 \text{ kcal/h} = 3.516 \text{ kW}$ 、日本冷凍トン（JRt）では $3320 \text{ kcal/h} = 3.861 \text{ kW}$ であることはすでに周知のとおりであるが、通常「冷凍トン」とは米国冷凍トンが使われている。1冷凍トンに相当する冷媒の循環量は凝縮温度および蒸発温度によって異なる。一般に蒸発温度一定とし、凝縮温度が上昇するに従いトン数当りの流量および重量は増加し、また、この傾向と同じ状態は凝縮温度一定で蒸発温度が下降した場合も同様である。

1 冷凍トン当りの冷媒循環量を求めると、

$$q = h_2 - h_1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$M = Q/q \quad \dots\dots\dots(5)$$

式(4)と(5)により冷媒循環量を求めれば、表 1.1 のとおりである（ただし圧縮機の損失は含まない）。

1.1.2 種類

膨張弁は冷却負荷の種類、能力および蒸発器の形状に応じて最もその装置に合った膨張弁を選択することが望まれる。

通常使用されている膨張弁の種類をあげると次のように分類することができる。

- ・自動形
 - (1) 温度自動膨張弁（過熱度保持）
 - (2) 定圧膨張弁（蒸発圧力保持）
- ・手動形
 - (3) 手動膨張弁（開度手動調節）
- ・電子式
 - (4) 電子膨張弁（外部信号操作）

表1.1 膨張弁能力表

冷凍 トン 数	R 22	25		38		50		60	
		流量	重量	流量	重量	流量	重量	流量	重量
	ET °C	l/min	kg/min	l/min	kg/min	l/min	kg/min	l/min	kg/min
1	10	0.99	1.183	1.154	1.317	1.362	1.477	1.535	1.582
	5	1.001	1.196	1.168	1.333	1.38	1.496	1.557	1.605
	0	1.013	1.21	1.183	1.35	1.4	1.518	1.582	1.63
	- 5	1.025	1.224	1.199	1.368	1.422	1.541	1.608	1.656
	- 10	1.037	1.239	1.215	1.387	1.443	1.564	1.633	1.683
	- 20	1.066	1.273	1.252	1.43	1.494	1.62	1.696	1.747
	- 30	1.096	1.309	1.293	1.476	1.549	1.679	1.763	1.816
	- 40	1.129	1.349	1.337	1.526	1.609	1.745	1.838	1.893
	- 50	1.167	1.395	1.388	1.585	1.68	1.821	1.926	1.984

冷凍 トン 数	R 134a	25		38		50		60	
		流量	重量	流量	重量	流量	重量	流量	重量
	ET °C	l/min	kg/min	l/min	kg/min	l/min	kg/min	l/min	kg/min
1	10	1.022	1.232	1.198	1.38	1.424	1.562	1.689	1.766
	5	1.038	1.252	1.219	1.405	1.453	1.594	1.727	1.806
	0	1.055	1.272	1.242	1.431	1.484	1.628	1.769	1.85
	- 5	1.073	1.294	1.266	1.459	1.517	1.664	1.814	1.897
	- 10	1.092	1.317	1.292	1.488	1.551	1.702	1.861	1.947
	- 20	1.133	1.367	1.347	1.552	1.627	1.785	1.966	2.056
	- 30	1.178	1.421	1.407	1.622	1.712	1.878	2.085	2.181
	- 40	1.227	1.48	1.475	1.699	1.808	1.983	2.222	2.324
	- 50	1.28	1.543	1.548	1.783	1.913	2.099	2.375	2.484

冷凍 トン 数	R 404A	25		38		50		60	
		流量	重量	流量	重量	流量	重量	流量	重量
	ET °C	l/min	kg/min	l/min	kg/min	l/min	kg/min	l/min	kg/min
1	10	1.483	1.555	1.902	1.859	2.619	2.334	3.926	3.113
	5	1.512	1.585	1.946	1.903	2.697	2.403	4.082	3.237
	0	1.543	1.617	1.995	1.95	2.782	2.479	4.257	3.376
	- 5	1.577	1.653	2.048	2.002	2.876	2.564	4.457	3.534
	- 10	1.613	1.691	2.105	2.058	2.981	2.657	4.683	3.714
	- 20	1.697	1.778	2.239	2.188	3.23	2.878	5.248	4.162
	- 30	1.79	1.876	2.393	2.339	3.528	3.144	5.979	4.741
	- 40	1.9	1.992	2.579	2.521	3.908	3.483	7.007	5.557
	- 50	2.024	2.122	2.796	2.733	4.377	3.901	8.451	6.702

・その他

(5) キャピラリーチューブ

自動形と呼ばれるものは、初期の目標値（過熱度、圧力）と一致させるためにその量を検出し、目標値と比較し偏差に応じて補正動作を自動的に行わせ、目標値に近づけることを目的としている。

