

鋇狀鑄鐵の冷硬法に於ける化學成分 の影響に就て

工學士 淺田 長平

目 次

(I) 緒 言	1. 炭素 2. 硅素 3. 磷 4. アルミニウム
(II) 試験の方法	5. ニッケル 6. 銅
(1) 材料及び鑄型	(2) 黒鉛化を妨げる元素
(2) 熔解方法	1. 滿俺 2. 硫黄 3. クロム 4. タングステン
(3) 温度の測定	(3) 以上10種元素の比較
(4) 冷硬効果の決定法	(IV) 冷硬部の硬度に及ぼす各種元素の影響
(5) 硬度の測定	(V) 白鉄に於けるブリネル及びショア兩硬度の比較試験並に其考察
(III) 冷硬効果に及ぼす各種元素の影響	(VI) 結 論
(1) 黒鉛化を助ける元素	

(1) 緒 言

本研究は昨年11月日本鐵鋼協會第二回講演會及び同誌上に發表した鋇狀鑄鐵の冷硬法の研究の續きで主として其化學成分が鋇狀鑄鐵の冷硬効果及び其冷硬部の硬度に及ぼす影響に就て研究したものである。冷硬鑄物に関する各種元素の影響に就ては今日迄其研究極めて僅少で Adamson⁽¹⁾, Geiger⁽³⁾, Osa⁽⁴⁾, Schütz⁽⁵⁾, Irresberger⁽⁶⁾ 及び P. Goerens und H. Jungbluth⁽⁷⁾ 諸氏の數字的發表もあるが、多くは珪素及び炭素の場合に止まり、他の一般元素の定量的研究は未だ出來て居ない様である。又鑄鐵の黒鉛化に及ぼす諸元素の影響は冷硬鑄物に最も關係深く此は多くの學者によつて研究せられ殊に白鉄の黒鉛化に關しては菊田博士⁽⁸⁾、澤村學士⁽⁹⁾等の有益なる論文が發表されて居るから此に依つて冷硬効果に及ぼす諸元素の影響は大體想像する事が出來るとは云へ其數字的關係及び硬度に關しては殆んど知る事が出來ないから、本題第二回の研究として10種の元素に就て其實驗を行ふた譯で茲に其結果を發表する次第である。

尙本研究では前回と同様に實際の場合に應用する事を目的としたから成る可く此趣旨に叶ふ様充分努力した。假令へば熔解及び鑄込温度はキューポラーで實際行はれる範圍内を選び各成分の含量の如きも廣い範圍に亘らず實際上必要な小部分に限定され又試験片は後章に於て委しく述べる通りに比較的小質量のものを用ひたにも拘らず實際の製品と其冷却の狀況を略同一ならしめる様工夫した等であるから其結果は其まゝ直ちに實際の場合に應用する事が出來るのである。

(II) 試験の方法

(1) 材料及び鑄型

材料は第1表に示す三種の鉄鐵フェロ滿俺及び珪素鐵を配合して工場に於けるキューボラで豫め材料A及びBを造り置き之等と材料Cなる炭素鋼とを適當に配合して熔解し此を基材として試験したのであつて其全材料の化學成分は第1表の通りである。

次に鑄型は熱の傳導が非常に悪く且つ極めて多孔性の耐火煉瓦(通常此を保温煉瓦と名付けて居る)を當所煉瓦工場で作せしめ此を用ひて造つた。

第1圖は此型を示すものでA, B. は保温煉瓦Cは冷却飯Dは充分乾燥せる砂 E は此を圍む木枠である。此に熔鐵を鑄込むには上部の蓋 B を取り除き此處の中央に保温煉瓦で造つた漏斗Fを置いて此を湯口として熔鐵を型一杯に滿つる迄注入し終るや否や手早く此を取り除いて保温煉瓦Bで蓋をなし其罅隙に砂を相當の厚さ振り撒いて置くのである。

此に保温煉瓦を用ひた目的は試験片の鑄込後其冷却飯に接する面以外の總ての面より熱の逸散する事を極力防いで其の黒鉛化に最も必要な温度に於ける冷却速度が此より遙かに大なる質量を有する實際の品物と大差なからしめ従つて其の冷硬の深さが品物と相等しくなる様にせんがためである。而して此は豫めチルド工場に於て實際の品物を鑄造する際數度試験を行つて果して以上の如くなるや否やを確めた。

第 1 表

名 稱	C	Mn	Si	P	S	Fe	特種元素
瑞 典 木 炭 銑	5.06	0.32	1.01	0.025	0.015	—	—
雲 洲 白 銑	3.86	0.79	0.54	0.126	0.016	—	—
マイゾール銑	4.28	0.64	1.00	0.124	0.016	—	—
滿洲一號銑	3.83	0.29	2.86	0.083	0.019	—	—
フェロ滿俺	6.04	80.49	0.71	0.108	—	12.652	—
珪 素 銑	0.055	0.476	78.386	0.076	—	21.007	—
材 料 A	3.90	0.52	0.32	0.22	0.040	—	—
〃 B	3.52	0.83	4.13	0.109	0.048	—	—
〃 C	0.10	0.50	0.20	0.040	0.032	—	—
フェロタンクステン	0.45	0.85	0.13	0.018	0.21	14.12	85.15
フェロクロム	4.25	0.46	0.60	0.020	0.020	27.05	67.05
磷 化 鐵	0.03	0.10	2.47	2.435	0.08	—	—
硫 化 鐵	—	—	0.11	—	23.04	68.37	—
アルミニウム	—	—	—	—	—	—	98.5
電 氣 銅	—	—	—	—	—	—	99.8
ニ ッ ケ ル	—	—	—	—	—	—	97.1

寫眞 No. 1 及び No. 2 は其結果を示したもので A A' は保温性煉瓦の型に鑄込んだ試験片 Bは實際の品物であつて何れもキューボラで熔解した同一熔鐵を A. B. A' の順序で殆んど同時に鑄込んだから其鑄込温度も同様である此の寫眞に見る如く試験片と品物との冷硬の深さは相等しくなつて居る事が解る但し寫眞 No. 2 の方は 兩者とも 冷硬の深さが非常に大であるから、試験片の方は灰色部の端が縁の影響を受けて斑灰となつて居るが白色部は品物と全く等しくなつて居る。本研究に於ける試

験片は全部此の方法で造つたから其の結果は實際の品物の場合にも其まゝ應用する事が出来る筈である。尙此に用ひられた冷却鉄は試験片と同形同大のものであつて、其材質は普通の灰鉄を用ひ豫め同じ成分のものを多數造り置き、10回毎に新らしきものと取り換へた。又第1圖右方に示すものは鑄鐵製金型であつて上部の湯口のみは保温煉瓦で造られ此は鑄込後直ちに取り除かれるものである。此型の目的は試験片の冷却を充分急速ならしめて、成分の如何に關らず完全な白鉄を造る目的であつて何れ後節に於て述べる通り硬度に及ぼす成分の影響を見る上に最も重要なものである。

(2) 熔解方法

爐は油爐を用ひて30番の黒鉛坩堝で材料を熔解したのであるが本研究の目的は冷硬効果及び硬度に及ぼす種々の元素の影響を見る爲めであるから、其元素以外の他の成分及び條件を成る可く一定にする必要上同じ組の試験は必ず同一装入の熔鉄を用ゆる事にした。

即ち爐中の坩堝には約25匁の基材を装入して此が熔解してから約50分の後熔鉄の溫度が定められた溫度に達した時坩堝を大鐵鉗で爐上迄挟み上げ他の約900°C位に豫熱した6番の坩堝に約5匁ばかり注ぎ込み大坩堝は直ちに爐に返して點火し此に所要元素の必要量を加へ、一方注ぎ込まれた小坩堝

の熔鉄は一定の鑄込み溫度迄達した時前述の保温煉瓦製型に注入し次に金型試験片及び分析用試料を鑄込み残りの熔鉄は爐中の坩堝に返すのである。此間爐及で大坩堝の冷却を極力少からしめるため數人にて手早く此を行ふ事にした。次に新に爐内に装入された元素は熔鉄中に充分一様に熔け込む様時々攪拌し10分間熱して略元の熔解溫度に達した時再び前と同じ方法で第二の試験片を鑄込み同時に残りの熔鉄中に同元素の所要量を加へて10分間熱するのである。

此の方法を6,7回繰返して6個若しくは7個の所要元素の含量を順次異にして而かも他成分は殆んど變らない様な試片を造り得たのである。但し此の熔解中炭素珪素の如きは燃焼して減少する恐れがあるから、爐中熔鉄の表面は絶へず一様に粒狀のコークス(燐硫黄の含量少い高級品)を振り撒き又必要に應じて極少量の珪素鑛を装入して熔解中此等元素の減りを防いだ。尙此熔解は各元素の場合につき數回繰返して行ひ其内で成分及び溫度其他のあらゆる條件が最も都合よく行はれたものを採用した。

上の方法によると全試験片を通じて其熔解の最高及び鑄込み溫度等は一定にする事が出来るけれども、熔解時間の多少は免れぬ所で此が或は冷硬効果に影響を及ぼす様な事はないかと言ふ疑問も起るが此は前回の研究で、發表した通り時間の影響は頗る微々たるもので此の場合の如き範囲内では殆んど無視すべきであると思はれるが尙念のため二種の成分のものに就て上と全く同じ方法で只所要の元素を加ふる事のみを廢して1個の試験片を造り各其破斷面を比較した。其結果は第2表に示す通りである。

尙寫眞 No. 3 及び No. 4 は各組の破斷面の寫眞で此等を見ても此場合熔解時間は冷硬效果に關係がない事が知られるのである。

第 2 表

試験 番號	化學分析			白色部 の深さ	試験 番號	化學分析			白色部 の深さ
	C	Si	Mn			C	Si	Mn	
PI-1	2.86	0.91	1.01	49	P2-1	3.70	0.88	0.86	18.5
2	2.84	0.94	0.99	49.5	2	3.71	0.87	0.87	19.5
3	2.83	0.93	1.00	49.5	3	3.68	0.86	0.82	20.0
4	2.85	0.91	0.95	50	4	3.70	0.90	0.85	19.5
5	2.82	0.92	0.95	49	5	3.69	0.89	0.80	19.5
6	2.85	0.93	0.96	48	6	3.68	0.87	0.80	19.0

(3) 温度の測定

温度の測定は Leeds and Northrup 製 Optical Pyrometer を用ひ爐中の熔解温度を見るには底部に小孔を穿つてある容量 2 kg の黒鉛坩堝を豫め爐中の大坩堝中に投入し置き温度を測らんとする場合には此小坩堝を鐵鉗を以て熔鐵中に押し沈め底部の小孔から湧出して來る熔鉄の動搖が静まつた時其清靜な酸化膜のない表面を爐の側壁等からの反射光線が入らぬ様眞上から高温計の Filament に合して測定した。又鑄込温度は爐外で坩堝中の清靜な湯の表面若しくは其酸化膜に Filament を合して測定した。但し此の高温計に表はるゝものは Filament 中に通ずる電流をミリアンペアで表した數であつて此高温計に附屬して居る表によつて其見掛けの温度を知り、尙此に適當な光の放射度を定め補整を加へて眞の温度を求めたのである。而して此の放射度は豫め白金及び白金ロデュームの合金よりなる熱電對に比較して定めたのであつて、温度の正確度は約 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 位の見當である。

尙前回研究の經驗に鑑み熔解温度及び鑄込温度は出來得る限り全熔解を通じて一定する事に努力した。即ち其温度は炭素の含量 3.5% 前後のものは熔解最高温度 1350°C 鑄込温度 1290°C を選び炭素の含量 2.9% 前後のものは熔解最高温度 137°C 鑄込温度 1310°C を選んで略ぼ之と $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範圍内に於て行ふ事が出來た。此熔解温度は當工場に於けるキューボラの注出温度が大體 1350°C 乃至 1400°C 位のものであるから此と略ぼ一致せしめる様にしたのである。

4. 冷硬效果の決定方法

冷硬鑄物の破断面を見るに通常次の三部分よりなつて居る。

- (1) 白色部
- (2) 斑灰部(白色と灰色とが相混合して居る所)
- (3) 灰色部

此内白色部は肉眼的に殆んど黒鉛化の起つて居らぬ所で従つて硬度が最も高く摩滅の起り難い重要な部分であるから、一般的に言ふと多くは此の部の深さを以て冷硬效果を表し此を冷硬の深さ(The depth of the chill; die Härtetiefe) と名付けられて居る。又時としては白色部と灰色部とを合した層を進入深度(Einstrahltiefe) と名付けて此で冷硬效果を表す人もある。昨年八幡製鐵所研究所技師工學士谷口光平氏の發表せられたチルドロールの研究中のチルの深さの決定法は破断面の硬度分布の曲線⁽¹¹⁾

を基として其冷硬表面より硬度の急激に下り始むる點迄の深さは略白色部の深さに相當するから此を以て冷硬効果を表はすのが最も有意義なりとせられ此を實用チルの深さと名付けられた。

余の⁽¹²⁾前回の發表に於ても白色部の深さを以て肉眼的冷硬効果と名付け此は破断面に於ける硬度分布の曲線中硬度高き部分の深さに相當する事を示し、此を冷硬効果を表はす一方法とした。

然るに元來冷硬と云ふのは鑄造された鑄鐵の或る部分を急冷に依つて灰鉄となるべきものを白鉄に止めて其部分の硬度を増す事であるから、此の意味から言ふと冷硬鑄物中の全白鉄量の深さを以て冷硬効果を表はすべきである。故に若し白鉄部と灰鉄部との境界が判然として居る場合ならば上述の方法は完全に冷硬効果を表はすものであるが實際は其境界には斑灰の層が横つて居るのが普通であつて此は其成分及び冷却速度等に依つて、其厚さ及び状況を種々異にするのであるから單に此白色層の深さのみを以て冷硬効果を表はす事は少しく穩當を缺く様に思はれる。現に今回の研究に於て各種成分の試験片の破断面を觀察するに當つて屢此に想到せしむる場合に遭遇した。今一二の例を挙げるとクロムを含む試験片の破断面を見るにクロムの含量が増すに従つて斑灰部は段々擴大せられ且つ其白色の度を増して來て冷硬効果が著しく増して居る事が見られるにも拘らず純白部の深さは比較的僅かに増加して居るのみである。斯る場合は純白部の深さのみを以て冷硬効果を表はす時はクロムの影響は餘り著しくないと云ふ事になつて事實と一致しない。又第2圖に示すA.B.Cは白色部及び斑灰部の深さは互に相等しいが其斑灰部の黒鉛化の狀況が非常に異つて居る三個の冷硬試験片の例である。此は前述の二方法によると其冷硬効果は全く相等しい事になるが實際 A. の斑灰部は他の二者に比べて白色に富み B. の斑灰部は此に反して最も多く黒鉛化せられ C. は其中間に位し同圖右方に示す硬度分布の曲線を見ても解る通り其斑灰部に於ける變化の狀況が非常に異つて居る。斯る場合は勿論 A. の冷硬効果が最も大で C. 此れに次ぎ B. は其効果が最も少であると看做す事が至當であると思はれる。故に前回の報告に於て相當冷硬効果と名付けた方法即ち斑灰部中の灰鉄と白鉄とを灰白兩層に分離合一せしめて其境界も判然たらしめたと思像した場合の白色部の深さで冷硬効果を表はす事にするとよく上述の冷硬の意味にも適合し上例の様な場合にも完全に冷硬効果を表はす事が出来る理である。併しながら冷硬鑄物に於ては實際硬度の高い事を要求するものであるから余は此に硬度を加味して冷硬表面から白色部の終端の硬度と斑灰部の終端の硬度との平均硬度を有する點迄の深さを換言すると灰白相半する點迄の深さを以て冷硬効果を表はし、此點迄は可成の硬度を有し使用に堪へ得るものと考へて、此を有效冷硬効果と名付け此に前述の二方法を加へて冷硬効果を表はす事にした。即ち次の通りである。

- 肉眼的冷硬効果
- (1) 白色部の深さ
 - (2) 有效冷硬部の深さ
 - (3) 冷硬部の深さ

此の内(1)は肉眼的に殆んど黒鉛化を起さない白色の部分(2)は冷硬表面から灰白相半する點迄の深さで上述の相當冷硬効果とは少しく意味が異つて居て兩者は必ずしも一致しない。又此の方法による

と上例 A. B. C の試験片の場合等にも其斑灰部の黒鉛化の度に應じて適當に冷硬効果を表はす事が出来る(第2圖参照)(3)は白色層と斑灰層との和であつて、此範圍内迄は急冷が利く理であるから斯く名附けたのである。

第3圖は此の三方法を示したもので同圖右方の硬度曲線と相對照して見ると一層意義明瞭する事と思ふ。

要するに此の方法は肉眼的であるから 1,2 mm. を競ふ如き正確なものでない事は勿論であるが、實際の方面から見て其冷硬効果を知るに充分であり、加ふるに此三方法を合せ用ふる時は其斑灰部の廣狹及び黒鉛化の狀況迄も略ぼ表はす事が出来るのである、本研究に於ては總て此の三方法によつて決定した。但し其測定に當つては其境界を成る可く判然たらしめるために白紙を以て破斷面の周圍を翳して斜に入射する光線の反射を避けつゝ三人で代る々々測定して其の平均を求めたが人による誤差は 2 mm. 乃至 3 mm. に過ぎなかつた尙又此等の方法は主として黒鉛化の程度によつて冷硬効果を定めたもので硬度の高低は全く表はれて居らぬから、余は硬度分布の曲線を利用して冷硬表面から一定の必要な硬度(本研究ではショア硬度數60を採用した)を有する點迄の深さを測り此を假に硬化深度と名付けて、冷硬効果の曲線の中に参考のため點線を以て表す事にした。

(5) 硬度の測定

冷硬鑄物の硬度はショアを以て測られるのが普通であるが本研究ではブリネル硬度をも合せ用ひた。其方法は次の通りである。

試験片の寸法は第4圖に示す様に 36×75×125 mm. のものであつて、其冷硬表面から灰鉄部の端までの硬度分布の状況を見るために、便宜上試験片を破斷する前に其兩側面を旋盤で平く仕上げ其一の側面上で硬度の試験をしたのである。而して此の硬度測定面は殊に念入りに旋盤で 3 mm 乃至 5 mm ばかり削り落して仕上げ次にグラインダーにかけ最後にエメリー紙零番にて充分表面を磨き上げた後第4圖に示す様に其面の中央 10 mm. ばかりの幅の間を冷硬表面に平行に少しくづらして、10 回程測つて其の平均値を取つた。次に此のショア硬度を測つた兩側の 6ヶ所 (C. D. E. F. G. H.) と冷硬表面の 2ヶ所 (A. B) とをブリネル硬度で測定した。其位置は圖に示す通りである。而して試験片は最後に側面の中央にシェーパーで溝を作り此れに添ふて破斷し此面を前節に於て述べた。三方法で肉眼的に其冷硬効果を測定した。

本研究に用ひた冷却鋸は何れも同一の材質及び厚さ(75 mm.) を有するものであるから試験片鑄込み後の冷却速度は皆相等しい譯であるが成分の差異によつて冷硬効果を異にし、従つて成分によつては冷硬表面でも幾分黒鉛化が起り之れがため其硬度を低下せしめる恐れがあるからこの影響を避けるため前節に述べた金型で成分の如何に關はらず全部完全な白鉄となる如き試験片を造つて硬度を測定した。

第4圖右方にあるのはこの金型小試験片の底面に於ける硬度測定的位置を示したもので A 及び B の

二點ではブリネル硬度を測定し其の中央部點線で圍まれた部分内ではショア硬度を 40 回程測定して此を平均した。

(III) 冷硬効果に及ぼす各種元素の影響

各種元素の影響を見るには全試験を通じて一定成分の基材を熔かし之に各元素の所要量を逐次加へ之を或る範囲内に變化せしめて試験をするが便利であつて、殊に各元素の影響の程度を比較する上には此の基材の成分を一定にする事が必要である。併し諸元素の内には黒鉛化を助けるものもあり又反對に之を妨げるものもあるから全元素を通じて其基材の成分を一定にすると所要元素量の變化範囲を極めて少くしなければ冷硬効果の試験をする事が不可能となり、従つて冷硬効果に對する正確なる影響を見る事が困難となる譯である故に本試験では黒鉛化を助ける元來（之れを第一類とする）と妨げる元素（之れを第二類とする）との二類に分け同類のものは出来るだけ基材の成分を一定にし而かも所要元素量の變化範囲を出来る限り廣くしたのである。即ち第一類の基材は冷硬効果を充分ならしむる様な成分となし第 2 類の基材は反對に冷硬効果を充分小ならしむる様な成分となしたのである。又炭素の影響を見る場合を除く他の諸元素の場合は何れも高炭素と低炭素との 2 種の基材を用ひて試験をした。而して之に用ひた材料は高炭素の組では第 1 表に示す材料 A 及び B を低炭素の組では材料 A、B 及び C を適當に配合して熔解した。但し炭素の影響を見る場合は例外であつて、同表に示す瑞典木炭鉄に少量の B 材を加へて熔解したのである。今此等基材の豫定成分及び其化學分析の結果を示すと第 3 表の通りである。同表の化學分析は各同一熔解に於て造られた所要元素量を異にして居る各試料を分析した平均の値（但し炭素及び珪素の影響を見る場合は例外であつて前者の場合は炭素は最初の試料の分析結果、珪素は全試料の分析結果を平均したもの、後者の場合は珪素は最初の試料の分析結果、炭素は全試料の分析結果を平均したものである）を示したもので之れによると同類のものは基材成分が略ぼ相等しくなつて居るのみでなく、異つた類のものでも炭素量は略ぼ相等しく珪素の量も冷硬される範囲内のものであつて、其相違も比較的小さいから、實際的方面から考へて冷硬効果に及ぼす各種元素の影響を互に比較する上にも差したる不都合は無からうかと思はれる。其他基材中に含まれて居る滿俺磷硫黄等の元素は材料其のものの中に含まれて居る量が比較的少いものであるから、此等を配合して造られた基材の中にも其量少く且つ略ぼ一定して冷硬効果には何等の關係がない程度のもと思はれる。

茲に研究した元素は炭素珪素磷アルミニウム、ニツケル銅滿俺硫黄クロム、タングステンの 10 種であつて、此の中初めの 6 元素は黒鉛化を助け、後の元素は黒鉛化を妨げると云ふ事は澤村氏其他の學者によつて、充分研究せられ既に公知の事柄であるが緒言にも述べた通り此が冷硬効果に及ぼす定量的の研究は極めて少い様である以下順を追ふて此等各元素の場合について其熔解方法及び各種實驗の結果を述べる事にしよう。

第 3 表

元素	高炭素の場合				低炭素の場合				
	豫定 %		分析 %		豫定 %		分析 %		
	C	Si	C	Si	C	Si	C	Si	
第一類元素	C	4.0	0.9	3.94	0.87	—	—	—	—
	Si	3.6	0.6	3.14	0.64	3.0	0.9	2.94	1.03
	P	3.6	0.6	3.40	0.60	3.0	0.9	3.02	0.87
	Al	3.6	0.6	3.52	0.59	3.0	0.9	2.85	0.66
	Ni	3.6	0.6	3.50	0.61	3.0	0.9	2.84	0.94
	Cu	3.6	0.6	0.46	0.69	3.0	0.9	2.89	0.96
第二類元素	Mn	3.6	1.1	3.52	1.02	3.0	1.4	2.85	1.44
	S	3.6	1.1	3.60	0.95	3.0	1.4	2.89	1.34
	Cr	3.6	1.1	3.46	1.10	3.0	1.4	2.92	1.42
	W	3.6	1.1	3.42	0.91	3.0	1.4	2.86	1.42

(1) 黒鉛化を助ける元素

1. 炭 素

材料は前述の通り瑞典木炭鉄にB材料を最初の試験片の豫定成分が炭素4.0%珪素0.9%になる様に配合して鑄解した。試験片鑄造方法は前章に述べた通りであつて、最初の試験片鑄造後に於ける添加材料は1000°C前後に豫熱された材料BとCとを用ひ此の際は逐次添加される量が可成多く爐中熔銑の溫度を大分低下せしめるから各添加後に於ける熔解時間を特に永く20分宛とし珪素其他の元素を一定にして炭素のみを逐次減少せしめつゝ5個の試験片を鑄造した。此の際に於ける熔解最高及び鑄込溫度並に其化學分析の結果は第4表の通り溫度並に他の元素は殆んど一定で、全炭素量を2.74%乃至3.94%の範圍内に變化せしめることが出來た。但し磷硫黄は最初の試料について分析したのみで他は之れと等しいものと見て省略した。各試験片は冷却後型から取り外し、前述の方法で側面及び冷硬表面のショーア及びブリネル硬度を測定し最後に此を破斷して其破面を觀察した。其の結果は次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

寫真 No.5 は各試験片に於ける破斷面の寫真第4表は其結果を示すものであつて、之れを冷硬效果對炭素量の曲線にて表はすと第5圖下部に示す通りである。同圖に於て○印は白色部の深さ、×印は有效冷硬部の深さ、△印は冷硬部の深さを表はすもので何れも炭素量の増すに従つて、其冷硬效果は益々減少して居る。元來炭素は前述の通り黒鉛化を助けるものであるから此れは當然の結果である。又之等の曲線の變化を見るに炭素が増すに従つて其冷硬效果は初めは比較的急激に後漸次緩かに減少して曲線が凹形をなして居る。此は一般的の形であつて、此れも當然の事と思はれる。何んとなれば試験片中冷却鉄に近い部分程冷却速度の増す割合が急に甚だしくなるため。冷硬效果を妨げ様とする炭素の影響が段々利目がなくなるからである。尙又之の冷硬效果の變化を表はす三曲線は互に略ぼ相並行して變化して居るが其間隔は炭素が増すに従つて漸次減少して居る。即ち斑灰部は漸次狭められて居

る之れは炭素が増加するに従つて黒鉛化が起り易くなるから冷却速度の差が僅少である、比較的相接近した二點に於ける黒鉛化の差も著しくなる事及び炭素が増して冷硬効果が少くなればなる程灰部は冷却飯に近づき僅かの深さの差によつても著しく其冷却速度を異にして來る事との二原因が相加り合つた結果に外ならぬのである。

第4表 炭素の影響

試験 番號	化學成分%					冷硬効果				冷硬素面の硬度						熔解過 度 c°	
	C	Si	Mn	P	S	肉 眼 的			硬化 深度	冷硬試験片			金型試験片			最高 鑄込	1300
						a	b	c		S	B	B/S	S	B	B/S		
22-1	3.94	0.86	0.21	0.044	0.031	10.0	15.0	20.0	14.5	68.5	461	6.73	70.0	537	7.67	1350	1300
2	3.63	0.88	0.23	—	—	17.5	24.0	31.5	24.5	65.5	436	6.64	67.0	510	7.61	〃	1302
3	3.32	0.87	0.22	—	—	27.0	36.0	46.0	37.0	64.5	421	6.52	66.9	500	7.47	〃	1295
4	3.06	0.88	0.21	—	—	40.0	51.0	67.0	56.0	62.5	401	6.42	64.2	490	7.63	〃	1298
5	2.74	0.87	0.23	—	—	59.0	—	—	—	61.0	389	6.37	61.7	766	7.55	〃	1300

a は白色部の深さ b は有効冷硬部の深さ c は冷硬部の深さ S はショア硬度 B はブリネル硬度

b. 硬度分布曲線

試験片の冷硬表面から灰鉄部の端までの硬度を前章に述べた方法で測定した。其結果は第6圖に示す通りである。之れを見ても炭素の増すに従ふて冷硬効果が減少して居ることが分る。尙此處に注目すべきは白色部に於けるブリネル硬度とショア硬度との變化の狀況が多くは相一致せずショア硬度は冷硬表面に近づくと従つて少しく減少するに反しブリネル硬度は冷硬表面に近づくと従つて漸次増加して居る事である。之の現象は炭素の場合には餘り著しく表はれなかつたが以下述べる他元素に關する試験片の内には相當著しく表はれて居るものもあり一般に深く冷硬されて居るものは多少に拘はらず之の傾向が表はれて居る。斯く兩硬度の一致しないのは一見不可解の様に見えるが元來ブリネルとショアとは其硬度測定の本原理が異つて居るから斯る結果を誘致したものと想像されるので、此に關しては何れ後章に於て少しく述べる筈である。尙又硬度分布の曲線中冷硬部の硬度は炭素量の増すに従つて増加して居るが、此に反して灰鉄部の硬度は炭素量が増すに従つて却つて減少して居る。之れは前者の場合に於ては炭素量が増すに従つて硬度の高いセメンタイトの量を増し後者の場合に於ては炭素量が増すに従つて黒鉛の量を増し且つ黒鉛化が充分に起る爲に遊離セメンタイトの量を減じ又は地鐵の量を増す等の原因に依るものと思はれる。

c. 硬化深度

之は前章に於て述べた通り試験片の冷硬表面からショア硬度數60の所迄の深さを以て硬化深度を表はした其結果は第4表及び第5圖下部に點線を以て示す通りであつて、其曲線は大體に於て冷硬効果の曲線と並行に變化して居る。

d. 冷硬表面の硬度

此の硬度は含炭量の増加すに従つて増加して居るが其増減の割合は冷硬効果の大小に依つても大に支配されるものであるから此處では單に參考として第5圖上部に點線を以て示すことに止め、白鉄の

