

冷凍機用弁板材料に関する研究

角 田 善 雄*

Study on Materials for Valve Plate of Refrigerators

By Yoshio Sumita
Tochigi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Several kinds of materials have been in use as the materials for the valve plate of refrigerator. All of these must not only prove themselves safe under every severe condition of operation but also show large limit of fatigue, amply withstanding the abrasion due to repeated impact against valve seat. The writer selected a few principal types of materials for the study on the mechanical properties they show when they are actually built in the valve plate and their resistance to wear shown in actual service, which has revealed the following.

(1) Nickel-chrome steel gives, with its unusual toughness, a remarkably large resistance to the effect of impact.

(2) Though 13% chrome steel excels in mechanical properties in general, the class 1 13% chrome steel is not suitable for use as the ferrite yielded during use accelerates wear.

(3) To obtain high degree of wear resistance and fatigue limit for the product, the heat treatment for tempering should be effected at practically lowest possible temperature.

[I] 緒 言

冷凍機用圧縮機の弁板は高圧のガス中で、弁座との間に高速の繰返し衝撃を受ける。それ故弁板の材料は衝撃、疲労及び繰返し衝撃の作用応力に十分耐えると共に、弁座との繰返し衝撃に依つて生ずる磨耗にも耐えなければならぬ。これ等の条件を満たす材料の選定は甚だ困難で、現在市場では種々の材料が使はれているようである。

現在迄スラッグを組織中に多く含む弁板は使用中に破断を起し易く、又フェライトを含むものは耐磨耗性を低下することが知られている。併し尙各種材料の優劣、熱処理の影響、或いは磨耗の機構等不明な点が多く、弁板材料の決定を僅かな実験結果より即断することは危険である。併しながら筆者は先ず基礎的な資料を集める目的で、弁板に使用されている数種の材料に就て熱処理と機

械的性質の関係を調べると共に、実際の圧縮機に試験片弁板を取付けて、磨耗に及ぼす材質、板厚及び熱処理等の影響を調べた。

[II] 熱処理と機械的性質

(1) 供 試 材

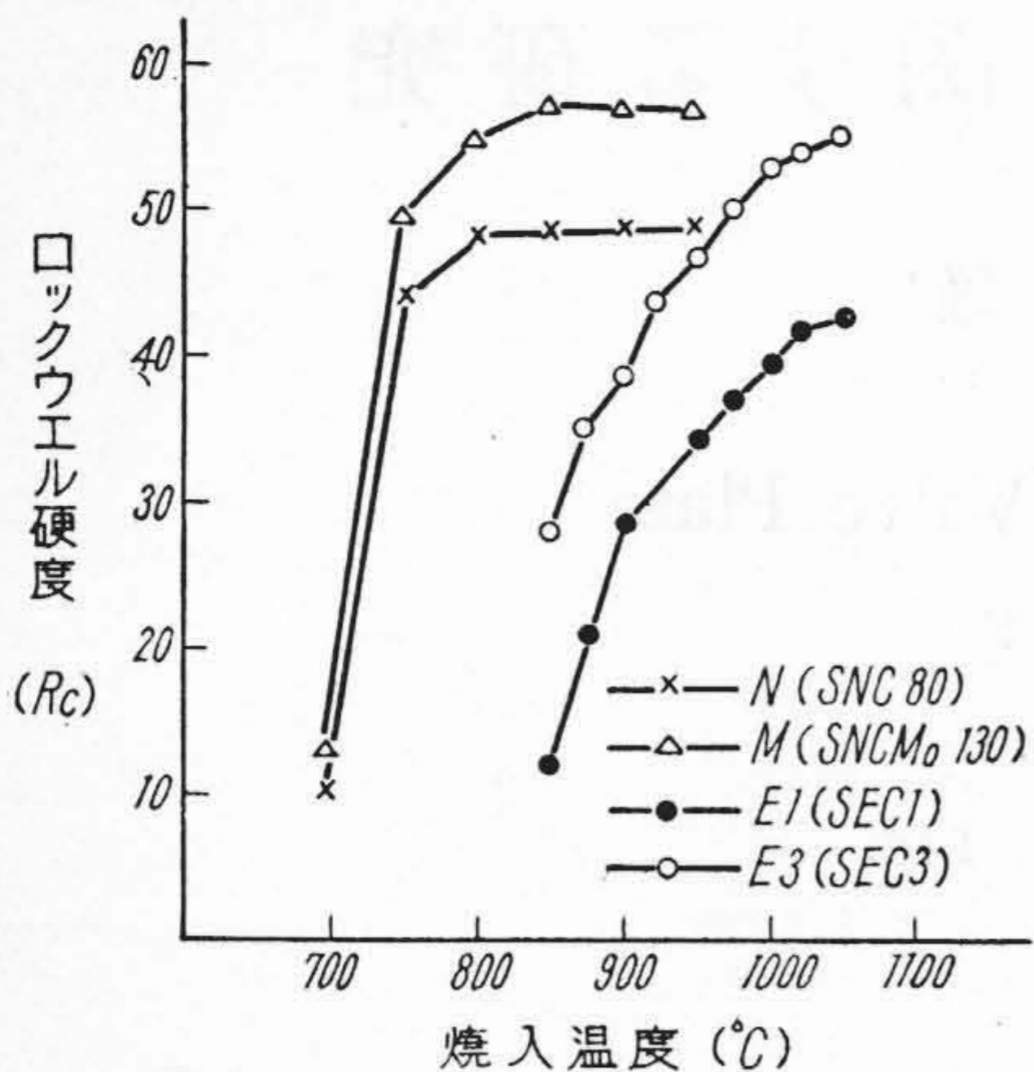
実験に供した試料の化学成分を第1表に示す。予めN

第1表 試料の化学成分

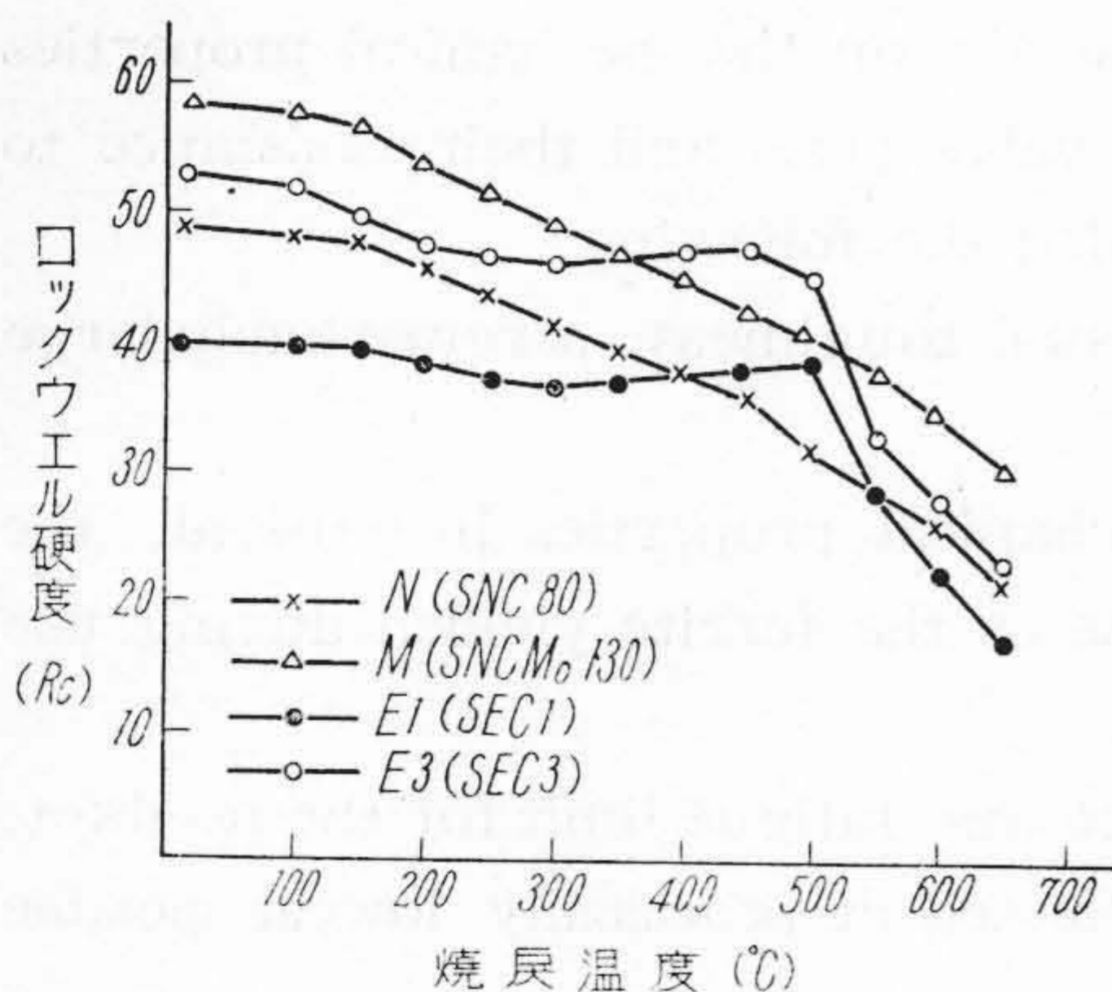
Table 1. Result of Chemical Analysis

規 格	記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SNC 80	N	0.32	0.24	0.54	0.014	0.011	3.15	0.90	—
SNCMo 80	M	0.44	0.09	0.37	0.016	0.010	1.65	0.78	0.28
SEC 1	E 1	0.13	0.32	0.50	0.023	0.009	0.27	13.98	—
SEC 3	E 3	0.32	0.41	0.47	0.023	0.008	0.25	14.36	—

