

# 鑄鐵の生長に就て

菊田多利男

## 一 緒論

或種の鑄鐵を赤熱まで繰返し加熱する時は、次第に其の體積を増すこと、即ち生長することは、古より知られたる事實なり。今長さ八呎、直徑三呎、厚さ一吋半の鑄鐵の燒鈍爐を長時間赤熱狀態に保つ時は、其の使用中に長さが九呎に増大すること屢々ありと云ふ。其の他鑄鐵製のファーネース、ゲートとかレンヂ、ファイチング等も又加熱を幾回も繰返せば、其の形が歪み、又は破壊するに至る。而して軟鋼にては同様なる熱處理を施しても生長することなく、寧ろ收縮す、然らば何故に或種の鑄鐵、即ち鼠銑鐵を赤熱まで加熱を繰返す時は生長し、軟鋼、鍊鐵及び白銑鐵にては生長せぬか、其の原因に關しては幾多の人々に依りて研究せられたり、次に其等の人々の研究結果の概要を掲ぐ。

西暦千九百五年 A.E. Outerbridge 氏が "Transaction of the American Institute of Mining Engineers" に其の研究を發表せり、それに依れば、長さ十四吋十六分の十二、幅及び厚さが一吋の鑄鐵棒を約八百度（爾後溫度は凡て攝氏にて表はすものとす）まで一十七回加熱を繰返せしに、長さが十六吋一分の一厚さ及び幅が一吋八分の一に増加せり、それを體積に換

算すれば四〇・九八%の增加に相當す、而して比重は七・一三分のものが此熱處理後には六・〇一となれり、尙ほ加熱の回數を累ね三十三回にして最大の生長に達せり。此試料の化學成分は列舉し居らざりしも、彼は其の原因を次の如く述べ居れり。即ち、此鑄鐵の中に含有する結合炭素は其の量小なれども燒鈍の途中に於てグラファイトに變化す、其のために幾分かの膨脹をなす、されども其の量は全部の生長に比すれば甚だ僅少にして他に原因を求めるべからず、夫故種々の試験の結果を綜合したる後鑄鐵の結晶は鋼又は鍛鐵の結晶と違ひ廣き範圍に涉つて内部分子の運動をなすことを得るなり、即ち鐵の分子は加熱によりて引離れ、それが再び冷却さるゝ場合には、元の位置に戻ること能はざるものと考へて、鑄鐵の生長の原因を其の分子可動性の方面より説明せんとせり。其の後 H.F. Rugan 並びに H.C.H. Carpenter の兩氏が此鑄鐵の生長に就て比較的精密なる實驗をなし其の結果を浩瀚なる論文として "Journal of Iron and Steel Institute vol. LXXX. 1901." に發表せり、此研究は有名なるものにして且つ廣く認容せられ居るものなれば其の内此研究に關聯せる項目を次に舉ぐ。

一、普通の鑄鐵の最大の生長が加熱を繰返すことに依りて生ずる際の條件を決定せり。此實驗に於ては九百度まで加熱し其の溫度に四時間保持せる後冷却し、それを一週期とす。

二、生長を生ぜしむるには加熱及び冷却を交互に行ふこと必要にして、其の與へられたる試料は三時間の處理にて充分にして十七時間處理したるも、三時間處理せるものと其の結果に於て大差なし。

三、溫度の測定は熱電對とダイレクト、リーデン、バイロメターを使用し、體積の變化を見るためにはマイクロメーターカリバーを以て長さ、幅及び厚さ等を測定し一時の萬分の一まで精確に測定せり。

四、三種類の普通の鑄鐵を試験せしに、夫等は各異りたる割合にて生長し且つ其の增加の分量も又各異れり、此生長は三五・一一及び三七・五〇%の間を變化す、凡ての場合に其の重量は多少は増加せり。

五、初め白銑鐵なりしものは或る回數の加熱に對しては收縮をなすが其の後は生長す、此等の鐵は加熱の途中に於て鼠銑鐵となる故に、縮少より生長に至るまでの變化は遊離炭素の出現と一致する處なり。此遊離炭素はそれがグラファイトなるにせよ又は燒戻炭素にせよ、殊に斯る白銑鐵の場合にはその生長には避くべからざるものなることを知らる。

六、次に珪素の影響を試験せり。鐵—炭素—珪素の合金、即ち炭素が三・四乃至三・九八%、珪素が一乃至六%を含み其

の他の成分はなるべく小にし且つ一定なる鑄鐵を鑄造せり、此時の生長は十五乃至六十三%まで達せり、大體より云ふ時は、此生長は珪素の量に比例せり、而して結合炭素が遊離炭素に變はるための生長に比し甚だ大にして、結合炭素を含まざる珪素の含有量最大の合金に於て最大の生長を認められたり。

七、重量の增加率は又生長の增加と相似たるを以て此の二つの間には密接なる關係あることを豫想せらる。

八、此重量の增加率は珪素の百分率と同じ割合になれるを以て次の三つの作用の合成の結果と考ふることを得。

イ、炭素の部分酸化。之は珪素の含有量の增加すると共に減少し珪素の含有量六%に達すれば零となる。

ロ、珪素の完全なる酸化。之は最初には鐵のシリサイドとして存在せしものが酸化して酸化鐵及びシリカに變化す。

ハ、珪素と結合せぬ鐵の部分酸化。

九、生長の間に合金の中に瓦斯が次第に貫通する模様を顯微鏡的に研究し其の組織の變化を記録せしに、幾回かの後には多量の瓦斯が含有され、グラファイトは初めの位置より變位し、其の後に取残されたる部分は酸化す而して其の處に無数の小穴が形成され且つ組織は回轉狀となる。

十、種々の合金に對する瓦斯の影響を研究せしに。炭素が三・三八%、珪素が六・一四%含有する合金はマツフル中にて加熱せし場合には六二%も生長せしにも拘はらず、真空中に

て加熱せしに少しも生長せず寧ろ僅かの縮少をなせり。此時

に發生せし瓦斯は水素が八五・五%，窒素が一一・五%含有せり他の化學成分の棒を真空中にて含有瓦斯のなくなるまで加熱せし後マツフル中にて加熱したるに最後の生長は六七・七%に達せり、扱て、斯かる合金の生長は全く瓦斯の侵入に依るものなること明かとなれり、此侵入する瓦斯の四七%は炭素の酸化物より成立せり、之れ鐵のシリサイドが酸化するに基因するものにして従つて鐵のシリサイドは此の合金の生長に對し密接なる關係あるものなり。

十一、斯くして最後の結論として、生長の主なる原因は鐵のシリサイドの酸化に依りて其の材料が崩壊するためにして又珪素量少なき緻密なるグレーンを有する銑鐵に於ては其の内部に含有せられたる瓦斯の壓力が其の生長の基因となるものなり。

其後 Carpenter 氏は此研究を尙ほ續け、其の結果を "The

Journal of the Iron and Steel Institute, vol. LXXXIII" に發

著しく増して約一〇%に及ぶと。

以上の實驗にては加熱の前と冷却の後とに於てマイクロメータード・カリバーを用ひて試験の寸法を測定し、それより生長の量を決定せしものにして、加熱及び冷却の途中に於て長さが如何に變化するか又鑄鐵の變態點にて如何なる變化が生ずるものか等の問題に對しては少しも考へざりき。大河内先生には此點に氣付かれ佐藤學士と共に尙ほ精密に此生長の原因を確めんとせり、即ち試料を加熱及び冷却をなし、各溫度を通じて繼續して種々の物理的性質、即ち、熱膨脹、重量の増加、磁氣の強さの變化並びに電氣抵抗等を測定し、最後に顯微鏡的考察をなせり。此等の實驗の結果より兩氏は生長の原因を次の如く結論せり。

