検査4年前期　核医学概論　水曜1講目
（Web オンデマンド）

北大病院　核医学診療科　加藤千恵次

臨床検査技師国家試験の物理系問題の解法を復習する。

1週間ごとに各講義の受講票を送って下さい。

1

令和2年　国家試験　　解答　5

超音波（1 MHz）の吸収係数が最も小さいのはどれか。

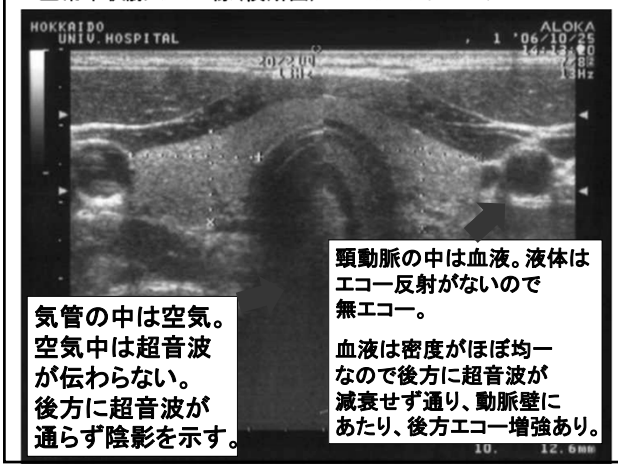
1. 筋　肉
2. 空　気
3. 血　液
4. 脂　肪
5. 水

血液の中には血球があるので、血液より水のほうが密度が均一。

超音波の吸収係数が小さい、とは超音波が減衰、反射しにくいこと（音響インピーダンスが小さい）。
超音波、音波は、密度変化のある所で反射する。
密度が均一な部位では、超音波は減衰しにくい。
空気は軽すぎて超音波は伝わらない（音波は伝わる）。

2

正常甲状腺　Axial像（横断面）　7.5MHzプローブ



気管の中は空気。
空気中は超音波が伝わらない。
後方に超音波が通らず陰影を示す。

頸動脈の中は血液。液体はエコー反射がないので無エコー。

血液は密度がほぼ均一なので後方に超音波が減衰せず通り、動脈壁にあたり、後方エコー増強あり。

3

令和4年　国家試験　　解答　5

超音波の伝搬速度が最も速いのはどれか。

1. 水
2. 肝　臓
3. 空　気
4. 脂　肪
5. 頭蓋骨

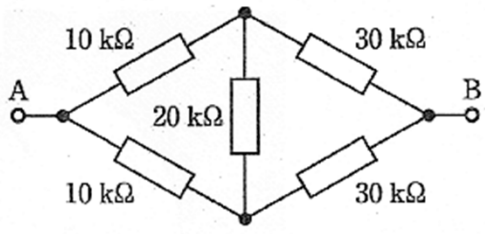
超音波や音波の速さは、音を伝える媒質の硬さや重さ（密度）で決まる。
硬いものの中ほど、音波や超音波は速い。
（空気中の音波、超音波速度は 秒速340 m）
（水中の音波、超音波速度は 秒速 約1500 m）

4

令和2年　国家試験　　解答　2

図の回路で A-B 間の合成抵抗[kΩ]はどれか。

1. 15
2. 20
3. 30
4. 40
5. 60



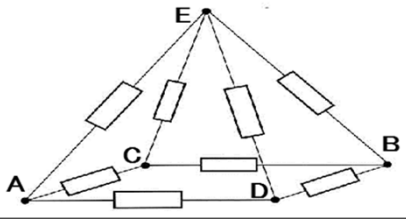
ホイートストン ブリッジ回路。向い合う抵抗の積が等しいと、対角線の回路の電流はゼロ（断線と同じ）。
対角線にある 20kΩ の抵抗は無いと考えてよい。

5

2018年　第2種ME技術実力検定試験　　解答　4

四角錐の各辺に 1 個ずつ抵抗器が接続された回路がある。AB 間の合成抵抗は何Ωか。
ただし，抵抗器はすべて 15 Ω とする。

1）2
2）5
3）7
4）10
5）15



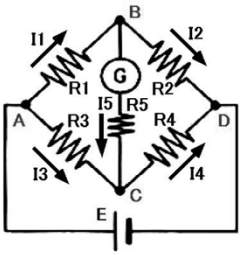
ホイートストンブリッジ回路の法則から、経路CEDには電流が流れないので、経路CEDは存在しないと考えてよい。

