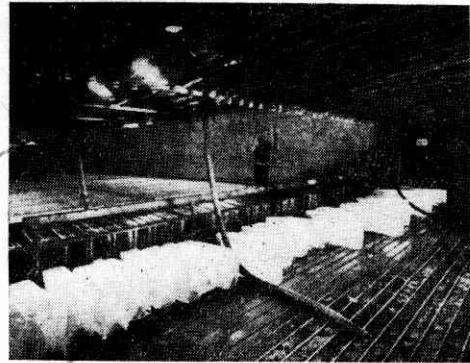


冷凍機の発達

長野 悌 介



冷凍機は製氷、食品冷蔵、冷房をはじめとして、化学工業その他の方面に廣い應用を持つ。その用途に応じて種々の冷凍機が使用されるわけであるが、ここには壓縮式冷凍機の發展の跡をたどつてみよう。これは同時に、また冷媒の發展の歴史でもある。今日も依然として多く使用されているアンモニア冷凍機、將來これにとつかわらんとしつづつあるフロン冷凍機等の新しい形式のものは、いかなる性能を有するであろうか。

(1) 冷凍機の歴史的考察

冷凍機を作ろうという研究がはじめてなされたのは、1755年以後のことであり、少くともそれ以前には低温を機械的に發生せしめようという努力がなされた記録は残っていない。現在のガス壓縮式冷凍機や吸収式冷凍機についてその基礎が定められたのは1823年であつた。その年に流體を高壓に壓縮し冷却して液化せしめることに成功したのである。これをやつたのは英國のFaradayであつた。1834年になつて最初の壓縮冷凍機が發明され、はじめて機械的に低温が作られ氷がかなり大量に作られた。これをやつたのはJacob Perkinsであつた。1850年に米國のJohn Gorrieが冷空氣式冷凍機を作り1855年に吸収式冷凍機が發明された。この吸収式冷凍機のアンモニア水溶液からスチームによつてアンモニアガスを追い出すことをやり、同時にそのボイラーから得があると考えるのである。

現在において冷凍機及びその應用事業の最も發達しているのは米國である。米國における1948年度の冷凍機生産高をみても、小型冷凍機（家庭用を含む）の生産は818,862臺、工業用大型、中型冷凍機459,390臺という數字を示し米國以外の全世界の冷凍機生産臺數も遠く及ばない。冷凍應用の専門工場（製氷工場、冷蔵工場）の數も最近の統計は未だわからないがおそらく全米國內で7,000をはるかに越えていることと思われる。従つて冷凍機の發達も米國が世界第一である。だから冷凍機の發

達を述べるのは米國におけるそれを述べることとなるのであるが誠にやむを得ないと思う。これに對し日本は如何かというに機械の發達は米國に及ばないのであるが、冷凍の應用については筆者の考えでは世界第二位すなわち米國に次ぐ國ではないかと思われる。日本とはほぼ同様ではないかと思われるのは英國である。この方面の新しい統計が手許にないのではつきりは述べかねるが、少くとも水産方面の應用では世界第一位と考えられるし、冷凍工場の數等においては1,500以上に達しそれにアイスキャンデーという特別な冷凍機應用の分野を有し、これに使用されている1馬力から5馬力程度の冷凍機も2萬臺を越していると考えられる。

家庭用の小型冷凍機の普及は未だ遅れているがこれも漸次増加の傾向にあり、すくなくとも近い將來は米國に次ぐ世界第二の冷凍國となることは確實である。もし米國におけるように文明のパロメーターの一つを冷凍機の普及の程度におくとすれば、日本は堂々たる文明國の一つとして恥しくないと思う。しかし機械そのものの發達は誠に恥しい次第で、現在の日本の冷凍機製造技術の位置は1927年乃至1930年頃の米國の事情に似ている。ただし家庭用、商業用の小型冷凍機についてはさらに遅れているといえるであろう。

(2) 冷媒の發達について

冷凍機の發達の歴史はすなわち冷媒發達の歴史と考へて差支ない。過去16年前迄に冷凍機用冷媒として多く

使用されてきた冷媒は現在では古典的冷媒とよばれている。それは NH_3 , CO_2 , SO_2 , CH_2Cl_2 等である (プロパン, エタン等もこの中に含まれるが使用されているのは特殊の場合を除ききわめて少い)。これ等は過去には CO_2 は船舶用に, SO_2 , CH_2Cl_2 は商業用, 家庭用に多く用いられた。今日にいたるまで命脈を保つてきたのは NH_3 である。 CO_2 , SO_2 は米國はもちろん日本でもほとんど使用されていない。 CH_2Cl_2 は米國では非常に少くなっているが日本では商業用, 家庭用の大部分に使用されている。ひとりアンモニアは米國においてもかなり使用され特に大型のものは最近までこれであつた。日本では目下アンモニア冷凍機全盛時代でこれはここ當分の間持續するものと考えられる。

