

第3章 物理モデルと標準 ～標準の2つの役割

無人島にいるあなた。

「1m を測って下さい」

1 m の定義の変化

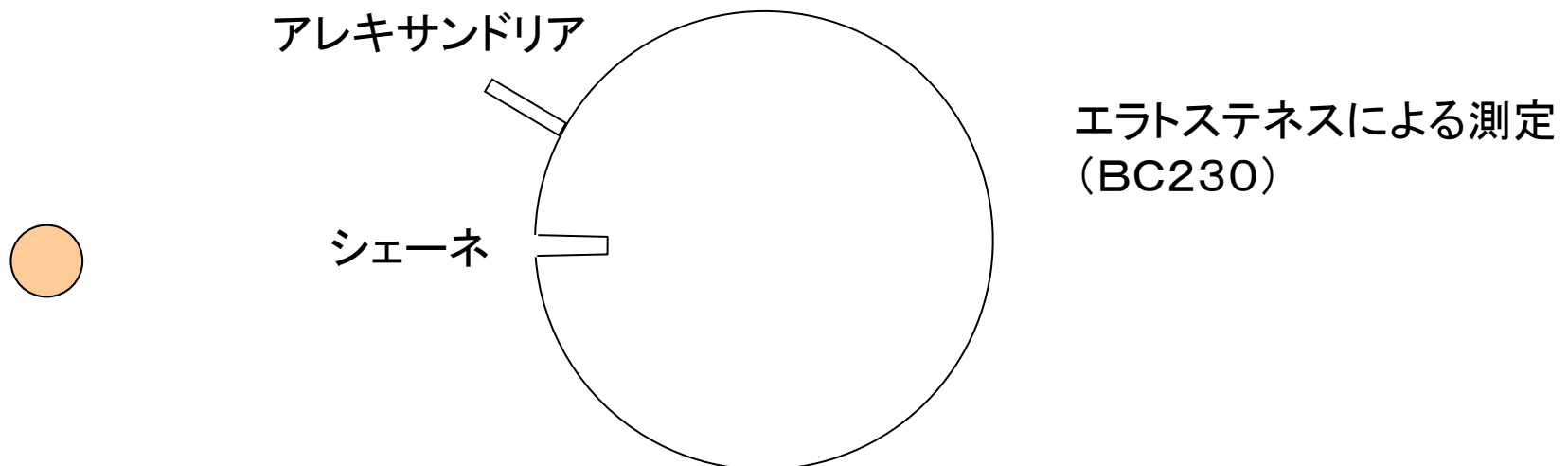
1875年 --- 地球の(子午線に沿う)1周の 4000 万分の1

センサ工学の基礎

— 山崎弘郎著 (昭晃堂)

地球の半径の測定

手元にした長さ単位と地球半径の比を求める



1875年 --- 地球の子午線の 4000 万分の1



白金イリジウムによるメートル原器

- 目盛り線の幅が有限 $\sim 7\mu\text{m}$
- 温度で変化
- 原器を持っている人の所へ行かなければならない



1960年 --- Kr86 の準位 $2p_{10} - 5d_5$ 遷移によるオレンジ光波長
[誤差率 4×10^{-9}]



1983年 --- セシウム原子時計 + 光速不変
[時間計測の誤差率 10^{-13} (当時)]

周波数の相対誤差 $\alpha = 10^{-15}$ (NIST-F1) の意味

2つの発振器の発する $f = 1$ GHz の電磁波 (波長 30 cm) が
1波長分ずれるまでに要する時間 T

$$\alpha = 10^{-15} : T = \frac{1}{\alpha f} = 10^6 \text{ [s]} \approx 280 \text{ 時間}$$

$$\left(\alpha = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\lambda}{cT} \right)$$

仮に $\alpha = 10^{-18}$ (光格子時計、300 億年に 1 秒の誤差) とすると

$$T = 32 \text{ 年間}$$

チップ型原子時計 (Transducers 2007)

Honeywell Aerospace Research Labs.