硬度に及ぼす各種元素の眞の影響に就いては別に章を改めて述べることにした。

2. 珪 素

既に述べた通り高炭素の組は材料 A 及び B を用ひ低炭素の組は材料 A, B 及び C を用ひ何れの場合でも最初の試験片が充分深く冷硬される様に配合して置いて之に前述の一般方法 (第II章第2節参照) で熔解し一定の温度に達した時最初の試験片及び分析試料を取つた後他の元素を變化せしめない様にして珪素を逐次加へて各組に付き 6 個宛都合 12 合個の試験片を鑄造した。但し此の場合珪素を加へるには短時間で而も適確に珪素を含ましめる爲めに融點高き珪素鐵を用ひる代りに充分豫熱された高珪素鑄鐵 (材料 B) を用ひた。尙此際の熔解最高温度鑄込温度及び化學分析等は第5表の通りである。次に此等試験片の各種試験の結果に就いて述べよう。

a. 肉眼的冷硬効果

前述の通り珪素は白銑の黒鉛化を助けるものであるから、此元素の増加するに従つて冷硬効果も著しく減少して居る。寫眞 No. 6 及び No. 7 は夫々高炭素及び低炭素の組に於ける各試験片の破断面第5表及び第7圖は其結果を表はすものである。同圖に示す通り冷硬効果は珪素の増すに従つて初めは著しく急激に減少して居る。之れを前節に述べた炭素の場合に比較すると其影響の程度は之より遙かに大で約其2倍乃至3倍位になつて居る。

又斑灰部の厚さは低炭素のものより高炭素の方が著しく、小さく又冷硬効果の小さい程其厚さも段々と小さくなつて居る。之れは全試験を通じて表はれて居る一般的の現象であつて其理由は已に前節に於て述べた通りである。

第5表 珪素の影響

試験 番號	化學成分%					冷硬効果				冷硬表面の硬度						熔解温度C	
	C	Si	Mn	P	S	肉眼的			硬化 深度	冷硬試験片			金型試験片			最高	鑄込
						a	b	c		S	B	B/S	S	B	B/S		
13-1	3.44	0.64	0.30	0.176	0.045	44.0	56.0	68.0	53.0	66.0	458	6.94	65.5	507	7.74	1345	1295
2	3.42	0.75	0.32	—	—	27.0	38.0	48.5	35.0	68.5	460	6.71	65.7	510	7.76	〃	1290
3	3.44	0.85	0.31	—	—	16.0	23.0	30.0	18.0	70.0	465	6.64	68.0	520	7.65	〃	1295
4	3.45	0.99	0.33	—	—	7.0	12.0	17.0	12.0	67.5	460	6.81	66.1	515	7.79	〃	1298
5	3.44	1.07	0.30	—	—	6.0	10.0	13.0	8.0	70.0	457	45.3	68.7	518	7.54	〃	1296
6	3.43	1.13	0.29	—	—	6.0	9.5	13.0	9.5	67.5	454	6.73	69.1	520	7.53	〃	1290
14-1	2.92	1.03	0.38	0.136	0.048	23.0	42.0	59.0	33.0	62.1	421	6.79	61.8	462	7.48	1365	1300
2	2.93	1.11	0.35	—	—	17.0	29.0	45.0	24.0	63.0	427	6.78	61.6	468	7.60	〃	1305
3	2.94	0.23	0.35	—	—	1.05	17.0	25.0	10.0	65.0	448	6.89	6.35	470	7.40	〃	1302
4	2.94	1.30	0.34	—	—	7.5	12.0	19.0	11.0	66.5	436	6.55	63.1	472	7.48	〃	1310
5	2.95	1.34	0.36	—	—	6.0	9.0	15.0	7.0	65.0	456	4.33	6.71	476	7.55	〃	1308
6	2.95	1.46	0.34	—	—	1.5	3.5	6.0	3.5	65.0	426	6.59	65.7	481	7.32	〃	1306

a は白色部の深さ b は有効冷硬部の深さ c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布曲線

第8圖は硬度分布の曲線であつて之等を見ても上の a に於て述べた總ての事實をよく表はして居

る事が解る。尙此に注意すべき事は高炭素の場合と低炭素の場合とを比較して見るに、冷硬表面の硬度は後者より前者の方が高くなつて居るに反し灰鉄部の硬度は却つて後者の方が前者より高くなつて居ることである。此の現象は以下述べる殆んど總ての元素の場合に起る一般的のものであつてその理由は既に前節に於て述べた通りである。

c. 硬化深度

第8圖から硬化深度を求めると第5表及び第7圖の下部點線で示す通りであつて高炭素の場合には有效冷硬部の曲線と略ぼ一致し低炭素の場合では白色部及び有效冷硬部の兩曲線の略ぼ中間に位して居る。

d. 冷硬表面の硬度

冷硬表面の硬度はショーア及びブリネル何れも珪素の加はるに従つて始めは少しく増加して居るが後には却つて減少して居るこれは冷硬効果の曲線を見れば直に領かれる通り珪素が多く加はる時は冷硬効果が非常に少くなり爲めに冷硬表面にも多くの黒鉛を生ずるからである。此れは既に述べた様に冷硬表面の硬度に及ぼす各元來の影響を見る爲に成分の如何に拘らず全部白鉄と成るべき全型小試験片を別に造つた所以である。

3. 磷

基材の配合及び熔解方法は珪素の場合と全く同様で高炭素の組と低炭素の組との二熔解を行ふた。而して基材中に磷を加へるには第1表に示す磷化鐵を用ひ逐次磷の量を増加しつゝ各熔解につき6個宛合せて12個の試験片を鑄造して各種の試験を行つた。但しこの場合は磷を加へるに従つて炭素及び珪素を減少せしめる事が分析の結果知られたから磷化鐵を添加する毎に少量の珪素鐵を加へ、又時々炭素棒を熔鉄中に挿入して兩元素の量を終始一定に保つことに努力した(其化學分析の結果並に熔解最高及び鑄込温度は第6表参照)以下之等試験片の各種試験の結果について述べると大要次の通りである。

b. 肉眼的冷硬効果

第6表及び第9圖は其結果を示すもの、寫眞 No. 8 及び No. 9 は其破断面で之等によると冷硬効果は磷が増加するに従つて漸次減少して居る。元來磷は黒鉛化を助けるものであるから、斯くなるのは當然の事ではあるがこの場合は黒鉛化を助ける元素である珪素、ニツケルなどとは少しく其趣を異にして居る。即ち第9圖の曲線を見ても解る通り磷が増すに従つて冷硬効果が減少すると同時に斑灰部の深さは却つて漸次増す傾向を以つて居るため、有效冷硬部及び冷硬部の曲線は異様の形をなして居る。之れは其破断面の寫眞から見ても其傾向を知る事が出来る。今其理由を考へるのに磷は其一部は地鐵の中に固溶體となつて含まれるが磷の量が相當増すと此の外にセメントイト磷化鐵含磷オーステナイトから成つて居る三元共晶を作つて所々に散在しこの共晶の部分は他の部分より磷の量が多いから普通ならば白鉄になるべきものもこれを中心として黒鉛化が點々起るため自然斑灰部が廣くなる

ものと思はれる。

第6表 磷の影響

試験 番號	化學成分					冷硬効果				冷硬表面の硬度						熔解温度	
	C	Si	Mn	P	S	肉眼的			硬化 深度	冷硬試験片			金型試験片			最高	鑄込
						a	b	c		S	B	B/S	S	B	B/S		
40-1	3.41	0.60	0.31	0.212	0.033	45.5	—	—	56.0	66.0	448	6.79	67.9	508	7.48	1350	1300
2	3.40	0.59	0.32	0.354	—	36.5	48.0	54.0	47.0	67.0	448	6.69	68.8	514	7.47	〃	1295
3	3.40	0.59	0.30	0.420	—	34.0	48.0	53.0	51.0	69.0	462	6.69	70.2	518	7.38	〃	1298
4	3.39	0.62	0.32	0.853	—	20.0	28.0	47.0	36.5	70.5	480	6.81	72.0	541	7.52	〃	1300
5	3.38	0.61	0.31	1.060	—	16.5	23.0	40.0	29.0	72.0	492	6.83	73.6	562	7.64	〃	1302
6	3.39	0.60	0.29	1.428	—	10.0	16.0	31.0	20.5	74.0	515	6.96	76.0	579	7.62	〃	1296
41-1	3.00	0.81	0.28	0.168	0.033	39.0	—	—	58.0	61.0	425	6.97	61.0	465	7.62	1380	1310
2	3.04	0.83	0.30	0.340	—	30.0	47.0	90.0	45.0	63.0	436	6.92	47.2	472	7.56	〃	1312
3	3.02	0.84	0.29	0.692	—	18.8	32.0	48.0	29.5	67.0	456	6.81	63.2	500	7.91	〃	1308
4	3.01	0.82	0.28	0.978	—	11.0	18.0	32.0	19.0	70.5	476	6.75	66.8	514	7.70	〃	1315
5	3.02	0.83	0.31	1.356	—	8.8	12.5	21.0	13.5	74.0	499	6.75	68.5	532	7.77	〃	1310
6	3.03	0.82	0.30	1.961	—	6.0	9.0	19.0	9.5	75.0	518	6.91	70.5	564	8.00	〃	1312

a は白色部の深さ b は有効冷硬部の深さ c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布の曲線

第10圖は硬度分布の曲線であつて之れを見ても磷の影響に關する上述の事項を知る事が出来る。

c. 硬化深度

硬度分布の曲線によつて硬化深度を求めると第6表及び第9圖下部點線で示される通りであつて之れによるとショーア硬度の等硬線は高炭素の場合は冷硬部の深さ及び有効冷硬部の深さを表はす兩曲線の間中に位し低炭素の場合は有効冷硬部の深さを表はす曲線と略ぼ相一致して居る。

d. 冷硬表面の硬度

冷硬表面の硬度は磷の量が増すに従つて著しく増加して其變化は略ぼ直線的となつて居る。但し低炭素の場合の最後の試験片の硬度は比較的低くなつて居るのは白色部の深さが餘りに小さく冷硬表面に多少の黒鉛化を起したためである。

4. アルミニウム

材料の配合は前と全く同様で高炭素の場合と低炭素の場合との二熔解を行つた。

先づ基材が熔解して一定の温度に達した時最初の試験片及び分析試料を鑄込み然る後残りの熔鉄に逐次アルミニウムを添加した。其方法は直径 6 mm. のアルミニウム棒を適當の長さに切り之を炭素棒の一端に細い鐵線で堅く縛り附けたものを熔鉄中に挿込んだまゝ充分攪拌して熔け込みました。から其の減失は比較的少なかつた。尙添加後鑄込むまでの10分間には時々熔鉄を攪拌して充分其均一を計つた。(熔解最高及び鑄込温度並に化學分析の結果は第7表参照)。以下各種試験の結果を述べると大要次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

アルミニウムは其量餘り多からざる間は著しく黒鉛化を助ける元素であつて其程度は珪素に匹敵する事は既に周知の事柄であつて此の試験の場合でも殆んど珪素に等しく其の冷硬効果を妨げて居る。寫眞 No. 10 及び No. 11 は其の破断面の寫眞第 7 表は試験の結果を示すもの、第 11 圖は之を圖示した結果である。此等の曲線を見るに少量のアルミニウムに依つて白色部の深さは著しく減少するが其量が少しく増すと其影響は急に緩になつて、アルミニウム 0.3% 以上では其影響が非常に少なくなつて居る。殊に低炭素の場合に此の傾向が表れて居る。又斑灰層の厚さは燐の場合の様にアルミニウムが増すに従つて廣くなつて居る。之れも低炭素の場合に殊に著しく其傾向が表はれて居る。斯くアルミニウムは其少量が冷硬効果を非常に妨げる性質があるから實際の作業に於て冷硬効果が過大に失することを豫め知り得た場合等に其少量を取鍋中に所謂差し物として加へる事は之が熔銑を鎮靜せしめる効果と相俟つて有益な事と思はれるが併しアルミニウムは湯の流動性を悪くし氣孔を易からしめる等の害があるから極めて少量を加へて其度を失せざる事は勿論大切である。

第 7 表 アルミニウムの影響

試験 番號	化學成分 %						冷硬效果				冷硬表面の硬度						溶解温度c	
	C	Si	Mn	P	S	Al	肉眼的			硬化 深度	冷硬試験片			金型試験片			最高	鑄込
							a	b	c		S	B	B/S	S	B	B/S		
38-1	3.51	0.58	0.27	0.175	0.048	0	46.0	—	—	61.0	65.5	468	7.14	63.6	512	8.05	1350	1295
2	3.52	0.58	0.28	—	—	0.09	34.0	47.0	52.0	41.0	66.0	472	7.15	66.9	508	7.60	"	1300
3	3.51	0.59	0.28	—	—	0.18	21.0	34.0	40.5	30.0	65.0	470	7.27	65.1	513	7.88	"	1302
4	3.53	0.60	0.30	—	—	0.27	14.0	24.0	35.5	22.0	66.0	468	7.09	65.7	510	7.77	"	1298
5	3.53	0.59	0.29	—	—	0.45	8.0	14.0	24.0	12.0	65.5	470	7.18	66.5	520	7.82	"	1300
6	3.54	0.58	0.28	—	—	0.72	2.0	5.0	9.0	4.5	66.0	472	7.15	66.0	515	7.81	"	1296
39-1	2.85	0.67	0.35	0.160	0.048	0	—	—	—	75.0	59.0	397	6.73	59.0	467	7.92	1365	1308
2	2.86	0.67	0.32	—	—	0.098	48.0	59.0	65.0	53.0	58.5	400	6.84	60.2	467	7.76	"	1310
3	2.83	0.65	0.33	—	—	0.20	27.0	54.0	62.0	47.0	58.5	394	6.74	60.4	470	7.78	"	1305
4	2.84	0.67	0.32	—	—	0.28	19.0	49.0	60.0	42.5	58.5	405	6.92	60.8	466	7.67	"	1313
5	2.86	0.66	0.31	—	—	0.38	15.0	35.0	55.0	28.0	58.0	400	6.90	61.4	473	7.70	"	1308
6	2.85	0.65	0.33	—	—	0.72	7.0	19.0	41.0	14.0	58.5	403	6.89	62.0	472	7.61	"	1310

a は白色部の深さ b は有効冷硬部の深さ c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布曲線

第 12 圖は硬度分布の曲線であつて、此等を見ても上述の結果を良く表はして居る事が解る。殊に同圖の曲線中斑灰部に相當する部分は非常に圓みを帯びて他の場合と其趣きを異にして居る點等を破断面の寫眞及び肉眼的冷硬效果の曲線等と相對照して見ると之等の結果が恰も良く相符合して居ることが頷かれるのである。

c. 硬化深度

硬度分布の曲線によつて硬化深度を測つて之れとアルミニウム量との關係を表はすと第 11 圖下部

點線で示される通りでは之は有效冷硬部の曲線と略平行して變化して居る。

d. 冷硬表面の硬度

之れは第 11 圖上部點線で示す通りショア、ブリネル兩硬度とも此の小範圍内ではアルミニウムの量に殆んど關係が無いことになつて居る。

5. ニツケル

材料及び熔解方法は前と全く同様で最初の試験片鑄造後逐次加へる添加材料は第 1 表に示す殆んど純粹な粒状ニツケルを用ひ前例と同數の試験片を造つた。(熔解最高及び鑄込溫度並に化學分析の結果は第 8 表参照)。

以下各種試験の結果を述べると大要次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

ニツケルは珪素或はアルミニウムに比較すると大分劣るが矢張黒鉛化を助ける元素であるから冷硬試験に對しては其效果を減少せしめるのである。寫眞 No. 12 及び No. 13 は試験片の破斷面を表はすもの第 8 表は其試験の結果であつて之れを圖示すると第 13 圖の通りである。此の圖に依ると白色部の深さ、有效冷硬部の深さ、及び冷硬部の深さの何れも皆ニツケルの増加すると共に減少して其の關係は他の場合と少しく異つて略ぼ直線的となつて居る。但し高炭素の場合の最初の試験片 (17-1) だけは此の直線を離れて少しく下位にあるのは分析の表を見れば解る通り他の試験片に比して炭素が約 0.09% 程多く含まれたから其影響を受けたためである。又斑灰部層の厚さはニツケルの増すに従つて段々狭くなつてなつて居る。

第 8 表 ニツケルの影響

試験 番號	化學成分 %						冷硬效果				冷硬表面の硬度						熔解溫度 C	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	肉眼的			硬化 深度	冷硬試験片			金型試験片			最高	鑄込
							a	b	c		S	B	B/S	S	B	B/S		
17-1	3.59	0.61	0.36	0.172	0.042	0	45.0	53.0	63.0	51.5	68.0	460	6.77	64.4	510	7.92	1358	1300
2	3.50	0.61	0.34	—	—	0.48	40.0	50.0	57.0	48.5	68.5	460	6.72	68.4	525	7.68	"	1302
3	3.50	0.62	0.35	—	—	0.98	31.0	40.0	47.5	40.0	71.5	475	6.65	70.3	524	7.45	"	1305
4	3.51	0.60	0.34	—	—	1.30	24.5	34.0	41.0	33.5	72.0	484	6.72	71.2	539	7.57	"	1298
5	3.49	0.60	0.34	—	—	1.80	15.0	21.0	27.0	22.2	73.0	487	6.67	72.6	535	7.37	"	1300
6	3.52	0.60	0.35	—	—	1.91	13.0	18.0	23.0	18.0	73.5	484	6.59	74.8	542	7.25	"	1296
18-1	2.84	0.95	0.31	0.160	0.039	0	51.5	—	—	—	61.0	415	6.80	59.0	465	7.88	1380	1312
2	2.84	0.96	0.32	—	—	0.45	43.0	—	—	57.5	62.0	418	6.78	61.5	480	7.81	"	1310
3	2.86	0.97	0.32	—	—	0.95	33.0	48.0	58.0	49.0	66.0	438	6.64	62.4	499	8.00	"	1315
4	2.85	0.96	0.30	—	—	1.34	25.0	37.5	46.0	37.5	67.0	440	6.57	64.7	510	7.88	"	1310
5	2.83	0.96	0.31	—	—	1.75	20.0	28.0	37.0	28.0	68.5	460	6.71	65.6	526	8.02	"	1308
6	2.83	0.95	0.33	—	—	2.23	16.5	21.5	26.5	20.5	69.5	472	6.79	68.4	527	7.70	"	1314

a は白色部の深さ、b は有効冷硬部の深さ、c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布の曲線

第 14 圖は硬度分布の曲線を示すものであつて之れを見ても上述の結果が明瞭は表はれて居る。

c. 硬化深度

硬度分布の曲線によつて、硬化深度を求めると第 8 表に示す通りであつて、之れをニツケル量に對して圖示すると第 13 圖の下位點線で示す通りであつて、有效冷硬部の深さと殆んど相合致して居る。

d. 冷硬表面の硬度

第 13 圖上部點線で示す通り、其硬度はニツケルの増すと共に直線的に増加して居る。

6. 銅

材料及び溶解方法は前と全く同様で、只添加材料として電氣銅を用ひ、前述の例と同數の試験片を造つた(溶解最高及び鑄込温度並に化學分析の結果は第 9 表参照)。

以下各種試験の結果を挙げると大要次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

銅はニツケルと殆んど同じ程度に黒鉛化を助ける元素であるから冷硬效果に對してもニツケルと同程度の影響を及ぼす筈である。寫眞 No. 14 及び No. 15 は冷硬試験片の破断面、第 9 表は其試験の結果であつて之れを圖示すると第 15 圖の通りである。之等の曲線を見るに何れもニツケルの場合とよく似ておつて冷硬效果は銅の増すに従つて漸次減少して而も其關係は直線に近い極めて緩かな曲線をなして居る。又斑灰層の厚さと成分との關係もニツケルの場合と全く同様である。

第 9 表 銅 の 影 響

試験 番號	化 學 成 分 %						冷 硬 効 果				冷 硬 表 面 の 硬 度						溶 解 温 度	
	C	Si	Mn	P	S	Cu	肉 眼 的 硬 化				効 硬 試 驗 片			金 型 試 驗 片			最 高	鑄 込
							a	b	c	深 度	S	B	B/S	S	B	B/S		
15-1	3.47	0.70	0.35	0.176	0.042	0	40.0	48.5	59.0	46.0	66.0	460	6.97	66.2	513	7.75	1340	1295
2	3.45	0.68	0.33	—	—	0.34	31.5	39.0	49.0	38.0	66.0	465	7.04	66.4	522	7.86	"	1290
3	3.46	0.70	0.34	—	—	0.86	19.0	26.0	35.0	32.5	68.0	471	6.93	68.5	538	7.85	"	1293
4	3.46	0.69	0.32	—	—	1.34	10.5	17.0	25.0	16.0	69.0	480	6.96	68.7	545	7.93	"	1295
5	3.45	0.68	0.33	—	—	1.74	9.0	13.5	19.0	12.5	70.0	478	9.83	69.7	564	8.09	"	1293
6	3.44	0.69	0.34	—	—	2.29	5.0	8.5	13.0	8.0	70.0	490	7.00	72.0	568	7.89	"	1295
16-1	2.89	0.95	0.36	0.144	0.042	0	52.0	64.5	—	54.0	61.0	415	6.80	58.5	467	7.99	1360	1305
2	2.90	0.96	0.35	—	—	0.60	40.0	54.0	67.0	46.0	62.0	421	6.79	59.5	481	8.08	"	1302
3	2.87	0.95	0.35	—	—	1.02	31.5	44.0	55.0	40.5	64.0	424	6.63	63.0	506	8.03	"	1306
4	2.86	0.97	0.34	—	—	1.52	24.0	32.5	44.0	30.5	65.0	435	6.69	64.0	514	8.03	"	1303
5	2.89	0.96	0.35	—	—	2.04	17.0	22.0	32.0	21.5	65.0	445	6.85	67.2	526	7.83	"	1305
6	2.90	0.97	0.34	—	—	2.52	13.5	18.0	24.0	17.0	67.5	454	6.72	70.4	551	7.83	"	1300

a は白色部の深さ、b は有効冷硬部の深さ、c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布曲線

第 16 圖は硬度分布曲線であつて、之を見ても冷硬に對する上述の影響を認める事が出来る。

c. 硬化深度

硬度分布の曲線によつて硬化深度を求めると第9表の通りであつて、又第15圖下部の點線は之を圖示したもので、之等の曲線は有效冷硬部の深さを表はす曲線と殆んど相一致して居る。

d. 冷硬表面の硬度

第15圖上部點線にて示す通り銅は冷硬表面の硬度を高める性質を持つて居つて其硬度と銅含量との關係は略ぼ直線的になつて居る。

(2) 黒鉛化を妨げる元素

1. 滿 俺

材料及び溶解方法は全體前と同様であるが此の場合では第2類に屬する元素であるから高炭素及び低炭素の兩組とも最初の試験片は第1類の場合と反對に充分淺く冷硬される様に配合した後溶解した。而して最初の試験片を鑄込んだ後の添加材料は滿俺鐵(第1表に示す成分のもの)を用ひ滿俺量を異にする6個宛の試験片を都合12個鑄造した。但し此の場合は滿俺鐵を添加する毎に其内に含まれる炭素によつて全炭素量が幾分増加する恐れがあるから表面のコークスの量を加減して炭素の變化を出來得る限り一定にする様充分注意を拂つて溶解した。

溶解最高及び鑄込溫度並に化學分析の結果は第10表に示す様に溫度及び其他の成分を略ぼ一定に保つて、滿俺を0.33%乃至1.83%及び0.46%乃至1.85%の範圍内に變化せしめる事が出來た。今試験の結果を挙げると次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

滿俺の様な炭化物を造るものは黒鉛化を妨げるものであるから、冷硬效果に關する影響は、冷硬を助ける方に働くべきである。第10表及び第17圖は其冷硬效果に關する影響を示すもの、寫眞 No. 16及び No. 17 は其破斷面の寫眞であつて一般に滿俺が増すに従つて冷硬效果も増して居る事が知られる。併し滿俺の量が約0.7%以下の場合には其影響は殆んどなく、之れ以上滿俺が増すに従つて、其冷硬效果は略ぼ直線的に増して居る、元來鑄鐵中の滿俺は種々の状態で存在するもので、即ち一部は固溶體となつて地鐵中に溶け込み一部は炭化滿俺(Mn_3C)を造り又或る一部は硫黃と化合して硫化滿俺を造る等が其の重なるもので此の中炭化滿俺はセメントイトと固溶體を造つて之れがセメントイトよりも安定度が大であるから滿俺は黒鉛化を妨げるのであると普通信ぜられて居る。故に滿俺量の少い間は其大部分は硫化滿俺や地鐵と固溶體を造る方に費され炭化滿俺を作る事が少いから冷硬效果に殆んど影響を及ぼさないものと思はれる。尙又高炭素の場合と低炭素の場合との兩組の結果を比較するに滿俺の影響は後者の方が著しくなつて居る。

第10表 滿俺の影響

試験 番號	化 學 成 分 %					冷 硬 效 果				冷 硬 表 面 の 硬 度					溶 解 溫 度 C		
	C	Si	Mn	P	S	肉 眼 的 硬 化			冷 硬 試 驗 片			金 型 試 驗 片			最 高	鑄 込	
						a	b	c	深 度	S	B	B/S	S	B			B/S
28-1	3.52	1.00	0.33	0.166	0.036	14.0	25.0	33.0	25.0	64.0	460	7.19	65.2	506	7.76	1350	1300

2	3.53	1.02	0.56	—	—	14.5	26.0	35.5	27.0	65.0	472	7.26	62.7	507	8.08	〃	1303
3	3.51	1.03	0.87	—	—	19.5	32.0	41.0	32.0	65.0	472	7.26	66.7	513	7.69	〃	1305
4	3.50	1.01	1.07	—	—	25.5	38.0	47.0	38.0	66.0	483	7.32	68.2	526	7.72	〃	1298
5	3.53	1.00	1.38	—	—	29.0	43.0	52.0	40.0	68.0	480	7.06	68.6	536	7.81	〃	1300
6	3.50	1.03	1.83	—	—	38.2	51.0	62.0	48.5	69.0	489	7.09	70.1	545	7.77	〃	1302
29-1	2.85	1.45	0.46	0.128	0.053	12.0	20.0	32.5	12.0	61.0	430	7.05	59.6	460	7.71	〃	1310
2	2.85	1.42	0.72	—	—	16.0	23.0	42.5	20.0	63.0	443	7.04	60.1	477	7.93	〃	1312
3	2.87	1.43	1.03	—	—	16.0	28.0	46.0	18.0	62.0	440	7.10	60.3	484	8.03	〃	1308
4	2.85	1.44	1.20	—	—	24.0	40.0	58.0	34.0	64.0	455	7.11	61.0	480	7.87	〃	1314
5	2.84	1.44	1.45	—	—	34.0	57.5	68.5	50.5	64.0	457	7.14	62.9	487	7.74	〃	1313
6	2.84	1.43	1.85	—	—	51.0	—	—	63.5	66.0	460	6.97	66.4	507	7.63	〃	1308

a. は白色部の深さ、b は有効冷硬部の深さ、c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布曲線

第 18 圖は硬度分布の曲線を示すものであつて、之れを見ても満俺の増すに従つて、其冷硬効果が増して居る事が知られる。

c. 硬化深度

冷硬表面から Shore 硬度 60 の所迄の深さを求めて之れを圖示すると第 17 圖點線で示した通りで其曲線は高炭素の場合は有効冷硬部の深さの曲線と殆んど一致して居るが、低炭素の場合は一般に冷硬部の硬度が低いため有効冷硬部及び白色部の兩曲線の中間を稍不規則に走つて居る。

d. 冷硬表面の硬度

冷硬表面の硬度は満俺が増すに従つて何れも略直線的に増して居る。

2. 硫 黄

硫黄も第 2 類に屬する元來であるから、其材料の配合及び熔解方法は満俺の場合と全く同様にして高炭素と低炭素の兩組について熔解した。添加材料としては第 1 表に示す硫化鐵を用ひ逐次硫黄量を異にして居る試験片を各 6 組毎に 6 個宛合せて 12 個造つた。但し此の場合は熔解中珪素が少しづつ減少することを分析の結果知つたから、硫化鐵を加へる毎に之に少量の珪素鐵を混じて珪素の減失を防いだ(熔解最高及び鑄込溫度並に化學分析の結果は第 11 表参照)。

今各試験の結果を挙げると大要次の通りである。

a. 肉眼的冷硬効果

硫黄は黒鉛化を妨げる元素であるから、冷硬に對しては其効果を大ならしめる筈である。寫眞 No. 18 及び No. 19 は各試験片の破断面第 11 表及び第 19 圖は其結果を示すもので此等を見ると冷硬効果は硫黄が増すに従つて漸次増して居て、其影響は満俺より遙かに著しい事が知られる。又高炭素の場合よりも低炭素の場合の方が其影響が甚だしくなつて居る。尙此處に注目すべきは冷硬効果が増すにつれて普通の場合と反對に其斑灰部の厚さは却つて狭められて居る事である。之れは矢張り硫黄の影響であつて其原因は次の様に考へると説明が出来る。黒鉛化に關する核心説によると黒鉛化は凝固

の前後に於て瓦斯其他の原因で炭素の核が出來て黒鉛は之れを中心として融液或はオーステナイトから分離して來るのであるから、村上博士⁽¹⁴⁾の説明される様にこの核は硫黄と化合して二硫化炭素となつて消失して黒鉛化が妨げられ従つて冷硬効果が大きとなると考へると、此の場合試験片の灰色部は凝固前後の冷却速度が遅く従つて核を中心として起る黒鉛化が盛んであるため硫黄によつて消失する核数が比較的少いに反し、斑灰部に於ては冷却速度が速く従つて核を中心として起る黒鉛化が微弱であるため硫黄によつて消失する核数が比較的多いから前者が硫黄のために黒鉛化を妨げられて斑灰若しくは白色部に變化される厚さは、後者が同一理由で白色部に變化する厚さよりも少ない事になる。故に結局硫黄によつて冷硬効果が増すと同時に斑灰部は狭くなるのである。