アンモニアは工業用冷凍機の冷媒としてはかなり優秀な性質を有しており反面悪い點も多くある。特に安全性において缺けるところが大きいのであるが, 蒸發の潜熱が大きいという點と潤滑油と容易に分離するという特長をもつているので, これはアンモニア冷凍機としての發達を或る程度までして行くのではないかと思われる。米國では最近 F-22 といつた NH_3 に酷似した冷媒が現われてとつて代らんとする形勢も見えるのであるが, わが國では未だ NH_3 の生命は當分あるものと考えられる。

リンデがアンモニア冷凍機を完成してから 1923 年頃までは古典的冷媒を使用したピストン往復壓縮機が長い間全盛を謳つていたのであるが, この年にいたつて米國において Carrier がジクロロエチレン ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$) をセトリフューガルコンプレッサーに使用して, 蒸發温度の比較的高い Air Conditioning 用の冷凍機としていわゆるターボ冷凍機を完成した。この冷媒は蒸發温度 5°F における壓力は 0.82 psia (lb per in² ab.) であつて凝縮壓力 86°F において 6.9 psia という低いものであり, かつ液の比重 (水 = 1 とすれば) 1.27 であるからターボ壓縮機に使用できる。これは 2, 3 年の間にいわゆるカリン第一 (Carrene No. 1) CH_2Cl_2 (ジクロロメタン) がでて直ちにとつて代わられた。これは同一條件においてジクロロエチレンと比較すると蒸發壓力 1.29 psia で大氣壓以下でなく, 蒸發壓力は 10.3 psia で少しく高い程度で充分ターボ冷凍機に使用でき, さらに比重が重く, 1.33 となつている。蒸發の潜熱も前者の 136 Btu/lb に比し 149 Btu/lb (5°F において) で其他すべての點において前者に優れているのである。これが世に現われた時は特に Air-Conditioning 用の冷凍機としては相當なセンセーションを起し, わが國でも荏原製作所, 日立製作所等が製作して成功したのであつた。このターボ冷凍機は 5 段壓縮であつた。當時のターボ冷凍機を口繪 3 頁の③に示す。

1925 年頃になつてフレオン (Freon) と稱する冷媒が工業的に完成され以後今日に至るフレオン時代を作つた

のである。元來フレオンというのは脂肪族炭化水素 (CH_4 , C_2H_4) の鹽化物からその鹽素を弗素下で置換へてきた誘導體のすべてに冠せられた總稱であつてこれを表わすのに, F-12 等の番號をもつてしている。この一群の誘導體は無數に得られるのであつてその中には冷媒として優秀な性質を有するものが多數得られている。現在作られているフレオン冷媒の母體化合物は三つあつて

(A) は CCl_4 を母體としたものでこれを 10 として表わしている。その中で冷媒として役に立つものは次の種類である。

分子式	記號	分子量
CFCl_3	F-11	137.38
CF_2Cl_2	F-12	120.92
CF_3Cl	F-13	104.46
CF_4	F-14	88.00

(B) は CHCl_3 を母體としたものでこれを 20 で表わしている。その中で役に立つものとしては次の 3 種がある。

分子式	記號	分子量
CHFCl_2	F-21	102.92
CHF_2Cl	F-22	86.46
CHF_3	F-23	70.00

(C) は C_2Cl_6 を母體としたものでこれを 110 として表わしている。その中で現在冷媒として役に立つているものは次の 2 種類である。

分子式	記號	分子量
$\text{C}_2\text{Cl}_4\text{F}_2$	F-113	187.39
$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$	F-114	170.93

以上の中でも F-12, F-22 はピストン往復壓縮式冷凍機用冷媒として賞用され F-11, F-113 はターボ冷凍機用冷媒としてよく用いられ特に F-12, F-113 はもつとも多く用いられている。

