	<p>レポート</p> <p>核融合への手引き (3)</p> <p>電磁気学を思い出しましょう</p> <p>SCE・Net 郷 茂夫</p>	<p>R-82</p> <p>発行日： 2022年 9月12日</p>
---	--	---

(上枠のイラストは、地球の大きな磁石で、北に S 極、南に N 極 (逆ではありません；つまり磁力線は南極から北極へ流れ込むのです) が配置されます。但し、地理上の北極とは一致しておらず、また長い周期で極性が反転していることも知られています。)

(見出し番号は、前回「その(2) まず核融合反応式から」の続きです。)

(略号、原子核の表示方法は、その(1)の<使用する略号>に定めたとおりでゆきます。)

今回の分割レポート (3) は、電磁気学の基礎事項 (高校物理で習ったものが多いですが) を思い出していただくための小文です。核融合トカマク反応器内に超高温プラズマを閉じ込めるためには強力な電場と磁場が必要であり、プラズマ荷電粒子と電場と磁場が複雑な相互作用をすることで達成されることとなりますが、その理解の前段となる基礎事項です。今回と次回の続きの2つです。

重要テーマの「磁場や電場内での荷電粒子の運動」についてはその後となります。

電磁気学や力学のベクトルの物理記号の表示方法；MS WORD での表示方法はいくつかあるのですが、本レポートでは「10.5 point 標準文字で、太字、斜体」で以下のように示します。

なお、下表では一部のスカラー物理量を紛らわしさ回避のために入れてあります。

物理量	ベクトル名称	記号表示	単位
力	力の大きさ (クーロン力, 電気力, 磁気力で使う)	F	[N] (Newton)
電場	電場の強さ	E	[N/C], [V/m]
起電力	(スカラー量)	V_{emf}	[V] ボルト
磁場, 磁界	磁場の強さ	H	[N/Wb]
磁束	(スカラー量)	Φ (ファイ)	[Wb]
磁束密度	磁束線に垂直な面の単位面積あたり貫いている磁束線の量	B	T (テスラ) or Wb/m ²

4. 電場と磁場の電磁気学の復習

核融合炉の「高温プラズマの磁場閉じ込め」などは電磁気学の知識がないとちょっとわかりません。電場/磁場とは何か、コイルの磁気作用、電磁誘導などにつきまして復習します。かなり初歩的なことも書いていますので、不要の方はスキップしてください。

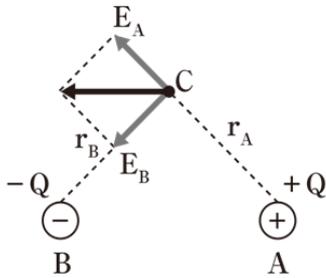
4章では、核融合に特に関係する用語、文節には太字、下線を施しているので留意ください。

4-1 クーロン力，電場，起電力，電位差，電圧の再確認

これらの用語は日常ふつうに使われているわけですが、用語定義の再確認です。
(クーロン力)

クーロンの法則 ²⁾	<p>同じ電荷をもつもの同士は反発し、異種の電荷を持つもの同士はひきつけあう。その力の大きさは、電荷の大きさとお互いの距離によって変化するという法則をクーロンの法則という。力の大きさはクーロン力という。</p> <p>(大きさ) $F = k_q * (q_1 * q_2 / r^2)$</p> <p>$k_q$ はクーロン定数と言い、周りの媒質によって決まる。</p> <p>(向き) q_1, q_2 が異符号なら引力、同符号なら斥力</p>
-----------------------	--

(電場，電場の強さ)

電場 ¹⁾	<p>電場とは、空間になんらかの電荷 (q_1) を置いたときに、それにクーロン力を与える空間を電場 (あるいは電界) と言う。</p> <p>ということは、そこに何もなくても電場空間だけでも存在できる。</p>
電場の種類；二種類ある ²⁾	<p>(1) 一様な電場；空間全体の電場の強さが同じもの。</p> <p>(2) 一様でない電場；電荷からの距離で電場の強さが変わるもの。</p>
電場の強さ ¹⁾	<p>電荷 $+q_1$ が作る電場の強さ E は、$E = k_q * (q_1 / r^2)$ で表される。</p> <p>上記の電場 E で、電荷 $+q_2$ (C) が受ける静電気力は $F = q_2 * E$</p>
電場の単位 ²⁾	<p>電場の単位は、細かくは、[N/C]，[V/m]，[本/m²]の3つある。</p> <p>V; Volt, C: Coulomb, J:Joule, N:Newton, m:meter であり，</p> <p>[V] = [J/C] = [N・m/C]，であるから，[V/m] = [N/C] が導出される。</p>
<u>電場のベクトル合成</u> ⁴⁾	<p>電場は大きさと向きをもつベクトルである。従い、複数の電場が生じた時、その強さと向きは数学的ベクトルの加法に従う。</p>  <p>図 4-1 電場のベクトル合成</p> <p>出典：【高校物理】「合成電場」 映像 授業の Try IT (トライイット) (try-it.jp)</p>

(起電力，電位差，単位，電気力線)

起電力 ³⁾ と電位差 ³⁾ ；単位	<p>起電力とは、<u>導体内の両極の電位差=電圧によって導体に電流を流す(電子を移動させる)ことができる能力、原動力のこと</u>である。</p> <p>記号表示は V_{emf} (E と表示する文献もある)，起電力の単位はボルト (V)</p>
--	---

