

高炭素低クロム鋼の恒温変態図について

小野 健二* 根本 正**

Isothermal Transformation Diagrams of Low Chromium Steels Containing High Carbon

By Kenji Ono, Tadashi Nemoto
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The following isothermal transformation diagrams of low chromium steels, containing high carbon, were drawn after microscopic study, hardness measurement and magnetic analysis. They elucidated the process of isothermal transformation at varying temperatures. The study resulted as follows:

- (1) The isothermal transformation diagrams of varied carbon and chromium contents, shown in Fig. 1~7, were verified.
- (2) In these diagrams two "Noses" of Ar_1 and Ar' transformations are shown at about 600–650°C and 450°C, respectively.
- (3) In pearlite and bainite ranges their carbon and chromium contents affect little the rate of transformation, while in martensite range at 50~150°C the rate is retarded. Also, the temperature for maximum time transform is lowered as carbon content is increased.

[I] 緒 言

高炭素低クロム鋼は鍛鋼ロール、ベアリング、工具或は永久磁石等に適当な熱処理を施し硬化して使用せられるのが普通である。従つて本鋼について変態様相を十分知りおくことは、これらの熱処理を行う上に極めて必要である。よつて著者らはこの種の高炭素低クロム鋼に通常含まれる範囲内で炭素及びクロム量を變化させて7種の鋼を作りそれらの恒温変態図を作成し、熱処理作業に関する基礎を明らかにした。

[II] 恒温変態図

第1圖~第7圖(第6・7頁参照)に本研究の結果得た恒温変態図を示す。最高加熱温度は焼入温度を以てし、但試料 No. 4(第4圖)のみ炭化物の固溶する最低温度を以てした。これらによると何れも 600~650°C (Ar_1) 及び 450°C (Ar') 附近に Nose が現われ、かつ変態速度は炭素及びクロム量によつてやゝ相違し、これらの元素

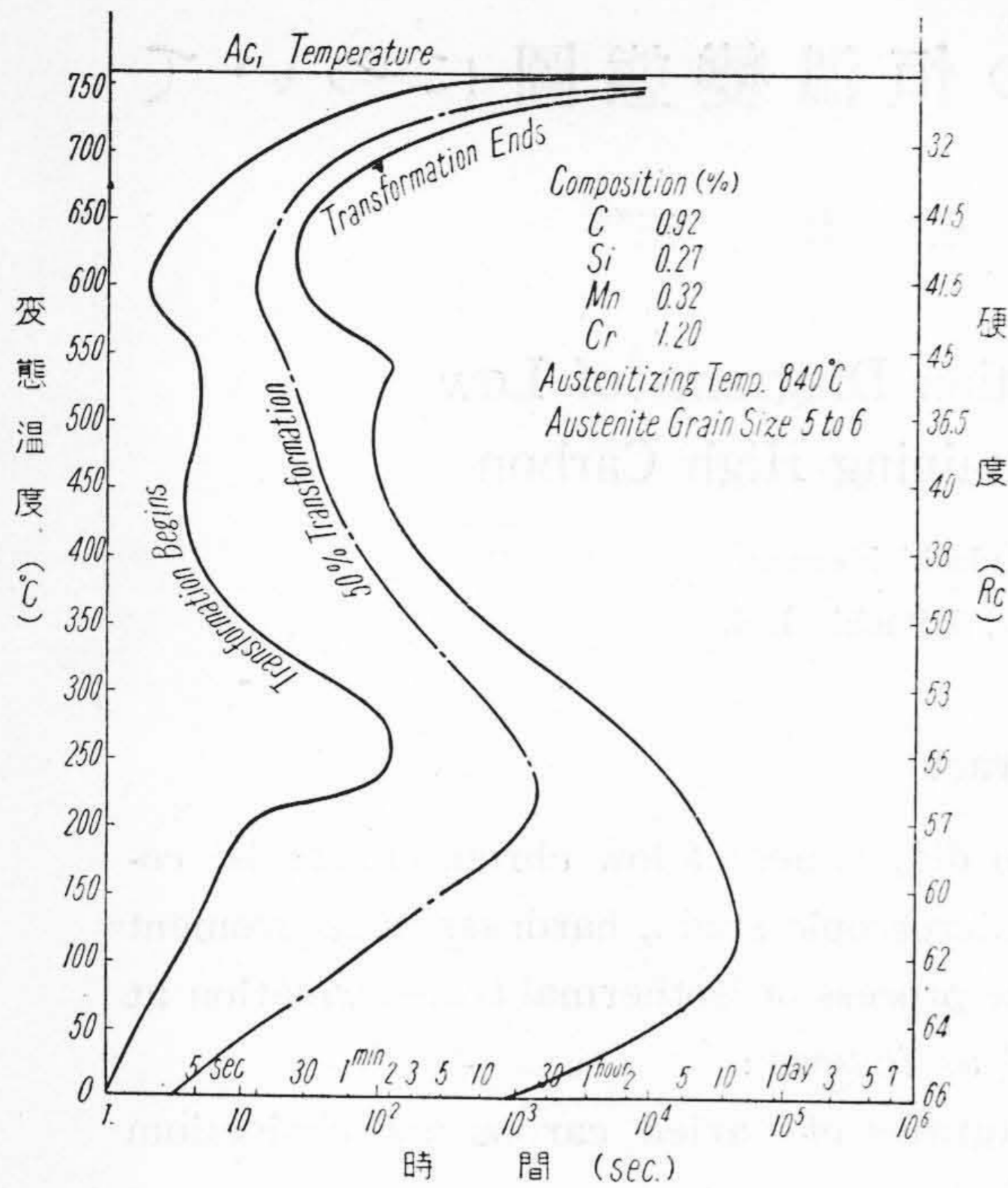
をまずに従つて Ar'' 變態の 50~150°C の範囲に於ける變態の終止は遅れ、變態最大時間は低温側に移り、特に炭素量による影響が甚だしい。以下これら恒温變態圖を得た實驗について記述しよう。

[III] 試 料

電解鐵、低炭素フェロクロム、電解鐵と炭素とを以て
第1表 試料の組成(%)及びオーステナイト結晶粒度
Table 1 Composition (%) and Grain Size of Samples.

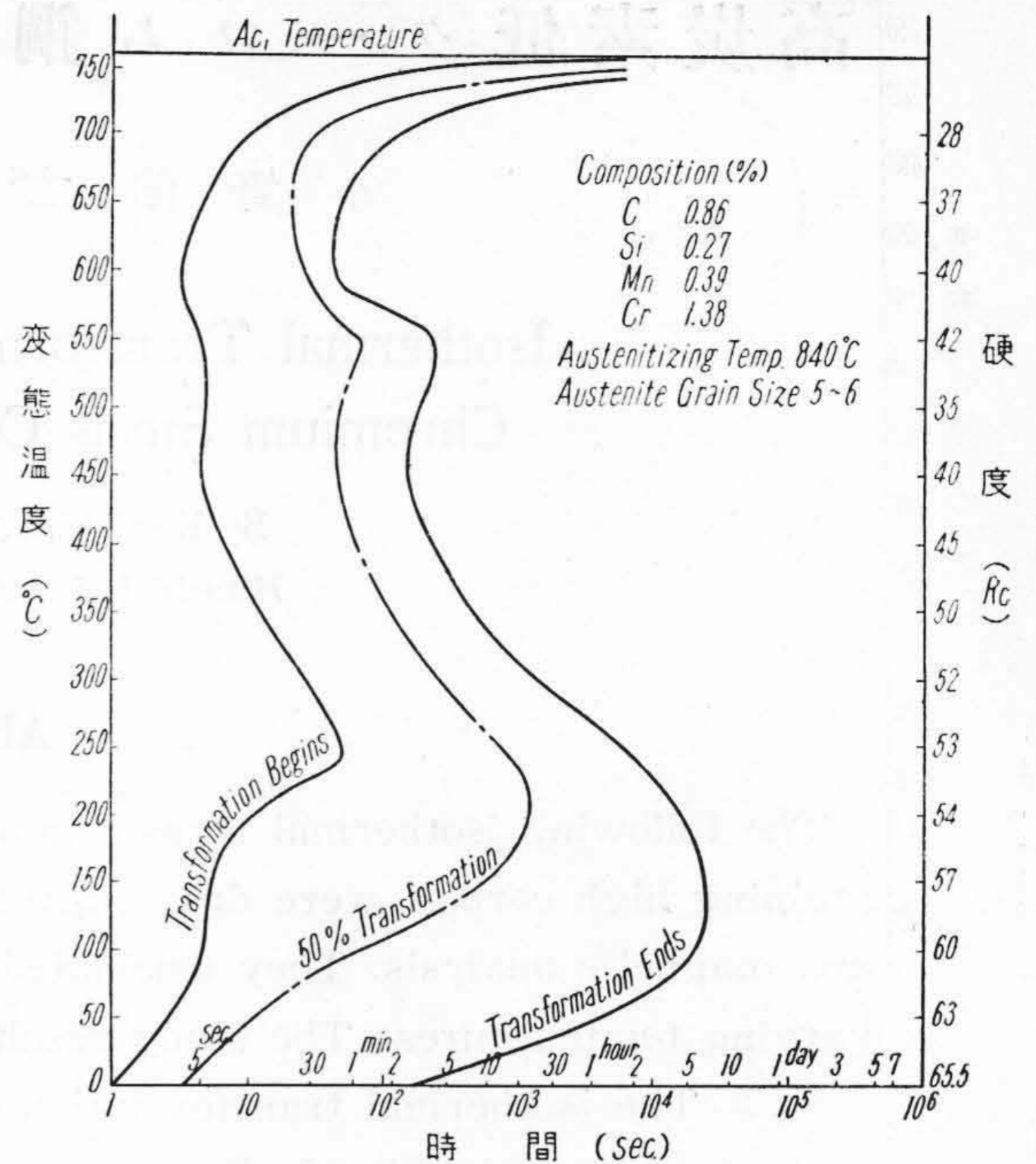
符 號	C	Si	Mn	Cr	オーステナイト結晶粒度
No. 1	0.92	0.27	0.32	1.20	5~6
No. 2	1.06	0.34	0.63	1.28	6
No. 3	0.86	0.27	0.39	1.38	5~6
No. 4	0.91	0.36	0.31	1.66	5~6
No. 5	0.88	0.28	0.38	1.79	5~6
No. 6	1.09	0.46	0.50	1.79	6
No. 7	0.81	0.29	0.50	2.46	5~6

