

## Cr-Mn 磁石鋼の熱処理と磁氣的性質に就て

小柴定雄\* 西沼輝美\*\*

Heat Treatment and Magnetic Properties of  
Cr-Mn Magnet SteelBy Sadao Koshiba and Terumi Nishinuma  
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

## Abstract

The kinds of Commercial permanent magnet steels that is widely used at present is principally W-Cr steel and Cr steel.

The writers made an experiment on Cr-Mn magnet steel containing about 1% Mn. The method of annealing and normalizing of this steel are regarded the most important, and Hc is increased when it is treated from the temperature at which carbides dissolve in  $\gamma$ -phase. Even if heat treatment is repeated two or three times, it affects little is the lowering of magnetic properties which is apt to happen in Cr-magnet steel. By raising the temperature of Quenching oil from 100 to 200°C, Hc is increased and Br is decreased as compared with usual oil Quenching. From the result of this experiment, magnet steel of about 63 oersted of Hc and 9900 gauss of Br is available by the most suitable heat treatment, but it is inferior to W-Cr magnet steel containing W 6% and Cr 1%.

## [I] 緒言

現在廣く用いられている普通の永久磁石鋼は、主として W-Cr 並びに Cr 系である。而して後者は資源的並びに經濟的に有利であるが、磁氣的性質特に抗磁力が前者に比して劣る。従つて其の改善に種々の實驗が行われている。

本報告に於ては約 1% の Mn を含む Cr-Mn 磁石鋼に就ての結果を報告する。

## [II] 實驗試料及び實驗方法

試料は 50 kg 高周波電氣爐にて熔製し、10 kg 鋼塊を造り鍛伸後實驗に供した。其の化學成分を第 1 表に示す。變態生起温度の測定には本多式熱膨脹計によつた。

第 1 表 試料の化學成分 (%)

Table 1 Chemical Composition of Specimen.

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.91	0.15	1.02	0.020	0.014	1.92

\* \*\* 日立製作所安來工場

氣的性質の測定は彈動電流計法によつた。恒溫變態速度曲線は、5 mm $\phi$  × 100 mm の試料を用い恒溫浴に焼入し、時間膨脹及び收縮との關係より求めた。

## [III] 實驗結果及び其の考察

(1) 變態生起温度及び焼入並びに焼鈍硬度  
試料の變態生起温度を第 2 表に示した。但し加熱及び

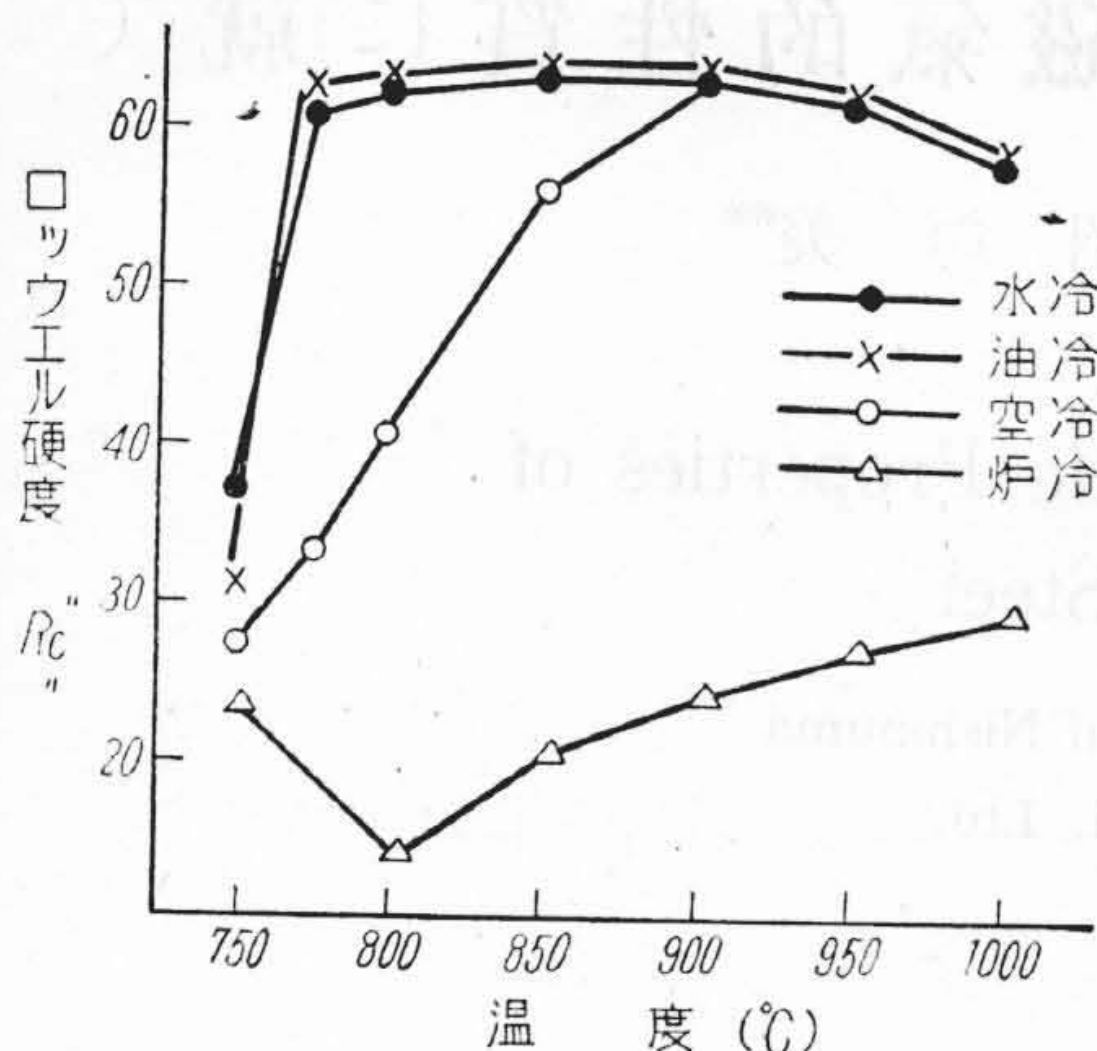
第 2 表 變態生起温度 (°C)  
Table 2 Transformation Point.

加 熱	冷 却	
	爐 冷	空 冷
749~780	690~653	143

爐冷速度は 5°C/min である。次に焼入並びに焼鈍温度と硬度の關係を第 1 圖に示した。本鋼種は自硬性が大なる故空冷によつても硬化し、焼入温度 900°C に於ては、ロックウェル硬度 Rc 62 を示す。従つてこれにより實際製品を火造後放冷すると割れを發生し易い<sup>(1)</sup>。

(2) 焼鈍方法の選定





第 1 圖 焼入並びに焼鈍温度と硬度との関係  
Fig. 1 Effect of the Quenching Temperature and Annealing Temperature on the Rockwell Hardness.

本鋼種の磁氣的性質は、焼入前の焼鈍方法によつて相當の影響があるものと思考される。よつて第 3 表の如き熱処理を行い以後の焼鈍方法を一應定めた。其の結果を第 3 表に併記した。焼入方法が (i) 法の 825°C 油焼入の際は、(D) 法の 650°C に 30 分保持後空冷した恒温焼鈍が良いが、焼入方法が (ii) 法の 860°C より 200°C の油に焼入し 2 時間保持したものは<sup>(2)</sup>、730°C に 30 分保持空冷した低温焼鈍が寧ろ優れている。

(3) 焼入、焼戻温度の影響

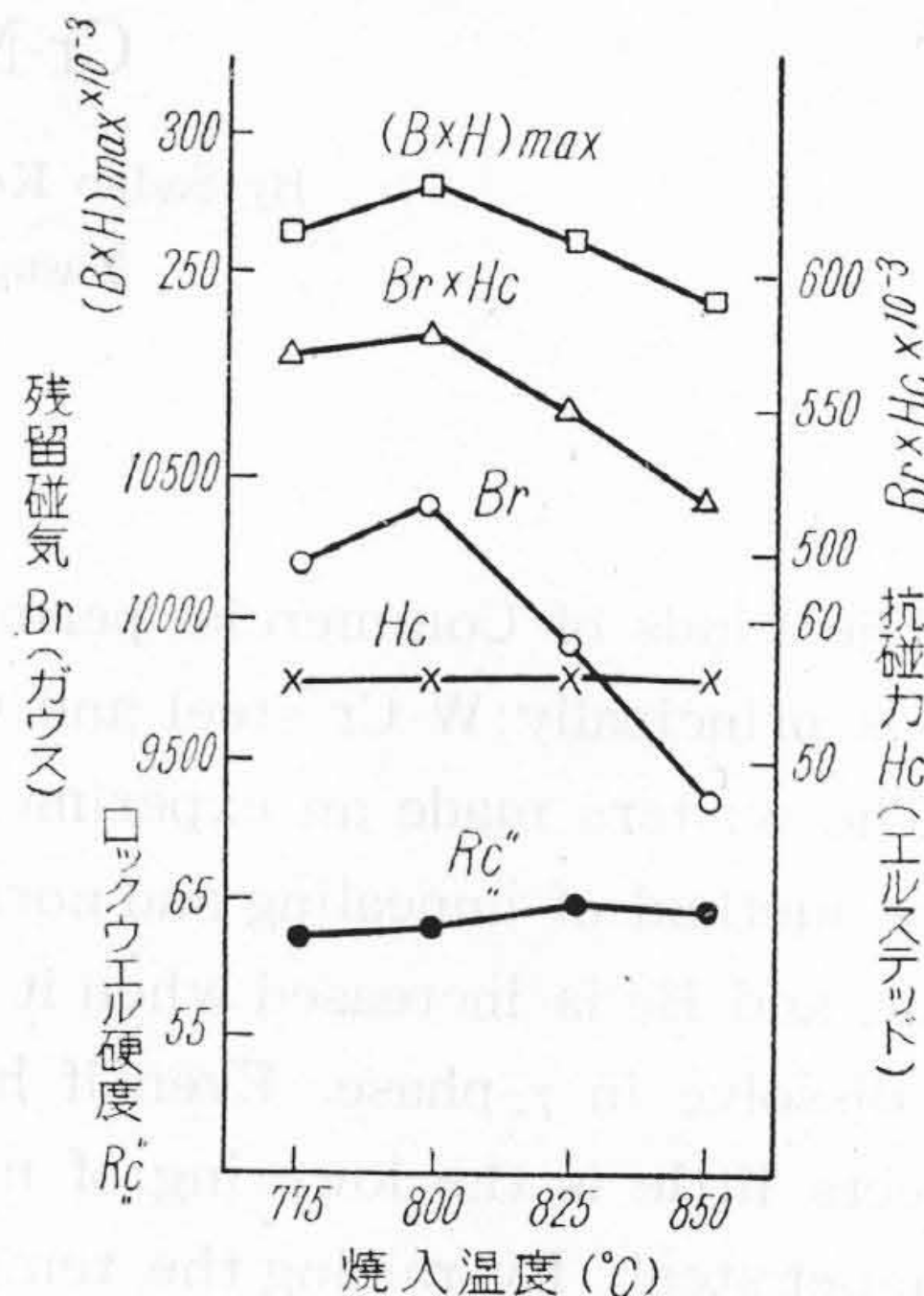
Cr 磁石鋼の焼入は水及び油が用いられるが、油焼入したものは水焼入したものよりオーステナイトの量が多く、これにより抗磁力 Hc を大きくし、磁氣的に良好な成績を示すことが Mathews によつて示されている<sup>(3)</sup>。