* 日立製作所栃木工場



第1図 焼入温度と硬度の関係
Fig. 1. Relation between Quenching Temperature and Hardness

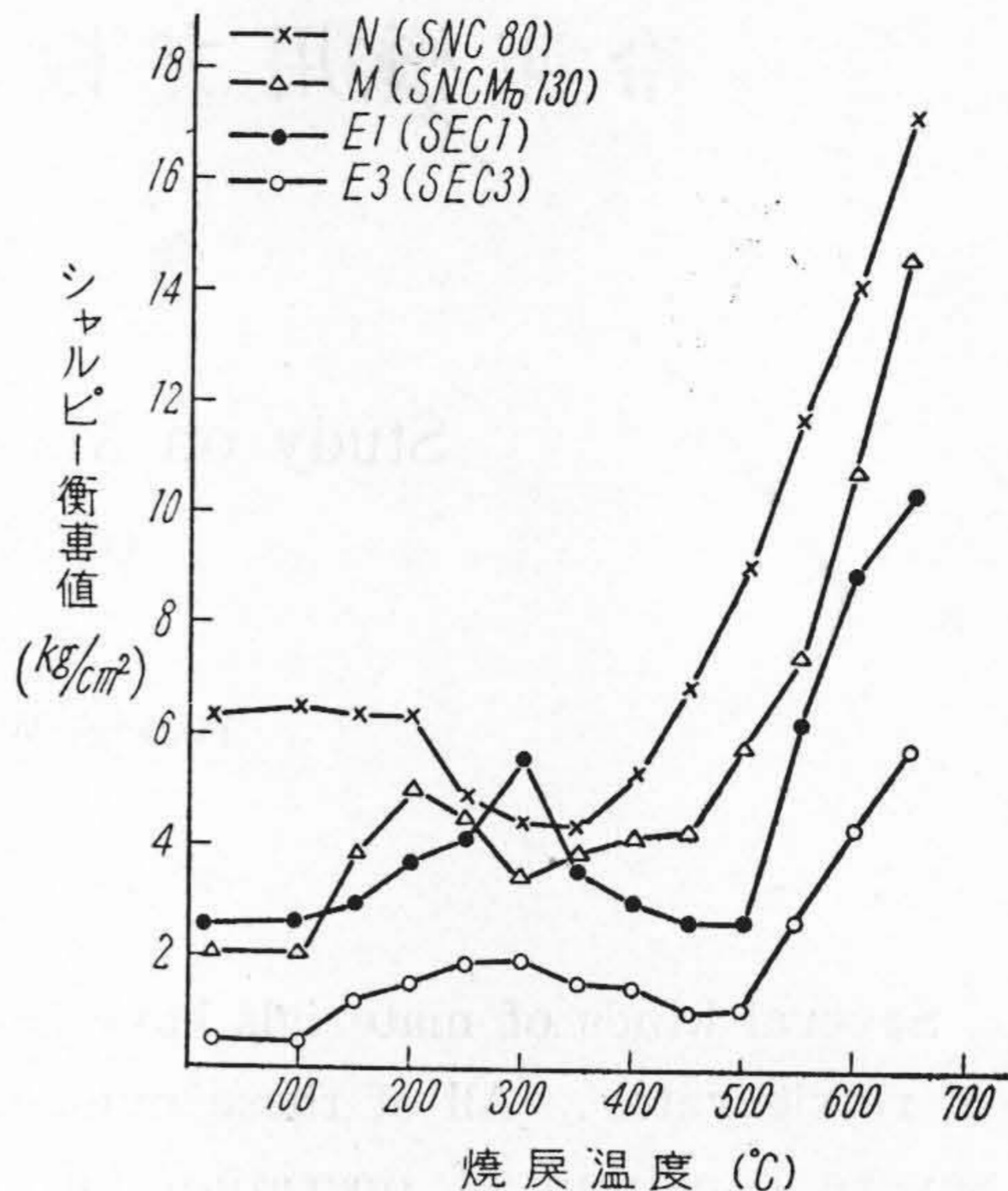


第2図 焼戻温度と硬度の関係
Fig. 2. Relation between Tempering Temperature and Hardness

及び M は 850°C 1 時間加熱炉冷、E1 及び E3 は 750°C 1 時間保持の低温焼鈍を行つた。熱処理は各試験片を所定寸法に仕上げた後行い、最後に衝撃試験片はグラインダー仕上、松村式衝撃試験片はエメリー仕上を行つた。又熱処理は N 及び M は 850°C、E1 及び E3 は 1,000°C に 15 分間保持油冷したものを、各焼戻温度に 1 時間保持後水冷した。

(2) 硬度

焼入温度と硬度との関係を第1図に示した。焼入は各温度に 15 分間保持後油冷した。N は 800°C に於て M は 850°C に於て最高焼入硬度を示している。13Cr 鋼系の E1 及び E3 は共に 1,000°C 附近で尚増加の傾向にある。



第3図 焼戻温度と衝撃値の関係
Fig. 3. Relation between Tempering Temperature and Impact Value

第2図に焼戻温度と硬度の関係を示した。焼戻温度が昇るに従い N 及び M の強靱鋼は硬度は次第に低下するが、E1 及び E3 の 13 Cr 鋼は軟化抵抗が大きく、300°C まで徐々に硬度は下るがその後 450°C~500°C の焼戻で僅かながら硬度の上昇がある。

