

電氣鋼の透磁性に就て

(昭和三年十一月日本鐵鋼協會第四回講演大會講演)

中 村 道 方

内 容 梗 概

直流電氣機械の鐵鐵に使用する鑄鋼の透磁性が鑄鋼の化學成分と如何なる關係を有するものであるか此等の鋼が鍛鍊によりて此性質を如何に變化せしむるか、交流發電機の高轉子に使用する高張力鋼及白銅鋼のそれは如何にして改善されるかを取扱つたもので製鋼爐は 300 K.V.A. 1,000 K.V.A. 1,800 K.V.A. の3種の鹽基性電爐で透磁性の測定は Burrow, permeater を使用した。

鑄鋼の化學成分より述べると炭素を増加するに従つて透磁性が低下するが實際問題としては或程度以下に炭素を減じて透磁性の優秀を期する事は困難であると云ふのは炭素を或程度以下に下げると其脱酸の不良が鋼の諸性質を惡化すると同様に透磁性をも低下せしむる事になるからである、換言すれば炭素 0.12% 以下に下げると大體に於て透磁性は不良なる結果を示して居る。

硅素は或程度まで透磁性をよくするが此は硅素の直接の働きではなく硅素が鋼の脱酸をよくするために受ける間接の透磁性改善であると考慮すべきで 0.3% を超へたる鑄鋼に於ては其の透磁性に既に惡影響を示して居る事を認められるものである。

滿俺の量を少なくする事が透磁性の向上に是非共必要なる如く考慮する傾向があるが此を或程度以下に低下すると却つて透磁性は不良化するそれは實際鋼を作る立場より見て硅素のみによりて鋼の脱酸を遂行する事は困難であり特に筆者の如く鹽基性電爐を使用して居る場合に於ては一層此を重要視す可きである。

則ちある炭素含有量に對する滿俺及硅素の適當なる存在が透磁性の向上を計るに緊要條件であると推定することが出来る。

此を要するに化學成分より透磁性を議論する事は含有瓦斯略々等しき鋼材であると云ふ假定の下であつて一般的には此の議論は成立せぬものであると思ふ。

熱處理の影響に就ては結晶粒の大きさが此を左右する事を認める白銅鋼にありては焼入、焼戻を施行したものが焼鈍せるものより良結果を示す、即ち機械的性質の良好なるものが透磁性も亦良好である。

1 緒 言

大正 13 年春某電機製作所より鑄鋼の透磁性を工業的にどの程度まで向上せしむる事が出来るかと云ふ相談を受けました。

私の方では當時 $B=17$ kilogausses に要する H を 70 gilberts per cm. 附近を標準として居りましたが此の電氣鑄鋼の透磁性を如何にして向上せしめ得るかを研究して見る事にしました、それは直流機も艦船用のものになりますと其の重量を軽減することが重要な問題になりますからで電機設計者と材料供給者との協同研究に待たざる限り到底舊套を脱するといふ事は出来ぬからであります。當時私は 300 K.V.A. 1,000 K.V.A. の 2 基の鹽基性電氣製鋼爐を有して居りましたので此の研究を工業的に進める事が出来ました。

元來私は鹽基性電氣製鋼法に大きな一つの疑問を抱いて居るものであります、それは酸化期に於て overoxydize されたる銑鋼が果して還元期に於て遺憾なく脱酸せらるゝであらうかといふ問題で若し此の問題にして解決し得られぬとすれば鹽基性電氣製鋼法が種々の特徴を有して居るに拘らず到底竿頭一步を進める事は出来ないのであります。

然し幸か不幸か普通の材料試験に表はれたる數字より見ますれば鹽基性電氣鋼は他種の製鋼法に依り得たるものに比し概して優良なる結果を示して居ります、此がため私共は幾度現實曝露の悲哀を経験した事であらうか勿論鹽基性電氣製鋼法は平爐や轉爐製鋼法に比して燃料として使用するものが電力であると云ふ點とか溫度の調整が樂であるとか云ふ澤山の特徴を有して居りますが危険なる酸化期を一度經て居ると云ふことは忘れてはならぬ事實であります、即ち此の先天的の缺陷は何かの機會に表はれぬで済むものではない此が材料試験に於て表はれぬと云ふのは其感度の問題であるまいかと存じますといふのは此を磁性試験にかけて見ますと全く等いと自惚て居る二つの材質に就ても非常に差異を發見して今更の如く製鋼技術の困難であるといふ事を體驗するのであります。

此の意味から總ての鋼材の先天的性質を鍛鍊壓延等に依りて少しも打壞はさない以前の鑄鋼に就て調べて見ると云ふ事は總ての鋼材製作上より有意義であると存じますので先づ最初に鑄鋼の透磁性に就て述べまして續いて交流發電機に使用する高張力鋼及白銅鋼の透磁性を述べ最後に私も使用致しました Burrow permeameter の誤差に就て申上げる事に致します。

2 鑄鋼の透磁性

如何なる製鋼法に依りましても原料の選擇技術の優劣等に依り生れた鋼材に大差を生ずる事は明であり従つて製鋼法に理論的に優劣があるからと云つても生れた鋼材が直ちに優劣ありと斷定する事は出来ぬ。例へば某國では酸性轉爐で立派な鑄鋼が出来て居るが某國では鹽基性電爐で鑄鋼の出来榮が面白くないのを目撃する事は稀ではありません然し技術者が長年同一の製鋼爐を操業して居ます間に其個性が呑み込めて参りますので製作する鋼材の性質は其れが有する化學成分に依りて略此を豫期す

る事が出来るのであります、鋼材の透磁性も亦同様でありますが機械的性質と異り感度が非常に高いので豫期の結果を得るに困難を感じる事は到底後者の比ではありません、然し此とても長い間に於てはやはり一定の規律に支配されて動くものである事が認められるのであります。

私の實驗に於ては化學成分は主として實用的範圍に此を變更しました、元來純鐵の透磁性は最良のものであるが此を工業的に生産する上に於て生産費の上昇技術の困難、機械的の性質の要求等により此を鑄鋼に代用する事は困難である、従つて吾々は普通の製鋼法である轉爐、平爐、電爐等を使用して經濟的に透磁性を改善せねばならぬ。

私の場合は鹽基性電氣製鋼爐を用ひ複鋼滓法に依り此を取扱つたもので其の結果が他種の製鋼法に依る鑄鋼に直ちに適用は出来ないかも知れぬが其の傾向は認められると存じて居ます。

例へば第1表は一例でありますが製鋼法の如何によりて可なり異りたる結果を示して居ると共に平爐に於てはやはり炭素、硅素、滿俺の適當なる。

B. 鑄鋼が C. に比して優良なる數字を與へて居りますのです。

鋼番號	製鋼法	測定器	炭素	滿俺	硅素	抗張力 kg/mm ²	延伸率 50mm. %	H. 17 kg. ※
A.	轉爐	Fahy	0.136	0.74	0.216	43.4	16.0	126.0
B.	平爐	"	0.141	0.41	0.314	37.8	35.0	68.5
C.	平爐	"	0.162	0.53	0.309	45.1	19.0	76.0

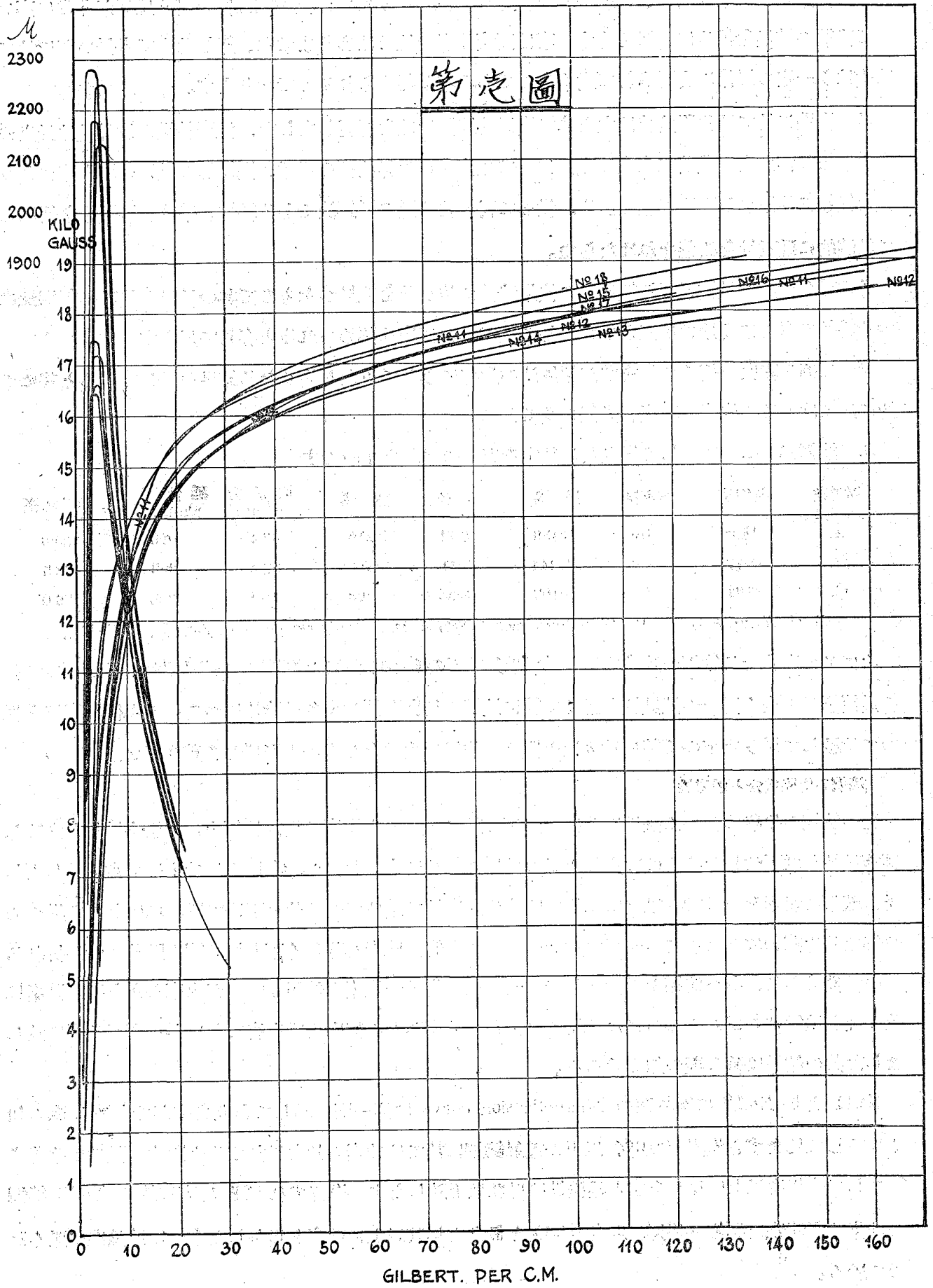
※ H 17 kg とあるは B=17 Kilogausses に於ける H in Gilberts per cm. を示す。以下同じ。

次に私の實驗せる鑄鋼の焼鈍は炭素 0.20% 以下のものは全部 900°C で何等特別の方法を採らず普通鑄鋼品と全く同一の焼鈍爐を用ひて特に焼鈍の優良を期せず各試験片につき一々顯微鏡寫眞を採つて比較して居りますので特に摘要なき限り其組織に大差なきものと考慮して戴き度い。

鑄鋼の化學成分と透磁性

先づ鑄鋼の化學成分の透磁性に及ぼす影響に就て述べると炭素の増加は鋼中の炭化物増加を意味し其透磁性を低下せしむるものであると云ふ見地から私は炭素を 0.10% 以上に仕上げて實驗致しました、然るに炭素を 0.10% 以下にするには酸化期に於て思ひ切つて此を下げて置かねばならぬ従つて熔鋼は酸化期の終りに於て over oxydize されて滿俺、硅素も著しく下り還元期の脱酸に骨が折れるのは當然である、剩へ熔槽を脱酸するに當りては適當量の炭素を使用する事が出来ぬから勢ひ硅素に依り此を遂行せねばならぬ事になる斯る理由から硅素がどの程度まで有害でないかを調べる事に致しました其の結果は第1表の如くである。

No.11 より No.18 に至る鋼の Magnetization curve は第一圖に示してありますが此を第1表の如く比較して見ますと炭素 0.10% 以下の電氣鑄鋼に於ては硅素の量を増加すると順次透磁性に改善されて或程度以上になりますと透磁性は再び低下致します、換言すれば第1表に於て No.18 鑄鋼の硅素 0.526%、滿俺 0.46%、炭素 0.08% を最良とし其以上に硅素を増加したものは透磁性が悪くなつて居る。



第 1 表

第一類 炭素 0.10% 以下の鑄鋼の透磁性

鋼番號	硅 素	滿 俺	炭 素	H.17kg.	H.10kg.	H.5kg.	μm ※
11	·321	·37	·10	52.5	—	—	—
12	·390	·49	·10	62.5	—	—	—
13	·396	·39	·08	73.0	—	—	—
14	·315	·47	·10	69.9	6.3	3.3	1,715
15	·741	·35	·10	52.5	3.2	2.5	2,500
16	·266	·35	·10	59.0	5.3	2.9	2,267
17	·378	·41	·10	61.7	5.0	2.5	2,180
18	·526	·46	·08	45.0	4.5	2.5	2,200

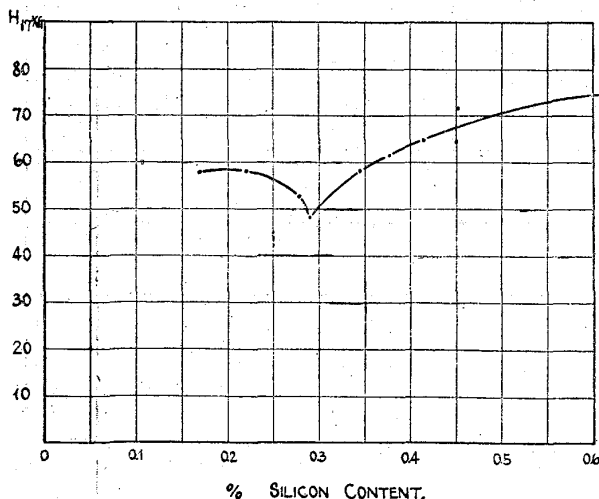
※ μm は最高導磁率

此の文献に見るに

C	0.10	Mn	0.20-0.25	Si	0.30
C	0.052	Mn	0.18	Si	0.008

以上が高透磁性鑄鋼として適當であると云つて居るが前者は兎も角後者は實際としては問題であると思ふ此を Frau & Curie⁽³⁾ 其他の實驗に就て見るも電氣分解鐵の透磁性が $H=100$ に於て $B=18,000$ 内外を示すに止ると云ふ事實から見ても私の實驗せる No. 21 熔接鋼棒の炭素 0.09%、滿俺 0.08%

