

## ROSEリポジトリいばらき（茨城大学学術情報リポジトリ）

Title	強磁性現象の基本に関する概念的一仮説
Author(s)	浜野, 治人
Citation	茨城大学工学部研究集報(2(1)): 21-27
Issue Date	1949-09
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10109/7393">http://hdl.handle.net/10109/7393</a>
Rights	

このリポジトリに収録されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作権者に帰属します。引用、転載、複製等される場合は、著作権法を遵守してください。

お問合せ先

茨城大学学術企画部学術情報課（図書館） 情報支援係  
<http://www.lib.ibaraki.ac.jp/toiawase/toiawase.html>

## 強磁性現象の基本に関する概念的ー仮説

A Conceptive Hypothesis on the Fundamental  
Ferromagnetic phenomena.

濱野 治 人 (H. Hamano)

§.1. ABSTRACT— This paper offers a hypothetic conception on the origin of the ferromagnetic phenomena.

In §.2, the states of electrons in the 3d layer are briefly discussed. The five are considered to be the normal bound electrons filling up the inner part (named 3d<sub>1</sub> layer in this paper) of the 3d layer, and the remaining 3d electrons in the outer layer (named 3d<sub>2</sub> layer in this paper) to be free electrons revolving as the bound electrons do.

Then, the electrons in the 3d<sub>2</sub> layer can produce the magnetic field in their orbits as the electric current in a circular turn of wire, and with this magnetic field they forms the smallest electromagnets named "elementary magnet". The 3d<sub>2</sub> electrons are named "magneto-electron" in this paper.

In §.3, the magnetizing courses which produce the Dr. Kaya's magnetization curves of Fe single crystal are explained conceptually.

And in §.4, the saturation value  $I_s$  of the intensity of magnetization is calculated with the Fe single crystal using the principle of the magnetic field produced by the current flow in a circular turn of wire, and found to be 1740. This value coincides with that regarded as true at 0° K.

### §.2. 強磁性体の原子構造とその結晶中の電子の状態

Fe, Co, Ni の強磁性が 3d 準層の特異性より発していることは最近の強磁性理論に於て認められているが、本節には 3d 準層にある電子の状態と自発磁気が生じる状況を考察した結果を述べる。

次の表は強磁性三元素 Fe, Co, Ni 及びこれらの前後に位置する V, Cr, Mn, Cu の原子中の電子分布を示したものである。

元素	原子価	K		L			M			N	
		1s	2s	2p	3s	3p	3d		4s	4p	
							3d <sub>1</sub>	3d <sub>2</sub>			
V	3, 5	2	2	6	2	6	3		2	—	
Cr	3, 6	2	2	6	2	6	5		1	—	
Mn	2, 4, 6, 7	2	2	6	2	6	5		2	—	
Fe	2, 3	2	2	6	2	6	5	1	2	—	
Co	2, 3	2	2	6	2	6	5	2	2	—	
Ni	2, 3	2	2	6	2	6	5	3	2	—	
Cu	1, 2	2	2	6	2	6	10		1	—	

3d 準層は 10 個の電子で満されるのであるが、5 個でも十分安定なエネルギー準位を保ち得ることは、3d 準層の電子分布が 3 個より 5 個へ飛躍することからも知られる。

仮に Fe, Co, Ni の 3d 電子 5 個が満している層を 3d<sub>1</sub>、他を 3d<sub>2</sub> 層と名づける。

N 層の 4s 電子は結晶中では自由電子であることは勿論である。3d<sub>1</sub> 電子は 4s 電子よりも後で増加するので 4s 電子より高 P.E. (ポテンシャルエネルギー) 準位で自由電子になっている筈であるが、3d<sub>1</sub> 層は 5 個の電子で一応満された形になっていて振動も小であり、之等の電子は安定な閉殻円形軌道を運動し束縛電子になっていると考えられる。このことは又 Fe, Ni, Co の価電子が何れも 2 個と 3 個とであることから知られる。

