



バイオメディカル情報工学

第2部 生体情報技術入門

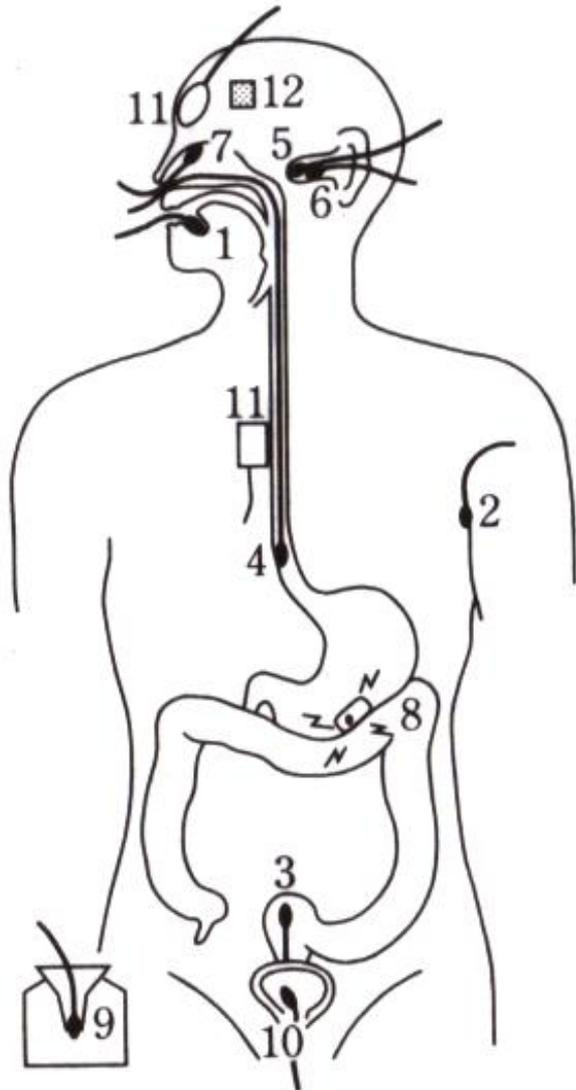
第2章 生体信号

第2節 体温と血中酸素飽和度

生体情報学講座
陳 文西

各種体温と計測部位

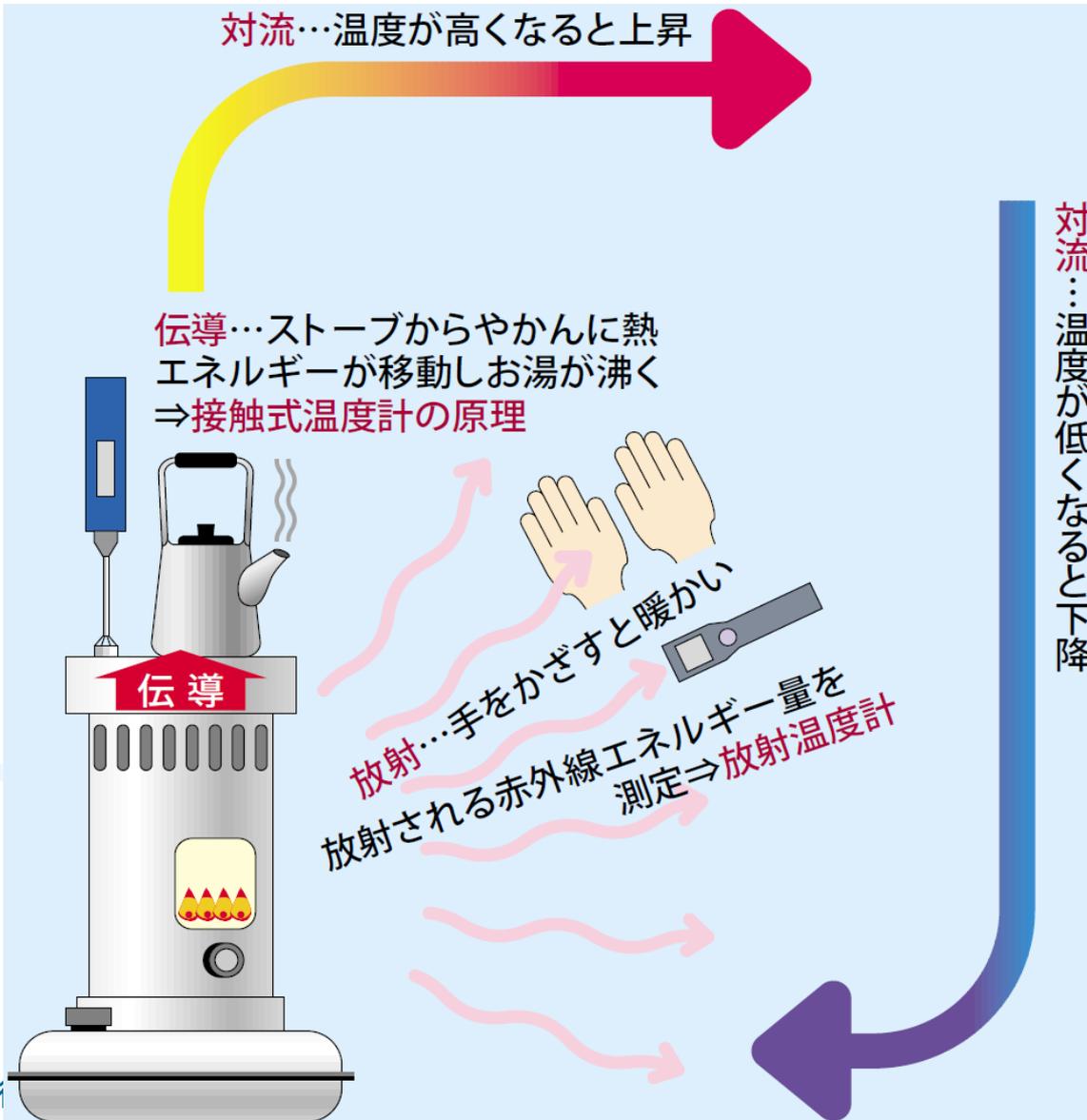
臨床上よく使われる



- 1：口内温 ← 正確な計測には習熟必要
- 2：腋窩温 ← 外気に影響されやすい
- 3：直腸温 ← 温度計を直腸に挿入する
- 4：食道温
- 5：鼓膜温 ← 検温速い、主に乳幼児使用
- 6：外耳温
- 7：鼻腔温
- 8：消化管内温
(ラジオカプセルによる計測)
- 9：尿 温
- 10：膀胱温
- 11：前額あるいは胸部深部温
(熱流補償プローブによる計測)
- 12：前額皮膚温

直腸温 > 鼓膜温 > 舌下温 > 腋窩温

熱の伝わり方

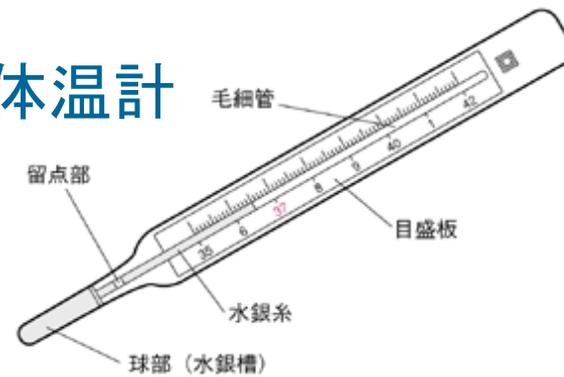




体温の計測部位と方式

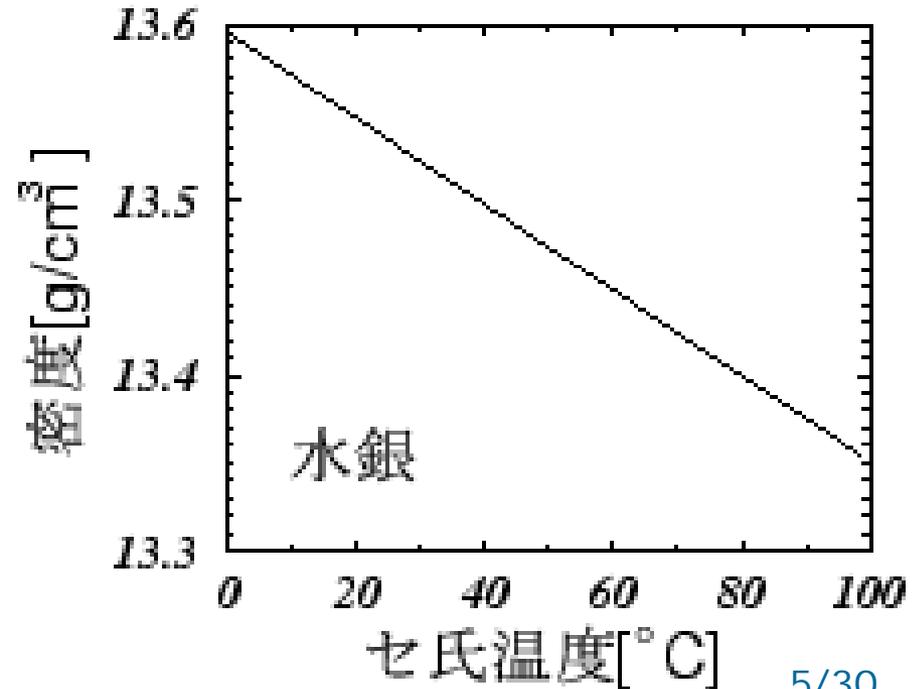
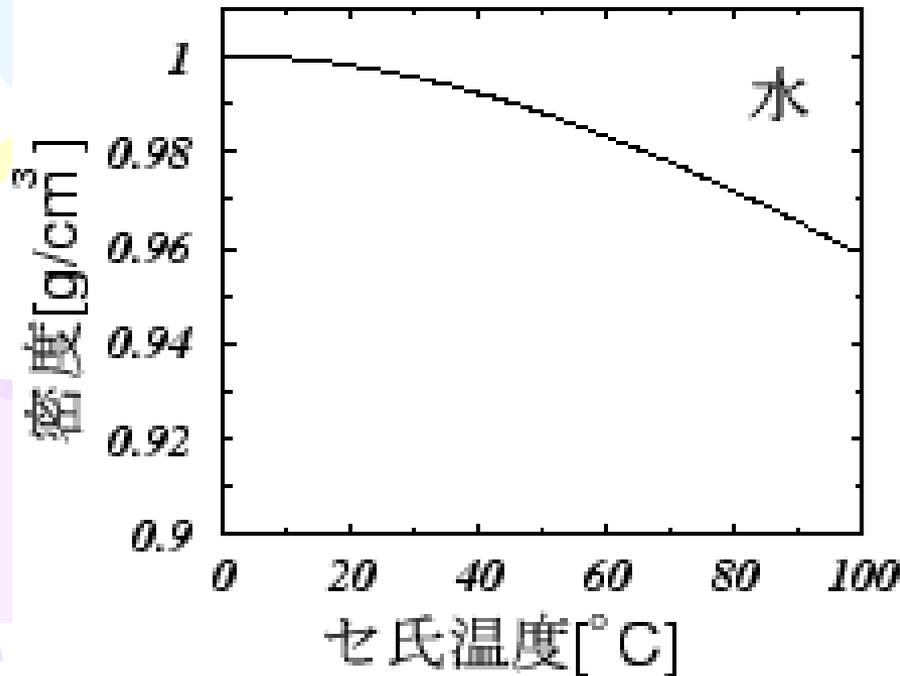
測定部位	方式
皮膚	サーミスタ、水銀
直腸	サーミスタ
舌下	サーミスタ
鼓膜	赤外線
深部	サーミスタ(+ヒータ)
体表	赤外線
全身	サーモグラフィ

