

一、緒言

鐵心用薄板に就て

鐵心用薄板に就て

長谷川熊彦

漢陽鐵廠坐辦 吳任之 萍鄉炭山礦長 黃錫之

大冶鐵山坐辦 季冠山 同礦長 楊華燕

材料局長 徐厚卿 會計課長 趙湘舟 運輸課長 孫悟崗 碼頭課長 魏蘭蓀

獅子山分局主任 張雲臣 同技師 王觀英 鐵山分局主任 殷靜甫 同技師 溫應星

石堡技師 卓康成 招待員 呂槃生 電報局長兼招待員 張勉哉 波止場積込員(嚴錫三莊壽蓀)

統計課長 李樹儂 警備隊長 楊旭初 秘書 張正也

袁家湖鐵廠長 李維格 秘書課長 潘若梁 事務課長 李屑清 材料課長 陳企尹

會計課長 費楚珍 技師 李芸蓀

水泥廠事務長 孫霽白 同技師 張燦文

大冶縣陶知事 周警察廳長

桐子包煤公司坐辦 周進階

漢冶萍公司董事

盛澤臣 沈仲禮 周金箴 張知笙 楊綬卿(兼) 林薇閣 李經方(兼) 孫寶琦(兼)

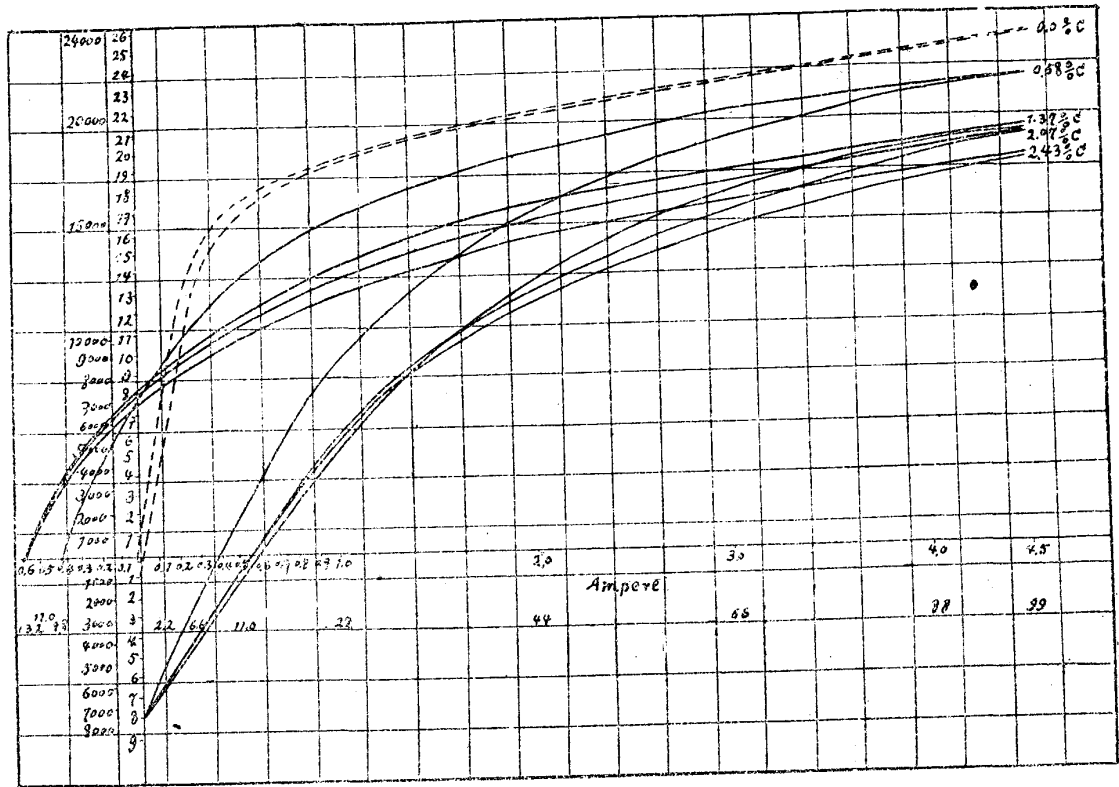
歐洲戰亂勃發以來本邦各種の製造工業は漸次覺醒の現象を呈するに至りたるは争ふ可らざる事なり。本邦製鐵製鋼業の如きも亦此種企業の一つにして新聞紙又は各種雜誌上に報告論難せられたる事一再ならず。然るに製鋼及其製品は百般工業の基礎を形成し不斷の需要に迫られ其供給力の如何は他製造工業の發達を左右するや必せり。余の見聞する所にては本邦新創立の製鋼業及増設擴張の製鐵製鋼業は主として條竿形鋼の一部にて所謂中小形の種類なり。大形竿條形鋼軌條又は鋇類等の製品極めて少し。之れ夫々資本原料及技術等の特種狀況有るか故なる可しと雖も尙多量の供給不足を生し輸入品を仰かざる可からざるなり。大正三年輸入鐵類の統計を見るに其最も巨額に上れるは各種鋇類なり。其價總計一千五百萬圓餘に達せり。鋇類に次くものは條竿形鋼類にして以下銑鐵鐵管軌條の順序なり。故に余は一方に條竿等を製造すると同時に早晚鋇類の製造企業されて此缺陷を補充するに至る事と信して疑はす。又鋇類の製造業勃興するに至る時は其種類雖然たるか故に多方面に専門工場を出し一般製造工業に影響する事莫大なる可し。余頃來電氣機械製作用薄鐵鋇類に就き二三の質疑を受けたり。時恰も此種鋇類の輸入途絶の期にして本邦電氣機械製作者の等しく杞憂せし時なり。本邦に有ては此種薄鐵は勿論三十番附近の並鐵鋇の製造を開かす事業家か一般薄鐵の製造と共に之等特種鋇の製造を企業するを切望して止まず。恰も普通鋼竿及特種鋼竿の製造を急ぐか如し。今先輩理學士友田鎮三氏に就き電氣磁氣的性質及其要求等の説明教示を乞ひ且つ此種實驗結果の一部提供を許され之に余の冶金學的推理及數個の報文とを参照し愚見を述べんとす。

本邦電氣機械製造業は近年著明の進歩をなし其使用材料は實に莫大なる量に達せり。而して其材料の主要部分は銅及鐵なりとす。而も其鐵類中鐵心用薄鐵は最も重要部分にして高價を支拂ひて客まざるものなり。此種薄鐵は硅素を含める合金鐵にして變壓機發電機電動機の鐵心に使用し所謂鐵損失を減少し機械の效率を最大ならしむるを目的とせり。芝浦電氣製作所技師長岸敬二郎氏の所説⁽¹⁾

機械製作業に連關し又一方には一般薄板製造の發達にも密接なる關係あり。今一般性質及要求材料試驗及製造法等に就き一般的に略述せんとす。

鐵心用薄板に就て

圖 一 第
響影す及にスシレテスとの素炭
(驗實後熱加て於に内爐空眞へ加を素炭に鐵純)



によれば鐵心用薄板内地一ケ年消費量及價額は、大正二、三、四年の平均は各種板合計三千乃至四千噸、其價額七十乃至百萬圓なり。又電氣機械は過去十ケ年の總計に由れば三ケ年に二倍増加の割合なるを以て同率にて増加するものと假定すれば、三年後には六千乃至八千噸となり、六ケ年後には壹萬貳千乃至壹萬八千噸に相當する次第なりと、岸氏の推定に従ふ時は、壹噸價額平均大凡貳百參拾圓乃至貳百五拾圓に該當せり。之れ平時の價額にして現今に於ては四百圓乃至八百圓に達し、而も尙之か購入困難なり。余の調査せる所によれば、平時の單價は貳百圓乃至四百圓にして、戰亂のために約貳倍に騰貴せり。假に平時の價額貳百五拾圓に低落せりとするも、尙普通の品に比すれば大差あり。即ち此薄板は板類中、特種板の一つにして、其製造は學問上及商業上興味多き事と思はる。而も其製作は電氣

二、一般性質及要件

電氣機械製作に使用さるゝ鐵材料中薄鉄は最も大切なものにして其性質最も吟味を要し費用を措ます良品を使用せんとするものなり。抑發電機電動機變壓機等の主要部分は鐵心銅及回線の三者にして各材料の性質及其構造等は直接機械の效率に影響するか故に製作者の注意する處なり。電氣機械に就てエネルギーの經濟的消費を達せられ其效率を佳良ならしむるため鐵心に對し主なる要求は次の如し。

一、鐵心は良好なる感磁性を有する事。

與へられたる磁場内に於て置かれたる鐵は其種類によりて感磁性に差有り換言すれば磁場内に於ける磁力線が鐵の内部を通過する程度は鐵の性質により差有り即ち鐵の内部と外部磁場とは其磁力線の密度に差を生し其割合は鐵の種類により差有り。今一般式を以て示せば

$$\mu = \frac{B}{H}$$

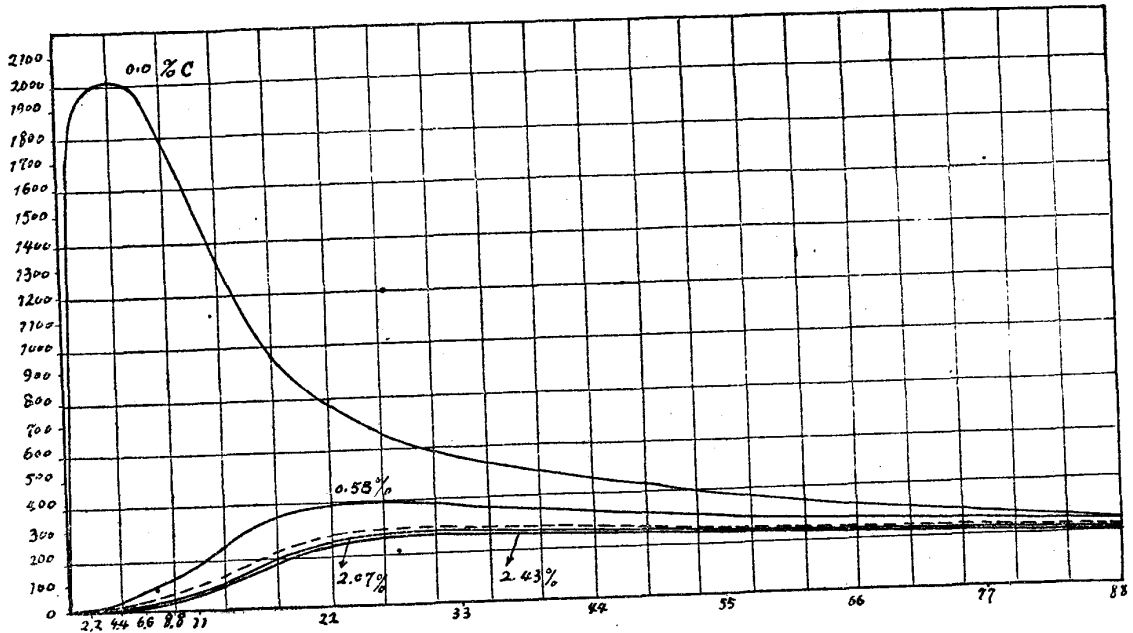
Bは鐵心内を通過する磁力線の數をガウス單位にて示せるものなり即誘導磁力と稱せらるゝものなり H は磁場の強さにして同様ガウス單位にて表はす。 μ は兩者の割合にして之をバアミアピリティと稱す前に感磁性の大なると述へしは此値大なるの意なり。一般に μ は整數値也。今與へられたる鐵心にて μ の大なるものは起磁力大にして又同時に起電力大に機械の動率良好なり。又同一磁場に對しては使用鐵量少く材料を經濟にし重量を減するの利益あり。