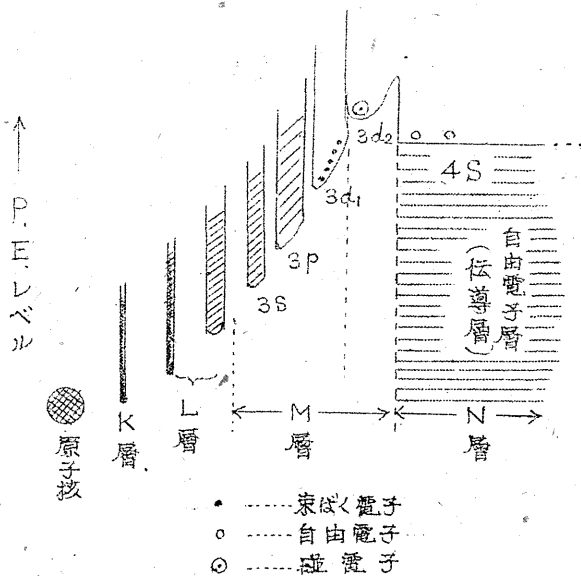
3d<sub>2</sub> 電子は最後に増加した電子であって、強磁性体では 3d<sub>2</sub> 層は満されていず且つ最も高い P.E. レベルであり、他よりの振動が大であり一種の自由電子であるが、3d<sub>2</sub> 層は常温では M 層の 3d 準層に属し、3d<sub>2</sub> 電子は円形軌道を持ち得ると同時に、原子核との間に静電吸引力が作用しているので 3d<sub>1</sub> 電子によって運動力が与えられ、この軌道を運動して居て原子核との間の静電吸引力と遠心力とが釣り合っていると考えられる。

この場合 3d<sub>2</sub> 電子のスピン軸の方向は大體運動軸の方向になり、従

って円形線電流と同様磁物が生じる。今仮にこれによって生じる小磁磁石を素磁石、 $3d_2$  電子を磁電子と名づける。

Feでは完全磁電子が1個あるが、Coでは完全磁電子が1個で、これの内側に不完全磁電子が1個あると考えられる。Niでは1個はやはり完全な磁電子であるが内側の2個は不完全な磁電子で東ばく電子的性質があるようである。

上記の電子の状態とその P.E. レベルとをわかりやすく Fe 結晶について図示すれば次のようになる。中間層は強磁性現象を生じる部分であ



って、常温及び低温では完全に M 層に属して原子球の最外層になっているが、温度が上昇すると自由電子層的性質をもつようになり、磁気変態点以上では殆ど自由電子層になる。

### §. 3. 磁化機構の考察

前節に於いて  $3d_2$  層に磁電子が存在し、之の週動軌道内に磁場が生じることを説明したが、磁電子は一種の自由

電子であるから東ばく電子の場合と異なり、その軌道軸やスピン軸の方向は磁化方向に一致し得る性質がある。

Fe 単結晶の三主要軸  $[100]$ ,  $[110]$  及び  $[111]$  方向に細長い三種類の単結晶  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  を長さの方向に磁化する場合の茅博士の磁化曲線について磁化機構を考察する。

先ず磁化されていない場合即ちキュリー点以上の温度から冷却したときの磁電子の軌道軸の方向は各々異なって居り、又之のスピン軸の方向も軌道軸の方向に対して大いた傾き、従って磁電子によって生じる磁場は甚だ弱い。この磁場が互に異った方向になっているため之等の合成磁場は極めて弱く、方向だけは大体  $[100]$  軸方向に近いようである。結果として外部に磁気が全く現われないのは当然である。

$\alpha$  単結晶を磁化する場合、 $0.3(0e)$  以下の弱い外磁場で磁化の強さは 100 位になる。このとき全磁電子の軌道軸とスピン軸の方向が、外磁場の方向に多少一致するが、磁電子磁場従って素磁石の強さがまだ甚だ弱く、又連鎖磁束数が甚だ小である。外磁場が之より僅かに大になると、スピン軸も軌道軸も一層磁化方向に揃い、素磁石の強さが大になると同時に連鎖磁束数も増加し、磁化の強さは急激に大になり、外磁場が  $1(0e)$  以下で常温飽和値  $I_s = 1710$  に近い 1620 位になる。このときバルクハウゼン効果が生じるが、之は連鎖磁束数の増加と軌道軸の回転とが不連続的であることによるものと解される。

$I_s$  に於いては全磁電子の軌道軸とスピン軸とが正しく磁化方向に一致している。又このとき各素磁石を出入する磁束は 4 方向に分裂しているので之を仮に四裂磁極の素磁石と名づけることが出来る。 $I = 1000$  位より四裂磁極の分裂角度が小になる傾向によって生じる力が大になり、正磁歪  $+\frac{d\theta}{\theta}$  が生じ之が磁化の強さ従って連鎖磁束数が大になるに従って大になる。

