

冷凍空調技術者必携の書!

新版 冷凍空調便覧

- | | | |
|-----------------------|-------|---------|
| ◆ 企画・編集 冷凍空調便覧刊行委員会 | 定 価 | 45,000円 |
| ◆ B5判、上装箱入、本文8ポ、横2段組み | 会員特価 | 40,000円 |
| ◆ 基礎編、応用編セット売です。 | 梱包・送料 | 1,200円 |

刊行のことは

省エネルギーを重要基本路線の一つとする1980年代は、冷凍空調分野にとりまして技術の高度化の時代であります。このような状況に対処して、本協会は昭和52年度より旧「増補・改訂冷凍空調便覧」の全面的見直し作業にはいり、以後3年の歳月を費やし、このほど斯界最高権威の執筆陣による新時代に沿う新版「冷凍空調便覧」の発刊を迎えるに至りました。必ずや、ご利用の各位のご愛用を頂けるものと確信しております。(社団法人 日本冷凍協会 会長 宝谷幸男)

本書の主な特色

- 学理と実用を一切集録
冷凍および空気調和の、最高の学理、幅広い実用面での応用を一挙に掲載、学術研究者から現場技術者に至るまで、あらゆる分野の方に利用いただける内容です。
- 改訂新版の方針
冷凍空調における進歩発展に対応するよう十分な見直しをし、全面改訂を行いました。特に設計者、現場技術者にとり直接的に役立つ応用的事項に重点をおき、更に先取りの新技術を積極的に取り入れております。
- 第一流の執筆陣を網羅
この要求に応じるため、わが国における冷凍空調界の第一線に御活躍中の権威ある執筆陣、135名の方に執筆をおねがいたしました。
- 基本から実務まで発展的に理解できる内容
膨大な内容を二つに分け、読者はまず**基礎編**の冷凍理論、冷凍装置によって得た基礎知識により、**応用編**で空気調和、冷凍応用、食品冷凍と発展的に理解できるよう編集されております。

主なる内容

- 基礎編
 - 第1編 冷凍機
 - (1) 冷凍理論 (2) 熱及び物質移動 (3) 流体の流れ (4) 冷媒とライン (5) 容積式圧縮機 (6) 熱交換器 (7) 附属機器 (8) 遠心冷凍機 (9) 吸収冷凍機 (10) 極低温冷凍機 (11) 冷凍機の自動制御 (12) 冷凍機の性能・計測 (13) 冷媒配管 (14) 防熱と防湿 (15) 防振と防音 (16) 保安 (17) 据付け・運転 (18) 防災
 - 第2編 補助機械
 - (1) ポンプ (2) 送風機 (3) 電気機器 (4) 内燃機関
- 応用編
 - 第1編 空気調和
 - (1) 空調理論 (2) 空調システム (3) 空気調和機器 (4) ダクト・配管 (5) 快感空気調和 (6) 産業空気調和
 - 第2編 冷凍応用装置
 - (1) 予冷冷却装置 (2) 製氷装置 (3) 冷蔵庫 (4) 凍結装置 (5) 低温流通装置 (6) 漁船用冷凍装置 (7) 冷凍応用装置
 - 第3編 食品冷凍
 - (1) 総説 (2) 食品の冷蔵 (3) 食品の凍結 (4) 冷凍食品 (5) コールドチェーン

〒160 東京都新宿区三栄町8 社団法人 日本冷凍協会 電話 03(359) 5 2 3 1 振替 東京3-73841番

研究論文 水—リチウム・ブロマイド— エチレングリコール系吸収冷凍機について

Studies on the Water-Lithium Bromide-Ethylene
Glycol Absorption Refrigerating Machine

伊与木 茂 樹*
Shigeki IYOKI
植 村 正*
Tadashi UEMURA

Summary

The specific gravity, the solubility, the vapor-liquid equilibrium, the vapor pressure and the heat of mixing of the water-lithium bromide-ethylene glycol system (10 moles water/1 mole ethylene glycol) were measured in order to examine whether this system is suited for solar powered absorption refrigerating machines.

From these observed data, enthalpy-concentration chart were constructed.

The performance characteristics of single and double effect absorption refrigerating machines were studied by use of this chart.

The range of working conditions were as follows.

Generating temperature of water-lithium bromide-ethylene glycol solution.

t_H (single effect) : 40~120°C

t_{H1} (double effect) : 100~150°C

Condensing temperature of refrigerant

t_K : 20~50°C

Evaporating temperature of refrigerant

t_0 : 5~15°C

The obtained results of the water-lithium bromide-ethylene glycol system were compared with the performance characteristics of the water-lithium bromide system.

緒 言

吸収冷凍機の冷媒—吸収剤の組合せは、現在までに多くの研究者により多数の系が提案されている¹⁾²⁾。近年空気調和装置に省エネルギーの観点から太陽熱及び排熱等を加熱源とする吸収冷凍機の採用が提案され製作されるようになったが、その冷媒—吸収剤の組合せはほとんどが水—リチウム・ブロマイド系である³⁾⁴⁾⁵⁾。また最近では、冷媒—吸収剤の組合せに二成分のみならず三成分系も多く提案されるようになった。本系もその三成分系の一つで水—リチウム・ブロマイド系に有機物であるエチレングリコール (C₂H₆O₂) を加えた場合、この系がどのような挙動を示すか

を知るためである。第三成分としての有機物は、吸収の推進力である蒸気圧差を大きくすること、高濃度溶液によって生じる晶析現象を改善すること、また蒸発器内に流入する冷媒中に若干でもエチレングリコールが混入することにより 0°C に近い蒸発温度でも動作可能にしたいという希望が含まれている。この系の動作特性を検討するのに必要な比重、蒸気圧、溶解度、比熱⁶⁾、混合熱、気—液平衡関係の測定を行いエンタルピー—濃度線図を作成し、この線図を用いて単効用及び二重効用吸収冷凍機についての性能及び動作特性について研究した。また現在吸収冷凍機に用いられてい

* 関西大学工学部 Kansai University
原稿受理 昭和55年10月23日

表1 種々の温度での H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ 系の比重 (実測値)

Table 1 Specific gravity of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system at various temperatures (observed data)

