

「エレクトロニクス科学史」

那須科学歴史館 館長 田澤勇夫

計測技術の歴史と現代の最先端技術

- ・ オームの実験(1827年)から始まる現代の最先端技術
- ・ プランクの熱放射理論(1900年)と現代の最先端技術
- ・ 地球温暖化メカニズム理論の中心はプランクの式

オームの実験(1827)から始まる最先端技術

オームの実験は電子回路と計測技術の宝庫



Georg Simon Ohm
1789-1827

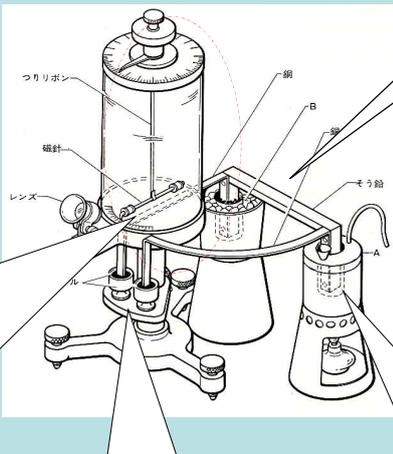
ガルバノメーター



アナログメーター



デジタルメーター

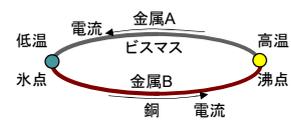


抵抗測定 抵抗標準

ブリッジ計

電位差計

ゼーベック効果(熱起電力)



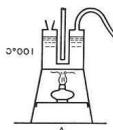
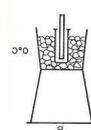
熱電対温度計

ペルチェ素子

温度定点

氷点

沸点



オームの実験の再現は難しい V.S. 現代の装置では簡単⇒何故？



オームの実験の再現装置



現代の装置(メーター)によるオームの法則の実験装置



オームの法則を確認するには
 高い技術が必要 誰でも簡単にオームの法則を確認することができる。

200年近い歳月をかけた研究開発による計測技術を簡単に利用できるから

ゼーベック効果、熱電対温度計、ペルチェ効果

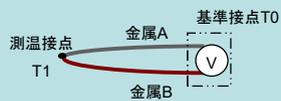
ゼーベック効果(熱⇒電気変換) 1821年

ゼーベック(T.J. Seebeck)により発見された現象で、2つの異なる金属A,Bの両端を接続し、2つの接続点に温度差があると2つの金属A,Bからなる回路に起電力Vが生じ、この起電力Vを熱起電力(Thermo Electromotive Force)と言う。



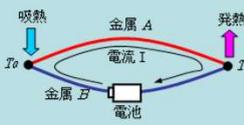
熱電対温度計

熱電対はゼーベック効果により、2種類の金属の接合部(測温接点)T1の温度と計測器側接点(基準接点)T0の温度差Tによる電圧Vを発生するので、電圧Vを測定することにより温度T1を測定することができる。



ペルチェ効果(電気⇒熱変換) 1834年

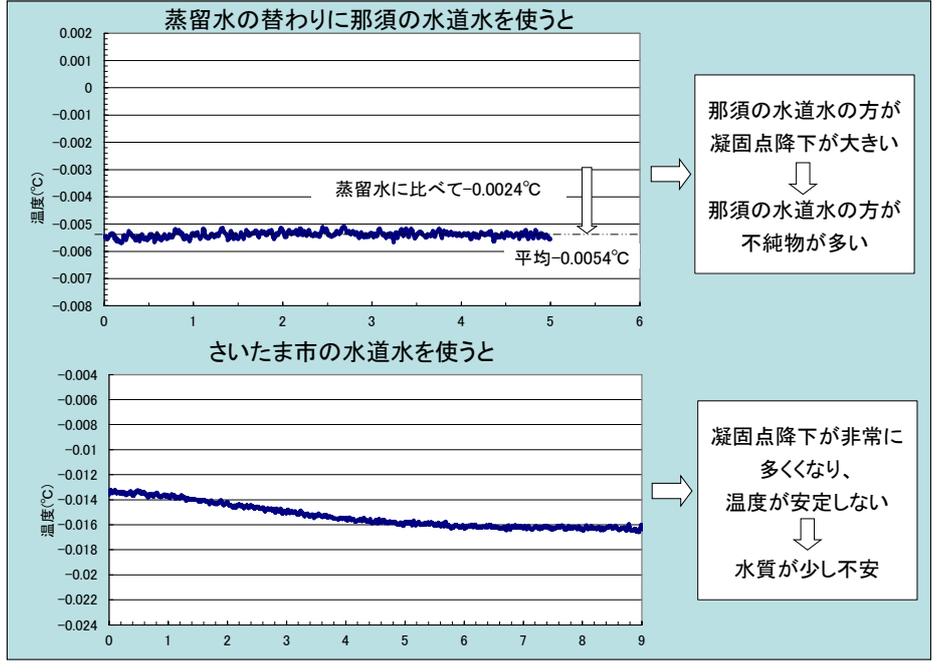
ペルチェ(J.C.A. Peltier)により発見された現象で、2つの異なる金属A,Bを接続し、2つの金属からなる回路に電流Iを流すと、接続部に熱の吸収、または放熱が発生します