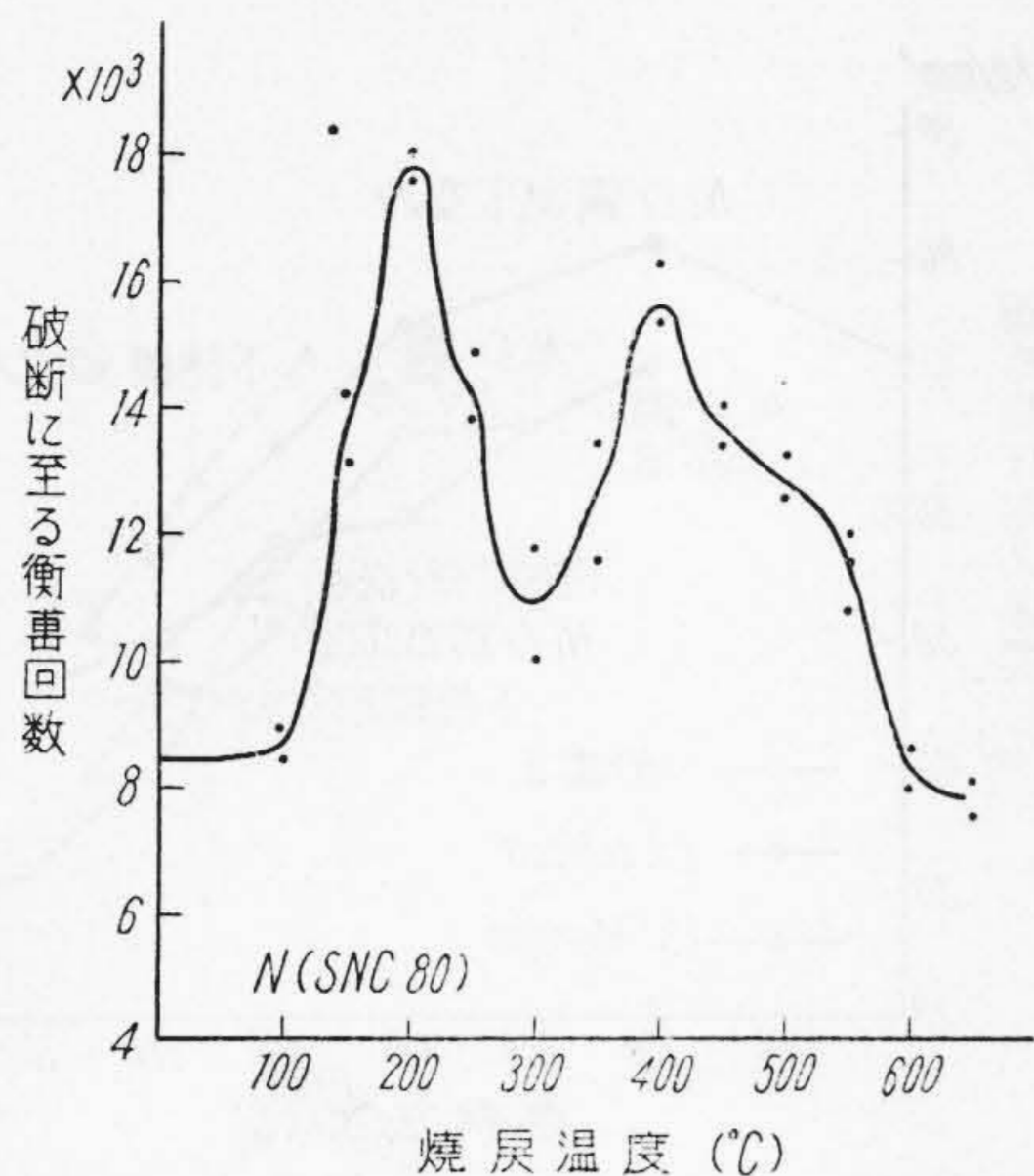
(3) 衝撃試験

衝撃試験の結果を第3図に示した。各測定値は2本の試験片の平均値である。この図の結果を見ると

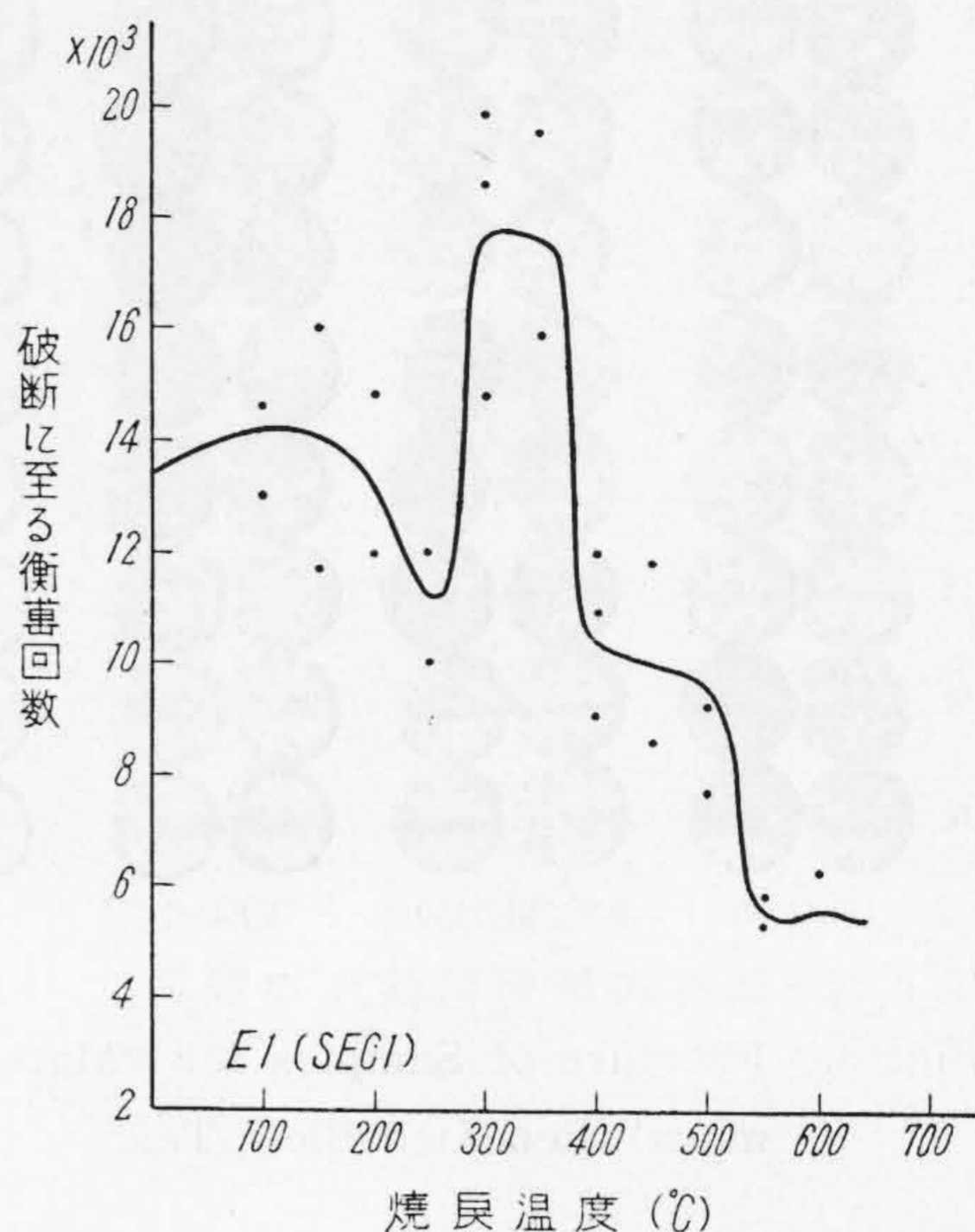
- (A) 衝撃抵抗は大体に於て SNC 鋼最も高く、SNC Mo 鋼、SEC1 鋼の順に下り SEC3 鋼最も低い。
- (B) SNC 鋼は焼入状態に於て相当強靱であるが、SNC Mo 鋼は 200°C の焼戻に於て高い衝撃値を示す。又両鋼種共 200°C 以上の焼戻で焼戻脆性を示し、300°C~350°C で極小となる。
- (C) SEC 鋼の場合は衝撃値の山は強靱鋼に比しより高温の 300°C の焼戻で現はれ以後脆化し 450°C~500°C で極小となる。この関係は第2図の焼戻温度と硬度の関係とよく対応する。

(4) 松村式繰返衝撃試験

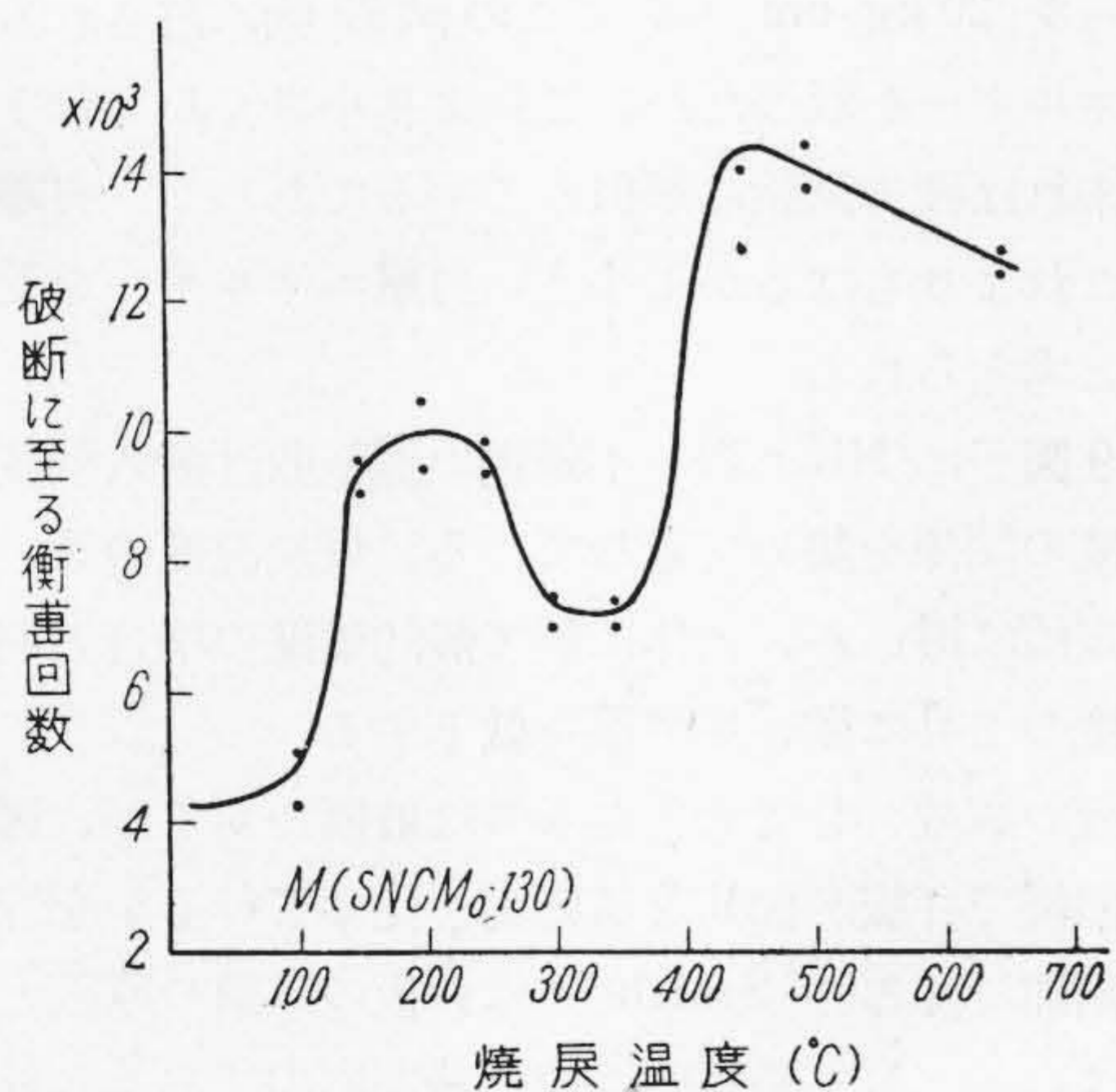
松村式繰返衝撃試験は一回の衝撃エネルギーを 20 kg cm に一定にして行つた。大体2本の試験片に同様の熱処理を行つて試験したが値のばらついた所は3本取つた。それらの結果を第4~7図に示す。SNC 鋼では 200°C と 400°C に、SNC Mo 鋼は 200°C と 450°C に山が出来たが、両鋼種の 300°C~350°C の谷は衝撃試験に於ける谷と一致している。SNC 鋼に就てのこの結果



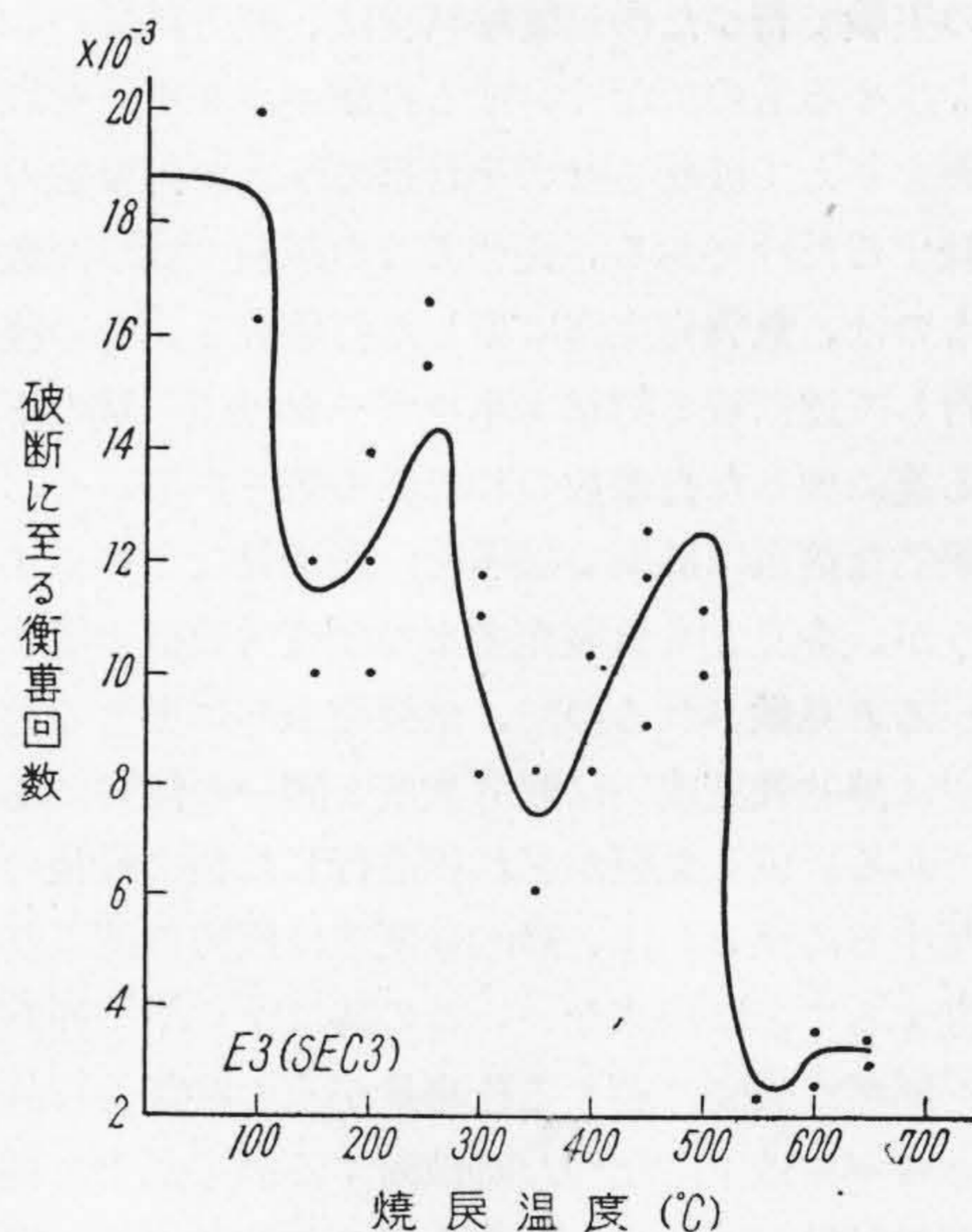
第4図 NiCr鋼2種の松村式衝撃試験
Fig. 4. Results of "Matsumura" Repeated Blow Test for NiCr Steel No.2