水銀体温計



熱膨張性

$$\alpha(T, p) = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad \frac{\Delta V}{V} = - \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad \alpha(T, p) = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

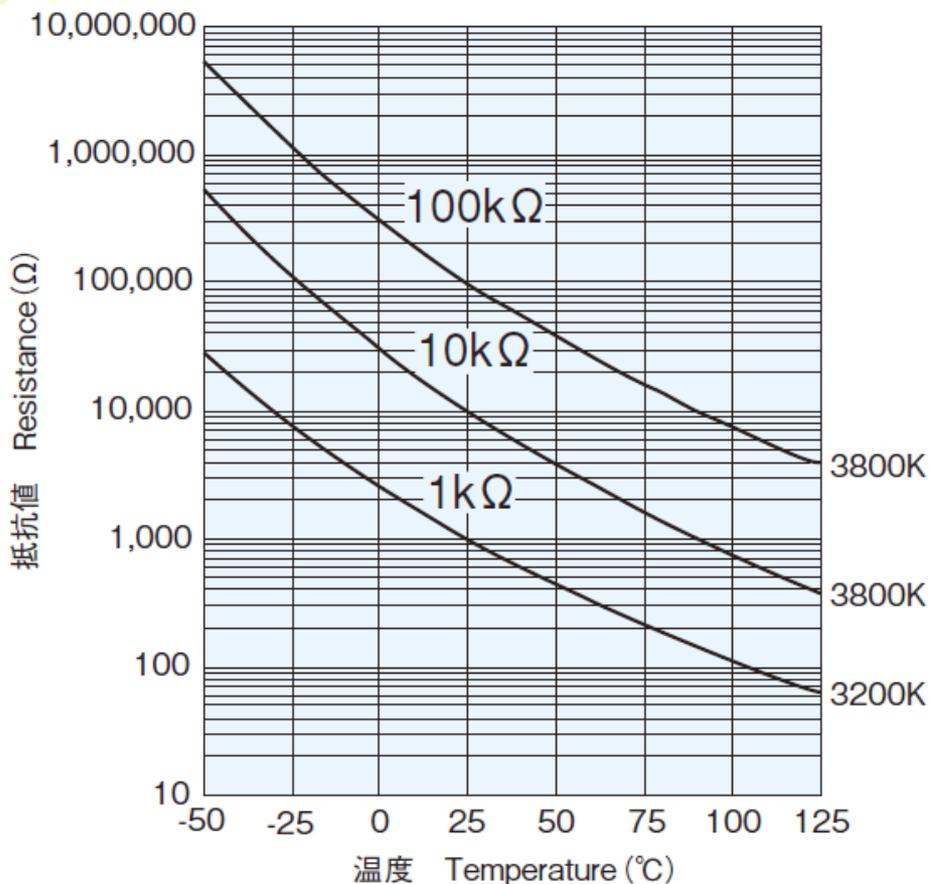


サーミスタ

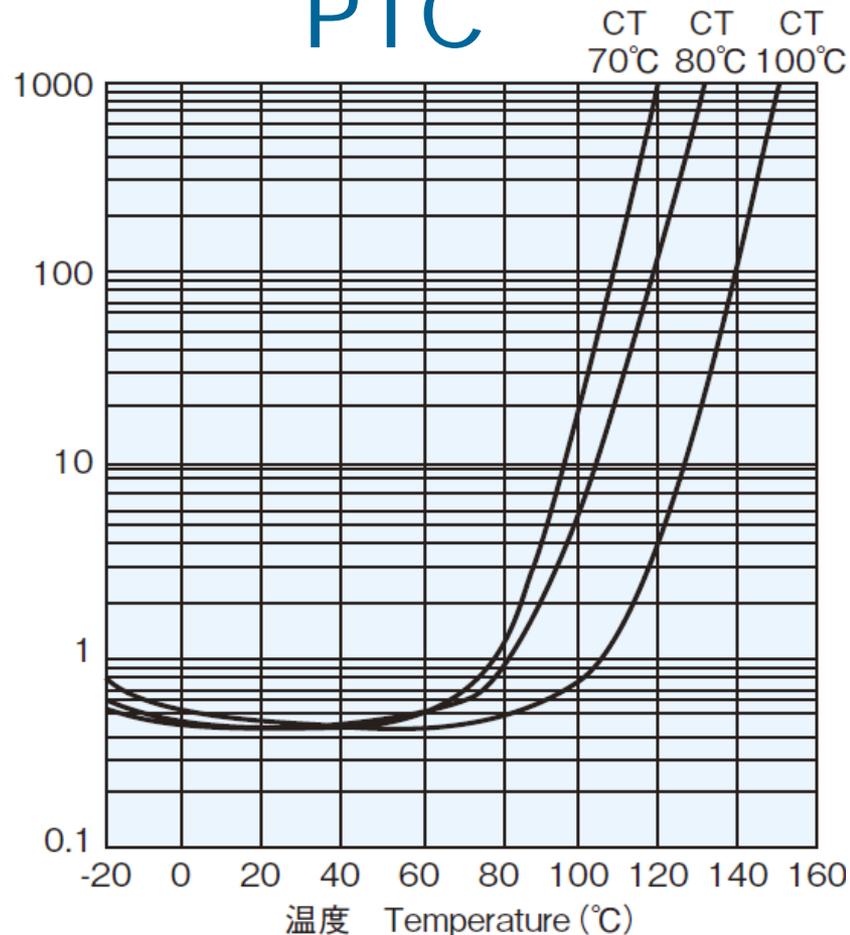
- Thermistor = thermally sensitive resistor
 - 温度変化に対して電気抵抗の変化の大きい抵抗体。温度計測センサとして利用される
- 計測温度範囲 = $-50 \sim 350^{\circ}\text{C}$
- NTC (Negative Temperature Coefficient)
 - 鉄, ニッケル, コバルト, マンガン, 銅などの金属酸化物を2~4種混合し, いろいろな形状に成形して高温 ($1200 \sim 1500^{\circ}\text{C}$) で焼結したもので, 温度変化に対して抵抗値の変化が負の関係を持つ半導体抵抗器
- PTC (Positive Temperature Coefficient)

サーミスタ温度特性

NTC



PTC



特長

- 感度高い
 - 抵抗温度係数が $-2.8 \sim -5.1\%/^{\circ}\text{C}$ で極めて大きい
- 加工しやすい
 - 利用現場の要求に応じていろいろな形状、特に小形化することが可能
- 抵抗値の可能な選択範囲が大きい
 - 数十 $\Omega \sim$ 数百 $\text{k}\Omega$ の間で自由選択可能

