

539

24



始



本多光太郎著

鐵物理學中の一章

岩波書店刊行



本多光太郎著

科學普及叢書
第四編

鐵物理學中的一章

岩波書店刊行

大正
15. 10. 11
内交

序

この小冊子は、大正十四年十一月四日東京帝國大學理學部會の御依頼に應じて講演せるものに多少の訂正を加へて出版せるものである。講演の内容は東北大學金屬材料研究所にて研究された材料を基としてあるから従來歐米にて出版された書物に記する所と相違する點も少なくない。しかし著者は確信を以て記述してをることだけは讀者の御了解を得て置きたいのである。

著者識す

大正十五年二月二十日

目次

第一節 純鐵の變態……………二

一 鐵の利用……………二

二 鐵の變態……………三

三 變態と原子配列……………九

四 A_1 或は磁氣變態……………三

第二節 鋼の變態……………六

一 鋼の定義……………六

二 鋼の分類……………三

三 A_1 變態……………三

四	鐵炭素系の状態圖	三六
第三節	鋼の組織	三九
一	組織を見る方法	三九
二	純鐵の組織、大洲田組織	三〇
三	鋼の組織、地鐵と波來土	三三
四	A ₁ 變態の機構	三三
第四節	鋼の焼入と焼戻	四一
一	鋼の焼入	四一
二	麻留田の硬度の原因	四二
三	吐粒洲及び粗粒破	四五
第五節	鐵及び鑄鐵の凝固點に於ける收縮	四五

一	鑄鐵の定義	五五
二	凝固による收縮測定法	五七
三	鐵及び鑄鐵の凝固收縮	六〇

鐵物理學中の一章

緒

言

鐵の物理學に就てお話ししたいと思ふのであるが、その範圍は極めて廣大であるから、一つ／＼に就て詳しくお話しする事は短時間では容易ではない。それ故こゝでは全體に通ずる事項に就て、平易で面白いところをお話したいと思ふ。つまり「鐵の物理學」と言ふ大きな題目中の緒論的一章の様なものである。表題を「鐵物理學中の一章」としたのも、この意味に外ならなう。

第一節 純鐵の變態

一 鐵の利用

鐵とはどんなものか、と云ふと、御存知の通り一つの化學元素で、原子番號二六、原子量五五・八四と云ふ極く簡單な物質である。そしてこれは太古より人類が最も多く用ひた金屬であり、現今に於てもその利用の範圍は最も廣大である事は今更言ふまでもない。恐らく將來に於ても、最も重要な金屬の一つであらうと思はれる。

鐵が斯く盛に利用される原因の一つは、天然に多量に存在する事である。

實際地殻中に鐵はアルミニウムに次で最も多量に含有されてゐる。そればかりでなく、地球物理學者の説によると、地球内部も鐵より成つてゐると云ふ事である、して見れば鐵は天然に一番多量に存在するとも言へるのである。

かやうに鐵は天然に産する事最も多く、その利用方面も益々廣大になりつゝあるから、吾々は鐵の性質をよく知つておく必要がある。然らざれば鐵を有効に利用することは出来ないのである。

以下吾々は順を追うて鐵が如何に重要な性質を持つてゐるかを、述べたことと思ふ。

二 鐵の變態

鐵は單體としては左程硬くはないが、是に少量の他の元素を加へると其性質が著しく改善せられる。鐵に少量の炭素、マンガ、クロム、バナデウム等を加へて合金を作れば著しい性質を有する合金が得られる。所謂、炭素鋼、マンガ鋼、クロム鋼等であつて、是等は純鐵に比べて、遙に強く且つ硬度が高い。鐵はかく微妙な性質を有するために、其應用が宏いのである。

鐵の性質は微妙であるから之をよく利用すれば極めて重要な金屬であるが、その製造及び處理には充分の注意をしなければならぬ。若し之を誤る時は重大な結果になるのである、従つて其性質に就ての充分な智識を得ておく必要がある。

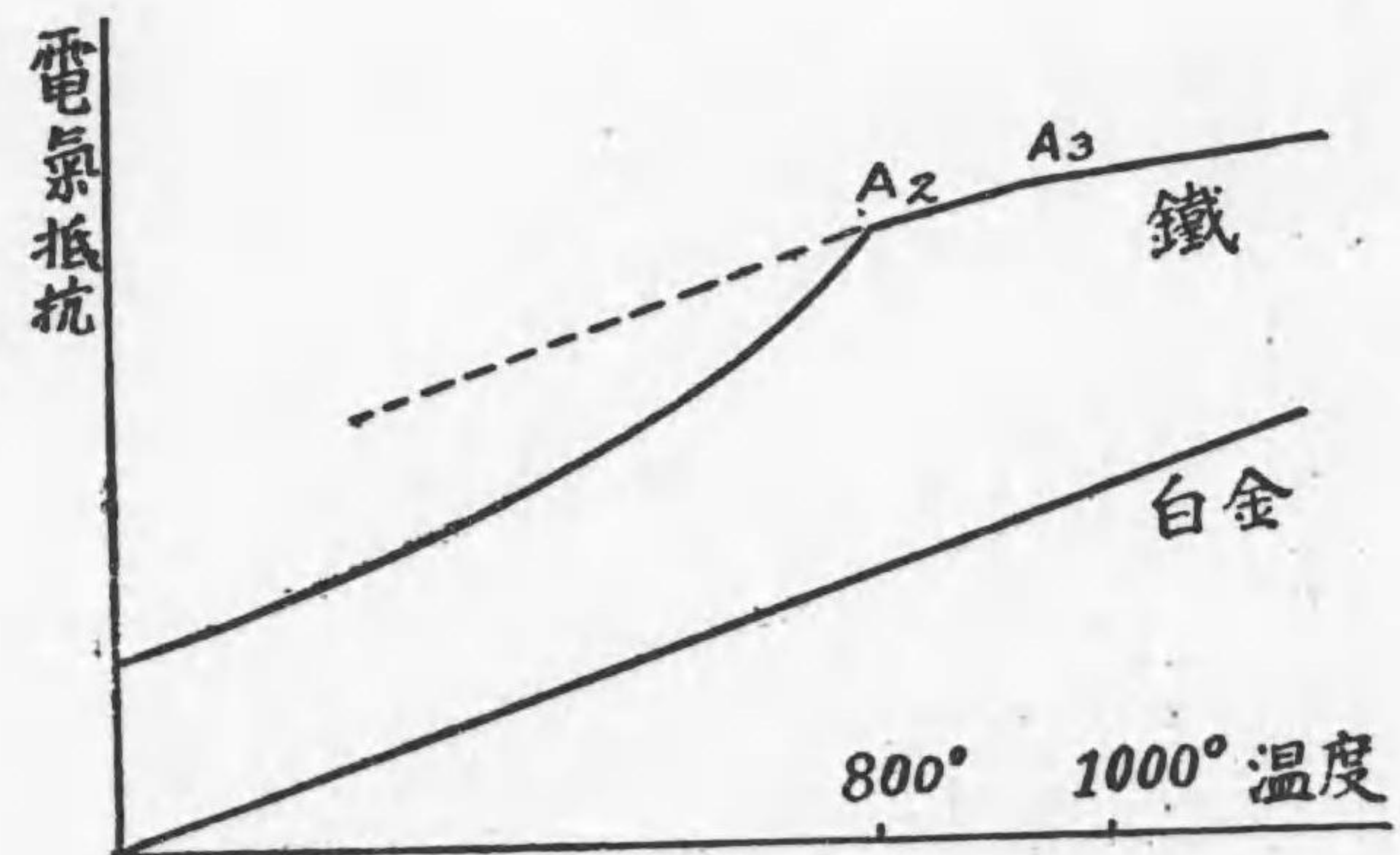
鐵の微妙な性質は其の變態による。鐵の溫度を上昇して行くと、或る一

定の溫度に於て、鐵の性質は急に變化する。之をA₁變態と名づけ其溫度をA₁變態點と呼んでゐるが、此變態は鐵の微妙な性質の原因となるのである。

一般に、一物質が變態するか、どうかを知るには溫度を變化すると、その物質のある物理的性質が如何に變化するかを見ればよい。若しある一定の溫度に於て、物理的性質に不連続的の變化がある時は物質が異つた種類のものに變化したのである。

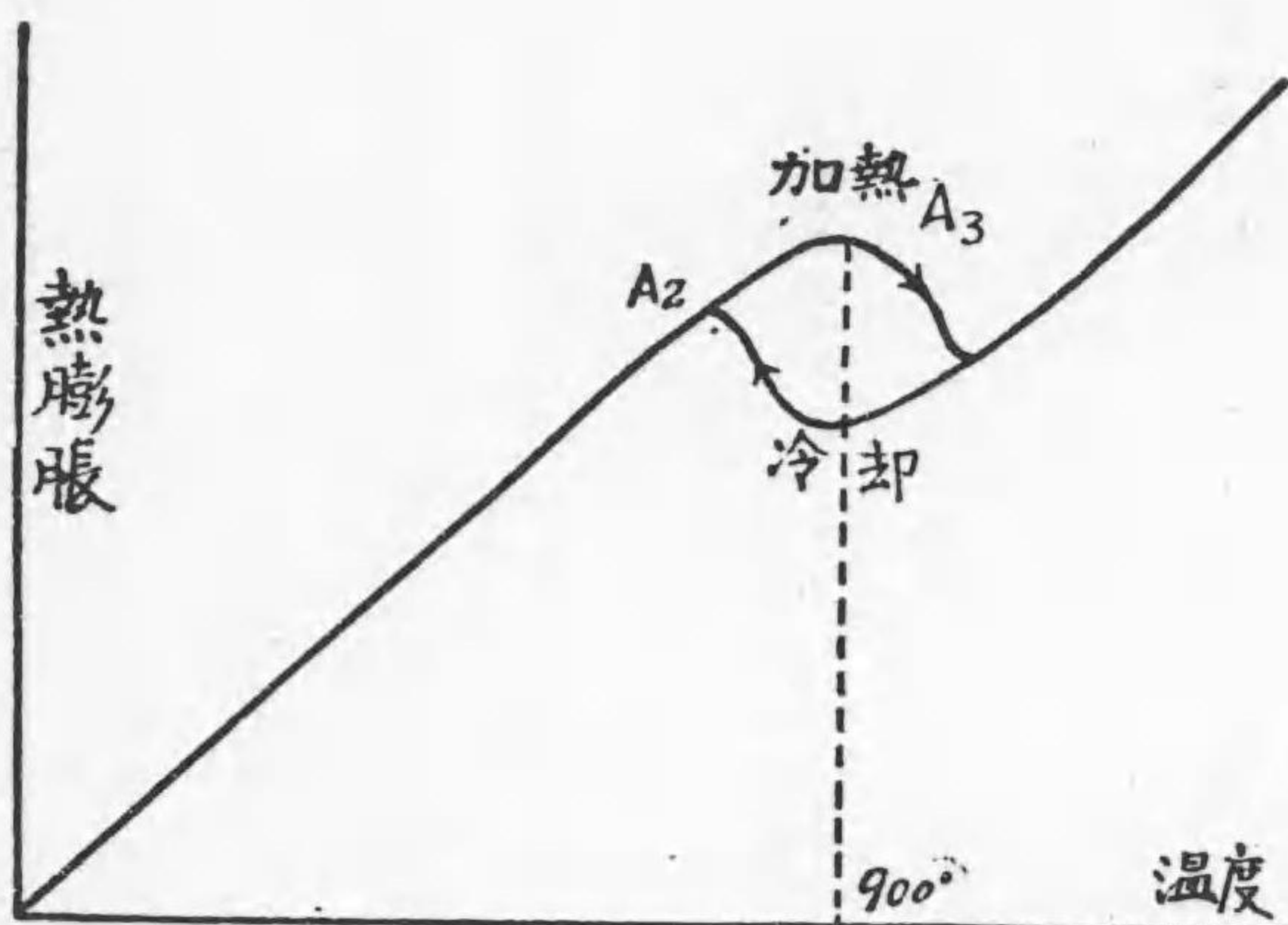
鐵の場合にも、勿論この判定法は適用される。そして此の變態の有無を見るには、どんな物理的性質の變化に着目してもよい。例へば熱膨脹をとつて見ると、大體變化は第一圖に示した様で、攝氏九百十度附近に變態の在るのが知られるのである。

