る。C 形では $\alpha=0^\circ$ の時 C 1 の内 $h=0.7d$ に変更したのが良く、 $\alpha=30^\circ$ の時 C 3 の内 $h=0.7d$ にした方が良く、 $\alpha=60^\circ$ の時 C 1 が最も良い。故に C 形としては C 1 の内 $h=0.7d$ に変更したのが最良であつて、即ち $\alpha=0.5d$, $h=0.7d$, $l=5.2d$ である。

次に旋回流動の影響を見るに、 $\alpha=0^\circ$ では ABC の 3 形

式に就て大体優劣を認めないが、 $\alpha=30^\circ$ の時 C 形良く、B 形これに次ぎ、 $\alpha=60^\circ$ では B 形最も良く、C 形これに次ぐのである。次の機会には吸出管の彎曲部に各種の隔壁を設けて、その影響を調べて見ようと思つてゐる。この実験中、佐々木亮高君と千葉虎之助君には多大の労をかけたから茲に感謝の意を表す。

二元式固形炭酸サイクルに就て⁽¹⁾

(昭和 11 年 1 月 10 日 台灣地方講演會に於て講演)

正 員 藤 田 保 太 郎⁽²⁾

摘 要

固形二酸化炭素の製造法に関しては今日改善されて実際に適用されてゐる幾多の熱力学的サイクルが存在する。茲に今一つの方法として二つの冷媒を組合せて冷凍効果を遂げる二元冷凍サイクルの理論を應用して、一層經濟的に固形二酸化炭素製造の目的を達せんとする二元式固形炭酸サイクルが擧げられる。本論文に於ては曩に發表した二元サイクルに関する著者の理論と新計算式に基づいて固形炭酸サイクルの状態を決定する方法を説き、併せて在来の主なる諸サイクルの計算法を述べ、同一條件の下でサイクルの比較検討を試みる。

1. 緒 言

二酸化炭素は特異な性質をもつ冷媒で、その液体を大気圧に膨脹させるとその一部が固体に変化し、固体は熱を吸収するとき液体状態を通過せず昇華してガス体に変化する。即ち大気圧の下では液体として存在し得ぬ。液体で在り得る最低圧力即ち三重点圧力は 5.28 kg/cm^2 で、この圧力下ではガス体、液体並に固体の三相が同時に存在し得る。圧力を除いて大気圧にすると温度は -56.6° から -78.9°C に降下する。固形炭酸の製造法に就ては相當の範圍論ぜられ、^{(3)~(10)} 効率を高めるために種々の方法が講ぜられてゐるが要するにその骨子とする所はガスの圧縮、液化、液の膨脹の 3 過程から成立つもので上の特性を利用して液を大気圧に膨脹させ、生成される固形炭酸から分離した蒸気はこれを圧縮機で吸引圧縮して再び冷却液化する。換言すれば二酸化炭素を冷媒とする

普通の冷凍装置に於ての低圧側を大気圧と定めたるに過ぎず。液の膨脹に際して液と蒸気の混合物を造らずに、液を固体と蒸気に変化させるだけが両者の相違する点である。但し前者はサイクルが所謂密閉式で液が蒸発によつて冷凍効果を遂げて変化した蒸気は残らず分離蒸気と共に圧縮機に導かれて循環するのに反し、後者では製造された固体が製品として装置外に供給され、即ちサイクルが開放式であるために製品と等量の原料が液体かガス状態かで補給されることとなる。然るに一般に CO_2 冷凍サイクルは効率悪く、適當な冷媒を組合せてつくられる例へば $\text{NH}_3\text{-CO}_2$ 二元冷凍サイクルの方が遙かに高度の成績係数を與えることは認められてゐるから、⁽¹¹⁾ 固形炭酸の製造に対して二元サイクルの方式を適用しようと云ふ問題は當然着眼させねばならぬことに屬する。

2. 成績係数に関する基本式

一般に第 1 冷媒液の膨脹蒸発による熱吸収で第 2 冷媒の圧縮蒸気を冷却凝結させ、所要の冷凍目的は低温蒸発器内で第 2 冷媒の蒸発に依つて遂げる二元冷凍サイクルで第 1 冷媒のサイクルを高温サイクル、第 2 冷媒のサイクルを低温サイクルと称することとし

q_a 又は q_{01} = 第 2 冷媒を凝結させるために使はれる第一冷媒の單位循環量當りの冷却熱量

q_c 又は q_{02} = 第 2 冷媒の單位循環量當りの冷凍熱量

Al_a , Al_c = 第 1 並に第 2 冷媒の單位循環量に就ての所要圧縮仕事に相當する熱量

q_{cond} = 第 2 冷媒の單位量を凝結させるために第 1 冷

(1) On Binary Refrigerating Cycle Applied to the Manufacture of Solid Carbon Dioxide. (2) Yasutaro Fujita, Member. The Tainan Technical College. 台南高等工業学校. (3) Iwan Kuprianoff, Über die Herstellungsverfahren von fester Kohlensäure, Zeit. f. d. Gesamte Kälte-Industrie, 3 Heft, 1932. (4) K. Hiller, Zur Frage der Energieaufwand des bei der Herstellung von festem Kohlendioxyd. Z. f. d. Gesamte Kälte-Industrie, 3 u. 4 Heft, 1932. (5) R. Plank, Herstellung und industrielle Verwertung fester Kohlensäure, V.D.I. Bd. 73, Nr. 7, 1929. (6) A. Salmong, Über rationallste Arbeitsweise bei der Herstellung von Trockeneis, Das Trockeneis, Nr. 8, 1933. (7) W. Pohlman, Die Herstellung und die Verwendung von Trockeneis, Chemiker-Zeitung, 25, April, 1934. (8) F.W. Rabe, Power Requirements for the Manufacture of Solid CO_2 , Refrigerating Engineering, Dec. 1931. (9) Charles O. Duevel, Carbon Dioxide and its Solidification, Refrigerating Engineering, July & Aug. 1931. (10) J. C. Goosman, Carbon Dioxide Thermodynamics, Part IV Solidification, Refrigerating Engineering, Jan. 1934.

(11) 拙著 二元サイクルの理論成績係数に就て 機械學會誌 第 38 卷 第 211 号又は論文集 第 1 卷 第 3 号。

媒によつて吸収される熱量

g = 第2冷媒の単位循環量を冷却凝結させるに必

要な第1冷媒の所要循環量

ε_a = 高温サイクルの成績係数

ε_c = 低温サイクルの成績係数

ε = 全サイクルの成績係数

とすると

$$\varepsilon_a = \frac{q_a}{Al_a}, \quad \varepsilon_c = \frac{q_{02}}{Al_c}, \quad g = \frac{q_{cond}}{q_a}$$

にて、これ等の3式から

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{q_{02}}{Al_c + gAl_a} = \frac{q_{02}}{\frac{q_{02}}{\varepsilon_c} + \frac{q_{cond}}{\varepsilon_a}} = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c \cdot \frac{q_{cond}}{q_{02}}} \\ &= \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c \Psi} \end{aligned} \quad (1)$$

なる二元サイクルの成績係数を表はす式が導かれる。茲に

$$\Psi = \frac{q_{cond}}{q_{02}} = 1 + \frac{q_{cond} - q_{02}}{q_{02}} \quad (2)$$

従つて

$$\varepsilon_c \Psi = \varepsilon_c + \frac{q_{cond} - q_{02}}{Al_c} = \varepsilon_c + \Phi$$