- 一、鑄鐵の生長に關して酸化は重要なものにあらず。
- 二、第一回の加熱の際六百度以上にて起る生長はセメンタイトの分解により起るものなり。

三、第二回及び其後の熱處理に於て加熱の際に起る生長は二段に起る即ち  $A_1$  點に於て起るものと夫以上の高溫度にて起るものとあり。

四、前者即ち  $A_1$  點に於て起る生長は加熱の際  $A_1$  變態に伴ふ收縮に對し瓦斯の壓力の抵抗力の爲めに起るものにして後瓦斯は、珪素が三%以上も含む時は鐵の生長には影響せざれども一・七五乃至二・〇四%の珪素を含有する時は一乃至二%の生長あり、尙ほ珪素の含有量減じ一%以下になれば生長も

て瓦斯は鑄鐵の内部に浸入し易けれども高溫度に至るに従ひ逃れ難く遂に其の路が遮断されるに至ると云ふことが假定の中に入れられざるべからず、されども之は實際にあり得ることなるか否やを確める必要あり。斯くして此研究が企圖されし所以なり。

## ニ 鼠銑鐵の薄壁を通じ瓦斯の漏洩試験

前述の如く大河内先生及び佐藤學士の研究に依るが如く鼠銑鐵の生長は、其の中に含有する又は外部より闖入せる瓦斯の膨脹に原因すとの説を確めんがため各溫度にて鼠銑鐵にて作れる薄壁を通し漏洩する空氣の量を測定せり。

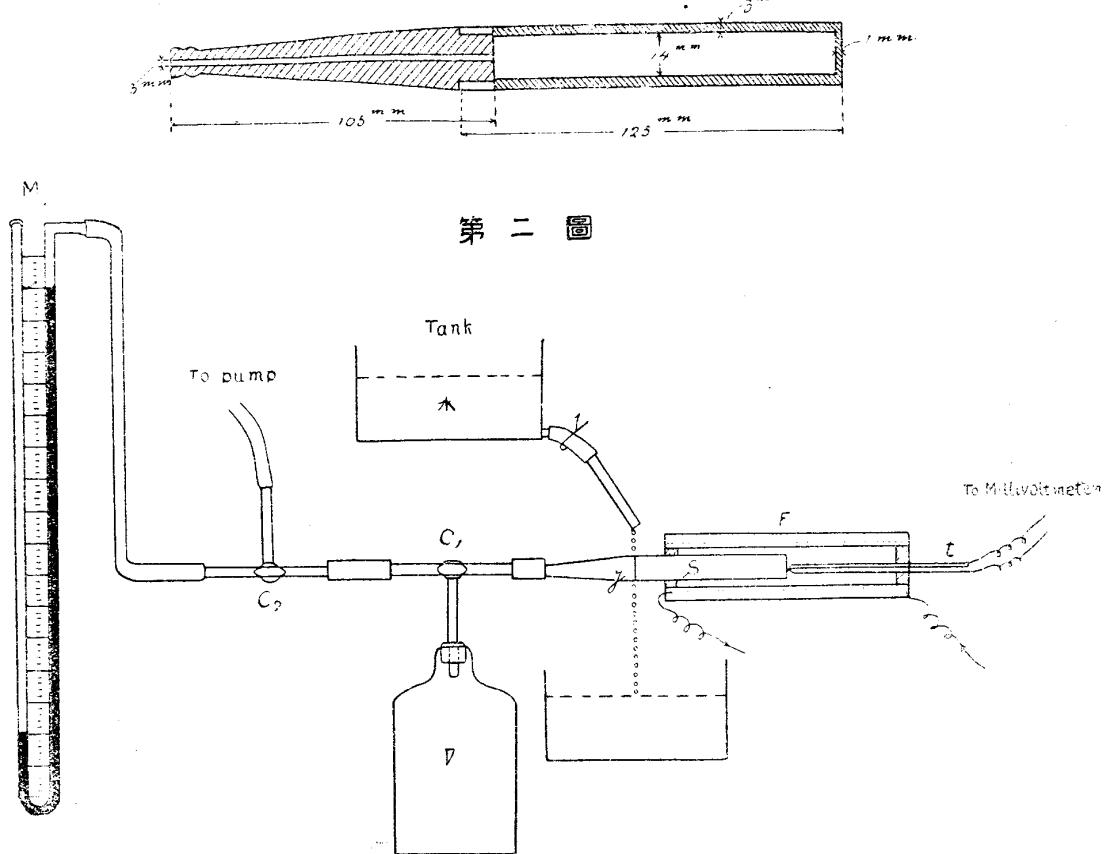
此實驗に用ゐし鼠銑鐵の化學成分は珪素が三・三七%、炭素が三・一二%を含むものにして、之をアスベスタスにて作れる鑄型に鑄て一本の圓鑄を作り、それを仕上げて第一圖の如き寸法になし開きし方を真鍮の圓筒に蠟付けにせり、此處に作りし圓筒はアスベスタスの鑄型に鑄て作りしものなる故熔融状よりの冷却速度極めて緩かなり、從つて之を良く磨き酸にて腐飾することなしに顯微鏡にて見ればグラファイトの細片が種々雜多の方向及び形をなして存在せり。

斯くの如くして得たる試料を第二圖の如く裝置せり、圖中Sは試料たる鼠銑鐵の圓筒にしてそれをFなる電氣抵抗爐中に挿入し加熱する様にす、 $\text{t}_1$ は白金、白金-ロヂウムの熱電對(thermo-couple)にして試料Sの外壁に密着せしめ其の處の溫度を精確に測定し得べからしむ、 $\text{j}$ は真鍮管と試料との接合

部にして兩者を蠟付けにせしめしものなる故試料が熱せらるに従つて此繼ぎ合せの部分も加熱せられ白蠟の熔る恐れある故その部分はタンクより流れ落つる冷水にて始終冷却する、Vは真空にさるゝ器にして其の中の容積は前に豫め測定せらる、 $C_1$ 及び $C_2$ は三方向に通ずる栓にして、Mは水銀氣壓計なり。

先づ最初 $C_1$ 及び $C_2$ なる二つの栓を用ひて試料真空器及び氣壓計をゲーテの補助排氣ポンプに接續して夫等を排氣す、次に排氣ポンプに通ずる道を $C_2$ なる栓を用ひて遮断す、斯くして外より此の銑鐵の壁を通し内部に闖入し来る空氣の量を測るには、或る一定の時間毎例へば十分間毎に氣壓計の読みをとる、斯かる氣壓計の読みと、試料、真鍮管、真空器及び其の他の接續管の内容積は既に測定せられ居る故、此内容積より試料の底壁(主として)より洩るゝ空氣の量を一氣壓の密度に換算して求むることを得、故に斯かる測定を幾度かの加熱後並びに各溫度に就きて求むるを得。次に其の結果を擧ぐ、但し加熱は約九百十度乃至九百六十度まで達し其の溫度にて五分乃至十分間保ちたる後爐の電流を切り爐中にて徐々に冷却す。第一表は幾回か加熱を繰返したる後に測定せる漏洩量を表はし、第二表は二十一回、三十四回、六十三回、及び七十五回目の加熱の際、常温より種々の高溫度に於て漏洩量を測定したる結果なり。

圖 I



返す回数	0	4	8	10	14	18	21	25	30	34	40	43	48	53	58	63	70	75	80
漏気量 c.c.	0.000	0.016	0.028	0.028	0.043	0.054	0.047	0.057	0.083	0.133	0.120	0.190	0.240	0.320	0.390	0.375	0.345	0.325	0.255

