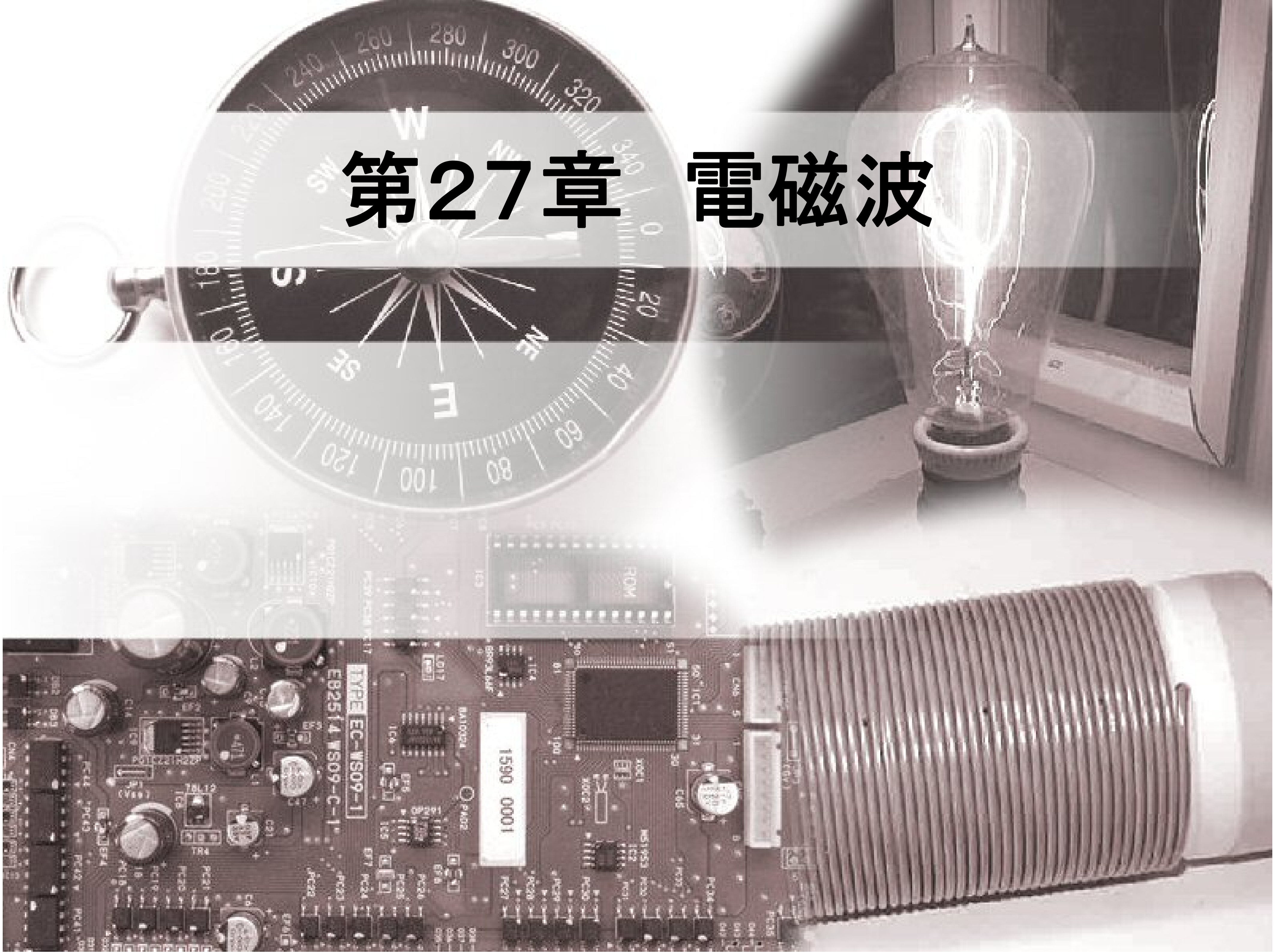
第27章　電磁波



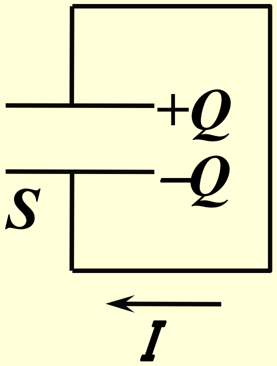
変位電流

定常電流のアンペールの法則は，この導線を貫く曲面では

$$\int \mathrm{d}\vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 I$$

となる。

図のように電荷Qで帯電したコンデンサを放電する場合，電流は導線に流れるのでアンペールの法則が成り立つ。しかし，電極の間の空間には電流が流れないため，アンペールの法則が成り立たない。



