

## 本講義の目的

現代科学技術の基幹分野のひとつである電磁気学について、その構築の歴史を知り、数学力を基にしてその基本概念と解析手法を身につけるとともに、電磁気学を応用した理工系分野を学ぶための基礎力を養う。本講義では、電磁気学で用いる数学的手法と電荷、および時間に依存しない定常的な電流について学ぶ。達成目標は以下の通りである。

1. 電界および磁界の考え方が理解できる。
2. さまざまな法則の物理的意味を理解し、静電界・静磁界の解析ができる。

## 本講義の受講に関して必要なこと

- 講義ノートを印刷して講義に臨むこと。
- 分からないことがあれば、必ず質問すること。質問が無いと、教員は学生が理解したか、或いはやる気が無いと判断する。  
→講義中に質問しづらい場合は、メール等を利用すること。

## 注意事項

- 雑談・携帯電話等、人の迷惑になるような行為をしない。  
→気になることがあれば、挙手で教員に知らせる。
- 講義室は学習の場。飲食厳禁。

## 成績評価

- 期末試験:80% レポート:20%
- 100点満点, 55点以上で単位認定。

注意:電場と電界 磁場と磁界

## テキスト・参考書

- テキスト⇒HPにアップしてある講義ノート。
- 参考書：
  1. 本のタイトル: 入門 電気磁気学、監修: 家村道雄、著者: 家村道雄、青柳晃、園田義人、発行所: オーム社、定価2,800円
  2. 本のタイトル: 新版 理工系のための電磁気学の基礎、著者: 万代敏夫、西村鷹明、鈴木裕武、発行所: 講談社サイエンティフィック、定価2,200円



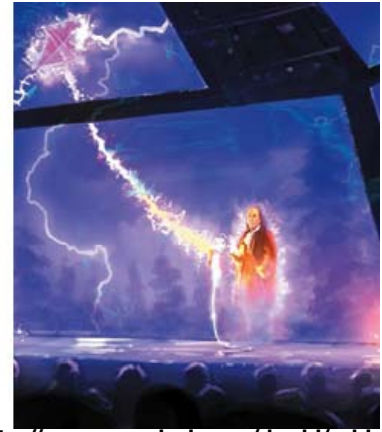
## シラバス(予告なく変更する場合があります。)

回数	日程	項目
1	10月4日	電磁気学構築の歴史および身の回りの電磁気学的現象
2	10月18日	電磁気学を理解するために必要な数学 その1 微分と積分
3	10月25日	電磁気学を理解するために必要な数学 その2 ベクトル演算
4	11月01日	クーロンの法則
5	11月08日	電界と電束密度、ガウスの発散定理とガウスの法則の積分形と微分形
6	11月15日	電位の定義、静電ポテンシャルエネルギー
7	11月22日	電気双極子、種々の帯電体による電界と電位の計算法
8	11月29日	導体、金属による静電遮蔽、アースの意味
9	12月06日	コンデンサ
10	12月13日	誘電体 コンデンサに蓄えられるエネルギー
11	12月20日	アンペアの定義 電流と回路 キルヒホッフの法則の導出
12	12月27日	ローレンツ力 磁性体 磁界と磁束密度
13	平成23年 01月17日	アンペアの周回積分 ビオ・サバールの法則
14	1月24日	ストークスの定理 アンペアの周回積分の微分形 復習
15	期末試験	

•雷は、絶縁体である空気の絶縁破壊



著作権処理のため、  
画像を削除しました。



<http://www.re-mirai.com/denki/rekisi.html>



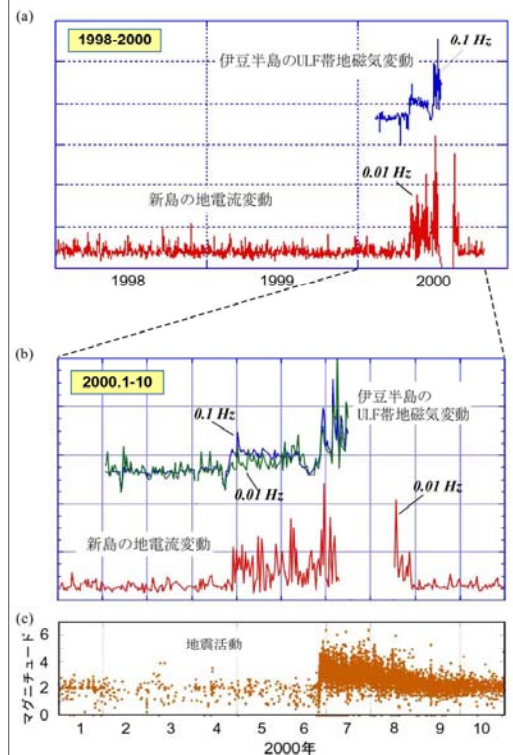
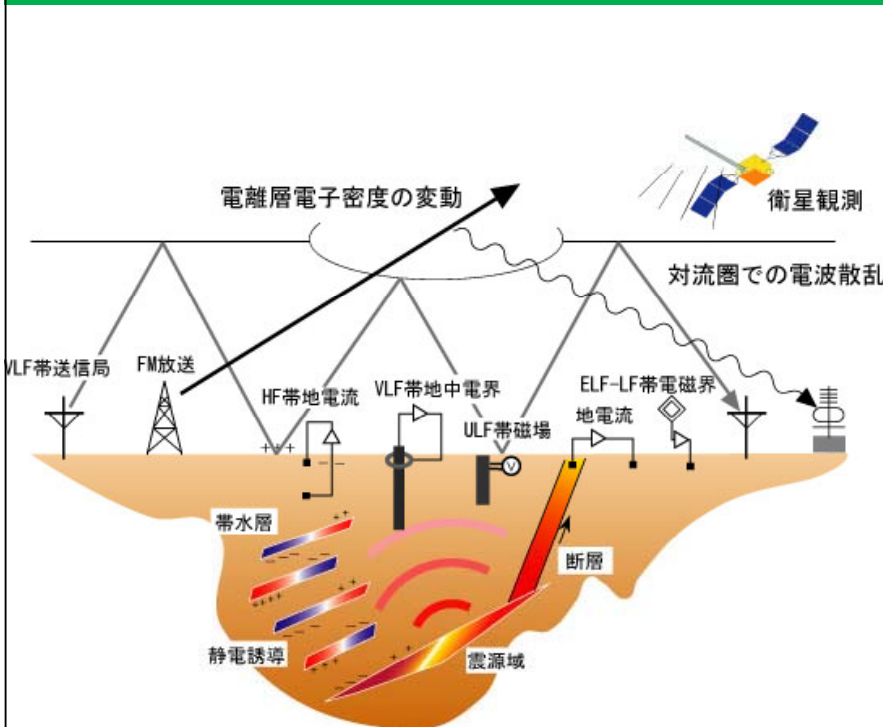
( Benjamin Franklin, 1706-1790 米)

<http://www.weblio.jp/content/BenjaminFranklin>

空気の絶縁破壊電界は  
**約30[KV/cm]**  
とされている。

<http://www.aobaya.jp/photo1.html>

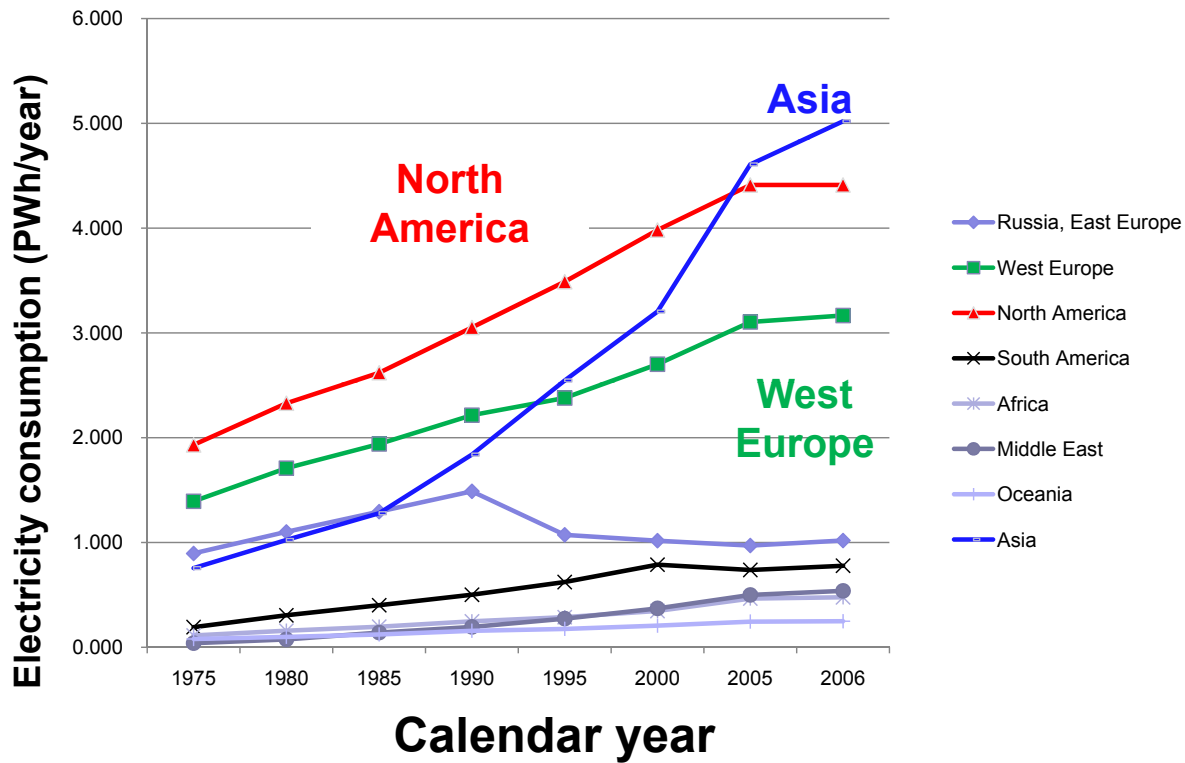
電磁気学を応用した地震予知の可能性



新島および伊豆半島で観測された地電流と地磁気の変化。(a) 1998年から2000年までの3年間のデータ。(b) 2000年1年間の拡大図。群発地震活動開始後の欠測は、地震活動と台風により観測点が土砂の下に埋まったため。(c) 気象庁による地震活動の推移。

電磁気学的な地震予知研究の模式図  
(日本地震学会HPより)

