

生体情報工学 2025

Biological Information Engineering 2025

生産システム分野 生体医工学
Production Systems, Biomedical Engineering

高橋 淳子
Junko Takahashi

第1回	はじめに / Introduction	生体とは、生体の情報とは / What is a living body information?	4月16日	
第2回	生体情報の基礎(I) / Biological information Primer (I)	生体情報の種類と検出について / Types of biological information and detection	4月23日	
第3回	生体情報の基礎(II) / Biological information Primer (II)	センサ、トランスデューサーの原理と構造 / Sensors and transducers	4月30日	
第4回	生体情報計測(I) / Biological information measurement (I)	脳・神経・シナプス / Brain / nerve / synapse	5月7日	On Demand
第5回	生体情報計測(II) / Biological information measurement (II)	運動制御 / Motion control	5月14日	
第6回	生体情報計測(III) / Biological information measurement (III)	視覚情報処理 / Visual information processing	5月21日	
第7回	生体情報計測(IV) / Biological information measurement (IV)	聴覚の生理学,心理音響 / Auditory physiology, psychoacoustics	5月28日	
第8回	生体情報計測(V) / Biological information measurement (V)	体性感覚の情報処理 / Information processing of somatosensory	6月4日	
第9回	生体情報の網羅的解析-概要 / Cyclopedic studies in biological information – overview	生体情報の網羅的解析-概要 / Cyclopedic studies in biological information	6月11日	
第10回	生体情報の網羅的解析 - トランスクリプトミクス / Cyclopedic studies in biological information – transcriptomics	トランスクリプトミクス / Transcriptomics	6月18日	
第11回	生体情報の網羅的解析 - プロテオミクス,メタボロミクス / Cyclopedic studies in biological information - proteomics, metabolomics	プロテオミクス,メタボロミクス / Proteomics, metabolomics	6月25日	
第12回	生体情報の網羅的解析 - 次世代シーケンス / Cyclopedic studies in biological information - next-generation sequencing	次世代シーケンス / Next-generation sequencing	7月2日	
第13回	生体情報の網羅的解析 - データ解析 / Cyclopedic studies in biological information - data analysis	データ解析 / Data analysis	7月9日	
第14回	まとめ / Summary		7月16日	

Part 1. Collection of biological information

Part 2. Principle and Structure of sensor, transducer

Part 3. Physical quantity sensor / transducer

Part 4. Matching with amplifier

**Part 5. Examples of the use of physical quantity sensors /
transducers in medical device**

1. 生体情報の収集

2. センサー・トランスデューサーの原理と構造

3. 物理量センサー・トランスデューサー

4. 増幅器とのマッチング

5. 医療機器における物理量センサー・トランスデューサーの活用例

参考図書: 最新臨床検査学講座 医用工学概論 (日本語) 2018/3/13 嶋津 秀昭 (編集), 中島 章夫 (編集)

Reference books: Latest clinical laboratory studies course. Introduction to medical engineering

(Japanese) 2018/3/13 Hideaki Shimazu (edit), Akio Nakajima (edit)

Part 1. Collection of biological information

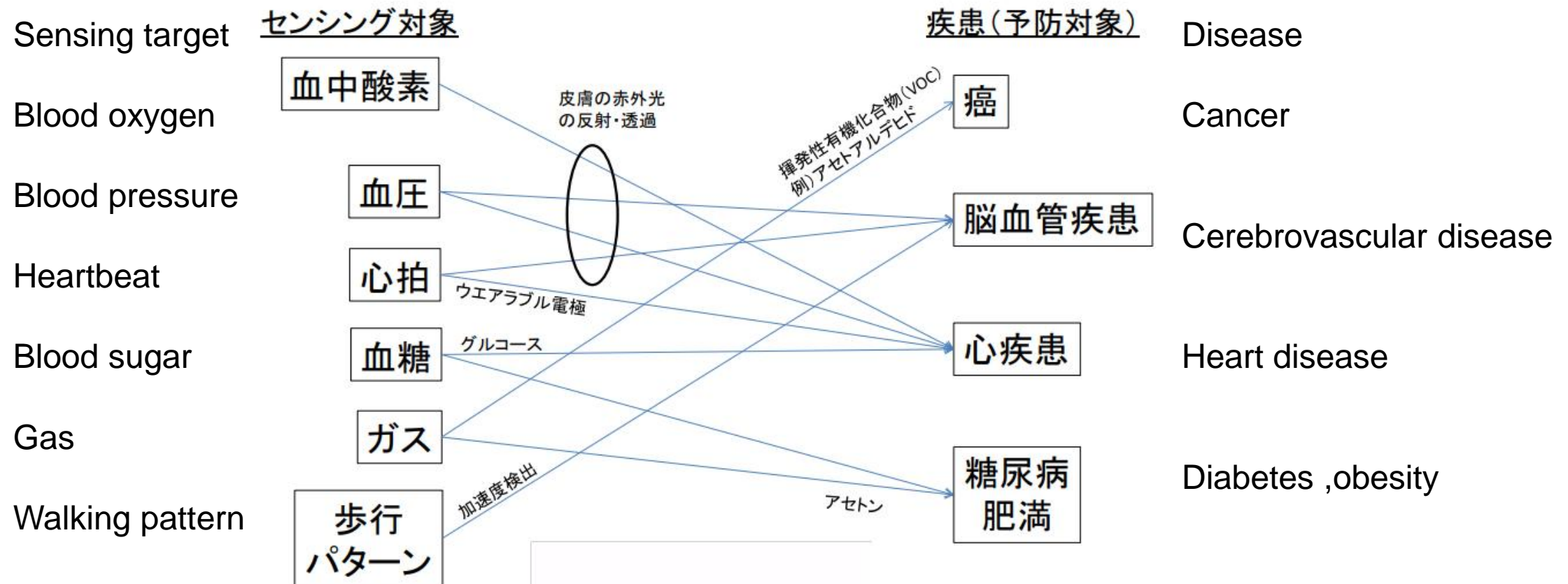
生体情報の収集

- **Signal types of biological information**
- **Types of transducers for bioinstrumentation**
- **Basic configuration of bioinstrumentation**

- **生体情報の信号の種類**
- **生体計測機器用トランスデューサーの種類**
- **生体計測機器の基本構成**

Why do we collect biologic information?

1. Understand health status, identify disease
2. Deepen understanding of living organisms



Signal types of biological information

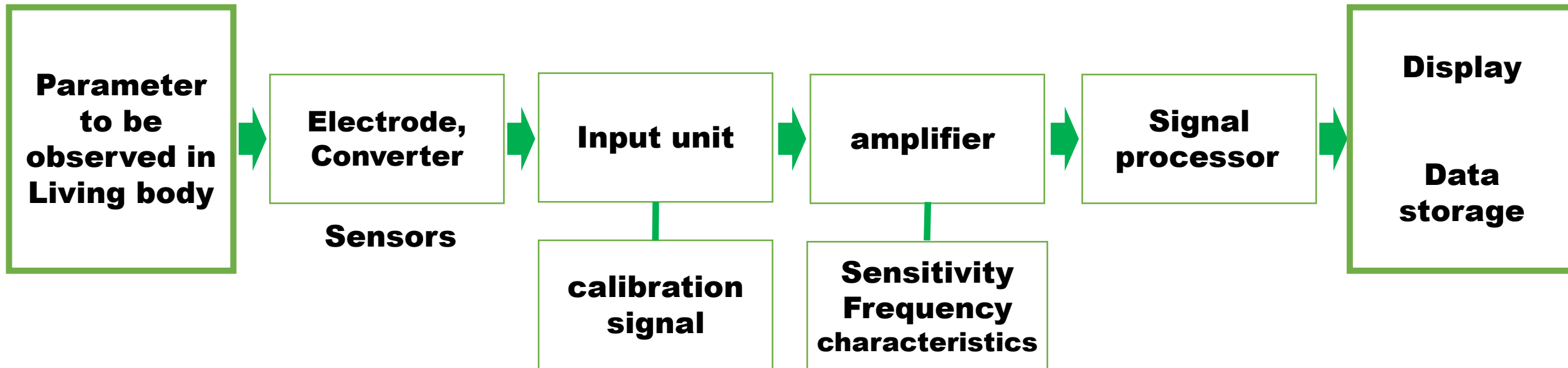
	自発信号/Spontaneous signals	誘発信号/Trigger signals
電気信号 Electronic signals	脳波/Electroencephalogram: EEG 心電図/Electrocardiogram, ECG 筋電図/Electromyography - EMG 眼電位図/EOG 神経活動電位	視覚誘発電位、体性感覚誘発電位、聴覚誘発電位、嗅覚誘発電位、網膜電位、温度眼振、視性運動眼振など
機械的信号 Mechanical signals	血圧変動/Blood pressure 筋音図/Mechanomyogram-MMG 心音図/Phonocardiogram, PCG 歩行パターン/Walking pattern 眼瞼運動 重心動揺	腱反射/Tendon Reflex TVR (Tonic Vibration Reflex) GBST (Galvanic Body Sway Test)
化学的信号 Chemical signal	血糖値/Blood glucose 血中ホルモン変動/Blood hormone 神経伝達物質/Neurotransmitter RNA タンパク/protein	遮断剤、分解酵素等の投与
電磁波・磁気・その他 Electromagnetic waves, magnetism, etc.	脳磁図/Magnetoencephalography-MEG、心磁図/Magnetocardiography、体温変動/body temperature, BT、発汗/Perspiration,、嘔吐/vomiting、自覚症状(痛み、耳鳴り/pain, tinnitus)	反応時間計測 瞳孔反射

Types of transducers for bioinstrumentation

変換様式(物理量→電気量) physical quantity → electric quantity	トランスデューサ transducers
変位 → 抵抗 / displacement → resistance	ポテンシオメータ、ストレンゲージ / potentiometer, strain gauge
変位 → 相互インダクタンス / displacement → inductance	差動トランス / differential transformer
変位 → 容量 / displacement → capacity	可動極版型コンデンサ / movable electrode type capacitor
力、振動 → 起電力 / force → electromotive force	圧電素子 / piezoelectric element
力(→変位)→ 抵抗 / force → resistance	ストレンゲージ / strain gauge
力 → 電流 / force → electric current	感圧ダイオード / pressure sensitive diode
光 → 抵抗 / photon → resistance	光導電素子 / photo conducting element
光 → 起電力 / photon → electromotive force	光電池 / photo solar cell
光 → 電流 / photon → electric current	光電管、フォトランジスタ / phototransistor
温度 → 抵抗 / temperature → resistance	サーミスタ / thermistor
温度 → 起電力 / temperature → electromotive force	熱電対 / thermocouple
磁場 → 起電力 / magnetic field → electromotive force	ホール素子 / hall element
磁場 → 電流(リング電流) / magnetic field → electric current	SQUID磁束計 / SQUID
放射線量 → 電流 / radiation → electric current	ガイガー係数管、半導体放射線検出素子 geiger coefficient tube, semiconductor radiation detection element