この場合外磁場が零になると残留磁気の強さは 1600 以上であるが原因は連鎖磁束が磁電子のスピン軸の方向を変化させないように働き連鎖磁束が殆ど変化しないためである。

逆外磁場が  $0.2(0e)$  以下で一部の磁電子のスピン軸の方向が乱れこの素磁石が弱くなり、このため連鎖が破れ、この現象が累積的に生じ、各素磁石が磁化以前の種々の方向に復することによって磁化の強さが急激に零になる。

以上の磁化によって結晶内に磁歪が残って居り、又軌道軸やスピン軸が磁化方向に廻り易くなっているため、次に磁化する場合には最初よりも弱い外磁場で磁化の強さは急激に増加する。

次に  $\beta$  単結晶の場合は、 $0.5(0e)$  以下の外磁場で達し得るところの容易磁化の強さ  $I_e$  は 1200 位であって、これ以上では  $I$  は外磁場  $H_e$  に比例した形で増加し  $H_e = 650(0e)$  位で  $I_s = 1710$  になる。

$1620/\sqrt{2} = 1160$  より多少大である。 $I_e = 1200$  位までは全素磁石の方向は磁化方向に近い  $[10e]$  軸方向に揃っていると考えられ、 $I$  が之以上では素磁石は連鎖状のまゝその方向を  $[110]$  方向に変え、 $I_s = 1710$  で  $[110]$  方向と一致する。この場合素磁石の磁極は四裂磁極より二裂磁極に変わる。二裂磁極では隣接した磁束連鎖間にも磁氣的つながり

がなくなり、結晶体は横方向には膨脹し従って縦方向に収縮するため負磁歪  $-\frac{d\beta}{\beta}$  が生じ、磁化の強さが  $I_e$  より  $I_s$  まで変化するに従って次第に増加すると考えられる。

C 単結晶の磁化も  $I_e$  は  $1620/\sqrt{3} = 930$  より求められ、 $I_e = 1000$  位である。これまでは全素磁石の方向が  $[100]$  方向に揃い、これ以上では  $[100]$  方向より  $[111]$  方向へ変り、 $I$  は  $H_e$  に比例した形で増加し、 $H_e = 430$  ( $O_e$ ) 位で  $I_s = 1710$  となる。

$I = 1000$  位より負磁歪が生じ  $I_s$  まで次第に増加する。この場合の素磁石は非分裂磁極であって、一つの素磁石連鎖と之に隣接する素磁石連鎖との間にも磁束連鎖がないので、横方向に膨脹し易く従って縦方向の収縮が可能になる。一つの連鎖列の中では素磁石間に吸引力が生じ縦方向の収縮即ち負磁歪が生じる。

以上の考察では磁区が存在を殆ど認めなかったが、之があるとしても最初に説明したように磁化されない状態に於いてそれらしい存在が考えられ、その強さも極めて弱いものである。若し常に磁区が存在して磁化の強さの飽和値程度の自発磁気をもっているとするれば何等かの機会に之が外部に現われる可能性があり、例えばブラウン運動を行う微粒子の例もある通り強磁性体の微粒子の鉄への附着力に異状性が認められる等の現象が生じる筈である。

バルクハウゼン効果や  $Fe$  単結晶に張力を加えると誘導電圧が発生する現象が磁区が存在を証明するという説が有力であるが、之等の効果は必ずしも張力を磁区が存在しなくても発生し得るのであって、 $\alpha$  単結晶に張力を加えると弱いながら存在する前記の弱磁区の強さが一時的に大になって電圧が誘導されると考えることが出来る。バルクハウゼン効果については既に説明した通りである。

単結晶でない普通の純鉄の磁化の場合は、各結晶粒の磁化方向に近い  $[100]$  軸の方向と磁化の方向との間の角度が種々であり、又各結晶粒も一種の大きな磁区と考えられる真が異なるが、磁化の様子も単結晶の場合に類似しているから説明を省略する。

