

# 通信機用磁性材料の二,三に就いて

小野 健二\* 小柴 定雄\*\*

## A Few Magnetic Materials for Communicating Apparatus

By Kenji Ono, D.S.E.

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

and Sadao Koshiba, D.S.E.

Yasugi Metallurgical Laboratory Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

For use in the communication apparatus, several kinds of magnetic materials have been found or composed on the ingenuity and strenuous research of metallurgists, and the kind is ever increasing, newer type with more excellent properties. In this paper, Japan's noted metallurgists leading Hitachi's activity in metal production, treat some of magnetic materials which are being produced basing on the results of their study, such as pure iron, silicon steel, permendure and permanent magnet.

Hitachi's pure iron which is most widely used for relays is made from charcoal iron by special method, and features outstanding properties and little magnetic decline by aging. The silicon steel, containing about 1.3% Si, however, is proved to show good magnetic properties when properly annealed after suitable reduction in area by cold rolling and is entirely free from the effect of aging. Permendure used as a vibration disc of telephone receiver has been improved by Hitachi's researchers in many phases; plasticity, for instance, has been improved by vacuum melting, and the reversible permeability has been made far better than the previous one by giving a proper heat treatment. The permanent magnet, made from high Cr steel containing 5 to 6% chromium with a small addition of W, is now in quantity production. Thanks to proper composition and heat treatment, this steel can prove good properties and is further improved by cold treatment.

The writers furthermore have succeeded by means of sintering in the manufacture of a composite magnet which combines magnet steel of Fe-Mo-Co system with pure iron of high permeability. This type of magnet is finding a field of practical application in the pole relay.

### 〔I〕 緒 言

通信機には多種多様な磁性材料が使用されているが、磁性材料の良否が通信機の性能を大きく左右する場合は

多い。

日立製作所に於てはこの点に早くから着目し、磁性材料の試験、研究並びに生産に努力し機器の性能向上に努めている。ここに二、三の例として電磁軟鉄、珪素鋼、パーメンダー、磁石鋼及び複合磁石に就いて簡単に報告する。

\* 日立製作所日立研究所 工博

\*\* 日立製作所安来工場冶金研究所 工博

[II] 電磁軟鉄

(1) 試料

通信機用磁性材料として広く使用されている電磁軟鉄は現在数社に於て製造されているが、日立製作所安来工場に於てはまず砂鉄から造つた鳥上木炭銑を弧光式電気炉にて脱炭精錬し、更に高周波電気炉にて特殊な方法により熔製、造塊後次の如き工程にて板或は棒に仕上げている。

鋼塊→鍛造→熱間圧延→冷間圧延又は引抜

板の磁気測定は環状試料による弾動検流計法、棒状試料は小型NS導磁率計で行われた。第1表は実験に供した試料の化学成分を示す。

(2) 熱処理の影響

第1図は焼鈍温度の影響の一例で、冷間圧延率30%のA試料の焼鈍温度と磁性との関係を示す。但し箱焼鈍で保持時間は3.5hrである。磁性は800~900°Cではほぼ一定で良好であるが、700~750°Cではやや劣っている。第2図は同一試料で焼鈍温度800°Cの場合の保持時間の影響を示す。保持時間の長い方が若干よい磁性を示しているがあまり顕著ではない。焼鈍後試料を箱に入れたまま空冷されると磁性は僅か低下するが後述の時効には殆ど差異がない。焼鈍は水素焼鈍或いは箱焼鈍が行われるが、箱焼鈍の場合はその充填物の成分特にC含有量に注意することが重要である。鋳物屑のようにC含有量の高いものが使用されると材料は滲炭して磁性が著しく悪くなる。

又たとえ純鉄が充填物として使用されても或程度酸化脱炭され、C含有量が低くならないければ最良の磁性が得られない。第2表はその一例を示す。又水素焼鈍に際し水素の純度或は乾燥程度は余り磁性に影響しないようである。

(3) 冷間圧延の影響

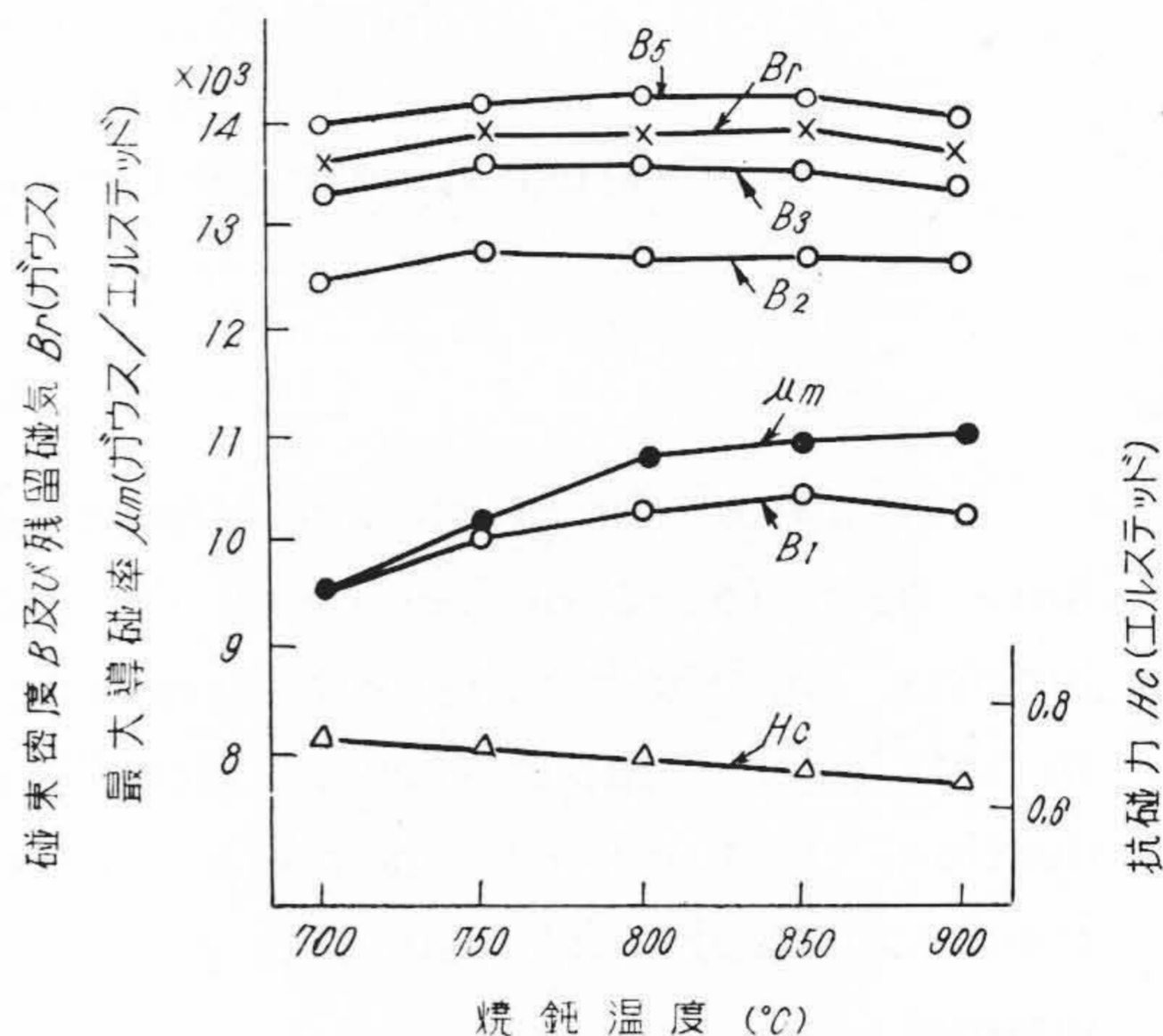
第3図はB試料に就いて最終仕上厚さを1.5~3.0mmに変え仕上冷間圧延率の磁性に及ぼす影響を求めた結果を示す。冷間圧延率が高くなると再結晶後の結晶粒が微細化するため磁性はほぼ直線的に低下する。従つて磁性を改善するためには冷間圧延率は低い方がよいが、しかし低くすぎると磁性が却つて悪くなる。なお計算上は同じ冷間圧延率であつても試料の最終仕上厚さによつて磁性が異なる。

磁性は上述のように冷間圧延率によつて著しく異なるがB<sub>1</sub>約10,500ガウス、Hc約0.7エルステッドのものが容易に製造され、この値は臨時JES第1種(B<sub>1</sub>>5,000ガウス、Hc<1.0エルステッド)に比較すると極めて優秀なことがわかる。

第1表 試料の化学成分(%)

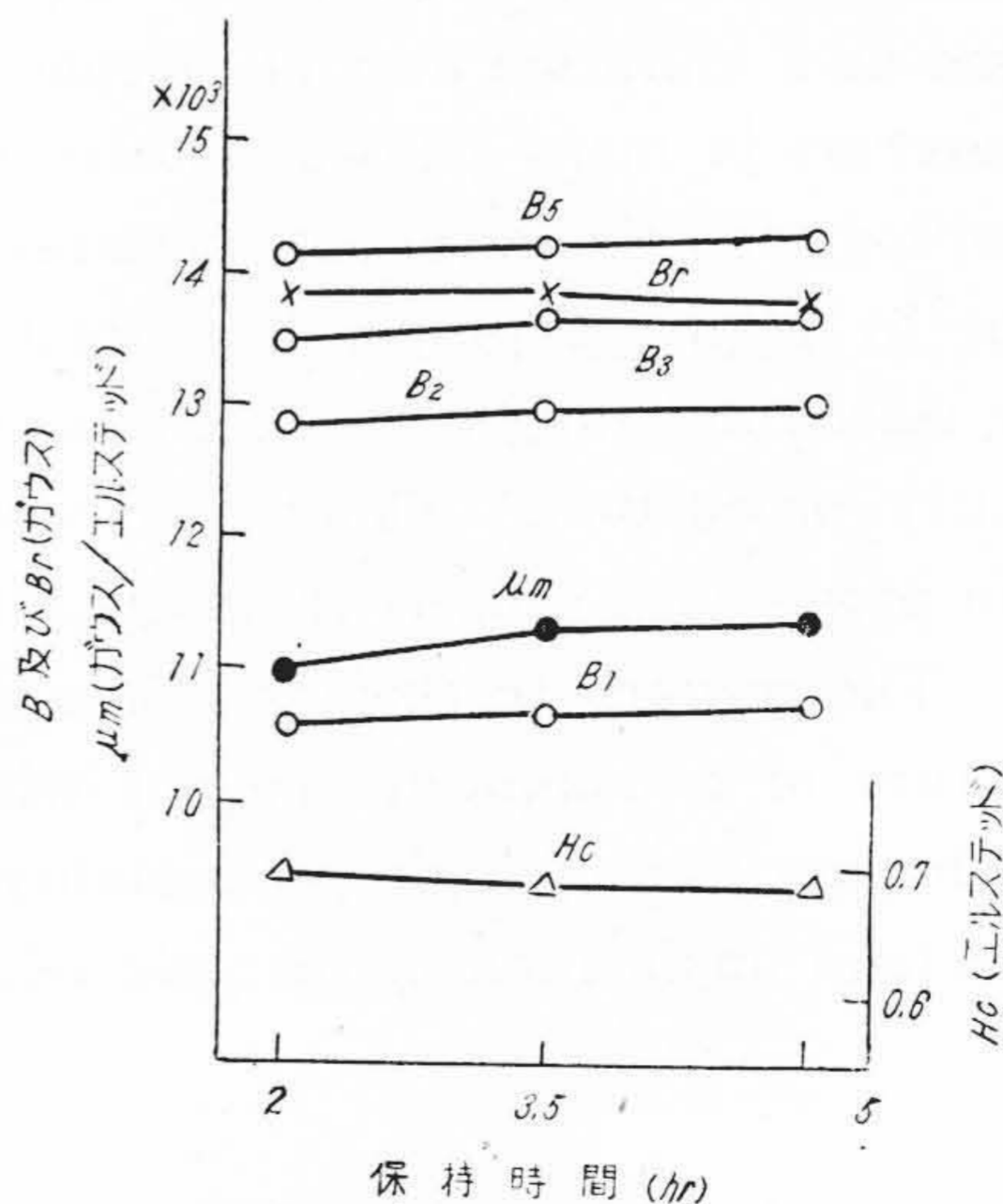
Table 1. Composition of Specimens

化学成分 試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
A	0.017	0.07	0.09	0.012	0.020	Tr	0.100
B	0.020	0.14	0.01	0.009	0.020	Nil	0.059
C	0.020	0.17	0.02	0.014	—	Nil	0.080



第1図 電磁軟鉄の焼鈍温度による磁性の変化

Fig. 1. Variation of Magnetic Properties of Pure Iron with Annealing Temperatures



第2図 電磁軟鉄の800°C焼鈍に於ける保持時間と磁性との関係 (A試料)

Fig. 2. Relation between Magnetic Properties of Pure Iron and Annealing Holding Times at 800°C (Specimen A)

第2表 充填純鉄の使用回数とそのC量及び試料の磁性

Table 2. Variation of C Content of Packed Pure Iron with Times of Using and Magnetic Properties of Specimen