第 二 圖



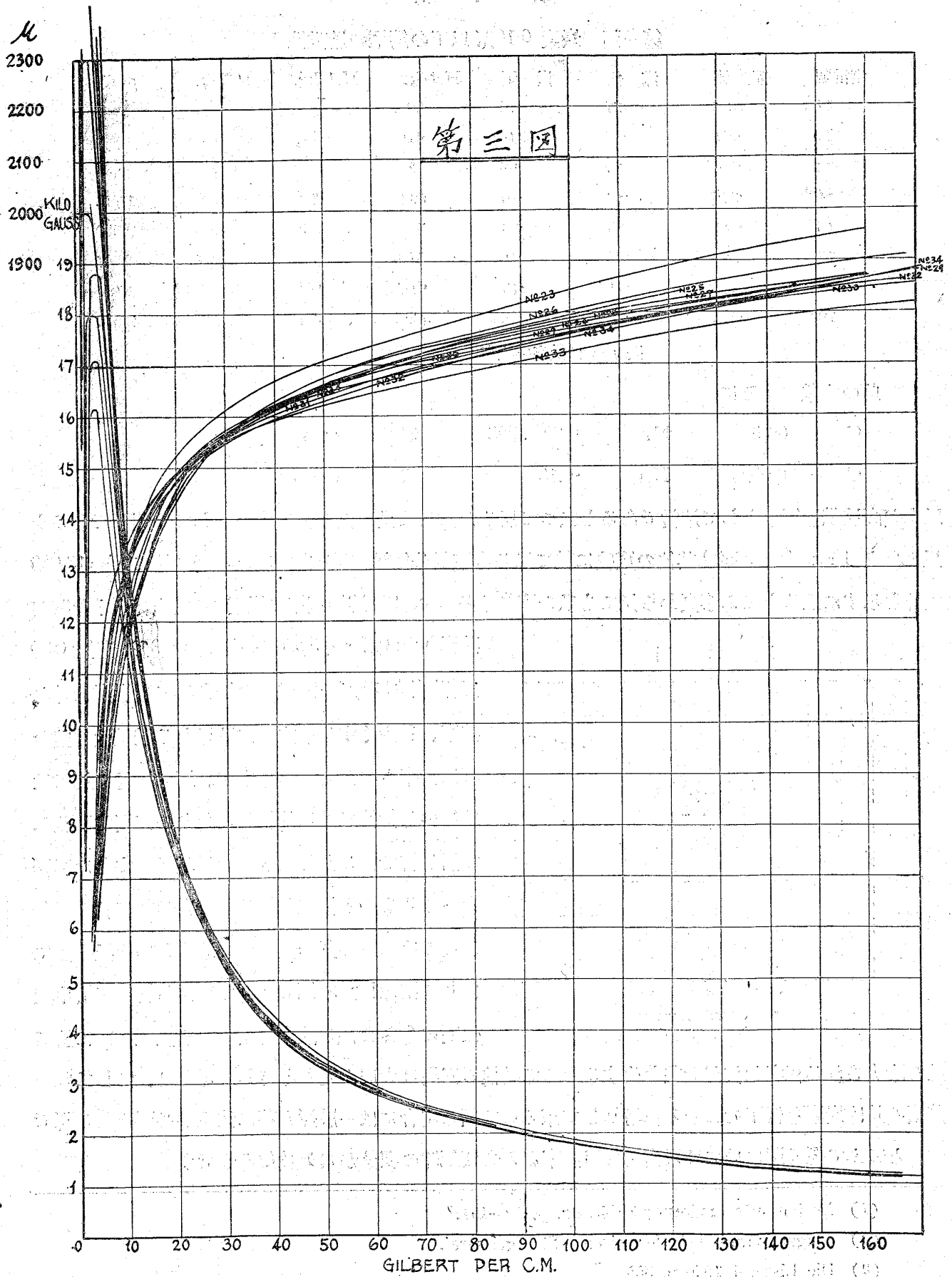
硅素 0.011% や No.13 の炭素 0.08%、滿俺 0.39%、硅素 0.396% の透磁性を見ましても炭素、滿俺、硅素、を少くする事丈では良好なる透磁性を望む事は出来ぬ事が明であります、即ち鋼材に於ては此等の分析値以外にそれが可なり瓦斯を吸収して居る筈であるから此が鋼の透磁性に大きな影響を有するものと推定し得るのである特に私の場合に於ては同一の鹽基性電爐で略等しい取扱方法に依りて精鍊した鑄鋼でありますから含有瓦斯中酸化期に含まれたる酸素瓦斯の多少及還元期に於て

此が除去される程度如何が大差を生ずるもので其他の瓦斯は大同小異と考慮して可なり、而して此の酸素の量は炭素を低下せしむる程増加して來るので斯る場合には一層還元期に注意が必要となる譯です、と云ふて還元期に於ては炭素を使用出来ぬとせば鋼滓の調整が六ヶ敷なのです。

(1) La fonderie moderne; 1924 ang. p. 190-191.

(2) Geiger: Handbuch der Eisen u. Stahlgeisserei.

(3) Die Lisserei 1926 p. 355.



従つて炭素を少くしたからと云つて骨の折れる割合には透磁性が良くはならぬのである勿論弱磁場に於ける透磁性はよくなり最高導磁率に上るのでありますが強磁場になりまして pearlite もよく磁束を通ずる様になりますと酸化物による透磁性を低下する方の力が大きくなりますので炭化物が減少した割合に透磁性は良くならぬのであります。

次に炭素及滿俺を幾分増加して前者を 0.11~0.12%、後者を 0.5%内外にあげて硅素の影響を調べて見ますと第2表の如き結果を得ました。

第 2 表

第二類 炭素 0.11~0.12% 鑄鋼の透磁性

鋼番號	硅 素	滿 俺	炭 素	H, 17kg.	H, 10kg.	H, 5 kg.	μ m.
23	0.288	0.47	0.12	48.0	5.1	2.5	2,005
24	0.280	0.46	0.12	53.0	4.9	2.3	2,308
25	0.169	0.46	0.12	57.8	—	—	—
26	0.222	0.63	0.12	58.0	—	—	—
27	0.345	0.43	0.12	59.8	—	—	—
28	0.329	0.53	0.12	62.0	5.8	2.8	—
29	0.450	0.42	0.11	64.5	4.6	1.9	2,620
30	0.415	0.42	0.12	65.0	6.1	2.9	1,880
31	0.451	0.46	0.12	72.0	4.7	2.3	2,460
32	0.631	0.41	0.12	75.0	4.8	2.1	2,520
33	1.290	0.48	0.12	87.5	3.9	2.5	2,750
34	1.935	0.24	0.12	76.5	4.9	2.2	2,560

此等の Magnetization curves は第參圖で硅素含有量により磁性を比較せるものは第貳圖の如くで硅素 0.30% 附近で透磁性は最高値を示し其れより硅素を増減すると共に透磁性は悪くなつて居ります、此を説明するには複鋼滓に依る鹽基性電氣製鋼法の反應に逆る必要がある、御承知の如く酸化期に於ては先づ燐を酸化せしめ續いて炭素、滿俺といふ順に酸化せしめ度いのでありますが實際としては炭素のみを希望程度に除去しまして滿俺の酸化を 0.10% 以上位に喰留めると云ふ事は中々困難です、茲に私の實驗を申述べますと炭素を 0.10% 以下に落すと第3表の如くなります。

第 3 表

酸化終期の熔鋼の滿俺含有量

鋼番號	10,370	10,369	10,368	10,366	10,365	10,363	10,362	10,361	10,360	10,725
炭 素	0.09	0.13	0.13	0.09	0.10	0.12	0.11	0.12	0.06	0.09
滿 俺	0.04	0.11	0.17	0.07	0.06	0.11	0.12	0.12	0.11	0.07

大體に於て熔鋼中の滿俺は 0.10% 以下になり熔槽は荒れて來るのです、此を還元期に於て硅素で脱酸すれば鋼滓の硅酸が増加して其の調整が困難であるが滿俺 0.10~0.2%、炭素 0.10%内外の熔鋼でしたら鋼滓の調整も樂であるし熔槽の落付も良く従つて脱酸にも骨は折れませぬ即ち炭素を 0.12%内外に仕上げますと第2表の如く熔槽に非常に澤山の硅素を残す如き必要はなく僅かに 0.3%内外の硅

素にて充分第2表に於ける優良なる鑄鋼に遜色なきものが得らるゝのです、此際最も有利なる事は第2表の場合より透磁性の變動率が少いといふ點であります此は鹽基性電氣製鋼法の還元期に於ける安定度が炭素含有量の如何により大差あるためであると思ふ、斯く考へて見れば此安定が成立した後は過剰の硅素は有害無益である換言すれば鑄鋼に於て鐵硅素の化合物として偏析せる硅素は固より地鐵に固溶して居る、それも透磁性を不良ならしむる原因となるのである即前者は結晶粒或は結晶群の周圍に偏析して磁氣抵抗を大ならしめ後者はフェライト自身のそれを大ならしむるものと推定さる。

そこで當然起る問題は炭素、滿俺の増加に依り電氣鑄鋼の透磁性を如何なる程度まで保持し得るかといふ事であるが勿論此の場合鋼の炭化物は増加するが一方其脱酸は改善せられるから強磁場に於ける透磁性は左程低下するものでなく第4表の如くなる。

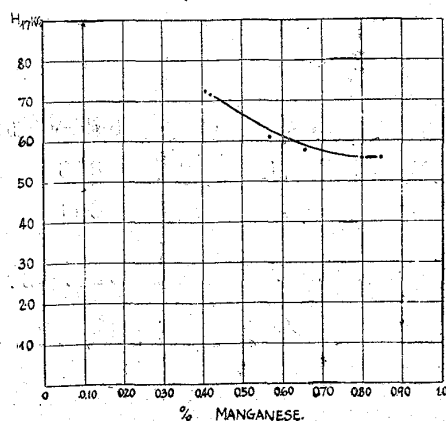
第 4 表

第三類 滿俺 0.7~0.8% の電氣鑄鋼の透磁性

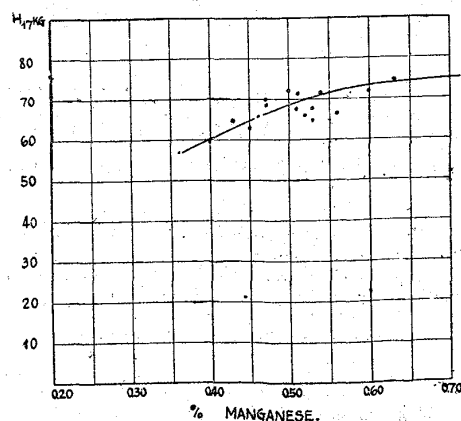
鋼番號	硅 素	滿 俺	炭 素	H. 17kg.	H. 10kg.	H. 5 kg.	$\mu m.$
41	0.232	0.73	0.18	51.5	6.2	3.2	1,530
42	0.179	0.85	0.19	56.0	7.5	4.0	1,330
43	0.207	0.73	0.18	58.0	7.2	4.0	1,510
44	0.302	0.88	0.15	64.0	7.0	3.2	1,650
45	0.349	0.80	0.16	67.0	5.3	2.9	1,740
46	0.240	0.73	0.24	70.0	9.0	5.0	1,140
47	0.338	0.84	0.16	71.0	6.5	3.3	1,760
48	0.147	0.77	0.26	79.0	9.0	4.0	1,240
49	0.282	0.73	0.30	87.0	11.5	5.5	1,010
50	0.180	0.72	0.31	93.5	11.0	5.2	978

第1表の如く滿俺 0.7~0.9% の電氣鑄鋼に於ては弱磁場の透磁性は概して不良で特に炭素高きものは一層甚しい換言すれば最高導磁率は低炭素、低滿俺のものに比して著しく不良である此れ炭化物の増加に起因するもので弱磁場に於ては磁束は主としてフェライトを通過し炭化物の磁氣抵抗が大である爲めと思惟す、然れ共磁場が強くなると共に順次 pearlite の透磁性は良好になるから Magnetic

第 四 圖



第 五 圖



Induction 17 Kilogausses に於ける磁場は No.41・42・43 鋼の如く 60 Gilberts per cm 以下といふ比較的良好なる透磁性を示すに至るのである。

此を第 1、第 2 表に於ける低炭素、低満俺鑄鋼の透磁性の不良なるものと比較して見ると鹽基性鋼中に於ける満俺が如何に重要な働きを爲すものであるかを首肯し得ると思ふ。

續いて透磁性に於ける満俺の影響を炭素 0.16~0.19%、硅素 0.20 以下の鑄鋼に就て見ると大體第 5 表の如くなる。

第 5 表

第四類 炭素 0.16~0.19% 硅素 0.20%
以下の鑄鋼の透磁性

鋼 番 號	51	52	53	54	55	56
硅 素	0.178	0.139	0.194	0.171	0.197	0.171
満 俺	0.80	0.66	0.69	0.57	0.42	0.41
炭 素	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.19
H. 17kg.	56.0	58.0	60.0	61.0	71.6	72.3
H. 10kg.	6.0	6.0	5.1	7.2	6.9	8.0
H. 5 kg.	2.5	3.0	2.7	3.1	3.1	3.5
$\mu m.$	—	1,730	1,960	1,825	1,645	1,650

則ち硅素、炭素 0.20%、以下の鑄鋼に於ては満俺の量を増加することに依り其脱酸度を向上せしめ透磁性を改善する傾向を有する事を認め得るのである。

此の事實が鋼の脱酸度と大なる關係を有する事を他の方面より實驗して見る事にし度いそれは鑄鋼の硅素含有量を増加したる場合に於ける満俺透磁性に及ぼす影響の實驗である。第 6 表は其結果である。

第 6 表

第五類 硅素 0.20~0.30% 炭素 0.13~0.16% 鑄鋼の透磁性

鋼 番 號	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
硅 素	0.252	0.233	0.273	0.290	0.282	0.285	0.276	0.228	0.266	0.285	0.280	0.233	0.295	0.284	0.269	0.213	0.295	0.260
満 俺	0.40	0.46	0.53	0.43	0.37	0.51	0.47	0.51	0.54	0.50	0.72	0.53	0.56	0.52	0.45	0.63	0.47	0.36
炭 素	0.15	0.16	0.16	0.15	0.13	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14	0.14	0.13	0.15	0.14	0.15
H. 17kg.	59.4	65.0	65.0	65.3	66.0	67.8	70.0	71.6	71.6	72.0	75.4	67.9	66.5	66.0	63.0	75.5	69.1	7.0
H. 10kg.	—	—	5.0	6.4	6.2	6.8	6.0	6.5	7.3	5.4	10.0	6.3	5.3	—	5.9	5.7	6.4	4.0
H. 5kg.	—	—	2.7	2.9	2.9	3.8	3.0	3.1	3.5	2.2	5.0	3.1	2.9	—	2.9	2.0	2.9	3.0
$\mu m.$	—	—	2,480	1,960	1,915	1,700	2,560	1,790	1,710	2,069	1,123	1,920	2,400	—	1,988	2,147	1,960	2,420

第 6 表に於ては硅素含有量を 0.25% 内外に炭素を 0.15% 内外に保ちて満俺を變更せる電氣鑄鋼の實驗であるが此程度の鑄鋼に於ては脱酸は極めて容易であり熔鋼は所謂安定にあると考慮す可く従つて満俺の増加は却つて其の透磁性を不良ならしめて居る即満俺 0.36% に於て其の透磁性は最良値を示して居る。

然るに此れより炭素の量を増加して 0.17~0.18% とすれば良好なる透磁性を得んとするに満俺含有量を減少するのが合理的である。

第 7 表

第六類 硅素 0.25% 内外炭素 0.17~0.18
% 鑄鋼の透磁性

鋼 番 號	82	83	84	85	86	87
硅 素	0.287	0.246	0.283	0.293	0.280	0.208
滿 俺	0.27	0.46	0.47	0.51	0.48	0.53
炭 素	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17
H. 17kg.	59.1	64.4	69.8	71.0	71.5	81.5
H. 10kg.	—	6.0	6.7	5.8	6.9	10.0
H. 5 kg.	—	2.9	3.4	3.0	2.5	4.3
μm	—	1,912	1,329	1,875	1,843	1,240

則ち滿俺 0.27% に於て最も良好なる結果を示して居る。

第二類鑄鋼に於て既説せる如く炭素 0.11~0.12 %の鑄鋼に於て硅素を 0.3% 以上に増加する時は其の透磁性を害するものであるが七類の如き炭素 0.13~0.14 % 鑄鋼に於ても適用されると共に第二類より一層透磁性は不良となり到底良好なる鑄鋼は得られぬものである。

第 8 表

第七類 炭素 0.13~0.14% 硅素 0.3% 以上の鑄鋼の透磁性

鋼 番 號	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
硅 素	0.365	0.335	0.345	0.357	0.385	0.395	0.323	0.338	0.374	0.310
滿 俺	0.45	0.43	0.40	0.54	0.51	0.45	0.51	0.47	0.49	0.55
炭 素	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13
H. 17.kg	60.0	61.0	64.5	65.2	65.3	65.5	70.0	72.5	72.9	76.0
H. 10.kg	6.0	6.0	—	8.2	6.2	6.2	6.0	6.1	6.9	5.5
H. 5.kg	2.9	2.6	—	3.6	2.9	3.0	2.8	3.0	3.1	2.0
μm .	1,870	—	—	1,694	1,960	1,903	1,847	2,160	1,930	2,040

則ち第七類の如き鑄鋼は製鋼上よりは極めて樂であるが炭化物も相當増加し居る上に硅素は其の安定を保つ以上に過剰であるから極めて平凡なる鑄鋼が得られて其透磁性も可もなく不可もなしと云ふ結果を示して居るのである。