# エネルギーと電磁気学 世界各地域の発電量の推移

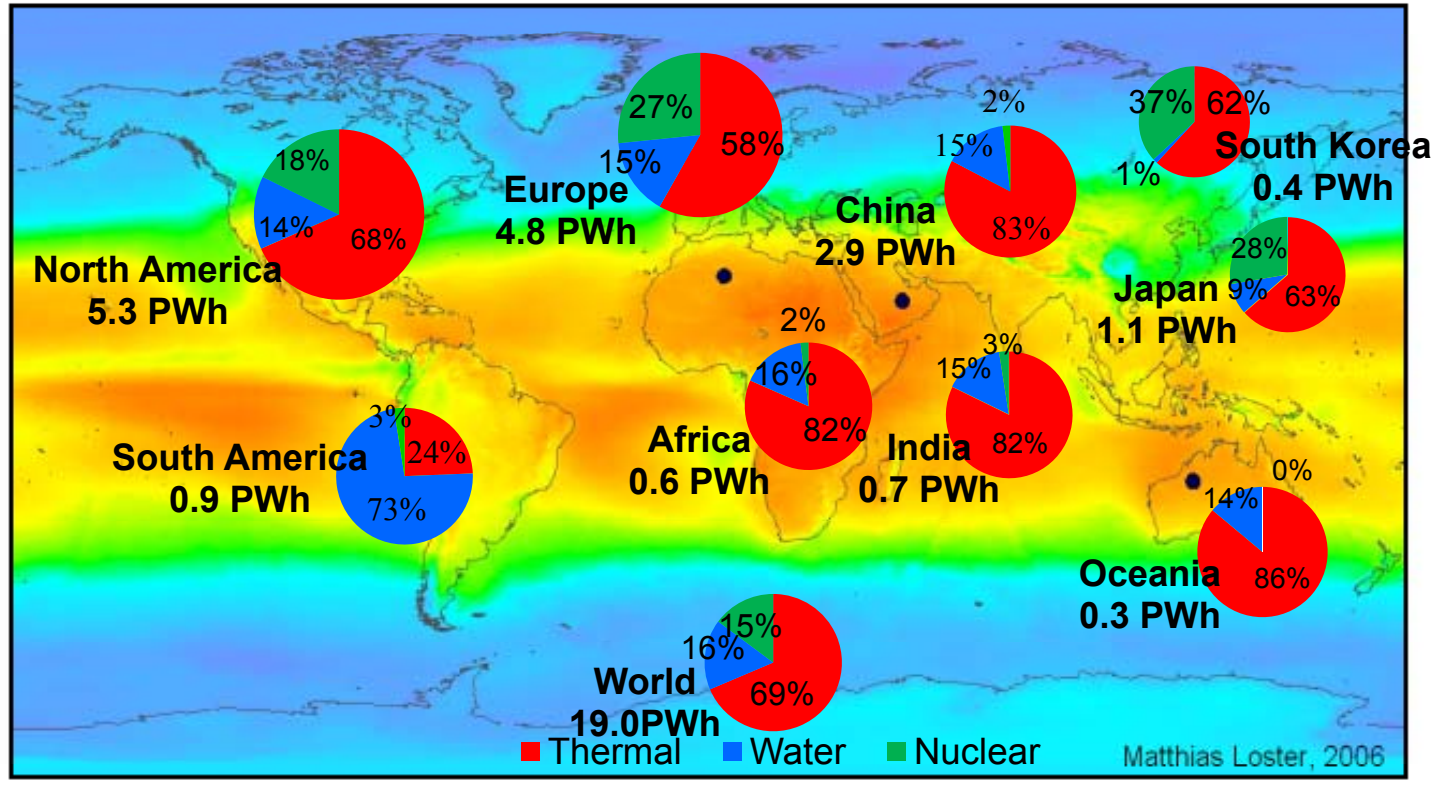


ENERGY BALANCES OF NON-OECD COUNTRIES (2008 Edition) - II.305

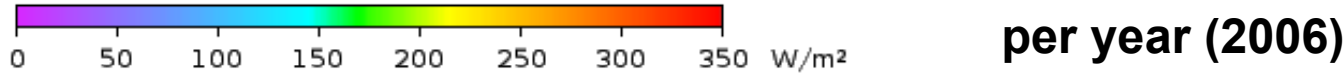
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2006EnergyHTML/html/i2230000.html>

経済産業省資源エネルギー庁 HPより

# 世界各地域での発電の種類と割合

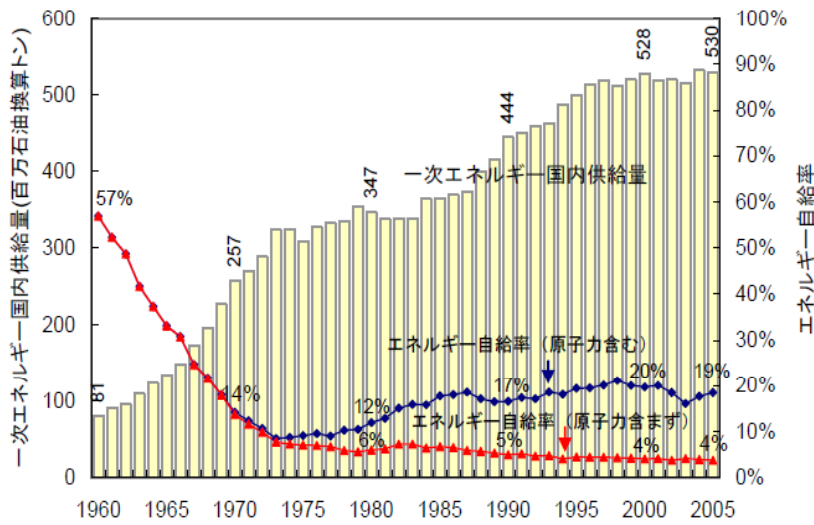


[http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Solar\\_land\\_area.png](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Solar_land_area.png)

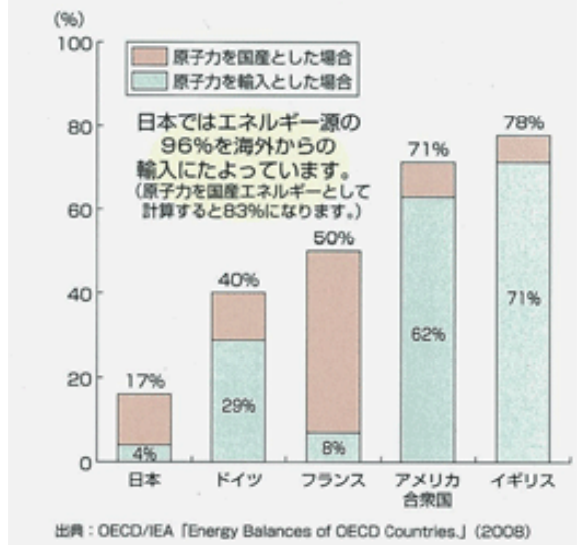


経済産業省資源エネルギー庁 HPより

# 日本の化石エネルギーに対する海外依存度



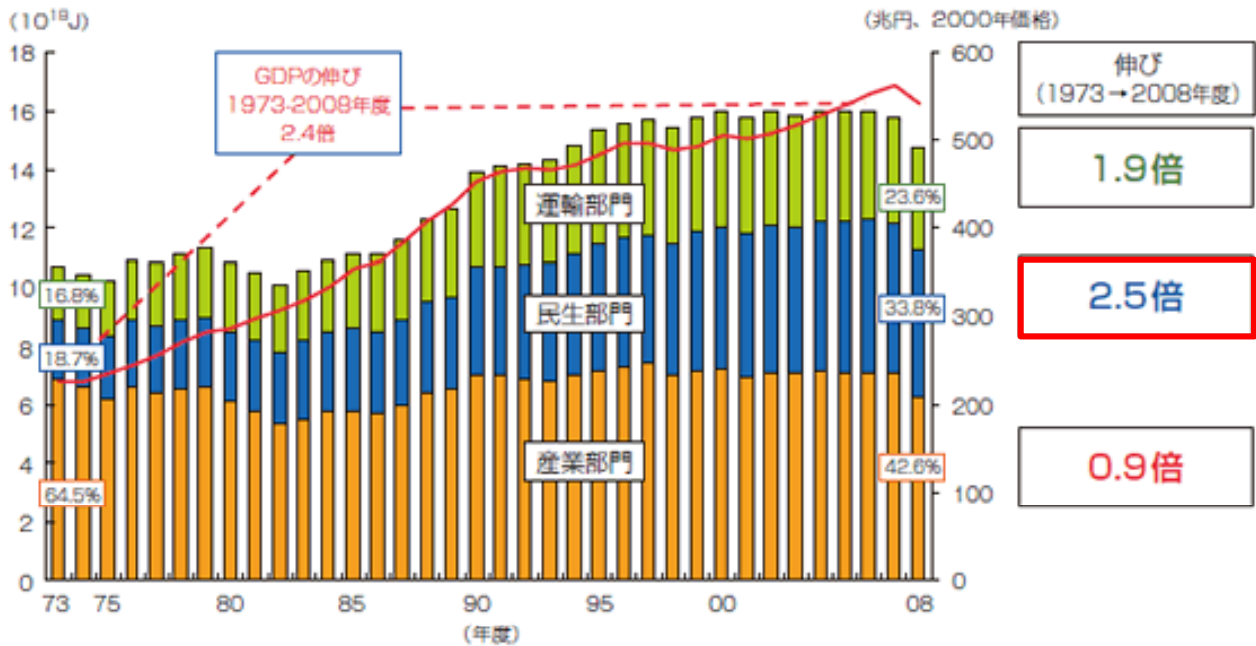
●主要国のエネルギー自給率 2007年



経済産業省資源エネルギー庁 HPより

<http://www.remus.dti.ne.jp/kojyo/ima/ge/jikyuritsu.gif>

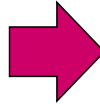
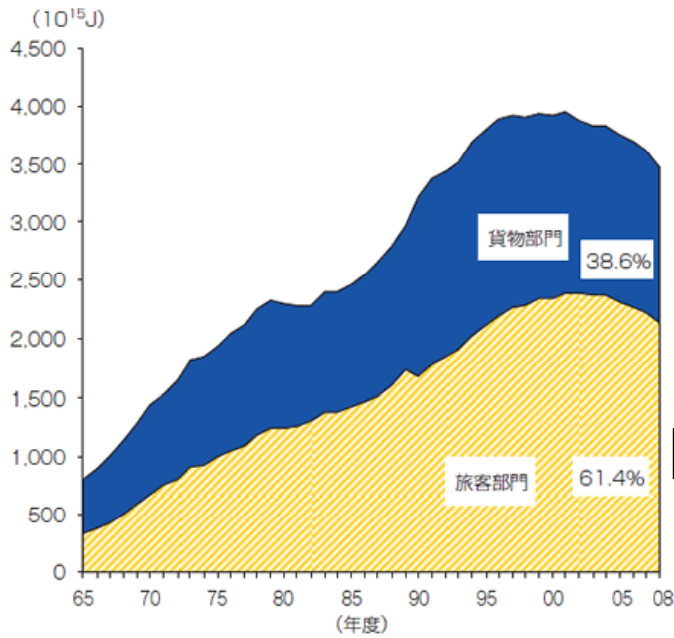
# 我が国エネルギー事情



1. J(ジュール) = エネルギーの大きさを示す指標の一つで、1MJ = 0.0258 × 10<sup>-3</sup>原油換算kl  
 2. 「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。  
 (出所) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、内閣府「国民経済計算年報」、(財)日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」

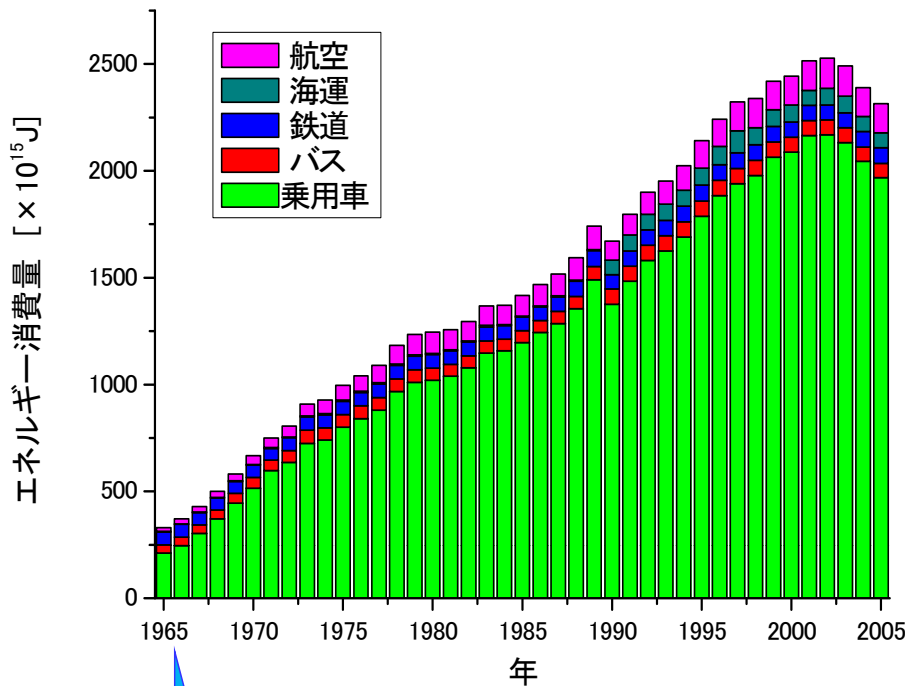
経済産業省資源エネルギー庁 HPより

# 我が国エネルギー事情 … 運輸部門1.9倍



自家用車は減少傾向

## 運輸部門 旅客部門におけるエネルギー消費の推移



・エネルギー消費増加の理由は乗用車の増加

# 電気自動車の電力消費量

## iMiEVの例

主要諸元 (2008年実証走行試験用車両 目標値)