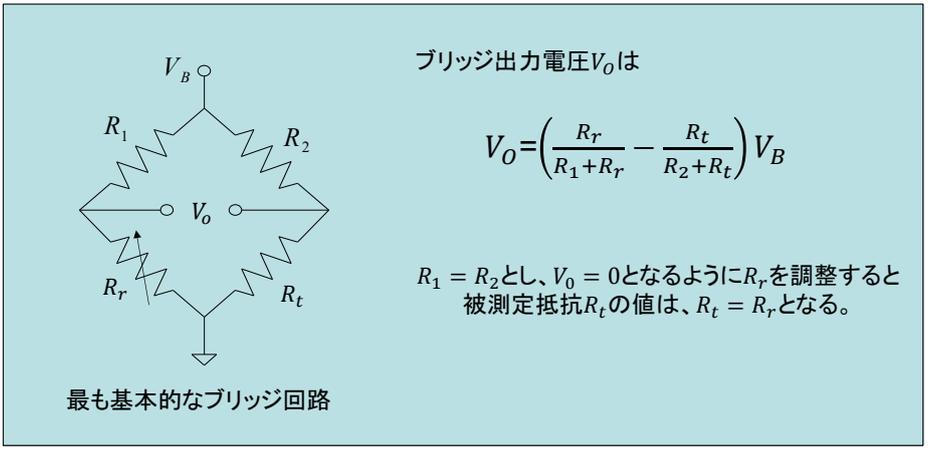
図B ペルチェ効果

理論の詳細は「トランジスタ技術」CQ出版 2007年3月号p.264(田澤著)参照

温度の測定精度を高くすると新たな現象が見えてくる

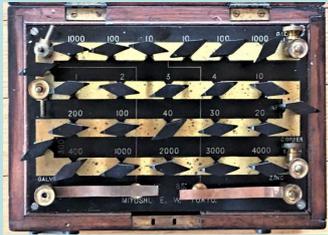


抵抗測定 最初のブリッジ計はクリスティにより発案(1833年)



ブリッジ計は欠点を持つが、
高精度抵抗測定技術として21世紀においても有効な方法

いろいろなブリッジ計



1940年頃のブリッジ計



1960年頃のブリッジ計

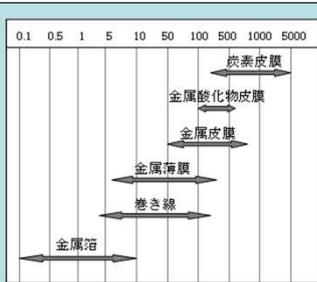


教材用直流型ブリッジ計



教材用交流型ブリッジ計

高精度抵抗測定に不可欠な標準抵抗器

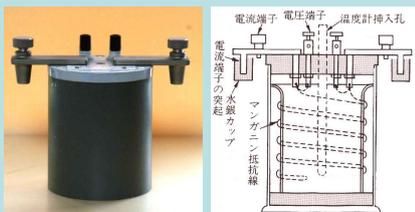


抵抗器の温度係数(単位 ppm/°C)

高精度な抵抗測定のためには、高度な測定回路技術と共に特性が安定している標準抵抗が不可欠です。

抵抗はいろいろな種類があり、その安定度(経年、環境温度などに対して)も大きく変わります。

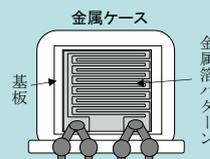
以前は標準抵抗器として巻き線型が用いられていましたが、現在はより特性が安定している金属箔が多く用いられています。



従来の巻き線型標準抵抗器



最新の金属箔標準抵抗器



ガルバノ・メータ(検流計)の原理はエルステッドの実験(1820年)