LiBr (wt%)	温度 (°C)	比重	LiBr (wt%)	温度 (°C)	比重
0	40.04	1.022	33.20	40.95	1.323
	50.56	1.017		50.70	1.318
	60.03	1.011		61.13	1.312
	69.85	1.005		70.22	1.306
	80.79	0.995		80.10	1.301
	40.90	1.087		44.01	41.07
50.60	1.082	51.02	1.457		
60.40	1.076	61.56	1.451		
70.97	1.069	70.83	1.444		
79.92	1.063	80.20	1.439		
40.25	1.188	52.65	41.19		1.600
50.90	1.183		51.53	1.593	
60.78	1.177		61.73	1.587	
70.43	1.171		71.37	1.581	
79.76	1.166		81.12	1.575	
41.19	1.265		59.71	41.64	1.737
50.90	1.259	50.14		1.731	
61.40	1.253	60.30		1.725	
72.46	1.247	70.17		1.718	
82.32	1.238	80.49		1.711	

る水-リチウム・ブロマイド系⁷⁾との比較も行った。なお本実験において使用した三成分系溶液は、水とエチレングリコールの混合割合を10:1モル一定とし、これにリチウム・ブロマイドを溶解させたもので、溶液の濃度はエチレングリコール水溶液中のリチウム・ブロマイドの重量百分率を示している。

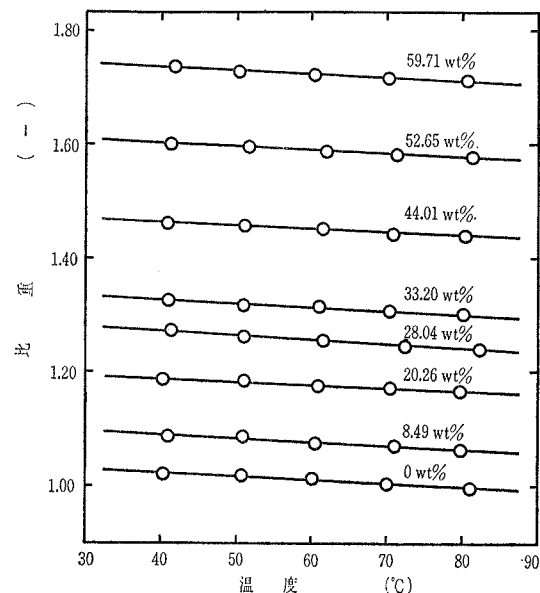


図1 H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ 系の比重
Fig. 1 Specific gravity of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system

表2 種々の温度での H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ 系の比重 (平滑値)

Table 2 Specific gravity of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system at various temperatures (Smoothed value)

wt%	20	40	60	80	100
0	1.036	1.024	1.011	0.990	0.850
5	1.072	1.058	1.046	1.037	1.021
10	1.111	1.098	1.086	1.076	1.062
15	1.153	1.140	1.128	1.117	1.105
20	1.197	1.185	1.173	1.161	1.149
25	1.244	1.233	1.222	1.207	1.196
30	1.299	1.287	1.275	1.260	1.247
35	1.358	1.345	1.331	1.315	1.304
40	1.422	1.408	1.394	1.380	1.366
45	1.489	1.463	1.449	1.436	1.423
50	1.568	1.554	1.541	1.530	1.516
55	1.656	1.642	1.629	1.618	1.604
60	1.756	1.741	1.728	1.714	1.700

比重の測定

比重の測定は、内容積 50 ml の比重瓶を用いこの中に純水及び種々の濃度のリチウム・ブロマイド-エチレングリコール水溶液を入れ、測定温度に調整した恒温槽中に浸し、温度平衡に到達させた後秤量し比重を決定した。測定温度は 40~80°C で、リチウム・ブロマイド濃度は 0~60 wt % の範囲で測定し、その濃度はホルハルト法⁸⁾で決定した。表1に測定結果を示し、各濃度における温度と比重との関係を示したのが図1である。表2に平滑値を示す。

蒸気圧の測定

蒸気圧の測定には沸点法を用いて行った。本実験に使用した装置と測定方法は、水-リチウム・クロライド系⁹⁾の蒸気圧測定に用いた装置及び方法と同じである。

本実験による結果を用いて、蒸気圧の対数値を縦軸に 1/(t+230) を横軸にとり、濃度をパラメーターとして示したのが図2である。この図より各濃度についての測定結果が直線関係で表わされるので、Davisの式、(1)式によって表わすことができる。(1)式中の定数 A, B は、濃度 x (wt %) の関数であるので最小二乗法によってこれらの定数を定めた。なお実験式は、実測値からの偏差がなるべく小さくなるように式の適用範囲を二つに分けて求めた。その結果を(2), (3)式に示す。

$$\log P = A - B/(t+230) \dots \dots \dots (1)$$

P: 蒸気圧 (mmHg), t: 温度 (°C)

(0~30 wt %)

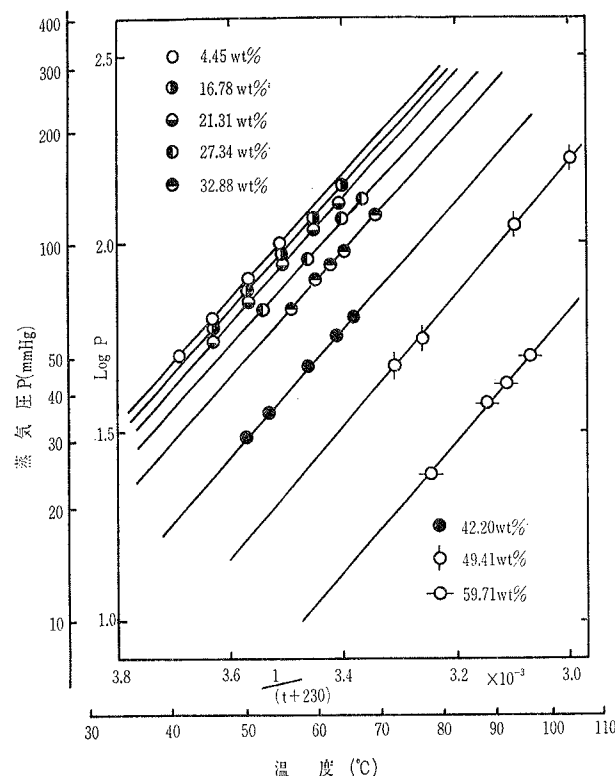


図2 温度と蒸気圧の関係
Fig. 2 Relationship between temperature and vapor pressure

$$\left. \begin{aligned} A &= 7.976 - 7.297 \times 10^{-3} x - 2.236 \times 10^{-4} x^2 \\ B &= 1.698 \times 10^3 - 2.331 x + 1.829 \times 10^{-3} x^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