變態は物質内部の變化に基因するものであるから、或る物理的性質に對



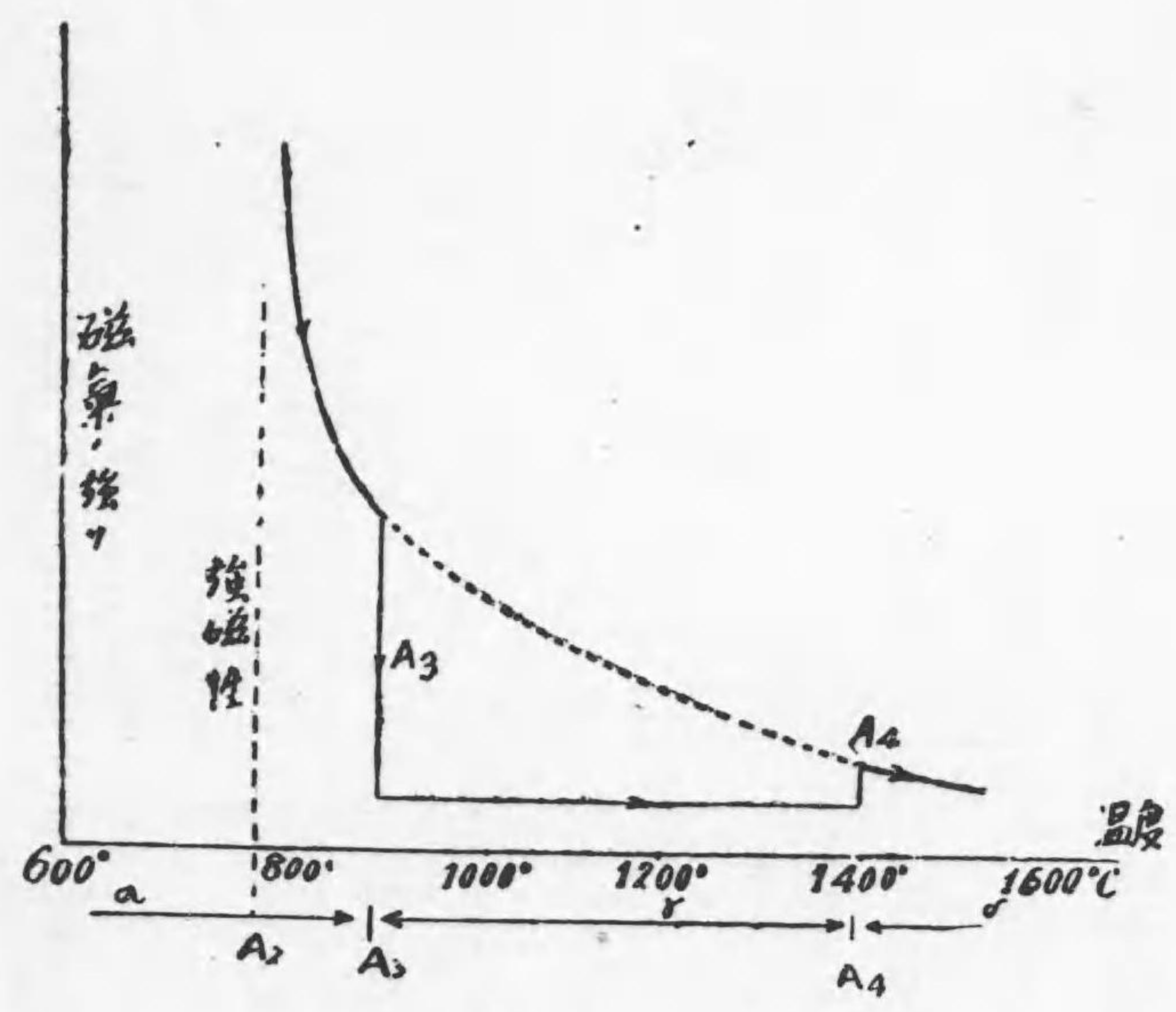
第二圖 電気抵抗と温度

次に磁氣の強さと温度の關係に就てもう少し詳しく論じよう。普通鐵は八百度附近までは強磁性であるが、温度がそれ以上になると、全く磁性を失ふものであると云はれてゐる。しかし、それは極く大體の話であつて、八百度以上に於ても全然磁性が無いとは云へない。勿論、八百度あたりからは磁氣は急激に減少して九百度に於けるA₃變態では不連続



第一圖 熱膨脹と温度

して變態に相當する變化が現はるれば、他の物理的性質に對しても現はれるであらう事が豫期される。鐵の場合でも、單に熱膨脹ばかりでなく、電気抵抗、磁氣の強さ等についても同様の變態が攝氏九百度附近に於て見られる。第二圖及び第三圖は是等の變化を示すものでA₃變態點に於ける電気抵抗の變化は著しくないが磁氣の減少は可成明瞭である。要するに純鐵は九百十度に一つの變態



第三圖 純鐵の磁性變化

的に弱くはなるがそれでも零ではなく一定の値を有するものである。それより温度が上昇すると、別に増減なく、畧々千四百度附近まで達する。此處で吾々は第二の變態を見るので、磁性は稍々強くなる事が観測される、之をA₄變態と名づけ其温度をA₄點と云つてを。温度が千四百度以上に

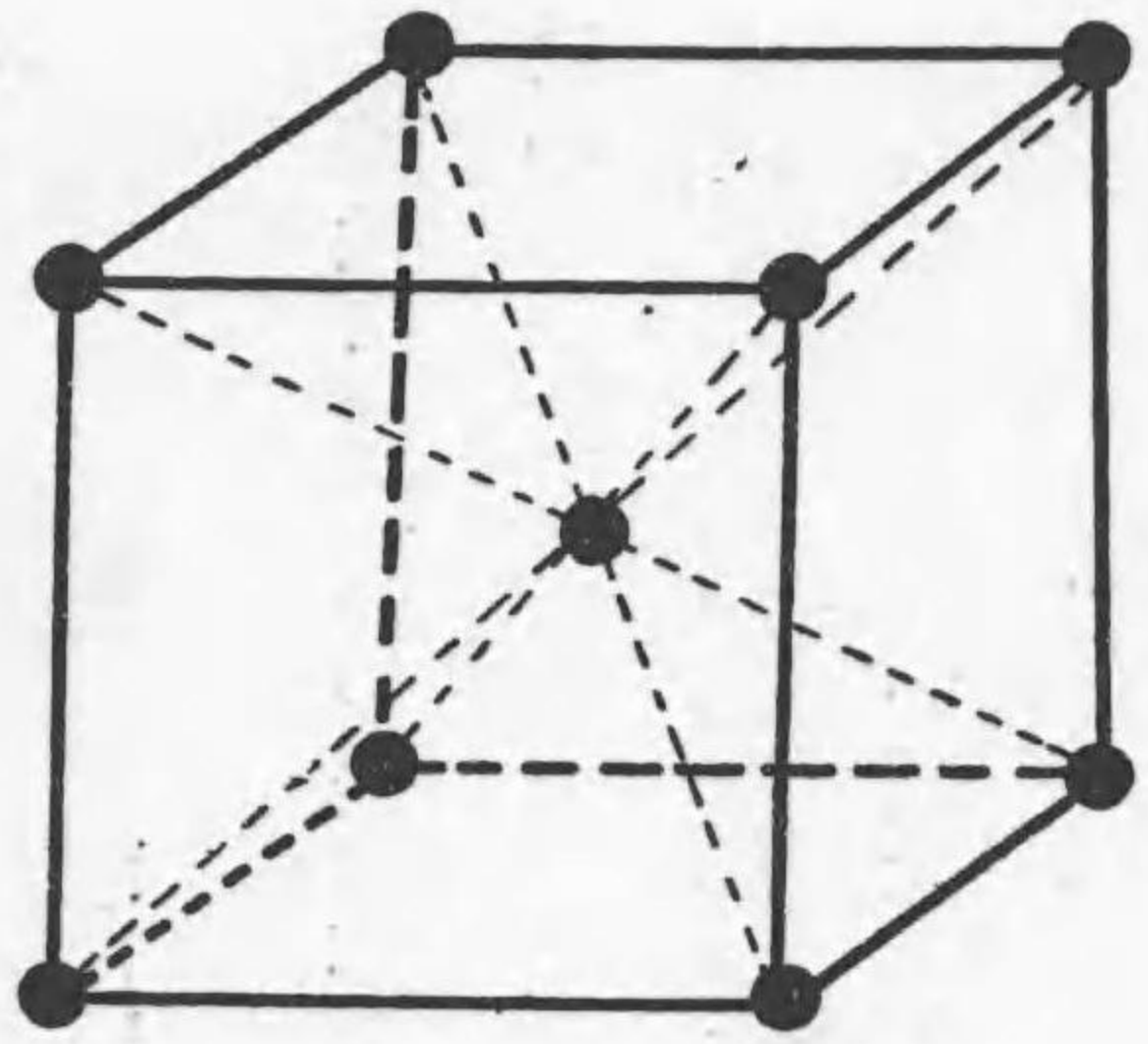
なると、再び減少する、この磁氣對温度の關係は大體第三圖に示す通りである。

三 變態と原子配列

純鐵には二つの變態があつて、九百十度、千四百度に於て現はれる事は既に述べた通りである。この變態は物質内部の變化に基因すると云つた、然らばその内部變化は如何なるものであらうか。之を調べるにはX線分析に依らねばならない、此方法によれば原子の配列状態が知られるからである。

普通鐵は無結晶の一塊のやうに見えるが、それを顯微鏡によりて精細に觀察すれば微細なる小結晶の集團である事が分る。即ち鐵は立方晶系に屬するものであつて、立方形の小結晶が數限りなく集積して一塊を形成して

をる。今X線分析によつて鐵結晶内に於ける原子の配列を研究せる結果によつて第四圖に示す通りで、鐵原子は立方體の八つの頂角及中心に存在してゐる。



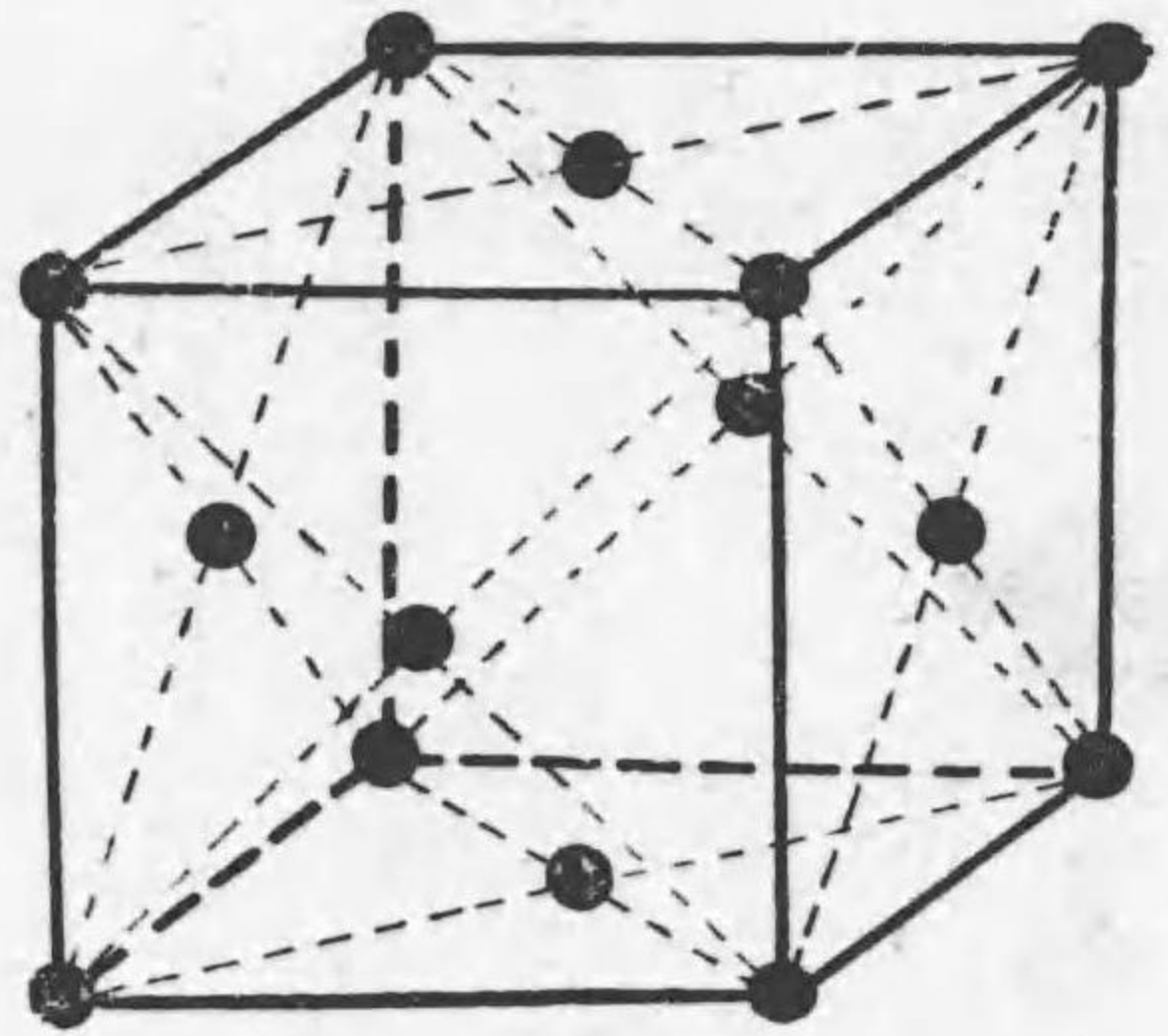
第四圖 α 鐵
(體心立方體) ●……鐵原子

配置には何等の變化も起らない。

冶金學に於ては上記の原子配列即ち體心立方體 (body-centred cube) 的

原子配列を α 型の配列と呼び、この配列を有つ鐵を α 鐵と名づけてをる。

次の問題は、九百十度に於ける A_3 變態は、原子配列の如何なる變化に相當



第五圖 γ 鐵 (面心立方體)
●……鐵原子

するかである。X線分析の結果によれば A_3 點を越ゆれば原子配列は第五圖に示す通り面心立方體 (face-centred cube) で、單位立方體の稜の長さは α 型に比して約四割程大である。この面心立方體の原子配列を γ 型と呼び、この配列を有する鐵を γ 鐵と