H. C. Oersted
1777-1851

■エルステッドの実験

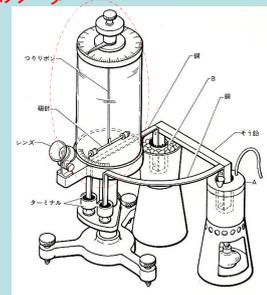


ガルバノメータ

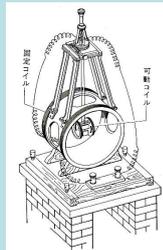
1827年のオームの実験にも
用いられたガルバノメータ



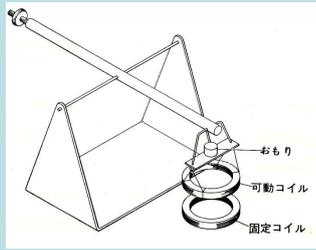
G. S. Ohm
1789-1827



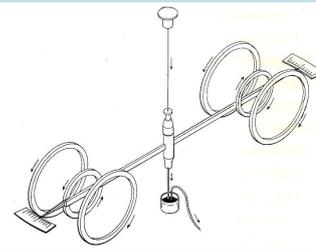
いろいろなガルバノメータが開発された。



ウェーバのダイナモメータ

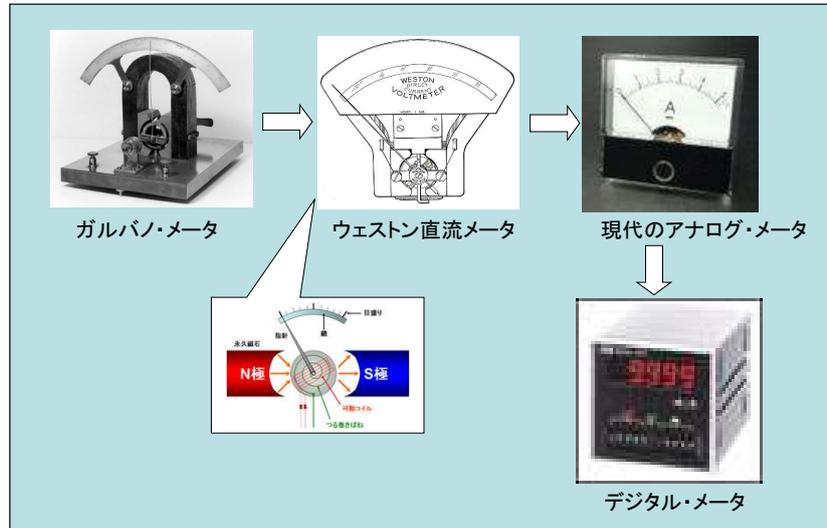


ジュールの電流秤



マックスウエルの電流秤

ガルバノ・メータからデジタル・メータへ



プランクのエネルギー熱放射理論と最先端技術

キリヒホッフの放射法則の発見(1859)