* ** 日立製作所日立研究所



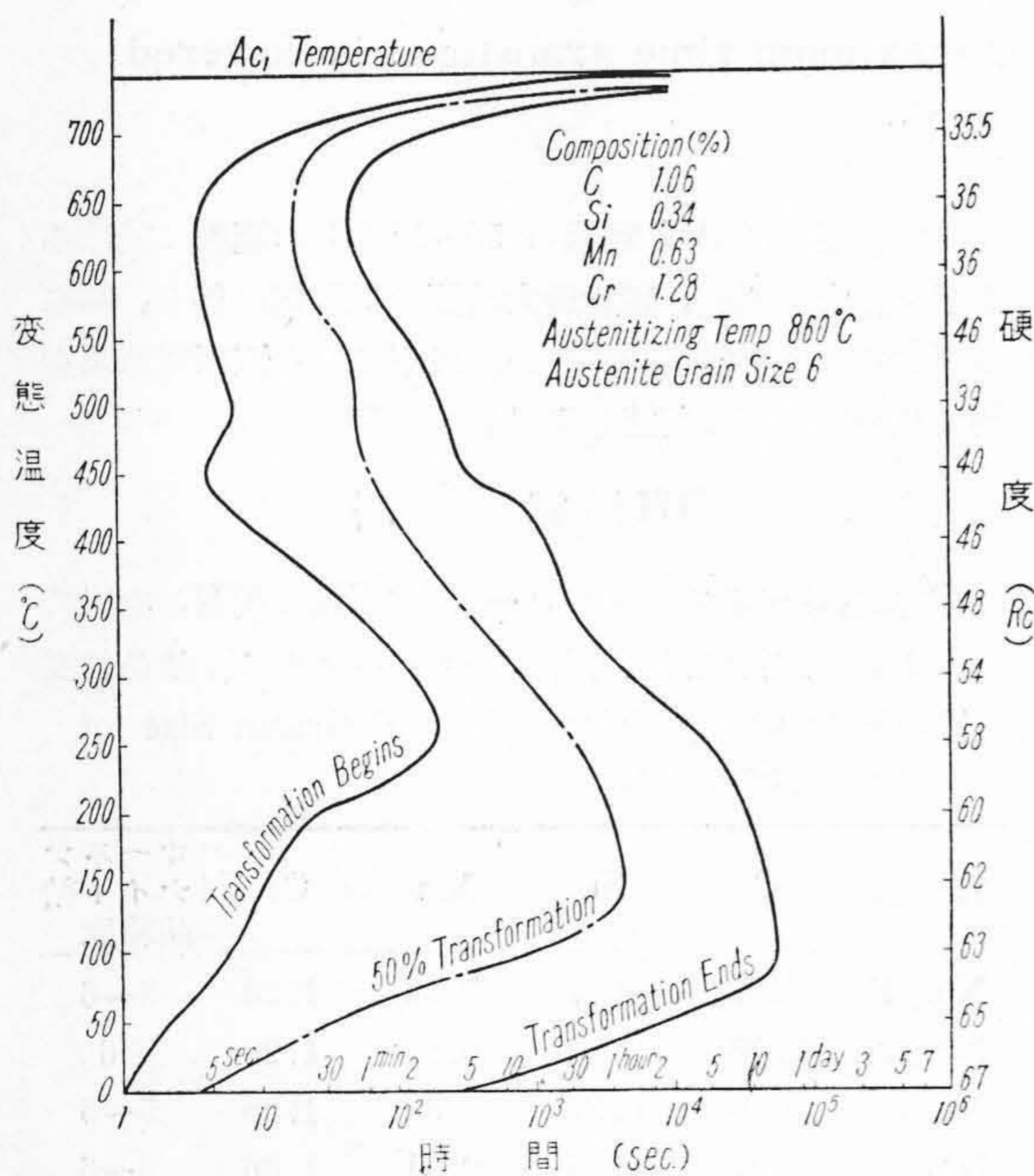
第 1 圖 試料 No. 1 (0.92% C, 1.20% Cr) の
恒溫變態圖、最高加熱溫度 840°C。

Fig. 1 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 1 (0.92% C, 1.20% Cr) Austenitized at 840°C.



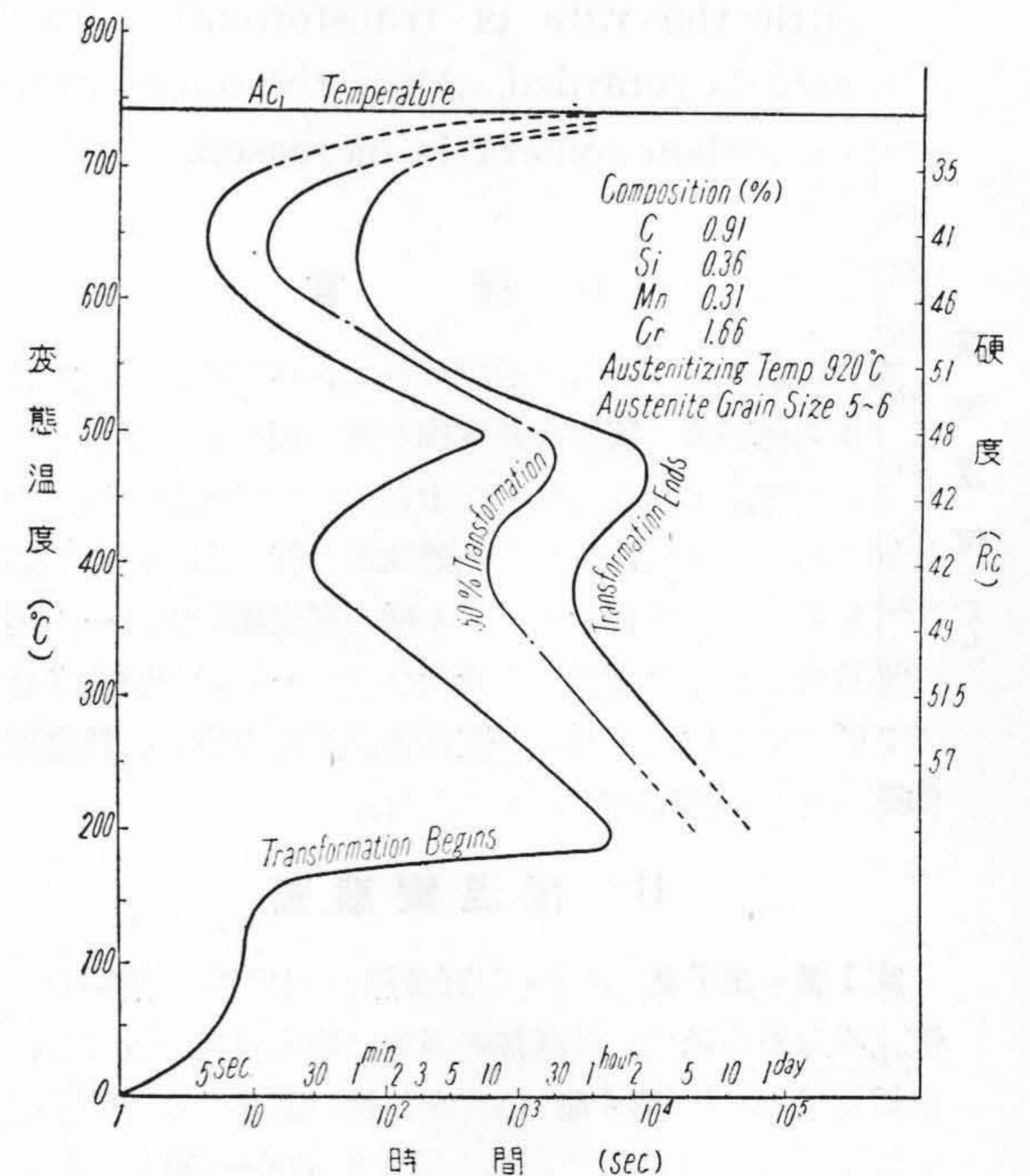
第 3 圖 試料 No. 3 (0.86% C, 1.38% Cr) の
恒溫變態圖、最高加熱溫度 840°C。

Fig. 3 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 3 (0.86% C, 1.38% Cr), Austenitized at 840°C.