使用回数	C (%)	B <sub>1</sub> (ガウス)	Hc (エルステッド)
使用前	0.014	—	—
1	0.009	6,760	0.90
2	0.005	8,440	0.88
3	0.005	8,980	0.87
4	0.004	—	—
5	0.002	10,820	0.74

(4) 時効

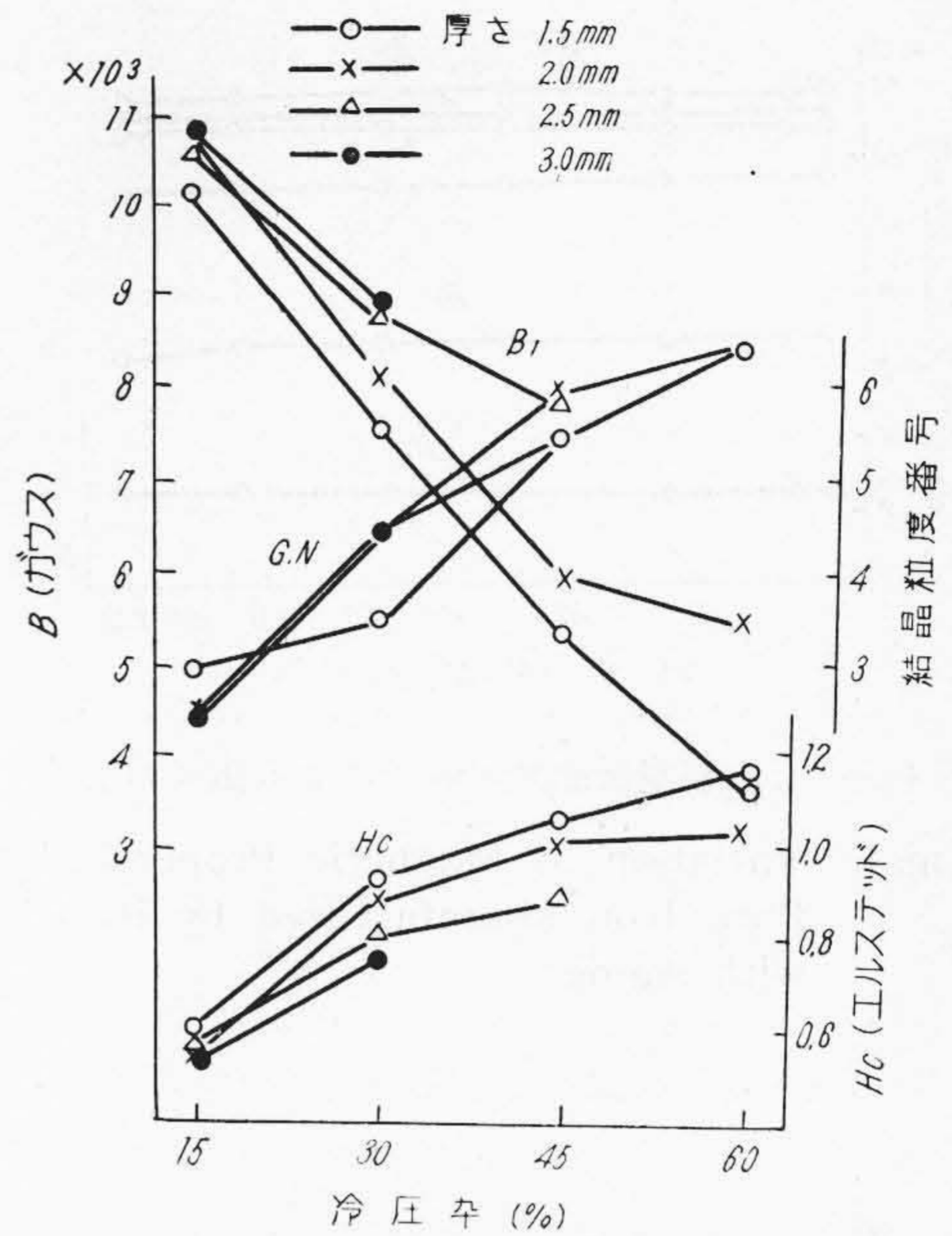
電磁軟鉄の磁性が使用中に劣化することは最も重大な問題なので次の実験を行つた。まず7種の試料に就いて焼鈍後常温(15~25°C)に約7,000 hr及び4,500 hr放置して磁性の変化を測定した。第3表は放置前後に於ける磁気測定の結果を示す。日立製品のB<sub>1</sub>の低下は0.5~9.2%でHcには殆ど変化がない。次に第4図~第6図は焼鈍後電気恒温槽内で100°Cに保持した場合の磁性の変化の一例を示す。これによると日立製品の劣化は極めて少いことがわかる。磁性の劣化即ち時効の原因はなお不明であるが、Cその他の不純物特に窒化物の析出によるものと推察される。砂鉄系材料は不純物が一般に少いため時効の程度が少いものと思考される。

(5) 折曲げ面の肌荒れ

第7図(次頁参照)は自動交換機用リレーの一部品ヒールピースで、これは厚さ2.3 mmの電磁軟鉄板を0.2R、90°の折曲げ加工を受けるが、第8図(a)(次頁参照)の如く折曲げ面に甚だしい肌荒が発生する場合がある。こ

第3表 室温放置による時効

試料		B <sub>1</sub> (ガウス)	B <sub>2</sub> (ガウス)	B <sub>3</sub> (ガウス)	B <sub>5</sub> (ガウス)	Br (ガウス)	Hc (エルステッド)
日立製	焼鈍のまま	6,730	11,050	12,280	13,410	12,700	0.86
	7,000 hr 放置	6,430	10,900	12,165	13,615	10,750	0.85
N社製	焼鈍のまま	3,350	8,220	10,340	12,200	8,740	0.97
	7,000 hr 放置	2,700	7,590	9,750	12,085	6,380	1.09
日立製	焼鈍のまま	10,970	12,870	13,450	14,040	13,685	0.58
	4,500 hr 放置	10,300	12,580	13,260	13,850	13,420	0.57
日立製	焼鈍のまま	10,870	12,740	13,400	14,040	13,745	0.66
	4,500 hr 放置	10,255	12,590	13,345	14,070	13,670	0.65
N社製	焼鈍のまま	11,480	12,990	13,520	14,000	13,830	0.59
	4,500 hr 放置	10,785	12,830	13,190	13,690	14,470	0.61
F社製	焼鈍のまま	7,760	11,930	12,990	13,850	13,480	0.81
	4,500 hr 放置	6,440	11,690	12,520	13,680	13,330	0.86
A社製	焼鈍のまま	2,660	10,880	12,650	13,690	13,825	1.15
	4,500 hr 放置	1,670	9,330	12,080	13,305	13,480	1.37

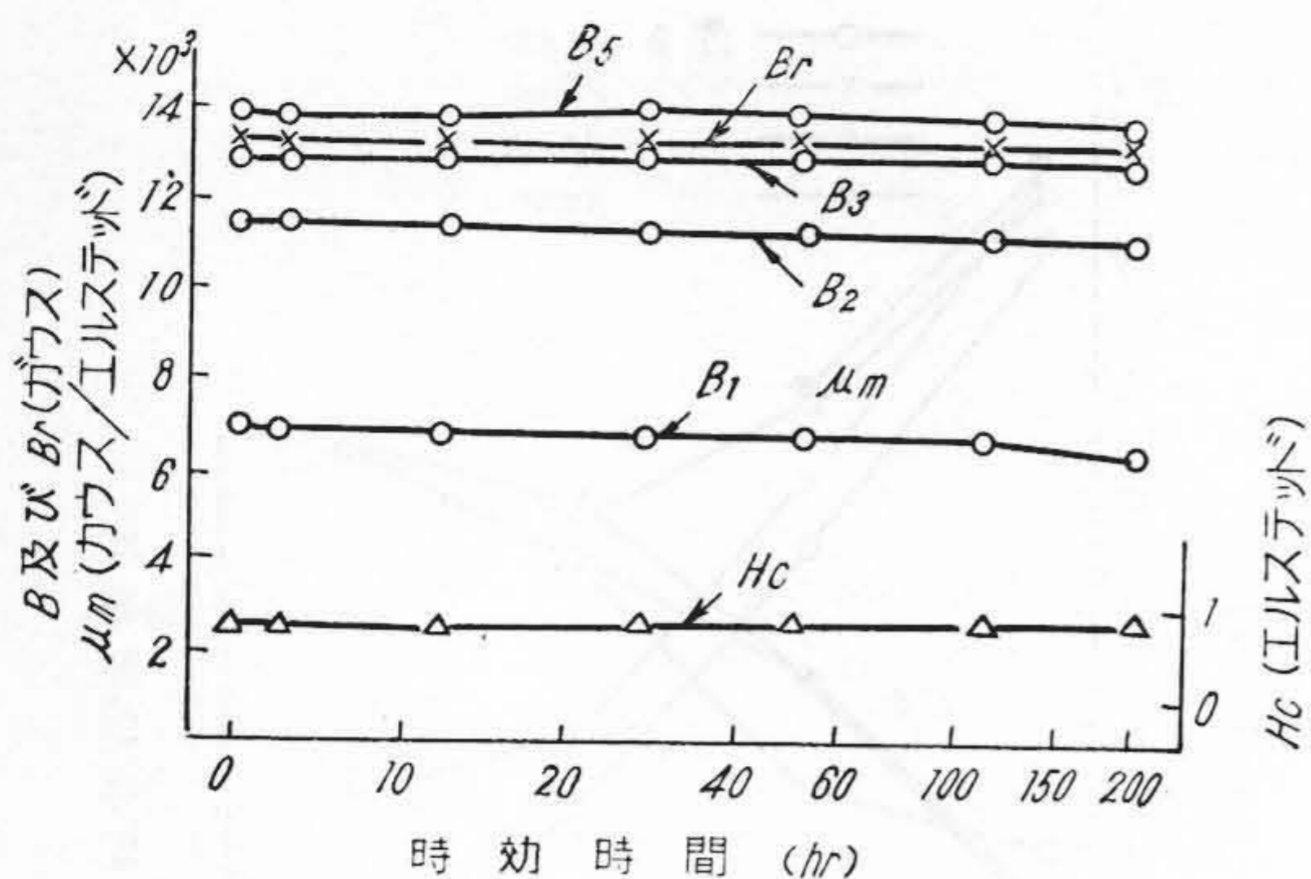


第3図 電磁軟鉄の冷間圧延率による磁性の変化 (B試料)  
Fig. 3. Variation of Magnetic Properties of Pure Iron with Reductions in Area by Cold Rolling (Specimen B)

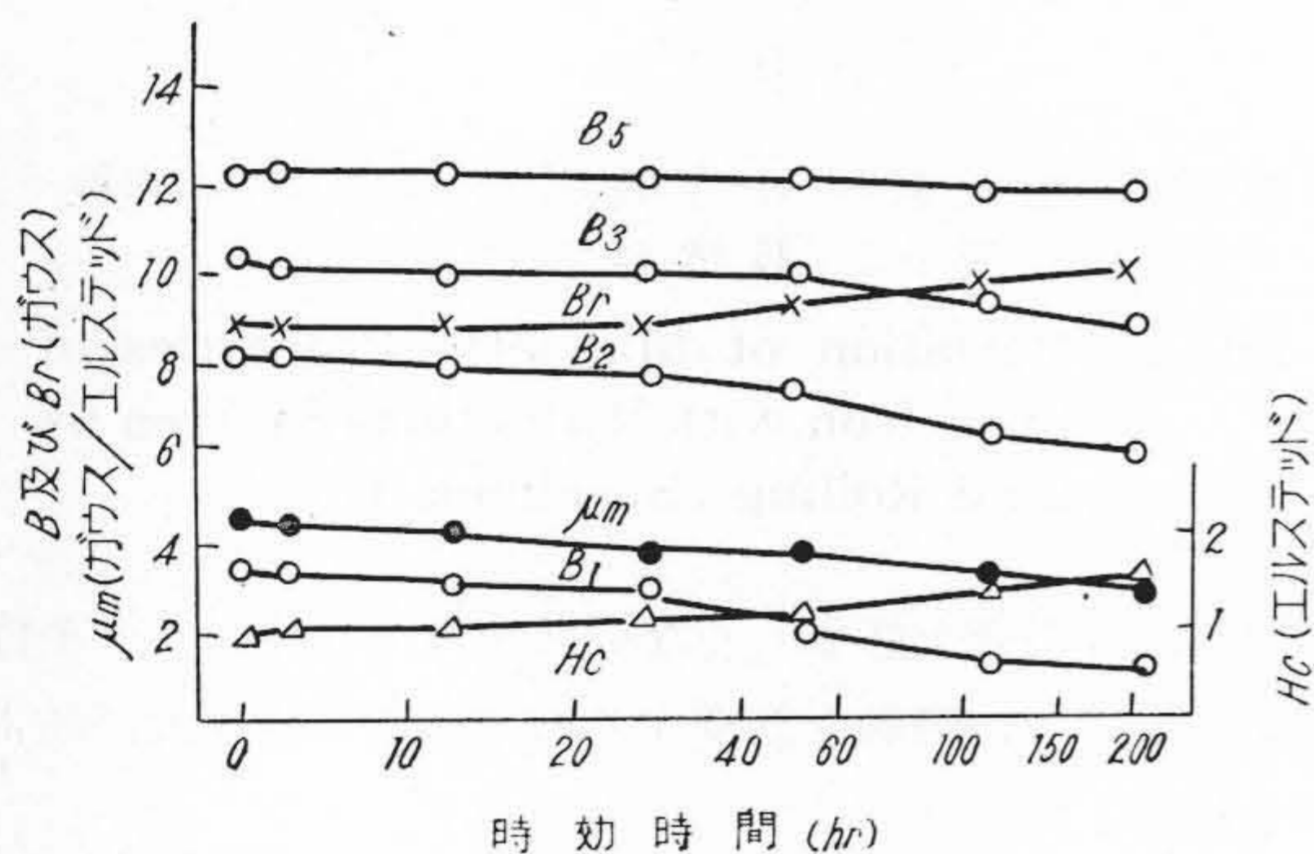
の肌荒れは外観上好ましくないばかりでなく、メッキ作業を困難にし、腐蝕を誘発するので、この原因及び防止法を検討した。