第 3 表 焼鈍方法と磁氣的性質  
Table 3 Magnetic Properties Due to Annealing Method.

焼鈍方法	焼入焼戻方法	ロックウェル硬度	磁 氣 的 性 質			
			Br(ガウス)	Hc(エルステッド)	(Br×Hc)×10 <sup>-3</sup>	(B×H) <sub>max</sub> ×10 <sup>-3</sup>
(A) 730°C×30分 空 冷	(i)	63.8	9900	52.0	514.4	265.0
	(ii)	62.4	8300	61.0	506.0	241.1
(B) 820°C×30分 爐 冷	(i)	63.3	9900	51.0	504.8	259.7
	(ii)	62.0	8400	57.0	478.7	233.2
(C) 900°C×10分 後 357°C×30分 空 冷	(i)	63.5	9200	59.0	542.6	274.2
	(ii)	62.6	7840	58.0	454.6	216.0
(D) 900°C 10分 後 650°C×30分 空 冷	(i)	63.6	9900	56.0	554.1	281.4
	(ii)	62.9	8200	56.5	463.0	218.4

註 焼入焼戻方法 (i) 825°C×10分 油焼入 100°C×10時間焼戻  
(ii) 860°C×10分 200°C 油中焼入 2時間保持空冷 100°C×2時間焼戻

亦本鋼種は自硬性が大なる故空気焼入が出来、油焼入に較べて Hc が大なる傾向にあるが、磁氣的性質は劣る。<sup>(4)</sup>よつて本実験に於ては油焼入のみを行うことにした。その結果は第 2 圖に示した。但し焼入温度に於ける保持時間は 10 分間とした。普通 Cr 磁石鋼は 900°C 邊までは焼入温度の上昇と共に Hc を増し、残留磁氣 Br を減

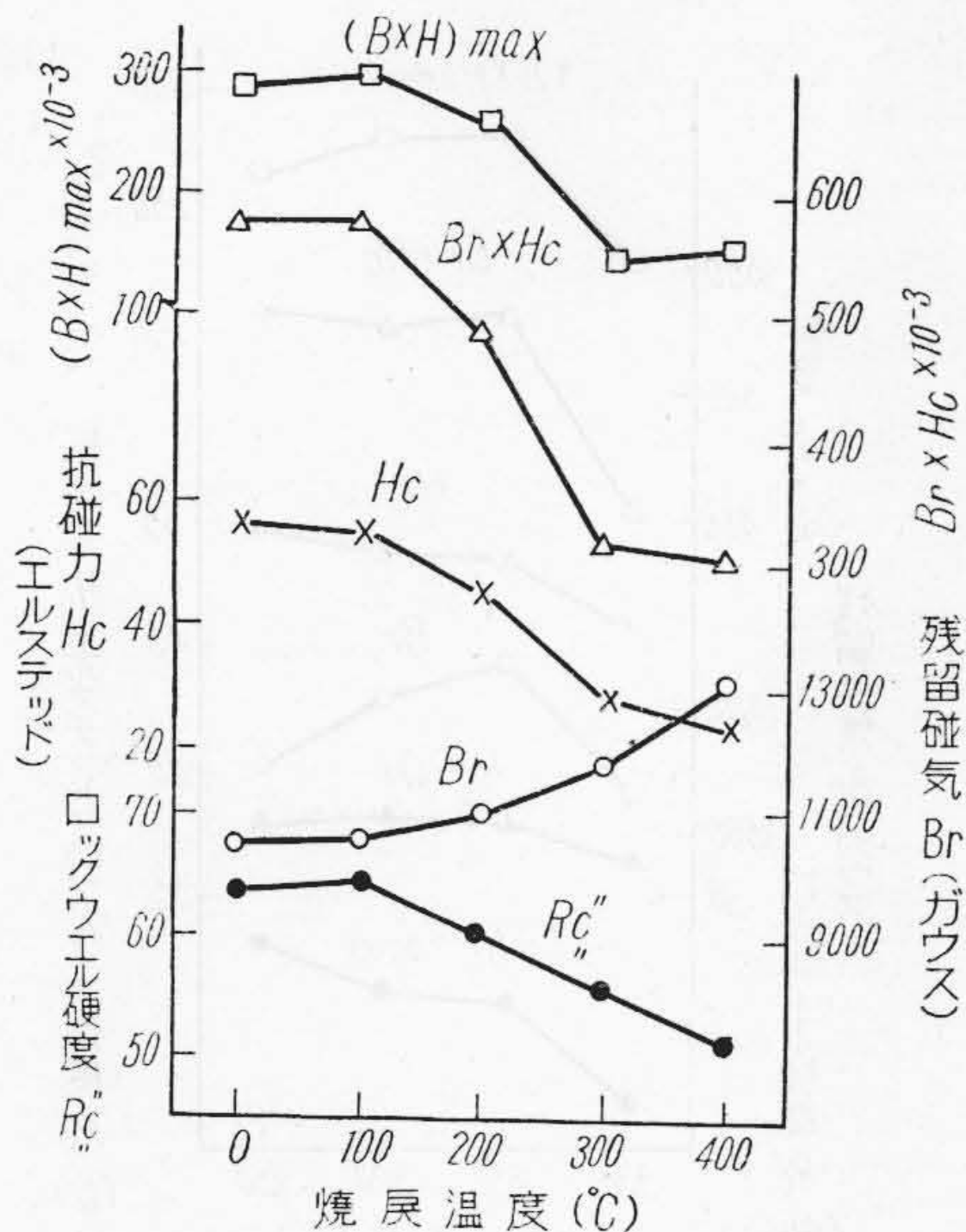


第 2 圖 焼入温度の影響  
Fig. 2 Effect of the Oil Quenching Temperature on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.

少するが、本 Cr-Mn 磁石鋼は焼入温度により Hc に殆ど差が無く、Br は 800°C に於て最高を示す。800°C 油焼入を行つた試料の焼戻温度による磁氣的性質の變化は第 3 圖に示した。焼戻温度 100°C の場合は、Br×Hc

が減少せず (B×H)<sub>max</sub> が寧ろ僅かに増大するが、200°C 以上特に 300°C に於て磁氣的性質は急に低下する。400°C に於ては、Br×Hc 及び (B×H)<sub>max</sub> の値は略一定する傾向にある。結果は省略したが、焼入温度の影響は、焼戻温度 200°C までには明らかに認め



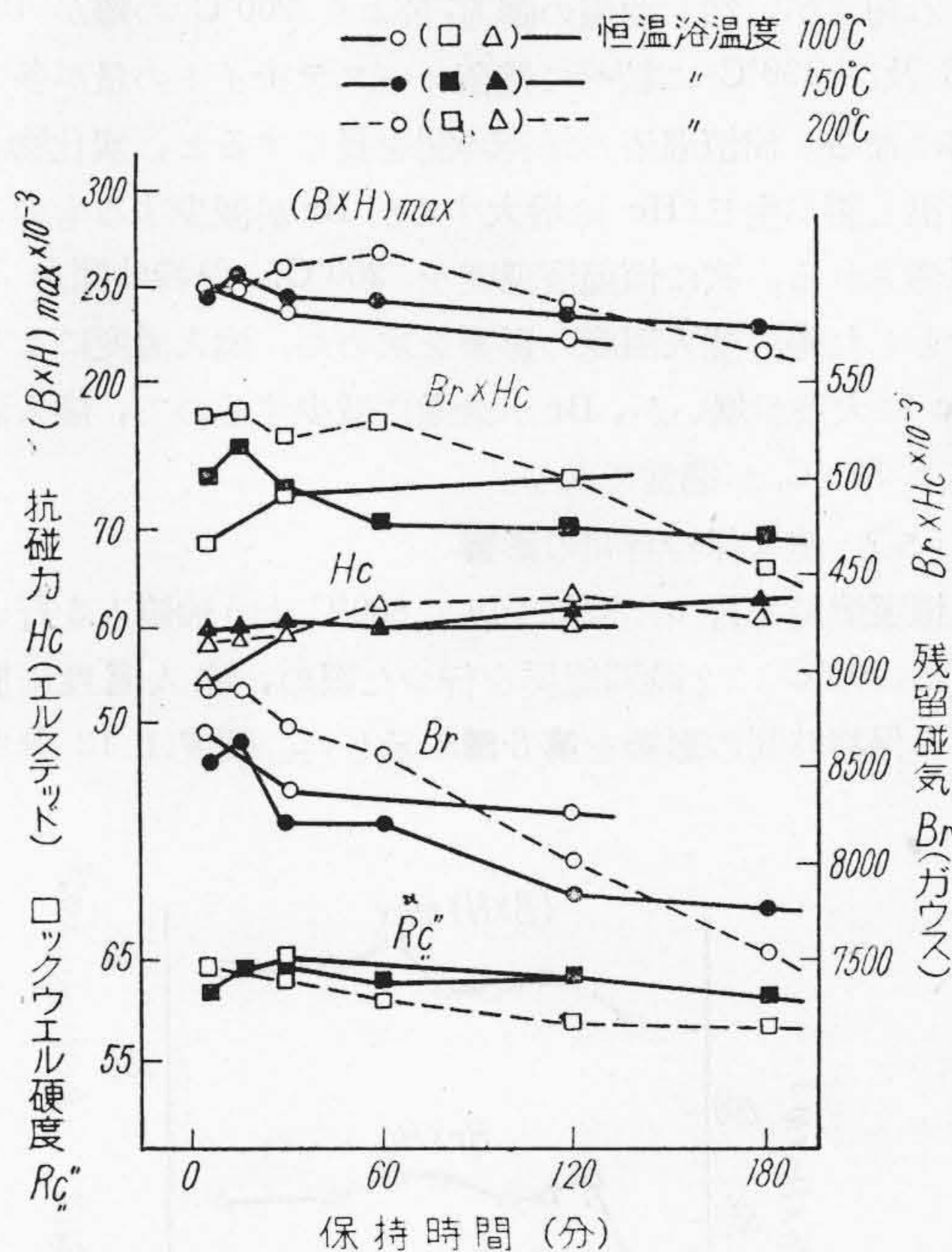


第3圖 焼戻温度の影響  
Fig. 3 Effect of the Tempering Temperature on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.