[http://www.mitsubishi-motors.co.jp/special/eco/about\\_i\\_miev4innovation.html](http://www.mitsubishi-motors.co.jp/special/eco/about_i_miev4innovation.html)

全長×全幅×全高	3,395×1,475×1,600mm	
車両重量	1,080kg	
乗車定員	4名	
最高速度	130km/h	
一充電走行距離(10・15モード)	160km	
モーター	種類	永久磁石式同期型
	最高出力	47kW
	最大トルク	180N・m
電池	種類	リチウムイオン
	総電圧	330V
	総電力量	16kWh

•燃費:0.1KWh/km ... 1.7円(深夜料金:0.9円)  
cf.ガソリン車の燃費 20km/Lの場合 0.05 L/km ... 6円

•日本の自動車生産台数 ~1,000万台/年  
→年間1万km走るとして 1万×0.1KWh×1,000万台=100億KWh  
→日本の総発電量 9,900億KWh(2006) の **1%!**

<http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/>

## 電気自動車は地球にやさしい?

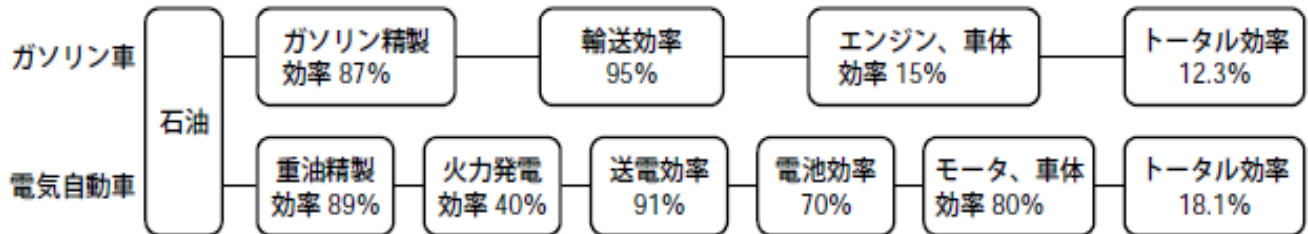


図1 エネルギーの変換経路および効率

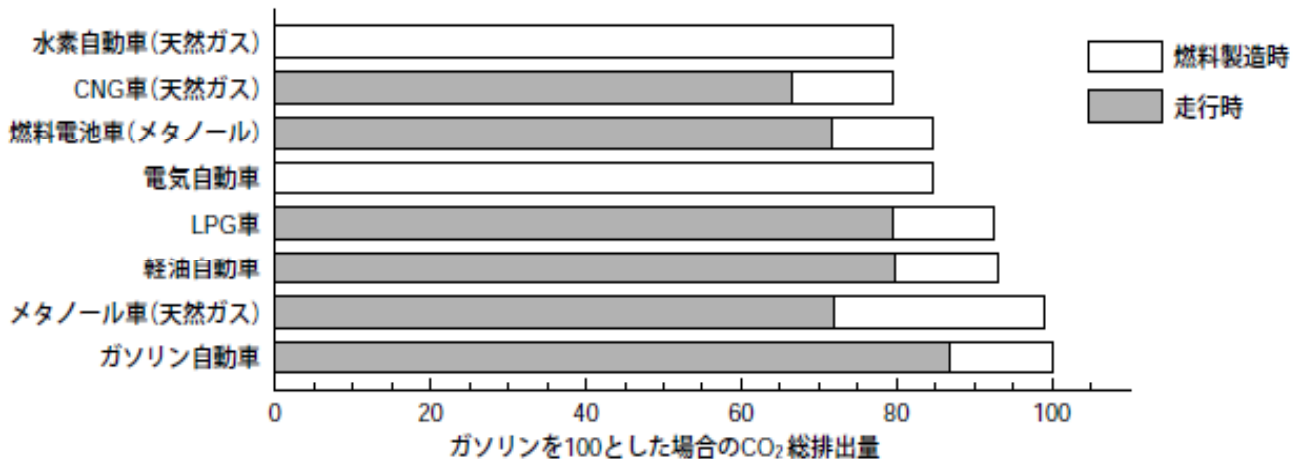


図2 各種燃料のCO<sub>2</sub>総排出量

<http://www.tdk.co.jp/tjbcg01/bcg00016.pdf#search='電気自動車 ガソリン 効率'>

# 電気自動車は現実解か？ … 主役はバッテリー

	鉛電池	NaS電池	ニッケル水素電池	リチウムイオン電池
※1 エネルギー密度	約35Wh/kg	約110Wh/kg	約60Wh/kg	約120Wh/kg
※2 エネルギー効率	87%	90%	90%	95%
※3 寿命 (サイクル数)	4500	4500	2000	3500

**16KWh=133kg**

1. 現状のコスト

	鉛電池	NaS電池	ニッケル水素電池	リチウムイオン
kWh単価	15万円	24万円	10万円	20万円
kWh単価	5万円	2.5万円	10万円	20万円

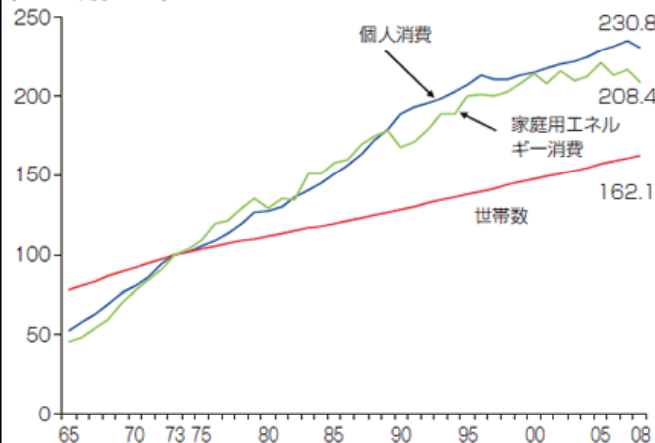
**16KWh=320万円**

➡ **・バッテリーの低コスト化**

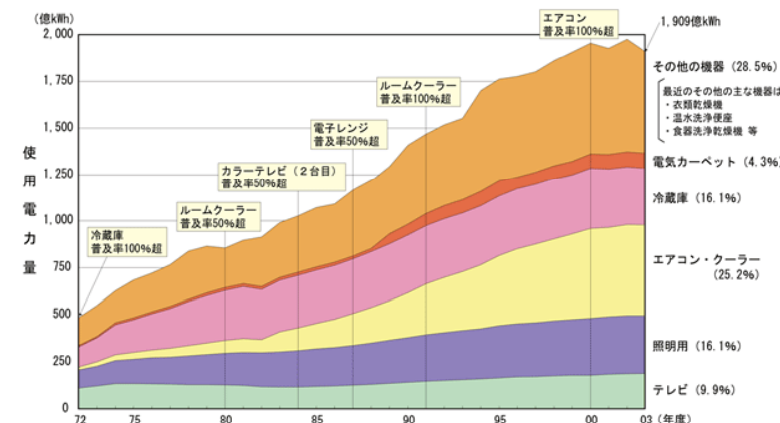
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90225a05j.pdf>

# 我が国エネルギー事情 … 民生部門 2.5倍

(1973年度=100)



## 家庭用電力の伸び



(注) ( )内の数字は2003年度実績の構成比  
四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある  
この調査は2003年度で終了したので本データが最新データ

(出所) 内閣府「国民経済計算年報」、日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」をもとに作成



# 民生部門でのエネルギー消費増大の理由

## 効率化が進んだ家電製品

### ■ 冷蔵庫の機器効率(図-24)

出所:総合資源エネルギー調査会第4回省エネルギー部会資料、  
省エネルギーセンター「省エネ性能カタログ」



注) 2004年及び2005年の値は、定格内容量401～450リットルに該当する各社製品の平均。

- 消費電力1/5以下！
- 効率化は進んでいるが、それ以上に使用量増加

## Q1-1 風力発電や太陽光発電の欠点について考えよ。



太陽光発電所「サーニア」の航空写真  
(2010年8月13日撮影)(c)ecool/Enbridge  
<http://www.ecool.jp/foreign/2010/10/firstsolar97-933.html>

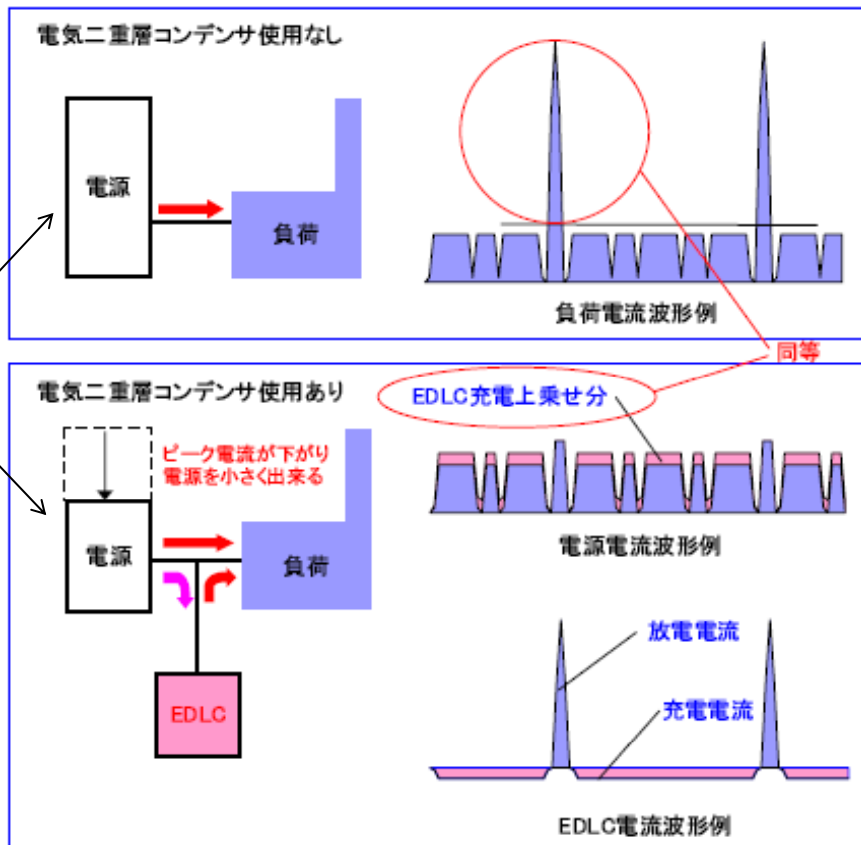


2010年8月18日に撮影されたサネット(Thanet)洋上風力発電所の様子。ヴェスタス(Vestas)社製の3メガワット風力タービン100基が立ち並ぶ(c)ecool/Mark Kilner