#### §.4. 磁化の強さの飽和値 $I_s$ の計算.

$Fe$  単結晶の  $I_s$  を本論の原理によって計算する。

$3d_2$  電子即ち磁電子は  $3d_1$  束ばく電子の影響によって円形軌道を廻動していて、その速度  $v$  は遠心力と静電吸引力との釣合の関係式

$$m v^2 / a = e^2 / a^2 \quad \text{より}$$

$$v = \frac{e}{\sqrt{m a}} \quad \text{である.}$$

$e$ .....電気素量 e.s.u.,  $m$ .....電子の質量,  $a$ .....磁電子軌道の半径

磁電子軌道内の磁場の中心の強さは円形線電流の場合と同じ原理によって,

$$H = \frac{2 \pi (\text{Q/sec}) e.m.u.}{a} \quad e.m.u. \text{ である.}$$

$(\text{Q/sec}) e.m.u.$ .....磁電子軌道の一稜を1秒間に通る電気量.

$$(\text{Q/sec}) e.m.u. = \frac{v e}{2 \pi a c} \quad c \text{..... 光の速度}$$

故に 
$$H = \frac{v e}{a^2 c} = \frac{e^2}{a^2 c \sqrt{m a}} \quad e.m.u.$$

次に一つの軌道内の全磁束  $\Phi$  を求める.

軌道内各部の磁束の分布は一樣でなく、中心より軌道に至るに従って大になり、軌道に接した部分では極めて大である。磁束の分布が平均に近い部分の磁場の強さを円形線電流の場合より求めると、之を  $2.1 H$  として大差がない。故に

$$\Phi = 2.1 H \pi a^2$$

磁化の強さが  $I_s$  の場合には総ての磁電子の軌道は  $(100)$  面に一致して居り、軌道内の磁場の方向は総て  $(100)$  面に垂直即ち  $[100]$  軸と一致していること、及び他の磁電子磁場が之による影響は唯この磁場内に生じる磁束を総て磁化方向に向かせることにあることが考えられるので、 $(100)$  面に一致する平面の  $1 \text{ cm}^2$  内にある軌道内に生じる磁束の総合計歪は

$$\Phi = 2.1 H \pi a^2 \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \quad d \text{..... 格子常数}$$

となる

$$I_s = \Phi / 4 \pi \quad \text{である故に}$$

$$I_s = \frac{1.05 H a^2}{2 d^2} = \frac{1.05 e^2}{2 c \sqrt{m a} d^2} \quad \text{である.}$$

$$e = 4.804 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.} \quad c = 3 \times 10^{10} \text{ cm,}$$

$$m = 9.105 \times 10^{-28} \text{ g,} \quad d = 2.86 \times 10^{-8} \text{ cm,}$$

$$a = d/k = 0.88 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

( $k$  は Slater の比で Fe では 3.26 である)

之等の数値を用いると

$$I_s = 1740 \quad \text{となる。}$$

之は現在考えられている  $0^\circ\text{K}$  附近の値と一致する。従つて強磁性体の磁化現象が磁電子の廻動によつて円形線電流の場合と同じ現象を基に生じていることの一つの証明になるのではないかと思う。

次に参考のため一素磁石の最大磁気能率  $\mu_m$  を求めると、

$$I_s = N\mu_m \quad \text{より} \quad \mu_m = I_s/N$$

$N$  は単位体積中の素磁石 従つて原子の数で

$$N = L_0 \rho / A = 0.855 \times 10^{23}$$

$$L_0 \text{ --- ロジミット数} = 6.06 \times 10^{23}, \quad \rho \text{ --- 比重}, \quad A \text{ --- 原子量}$$

故に  $\mu_m = 2.04 \times 10^{-20}$  である。

### §.5. 終りに

本論は現在までの強磁性体論の基本になっている——強磁性現象が  $3d$  束はく電子のスピンの磁気能率から生じて居り、且つ結晶体内に於て各磁区は常に飽和磁化の強さに等しい自発磁気を有している——とする説に対して、一つの仮説を試みたのであるが、筆者は電気工学に携つて居るため磁電子の存在と之による磁気の発生状態を量子力学的数学的に記述し、あらゆる強磁性現象についてこれを証明する余裕が現在のところないことを御断りしておく。

しかし本仮説によつて、強磁性体特有の現象であるところの磁気変態貞附近で生じる磁気微異状現象や、電気抵抗、比熱、体積等の温度による変化の異状性、或はマグネトカロリック効果、磁歪現象其他種々の現象が一層適切に説明出来ると考えられるので敢て発表した次第である。