と置けば ε は又次の形に表はされる。

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c + \Phi} \quad (3)$$

茲に

$$\Phi = \frac{q_{cond} - q_{02}}{Al_c} \quad (4)$$

(1°) 中間水冷却を伴ふ場合

第2冷媒の圧縮蒸気を第一冷媒液と熱交換を行はせて冷却凝結させる前に中間冷却器を通過せしめて冷却熱の一部を先づ冷却水に吸収せしめその熱量を第2冷媒の単位量當り q_w とすれば

$$\begin{aligned} q_{cond} &= q_{02} + Al_c - q_w \\ \Phi &= \frac{q_{cond} - q_{02}}{Al_c} = \frac{Al_c - q_w}{Al_c} = 1 - \frac{q_w}{Al_c} \end{aligned} \quad (5)$$

故に

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c + 1 - \frac{q_w}{Al_c}} \quad (6)$$

(2°) 中間冷却を伴はぬ場合

上の式の $q_w = 0$, $\Phi = 1$ となる特別な場合で

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c + 1} \quad (7)$$

なる式に誘導した式と一致する。更に

(3°) 低温サイクルを二段圧縮とする場合

は

$$q_{cond} = q_{02} + Al_{CH} + Al_{CL} - q_{wH} - q_{wL}$$

$$\Phi = \frac{q_{cond} - q_{02}}{Al_c} = 1 - \frac{q_{wH} + q_{wL}}{Al_{CH} + Al_{CL}} \quad (8)$$

従つて

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c + 1 - \frac{q_{wH} + q_{wL}}{Al_{CH} + Al_{CL}}} \quad (9)$$

茲に

$$Al_c = Al_{CH} + Al_{CL}, \quad q_w = q_{wH} + q_{wL}$$

Al_{CH} , Al_{CL} = 低温サイクルの高圧並に低圧の圧縮に必要な仕事に相當する熱量

q_{wH} , q_{wL} = 低温サイクルの高圧並に低圧中間冷却器の冷却水に吸収される熱量

を表はす。低温サイクルの冷媒として當然二酸化炭素を用ひ、これを他の適當に選んだ高温サイクル冷媒と組合せて二元サイクルをつくり、低温サイクルの低圧吸入圧力を三重点以下普通大気圧に保つことによつて二元冷凍サイクルを適用した固形炭酸製造法が構成される。かくて造られる雪狀の炭酸が密閉された室内で冷凍効果を遂げて昇華し乾燥飽和の状態に達した蒸気の全部を圧縮機に吸入させて圧縮すると假定すれば即ち低温サイクルを普通の冷凍サイクルの如く密閉サイクルとして取扱ふならば、その成績係数は上の諸式を用ひて計算される。然し實際は雪狀炭酸は室外に取出し、これを水圧による成形機にかけて一定の形に固めた所謂固形炭酸として供給されるから従つて成績係数に関する上の基本式は次の通りに修正されねばならぬ。

3. 液を補給する二元サイクル

第1図に示す通り雪狀炭酸生成室内に分離した蒸気は CO_2 圧縮機に吸引圧縮され冷却水による中間冷却器を通過して過熱の一部を奪はれて後蒸発凝結器に入り、高温サイクルの蒸発冷媒と熱を交換して液化する。液は膨脹弁を通過して低圧の生成室に入り雪狀の固体と蒸気に変化する。 CO_2 の過熱と蒸発潜熱を吸収して乾燥状態に達した第1冷媒蒸気は圧縮機に吸引圧縮され水冷凝結器に導かれて液化し、液は膨脹弁を通過し蒸発凝結器に入つてサイクルを循環する。第1図(b)は第1図(a)の過程を温度—エントロピ線図上に示したもので同一符号を用ひて状態を対照して示す。 CO_2 圧縮機の取扱ふ量を基準にし生成される雪狀炭酸量に等量の原料が4. と同一状態の液体で補給されるものとし

m = 液の補給量

x = 膨脹後の乾燥度

とすれば $m = 1 - x/x$ で單位量の凝結液と同一状態で混和して $m + 1 = 1/x$ なる量が膨脹弁を通過することゝなる。故にこの場合の成績係数は

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= \frac{q_{01}}{Al_a}, \quad \varepsilon_c = \frac{(m+1)q_{02}}{Al_c}, \quad g = \frac{q_{cond}}{q_{01}} \\ \varepsilon &= \frac{(m+1)q_{02}}{Al_c + g \cdot Al_a} = \frac{(m+1)q_{02}}{\frac{(m+1)q_{02}}{\varepsilon_c} + \frac{q_{cond}}{\varepsilon_a}} \\ &= \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c \cdot \frac{q_{cond}}{(m+1)q_{02}}} = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c \Psi} \end{aligned} \quad (1)$$

なる(1)と同じ形で表はされる。但しこの際の Ψ は

$$\Psi = \frac{q_{cond}}{(m+1)q_{02}} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c \cdot \eta &= \frac{(m+1)q_{02}}{Al_c} \left[1 + \frac{q_{\text{cond}} - (m+1)q_{02}}{(m+1)q_{02}} \right] \\ &= \varepsilon_c + \frac{q_{02} + Al_c - q_w - (m+1)q_{02}}{Al_c} \\ &= \varepsilon_c + 1 - \frac{mq_{02} + q_w}{Al_c}\end{aligned}$$

従つて ε は又 (3) 式と同じ形に表はされる。

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c + \Phi} \quad \dots\dots (3)$$

但し $\Phi = 1 - \frac{mq_{02} + q_w}{Al_c} \quad \dots\dots$

中間冷却を伴ふ場合.....(11)

$$\Phi' = 1 - \frac{mq_{02}}{Al_c} \quad \dots\dots$$

中間冷却を伴はぬ場合...(12)

更に

Z_{02} = 生成される固形炭酸量
kg/psh

$R = p_{02}$ 圧力に於ての昇華潜熱
= 136.89 kcal/kg
($p_{02} = 1.00$ kg/cm² のとき)

$N = 100$ kg の固形炭酸を造るに
要する仕事, psh

第 1 図 二元サイクル (液補給)

第 1 表 $\text{NH}_3\text{-CO}_2$ 二元サイクル (液補給)
に関する諸数値

NH ₃ -高温サイクル				低温サイクル					
$t_{01}^{\circ}\text{C}$	$t^{\circ}\text{C}$	ε_a		$t_{02}^{\circ}\text{C}$	$t_1^{\circ}\text{C}$	ε_c	$t_{3c}^{\circ}\text{C}$	Φ	Φ'
-30.0	30.0	3.12		-78.9	-25.0	3.74	35.0	-1.29	0.54
	27.5	3.30					32.5	-1.31	0.53
	25.0	3.48					30.0	-1.32	0.52
	22.5	3.71					27.5	-1.34	0.49

(a)

$t^{\circ}\text{C}$	(A)-中間冷却を伴ふ場合			(A')-中間冷却を伴はぬ場合		
	ε	Z_{02} kg/psh	N psh /100kg	ε'	Z'_{02} kg/psh	N' psh /100kg
30.0	2.10	9.67	10.3	1.58	7.28	13.7
27.5	2.15	9.94	10.1	1.63	7.53	13.3
25.0	2.21	10.21	9.8	1.68	7.77	12.9
22.5	2.27	10.49	9.5	1.75	8.07	12.4

(b)

とすれば

$$Z_{02} = \frac{632 \cdot \varepsilon}{R} = \frac{632 \cdot \varepsilon}{136.89} = 4.617 \cdot \varepsilon \text{ kg/psh} \quad \dots\dots (13)$$

$$N = \frac{100}{Z_{02}} = \frac{100}{4.617 \varepsilon} = \frac{21.66}{\varepsilon} \text{ psh/100 kg} \quad \dots\dots (14)$$