第8図(a)(次頁参照)は素材のままの折曲面の肌荒れの外観写真であるが、この材料を300~600°C 30 min加熱空冷後折曲げれば第8図(b)(次頁参照)のように肌

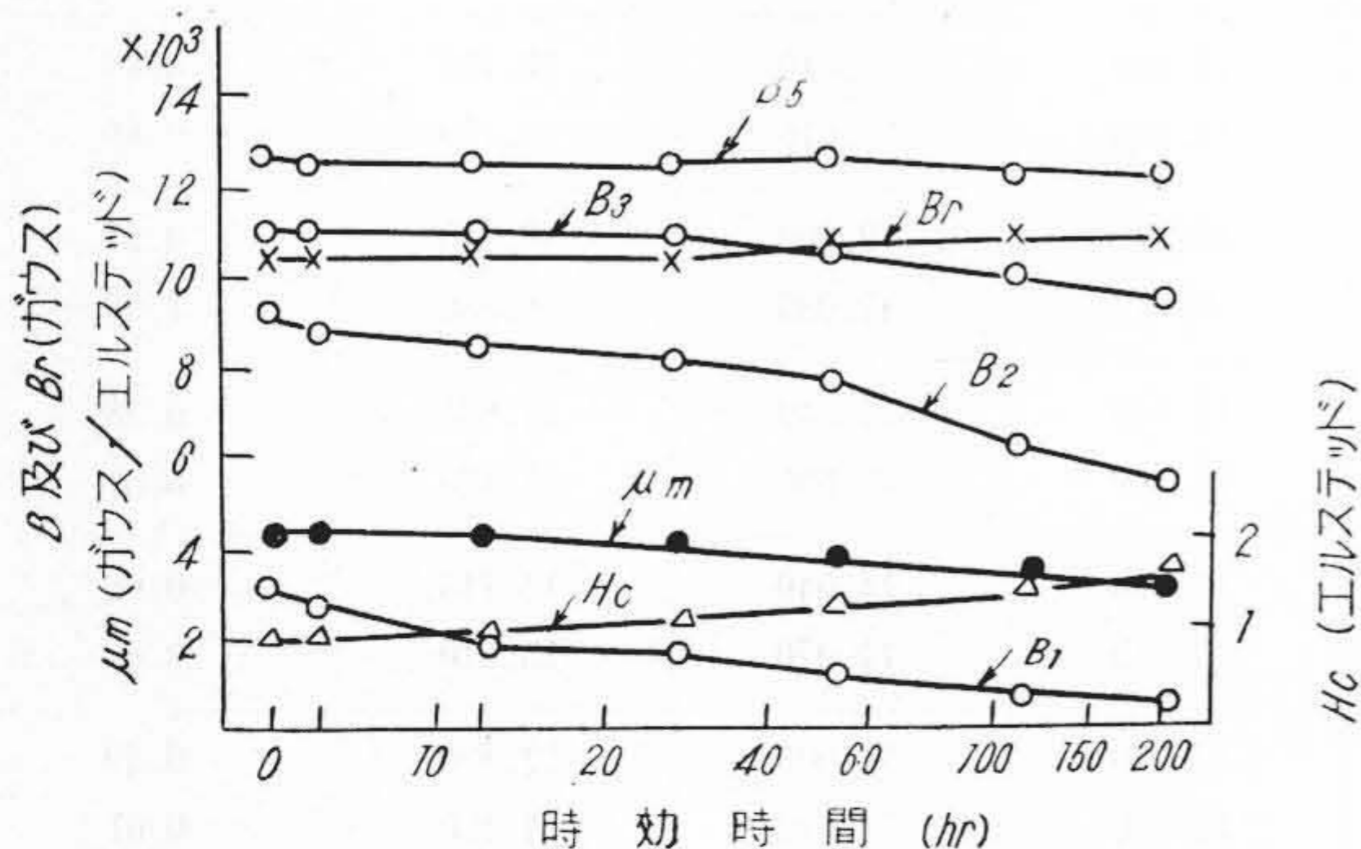
Table 3. Aging at Room Temperature



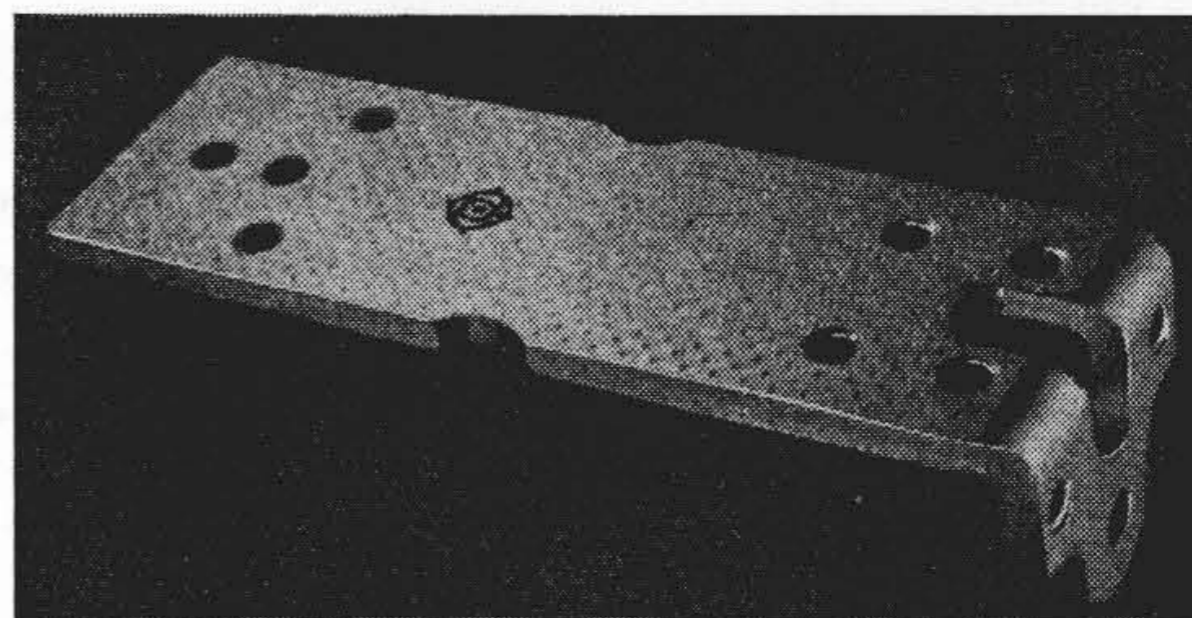
第4図 日立製電磁軟鉄の時効による磁性の変化  
 Fig.4. Variation of Magnetic Properties of Pure Iron Manufactured by Hitachi with Aging



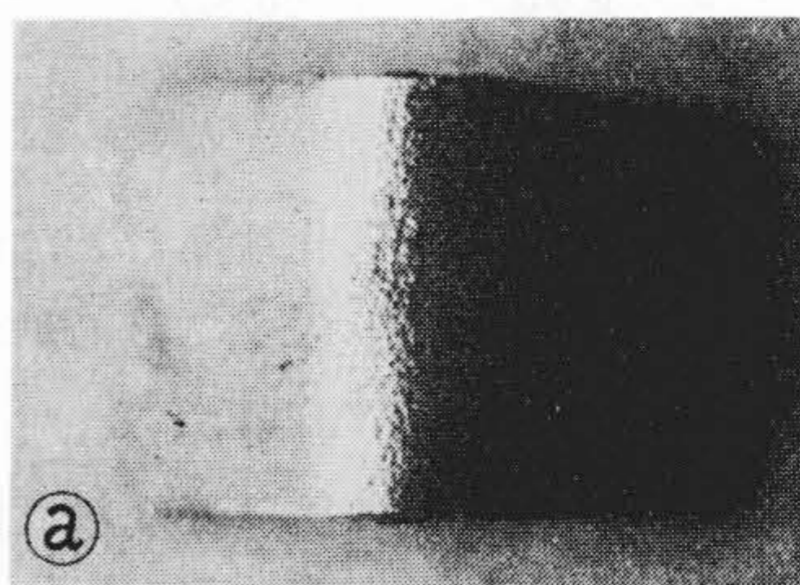
第5図 T社製電磁軟鉄の時効による磁性の変化  
 Fig.5. Variation of Magnetic Properties of Pure Iron Manufactured by the Company T with Aging



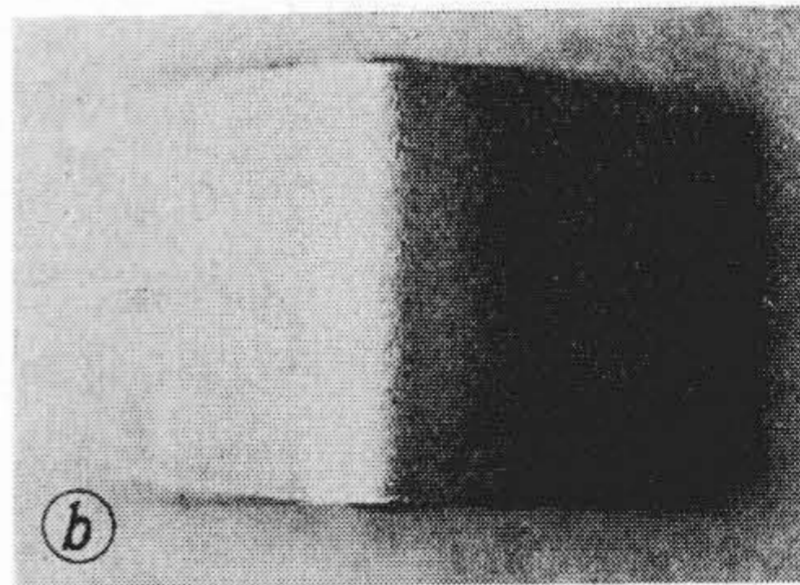
第6図 N社製電磁軟鉄の時効による磁性の変化  
 Fig.6. Variation of Magnetic Properties of Pure Iron Manufactured by the Company N with Aging



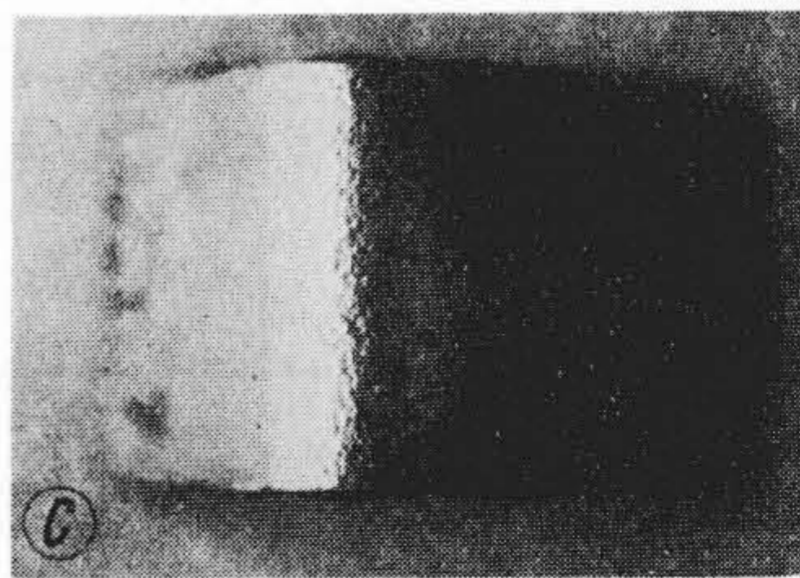
第7図 リレー用ヒールピース  
 Fig.7. Heel-piece of Relay