手動形は、ある目標値に対し偏差の補正動作を人力によって行うことである。

(1) 温度自動膨張弁

この形の膨張弁は直膨式クーラーを有する冷凍、冷房装置に最も多く使用されているもので、冷凍機吸入

側圧力とその温度差（過熱度：スーパーヒート）を検出して冷媒流量制御を自動的に行うもので、冷却負荷量に応じて冷却効果を最大にし、安全かつ経済性の優れたものである。

特に負荷変動の激しい装置、および過熱度に限界がある場合の装置に適している。1.2節で詳細に説明する。

(2) 定圧膨張弁

定圧膨張弁は蒸発器内圧力を一定に保持することを目的としており、一般に低温装置の最低圧力条件下における連続運転用として使用されることが多い。

制御検出要素は蒸発圧力によって行うため完全な

圧力制御となり、流量制御に対しては直接の関係を有しないため、冷凍負荷のあまり変わらないものや、冷却負荷制御温度範囲の狭いものに適している。

通常この膨張弁を使用する場合は温度スイッチと併用し、負荷の減少を温度の低下によって検出して制御することが望ましい。

(3) 手動膨張弁

弁の開度変化を圧力や温度によって行わず手動によって任意に調節するもので、自動膨張弁のバイパス弁として使用することが多く、単体での自動運転用にはほとんど使用されない。

構造は単なる冷媒の断熱膨張を目的としたもので図 1.2 に示すように、冷媒は①の入口より流入し、口径とニードル弁から構成される②弁部により減圧され、出口③より流出される。

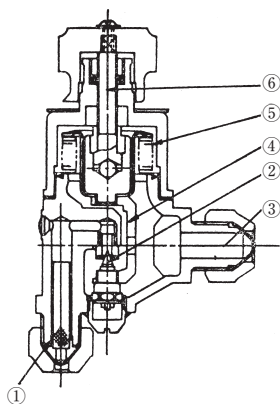


図 1.2 手動膨張弁

また、弁の開度調節は調整ボルト⑥の回転によって行うもので、一般にその能力はダイヤフラム、ベローズの動作間隔に制限の生じる自動膨張弁と比較して、その多くは約 2 倍近くまで出し得るようになっている。

なお高気密性を必要とする関係上、金属ベローズによって冷媒は外気と完全に遮断されるため、漏洩の心配はまったくない。

① 口径と流量

人力による流量調節は普通目視によって行うため、できるだけ微少流量の設定が可能となるようにハンドルの回転度合による流量変化が比例的になるようにしなければならない。図 1.3 は弁前後の圧力差を一定とした場合の弁開度と流量変化曲線である。

② 手動膨張弁の使用例

一般に使用されている手動膨張弁は、図 1.4 に示すように、主回路に電磁弁と温度膨張弁をもつ低温装置などのバイパス回路に取り付けられるもので、装置の

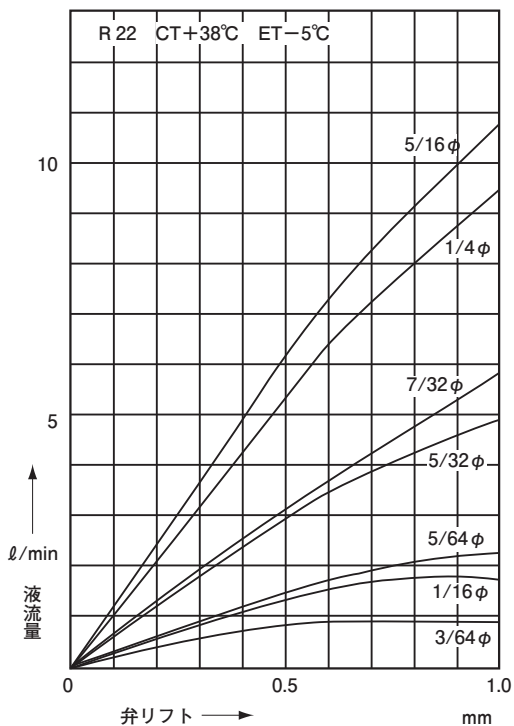


図 1.3 ベン開度と流量変化曲線

運転温度範囲が広く、反面急速に庫内温度を下げる必要のある場合、1つの膨張弁のみで制御することは非常に厳しくそのため運転当初の負荷に対してバイパス回路より冷媒を流して、温度膨張弁の制御可能範囲まで手動によって流量制御を行うもので、直接膨張式の急速冷凍装置などに使用される。

また、このほか単に温度膨張弁の一時的応急品として切換えて使用するケースがあるが、いずれの場合においても常に運転者の監視が必要である。

(4) 電子膨張弁

電子膨張弁は、エアコン、冷凍・冷蔵装置やショーケースなどで、インバータ制御を伴うなど、より高精度の制御や効率の向上、より快適性を求める場合に使用される。

一般に、電子膨張弁は、ステッピングモータを利用したステッピングモータ方式、電磁ソレノイドを利用した電磁デューティ方式、バイメタルを利用した熱電方式などがあるが、その中でステッピングモータ方式が広く普及している。その理由は、従来の温度膨張弁に要求される過熱度制御を含め外部信号でほかの機能ももたせることができるからである。これについては 1.5 節で詳細に説明をする。