で與へられる。

i でエンタルピを表はし、これにサイクル諸点の番号を接尾数字で示し、特に ' ' 並に ' ' ' は夫々液体、乾燥飽和蒸気、並に固体状態なることを指示し、以下總て決定されたサイク
昭和 11 年 11 月]

ル上の諸点の計算に必要な i の値は蒸気表又は線図の上で読み取り、次の假定の下に計算を行ふこととする。

(1) 圧縮は總て断熱的に行はれる。

(2) 高温サイクル冷媒の蒸発温度 t_{01} はそれに相當する飽和圧力 p_{01} が大気圧以下となる場合の真空運轉を避けるために大気圧を越える圧力に相當して決定する。

(3) 高温サイクル冷媒の蒸発温度 t_{01} と低温サイクルの冷媒 CO_2 の凝結温度 t_1 との温度差を $\tau = t_1 - t_{01} = 5^{\circ}\text{C}$ と見做す。

(4) 中間冷却器を通過する蒸気の終端温度 t_{3c} は冷却水による高温サイクル冷媒の凝結温度より高きこと 5°C 即ち $t_{3c} = t + 5^{\circ}\text{C}$ とする。

(1°) NH_3 を高温冷媒とする場合
高温サイクル

$p_{01} = 1.22$ kg/cm², $t_{01} = -30^{\circ}\text{C}$

とし

$$\varepsilon_a = \phi_1(t) + \phi_2(t) \frac{t_{01}}{t - t_{01}} \quad (12)$$

茲に

$$\phi_1(t) = 271.3t - 1.030,$$

$$\phi_2(t) = 276.8t + 0.550$$

第 2 表 $\text{CCl}_2\text{F}_2\text{-CO}_2$ 二元サイクル (液補給)
に関する諸数値

CCl ₂ F ₂ -高温サイクル				低温サイクル					
t_{01}	t	ε_a		t_{02}	t_1	ε_c	t_{3c}	Φ	Φ'
-30.0	30.0	3.01		-78.9	-25.0	3.74	35.0	-1.29	0.54
	27.5	3.19					32.5	-1.31	0.53
	25.0	3.40					30.0	-1.32	0.52
	22.5	3.62					27.5	-1.34	0.49

(a)

t	(B)-中間冷却を伴ふ場合			(B')-中間冷却を伴はぬ場合		
	ε	Z_{02}	N	ε'	Z'_{02}	N'
30.0	2.06	9.52	10.5	1.54	7.13	14.0
27.5	2.12	9.80	10.2	1.60	7.39	13.5
25.0	2.19	10.10	9.9	1.66	7.67	13.0
22.5	2.25	10.39	9.6	1.73	7.96	12.6

(b)

から與へられた第 1 冷媒の凝結温度 t に対する ε_a が求められる。

低温サイクル

$$t_1 = t_{01} + \tau = -30 + 5 = -25^{\circ}\text{C} \quad p_1 = 17.14 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{02} = -78.9^{\circ}\text{C} \quad p_{02} = 1.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{3c} = t + 5^{\circ}\text{C} \quad x = \frac{R - i'_{1c} + i'_{4c}}{R}$$

(12) 拙著、冷凍サイクルに関する二三の新計算式とその適用 機械學會誌 第 38 卷 第 221 号又は論文集 第 2 卷 第 6 号

$$m = \frac{1-x}{x} = \frac{R}{R - i'_{1c} + i'_{4c}} \left\{ 1 - \frac{R - i'_{1c} + i'_{4c}}{R} \right\}$$

$$= \frac{i'_{1c} - i'_{4c}}{R - i'_{1c} + i'_{4c}}$$

$$q_{02} = i'_{1c} - i'_{4c},$$

$$Al_c = i_{2c} - i'_{1c}, \quad q_w = i_{2c} - i_{3c}$$

$$\epsilon_c = \frac{(m+1)q_{02}}{Al_c}$$

これ等の諸式による値を基にして Φ , Φ' , ϵ , Z_{02} , N が夫々 (11), (12), (3), (13), (14) 式で第 1 表に示す通り得られる。

(2°) CCl_2F_2 を高温冷媒とする場合

$$p_{01} = 1.02 \text{ kg/cm}^2,$$

$$t_{01} = -30.0^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_a = \phi_1(t) + \phi_2(t) \frac{t_{01}}{t - t_{01}}$$

但し CCl_2F_2 では

$$\phi_1(t) = 274.9t^{-1} - 1.418,$$

$$\phi_2(t) = 278.6t^{-1} + 0.191$$

で與へられる。

t_{01} を NH_3 の場合と等しく定めるから低温サイクルの條件は前と全く同じになる。仍て同様の計算を行つて第 2 表の値が得られる。

4. 液を補給する在末のサイクル

(1°) CO_2 二段圧縮予冷サイクル

第 2 図は CO_2 二段圧縮予冷サイクルを示す。この場合低圧蒸気は圧縮機に吸入される前に熱交換器に導かれ液化炭酸と互に逆流し熱を交換して液を過冷却する。その最終温度差を 10.0°C と假定し、尚圧縮蒸気は中間冷却器で凝結温度に等しい温度迄冷却されるものと見做す。

$$p_{02} = 1.00 \text{ kg/cm}^2, \quad t_{02} = -78.9^\circ\text{C}, \quad p_1 = \sqrt{p \cdot p_{02}}$$

$$t_1 = t - 10.0^\circ\text{C}$$

と定め $i_6 = i_5' - (i_1 - i_7')x$

なる式を満足する様に i_6 と x の値を決定する。従つて

第 3 表 CO_2 二段圧縮予冷サイクルに関する諸数値

t_{02}	t	p	p_1	x	ϵ	Z_{02}	N	記号
-78.9	30.0	73.34	8.56	0.698	0.80	3.71	27.0	(P)
	27.5	69.35	8.33	0.695	0.91	4.21	23.7	
	25.0	65.59	8.10	0.658	1.02	4.73	21.1	
	22.5	61.85	7.86	0.643	1.14	5.25	19.1

第 2 図 CO_2 二段圧縮予冷サイクル (液補給)

第 3 図 完全冷却を伴ふ二段圧縮膨脹サイクル (液補給)

$$Al = (i_4 - i_3)x + (i_2 - i_1)x,$$

$$q_{02} = i_7' - i_6,$$

$$\epsilon = \frac{q_{02}}{Al}, \quad Z_{02} = 4.617\epsilon,$$

$$N = \frac{21.66}{\epsilon}$$

の関係から第 3 表の数値が得られる。

(2°) 完全冷却を伴ふ二段圧縮膨脹サイクル

このサイクルでは第 3 図に見る通り低圧気筒で圧縮された蒸気は中間冷却器通過中一部冷却された後更に中圧に膨脹した液の一部の蒸発によつて完全に過熱を奪はれて乾燥飽和の状態に達する。

$$p_{02} = 1.00, \quad p_1 = \sqrt{p \cdot p_{02}}$$

と定め、第 1 膨脹弁を通過する液の単位量の内 g_1 が中圧蒸気の冷却に使はれ、残部の g_2 から分離される $g_2(1-x_1)$ の液が第 2 膨脹弁を通過するとすれば

$$g_1 + g_2 = 1,$$

$$g_2 x_2 (1-x_1)(i_3 - i_4') = g_1(i_4'' - i_6')$$

の関係が成立つ。この 2 式から g_1 と g_2 が決定される。即ち

$$g_1 = \frac{x_2(1-x_1)(i_3 - i_4')}{x_2(1-x_1)(i_3 - i_4') + (i_4'' - i_6')}$$

$$g_2 = \frac{i_4'' - i_6'}{x_2(1-x_1)(i_3 - i_4') + (i_4'' - i_6')}$$

更に

$$Al = Al_H + Al_L = [g_1 + g_2(x_1 + x_2 - x_1 x_2)](i_5 - i_4') + g_2 x_2 (1-x_1)(i_2 - i_1')$$

$$q_{02} = g_2(1-x_1)(i_1'' - i_7')$$

$$\epsilon = \frac{q_{02}}{Al}, \quad Z_{02} = 4.617\epsilon, \quad N = \frac{21.66}{\epsilon}$$

