

身近な金属の
ミクロ組織を読む
第・回
75

身近な磁石・磁性応用品Ⅲ

シリーズ 材料の素顔に迫る

元日立金属 技師長 工学博士 岡本 篤樹

はじめに

68号(2010年夏)では、「磁場と電流の相互作用」を、72号(2011年夏)では、「磁場と電子の相互作用」を説明した。今回は、「磁束変化による起電力の発生」、すなわち電磁誘導や渦電流とそれらの応用製品について紹介する。

電磁誘導とは

コイルに永久磁石を急に近づけるか遠ざけるとコイルに電気が流れる(図1)。この電流はお互い逆方向である。また、2つのコイルを近づけて置き、一方のコイルに電気を流す場合、流した瞬間と切った瞬間にもう一方のコイルに電気が流れるが、それ以外では電気は流れない(図2)。これらは「電磁誘導(狭義では相互誘導)」と呼ばれる。すなわち、コイル内を通過する磁束(磁場)が変化すると、その磁束変化速度(dΦ/dt)とコイルの巻数(n)に比例した起電力(e)が発生し、磁束変化を妨げる方向に誘導電流が流れる。

この(反発)誘導電流はコイルでなくても金属の平板でも起き、この場合は「渦電流」と呼ばれる。また、起電力は元の1次コイルでも起きる。これを「自己誘導」と言う。これら電磁誘導を利用した製品をいくつか紹介しよう。

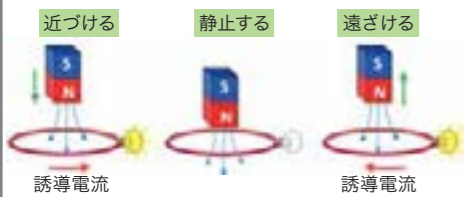


図1 磁石の移動による誘導電流の発生
磁石を動かすことにより、コイルを横切る磁束が変化し、それを打ち消すような誘導電流が流れる。

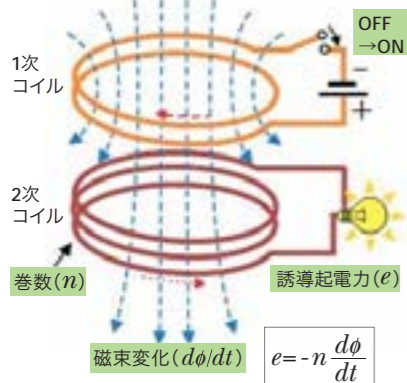


図2 磁束変化による起電力の大きさ
1次コイルに電気を流した瞬間、2次コイルでは磁束変化に比例した逆方向の誘導起電力が生じ、誘導電流が流れる。

電磁誘導、渦電流の応用

1) 変圧器(トランス)

自動車の点火装置(イグニッションコイル)では、電池側(12V:ボルト)には少ない巻数の導線(1次コイル)、出力点火プラグ側にはその

100倍の巻数の導線(2次コイル)が鉄芯に巻いてある。1次側にいったん電気を流してから突然遮断すると、その瞬間自己誘導で1次コイルに約300Vの逆電圧が発生し、鉄芯で結ばれた2次コイルには相互誘導で約2万Vの高電圧が発生し、エンジンプラグを点火することができる(図3)。

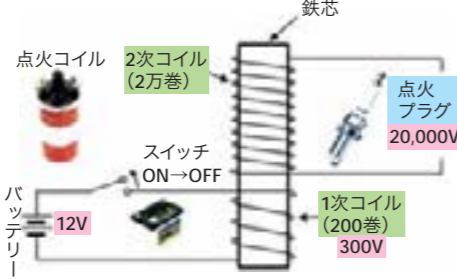


図3 自動車の点火装置
急速に電流を切ることにより、自己誘導と相互誘導で小さな電圧から大きな電圧を作り、プラグを点火する。

直流のスイッチをON/OFFする代わりに交流にしても同じで、電流変化のたびにコイルの巻数に比例した相互誘導電圧が得られる(図4上)。これが変圧器で、発電所でつくられた約50万Vの交流は3-4回の変圧器で100V電圧に落とされ家庭に供給されている。

一方、パソコンなどの電子機器、ハイブリッドカーや太陽電池では、電源が直流であるため電圧変更ができない。この場合は、直流をスイッチング素子で高速にON/OFF、反転させ、交番(+)電流とし、電磁誘導により電圧を変換している(図4下)。

ところで、コイルの中に鉄芯を入れると磁束を強め、かつ磁路(磁束の流れる道)を作ることができるが、ここにも渦電流が発生する。これを少なくするため鉄芯は薄板の積層絶縁構造になっている。

2) 廃棄物の磁気選別

磁束変化があると金属には反発する渦電流が流れるということは、斥力(離れる力)が発生することである。内部にN/S逆向きの磁石が交互に配置されたドラムを高速で回転させ(図5)、その上を通過するベルトに廃棄物をのせて搬送すると、導電性のない樹脂は無反応