電子体温計：実測式と予測式



sophia

婦人体温計

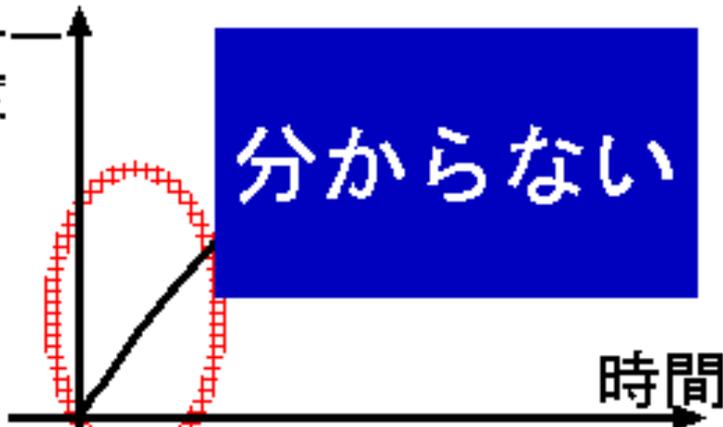


一般体温計



このまま10分たったら
測定結果は37.0°Cに
なっているはずだ。

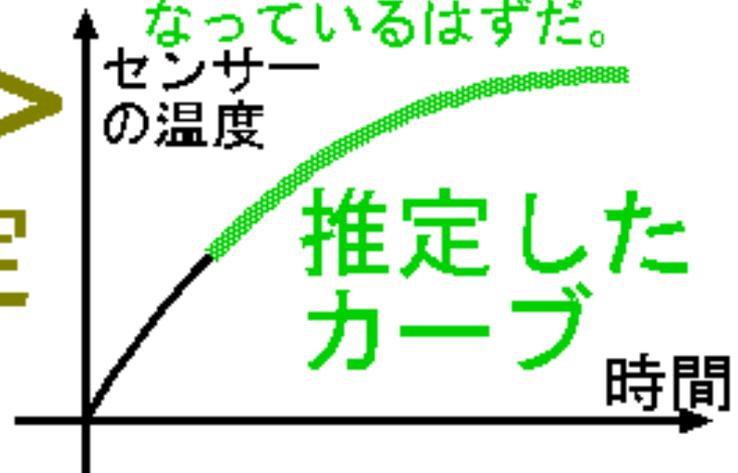
センサ
の温度



最初の1分間に
得られた測定結果

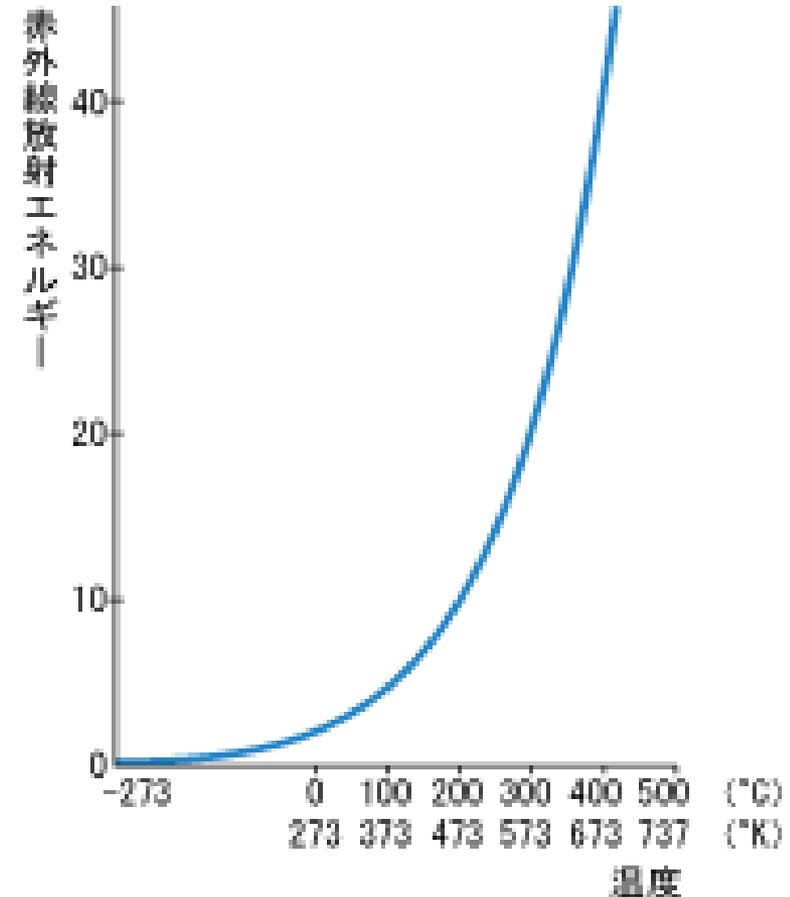
⇒
推定

センサ
の温度



放射温度計(赤外線温度計)

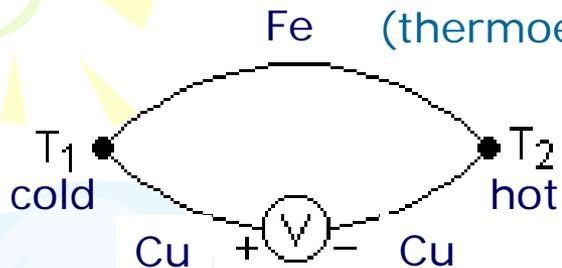
- 「放射」とは、物質が持つ熱エネルギーを電磁波(可視光線や赤外線など)という形態で周囲に放出する現象
- 赤外線センサを用いて物体の表面から放射される赤外線エネルギーを検知し、その赤外線の量から物体の表面温度を測定する



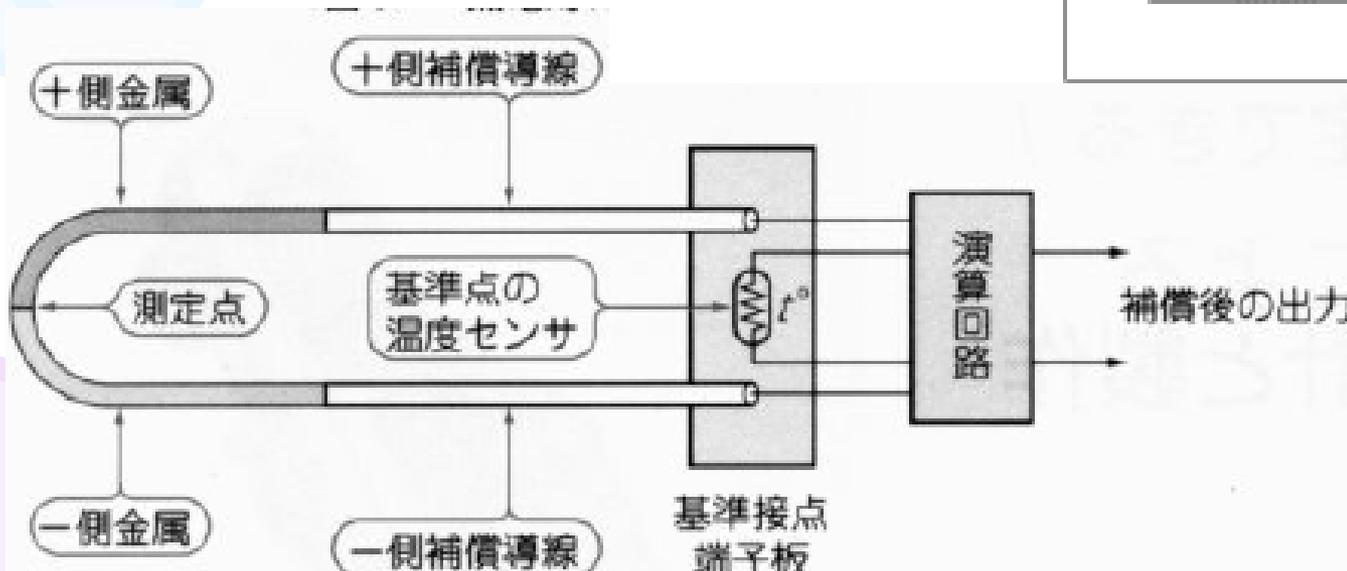
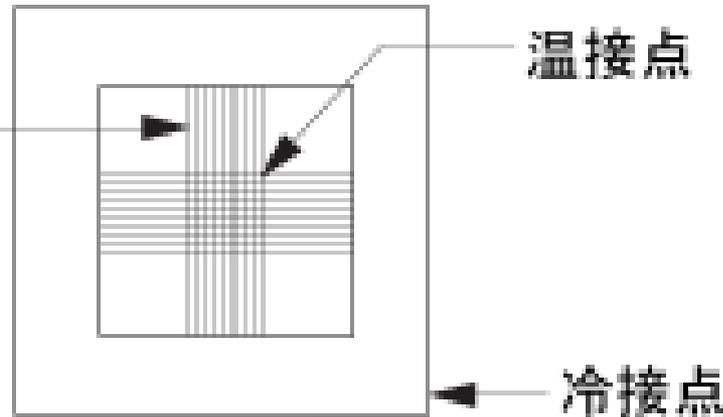
熱電対と熱電堆