第6図 不銹鋼1種の松村式衝撃試験
Fig. 6. Results of "Matsumura" Repeated Blow Test for Stainless Steel No.1



第5図 NiCrMo鋼2種の松村式衝撃試験
Fig. 5. Results of "Matsumura" Repeated Blow Test for NiCrMo Steel No.2



第7図 不銹鋼3種の松村式衝撃試験
Fig. 7. Results of "Matsumura" Repeated Blow Test for Stainless Steel No.3

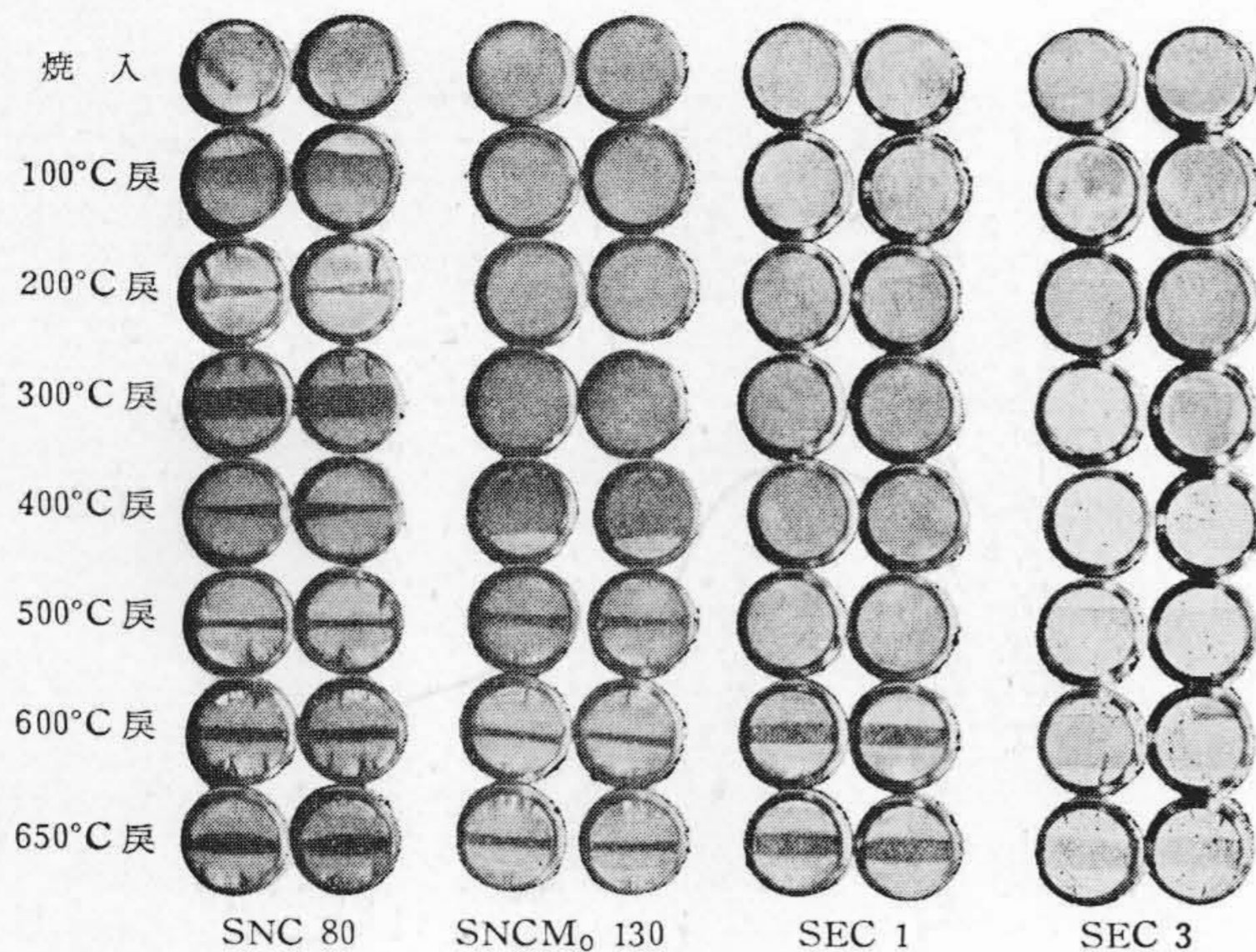
第2表 試料の清浄度

Table 2. Purity Number of Samples

鋼	種	清 浄 度
SNC 80	(N)	3.2 B
SMCMo 130	(M)	2.8 B
SEC 1	(E 1)	4.5 B
SEC 3	(E 3)	4.3 B

は河合氏⁽¹⁾の結果と大体に於て同様である。

13Cr 鋼に於ては測定値が相当乱れたが、これは第2表に示すように他鋼種に比し清浄度の値が大きくこの非金属介在物の多少が値をばらつかせた主な原因と考えられる。第5図、第6図の強靱鋼の場合と相当異なる傾向を示し、試料 E1 及び E3 共焼入状態では可成りの耐