ところが，電流が流れることでコンデンサー内部での電気力線の数が減少するので，これは電流と同じと見なすことができる。ガウスの法則より，

$$Q = \varepsilon_0 ES$$

となる。また電流は電荷の時間変化と等しいので，

$$I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t} S$$

となる。つまり定常電流の他に，電位の変化による電流が加味されるので，アンペールの法則は，

$$\int d\vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0\left(I + \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int E\mathrm{d}S\cos\theta \right)$$

と表される。

この電位の変化による電流を**変位電流**といい，変位電流を考慮したこの法則を，**Ampère-Maxerllの法則**という。

Maxwellの電磁方程式

Maxwellは次の4つの方程式が電磁気の基本的な方程式であることを示した。これらをまとめて，Maxwellの電磁方程式という。

•電界に関するGaussの法則

$$\oint_S \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \oint_S E\cos\theta \mathrm{d}S = N$$

•磁界に関するGaussの法則（磁気単極子不在の法則）

$$\oint_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \oint_S B\cos\theta \mathrm{d}S = 0$$

•Faradayの法則

$$\oint_l \mathrm{d}\vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\oint_S \frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}t}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = -\oint_S \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}\cos\theta \mathrm{d}S$$

•Apere-Maxwellの法則

$$\oint_l \mathrm{d}\vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \oint_S \left(I + \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\vec{E}}{\mathrm{d}t} \right)\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \mu_0 \left(I + \varepsilon_0 \oint_S \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}\cos\theta \mathrm{d}S \right)$$