名づけてをる。

即ち加熱の際 A_3 變態は鐵原子の體心立方型より面心立方型への位置の變

化に相當する、又冷却の際は反對の變化を生ずるのである。

換言すれば九百度に於ける純鐵の A_3 變態は α 鐵より γ 鐵への變化或はその逆の變化である。

A_3 變態が鐵原子の體心立方型より面心立方型への變化であれば原子配列は最も密になるのであるから收縮すべきである。實際、X線分析による格子恒數より體積の收縮を計算するに其値は獨立に熱膨脹より實測せる値とよく一致する。

以上述ぶる所によつて、九百十度の A_3 變態の本質は明瞭になつたが、次に千四百度に於ける A_1 變態の真相を知らなければならぬ。

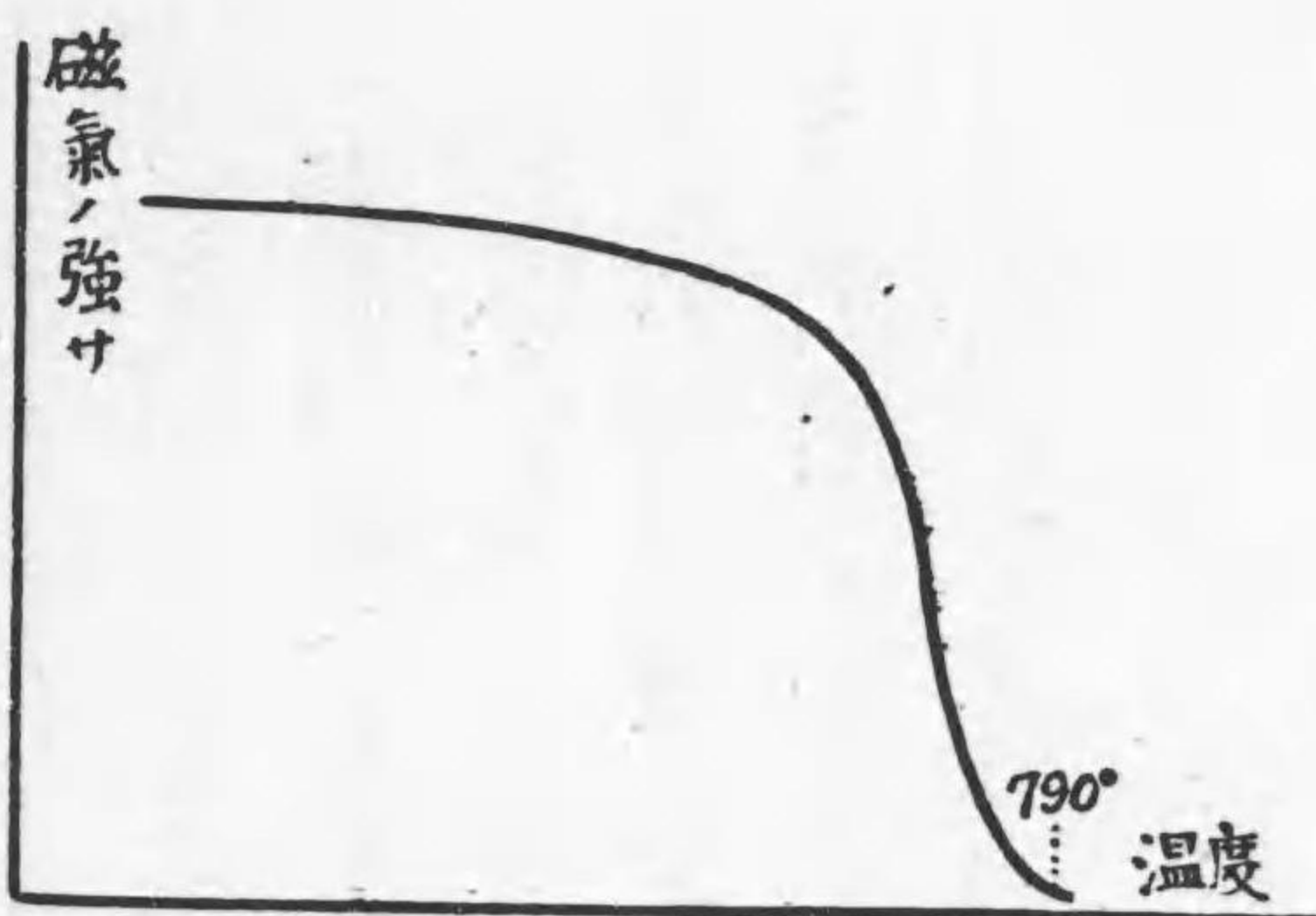
前に掲げた磁氣對溫度の曲線を見ると、 A_3 變態以前の曲線と A_1 變態以後の曲線とは一つの曲線によつて連絡され得る事がわかる。(尙第三圖を見

よ。)之によつて A_1 變態は、原子配列が γ 型から再び α 型に戻るのではあるまいかと想像されるが實際この考は正しいので、X線分析は之を確めてゐる。即ち千四百度以上では原子配列は γ 型より再び α 型に戻るものである。純鐵には以上の A_3 及び A_1 變態の外もう一つ A_2 變態と稱するものがある。これは、既に述べた變態と其性質を異にし相の變化とは云へない。しかし、兎も角、純鐵の異常變化であるから、便宜上これも變態と云ふ事にする。この變態は所謂磁氣變態と稱する變化で常溫以下より始まり徐々に進行する特殊の變化である。次にこの變化の内容を説明したいと思ふ。

四 A_2 或は磁氣變態

攝氏八百度以上に於ける純鐵の變化については已に詳しく論じたが次

に、八百度以下の純鐵の變化を論じようと思ふ。



第六圖 磁氣の強さと温度

には明瞭に現はれない。磁氣並びに電氣抵抗の圖より、この二つの連続的

純鐵に於ける A_2 變態は低温より連続的に生じ、七百九十度に終る變化であつて、その速度は温度の上昇と共に著しく増加する。この漸次的變化は初め磁性の變化によつて發見されたもので之を磁氣變態とも云つてをる、磁氣對温度の曲線は第六圖に示す如くで A_2 變態が温度の上昇と共に如何に進行するかを示してをる。 A_2 變態は電氣抵抗によるも著しく現はれるが、しかし、熱膨脹

變化は相併んで進行して同一の内部變化の異なる見方に過ぎないことが分る。(第二圖及び第六圖)

然らばこの A_2 變化の内容は何であるか。X線分析によると原子配列には何等の變化も起らない。又、 A_2 變態の盛に進行しつつある區域内で長時間温度を一定に保つても、磁氣の變化即ち A_2 變態は時間と共に進行しない。然るに A_3 及び A_4 變態の如き同質異態の變化は充分な時間を與へれば一定の温度に於ても進行するものである。従つて、 A_2 變態に相當する内部變化は温度の一定函數で、 A_3 及び A_4 變態の如き同質異態の變化とは異なり、之を相(phase)の變化と見るのは正當ではない。吾々は寧ろ之を原子自身の有するエネルギーの變化と考へる、このエネルギーは強磁性體に特有なる原子廻轉のエネルギーか或は温度に關係のない内部エネルギーであらう。若し

A_2 變態が原子のエネルギーの變化によるものとするれば、變態は温度の連続的函數であるべきであり、従つてこれに基因する磁氣變態も連続的でなければならぬことになり實際の變化に一致する。

A_3 及び A_4 變態は不連続的の變化であるから、此等は所謂變態點なる一定の温度に於て起るものとするが、連続的の A_2 變態ではさうでない。實際曲線全體が A_2 變態であるから特にその中の一點を取つて A_2 變態點と名づけるのは無意味である。普通變化の最も盛に起る點をとらへて A_2 點と呼ぶことにしてゐるが、これも適當と思はれない。

私は、次の方法によるのが一番妥當であると思ふ。即ち冷却の時は變化の起り始める温度、加熱の時は變化の終る温度を A_2 點と名づけることにする。其故は、この温度は鐵が強磁性體から常磁性體に變化する温度で一定

の意義を持つてゐるからである。従つてこの A_2 點に臨界點 (critical point) なる名稱を與へるのは甚だ妥當である。この様にきめた A_2 點は純鐵に於ては七百九十度である。

第二節 鋼の變態

一 鋼の定義

鋼の定義に就ては昔から随分議論があり、現今も尙議論されてゐる。從來の定義に二通りあつて、第一は鋼の性質、或はその製造法を主眼として定義し、第二は成分を主眼として定義してゐる。例へば、焼入によつて硬度を増すものを鋼と言ふとか、或は熔解によつて製せられ且可鍛性を有する鐵の一種を鋼と云ふ、が如きは第一の定義に屬する。しかし、焼入によつて硬度を増すにも程度がある。焼入後の硬度は炭素量と共に全く連續

的に増加するから、これによつて鐵と鋼を區別する事は困難であり、又鐵を少しも含まない焼入によつて硬化するデュラルミンの如きも鋼と呼ばねばならない事にもなる。

次に製造法を主眼とするのも面白くない。何故なら、新製鋼法が発見される毎に定義の變更を要する不便があり、同一成分の材料でも鋼と呼ばれたり、呼ばれなかつたりする面倒さが伴ふからである。夫故第二の、成分を主眼とする定義に従つて、「少量の炭素を含む合金を鋼と言ふ」とすれば最も妥當と思はれる。しからは鋼の有すべき炭素量の範圍は何程であるか？ 最低量は〇・二%とか、〇・二五%とか言ふ學者もあるが、之は勝手な定め方で、學術上の意義はない。鋼には鐵にない一種特有の變態がある。之に關しては後に委しく説明するが此變態によつて鋼の有すべき炭素

の最低量を定めるのが最も適當である。此變態の大きさは炭素の量に略々比例して減少するが、炭素の量が零にならない前に變態は無くなるものである。即ち炭素〇・〇三五%以下になれば變態は現はれない。これは變態溫度の直下に於て、鐵が固溶體として含有し得る炭素の最大限であるが、常溫では鐵は此微量炭素をも含み得ない。かくの如く鋼に特有なる變態は炭素〇・〇三五%以下では現はれないから鋼の有すべき炭素の最低限をこれに取るのが最も適當である。

これで、鋼の含むべき炭素の最低限は決定されたが、次は最高限の問題である。さて、鐵が高溫度で熔解し得る炭素の最高量は一・七%で、之は後で示す所の鐵炭素平衡圖に於ても明瞭な意義を持つてゐる。即ち、これ以下の炭素量を有する鐵は組織上より見るも普通の鋼と同一で、これ以上

の炭素を有する鐵とは異つてゐる。従つて、鋼の有すべき炭素の最高量を一・七%とするのが至極適當である。

要するに、鋼の最も妥當な定義は次の如く述べる事が出来る。即ち「炭素〇・〇三五%乃至一・七%を含む鐵と炭素との合金を鋼と言ふ。」

二 鋼の分類

前述の様に、鋼は鐵と炭素の合金である。しかし、炭素は純粹な單體として鐵中に混つてゐるのではない。鐵の一部と化合してセメントタイト (cementite) と稱する炭化物 Fe_3C となり、これが鐵と機械的に混合してゐるのである。

