

## 普通鑄鐵及び合金鑄鐵の導磁率に就て

野 上 熊 二 \*

## MAGNETIC PERMEABILITY OF ORDINARY AND ALLOYED GRAY CAST IRON.

Kumaji Nogami.

**SYNOPSIS** :—The great disadvantage of ordinary gray cast iron, for the magnetic purpose, is the formation of graphite plates which break up the continuity of the material, and utterly ruin the magnetic successibility. The magnetic permeability of ordinary gray cast iron is increased by a reduction in the total carbon and the graphite carbon contents; the smaller the graphite, the greater the permeability, and the less the hysteresis loss, and the coercive force and the hysteresis loss are increased with an increase in carbon content, and the decrease with an increase in silicon content are generally known.

The writer has tried to see the numerical values of the magnetic permeability of ordinary gray cast iron of domestic and foreign-produced, and also investigated on the effect of aluminum alloy and described the reason why the results obtained by the writer were not the same as the conclusions given by the former investigators, and he thinks that his consideration is more practicable.

## 目 次

## 緒 言

## 第 1 章 電動機用磁気鐵の使命

## 第 2 章 實 驗

第 1 節 供試片の鑄造方法、第 2 節 供試片、第 3 節 燒鈍

第 4 節 導磁率の測定方法、第 5 節 實驗用基礎鉄鐵の撰定

第 6 節 基礎鉄鐵撰定の理由、第 7 節 普通鑄鐵の導磁率

## 第 3 章 輕銀合金鑄鐵の導磁率

第 1 節 合金の方法、第 2 節 供試片の化學的成分、第 3 節 導磁率測定の結果

## 第 4 章 結 論

## 緒 言

筆者は普通鑄造鐵材の導磁率 (Magnetic permeability) の問題につき工業的に日常鑄造せる (1) 普通炭素鋼 (2) 黒心可鍛鑄鐵 (3) 普通灰色鑄鐵及び合金鑄鐵の 4 種を試料として各化學的成分、機械的性質、熱處理效果と其導磁率との相互關係につき實驗せるものにして此内 (1) と (2) は本誌第 15 年第 10 號其他に發表せるを以て本稿は上記 (3) の結果について記述せり。

今日まで普通の灰色鑄鐵が電氣機械用材としてかなり多く用ひられて來た理由は此種鑄鐵の有する電氣並磁氣的性質を利用したものでなく、寧ろ此種鑄鐵の有する機械的性質と鑄造容易にして價が比較的廉なるために外ならなかつたのである。

普通灰色鑄鐵の導磁率に及ぼす通有元素或は組織的變化の影響については大體一致した見解はあるが、今日までの文献例へば Parshall, Reusch, Nathusius, Schweitzer, Payne Hurst, Moldenke, Hobart 等の見解には

相互間にかなり相違があるために其何れを採るべきか全く取捨に迷はさるのである。由來鐵材の機械的強度と其導磁率とは互に兩立し難いのが普通である、即ち鐵材の機械的強度の大なるものは特種の場合を除き概して導磁率は低い、然るに一般の發電機或は電動機には其電氣的性質の良いことを主とするために、これに鑄造する磁気鐵 (Magnetic yoke) には一定の機械的強度を規定せるは勿論、其導磁率の優秀にして常に齊一であることを貴ばれてをる。

例へば茲に多數の磁気鐵を鑄造したとするならばそれら鐵個々の導磁率に不同があると其中の最も低率のものを基準として所要の磁束密度 (Magnetic induction) を得るに必要な起磁力 (Magnetizing force) を各鐵鐵に計上することとなるから導磁率の優秀な鐵鐵に對しては全く不當に過量のアムペア捲數 (Ampere turns) を與へることとなり、自然空間をそれだけ多く塞ぎ、さなきだに極めて複雑せる機構をして更に窮屈ならしむ上に機體並に重量も必然的に増加する、斯る事實は常に電氣機器其物の電氣的性能を減殺するばかりでなく其製作費並に維持費等も著しく嵩むこととなる。

曾つて Partridge<sup>1)</sup> が實驗した輕銀が鑄鐵 (氏の用ひた試料鑄鐵は滿俺、珪素、磷等の含有量極めて少く黒鉛炭素量も痕跡に過ぎない全くの白色鉄鐵たる American washed-iron を基礎鐵としてをる) の導磁率に及ぼす影響は Schweitzer<sup>2)</sup> の實驗した結果と同様に輕銀量の増

<sup>1)</sup> J. H. Partridge. The Magnetic and Electric Properties of Cast Iron. J. I. S. I. No. II, 1925.

<sup>2)</sup> A. Schweitzer. Elektrotechnische Zeitschrift, April 25, 1905.

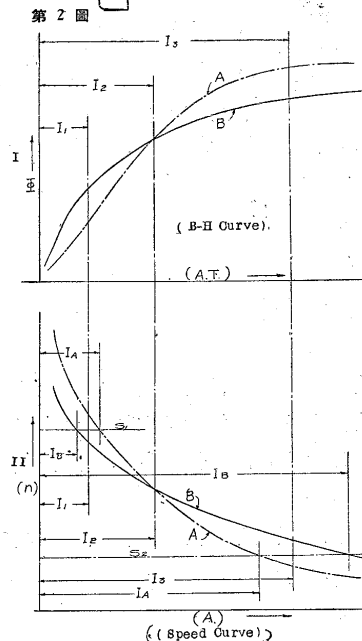
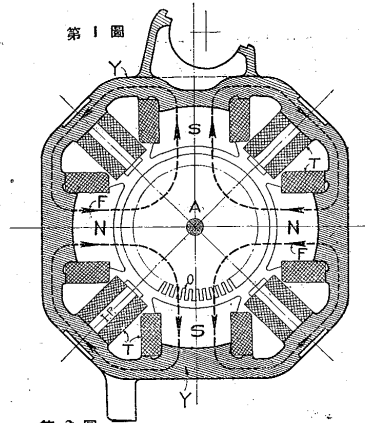
加と共に導磁率は次第に低下してをる。しかし氏は輕銀1.0%を合金して900°C.で焼鈍を施すと導磁率は著しく改善され最大導磁率(Maximum Permeability)は焼鈍前の約10倍となり、最大磁束密度(Maximum induction)も凡そ70%を増加することを發見したと公開してをる。そして氏は斯く導磁率に著しき變化を與へる理由として、輕銀のために焼鈍中化合炭素量を減じ、黒鉛炭素粒は粗大なる片葉狀から細き結節狀態に變化するためであると説てをる。