鑄鋼の焼鈍と透磁性

鑄鋼の焼鈍につきては上述せる如く實用を主として略々等い普通の焼鈍方法を用いたる故特に焼鈍の影響と認むべきものを見出さぬのであるが此を第一類に就て云へば No.13 及 No.17 鋼は結晶粒大に過ぎ強磁場の透磁性を幾分低下せしめて居ると思ふ、此に反して No.18 鋼の如きは結晶粒の細き點より見るもパーライトの分布より見るも挾雜物の少き點より見るも此の透磁性が極めて良好なりしを首肯するに難くないと思ふ。

此を第五類乃至七類の鑄鋼に就て見るに No.72・76・99 の如き其の焼鈍は不良にして No.78 は良好なるものであるから此の影響も幾分認められるのであるが鑄鋼に於ては高張力鋼又は白銅鋼の如き大差を普通の焼鈍によりて認める事が出来なんだが鑄鋼の焼鈍は初期の結晶を破壊せる後再焼鈍により結晶粒を細く均一に分布せしむる如くせば其の磁氣抵抗を小ならしめて強磁場に於ける透磁性を良好ならしむるに好果のある事は信じて居る。

鑄鋼の材料試験値と透磁性

鑄鋼の衝撃値が透磁性と關する所なきかを實驗したるに其の結果は第 10 表の如く恰も張力試験値と等しく大體の傾向を示すに止まつた此れアイゾット式衝撃試験に於ては析斷面を切り込みに依り指定する所に誤差を生じ易く抗張力試験又標點間弱點より切斷するものにして磁氣測定 of 如き感度の鋭

敏なるものと必ずしも其結果一致せざるは蓋し當然なる可し。

然れども第 10 表に示す如く鑄鋼の衝撃値の不良なるものにして優良なる透磁性を示す事はなく大體に於て 5m/kg 以上のアイゾット値を示すに至らざる鑄鋼の透磁性は $B=17$ Kilogausses に要する H は 70 Gilberts per cm 以上を要するものである而して衝撃値の優良なるものは概して最高導磁率即弱磁場に於ける透磁性が優良である此は鑄鋼のアイゾット値が炭素の低きもの概して良好なる數字を示して居る必然の歸着である。

第 9 表

	衝 撃 試 験 値 と 透 磁 性																
鋼番號	24	16	92	28	83	115	96	62	116	97	86	117	118	111	112	113	114
炭 素	0.12	0.11	0.14	0.12	0.17	0.12	0.14	0.17	0.15	0.14	0.15	0.19	0.19	0.21	0.24	0.18	0.22
硅 素	0.280	0.266	0.335	0.329	0.246	0.255	0.395	0.241	0.155	0.323	0.284	0.179	0.334	0.295	0.327	0.378	0.315
滿 俺	0.46	0.35	0.43	0.53	0.46	0.42	0.45	0.46	0.39	0.51	0.48	0.50	0.46	0.49	0.45	0.61	0.51
アイゾット	5.80	8.25	6.20	6.10	6.70	7.20	5.20	5.60	8.20	4.70	6.20	6.85	5.75	4.95	3.25	58.5	4.76
H 17kg.	53.0	59.0	61.0	62.0	64.4	68.5	65.5	65.6	72.0	70.0	71.5	75.0	82.8	82.2	82.8	61.5	70.5
H 10kg.	4.9	5.3	6.0	5.8	6.5	5.4	6.2	6.2	6.4	6.0	6.9	6.9	9.2	8.8	8.8	7.0	7.5
H 5kg.	2.3	2.9	2.6	2.8	2.9	2.2	3.0	3.0	3.0	2.8	2.5	2.6	3.6	3.3	3.0	2.9	2.9
μ m.	2,308	2,267	—	1,980	1,850	2,180	1,903	2,000	1,705	1,912	1,843	1,864	1,631	1,395	1,631	1,690	1,605

同様なる事は抗張力試験に於ても此を認める事が出来る即ち 45 kg/mm² 以上の抗張力を有するもの或は標點距離 50 mm に於て 30% 以下の延伸率を示す鑄鋼の透磁性は概して不良であるが或る特殊の事情に依るものは抗張力 45 kg/mm² 以上でしかも透磁性の優良なるものもある此は脱酸良好であるとか比較的有害ならざる硅素の増加等に起因するものが主であります。

抗張力試験値との関係につきては第六圖に最高抗張力と透磁性、第七圖に延伸率と透磁性との関係を示して居る。

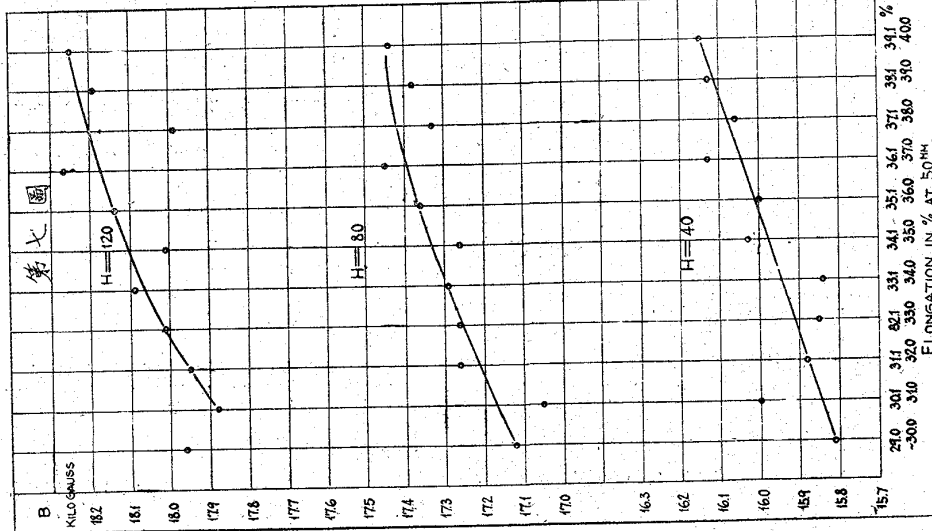
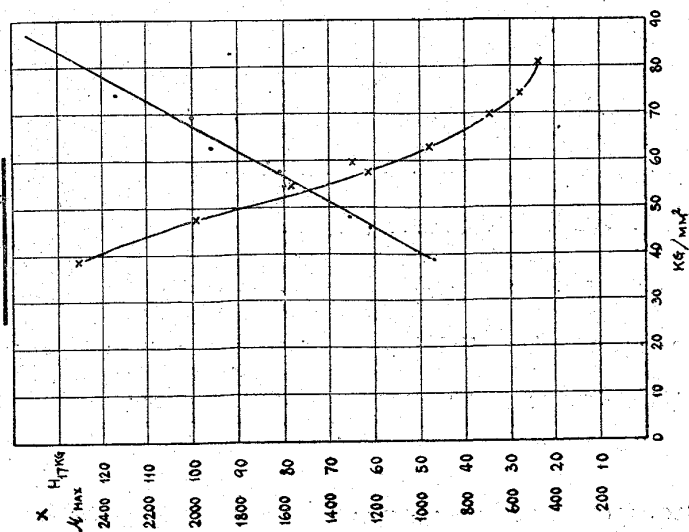
先づ最高抗張力を増加するに従ひ其の透磁性は大體低下して居る、而して此の傾向は弱磁場に於て顯著にして磁場が強くなるにつれて此の傾向は緩和される此れ強磁場に於ては所謂磁氣的に硬い部分であるパーライトに磁束が良く通過するに至るからで鑄鋼のパーライトが幾分増加しても最高導磁率こそ著しく低下するが強磁場の透磁性はセメントタイトの形及分布良好なれば左程不良なる數字を示すものでない、然し最高抗張力 45 kg/mm² を超過せる鑄鋼に於ては Magnetising force 80 Gilberts per cm に於て Magnetic Induction 17 Kilogauss を下る如き不良なる透磁性を示すもの往々存在す。

次に延伸率に就て見るに大體に於て其の小なるものは透磁性も亦不良である而して Magnetising force 80 Gilberts per cm に於ける Magnetic Induction を見るに 33% 乃至 38% 間に於ては大差はないが 33% 以下の鑄鋼に於ては Magnetic Induction 17 Kilogauss を下るもの往々にして存在す又 38% 以上の延伸率を有するものにありては高下の差が大きい此は鑄鋼の脱酸が炭素を低下する程困難になることを示して居ると思ふ。

3 炭素鋼及白銅鋼の透磁性

炭素鋼で：—— 最初に軟鑄鋼を鍛鍊して此を熱處理して鍛鍊の透磁性に及ぼす影響を見ると No. 151 であります此は鑄鋼の項に挙げたる No. 23 鑄鋼を鍛鍊して 900°C で焼鈍せるもので其の分析値は

第八圖



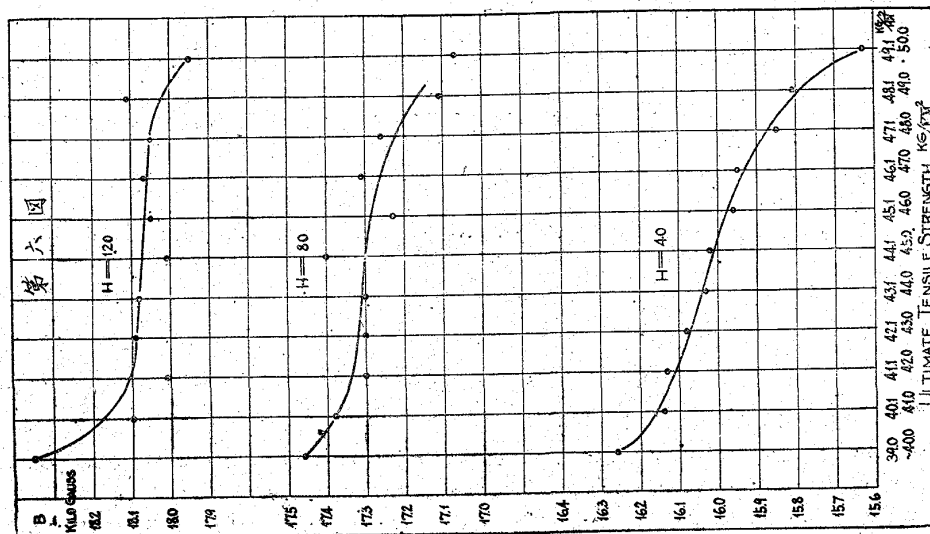
第七圖

Elongation % at 50.0 m.m. Tests	No of Tests	Elongation % at 50.0 mm Tests	No of Tests
29.0~30.0	8	35.1~36.0	8
30.1~31.0	2	36.1~37.0	3
31.1~32.0	4	37.1~38.0	8
32.1~33.0	8	38.1~39.0	8
33.1~34.0	9	39.1~40.0	6
34.1~35.0	5	Total.	69

第七圖

Tensile Str. kg/mm ²	No of Tests	Tensile Str. kg/mm ²	No of Tests
39.0~40.0	4	45.1~46.0	4
40.1~41.0	11	46.1~47.0	4
41.1~42.0	3	47.1~48.0	14
42.1~43.0	7	48.1~49.0	5
43.1~44.0	11	49.1~50.0	3
44.1~45.0	9	Total	75

第六圖



第六圖

炭素=0.12%

満俺=0.47%

硅素=0.288%

であります、此を鑄鋼時代の透磁性と比較して見ると第 10 表の如くである。

第 10 表

軟鑄鋼に於ける鍛錬の影響

No.23			No.151			No.23	No.151
B/cm ² Hin μ			B/cm ² Hin μ				
Gilberts/cm			Gilberts/cm				
3,338	1.664	2,005	1,388	1.663	835	抗張力 (kg/mm ²)	38.5.....38.8
7,590	3.88	1,957	6,770	2.77	2,450	延伸率 (50mm)	38.3%.....40.0%
11,100	5.94	1,870	11,520	4.59	2,510	断面収縮率	66.0%.....69.3%
12,800	9.9	1,293	12,600	6.33	1,990	則ち第 10 表に於て No. 23 と No. 151 との異なる所は後者の最高導磁率が前者に比して約20%内向上し其の位置が鑄鋼時代より磁場の強き地位に移されて居るといふ事及強磁場に於ける透磁性は稍低下せるも大差ないといふ事である元來低炭素電氣鑄鋼に於ては不純物の存在が極めて少く其の焼鈍に於てはフェライトの發達目醒しくパーライトがフェライト群を圍みて網狀に生成する傾向	
14,630	16.63	880	13,880	10.05	1,380		
16,080	27.9	576	15,480	18.05	858		
17,110	51.5	332.6	16,200	29.9	546		
17,900	79.2	226	17,000	48.7	349		
18,900	118.8	159.1	17,750	79.2	224		
19,660	116.3	120	18,600	120.3	155		

がある、従つてパーライトの生成に遺憾あるを認むる事往々にしてある此に對し吾々は初期の結晶の破壊よりフェライトの生成に至るまでを第一段とし續いて A₁ 點に於けるパーライトの生成を第二段に遂行して此の缺點を除いて居るが鍛造品に於ては此點は極めて樂で鑄鋼に比してパーライトのより良好なる形と均一なる分布を期待する事が出来るのである従つて鑄鋼の最高導磁率が殆んどフェライト如何に拘るに比し鍛鋼に於てはパーライトの影響を加味して來る結果最高導磁率は高くなるものであると思ふ此を抗張力試験力に就て見るも破斷力に於て大差なきも延伸率及収縮率に於てかなりの改善を示すのは主としてパーライトの均一なる分布及其形の良化に依るものと解釋して可なりである勿論鍛鋼は鑄鋼に比し其の比重を幾分増加するが其の影響は上記破斷力の差異の程度に止るものであると思ふ。

要するに軟鑄鋼の鍛錬に依る透磁性改善の程度は大したものではないこれから見ても鑄鋼時代に其の透磁性の良否は決定して居ると云つても過言でないのである。

そこで此の項に於ても單に炭素を増加したる鑄鋼に就て其透磁性を述べると高張力鋼のそれは自然に明かになるのであるが實際としては私共は炭素 0.30% 以上の鑄鋼を作ることは極めて稀であるのと其組織が約分變るのであるから特に炭素鋼材のそれは數例に就て實驗して見たので其目的は白銅鋼と此れを比較して回轉子材として何れが有利なるかを攻究せんとするに過ぎない回轉子材として必要條件は大體次の様なものである。

- (a) 抗張力性 (b) 衝擊耐力性 (c) 熱處理の難易 (d) 透磁性の良否
(e) 加工の難易 (f) 價格の高下

電機製作者側としては大體上の如き條件を以て材質の選擇をやるのであるが此論では(a)(c)(d)のみに就て簡單に取扱つて見たい。

先づ炭素鋼より述べます、實驗に使用したものは第11表に透磁性試験値は此を第12表に掲げる。

第 11 表

實驗に使用せる炭素鋼

鋼番號	炭素	滿俺	硅素	抗張力 kg/mm ²	延伸 率 %	降伏 點 k	斷面 收縮 %
151	0.12	0.47	0.288	38.8	40.0	22.5	69.3
152	0.13	0.58	0.288	45.0	36.8	31.2	62.9
154	0.17	0.77	0.249	54.7	34.0	35.0	—
156	0.26	0.77	0.224	59.6	32.0	40.0	—
157	0.34	0.85	0.248	58.1	29.0	37.5	—
158	0.31	0.81	0.210	59.5	27.5	35.7	—
159	0.34	0.85	0.215	62.5	26.0	40.0	—
160	0.40	0.66	0.219	70.0	24.7	42.4	44.1
161	0.39	0.82	0.160	74.5	23.4	41.6	39.9
162	0.51	0.81	0.263	68.2	19.4	44.3	30.9

※標點距離 50mm.