第 11 表 硫 黄 の 影 響

試験 番 號	化 學 成 分 %					冷 硬 効 果				冷 硬 表 面 の 硬 度						熔 解 温 度 C	
	C	Si	Mn	P	S	肉 眼 的 硬 化			硬 化 深 度	冷 硬 試 験 片			金 型 試 験 片			最 高	鑄 込
						a	b	c		S	B	B/S	S	B	B/S		
46-1	3.59	0.95	0.26	0.174	0.056	12.0	22.0	34.0	17.0	66.0	465	7.05	64.5	504	7.82	1345	1295
2	3.59	0.94	0.25	—	0.111	23.0	34.0	39.5	27.5	65.0	463	9.12	65.2	509	7.81	〃	1298
3	3.62	0.94	0.25	—	0.196	28.0	40.0	45.5	34.5	64.0	460	7.18	65.8	508	7.74	〃	1300
4	3.61	0.96	0.26	—	0.277	36.5	45.5	48.5	42.5	66.0	460	6.97	66.3	515	7.78	〃	1296
5	3.60	0.94	0.24	—	0.333	40.0	47.5	50.0	47.5	66.0	463	7.02	64.1	517	8.06	〃	1300
6	3.61	0.95	0.24	—	0.451	46.0	—	—	54.0	67.5	465	6.89	65.9	512	7.76	〃	1298
51-1	2.87	1.35	0.27	0.176	0.051	5.0	12.0	22.0	2.0	60.0	423	7.05	60.3	458	7.59	1376	1310
2	2.88	1.34	0.25	—	0.100	12.0	21.0	38.0	16.0	62.0	421	6.79	61.0	470	7.70	〃	1305
3	2.90	1.33	0.26	—	0.163	20.0	31.0	45.0	26.0	63.0	418	6.63	60.0	463	7.72	〃	1308
4	2.89	1.34	0.24	—	0.255	35.0	45.0	54.0	43.0	62.0	418	6.74	61.0	471	7.72	〃	1312
5	2.88	1.35	0.25	—	0.377	56.0	—	—	59.0	61.0	416	6.82	58.6	452	7.71	〃	1310
6	2.90	1.33	0.24	—	0.547	—	—	—	61.0	61.0	415	6.81	58.6	452	7.71	〃	1313

a は白色部の深さ、b は有効冷硬部の深さ、c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布曲線

第 20 圖は硬度分布の曲線であつて、之れを見ても上述の結果がよく表はれて居る。又同圖左方上端にある曲線は灰色部の端が却つて硬度が非常に増して居るのは縁の冷却影響を受けたためで之れは寫眞 No. 18 を見てもよく解るのである。

c. 硬化深度

第 19 圖下部の點線で示されるものは、硬化深度と硫黄量との關係を示す曲線であつて、冷硬効果を表はす曲線と略ぼ並行に變化して居る。

d. 冷硬表面の硬度

冷硬表面の硬度と硫黄量との間の關係は第 19 圖上方點線で示す通り此の試験の範圍内では硫黄は其冷硬表面の硬度には少しも關係せぬ事になつて居る。

之れも滿俺と全く同様の配合で、高炭素の場合と低炭素の場合との二熔解を行ふた。先づ一定の熔解温度に達した時最初の試験片及び分析試料を採つた後、添加材料として第 1 表に示すフェロクロムを逐次加へて一組につき 7 個宛合せて 14 個の試験片を鑄込んだ。但し此の場合は逐次フェロクロムを加へて造られた試験片は漸次其炭素量を増し珪素量を少しづつ減ずる事を豫備試験の結果知つたから、これを防ぐため各添加材料には少量のフェロシクロンを混じ、又熔銑の表面に振り撒くコークスの量を加減して珪素及び炭素含量の略一定な試験片を造る事が出来た（熔解最高及び鑄込温度並に化學分析の結果は第 12 表参照）。今各種試験の結果を挙げると次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

クロムは著しく黒鉛化を妨げる元素であつて其程度は澤村氏の研究⁽¹⁵⁾に依ると略ぼ硫黄と匹敵する事となつて居る。寫眞 No. 20 及び No. 21 は試験片の破断面、第 12 表及び第 21 圖は其結果を示すもので、之等を見ると冷硬に對するクロムの影響は相當著しくなつて居るが、この場合は硫黄の場合と大いに其趣を異にして居る。即ち有效冷硬部の深さ及び冷硬部の深さに對しては其影響が相當著しくなつて居るが、白色部の深さに對しては其影響が比較的少くなつて居るためにクロムの増加するに伴れ其斑灰部は漸次擴大せられ其破断面には灰白何れともつかぬ一種特別の頗る曖昧な色合を持つて居る部分が一面に擴がつて來るのである。今其理由を考へるに、村上博士の研究⁽¹⁶⁾せられた所によると、鑄鐵の様な炭素の多い鐵に少量のクロムが含まれると此の鐵中にはセメンタイト (Fe_3C) の外にクロムの α 複炭化物 ($\text{Fe}_3\text{C})_{18}\text{Cr}_4\text{C}$ が出來クロムの量が増せば増す程前者は減じこれに代つて後者が増す事になつて居る。但し β 複炭化物は約 1200°C 以上の高温度に於ては全部セメンタイトと β 複炭化物 ($\text{Fe}_3\text{C})_9\text{Cr}_4\text{C}$ とに分解するのであるから、熔銑が凝固する際にはセメンタイトと β 複炭化物とが出来る理であらふがこの β 複炭化物は Ar_1 複態點で再び残つて居るセメンタイトと化合して α 複炭化物となるのである。而して此の複炭化物はセメンタイトに比べて非常に安定なものであると普通考へられて居るので、クロムが入ると、炭化物の内セメンタイトはクロムのない場合と同程度に黒鉛化するけれども、複炭化物は容易に黒鉛化しないのである。故にクロムが増せば増す程灰色部は漸次斑灰部に變化して冷硬部の深さを増すが、此の場合斑灰部は其何れの部分も矢張りセメンタイトがあつて之れが一部黒鉛化するからこの部分が白色部に變る事は比較的少いのである。故に結局斑灰部は段々廣められ其色も薄くなつて遂には灰白何れともつかぬ曖昧なものとなるのである。第 21 圖に於てクロムが増すに關はらず最初の間は其白色部の深さが頗る徐々に増して居るのはこのためである。尙この試験では他の元素の場合と比較する都合上珪素の含量を少くしたからクロムの變化範圍も僅かに 0 乃至 0.5% であつて、其破断面の如きも上に述べたクロムの特性が充分表せれなかつたが、豫備試験の時には珪素を多くしてクロムを 1% 以上 2% 位まで含ませて見たが其破断面は全く上に述べた様な一種特別のものであつた。これは黒鉛化し難い複炭化物が充分多くなつて、セメンタイトが比較的少量になつたためである。

第 12 表 クロム の 影 響

試験 番 號	化 學 成 分 %						冷 硬 効 果				冷 硬 表 面 の 硬 度						熔 解 温 度 C	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	肉 眼 的 硬 化				冷 硬 試 験 片			金 型 試 験 片			最 高	鑄 込
							a	b	c	深 度	S	B	B/S	S	B	B/S		
30-1	3.46	1.11	0.28	0.158	0.035	0	13.4	19.0	31.0	16.5	68.0	481	7.07	65.7	515	7.87	1345	1295
2	3.44	1.09	0.28	—	—	0.11	17.5	25.0	38.0	26.0	68.0	486	7.15	62.5	510	8.16	"	1290
3	3.47	1.09	0.31	—	—	0.22	18.3	29.0	41.0	27.5	68.0	490	7.21	65.4	520	7.92	"	1293
4	3.44	1.09	0.30	—	—	0.27	16.0	32.0	44.0	26.0	68.0	486	7.25	65.3	520	7.97	"	1295
5	3.46	1.11	0.29	—	—	0.37	24.7	41.9	52.0	36.0	68.5	490	7.15	66.8	525	7.86	"	1296
6	3.46	1.10	0.28	—	—	0.43	25.3	44.2	56.0	41.0	70.0	498	7.11	66.4	518	7.80	"	1294
7	3.45	1.10	0.30	—	—	0.46	27.0	50.9	61.0	44.0	72.0	496	6.89	67.5	522	7.73	"	1290
31-1	2.91	1.43	0.32	0.128	0.049	0	5.0	12.0	25.0	5.0	61.0	433	7.10	60.3	464	7.70	1366	1305
2	2.91	1.42	0.31	—	—	0.12	11.0	27.0	42.0	19.5	63.0	440	6.99	60.6	47.2	7.79	"	1306
3	2.92	1.42	0.32	—	—	0.22	13.5	38.0	48.0	14.5	61.0	444	7.28	61.0	475	7.79	"	1304
4	2.93	1.41	0.31	—	—	0.32	16.5	45.0	56.0	26.0	61.5	477	7.27	64.0	480	7.50	"	1308
5	2.92	1.43	0.29	—	—	0.41	19.5	49.0	60.0	24.5	61.0	445	7.30	63.1	483	7.65	"	1305
6	2.91	1.41	0.30	—	—	0.50	28.5	55.0	—	51.5	65.0	454	6.98	62.2	487	7.83	"	1305
7	2.93	1.42	0.31	—	—	0.53	33.5	—	—	59.0	68.0	457	6.72	64.0	487	7.61	"	1302

a は白色部の深さ、b は有効冷硬部の深さ、c 冷硬部の深さ。

b. 硬度分布の曲線

第 22 圖は硬度分布の曲線を示すもので、之を見ても上述の事柄がよく表はれて居る。即ちクロムの増加するに従つて、硬度の最も高い白色部の層の厚さは比較的其増し方が僅少で、硬度の最も低い灰色部の層の厚さは急に減少して、其中間にある斑灰部の層の厚さは漸次増して、且つ低炭素の場合の如きは此の部の曲線が非常に不規則になつて居る。尙又灰色部の硬度はクロムの量に従つて段々増して居るのは複炭化物のためであつて之れは其破断面の灰色部が段々少しく白味がよつて居るのを見てもこの事が想像されるのである。

c. 硬 化 深 度

第 21 圖下方に示されて居る點線は硬化深度とクロム量との關係を表はす曲線であつて、高炭素の場合は有効冷硬部の深さの曲線と殆んど合致し低炭素の場合では白色部の深さの曲線の少しく上方をこれと大體平行に走つて居る。

d. 冷硬表面の硬度

冷硬表面の硬度はクロムの含量が増すに従つて漸次増して居る。但し此の場合はクロムの變化範圍が少いから餘り著しくは表はれて居ない。第 21 圖上方の點線はこの硬度の變化を示すものである。

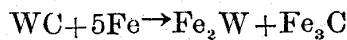
4. タングステン

此場合も滿庵以下の諸元素の場合と全く同様の配合及び熔解方法で高炭素及び低炭素の兩組に就て二熔解を行ふに。次に前と同様の手順で最初の試験片及び分析試料を採つた後添加材料として第 1 表

は示してあるフェロタングステンの所要量を逐次加へてタングステンの含量を異にする試験片を各組に就て6個宛合せて12個鑄造した。但し豫備試験の結果此の場合もフェロタングステンを加へる毎に珪素の量を少しづつ減少させることを知つたから、各添加毎に少量の珪素鐵を加へて珪素の減失を防いだ。各試験片の分析の結果は第13表に示す通りであつて、高炭素の組の最後の試験片の珪素が0.05%程多過ぎたのみで、他は何れも炭素珪素及び其他の成分を一定にすることが出来た(熔解最高及び鑄込温度は同表参照)。今各種試験の結果を挙げると大要次の通りである。

a. 肉眼的冷硬效果

(17) 澤村氏の研究によるとタングステンは微弱ながら白銑の黒鉛化を助けると云ふことになつて居るが當試験でも大體之れと一致してタングステンは冷硬效果には殆んど影響を及ぼさぬ事になつて居る。寫眞 No. 22 及び No. 23 は其破断面第13表及び第23圖は其結果を示すものである。但し高炭素の場合の最後の試験片 No. 6 は冷硬效果が少しく減じて居るが之は分析結果を見ても解る通り珪素の影響であつてタングステンのためではない。處で本多、村上兩博士のタングステン鋼に關する研究(18)によると炭素が比較的多くてタングステンの少い場合は其標準状態に於ては鋼中の炭素はセメンタイト(Fe₃C)及び複炭化物(4Fe₃C.WC)となつて存在して居るが、其温度が上つてAc₁以上になると此の複炭化物はFe₃CとWCとに分解し尙温度が上つて900°C以上になると次式の反應が始まり



更に之れ以上温度が上れば上る程反應は左より右に進んで約1000°C以上に於て完了する事になつて居る。然るに鑄鐵は鋼に比べて非常に多くの炭素を含んで居るから之れに2%若しくは3%程度のタングステンを加へたものは上記のタングステン鋼に相當するものであるから、常温に於ては其炭化物はセメンタイト及び複炭化物の二つの形態で存在して居るであらふが、鑄鐵が凝固する前後の高温度では炭化物は殆んどセメンタイトのみであるからタングステンは黒鉛化に關係せぬものと思はれる。即ちタングステンは炭化物を造るものなるにも拘らず冷硬效果に關係しないのは此のためである。但し其破断面を注意して見ると冷硬部の深さはタングステンと共に少しく増加し従つて硬斑灰部も少しく擴大される傾向があるのは恐らく上式の反應は炭素の多い程高温度を要することになつて居るから鑄鐵の様な多量のセメンタイトを含むものは凝固前後の高温度に於ても微弱ながら幾分其逆反應が起つて一部分炭化タングステンを造る爲めであらうと思はれる。

第13表 タングステンの影響

試験 番號	化 學 成 分 %						冷 硬 効 果				冷 硬 表 面 の 硬 度						熔 解 温 度 C	
	C	Si	Mn	P	S	W	肉 眼 的 硬 化				冷 硬 試 驗 片			金 型 試 驗 片			最高	鑄 込
							a	b	c	深度	S	B	B/S	S	B	B/S		
42-1	3.42	0.94	0.33	0.164	0.032	0	17.3	32.0	44.0	24.5	66.5	462	6.95	66.5	509	7.65	1358	1300
2	3.43	0.95	0.32	—	—	0.11	18.5	34.0	45.0	28.0	67.0	460	6.87	66.9	511	7.64	"	1298
3	3.41	0.93	0.33	—	—	0.72	18.0	32.0	45.0	24.5	66.0	468	7.09	70.4	516	7.33	"	1296

4	3.40	0.95	0.34	—	—	1.11	17.5	33.0	47.0	27.0	67.5	475	7.04	71.5	522	7.30	〃	1294
5	3.41	0.95	0.33	—	—	1.45	17.5	32.0	44.0	30.0	67.5	478	7.08	73.3	536	7.32	〃	1300
6	3.42	1.00	0.32	—	—	1.59	15.0	28.0	42.0	24.0	70.0	480	6.86	73.5	538	7.33	〃	1298
43-1	2.85	1.43	0.34	0.130	0.04	0	8.5	14.5	22.0	7.0	62.0	410	6.61	60.0	464	7.73	1370	1308
2	2.86	1.41	0.34	—	—	0.02	8.5	13.0	22.0	7.0	63.0	409	6.49	61.4	471	7.67	〃	1310
3	2.87	1.42	0.32	—	—	0.90	7.5	12.5	21.0	5.0	65.0	418	6.43	62.6	478	7.64	〃	1312
4	2.86	1.43	0.33	—	—	1.36	6.5	12.5	22.0	6.0	66.0	427	6.47	62.9	494	7.86	〃	1315
	2.87	1.41	0.35	—	—	1.63	7.0	12.5	23.0	5.5	65.0	430	6.61	64.9	493	7.60	〃	1312
6	2.86	1.42	0.34	—	—	2.39	8.5	14.5	25.0	7.0	67.0	440	6.57	65.2	502	7.70	〃	1310

a は白色部の深さ、b は有効冷硬部の深さ、c は冷硬部の深さ

b. 硬度分布の曲線

第 24 圖は硬度分布の曲線を示すものであつて、之を見てもタングステンは冷硬効果には殆んど關係なく只此の元素を多量に含むものは幾其分斑灰部が廣められて居ることが知られる。又冷硬部及び灰色部の硬度はタングステンの増すに従つて次第に増して居る。

c. 硬化深度

第 23 圖下部點線で示すものは硬化深度とタングステンの含量との關係を示すもので、此の曲線は冷硬効果の曲線と略ば平行し、硬化深度もタングステンの含量には殆んど關係せぬことを表はして居る。

d. 冷硬表面の硬度

冷硬表面の硬度はショア及びブリネルの兩硬度ともタングステンの増すに従つて増加して居る。第 23 圖上部の點線は其結果を示すものである。

(3) 以上 10 種元素の比較

以上述べて來た 10 種元素の冷硬効果に及ぼす影響を比較するために之等の總ての元素に就いて其冷硬効果と含有元素との關係を同時に圖示すると、第 25 圖の通りである。此の内下部にあるものは高炭素の場合上部にあるものは低炭素の場合である。但し繁雜を避けるために肉眼的冷硬効果の内特に有効冷硬部の深さのみを採つて圖示した。之れによると一見して各種元素による影響の程度如何を知る事が出来る。

尙其大體を一層明瞭に數字を以て比較するために上記各曲線の平均の傾斜度、即ち元素 1% の増加に對する冷硬効果の増し或は減りの平均價を假りに平均冷硬率と名付け、且つ其増しの場合には正の符號な減りの場合には負の符號を付けて之れを用ふる事にした。但し實際此の平均冷硬率を求めるためには上記の曲線中白色部の深さが 10mm. 以上の部分に相當する範圍に定規を當て、大體其平均の傾斜度を測つたのである。尙又炭素の場合の平均冷硬率を標準として他の元素の場合の平均冷硬率と之れとの比を求めた。今之等の結果を擧げると第 14 表の通りである。又第 26 圖は之等を一目瞭然たらしむるために作られたもので、縦軸には平均冷硬率（但し◎印は白色部の深さ、×印は有効冷硬部

の深さ、△印は冷硬部の深さに對する平均冷硬率を表はすものである。)横軸は單に各元素の位置を表すものである。

第 14 表

		C	Si	P	Al	Ni	Cu	Mn	S	Cr	W									
		平冷 硬 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率	平冷 硬比 均率								
高炭素の場合	白色部	-38	-128	3.37	-24	0.63	-104	2.74	-19	0.50	-19	0.50	+20	0.53	+106	2.79	+38	1.00	+0	—
	有効冷硬部	-41	-144	3.51	-32	0.78	-108	2.63	-25	0.61	-22	0.54	+20	0.49	+78	1.90	+74	1.80	+0.2	0.005
	冷硬部	-54	-172	3.19	-23	0.43	-80	1.48	-20	0.37	-24	0.44	+22	0.41	+62	1.15	+76	1.41	+1.3	0.024
低炭素の場合	白色部		-80	2.10	-30	0.79	-88	2.32	-15	0.39	-14	0.37	+36	0.95	+156	4.11	+46	1.21	0	—
	有効冷硬部		-108	2.63	-27	0.66	-73	1.78	-22	0.54	-13	0.32	+40	0.98	+160	3.90	+82	2.00	+0.5	0.01
	冷硬部		-128	2.37	-31	0.57	-42	0.78	-26	0.48	-22	0.41	+34	0.63	+136	2.52	+78	1.44	+1.0	0.018

之等によると冷硬効果を助けるもの内では硫黄及びクロムの二元素が最も著しく冷硬効果を妨げるもの内では珪素及びアルミニウムが最も著しくなつて居る。今冷硬効果を最も多く助けるものから順次列挙して見ると次の通りである。但し負の符號が附いて居るものは冷硬効果を妨げるもので右は左より多く其効果を妨げる事を意味して居る。

S. Cr. Mn. W -Ni -P -C -Al -Si

(IV) 冷硬部の硬度に及ぼす各種元素の影響

前章で述べた通り冷硬表面の硬度に及ぼす各元素の影響を見るために、別の金型に鑄込んだ小試験片に就いてショーア及びブリネル硬度を測定した。但し之等の試験片は冷硬効果の影響を見る試験片を鑄込む際同時に造られたもので、従つて各元素の含有量は冷硬鑄物に必要な範囲以外に出づる事が出来なかつたから、冷硬効果に著しき影響を及ぼす珪素、アルミニウム、硫黄及びクロムの如き元素は其の含量の變化範圍が單に一小部分に限られた事に止むを得なかつたのである。

以下各試験の結果を挙げると次の通りである。

第4表乃至第13表の右方に示してあるのは、之等試験片の硬度測定の結果であつて、之等を圖示すると第27圖乃至第36圖の通りである。圖に於て横軸は各元素の量を表はし縦軸はブリネル(實線)或はショーア(點線)硬度數を表はすものである。之等によると、多くの場合は含有元素の増すと共に其硬度は増加して、其關係は略ぼ直線的になつて居るが、元素1%に對する硬度の増加(假りに之れを硬度増加率と名附けた)は元素に依つて非常に異つて居る。即ち之等諸元素の内では硬度増加率の最も大なるものは炭素及び磷であつて之れに次ぐものは、クロム及び滿俺で、増加率の最も少いものは硫黄及びアルミニウムで其他の元素は殆んど大同小異である。以上諸元素の内では硫黄と炭素を除く外¹⁹⁾のものは常溫で鐵と固溶體を造り得るもので、一般から云ふて固溶體は硬度を増加するものであるから之れが其硬度を増加せしめる一原因である。又炭素の場合は、之れが増すに従つて硬度の高いセメントサイトを多く含む共晶(レデブライト)が段々増して來るから、之れが硬度を増加せしめる原因をな

すものである。寫眞 No. 24 は試験番號 22—1 乃至 22—5 (含炭量 3.94% 乃至 2.74%) の金型小試験片の表面に於ける顯微鏡寫眞であつて之れを見ても含炭量の最も多い試験片 No. 22—1 は其の大部分がレデブライト(白色部)から成つて居つて、只僅少の初晶オーステナイト(黑色部、之れは Ar_2 以下でパーライトに轉化する)が所々に出て居るのみであるが、之れより炭素が減するに従つてレデブライトは減じて初晶オーステナイトが段々増して居るのが明瞭に解るのである。次に磷は鐵と固溶體を造る外に三元共晶(之れはセメンタイト、磷化鐵、 Fe_3P び含磷オーステナイトより成つて居る)を造つて之れが硬度を増す大なる原因と思はれる。又滿俺は同じく固溶體を造る外に炭化物(Mn_3C)を造り之れがセメンタイトと固溶體を造るから、之れが硬度を増す他の原因となり、タングステンは複炭化物(Fe_3C) $_4$ WC 及びタングスタイト Fe_2W (之れは地鐵に溶けて固溶體となつて居る)を造るために之れが硬度増加の主なる原因である。次に又クロムは常溫に於て α 複炭化物 (Fe_3C) $_{13}Cr_4C$ (複炭化物はこの外 β (Fe_3C) $_9Cr_4C$ γ Fe_3C , Cr_4C があるが鑄鐵の如き炭素の多い鐵の場合は主として α が出来るものと思はれる)を造るから之れが又硬度増加の原因である。其他炭化物或は複炭化物を造られない、珪素、アルミニウム (アルミニウムは⁽²⁰⁾一酸化炭素或は直接炭素と働いて炭化物 Al_4C_3 を造るといはれて居るが 鑄鐵中に少量含む場合は普通炭化物を造らないものと考へられて居る様である) = ツケル、銅の如きものは上述の通り鐵と固溶體を造るから、矢張り硬度が増す理である。然るに硫黄は鐵と固溶體を造らぬものであるから其硬度は餘り増えて居らず、低炭素の如き場合は却つて少しく減じて居る。之れは恐らく硫黄の量が漸次増へると熔銑の流動性が非常に悪くなるため、金型で冷却しても表面に顯微鏡的の氣孔が澤山出来るから其の爲め硬度が減るものと思はれる。又アルミニウムの硬度が比較的少いのもこれと同様に熔銑の流動性を非常に悪くするため氣孔が出来易い外に酸化アルミニウムが幾分出来て之れが混在して居るから、之等のため硬度が増さないのであらふと思はれる。

尙此の外に硬度増加の原因として考へられるものはオーステナイトの變化によつて生ずるパーライト組織の状態如何である。即ち冷却速度は全試験片を通じて一樣であるけれども、オーステナイト中に含まれる各種元素の影響を受けてパーライト組織の上に變化を來すものとするも、此がため硬度の上にも變化を生ずる譯である。併し此の元素の變化は比較的小範圍内で行はれて居るから其影響は微弱なものと思はれるが念のため其組織變化に最も關係深い = ツケル、銅滿俺、クロム、タングステン等の試験片について顯微鏡的に調べて見たが何れも其組織は此等の元素によつて多少細くなつて居る丈けで依然としてソルバイト的パーライト乃至ソルバイトの範圍を脱して居らぬ事が解つた。此に依つて組織變化のために起る硬度の増加は比較的少いものと思はれる。

最後に諸元素が硬度に及ぼす影響の程度如何を一目瞭然たらしむるために各元素の硬度増加率を圖示すると第 37 圖の通りである。圖に於て縦軸は各元素の硬度増加率、横軸は各元素を表はし、又實線はブリネル硬度、點線はショア硬度によつたものである。

(A) 白鉄に於けるブリネル及びショア兩硬度の比較試験並に其考察

第 III 章で順次述べて來た冷硬試験片の測面に於ける硬度分布の曲線を見るに、其冷硬部に於けるブリネル及びショアによる兩曲線は互に並行せず多くの場合ブリネル硬度は冷硬表面に近づく程漸次硬度が増して居るにも關らず、同部分に於けるショア硬度は冷硬表面に近づくに従つて少しく減少して居る。即ちブリネルは増加するに反しショアは却つて減少して居るといふ兩硬度の矛盾に毎度遭遇した事は既に述べた通りであつて、此の章に於ては之れが原因を探るために行はれた一二の實驗及び其結論を述べるのである。

翻つて第 4 表乃至第 13 表に於ける冷硬表面の硬度を通覽すると冷硬試験片と金型小試験片とのブリネル及びショア兩硬度の比が非常に異つて居る事に氣附くであらふ。即ち冷硬試験片の方は何時でも例外なく金型小試験片の場合よりも其比が小さくなつて居る事である。又更に兩試験片に於ける硬度其物を比較して見るに、成分が同一であるにも關らずブリネル硬度は金型小試験片の方が常に大であるがショア硬度の方は或は稍高く或は稍低く要するに餘り大差がないのである。然らば何故金型小試験片の方は常にブリネル硬度が高いかと云ふと、其原因は種々あるであらふが主として次の原因によるものと思はれる。即ち金型小試験片の方は冷硬試験片よりも凝固期に於ける冷却速度が速いから前者の結晶(オーステナイトの結晶)は後者に比して遙かに細くなつて居る。而して此のオーステナイトの結晶は其周圍が非常に硬いセメントイトで圍まれて居るから恰も結晶粒の場合に就て本多博士が説明して居られるものと同様に、結晶の境界は内部の面に生ずる迂りを妨げる原因となるため、結晶が微細な方即ち金型小試験片の方がブリネル硬度が高くなつたものと思はれる。寫眞 No. 25 及び No. 26 は夫々試験番號 39—1 の冷硬試験片及び金型小試験片の冷硬表面に於ける顯微鏡寫眞であつて、此を見ても後者の方が其オーステナイトの結晶が遙かに細かい事が知られるのである。又此場合結晶粒の大きさは寫眞では認められないが、此も凝固期に於ける冷却速度の速いもの程微細な理であるから上記のものと同様に相俟つてブリネル硬度を高くするものと思はれる。然るにショア硬度の方は此の迂りにも關係があるのであらふが、この外金屬の彈性にも關係するもので、加ふるにブリネルの如く靜的壓力を加へたものではなく、衝擊により動的に凹を作らしめ同時に起る彈性的歪によつて跳上らしめるものであるから、ブリネル硬度とは大いに其趣を異にして居る。故に之等のためショア硬度の場合は其性質上結晶の細くなるといふ事が少くとも同硬度を餘り増さしめないであらふと云ふ事が想像されるのである。尙以上の結果を確めるため、此處では白鉄の材料を用ひて同形同大の試験片を種々冷却の度を變へて鑄造し、其結晶の大きさが硬度に及ぼす影響如何を見るための實驗を行ふた。即ち金型(底面に鑄鐵の冷却板を當て其周圍上部等は乾燥砂を用ひたもの)生砂型、乾燥砂型、保温煉瓦型及び約 500°C に豫熱された保温煉瓦型等を用ひて之等に同時に白鉄の湯を鑄込んで圓柱型試験片(直徑 50mm, 厚さ 40mm.)を作つて、其のショア硬度及びブリネル硬度を念入りに測定して其結果を比較した。但し硬度測定場所は試験片の中心から 10mm. の半徑を以つ