輕銀が化合炭素( $Fe_3C$ )の分解黒鉛化を助長する作用が珪素と似てをることは幾多の文献によるも明かであるが、此黒鉛化助長に關する事實は何れも白色鑄鐵を基礎鐵として、實驗した結果にして、高炭素(灰色)鑄鐵では輕銀0.5%、又低炭素鑄鐵では2.0%、の輕銀を含む場合に輕銀の影響による黒鉛作用が最高に達することも澤村博士<sup>3)</sup>の研究によりて知ることが出来る、しかし普通工業用灰色鑄鐵に輕銀を合金して焼鈍を施した結果が鑄鐵の導磁率に如何に影響するかの問題に關する研究は著者寡聞にして未だ其文献を知らず。曾つてPayne<sup>4)</sup>が普通灰色鑄鐵に輕銀を3.25%まで合金して其累増的影響について實驗した結果によると、此合金鐵鑄し狀態に於ては導磁率に何等認むべき反應のないことが知られるが氏は其合金に焼鈍を施した結果について實驗してゐない。

本文は一般工業用灰色鑄鐵の導磁率に及ぼす輕銀の影響を知る目的にて輕銀合金鑄鐵の焼鈍前後の導磁率を測定せる結果と、本實驗用基礎鐵鑄鐵撰定のために國內産及び外國産鉄鐵數種につき各導磁率測定せる結果とを併せ述べたものである。

## 第1章 電動機用磁氣鐵鐵の使命

第1圖は4極電動機の構造の概形にしてN.S.各2個の主極とこれらの各中間に1個宛の補極(IP)(Inter pole)を設けこれに各々導線Tを捲きそれに電流を通すると各主極に磁線(Magnetic flux)を起す、斯く生じた磁線Fは矢の方向に流れ電動子A(Armature)を通じて異性極に入り更に鐵轢Y(Yoke)を通じて連續回流することゝなる、磁線が斯く回流すると電動子に對して捻力(Torque)



を生じ電動子を廻轉せしむことは周知の現象である。此捻力即ち廻轉力は磁線、電流、定數の相乗積であるから一定の電流に對して磁線値が大であればそれだけ捻力も大となる、即ち電動機の性能が良いこととなる。然るに磁線回路の重要な部分を占めてをる鐵鐵の導磁率の悪いときは此部分に於て磁線は詰迫(Chock)されるから電流を消費する割合に捻力が比例して起らない即ち電動機の性能が悪いこととなる。

一般電車或は電氣機關車用電動機の性能試験は電動機速度曲線(Speed curve)によつ

て性能の良否を決定される、そして此速度曲線は次の如き方程式から定められてをる。

$$h = k \frac{e}{\Phi}$$

式中： $h$  = 電動子毎分當り廻轉數(速度)、 $k$  = 定數、 $e$  = 電壓、 $\Phi$  = 每主極當り磁線(磁束)故に今電壓を一定に保つときは

$$h = k' \frac{1}{\Phi} \quad \text{或は} \quad h\Phi = k' \quad \text{となる、即ち磁線}$$

値が大であるほど速度値は小となることが知れる。

第2圖(I)は多數の鐵鐵の代表的磁化曲線(B-H Curve)にして(此磁化曲線に關しては本誌第15年第10號に測定操作詳述せり)圖中Bの如くアムペア捲數(A.T.)(Ampere turns)の比較的弱い磁場に磁束密度 $\Phi$ の高いものもあり、又Aの如く弱い磁場ではBよりも低いが或る磁場値以上に於てはBよりも高くなる様なものもある。斯くAB互に異つた導磁率を有する鐵鐵の示すべき速度曲線は圖中IIの如くなる、即ち同一速度を示す $S_1$ の場合では曲線Bに要すべき電流 $I_B$ の値は曲線Aに要すべ

<sup>3)</sup> H. Sawamurs. Memoirs of the College of Engineering. Kyoto Imperial University. Vol. IV. No. 4.

<sup>4)</sup> D. W. Payne. The Foundry Manual. 1920.

き電流  $I_A$  よりも少くて足り、然るに速度  $S_2$  の場合には前と全く反対となり  $I_B$  は  $I_A$  よりも遙に大となることが知れる。

そして一般此種電動機に於ては磁氣繼鐵の斷面積  $1\text{ cm}^2$  當り 10,000 線以上の磁束密度を要するのであるから比較的弱い磁場に於て優秀な導磁率を現はせる曲線Bよりも曲線Aの方が寧ろ良い結果を生ずることとなるのである。これは曲線Bが其磁氣的飽和點近くに更に磁束密度を増加せしめて電動子の廻轉力を大ならしめむと欲する場合、曲線に比較して遙に多くのアムペア・捲數を要することによつても實際問題として悪い結果を生ずるからである。