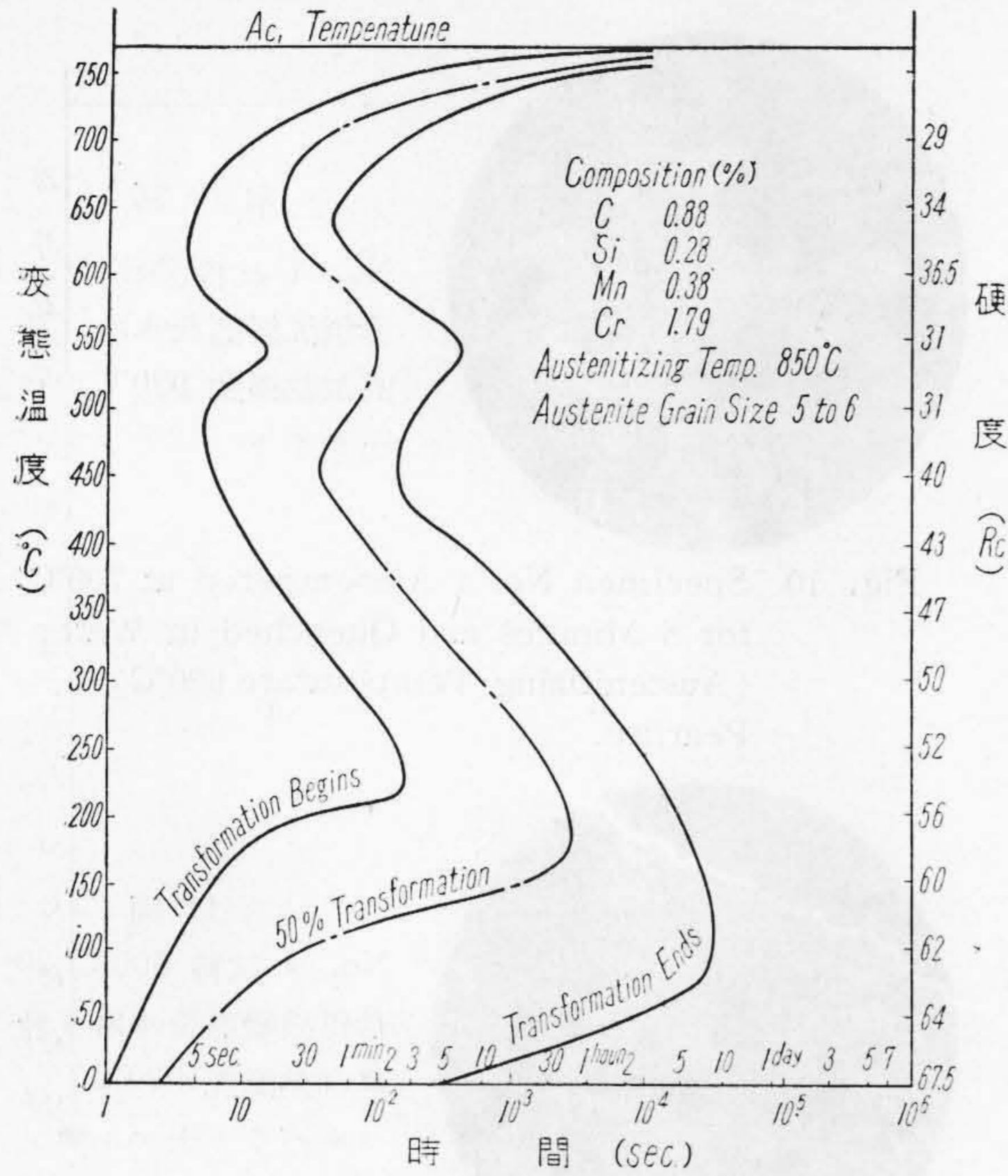
第 2 圖 試料 No. 2 (1.06% C, 1.28% Cr) の
恒溫變態圖、最高加熱溫度 860°C

Fig. 2 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 2 (1.06% C, 1.28% Cr), Austenitized at 860°C.