第 12 表

炭素鋼の透磁性

鋼番號	H. 17kg.	H. 10 kg.	H. 5 kg.	$\mu m.$
151	47.0	3.1	2.0	2,510
152	61.0	2.8	2.0	—
154	65.5	4.6	2.8	1,980
156	80.0	9.5	4.0	1,570
157	81.0	10.0	4.5	1,230
158	83.5	10.8	4.0	1,250
159	96.0	13.8	5.2	960
160	100.0	15.8	8.5	690
161	117.0	18.5	9.8	560
162	115.0	22.2	11.0	480

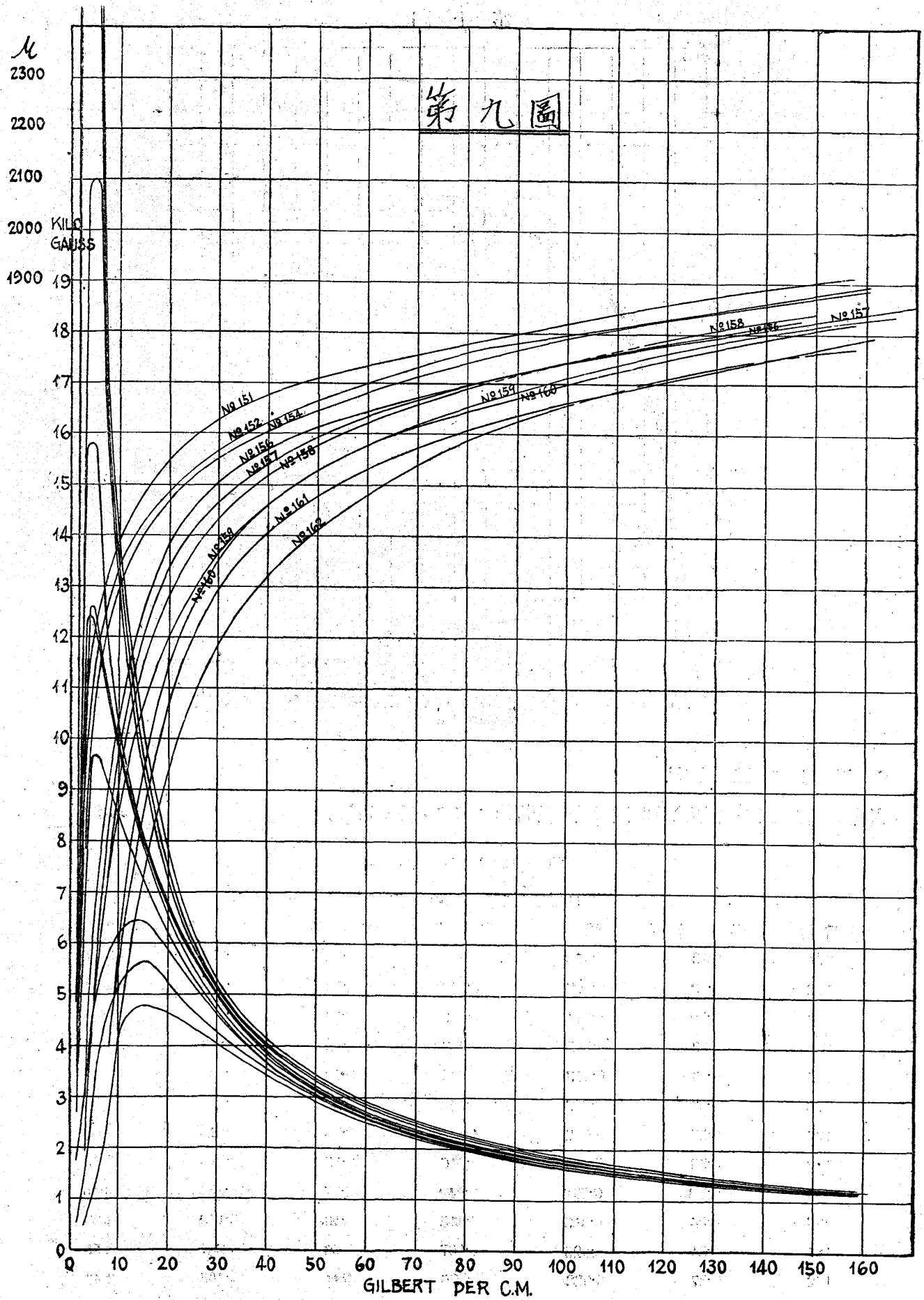
第11、12表に依り炭素鋼の抗張力透磁性の關係を示す曲線は第八圖の如く抗張力の増加と共に著しく其透磁性を低下する而して第九圖の示す如く抗張力の増加と共に其最高導磁率の位置は強磁場に向つて動くと共に其絶對値が小となる事はパーライトの増加に依る必然の結果で鑄鋼の場合と異なる所なく自明の理である。

而して此等の電氣鋼の透磁性を坩堝鋼のそれと比較して見る爲めに Andrew 工具鋼を採つた、當時私としてはユーテクトック鋼を欲したが不幸にして炭素稍高きものしか得られなんだ、試料は同一の棒より3組採集して其各の分析値は次の如くあつた。

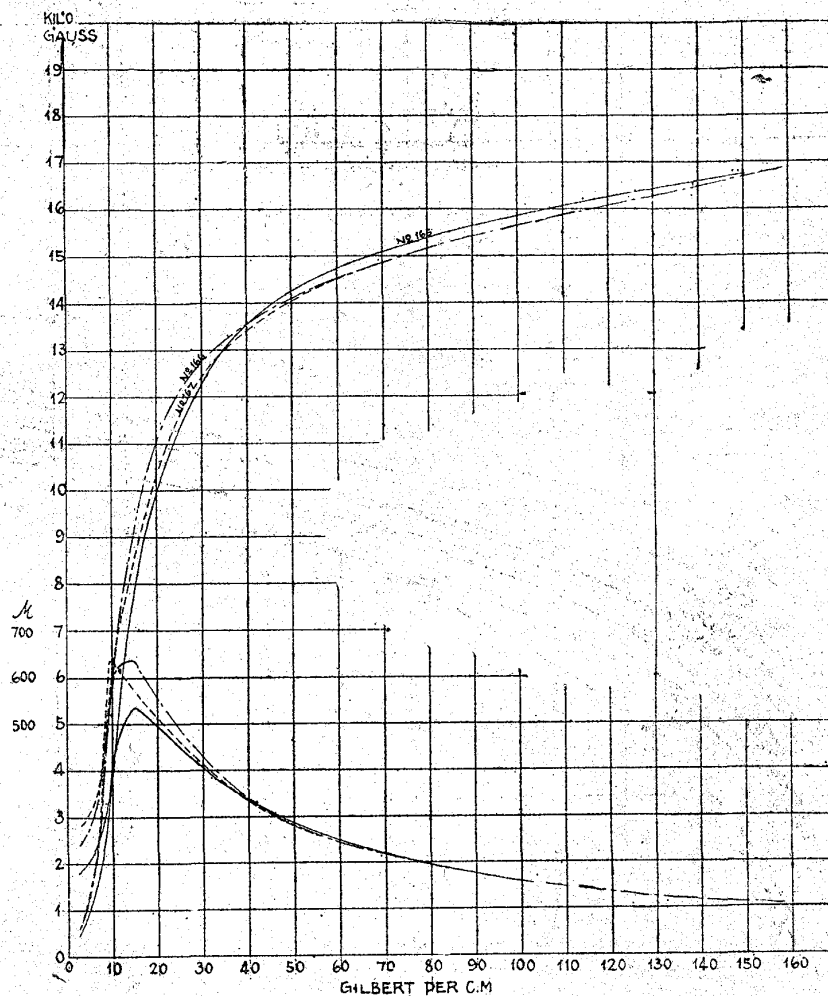
鋼 名	炭 素	滿 俺	硅 素
165	0.96	0.29	0.085
166	1.01	0.24	0.055
167	1.01	0.24	0.049

此を電爐に於て 740°C~750°C に 30 分保ち爐中冷却し 18 時間を経て常溫に達せしめ此が透磁性を測定した其の結果は第十圖曲線にて此を示す、其の透磁性は三者大同小異で H=100 に於て 15,650~15,850 なる Magnetic Induction を示して居る。

此を前記電氣鋼の No. 60~No. 62 の 16,600~17,000 と比較する時は強磁場に於ける透磁性の不良なるは其の炭化物の増加による必然の結果であるが最高導磁率は却つて幾分高きにあるを認める其の理由は上記電氣鋼の化學成分及熱處理の不良なるに歸す可きである即ち化學成分に就きては既に鑄鋼の項に述べたる如く滿俺含有量の過多なるを主とし熱處理に於てセメントの形狀及分布に不満足なる點を發見するのである。



第十圖



白銅鋼の透磁性

實驗に用ひたる白銅鋼は 12 種で其の分析値は第 13 表の如し。

第十三表

實驗に用ひたる白銅鋼の化學成分

鋼 番 號	炭 素	磷	硫 黃	滿 俺	硅 素	ニッケル ³
171	0.13	0.016	0.008	0.36	0.354	3.37
172	0.19	0.022	0.009	0.62	0.188	3.60
173	0.29	0.014	0.018	0.56	0.189	3.67
174	0.30	0.025	0.008	0.68	0.130	3.46
175	0.31	0.019	0.014	0.62	0.134	4.04
176	0.31	0.019	0.013	0.53	0.202	3.14
177	0.32	0.022	0.014	0.55	0.213	3.58
178	0.33	0.023	0.016	0.55	0.213	3.79
179	0.33	0.032	0.019	0.57	0.251	3.45
180	0.34	0.015	0.015	0.49	0.119	3.33
181	0.34	0.025	0.007	0.56	0.254	3.56
182	0.37	0.022	0.006	0.81	0.166	3.41

以上 12 種の白銅鋼を實用を本意とせる熱處理法にて透磁性を良好ならしむるには如何にすべきか
換言すれば出來得可くば空中冷却又焼鈍狀態に於て要求の透磁性を得られて而も抗張力の要求が満足
されるか否かを攻究する事にしたのです。

第 14 表

實驗に用ひたる白銅鋼の熱處理及材料試験値

銅 番 號	熱 處 理	抗 張 力 kg/mm ²	延 伸 率 [×] %	降 伏 點 kg	斷 面 收 縮 %	ブ リ ネ ル 硬 度
171 C	900° C 焼 鈍	52.4	33.0	37.5	—	—
172 A	800° C 油焼入 600° C 反淬	78.3	22.7	71.1	62.9	217
C	700° C 焼 鈍	74.0	22.3	48.5	35.5	207
173 A.	※800° C 油焼入 600° C 反淬	77.6	22.0	69.0	55.8	262
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	75.7	25.4	53.0	52.2	235
C.	700° C 空中冷却	62.7	28.0	45.2	55.8	196
174 C.	700° C 焼 鈍	72.0	27.1	46.3	48.2	—
175 A.	800° C 油焼入 600° C 反淬	85.2	23.0	74.2	62.9	286
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	87.5	22.0	75.0	62.9	244
C.	800° C 焼 鈍	77.6	20.3	53.0	39.9	241
176 A.	800° C 油焼入 600° C 反淬	79.4	22.7	66.0	55.8	223
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	74.0	26.0	56.2	59.1	207
C.	700° C 焼 鈍	63.5	29.0	45.2	48.2	187
177 A.	800° C 油焼入 600° C 反淬	84.3	21.3	78.0	62.9	286
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	82.5	23.0	71.0	59.1	241
C.	700° C 焼 鈍	72.3	25.8	50.0	48.2	207
178 A.	800° C 油焼入 600° C 反淬	87.0	21.8	79.0	66.2	269
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	85.1	22.0	75.3	66.2	262
C.	800° C 焼 鈍	79.5	20.0	57.0	39.9	241
179 A.	800° C 油焼入 600° C 反淬	86.0	24.0	76.8	62.9	302
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	86.7	22.0	78.0	62.9	286
C.	700° C 焼 鈍	82.6	18.5	56.8	39.9	228
180 A.	800° C 油焼入 600° C 反淬	80.2	22.7	72.0	59.1	228
B.	800° C 油焼入 650° C 反淬	77.5	25.0	64.2	62.9	217
C.	700° C 焼 鈍	62.5	29.3	45.5	52.2	187
181 C.	800° C 焼 鈍	77.5	23.8	46.8	44.1	—
181 C ₁	700° C 焼 鈍	73.7	25.3	48.6	39.9	—
182 C.	800° C 焼 鈍	68.8	25.0	45.0	48.2	—
182 C ₁	700° C 焼 鈍	68.8	27.0	46.7	52.2	—

× 標點距離 50 mm.

※ 表中 800° C とあるは 800~830° C を意味す

第 13 表の如き白銅鋼を第 14 表の如く熱處理せるものゝ透磁性を測定せるに第 15 表の如き結果を得たり。

第 15 表

白銅鋼の透磁性

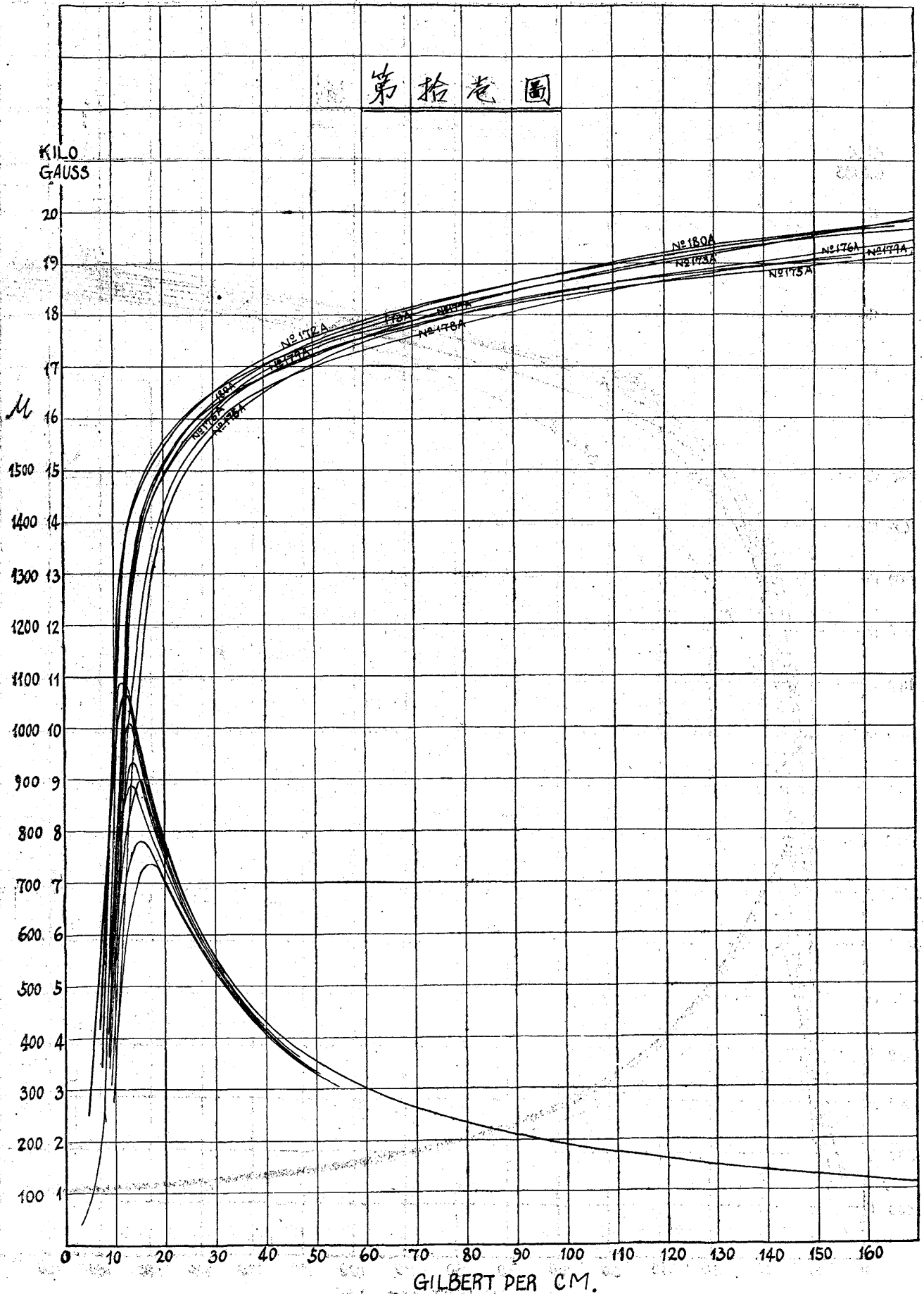
鋼番號	H.18kg.	H.17kg.	H.10kg.	H.5kg.	μm	鋼番號	H.18kg.	H.17kg.	H.10kg.	H.5kg.	μm
171C.	77.3	49.5	8.5	4.3	1,350	177C.	—	104.0	15.5	10.0	680
172A.	65.0	38.0	10.0	7.0	1,060	178A.	107.0	84.5	18.0	12.0	590
C.	—	—	21.5	11.5	500	B.	140.0	52.5	14.5	11.0	725
173A.	70.0	40.0	11.0	8.0	1,090	C.	—	200.0	29.0	13.3	390
B.	130.0	71.5	13.0	9.5	780	179A.	70.0	41.5	11.6	9.5	930
C.	120.0	76.5	15.0	9.0	670	B.	107.0	84.5	18.0	12.0	590
174C.	—	132.5	19.5	12.0	535	C.	—	—	23.5	12.3	480
175A.	77.0	49.5	14.3	10.1	735	180A.	69.0	41.5	12.3	9.3	900
B.	107.5	57.5	15.8	11.8	660	180B.	93.0	57.0	12.3	10.0	850
C.	—	148.0	28.8	14.0	360	C.	116.5	75.5	12.6	8.0	761
176A.	80.0	75.5	11.5	9.5	890	181C.	116.5	83.0	18.0	8.8	590
B.	105.0	61.0	12.2	9.2	800	181C ₁ .	—	123.0	20.0	10.8	520
C.	112.5	74.0	10.8	8.0	900	182C.	—	81.0	17.5	8.5	610
177A.	71.5	44.5	11.8	9.5	1,000	182C ₁ .	—	123.0	20.0	10.8	520
B.	116.5	72.0	13.0	12.0	790						