二、鐵心中にてエネルギーの損失最少なる事。

電氣機械に有てエネルギーの損失するは導線中、鐵心中、ヒステレシスに基因するもの及エッジ・カーレントに基くもの等なり。今此等を簡單ならしむるために公式を以て表せは次の如し。

$$P_a = P_a + P_h + P_e$$

圖 二 第
響影す及にイチリピアミアバの素炭
(驗實き就に料試一同と圖一第)



P_a はワットを單位として表はされたる全損失なり。
 P_b は前同様單位にて表はされたる導線に基く損失なり。
 P_h は前同様にてヒステレシス損失なり。 P_e は前同様にてエッチーカーレント損失なり。此 P_a を出来る丈に減少せんとするは電氣機械製作者の希望する所なり。此中 P_a は銅線の性質形狀電流等に影響するものにして鐵心問題には關係なし。 P_h, P_e は密接なる關係なり。今此兩者をスタインメッツ氏の實驗式を引用して詳述すれば次の如し。

$$P_h = \eta \times \beta^{1.6} \times N \times M$$

P_h エルグを單位として表したるヒステレシス損失。 β 誘導磁力即ち鐵の一平方糎中を通過する最大磁力。 N 一秒時間に於ける周波度数。 M 一立方糎に相當する鐵の質量。係數。

此式にて β, N 及 M は目的に従ひ種々に變する事を得れども、は鐵の性質に基くものにして一定せり。鐵の性質不良なる時は如何に電氣設計巧妙なりと雖ともり値を増大し P_h 値増するに至る。此 P_h をヒステレシ

ス定數と呼ぶ(以下此名稱を用ゆ)。次にエッチーカーレントに就ては左の如し。

$$P_e = \epsilon \times \beta^2 = N^2 \times M$$

鐵心用薄板に就て

P_0 はエルグを單位として表はしたる損失。 β 誘導磁力。 N 一秒時間に於ける周波度數。 M 一立方糎に相當する鐵の貨量。 ϵ 係數。

前同様に。 ϵ 値は鐵の性質に因て増減するものにして同時に γ 値を變ず。然るに此 ϵ 値は更にスタインメッツ氏實驗式にて明かなり。

$$\epsilon = 1.645 \times \delta^2 \times \gamma \times 109$$

糎にて表せる鉄の厚さ、 γ 單位オームにて表せる電導率。

式にて明かなる如く。 ϵ 値を減少するには δ を減せざる可らず。鐵心を薄鉄となすは δ を減する目的なり。 γ は電氣抵抗に反比例するか故に地鐵は電氣抵抗の大なるを必要とせらる。此等の法則より明白なるか如く鐵損失を出來得る丈減少せんとするには μ を増大にし γ を減し及鉄を薄くしヒステレシス損失を減せざる可らず。

鐵の性質の千差萬別なるは識者の熟知する所にして其因て來る所は其化學的及物理的の二方面に類別せらる。換言すれば鐵の含む不純物の種類及其量が直接影響する場合及地鐵の所理又は其不純物の占有する組織等の物理的影響に基くものなり。前述せし如き鐵心用薄鉄の具備す可き性質要求に對し實際に如何なる種類を選ふ可きかはハットフィールド氏を初め多數先哲學者により研究論難せられたり。今本編に關係する重要結論を引用し鐵心鉄製造及性質の研究に資せんとす。 γ 値を減少し μ 値を増加するには鐵は出來得る限り純粹ならざる可らず現今知られたる純鐵は電氣分解法により作られたるものにして不純物總計 0.05% 以下に減せられ其炭素含量の如きも 0.007 又は 0.008 の如き微量に減せられたる例あり。今完全分析の一例を掲ぐれば次の如し。

炭素

0.0024

硅素

0.0004

滿庵

0.0008

磷

0.0008

硫 黄

鐵

九九・九五四

計

一〇〇・〇〇〇

斯の如き純粹なる鐵は不純物を増加するに従て γ 値を増加し γ 値を減するものなり、不純物中最も激烈なる作用を及すものは炭素なり、今其狀況を曲線を以て示せば第一圖⁽³⁾及第二圖の如し、第一圖は五種の炭素含量に就き比較したるヒステレシス曲線なり、横線に磁場の強さをガウス單位にて示し、縦線は誘導磁力を同様に示せるものなり、此曲線は矢の方向の如く磁場の變化に従て移動し、曲線にて圍む面積を得らるゝ理なり、此面積は前述せるヒステレシス損失 $H\Delta$ に相當するものにして μ 値の計算に供せらるゝものなり、圖に於て〇・〇%炭量の場合には點線により示せる如く極小面積を示し、炭素の増加により非常に膨大せるを見る、第二圖は μ 値を曲線にて表はせるものにして、前同様横線を磁場とし、縦線を之に相當する μ 値となせり、此兩圖につき見るに炭素〇・五八%以下に於て著しく惡質に變し、其程度は炭素含量の變化と不規則なる關係を以て著しく移動するものなり、従て鐵心地鐵は極端に微量炭素ならざる可らず、例はスタインメッツ氏の測定數を引用すれば次の如し。

鐵の種類

γ 値(ヒステレシス定數)

鍊鐵

〇・〇〇二三乃至三三

鐵線

〇・〇〇五

鑄鋼

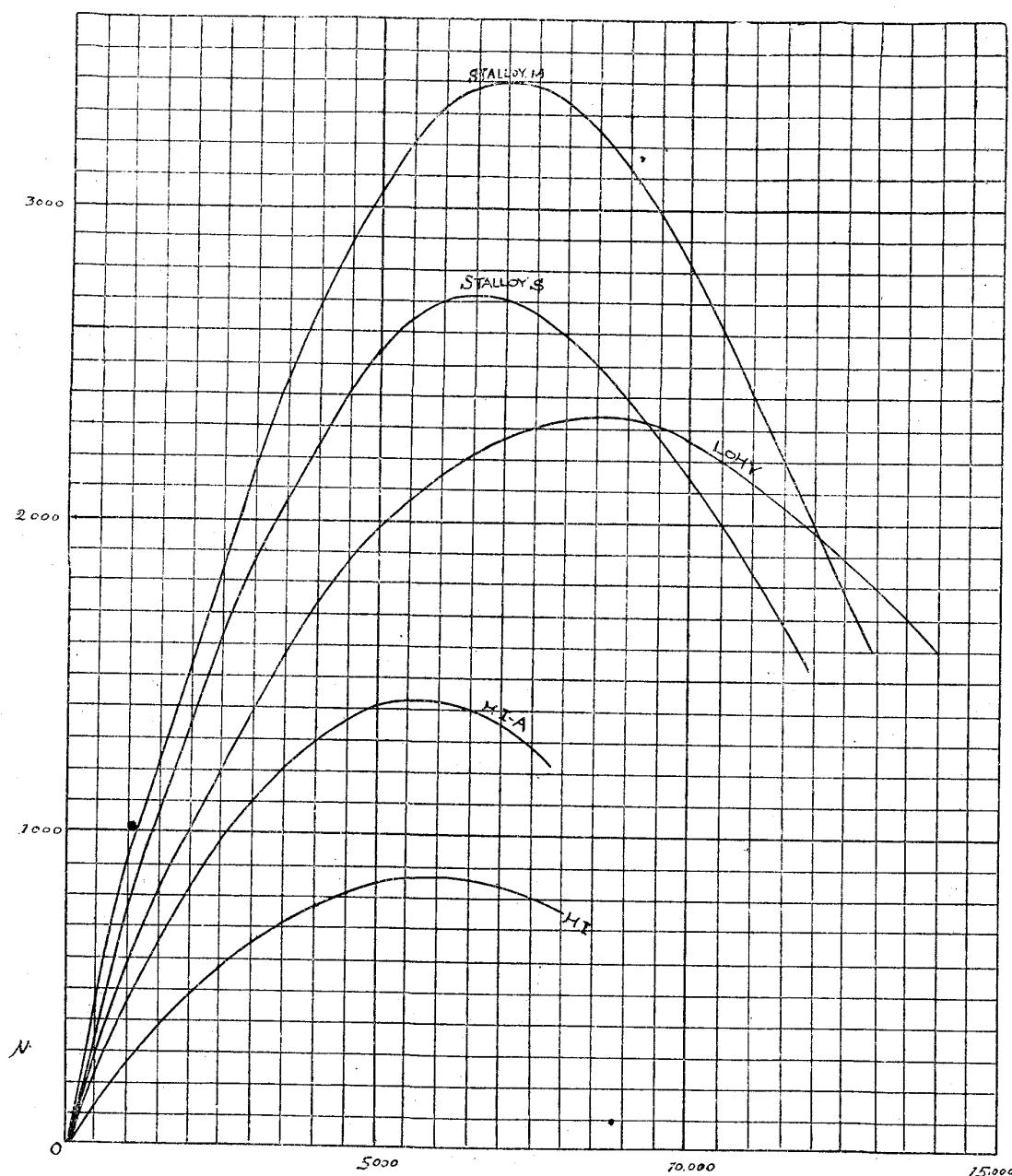
〇・〇〇三乃至九

鑄鐵

〇・〇一三

炭素に次ぐ不純物は酸素、滿俺硫黄、磷、硅素なりとす、酸素は酸化鐵⁽⁵⁾として存在する場合に其影響最も甚し、又氣孔として鐵中に存在する場合に於ては物理的影響を示し、バミアビリティを害するものなれともヒステレシスは甚しからず、鐵の性質に於て化學的影響に比すれば少し、尙注意すべきは