Thermocouple & Thermopile

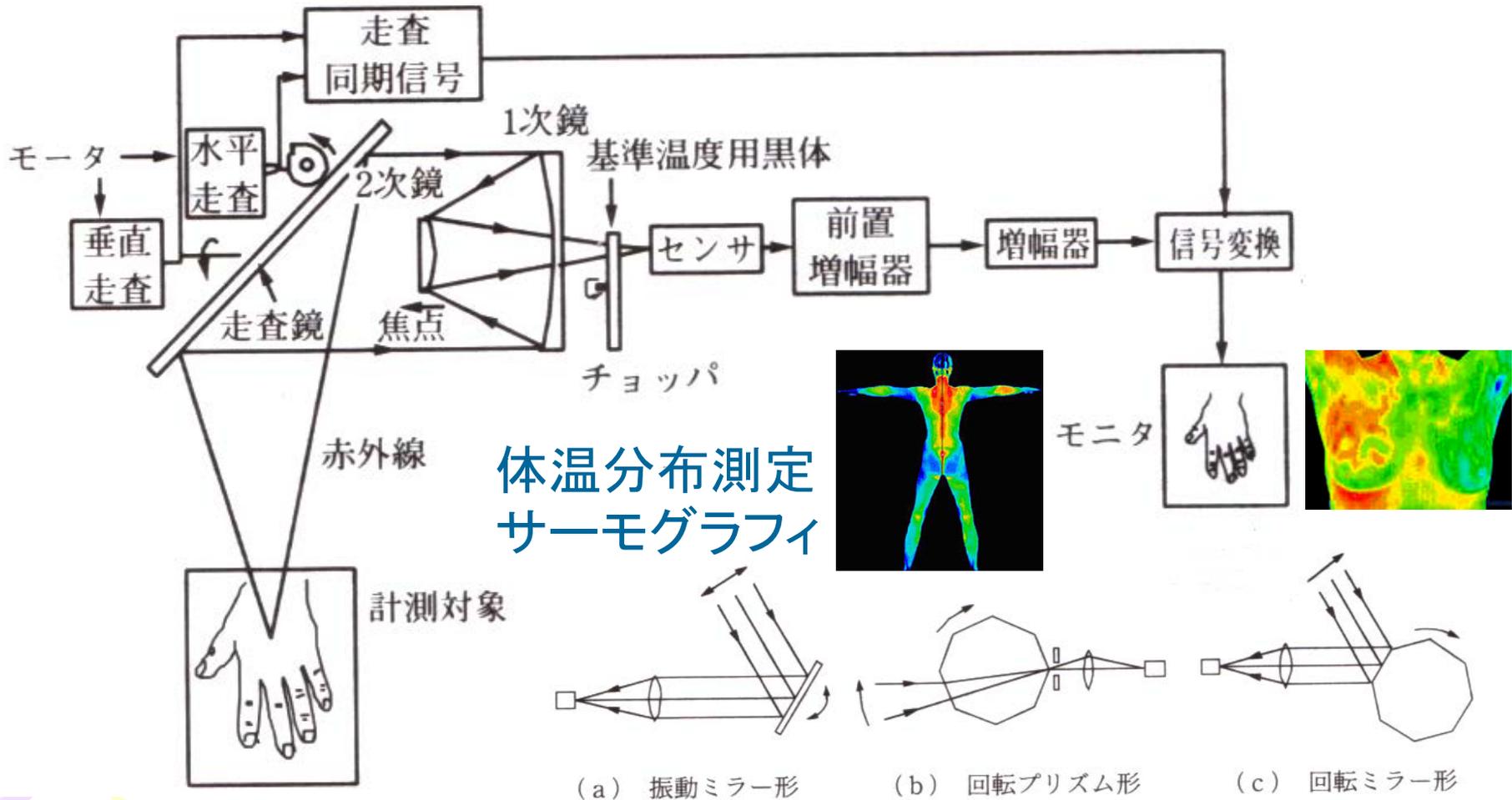
Zeebeck effect
(thermoelectric effect)