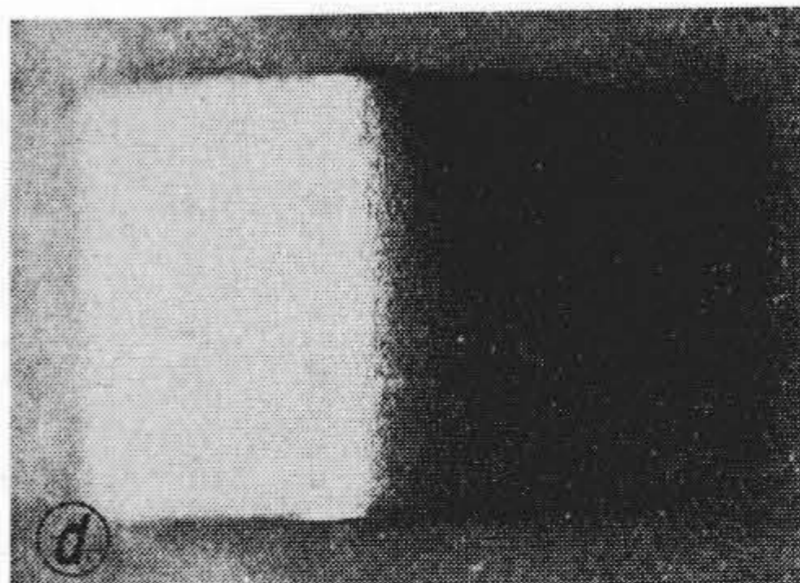
(a) 素材のまま



(b) 600°C で加熱



(c) 700°C で加熱



(d) 1,000°C で加熱

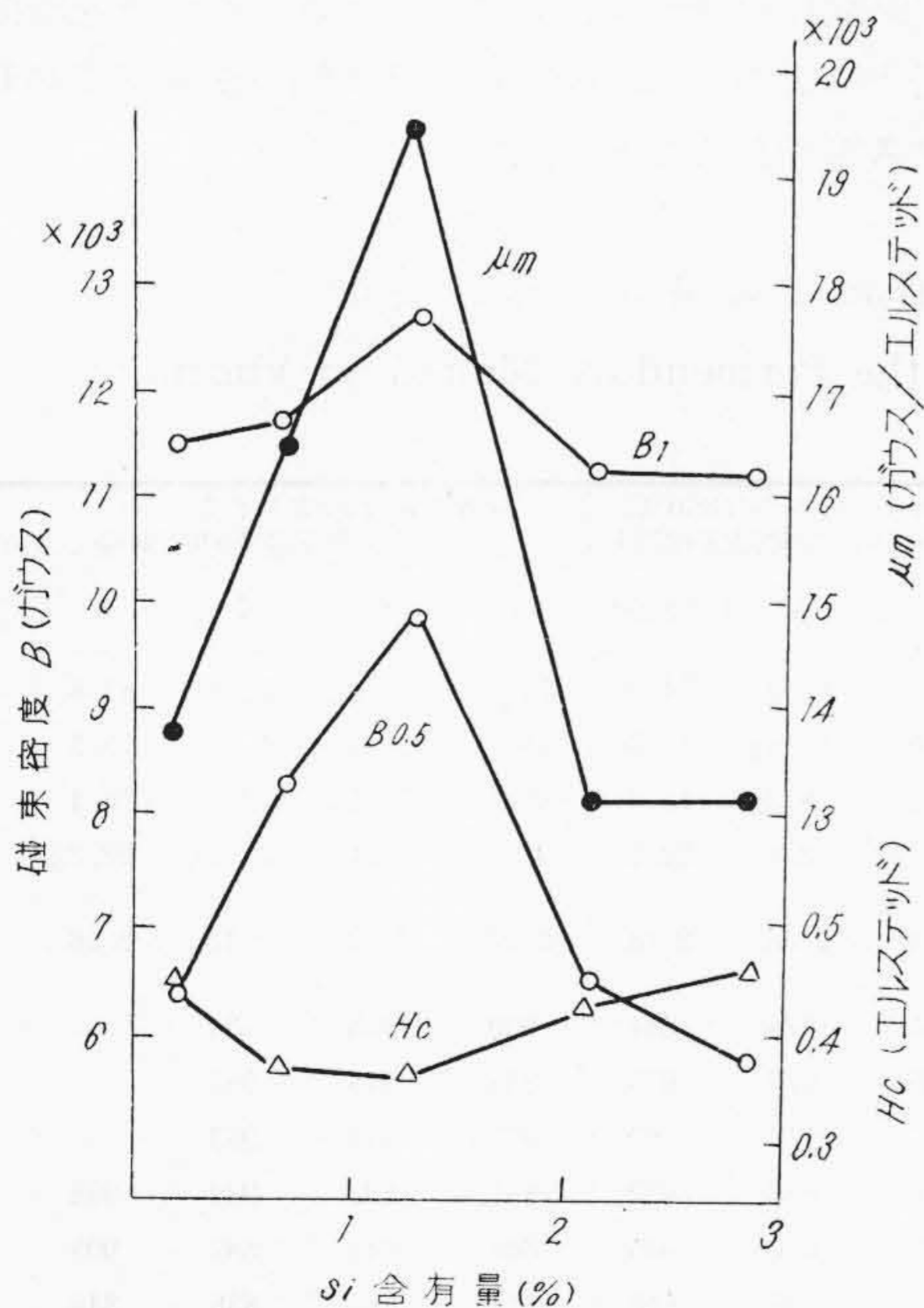
第8図 電磁軟鉄の折曲げ面の熱処理による変化  
 Fig.8. Variation of Bended Surface of Pure Iron with Heat Treatment

荒れは殆ど認められなくなり、700°C以上で処理した場合は第8図(c)のように再び顕著に現われて来る。又A<sub>3</sub>点以上で処理した場合は第8図(d)のように又現われなくなる。この肌荒れは材料を1~2% スキンパスしても殆ど変わらず、結晶粒の粗大なもの程著しい。従つてこの原因はStrecher Strain現象のためではなく、結晶粒の粗大によるOrange Peelであることが明らかになった。又肌荒れの発生し始める時の結晶粒の限界は標準粒度No. 5であることが知られた。

〔III〕 珪 素 鋼

〔II〕に述べたように日立製電磁軟鉄は時効が少いが、これを完全になくすため、更に初磁化特性を良くするためSi鋼の研究並びに製造を行つている。

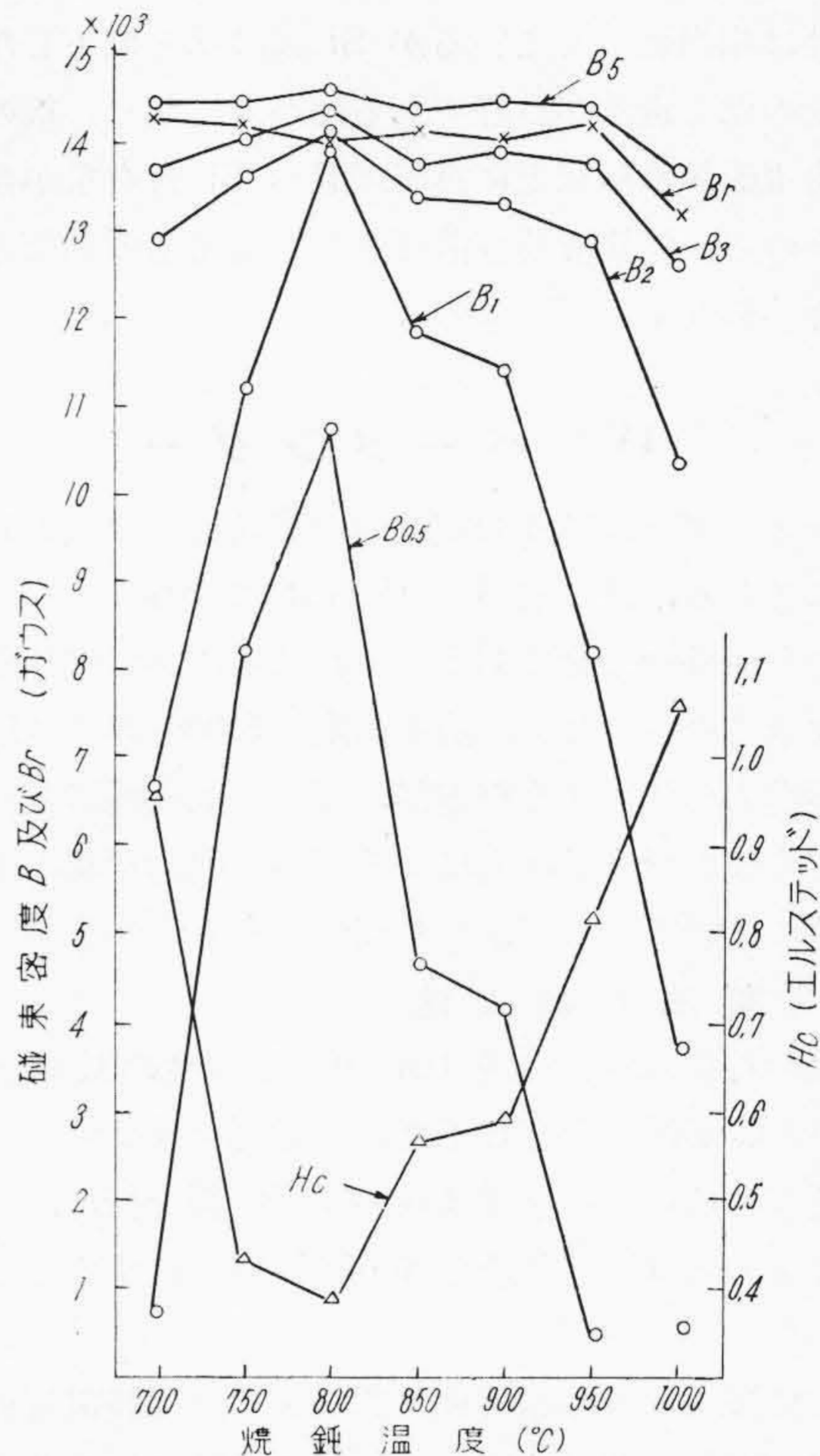
第9図は適当な冷間圧延及び焼鈍されたものゝSi含有量と磁性との関係を示す。電力機器用珪素鋼板のように主に鉄損が問題となる場合には当然固有抵抗の高い高Si鋼が有利であるが、B<sub>0.5</sub>、B<sub>1</sub>等弱磁場に於ける特性が問題にされる場合はSi含有量約1.3%が適当でそれ以上では却つて磁性が低下する。Si鋼の磁性に就いては古くから種々研究されているがその結果は必ずしも一致していない。それは磁性に及ぼす因子が多いため特に冷間圧延仕上を行うものは冷間圧延条件の僅かの差異によつて著しく磁性が変化する。一次冷間圧延率、二次冷間



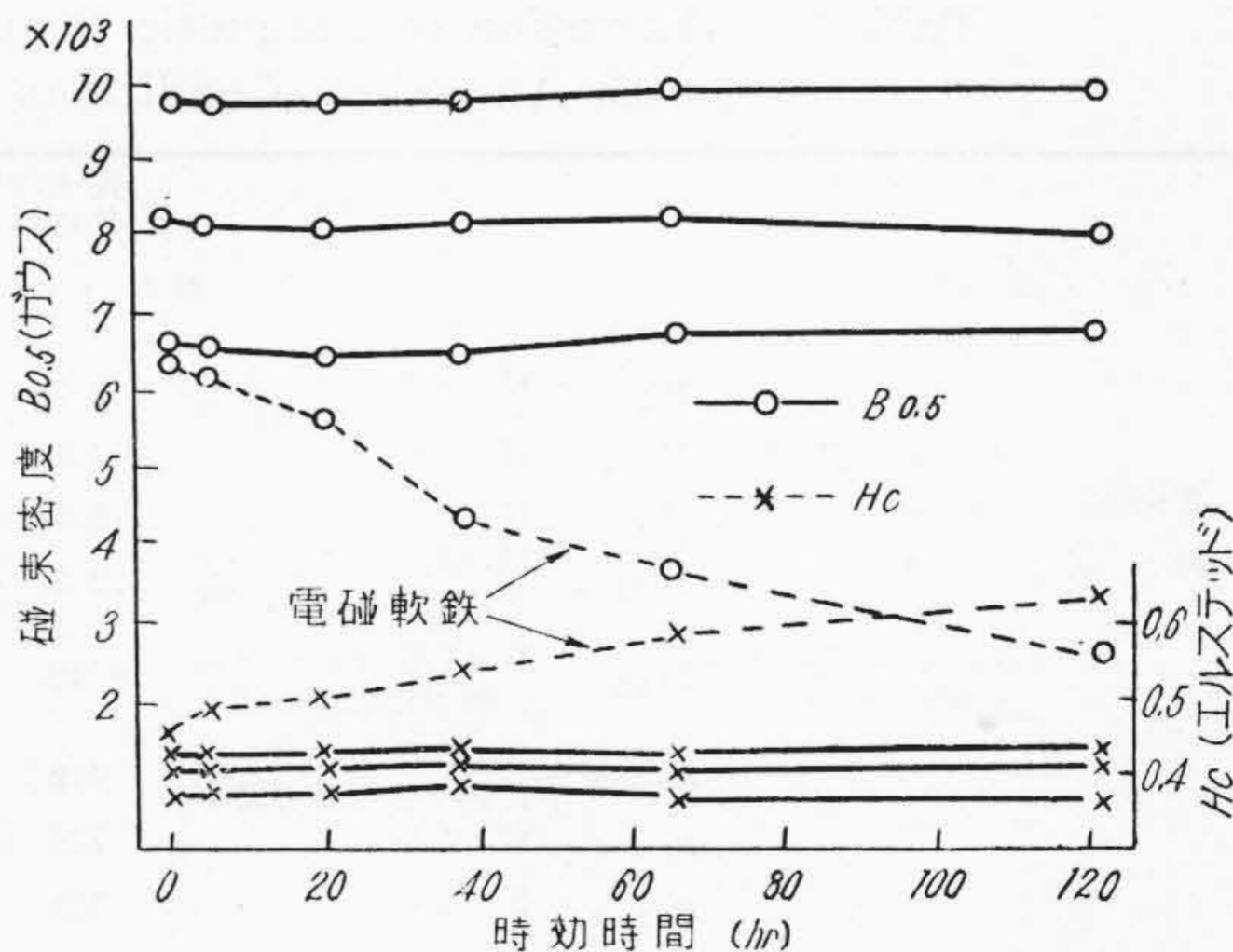
第9図 Si含有量と磁性との関係  
Fig.9. Relation between Magnetic Properties of Si Steel and Si Content