(30~60 wt %)

$$\left. \begin{aligned} A &= 2.127 + 3.466 \times 10^{-1} x - 7.082 \times 10^{-3} x^2 \\ &\quad + 4.579 \times 10^{-5} x^3 \\ B &= 8.529 \times 10^2 + 4.067 \times 10 x - 6.651 \\ &\quad \times 10^{-1} x^2 + 4.306 \times 10^{-3} x^3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

この実験式より得られた計算値と実測値との偏差を示したのが表3である。

溶解度の測定

吸収冷凍機を設計する場合、装置の循環経路内において弱液側(冷媒濃度の薄い溶液)で吸収剤が結晶として析出してはならないので、その溶解度を知る必要がある。実験装置及び実験方法は、水-リチウム・ブロマイド系⁹⁾の実験に用いたと同じ装置及び方法で行った。表4に実測値を示す。図3はリチウム・ブロマイド濃度と温度との関係を示したものである。

表3 種々の温度での H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ 系の蒸気圧

Table 3 Vapor pressure of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system at various temperatures

LiBr (wt%)	温度 (°C)	実測値 (mmHg)	計算値 (mmHg)	偏差 (%)
4.45	40.89	49.99	51.19	+2.34
	45.32	62.95	64.42	+2.28
	50.06	80.84	81.81	+1.19
	54.62	100.39	102.17	+1.74
11.83	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
16.78	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
21.31	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
27.34	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
32.88	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
42.20	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
49.41	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45
59.71	40.56	48.22	48.20	-0.04
	45.26	60.73	61.44	+1.16
	50.02	76.83	77.92	+1.40
	54.95	98.38	98.82	+0.45

混合熱の測定

混合熱の測定は、水-リチウム・ブロマイド系⁹⁾の測定に使用したと同じ装置及び方法を用いて行った。図4は、35°Cにおけるリチウム・ブロマイド濃度と混合熱の関係をそれぞれ微分溶解熱^{Δh₁}、微分溶解熱^{Δh₂}及び積分混合熱^{Δh}について示したものである。積分混合熱^{Δh}は、微分溶解熱^{Δh₁}と微分溶解熱^{Δh₂}の実測値より求めた。表5は、図4より求めた各リチウム・ブロマイド濃度に対する積分混合熱^{Δh}を示したものである。

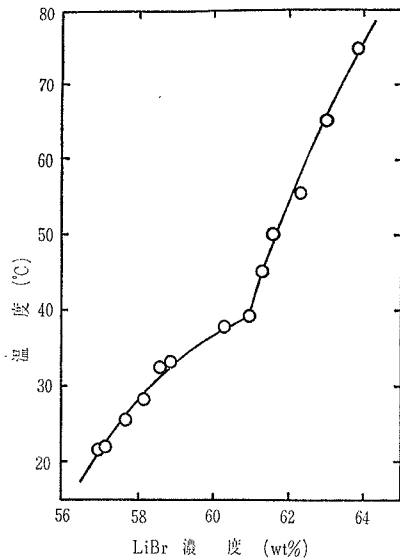


図3 温度とLiBr濃度の関係
Fig. 3 Relationship between temperature and concentration of LiBr

気-液平衡関係

本系は、揮発成分として水とエチレングリコールを含むため冷媒側は二成分混合溶液となる。そして、冷媒側のエンタルピー計算や装置設計の際、発生蒸気中のエチレングリコール濃度を知る必要がある。そこで気-液平衡実験を行い気相中のエチレングリコール濃度を求めた。

本実験で使用した装置の概略を図5に示す。この図において①は試料槽でここに温度計⑨が取り付けられている。凝縮器⑤、凝縮液だめ④、試料供給口⑥、水

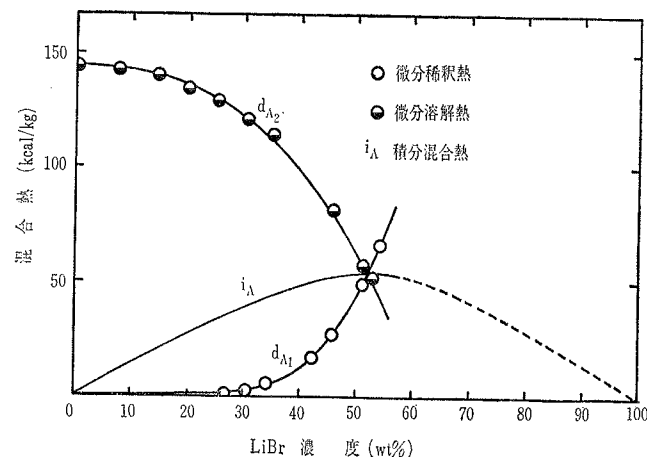


図4 H₂O-LiBr-C₂H₆O₂系の混合熱
Fig. 4 Heat of mixing of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system

表4 H₂O-LiBr-C₂H₆O₂系の溶解度
Table 4 Solubility of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system

温度 (°C)	溶解度 g/100 gH ₂ O-C ₂ H ₆ O ₂	LiBr (wt%)
21.50	132.40	56.97
21.95	133.37	57.15
25.45	136.13	57.65
28.13	138.89	58.14
32.45	141.55	58.60
33.04	143.19	58.88
37.64	151.83	60.29
39.54	155.95	60.93
45.20	158.40	61.30
50.24	160.42	61.60
55.61	165.25	62.30
65.31	170.27	63.00
74.90	176.24	63.80

表5 H₂O-LiBr-C₂H₆O₂系の積分混合熱
Table 5 Integral heat of mixing of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system

LiBr (wt%)	積分混合熱 (kcal/kg)	LiBr (wt%)	積分混合熱 (kcal/kg)
5.0	7.3	35.0	43.8
10.0	14.5	40.0	48.3
15.0	21.2	45.0	51.7
20.0	27.5	50.0	53.6
25.0	33.3	52.4	54.3
30.0	38.5	55.0	53.7

銀マンノメータ⑦、系内圧力微調整用コック⑬⑭、恒圧ビン⑯が取り付けられている。断熱マットで断熱された恒温槽⑮には大豆油が満たされており、サーマルコンで温度制御されている。蒸気通過道③を試料槽と同じ温度にするために油通過管⑩を③のまわりに取り付け断熱マットで保温している。大豆油は、油入口管②から入り⑩を上部に向かって流れ循環ポンプ⑰を経て恒温槽⑮にもどる。