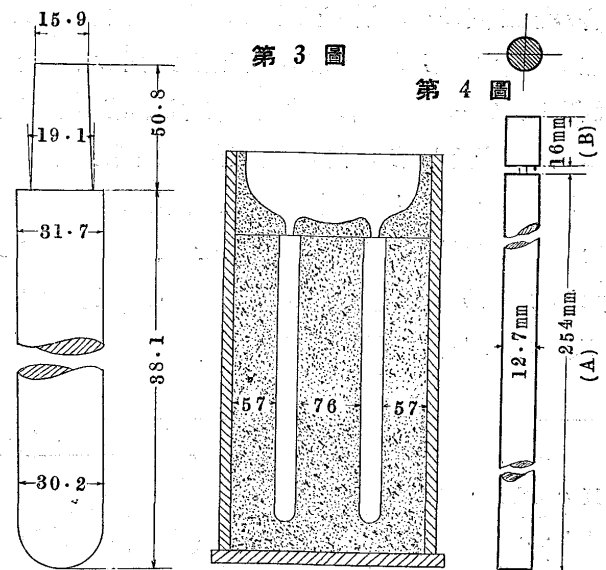
以上概説せるところによるも電動機用磁氣繼鐵の任命は極めて重大にして、萬一速度試験の結果此繼鐵の部分の導磁率不足のために速度が規定値よりも早過ぎて電動機の性能を著しく害した場合到底他の部分によつて適宜調整し得ずと決定すると全々新に繼鐵の鑄造換へを餘義なくすることとなり結果は常に製産費を嵩むるのみならず完成期は延長され自然製作者並に需用者側共に多大な迷惑を受けることとなる。従つて斯る部分には鋼と比較して導磁率の著しく劣つてを普通鑄鐵を使用することは次第に其跡を絶ち特種の場合を除く外一般に鑄鋼製磁氣繼鐵を採用されて來た以所である。

## 第 2 章 實 驗

**第 1 節 供試片の鑄造方法** 普通鑄物用鉄鐵を拳大に碎き各 40 宛を各別黒鉛製坩堝(60 番型)に装入し骸炭火熱によつて充分溶解せる後ち適當の溫度に於て第3圖の如き乾燥した砂型に各 8 本を鑄造してそのまゝ常溫に達するまで放置せり。因に各鑄型に鑄入する熔鉄の溫度を可及的に齊一に保つために 1 個の鑄口を 2 個に再別し各鑄口に 4 本宛を鑄造せり。

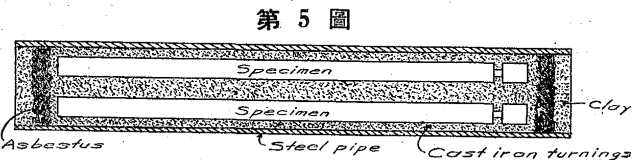
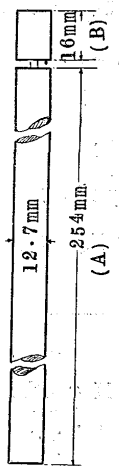
**第 2 節 供試片** 斯く鑄造した各試材を第 4 圖の寸法に仕上げて圖中Aの部分と導磁率測定にBは顯微鏡組織檢定用供試片とせり、これら試片中無疵のもの各 2 本を撰びて測定せるものにして表示せる各値はこれら 2 本の平均値に相當す。

**第 3 節 燒鈍** 鑄放し状態にある各供試片の導磁率を測定後第 5 圖の如く鋼管内に納め、加熱中に起る酸化作用を防ぐために試片削製中に生じた削屑を詰め更に管の兩端の内側に石棉其外側に粘土を用ひて密閉し骸炭火熱式焙



第 3 圖

第 4 圖



第 5 圖

爐内にて  $875^{\circ}\sim 900^{\circ}\text{C}$  の溫度に各 1 時間保留後其爐内にて常溫に達するまで徐冷せり。

**第 4 節 導磁率測定の方法** 此實驗に用ひた導磁率測定器の構造並に實測操作に關しては本誌第 15 年第 10 號に筆者の論ぜる『鑄鋼製磁氣繼鐵の導磁性に就て』中に詳説しあるを以て茲には省略せり。

**第 5 節 實驗用基礎鉄鐵の撰定** 一般鑄物用灰色鉄鐵中市場に於て比較的容易に購め得る上に、製鉄原料の關係から生ずべき鉄鐵の化學的成分の變化常に大ならざるもの 2 種類の外に外國産鉄鐵にして工業界にかなり多く知られてをるもの 3 種類を加へて第 1 表の如き化學的成分のものにつき相互の比較實驗を行ひ、其内にて實用上最も好適質と認めたものを採れり。

第 1 表

| Specimen               |         | Analysis (%) |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        |         | T.C.         | G.C.  | C.C.  | Mn.   | Si.   | P.    | S.    |
| 1 A(No.1.)             | As Cast | 3.872        | 3.349 | 0.523 | 0.280 | 1.577 | 0.268 | 0.033 |
|                        | Anneal  | 3.938        | 3.818 | 0.120 | 0.288 | 1.380 | 0.312 | 0.035 |
| 2 B(No.1.)             | As Cast | 3.769        | 3.354 | 0.415 | 0.342 | 1.968 | 0.592 | 0.064 |
|                        | Anneal  | 3.768        | 3.594 | 0.174 | 0.318 | 1.689 | 0.600 | 0.050 |
| 3 Tata.                | As Cast | 3.747        | 3.027 | 0.720 | 0.183 | 2.029 | 0.149 | 0.038 |
|                        | Anneal  | 3.676        | 3.453 | 0.223 | 0.192 | 2.000 | 0.130 | 0.049 |
| 4 Clev<br>eland.       | As Cast | 3.769        | 3.221 | 0.548 | 0.461 | 1.898 | 1.344 | 0.048 |
|                        | Anneal  | 3.954        | 3.676 | 0.278 | 0.568 | 1.769 | 1.312 | 0.033 |
| 5 Swedish<br>Charcoal. | As Cast | 4.183        | 3.605 | 0.578 | 1.378 | 0.751 | 0.056 | 0.020 |
|                        | Anneal  | 4.134        | 3.681 | 0.453 | 1.405 | 0.790 | 0.056 | 0.024 |