圧延率或は中間焼鈍温度等が不適當であると磁性が急激に低下し且つばらつきが多くなる。

又焼鈍温度の影響も電磁軟鉄に比較して大きい。第10図はC 0.02%, Si 1.33% 鋼に就いての一例を示す。こ



第10図 Si鋼の焼鈍温度による磁性の変化  
Fig.10. Variation of Magnetic Properties of Si Steel with Annealing Temperatures



第11図 100°Cに保持したときの電磁軟鉄及びSi鋼の時効による磁性の変化  
Fig.11. Variation of Magnetic Properties of Si Steel and Pure Iron with Aging at 100°C

れによると 800~850°C の焼鈍が適当で、温度が高すぎても低くすぎても急激に磁性が低下する。この最適焼鈍温度は Si 及び C 含有量によつて異なる。

第11図(前頁参照)は焼鈍後 100°C に保持したときの磁性を示す。同一条件で製造した電磁軟鉄 (Si 0.18%) の磁性は相当低下しているが Si 鋼は殆ど低下しない。

以上の如く磁性が良好であるばかりでなく、板の表面状況も電磁軟鉄板以上に良好で且つ Si 含有量が余り高くないので、打抜板及び曲げ加工等も電磁軟鉄板と殆ど変わりなく行うことができる。

[IV] パーメンダー

パーメンダーは特4号電話機の受話器振動板として用いられている、ほぼ等量の Fe-Co に 2% 以下の V を添加した組成の合金である。これは単に高い飽和磁化の強さを示すのみでなく、磁束密度 15,000 ガウス以上で単一索引力を利用する継電器、或いは偏極構造として重畳する交流の微小磁化力による相対索引力を利用する受話器等には最も適し卓越した特性を有している。

(1) 製法と加工性

市販の粒状 Co は通常 0.4~0.6% 程度の C を含有しており、C が磁性及び加工性に悪影響を及ぼすことは当然予想されるので、まず Co の脱炭精製を行い、酸化還元法によつて C 含有量を 0.07% 以下にすることができた。

次に精製 Co 及び電解鉄を原料とし高周波電気炉により真空熔解法と普通熔解法によつて熔製された2種のパーメンダーに就いて、焼入性、常温加工性、加工歩留り、

直流磁化特性及び可逆導磁率 ( $\mu_r$ ) を比較した。その結果、前者の焼入性、常温加工性及び加工歩留りが後者に比し著しく良好であり、強磁場の磁化特性には大差がないが、弱磁場の磁化特性は前者が非常に優れ、前者の顕微鏡組織で結晶粒内の不純物が少なく粒界も細いことが明らかになった。その後日立製作所日立研究所の提唱によつて、昭和25年10月電気通信研究所を中心に、東北金属工業株式会社の協力を得て実施された協同研究に於てもこれらの結論が確認されたので、パーメンダーの熔解は専ら真空熔解法を採用している。

(2) 磁性の改善

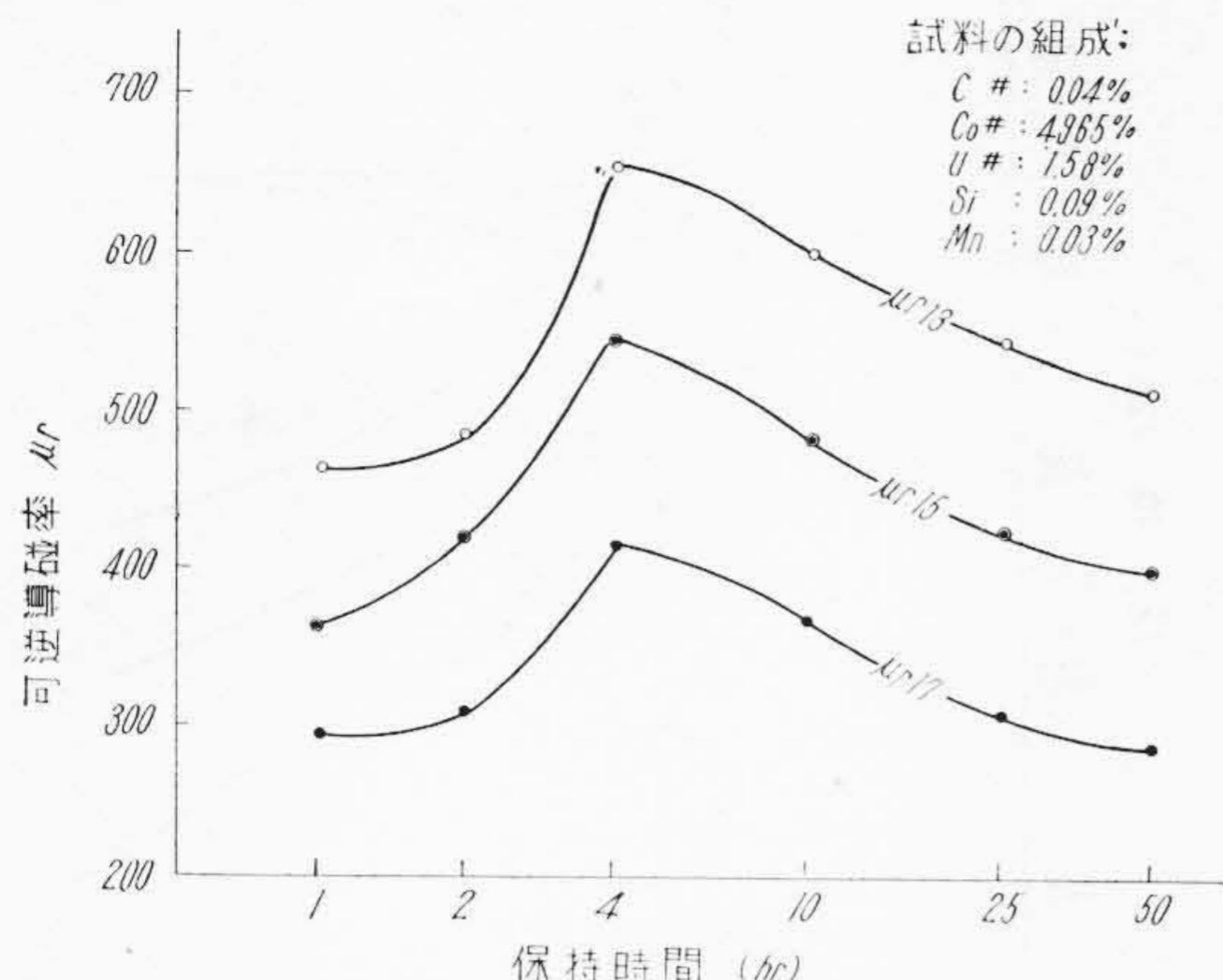
パーメンダーの磁性改善に関する研究に於ては、Fe-Co 二元系合金の規則格子変態を重視して実験し、真空熔解パーメンダーに就いて C.S. Smith<sup>(1)</sup> の方法で異つた速度で加熱、冷却を行つた場合の比熱の温度変化を測定し、特に臨界温度以下の比熱の異常変化の様相から本合金の格子変態が明らかにされた。次いでこれを基礎として、焼鈍温度、保持時間、冷却条件、水素の純度、焼鈍に於ける外部磁場等の磁性に及ぼす影響が検討され、最良の磁性を得るための熱処理条件が確立された。

第12図は 850°C で水素焼鈍した場合の保持時間と  $\mu_r$  との関係の一例を示す。各試料の加熱及び冷却速度を同一にするため、850°C に保持した炉内に逐次試料を引き入れ、それぞれ所要時間保持後 100°C/hr の冷却速度で同時に冷却した。試料の組成は第12図中に示されている。試験片の寸法及び測定方法は電気通信研究所指定の規格<sup>(2)</sup>によつた。 $\mu_{r15}$  等の添字は偏極磁束密度が15,000 ガウス等であることを示す。

第4表 真空熔解パーメンダーの熱処理条件による磁気特性の変化

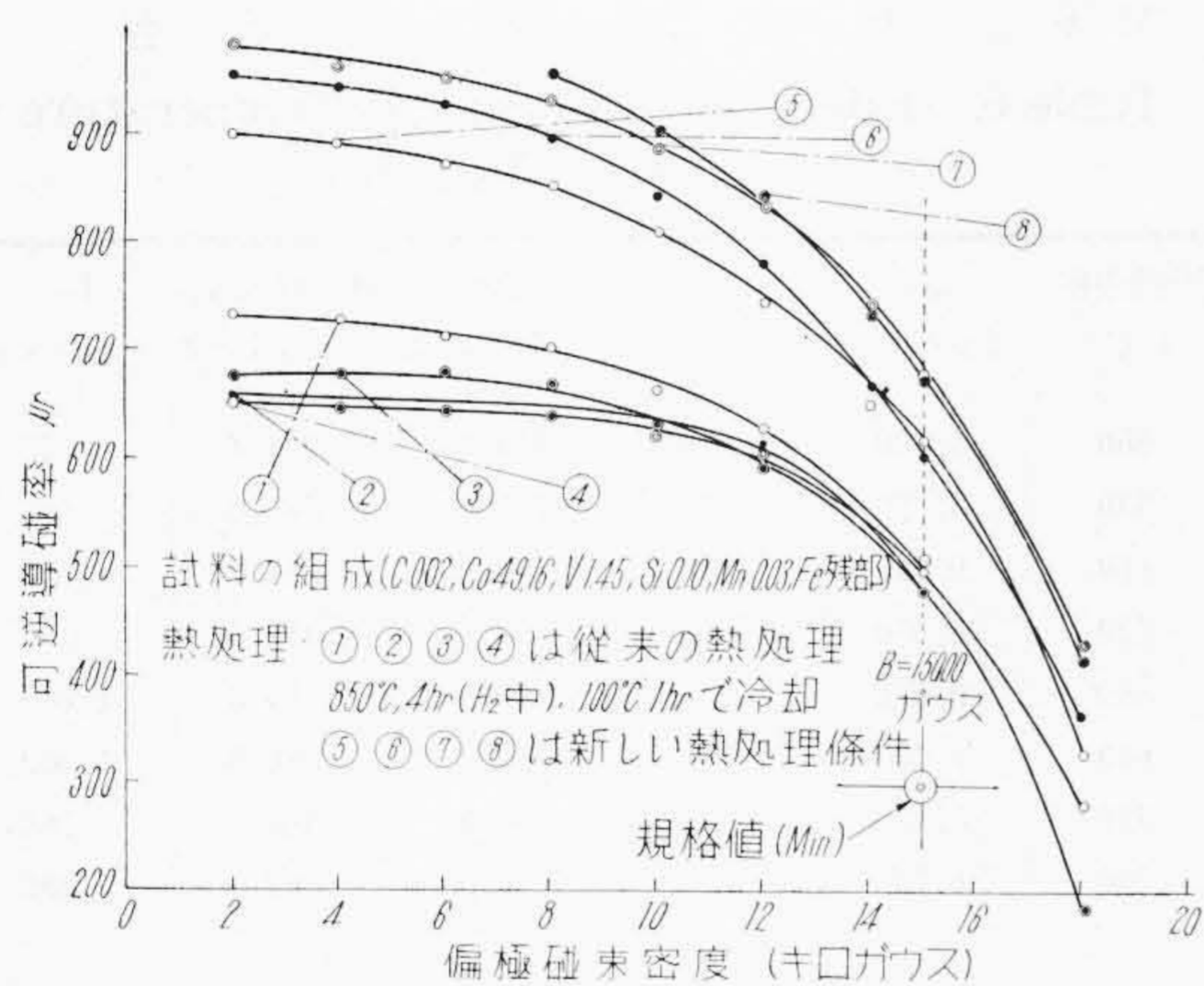
Table 4. Variation of Magnetic Properties of the Permendure Melted in Vacuum with Annealing Conditions