実験方法は、試料溶液約200 mlを①から試料槽①に入れ所定の温度になった時真空ポンプで所定の圧力まで減圧し、圧力微調整用コック⑬⑭でもって系内圧力を一定に保つ。減圧した時気化熱により試料温度は一旦下がるので平衡に達するまで待つ。平衡後試料槽中の液相の平衡温度を測定した後、まず系内を大気圧にもどし、液だめ④の下部コックを開き気相側試料を取り出しメタ過ヨウ素酸ナトリウム法¹⁰⁾¹¹⁾でエチレングリコール濃度を決定した。リチウム・ブロマイド濃度の分析はホルバルド法⁸⁾で行った。実験は、

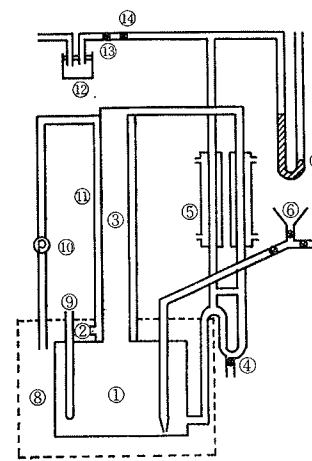


図5 気-液平衡測定装置
Fig. 5 Vapor-liquid equilibrium apparatus

表6 種々の温度での気相中のエチレングリコール
Table 6 Ethylene glycol in vapor phase at various temperatures

LiBr (wt%)	平衡温度 (°C)	平衡圧力 (mmHg)	C ₂ H ₆ O ₂ 濃度 (wt%)
0	42.5	50	0.03
	54.3	100	0.11
	78.3	300	0.41
	88.4	445	0.54
	98.5	600	0.68
26.08	37.8	30	0.01
	70.9	150	0.21
	88.2	300	0.44
	98.2	445	0.60
47.72	61.1	30	0.02
	74.2	50	0.07
	87.7	100	0.20
	104.8	200	0.53
58.95	112.3	250	0.63
	104.8	50	0.19
	111.7	100	0.31
	125.0	150	0.56
132.6	200	0.63	

リチウム・ブロマイド濃度 0~60 wt%，温度 30~140°C，圧力 30~600 mmHg の範囲で行った。予備実験として水-酢酸系の気-液平衡実験を行い文献値¹²⁾と一致することを確認した。実験結果を表6に示す。縦軸に気相側のエチレングリコール濃度を取り、横軸に平衡温度をとって示したのが図6である。

エンタルピー-濃度線図の作成

前述の蒸気圧、溶解度、比熱⁶⁾、混合熱及び気-液平衡関係の実測値と水及び水蒸気のエンタルピー¹³⁾、エチレングリコールの比熱¹⁴⁾、無水リチウム・ブロマイドの比熱¹⁵⁾を用いて図7に示すエンタルピー-濃度線図

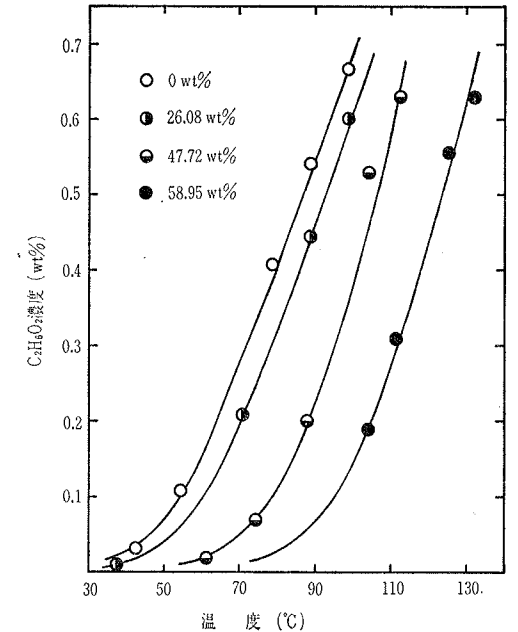


図6 H₂O-LiBr-C₂H₆O₂系のC₂H₆O₂濃度と温度との関係
Fig. 6 Relationship between concentration of C₂H₆O₂ and temperature of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system

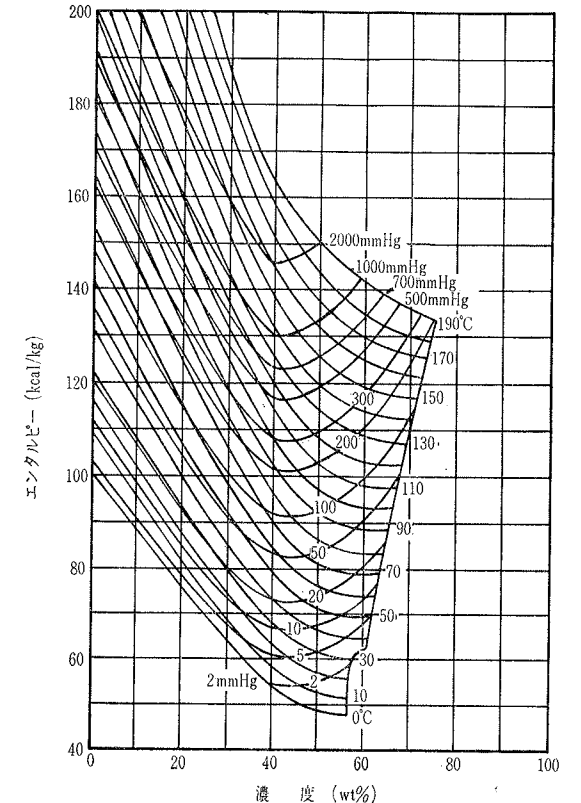


図7 H₂O-LiBr-C₂H₆O₂系のエンタルピー-濃度線図
Fig. 7 Enthalpy-concentration chart of H₂O-LiBr-C₂H₆O₂ system

を作成した。蒸気側のエンタルピーについては、気-液平衡値を使用し計算によって求めた。

吸収冷凍機の型式及び計算方法

(1) 動作条件とその範囲

本研究において加熱温度は、発熱器内の溶液が上昇すべき最高温度と考え、凝縮温度は冷媒の凝縮温度と考え、吸収器から発熱器に向う強液（冷媒濃度の濃い溶液）及び凝縮器で凝縮する冷媒は、設定冷却温度まで冷却されるとした。加熱温度は、単効用について40~120°C、二重効用の第一発熱器については100~150°C、凝縮温度20~50°C、蒸発温度5~15°Cの範囲について計算を行った。