第 8 図 松村式衝撃試験片の破面
Fig. 8. Fracture of Samples for "Matsamura" Repeated Blow Test

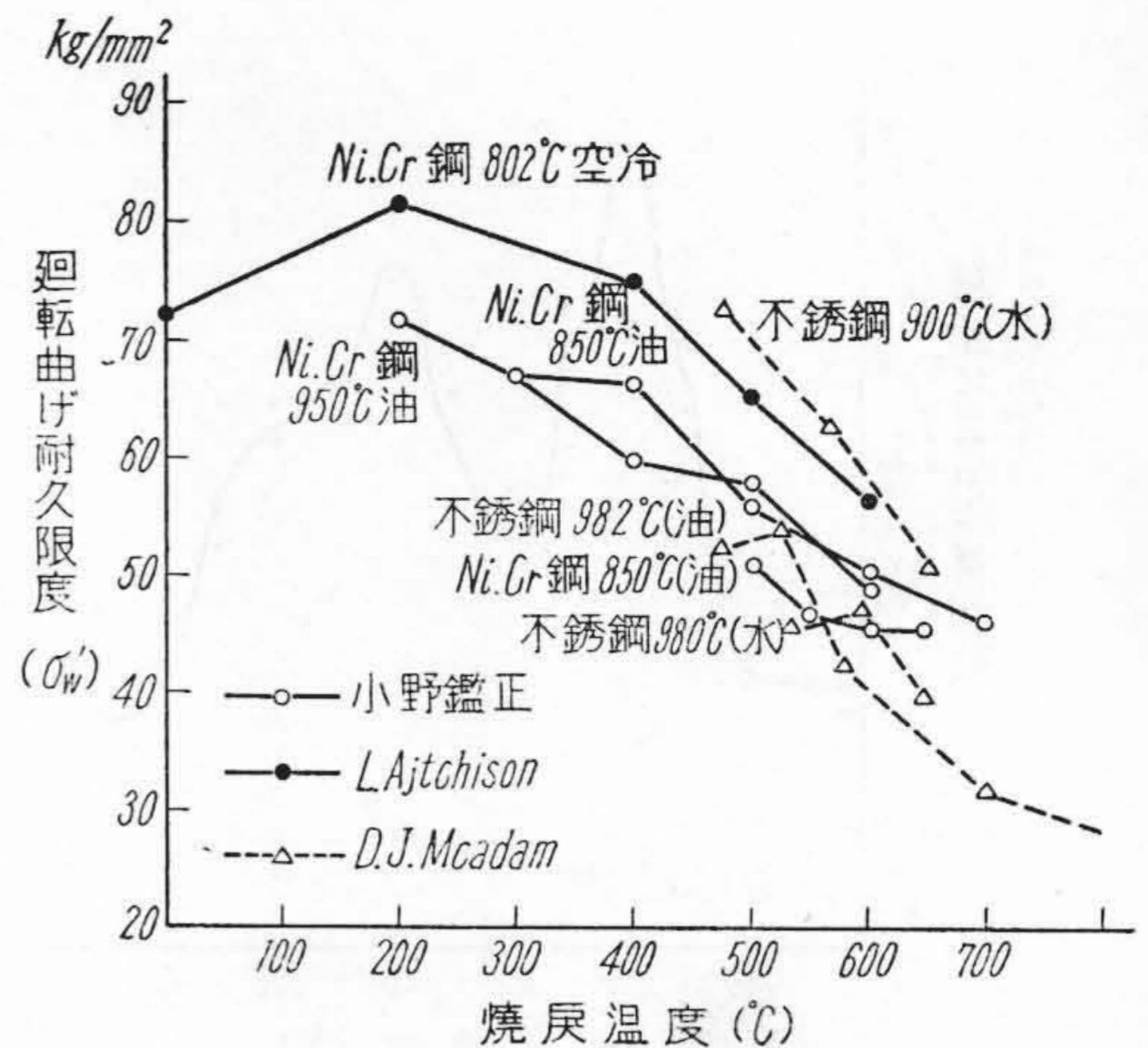
久度があるが、焼戻温度の上昇に従い耐久度は低下しているように思われる。

【III】 疲労強度と弁板の適性

この実験で行った繰返衝撃試験は、疲労試験の如く疲労限を求めるものでなく、或る打撃エネルギーを以て繰返衝撃を与えて破断させ、それ迄に与えた打撃数の多少で比較するだけである。従つてこの試験の破断回数と称するものは、亀裂発生迄に要した打撃数と、その後亀裂が進行して遂に或る打撃エネルギーを以て一撃の下に破断する迄に要した打撃数の和である筈である。そしてこの衝撃的な荷重は破損の機構を一層複雑なものにするであろうが、少なくとも亀裂発生までは疲労破損の場合に進んでいると見做されるので、亀裂発生迄に要する打撃数の多少は静的強度或いは疲労強度と同一の傾向にあるべき筈である。併し亀裂がどれ程進行した後最後の打撃で破断するに至るかは、静的強度或は疲労強度よりは全然予期することは出来ない。この時は恰も単一衝撃試験の時と同様に破断に要する仕事量はその時加へられる打撃エネルギー以下になつた時破断する訳である。従つて繰返衝撃試験に於ける亀裂発生後の打撃数が単一衝撃試験と密接な関係を持つことが容易に想像される。

このことは第 8 図の試験片の破面を観察すれば一層良く理解される。即ち破面は破断迄の回数に殆ど関係なく単一衝撃試験の結果とよく合つており、例えば衝撃値の高い SNC80 の 200°C 焼戻の破面は破断迄の回数は大なるにも拘はらず、耐久度低く衝撃値の高い高温焼戻の破面に似ている。

又衝撃値の低いもの程最後の打撃で破断する中央の band 部分の巾が大である。この場合は一回の打撃エネ



第 9 図 焼戻温度と廻転曲げ耐久限度の関係
Fig. 9. Relation between Tempering Temperature and Rotary Bending Endurance Limit

ルギーを 20 kg-cm としてこの試験機に許される最少のエネルギーを取つたが、これより小さくして行うことが出来れば疲労試験に類似して来るであろう。実際の弁板はこれよりもはるかに小さい打撃エネルギーを受けていると考えられる。

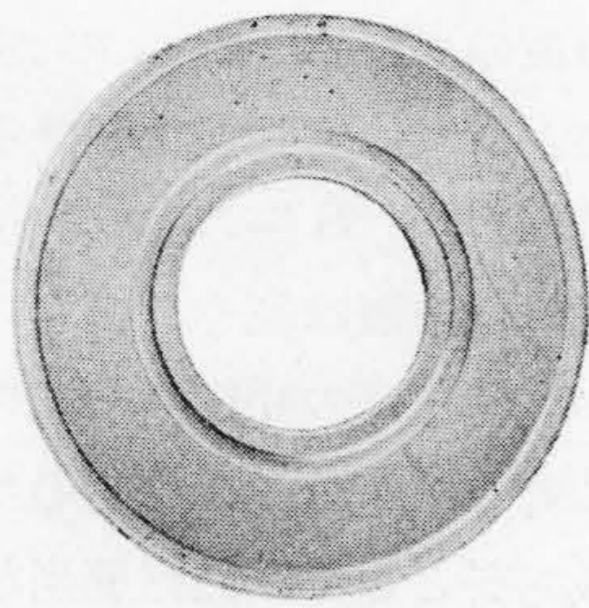
第 9 図⁽²⁾に NiCr 鋼と不銹鋼の廻転曲げ耐久限度と焼戻温度の関係をまとめて示している。焼戻温度の低い部分の測定値は尠いが、大体に於て静的強度の場合と同様焼戻温度の上昇に従い疲労限を低下する。

弁板の事故として大きなものは破損であるが、運転中の圧縮機で弁板が如何なる応力を受けているかを知ることが困難である。Smith⁽³⁾ は弁板の破損の原因となるものは、主として熱処理に依る残留応力であると述べているが、興味ある問題である。又実際の圧縮機に焼戻温度を 400°C~700°C に変えた弁板を取り付けて実験した結果⁽⁴⁾では硬度の高いもの程良好結果を示したと云う報告もあり、衝撃強度よりも寧ろ疲労強度が弁板には重要と思われる。

それ故焼戻は低温の焼戻を行い、その内で靱性の高い所で使用する如く熱処理することが妥当と考えられる。

即ち実験結果より強靱鋼の場合は 200°C 附近、13Cr 鋼の場合は 300°C の低温焼戻を行うべきであろう。又斯様な処理のものは硬度が高く磨耗に対しても良好な結果を得ることが期待されるが、次に述べる如く実際運転に依る磨耗試験でその事が認められた。

又非金属介在物を多く含むものは切欠効果として疲労進行の起点となることが考えられるので、勿論介在物の尠い材料を選ぶ事が必要である。



第 10 図

磨耗せる弁板の例

Fig. 10.

Example of
Wearied Valve
Plate

第 3 表 試験用圧縮機の仕様

Table 3. Specifications of Testing Compressor

圧縮機	180φ 冷凍機	150φ 冷凍機
圧縮ガス	空気	アンモニア
廻転数	360 r. p. m.	410 r. p. m.
吐出圧力	6~8 kg/cm ²	9~11 kg/cm ²
吸込圧力	0	1~1.5 kg/cm ²
電動機馬力	50 HP	30 HP

第 4 表 試料弁板の寸法

Table 4. Sizes of Valve Plates

圧縮機	180φ 冷凍機			150φ 冷凍機		
	外径φ	内径φ	筒数	外径φ	内径φ	筒数
吸込弁板	49	21	6	85	54	2
吐出弁板	67	38	4	85	54	2

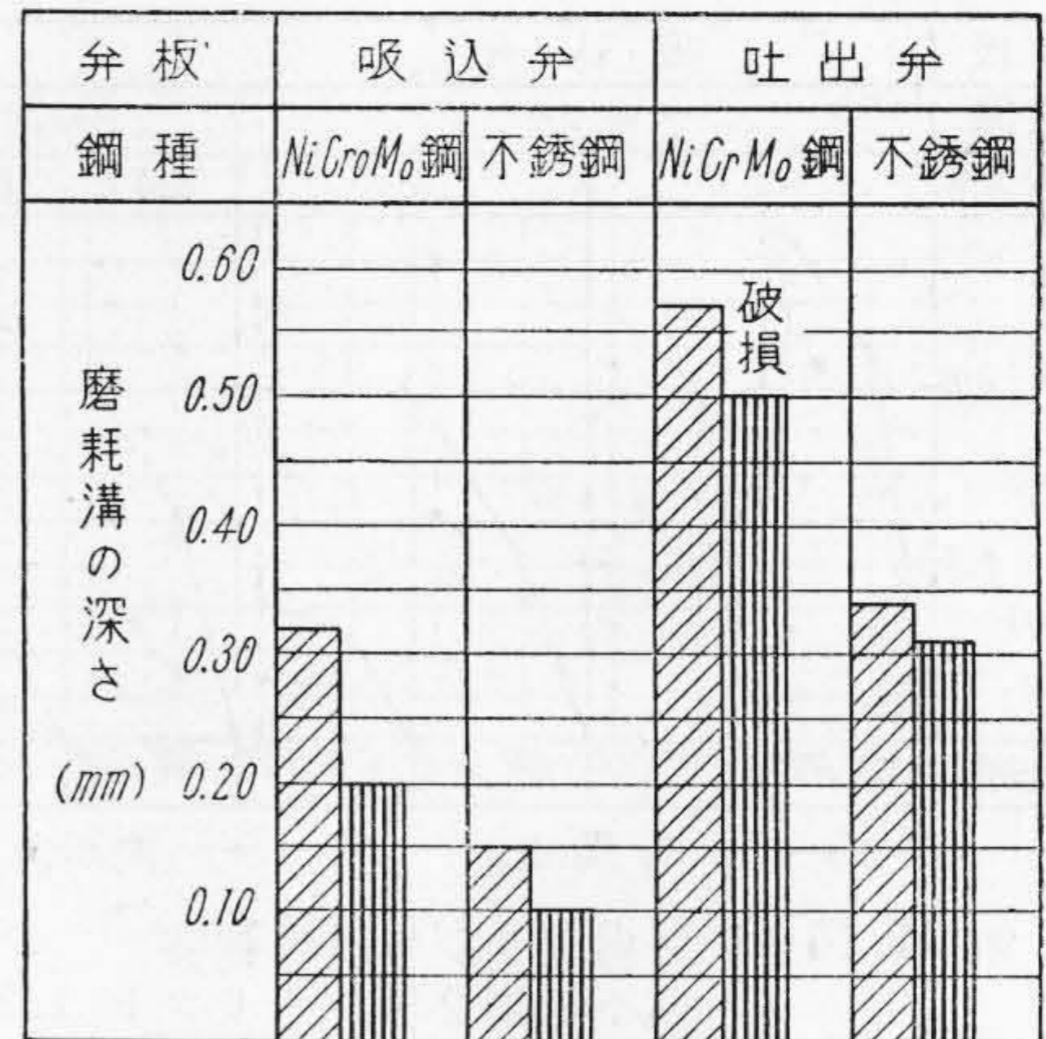
[IV] 磨耗試験

冷凍機の弁板で最も要求されるものは、その耐磨耗性であつて第 10 図に示す如く、弁座との当り面である内外周に磨耗の溝を生ずる。これは他の褶動磨耗と異なり所謂叩き磨耗であるために適当な磨耗試験機もなく、又特殊な試験機を製作して実験するよりも、実際の圧縮機を用いた方がより信頼し得る結果が得られるものと考え、実物試験に依ることとした。