着目する磁性区分		熱処理区分 試 番	従来の熱処理条件で処理したもの (850°C 4hr(H <sub>2</sub> 中)保持 100°C/hr で常温迄冷却)					研究の結果決定した新しい 熱処理条件で処理したもの					
			1	2	3	4	平均値	5	6	7	8	平均値	
直流磁気 特 性	磁束密度 (キロガウス)	B <sub>2</sub>	H=2.0 エルステツ ドに於ける磁束密度	13.7 <sub>5</sub>	14.9 <sub>5</sub>	14.2	13.9	14.2	14.5	14.3 <sub>5</sub>	14.1 <sub>5</sub>	13.8	14.2
		B <sub>3.5</sub>	H=3.5 "	15.4	16.7 <sub>5</sub>	16.0	15.6 <sub>5</sub>	16.0	16.6	16.4	16.2	15.5	16.2
		B <sub>7</sub>	H=7.0 "	18.4 <sub>5</sub>	19.0 <sub>5</sub>	18.6	18.2 <sub>5</sub>	18.6	19.1	19.1	19.1	18.4	18.9
		B <sub>35</sub>	H=35 エルステツ ドに於ける磁束密度	22.2	22.2	22.1 <sub>5</sub>	22.1	22.2	22.1 <sub>5</sub>	22.4	22.6 <sub>5</sub>	22.2 <sub>5</sub>	22.4
		磁場の強さ (エルステツド)	H <sub>15</sub>	B=1.5 キロガウス に於ける磁場の強さ	2.80	2.02	2.44	2.66	2.48	2.24	2.30	2.42	2.76
交流磁気 特 性	可逆導磁率	$\mu_{r2.0}$	B=2.0 キロガウス に於ける可逆導磁率	732	675	650	678	684	900	955	984	—	—
		$\mu_{r4.0}$	B=4.0 "	723	648	645	677	673	829	945	961	—	—
		$\mu_{r6.0}$	B=6.0 "	710	644	643	677	669	872	927	953	—	—
		$\mu_{r8.0}$	B=8.0 "	702	638	640	666	662	851	898	932	956	909
		$\mu_{r10.0}$	B=10.0 "	663	627	623	630	636	808	843	887	905	861
		$\mu_{r12.0}$	B=12.0 "	629	621	605	593	610	744	780	836	843	801
		$\mu_{r14.0}$	B=14.0 "	—	—	—	—	—	642	668	744	732	697
		$\mu_{r15.0}$	B=15.0 "	498	477	507	479	490	617	602	675	672	642
$\mu_{r16.0}$	B=18.0 キロガウス に於ける可逆導磁率	281	338	—	181	—	329	364	430	415	385		



第12図 真空熔解パーメンダークの850°C水素焼鈍に於ける保持時間と $\mu_r$ との関係

Fig. 12. Relation between Reversible Permeability  $\mu_r$  of the Permendure Melted in Vacuum and Holding Times of Hydrogen Annealing at 850°C



第13図 真空熔解パーメンダークの熱処理条件により $B-\mu_r$ 特性の変化

Fig. 13. Variation of  $B-\mu_r$  Curves of the Permendure Melted in Vacuum with Annealing Conditions

第5表 化学成分(%)と磁性

Table 5. Magnetic Properties of High Cr Steels with Various Compositions

C	Mn	Cr	W	Cu	焼入温度 (°C)	Br (ガウス)	Hc (エルステツド)	Br×Hc×10 <sup>-3</sup>	(B×H) <sub>max</sub> ×10 <sup>-3</sup>
1.13	—	5.65	—	—	850	9,250	74.0	684.2	349.7
1.17	—	5.72	—	—	850	9,200	74.0	680.8	355.6
1.03	—	3.08	—	—	825	9,220	67.4	621.0	311.0
1.28	—	8.96	—	—	850	8,100	82.5	668.0	348.0
1.31	—	5.30	—	—	850	8,650	77.6	670.8	341.0
1.10	1.29	5.75	—	—	850	9,000	67.0	603.0	291.3
1.30	0.41	5.63	0.86	—	850	8,650	80.5	696.0	356.6
1.22	—	5.78	—	0.836	850	9,000	78.0	702.0	340.5

又第4表及び第13図は同じ真空熔解パーメンダークが、研究結果による最適熱処理条件で処理された場合と、従来の熱処理条件である水素中850°C 4hr 保持後100°C/hrで冷却した場合との磁性の相違を示すもので、直流特性は大差ないが、 $\mu_r$ は前者が非常に良好であることを示している。

### [V] 磁石鋼

従来通信機に使用されている磁石鋼には3% Cr鋼、これに1%のMn 或いはWを添加したCr-Mn鋼、W-Cr鋼、5~20%のCr及びCoを含むCr-Co鋼等があり、又最近ではCr-Si-Al鋼、Fe-Al-C合金等が発表されているが、高価な元素を多量に使用したり、加工性が著しく悪かつたり或いは熱処理が困難であつたりして、いずれも多量生産には難点が多い。よつて種々の研究結果、Crを5~6%含む高Cr磁石鋼に少量のWを添加して各種磁石の量産を行つている。

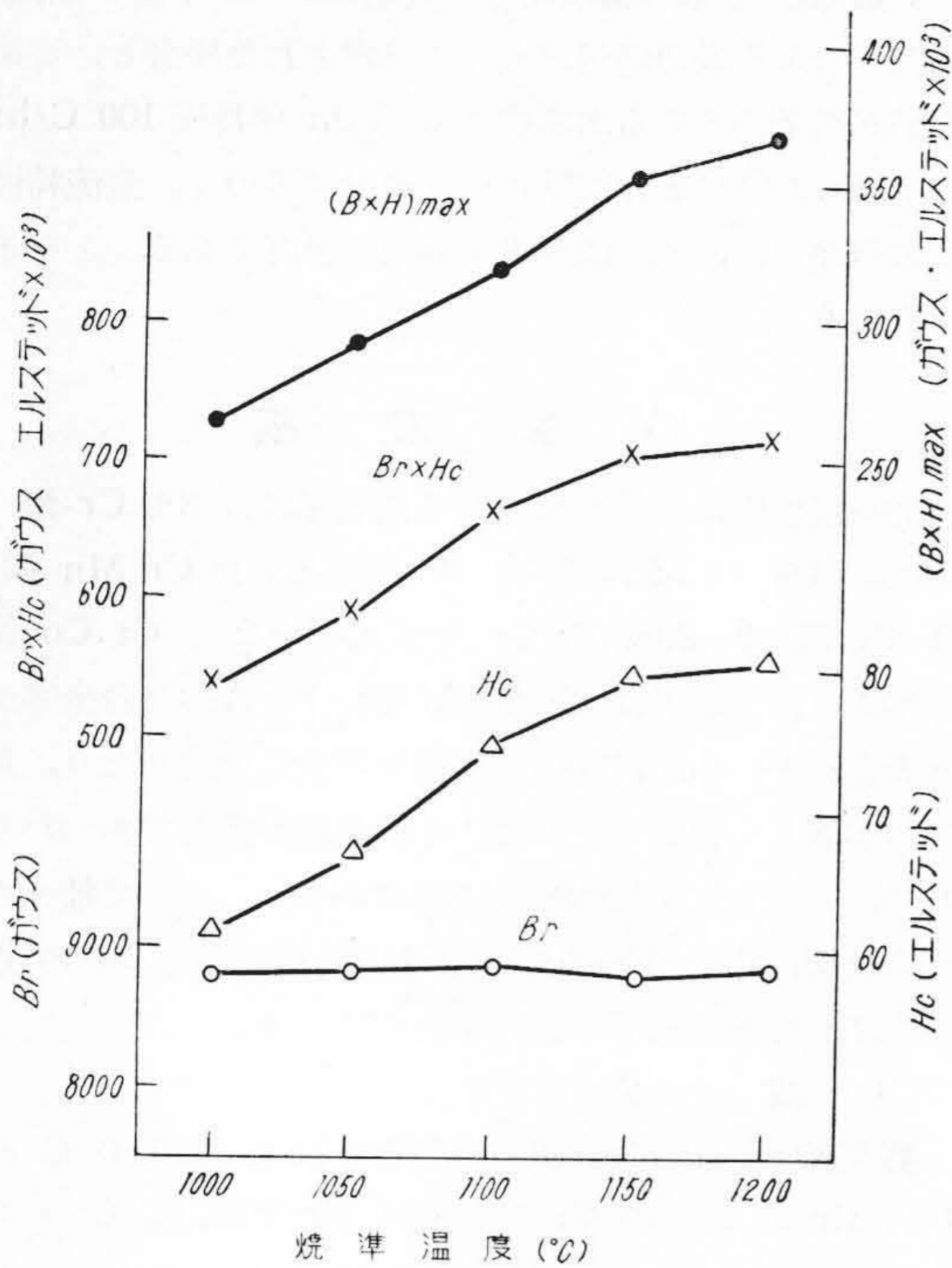
#### (1) 成分

第5表は各種成分の磁石の磁性を示す。従来のC約1%、Cr約3%のCr磁石鋼はHcが低く、Crが約9%になるとHcは増加するがBrは低下する。W或はCu1%以下の添加によつて磁性は改善されるが余り高すぎると却つて悪くなる。又Cが高くなるとHcは増すがBrは低下する。

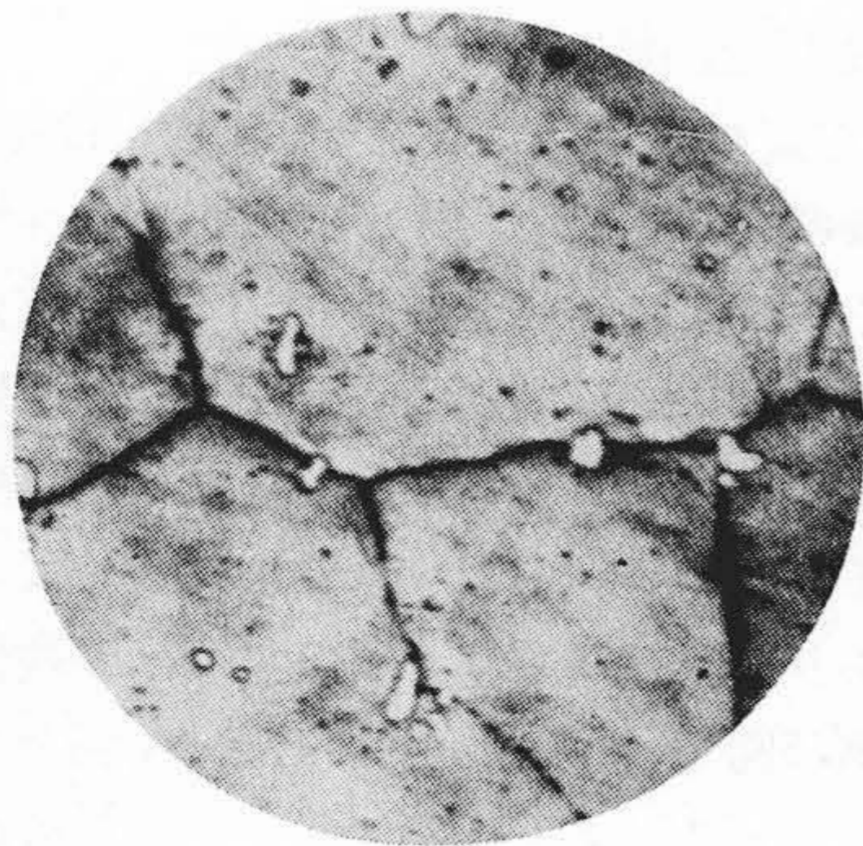
#### (2) 熱処理の影響

##### (A) 焼準温度

第14図(次頁参照)はC 1.21%、Cr 6.12%鋼の焼準温度の影響の一例を示す。但し850°Cより油焼入された場合である。焼準温度が上昇するとBrには大差がないがHcはほぼ直線的に増加する。これは高温焼準によつてCrの炭化物が一旦rに固溶し、焼入の際極めて微細に析出するためHcが増大するのである。又本鋼は自硬性が大であり高温焼準されると多量のrが残留するようになり、第15図(次頁参照)のようにほぼ完全なrが常温に持ち来たされる。若し脱炭するとその部分の自硬性が低下し針状マルテンサイトになる。