此セメントタイトは金屬光澤を有し、脆くはあるが、鐵に比べると甚だ硬

い。従つて、これと鐵との機械的混合物なる鋼は、炭素の分量が増す程、セメントの量が多くなるから、硬度を増すべきである。

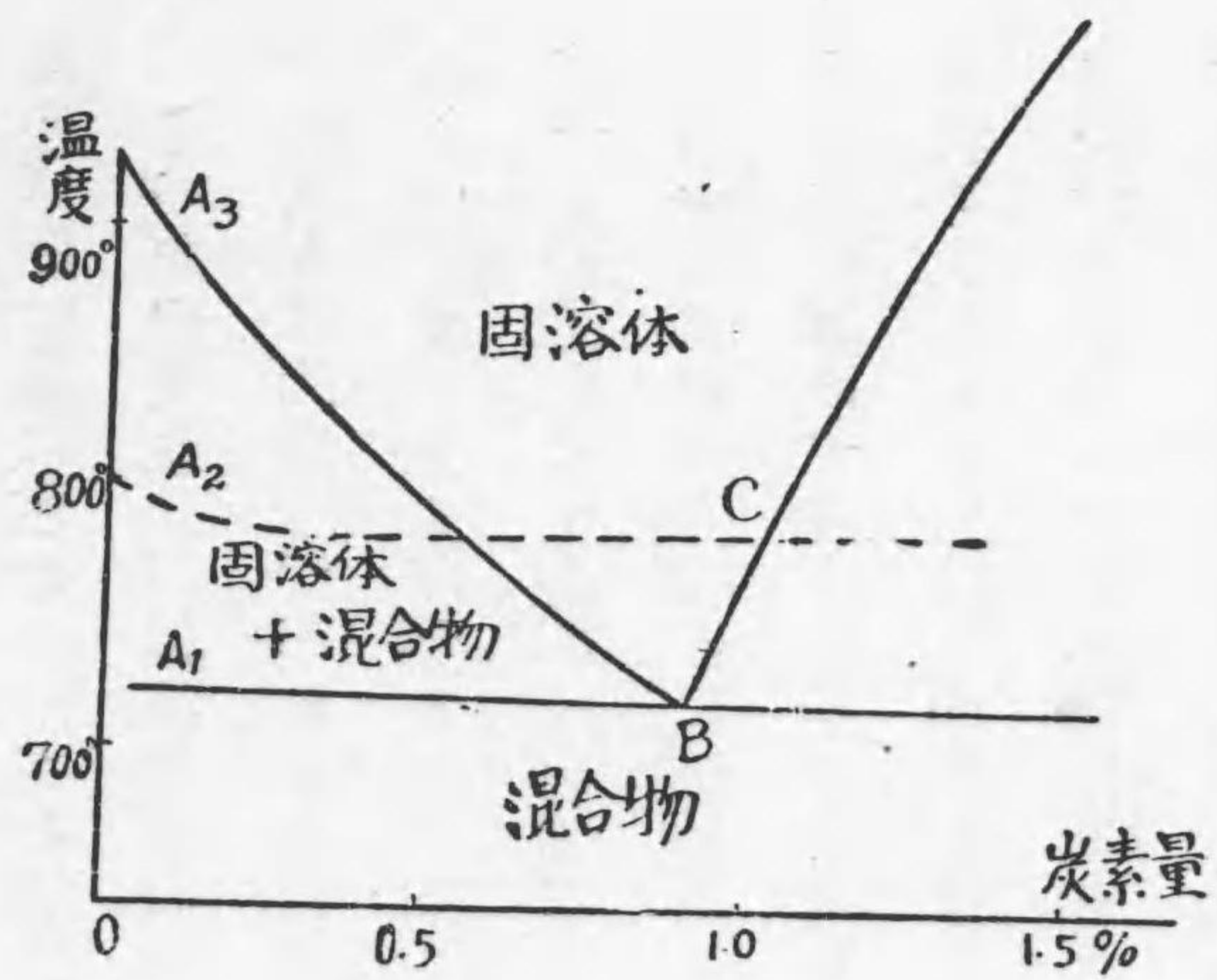
この様に、炭化物の多少即ち炭素の多少によつて硬さが違ふから、鋼を硬さによつて分類する事も出来る、即ち、最も軟かいのを極軟鋼、その次を軟鋼、もつと硬いものを硬鋼と云ひ、最も硬いものを極硬鋼と呼んでゐる。しかし、この硬軟の境界は便宜上のもので國によつても亦人によつても多少異なつてゐる。

三 A₁ 變態

鋼は常温では鐵とセメントとの機械的混合物であるが、攝氏七百三十度位になると、機械的に混じてゐた鐵とセメントとは、密に融け合

つて、分子的に混合せる等質の物質をつくる。然し鐵とセメントとは固態の状態て互に融け合つてゐるから之を固溶體(solid solution)と名づける。

この鋼の變態は、機械的混合物から固溶體になる變化であるから、物理的性質も亦此温度で不連続的に變化する。しかし、此變化は含有炭素の量によつて多少違ふ所がある。即ち炭素含量が約〇・九%の鋼では、混合物は一定の温度にて全部固溶體になるが、炭素含量〇・九%以下の鋼では七百三十度で鐵の全部が固溶體とならないで、炭素〇・九%の濃度に相當する鐵だけ融けて残りの鐵は温度の上昇と共に次第に融けるものである。又炭素含量〇・九%以上の鋼では七百三十度で炭化物の全部が固溶體にならないで炭素〇・九%の濃度に相當する炭化物は鐵中に溶け、残りの炭化物は温度の上昇と共に次第に融解するものである。



以上溶解の様子は鐵炭素状態圖の一部なる第七圖によりて示される。尙鐵炭素全體にわたつた詳細な状態圖は次節の終りに掲げるであらう。

七 上述の機械的混合物から固溶體への變化は普通A₁變態と呼ばれてゐる。此變態の溫度即ち變態點は炭素の量には無關係であるが加熱と冷却の場合多少其値を異にしてゐる。即ち加熱の場合は約七百四

十度、冷却の場合は約七百十度で、平均七百三十度と見做して置く。又、純鐵のA₃變態は九百十度であるが鋼に於ては此變態の始まる溫度は含有炭素の量の増加と共に下降し、炭素含量が〇・九%以上になると一定の値七百三十度となる、第七圖のA₁B線は含有炭素の量によつて、A₃點の下降する模様を表はしてある。この線以上の區域は固溶體で、溫度が降つてこの線に達すると固溶體の一部は機械的混合物になり始めるのである。

又炭素量が〇・九%を超える場合の變化はB點より右の曲線が示してゐる。今便宜上冷却の場合を考へる事にする、冷却の際には、セメントタイトはBC線上より分離し始め、固溶體の成分は次第にB點の成分に近づき、七百三十度に於て残りの固溶體は全部機械的混合物に變ずるのである。

次に、X線分析の結果によれば、セメントタイトは正斜方晶系 (ortho-

rhombic system)の結晶であり、又固溶體中の鐵原子の配列は γ 型である。固溶體中のセメンタイトはセメンタイトとして溶解せずして炭素として溶解してをる。即ち炭素原子は γ 型の鐵原子の空間格子内に存在してゐるが、何處に配置されてゐるのか未だ明瞭でないが、恐らく立方體の體心にあるのであらう。

四 鐵炭素系の状態圖

第八圖は所謂鐵炭素系の状態圖で、炭素含有量及び溫度による此合金の相の變化を示すものである。今までの説明、並びに、今後の説明によつて、この圖の意味は容易に了解される事と思ふ。たゞ此處で注意しておきたい事は、從來の状態圖によれば A_2 變態も相の變化として状態圖に表はしてあ

欠

欠

第三節 鋼の組織

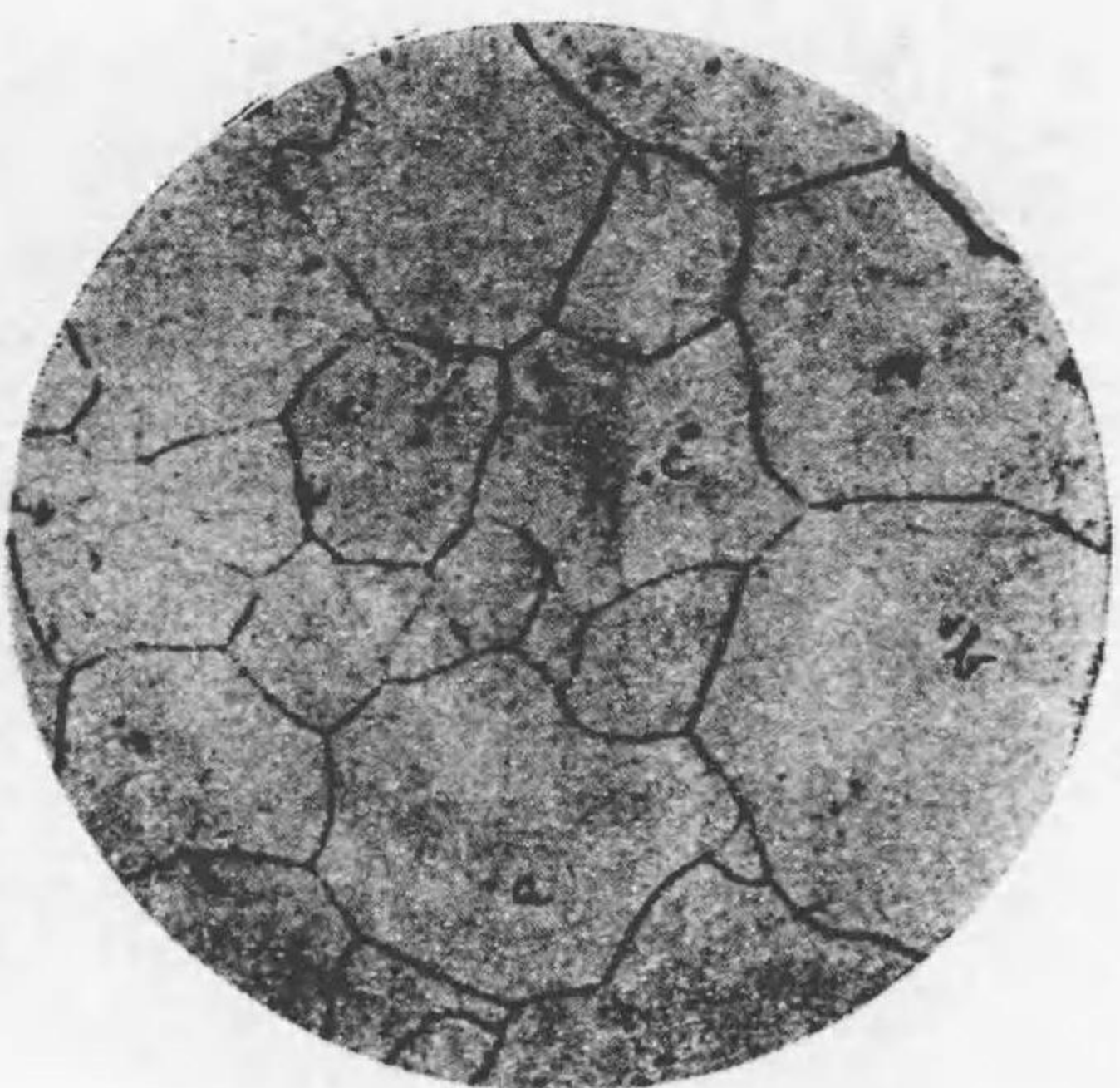
一 組織を見る方法

組織を見るには顕微鏡を用ひる。金属の表面をよく磨いてこれを顕微鏡で見るのであるが、そのまゝでは唯視野が光つて見えるだけで何も見えな
い。そこで、このよく磨いた表面を數秒間薄い酸の溶液によつて腐蝕して
見ると、組織の様子がよくわかる、これは組成分によつて腐蝕される度合
が違ふからである。この様にして、一般金属及び合金の組織を研究するこ
とが出来る。

二 鐵の組織、大洲田組織

顯微鏡的方法によつて、鐵及び鋼の組織を調べて見ると種々面白い事實が発見される。先づ純鐵の如きものでも決して酸による腐蝕の度合が一樣でなく第九圖に示す如く數多の微粒の集合より成り其境界線は黒く染まつてをる。これは純鐵でも、極く微量の不純物の混入する事を防ぎ得ないから、鐵の凝固する際此不純物は粒の境界面に集まり容易に酸に侵される爲である。

鐵が融液の状態から凝固するときは、諸所の中心から、例へば a b c と云つた様な所から結晶し始める、そして段々とその結晶は發達して行く。一體、不純物は比較的低温度まで融液の状態にあつて凝固しないものであ



第九圖 純鐵、大洲田

るから、鐵の結晶の發達と共に段々周圍に押しやられる事になる。しかも結晶の中心は澤山あるから、押しやられた不純物は勢ひ各結晶の中間に挟まれることになり、従つて圖の様な多角形的の境界が結晶粒の間に出来るのである、従つてこの多角形