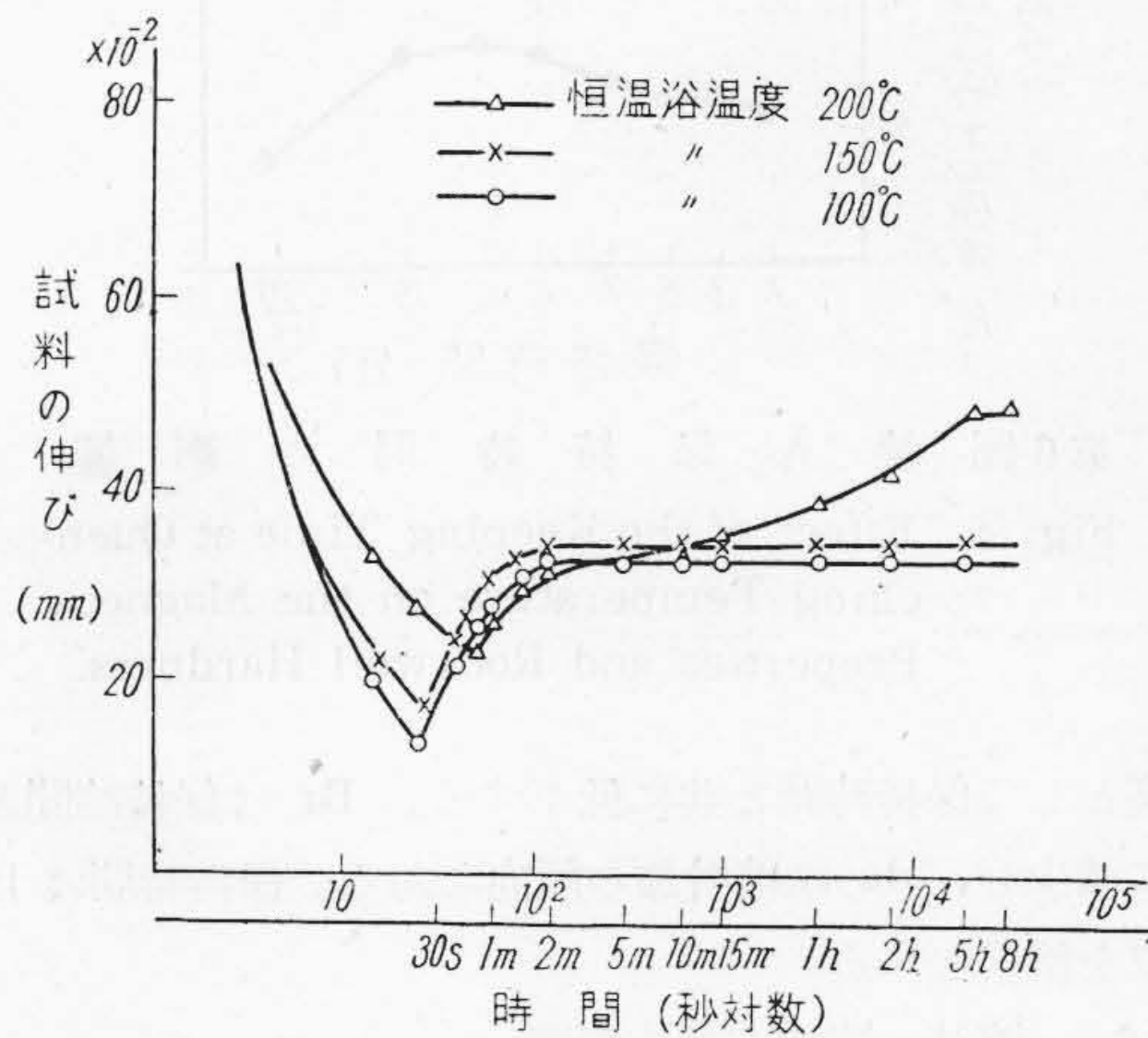
られるが 300°C 以上は餘り變らない。

(4) 恒温浴焼入

焼入の際生ずる焼割防止の爲焼入油の温度を上げる所謂恒温浴焼入を行うと、磁氣的に好結果が得られる場合がある<sup>(5)</sup>。よつて低温焼鈍を行つた試料を以て、860°Cの焼入温度<sup>(2)</sup>より 100, 150 及び 200°C の恒温浴に焼入を行い、5~180 分間保持空冷を行い恒温浴温度及び保持時間の影響を求めた。その結果は第4圖に示した。但し 100°C に2時間焼戻を行つた。各温度共保持時間が長くなると  $Br$  は減少し、 $Hc$  が稍増加する。而して恒温浴温度 200°C, 保持時間 10~60 分に於て最高の成績を示す。小野氏等の求めた Cr-Mn 鋼 ( $C=0.78$   $Mn=0.78$   $Cr=3.01$ ) の S 曲線によると變態完了時間は 100°C : 36 分, 150°C : 28 分, 200°C : 180 分であるが<sup>(6)</sup> 特に恒温浴温度 200°C に於ては、保持時間1時間に於て  $Br$ ,  $Hc$  共に極小になり、それ以上保持時間を長くすると  $Br$  が増加すると述べて居り、本實驗結果と稍異なる。但し小野氏等は、恒温浴に保持後水冷を行つたものであり、試料の成分にも相當の差異がある。よつてこれ等の差異を考察する爲、100, 150 及び 200°C に於ける恒温變態速度曲線を求めた。其の結果を第5圖に示した。100°C 及び 150°C に於ては變態の開始は、25~30 秒、終了時間は約2分で大差が無い。200°C に於ては開始は約 50 秒であるが終了時間は明らかでなく、約2分までは 100°C 及び 150°C の場合と大差の無い膨脹を示すが



第4圖 恒温浴温度及び保持時間の影響  
Fig. 4 Effect of the Keeping Time and Bath Temperature of Isothermal Treatment on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.



第5圖 恒温變態速度曲線  
Fig. 5 The Curve of Isothermal Transformation Velocity.

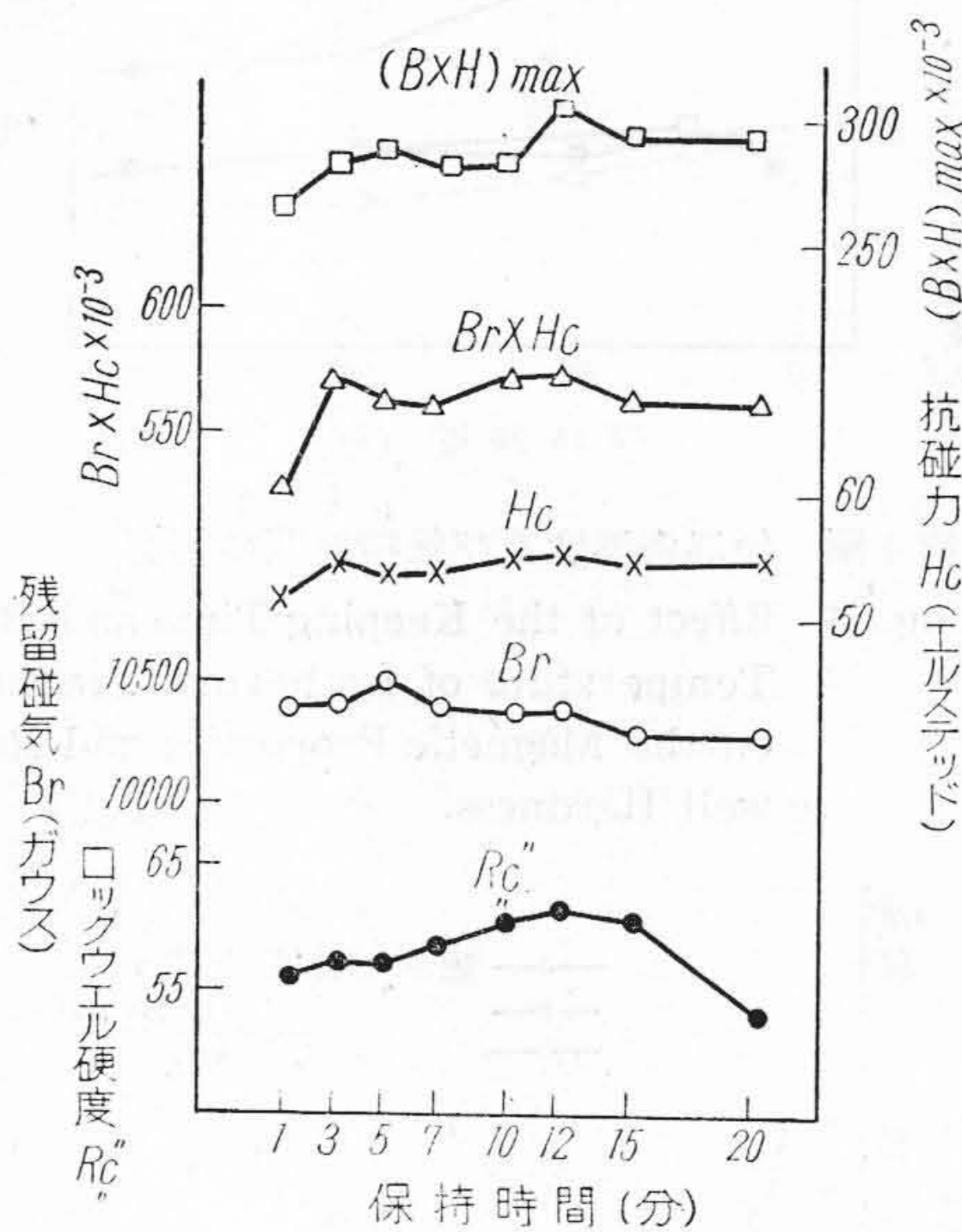
2分以上約5時間まで緩慢な膨脹を示す。此の様な傾向は W-Cr 鋼に於ても現われる<sup>(7)</sup>。その理由は明らかで無いが、オーステナイトよりマルテンサイトへの膨脹と  $\alpha$  マルテンサイトより  $\beta$  マルテンサイトへの收縮が同時に起つて膨脹が緩慢になるものと思考