\*註、初めの二十四回まで試料は九百十度乃至九百二十度まで加熱し、二十五回以後は九百五十度乃至九百六十度まで加熱せらるるものなり。

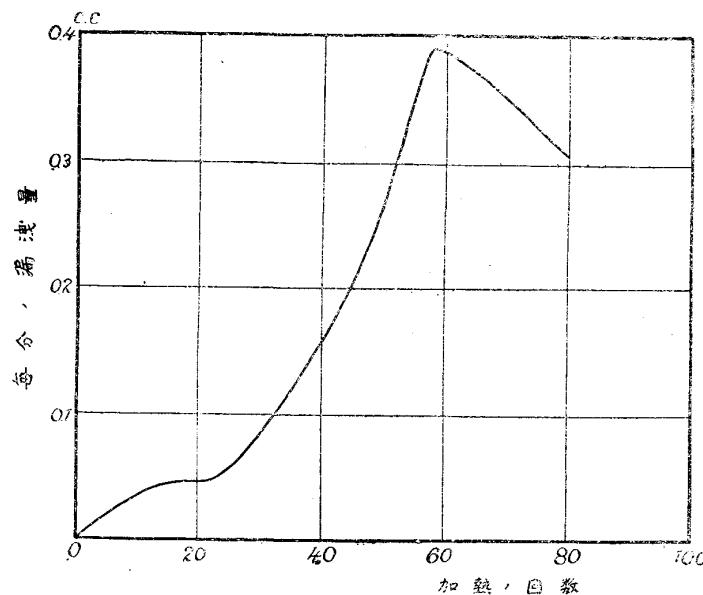
第一表

第二十一回 目の加熱	第三十四回 目の加熱	第六十三回 目の加熱	第七十五回 目の加熱
温度	漏洩量 c.c.	温度 c.c.	漏洩量 c.c.
65°	0.0465	13°	0.104
195	0.0465	320	0.102
283	0.0465	465	0.089
363	0.0430	569	0.086
406	0.0430	660	0.096
477	0.0460	785	0.107
690	0.0420	860	0.114
885	0.0350	955	0.136
910	0.0460	—	—
—	—	—	960
			0.2550

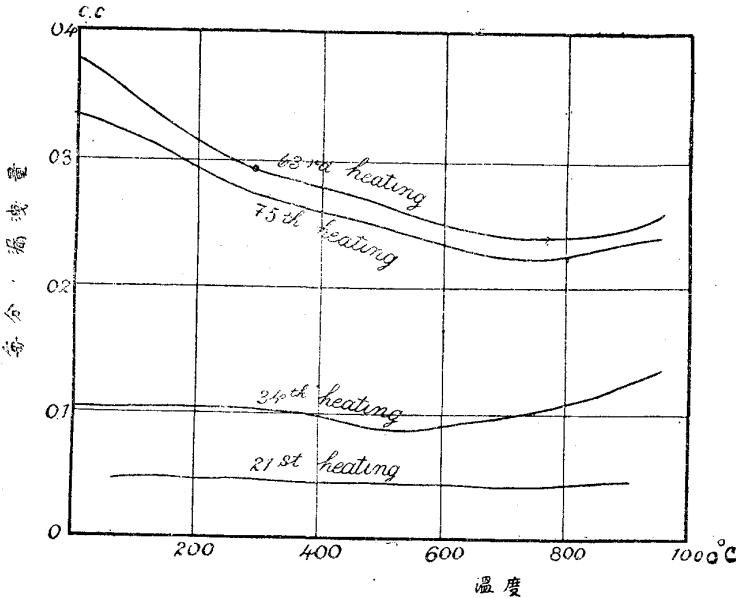
第一表を曲線にて表はせば第二圖の如し、圖は横軸に加熱の繰返回數を採り、縦軸に毎分の漏洩量を立方厘米にて表はせるものなり、此曲線を見るに、最初十五回までは漏洩量次第に増し其以後は増加率緩かとなり二十五回より急に増加し五十八回に至り最大値に達し其後は次第に減少するを見る、斯くの如く曲線中に最大値のあるのはそれ此漏洩量の増減に關し二つ以上の原因あることを示すものにして余はこれを二つ

の原因に歸せり、即ち一つは加熱を繰返すため後段に於て述べるが如き理由より鼠銑鐵の  $A_1$  變態點に於ける膨張に對する不可逆變化のために加熱後には其の試料は永久の膨張をなす之れ銑鐵の生長の主原因をなすものにして、此ために材料は多孔性となり行く、斯くして此原因は試料の薄壁を通じ空氣

第三圖



第四圖



毎に起り其の合成の結果が第三圖の如き一つの最大値を有する曲線となりしなり。又二十回前後の加熱に於て漏洩量の増加率が緩かとなり二十五回以上より急に増加せしは加熱の最高溫度が二十五回以前と其の以後とに於て違ふ故に起りしものなり、後に於て知らるゝ如く斯かる試料の  $A_1$  變態點は九百度附近にある故九百度位にては此變態が充分終了すること能はざりしなるべし、されども九百五十度に至れば此變態は充分に行はるゝ故二十五回を限界とし瓦斯の漏洩量の増加率が甚だしく違ひしものなり。

第二表を曲線にて示せば第四圖

の如し、圖に於て横軸は溫度を表はし縦軸に毎分の空氣の漏洩量を立方體にて表はせし者を探る、此等の圖を見るに第二十一回及び第三十四回の加熱に於ける如き漏洩量の少なき場合に於ては此漏洩量

の流通を助く。第一の原因是鼠銑鐵中に配列せらるゝグラファイトの薄片に沿ふて酸化が起り、第一の原因に依りて生じた孔を此酸化物を以て充てんとす、斯くして此原因は空氣をして試料の薄壁を通過する事を妨ぐ、此二つの原因が各加熱

は溫度に對する變化割合に僅少にして、第六十三回及び七十五回に於ては此漏洩量は溫度の上昇と共に次第に減少し七十五度にて最小となるが其後は多少増加するを見る。此最初の漏洩量の減少は不安定なりし多孔性の材料が溫度上昇と共に

に次第に落着く爲に生ずるものにして七百五十度以上に於ける增加は試料全體の熱膨脹に起因するものならん、但此減少の量も常温に於けるものゝ六十%を下らず。之を以て考ふるに大河内先生の説の如く高温度に至るに従つて空氣がグラファイトの薄片に沿ふて逃走し軽くなる傾向は疑ひなけれども一度内部に浸入せる瓦斯が高温度に於て其銑鐵を永久的に膨脹せしむるに足る壓力を生ずる程度に瓦斯の逃るべき道が縮少するゝものとは考へ難し、されば此瓦斯の壓力に依るものに非ずして他に其の生長に對する原因を求めるべからず。

### III 種々の熱處理後に於ける鼠銑鐵の比重

此實驗に用ゐし材料は八幡製鐵所製の鼠銑鐵にして其の化學成分は次の如し。

炭素、三・六四%、珪素、三・三〇%、此炭素の内一・七八%はグラファイトになれり。

此材料より四角柱を四箇作り、其の寸法並びに試料の記號を次の如く定めたり。

$$(a) : 2.80 \times 0.69 \times 0.66 \text{ 立方釐}$$

$$(b) : 2.83 \times 0.68 \times 0.67 \quad "$$

$$(c) : 2.83 \times 0.68 \times 0.67 \quad "$$

$$(d) : 2.83 \times 0.64 \times 0.64 \quad "$$

此四つの試料に對し種々の熱處理を施したる後其の比重を測定せり即ち

(a) なる試料に對しては、空氣中に於て千度まで加熱し其

の溫度に十分間保持したる後電氣爐の電流を遮断し爐内に常温まで冷却す。

(b) に對して前記(a)の如く千度まで加熱し、其の溫度に十分間保ちたる後水中に焼入れす。

(c) は真空中にて千度まで加熱し、其の溫度に十分間保持したる後爐への電流を斷ち爐中にて常温まで冷却す、勿論其の間は始終真空中にて行ふものなり。

(d) は真空中にて千度まで加熱し十分間其の溫度を保持したる後それを空氣中に取出し直ちに水中に焼入れす。

上記の如く真空中にて加熱する場合には試料を石英管内に封入し石英管より肉厚ゴム管にてゲーテ式補助排氣ポンプに導き實驗中始終排氣を續けたり、故に石英管内の空氣の壓力は水銀柱の一耗位に保たるゝ故試料は殆んど酸化せず。