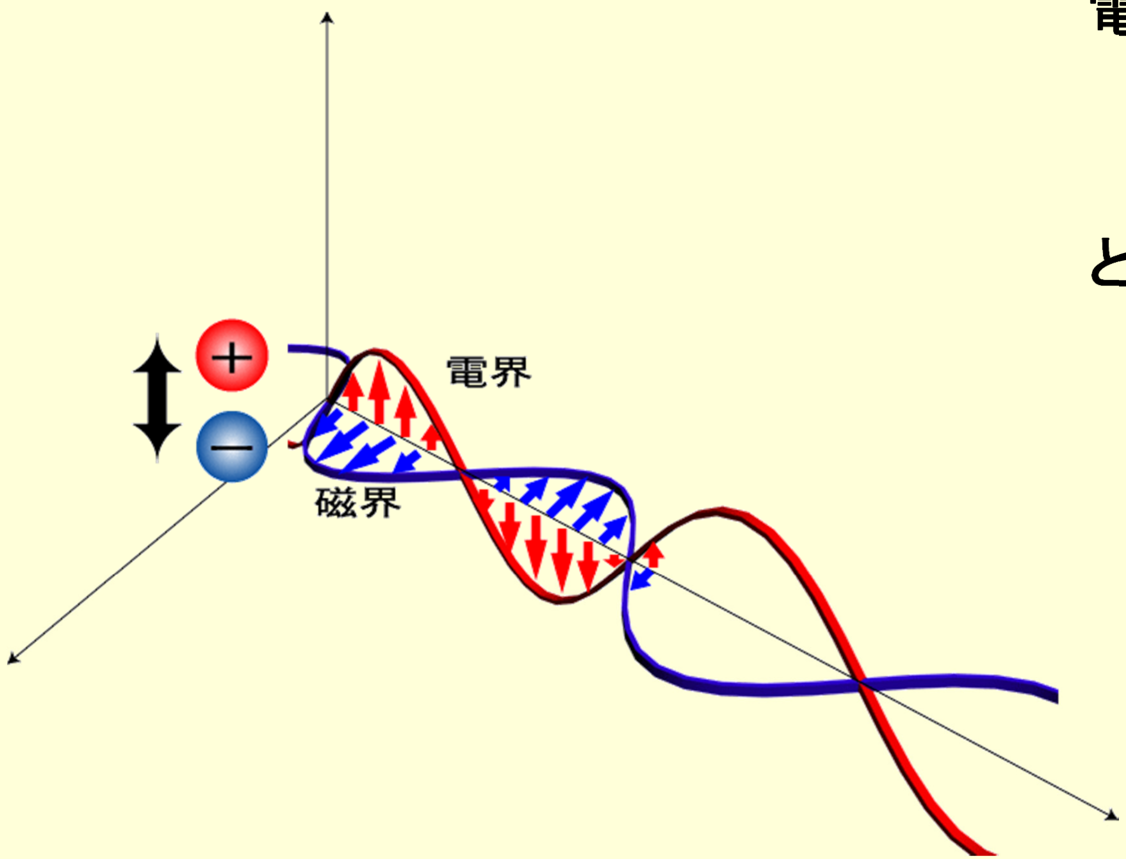
電磁波

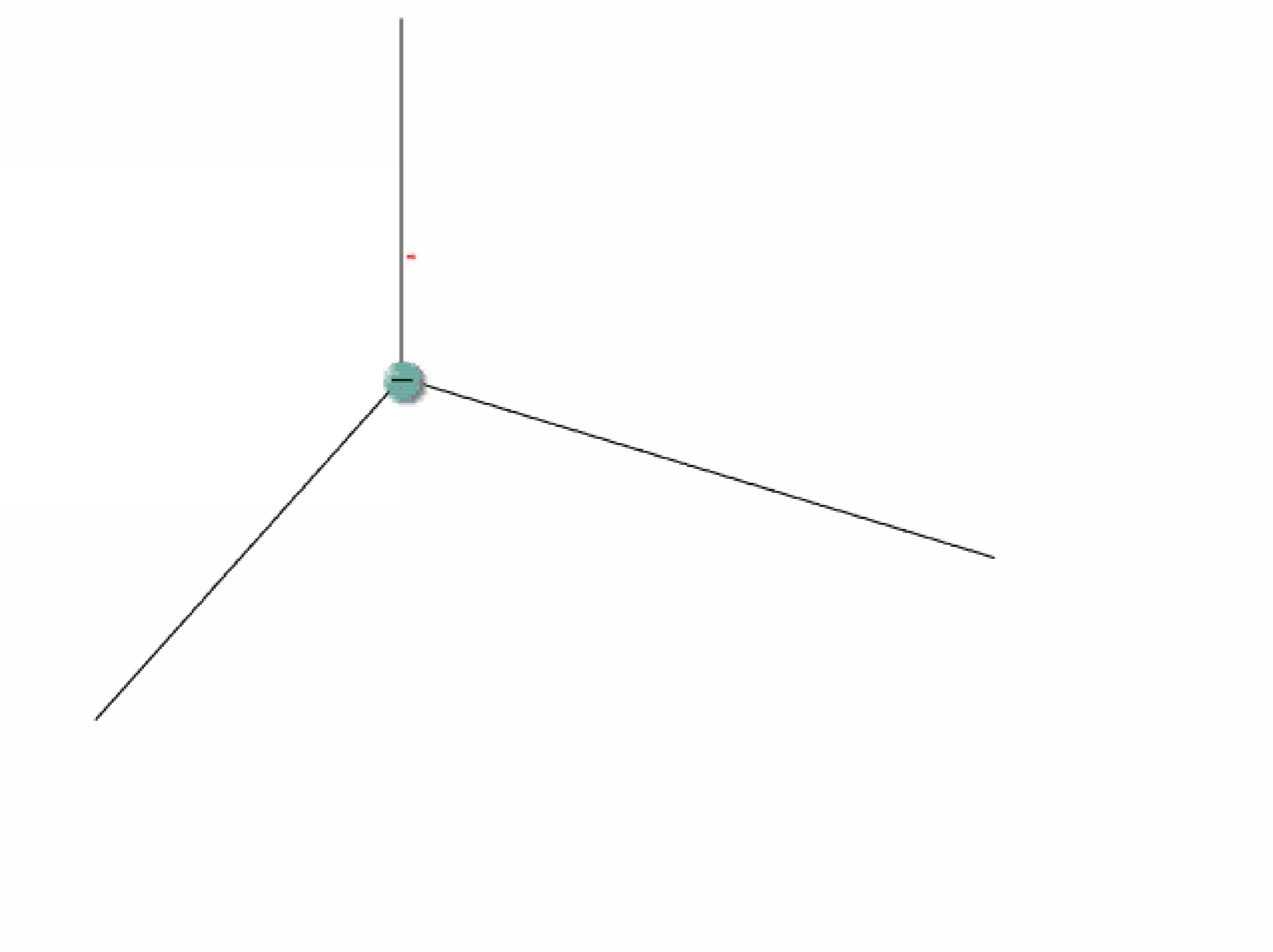
プラスとマイナスの電荷が振動すると，振動方向に電界が生じる。電流は電荷の移動なので，振動方向と一致する。また，電流によって磁界が発生し，これは電荷の振動方向と垂直となる。電界の変化は磁界を変化させ，電磁誘導によって電位差を作り，場所による電界の強さの変化を起こす。このような時間的，位置的変化が波となって伝播する。この波を電磁波という。電磁波の進む方向は，電界と磁界と力の関係から，垂直となる。