圖 三 第
線 曲 イ チ リ ビ ア ミ ア バ



の研究によるに満俺鋼は磁力性を有せずと、普通鋼に於ては微量なるか故に其影響重要ならずと雖とも含有炭素極端に微量なる鐵心地鐵に有てはバミアビリティを變する影響甚し。燐に至ては製

後章に記述するか如く熔鐵中に於ける酸素は間接に炭素満俺等の有害物除去に連關し他元素の影響と合併して増大するものなり、從て出來得る限り減少せんとするは製造者の目的する所なり。満俺は市場鐵中炭素に次ぎ多量に存在するものなるか故に比較的重要なりハツトフキールド氏

作上殊に微量を希望し電磁氣的にも亦少量を望まざる可きなれ共其影響明瞭ならずして普通極小に留めしむるものなり。硫黄は酸化鐵と類似の影響を示しバアミアビリテイを逐次減するものなり然るに同時にヒステレシスをも減し其利害相反せり。硫黄は鉄の製作上微量を要し常に原料を精選せられ少量に留めしめ其特性を利用する事能はず。硅素は電流の抵抗率を増大しバアミアビリテイを増加しヒステレシス損失を幾分減少するの良影響有り之れ現今使用せらるゝ鐵心用薄鉄は硅素鐵を使用する理由なり今此種實驗結果を擧ぐれば次の如し。

含有硅素量%

抵抗率(一立方糶中ミクローム)

○・〇〇〇	一二・一
○・二三三	一四・七
○・六〇三	一八・七
一・〇三三	二四・三
一・八九七	三四・四
二・八二六	四四・六
三・三三四	四八・六
四・六五五	六二・二

本實驗は電氣分解鐵の棒狀試料につき研究したるものにして之による時は電氣分解鐵に四・六%⁽⁷⁾硅素を追加する時は約五倍に抵抗率を増加するを得たり。同様の他實驗を見るに⁽⁸⁾

含有硅素量%

抵抗率(一平方糶斷面一米長中オーム)

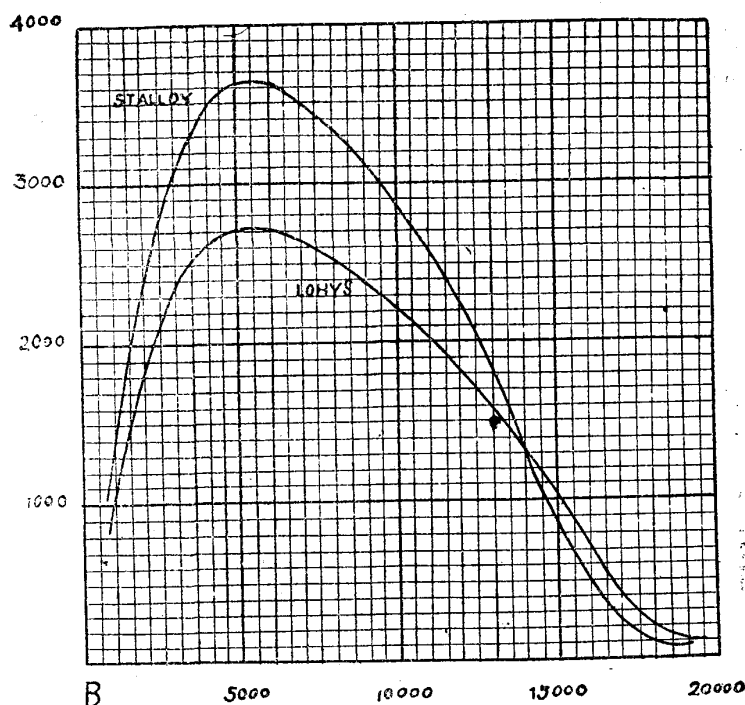
○・二四	○・一六九八
○・三七	○・一八六五

〇・六七	〇・二二三
〇・九五	〇・二六二
一・二五	〇・三〇六
一・七三	〇・四二〇
二・三五	〇・四二五
二・九八	〇・四九四
三・九九	不明
五・二六	〇・六六

の如し本實驗試料は棒狀極軟鋼を用ひしものにて〇・二四%硅素のものは之を三%に増加し大約三倍の抵抗率を得たり。エンセン氏の實驗⁽⁹⁾によるに純鐵の抵抗率は九・六ミクロオームにして一%硅素を追加する時は其抵抗率を二倍以上に増加したるものなり。硅素とパミアビリティとの關係は炭素に比すれば非常に痴鈍にして不規則なりと雖も尙増加するものなり其關係は左表の如し本實驗⁽¹⁰⁾は極軟鋼に就き行はれたる實驗にして μ 値の變化を示せるものなり。

番號	炭素	硅素	滿俺	硫黃	磷	最大 μ 値	最大 μ 値に對するH
一	〇・一二	〇・二四	〇・四一	〇・〇六四	〇・〇三三	九八〇	七・五
二	〇・一〇	〇・三七	〇・三〇	〇・〇四九	〇・〇四一	九八五	七・四
三	〇・一一	〇・六七	〇・二三	〇・〇四四	〇・〇四四	九八五	七・〇
四	〇・一一	〇・九五	〇・三六	〇・〇四三	〇・〇四〇	九七五	七・三
五	〇・一五	一・二五	〇・五〇	〇・〇四二	〇・〇四三	九二五	七・六
六	〇・一五	一・七三	〇・五六	〇・〇四〇	〇・〇四五	一一二五	五・二

圖 四 第
線 曲 イ チ リ ビ ア ミ ー ア バ



十 九 八 七

〇・二三
〇・二三
〇・二三
〇・一二

五・二六
二・九九
二・八九
二・三五

〇・六〇
〇・五二
〇・四〇
〇・二九

〇・〇四〇
〇・〇四五
〇・〇五三
〇・〇四〇

〇・〇三二
〇・〇四三
〇・〇三二
〇・〇三二

一九〇〇
一二五〇
一
一

七・〇
五・一
四・五

硅素を追加する時はリ値を減するの影響ありとせらるゝも明瞭ならず。

以上説述せるは現今使用せらるゝ鐵心鉄中に含まるゝ主要元素なれとも此他アルミニウム、ニッケル、コバルト、タングステン、チタニウムは屢々實驗せられたるものなり。アルミニウムは一時硅素と同様に考へられたるも現今は重要を失ひたりコバルトは最近主張さるゝと雖も未だ實用に至らず其他の元素も亦重要をなさず之を要するに將來に於ては硅素と同様に他元素を追加せる地鉄表はるゝやも測られず何となれば硅素鐵は著しく脆弱にして加工困難なり特に電氣機械製作に於て此鉄より環狀齒狀等複雑せる

形を打抜くには甚た不適當なるか故なり即ち硅素鋼より柔軟にして安値に電磁氣的佳良なる時は最も便利なり。

以上の如き不純物の影響の他に物理的所理によりて電磁氣的性質を變するものなり。鐵を焼鈍する時は μ 値を増大にし η 値を減するものなり之れ恰も焼鈍により鐵の柔軟性を増すと同様にして

一部の元素を焼失する事も預る可きも主として組織變化の理由に歸因せる物理的影響なり、又同様に鐵を高温より急冷する時は著しく抵抗率を増加し、パーミアビリティを減す。故に薄鉄は之を焼鈍するは製造者及使用者共に大に注意す可きなり。此他鐵心薄鉄の要求する點としては加工に便なるため柔軟なる事鉄の厚さ均一にして表面圓滑なる事等一般薄鉄と同様なり。

之等の要求は多方面にして複雑し各種の影響相反し一利一害の如き場合さへ有り實際に於ては理論的なる事能はず。現今本邦に輸入さるゝ製造會社は米の American Electrical steel products Company 英の Joseph sankey & sons 製なり。鉄の性質により二種の商品に分ち一ツをスタロイ (stallo) 他をロイ (Lohy) となす特許合金鋼にして前者は硅素含量多く脆弱なり主として變壓機に用ひらる後者は硅素量少く著しく柔軟にして一般に使用せらる。今現今使用せらるゝ鉄類の實例を示せば次の如し。

鐵心鉄名	化學成分				電磁氣性		備考
	炭素	硅素	滿俺	磷	硫黃	最大μ値 γ値 抵抗率(a)	
電氣分解鐵	0.024	0.004	0.008	0.008	0.001	一八五〇 0.00308	ギユムリツヒ氏測定
同 燒鈍	—	—	—	—	—	一四六〇〇 0.00076	同 前
瑞典木炭鍊鐵	0.027	0.006	0.003	0.009	0.002	五四〇〇 0.00131	同 前
同 燒鈍	—	—	—	—	—	六四〇〇 0.00105	同 前
發動機用鐵心鉄	0.044	0.004	0.004	0.004	0.007	四二〇〇 0.00157	同 前
同 燒鈍	—	—	—	—	—	一四八〇〇 0.00054	同 前
發動機用鐵心鉄	0.085	0.004	0.006	0.009	0.004	四六〇〇 0.00162	同 前
同 燒鈍	—	—	—	—	—	五七〇〇 0.0011	同 前
同 燒鈍	0.036	0.003	0.006	—	—	三三〇〇 0.00192	同 前

發電機用鐵心鈑	〇・〇三六	三八九六	〇・〇九	—	六二〇〇	〇・〇二二	ギユムリツヒ氏測定スタロイ種に該當す
同 燒鈍	〇・〇八	〇・〇三	〇・三八	〇・〇二九	五七〇〇	〇・〇一一	ロイ種に該當す
スタロイ鐵心鈑	〇・〇四	三六六	〇・〇六四	—	三四〇〇	〇・〇〇九六	明治專門學校冶金學科分析電氣學科實驗室測定
ロイ鐵心鈑	〇・〇八九	〇・〇四	〇・〇四三	—	二三四〇	〇・〇〇二八九	同 前
スタロイ鐵心鈑	〇・〇四	三六二	〇・一四	〇・〇二四	二七三〇	〇・〇〇二五	八幡製鐵所分析明治專門學校電氣科測定