これ等の式を用ひて第 4 表の数値が求められる。

5. ガスを補給する二元サイクル

固形炭酸を多量に生産する装置では生成供給される固形炭酸の原料を液体状態でサイクル中に補給せずに、原料ガスを

第 4 表 完全冷却を伴ふ二段圧縮膨脹サイクルに関する諸数値

t	p	p_1	x_1	x_2	g_1	g_2	ϵ	Z_{02}	N	記号
30.0	73.34	8.56	0.617	0.445	0.092	0.908	1.12	5.17	19.3	(Q)
27.5	69.35	8.33	0.564	0.442	0.089	0.911	1.30	6.02	16.6	
25.0	65.59	8.10	0.530	0.440	0.085	0.915	1.45	6.68	15.0	
22.5	61.85	7.86	0.500	0.437	0.083	0.917	1.59	7.34	13.6	

固形炭酸室に分離した低圧蒸気と混和して圧縮機に吸入させるのが普通である。第4図はこの方式に従つて低温サイクルを二段圧縮膨脹式とした装置の略図と圧力-エンタルピ線図上に書いたサイクルを示す。生成された固形炭酸 $(1-x_0)$ $(1-x_1)$ に等量の原料ガスが固形炭酸室に生じた $x_0(1-x_1)$ の蒸気と混合して低圧シリンダに吸引圧縮され、中間冷却器を通過して後第1段膨脹の際生じた中圧蒸気と混和して単位量となつて高圧シリンダに導かれる。高圧蒸気は更に中間冷却器を通過して蒸発凝結器に入り高温サイクル冷媒と熱交換を遂げて凝結する。高温サイクル冷媒として NH_3 , CCl_2F_2 , CH_3Cl 並に SO_2 を選ぶ場合に就て述べる。先づ次の假定を設ける。

- (1) 補給される原料ガスは高温サイクル冷媒の冷却水による凝結温度まで冷却されるものと見做す。
- (2) 冷却水による圧縮蒸気の中間冷却終端温度も高温サイクル冷媒の凝結温度に等しいと見做す。
- (3) 2 冷媒の熱交換温度差即ち第1 冷媒蒸発温度と CO_2 の凝結温度の差を 5°C とする。

(1°) CO_2 の凝結温度を -50°C と定める場合

CO_2 の二段膨脹サイクルでは中間圧力は三重点圧力以下とすることは出来ぬから幾分高く取る。高圧と低圧の圧縮比を等しくして次の通り定めると CO_2 の凝結温度が -5°C に相當する。

$$p_{02}=1.00 \text{ kg/cm}^2,$$

$$t_{02}=-78.9^\circ$$

$$p_{1L}=5.66 \text{ "}$$

$$t_{1L}=-55.0^\circ$$

$$p_{1H}=31.05 \text{ "}$$

$$t_{1H}=-5.0^\circ$$

従つて高温サイクルは蒸発温度を -10.0° とし、これに対する各冷媒の圧力関係を第5表に示す。

高温サイクルの成績係数は蒸発温度が定まれば液補給の場合と同様に與へられる凝結温度に対して次の式から計算

される。4 冷媒共同一の式で表はされ、凝結温度に関する定数が異なる。即ち

$$\varepsilon_a = \phi_1(t) + \phi_2(t) \frac{t_{01}}{t - t_{01}}$$

但し

$$\text{NH}_3 \quad \phi_1(t) = 271.3t^{-1} - 1.030, \quad \phi_2(t) = 276.8t^{-1} + 0.550$$

$$\text{CCl}_2\text{F}_2 \quad \phi_1(t) = 274.9t^{-1} - 1.418,$$

$$\phi_2(t) = 278.6t^{-1} + 0.191$$

$$\text{CH}_3\text{Cl} \quad \phi_1(t) = 270.2t^{-1} - 0.891,$$

$$\phi_2(t) = 23.584 - 0.0346t$$

$$0.251 + 0.0675t$$

$$\text{SO}_2 \quad \phi_1(t) = 272.9t^{-1} - 0.903,$$

$$\phi_2(t) = 275.2t^{-1} + 0.744$$

低温サイクルは圧力並に温度状態が決定すれば第4図の i'_8 , i'_{10} , i'_{11} , i'_9 , i_1 , i_4 , i_7 の値を蒸気表又は線図から読みとり

$$x_1 = \frac{i'_8 - i'_{10}}{i'_9 - i'_{10}},$$

$$x_0 = 1 - \frac{i'_{11} - i'_{10}}{R}$$

$$i_2 = x_0 i'_{11} + (1-x_0) i_1,$$

$$i_5 = x_1 i'_9 + (1-x_1) i_4$$

を用いて 2, 5, 6 点を決定し、これを通過する断熱線上の 6, 3, 2 点を知り、そのエンタルピを読む。高圧シリンダの循環量を基準にして

$$\psi = \frac{q_{\text{cool}}}{q_{02}} = \frac{i_7 - i_8}{(1-x_1)(i'_{11} - i'_{10})}$$

$$\varepsilon_c = \frac{q_{02}}{A_{\text{CH}} + A_{\text{CL}}(1-x_1)} = \frac{(1-x_1)(i'_{11} - i'_{10})}{(i_6 - i_5) + (1-x_1)(i_3 - i_2)}$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_a + \varepsilon_c \psi}$$

$$Z_{02} = 4.617 \times \varepsilon,$$

$$N = \frac{21.66}{\varepsilon}$$

から第6表の計算値が得られる。

(2°) 高温サイクルの蒸発圧力を大気圧附近に定める場合

真空運転を避けるために蒸発圧力を大気圧より小ならぬ様に NH_3 , CCl_2F_2 , CH_3Cl , SO_2 の蒸発温度を夫々 -30.0° , -25.0° , -20.0° , $-$

第4図 二元サイクル(ガス補給)

第5表 高温サイクル冷媒の圧力関係(その1)

冷媒	t_{01}	p_{01}	$t=30.0$		$t=27.5$		$t=25.0$		$t=22.5$	
			p	p/p_{01}	p	p/p_{01}	p	p/p_{01}	p	p/p_{01}
NH_3	-10.0	2.97	11.90	4.01	11.05	3.72	10.23	3.44	9.42	3.17
CCl_2F_2	"	2.24	7.57	3.38	7.15	3.19	6.63	2.96	6.20	2.77
CH_3Cl	"	1.78	6.72	3.78	6.30	3.54	5.80	3.26	5.40	3.03
SO_2	"	1.03	4.67	4.53	4.37	4.24	3.97	3.85	3.67	3.56

第6表 各種二元サイクル(液補給)に関する諸数値(その1)