Basic configuration of bioinstrumentation

生体計測装置の基本構成



Part 2. Principle and Structure of sensor, transducer

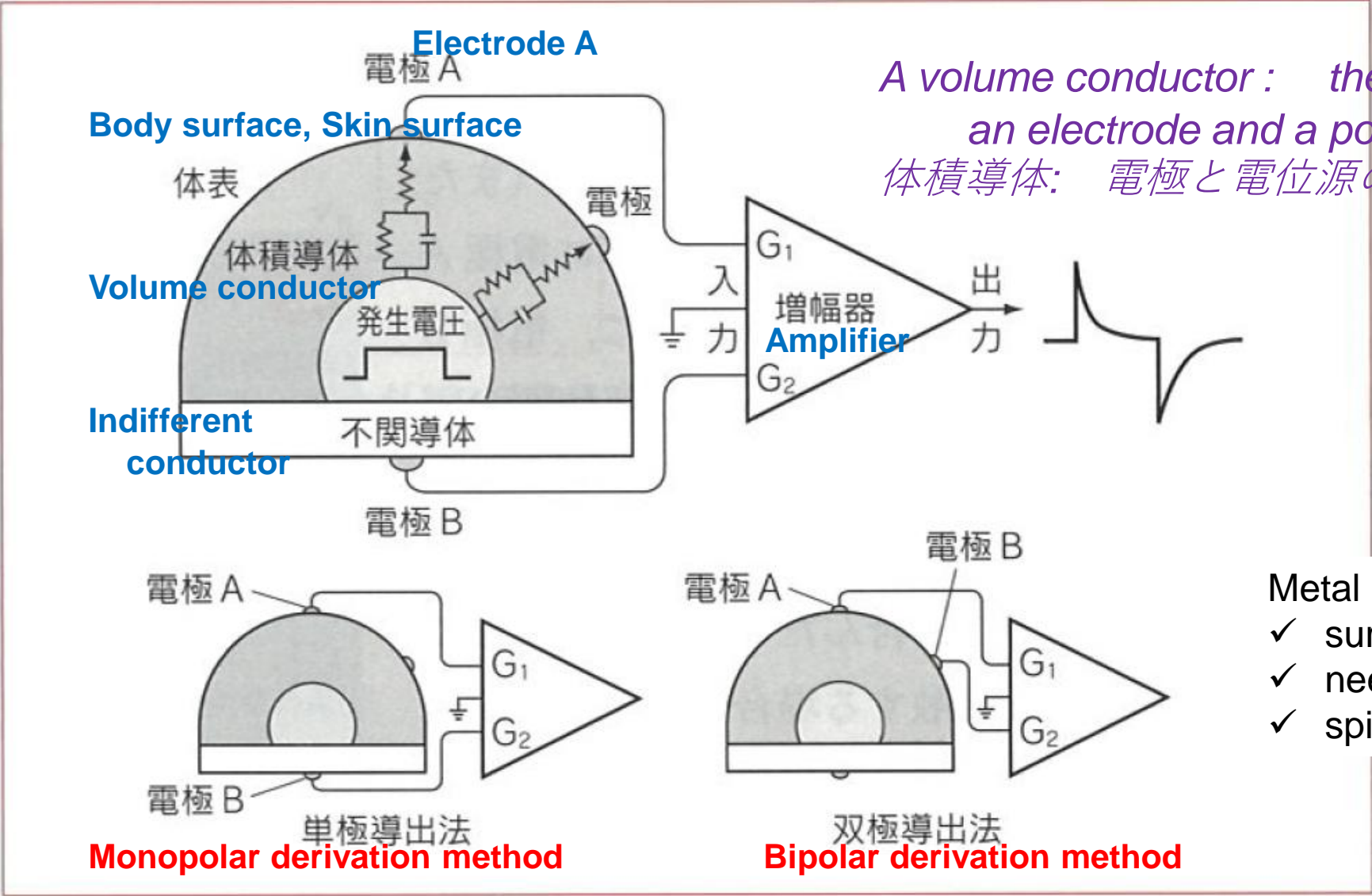
センサー、トランスデューサーの原理と構造

- Bioelectric phenomena and volumetric conductors
- Electrical equivalent circuit
- Effect of polarization voltage and baseline fluctuation
- Transducer requirements

- 生体電気現象と体積導体
- 電気等価回路
- 分極電圧とベースライン変動の影響
- トランスデューサーの要件

Bioelectric phenomena and volume conductors 生体電気現象と体積伝導体

Electroencephalogram (EEG), EEGElectrocardiogram (ECG)



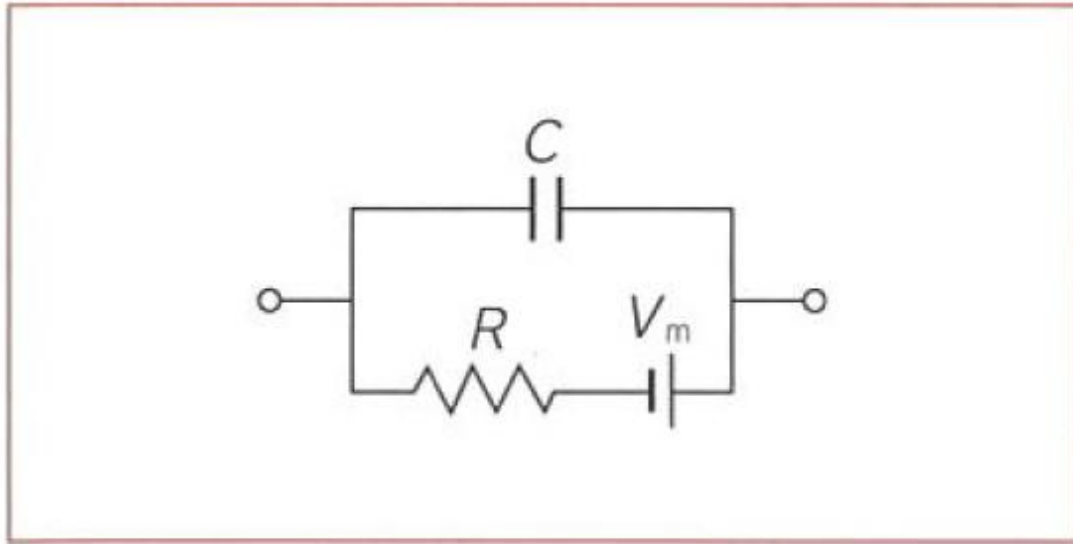
A volume conductor : the tissue between an electrode and a potential source.
体積導体: 電極と電位源の間にある組織

- Metal electrode
- ✓ surface electrodes
 - ✓ needle electrodes
 - ✓ spiral electrodes

Biological signals in volume conductors and their derivation methods
体積導体中の生体信号とその導出法

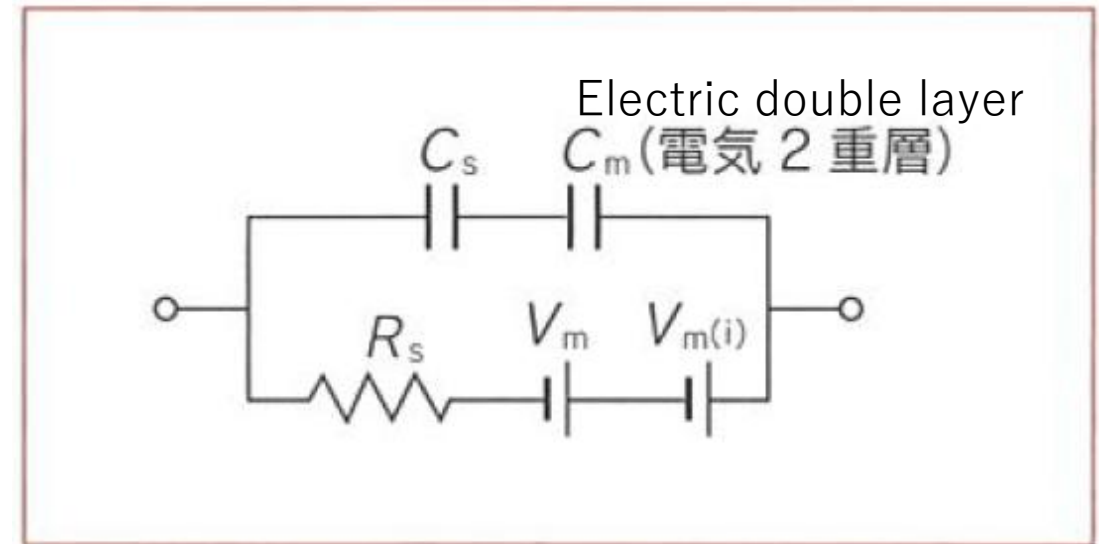
Bioelectric phenomena and volume conductors

– electrode potential, polarization potential 電極電位、分極電圧



Equivalent circuit of electrode contact impedance

電極接触インピーダンスの等価回路



Electrical equivalent circuit of skin-electrode interface

皮膚-電極界面の電氣的等価回路

C_s : Capacity between skin and electrolyte

C_m : Capacity due to electrical double phase

R_s : Electrical resistance including skin

V_m : Electrode potential ← Resting potential

$V_m(i)$: Polarization voltage

/ 皮膚-電解液間の容量

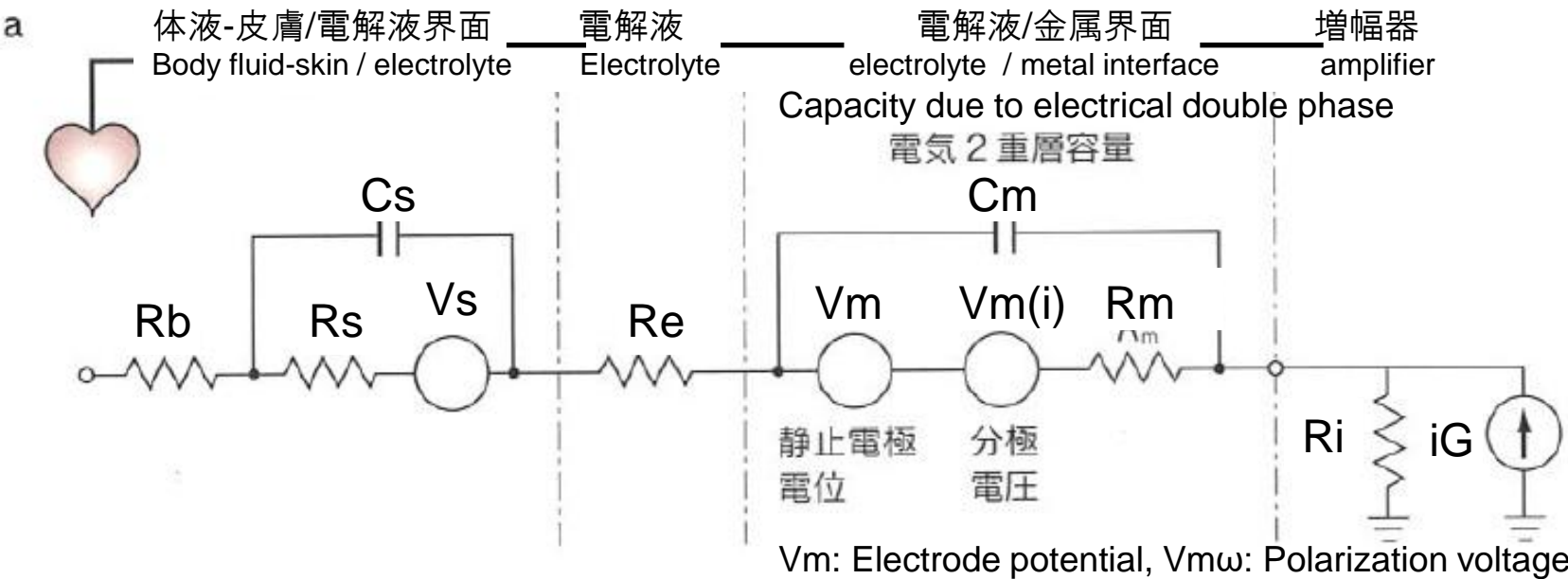
/ 電気二重相による容量

/ 皮膚を含めた電気抵抗

/ 電極電位 ← 静止電位

/ 分極電圧

Electrical equivalent circuit between skin-electrolyte-metal-amplifiers 皮膚-電解質-金属電極-増幅器間の電気的等価回路



R_b : Body fluid resistance $\sim 100\Omega$

R_s : Skin resistance $10k\Omega$ - $100M\Omega$, electrode area $1.5cm^2$, wipe skin with alcohol