(a)、(b)、(c)及び(d)の如き熱處理を施したる試料は紙鑪にて表面が金屬光澤を帶ぶるまで良く研磨したる後尙ほ一度百度位に加熱し(b)(d)の如き水中に焼入れしものゝ内部に含有せられし水分を驅逐す。斯くて各試料の比重はアルキメデスの原理に依り重量を測り求めたり。

此の重量の測定中水中にて行ひし場合に時間が経過すると共に試料の重量の次第に増加するを認む、此増加はグラファイト薄片に沿ふて試料の内部に闖入せし水の爲めに生ぜしものなり。夫故に水中に於ての重量の増加が止みてバランスの腕の水平になりし時に其の觀測をなせり。且つ此實驗にては

グラフアイトの薄片に沿ふて試料内に浸み込んだる水をも含みたる試料の重量を測定せり。今此處に測定せる重量と比重との關係を明かにする爲めに次の式を用ふ。

W、を空氣中に於ける試料の重量

$w''$ 、は試料の内部に浸入せる水分をも含む試料の重量を空氣中にて測定せるもの、  
 $w'$ 、を水中に於ける試料の重量

を室内温度に於ける水の比重とし、

$$\frac{M_1 - M}{M' \times M} = d$$

此ρは、若しグラファイトの薄片に沿ふて浸込みし水が内

部の空隙を全部充たすものと考へし時に、鼠銑鐵の眞の比重

を表はすものなり。然れども實際の場合には此理想には達せられず而して此<sup>ノ</sup>は鑄鐵の生長と云ふ問題に對して餘り重要

を考へ次の如く定義せり、見掛けの比重を $\rho'$ とすれば

$$\rho' = \frac{w}{w'' - w'} \quad \text{或は} \quad \frac{w\rho_0}{(w-w') + (w''-w)}$$

此比は試料の内部に水が浸入せぬものと假定せし時の比重即ち試料の外形により占有せらるゝ體積を以て試料の質量を

にして此比重の減少が即ち生長の量を表はすものと見るを得。

前述の如き四種の熱處理を幾回か繰返したる後バランスに

て上記  $w$ 、 $w'$  及び  $w''$  等を求め、それより比量を算出せり、其の結果を擧ぐれば左表の如し。

第三表

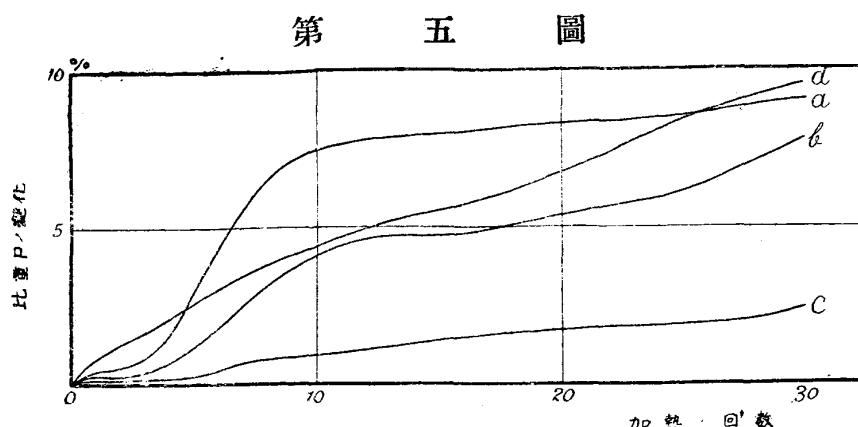
元  
九、〇一五 や、六、〇 二、四、七 九、三、五 一、八、五 〇 一、六、〇 〇 一、一、五 〇 一、三、七 〇

四、二、\*

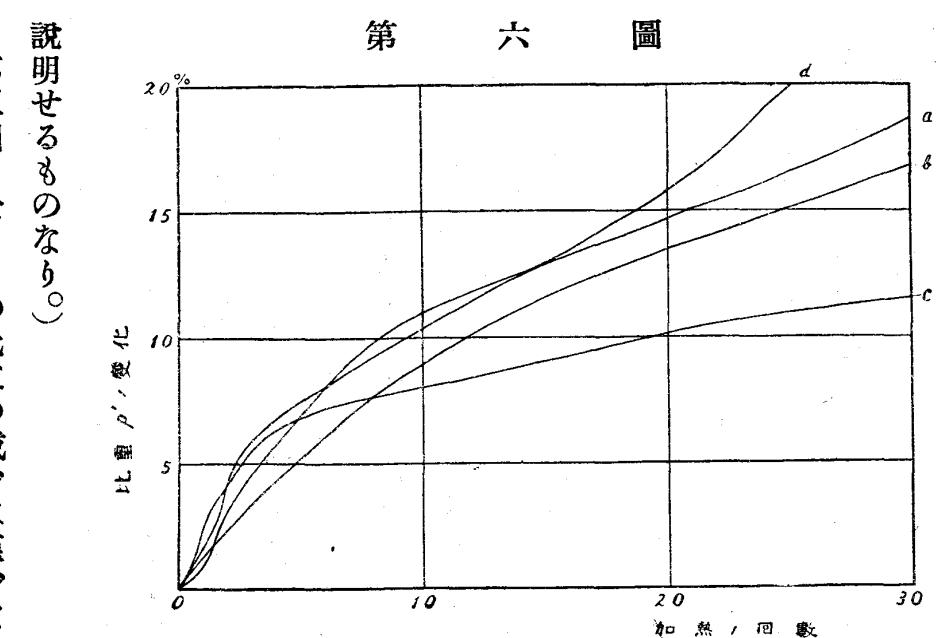
\* これは試料を空氣中に於て百二十九回加熱したる後、それを挽きて粉になし、ピクノメーターにて其の比重を測定せるものなり。

第四表を曲線にて表はせば第五及第六圖の如し、圖は横軸

に熱處理の回數を採り、縦軸には百分率にて表はせる比重の減少を探る、而して第五圖は眞の比重の減少の状況を、第六圖は見掛けの比重の減少の状況を示したり。此等の圖より a は第三回の加熱までは緩かに減少すれどもそれより十回までは急激に減少す、其の後は殆んど水平線に近づく。b は a と相似なる形をなし、唯其の減少の割合小なり。第六圖に於ける比重の減少は又此の銑鐵の生長の量と見るを得。試料 a の見掛けの比重は始め十回までは急激に減少し其の後は殆んど同じ割合にて減少



第五圖



第六圖

説明せるものなり。

し行く、b の  $\rho'$  の値は a の夫れと殆んど同様なる減少を示す、而して a の場合よりも其の量は少なれども其の曲線の形

は割合に平滑なり、a 及び b なる試料の熱處理の差は一は千度より常温まで次第に冷却し他は千度より水中に焼入せるものなり、故に a は b より高温度にて空氣中に曝露するゝ時間大なり、従つて a の酸化せらるゝ程度は b に比し大なり、第五圖及び第六圖に於ける a 及び b の比重の減少の差は主として此酸化の程度の過不足に起因するものなり、されば鑄鐵の生長に對して酸化は直接又は間接の孰れにせよ影響するものなり。(カーペンター氏は主として酸化を以て