<http://www.ecool.jp/foreign/2010/09/vattenfall66-921.html>

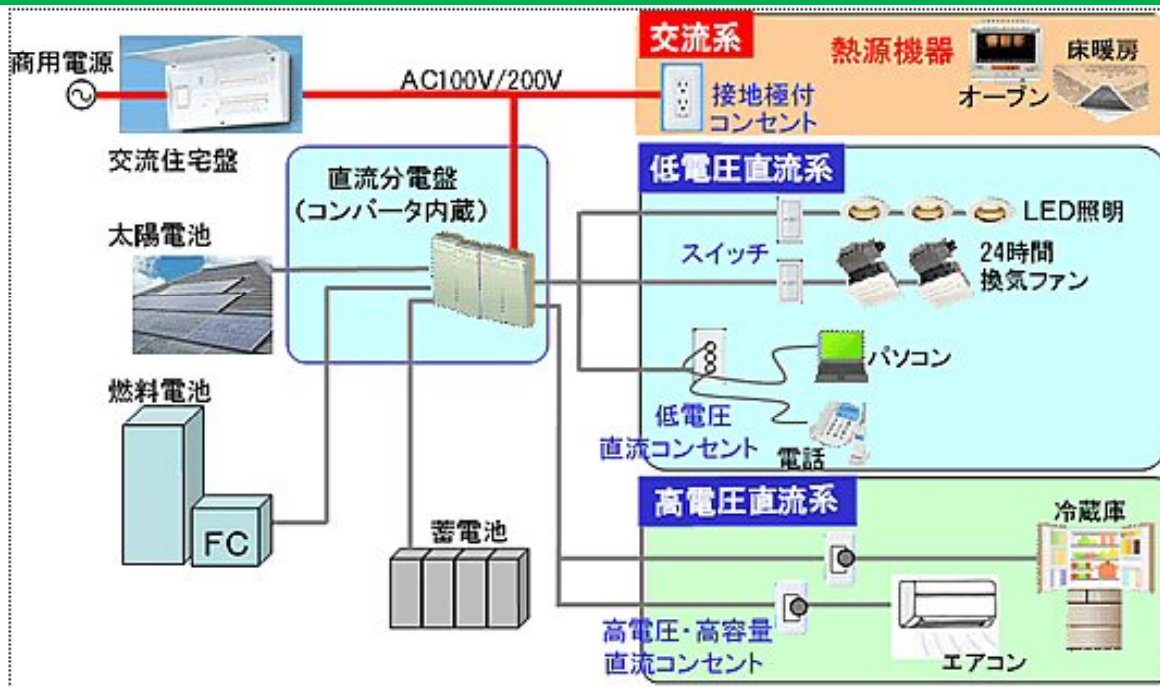
# バッテリーの必要性

風力発電,  
太陽光発電など



<http://www.elna.co.jp/news/2005/pdf/050405.pdf#search='電気二重層キャパシタ 電池 放電 充電 性能 比較'>

## 電磁気学と生活 ... 交流送電と直流送電

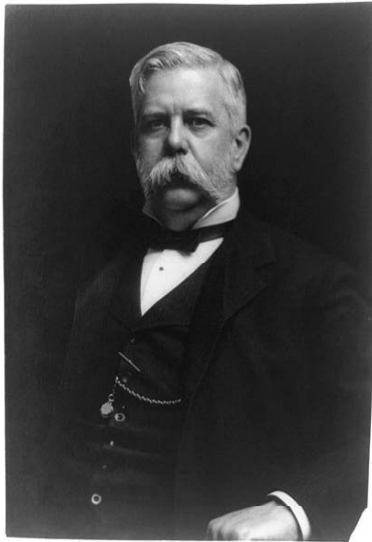


<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090930/175893/?SS=imgview&FD=571014812>

➡ これからは直流電源, 直流使用の機器が増える!

➡ 交流送電と直流電源, どちらが得か?

## 直流送電・交流送電



**George Westinghouse**  
USA 1846-1914

交流送電の推進者



**Nikola Tesla**  
Croatia  
USA 1856~1943



**Thomas Alva Edison,**  
USA 1847-1931

直流送電の推進者

<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

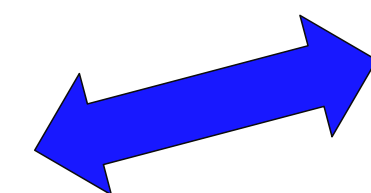
## 無線送電の可能性

電力送信



電力受信

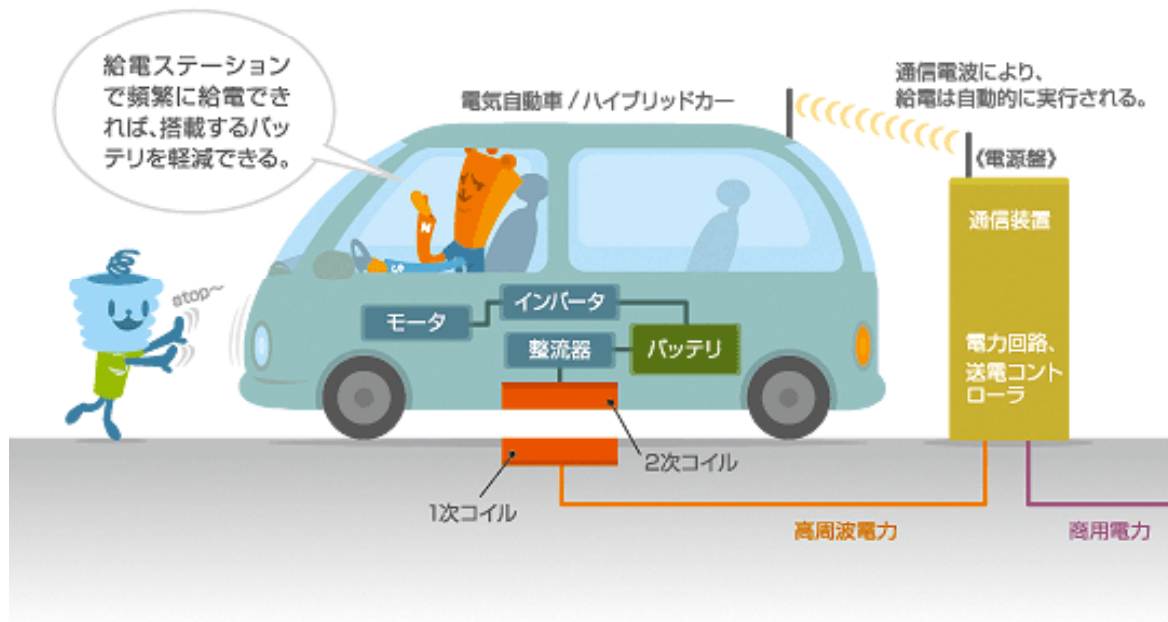
**Professor Peter Fisher(MIT)**



コードレスで電力供給！

# 無線送電の未来・・・電気自動車普及のカギ？

## 電気自動車／ハイブリッドカーへの非接触給電システムの概要

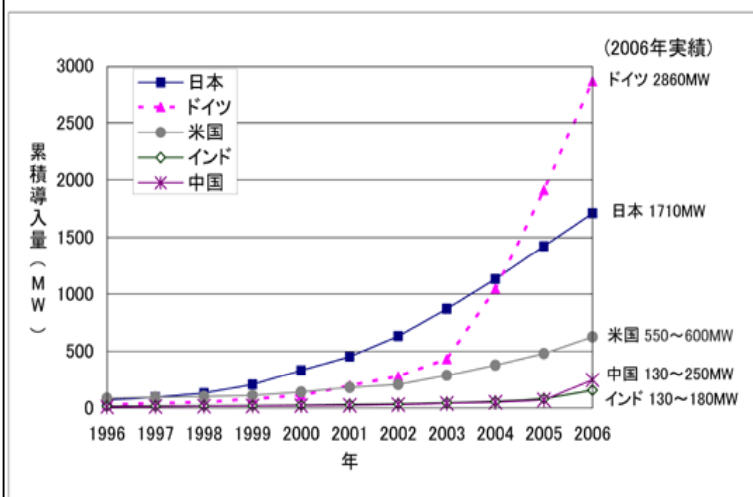


<http://www.tdk.co.jp/techmag/inductive/200906/index2.htm>

Copyright(c) 1996-2011 TDK Corporation. All rights reserved.

## 太陽電池の可能性

図表 2 世界における太陽光発電システムの累積導入量



出典：参考文献<sup>4,5)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

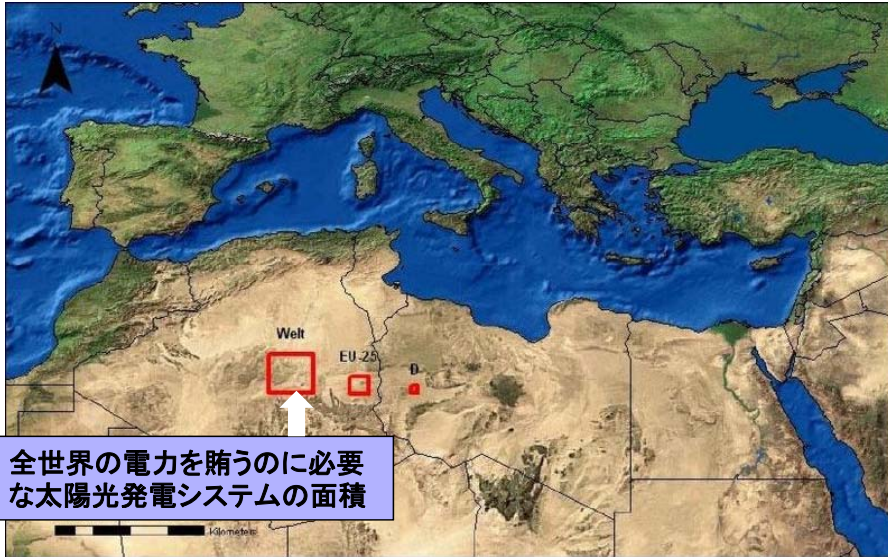
## 平成20年8月実績

原動力別	合計(MWh)	割合(%)
水力	7,846,800	8.4
地熱	180,950	0.2
火力	61,757,975	66.4
原子力	23,164,274	24.9
風力	194	2.09E-04
太陽光	43	4.63E-05
合計	92,950,236	100

資源エネルギー庁 HPより

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/denryoku/result-2.htm>  
上記サイトより、「平成20年度2-(1)発電実績(総括)」

# 太陽光発電と電磁気学



全世界の電力を賄うのに必要な太陽光発電システムの面積

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:Fullneed.jpg>



太陽光発電システムの理解には、電磁気学が必須です！

太陽光エネルギー＝約180PW (P=ペタ=10の15乗)

利用可能量＝約1PW＝現在の人類のエネルギー消費量の約50倍。

ゴビ砂漠の半分＝全人類のエネルギー需要量に匹敵する発電量

年間の日射量＝約1200kWh/m<sup>2</sup> (日本)

日本の発電をすべて太陽光発電で賄おうとすると...

Average density of sunlight irradiation in Japan

$$\dots 1,200\text{KWh/m}^2 = 1.2 \times 10^6\text{Wh/m}^2$$

If we assume 20% efficiency modules, we need  $5 \times 10^9\text{m}^2$  !