C_s : Capacity between skin electrolytes $0.05 - 0.2 \mu F$

R_e : Electrolyte resistance 100Ω (10% NaCl), $10k\Omega$ (0.5% NaCl)

V_s : Voltage due to difference in ion concentration between body fluid and electrolyte

V_m : Potential generated by the dissolution of a metal in a solution

$V_m(i)$: Voltage generated by the flowing current Ag-AgCl $<10 \text{ mV} / \mu A$, stainless steel $1 \text{ V} / \mu A$

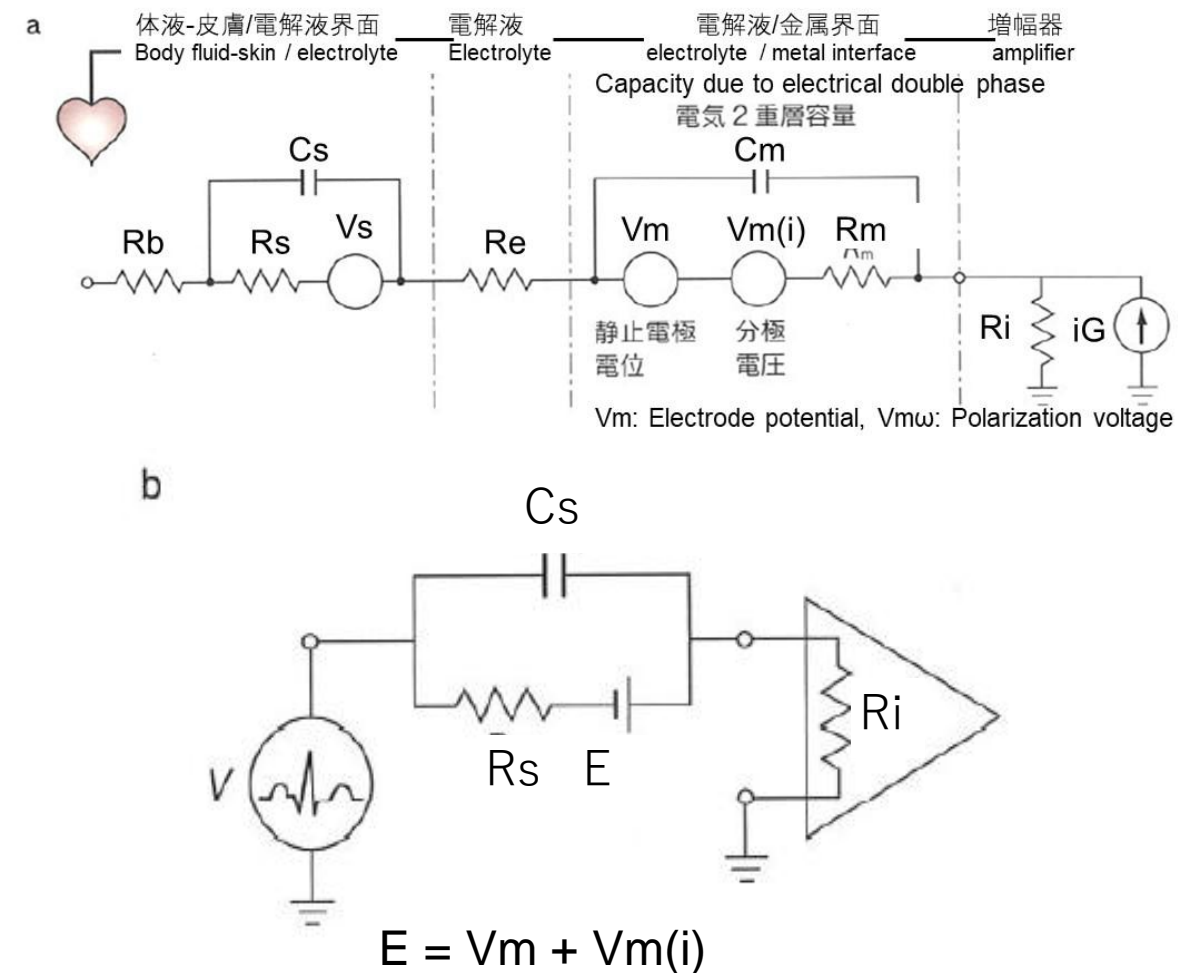
R_m : Metal electrode depending on electrode material and electrolyte concentration and resistance 500Ω including 1% NaCl concentration

C_m : Electric double layer capacity. About $1,000 \mu F$

R_i : Amplifier input impedance $10M\Omega$ to $20M\Omega$

i_G : Amplifier gate leakage current

Electrical equivalent circuit between skin-electrolyte-metal-amplifiers 皮膚-電解質-金属電極-増幅器間の電気的等価回路



Rb: Body fluid resistance $\sim 100\Omega$

Rs: Skin resistance $10k\Omega$ - $100M\Omega$, electrode area $1.5cm^2$, wipe skin with alcohol

Cs: Capacity between skin electrolytes 0.2 - $0.05 \mu F$

Re: Electrolyte resistance 100Ω (10% NaCl), $10k\Omega$ (0.5% NaCl)

Vs: Voltage due to difference in ion concentration between body fluid and electrolyte

Vm: Potential generated by the dissolution of a metal in a solution

Vm(i): Voltage generated by the flowing current Ag-AgCl $<10 \text{ mV} / \mu A$, stainless steel $1 \text{ V} / \mu A$

Rm: Metal electrode depending on electrode material and electrolyte concentration and resistance 500Ω including 1% NaCl concentration

Cm: About $1,000 \mu F$

Ri: Amplifier input impedance $10M\Omega$ to $20M\Omega$

iG: Amplifier gate leakage current

$$R_{all} \doteq R_s$$

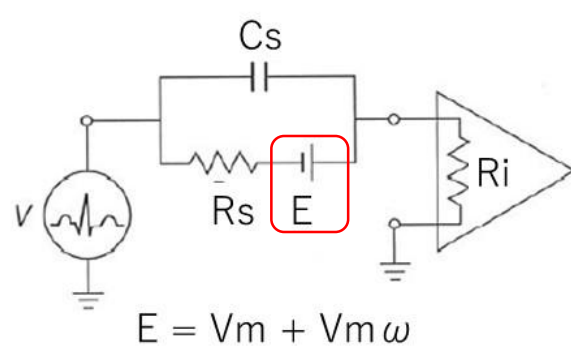
$$C_{all} = C_m \times C_s / (C_m + C_s) \doteq C_s$$

If R_s is large, T (time constant) = $C_s R_i$

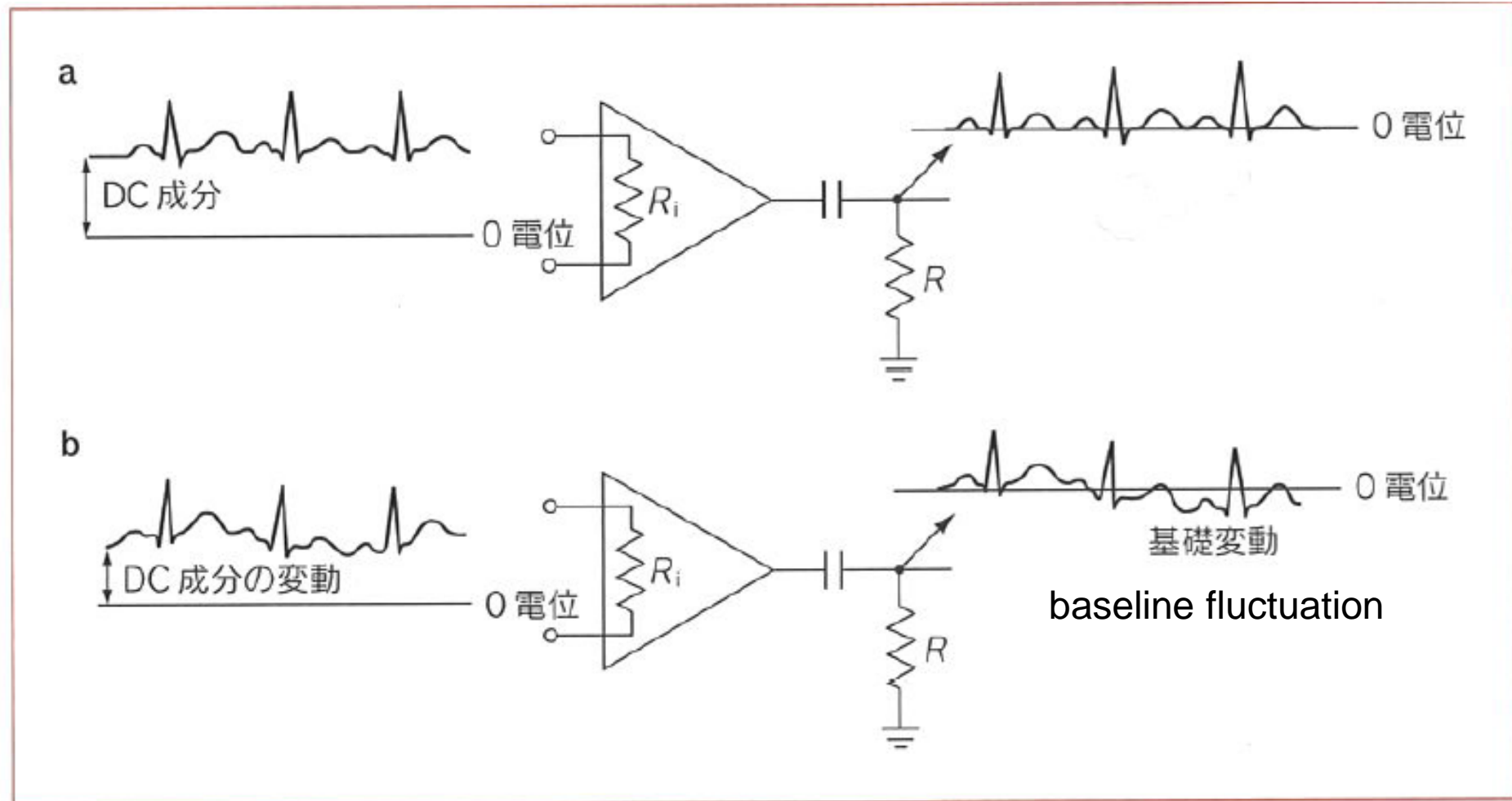
$$f_c \text{ (cut off frequency)} = 1 / (2\pi C_s R_i)$$