第 2 表は起磁力“H”に對する磁束密度“B”の各値に相當す、第 3 表は第 2 表の各最大値と化合炭素の含有量を示す。第 6 圖は供試片の組織が鑄放し状態にある

場合の導磁率(B-H)曲線とそれらの最大導磁率(B/H)の曲線に相當す。第7圖は第6圖と同じ試片に焼鈍を施して測定した(B-H)と(B/H)曲線に該當し、第8圖は第1表の化合炭素量と第3表の各値を線圖に畫きて相互的關係を明かにせり、第11圖の寫眞は各試片の焼鈍前後の組織を對照して黒鉛粒の混在状態を示せり、圖中(1)はA鉄鐵にして(2)はB鉄鐵、(3)はタター、(4)クリヴラ、(5)瑞典木炭鉄鐵に相當す。

第3表

| Specimen.           | B. max.         | H. max. | $\mu$ . max. | H. for $\mu$ . max. | C.C. (%) |
|---------------------|-----------------|---------|--------------|---------------------|----------|
| 1 A No. 1.          | As Cast. 11490  | 200     | 226          | 13.0                | 0.523    |
|                     | Annealed 11840  | 200     | 464          | 6.0                 | 0.120    |
| 2 B No. 1.          | As Cast. 11200  | 200     | 300          | 8.0                 | 0.415    |
|                     | Annealed. 11580 | 200     | 500          | 4.5                 | 0.174    |
| 3 Tata              | As Cast. 11120  | 200     | 280          | 11.0                | 0.720    |
|                     | Annealed. 11040 | 200     | 478          | 3.5                 | 0.223    |
| 4 Cleve- and.       | As Cast. 11290  | 200     | 376          | 7.5                 | 0.548    |
|                     | Annealed. 11440 | 200     | 633          | 3.0                 | 0.278    |
| 5 Swedish Charcoal. | As Cast. 10240  | 200     | 145          | 15.0                | 0.578    |
|                     | Annealed. 10060 | 200     | 190          | 15.0                | 0.453    |

第6節 基礎鉄鐵撰定の理由

第2表

| Magnetizing Force. Gilberts per cm. | Pig Iron                         |          |            |          |         |          |             |          |                    |          |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------|------------|----------|---------|----------|-------------|----------|--------------------|----------|
|                                     | 1 A(No.1)                        |          | 2 B(No.1.) |          | 3 Tata  |          | 4 Cleveland |          | 5 Swedish Charcoal |          |
|                                     | As Cast                          | Annealed | As Cast    | Annealed | As Cast | Annealed | As Cast     | Annealed | As Cast            | Annealed |
|                                     | Flux Density (lines per Sq. cm.) |          |            |          |         |          |             |          |                    |          |
| 1.7                                 | 150                              | 400      | 200        | 650      | 200     | 600      | 250         | 600      | 100                | 150      |
| 3.0                                 | 350                              | 1000     | 400        | 1500     | 450     | 1350     | 600         | 1600     | 250                | 300      |
| 4.2                                 | 550                              | 1900     | 800        | 2300     | 850     | 2000     | 1100        | 2500     | 450                | 550      |
| 6.2                                 | 1100                             | 3000     | 1700       | 3200     | 1550    | 2800     | 2200        | 3500     | 850                | 1000     |
| 10.5                                | 2600                             | 4300     | 2900       | 4250     | 2700    | 3700     | 3500        | 4500     | 1850               | 2000     |
| 14.5                                | 3600                             | 5150     | 3750       | 4800     | 3450    | 4300     | 4300        | 5200     | 2650               | 2750     |
| 21.5                                | 5000                             | 6100     | 4850       | 5700     | 4500    | 5200     | 5400        | 6000     | 3800               | 3850     |
| 30.0                                | 5900                             | 6700     | 5800       | 6300     | 5300    | 5800     | 6150        | 6500     | 4500               | 4600     |
| 38.0                                | 6500                             | 7300     | 6200       | 6800     | 5900    | 6200     | 6700        | 7000     | 5200               | 5200     |
| 53.0                                | 7550                             | 8000     | 7150       | 7600     | 6800    | 6950     | 7600        | 7700     | 6100               | 6100     |
| 78.0                                | 8550                             | 9000     | 8250       | 8600     | 7900    | 7900     | 8500        | 8600     | 7200               | 7200     |
| 118.0                               | 9800                             | 10100    | 9500       | 9750     | 9300    | 9200     | 9750        | 9700     | 8500               | 8400     |
| 156.0                               | 10700                            | 11000    | 10400      | 10600    | 10300   | 10100    | 10550       | 10600    | 9500               | 9350     |
| 193.0                               | 11400                            | 11750    | 11100      | 11400    | 11000   | 10900    | 11300       | 11300    | 10200              | 10100    |
| 228.0                               | 11900                            | 12300    | 11700      | 12000    | 11700   | 11600    | 11800       | 11800    | 10900              | 10800    |