冷媒	高温サイクル				CO ₂ 偽置サイクル			ε	Z_{02}	N	記号
	t_{01}	t	ε_a	i_{1H}	ψ	ε_c					
NH_3	-10.0	30.0	10.56	-5.0	1.236	1.323	1.146	5.29	18.90	A	
		27.5	11.67		1.223	1.333	1.170	5.40	18.51		
		25.0	13.14		1.209	1.344	1.196	5.52	18.11		
		22.5	15.00		1.196	1.355	1.223	5.65	17.71		
CCl_2F_2	-10.0	30.0	5.380	-5.0	1.236	1.323	1.014	4.68	21.36	B	
		27.5	5.828		1.223	1.333	1.042	4.80	20.83		
		25.0	6.340		1.209	1.344	1.070	4.94	20.24		
		22.5	6.932		1.196	1.355	1.098	5.08	19.73		
CH_3Cl	-10.0	30.0	5.642	-5.0	1.236	1.323	1.025	4.73	21.13	C	
		27.5	6.066		1.223	1.333	1.050	4.85	20.61		
		25.0	6.570		1.209	1.344	1.077	4.97	20.11		
		22.5	7.157		1.196	1.355	1.104	5.10	19.62		
SO_2	-10.0	30.0	5.710	-5.0	1.236	1.323	1.028	4.75	21.07	D	
		27.5	6.150		1.223	1.333	1.054	4.87	20.55		
		25.0	6.649		1.209	1.344	1.080	4.99	20.06		
		22.5	7.235		1.196	1.355	1.107	5.11	19.56

実線：低温サイクルの凝結温度を -5°C とする場合
 鎖線：高温サイクルの低圧を大気圧附近に定める場合

④ $\text{NH}_3\text{-CO}_2$ サイクル ⑤ $\text{CCl}_2\text{F}_2\text{-CO}_2$ サイクル
 ⑥ $\text{CH}_3\text{Cl-CO}_2$ サイクル ⑦ $\text{SO}_2\text{-CO}_2$ サイクル

第 5 図 ガスを補給する二元サイクルにおける高温冷媒の凝結温度と固形炭酸生成量、終圧並に圧縮比の関係
 10°C と定める。 SO_2 では前述の CO_2 の凝結温度を -5°C とする場合と一致する。この場合の圧力並に圧縮比の関係を第 7 表に示す。

低温サイクルの凝結温度は夫々の高温サイクル冷媒の蒸発温度と 5°C の温度差に取り圧力と温度が第 8 表の通りに定められる。従つて両サイクルの成績係数その他總て前の式を用ひて二元サイクルに対する第 9 表の数値が算出される。

上述のガスを補給する二元サイクルの固形炭酸の生成量と各種高温冷媒の終圧並に圧縮比を線図として第 5 図に示す。高温冷媒を NH_3 としてその蒸発温度を -10°C に定める場合が最も大きな Z_{02} が得られる。 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ と CH_3Cl は蒸発温度を -10°C に取る場合よりも蒸発圧力を大気圧附近に定める方が Z_{02} の値が大きく、両者を比較すると何れの場合も CH_3Cl の方が CCl_2F_2 の方よりも幾分大きな Z_{02} を與へる。 SO_2 は蒸発温度を -10°C と定める場合の CH_3Cl と殆ど相等しい Z_{02} を與へ、又蒸発圧力を大気圧附近に取る時の NH_3 と CCl_2F_2 では接近した Z_{02} が得られることを知る。

6. ガスを補給する在来のサイクル

次に今日固形炭酸の多量生産工程に適用さ

れてゐる三段圧縮の諸サイクルを挙げ、併せて一定仕事量に対する生産量その他の計算法を述べて同一条件の下に二元サイクルとの比較資料を求めることとする。

(1°) 三段圧縮予冷サイクル

第 6 図に示す通り雪状炭酸室内に分離した大気圧の蒸気は低圧気筒に吸入される前に熱交換器を通過し、その際これと逆流する液化炭酸を過冷却して固形炭酸の生成率を増加する方法で、低圧蒸気は過熱せられることとなり、然る上補給原料瓦斯と混和して圧縮機に導かれる。圧縮蒸気の圧力は圧縮比が相等しくなる様に定めるのが普通で

$$t_{02} = -78.9^{\circ}, \quad p_{02} = 1.00$$

$$p_{1H} = \sqrt{p \cdot p_{1L}} = \sqrt{p^3 \cdot p_{02}}$$

$$p_{1L} = \sqrt{p_{1H} \cdot p_{02}} = \sqrt{p \cdot p_{02}^3}$$

とし、熱交換の最終温度差即ち熱交換出口の過熱された低圧蒸気温度と液化温度の差 $t - t_{11} = 10^{\circ}\text{C}$ と假定する。

$$i'_8 - i_9 = x(i_{11} - i'_{10})$$

なる関係を満足する様に i_9 従つて x を決定する。

$$i_2 = (1-x)i_1 + x i_{11}$$

で混合ガスの状態が決めるに。

第 7 表 高温サイクル冷媒の圧力関係 (その 2)

冷媒	t_{01}	p_{01}	$t = 30^{\circ}\text{C}$		$t = 27.5$		$t = 25^{\circ}\text{C}$		$t = 22.5$	
			p	p/p_{01}	p	p/p_{01}	p	p/p_{01}	p	p/p_{01}
NH_3	-30°C	1.22	11.90	9.75	11.05	9.06	10.23	8.39	9.42	7.72
CCl_2F_2	-25°C	1.26	7.57	6.01	7.15	5.67	6.63	5.26	6.20	4.92
CH_3Cl	-20°C	1.20	6.72	5.60	6.30	5.25	5.80	4.83	5.40	4.50
SO_2	-10°C	1.03	4.67	4.53	4.37	4.24	3.97	3.85	3.67	3.56

第 8 表 低温サイクルの温度圧力関係

サイ ク ル	t_{02}	p_{02}	t_{1L}	p_{1L}	t_{1H}	p_{1H}
$\text{NH}_3\text{-CO}_2$ サイクル	-78.9	1.00	-55°C	5.66	-25°C	17.14
$\text{CCl}_2\text{F}_2\text{-CO}_2$..	..	..	..	..	-20°C	20.06
$\text{CH}_3\text{Cl-CO}_2$..	..	..	..	..	-15°C	23.34
$\text{SO}_2\text{-CO}_2$..	..	..	..	..	-5°C	31.05

第 9 表 各種二元サイクル (液補給) に関する諸数値 (その 2)

高温サイクル				CO ₂ 低温サイクル			ε	Z ₀₂	N	記号
冷媒	t ₀₁	t	ε _a	t _{1H}	Ψ	ε _c				
NH ₃	-30°0	30°0	3°13	-25°0	1°260	1°77	1°03	4°76	20°95	A
		27°5	3°29		1°249	1°78	1°06	4°90	20°40	
		25°0	3°49		1°239	1°79	1°09	5°05	19°78	
		22°5	3°69		1°229	1°81	1°13	5°22	19°17	
CCl ₂ C ₂	-25°0	30°0	3°44	-20°0	1°257	1.66	1°03	4°77	20°95	B
		27°5	3°67		1°246	1°68	1°07	4°93	20°30	
		25°0	3°91		1°235	1°69	1°10	5°08	19°67	
		22°5	4°18		1°224	1°70	1°14	5°25	19°07	
CH ₃ Cl	-20°0	30°0	4°16	-15°0	1°253	1°56	1°06	4°89	20°45	C
		27°5	4°41		1°241	1°57	1°09	5°03	19°87	
		25°0	4°72		1°228	1°53	1°12	5°17	19°29	
		22°5	5°05		1°218	1°59	1°15	5°31	18°83	
SO ₂	-10°0	CO ₂ の蒸発温度を -5°0 と定むる (1°) の場合と一致する。								D

$$Al = (i_3 - i_2) + (i_6 - i_4)$$

$$+ (i_7 - i_6)$$

$$q_{02} = (i'_{10} - i_9)$$

$$\epsilon = \frac{(i'_{10} - i_9)}{\{(i_3 - i_2) + (i_6 - i_4) + (i_7 - i_6)\}}$$