され得るが、然し曲線の膨脹量より 200°C の際が 100°C 及び 150°C に較べて残留オーステナイトの量が多い事になる。尚恒温浴の保持時間を長くすると、炭化物が析出し歪が生じ Hc は増大するが Br が減少するものと思考される。次に恒温浴温度を 200°C、保持時間を 30 分とした際の焼入温度の影響を求めた。焼入温度により Hc に大差が無いが、Br が急激に減少するので、焼入温度は 820°C が適當である。

(5) 焼入保持時間の影響

恒温焼鈍を行つた試料を以て 800°C より油焼入を行い更に 100°C に 2 時間焼戻を行つた際の、焼入温度に於ける保持時間の影響を第 6 圖に示した。硬度は 12 分を



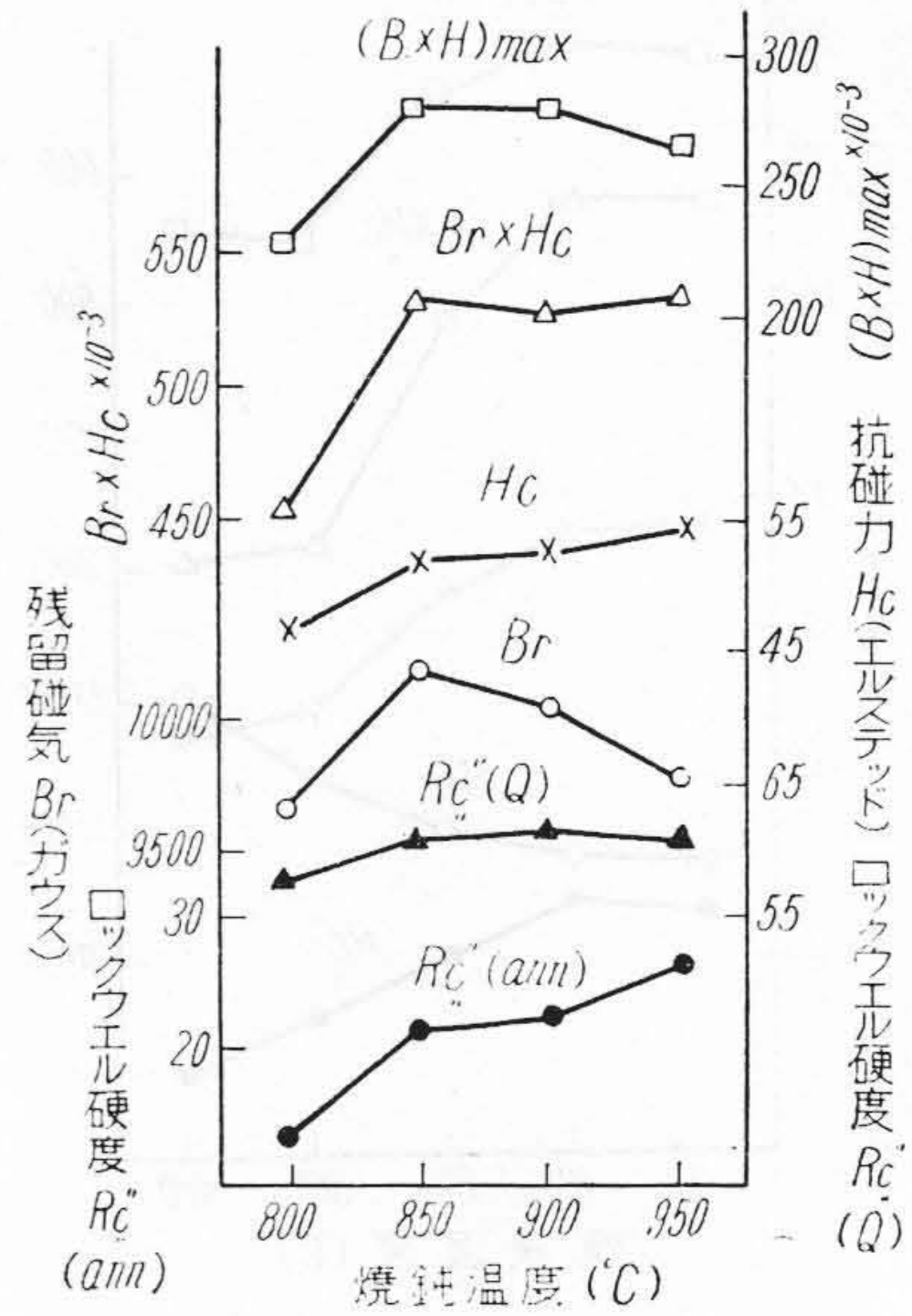
第 6 圖 焼入 保持 時間 の 影響

Fig. 6 Effect of the Keeping Time at Quenching Temperature on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.

最高として保持時間と共に低下する。Br は保持時間と共に減少し、Hc は増加の傾向にある。保持時間は 10 分位を適當とする。

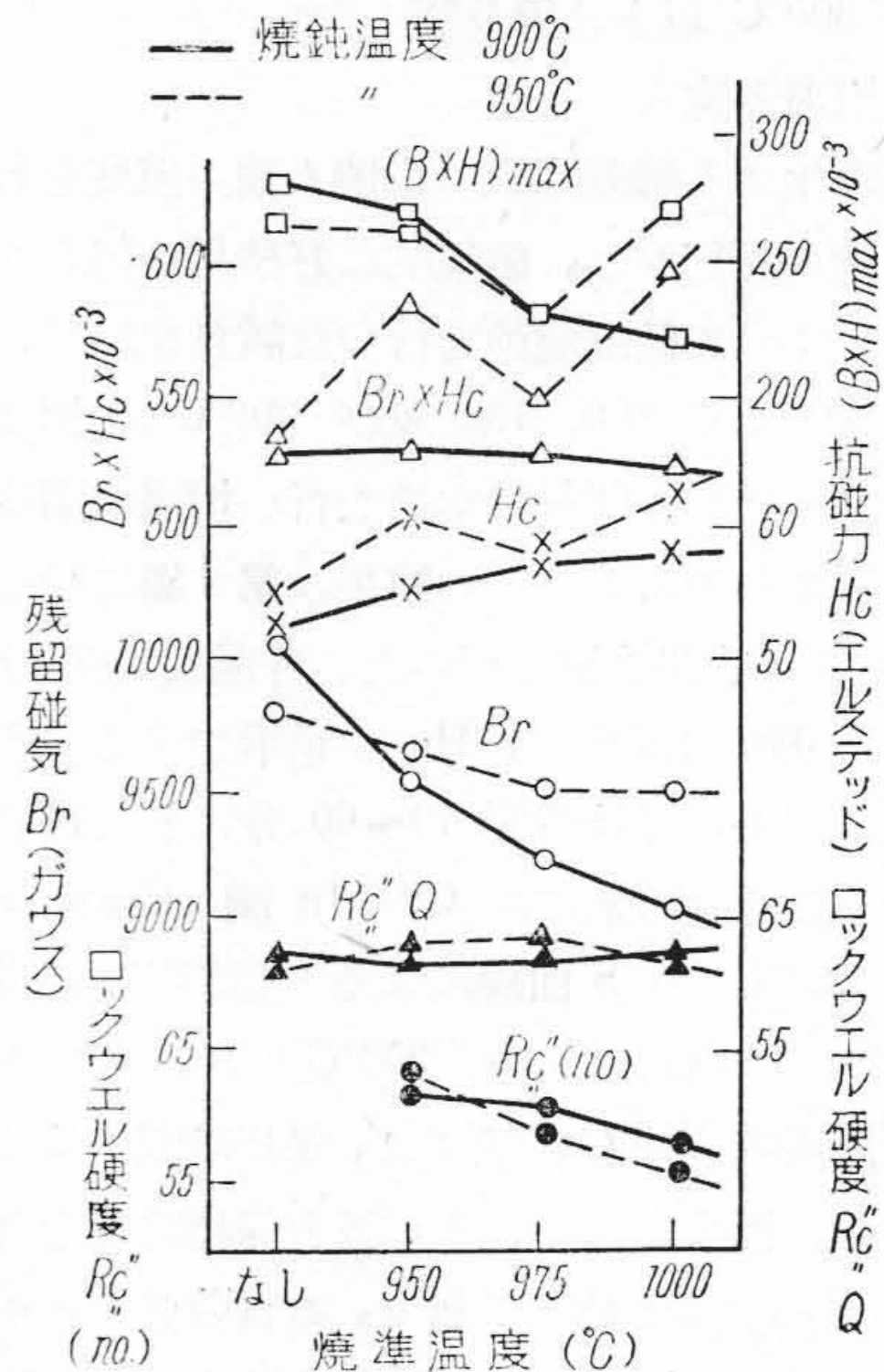
(6) 焼鈍、焼準方法の影響

800°C より油焼入を行い、更に 100°C に 2 時間焼戻を行つた際の焼鈍温度の影響を第 7 圖に示した。總て焼鈍温度に 30 分保持後爐冷を行つたものである。焼鈍硬度は、焼鈍温度の上昇に従つて高くなる。Br は 850°C で最高を示し、Hc は焼鈍温度の上昇と共に大となる。Br x Hc は 850°C 以上にて大差なく、(B x H)max は 850~900°C の焼鈍にて最高を示す。次に 900°C 及び 950°C にて焼鈍を行つた試料を 950, 975 及び 1000°C



第 7 圖 焼 鈍 温 度 の 影 響

Fig. 7 Effect of the Annealing Temperature on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.