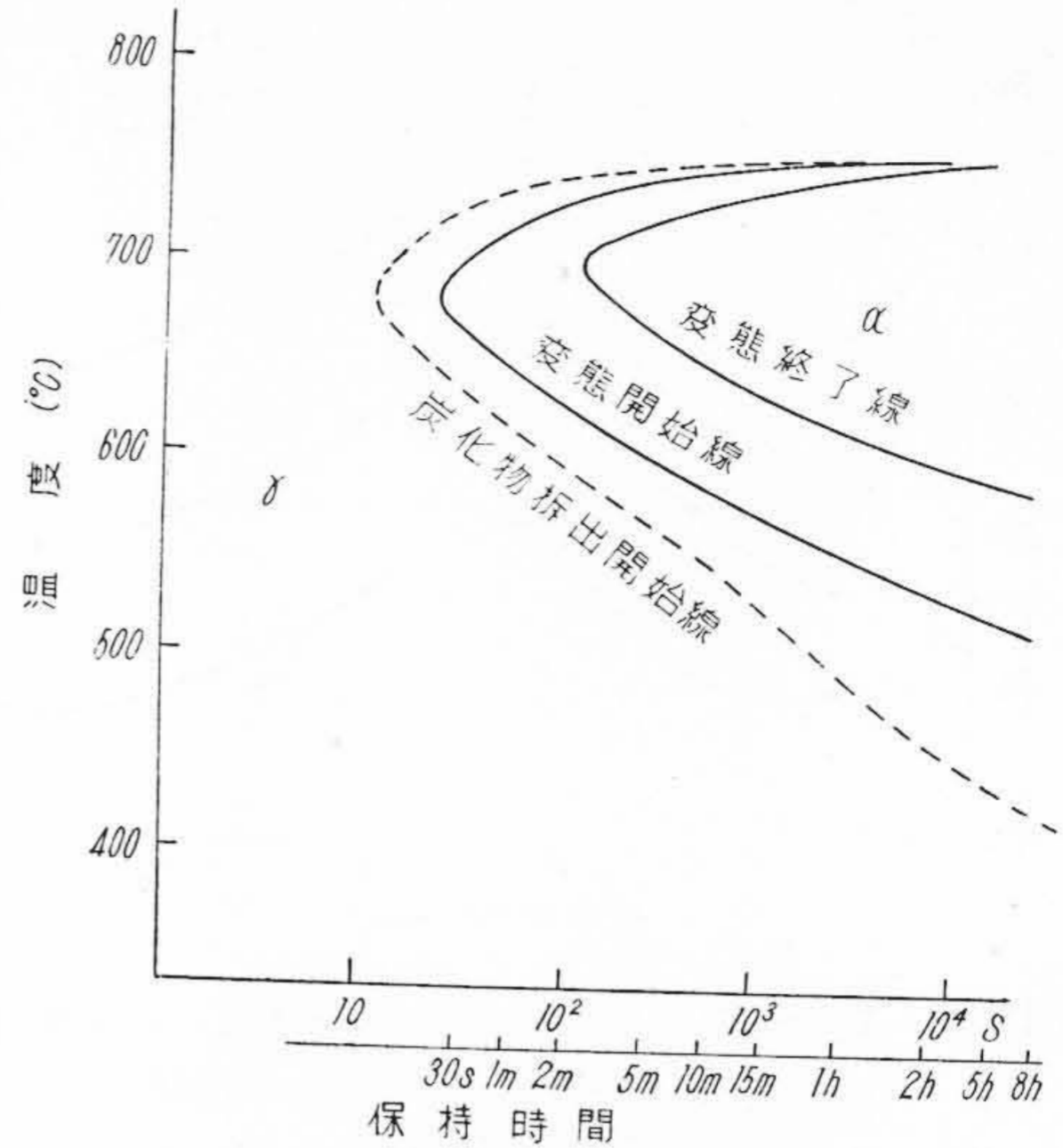
第14図 高Cr鋼の焼準温度の磁性に及ぼす影響  
Fig. 14. Effect of Normalizing Temperatures on Magnetic Properties of High Cr Steel



第15図 高Cr鋼の1,200°C焼準組織  
Fig. 15. Microscopic Structure of High Cr Steel Normalized at 1,200°C

(B) 予熱

高温焼準によつて常温に持ち来たされた安定なrは焼入の際急加熱されると変態を起さず安定なrのまゝで、これを焼入してもAr'変態が起らず異常組織を呈し、従つてBrが著しく低下する。これを防止するには焼入の際適当な予熱を行うことが必要である。第16図はC 1.19%, Si 0.34%, Mn 0.45%, Cr 5.8% 鋼に就いて1,150°C 焼準後熱膨脹、組織及び硬さから求められた恒温変



第16図 定性的恒温変態図  
Fig. 16. Qualitative Isothermal Transformation Diagram of High Cr Steel

第6表 予熱温度の影響

Table 6. Effect of Preheating Temperature on Magnetic Properties

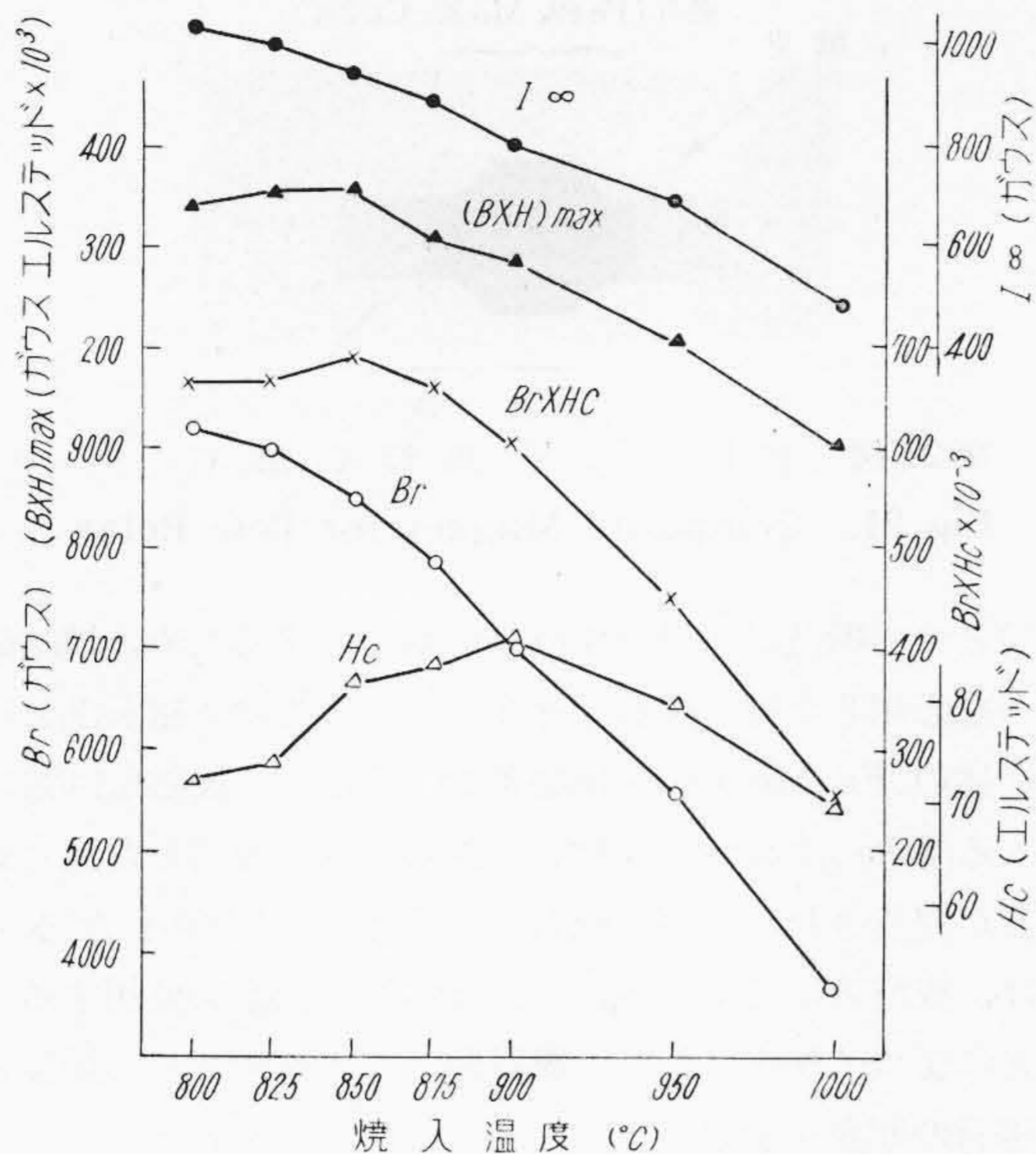
予熱温度 (°C)	Br (Gauss)	Hc (エルステッド)	BrxHc × 10 <sup>-3</sup>	(BxH) <sub>max</sub> × 10 <sup>-3</sup>	I <sub>∞</sub> (Gauss)
550	5,600	84.0	470.1	224.4	675
570	8,750	82.0	717.5	381.0	966
600	9,050	81.0	733.2	381.7	1,005
620	8,950	81.5	729.4	385.0	994
650	9,070	79.5	721.0	385.8	1,003
670	9,000	80.5	724.2	380.0	1,002
710	8,800	78.5	691.0	365.0	986
750	1,900	75.5	143.5	60.0	286

態図で、これから予熱の温度及び時間がほぼ推定される。第6表は1,150°Cで焼準、850°Cから油焼入された場合に於ける、C 1.21%, Si 0.32%, Mn 0.35%, Cr 5.78%, W 0.51% 鋼の予熱温度と磁性との関係を示す。但し予熱温度に於ける保持時間は20minである。予熱温度が低すぎても高すぎても飽和磁化の強さが低く、焼入後相当多量のrが残留しBrが著しく低下する。

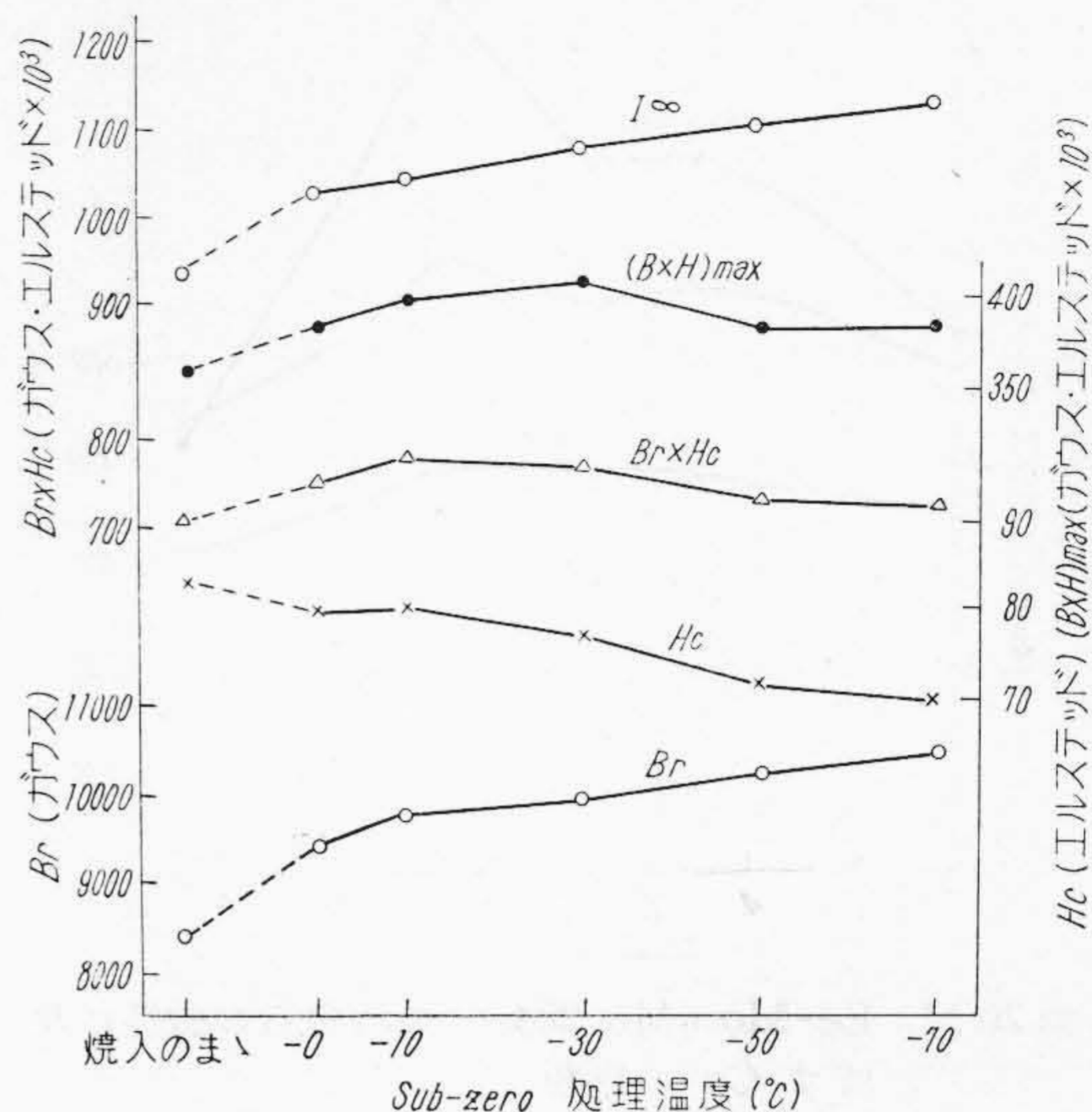
(C) 焼入温度

第17図はC 1.25%, Si 0.28%, Mn 0.42%, Cr 5.66%, W 0.51% 鋼に就いて求めた油中焼入温度の影響の一例である。但し焼準は1,150°C 5min 保持空冷、予熱は600°C 20min 保持である。焼入温度が高くなるとBrが急激に低下する。Hcは900°Cまでは焼入温度が高くなるほど増加し86エルステッドに達するが、これ以上では却つて低下する。これは焼入温度が高くな





第17図 焼入温度の磁性に及ぼす影響  
Fig.17. Effect of Quenching Temperatures on Magnetic Properties