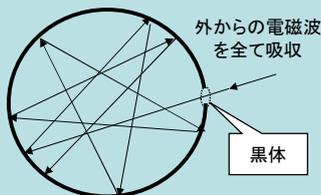
G. R. Kirchhoff
1824-1887

1847年に電気回路の基本法則を発見したキリヒホッフは、溶鉱炉の研究から1859年に黒体放射を発見し、放射に関する法則を見出した。

物体の電磁波の吸収率と放射率の比は温度と波長のみで決まり、一定である。

↓ 熱力学により

吸収率と放射率は等しい。



大きな球形空洞表面の極小孔より入った電磁波は空洞内部で反射を繰り返し、外に出ることはない。これを黒体放射(空洞放射)と言う。

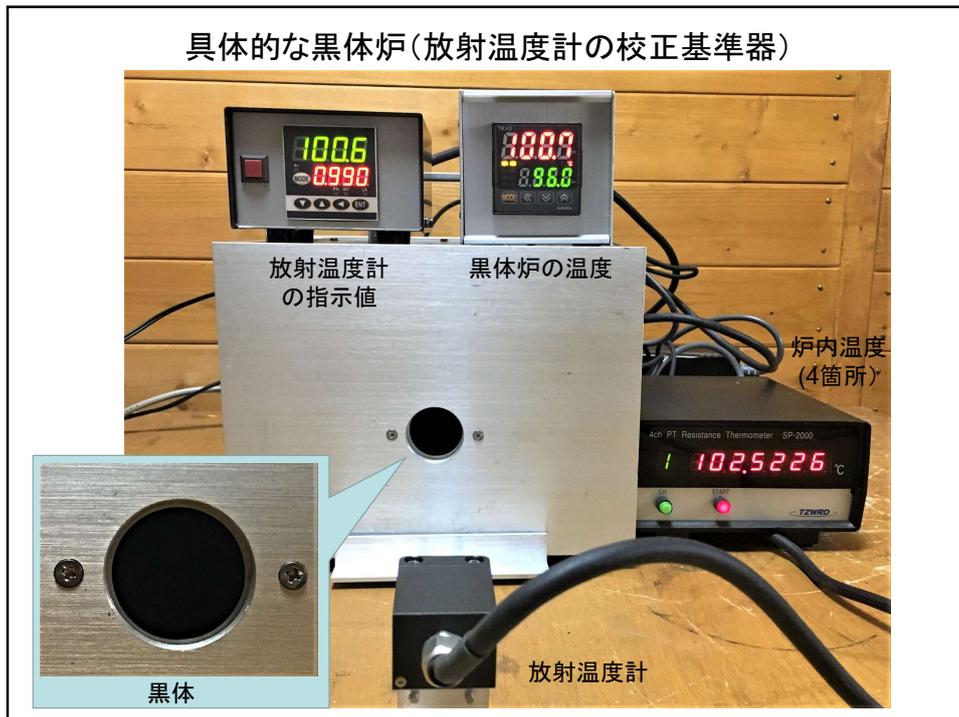
黒体放射

吸収率1 ⇒ 空洞に入射する電磁波を全て吸収

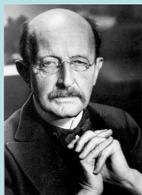
放射率1 ⇒ 空洞の温度に対応した電磁波のみ放射

この空洞を黒体と言う。

具体的な黒体炉(放射温度計の校正基準器)



プランクのエネルギー量子化仮説(1900)



M. Planck,
1858- 1947

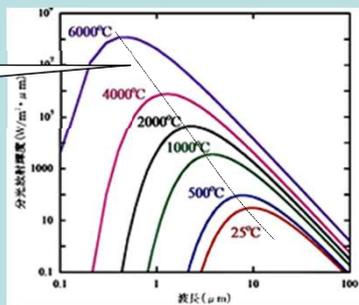
小さい波長領域でも**実験と良く合う**次の式をプランクは導入した。

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi}{\lambda^4} kT \Rightarrow u_{\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^4} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

実験式であって理論式でない

ウィーンの変位即
 $\lambda_{max} = b/T$

λ_{max} を求めれば、
その温度 T が分かる



赤外線により熱源の温度を非接触で計測する原理

黒体：入射エネルギーの全てを吸収する理想的な物体

吸収率 $\alpha=1$

黒体放射：黒体の放射で

放射率 $\epsilon(\alpha)=1$

Plank式より黒体より放射される強度は
($1\text{cm}^2, 1\mu\text{m}$ 当たり)

$$W_\lambda = 2\pi hc^2 / \lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)$$

$$= c_1 / [\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)]$$

$$c_1 = 3.7418 \times 10^{-4} \text{ W/cm}^2 \eta\text{m}^4$$

$$c_2 = 1.4388 \times 10^{-4} \eta\text{m}\cdot\text{K}$$

全放射量は

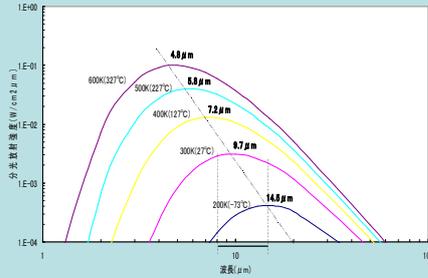
$$W = \int_0^\infty W_\lambda d\lambda = (2\pi^5 k^4 / 15c^2 h^3) T^4$$

$$= \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.6705 \times 10^{-12} \text{ W/cm}^2 \text{K}^4$$