電磁波の伝わる速さは，

$$C = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3.0 \times 10^8 [\mathrm{m/s}]$$

となる。





電磁場によるエネルギー

電気容量C，電位差Vのコンデンサーのエネルギーは，$(1/2)CV^2$で，これは電界と電極間の距離d，電極の面積Sとしたときの体積を用いて，

$$\frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 dS$$

と表すこともでき，単位体積あたり，$(1/2)\varepsilon_0 E^2$のエネルギーが生じたと考えることができる。

自己インダクタンスLのコイルに電流を流すと，$V = -L\mathrm{d}I/\mathrm{d}t$ の誘導起電力が生じる。時間$\mathrm{d}t$の間に$\mathrm{d}Q = I\mathrm{d}t$の電荷が移動するので，誘導起電力に逆らって与えるエネルギーは，

$$\mathrm{d}U = V\mathrm{d}Q = L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}I\mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(\frac{1}{2}I^2\right)$$

となり，これより，コイルに蓄えられるエネルギーは，$(1/2)LI^2$となる。これは長さl，底面積Sのコイルでは，

$$\frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}Sl$$

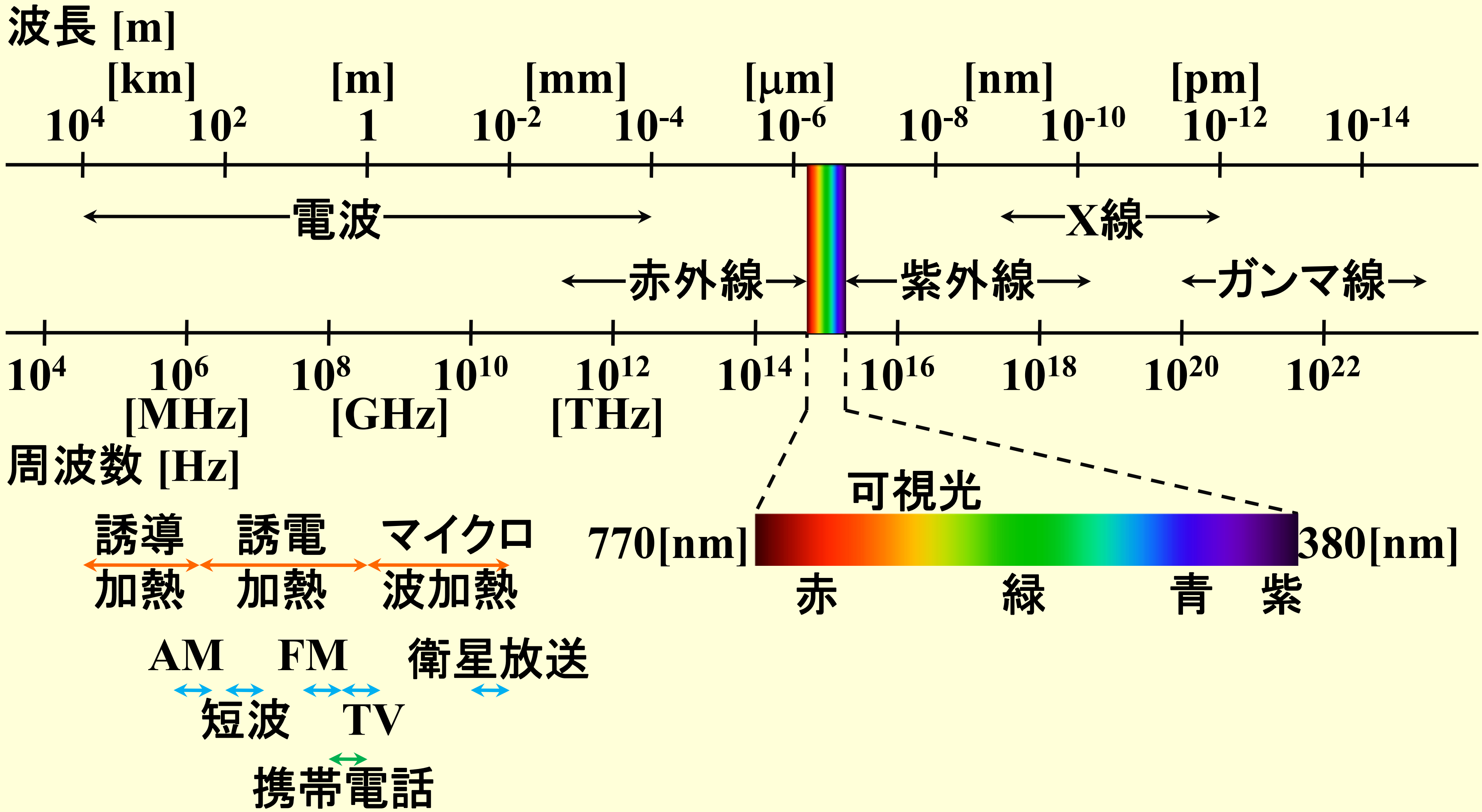
となり，単位体積あたり$(1/2)(B^2/\mu_0)$のエネルギーが生じたと考えることができる。