て畫いた圓周上をブリネルは4箇所、ショアは50回程測定して之れを平均し、又各種の型につき4個宛の試験片を鑄込み之等の硬度の平均を求めて比較した。

第15表 No. 1 (化學分析) C 3.25 Si 0.32 Mn 1.50 P 0.185 S 0.035

金型試験片						乾燥砂型試験片								
冷却鉄に接する面			砂に接する面			常			保温煉瓦型試験片					
B	S	B/S	B	S	B/S	B	S	B/S	B	S	B/S	B	S	B/S
540	70.8	7.63	506	—	—	479	69.1	6.93	443	63.9	6.34	455	68.6	6.63
539	72.5	7.43	528	63.6	7.70	475	69.3	6.85	444	69.8	6.36	453	66.6	6.80
540	72.6	7.44	513	70.8	7.25	472	79.3	6.81	445	69.9	6.37	462	68.6	6.73
540	73.3	7.37	—	64.8	—	468	69.2	6.76	446	69.0	6.46	451	68.3	6.60
平均	平均		平均	平均		平均	平均		平均	平均		平均	平均	
540	72.3	7.47	516	68.1	7.58	473	69.2	6.84	444	69.7	6.37	455	68.0	6.69

第15表 No. 2 (化學分析) C 3.25 Si 0.35 Mn 1.60 P 0.189 S 0.038

金型試験片			生砂型試験片			乾燥砂型試験片			保温煉瓦型試験片		
B	S	B/S	B	S	B/S	B	S	B/S	B	S	B/S
522	66.9	7.80	493	65.7	7.50	495	66.5	7.44	457	65.8	6.95
545	66.6	8.18	494	64.9	7.62	488	96.5	7.34	459	65.6	7.00
552	66.6	8.29	498	65.1	7.65	492	66.7	7.38	451	65.5	6.89
547	66.6	8.21	495	65.8	7.52	492	66.5	7.40	460	65.5	7.02
平均	平均		平均	平均		平均	平均		平均	平均	
542	66.6	8.14	495	65.4	7.57	492	66.6	7.39	457	65.6	6.97

其の結果は第15表の通りで、寫真 No. 27 は同表 No. 2 に於ける各試験片の顯微鏡寫真であつて、冷却の差によつて其結晶の大きさが如何に異つて居るかを示すものである。同表及び同寫真によるとブリネル硬度は結晶が細くなるに従つて漸次増して居るが、ショア硬度は殆んど増して居ない。尙之等の兩硬度數を縦横軸に取つて圖示すると第38圖の通りであつて、ショア硬度は殆んど横軸に並行して其變化しない事を表はして居る。

以上の實驗の結果によつて第III章に於て述べられた冷硬試験片の側面に於ける硬度分布の曲線中兩硬度の變化が相矛盾する事實を次の如く考察する事が出来る。昨年余の研究に於て冷硬表面に近附くに従つてショア硬度の少しく低下するのは、主として灰鉄部から移動して來る熱に依つて燒戻されて少しく黒鉛化が起るため、之の現象は冷却鉄の薄いものに於て特に著しく之れを顯微鏡寫真及び分析によつて證明した。故に今回の試験に於て起つた同様の現象も他にも原因があるかも知れないが、主として此の黒鉛化のためであらふと思はれる。即ち冷硬部中冷硬表面に近附く程結晶は細くなるがショア硬度は上述の通り之れに對して殆んど硬度を増さないから、却つてこの黒鉛化等のために其硬度を減少し、之れに反してブリネル硬度は結晶の細くなるといふ事によつて著しく其硬度を増し、又此の燒戻に依つて生ずる黒鉛は少量且つ微細なものであるからブリネル硬度に對しては餘り關係しないか或は僅かに之れを低下せしめるのみと考へると、前者の原因が打勝つて冷硬表面に近

附く程同硬度を増し此處に兩硬度の不一致を來すものと思はれる。

尙寫眞 No. 28 は冷硬試験片 No. 28-6 の破斷面を冷硬表面から 5mm. 置きに取つた寫眞であつて其結晶の大きさが如何に變化して居るかを知らる。又同寫眞の下方に示す曲線は之と同じ位置に於けるブリネル及びショア硬度を示すものであつて兩者を相對照すると上記の關係が一目して知られるのである。

(VI) 結 論

以上述べた所を總括すると次の通りである。

1. 本試験に於ける冷硬試験片は保温煉瓦製の型を用ひて鑄造したためその大き僅かに 36×75×125 mm. 位の小試験片を以て、其の數十倍の大きさを有する實際の鋳状品物と冷硬効果に關し同一の結果を生ぜしむることが出來たから、此結果は其まゝ實際の場合に應用することが出來る。
2. 熔解最高溫度及び鑄込溫度は實際の場合に近い溫度を選び、全試験片を通して、此等溫度の影響を避けることに充分努力した。
3. 冷硬効果を白色部の深さ、有效冷硬部の深さ、及び冷硬部の深さの三方法を以て表はし、尙一定の所要硬度を有する點までの深さを硬化深度と名付け此を加味して冷硬効果を決定した。
4. 炭素、珪素、アルミニウム、ニッケル、銅、滿庵硫黄、クロムタングステンの 10 種元素について、此が冷硬効果に及ぼす影響を研究して次の結果を得た。
 - a. 滿庵、クロムの様な炭化物、若しくは複炭化物を造るものは冷硬効果を助ける。
 - b. タングステンは複炭化物 ($4Fe_3CWC$) を造る元素であるが冷硬効果は餘りに關係がない。恐らく之れは鑄鐵の凝固附近の高溫度ではタングスタイド (Fe_2W) が出來て複炭化物が出來ないからであると思はれる。
 - c. 硫黄は冷硬効果を助けることが著しい。
 - d. 珪素、アルミニウム、ニッケル、銅の様な炭化物若しくは複炭化物を造らず且つ鐵と固溶體を造るものは冷硬効果を妨げる。
 - e. 炭素は冷硬効果を妨げることが相當著しくその影響の程度は珪素或はアルミニウムの約 $1/3$ 乃至 $1/2$ に相當して居る。
 - f. 含有元素 1% の増しに對する冷硬効果の平均の増し或は減りる平均冷硬率と名付けて冷硬効果に及ぼす各元素の影響を比較した。今其最も著しいものから順次列擧すると次の通りである。但し負の符號を有するものは冷硬効果を妨げるものでこれはその順序を反對に並べた。

S. Cr. Mn. W. -Cu. -Ni. -P. -C. -Al. -Si.
5. 冷硬試験片の外に全部白銑化される様な金型小試験片を造つて其硬度に及ぼす以上諸元素の影響について研究した其結果は次の通りである。
 - a. 各元素は其含量が増すに従つて略ぼ直線的に其硬さを増して居るが其程度は元素によつて非常に

異つて居る。

b. 珪素、磷、アルミニウム、ニッケル、銅、滿俺、タングステンは地鐵と固溶體を造り之が硬度増加の一原因である。

c. 炭素は其量が増すに従つてセメンタイトの量を増すから之が硬度増加の原因である。

d. 滿俺、クロム、タングステンは炭化物若しくは複炭化物を造るから、之が又硬度増加の他の原因である。

e. 磷は鐵と固溶體を造る外に非常に硬い三元共晶を造るから、之が硬度増加の大なる原因である。

f. 各含有元素量 1% に對する硬度の増加は以上諸元素の内では、炭素及び磷が最も大で此に次ぐものはクロム、滿俺であつて最小なものはアルミニウム、硫黄で、其他の元素は何れも大同小異である。

6. 白鉄に於けるブリネル硬度は凝固の際の冷却が速い程即ち其結晶が細い程高く、ショーア硬度は殆んど是には關係がない。

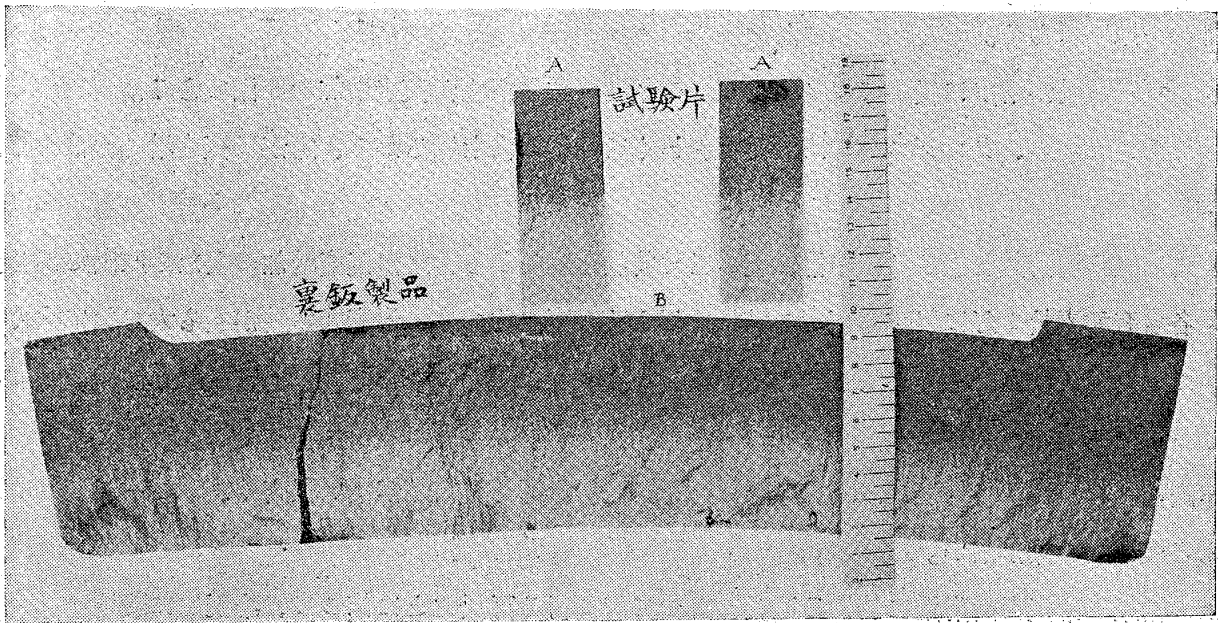
7. 上の結果と冷硬表面附近に於ける焼戻によつて起り得る黒鉛化とに依つて、冷硬部に於けるブリネル及びショーア兩硬度の結果が少しく一致を缺いて居る點について考察した。

終りに臨み本研究中絶えず懇篤なる御指導を賜つた工學博士齋藤大吉先生に深く感謝し、尙此の發表を許諾された株式會社神戸製鋼所に對し、又當所研究係各位の終始一貫熱心なる援助を與へられた事に對し厚く感謝の意を表す。

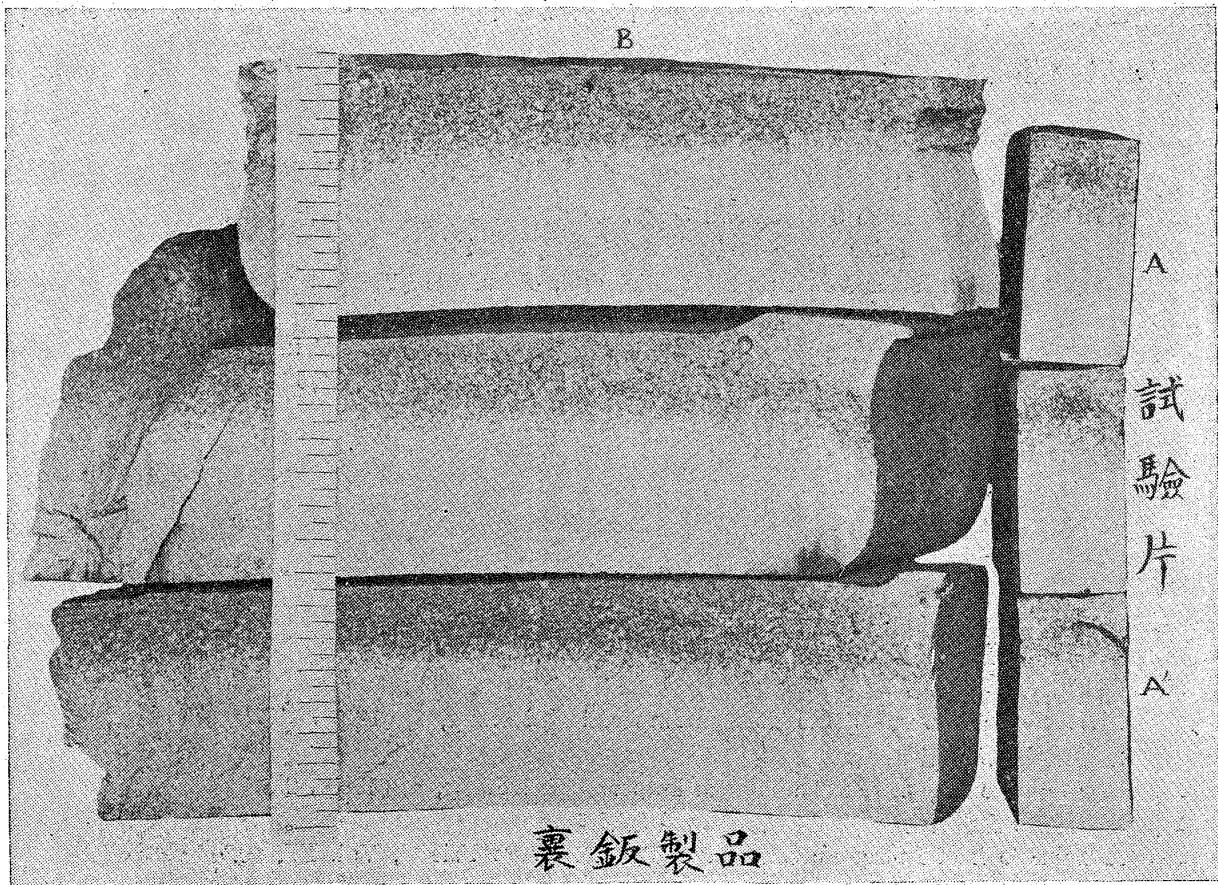
参 考 文 献

- (1) 鐵と鋼第 12 年第 11 號 905
- (2) Adamson: Metallurgie 3 (1906), S. 306/17
- (3) Geiger: Handbuch der Eisen und Stahlgietzerei, II (1916)
- (4) Osann: Lehrbuch der Eisen und Stahlgietzerei, 4 Auflage (1920)
- (5) Schütz: Stahl und Eisen 42 (1922), S. 1610/17, 1773/81 und 1900/6
- (6) Irresberger: Walzengutz. Gietz-Zg. 19 (1922), S. 342/5, 354/8, 371/4 und 381/6
- (7) P. Goerens und H. Jungbluth: Stahl und Eisen 45 (1925,) S. 1112/6
- (8) 菊田博士: 鐵と鋼 第 13 年第 1 號
- (9) 澤村學士: 鐵と鋼 第 11 年第 12 號
水曜會誌 第 4 卷 5, 6, 7, 8, 9,
- (10) 鐵と鋼 第 12 年第 11 號 923
- (11) 鐵と鋼 第 12 年第 10 號 831
- (12) 鐵と鋼 第 12 年第 11 號 907
- (13) 鐵と鋼 第 12 年第 11 號 932
- (14) 村上武次郎著 鐵鋼の顯微鏡組織 131 頁
- (15) 鐵と鋼 第 11 年第 11 號 893
- (16) The Science Reports of the Tohoku Imperial University, 7, (1918), 217.
- (17) 水曜會誌 第 4 卷第 9 號
- (18) The Science Reports of the Tohoku Imperial University, 6, (1918), 235
- (19) 本多博士: 金屬硬化論 金屬の研究 第 3 卷第 1 號
- (20) A Text-Book of Inorganic Chemistry, By J. Newton Friend, Vol. IV, 90.
- (21) 金屬の研究 第 3 卷第 1 號 10
- (22) 鐵と鋼 第 12 年第 11 號 929

寫真 No. 1.

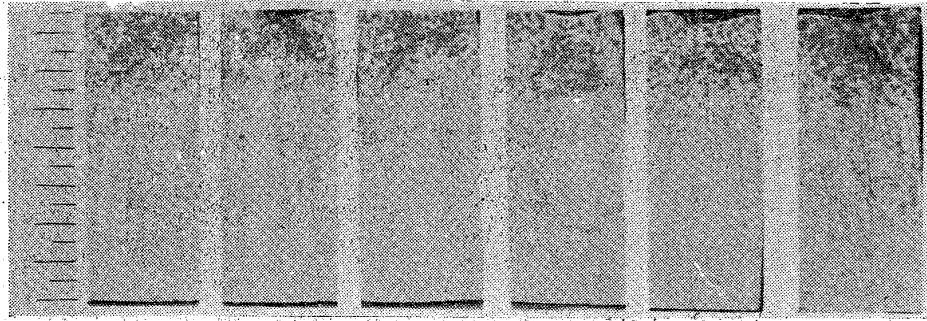


寫真 No. 2.



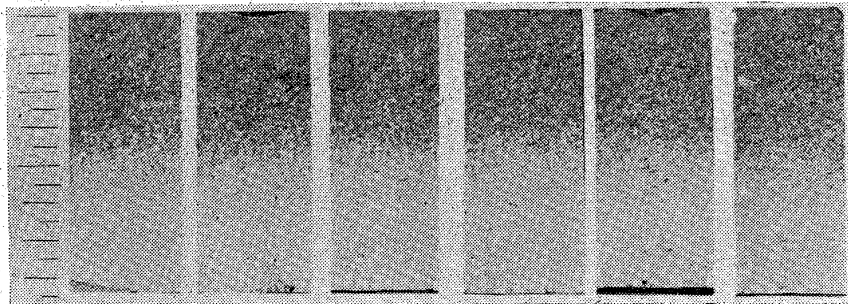
寫眞 No. 3. 溶解時間の影響

P₁-1 P₁-2 P₁-3 P₁-4 P₁-5 P₁-6



寫眞 No. 4. 溶解時間の影響

P₂-1 P₂-2 P₁-3 P₁-4 P₁-5 P₂-6



寫眞 No. 5. 炭素の影響 (si 0.87%)

C% 2.74 3.06 3.32 3.63 3.94

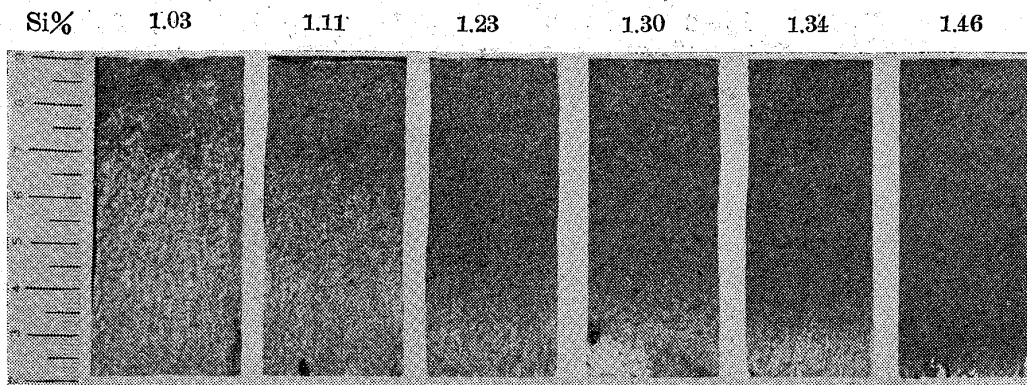


寫眞 No. 6. 珪素の影響 (C 3.44%)

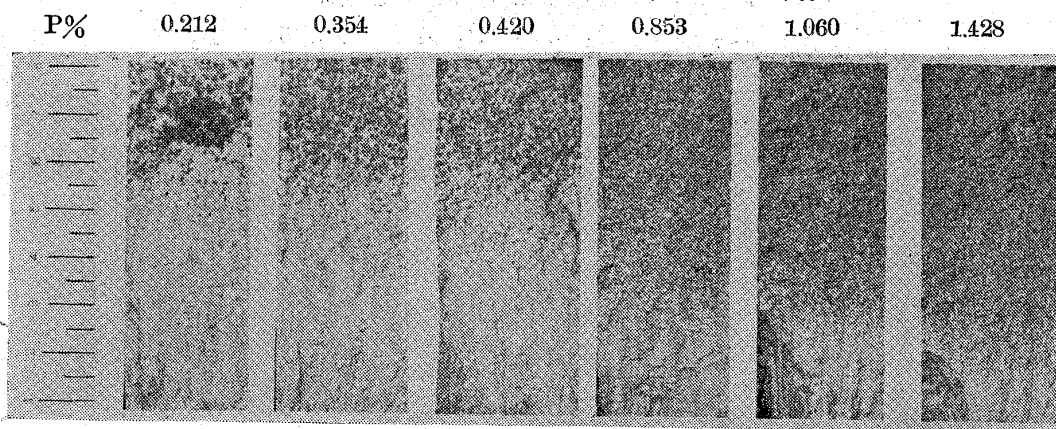
Si% 0.64 0.75 0.85 0.99 1.07 1.13



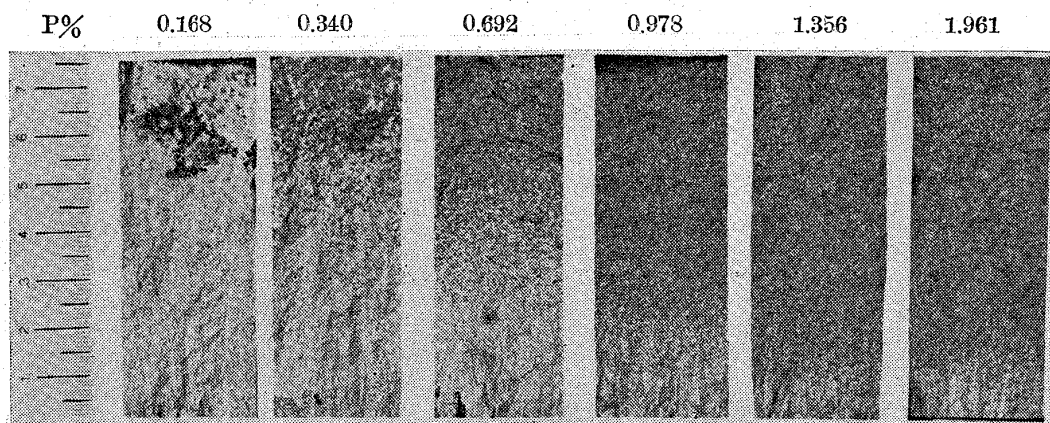
寫眞 No. 7 珪素の影響 (C 2.94 %)



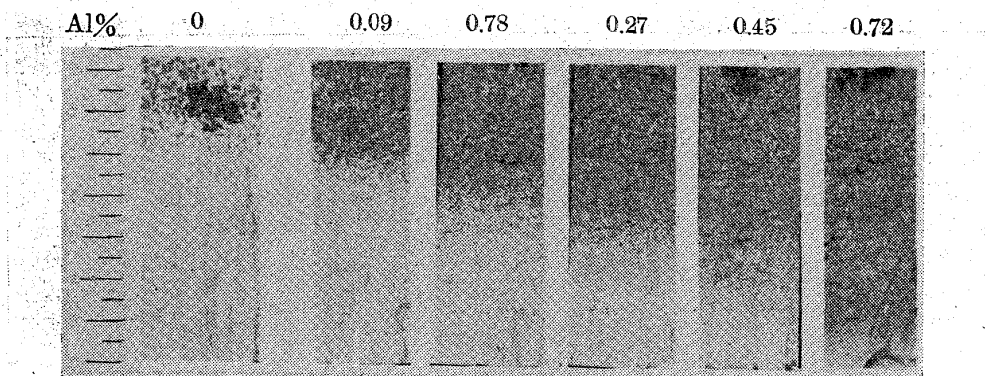
寫眞 No. 8 磷の影響 (C 3.40 % Si 0.60 %)



寫眞 No. 9 磷の影響 (C 3.02 % Si 0.87 %)

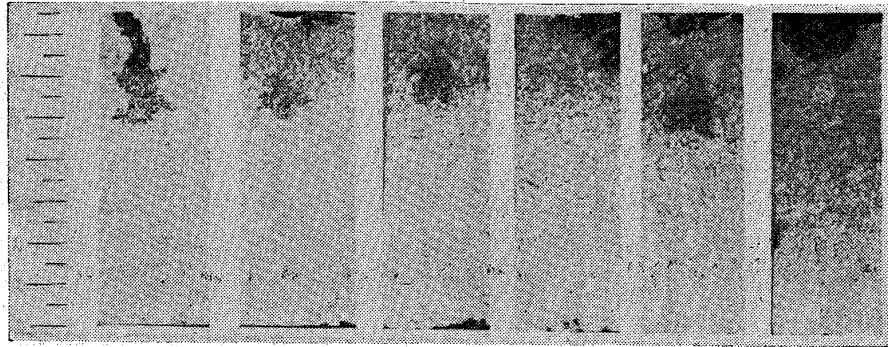


寫眞 No. 10 アルミニウムの影響 (C 3.52 % Si 0.59 %)



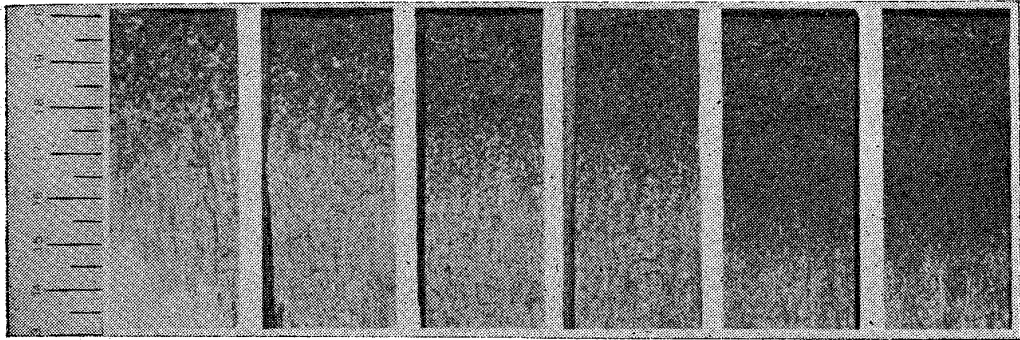
寫真 No. 11 アルミニウムの影響 (C 2.85 % Si 0.66 %)

Al 0 0.098 0.20 0.28 0.38 0.72



寫真 No. 12 ニッケルの影響 (C 3.50 % Si 0.61 %)

Ni% 0 0.48 0.98 1.30 1.80 1.91



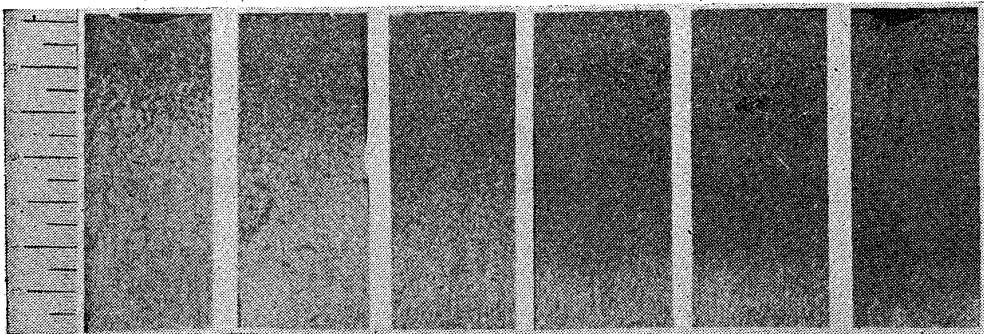
寫真 No. 13 ニッケルの影響 (C 2.84 % Si 0.94 %)

Ni% 0 0.45 0.95 1.34 1.75 2.23



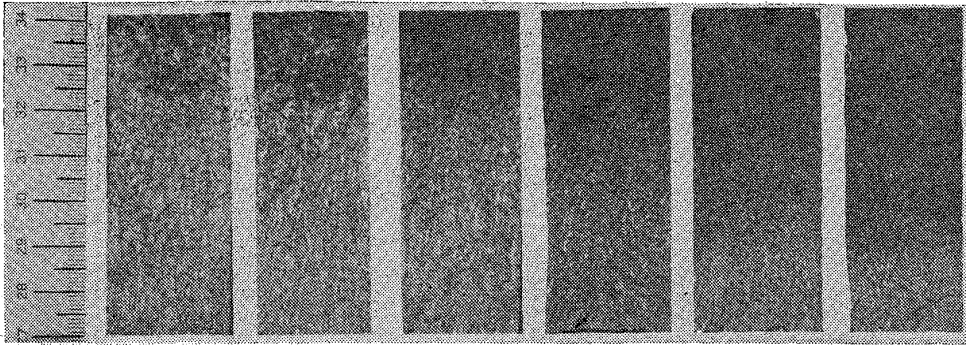
寫真 No. 14 銅の影響 (C 3.46 % Si 0.49 %)

Cu% 0 0.34 0.80 1.34 1.74 2.29



寫真 No. 15 銅の影響 (C 2.89 % Si 0.96 %)

Cu% 0 0.60 1.02 1.52 2.04 2.52



寫真 No. 16 滿俺の影響 (C 3.52 % Si 1.02 %)

Mn% 0.33 0.56 0.87 1.07 1.38 1.83



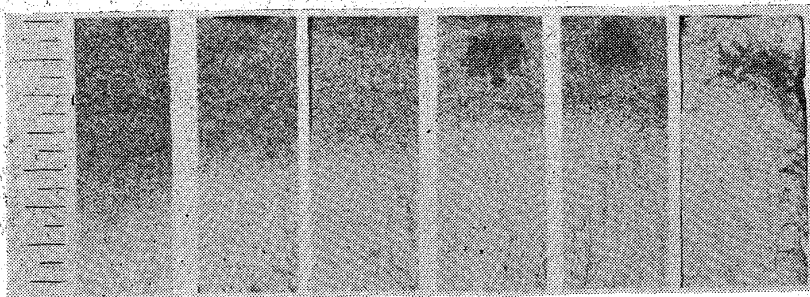
寫真 No. 17 滿俺の影響 (C 2.85 % Si 1.44 %)