ど認められざるべし、然るに第六圖に示せる見掛けの比重の減少即ち生長の量は著しく大なり、此なる試料は前述の如く真空中にて主に處理せるものなる故酸化は起るものと見ること能はず、然るに真の比重の減少僅少なるに拘はらず、此生長の量は著しく大なり。カーペンター氏は酸化に依つて此生長を説明せるも、斯くの如く真空中に於ても依然生長をなす處より見れば必ずしも酸化が生長の主たる原因なりと云ふは妥當ならざるが如く考へらる。されば鑄鐵の生長が主として其の内部に浸入せる瓦斯の膨脹に依るものにあらず、又酸化に依るものにあらずとすれば我等は何を以て生長の主たる原因となすか。

此實驗の初めに於て本多先生には此鑄鐵の生長の原因として鐵の  $A_1$  及び  $A_C$  變態に於ける長さの變化に對する不可逆變化に依るものにあらざるかと諷刺せり。此考へを以てすれば生長の凡ての状況を良く説明するを得。一般に鋼鐵を加熱して行けば  $A_C$  變態に於て收縮をなし、又  $A_C$  以上に熱したものは其の冷却の途中  $A_1$  變態に於て異常膨脹をなすものなり。而して珪素を含む鼠銑鐵の場合にも斯かる變態點に於て長さの異常變化をなすものなるが、此銑鐵にはグラファイトの薄片が種々の形をなして其のシリコ、フーライト（珪素と鐵との固溶體）の地に分布して居る故に、例令真空中に於て試料を加熱するも  $A_C$  及び  $A_1$  變態點に於ける長さの收縮膨脹の量は場所に依り相等しからずして不可逆的變化をなす

第五圖及び第六圖の d の場合に於ても同様に説明するを得。但し第六圖 d に於て二十回後此見掛けの比重は急激に減少するは上述の理論より試料が生長しグラファイトの薄片の幅が廣くなりし結果試料を水中にて急冷する際、此の薄片隙に沿ひて水が浸入し、それが試料の熱のために水蒸氣に變じ急激なる膨脹をなすためなり。各試料を熱處理せし後其の顯微鏡寫真を撮り卷末に擧げ参考に供せり。

#### 四 鼠銑鐵及び白銑鐵の熱膨脹

鼠銑鐵の熱膨脹に就ては既に大河内博士並に佐藤學士にて空氣中、真空中並に水素瓦斯中に於て之を測定せられたる、然れども此處に於ては鑄鐵の生長の原因を多少違つた見地より論ずるもの故其の生長の性質に就き明確なる知識を得んがために再び同様なる實驗を繰返せり。

此實驗に使用せし試料は比重測定に用ゐしものと同じ材料にして、それを電氣抵抗爐にて熔融してアスベスタス製の薄紙にて作れる圓筒形の型に注ぎ込み、然る後に直徑六耗、長さ十三耗の圓棒に仕上げ鼠銑鐵の試料を得らる、此外に同じ材料を鐵の型に注ぎ込みて直徑五耗、長さ十五纏の白銑鐵の圓棒を作れり。高溫度に於ける熱膨脹の測定は本多先生の熱膨脹率測定装置、即ちシュザンヌル氏の裝置を改良せしもの

を使用し真空中並に空氣中に於て之をなせり。

最初先づ試料を真空中に於て九百五十度まで加熱し次に冷却して六百五十度に至るや電氣爐の電流を増して又溫度を高むるが如く、加熱及び冷却を幾回も繰返し、其間十度乃至二十度毎に觀測をなせり、其の結果を曲線にて示せば第七圖の如し。圖に於て第一回目の加熱の時に七百度乃至八百度の間に於て異常膨脹あるを知る。此生長は主として結合炭素即ちセメンタイトが遊離の炭素と鐵とに分解するために生ずるものにして、此現象は同じ材料にて作れる白銑鐵の場合に於ては殊に著しきものなり（第十一圖參照。）溫度尙ほ高まれば此遊離炭素の幾部分が  $A_{31}$  に於てシリコ、フェライトに溶け込むために、此變態に於て試料は收縮す、反對に九百五十度より冷却する時には  $A_{31}$  變態に於ける膨脹をなす、而して此膨脹の量は  $A_{31}$  點に於ける收縮の量よりも遙かに大なり、夫故假令それが真空中にて行はるゝにせよ、其度毎に生長するものなり。此膨脹並びに收縮の量は加熱及び冷却の處理を繰返す毎に次第に減少す。

此  $A_{31}$  變態點を冷却する間に起る大なる不可逆膨脹は何に起因するか次に説明せん。高溫度に於て炭素が鐵の中に溶け込む速度はグラファイト粒の大きさに因るものにして、其の粒が小なれば小なる程其の溶け込む速度大なり、鼠銑鐵に於てはシリコ、フェライトの地の中にグラファイトの薄片が種々の形

をとりて横臥せる外に尙ほ幾分かのユーテクトイドの層及び極く微細のグラファイトの粒が散在せり、夫故に今  $A_{31}$  變態點を通りて加熱をなす時は此ユーテクトイドのセメンタイト及び微細なるグラファイト粒は容易にシリコ、フェライトの中に入り溶け込まるれども、グラファイトの薄片の部分は其の鐵の中に熔け込む量少なかるべし。茲に於て  $A_{31}$  變態點以上より冷却をなす時は  $A_{31}$  範圍に於ける膨脅は場所により相違し、グラファイトの薄片のある部分は他の部分より膨脅の程度少し、其の結果前部分は後部分より強大なる張力を受くることとなりる故グラファイトの薄片の弱き線に沿ふて罅隙を生ずるに至る、斯くして此グラファイトの薄片の存在する所に幾多の罅隙及び窓穴が形成せらる、従つて  $A_{31}$  點を冷却する際に起る膨脅は不可逆となり且つ加熱の時の收縮よりも著しく大となる所以なり、而して今形成せられたる罅隙及び窓穴は高溫度に於ては永久的に定着する故に多孔性が加熱及び冷却を繰返す毎に常に進行し、其の結果として鼠銑鐵は次第に生長して行くものなり。

膨脅及び收縮の量が加熱及び冷却を繰返す毎に次第に減少し行くは、グラファイト粒が次第に結合する結果として炭素がシリコ、フェライトの中に溶け込む速度が減衰するためと、グラファイトが高溫度に於て燃え失せ行く爲めとなるべし。

次に前の實驗と同様なる程度の加熱及び冷却の速度にて空

氣中にて測定をなし、其の結果を第八圖に圖示せり。此場合には  $A_F$  變態に於ける最初の膨脹は真空中に於ける、それには相當する膨脹と殆んど同じなれども其の次の膨脹の量は加熱の度數を加ふる毎に真空中に於けるものよりも急に減少す、他方に於て  $A_G$  變態に於ける收縮は真空中に於けるものよりも著しく小にして且つ加熱の度數と共に減少する割合又真空中に於けるものよりも甚し、従つて加熱及び冷却の反覆の初期に於ては此鼠銑鐵の生長の量は全體として真空中に於けるものよりも空氣中に於けるものが著しく大なり。

此  $Ag_1$  變態に於ける收縮の急速の減少は何に依るかと考ふるに、之れは多分高溫度に於てグラファイトの薄片及び粒の周圍に酸化物の層が形成されし結果炭素がシリコ、フェライトの中に溶け込み難くなりし爲めなるべし、又  $Ag_1$  變態に於ける收縮の僅少なるにも拘はらず初めの數回の冷却にて  $Ar_1$  變態に依りて起る膨脹の大なるは前述の如く試料内部に於ける不均一の膨脹のために生ぜし罅隙及び窩穴が高溫度に生ぜし酸化鐵にて一部分充填されし結果に依るものと考へざるべからず。カーペンター氏は鐵の酸化を以て銑鐵の生長の主たる原因なりと考へしが上の事實より考ふれば酸化は直接の原因となるものにあらずして寧ろ間接に作用するものなることを知らるべし。