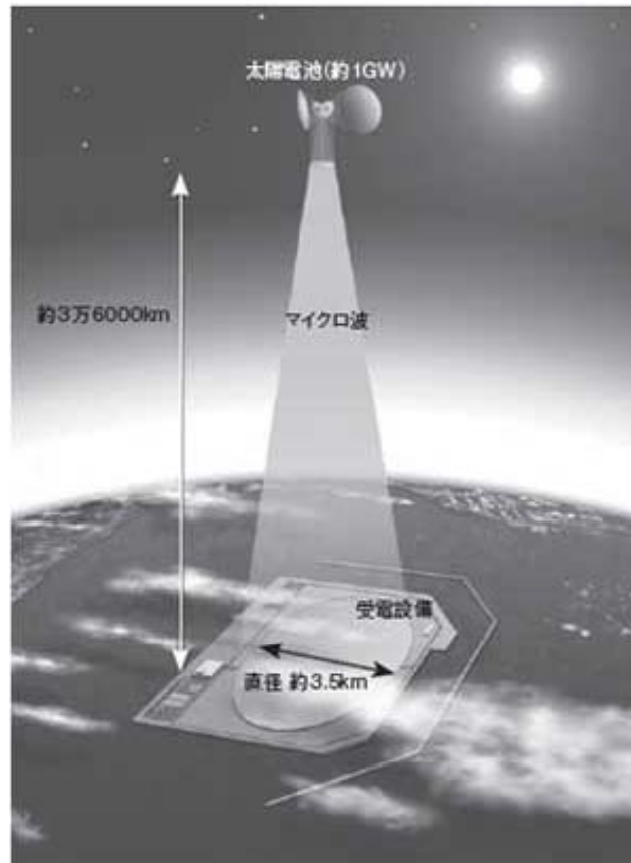
Aichi prefecture, Chiba prefecture  $\dots 5.2 \times 10^9\text{m}^2$



Giant photovoltaic array.jpg

<http://maps.google.co.jp>

# マイクロ波送電の未来...の可能性



<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/FEATURE/20100204/179926/?ST=print>

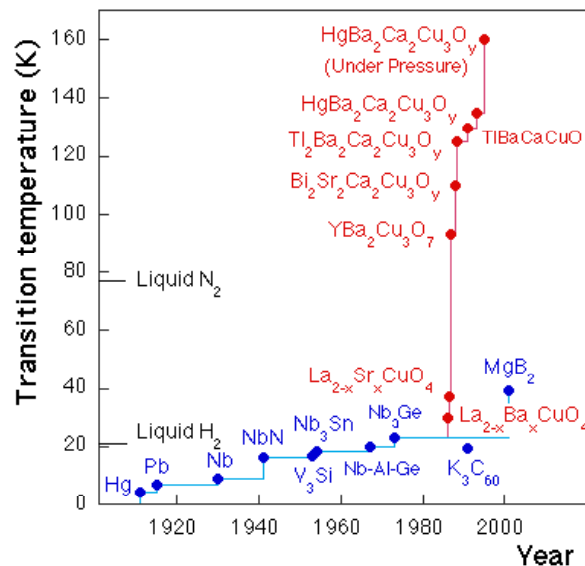
太陽電池を宇宙に設置する  
太陽電池で発電した電力をマイクロ波で送信する宇宙太陽光利用システム(SSPS: Space Solar Power Systems)。  
宇宙航空研究開発機構(JAXA)のデータ。

# 送電と電磁気学



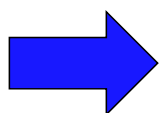
超伝導リニアモーターカー  
(山梨実験線)

<http://sugizaki.oline.jp/?day=20050403>



超伝導臨界温度の変遷

<http://staff.aist.go.jp/t-yanagisawa/activity/supercn.html>



超伝導の理解には、電磁気学は必須です！

# 送電と電磁気学

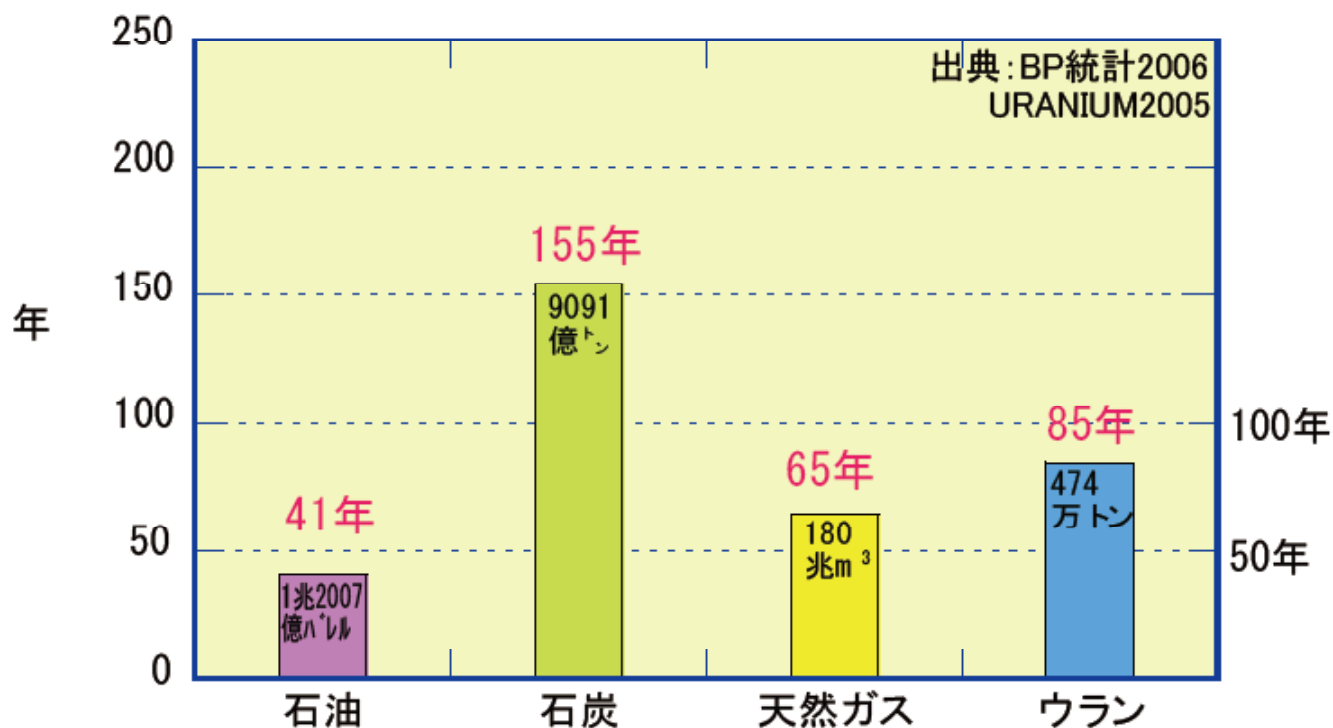


自然エネルギー超伝導グローバル電力ネットワーク  
(北澤:雑誌ニュートン 2001年1月号)

## スマートグリッド送電

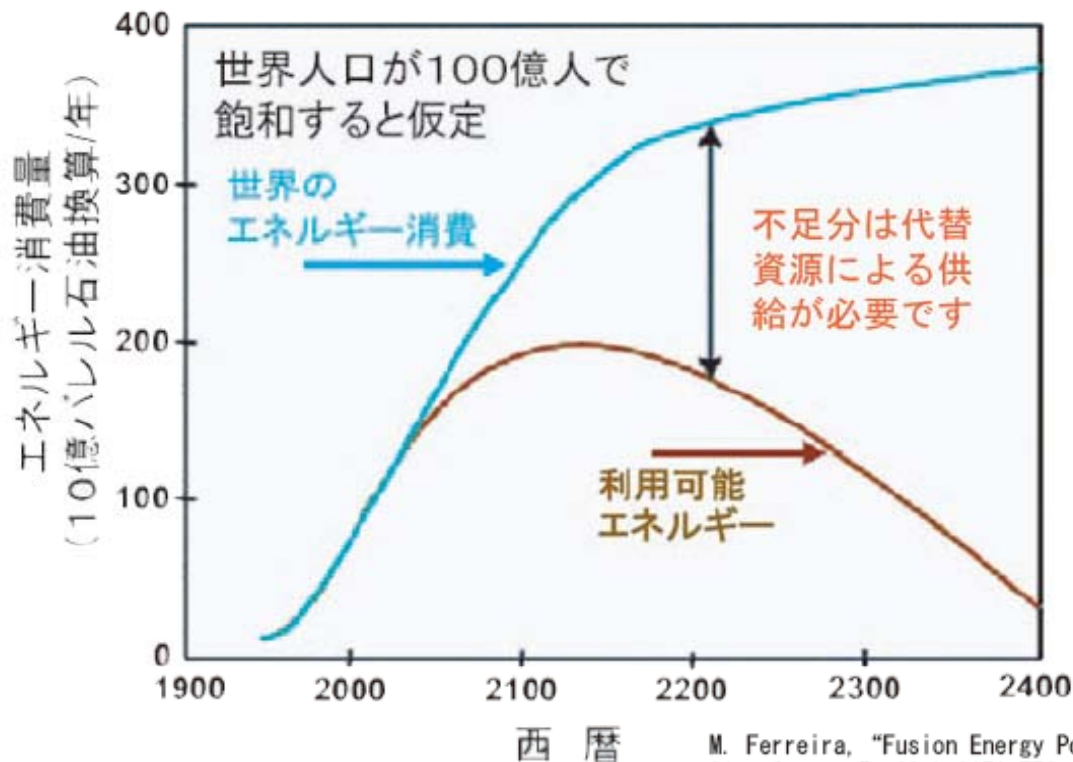
# 核融合の夢

## 可採資源量と可採年数



# 核融合の夢

## エネルギー消費量の予測

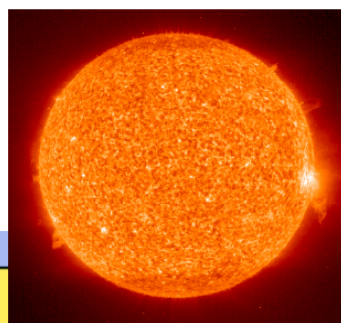


# 核融合の夢

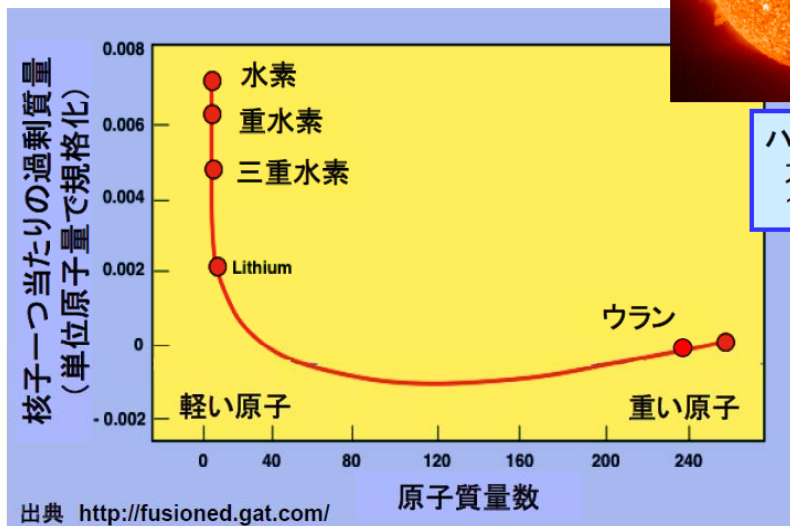
## 核融合とは何か

### 自然の核融合炉：太陽

45億年輝き、エネルギーを放出  
地球の直径100倍、重さ30万倍  
1500万度の高温の水素ガス(プラズマ)