Effect of polarization voltage and baseline fluctuation

分極電圧の影響と基線変動



JIS : $E < \pm 300 \text{ mV}$



Part 2. Principle and Structure of sensor, transducer

センサー、トランスデューサーの原理と構造

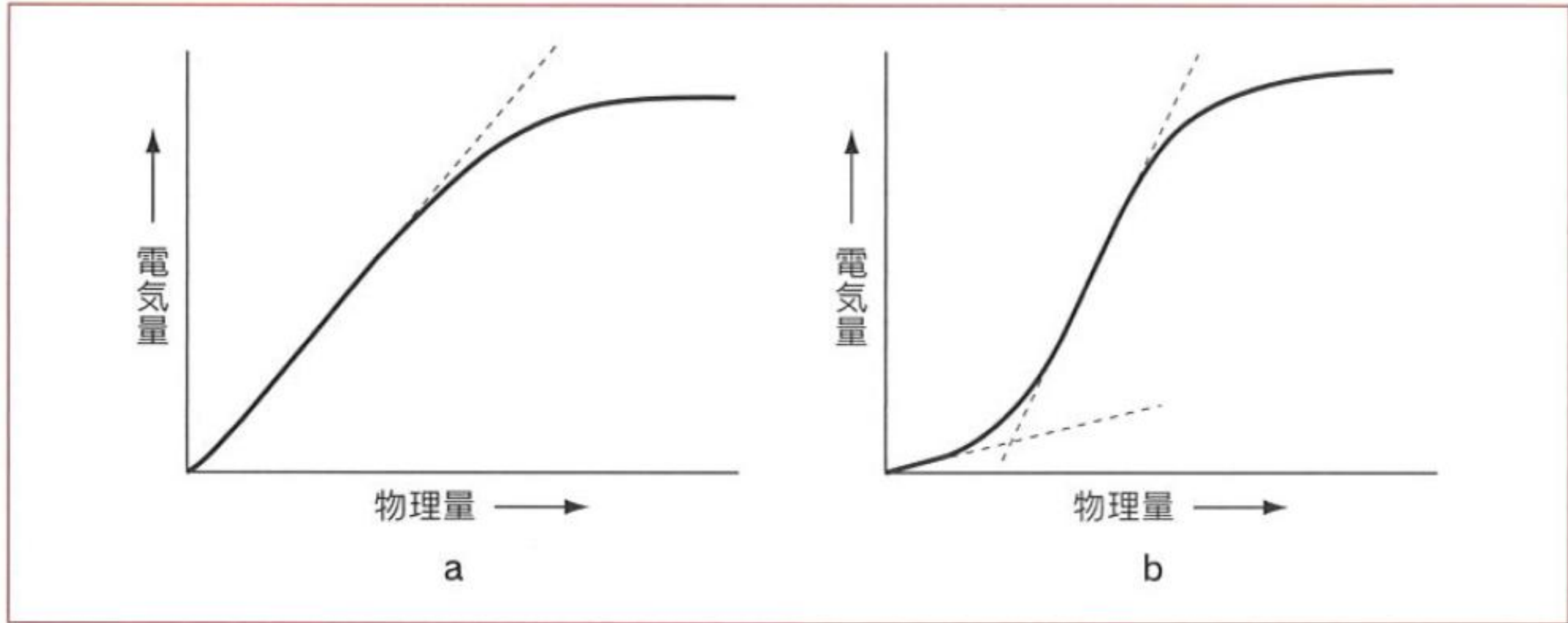
- Bioelectric phenomena and volumetric conductors
 - Electrical equivalent circuit
 - Effect of polarization voltage and baseline fluctuation
 - **Transducer requirements / トランスデューサーの要件**
 - (1) Frequency characteristic**
 - (2) Linearity and operating range**
 - (3) Error due to transducer**
-
- (1) 周波数特性**
 - (2) 直線性と動作範囲**
 - (3) トランスデューサによる誤差**

(1) Frequency characteristic 最小および最適なサンプリング周波数

Biosignals	Sensor Type	Sensor Location	Min sampling frequency Hz	Optimal sampling frequency Hz
EEG signals	Sintered Ag/AgCl electrodes	Scalp (along the international 10/20 electrodes system)	256	256
Pulse (Heart rate)	Photoelectric sensor	Finger, earlobe	64	256
ECG (Heart rate)	Disposable electrode	e.g. Einthoven I/II, Goldberger, Wilson recording	256	1024
Electrodermal activity	Finger electrode	Hand, foot, forehead	32	32
Respiration	Belt/Nose flow sensor	Thorax, abdominal	32	32
Facial EMG	Disposable electrode	Face	256	2048
EMG	Disposable electrode	Hand, leg	256	2048
EOG	Sintered Ag/AgCl electrodes	Vertical/horizontal/diagonal eye	128	256

EEG : 脳波
 ECG : 心電図
 EMG : 筋電図
 EOG : 眼電図

(2) Linearity and operating range 直線性と動作範囲



Relationship between the physical quantity and the amount of electricity after conversion.
a) Transducer with distort for large physical quantity, b) Transducer with partial linearity.

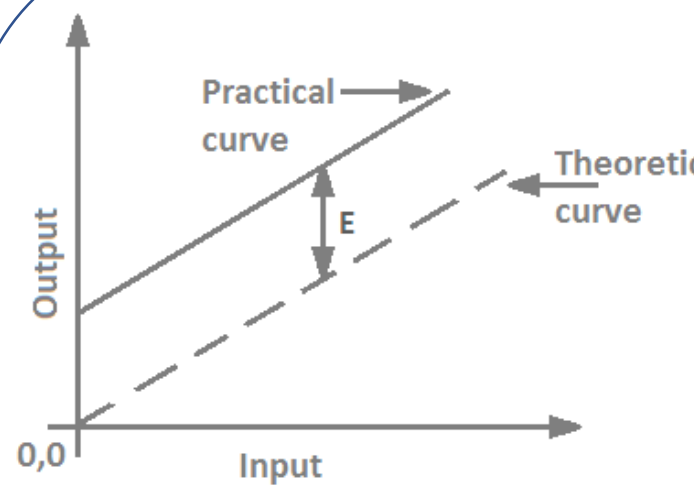
物理量と変換後の電気量の関係

a) 大きな物理量に対して歪みが生じる変換器、b) 部分的な直線性を有する変換器。

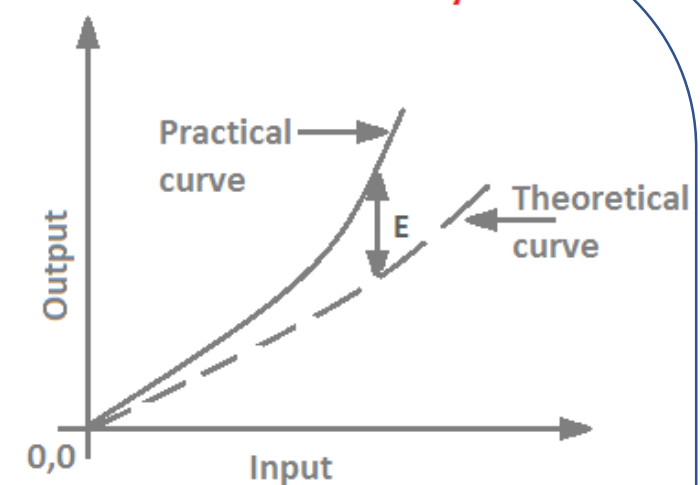
(3) Error due to transducer トランスデューサーによる誤差

- ✓ scale error
 - zero Error
 - sensitivity Error
 - non-conformity error
 - hysteresis
- ✓ dynamic error
 - occur only when input quantity is varying with time
- ✓ error due to noise and drift
 - noise consists of a signal of random amplitude and random frequency
 - drift is a slow change with time
- ✓ errors due to change in frequency
 - beyond a particular frequency the transducer can no longer respond as rapidly

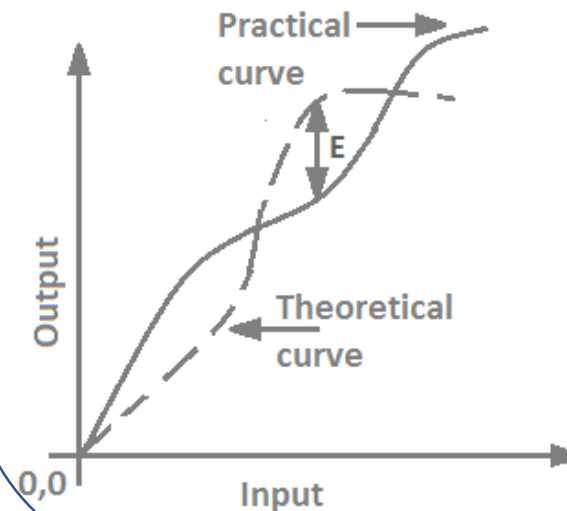
Transducer zero error



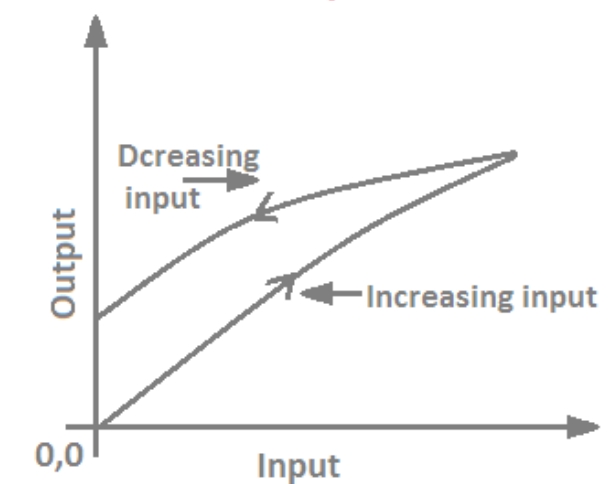
Transducer Sensitivity Error



Transducer Non-conformity Error



Transducer hysteresis



Part 3. Physical quantity sensor / transducer

物理量センサー/トランスデューサー

- **Examples of a physical quantity sensor / transducer**
 - **Potentiometer ポテンショメータ**
 - **Strain gauge 歪みゲージ**

Physical quantity sensor / transducer

1. Displacement / pressure transducer

Potentiometer, Strain gauge, Differential transformer

2. Vibration acoustic transducer

Microphone (displacement type, velocity type, acceleration type)

3. Flow Velocity / Flow Transducer

Thermistor, Differential pressure transducer, Blood flow transducer by ultrasonic Doppler method

4. Thermal temperature transducer

Transducer for body temperature measurement, Thermocouple transducer, Heat release transducer

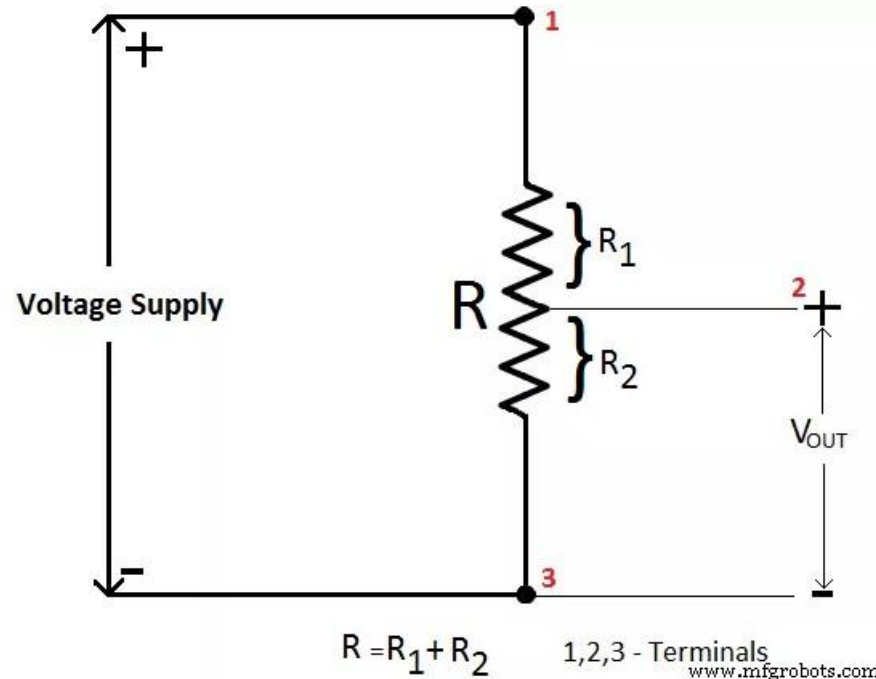
5. Photoelectric conversion element transducer

Transducer with photovoltaic effect, Transducer using the photoelectric effect, Transducer using photoelectric emission effect, Transducer with pyroelectric effect