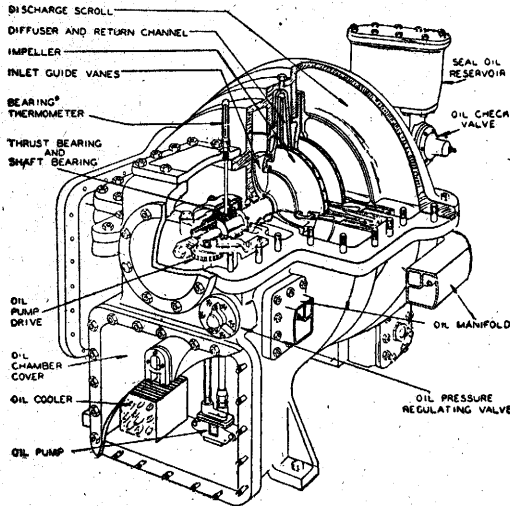
一般に脂肪族炭化水素 (CH_4 , C_2H_4) の水素のハロゲン (F 及び Cl) 置換體で, H 原子にハロゲンが多く置換えられる程燃焼性が減少し, F が多い程無害となる。蒸發温度は Cl が増すに従つて上昇し, すでに Cl を含んでいる化合物の中の H を F で置換する場合には蒸發温度は低下するのである。

Cl を F で置換すれば蒸發温度が均等に $50\sim 60^\circ\text{C}$ 低下する。フレオン冷媒は一般に無害であつて爆發性もなくきわめて安全優秀な性質を有している。その主な特長を比較すれば第 1 表のようになる。参考に添附したアンモニア及びカリン No. 1 と比較して見ればその壓縮機の型式と冷媒としての優秀性の程度が判明する。

フレオン系の冷凍機としては F-12 を使用したのものもつとも多く小は 1/6 H.P. より大は 200 H.P. 以上のものまで製作されている。大型のものは最近の傾向として 1 個のシリンダーのピストンディスプレースメントは小

さくして回転数を多くし、かつシリンダーの数を増す傾向にある。例えば最近の米國 Vilter Manufacturing Co. のフロン冷凍機のようなシリンダーの直径3¾時行程3時、回転数900 r.p.m., シリンダーの数8個となつており York Corporation のものは16個まで製作している。

これに對してターボ冷凍機では F-11 (Carrene No. 2) がもつとも多く使用され従来の5段といつた壓縮段數に對し最近のものは第1圖のように2段になつている。從



第1圖 最近のターボ冷凍機の構造

つて冷凍機もきわめて小型になつてしかも大きな容量を出すようになってきた。Carrier Corp. のような1臺の容量1,200冷凍にも及ぶものを作つている。

現在の米國冷凍機界では F-22 が NH₃ に代つて登場しようとしている有様で、この冷媒は第1表でも判明するようにすべての點において NH₃ に酷似し、吐出壓力が NH₃ よりも低く從つて壓縮機シリンダーの冷却が不要となり、かつ爆發性がなく安全な冷媒であるという強味がある。わが國では現在はこの冷媒は得られないが、これが製造されるようになれば將來 F-22 を冷媒とした冷凍機が普及する可能性がある。

(3) NH₃ 冷凍機の發達について

アンモニア冷凍機はリンデが發明してから現在にいたる約70年間に相當變遷を経て1950年型にまで進んできたのである。口繪2頁の①は1894年前後にドイツA.E.G. で作られたアンモニア冷凍機であつて回転数は50r.p.m. であつた。この壓縮機は電動機からギヤで回転を落したもので、1時間に25kgの氷を製造し得る。冷凍能力は2,000 kcal/h 程度で3.5馬力を必要としている。

1905年前後になると冷凍機の製作も大體軌道に乗り立派なものができ、回転數も80 r.p.m. 程度となり機械もづつと大型となり、大容量のものも製作されるようになった。口繪2頁の②は米國 Frick 會社のものでいわゆる

第1表 フロン系冷媒の性能比較 (蒸發壓力 5°F 凝縮壓力 86°F)