均一なる膨脹が急激に起り不可逆膨脹の量即ち生長の量は確かに冷却せし場合よりも非常に大となる、此豫想は實際に前の實驗に於て真空中にて處理せし場合より明かに知らるゝ事柄にて第五圖及び第六圖の曲線c及びdが夫れを示せり、しながら空氣中にて加熱する場合には此事が反対となる、即ち曲線aは曲線bの上になれり、此差は高溫度にてシリコ、フェライトの酸化に起因するものと考へざるべからず、何とならば鑄鐵の生長は  $Ar_1$  點を緩かに冷却する時に高溫度に於て生ぜし酸化が可なり影響するものなること前述の如くなれば高溫度にて長く空氣中に曝露されし方が然らざるものより生長の量大なるべし、而して焼入の處理を施したるものは酸化の時間短かき故上の如き結果を生ぜしものなり。

第九圖は鼠銑鐵を空氣中にて九百五十度まで非常に緩かに加熱し此溫度に二十分間保持したる後六百五十度まで緩かに冷却しそれより又溫度を高むると云ふ處理を施したる時の結果を圖示せるものなり。此場合には  $Ag_1$  變態に於ける收縮は第六回目以上加熱するまで續く。是れ非常に緩漫なる加熱により炭素のシリコ、フェライトに溶け込む量の著しきがためなり、第一回目の加熱に於て九百六十度に於ける膨脹は試料内に含有せられし瓦斯の壓力に起因するものならん。是れ初め大河内博士並に佐藤學士の想像せし處と一致す。而して第二回後の加熱にては試料を九百五十度に於て二十分間保有しても何等の膨脹を見ず、即ち試料内部に初めより含有せられ

し瓦斯の壓力に依る影響は第一回目の加熱にて終るものにして期待せし所と符合するものなり。

第十圖は試料を種々の高溫度まで相繼ぎて緩かに加熱せし時の測定の結果にして、八百度まで加熱せし時には $A_1$ 變態は起らざれども八百五十度まで加熱し此溫度にて一定に保有する時は $Ac_1$ 變態に相當する收縮が緩かに起る但し其の分量は極めて少なし、而してそれを冷却すれば $Ar_1$ 點に於て前に收縮せし量に相當なる膨脹をなす。尙ほ溫度を上げしに其の最高溫度の高き程炭素の鐵中に溶け込む量は増大し從つて $Ar_1$ 點に於ける膨脹は次第に増加し行くことは圖によりて明かなり。第十一圖は前述の如くして作りたる白銑鐵の熱膨脹の状態を示せるものにして、白銑鐵は其の第一回目の加熱に於て六百二十度乃至七百七十度の間にて異常膨脹をなす、——此溫度は $Ac_1$ 點より低溫度にあり。然れども其後は、加熱及び冷却に依る長さの膨脹收縮は殆んど可逆的に起る、此最初の加熱の時に起る大膨脹は主としてセメンタイトが遊離炭素及び鐵とに分解するために生ずるものなるが計算より此膨脹の量を出せば例へ分解せる成分が自由膨脹をなすものと假定せし場合にても初めの體積の三・五一%の生長をなすに過ぎず、而して實際の場合には此膨脹は内部の壓力に反抗しつゝ起るものなる故此價よりも多少少なかるべきものなり、然るに前記上に計算せし價の二倍に相當す、されば此全體の膨脹の二

分の一はセメントタイトが分解をなす時の膨脹の際に窩穴の生ずるために因るものと考へざるべからず。

鼠銑鐵の場合には生長は第一回の加熱及び冷却後にも相繼  
ぎて生ずれども白銑鐵の場合には第一回にて終る、此差の因  
つて起る所以は一にグラファイトの形によるものなり、即ち  
第一の場合にはグラファイトは薄片の形にて存在する故  $A_{r_1}$   
變態にて試料は部分により各々異りたる膨脹をなし、加熱及  
び冷却を繰返す毎に數限りなき微細なる鱗裂及び窩穴を生  
ず。而して第二の場合即ち同じ化學成分の白銑鐵にては一度  
試料を八百度まで加熱すればセメンタイトは殆んど凡て分解  
して微細なるテンパーカーボンとなり、試料全體に均一に分  
布せらる、従つて  $A_{r_1}$  變態にて起る膨脹及び收縮は一様に起る  
加ふるに外部より内部に至る空氣の通行は不可能なる故  $A_{r_1}$   
及び  $A_{c_1}$  に於ける變化は凡て可逆的なり、尙ほ此處に注意す  
べきは最初の加熱後  $A_{r_1}$  及び  $A_{c_1}$  變態に於ける膨脹及び收縮  
は殆んど可逆的に起るが  $A_{r_1}$  點以下にては炭素はセメンタイト  
として存在せずして殆んど凡て微細なるグラファイトに分  
解し居ることなり、此事は磁氣分析を行ふて確かめられしも  
のにて即ち二百十五度に於て  $A_{r_1}$  の變態が消失することに依り  
常温にてはセメントタイトは含有せざることを知らる、勿論顯微  
鏡下にてはセメントタイトは少しも表はれ居らず。又白銑鐵の  
試料を  $A_{r_1}$  變態の種々の相より水中に焼入してそれを顯微鏡に  
て検査せしにセメントタイトがオーステナイトより分離するや

直ちにグラファイト及びフェライトに分解し而してそれを加熱して  $A_{C_1}$  變態に至れば此分解せしグラファイトは又シリコ、フェライトに溶け込みオーステナイトを作るものなる事知られたり。即ち鼠銑鐵にても又それと同じ成分の白銑鐵にても  $A_{C_1}$  變態にては初めオーステナイトよりセメンタイトが遊離してそれに相應する膨脹をなし、而して此溫度にては斯かるセメントタイトは不安定にして直ちにグラファイトと鐵とに分解しそれに相當して又膨脹をなす。 $A_{C_1}$  變態にては此グラファイト粒は直ちにシリコ、フェライトの中に溶け込みオーステナイトを作りそれに相當する收縮をなすものなり。

前述せる種々の結果より加熱及び冷却を繰返せし時の鑄鐵の生長は前述の如く機械的に説明することを得るものにして酸化の影響は間接的のものにして餘り重大なるものにあらずルーガン及びカーペンター兩氏の意見に依れば此生長はシリコ、フェライト及びそれの選擇的の酸化に伴ふ體積の變化によるものと説明せり、されども鐵と固溶體を作れる珪素が高溫度にて選擇的に酸化するものと考へられず（第七圖及び第九圖）何んとなれば珪素は鐵と固溶體を作る時は其の  $A_{C_1}$  點は著しく上昇せしむるものにして此鑄鐵の場合には普通の炭素鋼に比し約百五十度も高し、而して若し加熱及び冷却を繰返す毎に此珪素が實際に酸化してシリカの如き遊離化合物を作るものとすれば、此處理を續ければ此珪素の量は次第に減じ從つて  $A_{C_1}$  點の降下を見ざるべからず、然るに實際は曲線によ

り明かなる如く幾回かの處理後も此  $A_{C_1}$  點は殆んど一定の溫度にて起る、又緒論にて述べしがカーペンター氏は真空中にて試験せしに三%以上も珪素を含めば生長せざるに至ると論ぜり、是れ或は加熱の最高溫度  $A_{C_1}$  變態點まで達せざる故にあらざるか。如斯にして余は前述の如き結論に到達せる所以なり。

## 五 結論

以上の結果を綜合すれば

一、鼠銑鐵にて圓筒を作りて漏洩試験を行ひしに、空氣の漏洩する量は六十回までは加熱の回數と共に増加すれども後は減少す。

二、種々の溫度に於ける漏洩量も又試験せり、此場合には二十回以下の加熱にては此漏洩量は九百度まで殆んど一定なれども三十四回以上の加熱にては此量は最初は減少すれども其後は多少増加す。