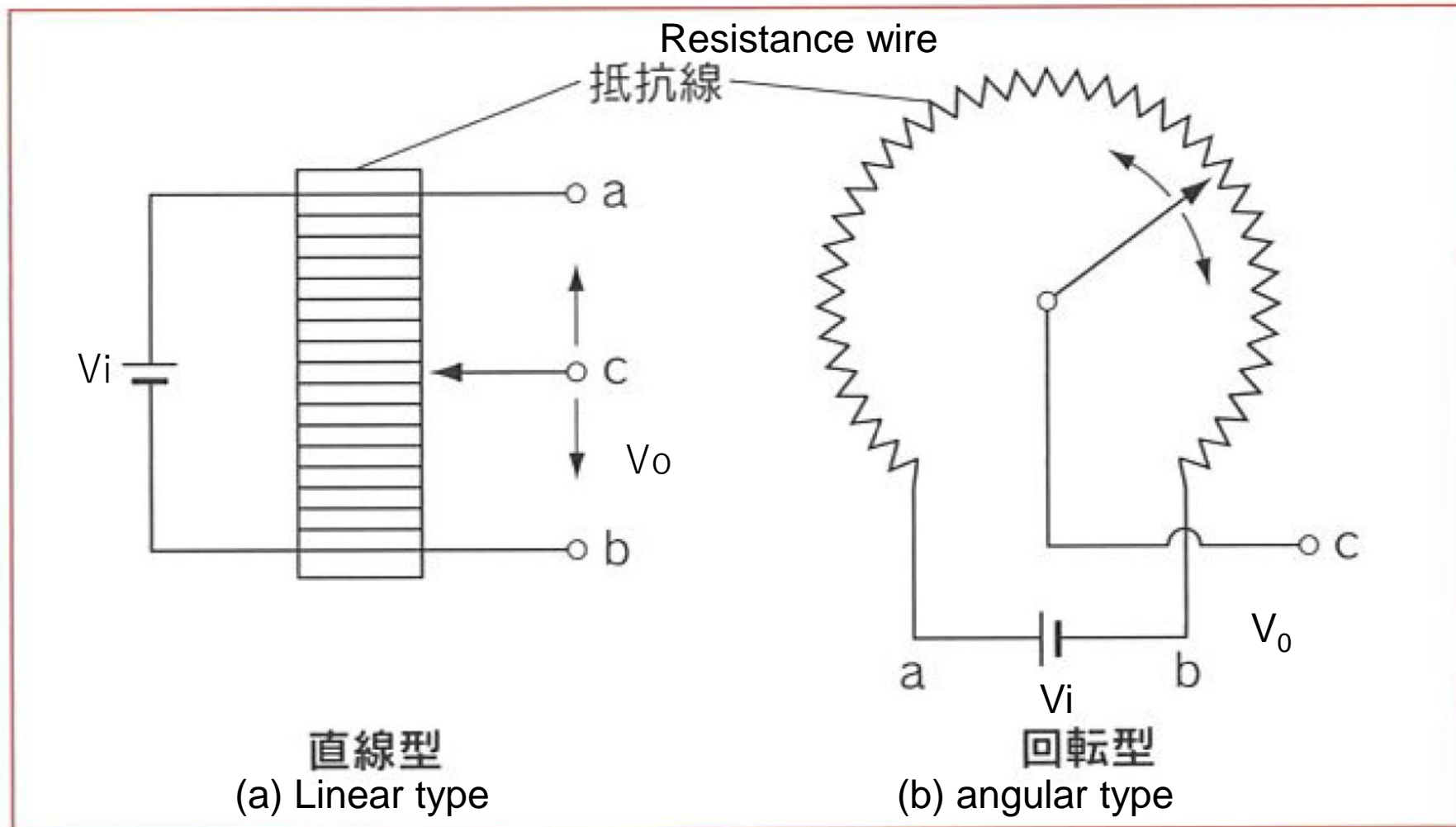
Potentiometer ポテンショメータ

- **Voltage regulation**
- **Converting mechanical movement into voltage**
 - Volume control for audio equipment
 - Light dimmer
 - Robot control
 - Detecting the position of the accelerator pedal in a car

- **電圧調整**
- **機械的な動きを電圧に変換**
 - オーディオ機器の音量調整
 - 調光器
 - ロボット制御
 - 車のアクセルペダルの位置検出



Potentiometric transducer



Linear translational (a) and angular (b) displacement transducers

Potentiometer sensor



Potentiometric Linear
Transducer

<https://www.megatron.de/en/products/more-products-linear-sensors/potentiometric-linear-transducer-ci18.html>



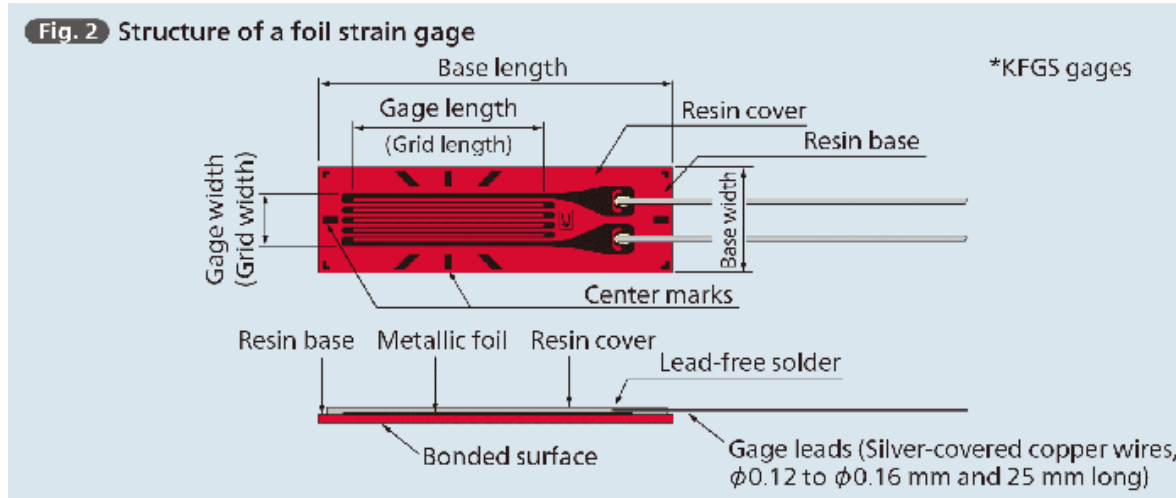
Potentiometer angle sensor

<https://www.pinterest.jp/hzhuirensensor/potentiometer-angle-sensor/>

Strain gage ひずみゲージ

measure very small mechanical strains

The foil strain gage



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{K}$$

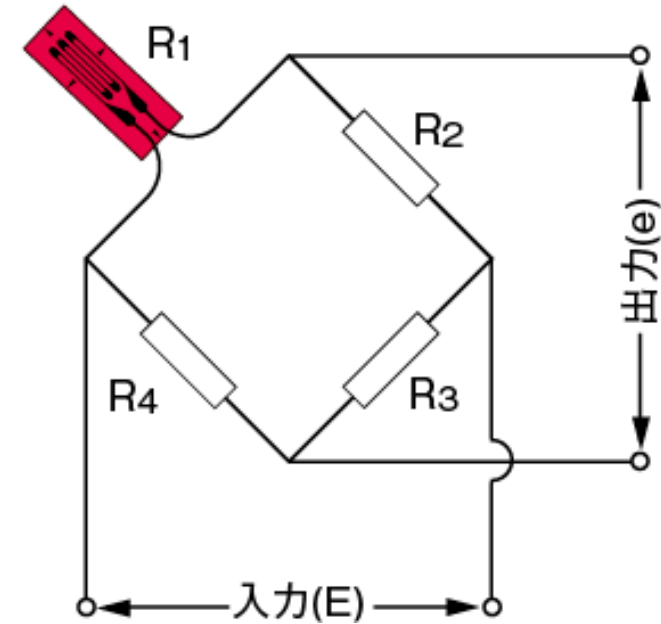
ε : ひずみ
 R : ゲージ抵抗
 ΔR : ひずみを受けたときの抵抗変化量
 K : ゲージ率
 (ゲージパッケージに記載)

Strain
 gauge resistance
 Rate of change
 gauge factor

$$e = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E$$

$$\Delta e = \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} E$$

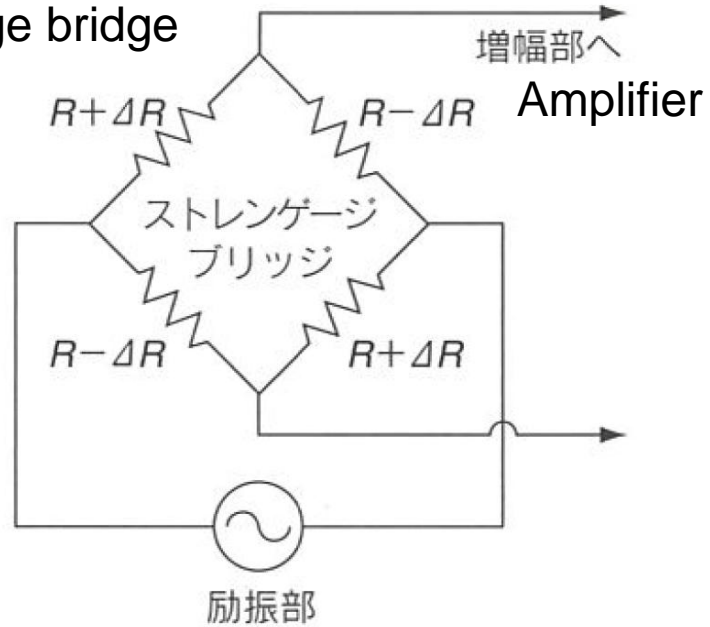
$$\Delta R \ll R \text{ の場合、 } \Delta e = \frac{\Delta R}{4R} E = \frac{E}{4} K \varepsilon$$



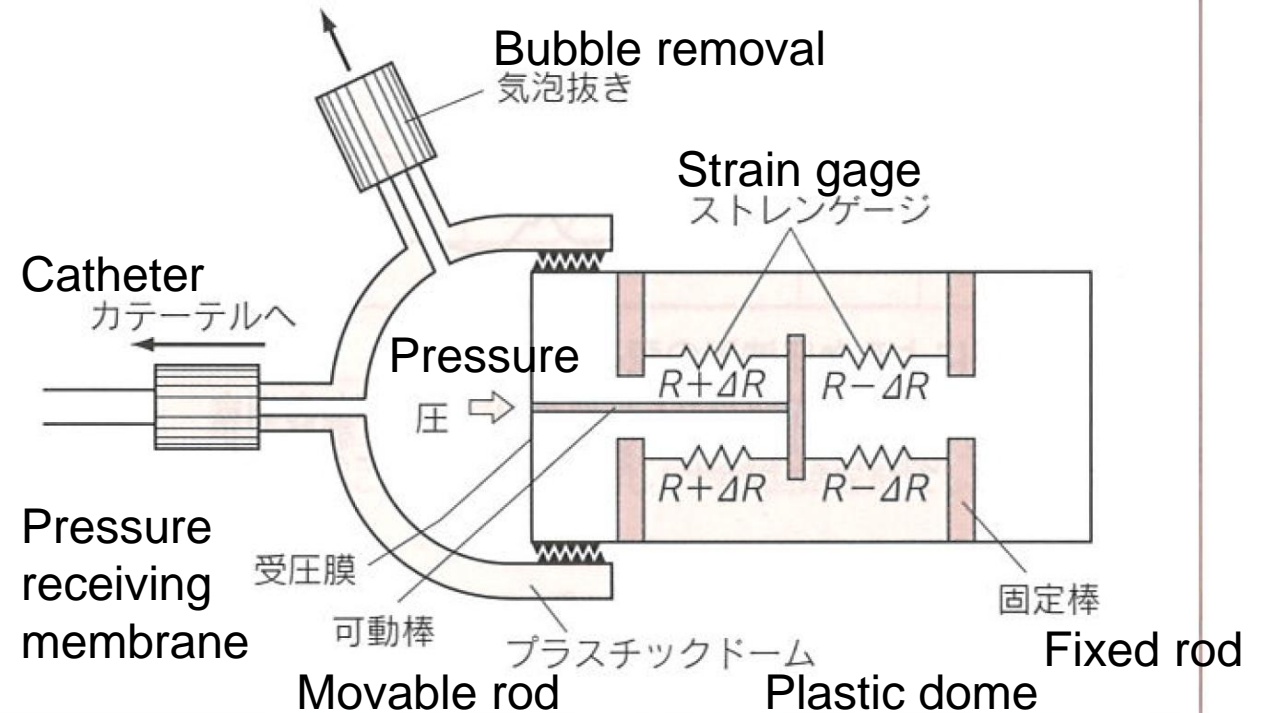
e : 出力電圧
 E : 入力電圧
 R_1 : ひずみゲージの抵抗値
 $R_2 \sim R_4$: 固定抵抗の抵抗値
 output voltage
 input voltage
 gauge resistance
 Fixed resistance value