斯く實驗

せる結果

について比

較すると次

の如き決定

條件を認め

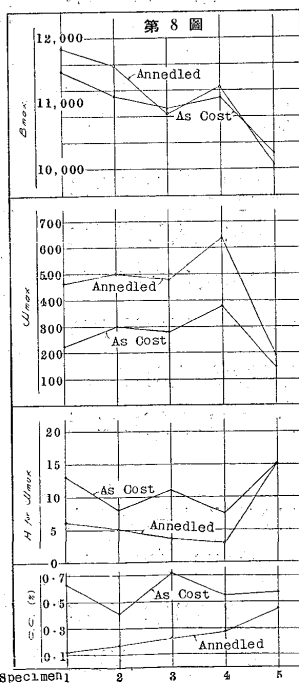
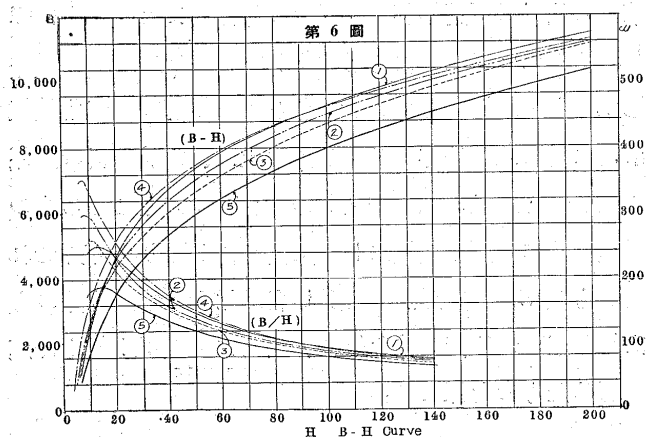
得る、即ち

第6圖中曲

線(4)は第

7圖の曲線

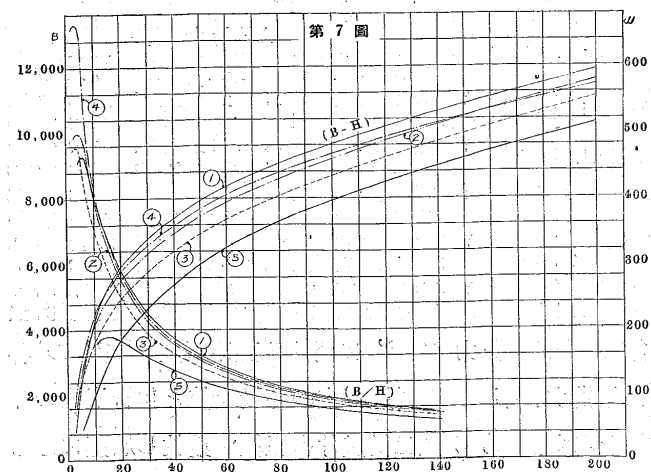
(4)と同一



材質にして焼鈍前後共に比較的弱い磁場に於て優れた導磁率を有してをる、しかし此事實は變壓器用鐵心の如き部分に使用するに適した傾向を認め得るも、磁氣鐵鐵の如き用途に對しては寧ろ中位若しくはそれ以上の磁場に於て磁束密度値の高いことを貴ぶから此意味に於て實驗試料としては圖中曲線(1)に該當するA鉄鐵が他の何れよりも好適であることが判る、故に本實驗には此鉄鐵を基礎鐵として採用せり。

### 第7節 普通鑄鐵の導磁率

普通の灰色鑄鐵は磁氣的に中性にして比較的粗大なる黒鉛粒多く更に磁氣的に最も有害である化合炭素量も少くない上に黒鉛粒の周圍には無數の氣孔を有する等の事實は鑄鐵の含む炭素以外の通有元素の惡作用と相俟つて普通炭素鋼に比し著しく導磁率



は劣つてをるのである、そして等しく灰色鑄鐵でも其化學的成分、鑄造溫度並に冷却速度の不同による組織的變化、熱處理效果等によりて導磁率を互に異にすることは鋼の場合と同様であることは説明を要しないと思ふ。

第1表に示せる各鉄鐵の含有する炭素量は互に相似であるが一度これを焼鈍すると化合炭素量に著しき變化を與へる、中には瑞典木炭鉄鐵のみは此化合炭素量に餘り變化を認めない、これは同鉄鐵の含有する滿俺量が他と異つて特に多き上に珪素と磷が比較的少量であることが焼鈍中に化合炭素の黑鉛化を困難ならしめてをる、従つて導磁率も著しく劣つてをる。次にクリーブランド鐵の最大導磁率が焼鈍前後共に最も勝れてをるがこれは含有磷量が著しく大であるために磷化鐵 ( $Fe_3P$ ) が鐵中に固溶體となつて炭素の鐵に對する溶解限量を低下したことが主因と考へらる。

又A鉄鐵の導磁率が焼鈍前後共に中位以上の磁場に於て其磁束密度が最も勝れてをることは、通有元素量が互に調和を保ち黑鉛粒が一樣に發達し粒に大小の不同少く最も平均された組織にあつたことが主因で、恰も低炭素鋼を油中に健淬したためにパーライトがソルバイト化して全體一樣に擴散し起磁力がこれに誘磁する強さに達すると磁束密度が増加するのと同じ現象に由來してをるものと考へらる、此事實によると灰色鑄鐵の場合にも組織的に齊一であることは他の磁性體と同様に磁氣的に一要素であることが認めらる。

### 第3章 輕銀合金鑄鐵の導磁率

第1節 合金の方法 第2章 第1節に述べた操作によりて熔解した熔鑄鐵中に純質輕銀棒を加へ充分攪拌して

第4表

| Specimen. | Basemetal<br>kgs. | Al. added<br>kgs. | Cast at<br>* °C |
|-----------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 1         | 30                | 0.15              | 1440            |
| 2         | 30                | 0.30              | 1430            |
| 3         | 30                | 0.45              | 1430            |
| 4         | 30                | 0.60              | 1450            |
| 5         | 30                | 0.80              | 1460            |

\* Temperature measured with Foster's Optical Pyrometer.