(1) 実験方法

試験機として使用した圧縮機は、空気運転の 180φ(シリンダー径) アンモニア圧縮機と冷媒運転の 150φ アンモニア圧縮機の両者を使用した。これ等の圧縮機の仕様は第 3 表に記す通りである。第 4 表は試料弁板の寸法及び筒数を掲げた。弁座は総て SF-55 の焼鈍材である。

上述の圧縮機に材質、熱処理、リフト及び板厚等を異にせる第 4 表の弁板を装入して任意の時間運転し、その



■ 外用溝 ■ 内周溝

第 11 図 NiCrMo 鋼と不銹鋼の比較

150φ 冷凍機 約 2,000 時間運転
板厚 2.5 mm

Fig. 11. Comparison of Stainless Steel and NiCrMo Steel 150φ Refrigerator about 2,000 hr. operating

Thickness of Plate=2.5 mm

第 5 表 試料の化学成分

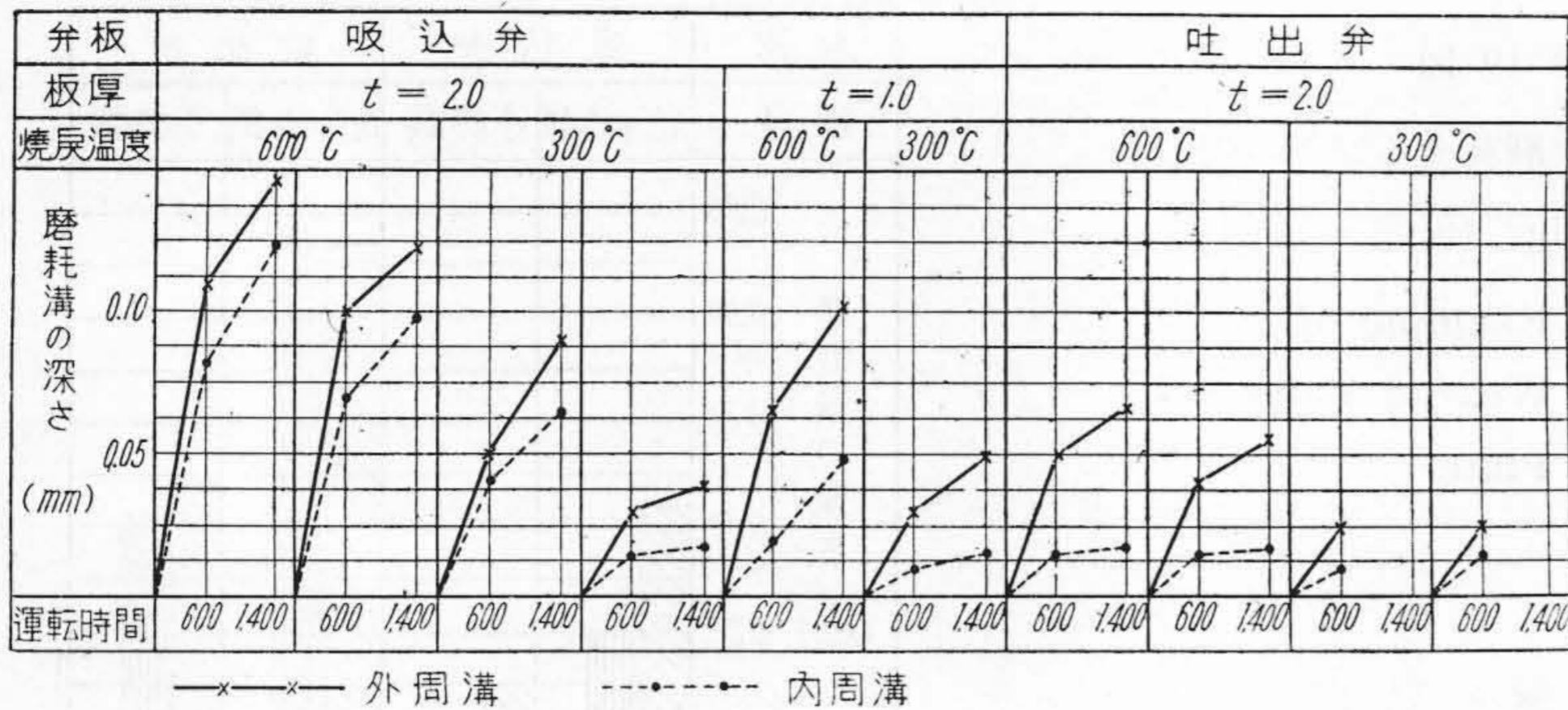
Table 5. Result of Chemical Analysis

	C	Ni	Cr	Mo
NiC~Mo 鋼	0.44	2.80	1.35	0.34
不銹鋼 2 種	0.21	0.10	13.10	—

間の磨耗量を比較することとした。磨耗量は磨耗溝の深さを 0.2mm 迄はオプティカルミニメータで測定し、それ以上の場合にはマイクロメータで溝底の深さを測つたのであるが、溝円周の 4 点で深さを測り、その平均値を採つて磨耗量とした。

(2) NiCrMo 鋼と不銹鋼第 2 種の比較

ある種の圧縮機に NiCrMo 鋼の弁板が使用されている例があるが、これと不銹鋼第 2 種の弁板との比較を行つた。試料の分析結果は第 5 表に示す通りである。熱処理は不銹鋼を 980°C, NiCrMo 鋼を 850°C で定盤焼入をして、焼戻は共に 650°C に 1 時間保持した後空冷した。その結果は、不銹鋼の硬度は Rc25.2 及び 25.9, NiCrMo 鋼は Rc 32.0 及び 31.5 であつた。試験弁板の板厚は 2.5mm 一定にして、リフトは 1mm である。約 2,000 時間の運転後に測定した磨耗量を第 11 図に掲げた。この結果が示すように吐出弁、吸入弁共に不銹鋼の方が硬度低いにも拘はらず磨耗量が尠く、且つ何れの場合



第 12 図 焼戻温度及び板厚の影響 180φ 冷凍機 1,400 時間運転
材質不銹鋼 2 種 リフト 1.2 mm
Fig. 12. Influence of Tempering Temperature and Thickness
of Plate 180φ Refrigerator 1,400 hr. Operating
Lift=1.2 mm

合にも外周の方が磨耗量多い。NiCrMo 鋼の吸入弁は約 1,500 時間の運転で破損した。

(3) 焼戻温度と板厚の影響

前述の如く、弁板は硬度の高い所で使用した方が疲労強度も高く、焼戻温度を適当に選べば衝撃抵抗も可成りあるので、その破損に対しては低温焼戻が良いと思はれる。又硬度の高いことは磨耗に対しても良好であろうと考えられたのでこの実験を行つた。

材料は不銹鋼第 2 種、980°C 定盤焼入後 300°C に 1 時間保持後空冷したものと、600°C に 1 時間保持後空冷したものに就て試験した。尚同時にリフトを 1.2 mm に一定にして板厚を 1.0 mm と 2.0 mm とに造つたものを装着して比較試験を行つた。使用した圧縮機は空気運転の 180φ 冷凍機である。尚寿命を同時に確める目的で 1,400 時間迄も運転を継続したが、破損したものは皆無で寿命を確める事は出来なかつた。この実験の結果を第 12 図に掲げた。

この結果を見るに 300°C 焼戻の方が 600°C 焼戻の弁板に比して総ての場合に磨耗量が少く、従つて硬度の高いもの程磨耗量が少い事が分る。硬度は 600°C 焼戻のものが Rc で 33 であり 300°C 焼戻のものが 46 である。吐出弁 300°C 焼戻のもの磨耗量が出ていないが、これは装着時に間違いがあつたためにデータがとれなかつた。板厚の影響を見るに、板厚の薄いもの程、大体磨耗量は少いかと思はれるが、一二逆の関係を示しているのがある。確定的なことは云へない。この場合も総ての場合外周溝が内周溝に比して磨耗量の多いのは同様である。

(4) 不銹鋼とバネ鋼の比較及び弁リフトの影響

上述の実験に依り不銹鋼第 2 種は破損、磨耗に対して可成り良好なものである事が判つた。併し他面不銹鋼第 2 種は、C, Cr の低いものはフェライトを混じり易い等の

熱処理上の困難があり、又清浄度の良好でないものが多い。これに対しバネ鋼はその特性上 P, S 等の不純物が少く、疲労限は高く、板厚 1~2 mm 程度の弁板は定盤焼入に対して十分硬化するので弁板材料としては甚だ適当なものであると考えられる。

それ故不銹鋼第 2 種とバネ鋼との耐磨耗性の比較を行つて見た。試験に供したバネ鋼は、第 6 表に示すような C 量約 1% のものであり、バネ鋼

第 4 種に属する高炭素バネ鋼である。各材料の熱処理条件及びそれ等の硬度は第 7 表に記す通りである。

弁板は総て 1 mm 厚さのものを用いた。リフトの影響を調べるために他の弁板は 2.2 mm のリフトで試験したが、吸入弁板の不銹鋼、バネ鋼の各々々に対しては 1.2 mm のリフトを持つように弁座を造り、同時に試験を行つた。使用した圧縮機は 180φ 冷凍機であり、これに各弁板を装入して 300 時間運転した結果は第 13 図に示す通りである。

以上の結果より空気運転では、不銹鋼第 2 種はバネ鋼第 4 種に比して耐磨耗性に於て劣ることが明らかとなつた。尚データは少いがリフトをつめたもの程磨耗の少い事が窺われる。