ハンス・ベーテ博士  
太陽内核融合モデル(1938)  
1967年ノーベル物理学賞



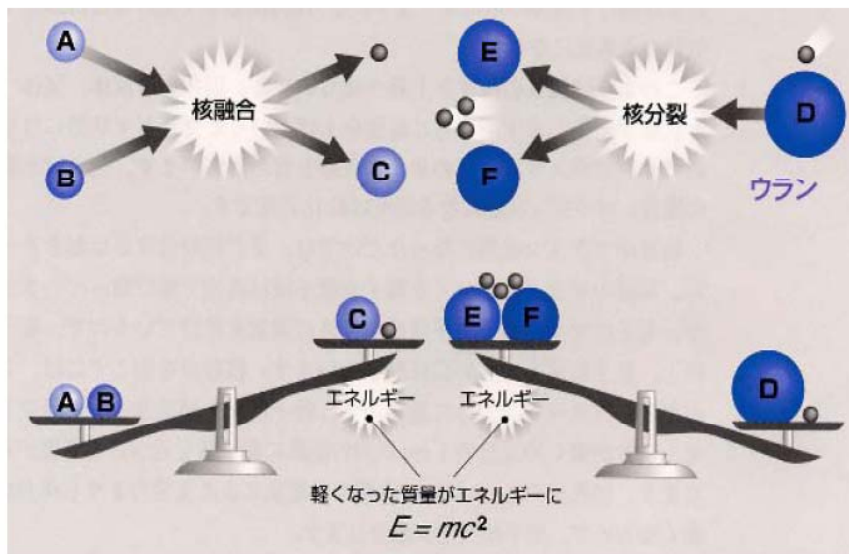
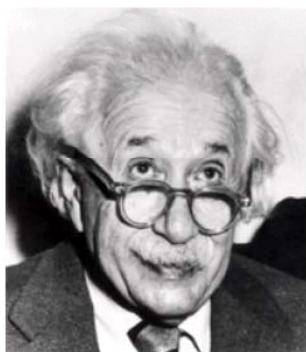
もし人工的な核融合が可能になれば、半永久的なエネルギー資源



# 質量とエネルギーは等価 軽くなった質量がエネルギーに変化する

特殊相対性理論  $E=mc^2$  → 原子核の変換によってエネルギーの出入りがある

アルバート・アインシュタイン博士

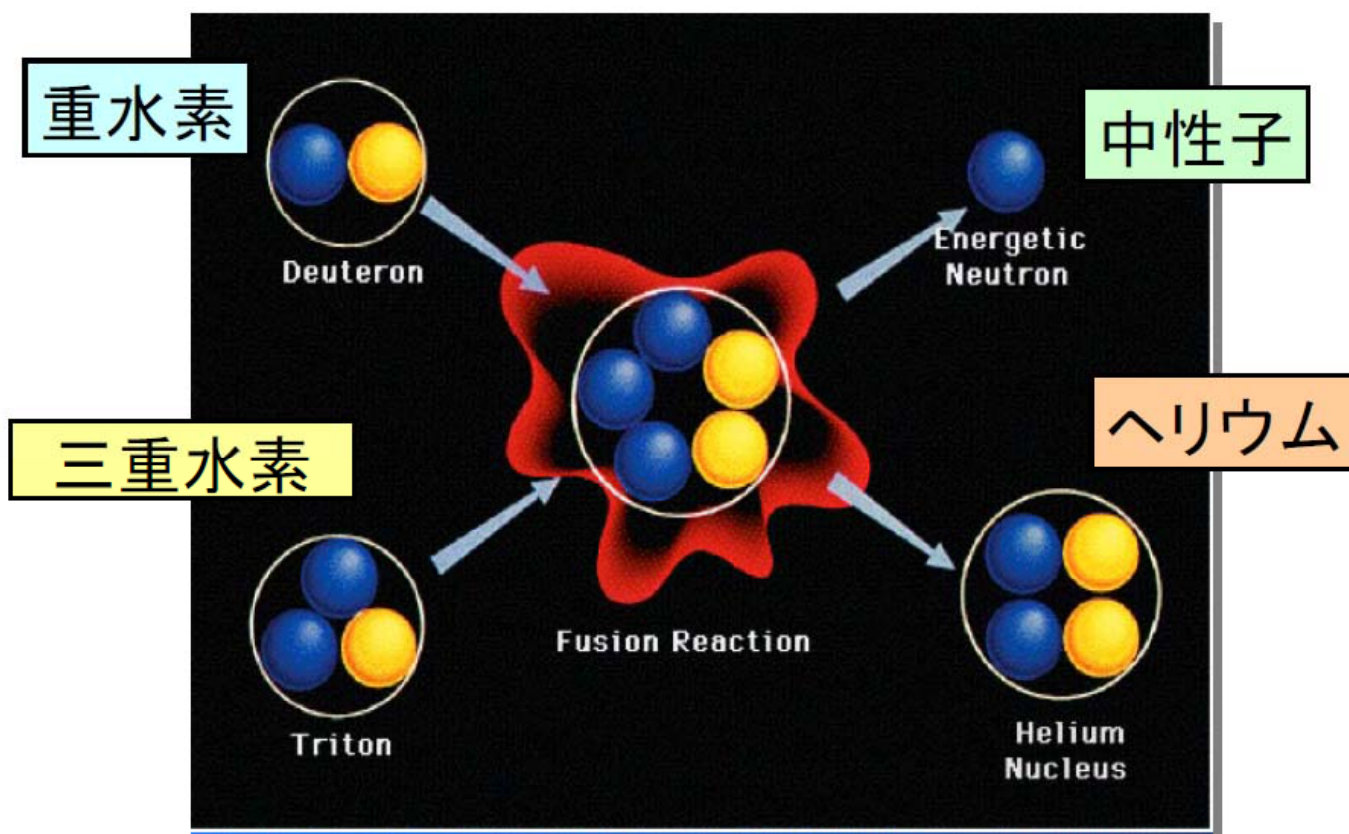


核融合反応: 化学反応の数百万倍という膨大なエネルギー放出

2

<http://hyamada.nifs.ac.jp/WhatIsFusion.pdf>

## 核融合は原子核が融合すること



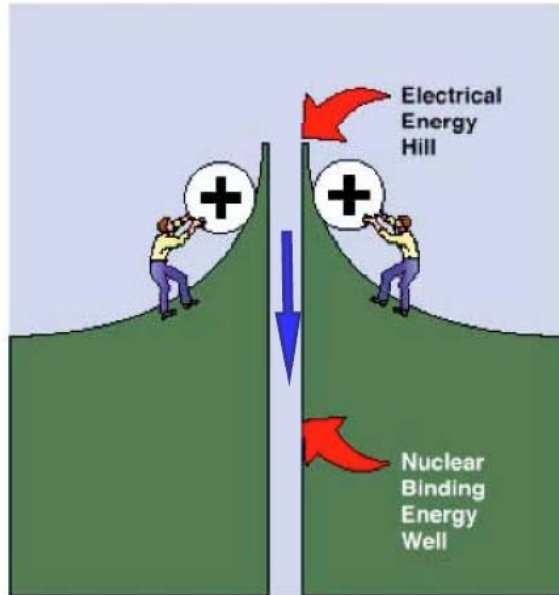
<http://hyamada.nifs.ac.jp/WhatIsFusion.pdf>



なぜ、プラスの電荷を持つ核同士が融合するのか？

ある距離より近づけば今度は互いに引き合う

核力＝原子核の中で働く力



電氣的反発の山を越えて  
核力の井戸の中へ

原子核を高速で衝突させる

→ 高いエネルギー

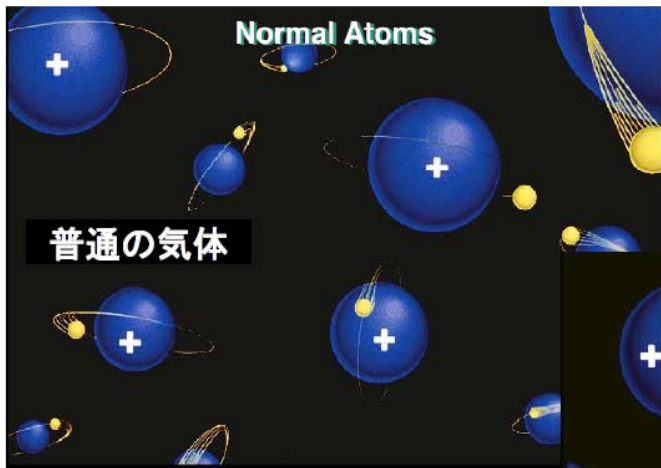
→ 高い温度

密度：1cc当たり百兆個、温度：1億度、閉じ込め時間：1秒

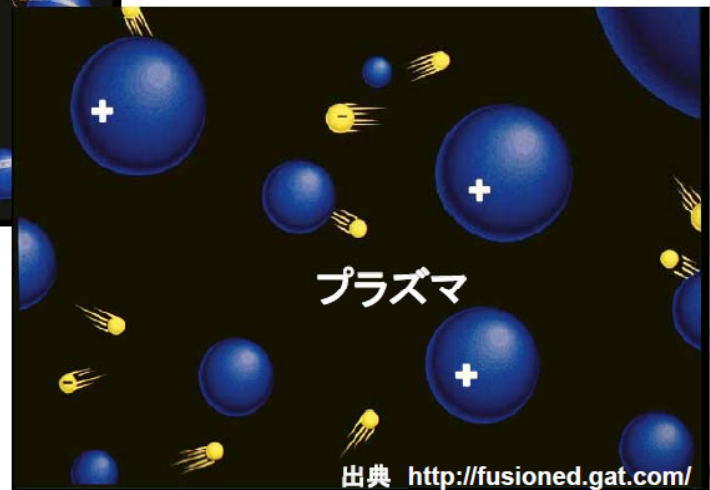
<http://hyamada.nifs.ac.jp/WhatsFusion.pdf>