第3圖の如き鑄型に鑄造して常溫に達するまで放置せり、此輕銀配合の割合と鑄造時の溫度は第4表の如し。

### 第2節 供試片の化學的成分

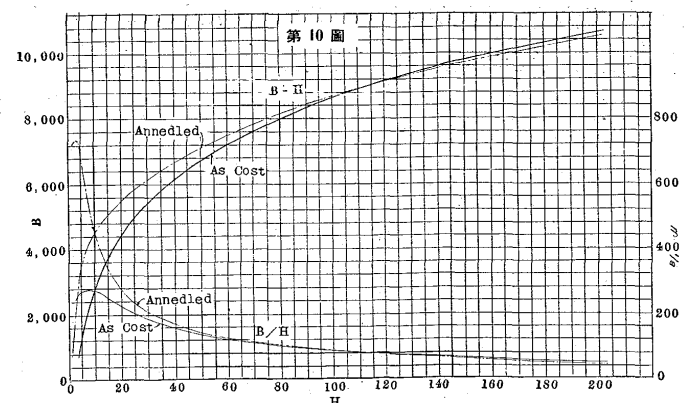
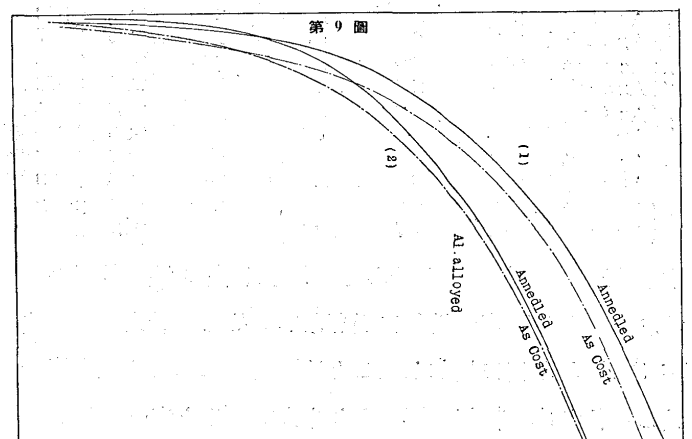
斯く鑄造せる合金鑄鐵

を第4圖の寸法に仕上げて導磁率を測定せる後第5圖の如き方法によりて 875°~900°C にて 1 時間保留して常溫に達するまで其爐内に放置せり、第5表は此合金鑄鐵焼鈍前後の化學的成分にして第12圖の寫眞はその顯微鏡組織なり。

### 第3節 導磁率測定の結果

第6表は此合金鑄鐵焼鈍前後の導磁率測定の結果にして第9圖は第1表の1と第5表の2との各焼鈍前後の B-H 曲線を對照せるものにしてこれら曲線の傾向によれば輕銀合金の影響は焼鈍前後共に弱い磁場に於て導磁率を好化するが中位若しくはそれ以上の磁場に於ては反つて有害であることが判る。

第10圖は各試片の導磁率が第7表の如く互に接近せるためにこれら焼鈍前後の平均値によりて畫ける B-H 曲線にして焼鈍後の導磁率は比較的弱い磁場に於ては勝れてをるが  $H = 117$  ギルバート毎厘附近よりから鑄放し狀態の



第5表

| Specimen | As Cast. |      |      |      |      |      |       | Annealed. |      |      |      |       |       |       |
|----------|----------|------|------|------|------|------|-------|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|
|          | G.C.     | C.C. | Mn.  | Si.  | P.   | S.   | Al.   | G.C.      | C.C. | Mn.  | Si.  | P.    | S.    | Al.   |
| 1        | 3.23     | 0.62 | 0.19 | 2.16 | .128 | .063 | .232  | 3.70      | 0.15 | 0.24 | 2.12 | 0.176 | 0.076 | .277  |
| 2        | 3.15     | 0.67 | 0.19 | 2.22 | .128 | .067 | .998  | 3.61      | 0.21 | 0.24 | 2.11 | 0.176 | 0.074 | .978  |
| 3        | 2.87     | 0.68 | 0.20 | 2.18 | .124 | .047 | 1.331 | 3.58      | 0.13 | 0.22 | 2.10 | 0.180 | 0.047 | 1.242 |
| 4        | 2.82     | 0.87 | 0.20 | 2.17 | .136 | .063 | 1.887 | 3.53      | 0.15 | 0.19 | 2.10 | 0.196 | 0.043 | 1.839 |
| 5        | 3.04     | 0.68 | 0.20 | 1.95 | .128 | .046 | 2.163 | 3.48      | 0.21 | 0.18 | 1.94 | 0.172 | 0.057 | 1.980 |