(5) 実験結果の検討

これ等磨耗試験の結果 NiCr Mo 鋼より不銹鋼の方が

第 6 表 試料の化学成分

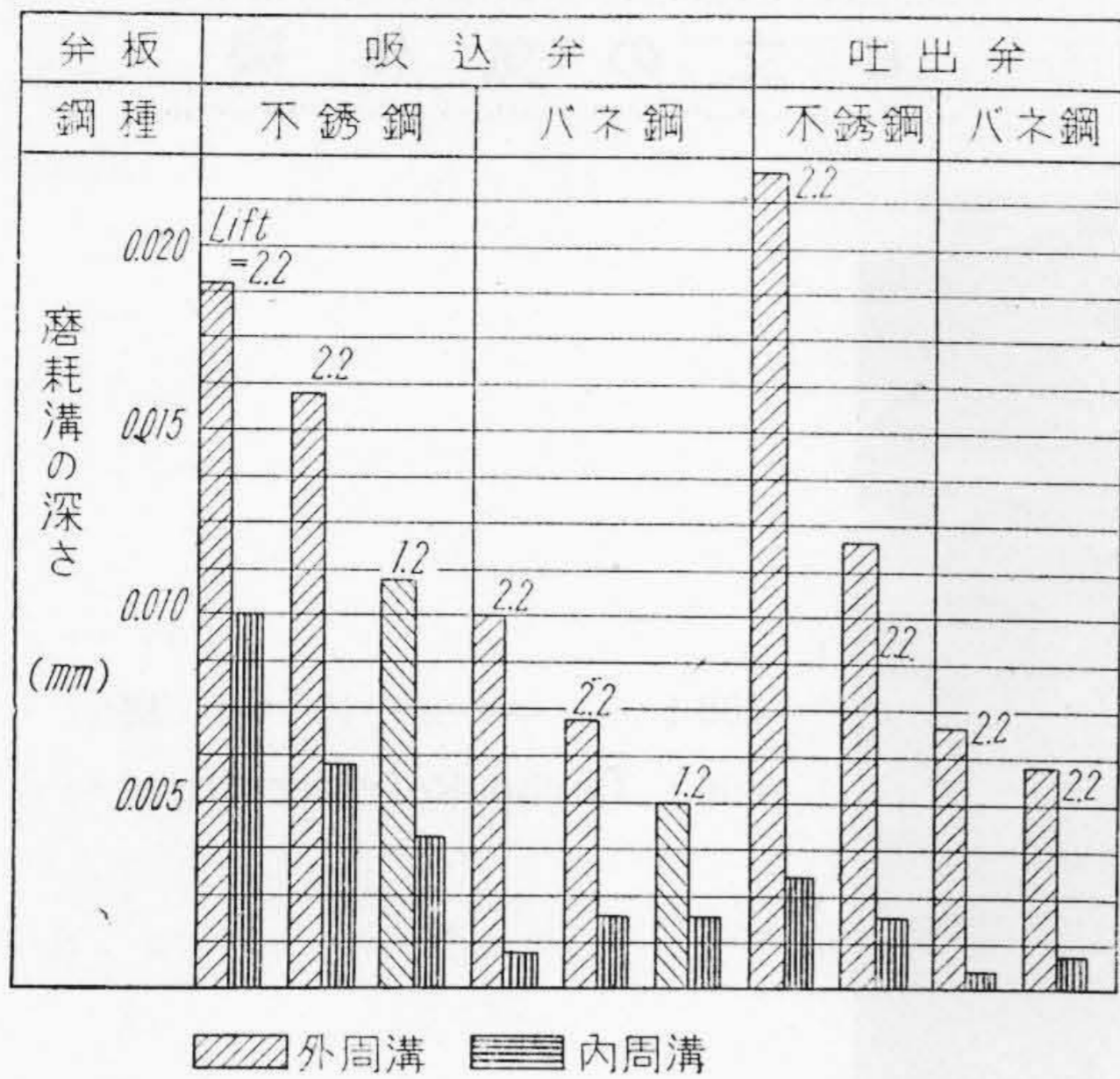
Table 6. Result of Chemical Analysis

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
バネ鋼	1.08	0.18	0.46	0.028	0.014	0.14	—
不銹鋼	0.22	0.31	0.41	0.024	0.011	0.39	13.47

第 7 表 熱処理条件と硬度

Table 7. Conditions of Heat Treatment and Hardness

試料	焼入(定盤)	焼戻(空冷)	硬度(R)
バネ鋼	800°C	400°C/hrs	50
不銹鋼	980°C	300°C/hrs	46



第 13 図 不銹鋼とバネ鋼の比較及びリフトの影響
180φ 冷凍機 300 時間運転 板厚=1 mm

Fig. 13. Comparison of Stainless Steel and Spring Steel, and Influence of Valve Lift 180φ Refrigerator 300 hr. Operating Thickness of Plate=1mm

耐磨耗性良い事、不銹鋼では硬度の高いもの程耐磨耗性優れている事、更に又不銹鋼よりも高炭素バネ鋼の方が耐磨耗性良い事は確かであると思はれる。尙この内データの配列に依り有意差検定の可能なものに対しては、一応計算を行つてこの結論を確めている。又この実験では一部空気運転に依っているが、冷媒雰囲気の影響に就ては現在実験中である。

以上の実験では総て外周溝の方が内周溝に比して磨耗量が大きい事が判つた。これは次のような理由に依るものとする。弁板は弁座に衝突する際にシート全面が全く同じ瞬時に閉ぢるものとは考えられない。必ず或る程

度は傾斜し弁座を打つてであろう。その際は弁板の外周部の弁座に接する小面積にて弁座の保有する運動量の殆どを受け持ち、これが衝撃力となつて現はれる。これが弁板の周縁部で繰返されるので外周溝が内周溝に比し大きくなるのであろう。

併し尙この弁板の衝撃磨耗は、恐らく純粹に垂直に叩くことだけに依つて生じるものでなく、可成りの褶動磨耗が含まれているものと思われる。

[V] 総括

冷凍機用弁板材料に就いて、二三実験を行つたがこれを要約すると次の如くである。

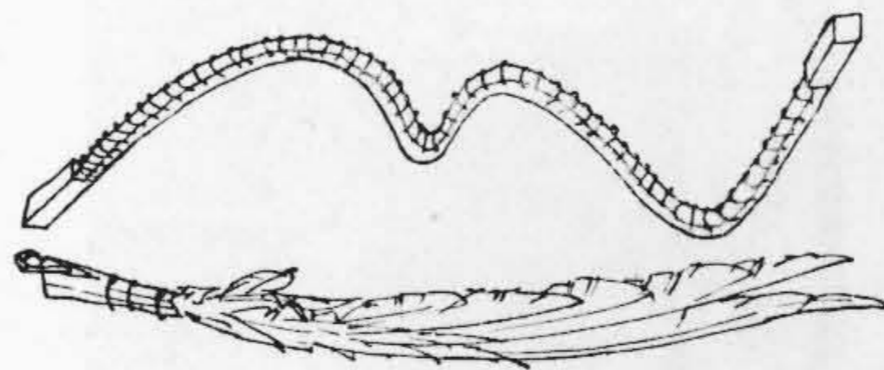
弁板の破損は疲労強度に依ると考えられるので、介在物の鈎い材料を選ぶことは勿論であるが、熱処理は低温で行いその内で靱性の高い所をとる如く熱処理すべきである。13Cr 不銹鋼の場合は 300°C, 強靱鋼の場合は約 200°C を撰ぶのが妥当と思われる。

又磨耗試験の結果では不銹鋼は NiCrMo 鋼に比して耐磨耗性良く、弁板の硬度は高いものが耐磨耗性良い。又高炭素バネ鋼は良好な耐磨耗性を示した。

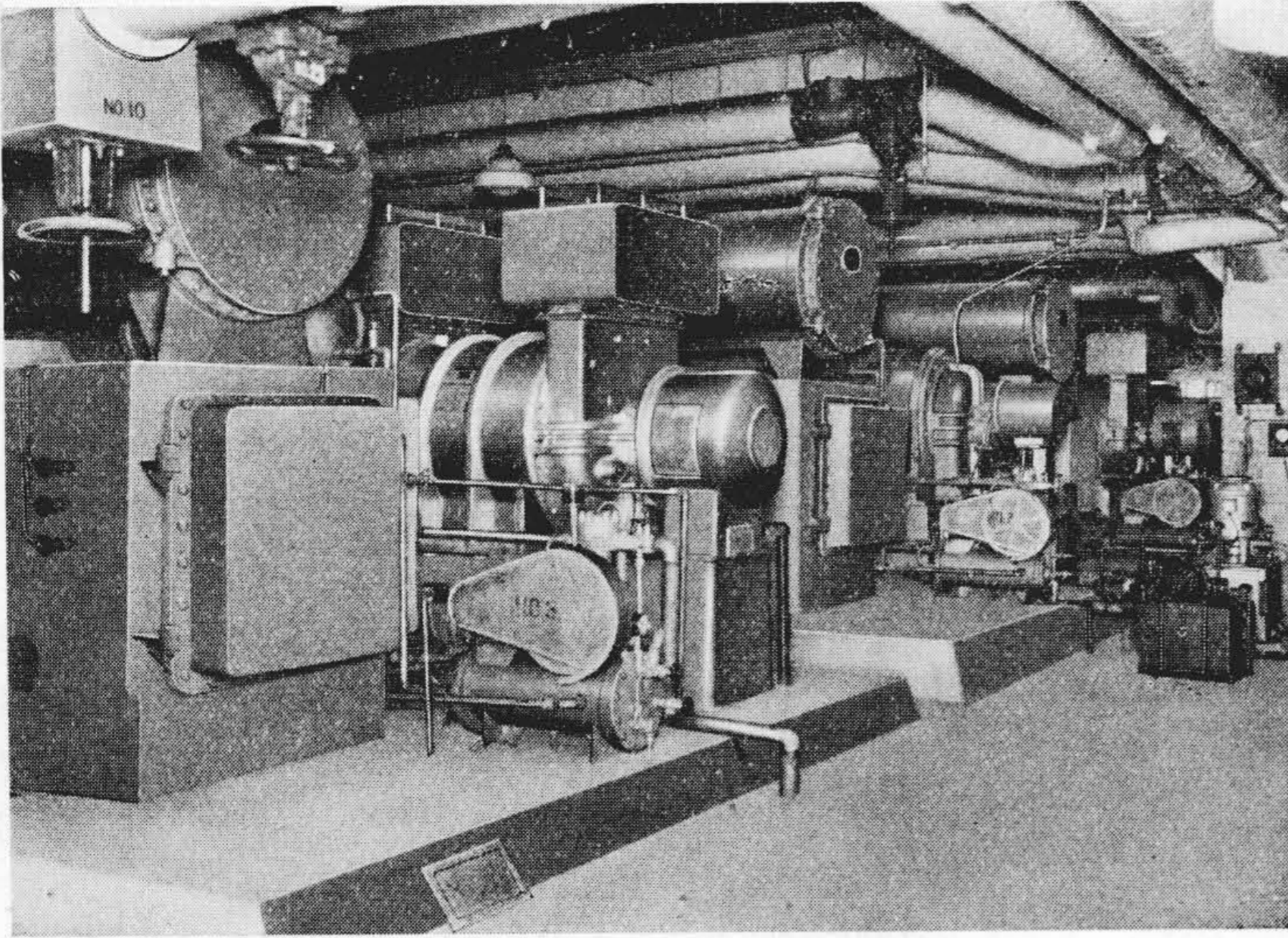
終りに臨み本実験は安来工場小柴研究所長の御教示、御指導の下に行われたもので、終始御鞭撻、御指導を頂いた伊達栃木工場長、設計課須藤清治氏と共に深厚の謝意を表す次第である。