Mn% 0.46 0.72 1.03 1.20 1.45 1.85



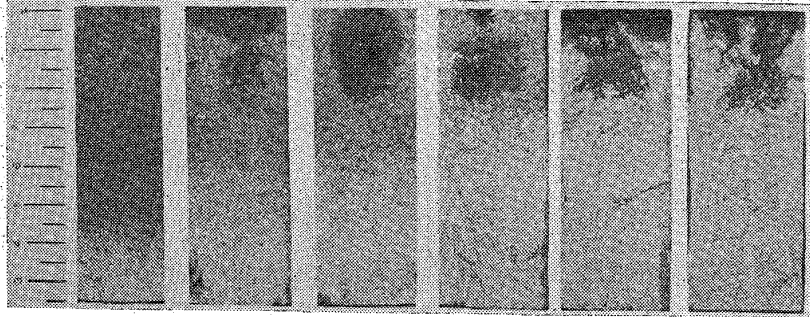
寫真 No. 18 硫黄の影響 (C 3.60 % Si 0.95 %)

S% 0.056 0.111 0.196 0.277 0.333 0.451



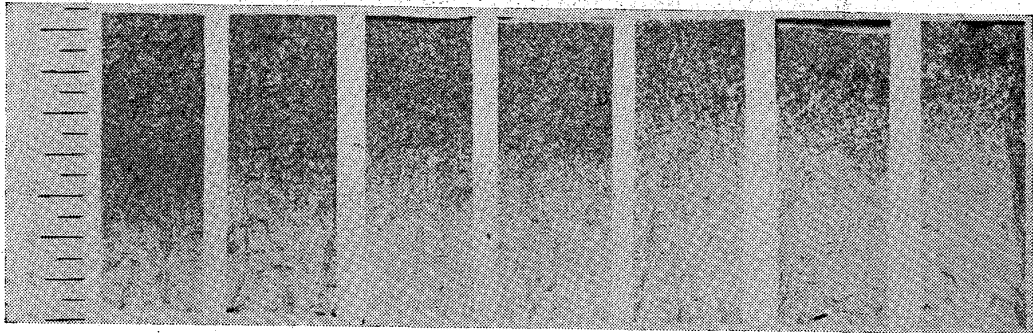
寫眞 No. 19 硫黄の影響 (C 2.89 % Si 1.34 %)

S% 0.051 0.100 0.163 0.255 0.377 0.547



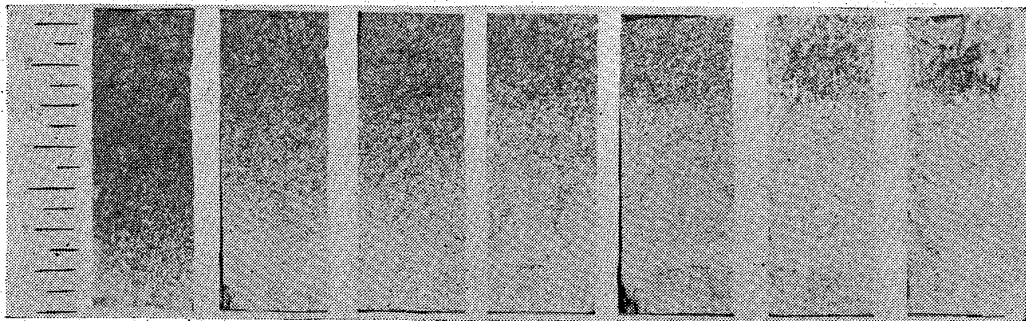
寫眞 No. 20 クロムの影響 (C 3.46 % Si 1.10 %)

Cr% 0.11 0.22 0.27 0.27 0.43 0.43 0.46

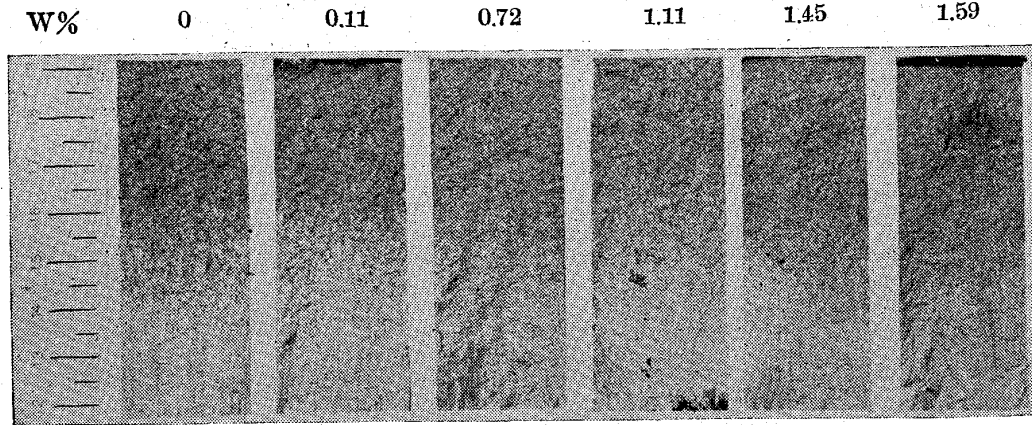


寫眞 No. 21 クロムの影響 (C 2.92 % Si 1.42 %)

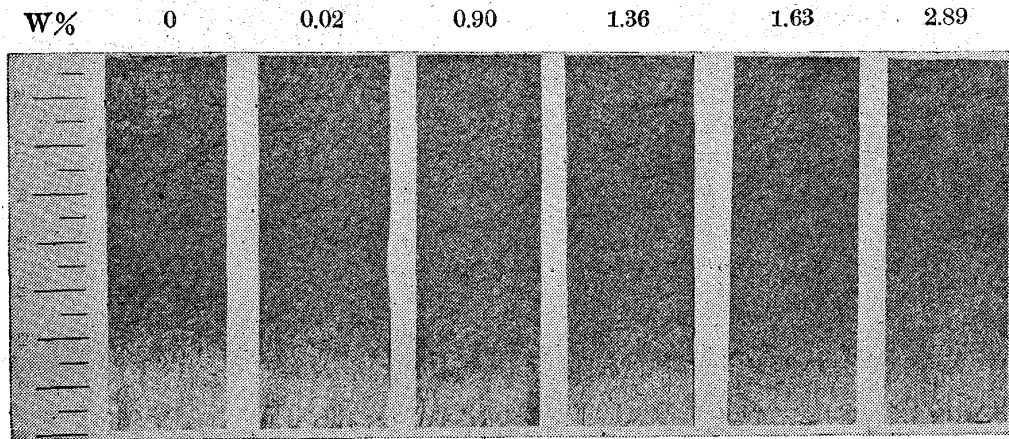
Cr% 0 0.12 0.22 0.32 0.41 0.50 0.53



寫真 No. 22 タングステンの影響 (C 3.42 % Si 0.94 %)



寫真 No. 23 タングステンの影響 (C 2.86 % Si 1.42 %)

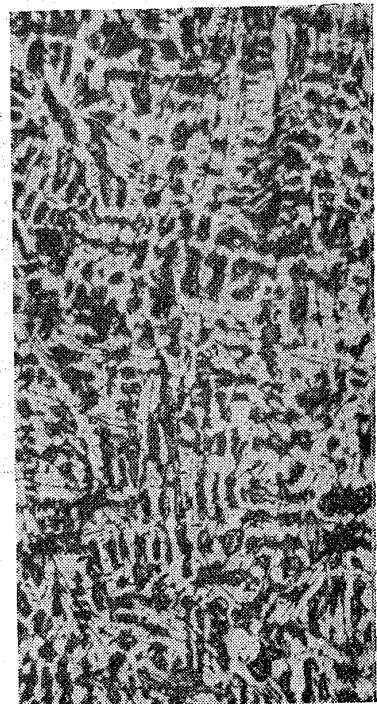
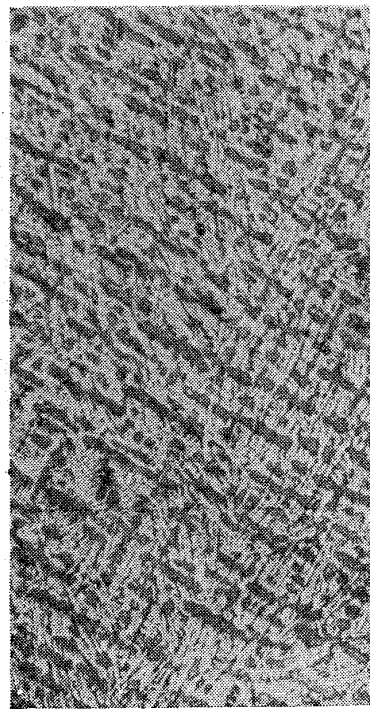
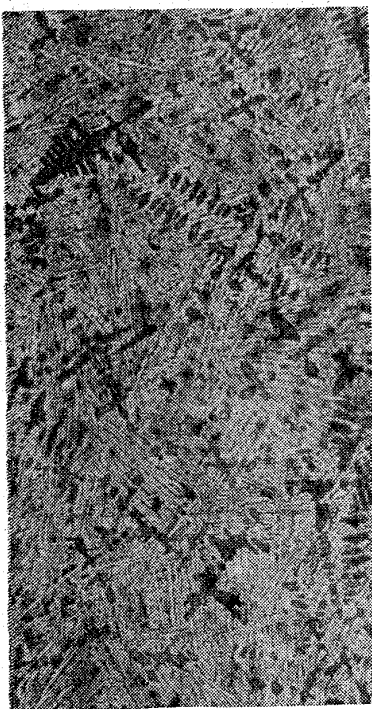


寫真 No. 24 (×200)

C 3.94

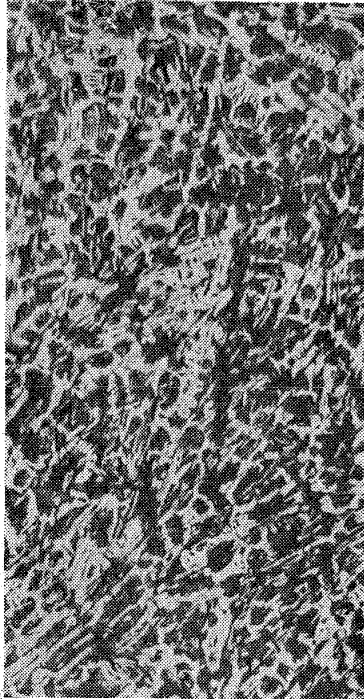
C 3.63

C 3.32

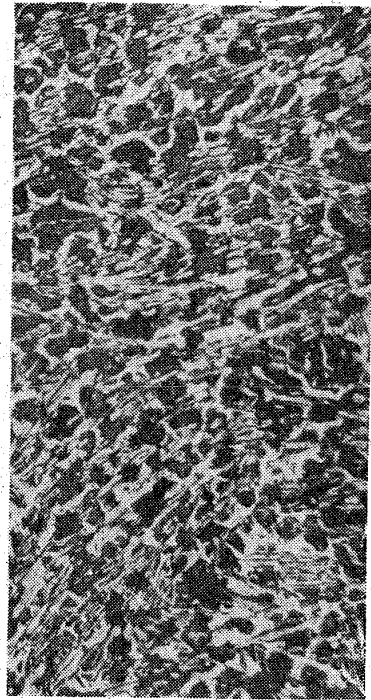


寫眞 No. 24 (×200)

C, 3.06%



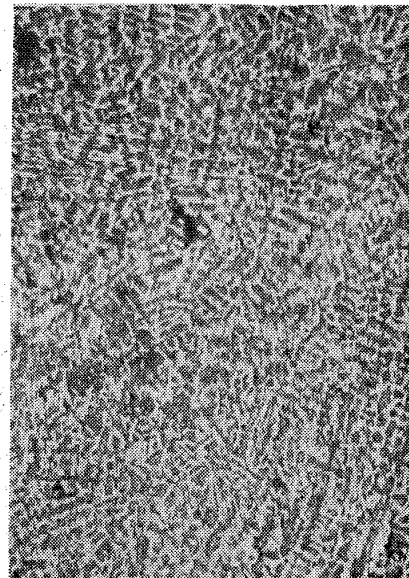
C, 2.74%



寫眞 No. 25
冷硬試験片 (×100)

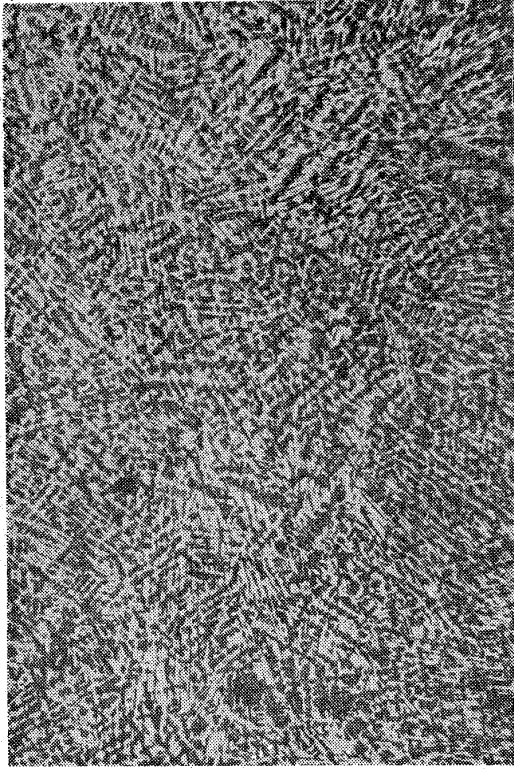


寫眞 No. 26
金型試験片 (×100)

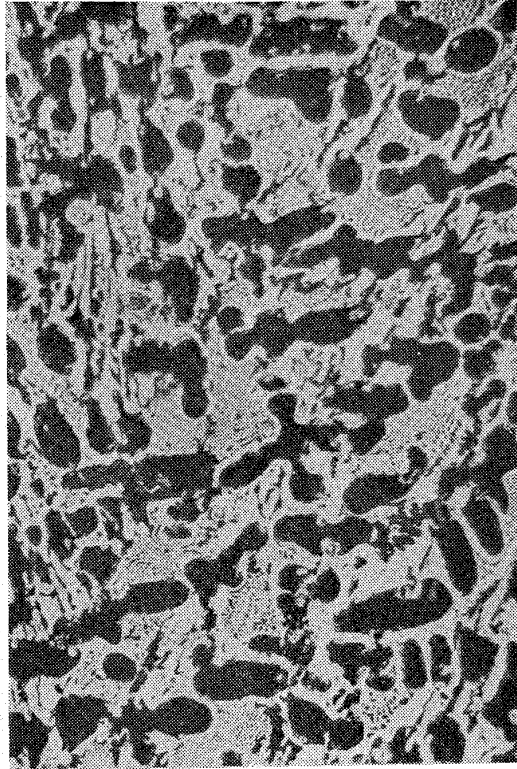


寫真 No. 27 (×100)

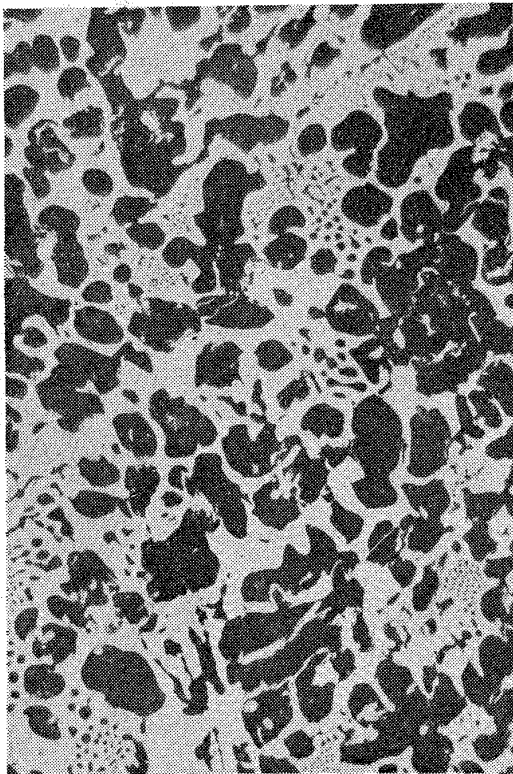
金 型



生 砂 型



乾 燥 砂 型



倍 温 煉 瓦 型

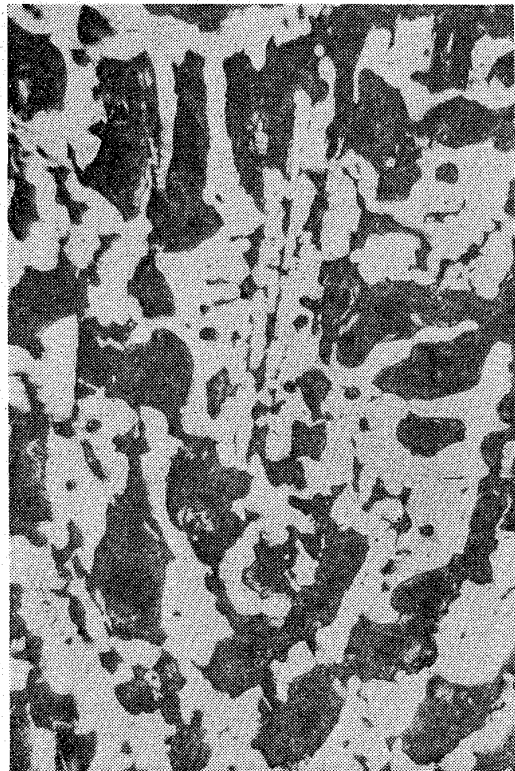
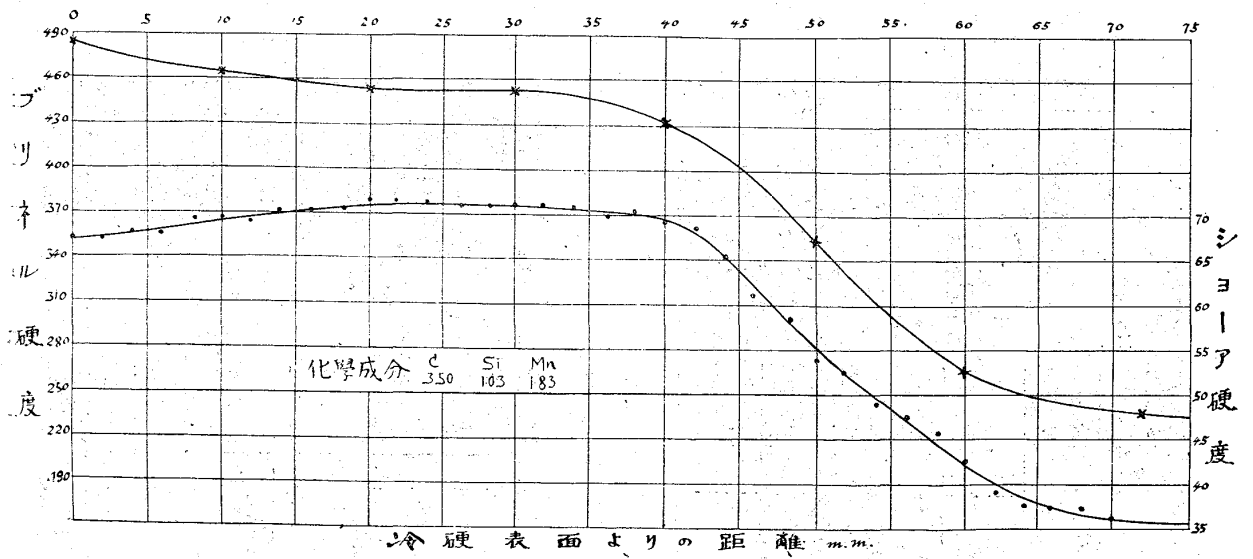
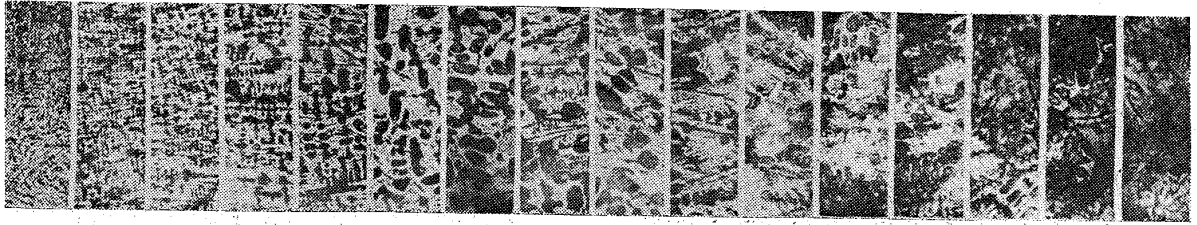
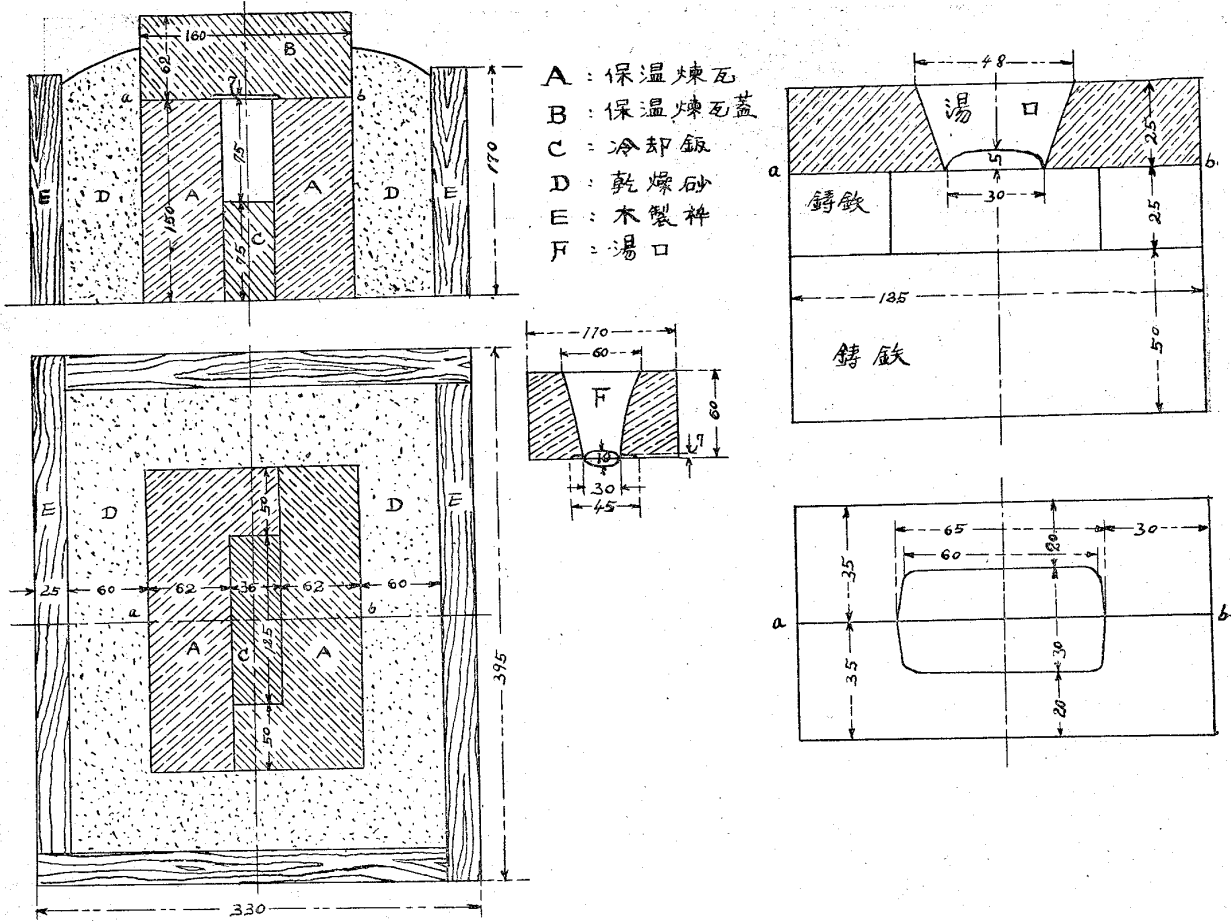


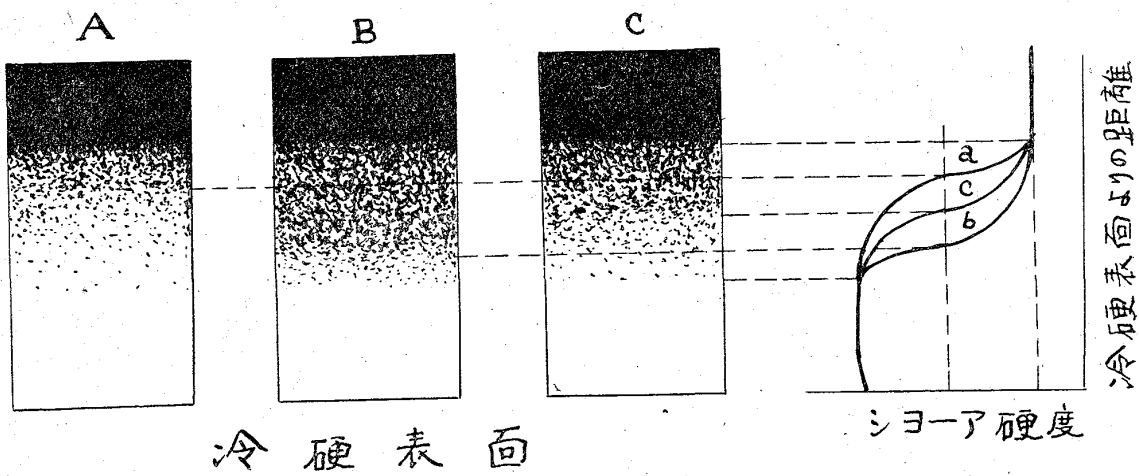
写真 No. 28 倍率 30 (現圖の約 5/9)