CSAC(Chip-Scale Atomic Clock)プロジェクト

周波数の安定度 2.9×10^{-12}

消費電力 57mW

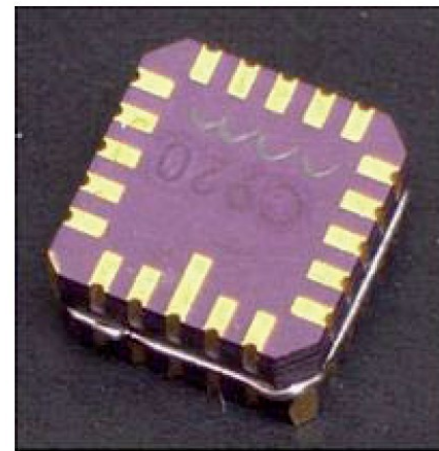
ルビジウム(Rb)蒸気 発振周波数
6.834683 GHz

Figure 7: Kyocera 20-pin LCC vacuum package used for CSAC cells.

アプリケーション <http://diamond.jp/articles/-/40022?page=2>

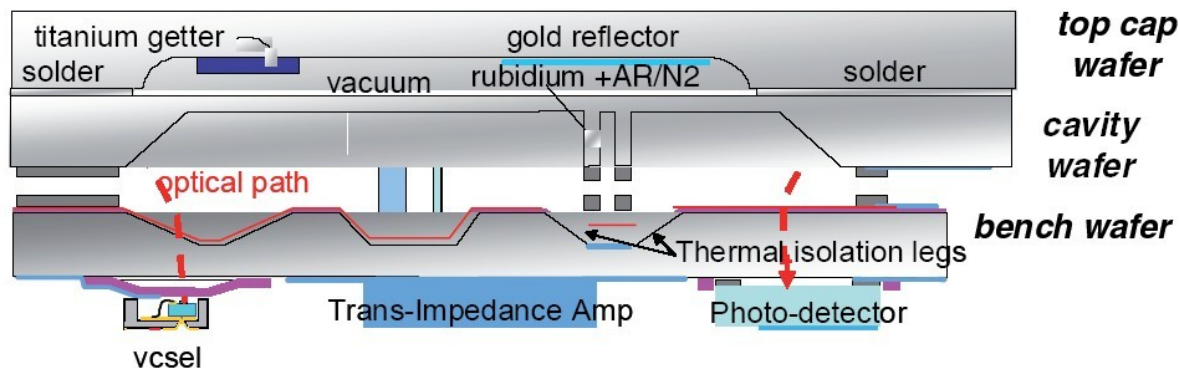


Figure 2: Schematic cross-section of the Honeywell Chip-Scale Atomic Clock

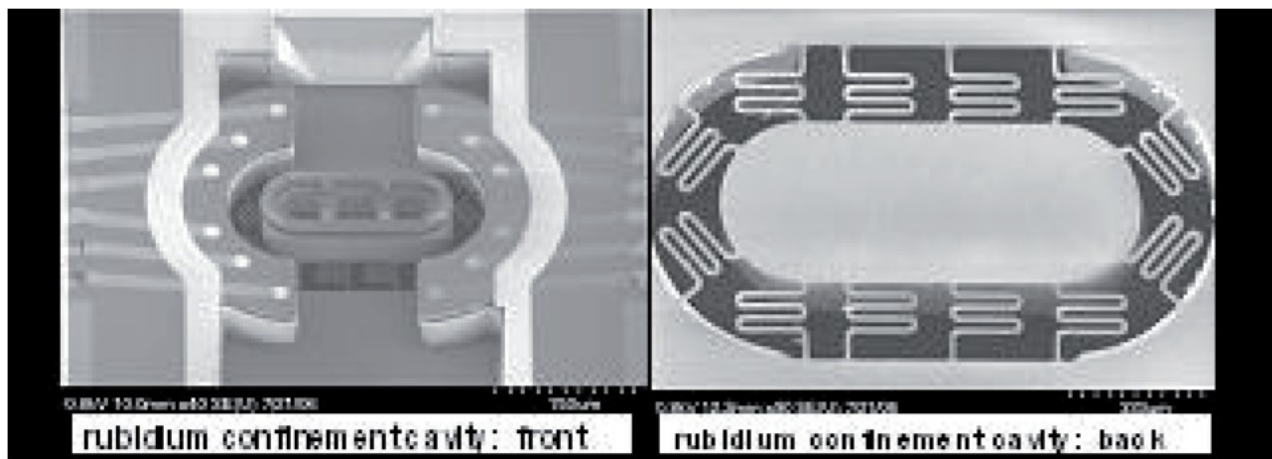


Figure 3: Front and back views of the rubidium cavity.