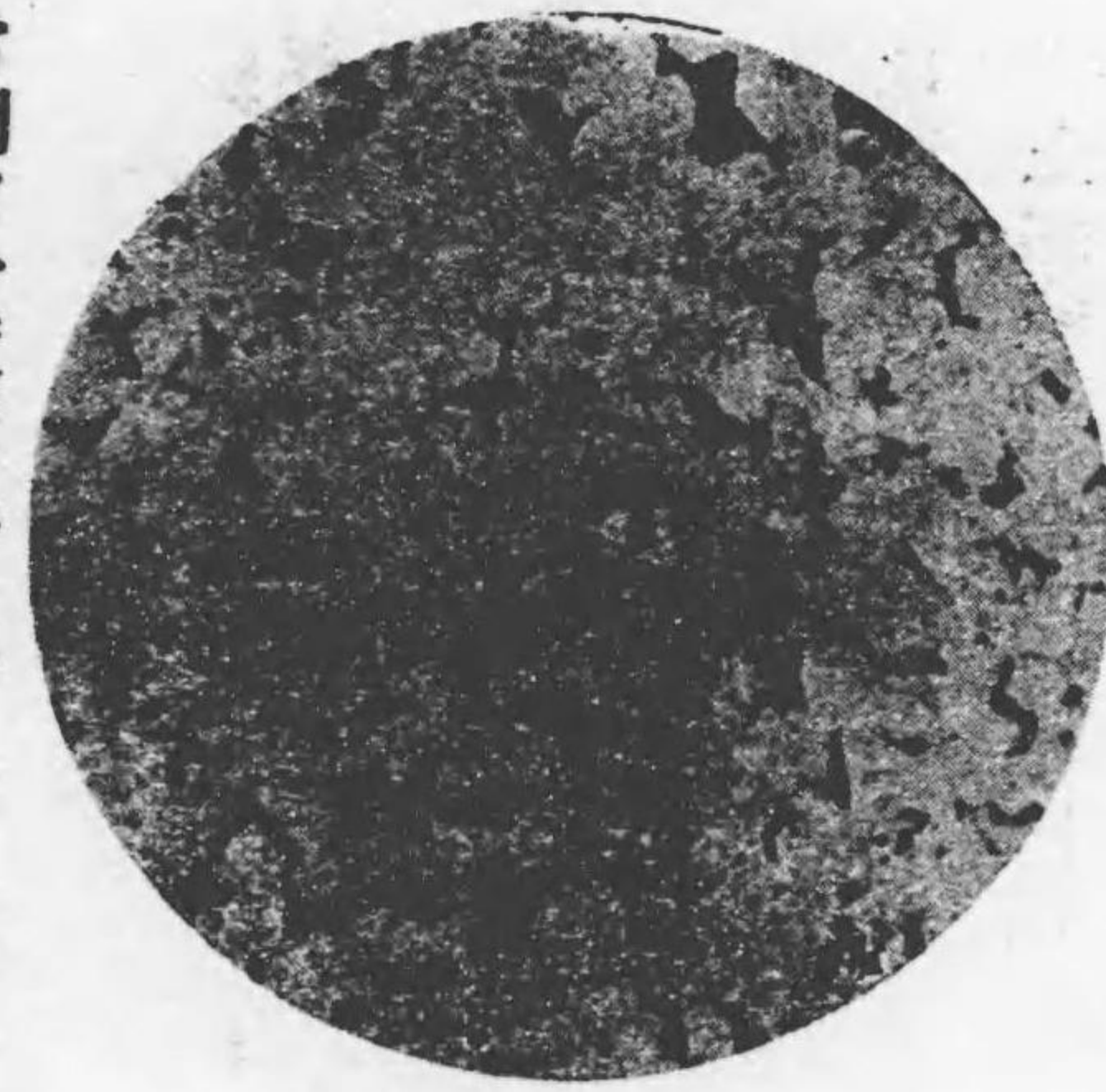
は結晶形には無關係である。

上述多角形的の組織は鐵のみならず一般に純金屬及び固溶體を作る合金に共通な組織で冶金學では之をオーステン式組織と名づけてをる。オーステンは有名なる冶金學者の名である。其形は地圖に見る洲の境界或は河口

にある洲の集りの様であるから、本邦では之を大洲田組織オーステンと譯してをる。大洲田組織と云へば音も原語に通ずるし、又直に組織の形をも頭に浮び出さする便利がある。

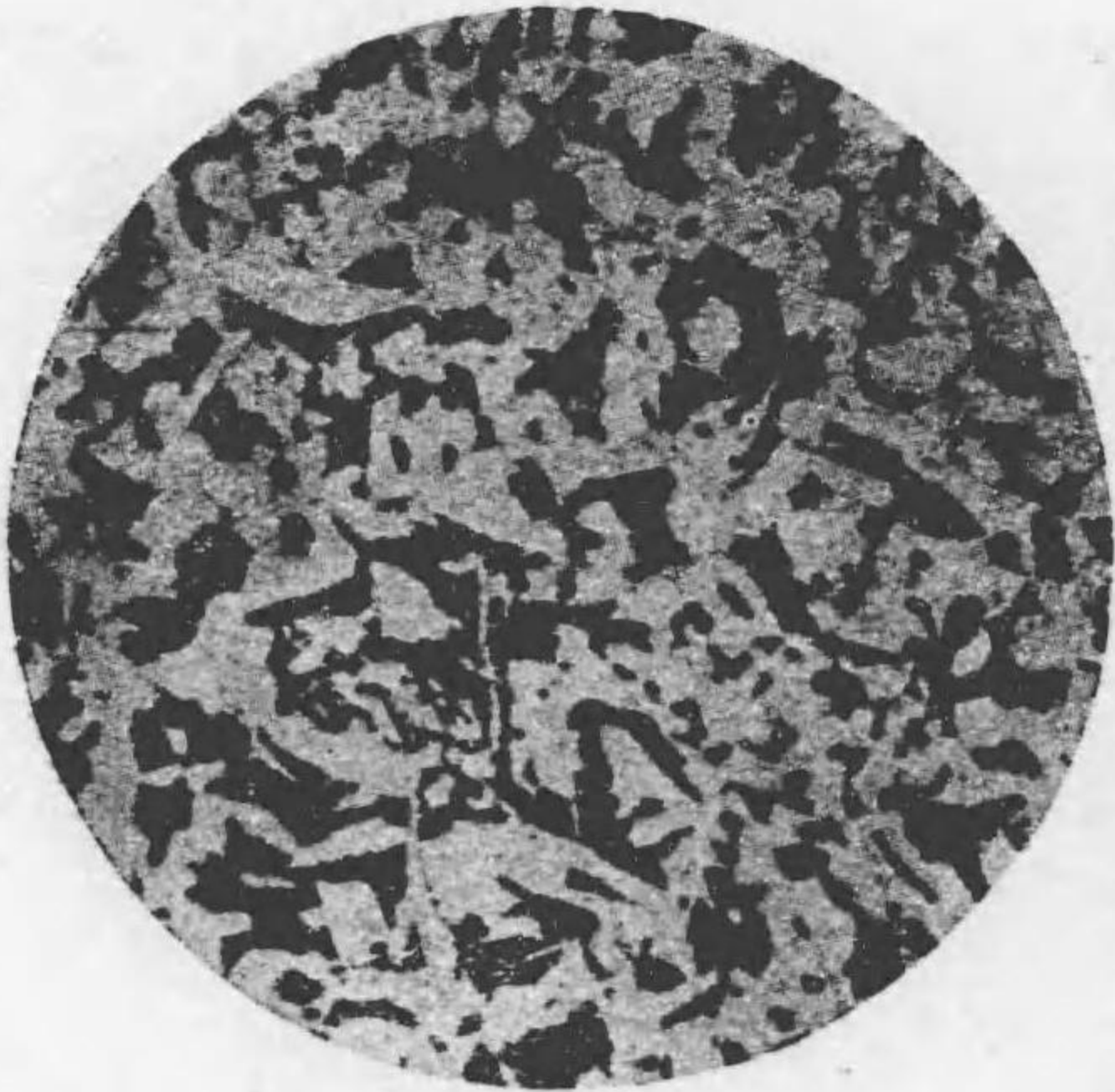
三 鋼の組織、地鐵と波來土

一口に鋼と言つても、其熱處理如何によつて種々の状態にあるから、鋼の組織を論ずる場合には標準處理法を選定することが必要である。通常鋼を一度高温に熱し、しかる後徐々に冷却して常温に復せしめたものを鋼の標準状態と云つてをる。



第十圖 0.18% C 鋼

標準状態の鋼を、前に述べた様な方法で鏡檢すると第十圖及第十一圖のやうに諸所に黒く染つた部分が散在してゐるのが見える。白く光つて見える部分は鐵で黒く見える部分は炭化物と鐵とが密に混合してをる所である。この黒い部分は炭素が黒いから黒く見えるのではなくて、細かに入交



第十一圖 0.32% C 鋼

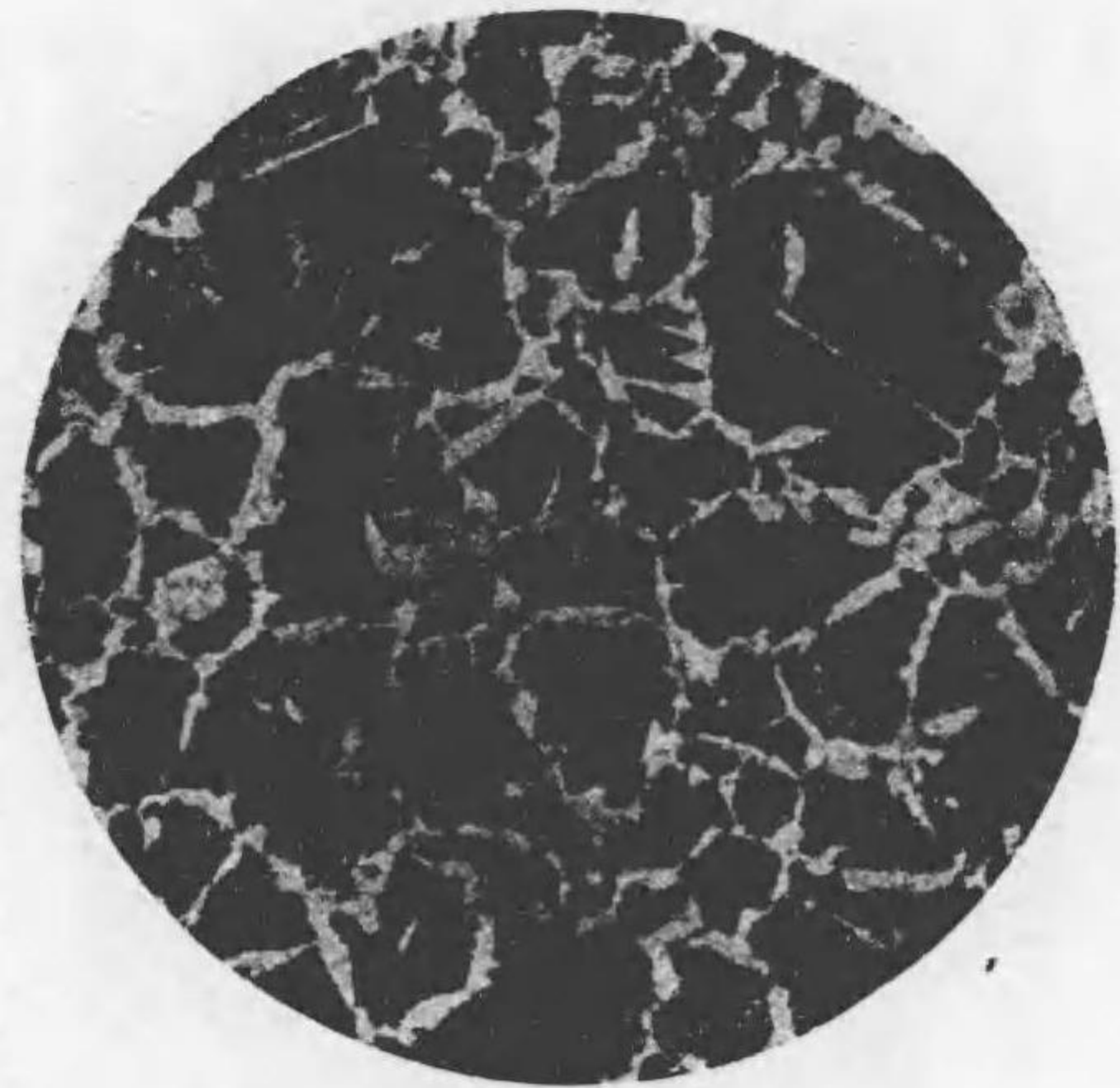
つてをる鐵と炭化物との集合體が酸に腐蝕され易いために他ならない。従つて炭素の含有量の多い鋼ではその黒點も増加する事は容易に首肯される。この黒く見える部分を倍率の一層大なる顯微鏡にかけて見ると、非常に美しい層狀を成してゐる事が