よって、AB間には、30Ωの抵抗が3列、並列接続していると考えてよい。　1／((1/30) + (1/30) + (1/30)) = 10 (Ω)

6

ホイートストン ブリッジ 回路

ホイートストン ブリッジ 回路 は、
対向する抵抗値の積が等しい場合に
対角線の電流が 0 になる。



メータ G に電流が流れないときは、I5 = 0

B点の電流和 I1 − I2 − I5 = 0 　I1 = I2

C点の電流和 I3 + I5 − I4 = 0 　I3 = I4

閉回路 ABCA の電圧和
R1I1 + R5I5 − R3I3 = 0 　R1I1 = R3I3

閉回路 BCDB の電圧和
R5I5 + R4I4 − R2I2 = 0 　R2I2 = R4I4

これを解くと、 R1R4 = R2R3

精度良く抵抗値を測定することができる回路で、
抵抗値が変化する トランスデューサ（サーミスタ、CdS、ストレインゲージ など）
の測定値検出回路に用いられる。

7

令和2年 国家試験 解答 3

理想的な演算増幅器の特徴として誤っているのはどれか。

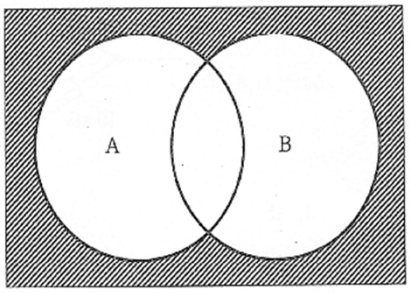
1. 電圧増幅度が大きい。
2. 差動増幅器として働く。
3. 出力インピーダンスが大きい。
4. 入力インピーダンスが大きい。
5. 供給電源電圧の範囲内で動作する。

8

令和2年 国家試験 解答 3

A と B の論理演算を模式化した図を示す。網掛け部分を示すのはどれか。

1. OR
2. AND
3. NOR
4. NOT
5. NAND



9

令和2年 国家試験 解答 3

生体信号をデジタル記録する場合、最も高いサンプリング周波数が必要となるのはどれか。

1. 脳　波
2. 脈　波
3. 筋電図
4. 心音図
5. 心電図

10

平成28年 国家試験 解答 4

臨床検査としてデジタル記録する場合、必要なサンプリング周波数が最も高いのはどれか。

1. 心電図
2. 心音図
3. 脈　波
4. 筋電図
5. 脳　波

11

主な生体信号の周波数

心電図　0. 05 ～ 100　Hz
（時定数 τ = 3秒）(1/2$\pi\tau$ = 0.05 Hz)

脳波　　0. 5 ～　60　Hz
（時定数 τ = 0.3秒）(1/2$\pi\tau$ = 0.5 Hz)

筋電図　　5 ～2000　Hz
（時定数 τ = 0.03秒）(1/2$\pi\tau$ = 5 Hz)

心音図　　20 ～ 600　Hz

眼振図　0. 05 ～　20　Hz

12

令和2年　国家試験　　解答　4

100 kHz の交流電流が体表の 2 か所に張り付けた電極間に流れたとき、およその最小感知電流と考えられるのはどれか。

1. 10 μA
2. 100 μA
3. 1 mA
4. 100 mA
5. 1 A

13

令和2年　国家試験　　解答　4

ME 機器の CF 形装着部を表す医療機器関連図記号はどれか。

1.
3.
5.
2.
4.

14

令和2年　国家試験　　解答　2

コンピュータの入出力インターフェースの規格はどれか。

1. OS
2. USB
3. HTML
4. TCP/IP
5. IP アドレス

15

平成18年　国家試験

問題 81　医療機器における差動増幅器の利便性で正しいのはどれか。

1. 同相ノイズの抑制
2. 周波数特性の改善
3. 実効増幅度の安定化
4. 基線動揺の抑制
5. リップル率の上昇

解答　1

16

同相信号（ノイズ）の抑制と逆相信号（生体信号）の増幅
＝　差動増幅回路

周波数特性の改善　＝　負帰還増幅器

実効増幅度の改善　＝　負帰還増幅器

（実効増幅度 = 入力電圧の実効値との出力電圧の実効値の比）

基線動揺（ドリフト）の抑制

＝ 低周波遮断フィルタ （＝微分回路）
（CR結合回路の抵抗電圧など）

リップル率の抑制　＝　平滑回路

17

差動増幅器の特徴

1. **反対位相信号を増幅して、同位相信号ノイズ**（主に商用交流雑音（ハム））**を抑制できる。**
（ ハム は 外部雑音 ）
2. **2点間の電位差を増幅できる（心電図や脳波等）。**
3. **電源電圧の変動（ドリフト）に対して安定である。**
4. **直流バイアスを伴う信号の、交流信号だけを増幅できる。**