電磁場のエネルギーは，電界・磁界のエネルギーの和となるので，単位体積あたりの電磁場のエネルギーを，

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$$

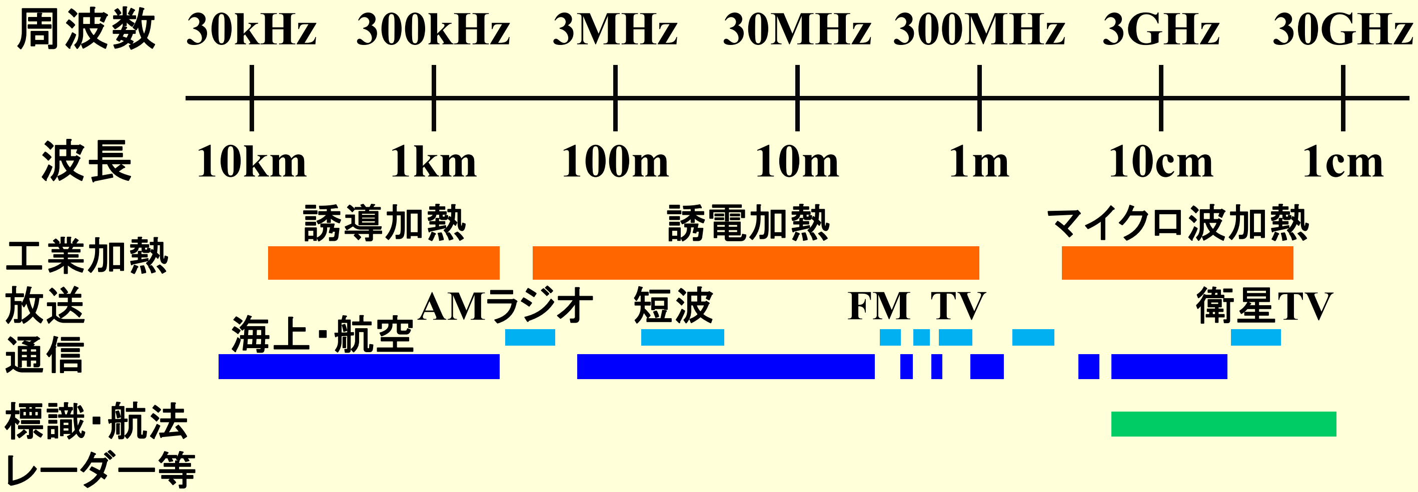
と表す。これを電磁場のエネルギー密度という。

電磁波の波長



波長 [m]
[km]
[m]
[mm]
[μm]
[nm]
[pm]
10^4 10^2 1 10^-2 10^-4 10^-6 10^-8 10^-10 10^-12 10^-14
電波
X線
赤外線
紫外線
ガンマ線
10^4 10^6 10^8 10^10 10^12 10^14 10^16 10^18 10^20 10^22
[MHz]
[GHz]
[THz]
周波数 [Hz]
可視光
770[nm]
380[nm]
赤
緑
青
紫
誘導
加熱
誘電
加熱
マイクロ
波加熱
AM
FM
衛星放送
短波
TV
携帯電話

電磁波の周波数と適用



電磁波の利用は放送や通信にとどまらず，プラズマ励起やMRIなど医療や科学の最先端分野から木材の乾燥、樹脂や食品の加工など普段あまり目にすることはない産業用分野まで，幅広く行われています。

http://www.sstokkun.net/archives/2007/07/post_282.html

http://www.hepco.co.jp/ato_env_ene/environment/electromagnetic/difference.html

http://www.osaka-gu.ac.jp/php/oniki/noframe/jpn/lecture/gu-under-f/infnet/2004/V-Fig.pdf