Strain gauge

Strain gage bridge



Bridge circuit by 4-gauge method
4ゲージ法によるブリッジ回路



Blood Pressure Transducer Using Strain Gauge
ストレンゲージを利用した血圧トランスデューサ

Part 4. Matching with amplifier

増幅器とのマッチング

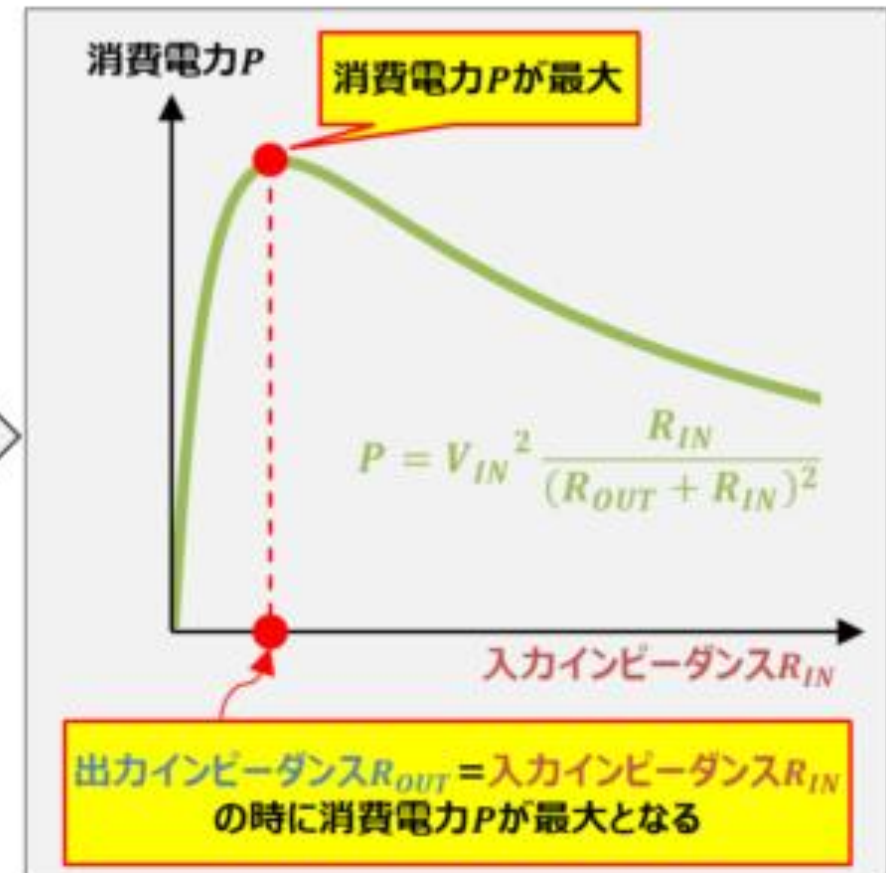
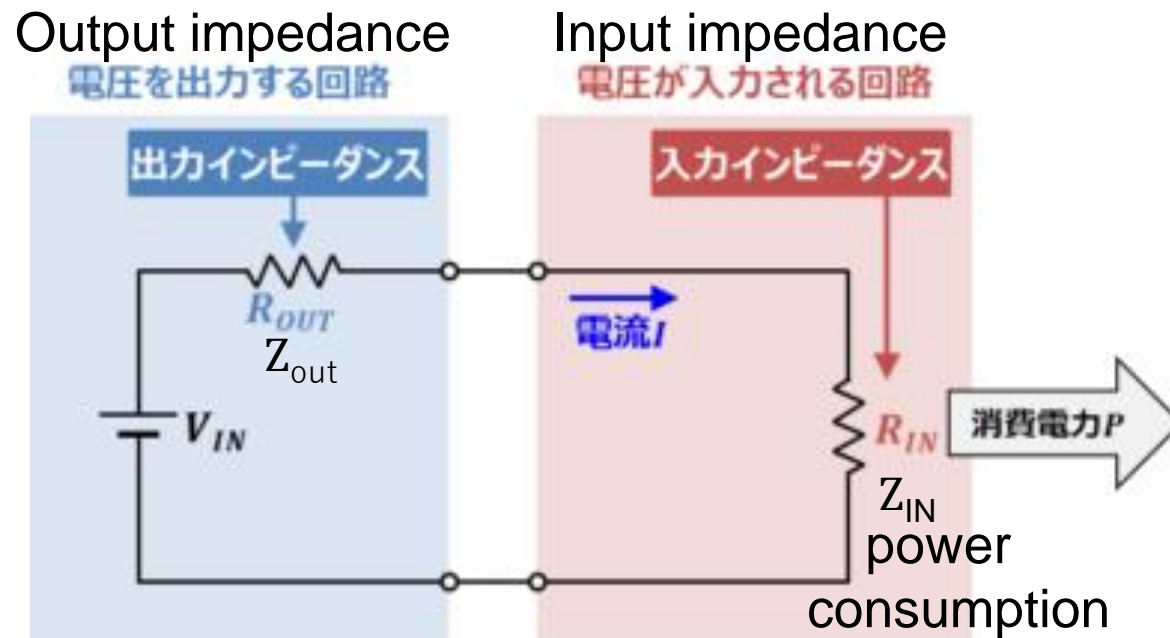
- **Equivalent circuit of biosignal amplifier input circuit**
生体信号の増幅器入力回路部分の等価回路
- **Coupling conditions to power amplifier**
「電圧を出力する回路」のカップリング条件

Coupling conditions to power amplifier

「電圧を出力する回路」のカップリング条件

Impedance Matching (インピーダンス整合)

Designing signal source and load impedances to minimize signal reflections or maximize power transfer
信号反射の最小化または電力伝達の最大化のために信号源および負荷インピーダンスを設計することである



Coupling conditions to power amplifier

「電圧を出力する回路」のカップリング条件

V_{IN} : the voltage of the DC voltage source

R_{OUT} : the output impedance

R_{IN} : the input impedance

The current I is

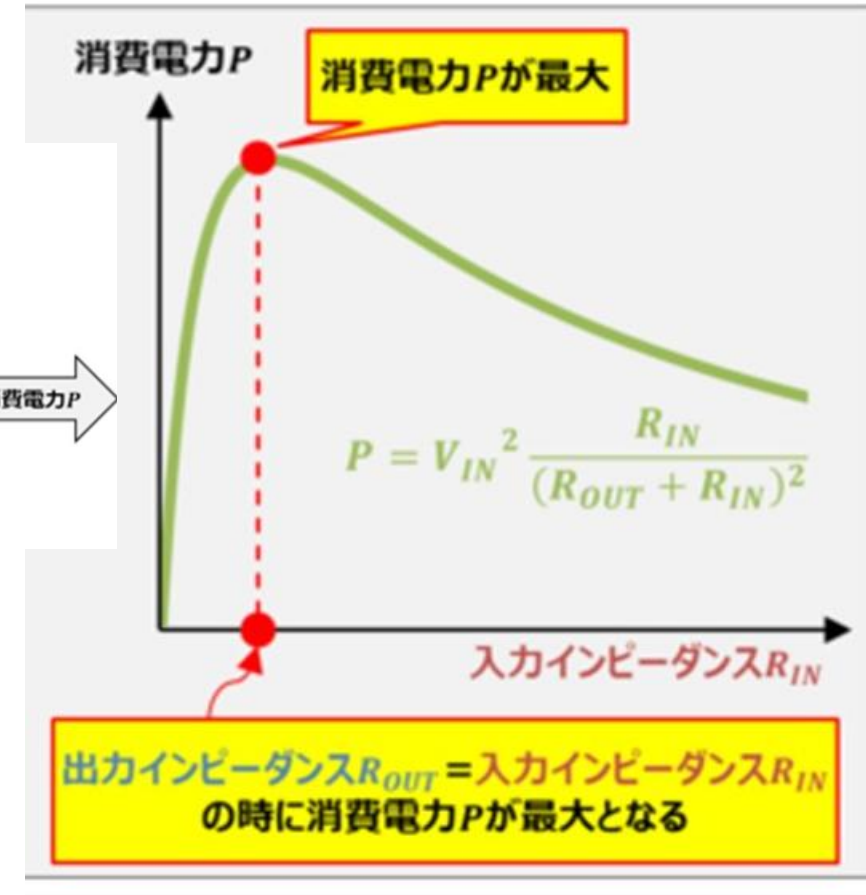
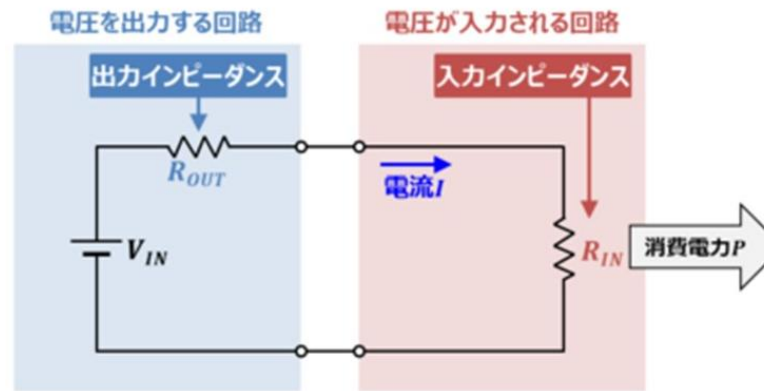
$$I = \frac{V_{IN}}{R_{OUT} + R_{IN}} \quad (1)$$

The voltage across the input impedance R_{IN} is

$$V = R_{IN} \times I = R_{IN} \frac{V_{IN}}{R_{OUT} + R_{IN}} \quad (2)$$

The power P consumed by the input impedance R_{IN} is

$$P = VI = R_{IN} \frac{V_{IN}}{R_{OUT} + R_{IN}} \cdot \frac{V_{IN}}{R_{OUT} + R_{IN}} = V_{IN}^2 \frac{R_{IN}}{(R_{OUT} + R_{IN})^2} \quad (3)$$



Part 5. Examples of the use of physical quantity sensors / transducers in medical devices

物理量センサー・トランスデューサーを用いた医療機器

- **Pulse oximeter** パルスオキシメーター
- **Radiation thermometer** 放射温度計

Pulse oximeter パルスオキシメーター



Pulse oximeter

Using pulse oximetry for decision support for COVID-19

Updated: 11 April 2020

Does the patient have any of the following?

- Fever ($>38^{\circ}\text{C}$) within the last 14 days
- Cough or shortness of breath
- Respiratory rate elevated
 - ≥ 22 for adults (age 16y or older)
 - ≥ 24 for children (age 5-15)
 - ≥ 30 for young children (age 1-5)
 - ≥ 60 for infants (2-11 months)
 - ≥ 70 for neonates (<2 months)
- Signs of obstructed/absent breathing; respiratory distress; central cyanosis; or other clinical signs.

NO

Assessment and management using WHO/local protocols, including testing and isolation for COVID-19 if indicated.