鐵損失(一磅に付ワット)

芝浦電氣製作所使用⁽¹⁾

一 號	〇・〇五五	三五四	〇・〇九九	〇・〇四五	〇・〇三四	燒鈍前 二・八八
二 號	〇・〇五一	三九七	〇・一二	〇・〇三七	〇・〇三六	燒鈍後 〇・七三
三 號	〇・〇五一	三六六	〇・一〇	〇・〇三八	〇・〇三八	
四 號	〇・〇五五	三八三	〇・一五	〇・〇四四	〇・〇三三	
五 號	〇・〇五五	三七六	〇・一〇	〇・〇四六	〇・〇三九	

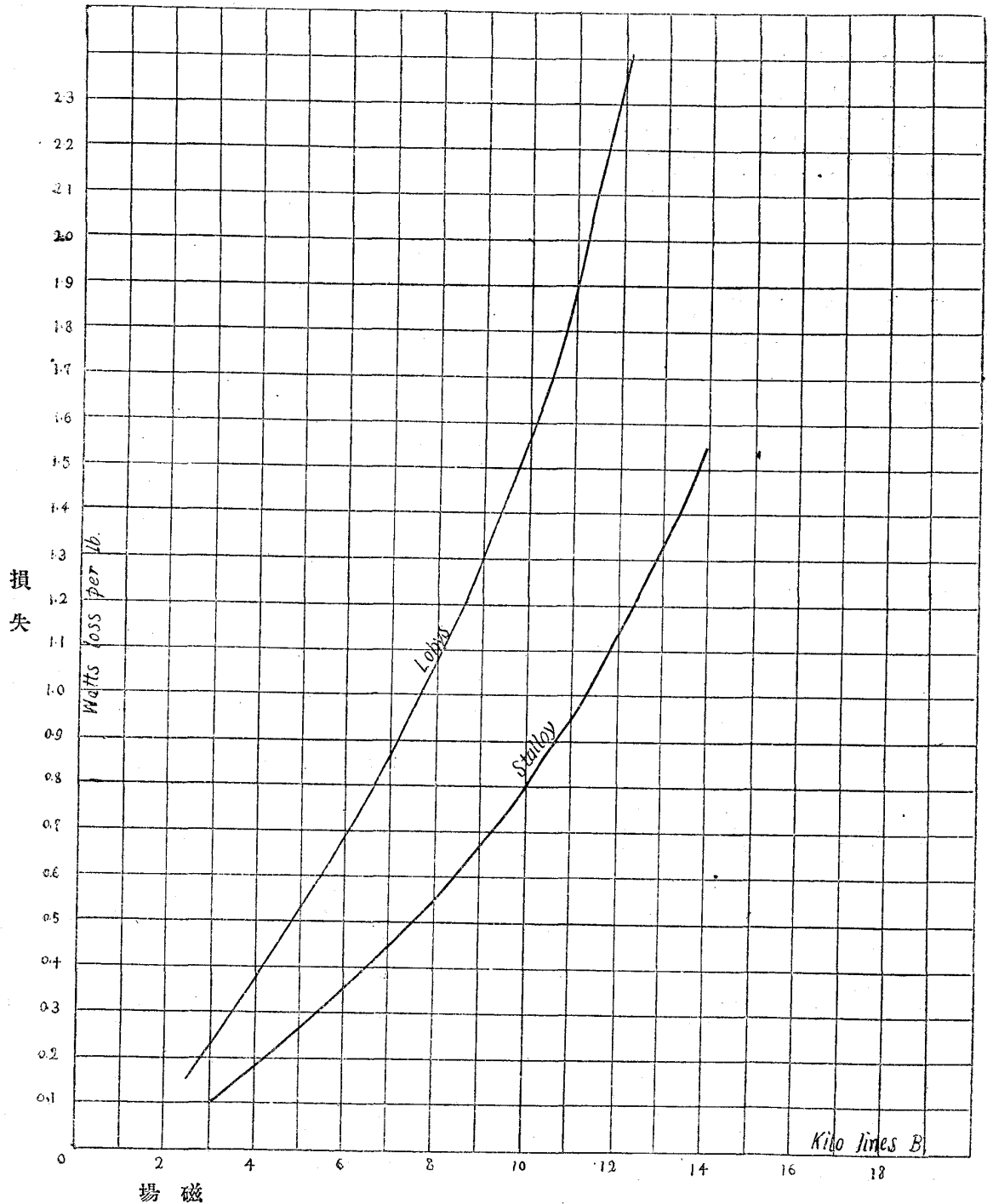
化學分析の結果より見れば此五種は略々同一種類のものにしてスタロイ種に相當する如く次表XIと同種なり

尚⁽¹⁾芝浦製作所使用薄鈑の厚さ鐵損失(全損失にして前に μ として説明せしものなり)及重量を示せは左の如し。

種類	厚さ(吋)	耗	B G 番	重量(百平方吋につき磅)	比重	鐵損失(六十サイクル磁場一萬の強さに於ける一磅鐵中ワット)
R	〇・〇一二	〇・三〇四八	三〇	—	七・五	燒鈍前 〇・〇八 燒鈍後 〇・〇六
T	〇・〇一二	〇・三〇四八	三〇	四八・〇	同	燒鈍前 一・一七五 燒鈍後 一・一五二
X-I	〇・〇一四	〇・三五五六	二九	—	同	燒鈍前 一・〇七八 燒鈍後 一・〇七三
A	〇・〇一四	〇・三五五六	二九	五六・三	同	燒鈍前 一・一〇九 燒鈍後 一・〇九三
A	〇・〇二五	〇・六三五	二四	一〇〇・〇	同	燒鈍前 二・二六〇 燒鈍後 二・二〇〇
A	〇・〇三四	〇・八六三六	二一	一二七・五	同	燒鈍前 七・五〇 燒鈍後 七・一〇
B	〇・〇六二五	一・五八七五	一六	二五〇・〇	同	燒鈍前 七・五〇 燒鈍後 七・一〇

鐵心用薄鈑に就て

圖 五 第
線 曲 失 損 鐵



によりて方法を改良研究し使用者は之によりて適材を適所に合理的に使用せざる可らず、此目的に適する可き方法は電磁氣の測定化學分析及組織檢鏡の三種なりとす、就中電磁氣は使用者に於て第

斯の如く鉄には多様の種類あり厚さにも種々ありて夫々機械の種類電流周波度数等によりて適材を適所に使用さるるを常とす。
三、材料試験法

前述の如き鐵心鉄は適當の方法により絶えず検査せざる可らず製造者は其結果

一に知らんとするものなり之れ電氣機械の設計に際し必要なる數字を見出すか故なり、他の二法に至ては製造者の最も注目する所にして根本問題を解決し得るか故なり何れも夫々特長を有す。今逐次其方法を簡単に列舉せんとす。

μ 値を測定するには次の如き方法あり。

磁力計⁽¹¹⁾を使用して測定する方法。⁽¹²⁾ リング法と稱し試料を環狀に切取り之に回線を捲きて磁場として實驗さる。⁽¹³⁾ ヨーク法と稱し棒狀資料を還狀電磁鐵を備ゆる機械にて其直徑に添ひて挿入し測定す。此三法を適宜に應用すれば可なり就中ヨーク法最も簡易なれとも磁力計法の如く精密ならす。リング法は試料の製造に幾分の困難有るか故に大略の測定にはヨーク法を用ひ極精密なる場合には磁力計を用ゆるを便利とす。

ヒステレシス曲線及び値を測定するには μ 値測定と同一機械を用ひて測定するを得、即ちヨーク法又は磁力法により測定して誘導磁力を見出しヒステレシス曲線を抽き次に其面積を測定する時は前節詳述せる如く η 値を計算するを得。

鐵損失の合計を見出すにはエプスタイン法⁽¹⁴⁾を行ふ。此方法は製品鉄を多數重ねて鐵心となし其内部にて損失す可きエネルギーの總計を見す目的にて前節にてPAを以て説明せしものなり鐵一磅に就き何ワットとして表はさる。此方法は商業上及電氣機械製作者の最も必要なるものにして種々の磁場夫々の厚さ周波度数等に就き測定し曲線として表はす。此結果は最も實用的なれとも理論的には其損失を各原因に分ちて決定せざる可らず即ち μ 値と共に η 値 σ (抵抗率) 値をも測定するを要す。 σ 値を測定するには普通トムソン法⁽¹⁵⁾又はホイットストン法の如きものによる。

化學分析は地鐵の品質評價の上に大切なものにして特に製造者に於て然りとす。今日の狀態に有て市場に有る如き鐵心鉄を作らんとせば炭素硅素滿俺を主として分析し尙時々硫黄磷を分析す。

れは可なり、又特別の場合に於て酸素窒素又は稀有金屬をも分析せざる可らざるに至る可し何も之等の元素は微量なるか故に精密分析に附せざる可らず就中炭素に於て最も然りとす。

組織検査も前同様製造者に於て最も注意する處にして、鉄の性質を理論的に遂及し焼鈍狀況如何壓延狀況如何氣孔の有無結晶狀況酸化物又は不純物の狀況等を知り其電磁性に及す影響を研究評價するにあり。

今二三試験の結果及實例を舉ぐれば左の如し。

μ 値試験は第三圖に示す如くして其試料は左の如し、同時にヒステレシス試験を示せり。

曲線圖	試料	化學成分				最大磁場	η 値	σ 値	備考
		炭素	滿庵	磷	硫黃	硅素			
第六圖	HI	0.12	0.6	0.024	0.03	1.856	8.930	0.0049	明治專門學校電氣科測定
第七圖	同焼鈍	0.09	"	"	"	"	9.830	0.00330	四二八 ヨーク法による
第八圖	ロイ	0.087	0.043	—	—	0.04	14.630	0.00189	"
第九圖	スタロイS	0.04	0.14	0.034	0.037	3.63	12.780	0.00215	五五八 "
第十圖	スタロイM	0.04	0.064	—	—	3.66	13.530	0.00096	七〇二 (實線)
同	同	"	"	—	—	"	13.300	0.00086	リング法により測定(點線)