## プラズマ＝物質の第四の状態

プラズマは電子と原子核がばらばらになった高温の気体

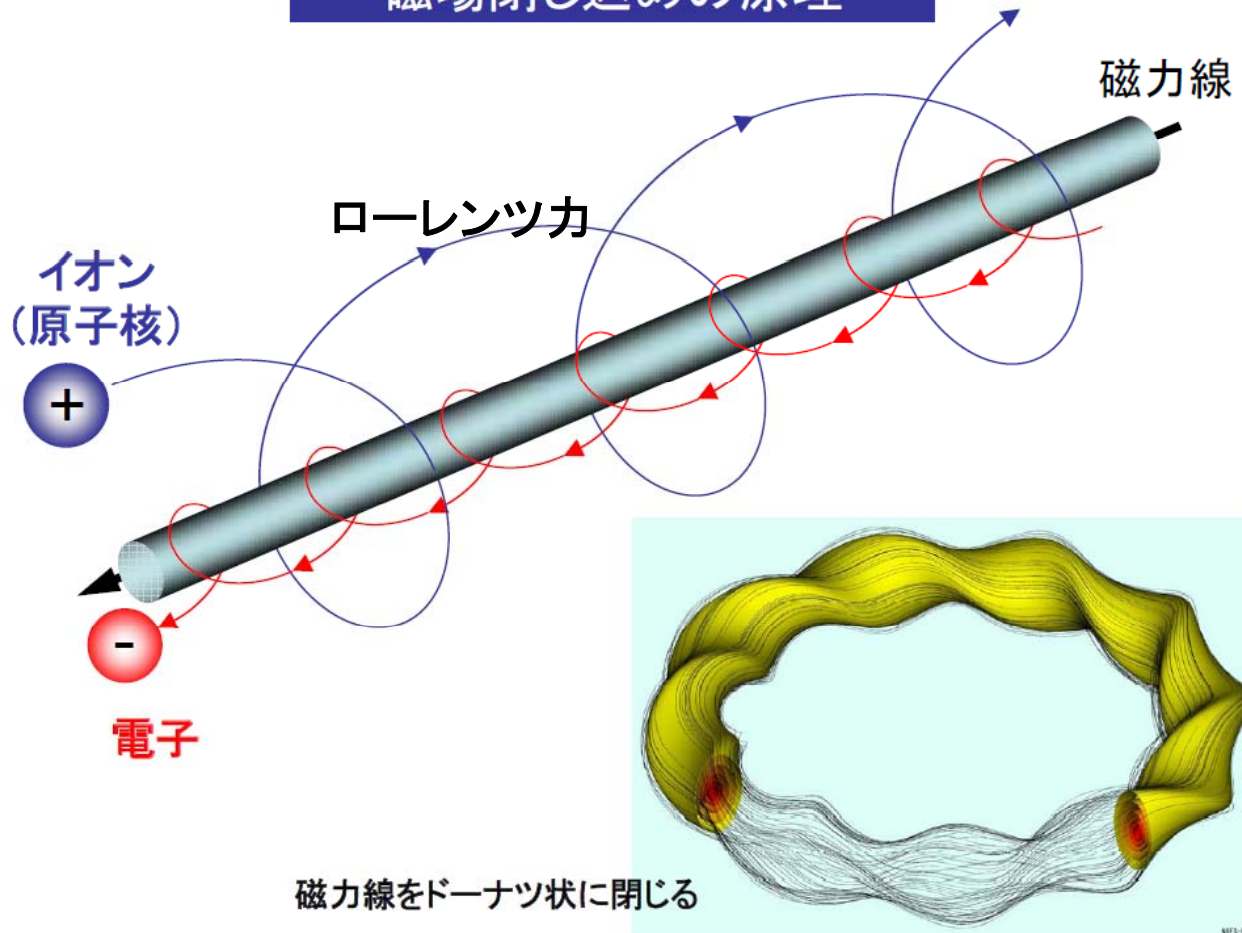


核融合を起こすような高温  
では  
物質は**プラズマ**になる



高温すぎて、耐性のある材料がない！

# 磁場閉じ込めの原理



<http://hyamada.nifs.ac.jp/WhatIsFusion.pdf>

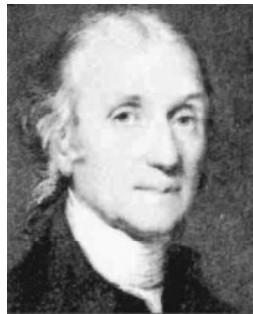
## 電磁気学で学ぶ法則の発見・定式化の歴史

### 静電気・静磁界

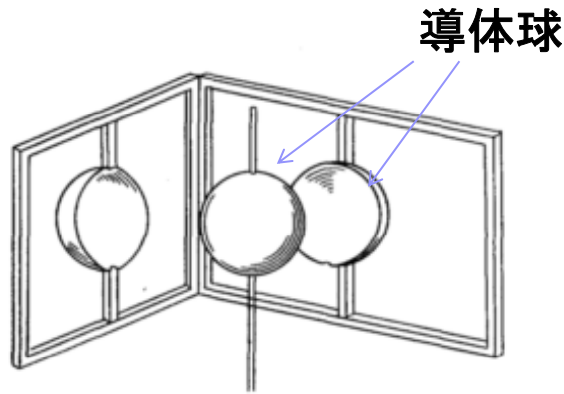
年	名前	事象	説明・コメント
BC900s		鉄を引き付ける磁石が知られていた	磁石 (Magnesiaの石) についての2つの伝説がある。羊飼いの少年マグメシアの最初に磁石を見つけた。磁石の産地ギリシャのマグネシアからきた。
BC600s	ターレス Thales	摩擦電気についての記述がある。	ギリシアでは 琥珀(ギリシャ語でエレクトロン)と毛皮を摺りあわせると摩擦電気が発生することが知られていた。
BC240s		「呂氏春秋」に、「慈石召鉄」の記述がある。	中国の本「呂氏春秋」に、「慈石召鉄」と書かれている。中国の河北省南端近くに磁県(ツーシェン)ここは昔良質の慈石を産出したことから慈州と呼ばれていた。
713		慈石の記述がある	日本では「続日本紀」の和銅6年(713年)に「近江より慈石を献ず」とあるのが最初である。

<http://www.geocities.jp/hiroyuki0620785/timeline.htm>

# クーロン力 距離の逆二乗則の定式化



ウィキペディアより



1773 ヘンリー・キャベンディッシュ  
1731~1810

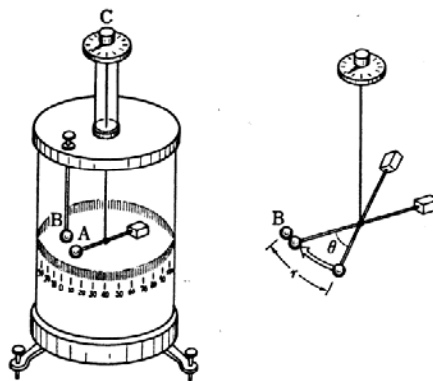
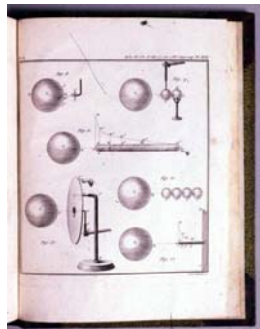


図 1-7 クーロンの用いたねじれ秤

[http://maeda3.c.u-tokyo.ac.jp/lecture/j\\_ele\\_2005\\_ppt.pdf#search=キャベンディッシュの実験 クーロン](http://maeda3.c.u-tokyo.ac.jp/lecture/j_ele_2005_ppt.pdf#search=キャベンディッシュの実験 クーロン)

1785 チャールズ・クーロン  
1736~1806

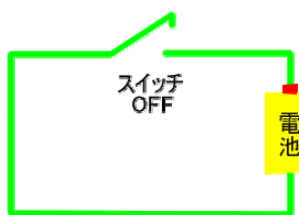
[http://www15.wind.ne.jp/~Glauben\\_leben/Buturi/History5.htm](http://www15.wind.ne.jp/~Glauben_leben/Buturi/History5.htm)

## 電磁気学で学ぶ法則の発見・定式化の歴史

### 定常電流による磁界の大きさの定式化

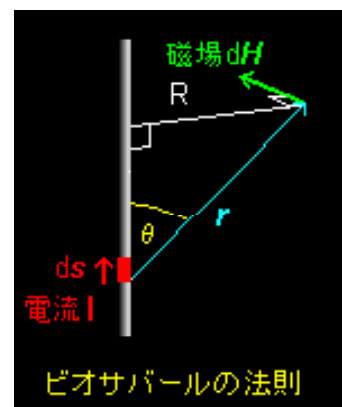
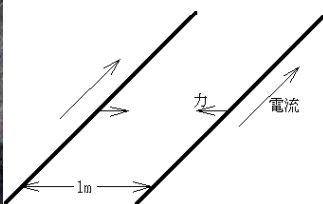


**1820.7.21**  
Hans Christian Oersted  
(1777-1851) エルステッド



**1820.9.18** Andre Marie Ampere  
(1775-1836) アンペールの法則

1[m:メートル]間隔の平行な2本の電線に、どちらにも同じ大きさの電流が同じ方向に流れているとき、引き付け合う力が電線1[m]あたり、 $2 \times 10^{-7}$ [N:ニュートン]のときの電流が1[A:アンペア]  $\Rightarrow$  1[A]の電流が1[s:秒]に運ぶ電気量を1[C:クーロン]と呼ぶ。



$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$

**1820.10.30** Biot, Jean Bapiste + F. Savart ビオ・サバールの法則

<http://www.geocities.jp/hiroyuki0620785/k2jiki/magoersted.htm>  
<http://www.f-denshi.com/000TokiwajPN/32denjk/090elc.html>

電圧と電流の関係の定式化

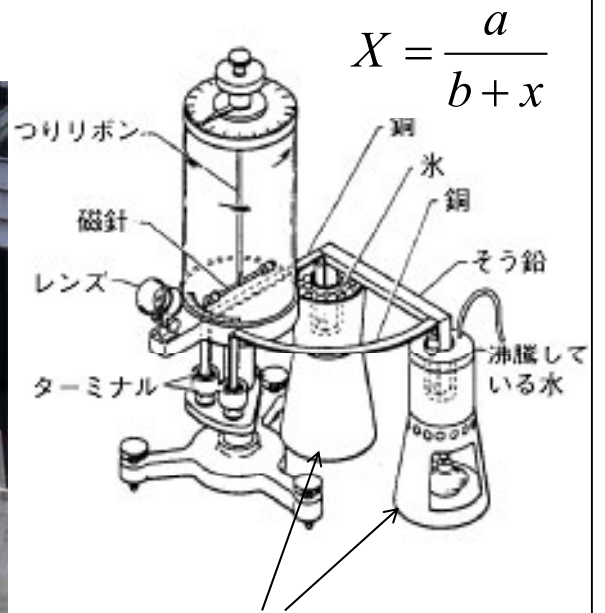
<http://www.shinko-keirin.co.jp/kori/science/ayumi/ayumi09.html>



1827 Georg Simon Ohm (1787-1854) オームの法則を発表 (オームの法則の発見は1771 Cavendish)



ミュンヘン工科大学のオーム像

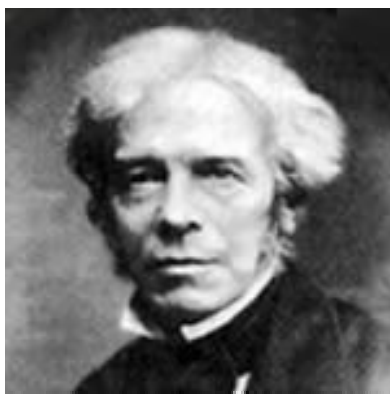


不安定なボルタの電池に代わり、ゼーベックの熱起電力を利用したことがポイント！

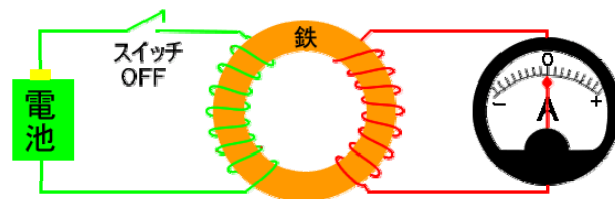
- X: 電流
- a: 起電力 (電圧)
- b: 抵抗器の抵抗
- x: 導線の抵抗

<http://www-user.yokohama-cu.ac.jp/~keizaisi/kogikeizaishi-indexAlbum.htm>

電磁誘導の発見(本講義では取り扱いません。)

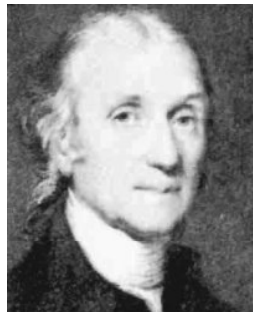


1831-45 Michael Faraday (1791-1867)

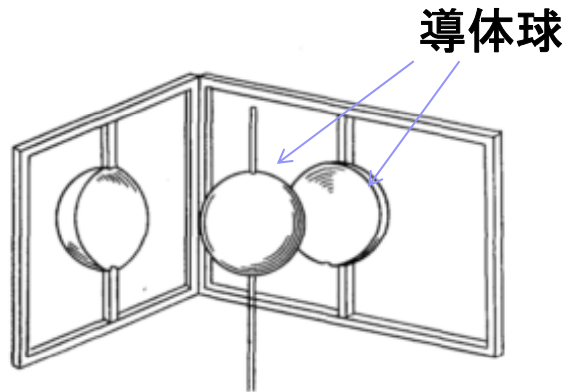


<http://www.geocities.jp/hiroyuki0620785/k2jiki/maginduction.htm>

# クーロン力 距離の逆二乗則の定式化



ウィキペディアより



1773 ヘンリー・キャベンディッシュ  
1731~1810

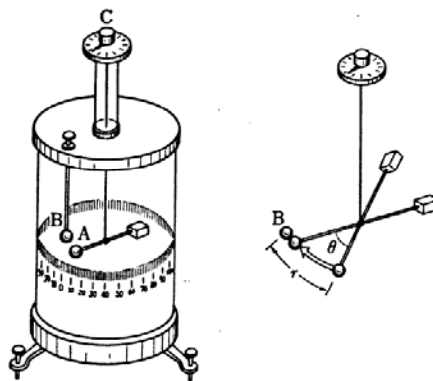
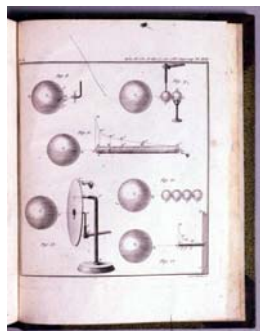