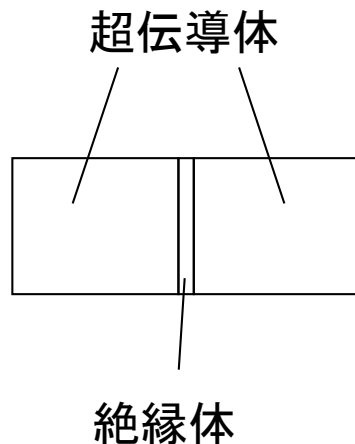
高精度の時計が普及したときの波及効果を
考察して下さい

標準電池

1908 水銀抵抗原器と銀分離器(電流原器)により
巻線抵抗器と標準電池を校正

ジョセフソン効果

- * 究極の VF コンバータ
- * 比例係数が構造の大きさ等に依存しない



$$V_N = (h/2e) \cdot N \cdot f$$

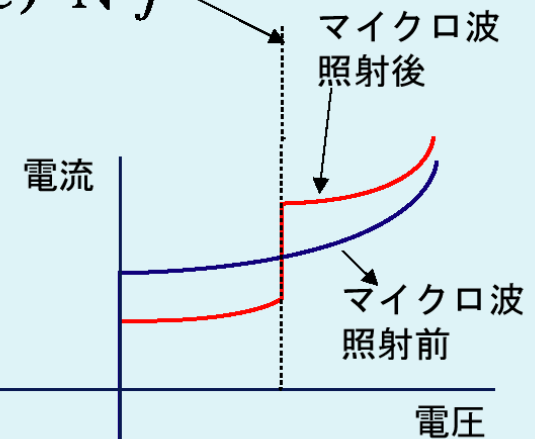
V_N : 発生電圧

f : マイクロ波周波数

h : プランク定数

e : 単位電荷

N : 整数

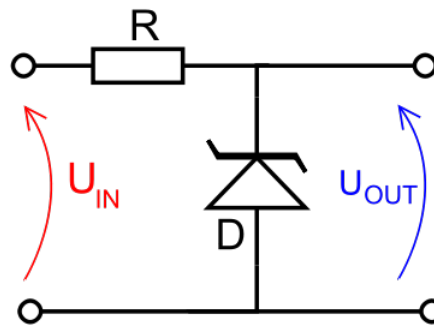


* 係数 $2e/h$ の1998年勧告値は 483 597.898(19) GHz/V

実用的な電圧標準

- ・ バンドギャップリファレンス回路
- ・ ツェナーダイオード

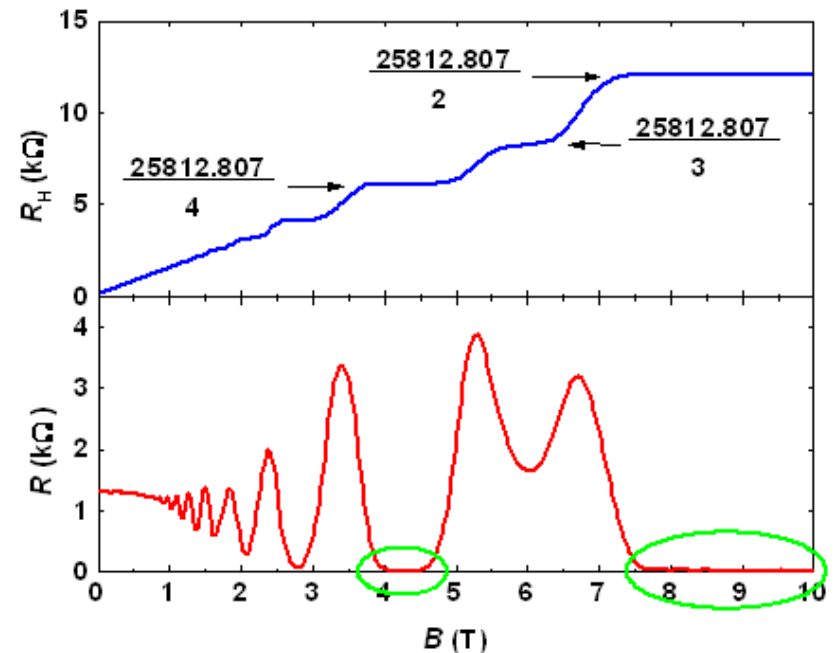
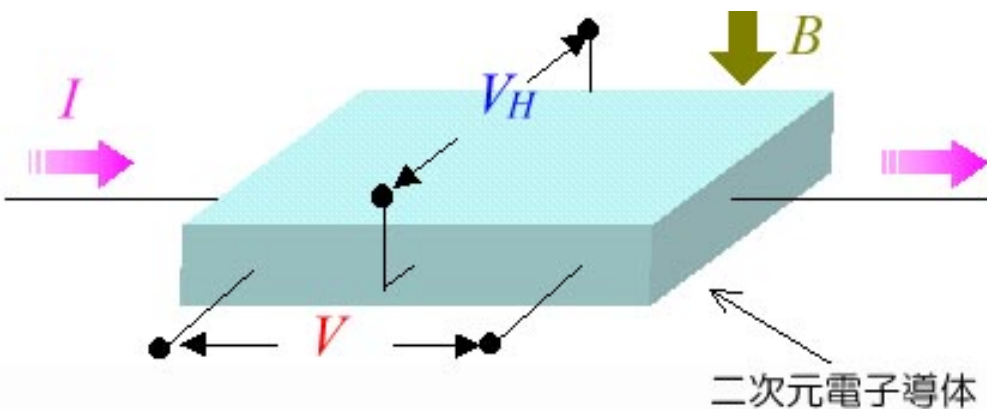
（正電圧の生成方法。
 U_{out} は U_{in} が変動しても一定。）