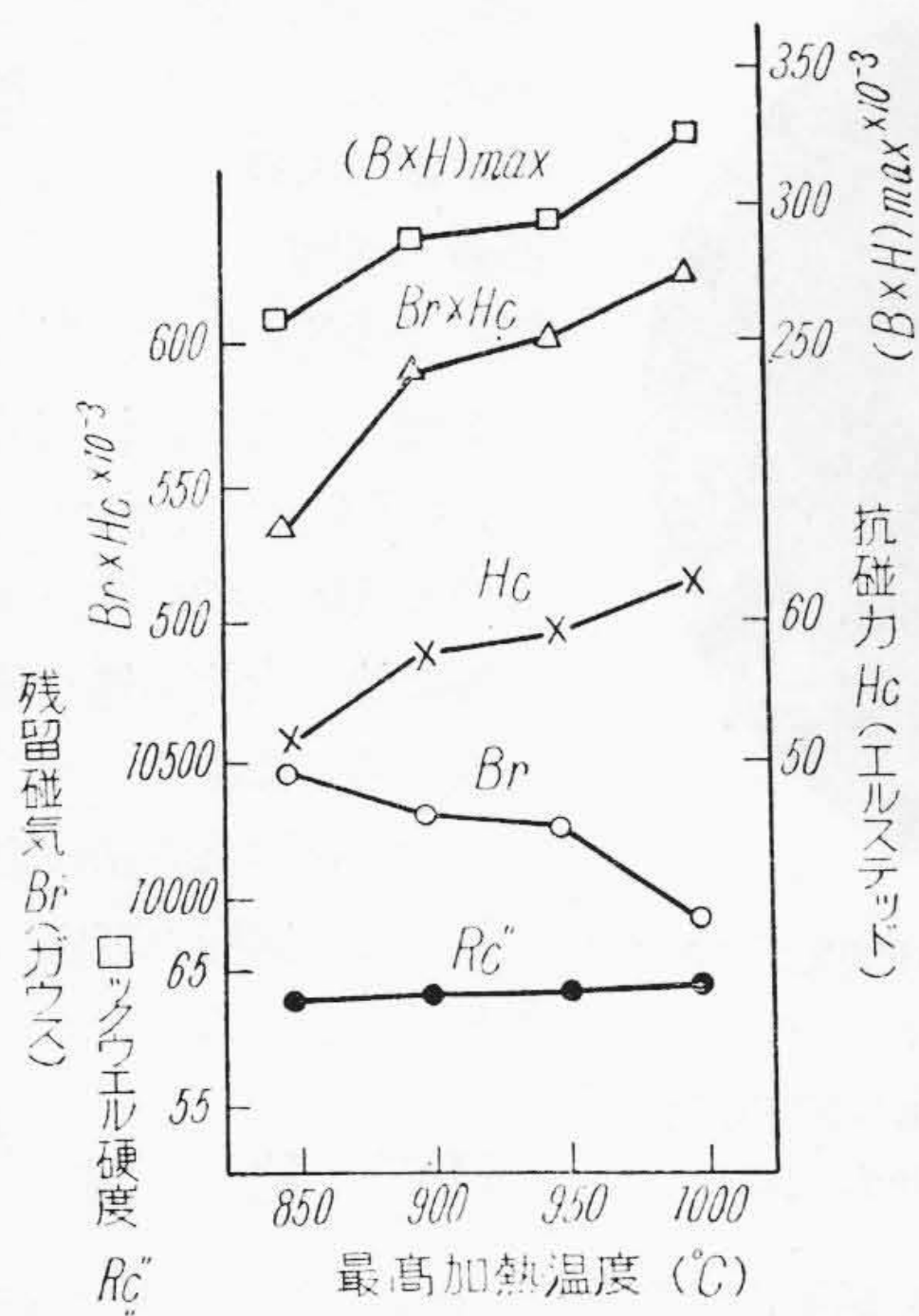


第 8 圖 焼 準 温 度 の 影 響

Fig. 8 Effect of the Normalizing Temperature on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.

の各温度に 10 分保持後空冷をなし、前述と同様の焼入を行い焼準の影響を調べた。其の結果を第 8 圖に示した。焼準硬度及び Br は焼準温度の上昇と共に低下し、Hc は増大する。焼準前の焼鈍は 950°C のものが 900°C





第9圖 最高加熱温度の影響  
Fig. 9 Effect of the Maximum Heating Temperature on the Magnetic Properties and Rockwell Hardness.

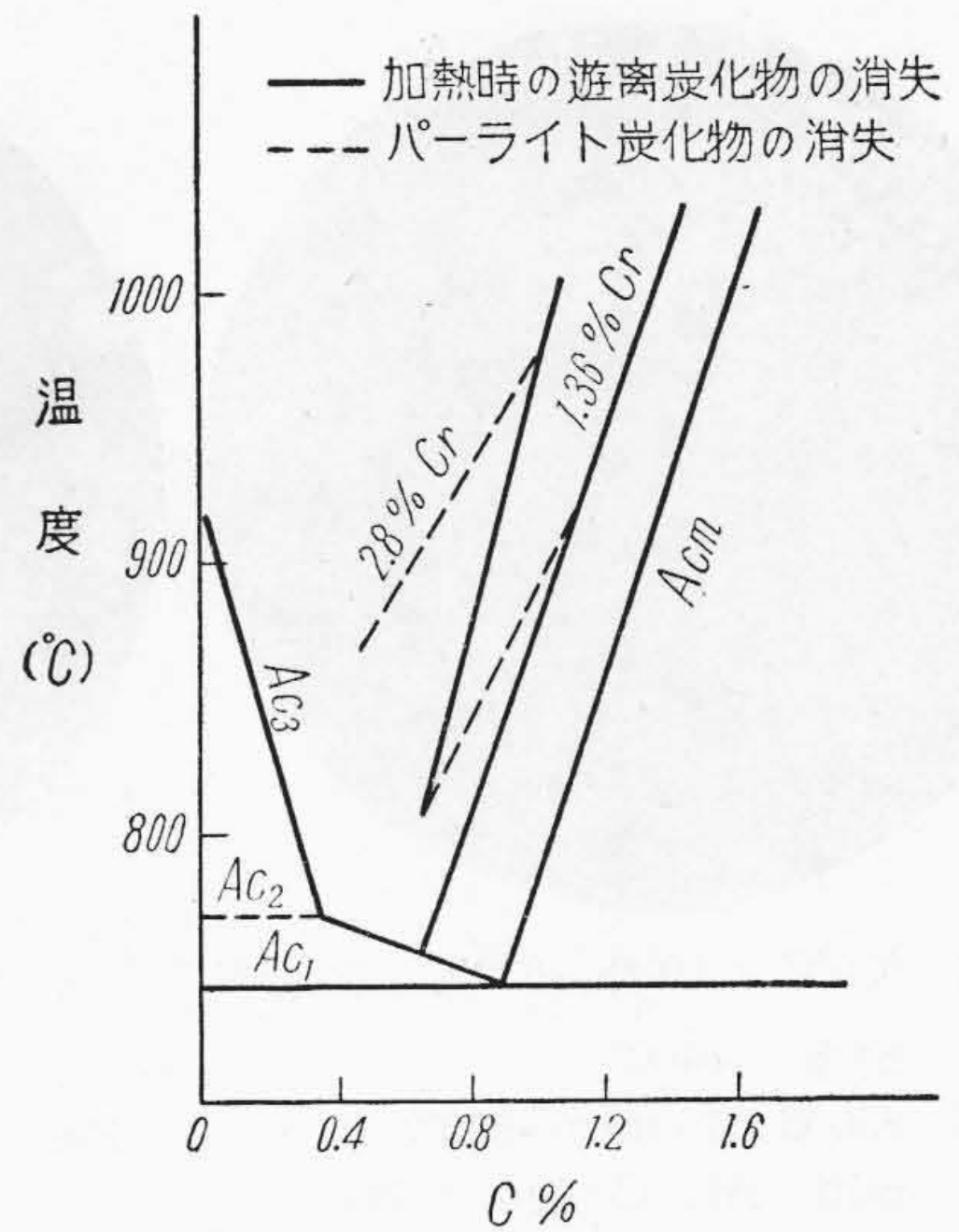
のものより優れた成績を示す。

更に 850~1000°C の最高加熱温度に 10 分保持後 650°C に 30 分保持の恒温焼鈍を行い前述と同様の焼入をなし、最高加熱温度の影響を調べた。其の結果を第9圖に示した。最高加熱温度の上昇と共に Br は減少するが Hc, Br×Hc 及び (B×H)<sub>max</sub> 共に増加する。以上の結果より本鋼種は、従来 Cr 磁石鋼に於て懸念されていた長時間の焼鈍或は冷却の緩徐等により、炭化物の状態が焼入の際固溶するのに極めて困難になり、磁氣的性質特に抗磁力を減少すると云われるのに相反して、焼鈍、焼準温度及び恒温焼鈍の最高加熱温度を高くすると、何れも Hc を増加する。