(2) 単効用吸収冷凍機

図8は、単効用吸収冷凍機の系統図を示したもので発熱器、凝縮器、蒸発器、吸収器及び熱交換器より成り立っており、系内の冷媒及び吸収剤溶液は矢印の方向に流れる。図9は、図8中の各状態点をエンタルピー-濃度線図上に示したものである。吸収器を出た強液（冷媒濃度の濃い溶液）の状態点1は、凝縮温度 t_K の等温線と吸収器内圧力 P_0 の等圧線との交点から求まる。この溶液はポンプによって状態点2となる。状態点2は、ポンプ仕事に相当する熱量を無視して状態点1と同一の点とする。強液は、熱交換器で発熱器より還ってくる高温の弱液（冷媒濃度の薄い溶液）と熱交換され状態点3となり、発熱器に入り加熱されて状態点4となる。状態点4は、発熱器内圧力 P_K の等圧線と強液濃度 ξ_r との交点で示される。強液は、冷媒蒸気を発して P_K の等圧線に沿って徐々に吸収剤濃度が濃くなり状態点5となる。状態点5は、加熱温度 t_H の等温線と P_K の等圧線との交点で示される。弱液は、熱交換器を通り状態点6となり減圧弁を通過して吸収器内に入り冷却されて状態点7となる。状態点6と7は、等エンタルピーであるから線図上では同一の点となる。この点は P_0 の等圧線と弱液濃度 ξ_a との交点で示される。弱液は、蒸発器から送られてくる冷媒蒸気を吸収して P_0 の等圧線に沿って徐々に吸収剤濃度が薄くなり、冷却されて状態点1となり吸収器を出て行く。ダッシュを付した数字は各状態点における冷媒蒸気を表わす。

(3) 二重効用吸収冷凍機

図10は、二重効用吸収冷凍機の系統図を示したもので吸収器、凝縮器、蒸発器は単効用と同じく各々一基ずつ設けられているが、発熱器及び熱交換器はそれぞれ二基ずつ設けられている。これは、第一発熱器で発

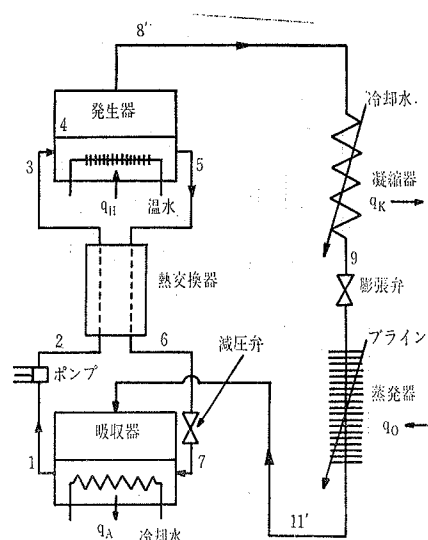


図8 単効用吸収冷凍機の系統図
Fig. 8 Schematic diagram of single effect absorption refrigerating machine

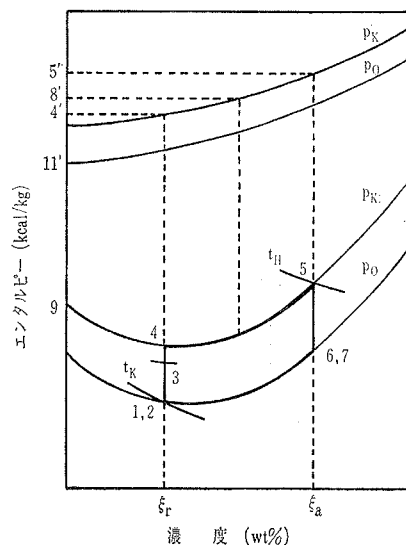


図9 エンタルピー-濃度線図
Fig. 9 Enthalpy-concentration chart

生した高温の冷媒蒸気を第二発熱器の加熱源として使用し、熱経済をはかり効率を良くするために考え出された方式である¹⁰⁾。系内の冷媒及び吸収剤溶液は矢印の方向に流れる。

図11は、図10中の各状態点をエンタルピー-濃度線図上に示したものである。吸収器を出て行く状態点2は、設定冷却温度 t_K の等温線と吸収器内圧力 P_0 の等圧線との交点で示される。この強液は、二基の熱交換器を通り第一発熱器に入り加熱されて状態点5とな

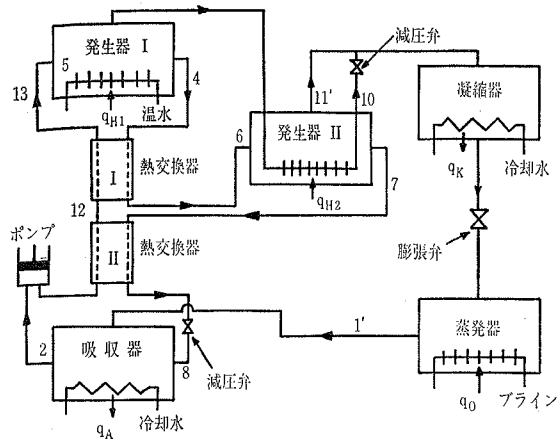


図10 二重効用吸収冷凍機の系統図
Fig. 10 Schematic diagram of double effect absorption refrigerating machine

る。状態点5は、第二発熱器の加熱温度 t_{H2} における冷媒の飽和蒸気圧 P_{H2} の等圧線と ξ_2 との交点で示される。第一発熱器で加熱濃縮された中間濃度の溶液は4の状態で行く。この点は、第一発熱器の加熱温度 t_{H1} の等温線と P_{H2} の等圧線との交点で示される。この溶液は、第二発熱器に6の状態に入る。状態点6は、凝縮圧力 P_K の等圧線と ξ_4 との交点で示される。第二発熱器で更に加熱濃縮され7の状態で第二発熱器を出る。状態点7は、 t_{H2} の等温線と P_K の等圧線との交点で示される。

そして、この溶液は第二熱交換器で熱交換され8の状態で吸収器に入り、蒸発器より送られてくる冷媒蒸気を吸収して状態点2となり吸収器を出て行く。ダッシュを付した数字は各状態点における冷媒蒸気を表わす。