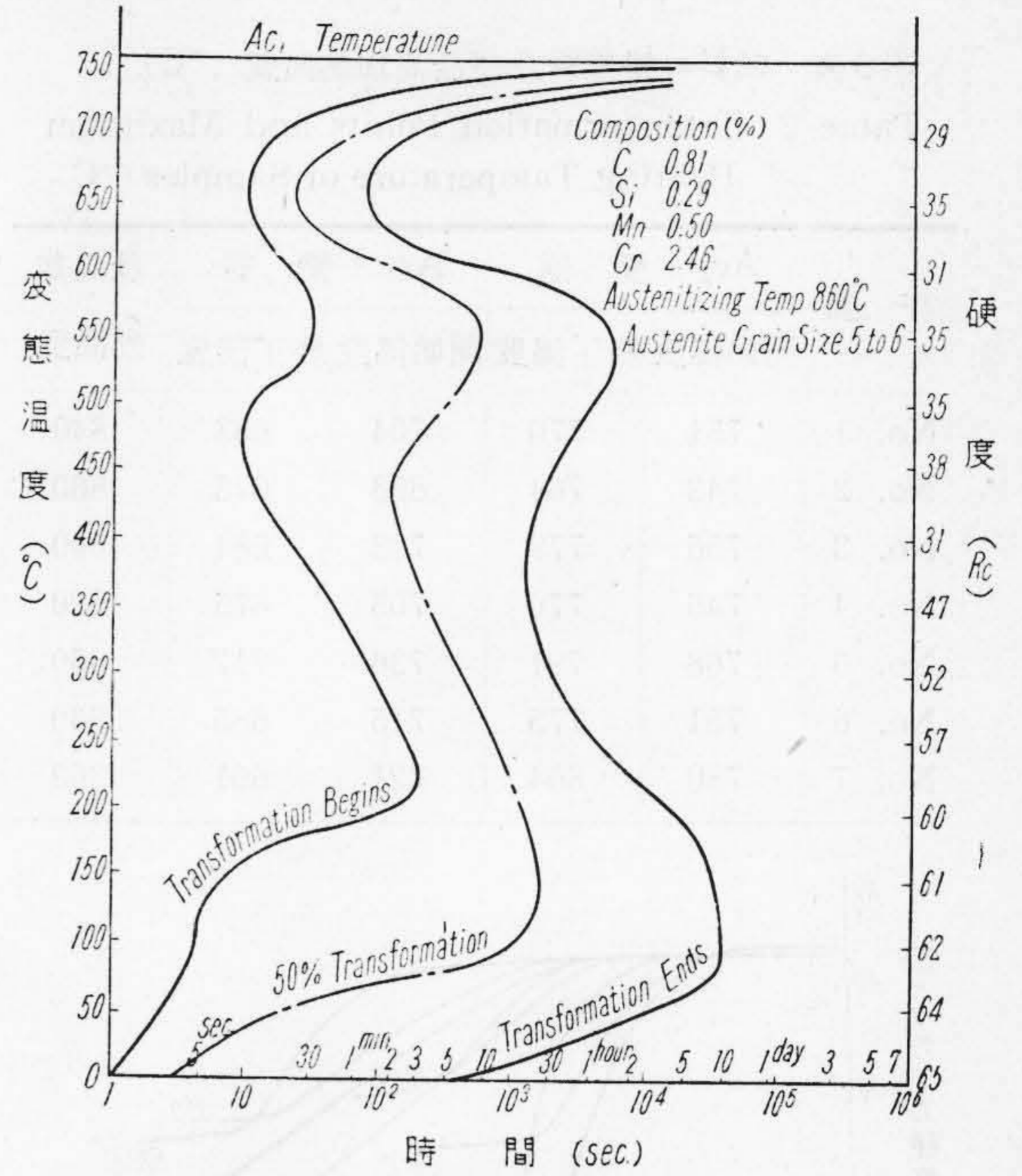


第 4 圖 試料 No. 4 (0.91% C, 1.66% Cr) の
恒溫變態圖、最高加熱溫度 920°C

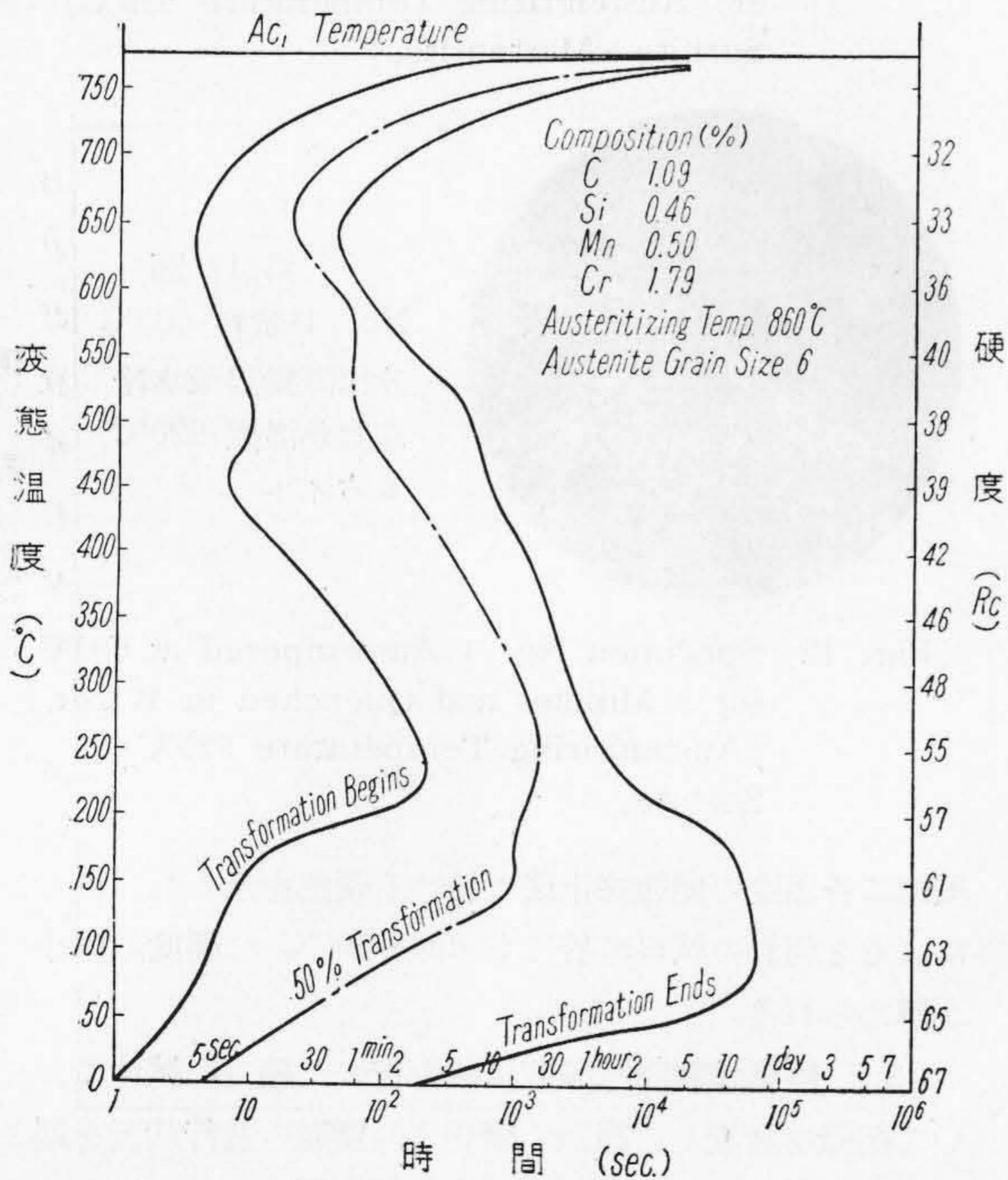
Fig. 4 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 4 (0.91% C, 1.66% Cr), Austenitized at 920°C.



第5圖 試料 No. 5 (0.88% C, 1.79% Cr) の恒温變態圖、最高加熱溫度 850°C。
 Fig. 5 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 5 (0.88% C, 1.79% Cr), Austenitized at 850°C.



第7圖 試料 No. 7 (0.81% C, 2.46% Cr) の恒温變態圖、最高加熱溫度 860°C。
 Fig. 7 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 7 (0.81% C, 2.46% Cr), Austenitized at 860°C.



第6圖 試料 No. 6 (1.09% C, 1.79% Cr) の恒温變態圖、最高加熱溫度 860°C。
 Fig. 6 The Isothermal Transformation Diagram of Specimen No. 6 (1.09% C, 1.79% Cr) Austenitized at 860°C.

熔製した白銑並びに電解マンガンを適當に配合して、C 0.81~1.09%、Cr 1.20~2.46% の範圍で含有する 4.5 kg 鋼塊 7 種を熔製して鍛造後 No. 4 以外の試料は數回變態點の上下に繰返加熱を行い炭化物を球狀化せしめた。第1表は試料の組成と滲炭法によつて決定せられたオーステナイト結晶粒度とを示す。

[IV] 實 験

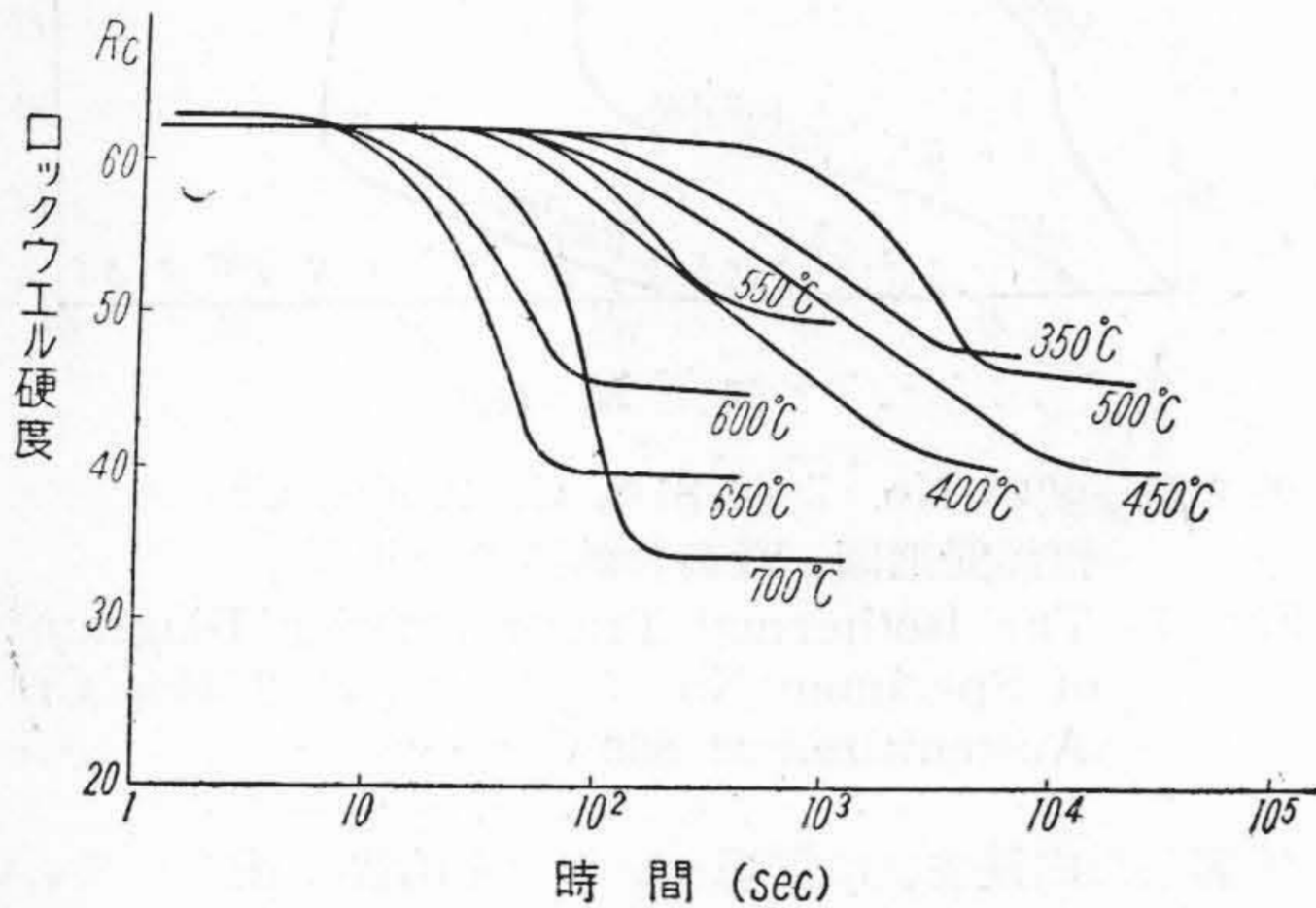
(1) 變態點及び最高加熱溫度 本多式熱膨脹計により變態點を測定した。又 No. 4 以外の試料は 800~950°C の範圍の各種の溫度より油焼入を行い、焼入硬度より適當なる焼入溫度を決定し、この焼入溫度を以て最高焼入溫度とした。No. 4 のみは 800~950°C の各種の溫度より水焼入して (焼入溫度に 10 分間保持)、均一なるマルテンサイトの得られる最低溫度を以て最高加熱溫度とした。第2表に各試料の變態點並びに最高加熱溫度を示す。