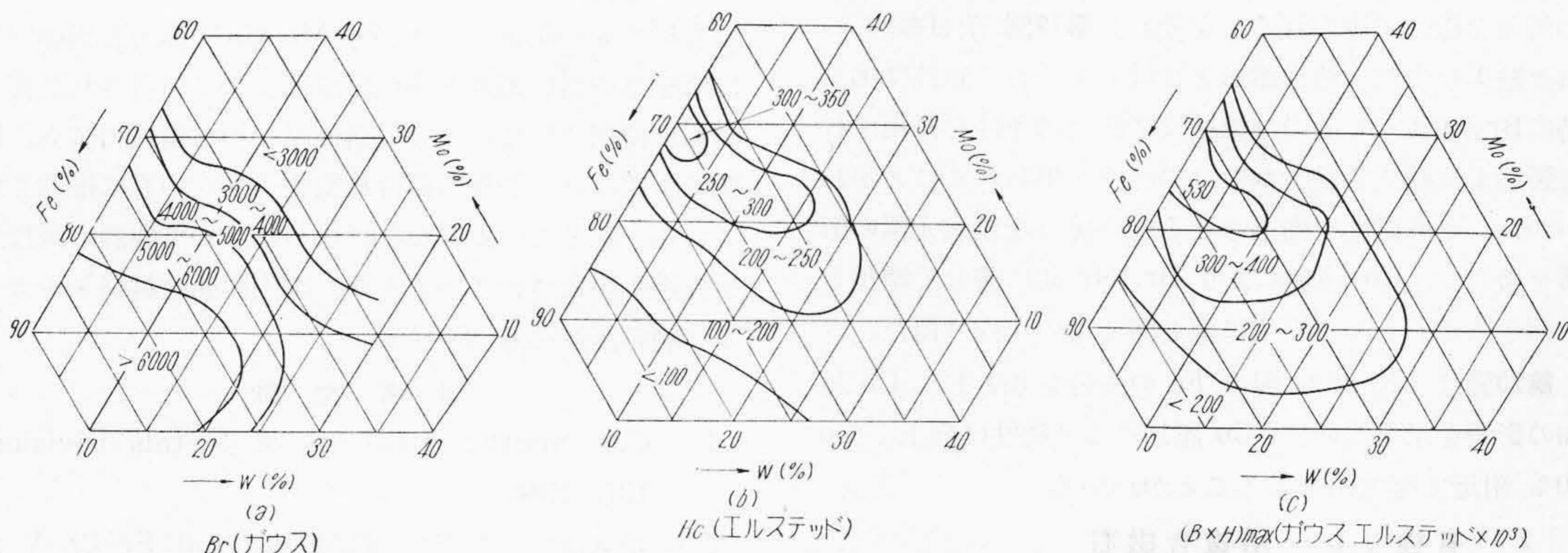
第18図 Sub-zero 処理温度の磁性に及ぼす影響  
Fig.18. Effect of Temperatures of Cold Treatment on Magnetic Properties

ると残留オーステナイト ( $\gamma_R$ ) が増加するためである。一方焼入温度が約  $900^\circ\text{C}$  までは  $\gamma_R$  による歪のため  $H_c$  は増加するが、 $900^\circ\text{C}$  以上になると  $\gamma_R$  の量が余り多くなり却つて歪が減少し  $H_c$  が低下するようになるものと思考される。従つて磁石の形状或いは用途によつて適当に焼入温度を変えて、 $Br$  或いは  $H_c$  を加減することが必要である。又  $\gamma_R$  の量は焼入冷却速度或は恒温浴焼入によつても変わるから特殊な場合には利用できる。

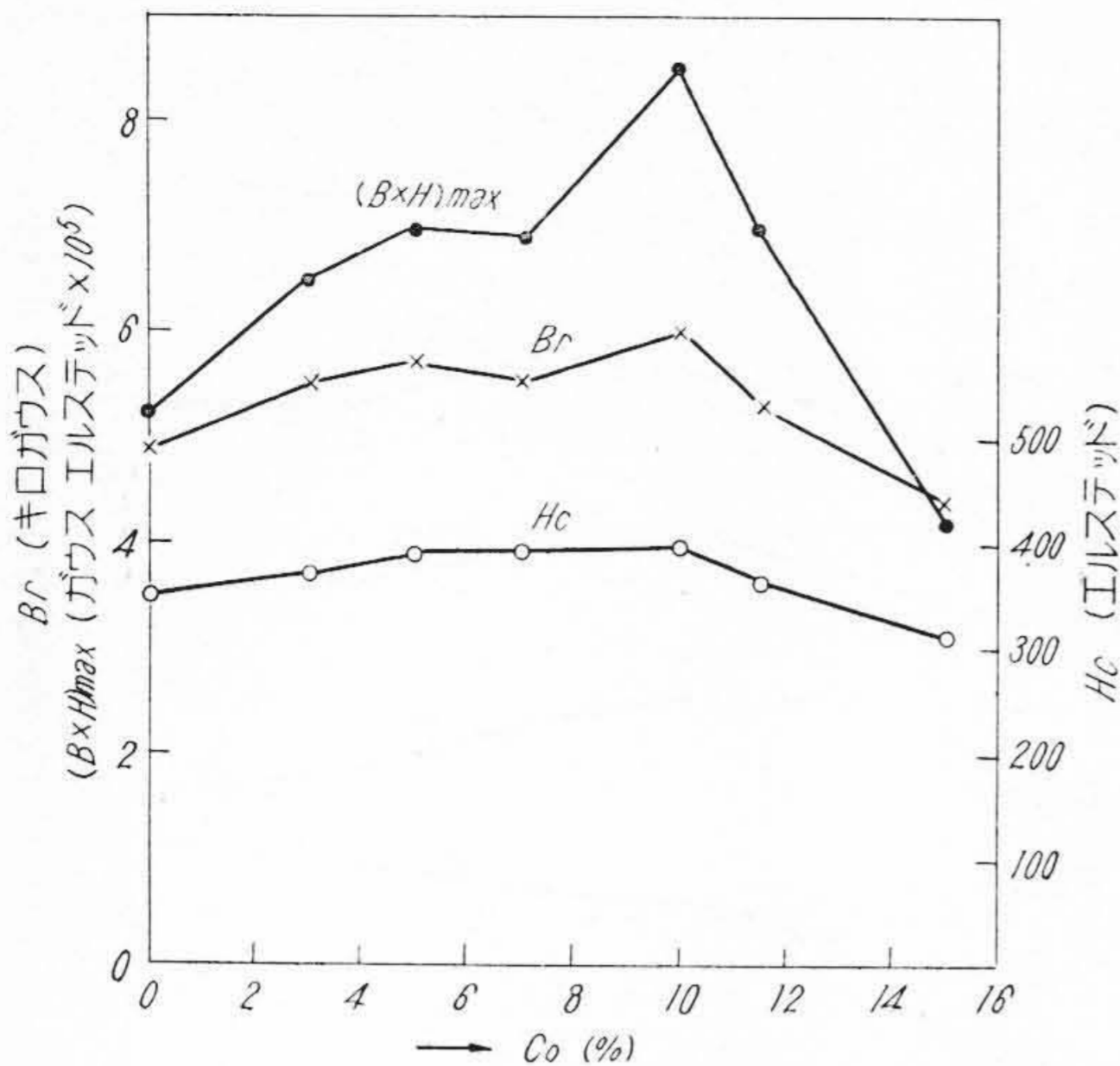
(D) Sub-zero 処理

焼入後の Sub-zero 処理によつて、更に  $\gamma_R$  が分解し、磁性が変化する。

第18図は C 1.31%, Si 0.11%, Mn 0.41%, Cr 5.81%, W 0.36% 鋼に就いて求めた Sub-zero 処理温度と磁性との関係を示す。但し  $1.150^\circ\text{C}$  焼準,  $850^\circ\text{C}$  油焼入し 10min 常温に保持後 Sub-zero 処理を行つたものである。Sub-zero 処理温度が低くなる程  $Br$  は増加するが  $H_c$  は減少し、 $Br \times H_c$  及び  $(B \times H)_{\text{max}}$  は  $-10 \sim -30^\circ\text{C}$  の処理で最大で、それ以下の処理では却つて低下する。焼入温度が  $825 \sim 900^\circ\text{C}$  の場合、焼入のままでは上述のように  $Br$  及び  $H_c$  が焼入温度によつて異なるが、約  $-70^\circ\text{C}$  で Sub-zero 処理されると  $\gamma_R$  が分解し、て磁性は殆ど同じになる。



第19図 焼結 Fe-W-Mo 系磁石の磁性分布  
Fig.19. Residual Induction  $Br$ , Coercive Force  $H_c$  and Maximum Energy Product  $(B \times H)_{\text{max}}$  of Sintered Fe-W-Mo Alloys



第20図 Ee-Mo (Mo 28%) 焼結磁石の磁性に及ぼす Co の影響

Fig. 20. Effect of Co Contents on Magnetic Properties of Sintered Fe-Mo-Co Alloys Containing 28% Mo

[VI] 複合磁石

永久磁石に対する粉末冶金法の応用には、小型磁石の製造に於て鑄造磁石では非常に困難な形状の磁石を殆ど機械加工なしに作り得ること、製品の純度を高め得ること、成分組成を厳密におさえ得ること、更に高導磁率材料との複合磁石を簡単に作り得ること等種々のすぐれた利点がある。この利点を利用して、有極リレー用複合磁石の製造を、Fe-Mo-Co系焼結磁石と純鉄とを結合することによつて成功した。

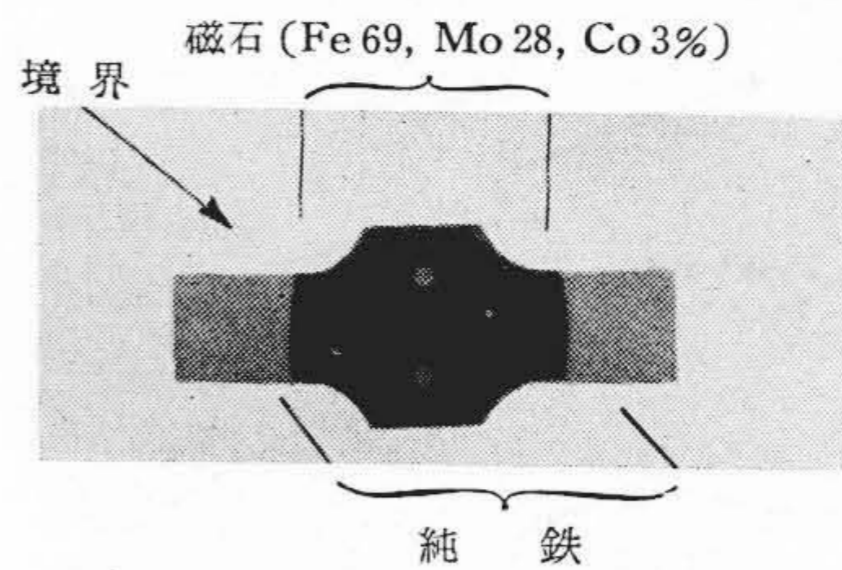
(1) Fe-Mo-Co系焼結磁石

Fe-W-Mo系磁石に就いては増本、白川両氏の研究がある<sup>(3)</sup>。日立製作所ではこれを焼結法で製造した場合に如何なる磁性が得られるかを検討し第19図(前頁参照)の如き結果を得た。鑄造磁石と比較して一般に磁性は劣り特に $B_r$ が低い、適当な焼結及び熱処理条件を採用すれば製造も比較的容易でかなりの磁性が得られることがわかつた。更に磁性を向上させるため種々な添加元素の影響を検討し、Co添加により $B_r$ 、 $H_c$ 共に著しく増加し小型永久磁石として実用に供し得るものを作り得た。

第20図は Mo 28% 残余 Fe の成分を基として Co 添加の影響を示すもので、Co 添加により磁性は向上し Co 10% 附近で極大値をとることがわかる。

(2) 有極リレー用複合磁石

有極リレーは広く利用できるものであるが、現在各社で使用しているものは構造が複雑で性能及び原価の点でその応用にかかなりの制限を受けている。この改良の一方



第21図 有極リレー用複合磁石

Fig. 21. Composite Magnet for Pole Relay

向として構造が簡単で使い易いものとするため、焼結磁石を応用した複合磁石を採用した。即ち永久磁石部分に前述の Fe-Mo-Co 系焼結磁石、両極の交流磁気回路に入る部分には高導磁率材料である純鉄を使用した複合磁石が完成された。複合磁石を作る場合に問題となるのは、成型方法であるが、これは特殊な金型を使用することによつて解決された。第21図はこの有極リレー用複合磁石の写真を示す。

[VII] 結 言

以上述べたことを総括すれば次のようである。

各種継電器の鉄心、継鉄、接極子等として最も一般的な電磁軟鉄は、砂鉄を原料とした木炭鉄から、特殊な製造方法によつて、時効の少ない、磁性の良好なものが量産されている。更に時効を完全になくすため、Si 約 1.3% 加えた Si 鋼を製造し時効の全くない、電磁軟鉄よりも磁性の良いものが得られている。

電話機振動板用パーメンダーは真空熔解によつて加工性がよくなり、熱処理によつて従来のものより磁性が著しくよくなった。

通信機用磁石鋼として高 Cr 鋼に W を添加したものが生産され、形状、用途等によつて最適な熱処理が施され、良好の磁性が得られている。

有極リレー用としては、Fe-Mo-Co系磁石と両極部分に導磁率の高い純鉄とを焼結法によつて組合された複合磁石が使用されている。又磁性材料の試験法の確立、性能の改善は日立製作所磁性材料委員会を中心に推進されている。欧米では優秀な磁性材料によつて機器の画期的改良進歩がなされているとき、国内の磁性材料メーカーの一層の躍進をも切望する。

参 考 文 献

- (1) C.S. Smith: Institute of Metals Division, 137 (1940)
- (2) 電気通信研究所: 受話機振動板用 Fe-Co-V 磁性合金仕様に関する指定事項
- (3) 増本、白川: 金属学会分科会報告, 第 III 輯, 電気磁材料, 耐久磁石合金 p. 1