先づ焼鈍せるものから見ますと温度は 900°C~700°C を選びました。

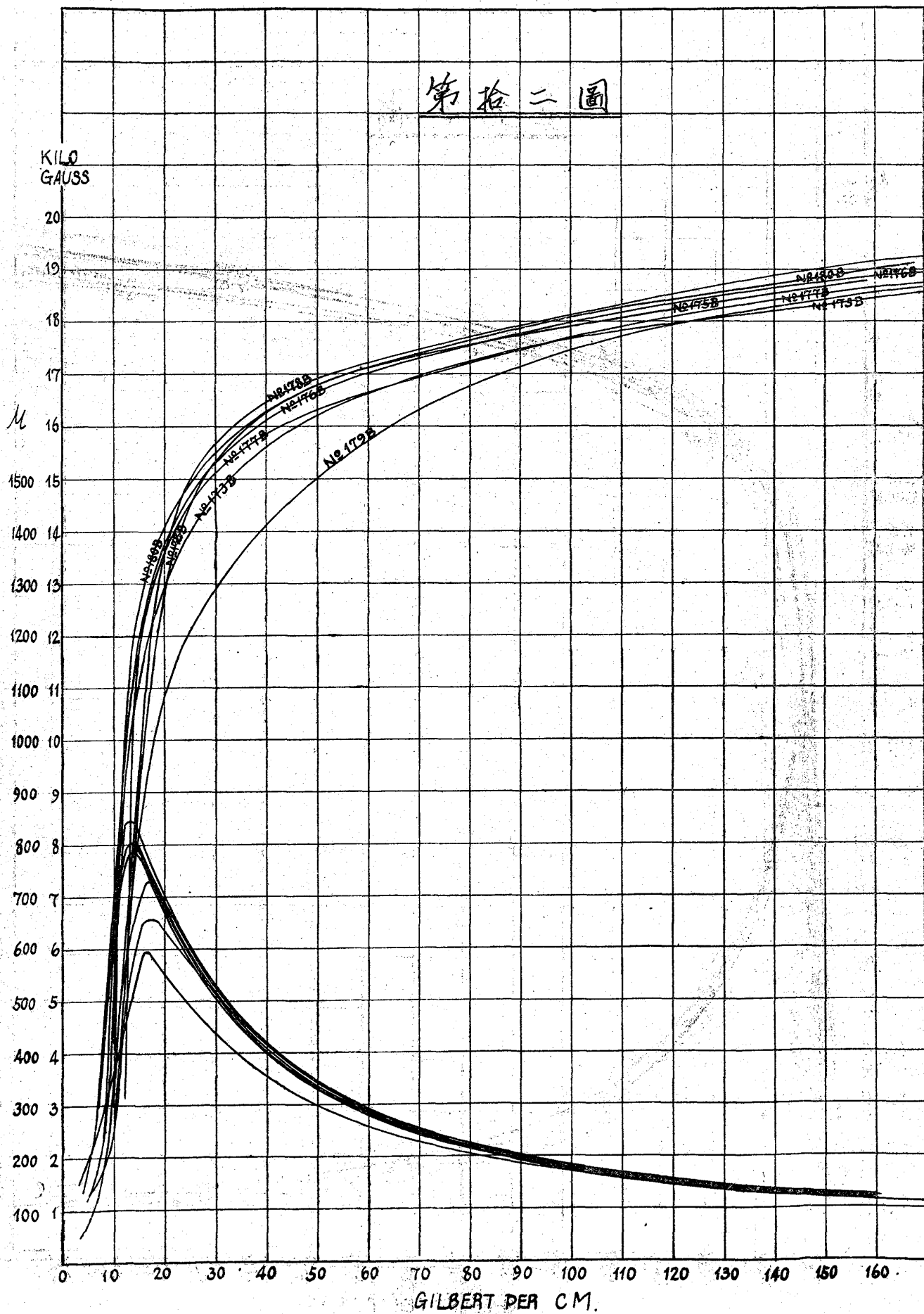
其の結果は第 14 表の如く炭素 0.13% No.171 を 900°C にて焼鈍したるパーライト鋼が最も良好で B=17 kg に要する Magnetizing force は 49.5 Gilberts Per cm 最高導磁率は 1,350 で最も良好であります。

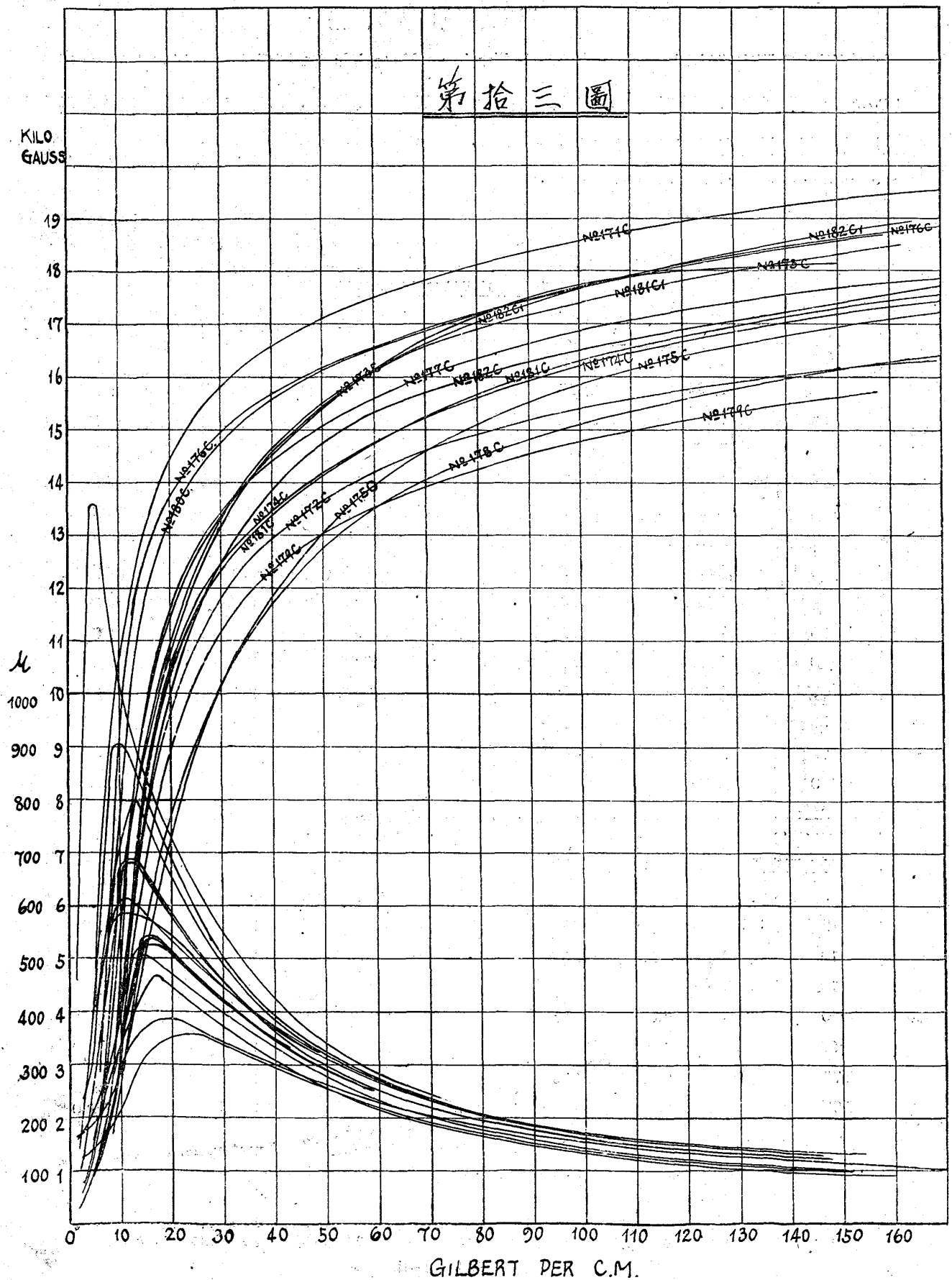
181 及 182 は共に 800~830°C で焼鈍したものでありますが其結果は 83乃至 81 Gilberts per cm となり炭素を増加すると共に不良になる、續いて 175C 178C 共に焼鈍温度は 800~830°C でありますが結果は 148 Gilberts per cm 以上の Magnetising force を要し一層不良である此はニツケルの増加と共に焼鈍が困難となりセメンタイトの形及分布が不良なる爲めであると思ふ、次に焼鈍温度を 700°C に低下して 174C 176C 177C 157C 180C 181C₁ 182C₁ を試験せるに其結果は抗張力の低い程透磁性は良好で 60 kg/mm² 附近のものは 75 Gilberts per cm 内外であるが 70 kgs を越したものは 100 以上で不良である要するに焼鈍せるものも抗張力 60 kg/mm² 内外に下ると透磁性は左程不良ではないが 70 kg/mm² 以上になると其透磁性は著しく不良である此は磁氣的に硬い部分が不均一に分布して磁氣抵抗が大きくなる爲めであり白銅鋼の焼鈍が困難である事を示して居る此に反して焼入反淬を施行せるものは良好なる成績を示し低磁場に於ては軟鋼に及ばないが強磁場に於ては却つて良好なる透磁性を示して居る尤も 176 A. 178, A. 179B の如く抗張力試験に於て大差なきに拘らず透磁性試験に於ては大なる差異を生じて居るものもある其の理由は組織の不均一より來りたるもので吾々が略等しいと信じて施行したる熱處理に於ても實質的には可なりの差あるを認められるのである。

第拾卷圖



第拾二圖





4. 透磁性測定器の誤差

私の使用せる測定器は American Soc. of Testing Materials の標準として採用されて居ります、Burrow ですが測定器の異ると共に幾分其の結果に差異を生ずる、そこで私は同一材料を逓信省電氣試験所及三菱造船研究所に送り丹羽式 Permeameter 及 Fahy Permeameter にて比較する事に致しました其の結果を第 16 表に示す。

第 16 表

No.191 鑄鋼透磁性試験値の比較

丹 羽 測 定 器			バ ロ ー 測 定 器		
H/cm ²	B/cm ²	μ	H/cm ²	B/cm ²	μ
2	4,230	2,115	1584	1,071	676
2.5	6,130	2,452	3.96	6,830	1,725
3	7,370	2,457	5.94	9,500	1,600
4	9,070	2,268	7.92	11,080	1,400
5	10,330	2,066	11.88	13,110	1,103
6	11,200	1,867	15.84	14,050	887
8	12,450	1,556	23.76	15,327	645
10	13,330	1,333	39.60	16,480	416
15	14,440	963	59.40	17,300	291
20	15,180	759	79.20	17,815	225
30	16,080	536	118.80	18,756	158
50	16,940	339	—	—	—
70	17,450	250	—	—	—
100	18,270	183	—	—	—

此れを丹羽氏(1)の比較結果に見るも次の如くで實用的に差異なきを認めるのである。

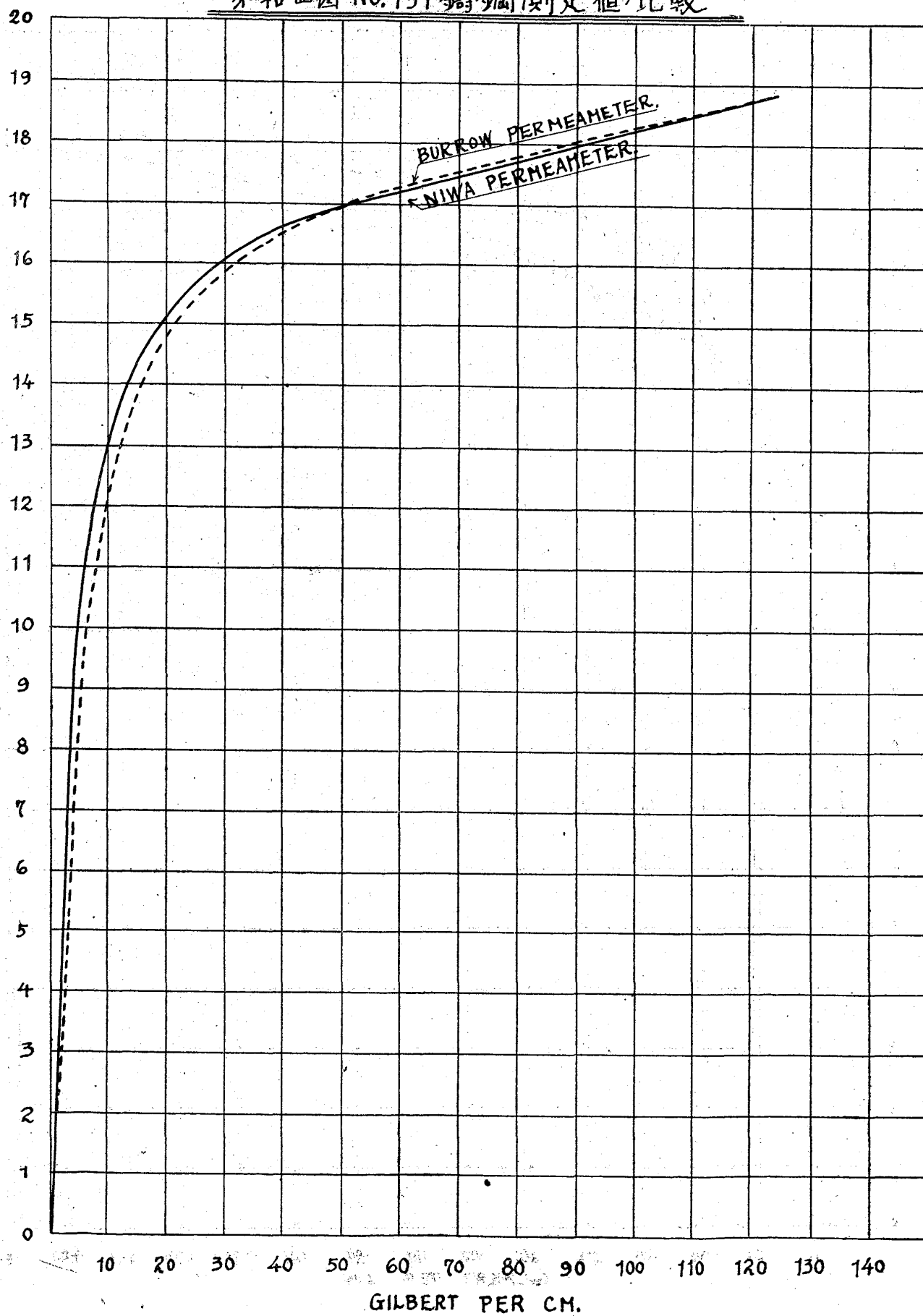
丹羽測定器		バロー測定器		丹羽測定器		バロー測定器	
H.	B.	H.	B.	H.	B.	H.	B.
6.12	3,300	5.9	2,520	41.30	14,070	39.3	13,930
8.10	5,320	7.9	4,880	51.50	14,950	49.2	14,790
10.10	6,930	9.9	6,600	62.00	15,540	59.1	15,420
15.30	9,600	14.8	9,220	72.30	15,980	69.8	15,920
20.60	11,180	19.7	10,830	82.80	16,400	78.7	16,280
25.70	12,300	24.6	11,950	93.20	16,630	88.6	16,620
30.90	12,980	29.5	12,800	103.50	17,000	98.5	16,930