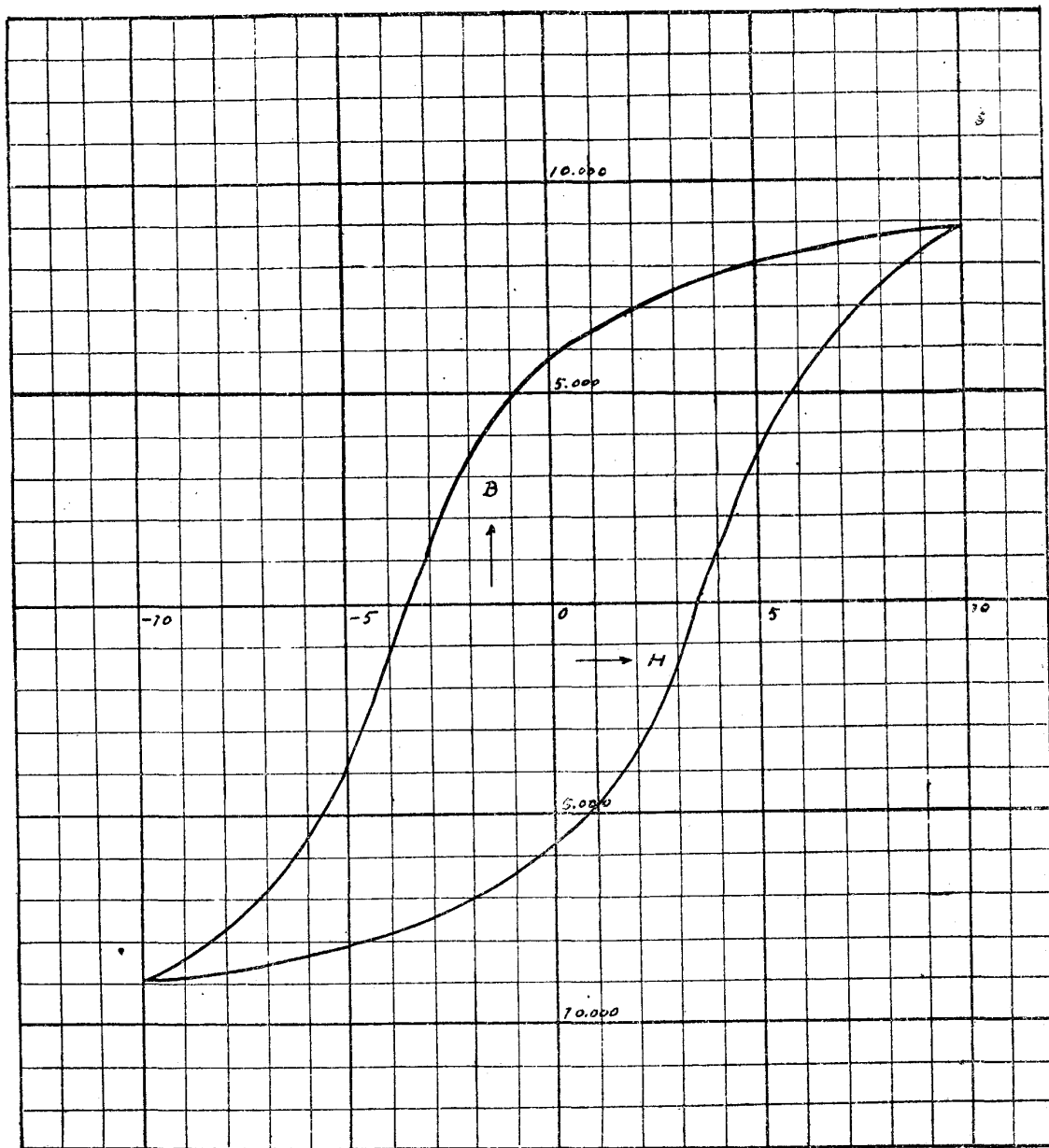
此 μ 値曲線を見る時は焼鈍によりて著しく増大する事を知る又スタロイは著しく μ 値の大なるを示せり。第四圖はスタロイ及ロイ鐵心鉄の μ 値試験の結果を示せるものなり第三圖と對照する時は同一種類なる事を知らる。

曲線第五圖はジョセフサンケイ會社の製品に對し其呈出する鐵損失曲線なり前述のエプシタイン測定法により見出し得るものなり、圖に於て横線は磁場の強さにして磁力線の密度なり數字は千

少し即ち値少し。前表により明かなる如く不純物中炭素の含有量減するに従ひ逐次値を減し又

鐵心用薄板に就て

第 六 圖
ヒステレシス曲線
試料 IH

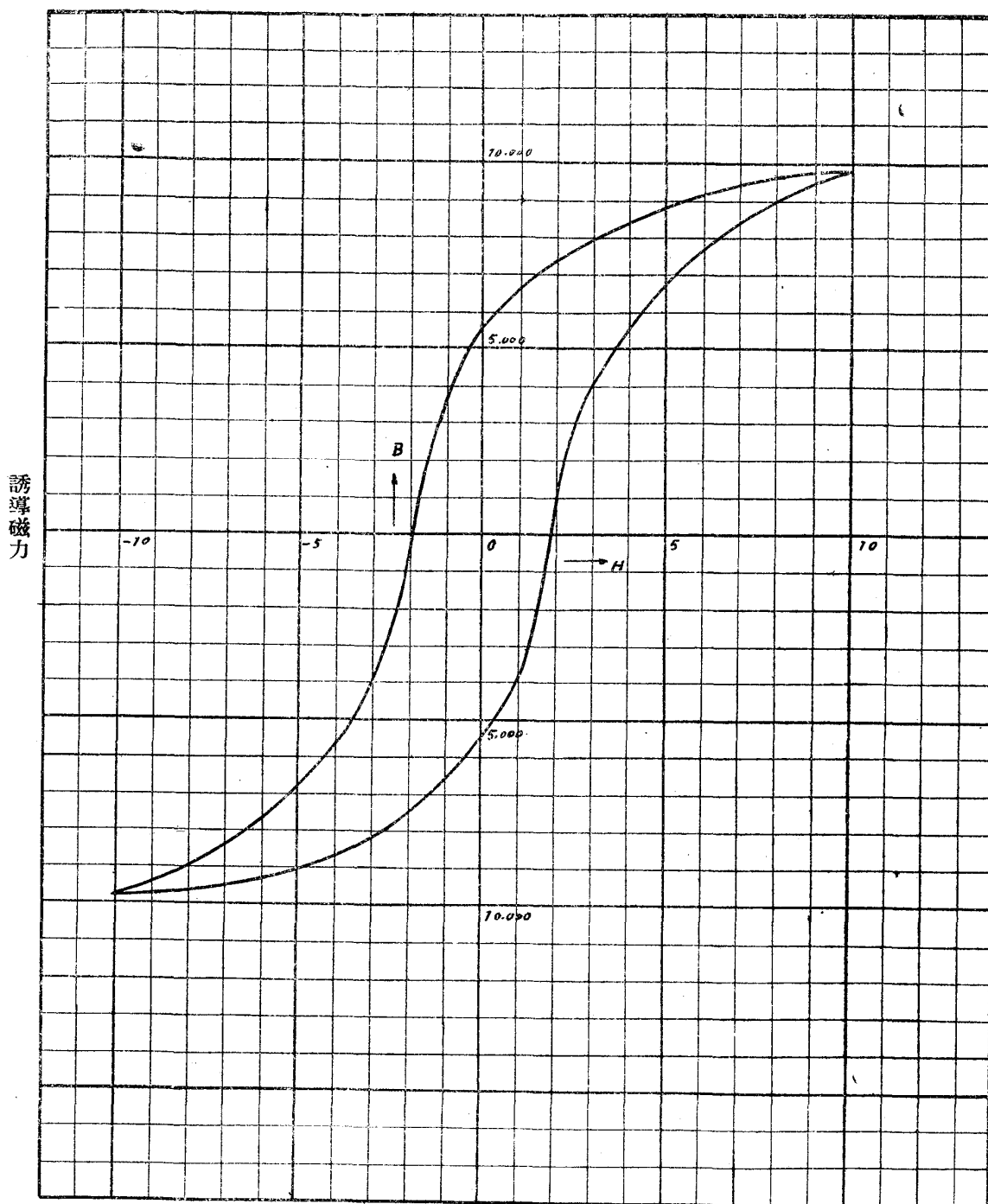


磁 場

を單位とす縦線は損失にして毎磅鐵に對しワットを示すものなり供試料は〇〇一八吋五十分サイクル電流を用ひたるものなり。此結果は前節芝浦製作所使用鐵損失として記せしものに類似せるを知る。第六圖乃至第十圖はヒステレシス曲線にして前表の試料に對する結果なり。此曲線にて圍む面積の小なるもの程ヒステレシス損失

第十一圖乃至第十六圖は前述試験に供したる試料の組織検査なり本實驗は硝酸を腐蝕劑とし薄飯斷面につき行はれたるものなり、第十一圖は前掲H試料の斷面にして纖維狀著明なり之れ壓延の

第 七 圖
ヒ ス テ シ ス 曲 線
試 料 HI 燒 鈍



方向を示すものにして
氣孔散在せり尙詳細に
之を検査する時は粒狀
パーライトの散在せる
を見る。第十
力 磁
二圖は前述
せしH試料
を攝氏八百
度乃至八百
二十度に於
て二時間焼
鈍したるも
のなり圖に
就いて見る

にフェライト粒完全に發達しパーライト粒を認めず小氣孔を認め、前表に於いて示せる如く焼鈍所理によりて其の含有炭素は〇・一二%より〇・〇九九%に減せるを見る、而して此の炭素は主として純鐵中に熔解せるを認め、普通鋼に於てはフェライトは純鐵とさるれとも鐵心鉄の如き純鐵を取扱ふ場合には然らず、硅素を始めとして微量の炭素及滿俺を熔解せり、炭素はフェライト中には〇・〇五%以下となされたるも滿俺の存在及加熱所理の如何によりて本實驗の如く多量に熔解せるを知る第十三圖はロイ試料にして前表第八圖に示せしものなり、氣孔多くフェライト粒形著明ならず、第十四圖はスタロイM試料にして第十圖及前表掲載と同じ氣孔多くフェライト粒形著明ならず、然るに之を強く腐蝕する時は第十五圖に於て示す如く立方形に近き多數の腐蝕孔を見出し得之れ純鐵の特長にして特に硅素を含む場合に最も著明なり、(19)第十六圖は鐵心鉄にしてフェライト粒形甚た發達し粒形整然配置され氣孔少し適當に焼鈍されたるを示し、硅素含量少き形狀なり、發電機に使用さるゝものなる可し、此結果を前表に對照する時は組織的評價を下し得可し。