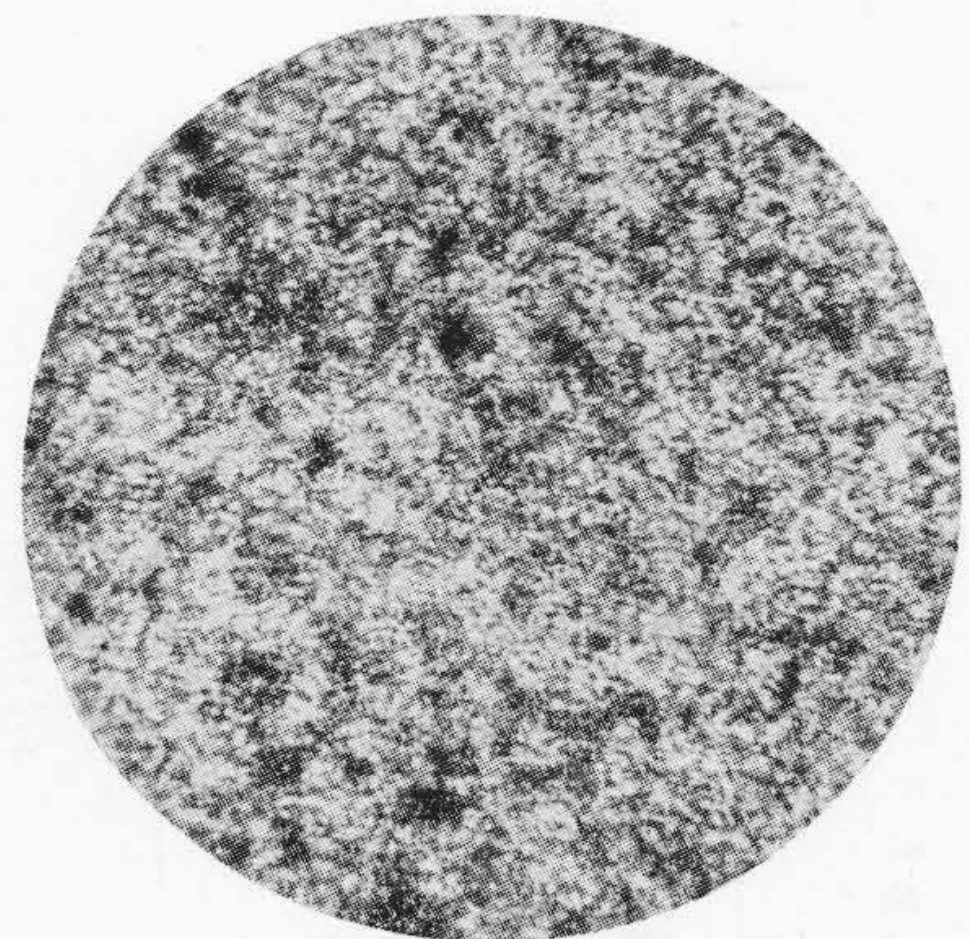
然し本鋼種に於ても炭化物の状況は極めて重要で、焼入前に炭化物を  $\gamma$ -相中に溶解させる必要がある。 $\gamma$ -相中の炭素可溶性に及ぼす Cr の影響に就ての Monypenny 氏の研究結果<sup>(8)</sup>を第10圖に示した。代表的な顕微鏡組織を第11圖~第14圖に示した。焼鈍状態の炭化物は相当微細である。1000°C より焼準を行うと可成り多くのオーステナイトが残留し其の粒界より炭化物の析出が見られる。恒温焼鈍を行つたものは炭化物が稍大で、最高加熱温度 1000°C の際は變態が終了せず A<sub>1</sub> 變態が生じたものと推察される。恒温焼鈍の最高加熱温度を高めることは、焼鈍、焼準温度を高くするのと同効果があり Hc を増すが恒温焼鈍が最も優れる。

(7) 繰返し熱処理の影響

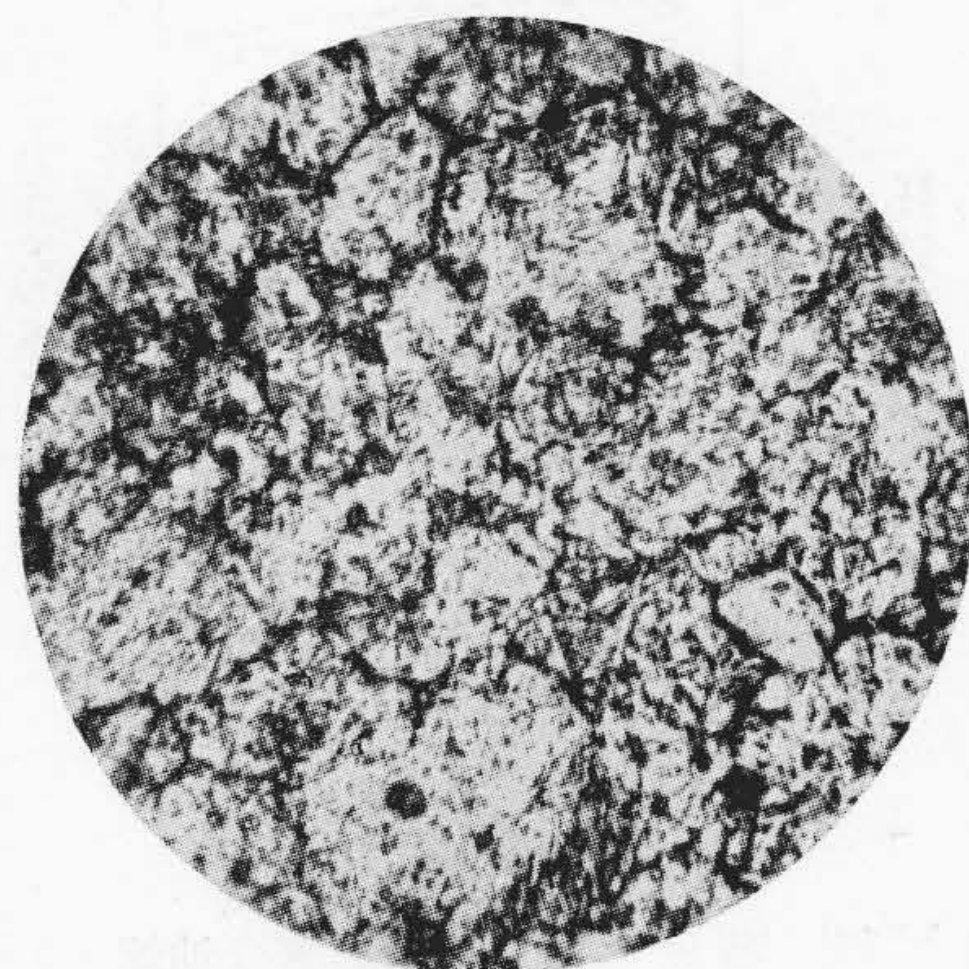
熱処理操作の過りによる磁氣的性質の劣下改善の爲熱



第10圖 セメントタイトの溶解度 (Monypenny)  
Fig. 10 Solubility Curve of Cementite. (Monypenny)