参考文献

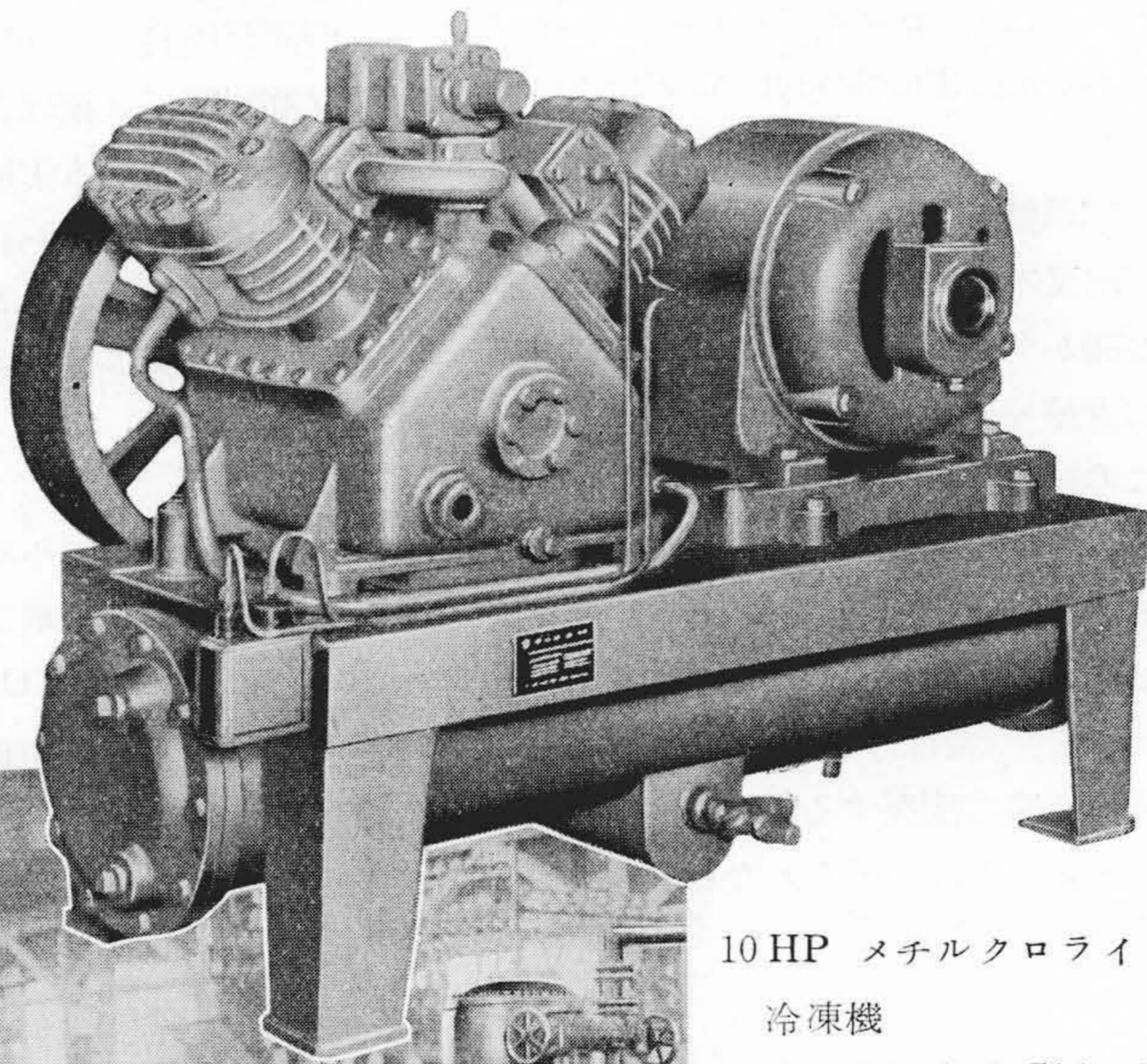
- (1) 河合、小川：金属学会分科会講演 (昭 24~11)
- (2) 學術振興会：金属材料 I. 114
- (3) P. Smith : Metal Progress (1950~4)
- (4) 岡崎、山田、横田：日立亀戸工場研究報告 88 号



日立の気体機

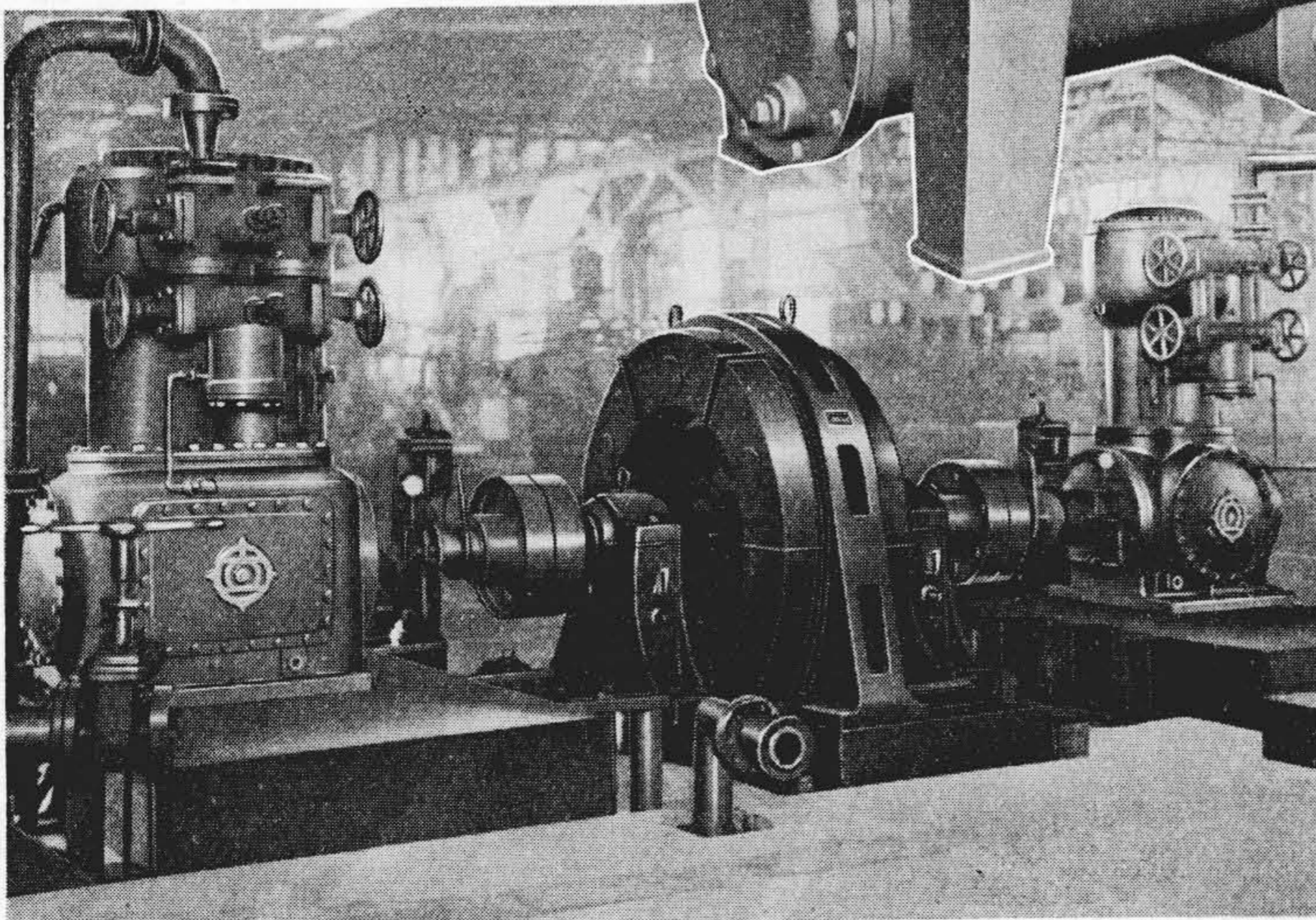


400 t ターボ冷凍機
400 t Turbo-Refrigerators



10 HP メチルクロライド (フレオン-12)
冷凍機

10 HP Methyl Chloride (or Freon-12)
Condensing Unit



350 φ アンモニア 圧縮機
350 mm φ Ammonia Compressors