から第 10 表の値が得られる。

[2°] 三段膨脹圧縮サイクル

第 7 図に見る通り高压シリンダに圧縮されて凝結した単位量の液化炭酸は三段に膨脹して最後に $(1-x_1)(1-x_2)(1-x_3)$ 量の固形炭酸が生成され、雪状炭酸室内に分離した $(1-x_1)(1-x_2)x_3$ 量の蒸気は固形炭酸に等量の原料ガスと混合して $(1-x_1)(1-x_2)$ 量となり中間低压に圧縮される。更に中間冷却器通過後同圧の下に第 2 段膨脹の際分離した $x_2(1-x_1)$ 量の乾燥飽和蒸気と混和して $(1-x_1)$ 量となつて中間高压に圧縮される。圧縮蒸気は再び中間冷却されて第 1 段膨脹の際生じた x_1 量の乾燥飽和蒸気と混和して単位量となつて高压気筒に吸入される。この場合の中間低压は第 2 段膨脹の際に固形炭酸が作られぬ様に三重点圧力より幾分高く定める。即ち

$$t_{02} = -78.9^\circ, \quad t_{1L} = -55.0^\circ$$

$$p_{02} = 1.00, \quad p_{1L} = 5.66, \quad p_{1L} \sqrt{p \cdot p_{1L}}$$

とする

$$x_1 = \frac{i'_{10} - i'_{11}}{i'_{15} - i'_{11}}, \quad x_2 = \frac{i'_{11} - i'_{12}}{i'_{14} - i'_{12}},$$

$$x_3 = \frac{i'_{12} - 16.73}{136.89}$$

$$i_2 = (1-x_3)i_1 + x_3 i'_{13}$$

$$i_6 = (1-x_2)i_4 + x_2 \cdot i'_{14}$$

$$i_8 = (1-x_1)i_7 + x_1 i'_{15}$$

$$Al = (i_9 - i_8) + (1-x_1)(i_6 - i_5) + (1-x_1)(1-x_2)(i_3 - i_2)$$

$$q_{02} = (1-x_1)(1-x_2)(i'_{13} - i'_{12})$$

$$\epsilon = \frac{(1-x_1)(1-x_2)(i'_{13} - i'_{12})}{(i_9 - i_8) + (1-x_1)(i_6 - i_5) + (1-x_1)(1-x_2)(i_3 - i_2)}$$

昭和 11 年 11 月]

第 6 圖 三段圧縮予冷サイクル (ガス補給)

第 7 圖 三段膨脹圧縮サイクル (ガス補給)

第 10 表 三段圧縮予冷サイクルに関する諸数値

t	p	p _{1H}	p _{1L}	x	Al	q ₀₂	ε	Z ₀₂	N	記号
30.0	73.34	17.54	4.19	0.697,5	66.01	41.43	0.628	2.90	34.5	P
27.5	69.35	16.88	4.11	0.675,0	64.33	44.57	0.693	3.20	31.3	
25.0	65.59	16.26	4.03	0.657,5	62.98	46.98	0.746	3.44	29.0	
22.5	61.85	15.64	3.96	0.642,5	61.30	49.03	0.799	3.69	27.1	

第 11 表 三段膨脹圧縮サイクルに関する諸数値

t	p	p _{1H}	t _{1H}	x ₁	x ₂	x ₃
30.0	73.34	20.41	-19.5	0.544,2	0.199,5	0.409,0
27.5	69.35	19.81	-20.5	0.490,4	0.193,4	"
25.0	65.59	19.27	-21.5	0.446,7	0.188,4	"
22.5	61.85	18.71	-22.4	0.412,4	0.183,4	"

t	Al	q ₀₂	ε	Z ₀₂	N	記号
30.0	37.57	29.47	0.784	3.62	27.6	Q
27.5	39.83	3.5.20	0.834	3.85	26.0	
25.0	41.45	36.26	0.875	4.04	24.8	
22.5	43.34	38.75	0.892	4.12	24.3	

の諸式から第 11 表の数値が得られる。

(3°) 予冷を伴ふ三段圧縮膨脹サイクル

一層高度の成績係数を得んがために前述の二つのサイクルの特徴を組合せたもので、第 8 図の通り単位量の液化炭酸の内 g_1 量は中間高压に膨脹しその冷凍効果によって液を過冷却して乾燥状態に達する。又 g_2 量は中間低压に膨脹しその冷凍効果で液を過冷却して乾燥飽和状態となる。残部の液体 $(1-g_1-g_2)$ 量が 13 点迄過冷却されて後低压

に膨脹して固形炭酸が造られる。過冷却は先づ低压で分離した $(1-g_1-g_2)x_3$ 量の乾燥飽和蒸気との熱交換によつて 10 点から 11 点まで行はれ、次に g_1 量の膨脹蒸気で 11 点から 12 点まで、更に g_2 量の膨脹蒸気で 12 点から 13 点まで行はれる。 $(1-g_1-g_2)x_3$ 量の低压蒸気は補給原料ガスの $(1-g_1-g_2)(1-x_3)$ と混和して $(1-g_1-g_2)$ 量となつて中間低压に圧縮され、中間冷却器通過の後 g_2 量の乾燥蒸気と混和して $(1-g_1)$ となつて中間高压迄圧縮される。更に圧縮蒸気は中間冷却されて g_1 量の乾燥蒸気と混合し単位量となつて高压シリンダに導かれる。

前同様

$$p_{02} = 1.00, \quad t_{02} = -78.9^\circ$$

$$p_{1H} = \sqrt{p \cdot p_{1L}}$$

$$p_{1L} = 5.66, \quad t_{1L} = -55.0^\circ$$

とする。

第 8 圖 予冷を伴ふ三段圧縮膨脹サイクル
(ガス補給)

液の蒸発で過冷却する熱交換の最終温度差を 5.0° 、低圧蒸気の熱交換による最終過熱温度と液化温度の差を 10.0° と假定する。即ち

$$t_{13} = t_{10} + 5.0, \quad t_{12} = t_{11} + 5.0, \quad t_{15} = t - 10.0$$

として i_{13} , i_{12} , 並に i_{15} を決定し

$$x_3 = 1 - \frac{v'_{14} - i_{13}}{136.89}$$

$$i_{11} = i'_{10} - x_3(i_{15} - v'_{14})$$

から i_{11} を決める。更に

$$g_1(i_{17} - i'_{10}) = (1 - g_1 - g_2)(i_{11} - i_{12})$$

$$g_2(v'_{16} - i'_{10}) = (1 - g_1 - g_2)(i_{12} - i_{13})$$

なる二つの関係から g_1 と g_2 とが解かれる。即ち

$$g_1 = \frac{(i_{11} - i_{12})(v'_{16} - i'_{10})}{(v'_{16} - i'_{10})(v'_{17} - i'_{10}) + (v'_{16} - i'_{10})(i_{11} - i_{12}) + (i_{12} - i_{13})(v'_{17} - i'_{10})}$$

$$g_2 = \frac{(i_{12} - i_{13})(v'_{17} - i'_{10})}{(v'_{16} - i'_{10})(v'_{17} - i'_{10}) + (v'_{16} - i'_{10})(i_{11} - i_{12}) + (i_{12} - i_{13})(v'_{17} - i'_{10})}$$

又

$$i_2 = (1 - x_3)i_1 + x_3v'_{14}$$

$$i_6 = \frac{(1 - g_1 - g_2)i_4 + g_2v'_{16}}{1 - g_1}$$

$$i_8 = (1 - g_1)i_7 + g_1v'_{17}$$

$$Al = (i_9 - i_8) + (1 - g_1)(i_6 - i_5) + (1 - g_1 - g_2)(i_3 - i_2)$$

$$q_{02} = (1 - g_1 - g_2)(v'_{14} - i_{13})$$

$$\varepsilon = \frac{(1 - g_1 - g_2)(v'_{14} - i_{13})}{(i_9 - i_8) + (1 - g_1)(i_6 - i_5) + (1 - g_1 - g_2)(i_3 - i_2)}$$