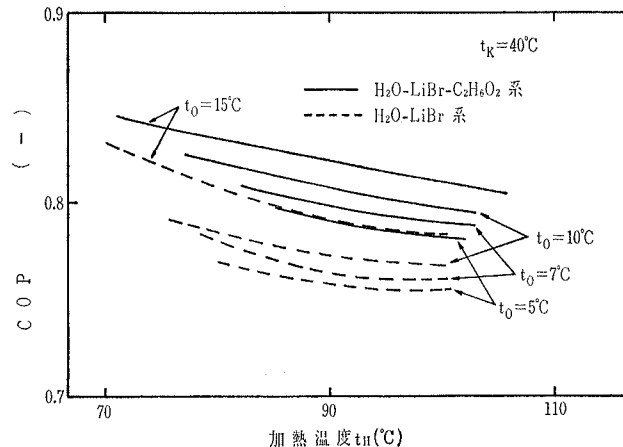


図12 単効用吸収冷凍機のCOPと加熱温度 t_H との関係
Fig. 12 Relationship between COP and t_H of single effect absorption refrigerating machine

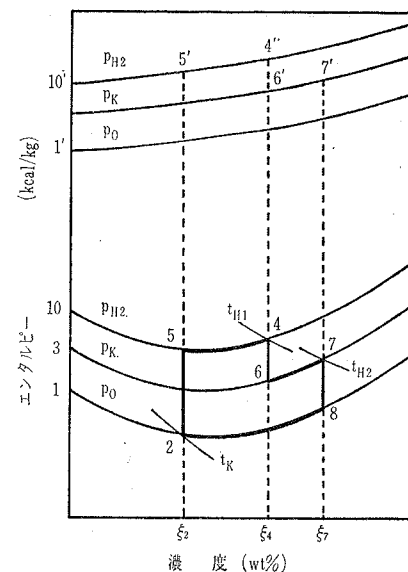


図11 エンタルピー-濃度線図
Fig. 11 Enthalpy-concentration chart

結果と考察

(1) 単効用吸収冷凍機

図12は、凝縮温度 t_K を40°C一定とし蒸発温度 t_0 をパラメーターとして、成績係数(Coefficient of Performance 以下COPと略記する)と加熱温度 t_H との関係を示したものである。水-リチウム・ブロマイド-エチレングリコール系は実線で、水-リチウム・ブロマイド系¹¹⁾は点線で示している。両系ともCOPは、加熱温度 t_H が低くなるほど、蒸発温度 t_0 が高くなるほど良好となる。これはCOPに影響を与える

因子である冷凍熱量 q_0 が、凝縮温度 t_K での冷媒液のエンタルピーと蒸発温度 t_0 における冷媒蒸気のエンタルピーの差であるので、凝縮温度 t_K が一定ならば冷媒蒸気のエンタルピーは蒸発温度 t_0 が高くなるほど大きくなり冷凍効果がよくなると考えられる。両系とも動作範囲は変わらないが、水-リチウム・ブロマイド-エチレングリコール系の方が水-リチウム・ブロマイド系に比べてCOPは多少良くなっている。

図13は、蒸発温度 $t_0=5^\circ\text{C}$ 一定とし凝縮温度 t_K をパラメーターとしてCOPと加熱温度 t_H との関係を示したものであり、実線は水-リチウム・ブロマイド-エチレングリコール系、点線は水-リチウム・

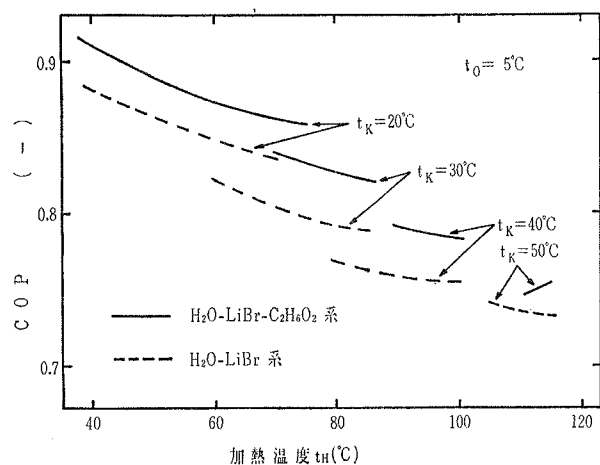


図 13 単効用吸収冷凍機の COP と加熱温度 t_H との関係
Fig. 13 Relationship between COP and t_H of single effect absorption refrigerating machine

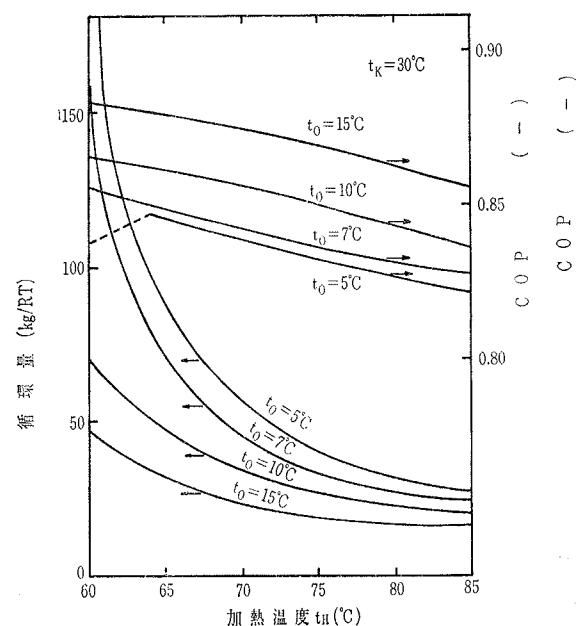


図 14 $H_2O-LiBr-C_2H_6O_2$ 系吸収冷凍機の特
Fig. 14 Characteristics of $H_2O-LiBr-C_2H_6O_2$ system

プロマイド系⁷⁾である。水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系は、水-リチウム・プロマイド系に比べて COP が良好である。両系の動作範囲は、水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系の方が凝縮温度 t_K の低いところでは同等もしくは多少狭くなっているが、凝縮温度 t_K が高くなるに従って狭くなっている。これは、凝縮温度 t_K が高くなれば冷凍サイクルは高濃度側へ移動して行く。しかし、溶解限度があるためその移動にも限界があり、そのため