- If patient develops rapid breathing, difficulty breathing, shortness of breath, or emergency signs, re-evaluate oxygen saturation with pulse oximeter.

SpO₂ $\geq 94\%$ without Emergency Signs

SpO₂ $< 94\%$ OR Emergency Signs

With pulse oximeter. Administer oxygen immediately.

via nasal prongs. $\geq 2\text{ L/min}$ (children), $\geq 90\%$. Check vital signs/SpO₂ flow rates to keep

SpO₂ $\geq 90\%$ without Emergency Signs

Continue inpatient management using WHO/local protocols.

- Check vital signs/SpO₂ every 4-6 hours while on oxygen.
- Maintain SpO₂ between 90-96%, reducing oxygen flow rate when possible.
- For pregnant patients, maintain SpO₂ between 92-96%.

SpO₂ $\geq 90\%$ without Emergency Signs

SpO₂ $< 90\%$ OR Emergency Signs

SpO₂ $\leq 90\%$ OR Emergency Signs

Admit to intensive care unit, if available.

- Maximize oxygen support and consider escalating respiratory support if available.
- Monitor SpO₂ continuously, if possible.
- If emergency signs, aim for SpO₂ $\geq 94\%$.



Created by lifebox and ALIMA with assistance from the World Health Organization

Pulse oximeter principle

パルスオキシメーターのしくみ

Emit red light

Emit infrared light

Hemoglobin turns red when combined with oxygen

赤色光を
発光

赤外光を
発光

LED

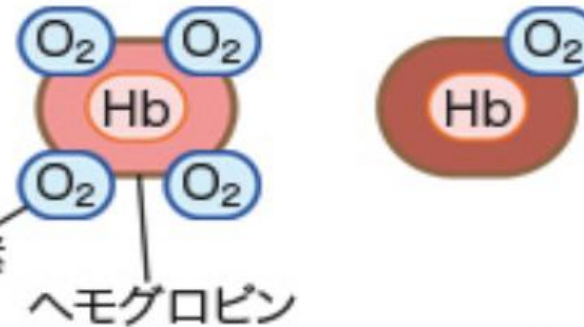
動脈 artery

静脈 vein

生体組織

センサー Living tissue
Sensor

酸素と結びつくと
ヘモグロビンは赤くなる



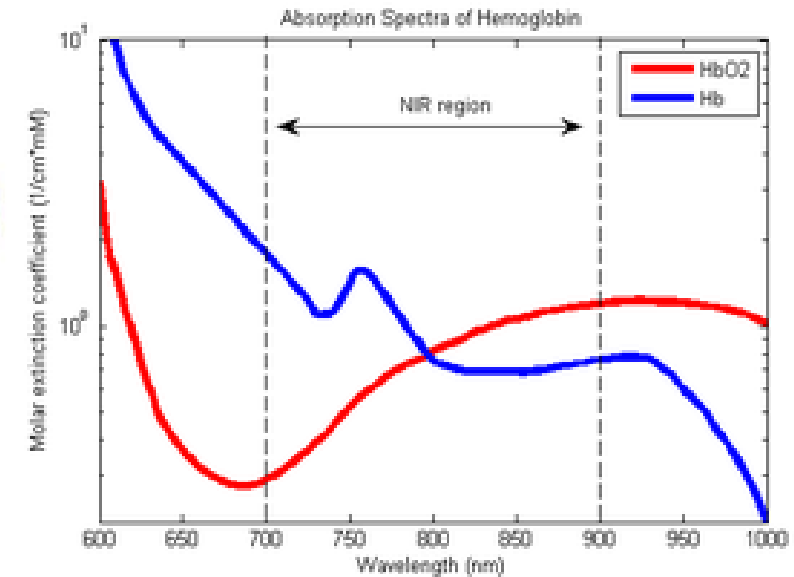
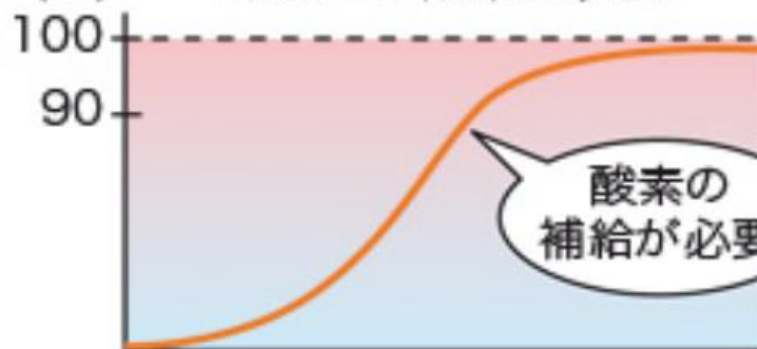
ヘモグロビン

この両者の比率が
酸素飽和度

This ratio is oxygen saturation

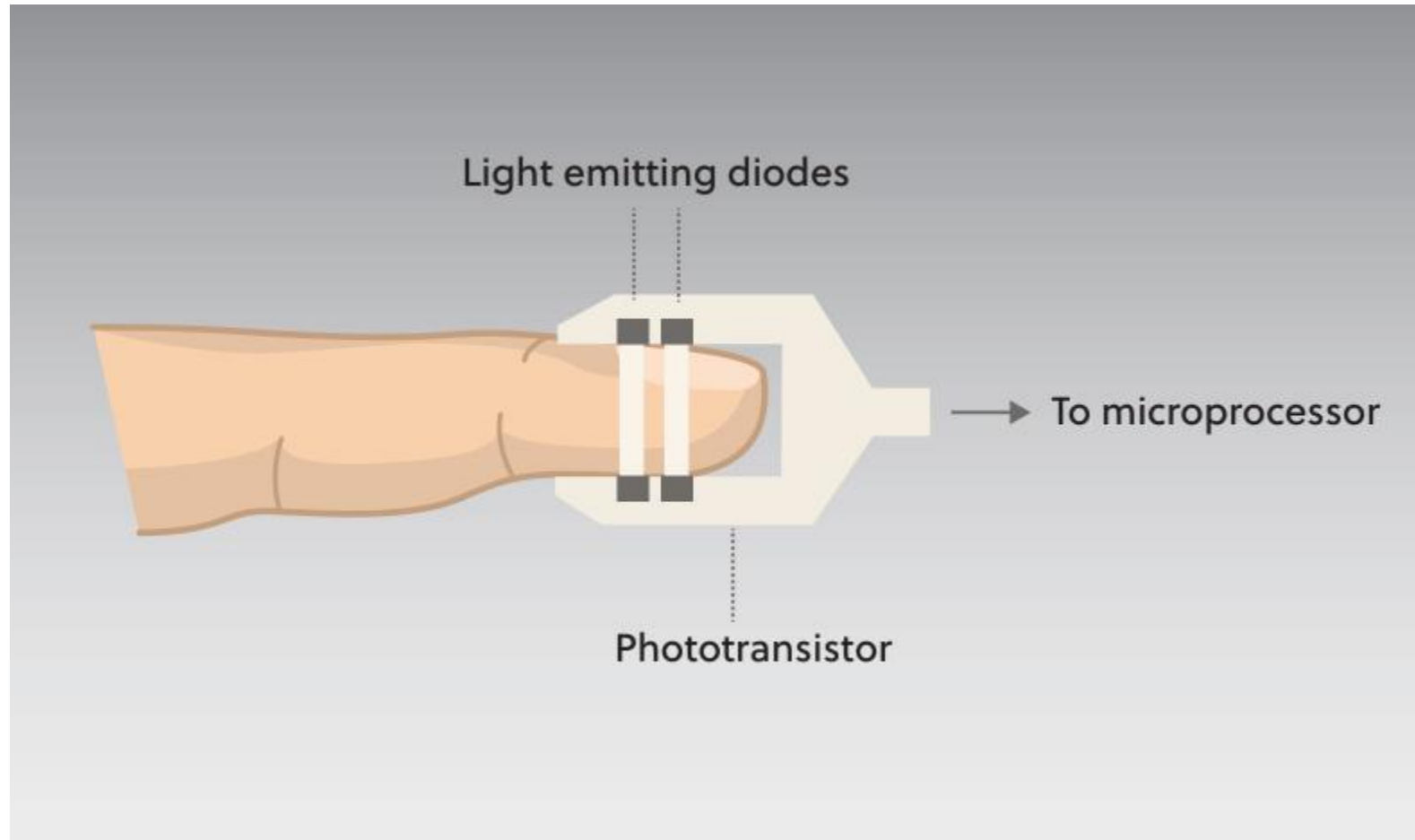
Needs oxygen supply

Oxygen saturation of arterial blood
(%) 動脈血の酸素飽和度



Absorption spectra of oxygenated hemoglobin (HbO_2) and deoxygenated hemoglobin (Hb) for red and infrared wavelengths

Pulse oximeter configuration 構成



<https://www.cablesandsensors.com/pages/what-is-pulse-oximetry-the-definitive-guide-for-monitoring-oxygen-saturation-levels>

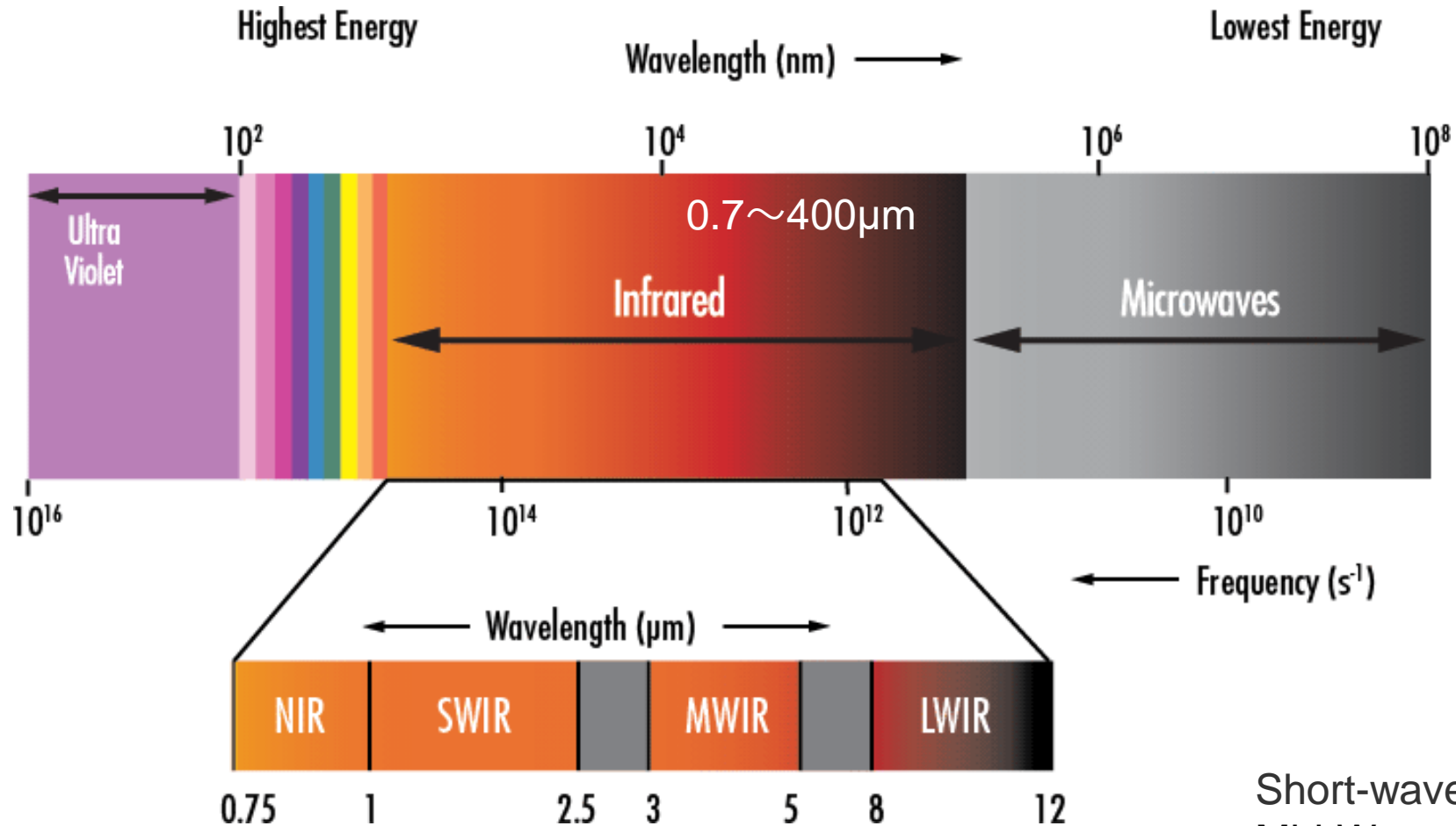
Radiation thermometer 放射温度計 infrared thermometer, infrared camera



https://www.ginsengherbs.com/product_296_Clinicalmedicalforeheadinfraredthermometers.html