以上の諸式から第 12 表の値が得られる。

第 9 圖 高圧生成サイクル (ガス補給)

有孔割板を置いて区分する。高圧気筒の取扱ふ炭酸重を基準にして第 1 膨脹弁を通過後の液体の $(1 - x_1)$ 量の内 g は三重点に膨脹して $(1 - x_2)g$ 量の固形炭酸と gx_2 なる乾燥蒸気とに分れ、 g' 量は $(1 - x'_2)g'$ の三重点下の液体と $g'x'_2$ の乾燥蒸気に変化する。更に

$(1 - x'_2)g'$ の液が大気圧に絞られ、その冷凍効果によつて $(1 - x_2)g$ 量の雪状炭酸を圧力の降下と同時に冷却する。茲に x_2 は三重点で蒸気と固体に変化する場合の乾燥度、 x'_2 は三重点で蒸気と液体とに分解する場合の乾燥度とする。要するにこのサイクルは前述の三段膨脹サイクルの中間低圧の分離器を高圧雪状炭

酸室で置き換へ、弁を通過して大気圧に膨脹させる代りに炭酸室の圧力を大気圧に降下させる方法と見做される。

$$t_{02} = -78.9^\circ, \quad t_{L1} = t_{tr} = -56.6^\circ$$

$$p_{02} = 1.00, \quad p_{L1} = p_{tr} = 5.28 \quad p_{11} = \sqrt{p \cdot p_{L1}}$$

$$x_1 = \frac{i'_{10} - i'_{11}}{v'_{14} - i'_{11}}, \quad x_2 = \frac{i'_{11} - i'_{15}}{v'_{13} - i'_{15}}$$

$$x'_2 = \frac{i'_{11} - i'_{tr}}{v'_{13} - i'_{tr}}$$

又

$$g(1 - x_2)(i'_{15} - i'_{16}) = (1 - x'_2)g'(v'_{12} - i'_{tr}) = g'(1 - x'_2)(v'_{12} - i'_{tr})(1 - x_1) = g + g'$$

の 2 式から g と g' が次の通り決定される。

$$g = \frac{(1 - x_1)(1 - x'_2)(v'_{12} - i'_{tr})}{(1 - x_2)(i'_{15} - i'_{16}) + (1 - x'_2)(v'_{12} - i'_{tr})}$$

[第 2 巻 第 9 号]

第 12 表 予冷を伴ふ三段圧縮膨脹
サイクルに関する諸数値

t	p	p_{1H}	t_{1H}	x_3	g_1	g_2
30.0	73.34	20.41	-19.5	0.427.3	0.354.1	0.229.6
27.5	69.35	19.81	-20.5	„	0.297.7	0.211.1
25.0	65.59	19.27	-21.5	„	0.275.5	0.213.9
22.5	61.85	18.71	-22.4	„	0.256.8	0.206.9

t	Al	q_{02}	ε	Z_{02}	N	記号
30.0	33.36	32.67	0.852	3.93	25.4	R
27.5	39.96	37.72	0.919	4.24	23.6	
25.0	41.30	40.05	0.970	4.48	22.3	
22.5	41.90	42.71	1.019	4.71	21.3	

$$g' = \frac{(1-x_1)(1-x_2)(i'''_{15}-i'''_{16})}{(1-x_2)(i'''_{15}-i'''_{16})+(1-x'_2)(i'_{12}-i'_{16})}$$

更に $i_2 = \frac{(1-x_2)g i_1 + (1-x'_2)g' i'_{12}}{\{(1-x'_2)g' + (1-x_2)g\}}$

$$i_5 = \frac{\{(1-x'_2)g' + (1-x_2)g\}i_4 + (gx_2 + g'x'_2)i'_{13}}{(1-x_1)}$$

$$i_8 = (1-x_1)i_7 + x_1 \cdot i'_{14}$$

$$A1 = (i_9 - i_8) + (1-x_1)(i_6 - i_5) + \{(1-x'_2)g' + (1-x_2)g\}(i_3 - i_2)$$

$$q_{02} = g(1-x_2)(i'_{12} - i'''_{16}) = (1-x_2)g \times 136.89$$

$$\varepsilon = \frac{q_{02}}{A1}, \quad Z_{02} = 4.617\varepsilon, \quad N = \frac{21.66}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{136.89g(1-x_2)}{\left[(i_9 - i_8) + (1-x_1)(i_6 - i_5) + \{(1-x'_2)g' + (1-x_2)g\}(i_3 - i_2) \right]}$$

これ等の式を用ひて第 13 表の値が求められる。

第 13 表 高圧生成サイクルに関する諸数値

t	ϕ	ϕ_{1H}	i_{1H}	x_1	x_2	x'_2	g	g'
30.0	73.34	19.68	-20.8	0.547.9	0.487.9	0.199.8	0.423.9	0.029.2
27.5	69.35	19.14	-21.7	0.494.5	0.484.2	0.194.1	0.474.0	0.031.5
25.0	65.59	18.61	-22.6	0.451.6	0.480.7	0.188.5	0.514.2	0.034.2
22.5	61.85	18.07	-23.4	0.414.2	0.478.1	0.184.4	0.549.3	0.036.5

t	A1	q_{02}	ε	Z_{02}	N	記号
30.0	34.14	29.72	0.871	4.02	24.9	S
27.5	36.03	33.47	0.929	4.29	23.3	
25.0	37.14	36.55	0.984	4.54	22.0	
22.5	37.66	39.25	1.042	4.81	20.8	

7. 諸サイクルの比較

二元サイクルと在来の諸サイクルの優劣を比較するため前記の計算から得られた固形炭酸の生成量 Z_{02}/psh 並に 100 kg の固形炭酸の製造に要する仕事 $psh/100kg$ を冷媒凝結温度に関する線図として表す

と液補給を伴ふサイクルに就て第 10 図、ガス補給サイクルに就て第 11 図が得られる。液補給の場合の単位馬力一時間當りの固形炭酸生成量は CO_2 二段圧縮予冷サイクルよりも完全冷却を伴ふ CO_2 二段圧縮膨脹サイ

第 10 図 液を補給する固形炭酸諸サイクルの比較

クルの方が大きい、二元サイクルは NH_3-CO_2 サイクルも $CCl_2F_2-CO_2$ サイクルも共に遙かに大きな値を與へる。第 14 表に見る通り中間水冷却を伴ふ NH_3-CO_2 サイクルでは Z_{02} が CO_2 二段圧縮予冷サイクルの夫の 2~2.6 倍となり完全冷却を伴ふ CO_2 二段圧縮膨脹サイクルの約 1.4~1.9 倍となるを見る。 $CCl_2F_2-CO_2$ 二元サイクルも略 NH_3-CO_2 サイクルに近似の値を與へる。

ガスを補給する在来のサイクルでは三段圧縮予冷サイクルよりも三段膨脹圧縮サイクルの方が有利で、この両者を組合せて予冷を伴ふ三段圧縮膨脹サイクルを作れば更に大きな Z_{02} が得られる。高圧生成サイクルは予冷を伴ふ三段圧縮膨脹サイクルに幾分優れて居ることが認められるけれども NH_3CO_2 二元サイクルの CO_2 の凝結温度を -5° とする場合に遙かに及ばない。高温サイクルの蒸発圧力を大気圧附近