(2) 硬度測定 試料總てについてそれぞれ最高加熱溫度に 10 分間保持後 750~300°C の範圍で 50°C おきの各種溫度に保たれた熱浴中に焼入し、一定時間浴中に保持後取出し、直ちに水冷して硬度(ヴィッカース)を測定した。第8圖は試料 No. 4 について各溫度に於ける保持時間と硬度との關係を示す。No. 4 以外の諸試料に

第 2 表 試料の變態點及び最高加熱溫度 (°C)

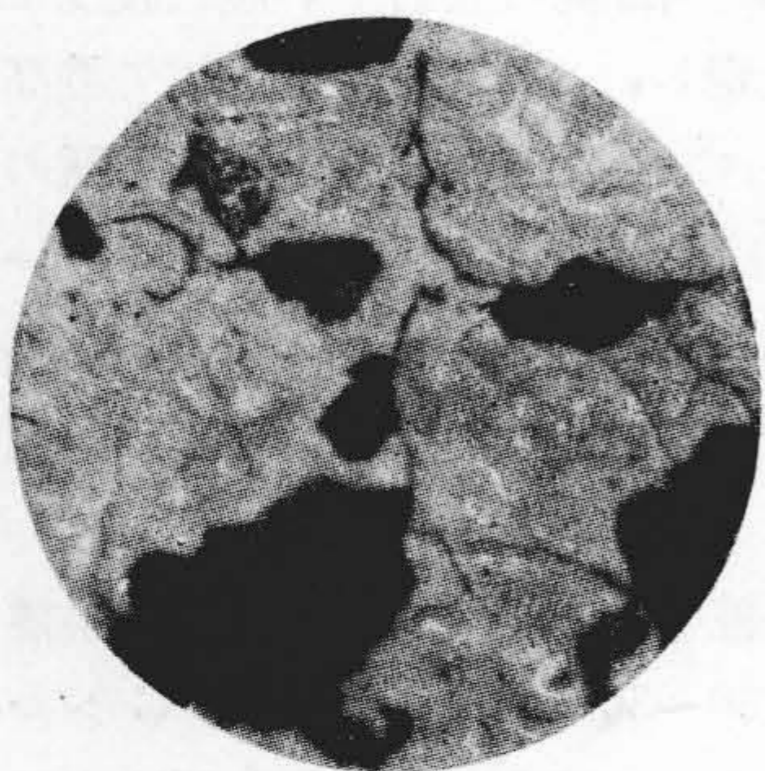
Table 2 Transformation Points and Maximum Heating Temperature of Samples (°C)

符 號	Ac ₁ 變 態		Ar ₁ 變 態		最高加 熱溫度
	開始溫度	終了溫度	開始溫度	終了溫度	
No. 1	751	770	704	683	840
No. 2	743	764	698	673	860
No. 3	756	779	703	684	840
No. 4	745	770	705	675	920
No. 5	768	791	736	717	850
No. 6	751	775	715	685	860
No. 7	780	804	721	691	860



第 8 圖 各溫度に於ける保持時間と硬度との關係
Fig. 8 Relation between Hardness and Keeping Time at Various Temperatures.

つてはこれと時間的の相違が見られるのみで同様の様相を示すので省略した。圖中の硬度變化曲線に於て、硬度の低下は既に變態の開始せられたことを示し、又硬度變化の停止する時間がほぼ變態の終止を示すので、これより各溫度に於ける變態の開始並びに終止時間が大略推定せられる。なお第 1 圖~第 7 圖の恒温變態圖に於て右



第 9 圖
No. 4 試料 700°C 2 分
恒温變態後水冷 (最高
加熱溫度 920°C) パー
ライト+マルテンサイ
ト

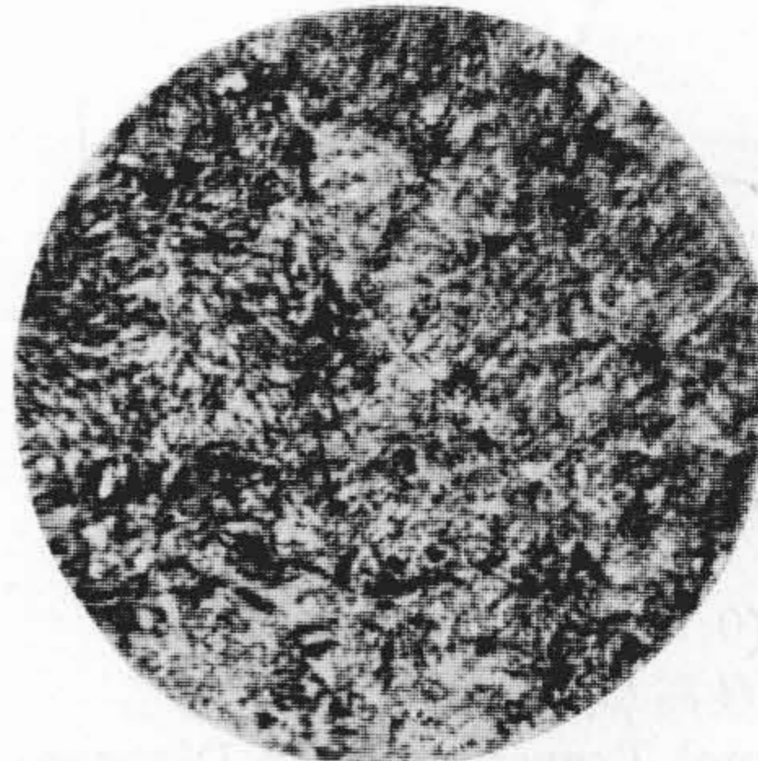
Fig. 9 Specimen No. 4. Austempered at 700°C for 2 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Pearlite+Martensite.



第 10 圖

No. 4 試料 700°C 5
分恒温變態後水冷 (最
高加熱溫度 920°C) パ
ーライト

Fig. 10 Specimen No. 4 Austempered at 700°C for 5 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Pearlite.



第 11 圖

No. 4 試料 600°C 20
秒恒温變態後水冷 (最
高加熱溫度 920°C)
ソルバイト+マルテン
サイト

Fig. 11 Specimen No. 4 Austempered at 600°C for 20 Seconds and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Sorbite+Martensite.



第 12 圖

No. 4 試料 600°C 3
分恒温變態後水冷 (最
高加熱溫度 920°C) ソ
ルバイト

Fig. 12 Specimen No. 4 Austempered at 600°C for 3 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Sorbite.

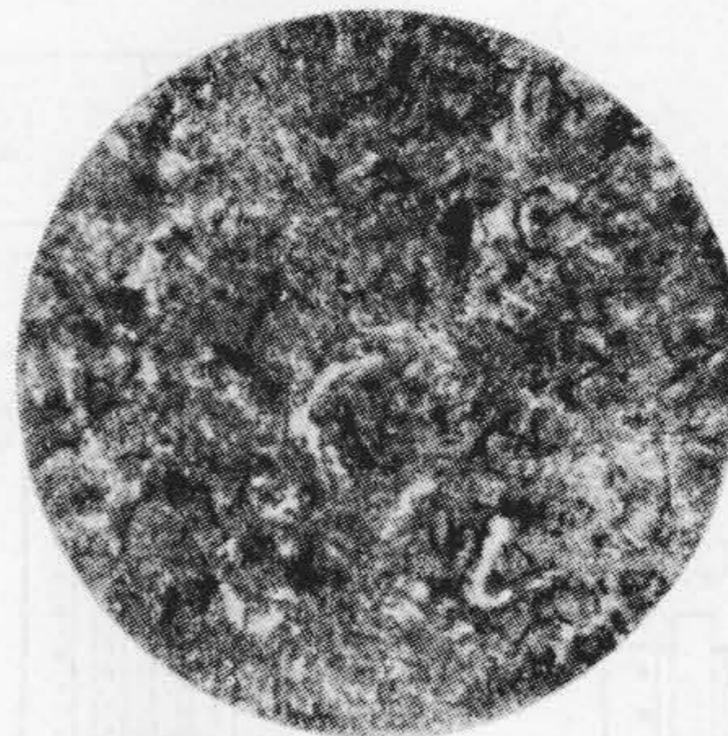
縦軸に各溫度の變態終止後に於ける硬度を示した。これによると何れの試料に於ても 400~500°C に硬度の極小が認められる。

(3) 顯微鏡組織 硬度試験を行つた總ての試片について組織を調査し、組織の變化より變態の進行狀況を觀察した。この方法によると前述の硬度測定による場合よりも更に詳細に變態の進行狀況が知られた。一例として試料 No. 4 の顯微鏡組織を第 9 圖~第 18 圖に示す。何れも倍率 500 倍とし腐蝕液として 10% ピクリン酸、