18

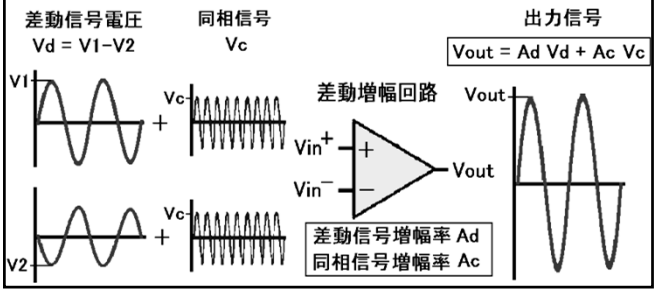
同相信号除去比 （ 同相除去率、弁別比 ）

CMRR （ Common Mode Rejection Ratio ）

差動増幅器の性能評価の指標。 CMRRは大きいほど良い。

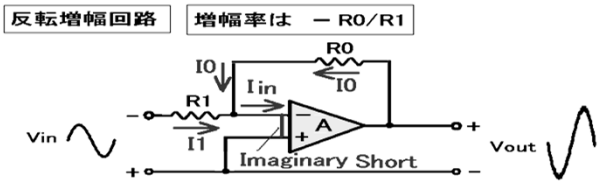
差動成分の増幅率を Ad、同相成分の増幅率を Ac とすると、

同相信号除去比 (弁別比) CMRR = Ad / Ac



19

負帰還増幅器　　代表的な回路は反転増幅回路



オペアンプの入力インピーダンスは極めて高いので、
回路計算上は、入力電流は 0 と考える。

Iin = I0 + I1 = 0　　I1 = −I0

イマジナリ ショート を考えると、

入力端子間の電位差 Vin は、オームの法則より、R1 I1

出力電圧は Vout は、R0 I0

$$\text{増幅率} = \frac{Vout}{Vin} = \frac{R0\ I0}{R1\ I1} = -\frac{R0}{R1}$$

20

オペアンプは、負帰還回路を組むことを前提として作られたIC. そのため増幅率が非常に高い。

負帰還回路にすると、増幅率は下がるが、

以下の利点がある。

1. 回路内の抵抗 R0、R1 の値を選択することで設計者が希望する増幅率の回路を作成できる。

2. オペアンプ自体の増幅度が温度上昇などで変動しても、増幅率が安定した回路になる。

21

3. **増幅率が安定した回路になるので、過剰な入力信号でも出力信号の波形が歪みにくい。（増幅率の直線性が良くなる。）**

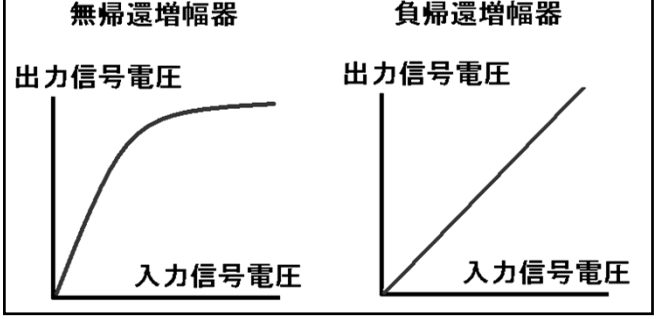
4. **極端に周波数が高い信号または低い信号が強く入ると、負帰還をかけないオペアンプでは増幅率が不安定になる。 負帰還をかけると、それが改善され、周波数特性が向上する。**