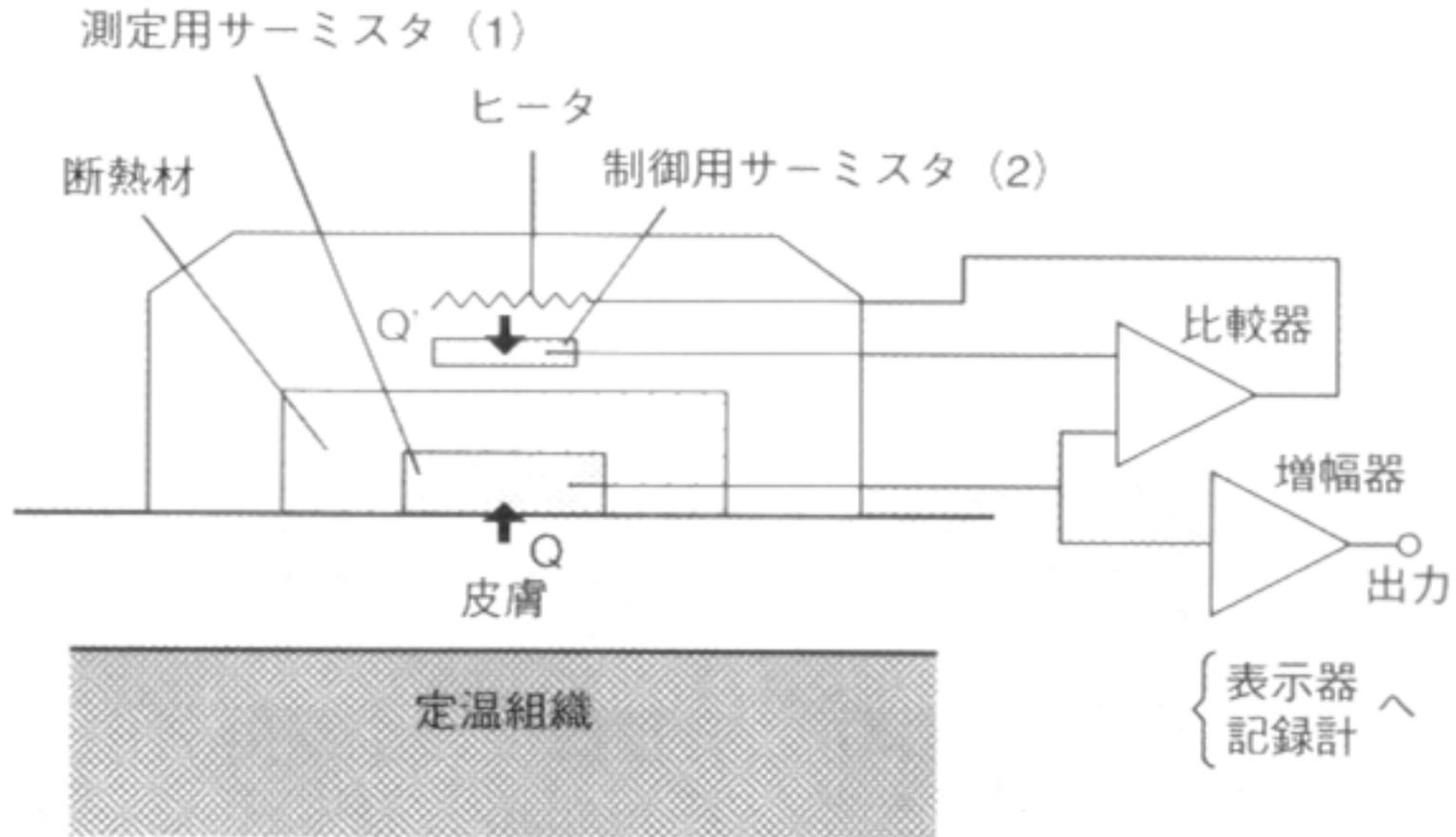
一つ一つが
熱電対



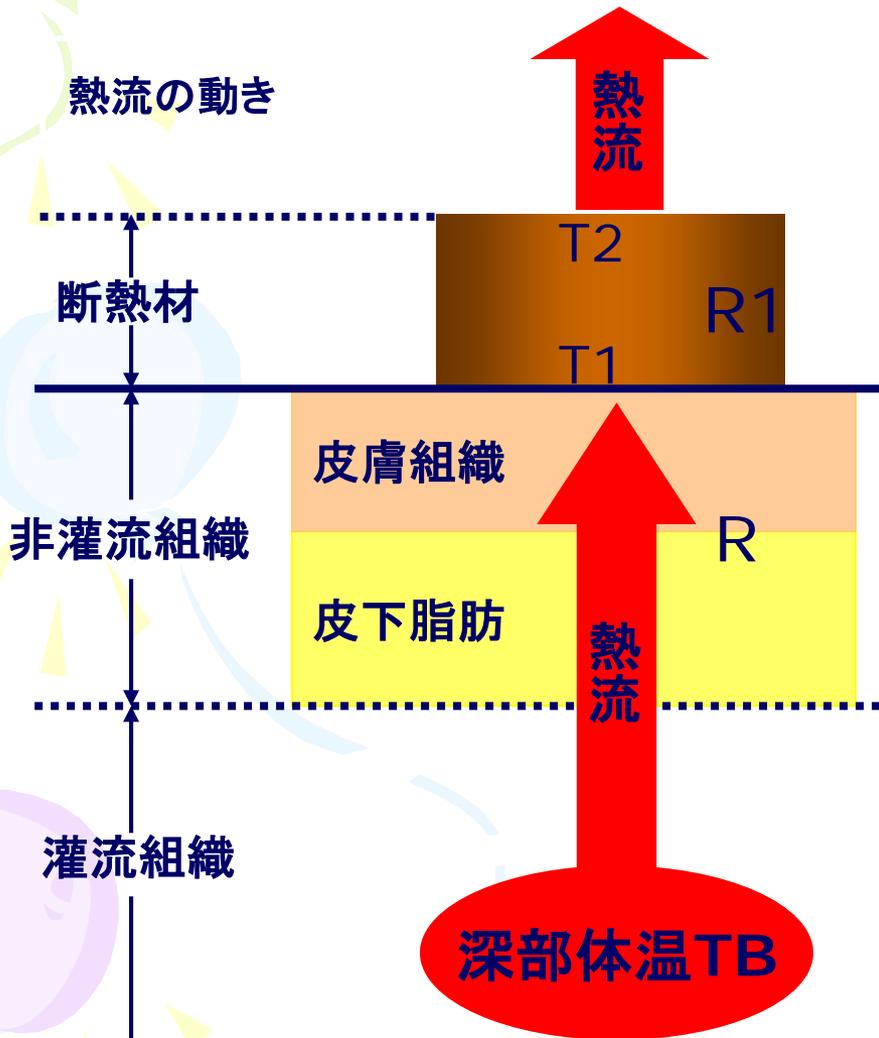
サーモグラフィのシステム構成



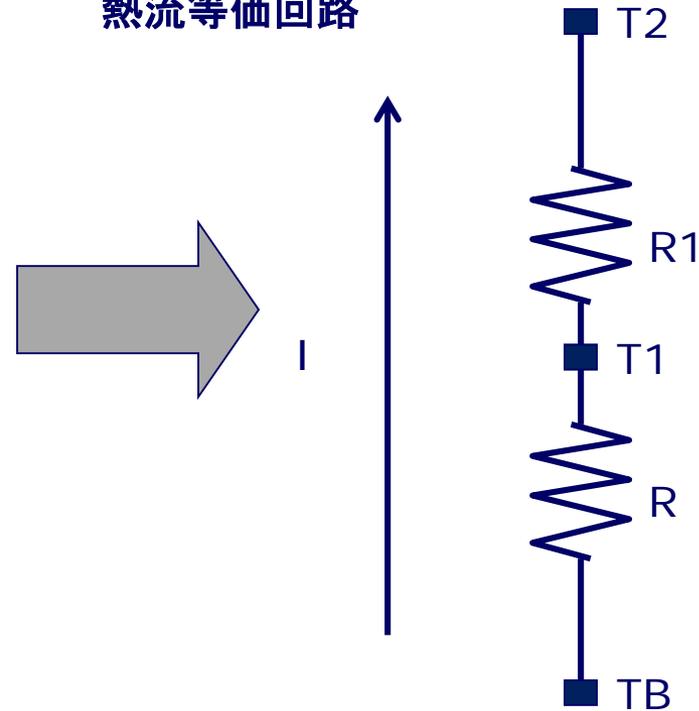
加熱型深部体温計



非加熱型深部体温計測原理



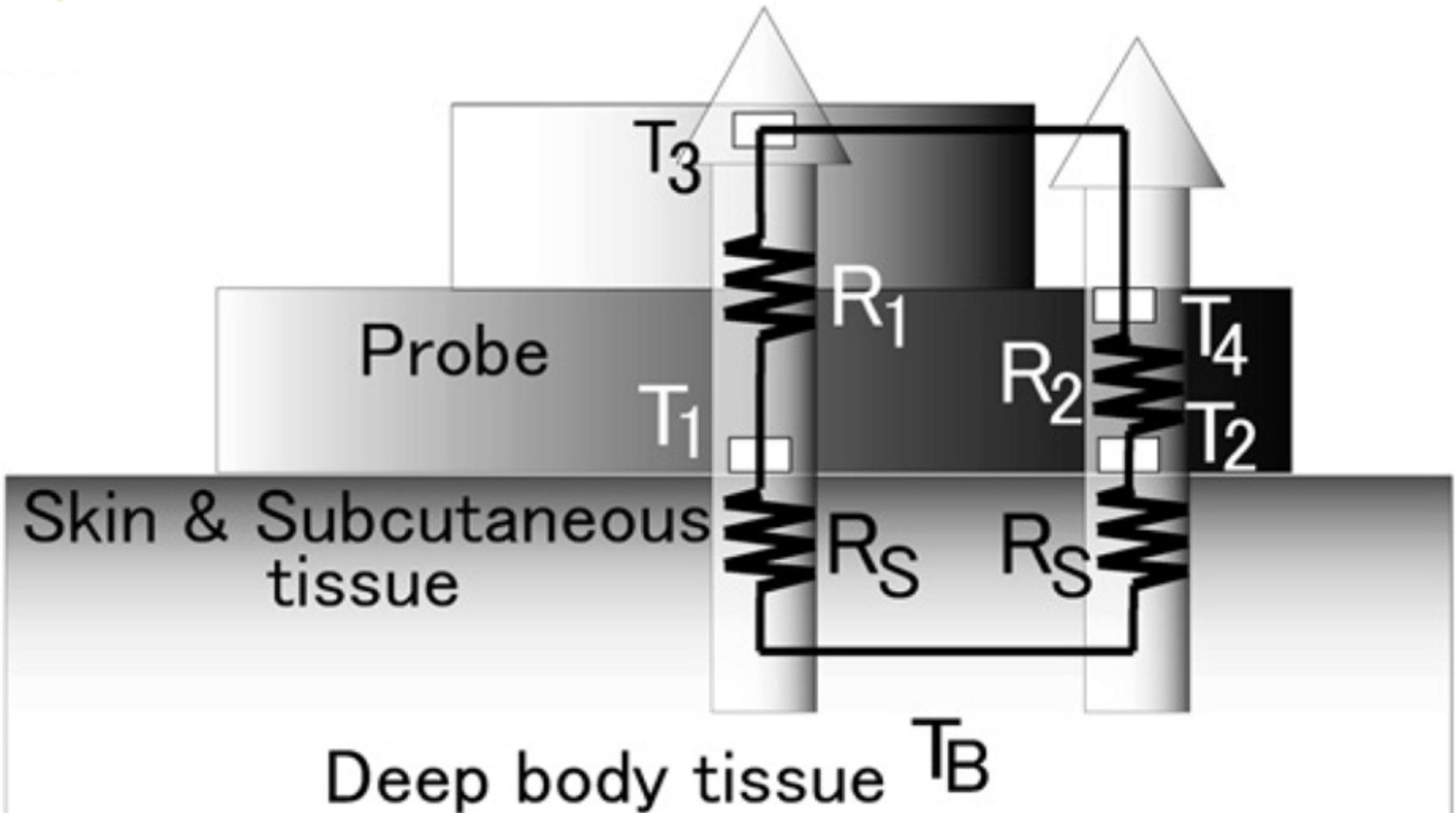
熱流等価回路



$$I = (T_1 - T_2) / R_1 = (T_B - T_1) / R$$

$$T_B = T_1 + \frac{(T_1 - T_2)R}{R_1}$$

双熱流プローブ



深部温の推定

$$T_B = T_1 + \frac{(T_1 - T_3)R_S}{R_1} \qquad T_B = T_2 + \frac{(T_2 - T_4)R_S}{R_2}$$

仮に、近いので、両 R_S は等しい
定義 $K=R_1/R_2$ 、センサの特性を示す

$$T_B = T_1 + \frac{(T_1 - T_2)(T_1 - T_3)}{K(T_2 - T_4) - (T_1 - T_3)}$$

(動脈)血中酸素飽和度 (Arterial) Blood Oxygen Saturation



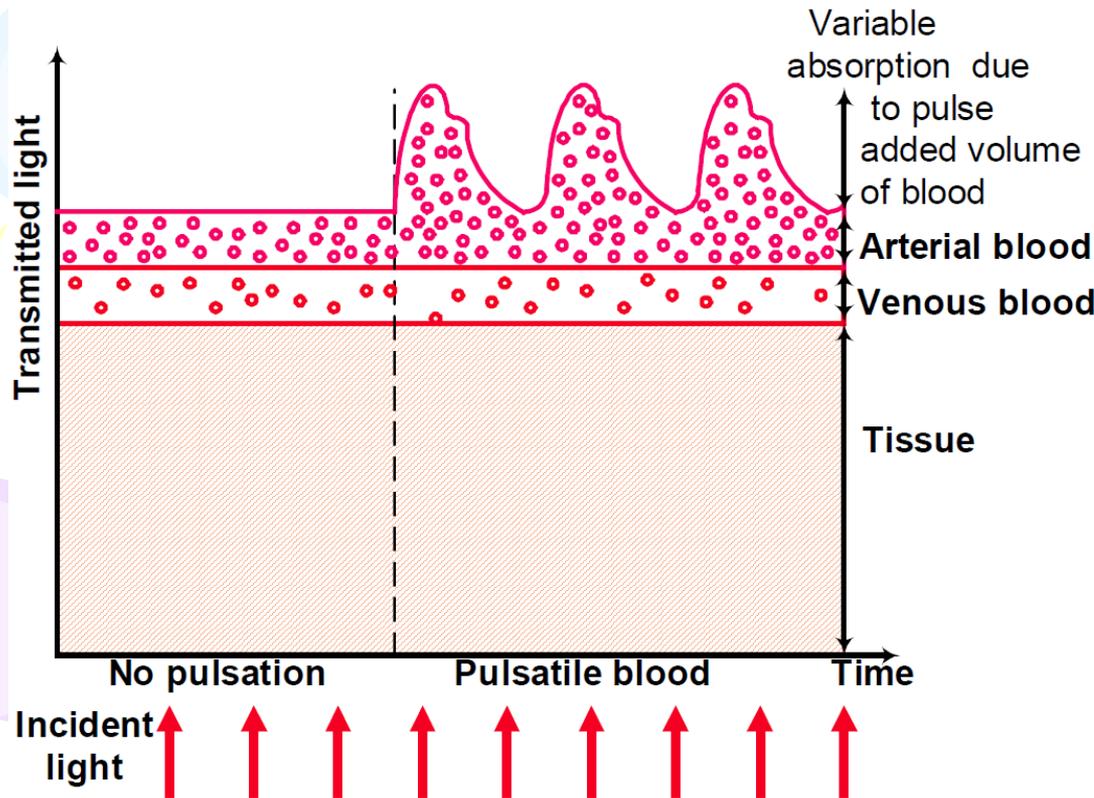
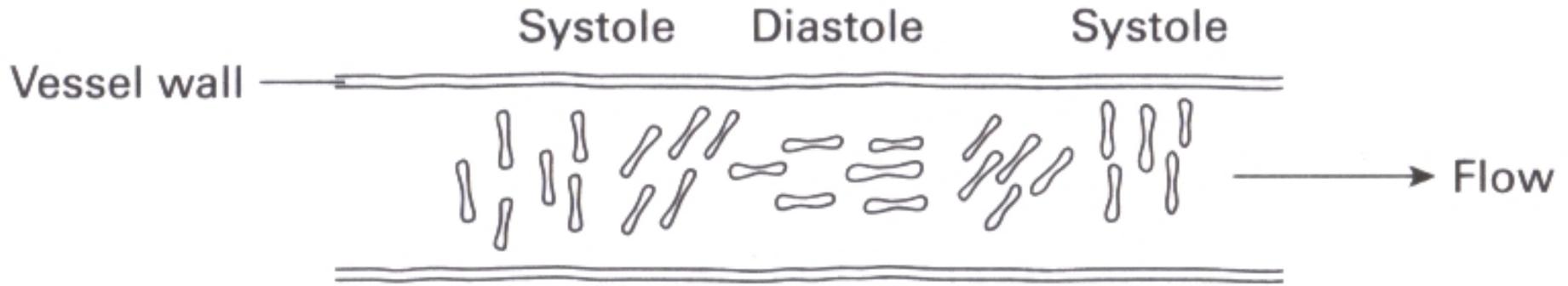
- ヘモグロビンは肺循環毛細血管の酸素を運んで、体循環毛細血管で酸素を放出する
- 酸化ヘモグロビン HbO_2 - 酸素と結合する、赤い
- 還元ヘモグロビン Hb - 酸素と結合せず、黒い
- 酸素飽和度Oxygen Saturation (Functional SO_2)

$$SO_2 = \frac{[HbO_2]}{[HbO_2] + [Hb]} \times 100\% = \frac{C_{HbO_2}}{C_{HbO_2} + C_{Hb}} \times 100\%$$