で下に落ち、磁性体の鉄はドラムに吸いつく。一方、非磁性体で導電率の高いアルミや銅片は磁束変化に反発して遠くに飛ばされる。この方法は飲料缶の材料選別などに使われている。



図5 磁気選別機
銅やアルミに急激な磁束変化を与えると、金属内に渦電流が発生し、反発して飛び出る。(日立金属(株)資料)

3) 非接触ICカード

自動札机やコンビニのレジではSuicaやEdyなどにお世話になる(図6)。ICカードには電源もなく、非接触なのでどうして作動するのだろうか。実は改札機から13.56MHzの電磁波が出ており、この磁束変化によりICカード内のコイルに誘導電流が流れて発電するからである。この誘導電流を直流に変換し、ICを駆動させ、書き込み、またその情報は高周波に乗せて改札機に返信される。

なお、Suicaのコイルは木の葉状になっており、Edy(四角状)との混信を防止している。今後普及すると期待される携帯電話や電気自動車のワイヤレス給電も磁気共鳴式と呼ばれるが、基本はこの電磁誘導を利用している。



図6 非接触ICカード
改札機から出る電磁波の磁束変化をカード内のコイルが受けて発電し、直流に変換してICを駆動させている。

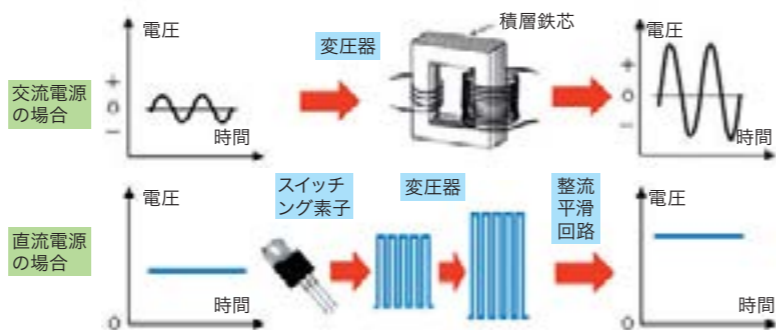


図4 交流と直流の変圧方法
直流はスイッチング素子で交番電流にすれば、交流と同様に変圧器で電圧を変えることができる。

4) 誘導モーター

68号では永久磁石を使用した小型(同期)モーターを紹介したが、工場の大型モーターや簡易なモーター(例えば扇風機)では永久磁石を使わない誘導モーターが広く使われている。そのひとつの筐型誘導モーターでは、コイルを巻いた積層鉄芯の極(固定子)が出す磁束変化で銅またはアルミ製の籠(回転子)に誘導電流が流れて反発し、これが極毎で少しずつずれて起こり、籠が回転する(図7)。回転速度は電源周波数と極数で決まる。この回転を直線運動にしたのがリニア鉄道である。

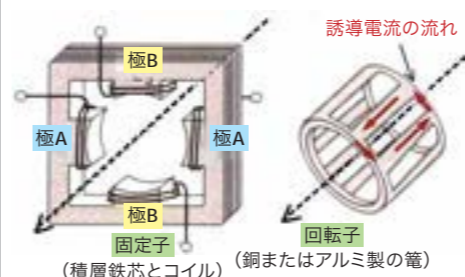


図7 誘導モーター
極Aから出た磁束変化で筐型回転子に誘導電流が流れて反発磁場を作り、極性の違う隣の極Bと引き合うことで回転する。

リニア鉄道

2045年に東京-大阪間を最短67分で結ぶリニア中央新幹線が最近話題になっている。リニアとは線形という意味で、回転との対比で使われる言葉であるが、磁気浮上(レビテーション)と混同されていることが多い。色々なリニアがあるので、整理してみよう。

1) 鉄輪式リニア

2本のレールと車輪で重量を支えて走行するが、車輪をモーターで回転させて推進するのではなく、車両下部のコイルが出す磁束変化で軌道部のリアクションプレートとの間に反発力をつくり推進するのが鉄輪式リニアである。リアクションプレートは通常レール間に敷いてあり、上部は3mm前後のアルミ(駅近くでは銅)の板を鋼板に張り付けた構造となっている(図8)。

前記の誘導モーターと同じ原理で、プレートに銅コイル(籠)が連なっていてその誘導電



図8 鉄輪式リニアカー
車両下部からの磁束でリアクションプレートに反発電流が流れる。これをずらしながら繰り返して推進する。(左は福岡市交通局資料)

流の反発力で推進すると考えれば理解しやすい。車両下部には大きなモーターが無いため車高を低くでき、また推進力も高く、アップダウンが大きな大深度地下鉄に適している。大江戸線、長堀鶴見緑地線、神戸海岸線、福岡七隈線など最近の地下鉄はこの方式である。