動作可能な加熱温度 t_H の範囲が狭くなる。

図 14 は、水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系の凝縮温度 $t_K=30^\circ C$ における加熱温度 t_H に対する COP と 1 日本冷凍トン当りの吸収液の循環量を示している。加熱温度 t_H が高くなるにつれて、COP は多少悪くなっている。一方、加熱温度の低い範囲での循環量は、蒸発温度 t_0 が高いほど安定している。これは、蒸発温度 t_0 が低くなるにつれて冷凍サイクルの動作範囲が狭くなり、冷媒蒸気の吸収液単位量に対する発生量が減るためである。循環量が增大すると循環ポンプの負担が大きくなり、蒸発温度 t_0 と加熱温度 t_H が共に低い場合の動作は困難になる。

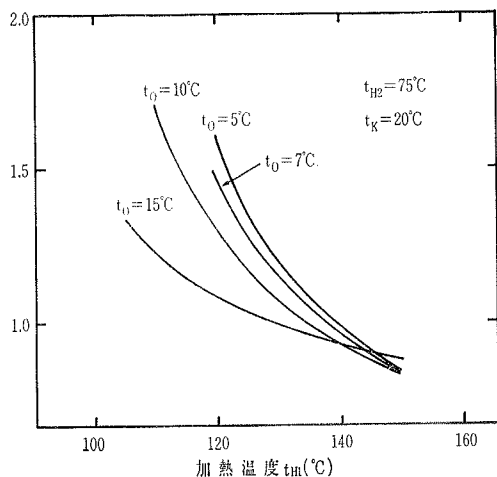


図 15 二重効用吸収冷凍機の COP と第一発生器の加熱温度 t_{H1} との関係
Fig. 15 Relationship between COP and t_{H1} of double effect absorption refrigerating machine

(2) 二重効用吸収冷凍機

図 15 は、凝縮温度 $t_K=20^\circ C$ 、第二発生器の加熱温度 $t_{H2}=75^\circ C$ 一定にし、蒸発温度 t_0 をパラメータとして第一発生器の加熱温度 t_{H1} と COP との関係を示したものである。各蒸発温度 t_0 における曲線より、高温の同じ第一発生器の加熱温度 t_{H1} に対しては、蒸発温度 t_0 が高いほど COP は悪くなっているが、蒸発温度 t_0 が高いほど動作範囲が広がっている。

図 16 は、第一発生器の加熱温度 $t_{H1}=135^\circ C$ 、第二発生器の加熱温度 $t_{H2}=80^\circ C$ とした場合の蒸発温度 $t_0=5, 15^\circ C$ における凝縮温度 t_K と COP との関係

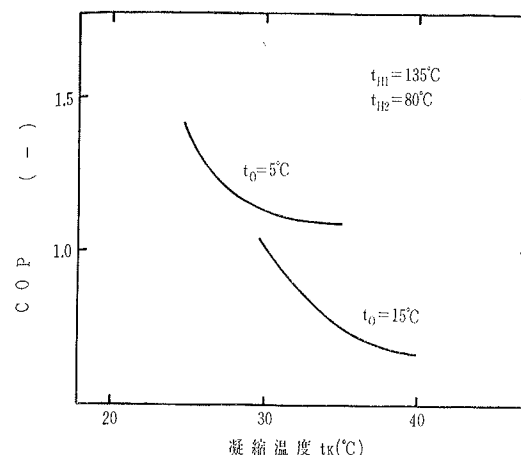


図 16 二重効用吸収冷凍機の COP と凝縮温度 t_K との関係
Fig. 16 Relationship between COP and t_K of double effect absorption refrigerating machine

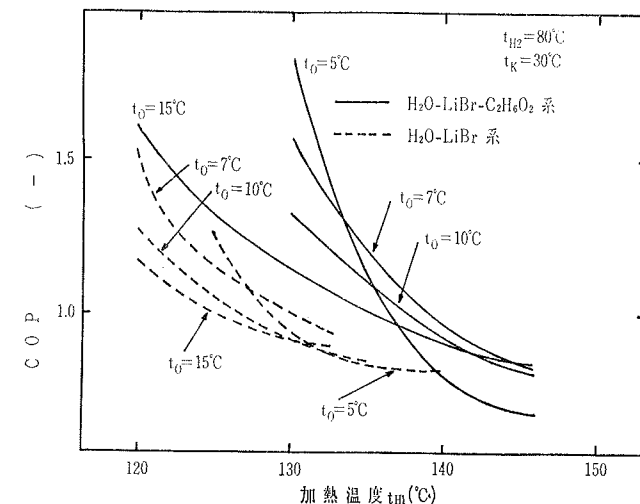


図 17 二重効用吸収冷凍機における他の系との比較
Fig. 17 Comparison with the other system of double effect absorption refrigerating machine

を示したものである。凝縮温度 t_K 及び蒸発温度 t_0 の低いほど COP はよくなっていることがわかる。

図 17 は、凝縮温度 $t_K=30^\circ C$ 、第二発生器の加熱温度 $t_{H2}=80^\circ C$ における第一発生器の加熱温度 t_{H1} と COP の関係を水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系と水-リチウム・プロマイド系について示したものである。COP は、水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系の方が良好である。動作範囲については両系ともあまり差はないが、水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系の方が多少高い第一発生器の加熱温度 t_{H1} から動作する。

結 言

水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系の物理的及び熱的性質の測定を行い、これらのデータを用いて吸収冷凍機を設計する場合に便利であるエンタルピー濃度線図を作成した。この線図を用いて水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系吸収冷凍機の単効用及び二重効用の動作特性と性能の研究を行った。また、この系と水-リチウム・プロマイド系との比較を行い次のような結論を得た。

単効用について、水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系が水-リチウム・プロマイド系に対して有利な動作条件は、溶解限度に近い範囲及び蒸発温度 t_0 が高い時である。本系は、水-リチウム・プロマイド系に比べて動作範囲は多少狭くなっているが COP はよくなっている。また、この系を二重効用として用いた場合は、水-リチウム・プロマイド系に比べて動作範囲が多少広く、COP もよいため太陽熱利用や工場の排熱を利用する場合のみならず、通常の熱源を使用する場合についても今後大いに期待できる系と考える。

文 献

- 1) 植村正：吸収式冷凍機について、冷凍，47-532(昭47-2)，11。
- 2) 植村正：吸収式冷凍機用冷媒-吸収剤系の物性、冷凍，52-600(昭52-10)，65。
- 3) 柳場重男ほか：リチウム・プロマイド-水系吸収式冷凍機の研究、冷凍，34-380(昭34-6)，22。
- 4) 柳場重男、植村正ほか：リチウム・プロマイド-水系吸収式冷凍機の研究、冷凍，35-397(昭35-11)，1。
- 5) 柳場重男、植村正ほか：リチウム・プロマイド水溶液の熱学的性質について、冷凍，36-405(昭36-7)，4。
- 6) 植村正：水-リチウム・プロマイド-エチレングリコール系の比熱、冷凍，47-532(昭47-2)，5。
- 7) 植村正、柳場重男ほか：動作条件がリチウム・プロマイド-水系吸収式冷凍機の性能に及ぼす影響について、冷凍，37-420(昭37-10)，1。
- 8) 高木誠司：「定量分析の実験と計算」第2巻、容量分析法，282~285ページ、共立出版、東京(昭51)