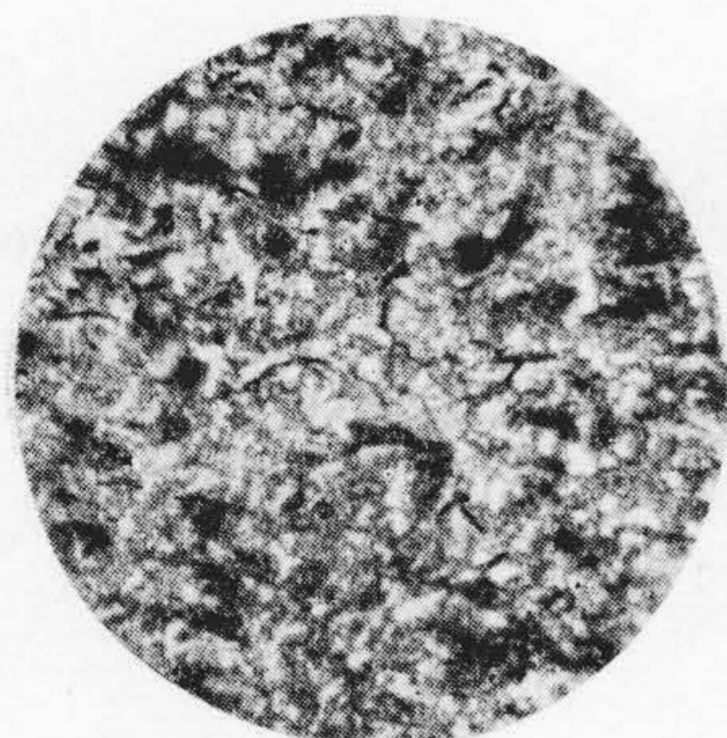
第 13 圖
No. 4 試料 500°C 30 分
恒温変態後水冷 (最高加熱温度 920°C) ソルバイ
トナトルースタイト+マル
テンサイト

Fig. 13 Specimen No. 4 Austempered at 500°C for 30 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Troostite+Martensite.



第 16 圖
No. 4 試料 400°C 90
分恒温変態後水冷 (最
高加熱温度 920°C) ト
ルースタイト

Fig. 16 Specimen No. 4 Austempered at 400°C for 90 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Troostite.



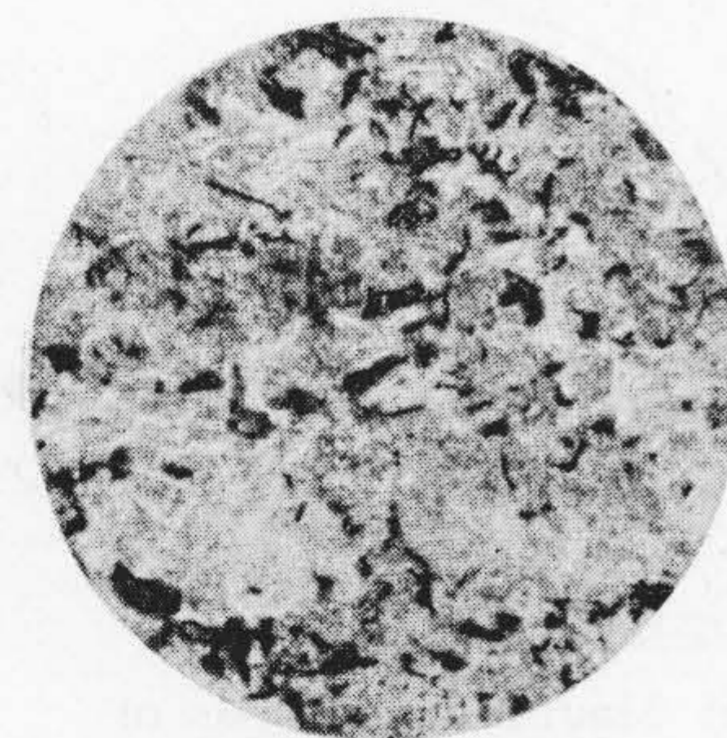
第 14 圖
No. 4 試料 500°C 75
分恒温変態後水冷 (最
高加熱温度 920°C) ソ
ルバイト+トルースタ
イト

Fig. 14 Specimen No. 4 Austempered at 500°C for 75 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Sorbite+Troostite.



第 17 圖
No. 4 試料 350°C 5
分恒温変態後水冷 (最
高加熱温度 920°C)
ベーナイト+マルテン
サイト

Fig. 17 Specimen No. 4 Austempered at 350°C for 5 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Bainite+Martensite.



第 15 圖
No. 4 試料 400°C 3
分恒温変態後水冷 (最
高加熱温度 920°C) ト
ルースタイト+マルテ
ンサイト

Fig. 15 Specimen No. 4 Austempered at 400°C for 3 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Troostite+Martensite.

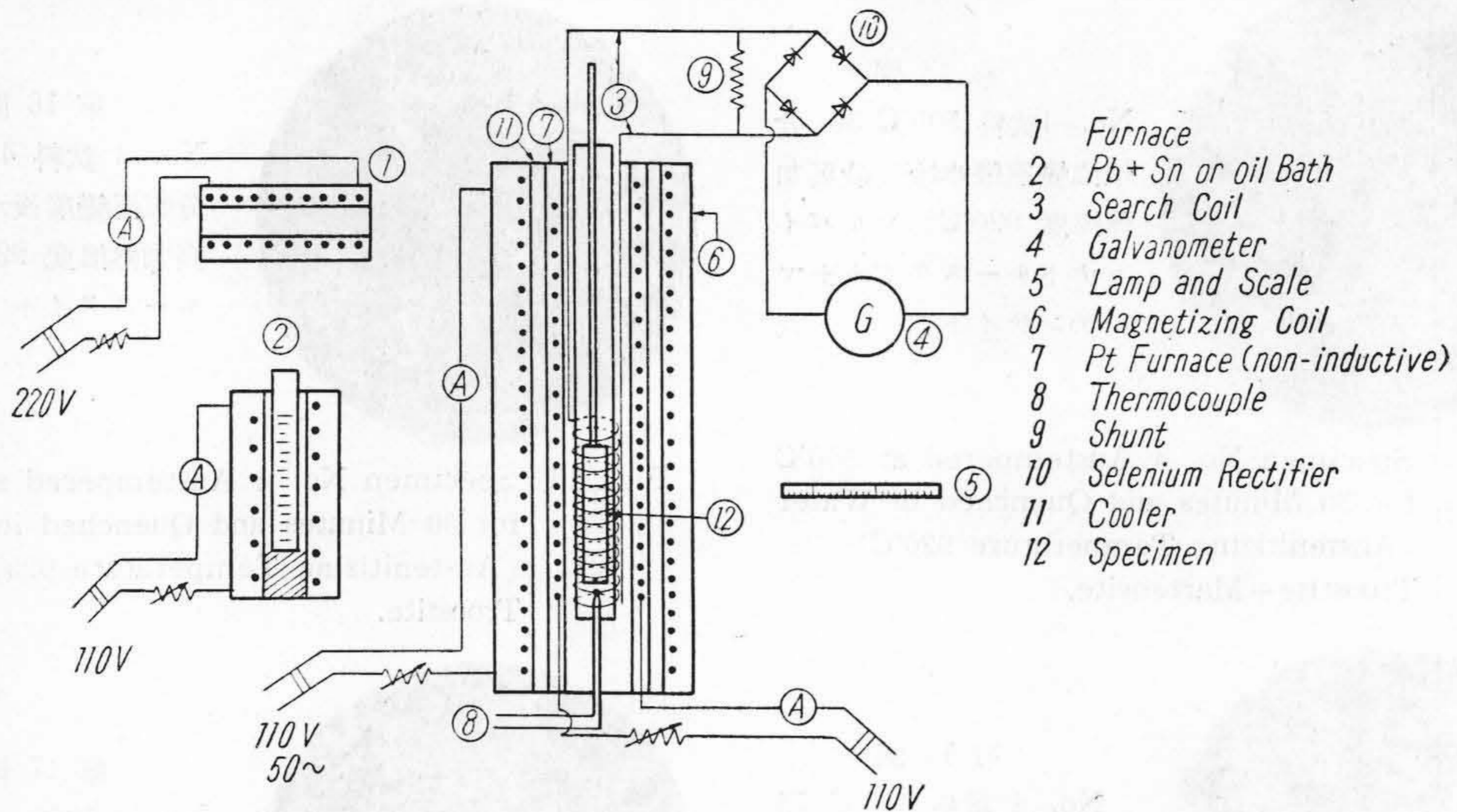


第 18 圖
No. 4 試料 350°C 70
分恒温変態後水冷 (最
高加熱温度 920°C) ベ
ーナイト

Fig. 18 Specimen No. 4 Austempered at 350°C for 70 Minutes and Quenched in Water (Austenitizing Temperature 920°C) Bainite.

