

電気と磁気を作る波：電磁波の世界



マイケル・ファラデー
(Michael Faraday, 1791 - 1867)

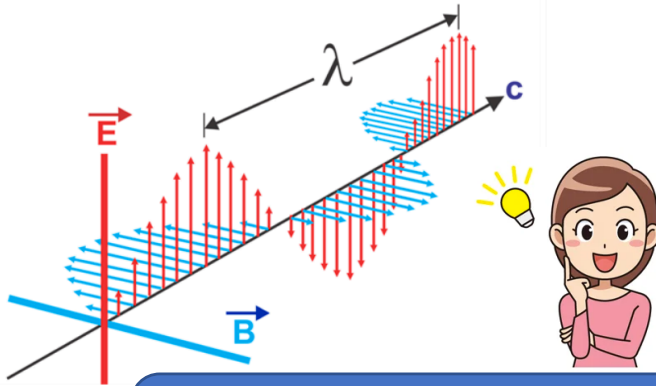
電磁誘導の法則



$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = I$$

アンドレ＝マリ・アンペール
(André-Marie Ampère, 1775 - 1836)



電磁波とは電界と磁界が作る波のこと
光も電波も本質は同じなんだね！

統一

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} + \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

波動方程式

アンペールの法則



ジェームズ・クラーク・マクスウェル
(James Clerk Maxwell, 1831 - 1879)



ジョン・ブライアン・ペンドリー
(Sir John Brian Pendry, 1943 -)

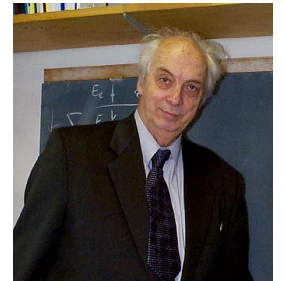
ヴェセラゴの予言を現実のものとする
メタマテリアルを提唱 (1999)



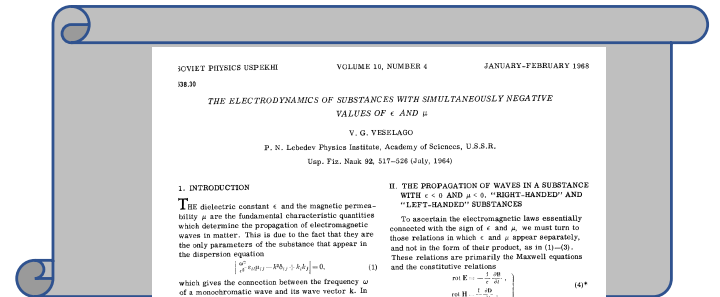
メタマテリアル
の誕生

光・電磁波に関する
学問・研究領域はますます
深化・発展を続けています

誘電率と透磁率がともに
負になるような物質が
存在すれば負の屈折も起
こる！ (思考実験 1967)



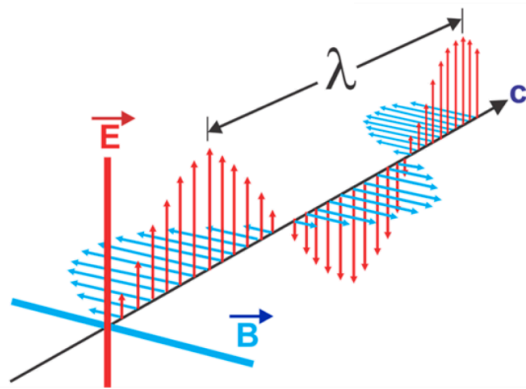
ヴィクトル・ゲオールギエヴィチ・ヴェセラゴ
(Victor Georgievich Veselago, 1929 - 2018)



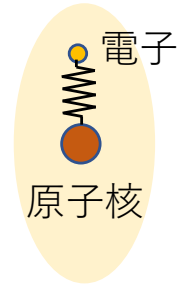
メタマテリアルってなに？

「メタ」(μετά-)とは英語で“beyond”
「超越した」という意味

従来の 光学材料



電界



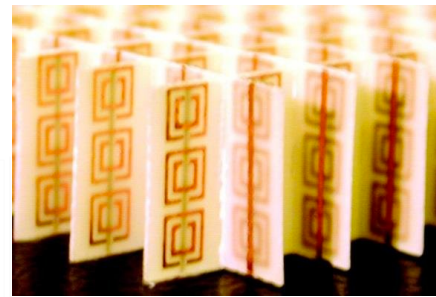
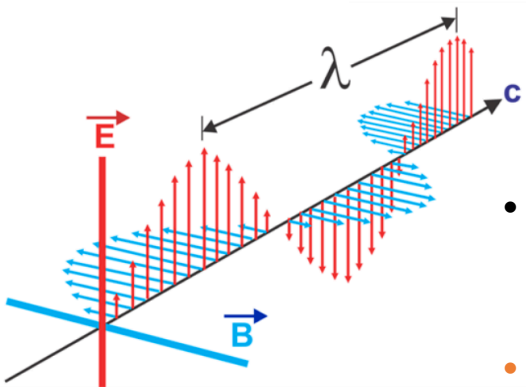
電子分極、イオン分極、
配向分極など、様々な
形で相互作用します

$$\frac{d^2\mathbf{P}(t)}{dt^2} + \Delta\omega_a \frac{d\mathbf{P}(t)}{dt} + \omega_a^2 \mathbf{P}(t) = \kappa \mathbf{E}(t)$$

ローレンツ振動子モデル

- 従来の光学材料の光学的性質（屈折・反射・吸収など）は物質中の主に電子が電磁波の**電界**とどのように相互作用するかで決まります。
- 電磁波の**磁界**と相互作用できる材料はごく限られていました。

メタマテリアル



両者にはアナロジーが
見られますね！

光学の教科書を
書き直さなくては。

$$L \frac{d^2Q(t)}{dt^2} + R \frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{C} = V(t)$$

電気回路モデル

- 開発初期の**メタマテリアル**とは電磁波の**電界**と**磁界**の両方と相互作用できるように人工的に創り出された新しい光学材料です。
- 電気回路の概念**による光学材料の設計が可能となりました。
- 開発が進むにつれてその**概念はますます拡張**しています。