94~99%

- SaO_2 → 血液検査による測定値、侵襲的採血必要、非連続
- SpO_2 → パルスオキシメーターによる測定値、無侵襲、連続

血流変動と透過光変動

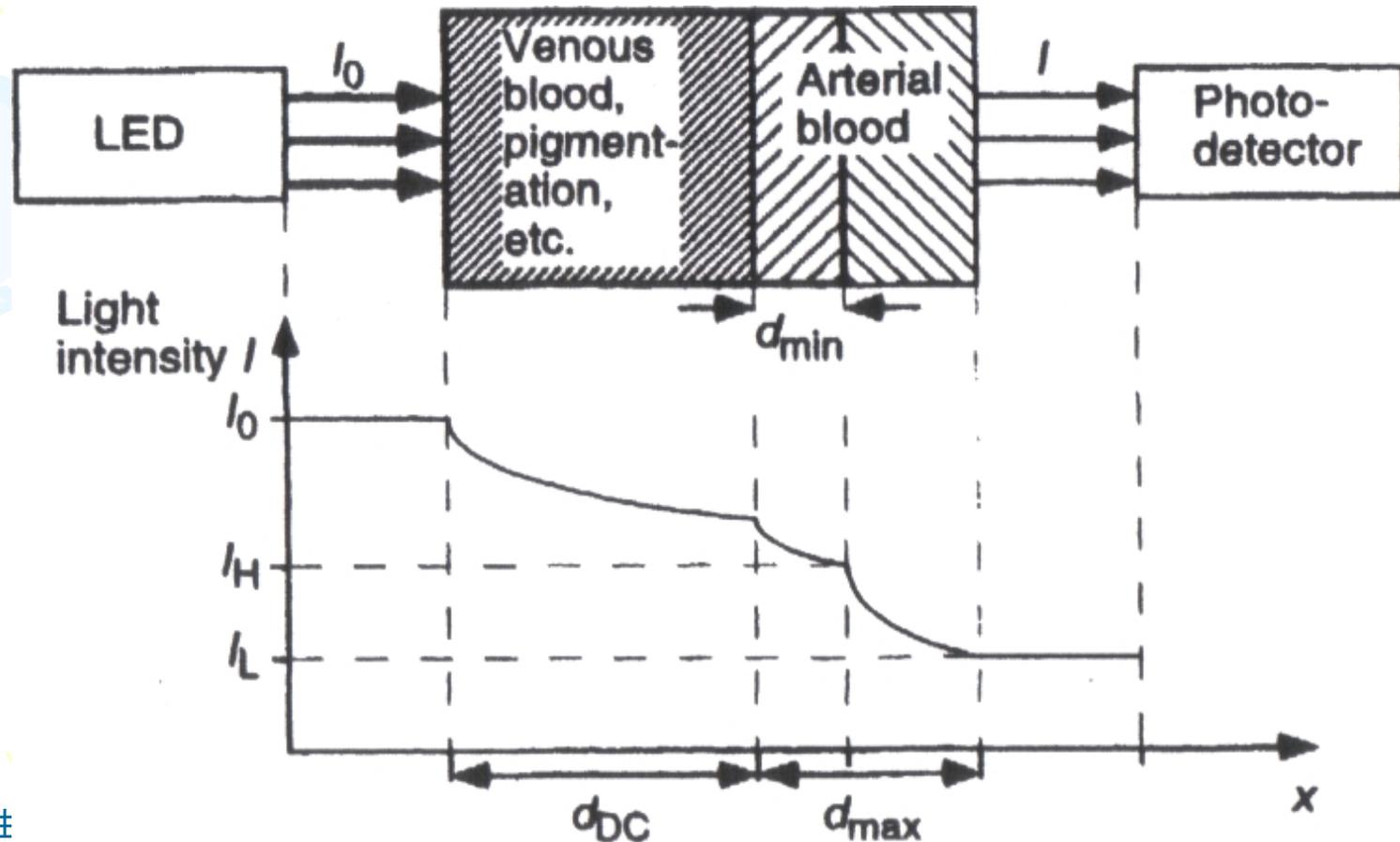


- 心臓の拍動と共に、赤細胞の軸は変化しながら前進
- 拡張時、軸は血流方向と平行、血管径縮小→吸光減少
- 収縮時、軸は血流方向と垂直、血管径増大→吸光増加

血管中のBeer-Lambert法則

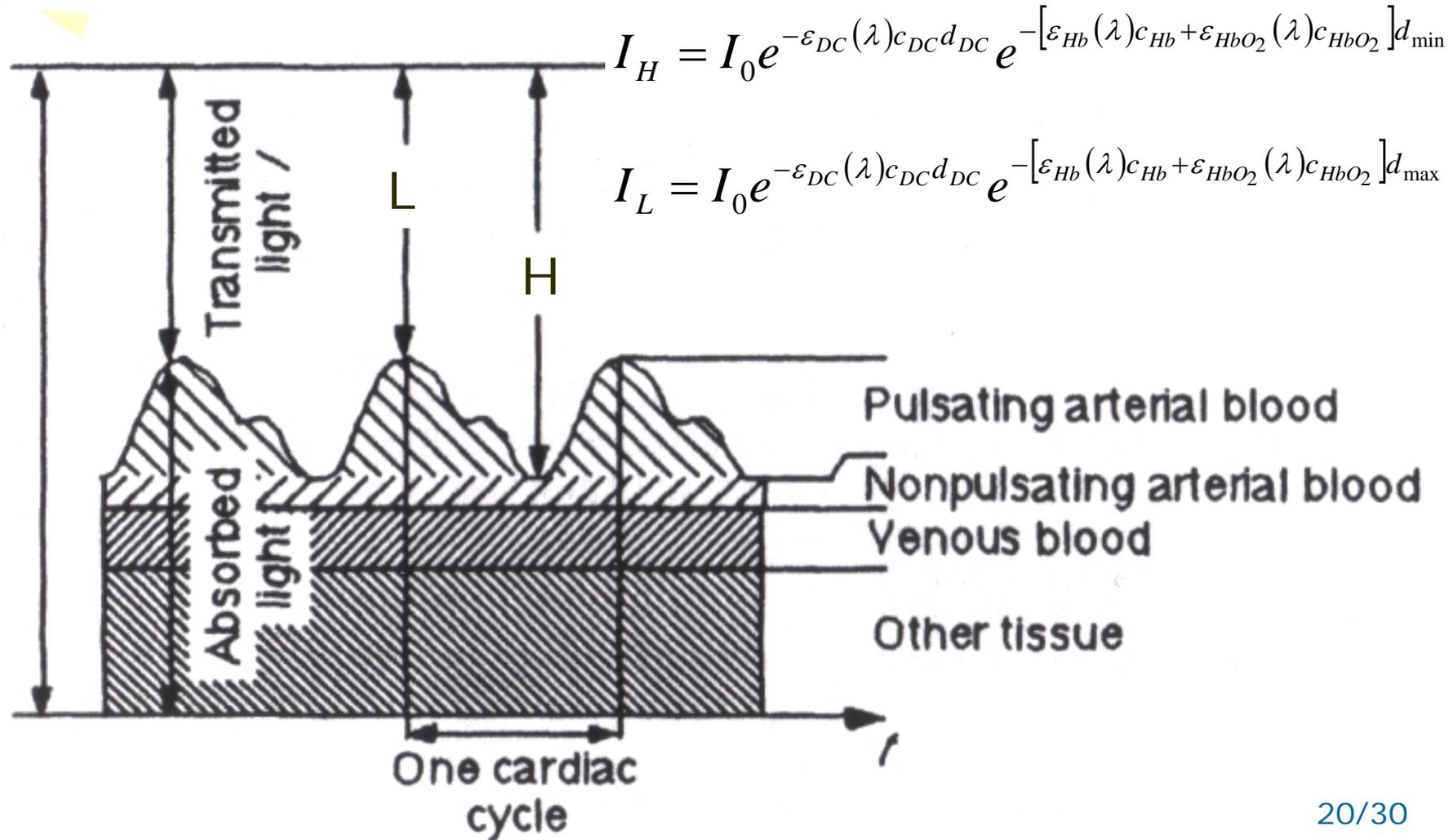


$$I(d) = I_0 e^{-[\varepsilon_{Hb}(\lambda)c_{Hb} + \varepsilon_{HbO_2}(\lambda)c_{HbO_2}]d} \quad d = d_{DC} + d_{\min} + \Delta d$$