量子ホール効果 (K. von Klitzing: 1985年ノーベル賞)

$$R_H = \frac{1}{p} \cdot \frac{h}{e^2}$$

(p は 1,2,3,... などの整数値かまたは
1/3,2/3,1/5,2/5,... などの奇数分母の分数値)



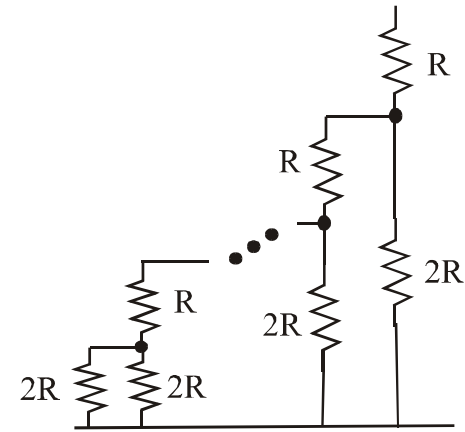
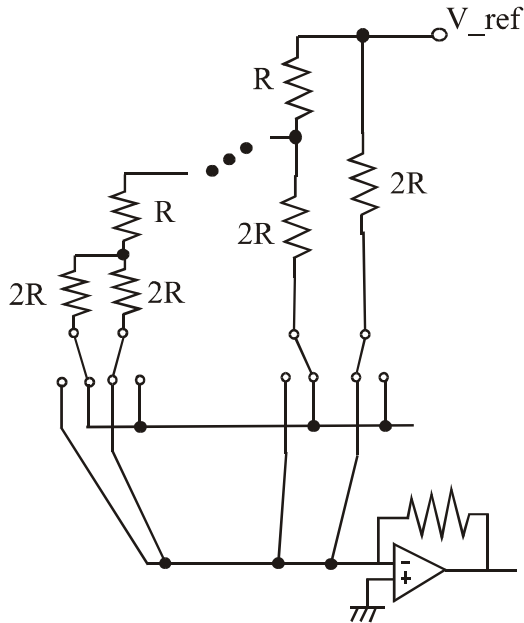
標準の意義

1. 製造した計測装置を校正する
一般の計測装置： 標準に対する相対値を求める

ある素子の両端に 1V の電圧が発生していることがわかっています。

それを利用して電圧計を作ってください

2. そのまま高分解能の絶対計測装置として利用する
 - ・ 時間
 - ・ (潜在的には) 電圧、質量、...



基本形(2進分圧木)

2進分圧木によるDA変換
→ 逐次比較型AD変換

- フラッシュ A/D 変換 (n 段階の基準電圧をつくり、n段階に量子化)
- 積分型 A/D 変換 (積分値が一定値になるまでの時間をカウント)
- デルタ-シグマ A/D 変換

高精度の電圧計は容易に回路に組み込める