冷 媒	化學記號	分子量	0 psi に於ける蒸發溫度 F	0 psi に於ける凍結溫度 F	限界溫度 F	5°F に於ける蒸發器壓力 psia	86°F に於ける凝縮壓力 psia	86°F と 5°F に於ける壓縮比 psia/psia
F-22	CHClF ₂	86.48	-41.4	-256.0	204.8	28.3	159.8	4.06
アンモニア	NH ₃	17.03	-28.0	-107.9	271.2	19.6	154.5	4.94
F-12	CCl ₂ F ₂	120.90	-21.6	-247.0	233.0	11.8	93.2	4.08
F-114	C ₂ Cl ₂ F ₄	170.90	38.0	-137.0	294.3	16.1*	22.0	5.42
F-21	CHCl ₂ F	102.93	48.0	-211.0	353.3	19.3*	16.5	5.97
F-11	CCl ₂ F	137.38	74.7	-168.0	388.4	24.0*	3.6	6.24
デクロロメタン	CH ₂ Cl ₂	84.93	103.6	-142.0	421.0	27.4*	8.4	9.07
F-113	C ₂ Cl ₃ F ₃	187.39	117.6	-31.0	417.4	27.9*	13.9	8.02

冷 媒	86°F と 5°F に於ける正味冷凍力 Btu/lb	86°F と 5°F に於ける 1 ton 當りの冷媒循環量 lb/min	86°F と 5°F に於ける 1 ton 當りの冷媒液循環量 cub in/min	蒸氣の比體積 5°F cub in/lb	1 ton 當りの壓縮機ピストン押のけ量 86°F と 5°F cfm	86°F と 5°F に於ける 1 ton 當りの所要馬力	86°F と 5°F に於ける成績係數	壓縮機の吐出溫度 F
F-22	69.3	2.89	68.1	1.25	3.60	1.016	4.65	131
アンモニア	474.6	0.421	19.6	8.15	3.46	0.981	4.75	210
F-12	51.1	3.91	83.8	1.48	5.81	1.005	4.69	102
F-114	43.1	4.64	89.3	4.22	19.59	0.997	4.74	71
F-21	89.4	2.24	45.8	9.12	20.46	0.932	5.11	140
F-11	67.5	2.96	56.0	12.27	36.3	0.943	5.00	113
デクロロメタン	134.6	1.49	30.9	49.90	74.3	0.963	4.81	205
F-113		3.73	66.4	27.04	100.9	0.981	4.84	81

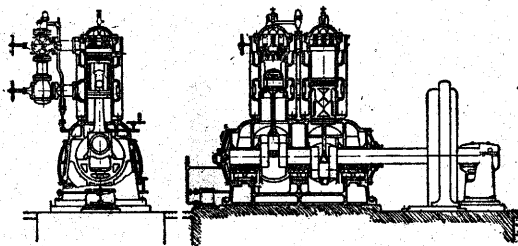
semi-enclosed type といわれ 2 氣筒で Corliss Steam engine で運轉されている。機械の高さ 9 メートルという山のような堂々たる威容をもっている。

シリンダーの直徑 12 吋行程 24 吋から直徑 24 吋行程 48 吋という大きいものまで作られている。機械の大きさはこの時代が最大のもので以後は回轉數が大きくなるに従い段々小さくなっている。

1910 年前後になると型は似ているけれども回轉數は 120 r.p.m. 程度となり比較的新しいものはシンクロナスマーター直結といったものもある。シリンダーの直徑 12 吋行程 18 吋から大きいもので直徑 27 吋行程 36 吋程度まで作られている。

この時代のもは回轉數が少いことと機械各部の構造が非常に頑丈かつ入念にできており、耐久力すこぶる強く日本でも今日まで動いているものがある。

1915 年頃から壓縮機の型が非常に小型となり回轉數も 150~180 r.p.m. となり、現在日本で使用されている壓縮機はほとんどこの時代以後のものである。この時代になつて米國の冷凍機製作は完全に大量生産になつてきたのである。第 2 圖は米國 York 會社の y-16 型 (1916 年型) の斷面を示す。