5% 硝酸アルコール溶液の何れかを用いた。第 9 圖は 700°C 2 分間保持の場合で既にパーライトがかなり現われ (地はマルテンサイト)、700°C 5 分間保持後の組織は第 10 圖の如くで全部パーライトを呈し変態を完了している。第 11 圖は 600°C 20 秒保持の場合で既に變態は一部開始してソルバイトを生じ、600°C 3 分間保持すると第 12 圖に見られるように全部ソルバイトとなり變態は完了している。第 13 圖は 500°C 30 分間保持の場合でソルバイト+トルースタイトがかなり現われ變態は相當進行したことを示し、同じく 75 分間保持では第 14

圖に見られるように變態は殆んど完了に近い。第 15 圖は 400°C 3 分間保持の場合で一部トルースタイトが現われて變態の開始せられたことを示し、400°C 90 分間保持すると第 16 圖に見られるように全部トルースタイトとなり變態は完了する。次に第 17 圖は 350°C 5 分間保持の場合で變態の開始により一部ベイナイトが現われ、第 18 圖の同じく 70 分間保持では全部ベイナイトとなり變態終了を示す。No. 4 以外の試料については省略したが、何れも變態温度によつて變態生成物にパーライト、



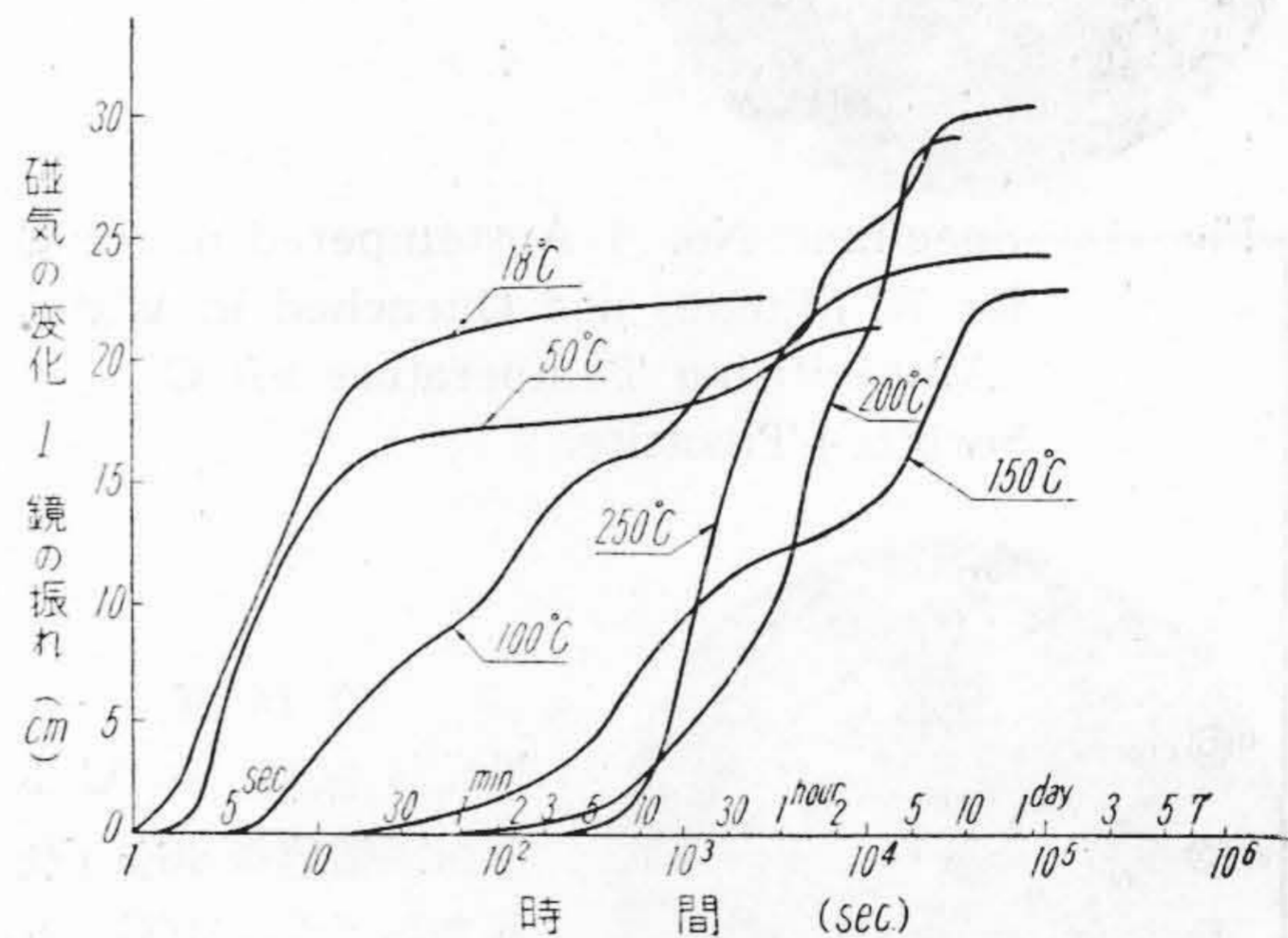
第 19 圖 磁 氣 分 析 装 置

Fig. 19 Appartus for Magnetic Analysis.

ソルバイト、トルースタイト及びベイナイトの別が一樣に認められ、變態速度は試料の組成により、又温度によつてかなりの相違を示すことが明らかにせられた。

(4) 恒温磁氣分析 第 19 圖は恒温磁氣分析装置の概略を示す。これにより常温~300°C の範圍に於ける磁氣の變化を求めて變態の進行狀況を知るのである。以下簡単に装置について説明しよう。加熱用電氣爐 (1) により試片をそれぞれ最高加熱温度に加熱する。次に試片は各種の測定温度に豫め保持された Pb+Sn 浴又は油浴 (2) 中に入れ一旦急冷後磁化コイル (6) 内に設けられた白金爐 (7) 内のサーチコイル中に挿入せられ恒温變態せしめる。磁化コイルと白金爐との間に銅製の水冷管 (11) をおき、兩者を熱的に遮斷した。磁化コイルには交流 (50~) を通じて約 280 エルステッドの外部磁場を生ぜしめ、又白金爐は白金線を Non-inductive となるよう捲線せられ、又測温用に試片に接して白金-白金ロジウム熱電對 (8) が挿入してある。試片が恒温變態を起し磁氣を帯びると交番磁場によりサーチコイルに誘起せられた二次電流はセレン整流器 (10) によつて整流されて檢流計 (4) に鏡の振れとして現われる。これをスケール (5) にて読み取り時間と共に起る磁氣變化を觀察するのである。

測定結果の一例として第 20 圖に試料 No. 2 第 21 圖に試料 No. 4 の場合を示した。圖中磁氣の現われる時間が變態開始點であり、磁氣の増加が停止して更に時間をましても磁氣の變化の起らないときの停止點を以て變態終止點とした。第 20 圖の試料 No. 2 では何れの變態温度に於ても變態の開始並びに終止點が求め得られ



第 20 圖 試料 No. 2 の磁氣分析結果
最高加熱温度 860°C

Fig. 20 Result of Magnetic Analysis of Specimen No. 2 Austenitized at 860°C.