2) 磁気浮上式リニア

車両側の電磁石と軌道側のステーター(コイルと磁性体)との吸引力により車両を約8mm浮上させて走行する(図9)。推進には、上記のリアクションプレートを使う方式(愛知リニモ)と、後述する中央新幹線と同様に軌道側のN、S極を切り替えて高速で進む方式(上海トランスラピッド:空港線)がある。後者での給電は電磁誘導によっている。

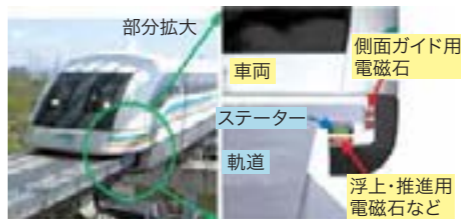


図9 磁気浮上列車(上海トランスラピッド)
車両下部にある電磁石の吸引力で車両を軌道から浮上させる。ステーターは推進と給電も兼ねる。(ThyssenKrupp社資料)

3) リニア中央新幹線(JRマグレブ)

車両の両側面に超電導コイルを抱え、このコイルが出す強い磁場を使って浮上と推進をする。超電導コイル(NbTi合金の多芯線を銅に埋め込んだ線)は、He冷凍機で4K(-269°C)に冷却され、コイルを流れる永久電流により約1 Teslaの磁場を発生する(図10)。

この発生する磁束は高速走行中、軌道側壁の「8の字コイル」から見ると大きく変化し、そこに誘導電流が発生して、下側では反発、上側では吸引をすることになり、車両は浮上する。低速走行中(毎時150km以下)では浮上力が足りないため、タイヤで走行する。推進は、軌道側壁にある別の推進コイルにN、S極切り替え電流を流し、車両側超電導磁石と吸引/反発させて行う。永久磁石を使った同期モーターと同じ原理である。

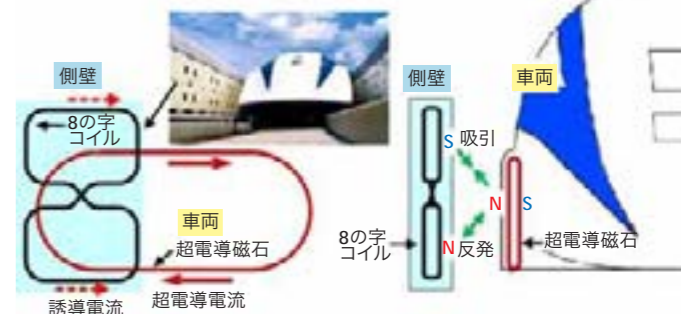


図10 リニア中央新幹線
超電導磁石が出す磁場が高速で通過すると、その磁束変化で8の字コイルに誘導電流が流れ、車両に浮上力が生じる。(左図は車両側から側壁を見たところ)

4) リニアステージ

鉄道とは違うが、工場内の搬送や高精度加工(例えば半導体露光装置)にはリニアステージがよく使われる。従来のボールねじ駆動(モーター回転をネジで直線運動に換える装置)に比べて、位置決め精度と応答性が良い。リニアステージのレール間には、上方向にNまたはS極が向いたネオジム磁石が交互に配置され周期的に磁束が変動している(図11)。

可動部(搬送台)の下部にはコイル(場合により鉄芯付き)があり、そこに通電してN/S極間の吸引、反発力を利用して推進する。ただし搬送台は電源線を引きずるので長距離は移動できない。可動側を永久磁石にし、固定側はコイルにする方式もある。

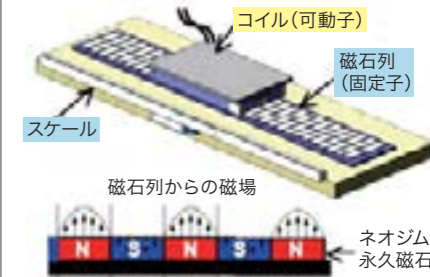


図11 リニアステージ
固定側永久磁石の周期的な磁場と可動側コイルの磁場で推進、位置決めをする。(株)ソディック資料)

まとめ

磁石の移動、ON/OFFされた直流、あるいは交流により磁束が変化すると、誘導電流が流れること、またこれを利用した機器を説明した。これで3回にわたる磁性関連の話を閉じるが、この他にも磁気記録、核磁気共鳴(NMR、MRI)など磁性の応用品は広く日常生活機器に浸透している。身の回りの電子機器をじっくり見て、作動原理を考えてみると面白い。

<参考資料>
図5: <http://www.nxe.co.jp/common/pdf/magdoramu.pdf>
図8: <http://subway.city.fukuoka.lg.jp/subway/about/pdf/hanakuma.pdf>
図9: <http://www.transrapid.de>
図10: <http://www.maglev.in/>
図11: http://www.sodick.co.jp/tech/pdf/core_linear.pdf