以上の少數實驗及實例とを參酌する時は前節に於て述べし一般性質と一致せるを見る之を綜合する時は大約下の如し。

第一、充分炭素含有量を減し〇・〇五%内外に留めしむ特に下等品には〇・一%の物有り。

第二、微量炭素に有ては滿俺の影響比較的著しき故に〇・一%以下となせり普通〇・〇四%なり特に下等品に有ては〇・四%の物有り。

第三、硅素は抵抗率を非常に増加すれとも鉄を脆弱にし變壓機用には三・六%内外となせとも發電機用として微量となすスタロイ鐵鉄及ロイ鐵鉄の二種を生するものなり。

第四、硫黄及磷を出來得る丈け減少し〇・二%内外とす。

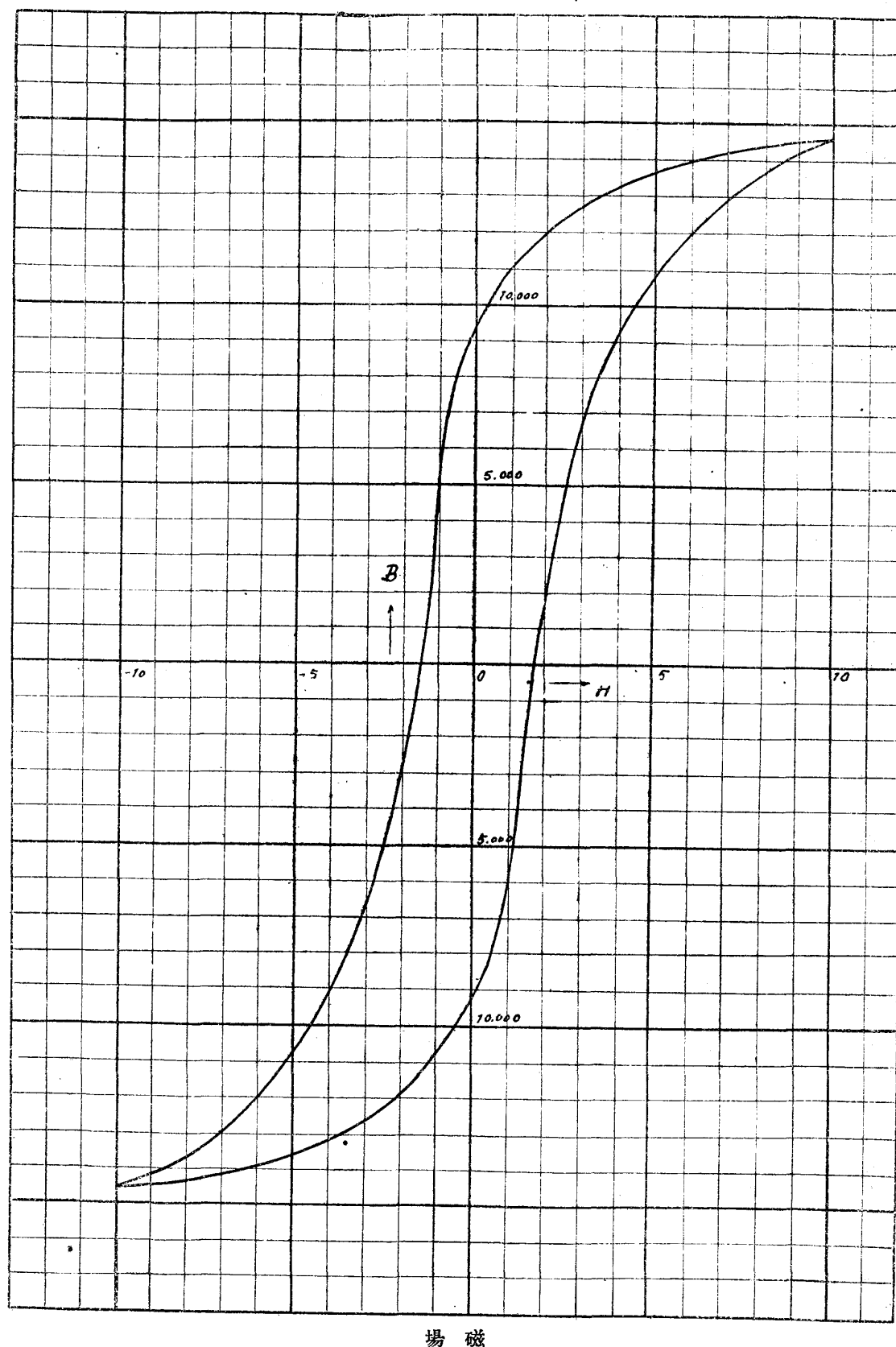
第五、鉄は適當に焼鈍されざる可らず而して此方法は攝氏八百度乃至千度(後節にて述る如し)に熱

し徐々に冷却する事必要なり。

第六、出來得る丈け氣孔を減する事を要す然れ共其他元素を追加せざるか故に幾分は必ず残るを

誘導磁力

第 八 圖
ヒステシス曲線
(Rohy) 試験料イロ



普通とす。

第七、微量炭素は固熔態に於て存在するを要す。

第八、粒形整然として圓滑なる曲線にて包圍さるゝをよしとす。

四、製造法

前述の如き性質を具備する鉄は如何にして製造さるゝかは冶金學上興味ある問題なり余輩淺學菲才且つ未だ此種製造工場を實見したる經驗なき故に具體的方法を正確に詳述し能はずと雖も二三參考記事と冶金學の推理とにより一般的記載を試み前掲の趣旨を完結し同時に斯道諸賢の高教を仰かんとす。現世紀の初年ハットフィールド氏により硅素及アルミニウムを追加する事を主張せられし迄は瑞典木炭鐵は此目的の唯一品なり従て鍊鐵の製法によりて作られたり現在に於ては熔鐵の製法によるものなり今現今に於ける製法を述んに其要點は下の如し。即ち第一、極端に純粹なる熔鐵を製造する事。第二、硅素を追加する事。第三、良質の鋼塊を製造する事。第四、適當の厚さに鉄を壓延する事。第五、鉄を燒鈍する事。今之等に就き述んとす。

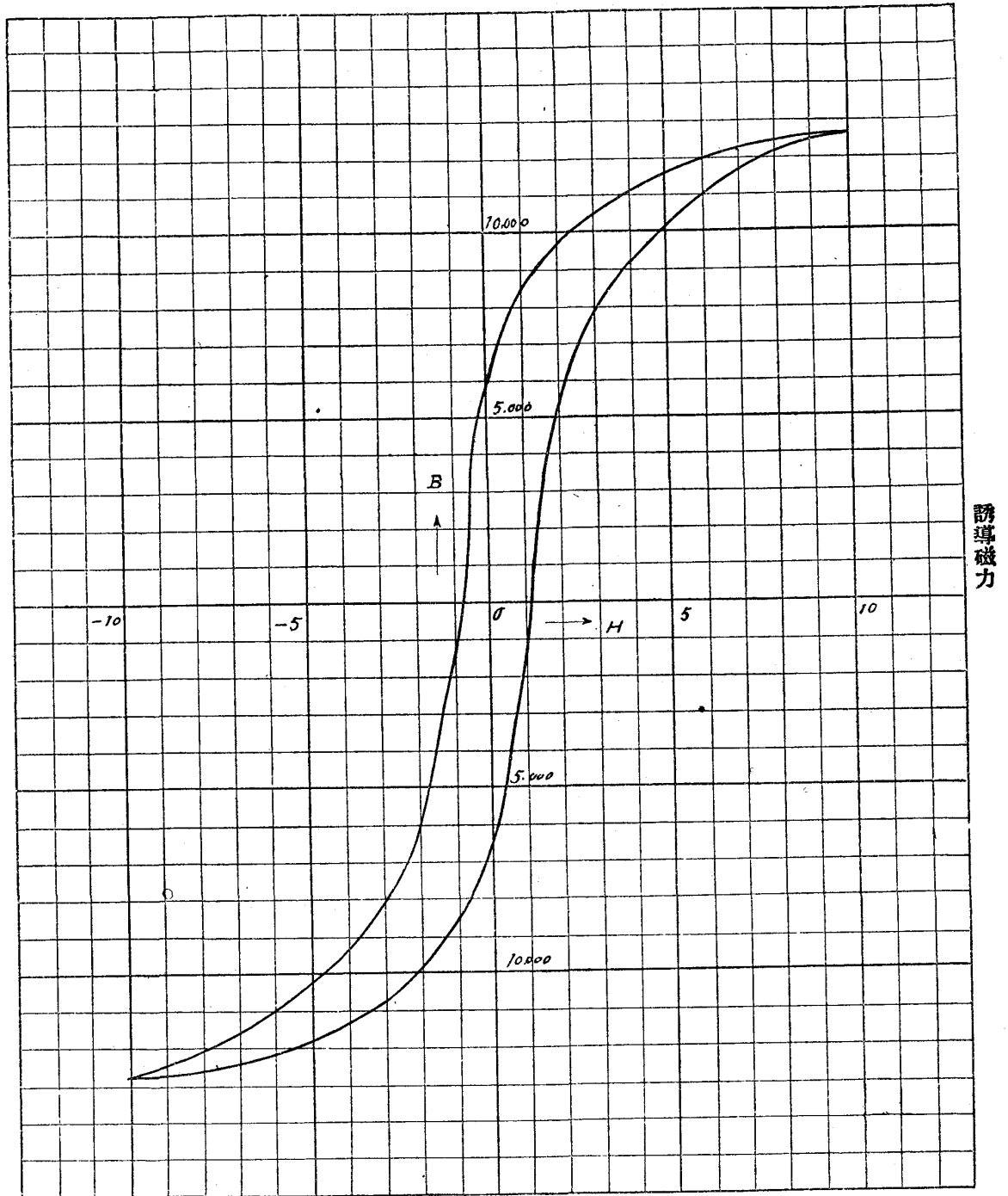
極端に純粹なる熔鐵を製造するは普通製鋼法に比すれば困難多しと雖も不可能には有らず今日の進歩に於ては實現されつゝ有り。前述せし如き電氣分解法は方法簡單にして容易に良質を得らるゝや明なりと雖も未だ工業的規模に實用さるゝは一二特別の場合の他聞かす。現今主として應用さるゝは鹽基性平爐製鋼法なり一時世上に喧傳せられたる亞米利加熔鋼(American Ingot iron)は此種純鐵製造に類似の方法に仍るものなり今亞米利加熔鋼製品分析を見るに次の如し。