第十二圖 波來土

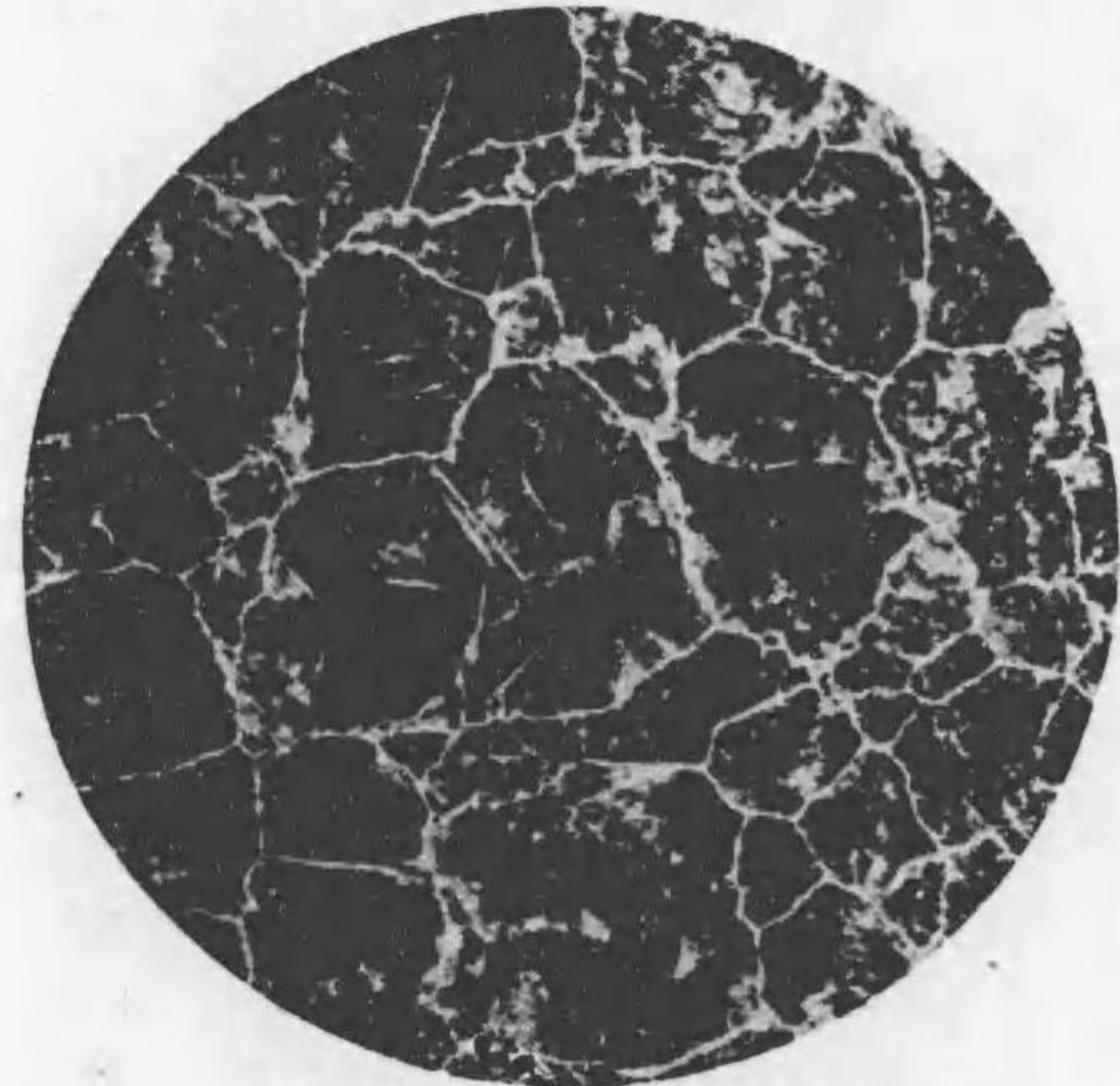
分る。大體の模様は第十二圖に示した通りで、白い部分はセメントタイトで黒い部分は鐵であり、鐵とセメントタイトとが薄い層狀を爲して入交つてをる。

この鐵とセメントタイトとが細かに入交つた組織を冶金學ではパーライト (Pearlite) 組織と名づける。パーライトとは眞珠の如き組織と云ふ意味である、之は顯微鏡下で見るととき非常に綺麗で眞珠の色の縞を見るが如き感じを生すからである。此組織は恰も波打際の砂に彫まれた模様によく似てゐるから本邦では之を波來土と譯してゐる。この波來土に對して白く光



第十三圖 0.49 %C 鋼

メントタイトとが細かに交じつてをる。一般に金屬の小さい粒は大きな粒よりも腐蝕され易いものである。従つて地鐵は酸によつて容易に腐蝕されないが



第十四圖 1.46 %C 鋼

れる鐵を地鐵 (Ferrite) と云つてをる。扱て鋼中の地鐵は比較的大きな塊をなしてをるが波來土中には鐵とセ

波來土中の鐵は腐蝕されて黒く見ゆるのである。然るにセメントは鐵に比して一層腐蝕し難いから波來土中の微細なるセメントの粒も容易に黒く染まらない。

鋼の含有する炭素が増すに従つて、黒い部分即ち波來土は益々多くなり(第十三圖)、○・九%炭素鋼では全部波來土となる。炭素が更に増加すれば第十四圖のやうに波來土粒の周圍に再び白い網目狀の部分が表はれる。之は鐵でなくて炭化物である。

四 A₁變態の機構

冷却の際に於けるA₁變態は、鐵原子の面心立方型より體心立方型への變化である事は既に述べた所である。又組織上より云へば、此變化は大洲田

より波來土への變化である。吾々はこのA₁變態について少し詳しく述べようと思ふ。

冷却の場合のA₁變態は大洲田より波來土への變化で、 γ 鐵内の炭素が固溶體から、セメントナイトとして析出する變化である。即ち面心立方型の格子を有する鐵原子の間に炭素原子を有する大洲田より體心立方型の格子を有する α 鐵と正斜方晶型の格子を有するセメントナイトの混合物に分解する變化である。従つてA₁變態は次の二變化から構成される。

(一) 鐵原子の面心立方格子より體心立方格子への變化

(二) 炭素原子が鐵原子の空間格子よりセメントナイトとしての分離

而して此等の二變化は同時に起るのでなく、恐らく階段的に引續いて起るのであると考へられる。何故なれば、自然の現象では二つの獨立の變化が

精密に同時に起ると云ふ事は考へ難いからである。

この二つの變化が引續いて起るとすれば、何れが先かと云ふ問題が起つて來る。實際、これは先づ(一)が起り次で(二)が起るものと考へられる。其理由は次に説明する。

若しも鐵原子の配列が面心立方から體心立方に變化すれば、炭素を融かしてゐる α 鐵となるが、 α 鐵は元來多量の炭素を溶かし得ないからその必然的結果として第二の變化が起らねばならない。従つて變化は(一)↓(二)の順序と考へられる。反對に(二)↓(一)なる變化は不合理である。何となれば γ 鐵は多量の炭素を溶解する性質をもつてゐるから、冷却の際に、その大部分が、ある温度で一時に分離するには原子内或は原子間に何かの變化が起ることが必要である。夫故、炭素の分離が先づ起り、然る後原子

配列の變化が起ると假定する事は不合理である。従つて A_1 變態は次の様に云ひ表はすことが出来る。即ち

炭素を溶かせる面心立方型の鐵↓炭素を溶かせる體心立方型の鐵↓

地鐵+セメント

然るに炭素を溶かせる體心立方型の鐵は普通の α 鐵と異なつて著しい硬度を持つてゐる。冶金學ではこれをマルテン組織と云ひ、本邦では後に説明する理由で之を麻留田組織と譯してゐる。麻留田は高温では極めて不安定で直に炭素を析出して鐵とセメントに分かれるが常温では鋼の粘性大なる爲め頗る安定である。又地鐵とセメントの混合物は波來土であるから、 A_1 變態を更に次の如く言換へることが出来る。

大洲田↓麻留田↓波來土

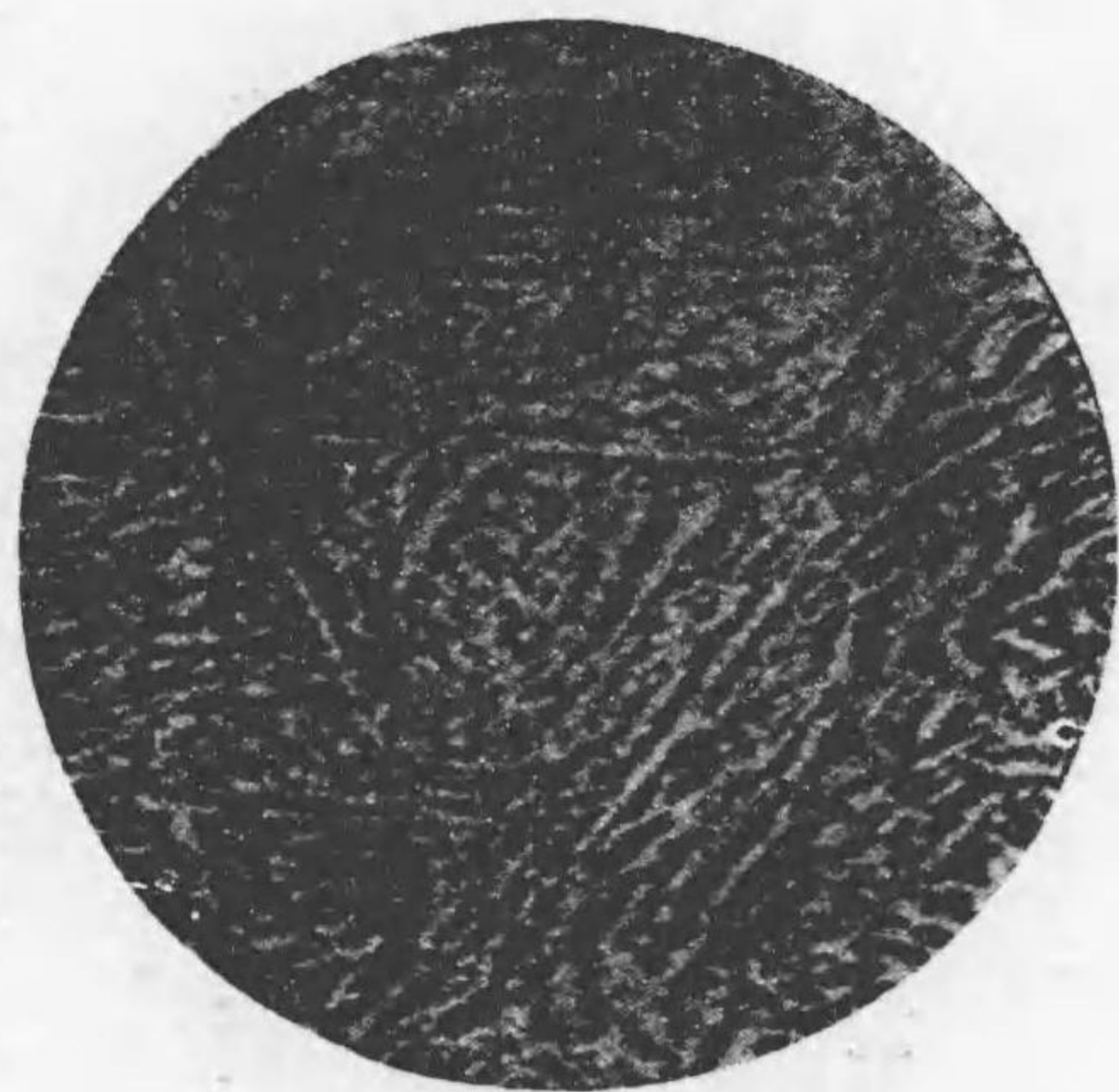
即ち A_1 變態の機構は之を二段變化より成るものと考へることが出来る。
又麻留田については次に詳しく述べたいと思ふ。

第四節 鋼の焼入と焼戻

一 鋼の焼入

焼入と云ふ語は、普通高温度に熱して急速冷却すると云ふ意味に使用してゐる。鋼を A_1 變態迄以上より水中或は油中に投入して急速に冷却すれば焼入前の硬度の三倍乃至四倍の硬さが得られる。然し加熱温度が A_1 點に達せなければ焼入によつて決して著しい硬度の増加を生じない。適當に焼入された鋼の硬度はブリネル式で六百八十に達する。

焼入によつて何故硬度を増すかは後に論ずることとし、先づ第一に焼入



第十五圖 普通の麻留田
1000倍

鋼の組織を調べることが必要である。焼入鋼の組織は非常に微細なる小結晶の集團より成つてをる。此小結晶は第十六圖に示す通り、麻の葉の様に細く尖つた形をしてゐる。X線分析の結果によれば此組織は鐵原子に對しては體心立方型で炭素原子

は其格子間に散在してをる、即ち炭素を溶かせるα鐵に外ならない。従つて此組織は前條の終りに述べた麻留田と同一物である。

次に焼入によつて何故麻留田組織が生ずるかを考へる。既に論じた様にA₁變態は次の二段變化より成つてをる。

大洲田↓麻留田↓波來土

或學者は此考が相則 (Phase rule) に矛盾する様に考へてをるが之は誤解である。何故なら、相則は平衡の場合に同時に存在する相と成分との間の關係を云ひ表はすものであるが、麻留田は平衡狀態に於ては變化