1 Y. Niwa: A null method for testing magnetic properties of materials.

April. 1924 page 25 参照

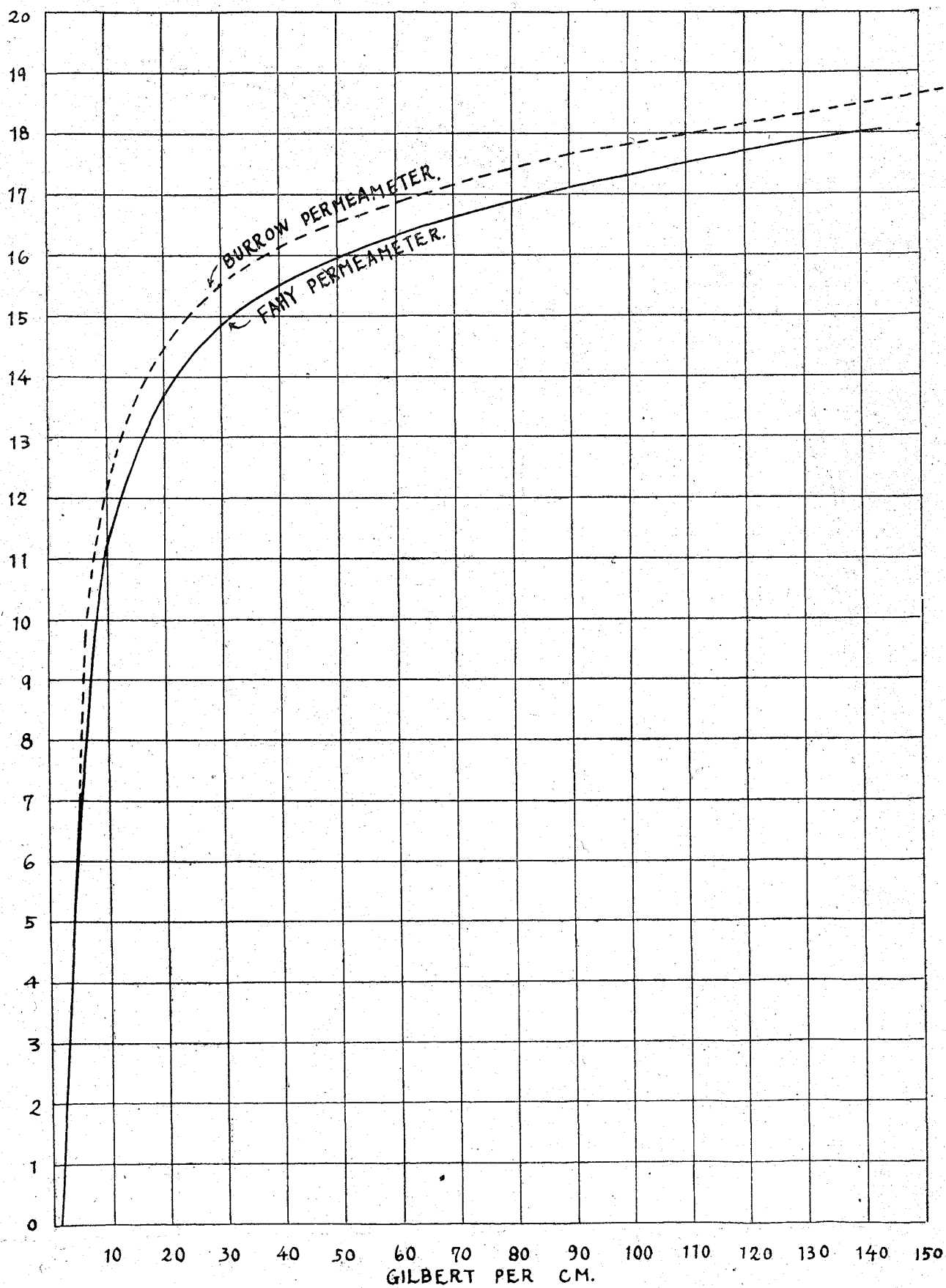
KILO
GAUSS

第拾四圖 NO.191 鑄鋼測定値比較



KILO
GAUSS

第拾五圖 NO.192 鑄鋼測定値,比較



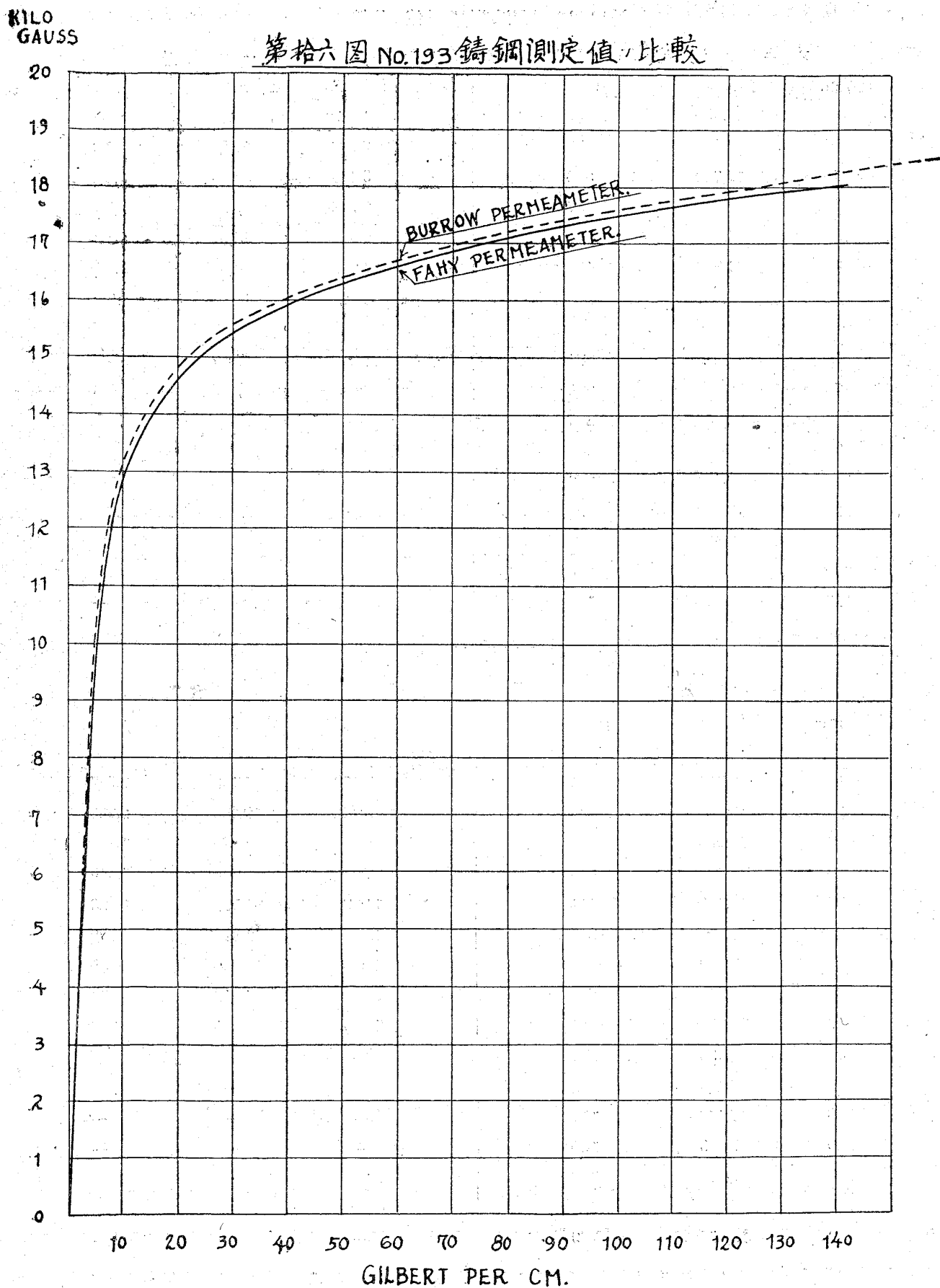
No.192. 鑄鋼透磁性試験値の比較

フ ェ イ 測 定 器			バ ロ ー 測 定 器		
H/cm ²	B/cm ²	μ	H/cm ²	B/cm ²	μ
5	8,000	1,600	1,742	1,470	845
10	11,300	1,130	3,168	4,860	1,393
15	12,760	850	5,148	8,498	1,652
20	13,740	687	6,772	10,140	1,500
25	14,340	574	7,92	11,000	1,390
30	14,800	470	11,88	12,750	1,074
40	15,510	388	19,80	14,400	728
50	15,990	319.8	39,60	16,000	405
60	16,280	271	79,20	17,300	218
70	16,540	236	158,40	18,600	116
80	16,780	210	—	—	—
90	17,000	190	—	—	—
100	17,200	172	—	—	—
110	17,380	158	—	—	—
120	17,550	146	—	—	—
130	17,730	136	—	—	—
140	17,900	128	—	—	—

No.193. 鑄鋼透磁性試験値の比較

フ ェ イ 測 定 器			バ ロ ー 測 定期		
H/cm ²	B/cm ²	μ	H/cm ²	B/cm ²	μ
5	8,800	1,760	1,742	1,184	680
10	12,710	1,271	3,168	5,700	1,797
15	13,950	930	5,148	10,320	2,000
20	14,650	732	6,772	11,776	1,740
25	15,130	605	7,92	12,200	1,545
30	15,430	514	11,88	14,570	1,226
40	15,920	398	19,80	14,870	750
50	16,280	326	39,60	16,000	405
60	16,590	276	79,20	17,148	213
70	16,850	241	158,40	18,514	117
80	17,090	214	—	—	—
90	17,290	192	—	—	—
100	17,470	175	—	—	—
110	17,630	160	—	—	—
120	17,770	148	—	—	—
130	17,900	138	—	—	—
140	18,050	129	—	—	—

第拾六圖 No. 193 鑄鋼測定値比較



以上を曲線として比較する時は拾貳圖乃至拾參圖の如くなり丹羽式測定器の結果は Burrow 測定器のそれと略一致し Fahy 測定器のそれは透磁性値を稍低く示して居る。

元來透磁性測定に於ては Magnetising force と此に相當する Magnetic Induction を測定するのであるから測定せる Magnetising force に誤りがあつては透磁性値に誤りを生ずるのは勿論である。

Burrow 測定器は試験片が磁氣的に均等であるが Fahy 測定器は試験片の Magnetising coil を有して居ないから此均一を望む事は出来ぬし Magnetising force の決定も不正確である。①

① …… Y. NIWA: A null method for testing magnetic

properties of materials. apr. 1924. p. 3~4 参照

そこで此は Fahy permeameter に依り得られたる結果の誤差であると思惟される、即ち私は Burrow permeameter に依り得られたる結果を左程誤りあるものと信ずる事は出来ぬのである然れ共今後透磁性の規格が嚴重になつて来る事は直流機設計の向上でありますから優良なる透磁性測定器を材料試験値統一上から標準として採用する必要があると思ふ、それには上記 Burrow permeameter は American Soc. of testing Materials の標準器であり Bearaw of Standards の精密試験器の標準でもあるから此を採用するも結構であると思ふが吾々は國產品として丹羽測定器の如き優良なるものを有して居る其結果を Burrow のそれと比較しても實用的に差異がないとすれば丹羽測定器を標準として採用するのが一層結構な事であるまいかと思惟するものである。

5. 結 論

(一) 鑄 鋼

(1) 炭素を低下する程透磁性は向上する傾向であるが鹽基性電氣製鋼復滓法に依る場合は酸化期に於て甚だしく炭素を低下せしむる時は overoxydize され還元期に trouble を生じ脱酸状態も思しく行かぬ、其結果最高導磁率の高い割合に強磁場の透磁性は良くならぬ、理想的に云へば炭素を可及的に低下して滿俺 0.10%~0.20% を熔鋼に残すことが出来れば透磁性は炭素の低下する程向上すると思ふが酸化期に炭素を 0.10% 以下に落すと普通の場合滿俺は 0.10% 以下に下り熔鋼が非常に荒れて来る従つて鑄鋼の炭素を 0.10% 以下に仕上げてても透磁性に上下の差が甚しくなり確實性に乏しくなる即炭素 0.10~0.12% 附近にて充分良好なる透磁性は得られるものである。

(2) 硅素は脱酸より見たる熔鋼の安定に必要な程度以上は有害である従つて炭素、滿俺の含有量と關係する換言すれば炭素 0.12% 滿俺 0.50%、内外の鑄鋼に於ては 0.30% を超過すると透磁性を不良ならしめ炭素 0.08%、滿俺 0.50% 内外のものにありては硅素 0.50% 内外で透磁性は最高値を示す。

(3) 滿俺は酸化期の終りに於て 0.10%~0.20% を残して還元期に入る必要があるから思ひ切つて此を低下せしむる事は實際問題としては困難である、即鹽基性電氣製鋼法の性質より酸化期の終りに於ける熔鋼の實質的價值は單に滿俺に依り代表せられて居ると見る可きである従つて滿俺が炭化物を増加するとしても此を上記以下に低下することの不合理なるは勿論此を幾分増加したとしても熔鋼の安

定度を増加する特性のために其透磁性に却つて向上する傾向を有す然し滿俺も亦炭素、硅素の含有量に關係して此を増減す可きである。

要するに透磁性の改善には炭素、滿俺、硅素の適當なる配在が必要である。

(4) 燐、硫黄の含有量は鹽基性電氣製鋼法の特長として透磁性に影響を及ぼす程度の差を認めて居りませぬが還元期の過短、酸化期の荒過ぎに依り鑄鋼の硫黄含有量比較的多量なる場合は脱酸不良に依り透磁性を害する事勿論である。

(5) 熱處理は實用の意味で普通の焼鈍を用ひましたが強磁場の透磁性を向上せしむるにはセメンタイトの形狀及分布に留意す可きであると思ふ、換言すれば lamellar pearlite の如きものより球狀にして結晶粒小なるセメンタイトが均一に分布して居たならば其の磁氣抵抗を小にし透磁性は改善せられると思ふ、焼入、焼戻を施行する事も一つの方便と思ふが鑄鋼に此を適用する事は困難であるから二重焼鈍法を用いて pearlite の形狀及分布を良好にする事が適切であると考慮する。

(6) 材料試験値との關係を見るに必ずしも正確なる規律を示して居らぬ此は炭素、硅素、滿俺の配在量や脱酸度等とに關する以外に衝擊、抗張力兩試験に於ては殆んど折斷面の位置が初めより決定されて居り其感度が鈍いといふ事も關係があると思ふ。

然し大體の傾向としては抗張力 45 kg/mm^2 以上のもの 50 mm 標點距離に於て延伸率 33% 以下のものアイゾット、衝擊値 5 m/kg 以下の鑄鋼に於ては良好なる透磁性を望む事は困難であり抗張力の低下延伸率の増加アイゾット衝擊値の増加すると共に透磁性は概して向上するものである。

(二) 炭素鋼、白銅鋼

(1) 炭素鋼材の透磁性は鑄鋼のそれと大同小異である、主として異なる所は鍛鍊によりて最高導磁性率の向上及其存在位置が強磁場に動くといふ事此を改善するには鑄鋼と同様の取扱が必要であるが交流發電機回轉子に使用するものは抗張力大なるものを要求するから炭素或は滿俺を増加して此の要求を満足すると共に其に硅素を下げ透磁性の向上を計らねばならぬ。

(2) 強磁場に於ける炭素鋼の透磁性は大凡其抗張力の増加に反比例するが抗張力大差なき場合は鑄鋼に於ける如く必ずしも其規律に支配されぬ其理由は鑄鋼の項に述べたる如く其先天的性質によるものであると推定される。

(3) 抗張力を増加すると共に最高導磁率が低下し其存在位置が強磁場に動く、此はセメンタイトの増加に起因する事勿論である。

(4) 白銅鋼に於ては普通の焼鈍狀態に於て此を使用すればセメンタイトの形狀及分布の不良により著しく其透磁性を害するものであるが抗張力 60 kg/mm^2 内外に於ては左程不良ではない。

換言すれば焼鈍使用のものは炭素を低下する事が透磁性改善を計るに最も容易い方法である

(5) 強磁場に於ける白銅鋼の透磁性は焼入、焼戻を施行する事により著しく改善せられる此れソルバイドの均一に分布する結果磁氣抵抗を小ならしめる爲であると思ふ。

(6) 抗張力 60kg/mm^2 附近の要求に於ては炭素鋼も、Magnetic Induction 17 Kilogausses に於て 85 Gilberts per cm 内外の Magnetising force で白銅鋼に左程劣るものでなく材料試験値より見ても特に白銅鋼を使用する理由がないと思惟す。