起電力を生じさせる方法； 2つ ¹⁰⁾	(1) 化学反応や光，熱により起電力を得る方法 → 電気回路（電池に利用される等），電子装置などの電源になる。 (2) <u>導体の移動・運動や磁束の変化による誘導起電力＝電磁誘導</u> → 発電や変電に利用される．核融合トカマクでも使われる．
電気力線の性質 ⁵⁾ ガウスの定理	1. 電気力線は正電荷から出て負電荷に入る． 2. 電気力線は途切れたり急に始まったりしない． 3. 電気力線は交わったり枝分かれしたりしない． 4. 電場の強さが E [N/C] の場所に 1m^2 当たり E 本の密度で電気力線を描くことにすると、電場の強さを電気力線の密度で表現できる．

4-2 磁場，磁気量，磁界と磁束，磁束密度

磁場の現象では電場における法則がほとんどそっくり成り立つ．

(磁極，磁場，磁場の向き，磁場クーロン則，磁気力，磁気量)

磁極	N 極と S 極があり，片方だけは存在しないと考えられている．
磁場の向き ⁸⁾	磁石の周りに方位磁針を置くと、それぞれ決まった向きに方位磁針が向く．この時に方位磁針の N 極が向く向きを磁場の向きとしている．
磁気量 ^{5),7)} その単位量	磁極が帯びている磁気の量を 磁気量 という，磁石の極の強さともいう． 単位を [Wb (ウェーバ)] で定義する． 単位の意味は，真空中で 1m 離れた磁気量の等しい 2 つの磁極の間にはたらく磁気力が 6.33×10^4 N であるような磁気量を 1Wb とする．
磁気力とクーロンの法則 ^{5), 7), 8)}	磁極と磁極の間にはたらく力を 磁気力 (=磁力＝電磁力) という． その大きさは、それぞれの磁気量 m_1 [Wb]、 m_2 [Wb] の積に比例し、磁極間の距離 r [m] の 2 乗に反比例する；静電気力のクーロンの則と同じ． 磁気力： $F = m * H = k_m * m_1 * m_2 / r^2$ H は磁場（磁界）， k_m は比例定数で、 $k_m=1/4\pi\mu$ ， μ は透磁率という． 同種の磁極間には斥力がはたらき、異種の磁極間には引力が働く．
磁場 ⁸⁾ (磁界)	磁気力がおよぶ空間を 磁場 （磁界ともいう）という．磁場の大きさや向きは、1Wb の N 極を置いたときに受ける力とその向きと定義される．
磁場（磁界）の強さ ⁸⁾ 表示，単位	磁場 H とは、+ 1 Wb の磁荷が受ける磁気力のことであり、 単位は [N/Wb] ． 
<p>図 4-2 磁場（磁界）とは 出典：磁場（磁界）ってなに？わかりやすく解説 受験物理ラボ (juken-philos.com)</p>	

(磁束，磁束密度)

磁極の強さの要素	磁極の強さを考える上で重要な物理用語に以下の 3 つがある： 1. 磁束線，2. 磁束密度，3. 磁束
----------	--

磁力のもと ⁷⁾	物質内で電子は自転(スピン)している。これらの動きによって磁力が発生する。磁力は電子(電荷)が動くが発生する(その4で解説予定)。
磁化 ⁷⁾	物質が磁気を帯びることを磁化という(電場で言う分極に対応)。物質は磁化する際の特徴から、強磁性体、常磁性体、反磁性体の3種あり。

(不均一磁束の合成はベクトルで)

不均一磁束の合成 について ⁸⁾	空間のある場所における磁束の種類が複数あり、その方向とその強弱が不均一で交錯している場合、その場所における磁束は、磁束が途中で切れたり、2本が繋がったりしないし、異なる磁束が交わり変形することはないが、荷電粒子に対しては、それらの複数の磁束を「合成」したものが効果を持つ。 磁場のベクトルは3次元成分の合成だけで決まり 、合成方法は効果が出た力のベクトルの合成方法と基本的には同じである。 注意：磁場の外積とは意味が全く違うこと。
------------------------------------	---

<電場と磁場の比較表>⁷⁾ (参考までに)

場	電場	磁場
実態物	電荷	磁極
種類2つのみ	正電荷、負電荷(単独で存在可)	N極、S極(単独で存在不可)
量	電気量(電荷量、電荷)	磁気量(磁極の強さ)
その単位	クーロン [C]	ウェーバ [Wb]
力	静電気力	磁気力
クーロン法則	$F = kq * q_1 * q_2 / r^2$ $kq = 1/4 \pi \epsilon_0$	$F = km * m_1 * m_2 / r^2$ $km = 1/4 \pi \mu$
係数の分母	ϵ_0 : 誘電率	μ : 透磁率
場の線表示	電気力線	磁力線

文献

- 1) [電場 - Wikipedia](#)
- 2) [電場って何?! みんながつまづく電場について力学と比較して簡単理解!! - 受験物理テクニク塾 \(xn--uor642eo9ah87f.com\)](#)
- 3) [起電力 - Wikipedia](#)
- 4) [【高校物理】「合成電場」 | 映像授業のTry IT \(トライイット\) \(try-it.jp\)](#)
- 5) [電気力線 ■わかりやすい高校物理の部屋■ \(sakura.ne.jp\)](#)
- 6) [Microsoft PowerPoint - 03. 磁気 \(hokudai.ac.jp\)](#)
- 7) [磁場 ■わかりやすい高校物理の部屋■ \(sakura.ne.jp\)](#)
- 8) [磁場\(磁界\)ってなに? わかりやすく解説 | 受験物理ラボ \(juken-philos.com\)](#)
- 9) [磁束密度と磁束ってなに? わかりやすく解説 | 受験物理ラボ \(juken-philos.com\)](#)
- 10) [起電力と電力は違うもの? | 電験三種講座の翔泳社アカデミー \(denken3.com\)](#)

その(3) 以上]