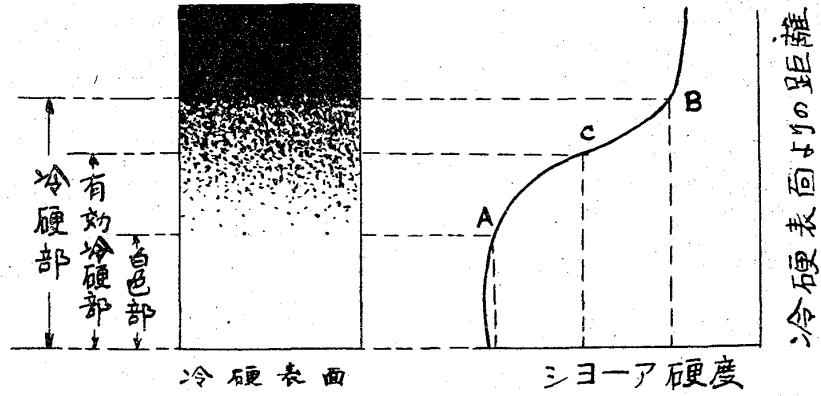
第 1 圖



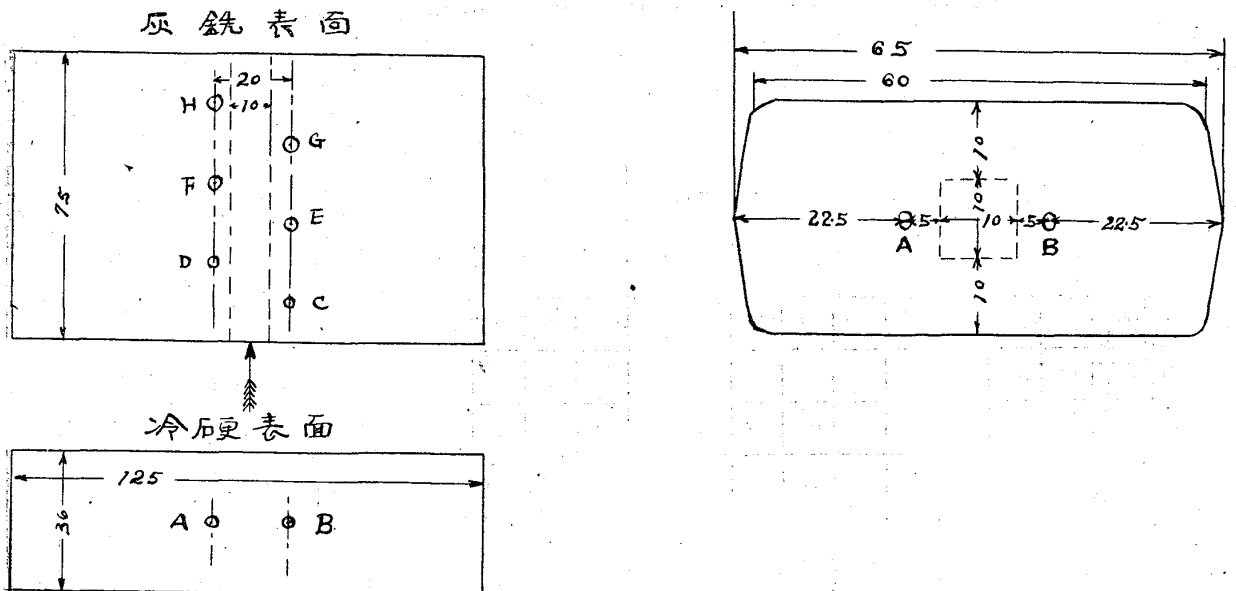
第 2 圖



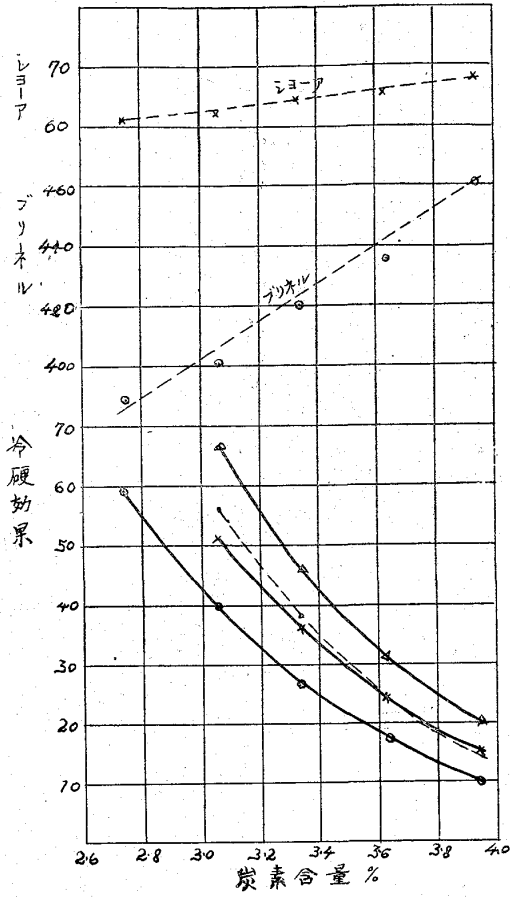
第3圖



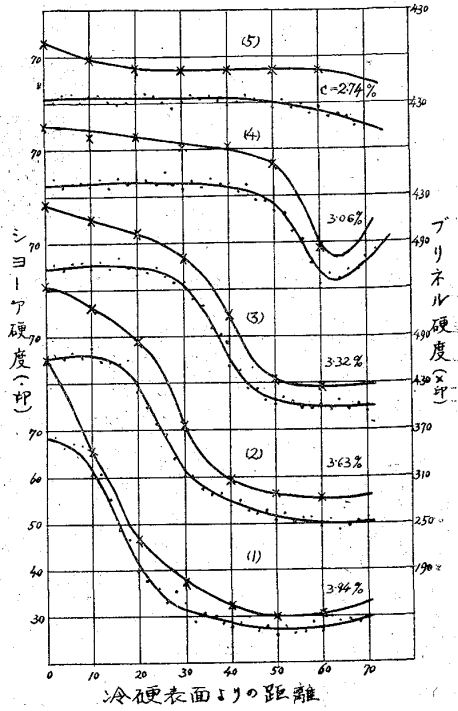
第4圖



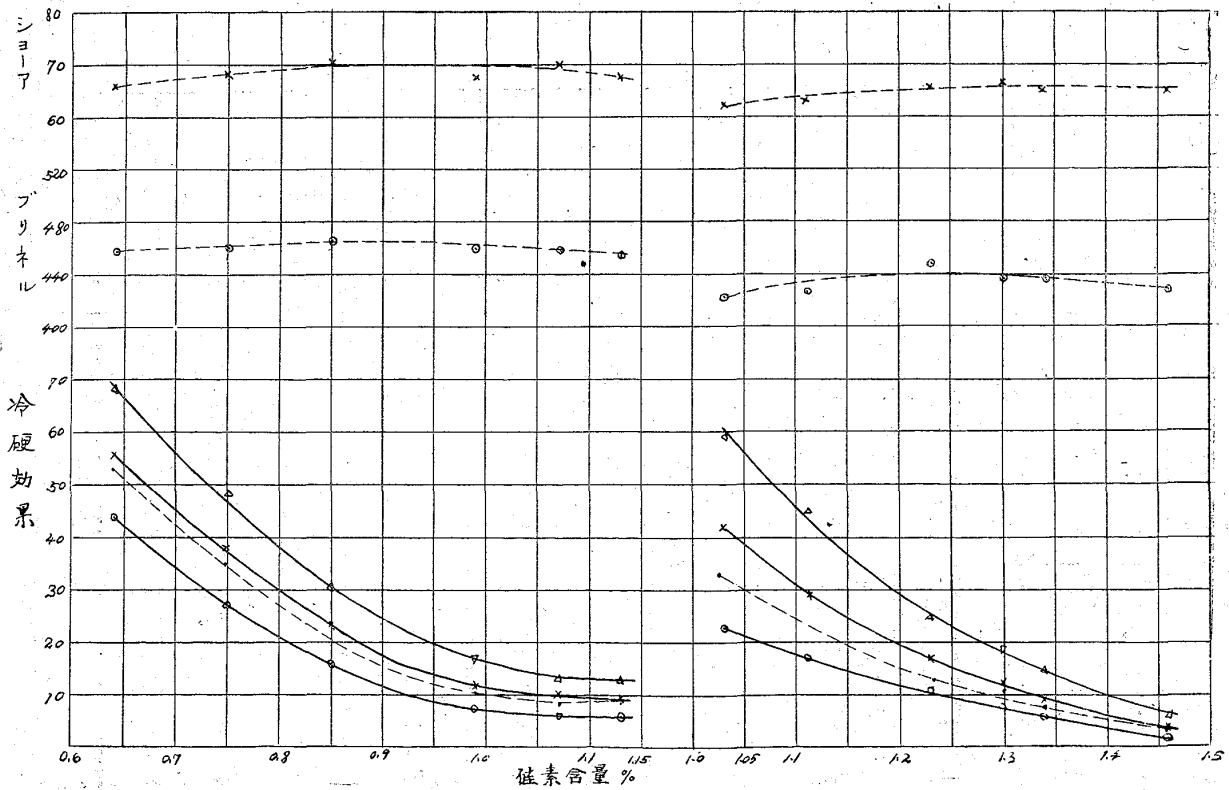
第5圖 炭素の影響



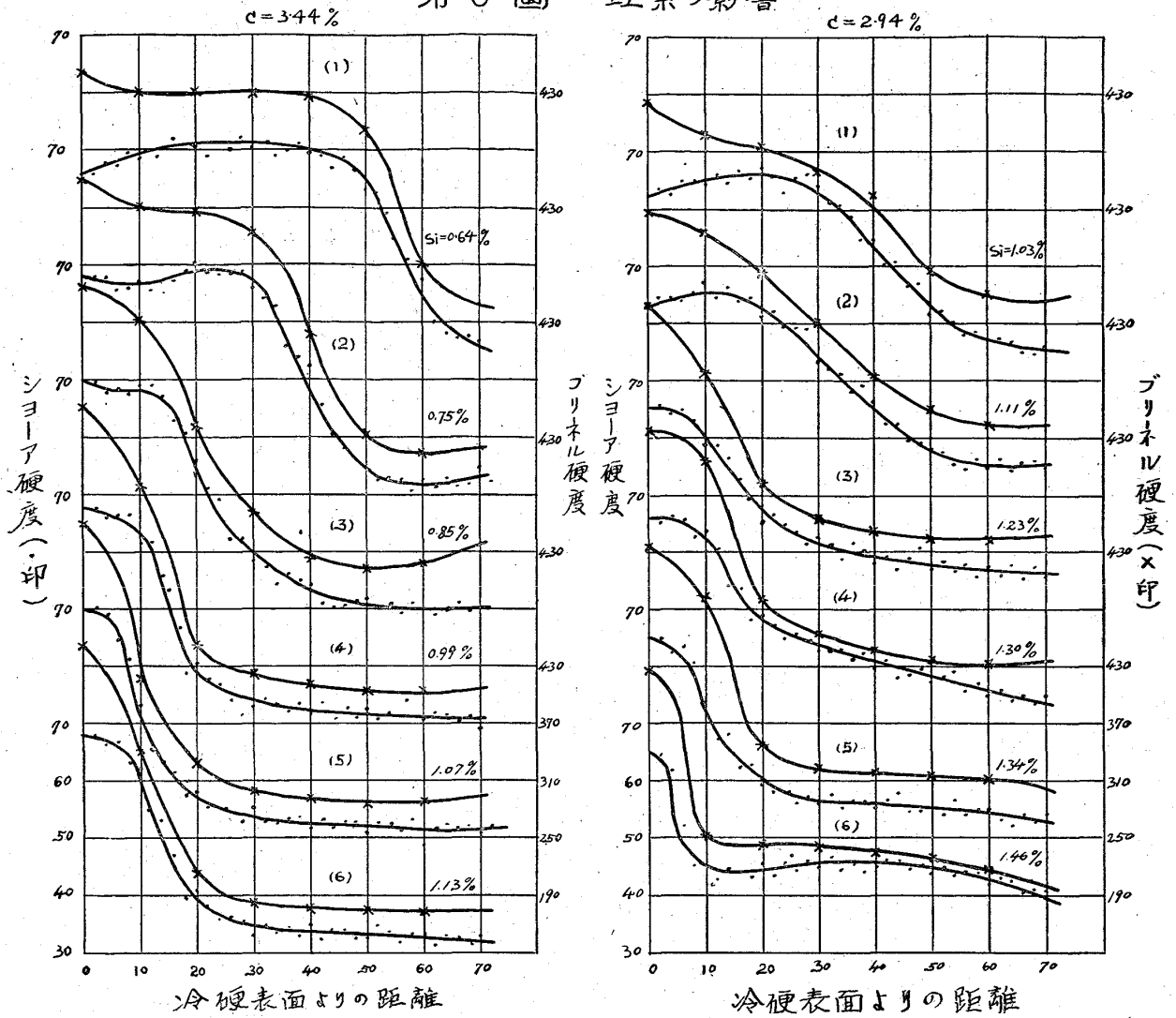
第6圖 炭素の影響



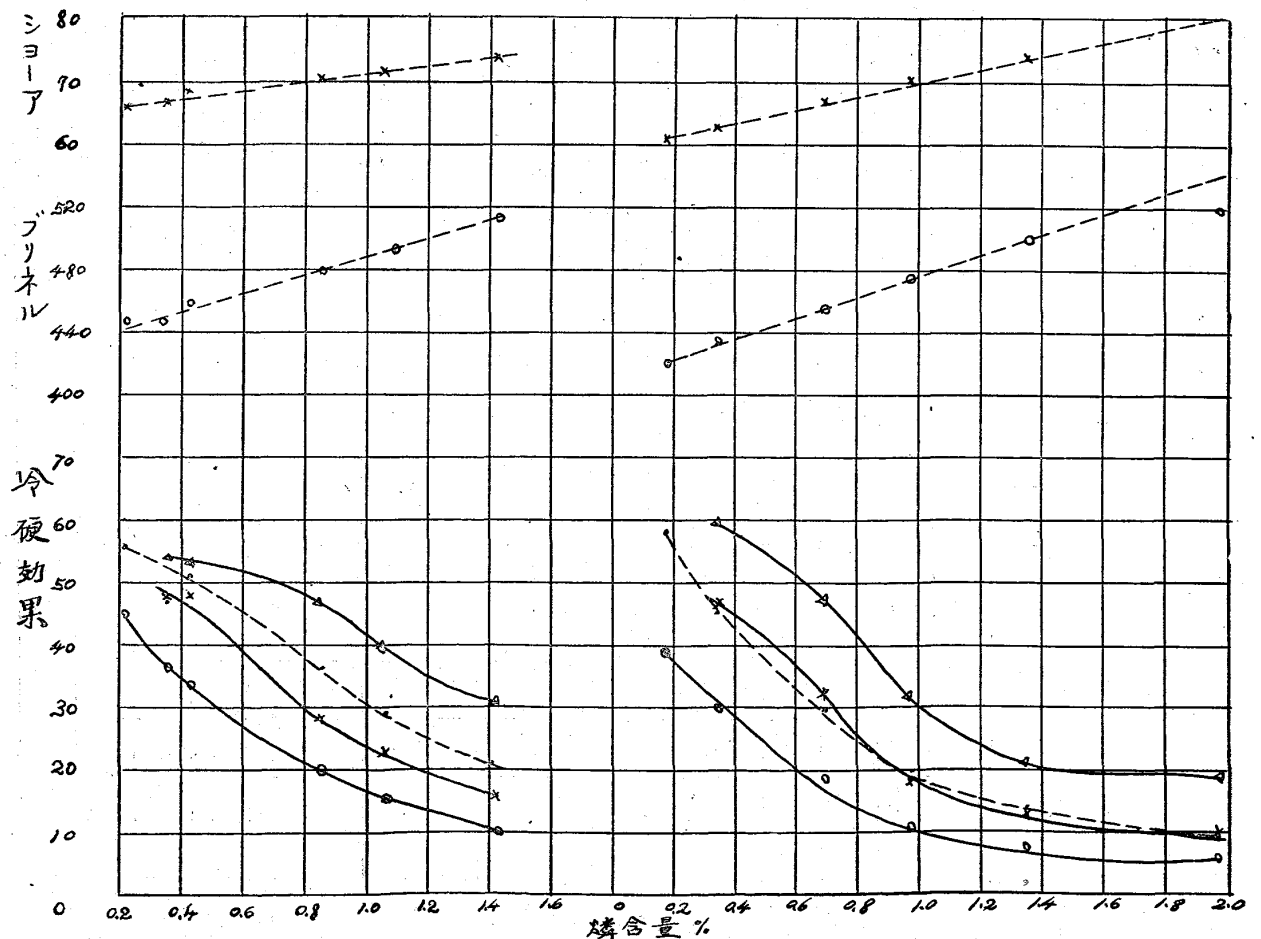
第7圖 硅素の影響



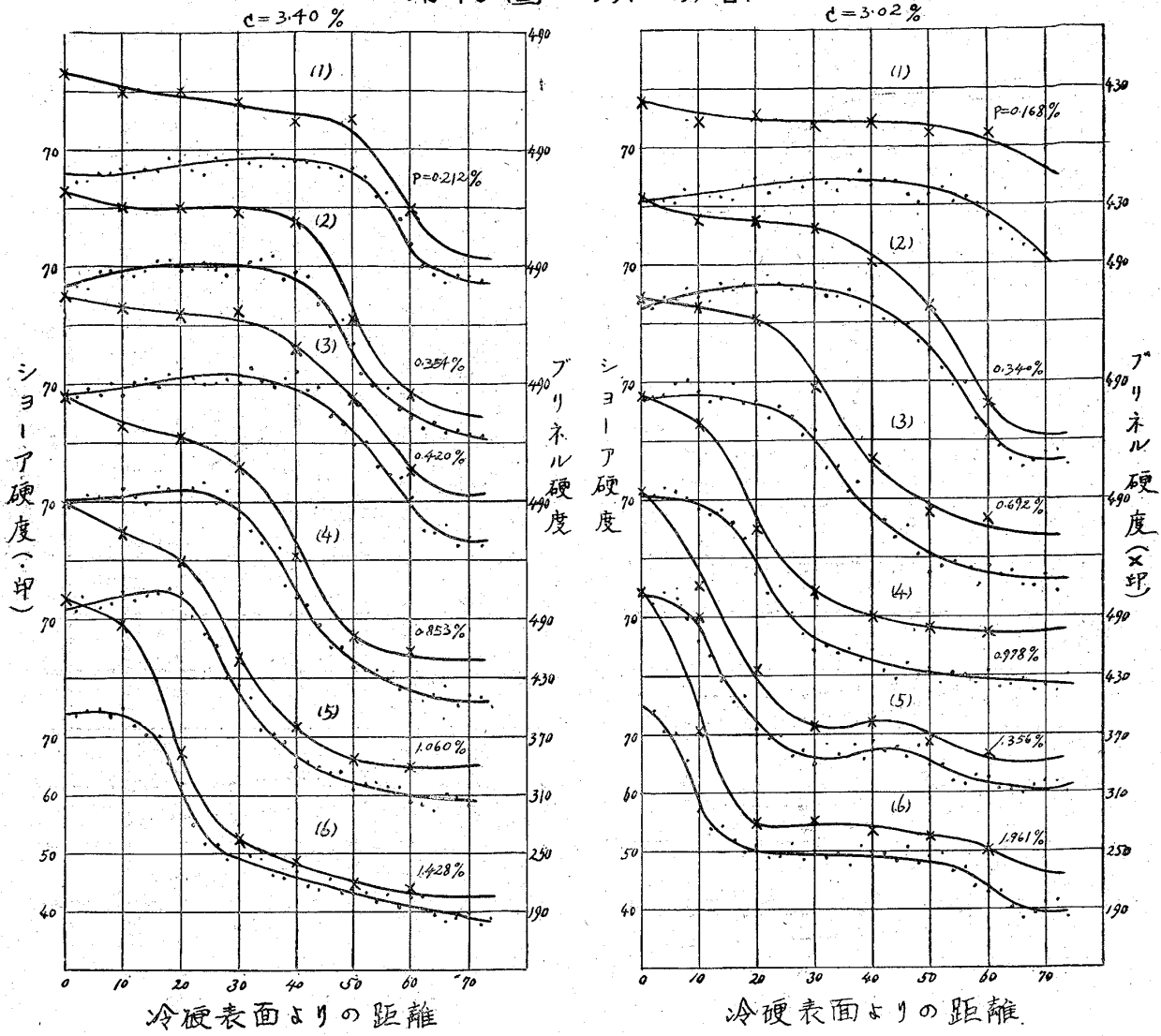
第8圖 珪素の影響



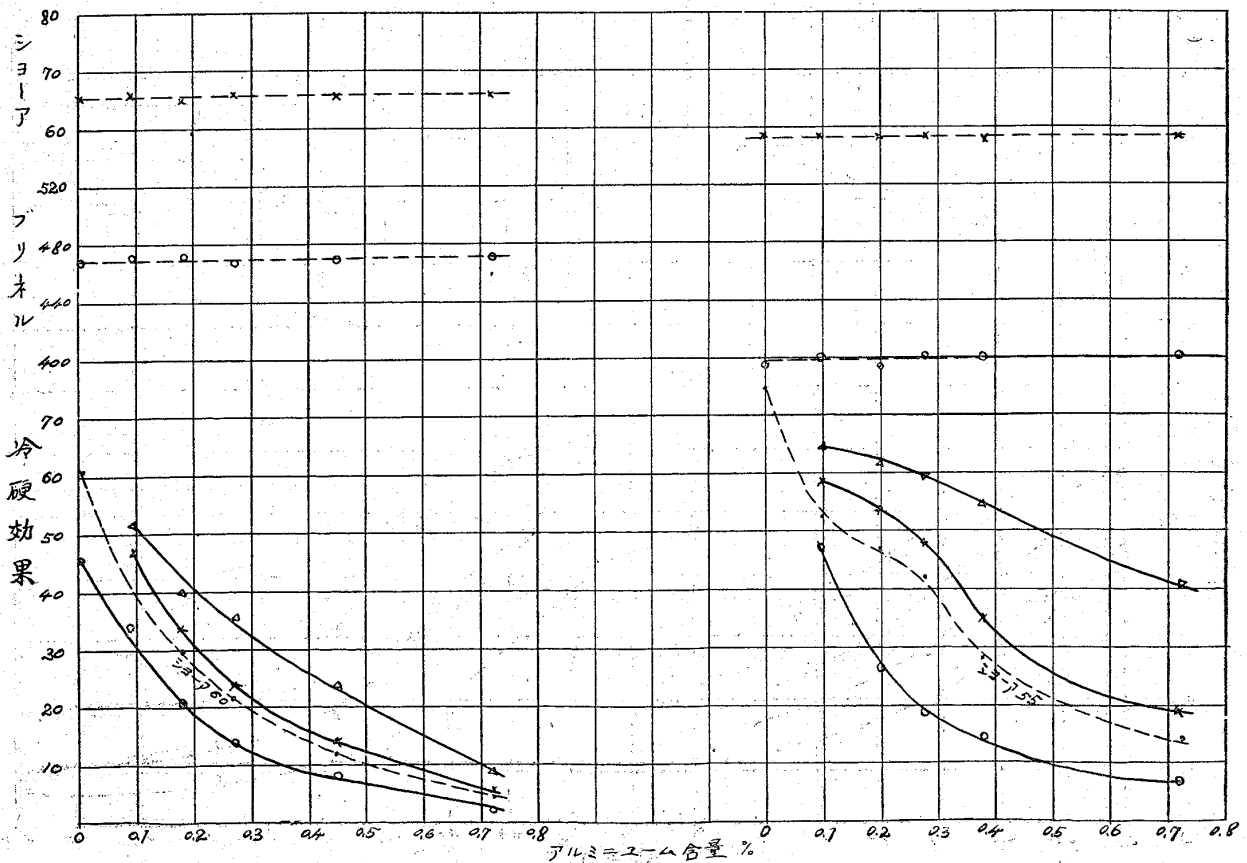
第9圖 燐の影響



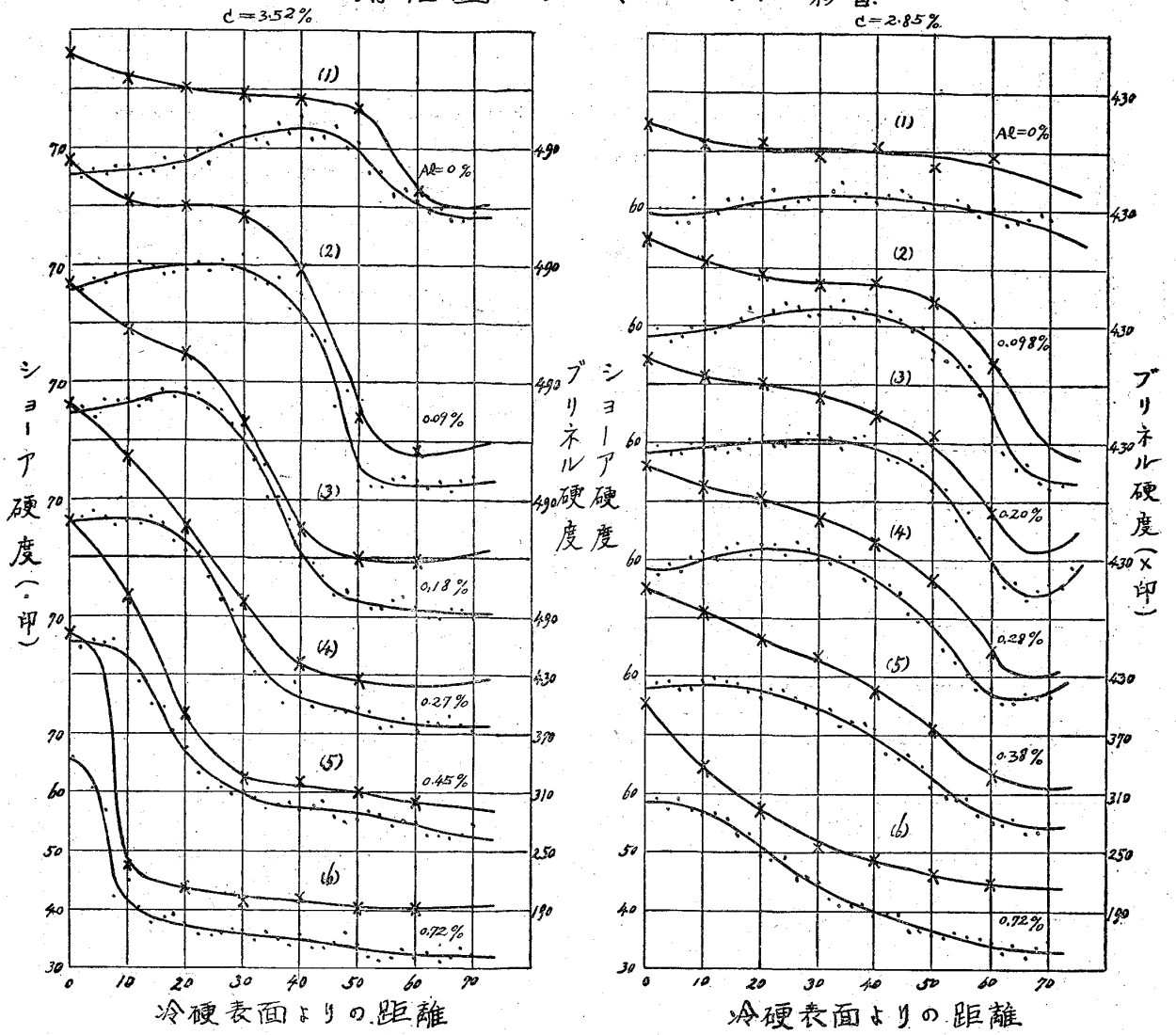
第10圖 燐の影響



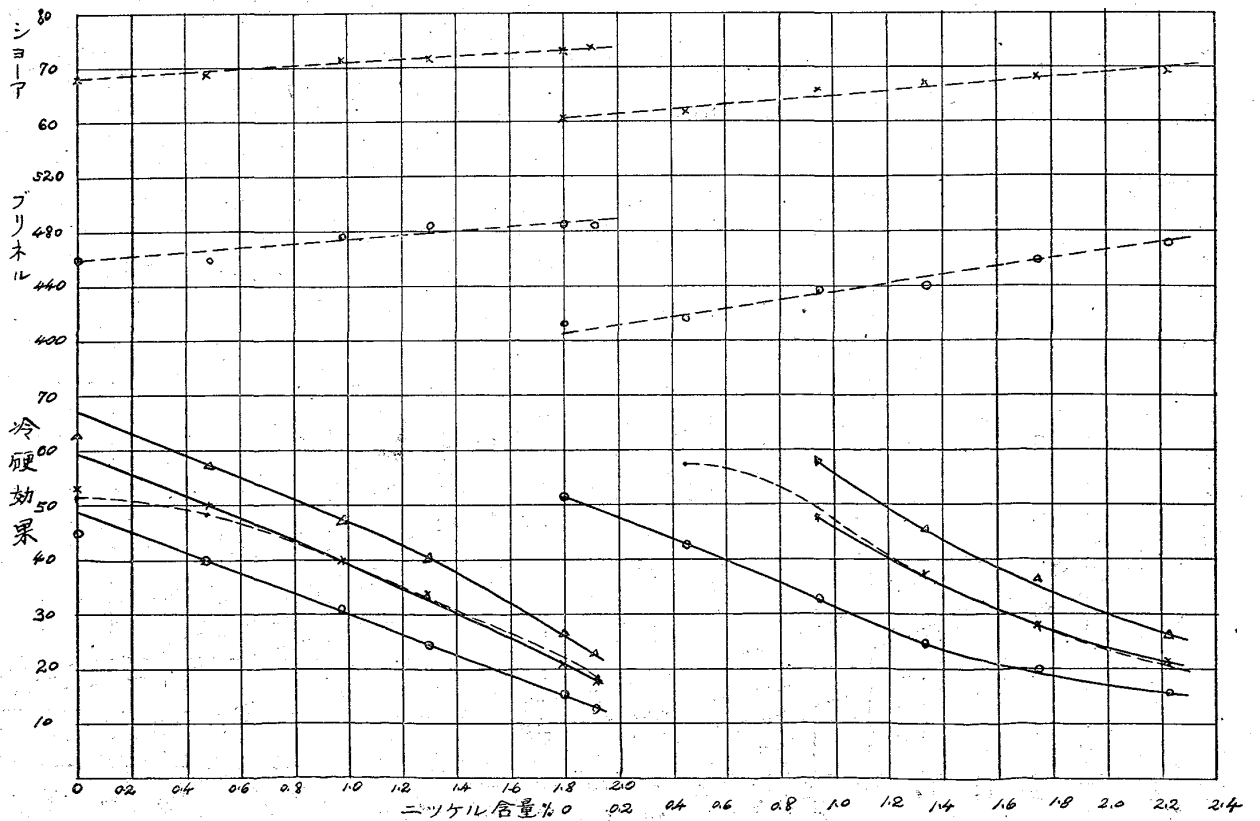