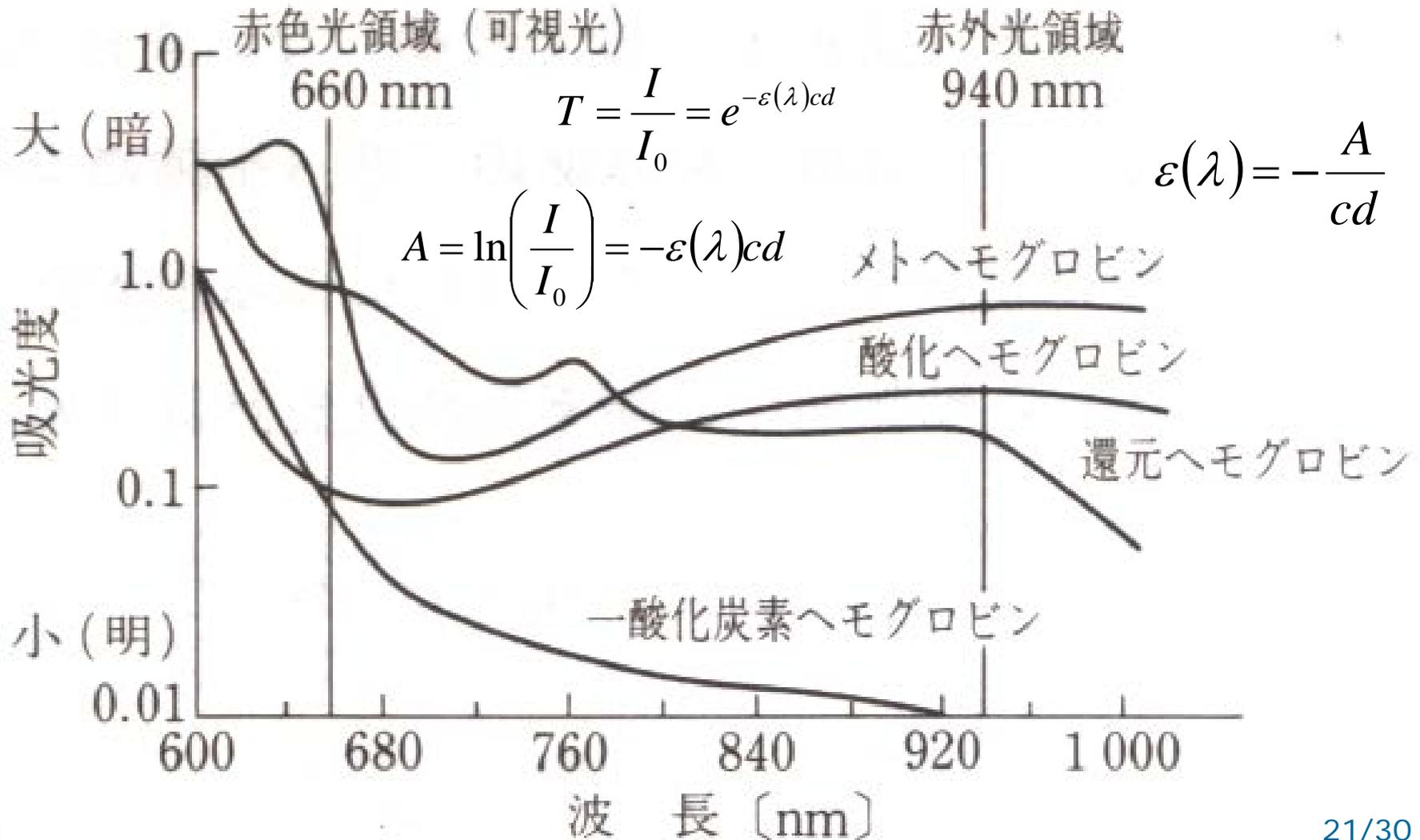


心拍周期と最小・最大吸光

Incident light I_0



4種類ヘモグロビンの吸光特性



各種吸光成分と総吸光量

- 酸化ヘモグロビン (Oxyhemoglobin)
- 還元ヘモグロビン (Deoxyhemoglobin)
- その他
 - メトヘモグロビン (Methemoglobin)、<0.6%
 - 一酸化炭素ヘモグロビン (Carboxyhemoglobin)、<2%
 - サルファヘモグロビン (Sulfhemoglobin)、不明
 - 一酸化炭素サルファヘモグロビン (Carboxysulfhemoglobin)、不明
- 総吸光量 (Total absorbance)

$$A = \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = A_0 - \left[\varepsilon_{HbO_2}(\lambda) c_{HbO_2} d_{HbO_2} + \varepsilon_{Hb}(\lambda) c_{Hb} d_{Hb} + \varepsilon_x(\lambda) c_x d_x \right]$$

SO₂の計算—1

$$c_{HbO_2} = SO_2 (c_{HbO_2} + c_{Hb}) \quad (1)$$

$$c_{Hb} = (1 - SO_2) (c_{HbO_2} + c_{Hb}) \quad (2)$$

$$A_t = \varepsilon_{HbO_2}(\lambda) c_{HbO_2} d_{HbO_2} + \varepsilon_{Hb}(\lambda) c_{Hb} d_{Hb} \quad (3)$$

Assuming $d = d_{Hb} = d_{HbO_2}$, and combining (1)-(3) to obtain (4)

$$A_t = [\varepsilon_{HbO_2}(\lambda) SO_2 + \varepsilon_{Hb}(\lambda) (1 - SO_2)] (c_{HbO_2} + c_{Hb}) d \quad (4)$$

SO₂の計算-2

定義

$$R = \frac{A_{t,R}}{A_{t,IR}} = \frac{\ln(I_{L,R}/I_{H,R})}{\ln(I_{L,IR}/I_{H,IR})} \quad (5)$$

仮に $\Delta d_R = \Delta d_{IR}$,

$$R = \frac{[\varepsilon_{Hb}(\lambda_R)c_{Hb} + \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_R)c_{HbO_2}]\Delta d_R}{[\varepsilon_{Hb}(\lambda_{IR})c_{Hb} + \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_{IR})c_{HbO_2}]\Delta d_{IR}} \quad (6)$$

SO₂を用いて
C_{HbO₂}とC_{Hb}を消去

$$R = \frac{\varepsilon_{Hb}(\lambda_R) + [\varepsilon_{HbO_2}(\lambda_R) - \varepsilon_{Hb}(\lambda_R)]SO_2}{\varepsilon_{Hb}(\lambda_{IR}) + [\varepsilon_{HbO_2}(\lambda_{IR}) - \varepsilon_{Hb}(\lambda_{IR})]SO_2} \quad (7)$$

Extracting SO₂ by reforming (7) to obtain (8)

$$SO_2 = \frac{\varepsilon_{Hb}(\lambda_R) - \varepsilon_{Hb}(\lambda_{IR})R}{\varepsilon_{Hb}(\lambda_R) - \varepsilon_{HbO_2}(\lambda_R) + [\varepsilon_{HbO_2}(\lambda_{IR}) - \varepsilon_{Hb}(\lambda_{IR})]R} \times 100\% \quad (8)$$

SpO₂の計算

- 入射光の波長によって、酸化ヘモグロビン(HbO₂)と還元ヘモグロビン(Hb)の吸収特性は異なる。
- 酸素飽和度

$$SO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} \times 100\%$$

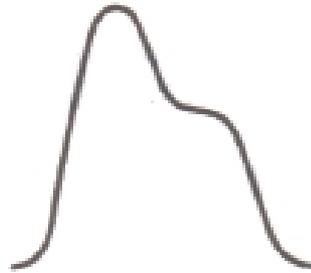
- 二つの未知数(HbO₂)と(Hb)があるため、二つの方程式が必要。
- 理論的に、二つの波長を使って、上記二つの未知数(HbO₂)と(Hb)を解いて、SO₂を求める。
- ところが、式(8)の“R”のみが得られるため、直接に解けない。
- 実用的に、“SO₂”既知の模型を用いて、比率R (=A_R/A_{IR})を計測し、look-up table(校正表)を作成し、式(8)を近似する。
- 計測時、校正表を使って、“R”から対応するSO₂を求める→SpO₂

SpO₂、光波長と吸光信号波形

660 nm (赤色光 R)

940 nm (赤外光 IR)