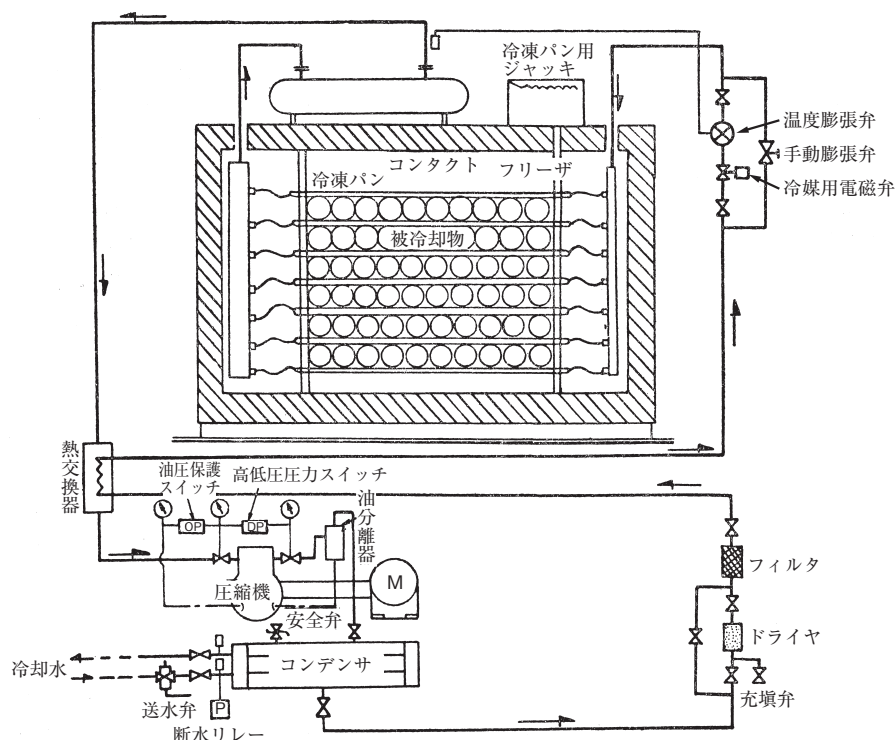


図1.4 コンタクトフリーザを使用した急速冷凍装置(直接膨張式)

(5) キャピラリーチューブ

冷凍装置で、凝縮圧力、蒸発圧力および負荷の変動がほとんど起こらない運転ができるものについては膨張弁の弁開度は調節する必要がなくなる。このような装置には弁を使用しないでも、それと同じ圧力差の下で所要の冷媒量を通すような抵抗管で目的が達せられる。

一般にこのような場合、抵抗管としてキャピラリーチューブが用いられる。

(6) 圧縮機の容量制御

膨張弁の選択については圧縮機の容量制御方式を十分考慮して決定することが望まれ、その圧縮機の容量制御については大略5つの方法が考えられる。

① 圧縮機の発停による制御 (100%または0)

密閉形圧縮機に多くみられるもので、ピストンが単数の場合において、容量変化は吸入圧力の低減における冷媒循環量の低下によるもので、最終目標設定吸入圧力に到達するまでの運転は常に100%稼働の装置(膨張機構として、キャピラリーチューブが比較的多く使われている)。

② 圧縮機の吸入側へバイパス回路を設けた容量制御 (100 ~ 50%)

①のような単数ピストンの圧縮機において、吐出側

から高圧過熱ガスを吸入側にバイパスする方法で、普通その量は圧縮機における異常過熱の防止から50%程度までの制御を目的としたもの(バイパス弁としては定圧膨張弁の使用も多い)。

③ 圧縮機の回転速度容量制御 (100 ~ 50%)

圧縮機の回転数を減速する方法で、同一配管中において圧縮機の吸入量を減少させるもので、その量は大略50%を目標としたもの(温度自動膨張弁、電子膨張弁)。

④ ①の圧縮機を複数使用する制御

容量制御機構をもたない圧縮機を並列に取り付け(容量制御圧縮機を1台加える場合もある)負荷量の変化に応じて圧縮機を発停させる方法で、この組み合わせは2 ~ 3台が多い。

⑤ 多気筒圧縮機による制御 (100 ~ 25%)

容量制御可能装置の代表ともいえるもので、多気筒シリンダ中において無負荷シリンダ可能のもので、その数は通常3または4の整数倍で構成されている。

制御範囲も100 ~ 25%と非常に広い(温度自動膨張弁、電子膨張弁)。