第11圖 アルミニウムの影響



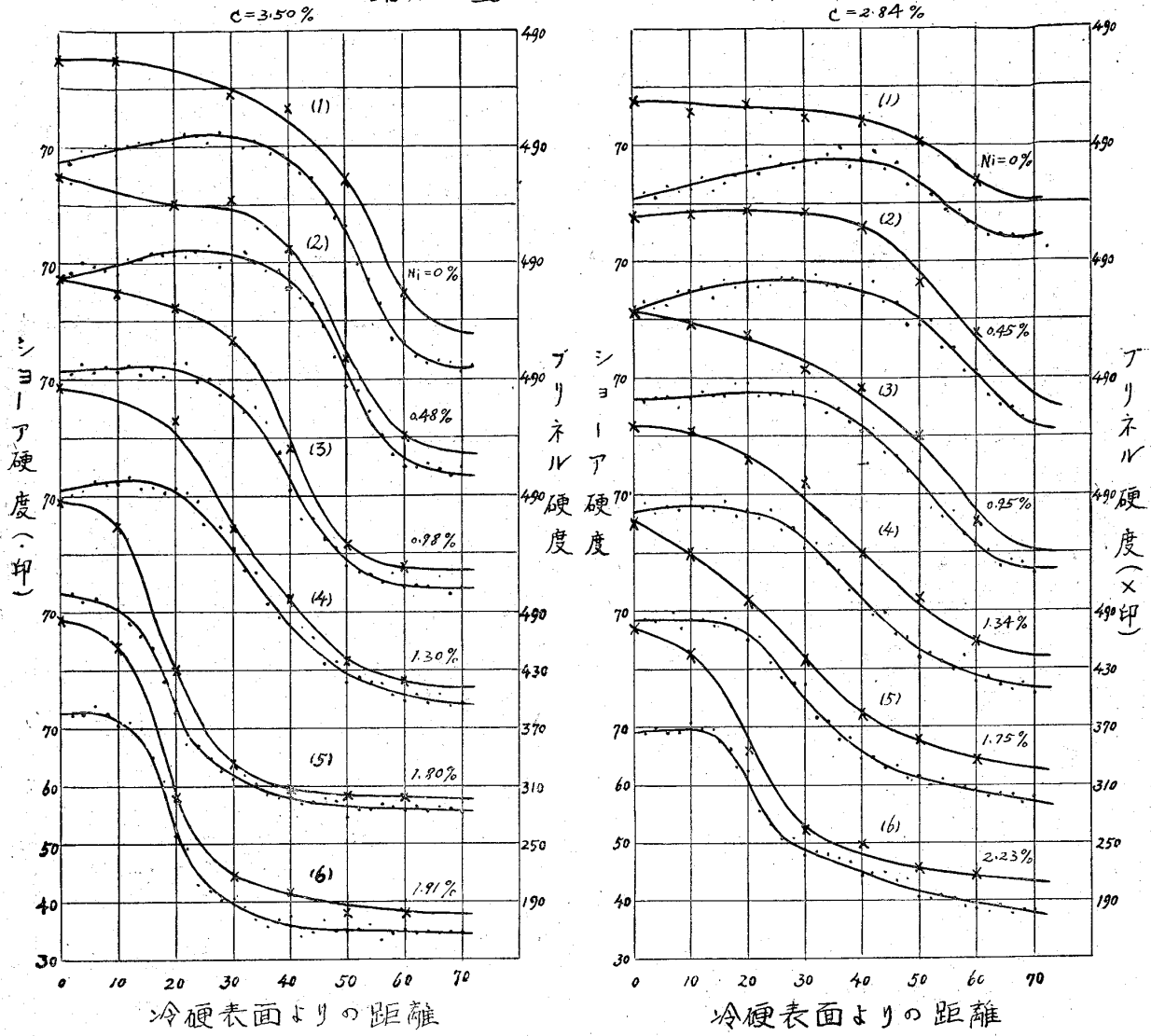
第12圖 アルミニウムの影響



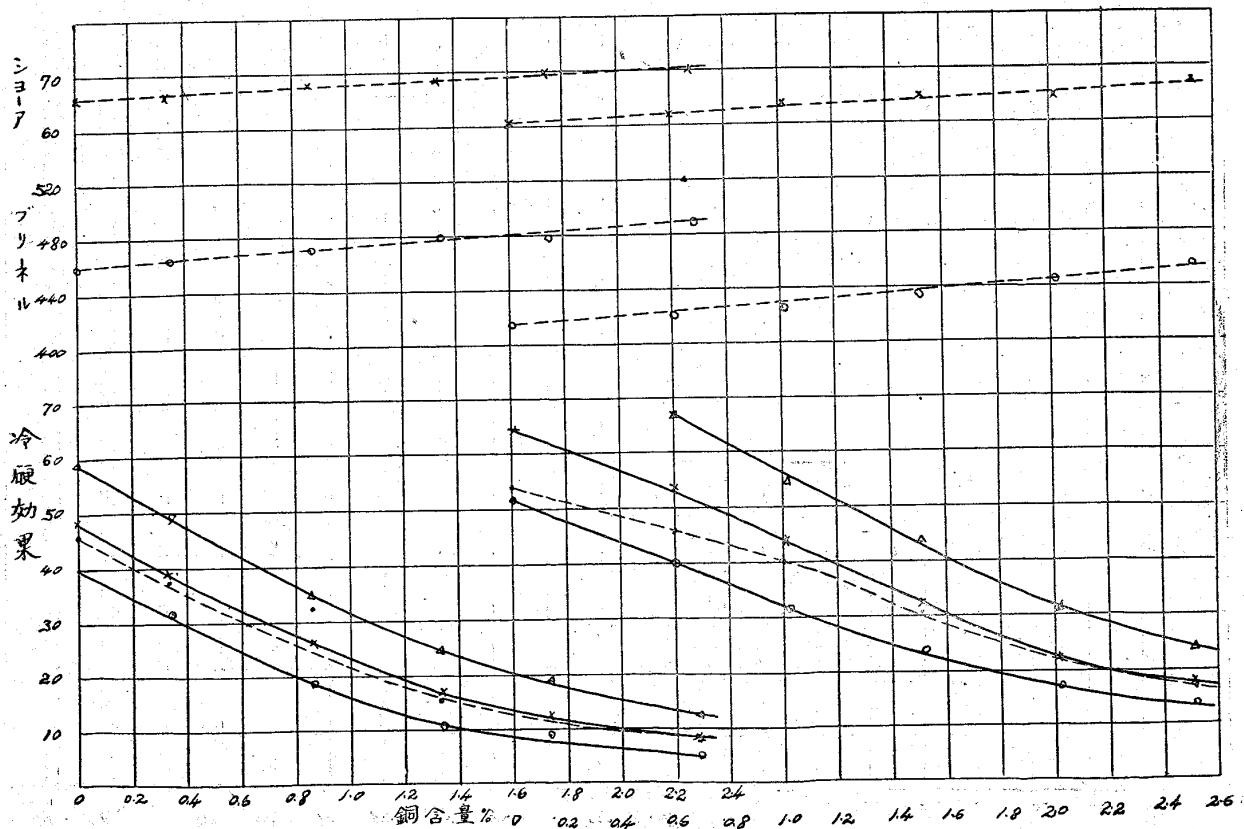
第13圖 ニッケルの影響



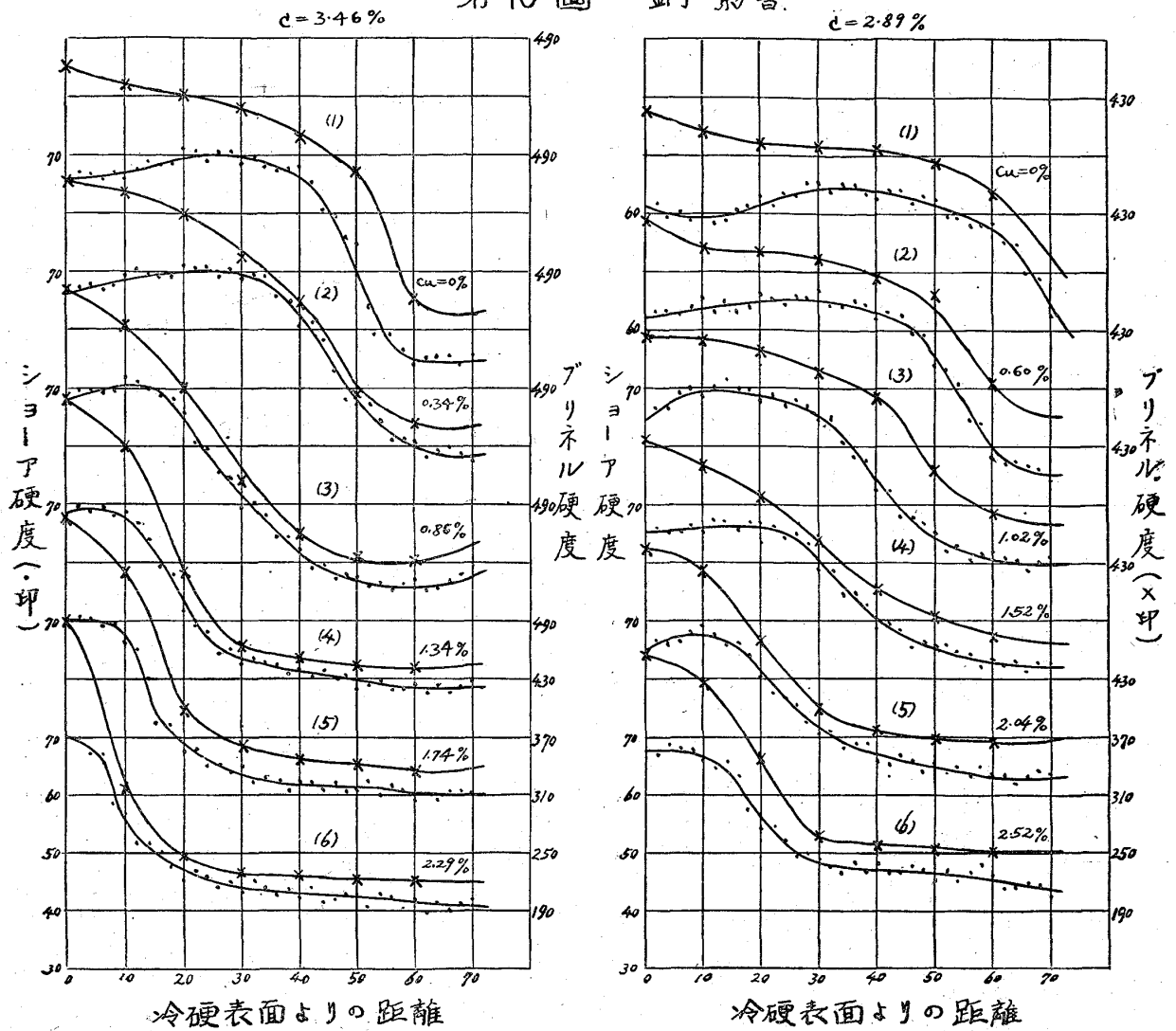
第14圖 ニッケルの影響



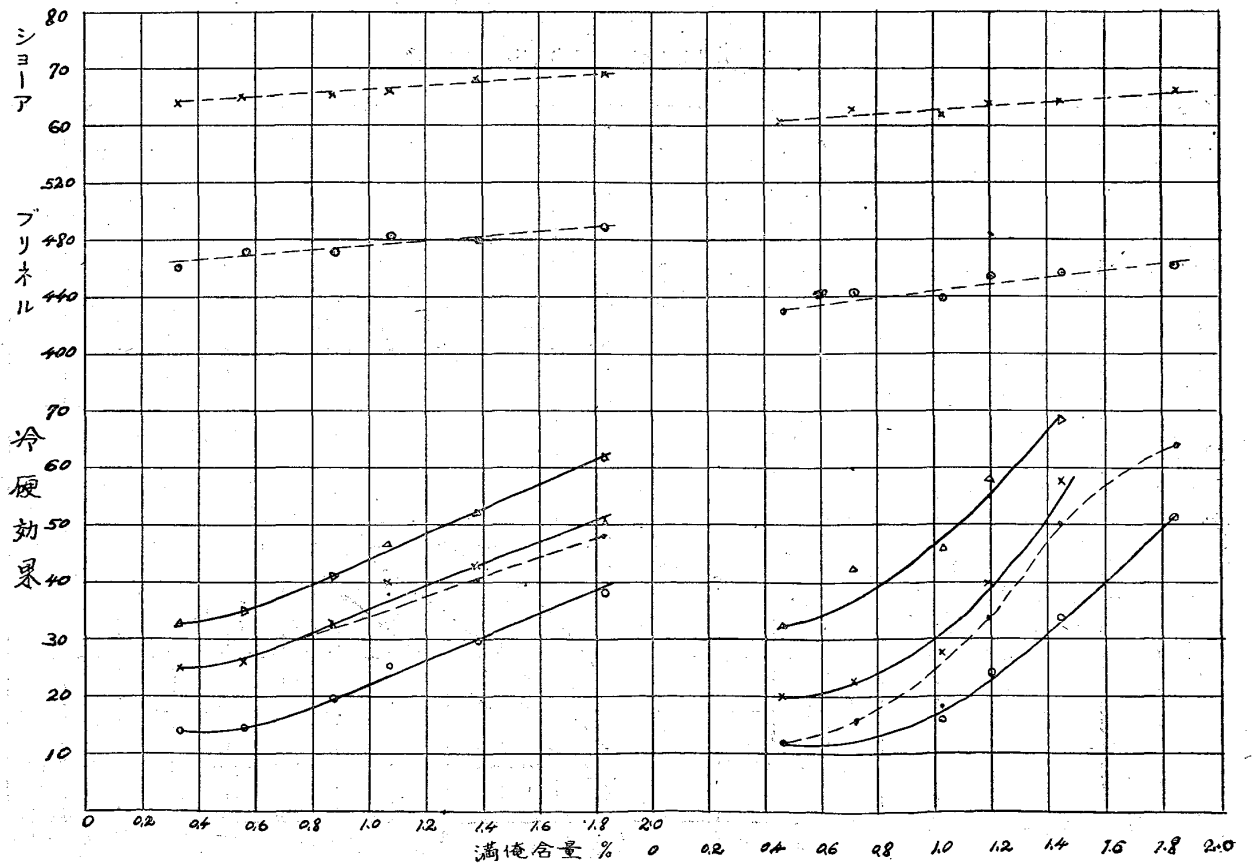
第15圖 銅の影響



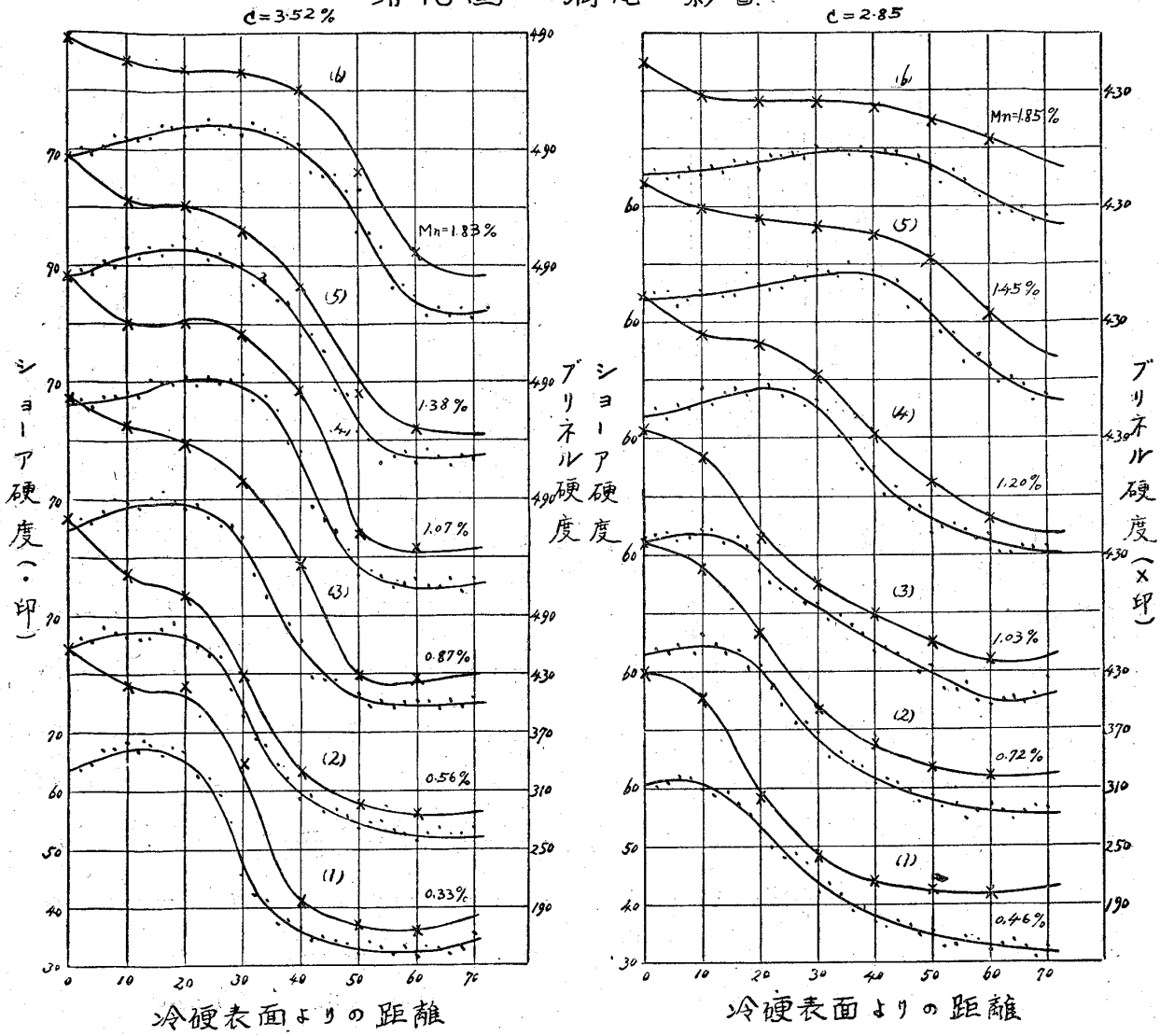
第16圖 銅の影響



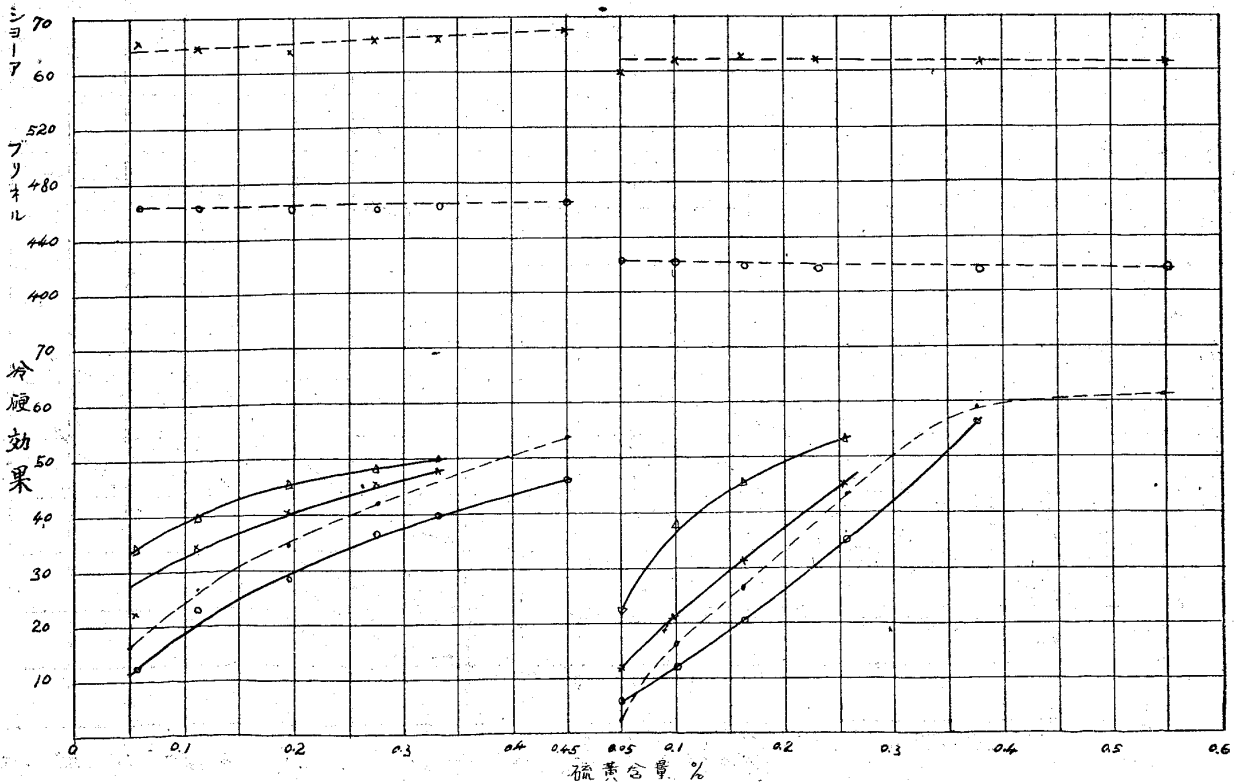
第17圖 満俺の影響



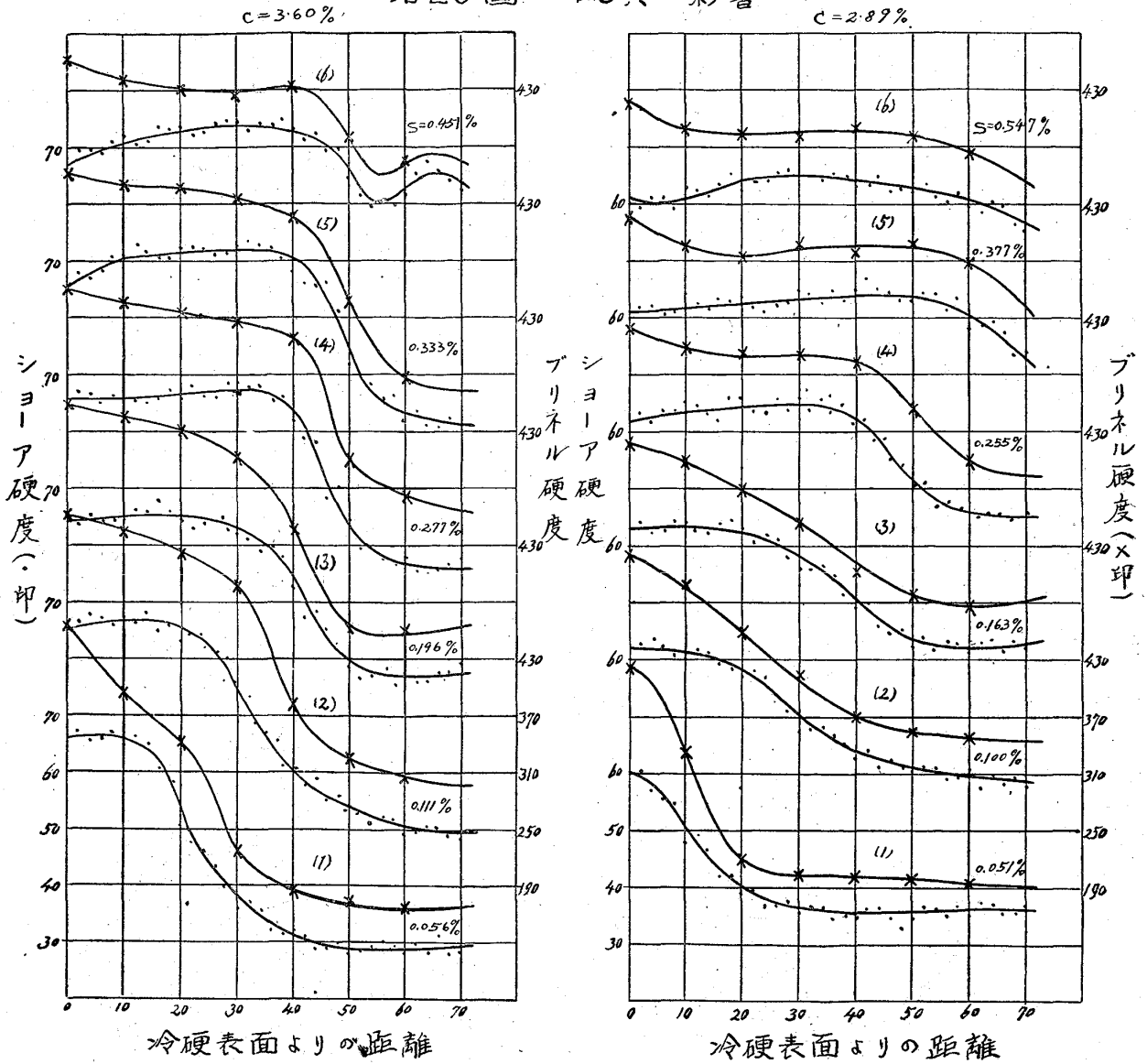
第18圖 満俺の影響



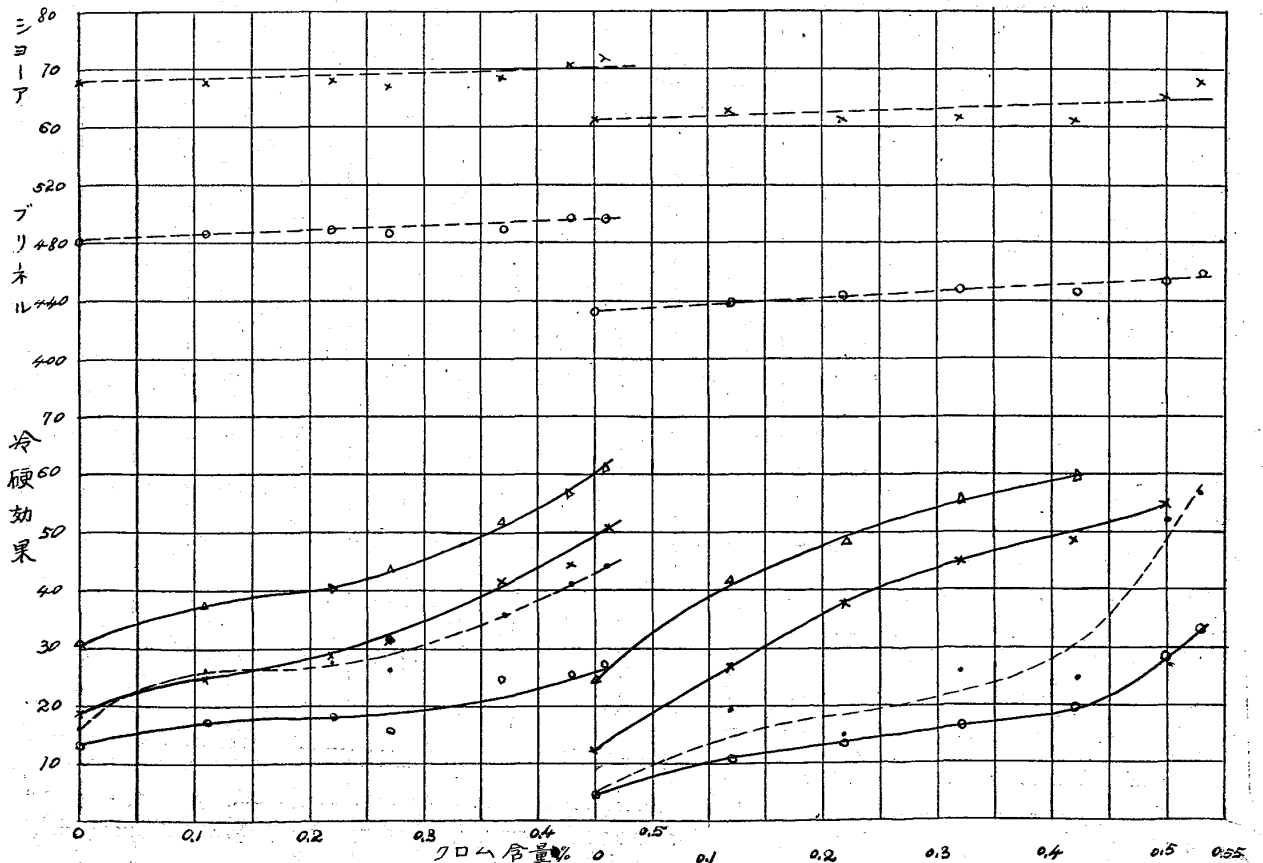
第19圖 硫黄の影響



第20圖 硫黄の影響



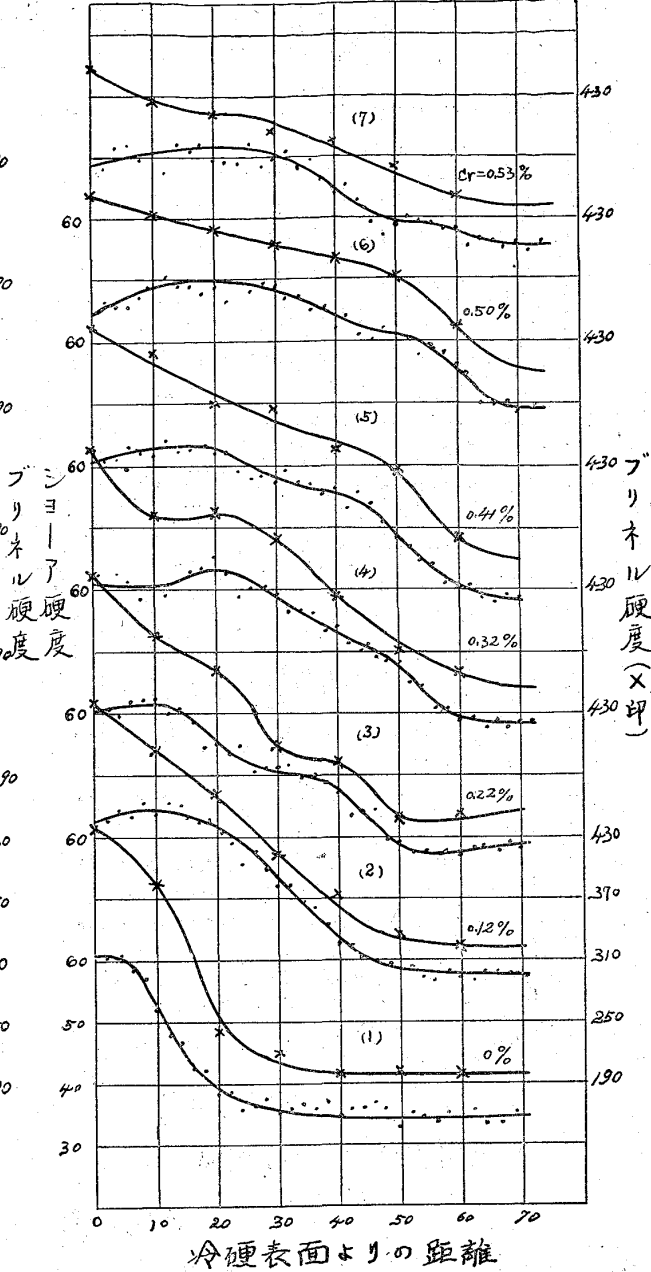
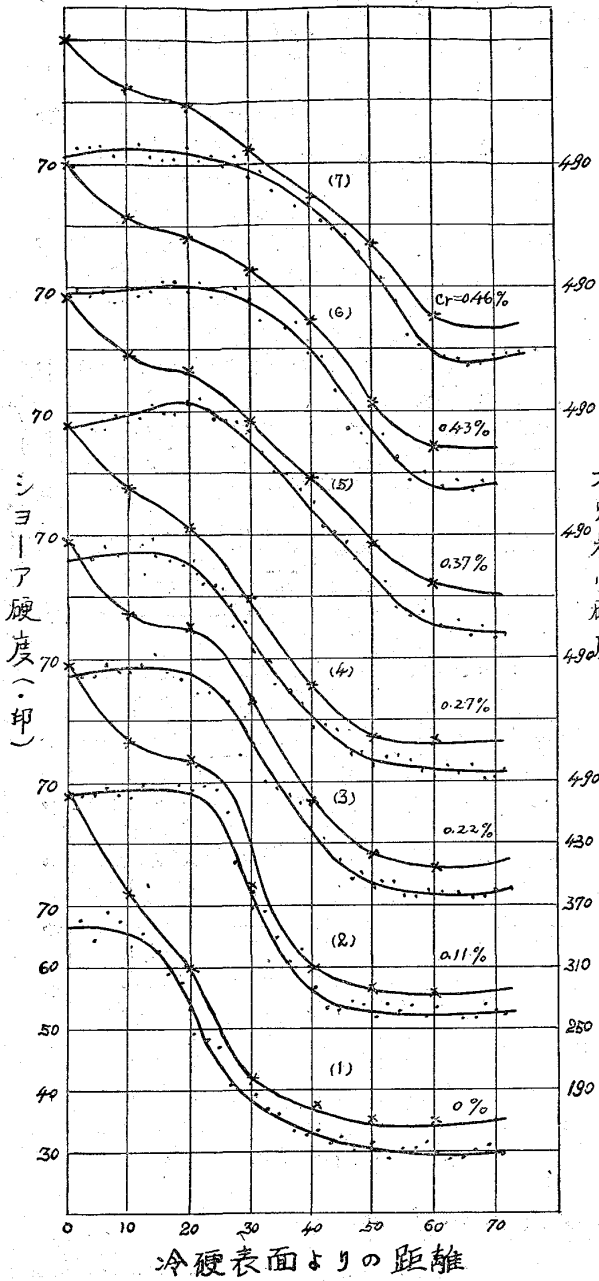
第21圖 クロムの影響