SpO₂
0%



$R = A_R / A_{IR}$
 $\doteq 3.4$

85%



1.0

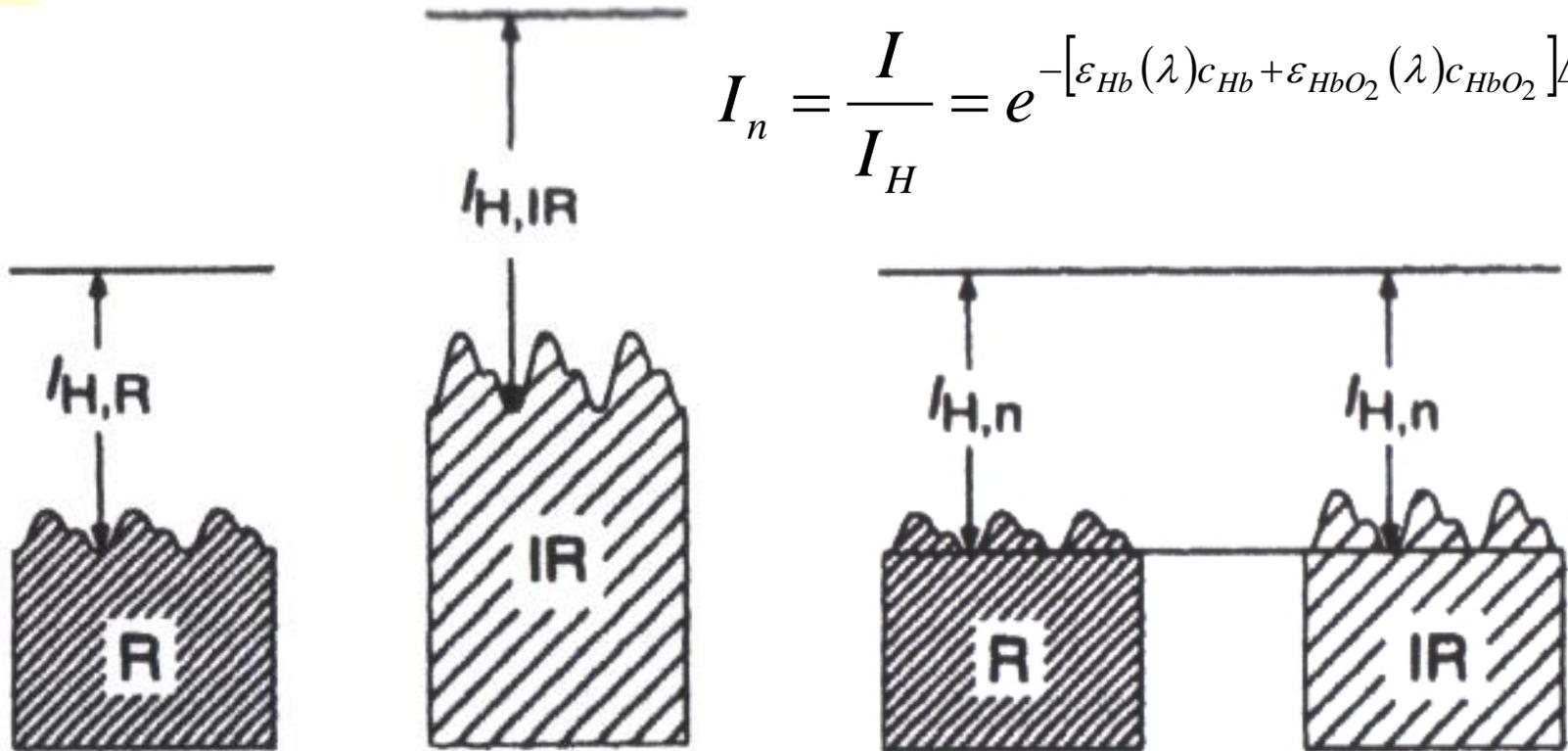
100%



0.43

信号の正規化

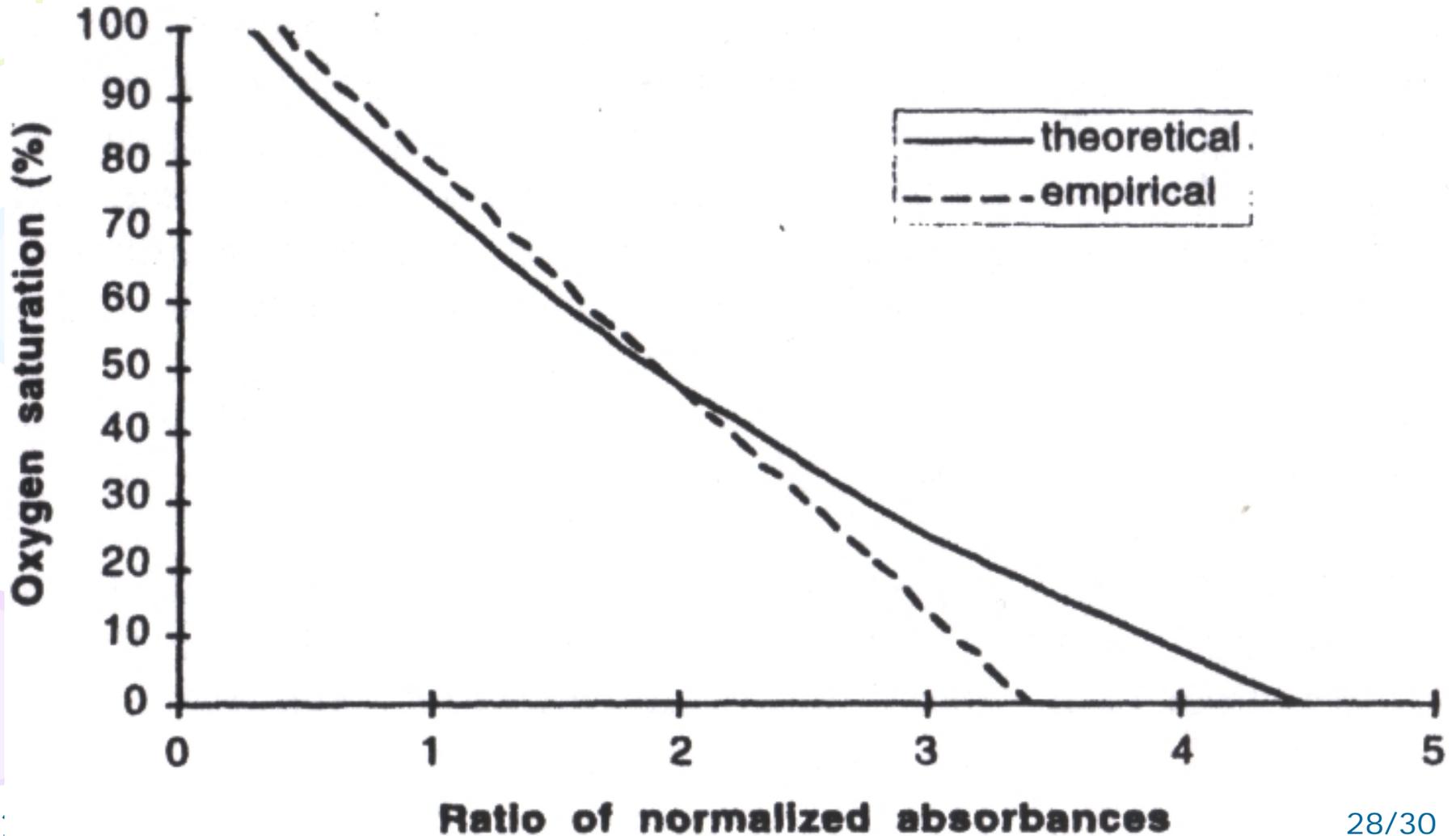
$$I_n = \frac{I}{I_H} = e^{-[\varepsilon_{Hb}(\lambda)c_{Hb} + \varepsilon_{HbO_2}(\lambda)c_{HbO_2}]\Delta d}$$



'Raw' signals

Normalized signals

校正曲線



經驗的方法

- Ratio of pulse-to-constant

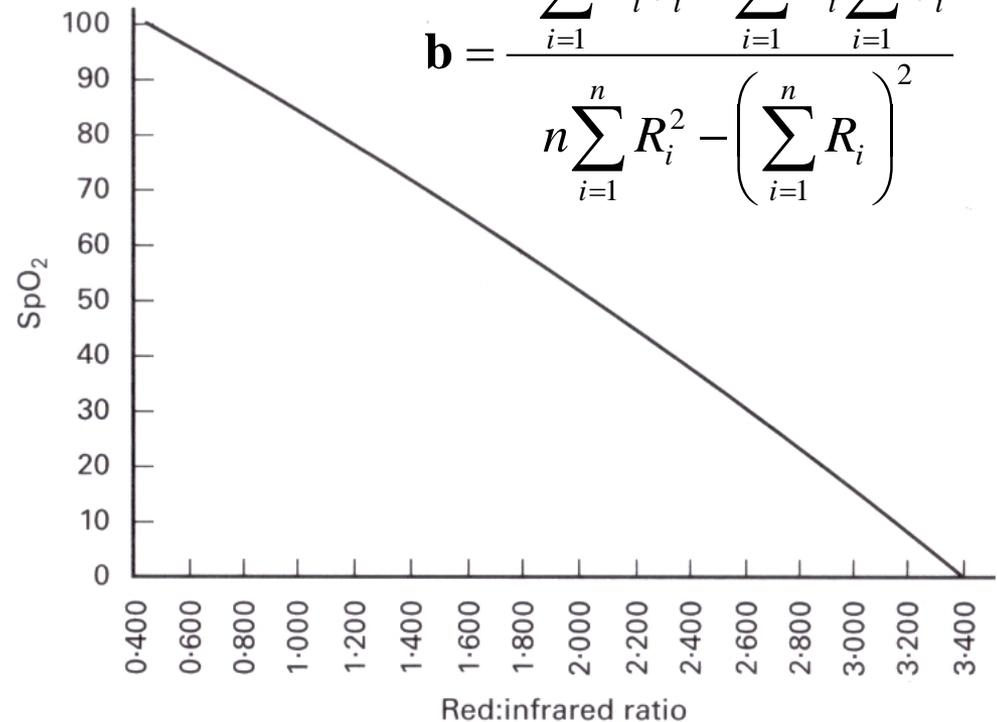
$$R = \frac{AC_R / DC_R}{AC_{IR} / DC_{IR}}$$

- Clinical formula

$$SpO_2 = \mathbf{a} - \mathbf{b}R$$

$$\mathbf{a} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \sum_{i=1}^n R_i^2 - \sum_{i=1}^n R_i \sum_{i=1}^n R_i S_i}{n \sum_{i=1}^n R_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2}$$

$$\mathbf{b} = \frac{n \sum_{i=1}^n R_i S_i - \sum_{i=1}^n R_i \sum_{i=1}^n S_i}{n \sum_{i=1}^n R_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2}$$



– **a** and **b** are coefficients determined through calibration

演習課題：複数生体情報の同時計測



- 実験機材
 - ベッドサイドモニタ(オムロンHBP-2070又は日本光電BSM-2300)
- 計測信号
 - 心電図ECG(HR)、血中酸素飽和度 S_pO_2 (PR)、血圧NIBP(SBP、MAP、DBP)、呼吸サーミスタ(RR)、体温(BT)
- 計測状態
 - 安静→息止→過呼吸→安静→運動→安静、各5分間
- データ読み取り間隔＝1分毎
- データ解析と結果考察
 - 30分間における各種生体情報の1分毎変化グラフを作成する
 - 各状態(5分毎)における各種生体情報の平均値と標準偏差を求め、その変動状況と原因を考察する