放射率 ϵ の物体からの放射量は

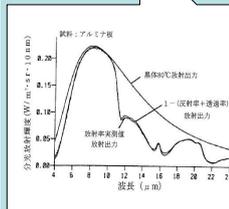
$$W' = \epsilon \sigma T^4$$



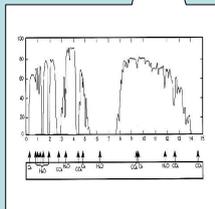
赤外線温度計測技術の基本構成

測定対象

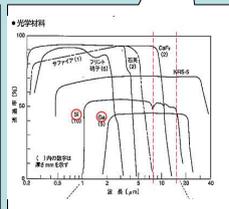
センサ



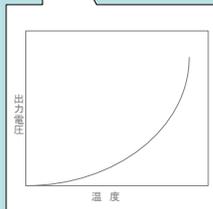
放射率の波長依存性



大気の透過率



レンズの透過率

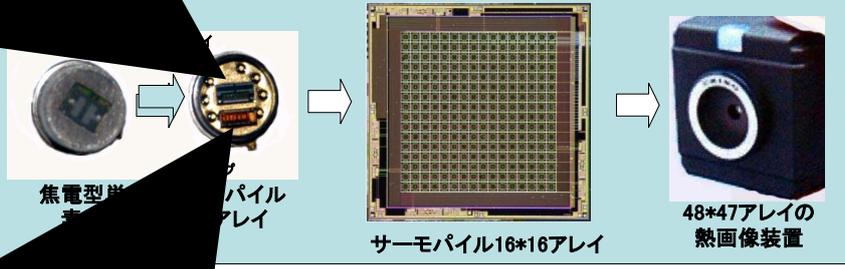


センサ素子の特性

赤外線センサ アレイ(ボロメーター、サーモパイルなど)
熱画像装置 ⇨ コロナウイルス感染監視



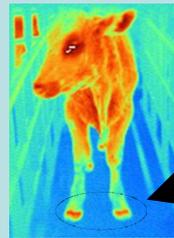
サーモパイルのアレイ化の例



熱画像装置のいろいろな用途



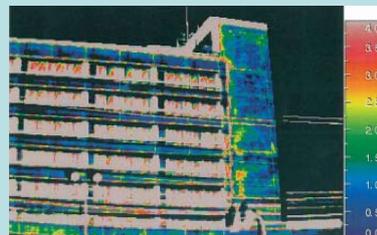
豚インフルエンザ対策



口蹄疫対策

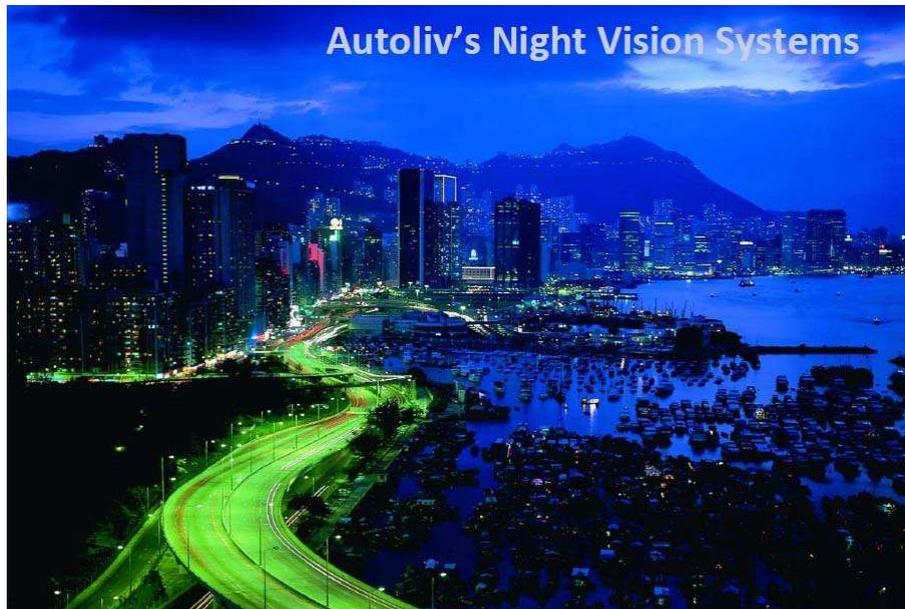


可視画像



熱画像による建築物診断

AIによる自動運転のための必須アイテム: Night Vision



Why Do I Need it?



Pedestrian Accident Data

| |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------|---|---|---|--|---|
| Pedestrian fatalities | 4,092 | 7,000 | 24,500 | 1,884 | 2,304 |
| % of total traffic fatalities | 12% | 14% | 25% | 32% | 38% |
| % at night time | 69% | 47% | - | 68% | 64% |



Evolution & Market

Consumer Rating Importance of Driver Assistance Systems

| | |
|----------------------------|-------------|
| Emergency braking | 85 % |
| ESC (Stability control) | 73 % |
| NIGHT VISION SYSTEM | 61 % |
| Navigation System | 58 % |
| Lane Departure Warning | 55% |
| Park Assistance | 49 % |
| Drowsiness Warning | 47 % |
| Adaptive Headlamps | 42 % |
| Speed Limit Information | 35 % |

プランクの量子化仮説(1900)と21世紀の最先端の科学技術



小さい波長領域でも**実験と良く合う**次の式をプランクは導入した。

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi}{\lambda^4} kT \Rightarrow u_{\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^4} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad \text{実験式}$$



ナイト・ビジョン

地球温暖化メカニズム理論の中心はプランクの式

