

2.4 磁性体の種類と磁化曲線

外部磁界に対する磁化の仕方によって、(1)常磁性体、(2)強磁性体、(3)反磁性体に分類される。(狭義には、強磁性体のことのみを磁性体と呼ぶこともある。)

また、磁界をかけたときの磁化の様子を示すために、M-H 特性 (または B-H 特性) が用いられる。(B ではなく H に対する M の変化をプロットするのは、実用上、自由電流に対応する磁界 H を変化させながら M を測定するため。B は、その合計として現れる。)

(1) 反磁性体 (diamagnetic material)

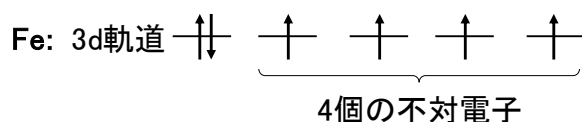
- 外部磁界と反対向きに磁化ベクトル **M** が揃おうとする材料。
- つまり、外部磁界による **B** を打ち消そうとする。
- (古典電磁気学的には) **電磁誘導**が起源。
- 全ての物質は反磁性を示すが、一般に非常に弱い。不対電子によるスピンの効果があると、常磁性や強磁性の方が顕著になる。
- 常温で反磁性を示す材料の代表例：ビスマス ($\chi = -1.6 \times 10^{-4}$)
- 例外的に、超電導体は、磁化率 $\chi = -1$ と非常に強く、外部磁界が完全に打ち消される (**マイスナー効果**)。

(2) 常磁性体 (paramagnetic material)

- 外部磁界と同じ向きに磁化ベクトル **M** が揃おうとする材料。
- その結果、**B** は増大する。
- 磁石がつかないアルミ ($\chi = 2.2 \times 10^{-5}$) など (非常に弱い) 常磁性体の一種。
- 弱い常磁性の起源は、**パウリ常磁性** (量子力学的現象)。

(3) 強磁性体 (ferromagnetic material)

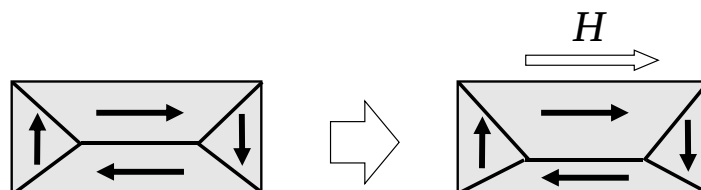
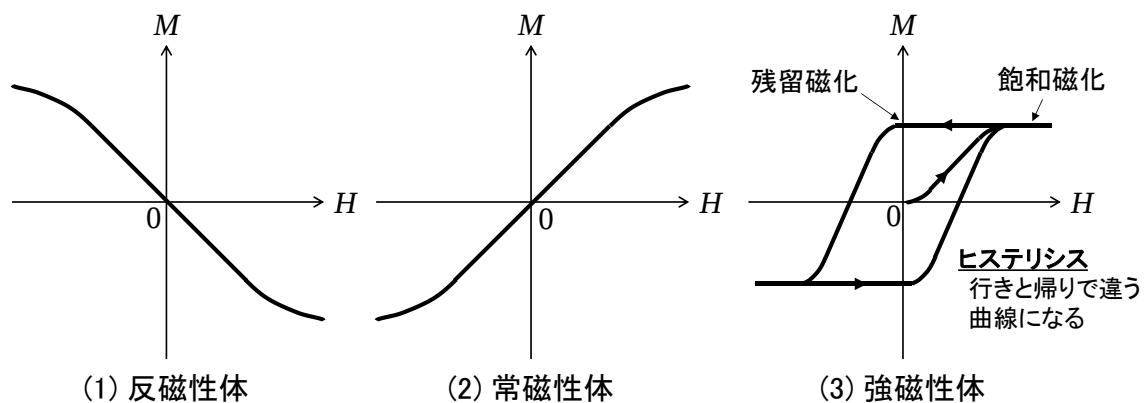
- 常磁性体の中でも特に **M** が大きい材料。その結果、磁石にくっつく。
- 代表例：鉄 ($\chi > 1000$)、ニッケル ($\chi \sim$ 数 100)
- 強磁性の起源は、**交換相互作用** (量子力学的現象)。一般に、d 軌道に**不対電子**を多く持つ原子は大きな磁気モーメントを持ち、強磁性を示す傾向にある。例えば、鉄は、3d 軌道 (最大 10 個の電子が入ることが出来る) に 6 個の電子が埋まっており、4 個の不対電子により磁気モーメントが発生する。



- 一般に強磁性体は、温度に反比例して磁化率 χ が減少する (キュリー・ワイスの法則)。キュリー温度以上になると、強磁性の性質が失われる。(鉄：1043 K、ニッケル：627 K)
- 一般に強磁性体は、**磁壁**という境界で区切られた、ある程度の大きさを持った**磁区**と呼ばれる領域に分割され、その磁区内で磁気モーメントが一方向に整列する。強

磁性体に外部磁界を与えると、**磁壁**が移動するが、その際に多少のひっかかりがあるため、 M - H 特性に**ヒステリシス**が生じる。さらに強い外部磁界を与えると、**磁壁**が移動しきってしまい、一定以上の磁化が現れなくなる（**飽和現象**）。

- ヒステリシスの結果、外部磁界を取り去った後も $\mathbf{M}$ が保たれるものもあり、特にこの**残留磁化**が大きいものが**永久磁石（硬質磁性材料）**である。



- 強磁性体に外部磁界 H をかけると、 H の向きに揃う M の領域が拡大するように磁壁が移動する。
- このとき、ひっかかりがあるためヒステリシスが発生。
- 磁区が拡大しきると M は飽和する。