種類	硅素	硫黄	磷	炭素	滿俺	酸素	銅	アルミニウム	室素	彈性界	最大抗張力	延伸率	收縮率
(20)	一〇・〇〇二	〇・〇一五	〇・〇〇一	〇・〇一〇	〇・〇〇三	〇・〇一二	—	—	—	三二・二九〇	五五・五五〇	二二・四	五四・〇
(21)	二〇・〇〇三	〇・〇一四	〇・〇〇二	〇・〇〇九	〇・〇一二	〇・〇二四	〇・〇六	〇・〇〇五	〇・〇〇六	—	—	—	—

(21)	(21)	(21)	(21)
六	五	四	三
〇・〇〇六	〇・〇〇四	〇・〇〇五	〇・〇〇二
〇・〇一八	〇・〇一七	〇・〇一九	〇・〇一五
〇・〇〇三	〇・〇〇四	〇・〇〇五	〇・〇〇一
〇・〇一六	〇・〇二	〇・〇一五	〇・〇一一
〇・〇一五	〇・〇二〇	〇・〇〇〇	〇・〇一五
〇・〇二二	〇・〇一六	〇・〇二一	〇・〇二〇
〇・〇〇四	〇・〇八〇	〇・〇五〇	〇・〇〇七
〇・〇一三	〇・〇一〇	〇・〇一二	〇・〇一一
〇・〇〇五	〇・〇〇三	〇・〇〇五	〇・〇〇四

此表を見る時は驚く可き純粹にして不純物合計〇・二％鐵分九九・八％に達し前節述へし鐵心用地鐵同様に純粹なり斯くの如き亞米利加熔鋼は腐蝕に耐ふる目的に出現したるものなりと雖も其地鐵製造の方法は此場合に適用するを得可し。亞米利加熔鋼の製造法は二箇の特許に盡されたり、其一つは製鋼法にして他は製品に關するものなり今其製鋼法梗概を記せば下の如し。製鋼には鹽基性平爐を使用し原料は特種の銑鐵及極軟鋼屑又は鍊鐵屑を使用せり而も全裝入の八〇％に達す。又一般法と同様に石灰は裝入物中の硅酸硫黃等に對し前以て投入し置き熔融裝入又は冷間裝入を行ひ逐次精製さる此精製法の原理は一つに酸化作用あり而て炭素硅素滿俺硫黃磷の如き不純物は除去さるゝと同様に鐵の一部は酸化さるゝや明かなり然れとも此酸化鐵は多く鑛滓中に入り小部分熔鐵中に留るを普通とす、此特許の趣旨として鐵は〇・三％以上の酸素を熔解せすと假定して好結果を得たるに有り即ち鐵の酸化を恐るゝ事なく化學作用を連續せしむるにあり、熔鐵を酸化せしむるためには鐵鑛を投入し攪拌するにあり不純物を減するに従ひ爐の溫度を上げ最後には弗氏貳千八百五十度(攝氏千五百六十五度)に至らしむ。普通の極軟鋼製造より約壹時間乃至四時間長く作業するに至る。此操業の終極は試料の検査により熔鋼中の炭素硫黃磷滿俺硅素合計〇・一四％以下に達したるを確むるにあり良結果に有ては〇・〇七％に減するを得、特に炭素及滿俺は共に〇・〇二％に減するを得可し。斯くの如くして得られたる熔鋼は取鍋内に於てアルミニウム追加する事により酸素を分離し〇・〇五％以下の酸素含量に減するを得特に良成績に有ては〇・〇二％以下に減せらる、此アルミニ

第 九 圖
ヒステリシス曲線
試料 スイロ S (stalloys)



ユーム使用
量は一屯熔
鋼に對し二
五磅位なり
又時として
はアルミニ
ウムに代
用として二
乃至八%の
熔銑を使用
して脱酸す
る事あり鋼
塊は九九八
%以上の鐵
含有量とな
らしむ以上
は特許製鋼
法の梗概に

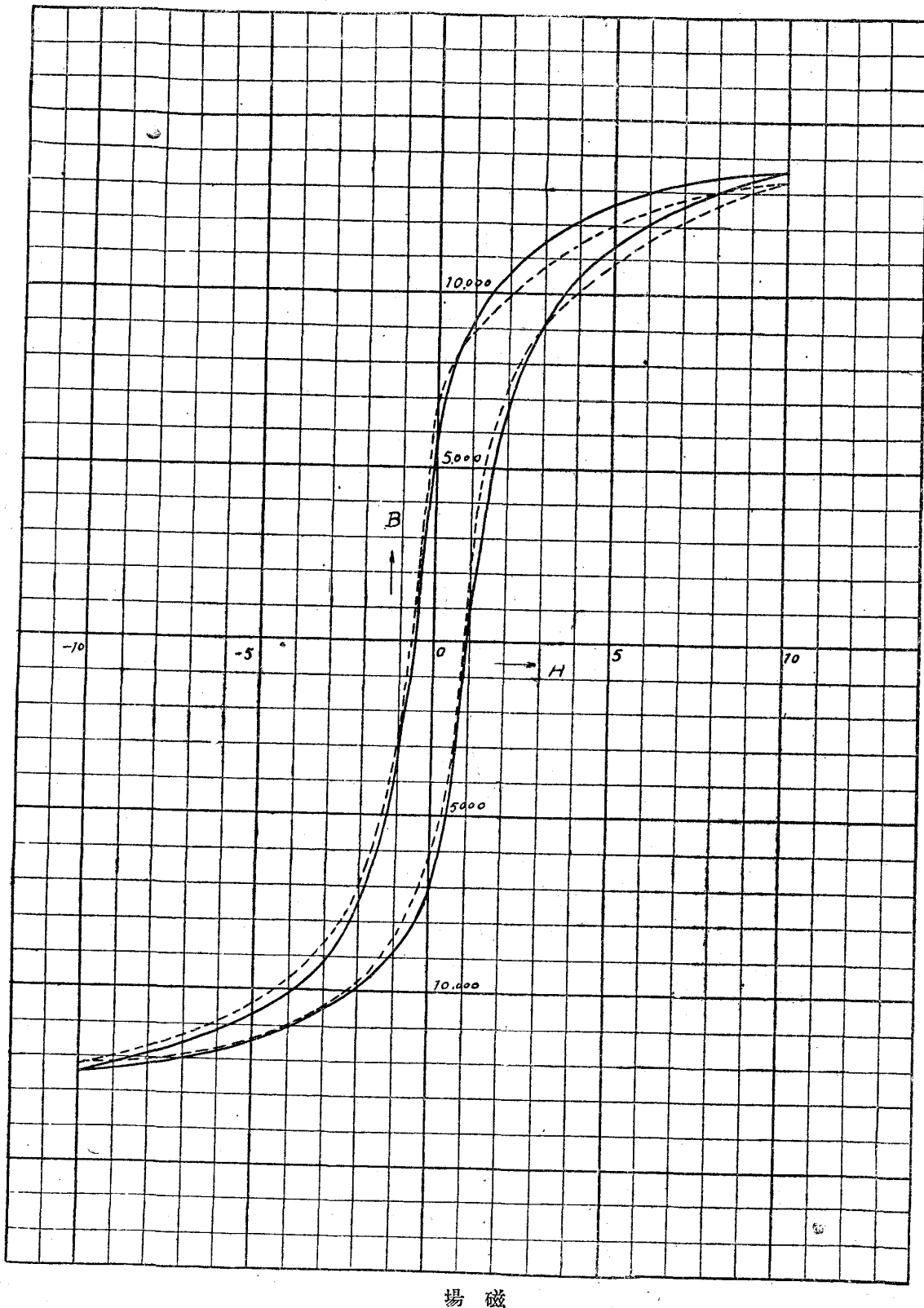
過ぎずと雖とも技術の熟練及び方法の調整等により鐵心用地鐵品質を得るに至る可し。此の酸素含
有量は極軟鋼又は普通鋼に於ける場合と略々同様にして現在に於ける工業的規模に於いては止む

鐵心用薄板に就て

を得ざるものならん。所要の硅素を追加するには上等の硅素鐵を投入すれば可なり熔鋼は前掲せる如く過熱狀態に有れば作業の最終に加ふる時は一部脱酸作用を助けアルミニウムの使用量を減

誘導磁力

第十圖
ヒステリシス曲線
試料 スイロイ MM (stalloy)



する事を得。又此製鋼に電氣爐を用ふる時は、一層輕便なる可し。現在の電氣製鋼法の進歩に於ては、其應用適切なり。即ち高温度を持續し、鹽基性耐火材料を爐床とし、完全なる化學反應を行はしめ、熔鋼の攪拌等を主眼となし得る便有り。特に製品高價なるか故に、比較的高價なる電力費を支拂ひ得可し。即ち現在に於ては、平時の工具鋼類に相當せるを知る、又平時に有ては普通鋼及工具鋼の中間に位すると考ふるを得るか故に、電氣爐の應用も幾分制限さるゝに至る可し。

次に此種熔鋼より得らるゝ鋼塊は、氣孔多く結晶増大するの缺點多し。前述せし如く、鐵心地鐵中に硅素三五%内外を含む場合には、特に鐵の結晶著明にして立方體に晶出す之れ、鐵に脆弱性を與ふると同時に、氣孔空隙を與ふるの機會を多くせしむ。又硅素含量少きものに有ても、純粹なるため結晶性を表はし、高温度なるため氣泡の殘存を多くし、空隙の機會を多くせしむ。此故に造塊作業は注意深くされ、押湯は勿論可能範圍に於て温度を下げ、押上げ鑄造法(Bottom Casting)を行ひ、早く鋼塊を冷却せしむるために出來得る丈早く鑄型を分離す。此種鋼塊は不純物少量なるか故に析出作用少く、良鋼塊を得可きは製造者の主張する處なり。たゞ氣孔に關しては充分の研究を要す可し。

斯くの如くして得られたる鋼塊は、之を鍛鍊され次に壓延されて、鉄の形狀に仕上げらるゝものなり。鍛工の目的は地鐵を均一ならしめ、扁平の形狀に至らしめ、壓延機裝入の豫備なり。若し分塊壓延機を使用する時は、之を省略するを得可し。然れども分塊壓延機は設備増大し、小工場には創立困難なるのみならず、其連絡機械亦多くの困難を伴ひ、又鍛工の如く機械的に品質を精製する事困難なり。故に多くは鍛工法によるを常とす。米國の實例⁽²³⁾によるに、八噸蒸氣鐵槌を使用せり。