に定めた $CCl_2F_2-CO_2$, CH_3Cl-CO_2 , $Cl-CO_2$ 並に SO_2-CO_2 二元サイクルの Z_{02} は近似の値を與へて NH_3-CO_2 二元サイクルと高圧生成サイクルの略中間に位する。固形炭酸生成量の比率は第 15 表の通りになる。

特に NH_3-CO_2 サイクルでは固形炭酸生成量は従来のサイクル中最高効率を與へ

る高圧生成サイクルに比較しても約 20~30% の増加を示し三段圧縮予冷サイクルに対しては約 50~80% の増加を見る。尙考慮すべき今一つの重要な点は終端圧力である。在来のサイクルでは CO_2 の凝結温度を $22.5^\circ \sim 30.0^\circ C$ に保つにはこれに相當して蒸気の圧縮さるべき

第 11 図 ガスを補給する固形炭酸諸サイクルの比較

第 14 表 二元サイクルの他のサイクルに対する
 Z_{O_2} 比率 (液補給の場合)

t	NH ₃ -CO ₂ サイクル				CCl ₂ F ₂ -CO ₂ サイクル			
	A/P	A/Q	A'/P	A'/Q	B/P	B/Q	B'/P	B'/Q
30°0	2'61	1'87	1'96	1'41	2'57	1'84	1'92	1'38
27°5	2'36	1'65	1'79	1'25	2'33	1'63	1'75	1'23
25°0	2'16	1'53	1'64	1'16	2'13	1'51	1'62	1'15
22°5	2'00	1'43	1'54	1'10	1'98	1'42	1'52	1'08

圧力は約 $61.8 \sim 73.3 \text{ kg/cm}^2$ に達する。これに対して二元サイクルでは高温冷媒を NH₃ として CO₂ の凝結温度を -5.0° とすると CO₂ の圧縮終端圧力が約 31.0 kg/cm^2 に半減され、高温サイクルの終端圧力は第 5 表に見る通り $9.4 \sim 11.9 \text{ kg/cm}^2$ でその圧縮比は約 $3.2 \sim 4.0$ 程度となる。又高温サイクルの蒸発圧力を大気圧附近に定め CCl₂F₂, CH₃Cl, SO₂ を用ひその蒸発温度を夫々 -25.0° , -20.0° , -10.0° に取ると第 7 表に見る通り高温サイクルの終圧並に圧縮比は NH₃ の場合よりも遙かに小さく、高温サイクルの終圧も夫々 20.0 , 23.3 , 31.0 kg/cm^2 となる。

8. 結 言

以上二元サイクル理論を應用して固形炭酸を製造する冷凍サイクルに就て述べ、著者の誘導した諸式を基にし成績係数、その他に関する計算の方法を説き、併せて在来の諸サイクルを擧げて同一条件の下に計算の方法を記述してこれ等の優劣に就て比較考究を試みた。高温冷媒として NH₃, CCl₂F₂, CH₃Cl, 並に SO₂ を選び何れに於ても二元サイクルの方が在来の諸サイクルよりも高度の生産量が得られることを明にし

第 15 表 二元サイクルの他のサイクルに対する
 Z_{O_2} 比率 (ガス補給の場合)

t	NH ₃ -CCl ₂ サイクル				CClF ₃ -CO ₂ サイクル			
	A/P	A/Q	A/R	A/S	B/P	B/Q	B/R	B/S
30°0	1'83	1'46	1'35	1'32	1'65	1'32	1'22	1'19
27°5	1'69	1'40	1'27	1'26	1'54	1'28	1'16	1'15
25°0	1'61	1'37	1'23	1'22	1'48	1'26	1'13	1'12
22°5	1'53	1'37	1'20	1'18	1'42	1'27	1'11	1'09

t	CH ₃ Cl-CO ₂ サイクル				CO ₂ -CO ₂ サイクル			
	C/P	C/Q	C/R	C/S	D/P	D/Q	D/R	D/S
30°0	1'69	1'35	1'25	1'22	1'64	1'31	1'21	1'18
27°5	1'57	1'31	1'19	1'17	1'52	1'27	1'15	1'13
25°0	1'50	1'28	1'15	1'14	1'45	1'24	1'11	1'10
22°5	1'44	1'29	1'13	1'10	1'39	1'24	1'08	1'06

た。更に従来 CO₂ 圧縮式の高圧段階を適当な高温冷媒を以て置換することによつて CO₂ の著しい高圧への圧縮を必要とする欠点を除くことが出来て極めて重厚な構造の必要を無くし得ることを示した。冷却水温度から制限される冷媒凝結温度を $22.5 \sim 30.0^\circ \text{C}$ として比較したが、殊に冷却水の温度が熱帯条件に支配される場合 CO₂ を凝結させるためには殊に甚しい高圧に圧縮せねばならぬから一層効率の低下を来すことになる。現在著者の実験室に於ても冷却水の温度は四季を通じて 25.0°C を越える時が多い位で、従つてこれで冷却される CO₂ の温度が臨界温度以上となるのは普通のことになる。かかる条件の下に固形炭酸を製造せんとする場合は特に二元サイクルの優れてゐることが認められる。

木材の切削に関する研究、木工丸鋸の切削作用に就て (第 3 報)⁽¹⁾

(昭和 11 年 4 月 6 日 第 3 回 工学会大会講演會に於て講演)

正員 關口 八重吉⁽²⁾ 正員 長谷川 一郎⁽³⁾

1. 緒 論

木工丸鋸機に於て、丸鋸板の刃の角度歯振及びその使用条件を変じたとき、各種木材に対して如何なる切削現象が起るか云ふ問題は丸鋸の性質を定め、且丸鋸機械設計上の資料を得るため極めて必要な事項である。本問題に就て従来本邦及び外国に於ても多少の研究が行はれた例はある。その代表的なものは、Dr. Ing. Meyer が Dresden で行つた実験⁽⁴⁾を擧げることが出来る。本実験に於ては、丸鋸機械の所要動力を電氣的に測定し、空轉動力と負荷動力とを測定し、その差に依つて切削動力を決定してある。この方法に依つて刃の角度歯振その他の条件と切削動力との関係を求めてある。元来高速度の回轉切削に於ては、双先に加はる切削力は比較的小であるから、切削力を直接測定するよりも、切削動力とし

て測定した方が測定上には便利である。然るに空轉動力は主として摩擦力に起因するものであるため、この動力は温度その他微細な条件の変化によつて著しくその値を変動するものである。且丸鋸機械の如き物に於ては空轉動力は比較的大の場合に依つては切削動力より大なることがある。従つて負荷動力と空轉動力との差に依つて切削動力を求むる方法は相當困難なものと思ふ。

本実験に於ては上述の事情を考慮して丸鋸切削力を直接測定することを試みたのである。切削力は鋸の切削部の位置如何に拘らず常に水平、垂直の 2 方向に於て測定した。尚送りには丸鋸機に於ては手送り、及び機械送りの 2 方法があるが、手送りは無論機械送りも実験上都合悪いため、本実験には丸鋸機械を使用せずに、鋸板をフライス盤に取付け、木材は測力器に取付けたままフライス盤の送り台の上に固定して機械的送りを與へた。つまり丸鋸切削をフライス盤加工の形で行つたものである。測力器としては、既に著者が他の実験⁽⁵⁾に

(1) A Study on Wood Cutting (Part 3), On the Cutting action of wood circular saws.

(2) Yaekichi SEKIGUCHI, Member, The Tōkyō University of Engineering. 東京工業大学

(3) Ichiro HASEGAWA, Member, The Tōkyō University of Engineering. 東京工業大学

(4) Professor Dr. Ing. E. Sachsenberg, ausgewählte Arbeiten des Lehrstuhles für Betriebswissenschaften, Dritter Band.

(5) 機械学会誌, 第 36 卷 128 号 700 頁