三、此等の結果より大河内博士並に佐藤學士により考へられし如く、 $A_{C_1}$  點附近を繰返し加熱及び冷却する際の鼠銑鐵の生長は、試料中に含有せられし瓦斯の壓力に起因するものなりと云ふ説は妥當ならざるものゝ如し。

四、種々の熱處理を施したる後試料の比重を測定せり。

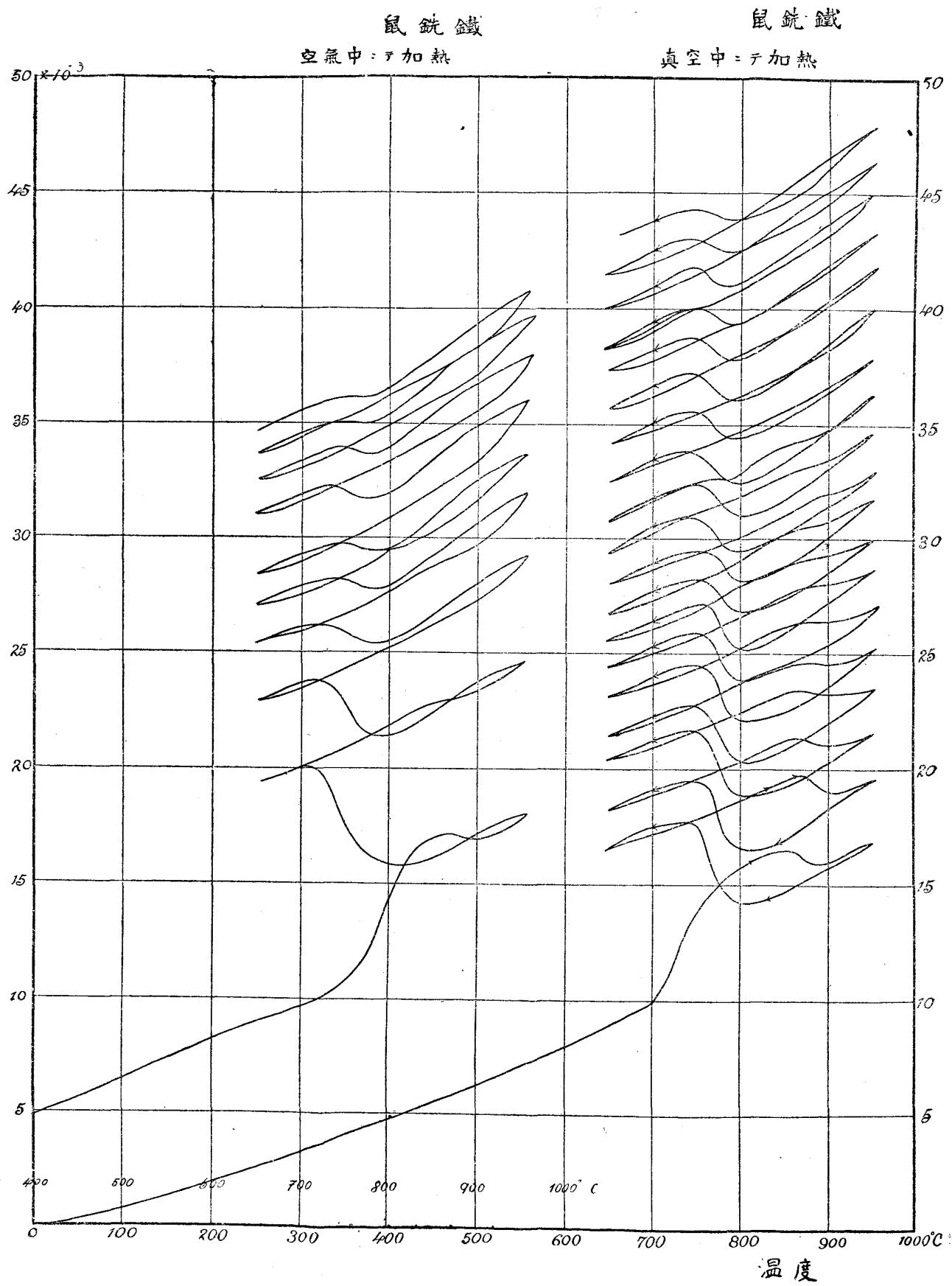
五、試料を真空中或は空氣中にて加熱及び冷却しつゝ繼續して熱膨脹の測定をなせり。

六、斯くして鑄鐵の生長は次の如く説明するを得。

イ、鼠銑鐵の最初の加熱に於て七百度乃至八百度の間に於

第八圖

第七圖

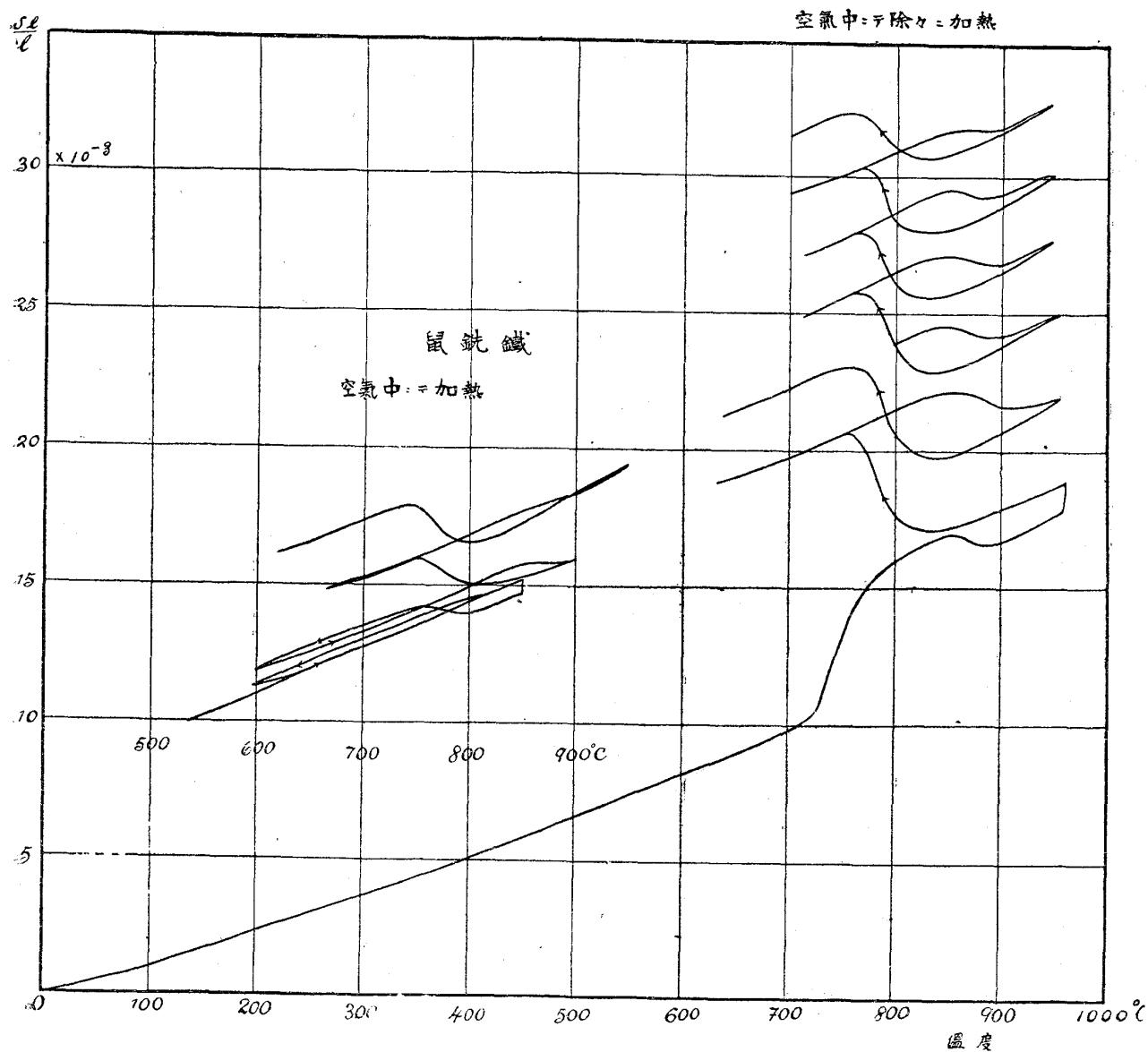


第十圖

第九圖

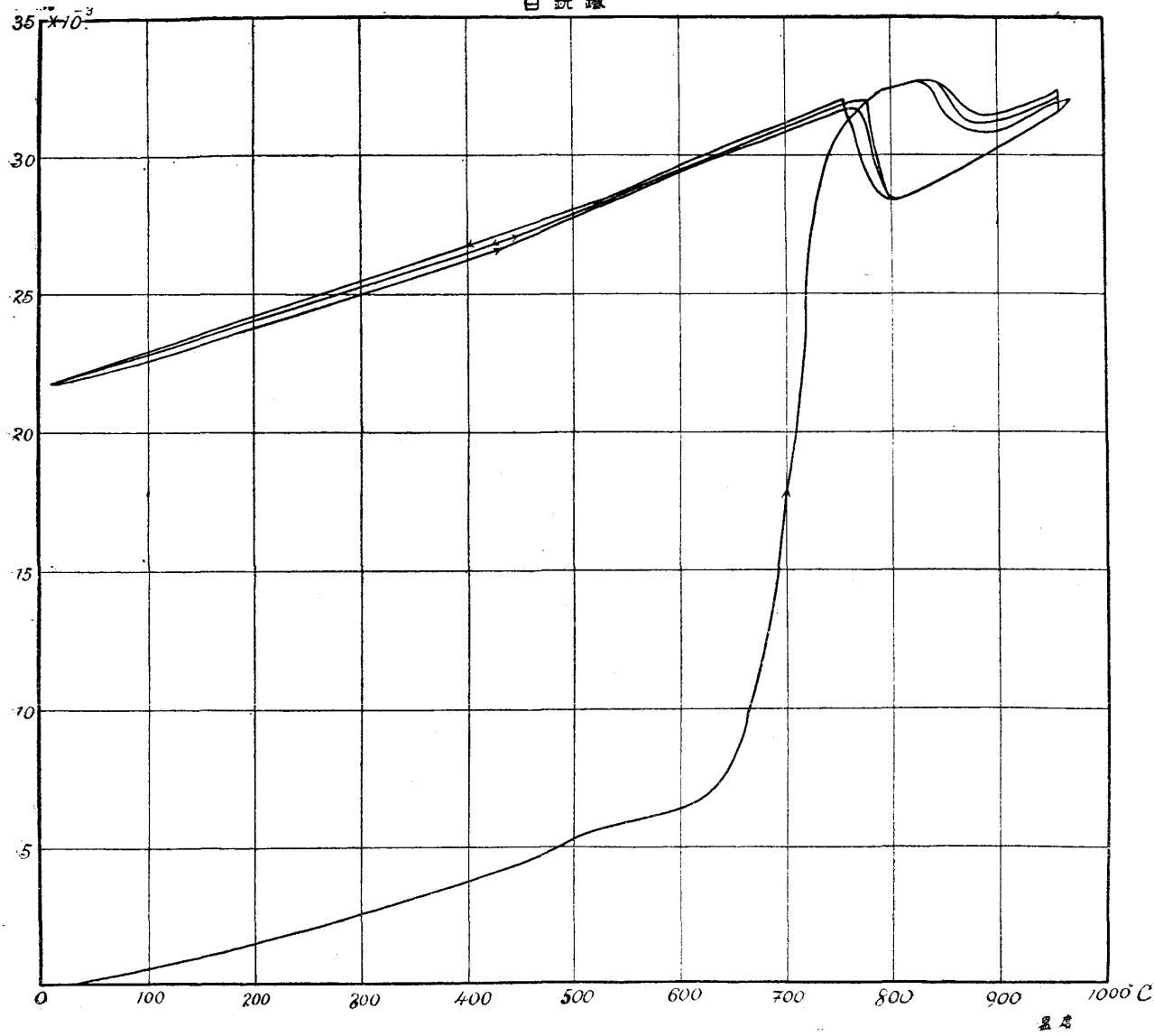
鼠銑鐵

空氣中で除々加熱

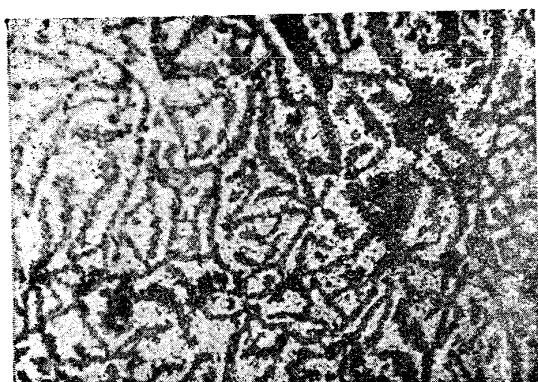


第十一圖  
白銅錆

空氣中にて加熱



第十二圖 顯微鏡寫真 表面は凡て腐蝕せぬものなり



aなる熱處理を三十回施したるもの

百 倍



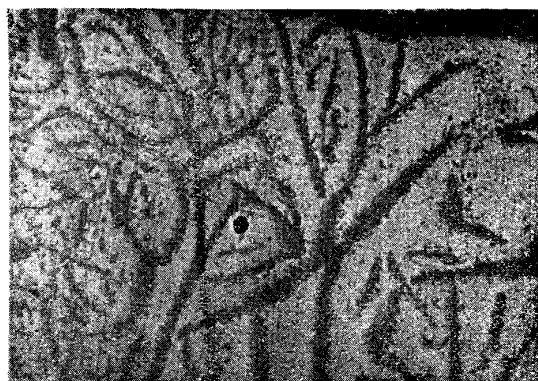
熱處理を施さぬもの

八 十 倍



bなる熱處理を三十回施したるもの