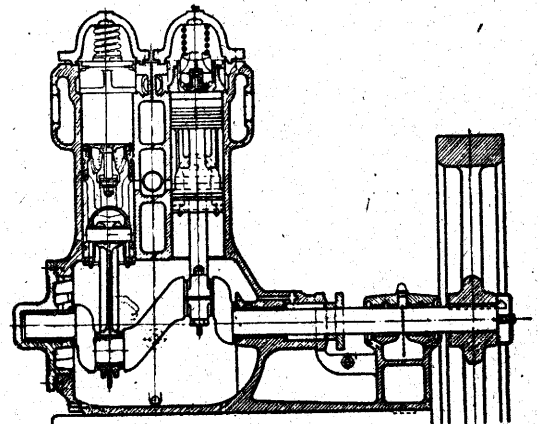
第 2 圖 米國 York 會社 y-16 型壓縮機

この型からしてシリンダーの直徑と行程が同一となり例えば直徑 8 吋行程 8 吋といったようになりずつと大型

で直徑 19 吋行程 20 吋をいつた程度となつた。同時に前のものと形も異りいわゆる單動密閉式と稱され、シリンダーとクランクケースが小型のものは 1 個の鑄物で作られ、クランクケースに冷媒の吸氣ガスが入ってくるようにして従来のシリンダーのスタッフィングボックス及びクロスヘッドを廢し、ピストンもいわゆるトランクタイプに変更して非常に細長いものを用いクロスヘッドの役目を兼ねさせたのである。

わが國で堅型單動密閉式の壓縮機を製作しはじめたのもこの型を真似たものである。この型の機械は内外製を問はずわが國の工場に多數動らている。

1926 年以後の 10 年間は世界におけるアンモニア冷凍機の全盛時代であつた。米國 York 會社は y-26 型 (1926 年型) として第 3 圖に示す高速壓縮機を製作し、回轉數



第 3 圖米國 York 會社 y-26 型壓縮機

を一躍 8"×8" 迄を 360 r.p.m., 10"×10" を 300 r.p.m 迄引上げたのである。それにならつて各メーカー共ほとんど同様の回轉數となり、構造も非常に簡單となり重量も軽くなり 1 臺の壓縮機の能力も大きくなつてきた。わが國で現在製作されている壓縮機はほとんど全部この時

第 2 表 米國 York 會社製壓縮機の性能表

シリンダー直徑 吋	行程 吋	シリンダーの 數	最大 回轉數 r.p.m.	蒸發溫度 -15°C, 凝縮溫度 +30°C に於ける		1 圖示馬力當りの 冷凍力 K kcal	冷 凍 率 K/Kth	機 械 效 率		
				冷凍能力 kcal/h	動 力 H.P.(圖示) H.P.(有效)					
8	8	y-26	360	116,400	48.8	57.3	2,385	0.790	0.852	
9	9		300	122,400	57.8	66.8	2,465	0.816	0.865	
10	10		300	204,700	79.3	90.4	2,580	0.854	0.877	
11	13		272	298,700	115.2	129.8	2,590	0.858	0.887	
12½	14½		257	399,000	154.0	171.2	2,590	0.858	0.900	
14	16		225	483,500	186.5	205.0	2,590	0.858	0.910	
14	16		3	225	725,200	279.7	307.7	2,590	0.858	0.910
16	18		2	200	631,000	243.5	264.6	2,590	0.858	0.920
16	18		y-16	3	946,500	365.3	397.0	2,590	0.858	0.920
18	20			2	180	800,000	308.4	332.3	2,590	0.858
18	20	3		180	1,200,000	462.6	498.5	2,590	0.858	0.928

代のものに範を取つたものである。ただし非常に大型のものは前記 Y-16 型を採用して回転数を上げている。第 2 表は米國ヨーク會社のアンモニア壓縮機の性能表を示す。

1935 年以後戦争時代を経て 1948 年にいたるまでは大した目覚しい變化はなく回転数も 360 r.p.m. から 400 r.p.m. 程度に上り、圖體を益々小さくし(小型は 600 r.p.m. に及ぶものもできている) オイルポンプやバルブ、ストレーナー等の細かい部分に改良が加えられた程度でこの間に發達したのはシリンダーにクリヤランスポケットを附して壓縮能力を自由に變更し得るようにした冷凍機が現われた點である。口繪 2 頁の⑤は最近の(1948 年までの) Vilter の壓縮機を示す。口繪 2 頁の④は(Clearance pocket を附した壓縮機(ただし Freon 用)を示す。