第十六圖 粗大の麻留田
100倍

し去つて全く現はれないからである。

徐々に冷却する場合には、A₁點に於て、大洲田は先づ麻留田に變化し、

麻留田は直に波來土に變化する。従つてその結果は

大洲田↓波來土

と同一である。

ところが、水に焼入した場合の様に急に冷却する時は、大洲田から麻留田への變化は遅延せられ、三百度以下の温度で起り始め、その變化が終る頃には試料は殆んど室温に達する事になる。従つて、第二の變化、即ち麻留田から波來土への變化は室温に於ける試料の大なる粘性のために起る事が出来ないと言ふ結果になり、麻留田組織を得ることになる。

さて、冷却の間に大洲田より波來土に變化するには中間相麻留田を経て進むから、加熱の時には、A₁變態即ち波來土から大洲田への變化は、矛盾する事實が見出されない限りは麻留田を経て進むと考へることが至當である。

この様に考へると、鋼の完全な硬度は階段變化の第一の變化即ち大洲田

↓麻留田が完結し、第二の變化即ち麻留田↓波來土が完全に阻止せられた時に得られる。若し冷却の速度が前の場合より少しく緩慢になれば、第二の變化も一部分進行し、吐粒洲と稱せらるゝ組織を混じた麻留田が得られる。

吐粒洲については次節に論ずる積りであるが、要するに之は本性に於て波來土と異なる所がないから、硬度を論ずる場合には簡単に波來土の中に含めて考へることにする。扱て、大洲田、麻留田及び波來土の硬度の間には次の關係がある。

大洲田の硬度 < 麻留田の硬度 > 波來土の硬度

それ故、波來土を混有してゐる麻留田組織、即ち不完全なる焼入鋼の硬度は純粹の麻留田の硬度より小である。

冷却速度が非常に急速なる時は、第二の變化が完全に阻止せられる許りでなく、第一の變化も一部分阻止せられる。従つてこの場合は大洲田を混有せる麻留田となり、その硬度は又純粹の麻留田よりも小である。

斯の様な急速すぎる焼入の場合に於ては、更に之を液體空氣の様な低温度に冷却すると残りの大洲田は麻留田に變化するから、その硬度を増加する事になる。尙過度の焼入をした鋼に於ては多少大洲田が麻留田中に混合して存在してゐることはX線分析で確かめられてゐる所である。

前に述べた如く麻留田組織は、微細な小結晶の集團で各結晶は麻の葉状の様な鋭く尖つた形をしてゐる、又その生成に就て云ふと、大洲田から波來土への變化が途中で遮断されて次の變化が進行しないときに現はれる組織であるから麻の葉の結晶で留つた組織と云ふ意味で麻留田と譯したので

ある。

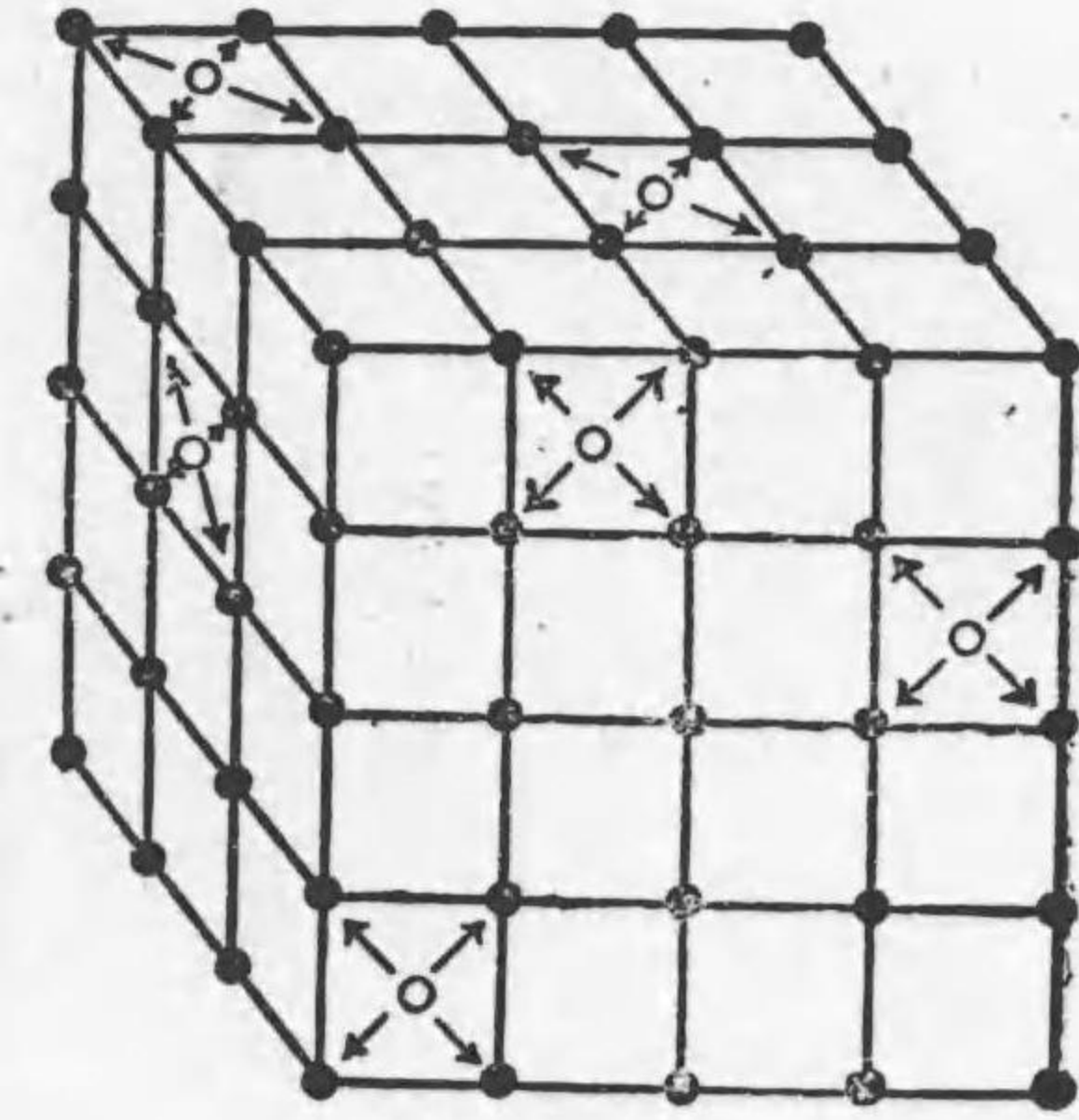
二 麻留田の硬度の原因

X線分析の結果によると、麻留田に於ける鐵原子は α 型の配列をしてゐる事は已に述べた所である。しかし炭素原子は鐵原子の格子内如何なる位置にあるかは未だ決定されない。

そこで次に起つて來る大切な問題は、麻留田が α 鐵と同様の空間格子を有つてゐるに拘はらず何故硬いか、又格子内にある炭素原子の位置は何故X線によつて見出されないかと云ふことである。

これに對しては次の様な考が最も當を得てをと思はれる。即ち炭素原子は格子内では鐵原子とある距離で釣合を保たねばならない。餘り近づく

事は互の斥力のために出来ない筈であるし、又周囲の鐵原子に對しても對的の位置をとるべきである。この様に考へると炭素原子の取るべき一つ



第十七圖
●……鐵原子 ○……炭素原子

の位置は上圖に示す如く立方格子面の中心にあるとせねばならない。ここに炭素原子は重に隣接せる六個の鐵原子に原子力を及ぼして互に釣合を保つてゐる(第十七圖)。しかし高温度に於ける炭素の鐵に對する最大溶解度は一・七%であるから、鐵の格子内に入り得る最大炭素原子数は鐵原子二十個に對して炭素原子一個を超える事は出来ない。斯様に考へると、空間格子の面心に位する炭素原子は格子上の

鐵原子に力の作用を及ぼすから、恰度四角の枠に對角線の張りを入れた様な状態に居り、格子の構造を非常に強くすることになる(第十七圖参照)。

上述の説によると、焼入鋼の硬度は炭素量と共に増加すべきであるが、この結論は含有炭素量〇・六%位までの鋼では事實とよく符合する。しかし、それ以上炭素が加はるも左程硬くならないのは恐らく、一方に於て次第に大洲田を混へ來るためと、他方麻留田の結晶が次第に大きくなつて硬度を減ずるためであらう。

兎も角、上述の様に、炭素原子が鐵格子面の中心にあれば、廣い空間に對してこの炭素原子の分布は固溶體の性質上全く不規則である。従つて炭素原子として一定の干涉圖を表はさない筈であり、X線的に炭素原子の位置を見出すを得ないのは當然である。

尙こゝに二三附加すべき事がある。上述の様に、炭素原子は鐵格子内に入り込むのであるから原子が互に押し合ふ結果、體積の増加を來すものと考へられる。これは事實に符合するので例へば、〇・九%の炭素を含有する麻留田鋼は、溫度三百度の熱膨脹に相當する膨脹を示してをる。従つて炭素鋼は焼入によつて軽くなると同時に強く硬くなるのである。

炭素原子が鐵原子の空間格子の面心に位して對角線的張りの作用をするために硬度がます事は前に述べた通りであるが、從來冶金學者は鐵中に溶解せる炭素を硬化炭素と名づけてゐたが上述の學説は此硬化炭素に物理學的の説明を與へたものである。

尙、この炭素以外に、麻留田鋼の硬さを増す原因が二つ考へられる。即ち結晶の微細なること及急速冷却に伴つて生ずる内部歪力とである。結晶

粒は小なる程硬度は大である、又内部歪の大なる程硬度の増加も大であるが、是等に関する詳しい説明は略して置く。

三 吐粒洲及び粗粒陁

焼入鋼は非常に硬くはあるが、脆い缺點を有てをる。又物は大なる硬度を要すると同時に、餘り脆くないことを必要とする。硬度も相當の大さを有し且つ餘り脆くない爲めには麻留田鋼を再び二百度乃至三百度に少時間熱すればよい、この熱處理を焼戻しと稱してゐる。焼戻しによつて如何なる變化が起るか。麻留田鋼を少し加熱すれば原子運動が盛になり、不安定の麻留田の一部分より鐵とセメントタイトとが分離し始める。之が焼戻しの開始である。

元來麻留田は、急激な冷却の爲めに麻留田より波來土への變化が阻止されたために生じたものであるから、不安定の状態にあつて、鐵とセメントイトに分離しようとする傾向をもつてをる。この傾向は、温度の上昇と共に加速せられ鋼中の炭素は炭化物として次第に分離するのである。この炭



第十八圖 吐粒洲

化物の分離は勿論鋼中に散在せる無数の炭素原子を中心として起るから炭化物の膠質的微粒は組織の各所に生ずるのである。
粒の散布せる組織は非常に酸に腐蝕され易いから少時の腐蝕で黒く染まる(第十八圖)。此組織は其硬度に

於て多少麻留田に劣るが麻留田のやうに脆くない特長を持つてをる。冶金學では之をトルース(Truostite)式組織と云ふ。之は麻留田組織の各部より微粒の吐き出されて出來たものであるから、本邦では吐粒洲トルースと名づけてをる。



第十九圖 粗粒 波 100倍

吐粒洲は、鐵とセメントタイトの微粒の混合物であるから其本質に於ては波來土と何等異なる所はない。
吐粒洲組織の鋼を更に五六百度に加熱すれば微粒は次第に凝集して粗粒となり、その粒の大きさは顯微鏡で見ることが出来る様になる(第十九圖)。

粒の大きさが此程度に達した組織を冶金學ではソルビー (Sorby) 式組織と云ひ、粒が粗大になつたと云ふ意味より本邦では之を粗粒^{ソルビー}と名づけてゐる。この組織は麻留田に比すれば著しく軟かいがなほ波來土に比すれば硬くて且つ強靱であるから、硬度を必要とする機械の諸部に此組織の材料を使用してゐる。

第五節 鐵及び鑄鐵の凝固點に於ける收縮

一 鑄鐵の定義

收縮測定法を述べる前に、鑄鐵の定義を明にしておかうと思ふ。普通鑄鐵の定義も、鋼の場合の如く、製造法と性質とを主眼としてある。例へば、鑄鐵はブラスト爐、或はキユボラによつて製出せられ熔解し易く、且つ脆き性質を有するものであるとか、或は多量の炭素を含みて可鍛性を有しないものとか、云ふ様な類である。

之は随分長い定義で、製造法に關するもの、性質に關するもの等を含ん

である。鋼の場合に述べた様に、製造法に關して定義することは妥當でない。また性質に於ても熔解の難易、脆性及び可鍛性の大小は要するに程度の問題であるから之を以て區別の尺度とすることも面白くない。しかし、これ等の立場を離れ、鐵炭素系の平衡圖に照して考ふれば、一・七%以上の炭素を含むものは鑄鐵と同一の組織を有するから、鑄鐵に於ける炭素の最低限を一・七%におくのが最も適當と考へられる。普通炭素二%前後のもの半鋼と呼んでゐるが、組織上より見れば其性質が却つて鑄鐵に似てゐるから之を半鑄鐵と呼ぶが適當である。勿論、半鑄鐵と鑄鐵との區別は全く便宜的で學術的の意義を持たない。