以上の特徴から、内部雑音（増幅器自体から発生する雑音）が少ない（S/Nの良い）増幅器になる。

22

増幅率の直線性

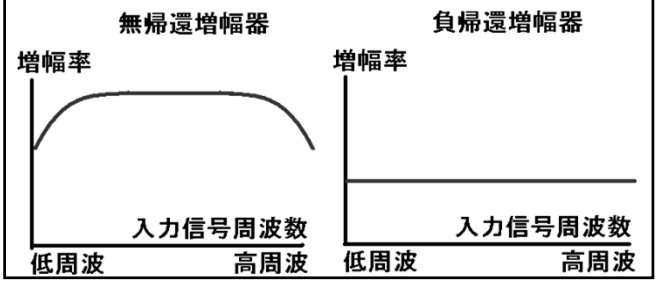
無帰還増幅では、入力信号が強いと出力が歪んで増幅率が低下し、直線性が損なわれる。



23

増幅率の周波数特性

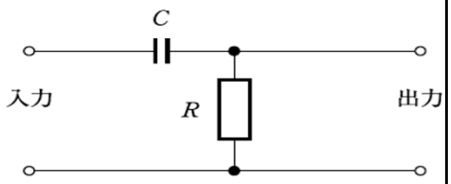
無帰還増幅では、入力信号周波数が極端な場合、出力が歪んで増幅率が低下し、周波数特性が損なわれる。



24

平成29年　国家試験　　解答　5

図の回路で正しいのはどれか。

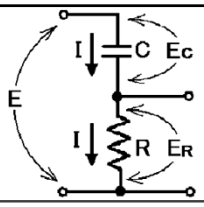


1. 低域通過回路として機能する。
2. 回路の時定数は C と R の和で表される。
3. 矩形波を入力すると積分波形が出力される。
4. C の容量が大きいほど遮断周波数は高くなる。
5. 遮断周波数では出力電圧は入力電圧の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ となる。

25

入力E の 周波数が f = 0 (直流)のときは、
コンデンサ C に電流が通らないので
出力電圧 E_R は 0。

入力 E の 周波数が極めて高いときは、
コンデンサ C のインピーダンスは、ほとんど 0
なので、出力電圧 E_R は 入力と同じになる。



したがって、CR結合回路の抵抗の電圧 E_R は、入力信号の
低周波成分を 遮断する機能をもつ。(低域フィルタ、低周波フィルタ)

ある周波数から急に通り難くなる周波数を、遮断周波数という。
EcとERが同じ大きさになって、出力ERが入力の $1/\sqrt{2}$ 倍になる周波数 f_L を、
CR結合回路の低域遮断周波数(Low cut-off frequency)という。

$E_R = ImR$、$E_c = \frac{Im}{\omega C}$ なので、$E_c = E_R$ となるときは、$\omega = \frac{1}{CR} = \frac{1}{\tau}$

低域遮断周波数 $f_L = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\tau}$

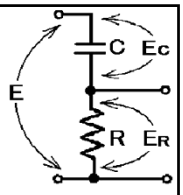
26

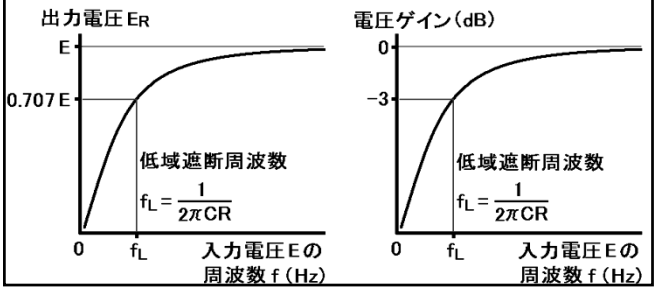
入力電圧 E の周波数が $f_L = 1/(2\pi CR)$ のとき、

出力E_R との比は、$\frac{\text{出力電圧}}{\text{入力電圧}} = \frac{E_R}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ (=70.7%)

dB であらわすと、ゲインG = $20\log_{10}\frac{1}{\sqrt{2}} = -3$ dB

($\log_{10}2 \fallingdotseq 0.3$)

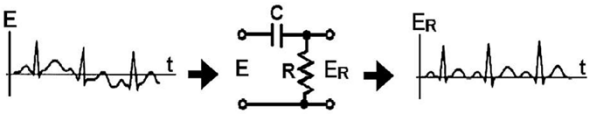




27

心電図(ECG)

測定される電圧曲線　　心臓が出している電圧
(測定したい電圧曲線)　　呼吸による電位の変動



心電図などでは、呼吸による電位変動が低周波雑音として加わっているので、
(心臓と電極との距離が呼吸で変動するため)
測定値そのままでは、基線動揺(基線変動)が認められる。
このような低周波ノイズを、ドリフト雑音という。
適切な時定数のCR結合回路を入れて 抵抗電圧を取り出すと、
低周波成分が遮断されて、基線が平坦化する。