9) 植村正, 柳場重男ほか: リチウム・クロライド-水系吸収式冷凍機の研究(その1), 冷凍, 40-454(昭40-8), 13.
 10) 日本分析化学会: 「分析化学便覧」改訂二版, 955ページ, 丸善, 東京(昭46)
 11) S. D. NOGARE et al: Acidimetric Determination of Vicinal Hydroxyl by Means of Sodium Periodate, Anal. Chem., Vol. 24, No. 5 (1952), 902.
 12) R. GILMONT et al: Composition of Vapors from Boiling Binary Solutions, Ind. Eng. Chem., Vol. 36, No. 11 (1944), 1061.
 13) 日本機械学会: 「蒸気表および線図」, 増訂2版

(昭30)
 14) JU CHIN CHU et al: Enthalpy-Concentration Diagram for Ethylene glycol-Water, Ind. Eng. Chem., Vol. 42, No. 2 (1950), 373.
 15) 日本化学会: 「化学便覧」基礎編II 改訂2版, 888ページ, 丸善, 東京(昭50)
 16) 日本冷凍協会: 「吸収式冷凍機とその応用」, 32ページ, 日本冷凍協会, 東京(昭50) [付記]

本研究を行うにあたり当時本学4回生であった岡本哲夫, 坂本一郎, 松田玄二, 蔭山知大の諸氏の御協力を得た。ここに記し感謝の意を表します。

講習会テキスト

クリーンルーム技術の基礎と応用

<B5>126ページ

定価 6,000円 (会員特価 5,500円) 送料 300円

【基礎篇】

- 1. クリーンルーム概論.....藤井正一(芝浦工業大学)
- 2. エアフィルタ: 構造と機能.....大竹信義(日本無機繊維工業(株))
- 3. クリーンルーム機器.....菊地 勇(ダン産業(株))
- 4. 清浄度測定法.....山下憲一(工業技術院機械技術研究所)

【応用篇】

- 5. IC工場のクリーンルーム.....橋本孝禧(高砂熱学工業(株))
- 6. 病院におけるバイオクリーンルーム.....後藤昌司(東洋熱工業(株))
- 7. 医薬品製造工場におけるバイオクリーンルーム.....北村昭二(株東洋製作所)
- 8. 実験動物施設.....牧野永俊(株大気社)
- 9. バイオハザード対策施設.....高橋耕造(株日立製作所中条工場)

〒160 東京都新宿区三栄町8 社団法人 **日本冷凍協会** ☎03(359) 5 2 3 1
 振替 東京3-73841番



**プログラム電卓による
冷媒の熱力学特性の計算とその応用**

Calculations of the Thermodynamic Properties of Refrigerants and Its Applications by Programmable Pocket Calculator

小柳 礼之助*
Reinosuke OYANAGI

1. ま え が き

我々冷凍技術にたずさわる者は常に冷媒特性値を取り扱っているが、ここにその計算を述べようとするのは次の3つの理由からである。その第一は、R12の特性値の改訂を私が知ったのは1955年(昭和30年)9月号の「Refrigerating Engineering」¹⁾で、それまで24年間使用してきたものをかなり大きく変更しており、その後米国で発表される冷媒表は全部これを用いておるが、日本ではこれをメートル法に直したものが発表されていないように思われる。したがって米国文献の値をメートル単位に直すとは異なる値になる。R22やR502もこれに似た関係にある。第二の理由は過熱蒸気特性値の計算である。飽和状態におけるものは、温度あるいは圧力などの一つを定めると、他の値が決定されるが、過熱蒸気部分は、二つの値の関数となり、数表にしても頁数の多いものになり、補間式を用いても計算が大変である。また線図からは細い値を読みとることができない。このために近頃数社で発売しているプログラム電卓を用いて計算すると、過熱部分も簡単に算出することができるのでこれを述べたい。近頃流行のマイコンによっても多くの場合精度は多少おとるが実用上差支えない程度に計算できるので、実用価値は大きいと思われる。しかしカバンの中に入れて持ち歩きのできるプログラム電卓の方が便利である。第三の理由は、今後当然生じてくるSI単位への変換のときには、プログラム電卓で数値データを記憶している磁気カードを、SI単位によるデータに変えるだけで、非常に簡単に変更できるためである。なおこの計算の後で、これを使って過熱蒸気のオリフィス通過流量の式を求め、これにより蒸発圧力調制弁の特性を計算する方法を述べる。尚冷媒はR12, R22, R502とした。

2. 冷媒特性の計算式

1974年(昭和49年)にDu Pont社のR. C. Downing²⁾が冷媒の式と題して、種々のフロンの係数を含めて発表しているのをこれを使用する。

熱力学特性を計算するための基礎特性値を算出するのは次の4式である。

(i) 液の密度

$$d_L = A_L + B_L \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{1/3} + C_L \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{2/3} + D_L \left(1 - \frac{T}{T_c}\right) + E_L \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{4/3} + F_L \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{1/2} + G_L \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^2 \dots (1)$$

d_L : 液の密度

T : 絶対温度

T_c : 臨界温度

A_L, B_L 等の係数と単位については後述するが、絶対温度としてはその冷媒の算出当時の値を用いている。

(ii) 飽和蒸気圧

$$\log_{10} P = A + \frac{B}{T} + C \log_{10} T + DT + E \left(\frac{F-T}{T}\right) \times \log_{10}(F-T) \dots (2)$$

P : 飽和蒸気圧

T : 絶対温度

その他は係数である。

(iii) 状態式

$$P = \frac{RT}{V - b_0} + \frac{A_2 + B_2 T + C_2 e^{-KT/T_c}}{(V - b_0)^2} + \frac{A_3 + B_3 T + C_3 e^{-KT/T_c}}{(V - b_0)^3}$$

* 株式会社 不二工機製作所
Fujikoki Manufacturing Co., Ltd
原稿受理 昭和55年1月5日