第 6 表

| Magnetizing Force.<br>Gilberts<br>per cm. | 1                                |          | 2       |          | 3       |          | 4       |          | 5       |          |
|-------------------------------------------|----------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
|                                           | As Cast                          | Annealed | As Cast | Annealed | As Cast | Annealed | As Cast | Annealed | As Cast | Annealed |
|                                           | Flux Density (Lines Per Sq. Cm.) |          |         |          |         |          |         |          |         |          |
| 1.1                                       | —                                | 750      | —       | 700      | —       | 750      | —       | 700      | —       | 600      |
| 1.7                                       | 200                              | 1500     | 200     | 1500     | 200     | 1550     | 200     | 1500     | 200     | 1250     |
| 2.3                                       | 300                              | 2100     | 300     | 2100     | 300     | 2200     | 300     | 2100     | 300     | 1900     |
| 3.0                                       | 450                              | 2650     | 500     | 2600     | 500     | 2700     | 500     | 2600     | 450     | 2400     |
| 4.4                                       | 900                              | 3300     | 900     | 3300     | 900     | 3350     | 900     | 3300     | 900     | 3000     |
| 6.7                                       | 1700                             | 3900     | 1700    | 3900     | 1700    | 4000     | 1700    | 3900     | 1700    | 3600     |
| 10.8                                      | 2800                             | 4600     | 2800    | 4600     | 2850    | 4600     | 2800    | 4600     | 2750    | 4300     |
| 14.5                                      | 3550                             | 5000     | 3500    | 5000     | 3600    | 5000     | 3600    | 5000     | 3500    | 4650     |
| 22.0                                      | 4550                             | 5650     | 4550    | 5650     | 4700    | 5700     | 4700    | 5650     | 4550    | 5300     |
| 30.0                                      | 5300                             | 6100     | 5250    | 6100     | 5400    | 6100     | 5400    | 6150     | 5250    | 5800     |
| 37.5                                      | 5850                             | 6500     | 5800    | 6500     | 6000    | 6550     | 6000    | 6600     | 5800    | 6250     |
| 53.0                                      | 6750                             | 7200     | 6750    | 7150     | 6850    | 7200     | 6850    | 7200     | 6750    | 6800     |
| 76.0                                      | 7700                             | 8000     | 7700    | 7950     | 7750    | 7900     | 7850    | 8000     | 7700    | 7600     |
| 115.0                                     | 9000                             | 9000     | 8900    | 8900     | 9000    | 8850     | 9000    | 8950     | 8900    | 8600     |
| 151.0                                     | 9750                             | 9750     | 9700    | 9650     | 9800    | 9600     | 9800    | 9700     | 9700    | 9400     |
| 186.0                                     | 10450                            | 10300    | 10250   | 10250    | 10450   | 10200    | 10400   | 10250    | 10300   | 9950     |
| 217.0                                     | 10900                            | 10750    | 10750   | 10750    | 10900   | 10600    | 10850   | 10700    | 10800   | 10400    |

方が高い磁束密度値を現はしてをる。そして第7表に示せる如く最大導磁率は焼鈍前後に於て 1:4 弱の増加に過ぎ

第 7 表

| Specimens.   | $\mu$ . max | H. for $\mu$ . max | B. max. | H. max. | C.C. (%) | Al. (%) |
|--------------|-------------|--------------------|---------|---------|----------|---------|
| 1 { As Cast  | 270         | 8.0                | 10.620  | 200     | 0.62     | 0.232   |
| 1 { Annealed | 913         | 2.3                | 10.500  | 200     | 0.15     | 0.277   |
| 2 { As Cast  | 270         | 8.0                | 10.600  | 200     | 0.67     | 0.998   |
| 2 { Annealed | 913         | 2.3                | 10.500  | 200     | 0.21     | 0.978   |
| 3 { As Cast  | 270         | 8.0                | 10.620  | 200     | 0.86     | 1.331   |
| 3 { Annealed | 1000        | 2.0                | 10.360  | 200     | 0.13     | 1.242   |
| 4 { As Cast  | 270         | 8.0                | 10.620  | 200     | 0.87     | 1.887   |
| 4 { Annealed | 913         | 2.3                | 10.400  | 200     | 0.15     | 1.839   |
| 5 { As Cast  | 270         | 8.0                | 10.550  | 200     | 0.68     | 2.163   |
| 5 { Annealed | 788         | 1.7                | 10.160  | 200     | 0.21     | 1.920   |

ず又最大磁束密度には殆んど變化なく 僅に焼鈍効果の現はれと見らる程度の増加に過ぎない。そして最大導磁率値が 3 乃至 4 倍に増加したことは同表中に示せる化合炭素量の變化が寧ろ輕銀の影響よりも大であると考へらる。又此化合炭素量の變化が輕銀のために起つたものでないことも同表中に示せる輕銀含有量と對照して明かに認め得る。

前記の結果から考へるならば Partridge<sup>1)</sup>の發見した輕銀の影響は普通灰色鑄鐵の場合には起らないと考へらる。

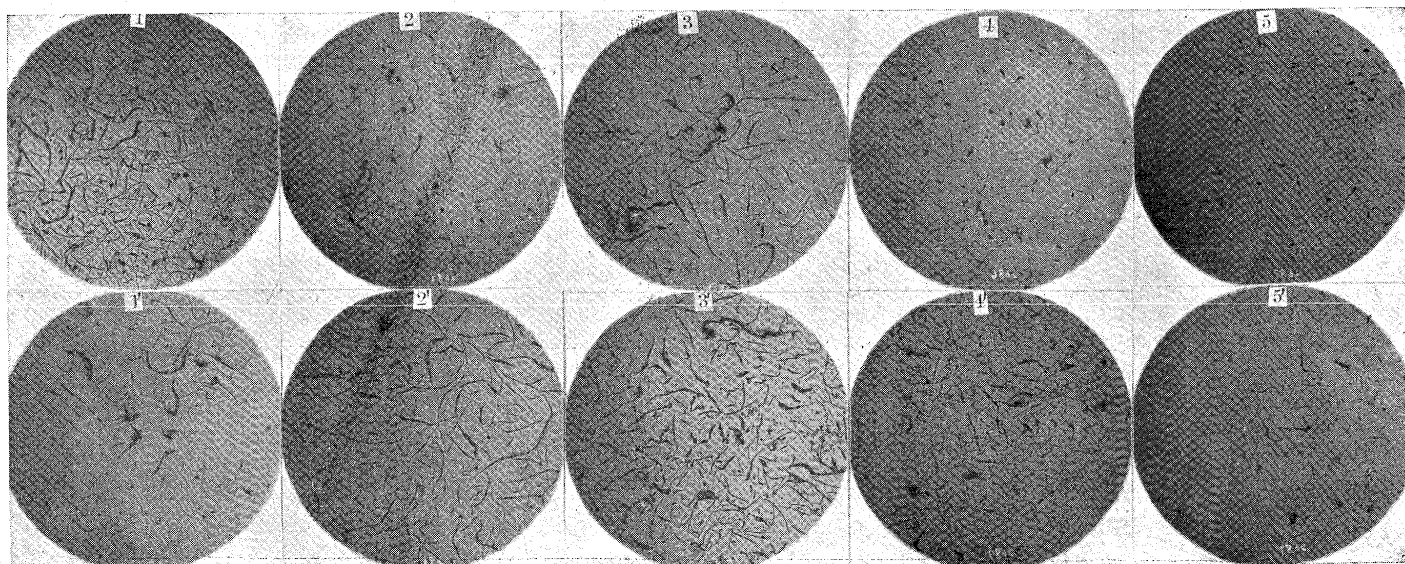
第8表は Partridge の用ひた American washed iron と筆者の用ひたA銑鐵と化合成的成分を比較せるものにして兩者の用ひた基礎鐵の化學的成分に著しき相異のあつたことが結果に一致を齎らざりしものと思ふ。