図 1-7 クーロンの用いたねじれ秤

[http://maeda3.c.u-tokyo.ac.jp/lecture/j\\_ele\\_2005\\_ppt.pdf#search=キャベンディッシュの実験 クーロン](http://maeda3.c.u-tokyo.ac.jp/lecture/j_ele_2005_ppt.pdf#search=キャベンディッシュの実験 クーロン)

1785 チャールズ・クーロン  
1736-1806

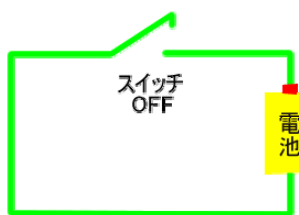
[http://www15.wind.ne.jp/~Glauben\\_leben/Buturi/History5.htm](http://www15.wind.ne.jp/~Glauben_leben/Buturi/History5.htm)

## 電磁気学で学ぶ法則の発見・定式化の歴史

### 定常電流による磁界の大きさの定式化

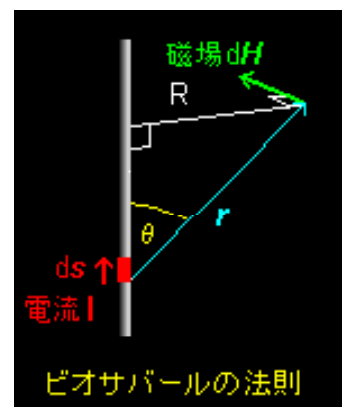
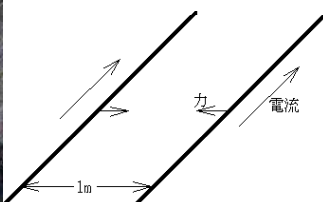


**1820.7.21**  
Hans Christian Oersted  
(1777-1851) エルステッド



**1820.9.18** Andre Marie Ampere  
(1775-1836) アンペールの法則

1[m:メートル]間隔の平行な2本の電線に、どちらにも同じ大きさの電流が同じ方向に流れているとき、引き付け合う力が電線1[m]あたり、 $2 \times 10^{-7}$ [N:ニュートン]のときの電流が1[A:アンペア]  
⇒1[A]の電流が1[s:秒]に運ぶ電気量を1[C:クーロン]と呼ぶ。



$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$

**1820.10.30** Biot, Jean Bapiate+ F. Savart ビオ・サバールの法則

## 身近な電化製品にある電磁気学



電子レンジ



[http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:Microwave\\_oven.jpg](http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%94%BB%E5%83%8F:Microwave_oven.jpg)

**Q1-2: 電子レンジの加熱原理および加熱に用いられている素子を説明しなさい。**

<http://www.t-scitech.net/kitchen/mono/renji.htm>

## 身近な電化製品にある電磁気学

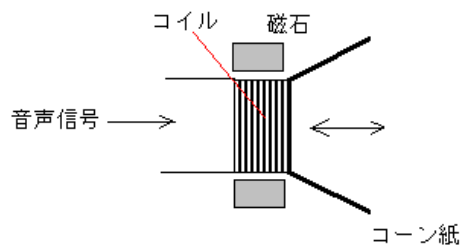


**Q1-3 コーヒーカップに水を入れたもの、およびコーヒーカップに水をいれ、さらにアルミホイルで覆ったものを電子レンジに入れスイッチを入れた。アルミホイルはアースした。終了後、それぞれ温度はどうなったか？またそれはなぜか？自分の講義ノートに記述しなさい。**

アルミホイルをアースしないと火花が発生しますので、家庭では危険ですから行わないでください！

<http://img.kakaku.com/images/productimage/fullscale/21153010303.jpg>

# 身の回りの電磁気学



**Q1-4 導線に電流を流すと、その周りに磁界を生じる現象を応用したもののひとつにスピーカーがある。左の概略図を用いて、スピーカーの動作原理を講義ノートに記述しなさい。**



<http://ja.wikipedia.org/wiki/スピーカー>  
<http://www9.wind.ne.jp/fujin/diy/denki/audio/speaker-genri.htm>

## 電磁気学でよく用いる単位: 随時確認します。

SIの電磁気の単位			
名称	記号	次元	物理量
<u>アンペア</u> (SI基本単位)	<b>A</b>	<b>A</b>	<u>電流</u>
<u>クーロン</u>	<b>C</b>	<b>A·s</b>	<u>電荷・電気量</u>
<u>ボルト</u>	<b>V</b>	<b>J/C = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-3</sup>·A<sup>-1</sup></b>	<u>電圧・電位</u>
<u>オーム</u>	<b>Ω</b>	<b>V/A = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-3</sup>·A<sup>-2</sup></b>	<u>電気抵抗・インピーダンス・リアクタンス</u>
<u>オーム・メートル</u>	<b>Ω·m</b>	<b>kg·m<sup>3</sup>·s<sup>-3</sup>·A<sup>-2</sup></b>	<u>電気抵抗率</u>
<u>ワット</u>	<b>W</b>	<b>V·A = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-3</sup></b>	<u>電力・放射束</u>
<u>ファラド</u>	<b>F</b>	<b>C/V = kg<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>·A<sup>2</sup>·s<sup>4</sup></b>	<u>静電容量</u>
<u>ファラド毎メートル</u>	<b>F/m</b>	<b>kg<sup>-1</sup>·m<sup>-3</sup>·A<sup>2</sup>·s<sup>4</sup></b>	<u>誘電率</u>
<u>ジーメンズ</u>	<b>S</b>	<b>Ω<sup>-1</sup> = kg<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>·s<sup>3</sup>·A<sup>2</sup></b>	<u>コンダクタンス・アドミタンス・サセプタンス</u>
<u>ジーメンズ毎メートル</u>	<b>S/m</b>	<b>kg<sup>-1</sup>·m<sup>-3</sup>·s<sup>3</sup>·A<sup>2</sup></b>	<u>電気伝導度</u>
<u>ウェーバ</u>	<b>Wb</b>	<b>V·s = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-2</sup>·A<sup>-1</sup></b>	<u>磁束</u>
<u>テスラ</u>	<b>T</b>	<b>Wb/m<sup>2</sup> = kg·s<sup>-2</sup>·A<sup>-1</sup></b>	<u>磁束密度</u>
<u>アンペア毎メートル</u>	<b>A/m</b>	<b>m<sup>-1</sup>·A</b>	<u>磁場(磁場の強さ)</u>
<u>ヘンリー</u>	<b>H</b>	<b>Wb/A = V·s/A = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-2</sup>·A<sup>-2</sup></b>	<u>インダクタンス</u>
<u>ヘンリー毎メートル</u>	<b>H/m</b>	<b>kg·m·s<sup>-2</sup>·A<sup>-2</sup></b>	<u>透磁率</u>



# SI基本単位

物理量	単位
長さ	メートル(m)
質量	キログラム(kg)
時間	秒(s)
電流	アンペア(A)
温度	ケルビン(K)
光度	カンデラ(cd)
物質質量	モル(mol)

## 電磁気学 I でやること ー電界の考え方ー

電界を理解するには → 電荷に加わる**クーロン力**の理解が必要

**クーロン力とは? ... 実験的に分かった経験則**

電荷Qと電荷qの間にはクーロン力が働く。Qとqの距離をrとすると、その大きさは

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q||q|}{r^2} [N]$$

**Q1-5: ニュートンをSI基本単位で書き換えると?**

$\epsilon$ : 電荷の周りの誘電率

N: 力の単位 ニュートン=

真空の誘電率  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  [F/m]

## 電位(または電圧)の定義

$$V_{AB} = -\int_A^B \vec{E}(r) \cdot d\vec{r} [V]$$

### 単位の関係

$$\begin{aligned} \text{エネルギーの単位} & [J]=[N \cdot m] \\ \text{電圧の単位} & [V]=[J/C]=[N \cdot m/C] \\ \text{電界の単位} & [N/C]=[V/m] \end{aligned}$$

電位はスカラー、電界はベクトル。  
電位の基準(上式の場合A)は自分で決める。

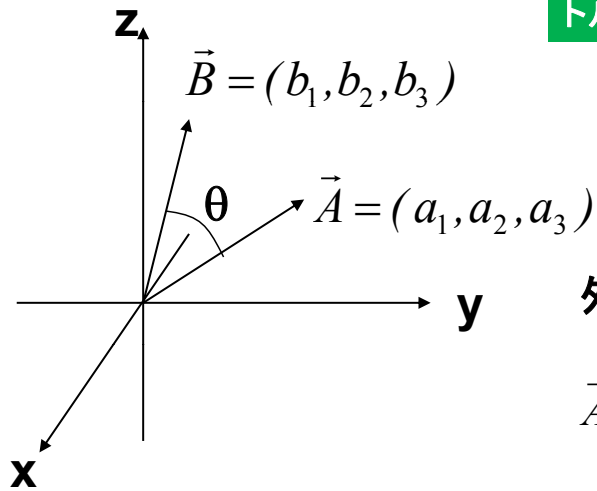
## 数学の訓練

### 1. 積分

Q1-6  $r$ の関数 $f(r)=r^{-2}$  について、 $r=-1$ から3まで積分しなさい。

## 数学の訓練

### 2. ベクトル演算



Q1-6 内積、外積の結果を各成分および基本単位ベクトルで表しなさい。

内積

$$\vec{A} \cdot \vec{B} =$$

外積

$$\vec{A} \times \vec{B}$$

## 数学の訓練

Q1-7 ベクトルの勾配、発散、回転を各成分および微分で表しなさい。

演算子 ナブラ



スカラーの勾配  $\nabla \varphi = \text{grad} \varphi =$

ベクトルの発散

$$\nabla \cdot \vec{A} = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \cdot (a_1, a_2, a_3)$$

ベクトルの回転  $\nabla \times \vec{A} = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \times (a_1, a_2, a_3)$

## 数学の訓練

Q1-8 次のベクトル恒等式はどうなるか、別の形で書きなおしなさい。

$$\vec{A} \times \vec{A} =$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{A} \times \vec{B}) =$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) =$$

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) =$$

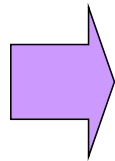
## 数学の訓練

Q1-9 ラプラス演算子を各成分および微分で表しなさい。

$$\nabla \cdot (\nabla \varphi) =$$

## ガウスの定理

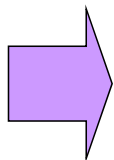
$$\iiint_V \nabla \cdot \vec{A} dV = \oiint_S \vec{A} \cdot d\vec{S}$$



ある空間にベクトル場  $\vec{A}$  とその発散場  $\nabla \cdot \vec{A}$  がある場合、任意の領域  $V$  内で発散  $\nabla \cdot \vec{A}$  を加え合わせたものは、 $V$  の全表面  $S$  においてベクトル場  $\vec{A}$  の流束  $\vec{A} \cdot d\vec{S}$  を加え合わせたものに等しい。

## ストークスの定理

$$\iint_S \nabla \times \vec{A} \cdot d\vec{S} = \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{r}$$



ある空間にベクトル場  $\vec{A}$  とその回転場  $\nabla \times \vec{A}$  がある場合、任意の局面  $S$  を貫く  $\nabla \times \vec{A}$  の流束  $\nabla \times \vec{A} \cdot d\vec{S}$  を加え合わせたものは、 $S$  の外周  $C$  上でベクトル場  $\vec{A}$  について、 $\vec{A} \cdot d\vec{r}$  を加え合わせたものに等しい。

## 本講義のまとめ

- \* 電磁気学が人類に対してどのような役割を担っているか、自分なりの理解度を5段階評価で表わしなさい。(5: 良く理解できた。~1: 全く理解不能。)
- \* 身近な例で電磁気学的な事柄を例示し、社会資本との関わりについてまとめなさい。
- \* 講義に対する要望があれば列挙せよ。