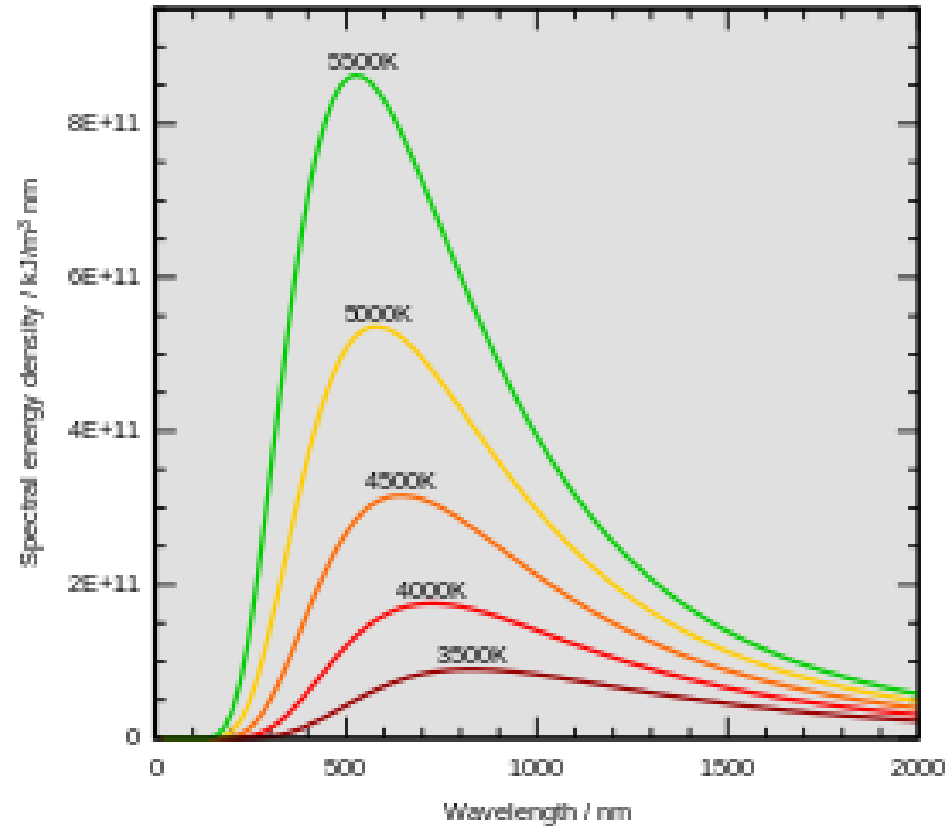
<https://www.wired.com/story/infrared-cameras-spot-fever-not-slow-covid-19/>

InfraRed 赤外線



Short-wave infrared (SWIR)
Mid-Wave Infrared (MWIR)
Long-Wave Infrared (LWIR)

Black-body radiation 黑体放射



$$E = \sigma T^4$$

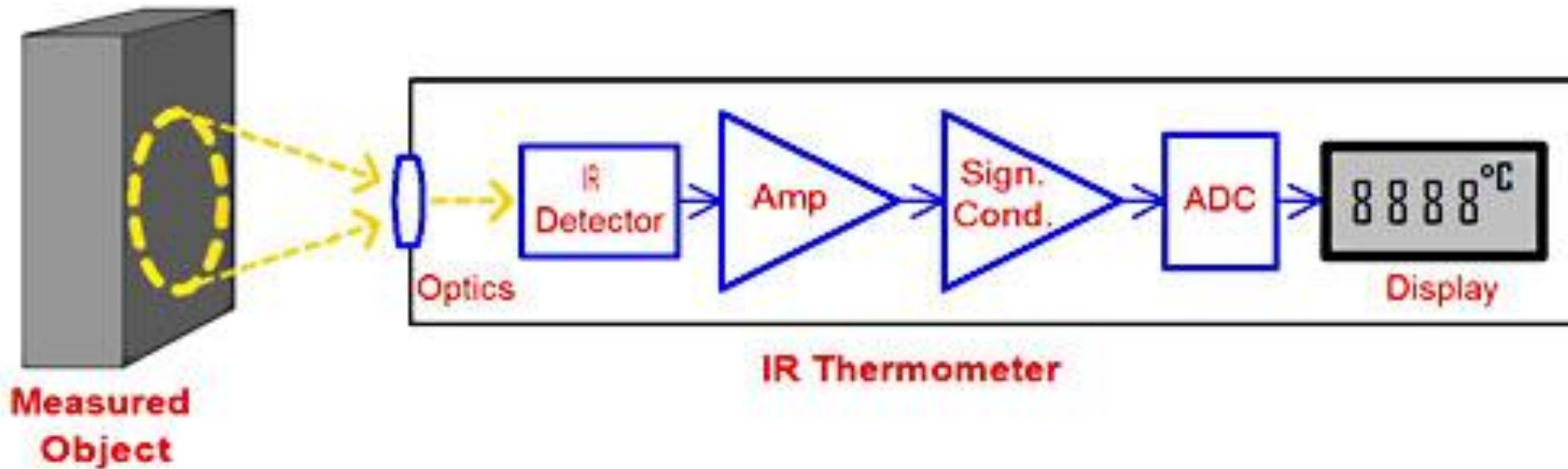
E : the radiant heat emitted from a unit of area per unit time

T : the absolute temperature

$\sigma = 5.670367 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$, Stefan–Boltzmann constant

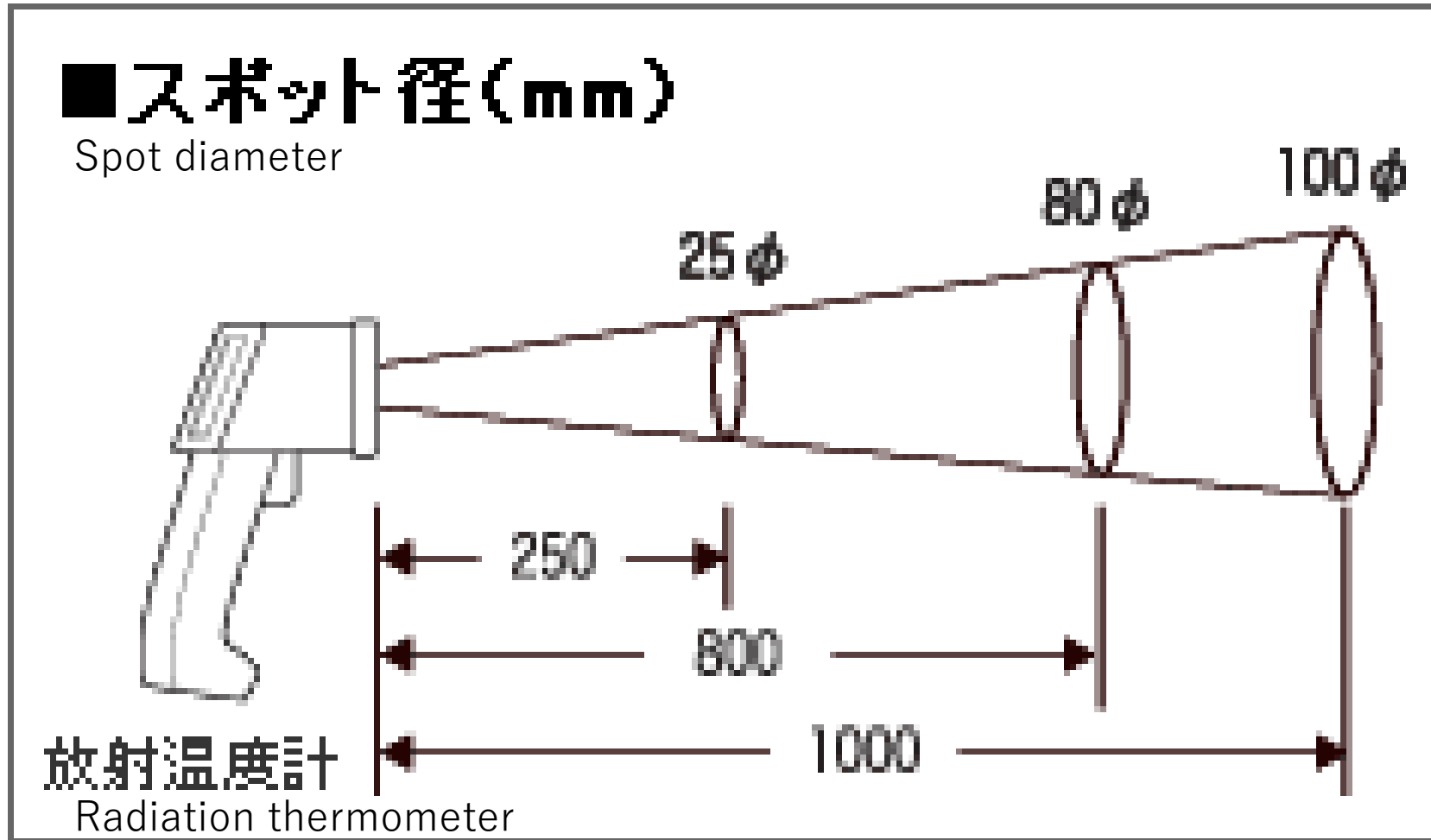
Block diagram of an infrared thermometer

赤外線温度計のブロック図



Measurement area of infrared thermometer

赤外線温度計の測定範囲



Part 1. Collection of biological information

Part 2. Principle and Structure of sensor, transducer

Part 3. Physical quantity sensor / transducer

Part 4. Matching with amplifier

**Part 5. Examples of the use of physical quantity sensors /
transducers in medical device**

1. 生体情報の収集

2. センサー・トランスデューサーの原理と構造

3. 物理量センサー・トランスデューサー

4. 増幅器とのマッチング

5. 医療機器における物理量センサー・トランスデューサーの活用例

The 4th Lecture On demand

▼ 講義 4



生体情報工学第4回講義資料



次の条件に合致しない限り利用できません:

- 2025年 05月 6日 またはそれ以後
- 2025年 07月 30日 の終了以前



生体情報工学第4回講義video_1



次の条件に合致しない限り利用できません:

- 2025年 05月 6日 またはそれ以後
- 2025年 07月 30日 の終了以前



生体情報工学第4回講義video_2



次の条件に合致しない限り利用できません: 2025年 05月 6日 またはそれ以後 ...



生体情報工学第4回講義video_3



次の条件に合致しない限り利用できません: 2025年 05月 6日 またはそれ以後 ...



生体情報工学第4回クイズ



次の条件に合致しない限り利用できません:

- 2025年 05月 6日 またはそれ以後
- 2025年 05月 13日 の終了以前