第 12 圖の寫眞面によるも輕銀のために黒鉛粒に幾分影響してをるとも考へらるが其差甚だ判然としない程度に過ぎぬ。これを要するに輕銀を合金した鑄鐵を焼鈍することによつて其導磁率が著しく改善されとの説は特異の場合に限られ普通工業用灰色鑄鐵の場合には當嵌まらないことを知つた。

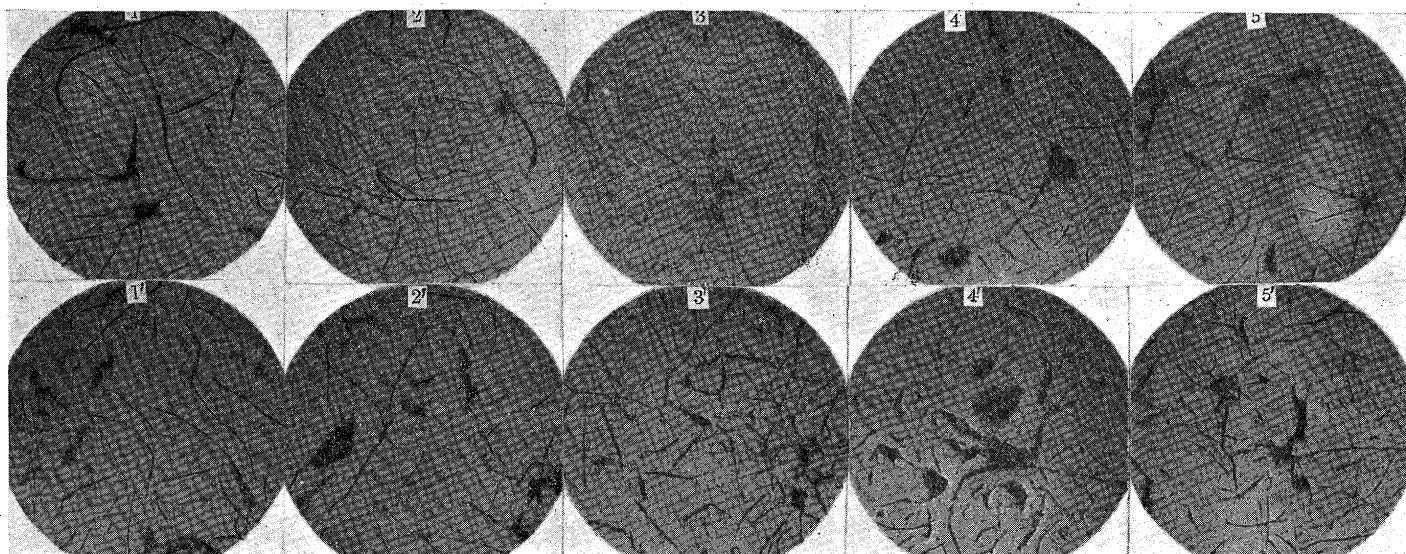
第 8 表

| Specimen.   | T.C. | C.C. | G.C. | Mn.   | Si.   | P.    | S.    |
|-------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| American.   | 3.16 | 3.16 | —    | Trace | 0.046 | Trace | 0.016 |
| washed iron | 3.84 | 3.84 | —    | "     | 0.030 | "     | 0.020 |
| Average.    | 3.50 | 3.50 | —    | "     | 0.038 | "     | 0.018 |
| A.          | 3.87 | 0.52 | 3.35 | 0.280 | 1.577 | 0.268 | 0.033 |

第 11 圖



第 12 圖



## 第 4 章 結 論

- (1) 普通灰色の鑄鐵の通有元素量と導磁率との關係は大體に於て普通炭素鋼と似てをる。
- (2) 黒鉛粒及びパーライト粒の混在狀態或は其多少によつて導磁率に著大な變化を與へる。
- (3) 導磁率に及ぼす焼鈍の影響は鋼の場合よりも著しく大である、これは主として焼鈍によりて化合炭素量を減じ自然パーライト粒にも變化を與へるためである。
- (4) 焼鈍によりて化合炭素が消滅する割合は共存滿俺量と反比例するから滿俺含有量は少い方が良いこれは普通炭素鋼の場合と似てをる。

- (5) 黒鉛粒が克く發達して一様に擴散してをることは導磁率の良いことを暗示する、これは要するに鑄鐵の化學的成分、鑄造溫度、鑄造後の冷却速度、焼鈍效果等によつて黒鉛粒を一様に發達せしむる種々の條件が導磁率を良くする原因と一致してをるためである。
- (6) 筆者の實驗した結果では鑄鐵の導磁率に及ぼす輕銀合金の影響を判然と認め得ない、即ち此輕銀の影響は鑄鐵の有する他の元素のために輕重の變化を生じ普通の灰色鑄鐵に 2.0% 以下の輕銀を合金したものは其焼鈍前後共に導磁率に餘り影響を與へない。

—(完)—