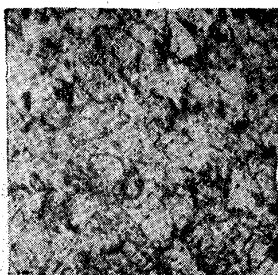
然し抗張力 80kg/mm^2 附近を要求する場合は材料試験値より見るも透磁性より見るも白銅鋼を適當に焼入、焼戻して使用するのが合理的であるが實際問題としては直徑の差異著しく全長又大なる廻轉子軸を焼入、焼戻しするには相當の困難が伴ふ従つて斯る場合は抗張力、衝擊性、透磁性の何れかを犠牲として材質の決定をなす可きであると思ふ。

(三) 透磁性測定器

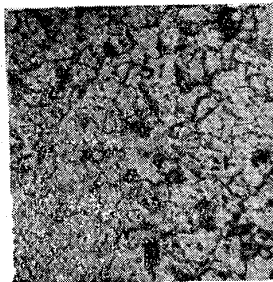
測定器の性質に依り相當の差異を生ずるを以て標準器を選定し測定値の統一を計る可きである。

以 上

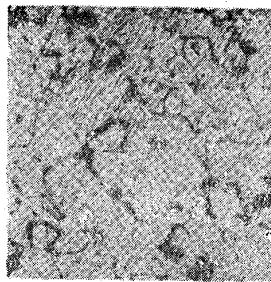
11 D×100



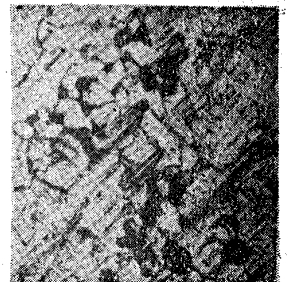
12 D×100



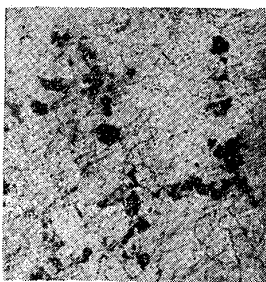
13 D×100



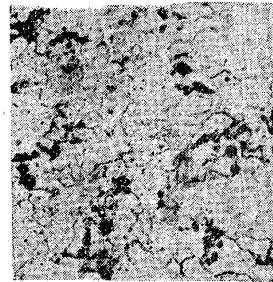
14 D×100



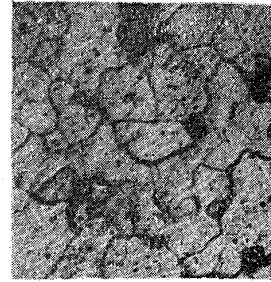
15 D×100



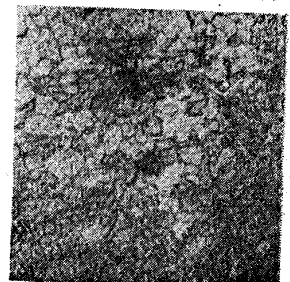
16 D×100



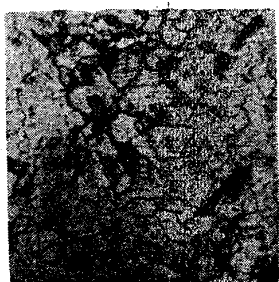
17 D×100



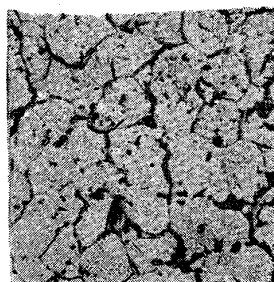
18 D×100



19 D×100



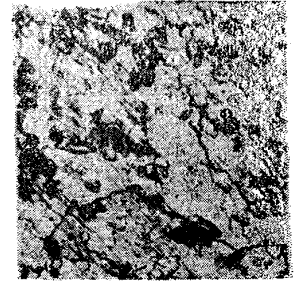
21 D×100



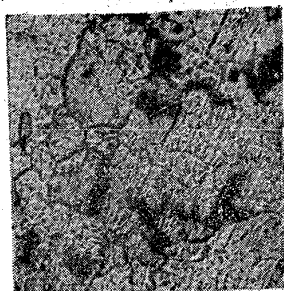
22 D×100



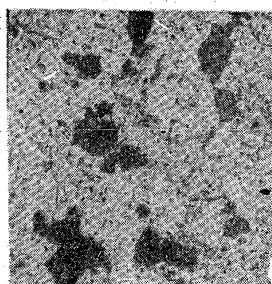
23 D×100



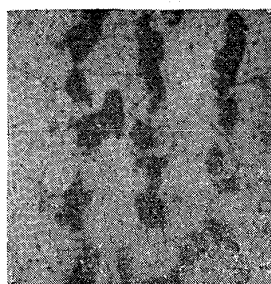
24 D×100



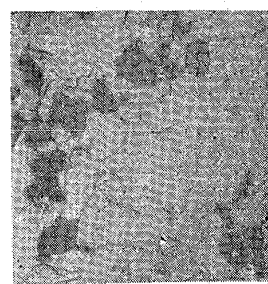
25 D×100



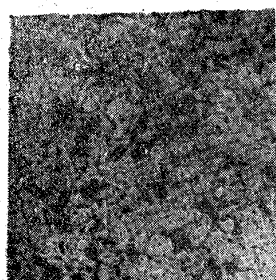
26 D×100



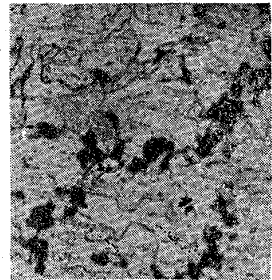
27 D×100



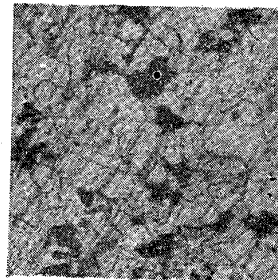
28 D×100



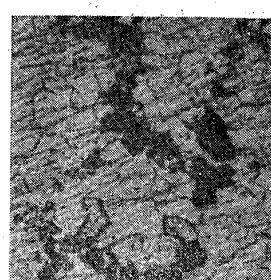
29 D×100



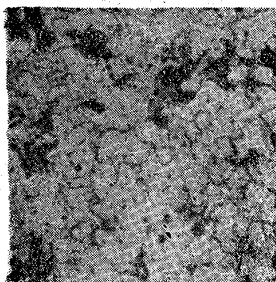
30 D×100



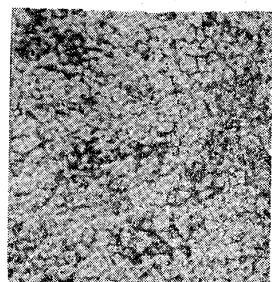
31 D×100



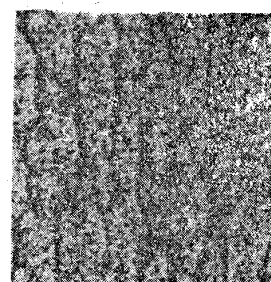
32 D×100



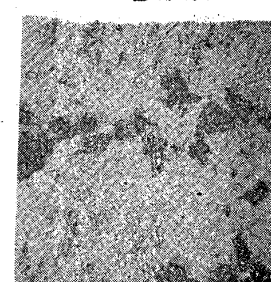
33 D×100



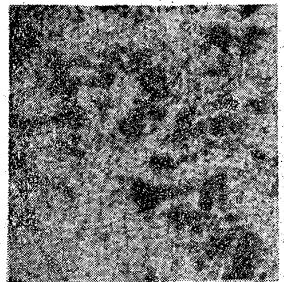
34 D×100



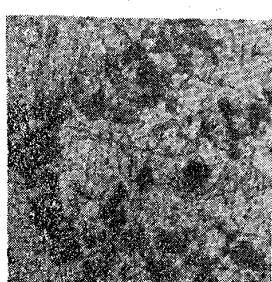
35 D×100



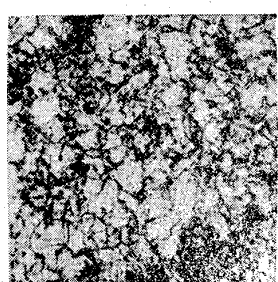
36 D×100



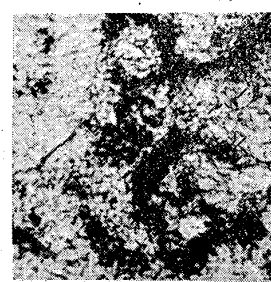
37 D×100



41 D×100



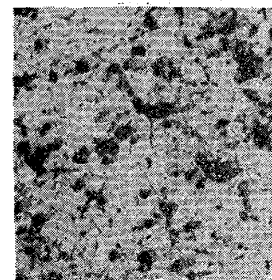
42 D×100



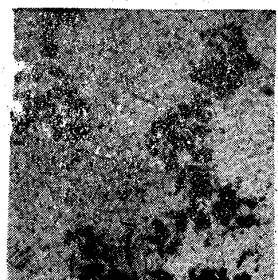
43 D×100



44 D×100



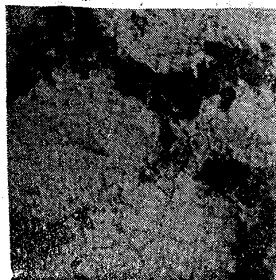
45 D×100



46 D×100



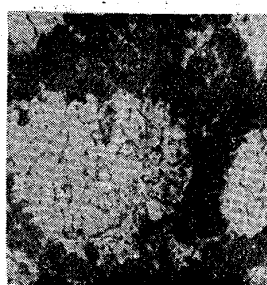
47 D×100



48 D×100



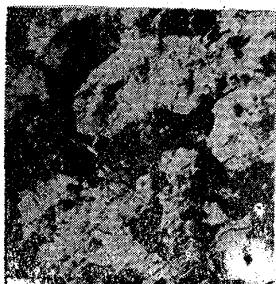
49 D×100



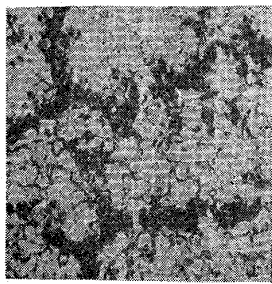
50 D×100



51 D×100



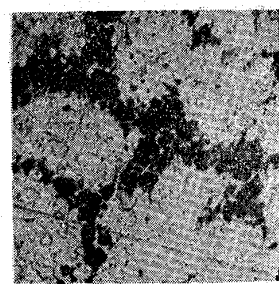
52 D×100



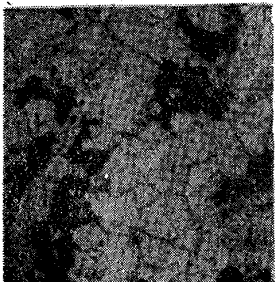
53 D×100



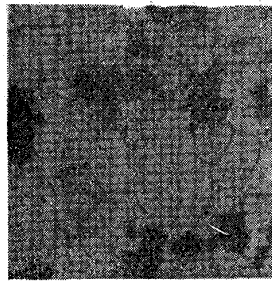
54 D×100



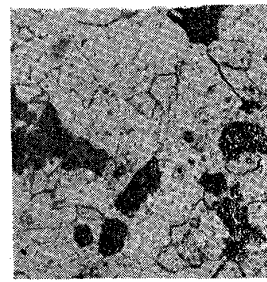
55 D×100



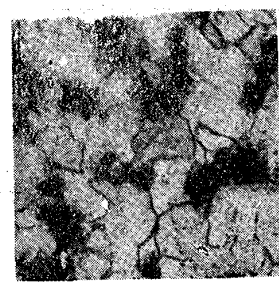
61 D×100



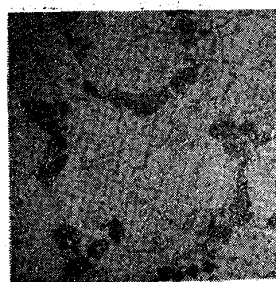
63 D×100



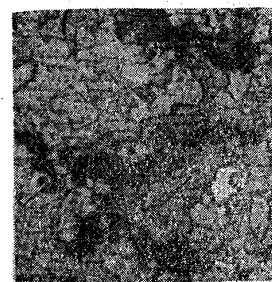
64 D×100



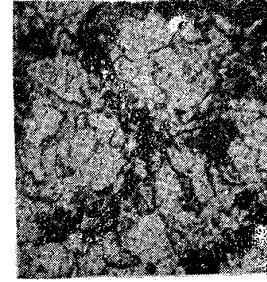
65 D×100



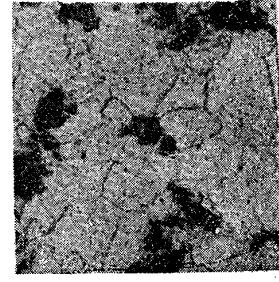
66 D×100



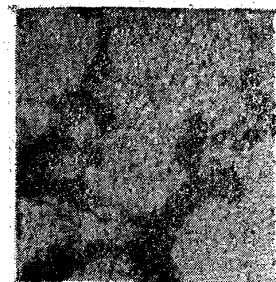
67 D×100



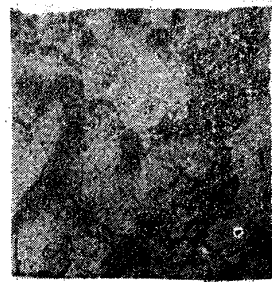
68 D×100



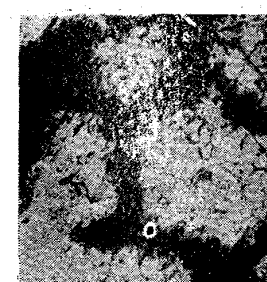
69 D×100



70 D×100



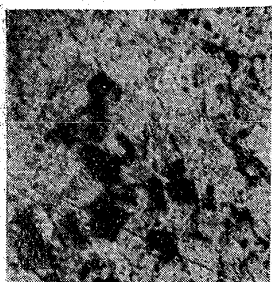
71 D×100



72 D×100



73 D×100



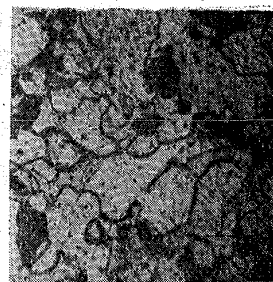
74 D×100



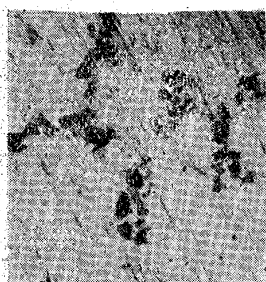
76 D×100



77 D×100



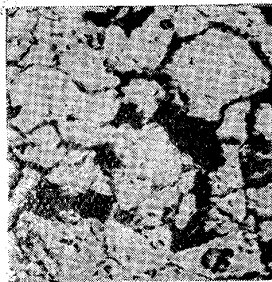
78 D×100



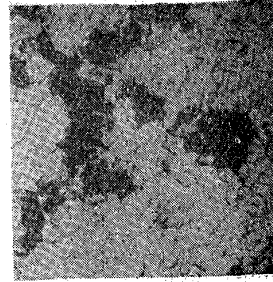
82 D×100



83 D×150



84 D×100



85 D×100



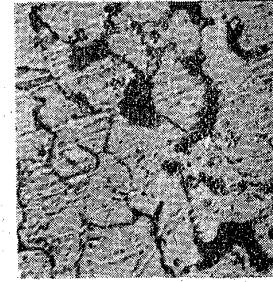
86 D×150



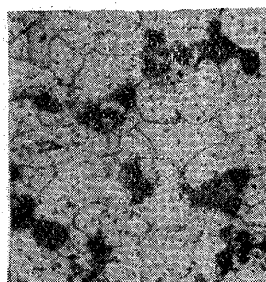
91 D×100



92 D×150



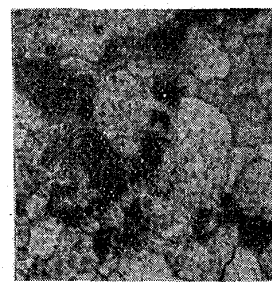
93 D×100



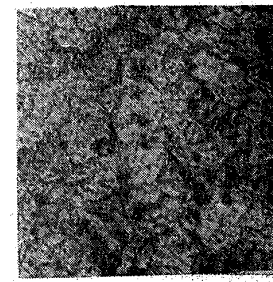
94 D×100



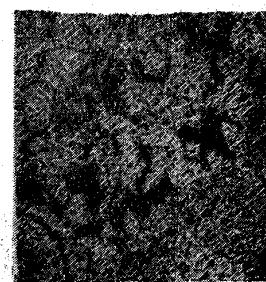