百 倍



dなる熱處理を三十回施したるもの

百 倍



eなる熱處理を三十回施したるもの

百 倍

鐵と鋼 第八年 第六號

ける生長は大部分セメンタイトの分解に因るものなり。

ロ、真空中に於て  $A_1$  點を通過して鼠銑鐵を加熱及び冷却する時に起る生長は同じ試料内の各部分に不均一なる膨脹の生ずるがためにして、斯くしてグラファイトの薄片の附近に幾多の鱗裂及び窩穴を生ず。

ハ、鐵を酸化せしむべき氣體中に於ては加熱に依り生ずる酸化物が此鱗裂又は窩穴に充填する爲め其の生長を早む。夫故に鑄鐵の生長に對する此酸化の影響は寧ろ間接に働くものと見るべきものなり。

ニ、白銑鐵の生長は最初の加熱に於て八百度にて殆んど完成す、此全體の膨脹量の半分はユーテクチック、セメンタイトの分解によるものにして、他の半分は其際に生ずる不可逆的膨脹に起因するものなり。

ホ、 $A_1$  點より高溫度に於て認めらるゝ膨脹は鐵中に含有せられし瓦斯の壓力に依るものにして大河内博士並に佐藤學士の想像せし處と符合するものなり。

ヘ、此等の實驗の結果よりルーガン及カーペンター兩氏に依り提出せられし酸化説は不確實のものたることを免がれざるべし。

終りに臨み此等の實驗を遂行するに當り親しく御指導下されたる本多先生に對して誠心より感謝の意を表す。(完)