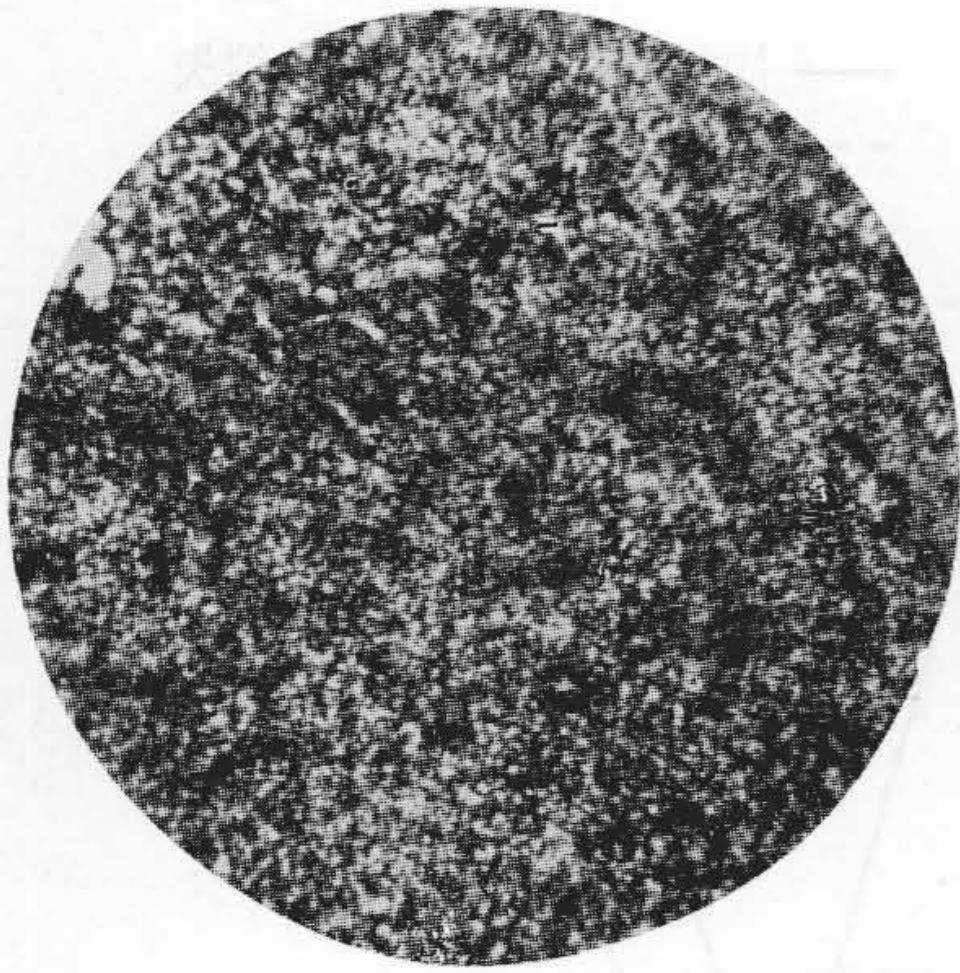


第11圖 850°C×30分爐冷 ×400  
Fig. 11 850°C×30 min. Furnace Cooled. ×400

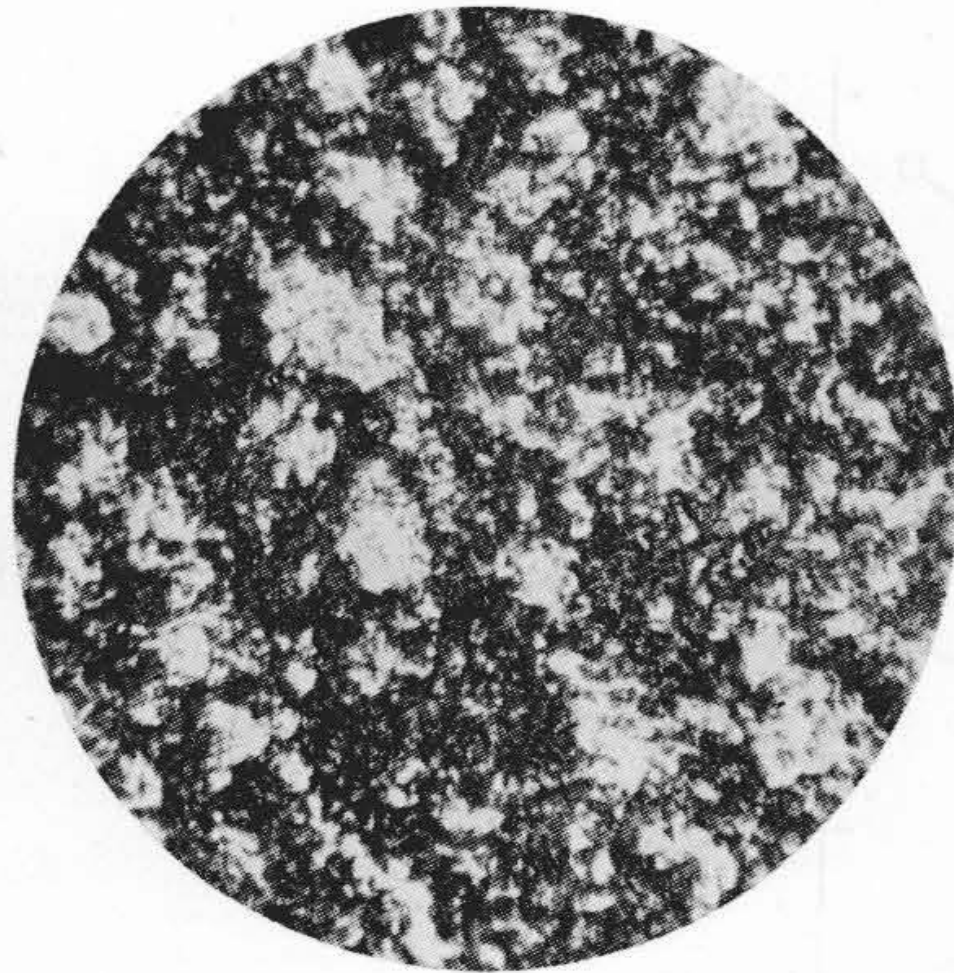


第12圖 950°C×30分爐冷 1000°C×10分空冷 ×400  
Fig. 12 950°C×30 min. Furnace Cooled. 1000°C×10 min. Air Cooled. ×400





第13圖 850°C × 10分 → 630°C × 30分  
空冷 ×400  
Fig. 13 850°C × 10 min → 630°C × 30 min. Air Cooled. ×400



第14圖 1000°C 10分 → 630°C × 30分  
空冷 ×400  
Fig. 14 1000°C × 10 min → 630°C × 30 min. Air Cooled. ×400

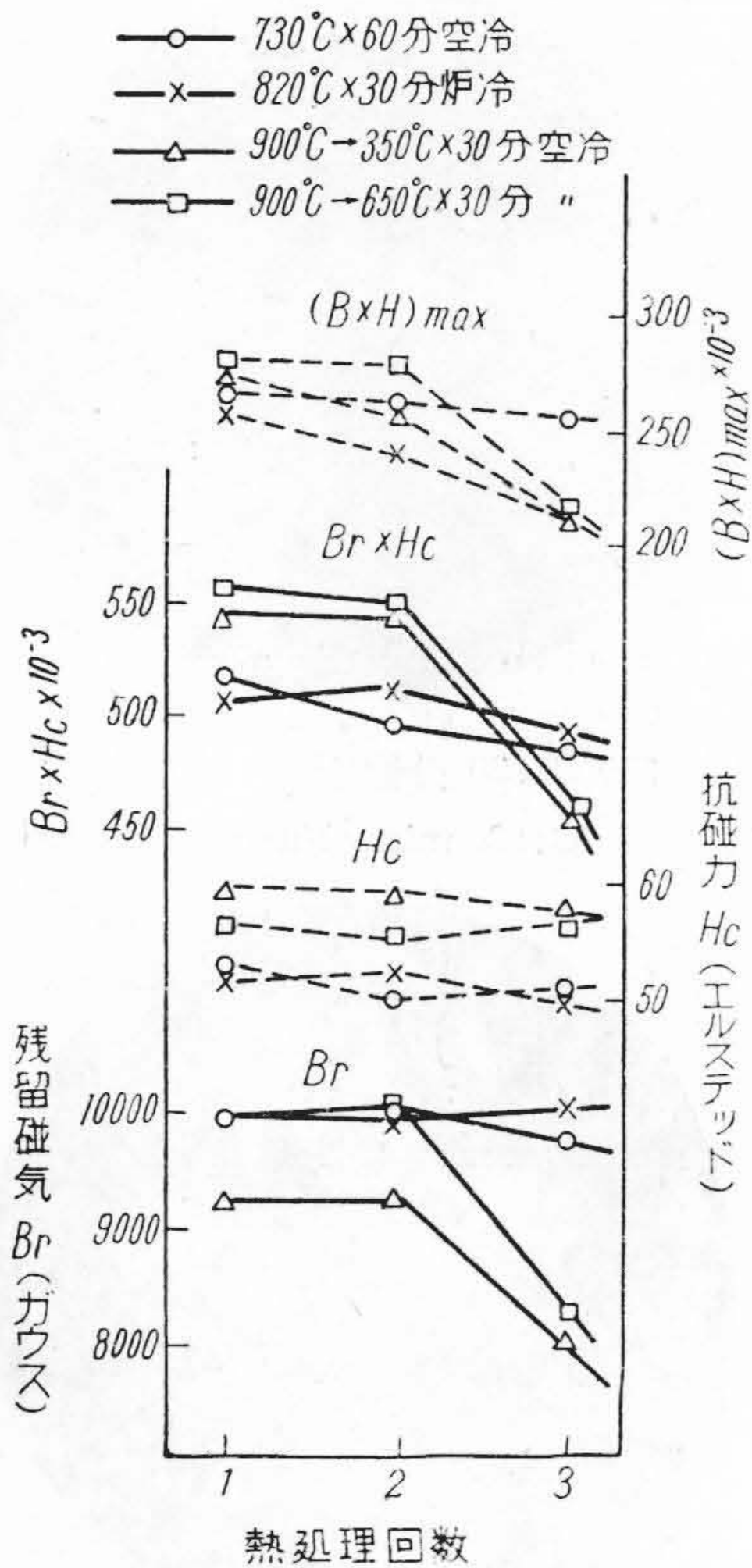
處理を繰返し磁氣的性質の變化を求めた。其の結果は第15圖及び第16圖に示した。熱處理回数が2回のもは何れも寧ろ優秀な成績を示す。熱處理回数が3回になると、恒温焼鈍を行い、825°Cより油焼入を行ったもの、Brが特に劣下する。其の外は餘り大差が無く懸念された程の劣下は認められない。これは焼鈍、焼準方法の影響に於て述べたと同様の理由によるものと思考される。

處理を繰返す事がある。この際 W-Cr 磁石鋼及び Cr 磁石鋼は何れも劣下する。特に Cr 磁石鋼は注意を要すると云われる。よつて同一試料を以て第3表に示した熱

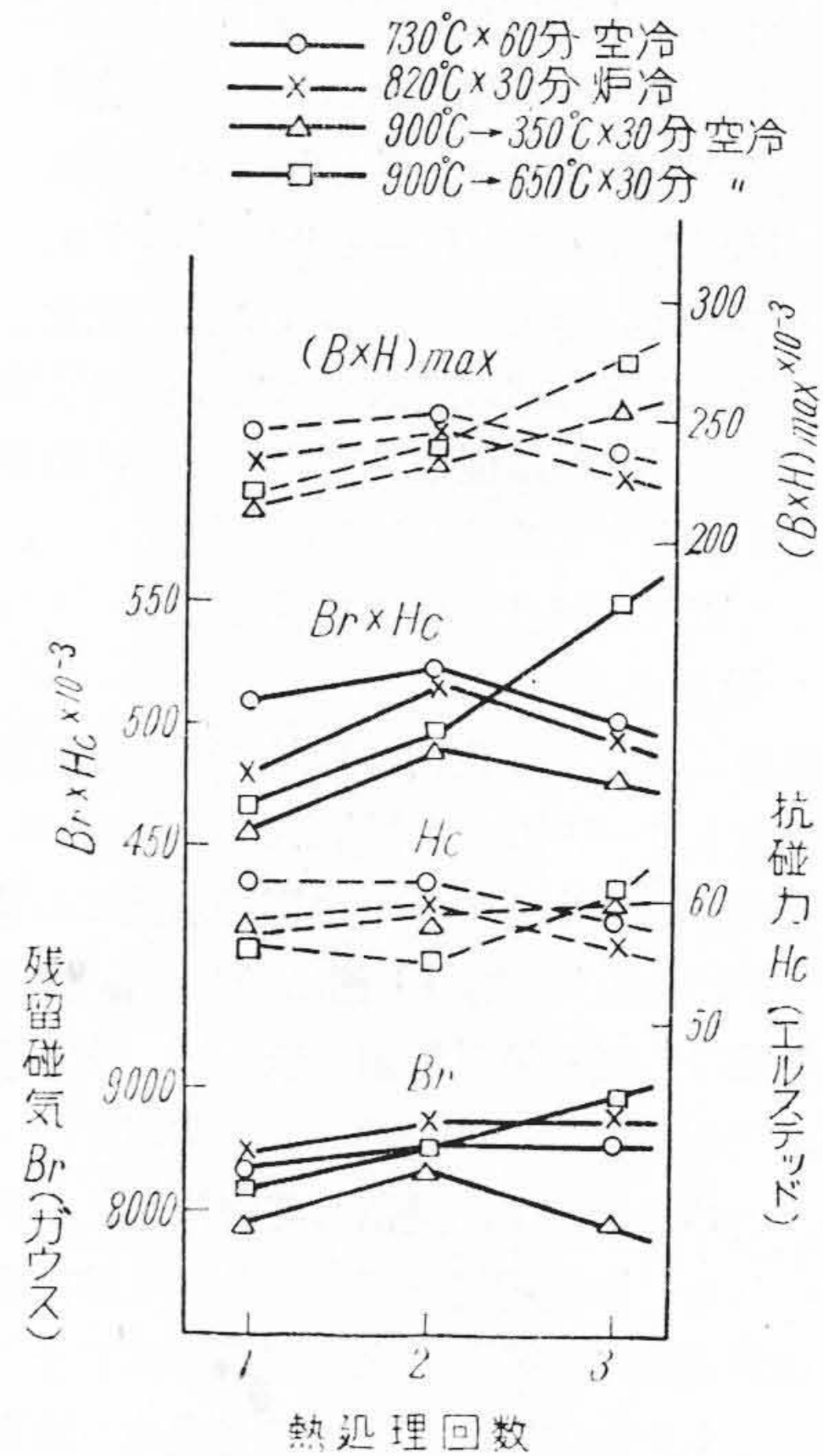
Cr-Mn 磁石鋼の熱處理と磁氣的性質に就て行つた實驗の結果を要約すると次の如くである。