尙、炭素の最高限を四・三%と限る必要はないが、實際問題として炭素をより多く入れる事は困難であるから、自然に上の際限は定まる譯である。

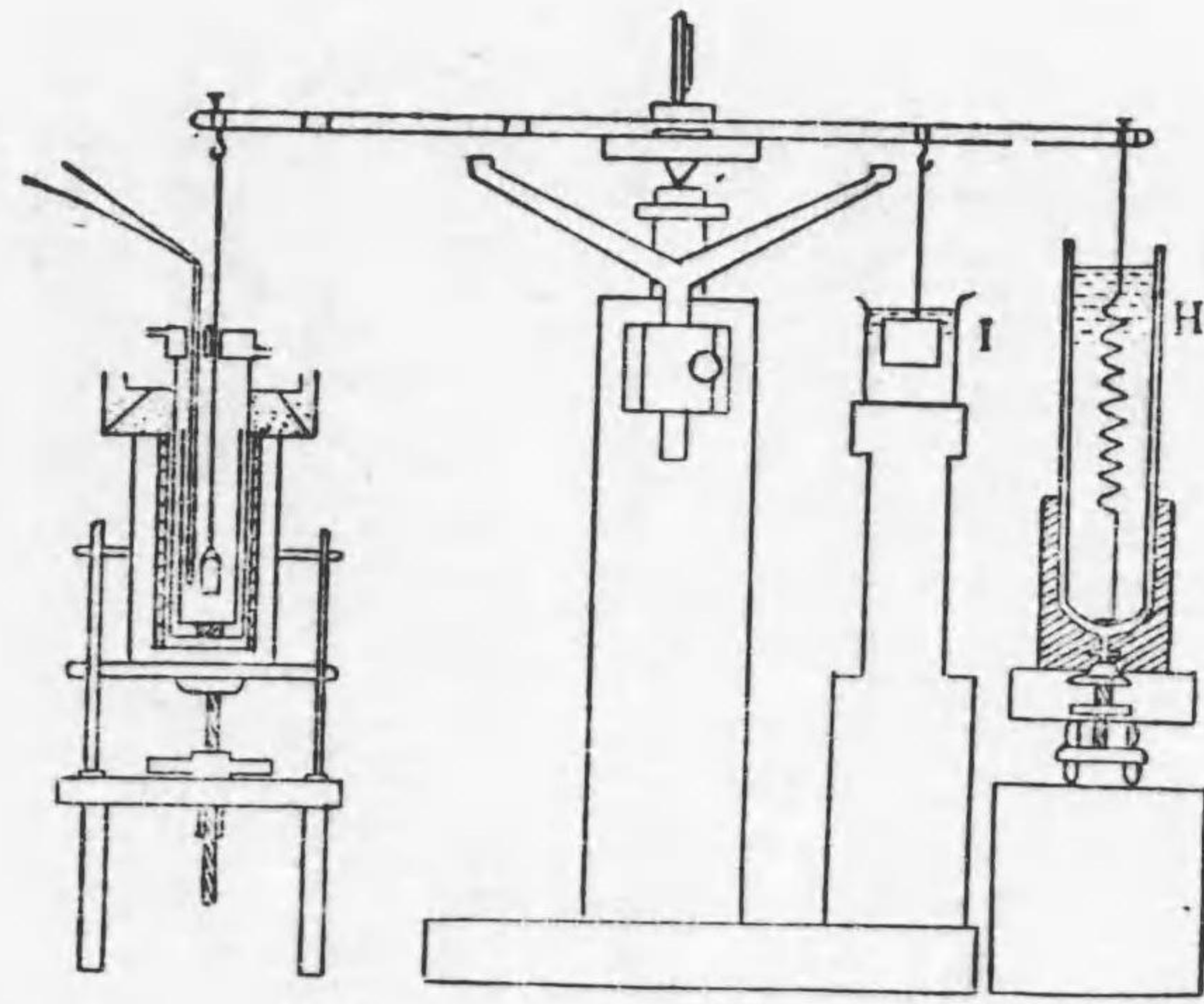
しかし學術的には炭素の最高濃度を六・七%即ちセメントタイトの濃度にするのが適當である。

要するに鑄鐵は次の如く定義するのが適當である。即ち「炭素一・七乃至六・七%を含める鐵炭素合金を鑄鐵と云ふ」。この定義によれば熔解し易いとか、脆いとかの性質は自然に具備されることになる。

二 凝固による收縮測定法

普通鐵は凝固の際膨脹すると云はれてゐるが、これは皮相の見解に過ぎないで事實は矢張り收縮する。勿論、凝固の際鐵の内部に氣泡が発生するから外觀は膨脹した様に見えることもあるが、本質的には收縮する。

鑄鐵も凝固の際膨脹する様に見えるが、氣泡の関係もあり、又凝固せる



第二十圖 熱天秤

セメントタイトの分解による膨脹をも伴ふのであるから、本質的に膨脹するか或は収縮するかを決定するのは學術的に最も必要である。凝固の際の體積の變化を測定するには熱天秤 (thermobalance) によるのが最も便である。熱天秤の構造は大體第二十圖に示してあるが、その原理は適當なる液體中に小さい容器に入れた試料を吊して天秤の腕にかけ、試料の融解點

以上より徐々に冷却し凝固の際の體積の變化に基づき浮力の増減を天秤によつて觀測し試料の體積の變化を知るのである。

熱天秤に使用する液體は試料の融解點前後で液狀を保ち且つ試料に作用しないことが必要條件である。例へば水の凝固の際の膨脹を測定するには石油を用ゐるが便である、又錫鉛等の融解し易い金屬の場合には鑛物性油を用ひ、金、銀、銅等の稍々高い融解點を有する金屬の場合には融解し易いガラスを用ゐるが便である。尙是等の液體の所要の溫度に於ける密度は豫め測定して置かねばならない。

今凝固の際の試料の體積の變化を δV としその溫度に於ける液體の密度を ρ とし熱天秤によりて測れる凝固の際の質量の變化を δm とすれば次の關係が得られる。

$$\rho\delta V = \delta m$$

V を融解せる試料の體積とすれば

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\delta m}{\rho V}$$

従つて δm 、 ρ 、 V 等を測定すれば凝固の際に於ける體積變化の割合を求むることが出来る。

三 鐵及び鑄鐵の凝固收縮

純鐵は其融解點が高いから熱天秤を用ひて、收縮を測定することは困難であるが、幸ひ現今までに知られてゐる觀測から之を計算することが出来る。即ちウェストグレン (Westgren) の測定によると、攝氏千四百五十度

に於ける α 鐵の格子恒數は 2.93×10^{-8} 糎である。又鐵の一原子の重さは既知の數であるから、之より容積を計算すれば 0.1366 c.c. となる。且つ鐵の熔解點は千五百二十八度で、この附近の鐵の膨脹係數は 0.000016 であるから鐵の融解點に於ける比容積は 0.1371 c.c. となる。

又融解點の直上に於ける鐵の比容積はベネディックス (Benedicks) の測定によれば 0.1434 c.c. であるから、この二つの比容積から純鐵の凝固の際の收縮を計算すれば四・四%となる。

以上の計算によつて純鐵は凝固の際收縮することを知つたが、鑄鐵ではどうであるか？ 吾々が熱天秤を用ひて六種の鑄鐵に就て實測した結果は次表に示す通りである。

此表の第一行は試料の番號で第二行は試料に加へた珪素の量である。珪

鑄鐵の成分と收縮率

試料 番號	珪素	全炭素量	黒鉛炭素	$\frac{\delta V}{V}$	$\left(\frac{\delta V}{V}\right)_{dec.}$	$\left[\frac{\delta V}{V}\right]_{cal.}$
1	2.03%	4.3%	3.08%	1.66%	5.26%	1.66%
2	2.31	4.2	3.06	1.64	5.24	1.64
3	1.28	4.2	2.8	1.18	4.78	1.18
4	0.44	4.1	2.2	0.47	3.76	0.16
5	0.38	4.1	2.06	0.00	3.42	-0.18
6	0.08	4.0	1.17	-1.76	2.05	-1.55

素を加へた目的はセメントタイトの分解の度を種々に變ずるためである。第三行は試料の有する炭素の全量で各試料に就て略ぼ同一である。第四行は分解せる炭素量で珪素の量と平行に變化してをる。又第五行は凝固の際の體積の變化の觀測値である。

上表に於て注目すべきことは、セメントタイトの分解の多い場合は膨脹を伴ひ、分解の少なくなるに従ひ次第に膨脹を減じ遂に收縮に變ずることである。以上六種の鑄鐵は其成分に於て略同一であるから、略一定の膨脹或は收縮を生ずべきである

が事實は著しく此豫想に反してをる。此異常の變化は鑄鐵の凝固の際の收縮と凝固せるセメントタイトの分解による膨脹との合成結果と考へるが最も自然である。此考に従へば單に鑄鐵の凝固による收縮はほゞ一定であり、セメントタイトの分解による膨脹は黒鉛の量に比例すべきであるから、黒鉛炭素の量の大なる程實測の膨脹は大なるべきで事實は此結論とよく符合してをる。

尙上述の考を定量的に確める爲め先づセメントタイトの分解による膨脹を計算する。常溫に於けるセメントタイト及び黒鉛の比容積は夫々 0.1312 c.c. 及び 0.4545 c.c. γ 、20° ~ 1130° 間の平均膨脹係數は黒鉛に於ては 0.0000024 でセメントタイトに於ては 0.000015 であるから鑄鐵の融解點即ち 1130° の比容積は夫々 0.1378 c.c. 及び 0.4581 c.c. となる。然るに此高溫度にてセ

メントイトが分解して黒鉛を生ずれば其一部(1.6~1.7%)は直に鐵中に溶解して大洲田となり結局黒鉛と大洲田となる。この大洲田の1130°に於ける比容積は0.1376 c.c.であるから、是等の値よりセメントタイトの分解によつて生ずる體積の變化は11.8%となる。故に之に各試料中の分解セメントタイトの量を乗すれば、各試料の膨脹が得られる、従つて之を融態試料の體積に割當てたるものに換算すれば前表第六行に掲げた値が得られる。

次に六種の試料に於ける黒鉛量對凝固膨脹の曲線を引き之から黒鉛零に相當する膨脹を求むれば-3.6%となる、此値はセメントタイトの分解なき場合に相當する凝固收縮を表はすものである。従つて總體積の變化 $\left[\frac{\delta V}{V} \right]_{\text{cal.}}$ は次式によつて表はされる、即ち

$$\left[\frac{\delta V}{V} \right]_{\text{cal.}} = -0.036 + \left(\frac{\delta V}{V} \right)_{\text{dec.}}$$

此式に前表第六行の値を挿入すれば第七行即ち最後の行に掲げた値が得られる。此値は實測の結果(第五行)とよく一致してをる。故に鑄鐵の凝固の際の膨脹は凝固に伴ふ本質的の膨脹でなく凝固收縮とセメントタイトの分解による膨脹との和であることが確實である。

大正十五年七月十日印
大正十五年七月十五日第一刷發行

物理学中の一章

定價三拾五錢

版權所有



著者 本多光太郎

編輯者 東京帝國大學理學部會

發行者 東京市神田區南神保町十六番地 岩波茂雄

印刷者 東京市神田區表神保町十番地 前田宗松

文成社印刷所

發行所

東京市神田區
南神保町十六番地

岩波書店

電話四谷(五八七)
東京總機(七一六七〇)
番番(二六二四〇)

科學普及叢書發刊に就いて

東京帝國大學理學部を内面的に融合し、且、理學部にふさはしい、色々の仕事を擧げる爲めに、教授、先輩、學生を以て、理學部會が組織されました。その仕事の一面として、權威ある先生方の講演を願つて、正統的な、科學通俗講演會を開く事にしてゐます。そして、その講演の都度、之をパンフレットとして、先生の校閲を経て、市に出す事に致しました。謬られ勝ちの、科學の通俗化の中に、幾分でも眞摯なものを傳へて、科學そのものゝ通俗化よりも、むしろ、科學的考察の方法が、正當に、廣く理解される事の一助ともならば幸です。

○今村明恒述 (四六判 假綴四二頁 九編九葉 定價四十錢 送料二錢)

科學普及叢書 第一編 地震の理論と今回及び今後の東京地震

○中村清二述 (四六判 假綴八二頁 別表二枚 定價六十錢 送料四錢)

科學普及叢書 第二編 九月東京に於ける大地震による大火災

○桑木嚴翼著 (四六判 假綴一〇〇頁 定價四十錢 送料二錢)

科學普及叢書 第三編 科學に於ける哲學的方法

岩波書店

539
24

終