95 D×100



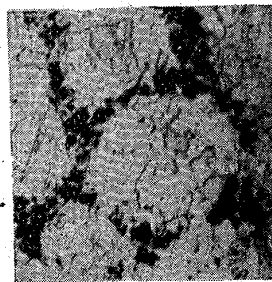
96 D×100



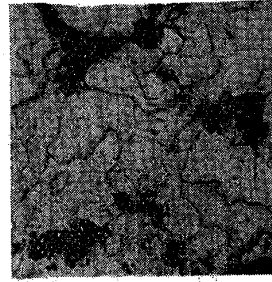
97 D×100



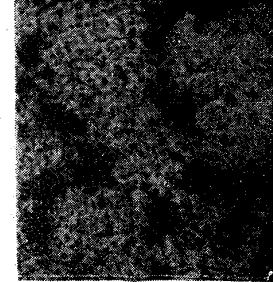
98 D×100



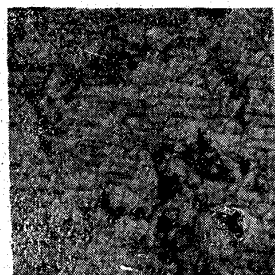
99 D×100



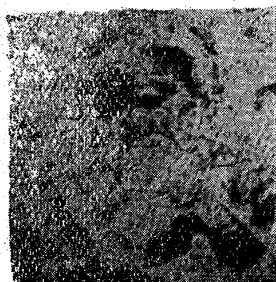
100 D×100



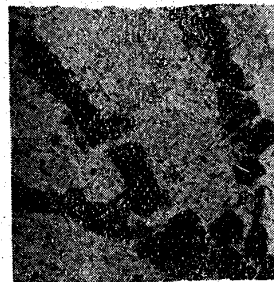
101 D×100



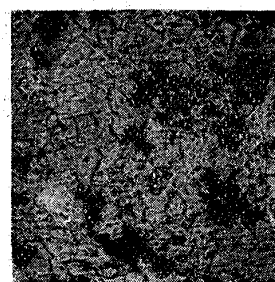
111 D×150



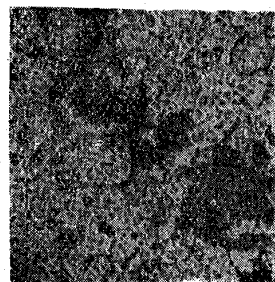
112 D×100



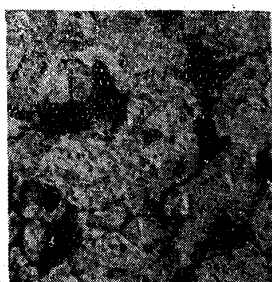
113 D×100



114 D×100



115 D×150



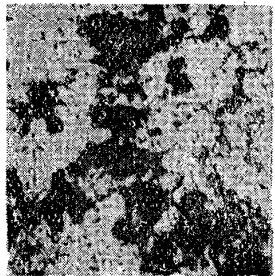
116 D×150



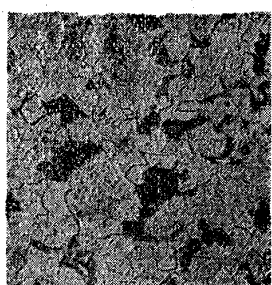
117 D×150



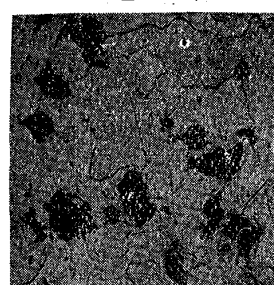
118 D×150



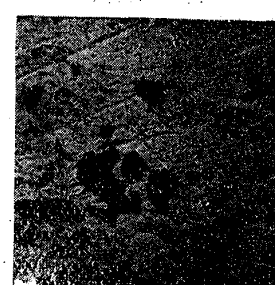
119 D×150



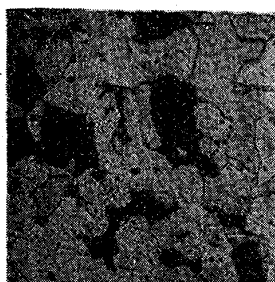
120 D×10



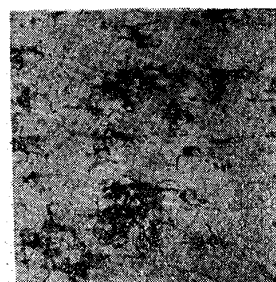
121 D×150



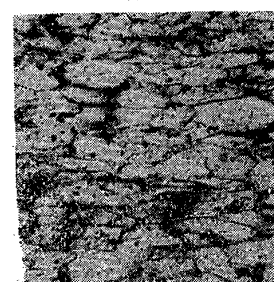
122 D×150



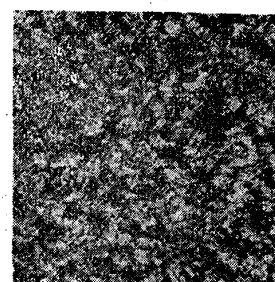
151 D×100



153 D×100



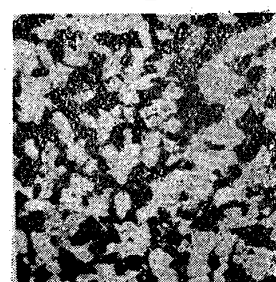
154 D×100



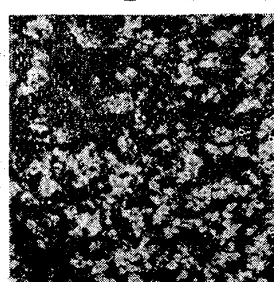
155 D×100



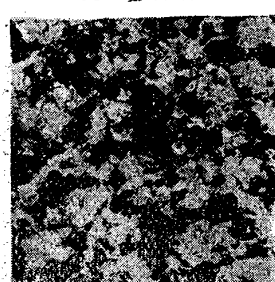
156 D×100



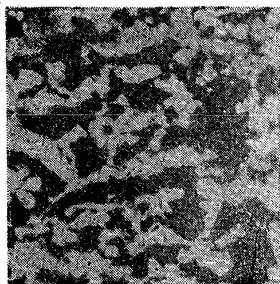
157 D×100



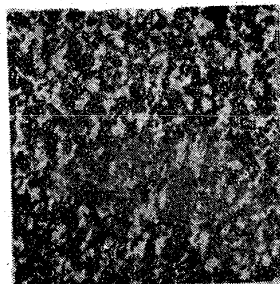
158 D×100



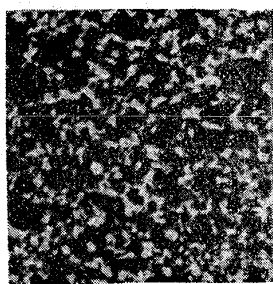
159 D×100



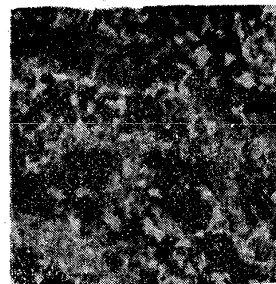
160 D×100



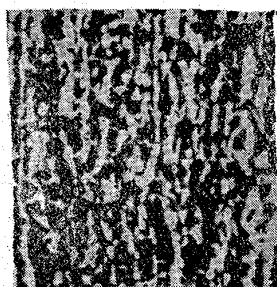
161 D×100



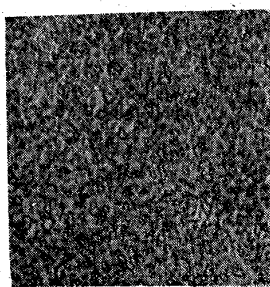
162 D×100



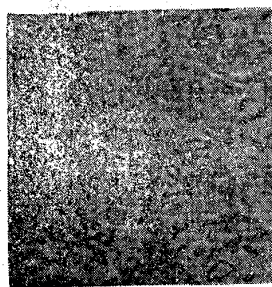
163 D×100



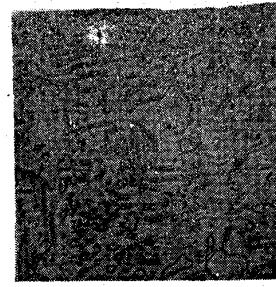
165 D×500



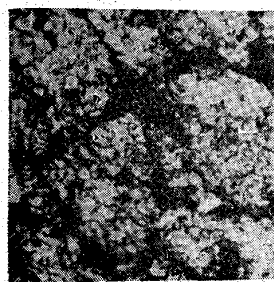
166 D×500



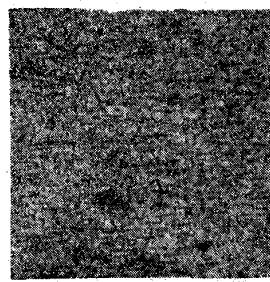
167 D×500



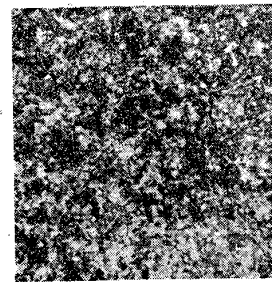
171C. D×100



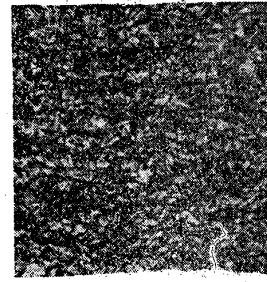
172A. D×100



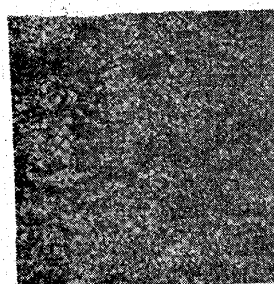
172C. D×100



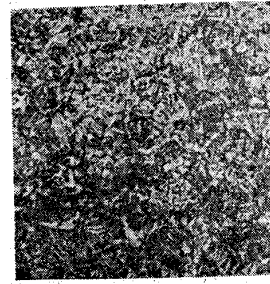
173A. D×100



173B. D×100



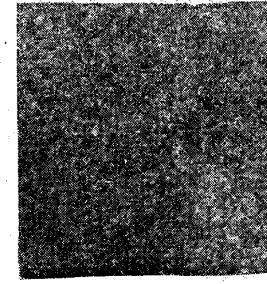
173C. D×100



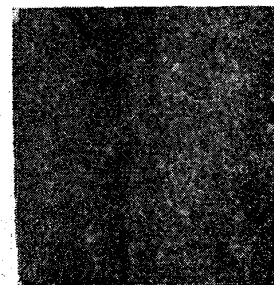
174C. D×100



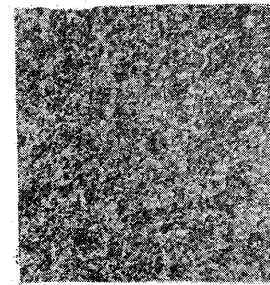
175A. D×100



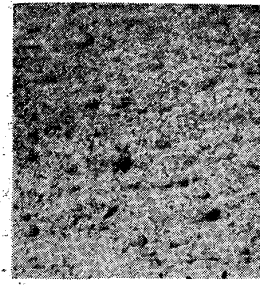
175B. D×100



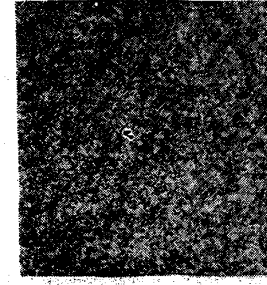
175C. D×100



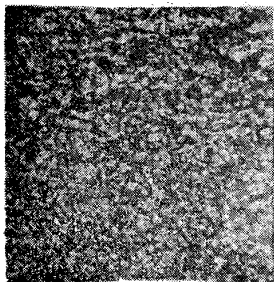
176A. D×100



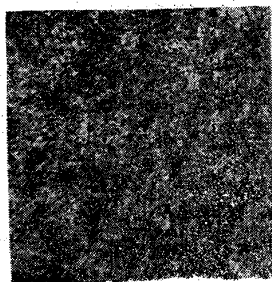
176B. D×100



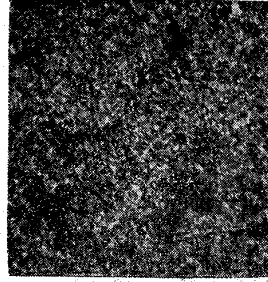
176C. $D \times 100$



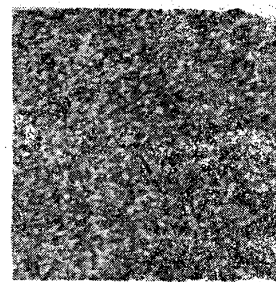
177A. $D \times 100$



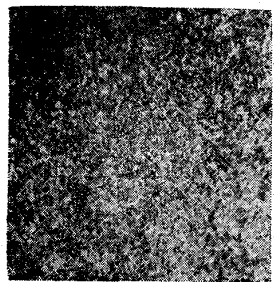
177B. $D \times 100$



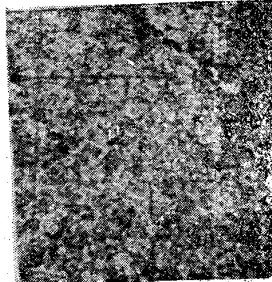
177C. $D \times 100$



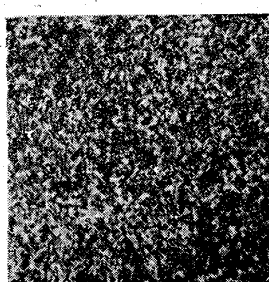
178A. $D \times 100$



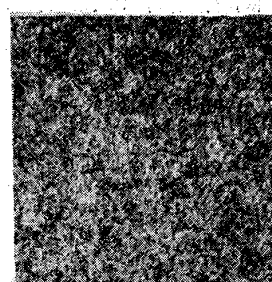
178B. $D \times 100$



178C. $D \times 100$



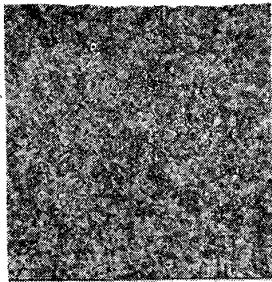
179A. $D \times 100$



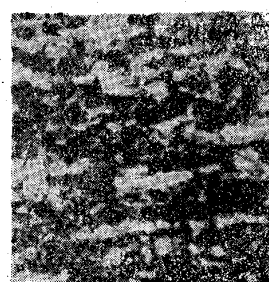
179B. $D \times 100$



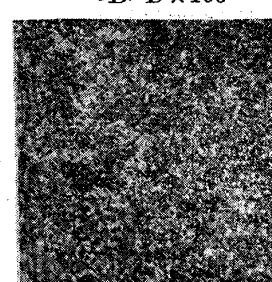
179C. $D \times 100$



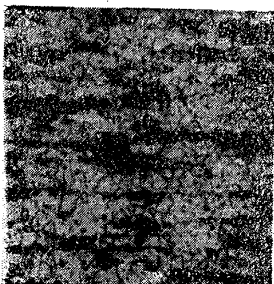
180A. $D \times 100$



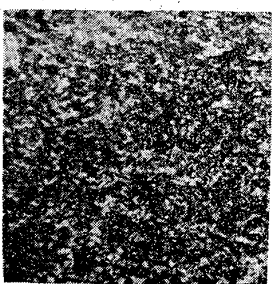
180B. $D \times 100$



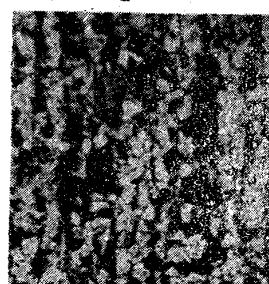
180C. $D \times 100$



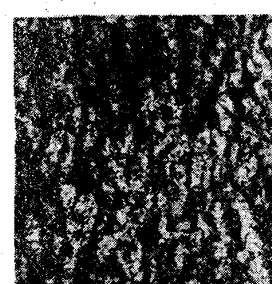
181C. $D \times 100$



181C₁ $D \times 100$



182C. $D \times 100$



182C₁ $D \times 100$