壓延法に至ては、普通の薄鉄製造と同様なり。又同一機械によりて兩者を製造されつゝ、有り唯材料に差異有るため、幾分作業法に注意するに在り。一組又は二組の壓延機を使用す。普通二組の場合を主とす。即ち先づ豫備壓延を行ひ、次に仕上げ壓延とす。之れ職工の熟練に仍るを常とす。普通は三十吋徑

のロールを用ひ回轉數は機械的設備により材料を所理し壓延する場合には四十五回又は以上となし人力を主とする場合には二十五回位となせり、之れ軋の製造能力に影響するものにして其設備及操業法により差異有り。壓延前の加熱は約攝氏千度とし壓延の途中に於て數回加熱し仕上温度は能ふ丈け減するをよしとす。此地鐵を壓延する場合には純粹なる鐵の常として粘着性を示し又珪素鐵に有ては脆弱なるかため普通鋼に比し作業困難なり此困難は或は鍛工法により或は壓縮割合の調整或はロールの保温(ロールを冷却する事なしに)等により恢復するを得ると云ふ。勿論軋製品の表面又は厚さ等の良好なるは壓延作業の注意熟練と共に製鋼造塊等の作業に連關するか故に相連絡研究する時は其成效期す可きなり。

已に壓延されたるものは適當に之を燒鈍せざる可らず之れ普通薄軋に於けるものと同じ。燒鈍に際し最高温度は攝氏七百七十五度乃至八百度となすの實例あり又實驗⁽²⁴⁾によるに千度及千百度に加熱して良成績を得たるを知る、前者は鐵の磁性性に對する界限點を目的となしたるものにして後者は一般薄軋同様に高温に於て一層良性を恢復し得可きを示せり、此兩者より推理する時は八百以上適當の温度となせは可なり。此最高温度は長時間保留するの必要なく冷却を最も徐々となすを必要とす之れ實際に於て注意す可き點にして、最高温度に保留するは種々の困難有る可く鐵の酸化を防ぐにも亦困難多し之等一般作業は普通薄軋と同様なり。

以上略述せるは現今行はるゝ製作法の梗概とす然るに熔鋼に際しては真空電氣爐を應用する新研究あり、電氣分解鐵及極端に純粹なる平爐鋼を真空爐にて加熱し電磁氣試驗の結果非常に良好なり、其結果を見るに電氣分解鐵に有ては含有炭素の五十乃至九十%を失ひヒステレシス損失を五十%減し平爐鋼の場合にはバミアビリティを増大し最大値 μ を三倍にしヒステレシス損失は普通變壓機鐵心軋と比較し約五分の一乃至八分の一に減せり。斯の如き良成績を得る理由は著しく不純

物を去り氣孔を除き酸化物を還元する等に有り就中氣孔を減するは最も容易なり。⁽²⁶⁾第十七圖及第十八圖は前記平爐鋼の試験に際し氣孔検査なり前者には無數の氣孔散在すれとも後者は之れを眞空爐に於て攝氏一千百度に加熱し毎時間三十度の割合にて徐々に放熱して室内温度に至らしめたるものにして氣孔極めて少し。此等の研究は電氣分鐵を熔解し平爐鋼を加熱したるに過ぎずと雖とも一般に鐵心鈑の製造に應用する時は大に適切なる可し例は鋼塊鑄造に當り排氣⁽²⁷⁾唧筒を應用し負壓下にて鑄造するか如きは應用輕便なり、或は眞空電氣爐内に於て熔鋼を保温し次に鑄造するも佳良なる可し、或は燒鈍に於て負壓下ならしむるも便なり。

之を要するに鐵心鈑の製造に有ては新元素を追加する事及製鋼法を改良する事の兩方面に進歩す可きものなり、而して一般方法は普通薄鈑製作法と同様なるか故に各種薄鈑製作の設備及技術を有する場合には此種鈑の製作は格別至難事に非る可し。

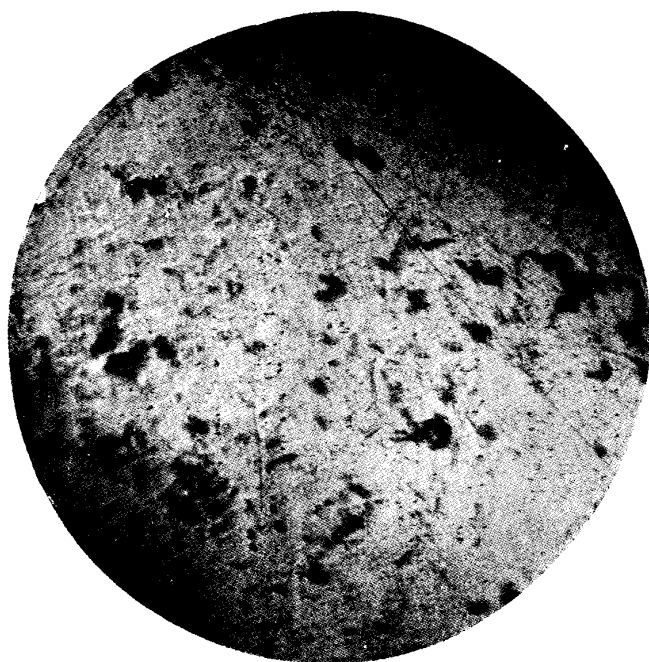
參考記事

- (1) 電氣の友五年二月號鐵と鋼五年十一月號
- (2) Adolf Holz.—Ueber der Einflutz von Fremdstoffen auf Elektrolyseisen und Seine Magnetischen

Eigenschaften.

- (3) (2)の中第十七圖及第十八圖
- (4) Wiener—Dynamo Electric machine. page 113.
- (5) (2)の37頁
- (6) (2)の53頁
- (7) Charles F. Burgess and James Aston—Metallurgical and Chemical Engineering. Vol. VIII. 131 page.
- (8) Von Paglianti—Metallurgie 1912 Seite 223.
- (9) Yensen Transactions of the American Institute of Electrical Engineering. 1914. page 461.

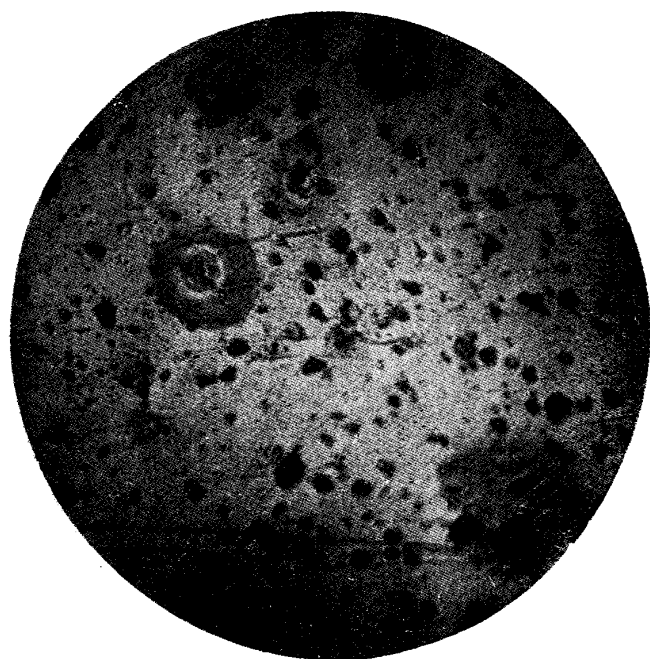
- (10) Paglianti—Metallurgie 1912 Seite 217
- (11) Linker—Elektro-technische Metzkunde seite 168
- (12) (11)-seite 175
- (13) (11)-seite 184
- (14) (11)—seite 211
- (15) (11)—seite 25
- (16) A. H. Avery—Suto-transformer design page 20.
- (17) 明治專門學校冶金實驗室
- (18) Sauvcur—The metallography of Iron and steel. lesson V. page 4.
- (19) Howe: The metallography of steel and Cast iron page 287. plate 17. 18.
- (20) Metallurgical and Chemical Engineering 1910. page 262
- (21) Stahl und Eisen. 1912. seite 1580
- (22) R. B. Carnahan's patent. No. 940,874. No. 940,875.
- (23) Iron age, 1911 page 1359
- (24) stahl und Eisen. 1912. seite 1924
- (25) (2)—seite 18 (9)—page 461
- (26) metallurgical and chemical Engineering. 1916. page. 587.
- (27) stahl und Eisen. 1912. seite. 1062. Iron Age. 1912. page. 119.



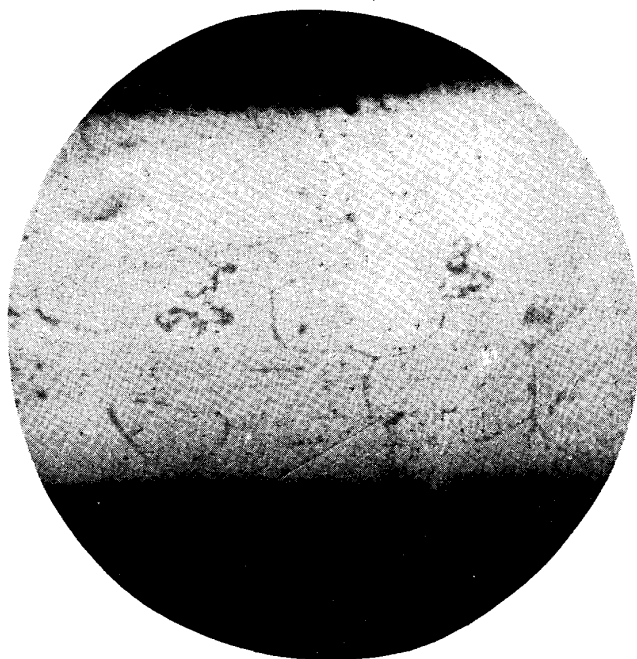
圖三十第
イロタス 鉄心 鈑
倍百三



圖一十第
HI 鉄心 鈑
倍十五百三



圖四十第
M イロタス 鉄心 鈑
倍百三



圖二十第
HI-A 鉄心 鈑
倍百三



圖七十第
鐵純製爐平
倍十六百三



圖五十第
M イロタス 鉄心 鉄
倍百三



圖八十第
のもるたし製精てに爐空眞を鐵純製爐平
倍十六百三



圖六十第
鉄心 鉄
倍十五百三