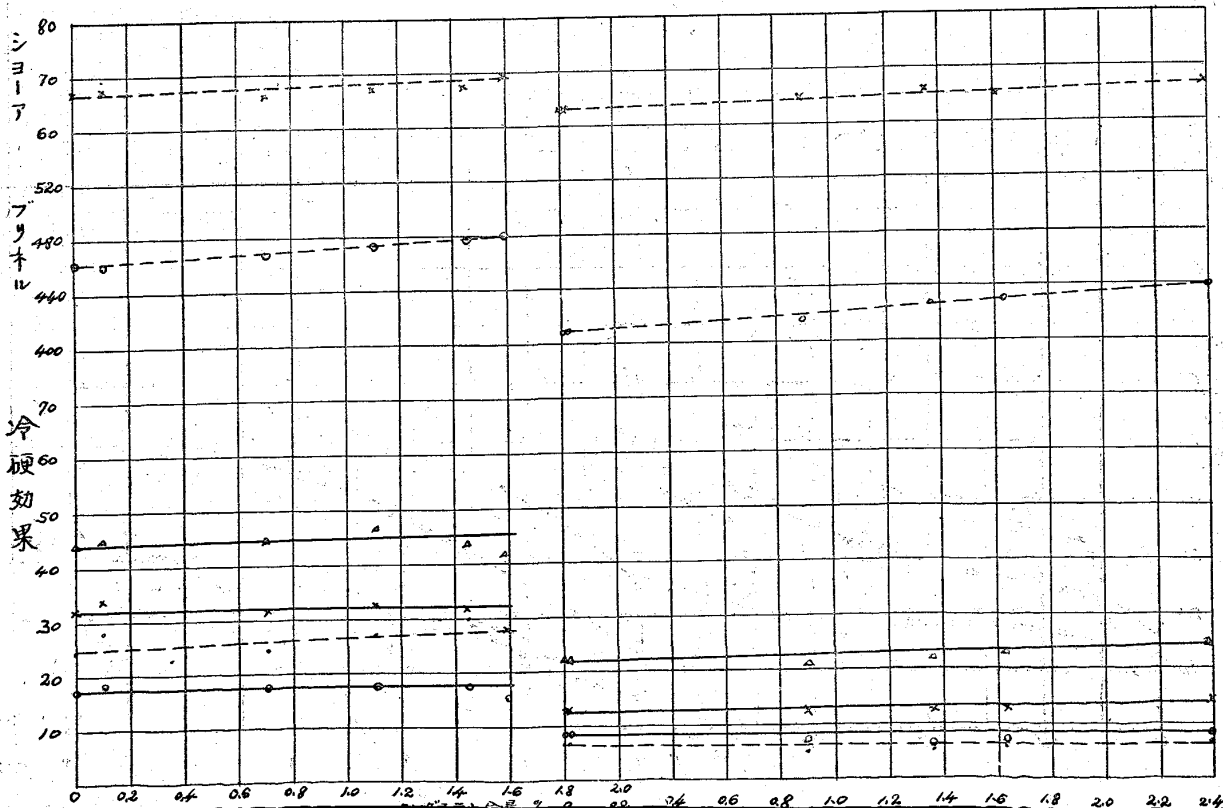
第22圖 クロムの影響

c=3.46%

c=2.92%



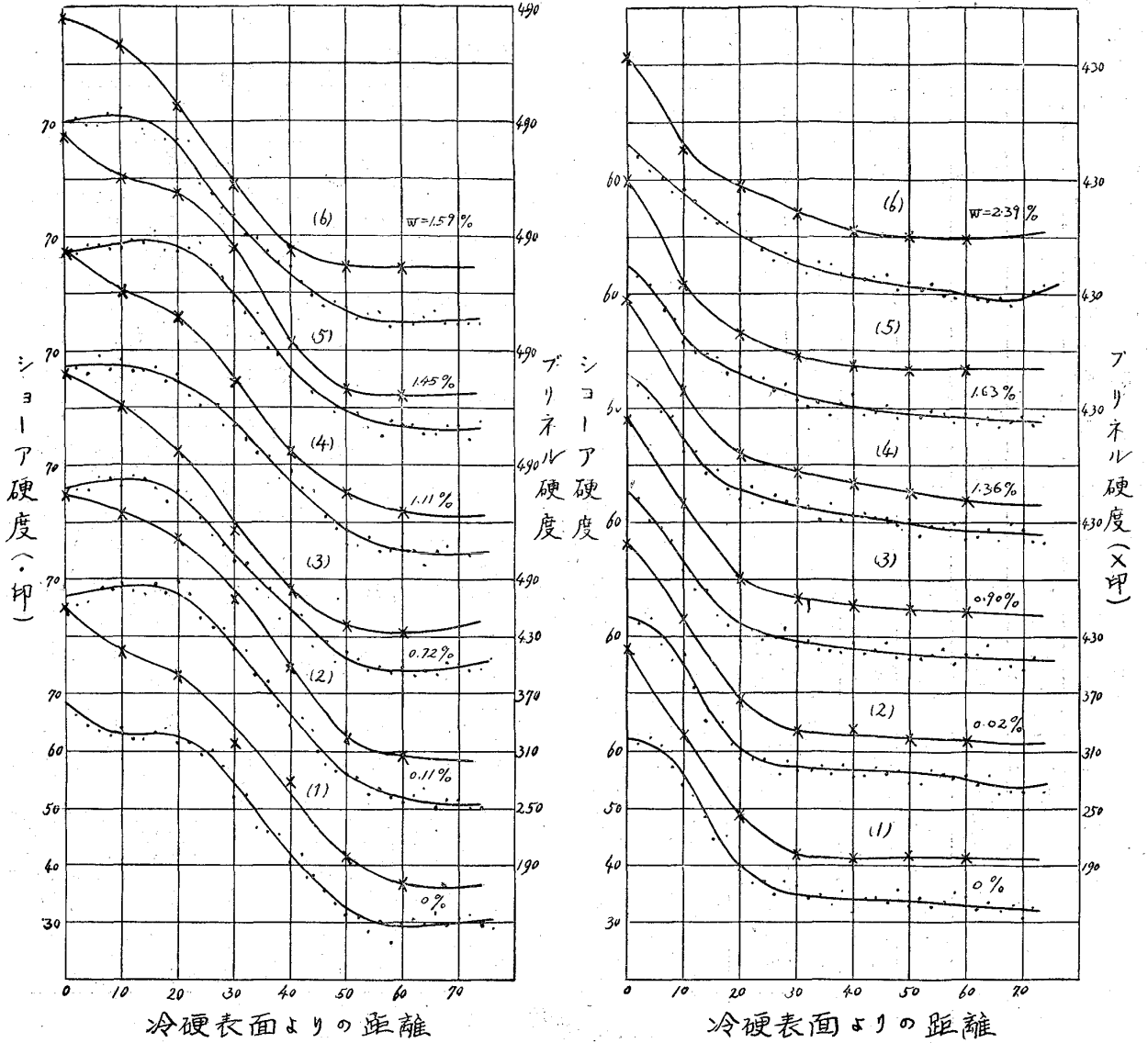
第23圖 タングステンの影響



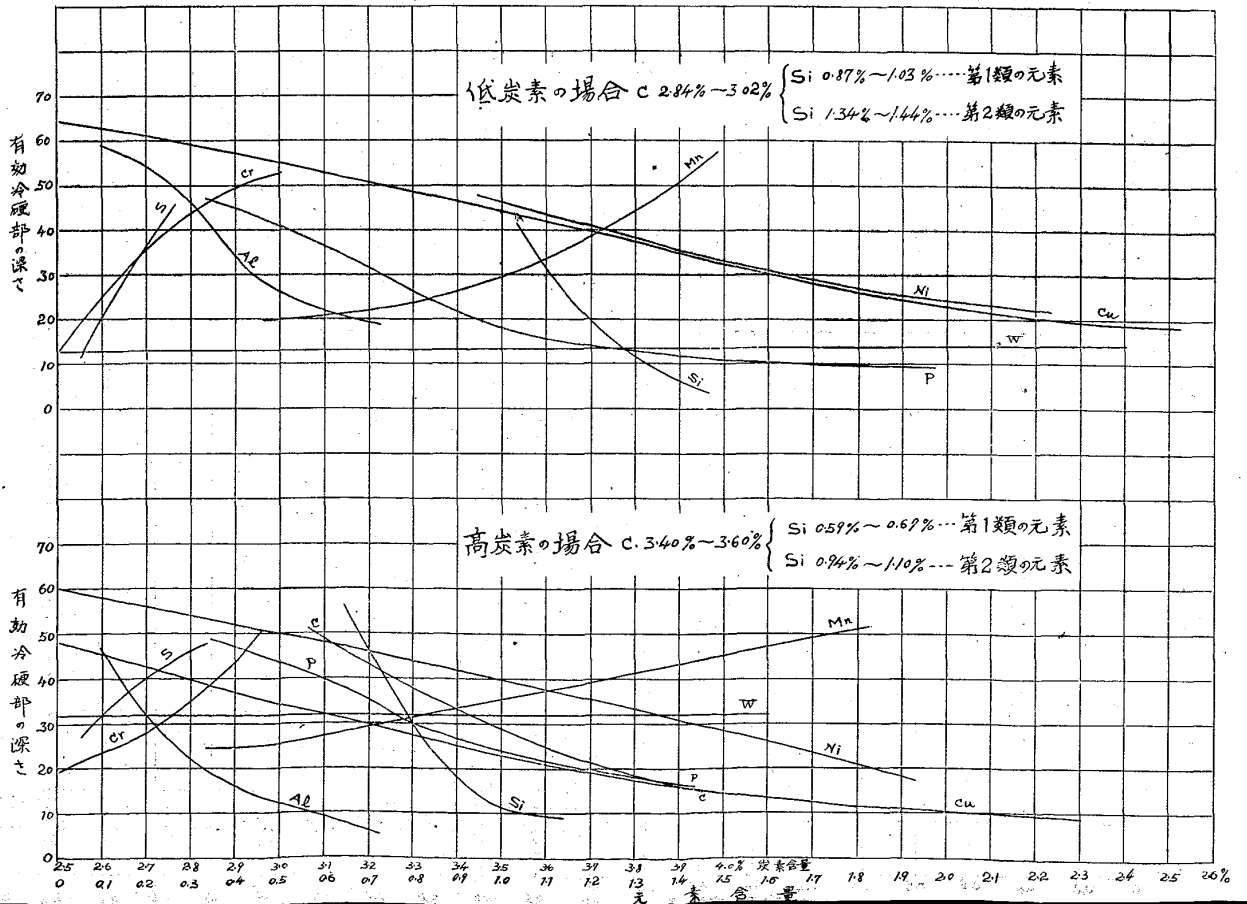
第24圖 タングステンの影響

C=3.42%

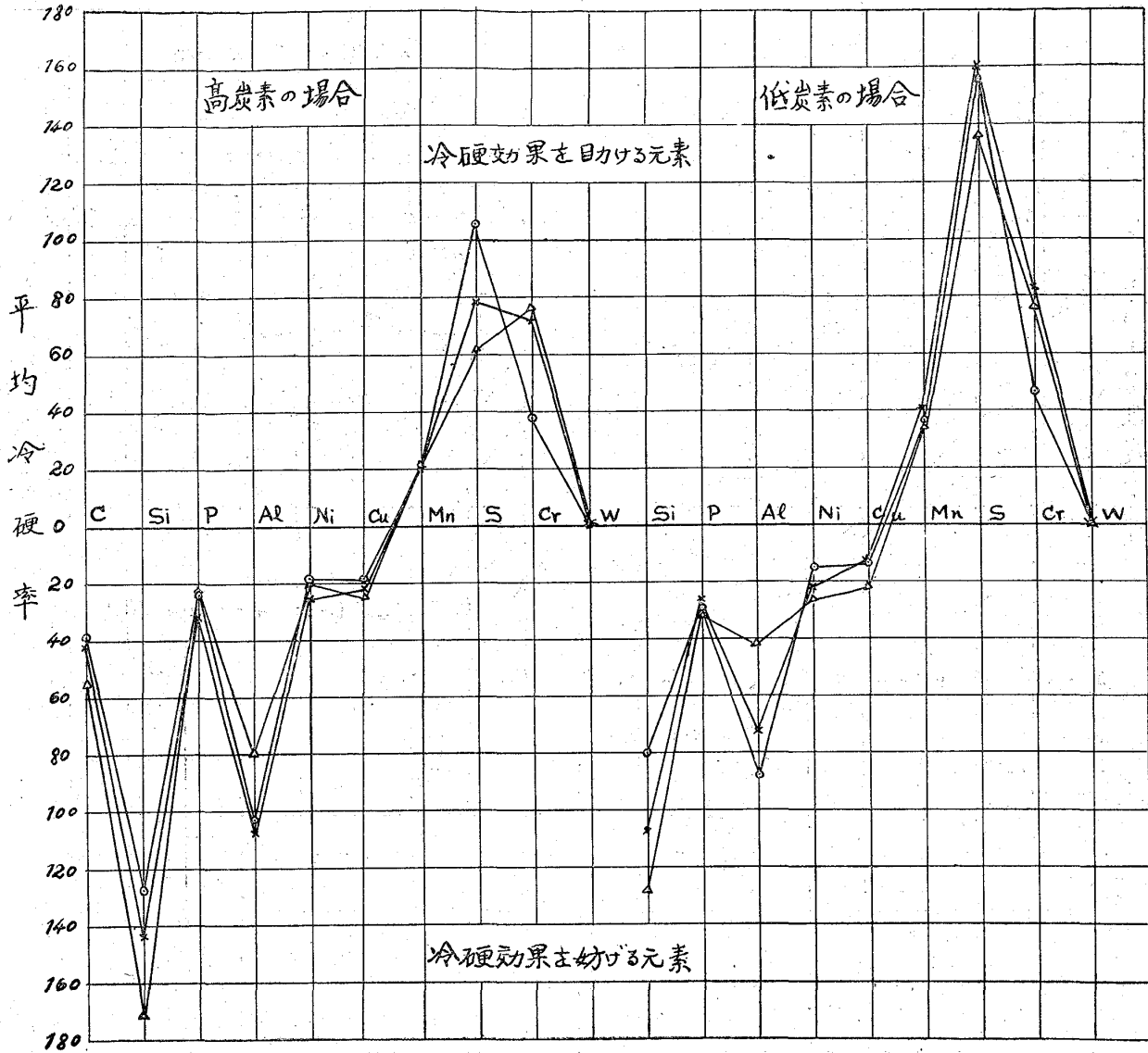
C=2.86%



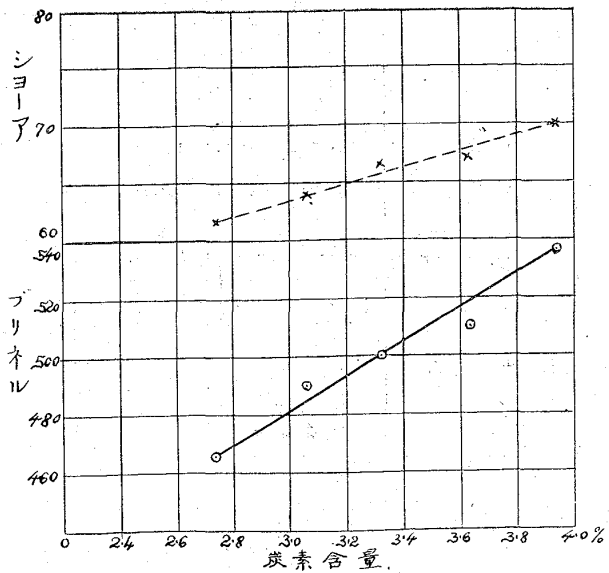
第25圖 有効冷硬部の深さに及ぼす各種元素の影響



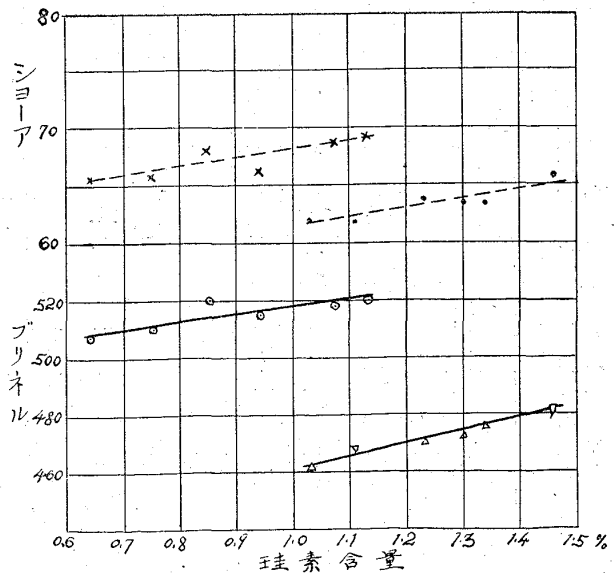
第26圖 各種元素に於ける平均冷硬率の比較



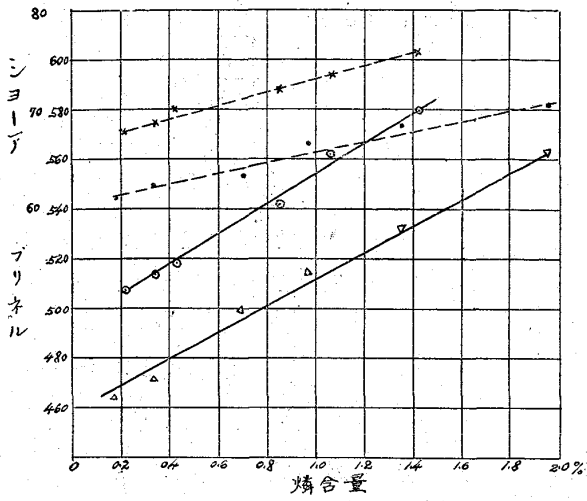
第27圖 硬度に及ぼす炭素の影響



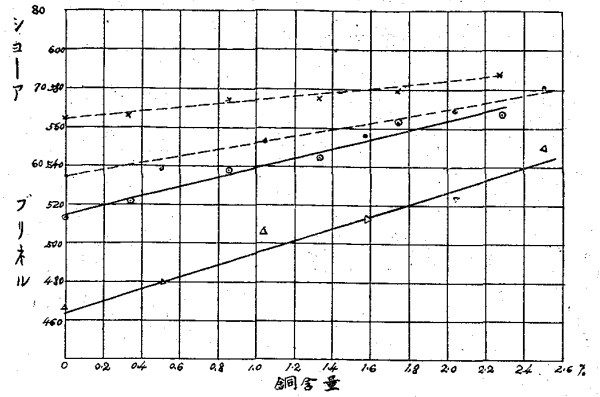
第28圖 硬度に及ぼす珪素の影響



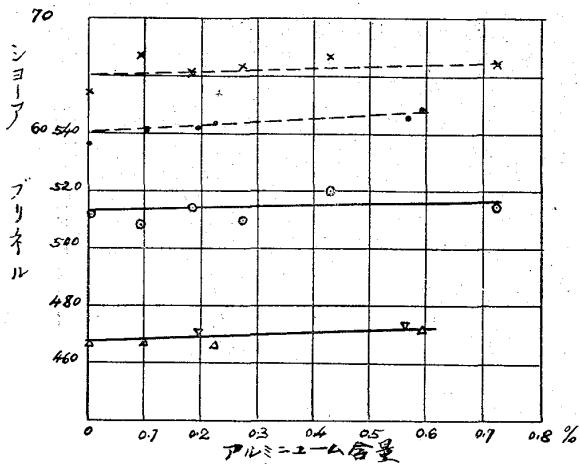
第29圖 硬度に及ぼす燐の影響



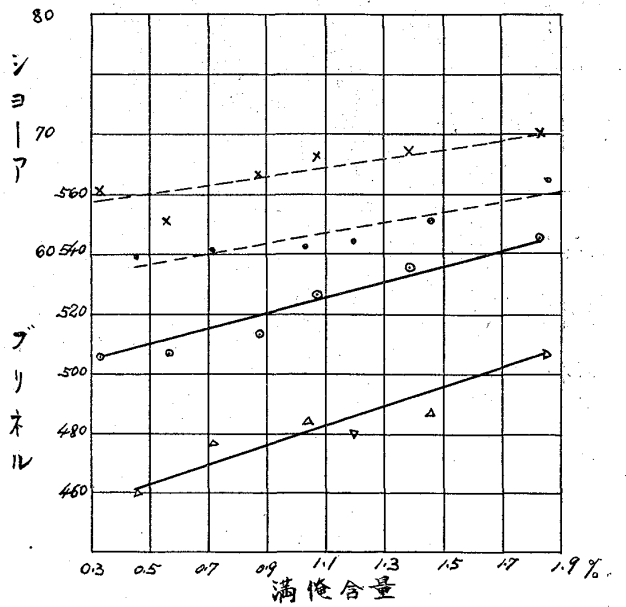
第32圖 硬度に及ぼす銅の影響



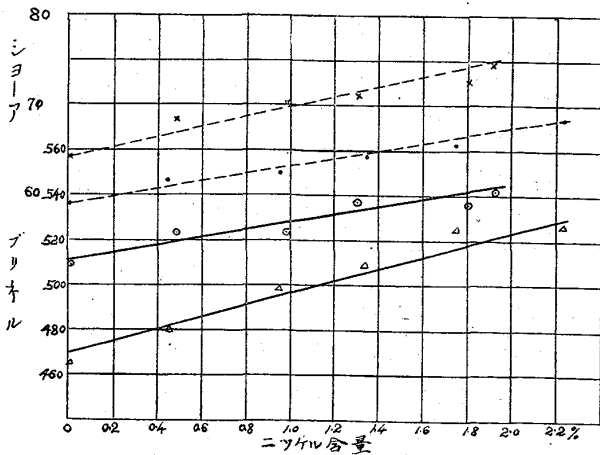
第30圖 硬度に及ぼすアルミニウムの影響



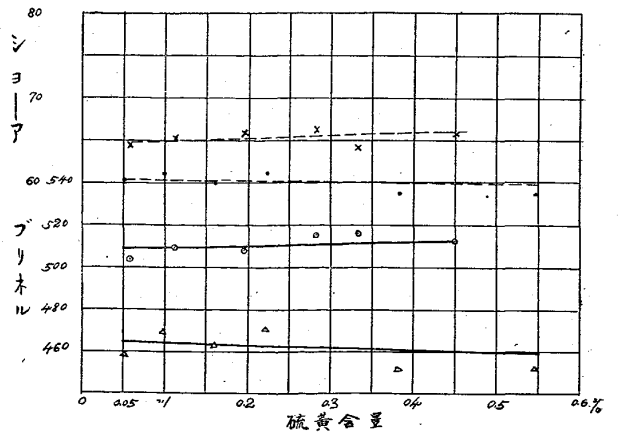
第33圖 硬度に及ぼす満俺の影響



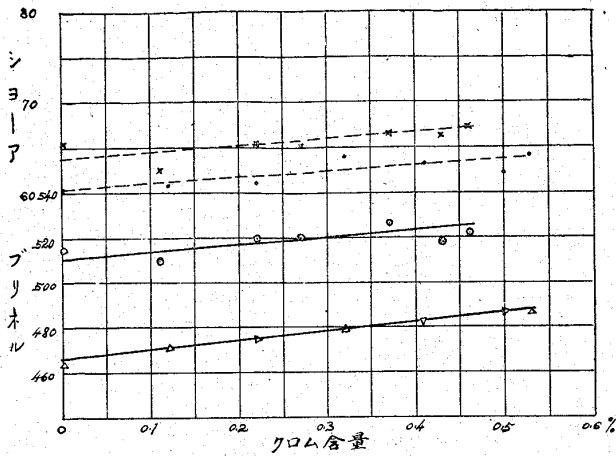
第31圖 硬度に及ぼすニッケルの影響



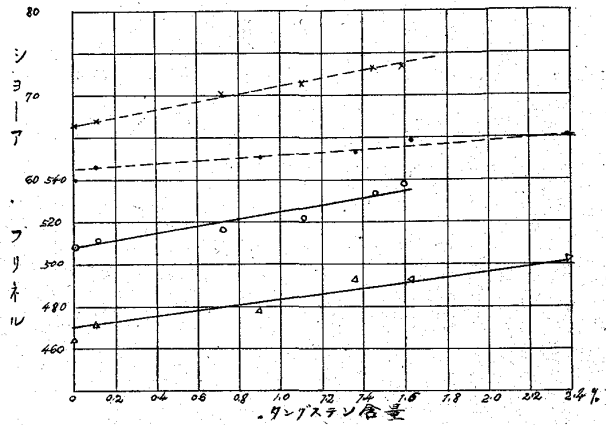
第34圖 硬度に及ぼす硫黄の影響



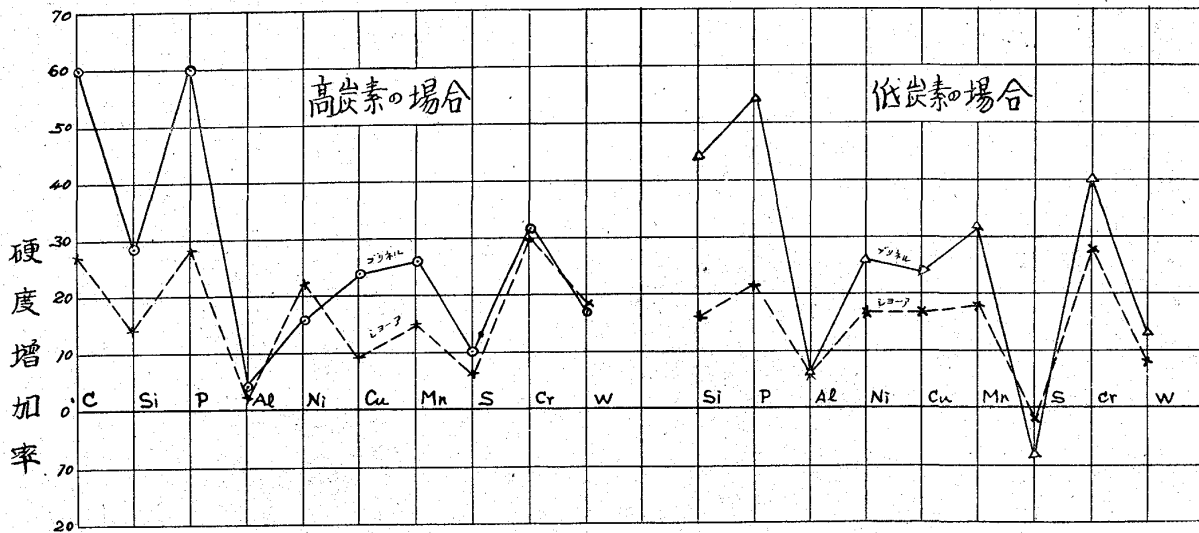
第35圖 硬度に及ぼすクロムの影響



第36圖 硬度に及ぼすタンステンの影響



第37圖 各種元素に於ける硬度増加率の比較



第38圖