[IV] 結 言

- 1) 本鋼種は焼鈍、焼準方法が最も重要で、恒温焼鈍が最もよく、最高加熱温度は高いほどよい。
- 2) 恒温浴焼入を行つたものは、普通の油焼入を行つたものに較べて Br が低く Hc が高い。而して Br × Hc



第15圖 繰返し熱處理の影響 (油焼入)  
Fig. 15 Effect of the Repeated Heat Treatment on the Magnetic Properties. (Oil Quenched)



第16圖 繰返し熱處理の影響 (恒温浴焼入)  
Fig. 16 Effect of the Repeated Heat Treatment on the Magnetic Properties. (Quenched at 200°C oil)



及び  $(B \times H)_{\max}$  は一般に普通の油焼入を行つたものが優れた値を示す。恒温浴温度は  $200^{\circ}\text{C}$  保持時間は 10~60 分がよい。普通の油焼入は  $800^{\circ}\text{C}$  に 10 分保持焼入が適當である。

3) 焼戻温度を高くすると  $B_r$  は増加し  $H_c$  が減少する。 $B_r \times H_c$  及び  $(B \times H)_{\max}$  は  $200^{\circ}\text{C}$  以上、特に  $300^{\circ}\text{C}$  に於て急激に減少する。

4) 熱処理を繰返しても磁氣的性質は懸念される程減少はしない。

終りに熱心に實驗に従事された花岡正君に感謝する次第である。

#### 参考文献

(1) 根本、八重樫；日研研報第 81 號、(昭 21.9)

(2) 根本、佐々木、八重樫；日研研報第 149 號、(昭 22, 3)

(3) Mathews, J. A. ; Iron Age, 100 (1917), 197~198

(4) 小柴、稻垣、西沼；安來研報第 386 號 (昭 22 6)

(5) 小柴、稻垣、西沼；日本金屬學會誌、13(1949) No. 8. 8

(6) 小野、根本；日立評論、30 (1949), 255.

(7) 小柴、西沼；安來研報第 418 號 (昭 23. 6)

(8) Monypenny J.H.G. ; J. Iron Steel Inst., 101, (1920) 493~525

## 特許紹介

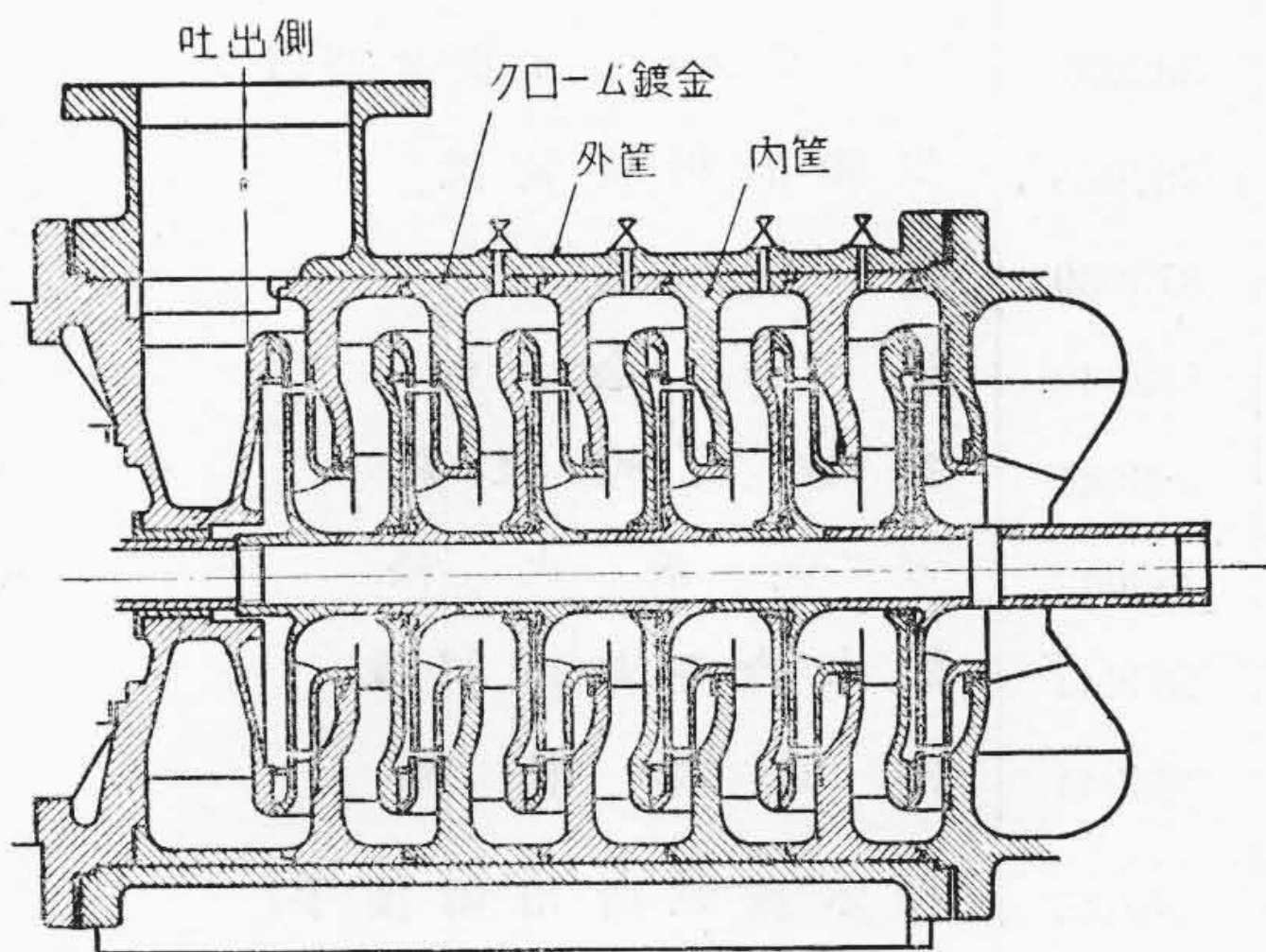
登録新案第 371869 號

原田 武司

### 圓筒形ポンプ

従来圓筒形ポンプは、外筐の内周面と内筐の外周面とが、全面的に接觸しているため、長期間にわたる運轉の結果その接觸部が錆付き、内筐を外筐から分離することが出来なくなる缺點がある。

この考案は、内筐の外周面に防錆鍍金例えばクローム鍍金を施すことにより、錆付きを防止して内筐の拔出を容易にしたものである。(富田)





最近登録された日立製作所の特許及び實用新案(3)

區分	登録番號	名 稱	工場名	氏 名	登録日
實用新案	383026	送受切換用押ボタン開閉器	戸塚	平 岩 久 夫 矢 崎 由 雄	26. 7. 17
//	383027	押ボタン開閉器	//	平 岩 久 夫 矢 崎 由 雄	//
//	383028	誘導環型指向性繼電器	多賀	猿 渡 房 吉 黒 澤 正 次	//
//	383029	繼電器鐵心隈取線輪	日立	白 土 忠 治 島 崎 剛	//
//	383030	隈取線輪取付装置	//	小 川 總 雄 寺 門 光 雄	//
//	383031	隈取線輪の取付装置	//	白 土 忠 治 藤 木 勝 美 泉 千 吉 郎	//
//	383032	抵抗加減装置	//	滑 川 清	//
//	383033	小型變壓器端子設定装置	戸塚	儘 田 信 五 郎 佐 藤 實	//
//	383034	端子盤の絶縁隔壁	龜戸	千 原 錦 吾	//
//	383035	變壓器用端子切換接續装置	//	鬼 頭 國 忠	//
//	383036	油循環式變壓器	日立	寺 島 菊 二	//
//	383037	カーボンパイル抵抗装置	//	田 中 貞 之 助	//
//	383038	炭素推抵抗装置	//	田 中 貞 之 助	//
//	373039	接 續 端 子	龜戸	鬼 頭 國 忠	//
//	383040	端子金具	//	大 西 眞 史	//
//	383041	抵抗入點火栓	多賀	千 田 實	//
//	383042	電氣着火栓	//	千 田 實	//
//	383043	點火栓の封塞装置	//	千 田 實	//
//	383044	點火斷續器	//	龜 田 遠 三	//
//	383045	揚水發電所用軸接手	日立	深 江 栖 俊 一 江 原 良 三	//
//	383046	軸 接 手	//	滑 川 清	//
//	383047	ベルト緊張車	多賀	川 崎 光 彦	//
//	383048	蝶型弁漏水防止装置	//	滑 川 清	//
//	383049	小型電動機用刷子保持装置	//	安 川 昌 平	//
//	383050	點火栓封鎖装置	//	千 田 實	//