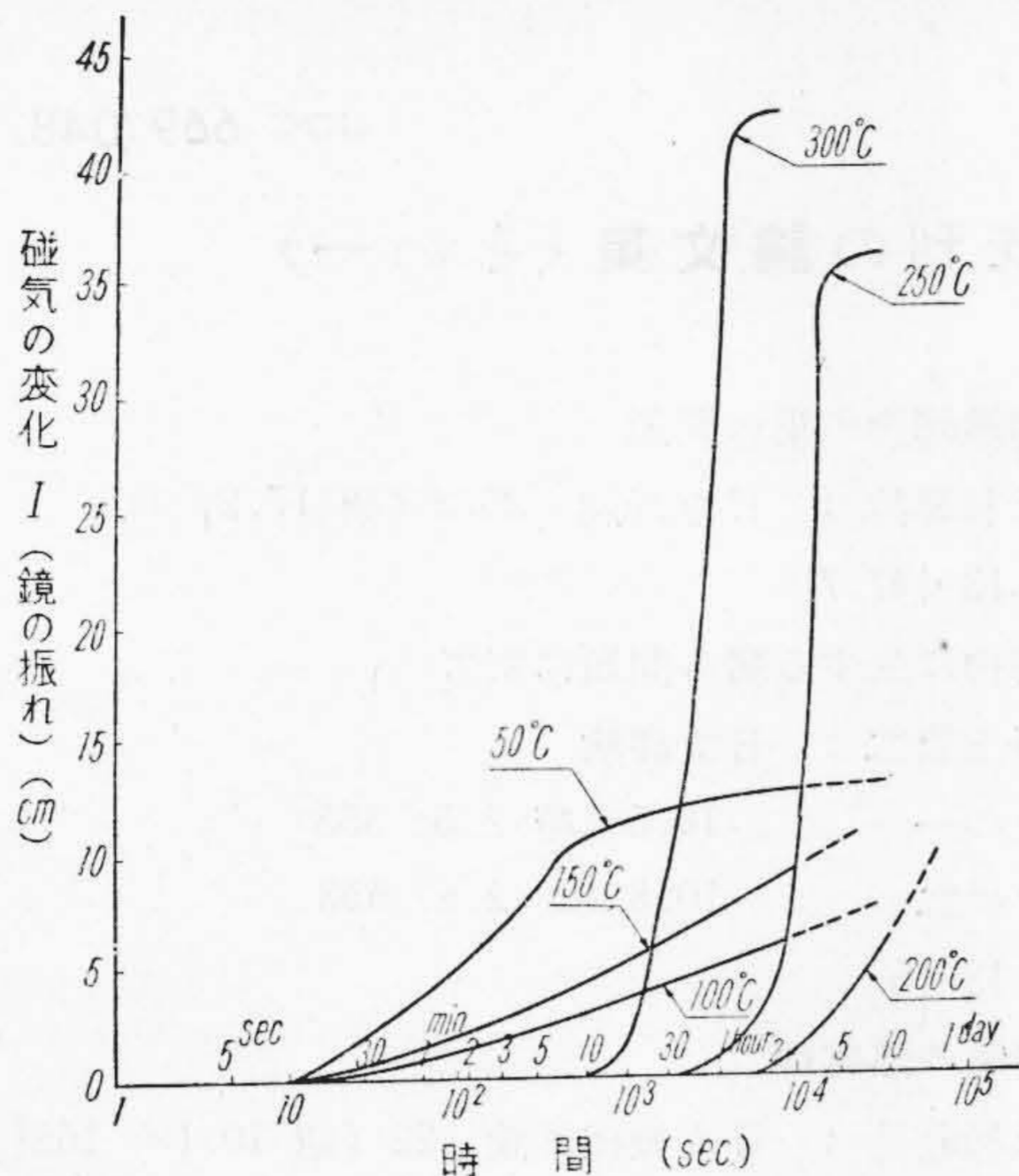
變態の進行が磁氣の増加として示されたのがあるが、第 21 圖の試料 No. 4 に於ては變態の開始點が總て求め得られたが、終止點は 250°C 及び 300°C の場合のみ得られ、その他は變態が著しく遲滞したので求めなかつた。これは試料 No. 4 が No. 2 に比べて最高加熱温度が高いため變態速度が小となつたことによると考えられる。

なお恒温變態圖中 50% 變態進行を示す曲線は、750~300°C の範圍では顯微鏡組織により、決定し、又 300°C 以下の範圍では假に磁氣變化量が變態終止に於ける値の 1/2 に達した時間を以てこれを示した。

[V] 總 括

炭素及びクロム量の異なる7種の高炭素低クロム鋼の恒温變態圖を決定し、特に300°C以下の範圍については恒温磁氣分析によつた。これより各溫度に於ける變態の様相並びに炭素及びクロム量の變化による影響を明らかにしたが、この結果からこの種鋼の熱處理上得る處少なくなき、應用の範圍は極めて廣いと思われる。しかしこれに關してはこゝには省略した。

終りに臨み終始御指導を賜つた村上先生並びに兼先日研所長に對し厚く御禮申上げると共に實驗に従事せられた小林豊治、八重樫敏雄及び赤津康之の諸氏に感謝する次第である。



第 21 圖 試料 No. 4 の磁氣分析結果最高加熱溫度 920°C.

Fig. 21 Result of Magnetic Analysis of Specimen No. 4 Austenitized at 920°C.

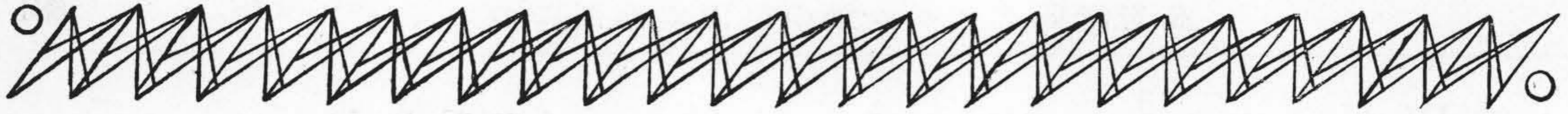
第 33 卷 日 立 評 論 第 10 號

- ◎堅型發電機のセグメント式案内軸受について……………日立製作所・日立工場・菊地彌十郎
- ◎刷子保持器の動作特性について……………日立製作所 { 日立工場・桑原繁太郎
日立研究所・武政隆一
- ◎送話炭素粉の變位感度變換係數の測定……………日立製作所・戸塚工場・西山靜男
- ◎殘光性ブラウン管……………日立製作所・茂原工場・武藤 寬
- ◎湖南電車臺枠鋼の組立作業の研究……………日立製作所・笠戸工場・鈴木音次郎
- ◎路面電车用日立 DY-24 型戸閉裝置について……………日立製作所・龜有工場 { 久保澤 稔
金子 榮
- ◎ガス分析用質量分析計とその應用(その一)……………日立製作所・中央研究所・神原豐三
- ◎粗 さ 測 定 機……………日立製作所・日立工場 { 山田 昇
藤原 勝喜
栗原 茂
- ◎珪素鋼板の鐵損試驗規格の檢討……………日立製作所・日立研究所 { 三浦 倫義
島 央郎
杉 浦 慎三
- ◎共通二次抵抗による巻線型誘導電動機の周期運動……………日立製作所・龜戸工場 { 松井 茂彦
園山 裕
- ◎日 立 便 り

東京都品川区
大井坂下町 2717

日 立 評 論 社

誌代一冊 ¥ 100 円12
半年分 ¥ 360 円 70
一年分 ¥ 720 円120



UDC 669(048.1)

冶金工學に関する日立評論、既刊の論文集(その一)

669. 冶金、金屬工學一般

669.018.54.002.69:621.365:4

代用電熱線に就て

木戸行男; 日立評論 25.8 (昭 17.8) 480~485

669.1 鐵 鋼

669.1

銑鐵と鐵及び鋼の種類名稱

野上熊二; 日立評論 5.6 (大 11.6) 296

669.1-15:621.51

空氣壓縮機材料熱處理

市川萬一; 日立機械評論 29 (昭 12.7) 201

669.11-17:669.15.26.782

鋼の結晶粒成長に就て(1) シルクロム鋼の結晶粒成長

芥川武; 日立評論 22.12 (昭 14.12) 817

669.112.3

鐵及び鋼に及ぼす不純物の影響

津川義正; 日立評論 5.2 (大 11.2) 106

669.13 鑄 鐵

669.13

高級鑄鐵の特性及びその製造法

天利義昌; 日立機械評論 2 (昭 5.10) 11

669.13:538

鑄鐵とその電磁的性質に就て

渡邊軍治; 日立評論 18.9 (昭 10.9) 541

669.13:621.51-222

空氣壓縮機のシリンダ鑄物

川本昇; 日立機械評論 29 (昭 12.7) 193

669.13-147.4:621.746.74

鑄巢に就て

柴田知己; 日立評論 2.6 (大 8.6) 287

669.13-147.4:621.746.74

鑄物のガス巢に関する二三の研究

松本寅雄; 日立評論 25.10 (昭 17.10) 618

669.13-147

鑄鐵の構造内力とその除去に就て

渡邊軍治; 日立評論 22.12 (昭 14.12) 751

669.13-147:621.746.74

鑄鐵鑄物の巢の問題

天利義昌; 日立評論 25.2 (昭 17.2) 110

669.13-147.7

鑄物に生ずる窩の問題に就て

野上熊二; 日立評論

その一 10.5 (昭 2.5) 353

その二 10.8 (昭 2.8) 553

669.13-15

鑄鐵の熱處理

天利義昌; 日立機械評論 22 (昭 10.10) 163

669.13.014.623

鑄鐵の脱室の影響

宮下格之助; 日立評論 25.10 (昭 17.10) 600

669.13.018.45

日立耐熱鑄鐵に就て

渡邊軍治; 日立評論 19.12 (昭 11.12) 811

669.13.018.45

日立耐熱鑄鐵に就て

渡邊軍治; 日立機械評論 27 (昭 12.1) 75

669.13.018.45

日立耐熱鑄鐵 THW

隈部信; 日立評論 25.10 (昭 17.10) 646

669.13.018.45-15

THW の熱處理による硬度の變化

隈部信; 日立評論 25.2 (昭 17.2) 115

669.13.046.5

鑄鐵の電氣爐溶解に就て

杉正道; 日立評論 21.10 (昭 13.10) 709

669.131.8 可鍛鑄鐵

669.131.8

急速可鍛鑄鐵の展望

山根可雄; 日立評論 24.10 (昭 16.11) 517

669.131.8

可鍛鑄鐵の材質に對する一考察

南波榮吉・橋本昭; 日立評論 25.4 (昭 17.4) 236

669.131.8

燒鈍炭素の形狀について

南波榮吉; 日立評論 31.3 (昭 24.8) 138

(第 36 頁へつづく)