1949 年から 1950 年の間に米國における冷凍機の構造は果然急激な變化を示した。口繪 3 頁の⑥は Vilter のアンモニア壓縮機を示す。米國における主要メーカー(Vilter, Frick, York 等)は一せいにほぼ同様の構造に變えてしまった。これによれば 1 個のシリンダーは直径 $3\frac{1}{2}'' \sim 4''$ 行程 $3'' \sim 4''$ (メーカーによつて多少異なる。ビルターは $3\frac{1}{2}'' \times 3''$) のものを飛行機のエンジンのように double V 型に多數並べたもので 4 個、6 個、8 個といつたように並べている。York などは 16 シリンダーのものまで製作している。同寫眞はビルター會社の 8 シリンダーの壓縮機を示す。回転数は 1 臺で 600 r.p.m. から 900 r.p.m. まで變え得る。1 臺の有する冷凍能力は 4 氣筒のもので 25 米冷凍噸、8 氣筒のもので 50 米冷凍噸が標準となつていようである。この壓縮機のいちじるしい特長はきわめて小型なことである。York 會社の壓縮機を例にとれば 8 氣筒のもので最大 75 馬力のモーターを裝備したとしてそのモーターを含む長さが基礎共 76 吋、吐出瓣迄の高さが 48 $\frac{1}{2}$ 吋が 45 吋といつた程度のものである。その他の特長としては主軸受にローラーベヤリング(double tapered roller bearing)を使用していること、ピストンは口繪 3 頁の⑦のような自動車のエンジンにみられる形をしていること、吸気瓣が一個の ring plate valve で口繪 3 頁の⑧のようにシリンダーライナーの上におかれていること、吐出瓣が 3 枚のダイヤフラム瓣で上部の safety head に取付けられていること等であるが、この壓縮機で特に注意することはクランクシャフトのシールである。すなわちクランクシャフトのグランドパッキングからアンモニアが洩らないように特別の考慮を拂つている。この點は各メーカーでもつとも研究しているところで Vilter は double bellow type の shaft seal を採用し、bellow を用い一個は crank case 側に對して冷媒が洩らないようにし他は外氣に對して空氣が入らないように保護している。シールは油の中で shaft とともに回転する washer の面と crank case 側の seat との接觸

で機密を保つようにできている。York はペローを用いず油壓によつて crank case の反對側から押すことによつて氣密を保つ等それぞれ頭腦を絞つて考へている。

その他の特長としてはピストンによつて勵らく suction valve lifter を附し、多くあるシリンダーの中のいくつかを unload せしめて starting を容易にするとともに能力の調節ができるようになってい。例えば 4 氣筒のものは 50% まで負荷を加減することができ 6 氣筒のものは 33% 及び 66%迄調節できるようになつてい。

従來の壓縮機と異りシリンダーライナーを有していることもこの機械の特長の一つであろう。これは必要に應じて取換へることができる。

(4) 結 び

大體において壓縮式冷凍機用壓縮機としては最近の發達においてくるところまできたような氣がする。従來の壓縮機といえはきわめて頑丈な massive な機械であつたがわれわれは何時かわもつと小型なもつと軽いものになるであらうと考へていた。今年度の改良はそこへ到達したのである。ここでメーカーよりの報告が未だ簡單で詳しくわからないがアンモニア壓縮機も F-12 の壓縮機も全く同一の大きさであり、回転数であり、かつ構造も全く同一のように思われる。そのシャフトシールの構造から考へてもこの機械は一つのものがアンモニアにも F-12 にも共通に使用される目的のもとに作られてい。思ふ。かつ 1 臺の壓縮機を 600 r.p.m. から 900 r.p.m. まで變化せしめればかなり廣い能力範圍に適用できるのである。従つて機械の種類もきわめて少くてすむ。事實 Vilter は 4 氣筒、6 氣筒、8 氣筒の 3 種、York は 4 氣筒、6 氣筒、8 氣筒、12 氣筒、16 氣筒の 5 種を作つていに過ぎない。従來の形式のものは、假りに $3'' \times 3''$ から $10'' \times 10''$ 迄をとつてみても、York の場合には $6\frac{1}{2}'' \times 6\frac{1}{2}''$ 、 $7\frac{1}{2}'' \times 7\frac{1}{2}''$ という $\frac{1}{2}''$ の附いたものがあるから、これを計算すれば 10 種類となる。その上さらに大きいものが 5 種や 6 種はある。また F-12 についても同様に 15 種類位ある理である。それに比すれば木型その他部分品の種類が非常に少くてすむ。このため眞に大量生産を行い得ることとなる。

この點について日本のメーカーも充分研究する必要があると思ふ。従來の型では全自動操作を行うに相當困難がともなつていたのであるが、今回のものは automatic unloader を附することによつて小型の壓縮機と同様大型に對しても全自動運轉ができるのではないかと考へられる。

本文が冷凍機に關する知識の少い人々に少しでも壓縮機に關する興味的知識を供給し、また日本のメーカーの方々に對し僅かの刺激ともなれば筆者の幸これに過ぎるものはないのである。