28

CR 結合回路の 抵抗電圧出力 E_R は、
低周波遮断フィルタ (Low cut filter = High pass filter)
かつ、微分回路である。

微分回路は、低周波遮断フィルタの特性をもつ。

CR 結合回路の コンデンサ電圧出力 Ec は、
高周波遮断フィルタ (High cut filter = Low pass filter)
かつ、積分回路である。

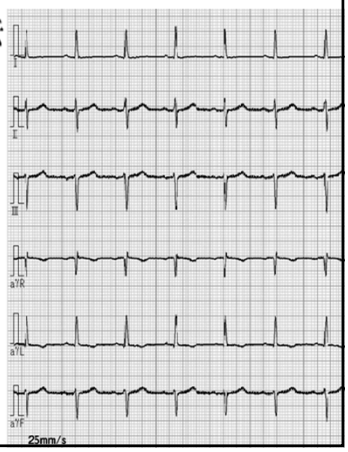
積分回路は、高周波遮断フィルタの特性をもつ。

29

平成29年　国家試験　　解答　5

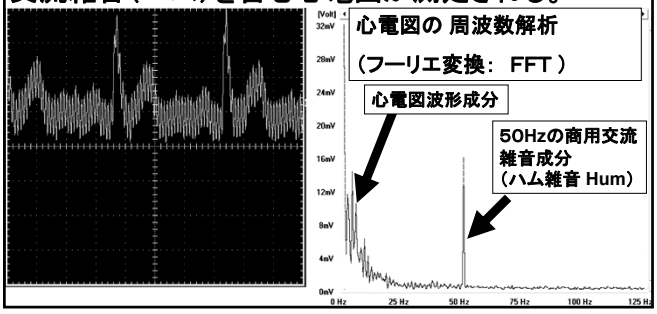
心電図を示す。アーチファクトを除去するための適切な方法はどれか。

1. 枕を高くする。
2. 息止めを行う。
3. 両手首の汗を拭き取る。
4. リラックスするよう促す。
5. 付近の電気機器のプラグを抜く。



30

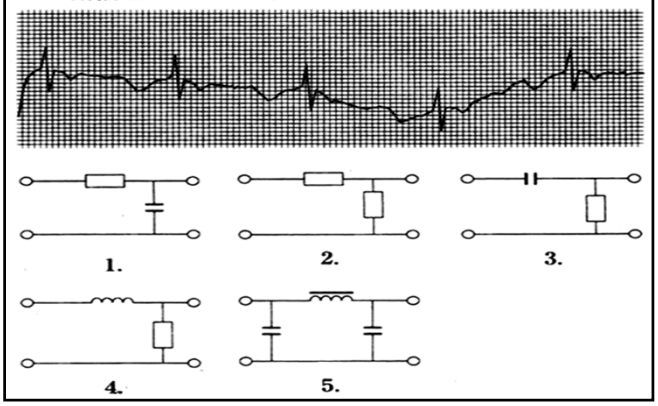
心電図の計測時に、被検者や心電計、ケーブルの近くにコンセントにつながれた電源コードがあると、コードから周囲空間に50Hzの電磁波が出るので被検者体表または測定器が、その電磁波を拾い、交流雑音（ハム）を含む心電図が測定される。



31

2011年　国家試験模試　　解答　3

心電図記録中に図のような基線の動揺がみられた。
この動揺をカットする作用のある回路はどれか。



32

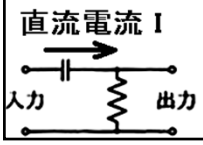
心電図の基線動揺（ドリフト雑音）は、低周波雑音。

低周波信号、直流信号を通さない回路 を選ぶ。

CR結合回路の抵抗電圧出力 E_R が解答。

どれが低域遮断フィルタの特性をもつか。
（低周波、直流を通さないものはどれか）

簡単な考え方は、直流を入力したときに出力に電圧がでないものを捜す。



コンデンサは直流を通さないので、直流では出力電圧は出ない。低域遮断フィルタである。

33

平成29年　国家試験　　解答　3

入力電圧を 50 倍に増幅する増幅器 A と 200 倍に増幅する増幅器 B がある。
増幅器 A と B を直列に接続したときの全体の増幅度[dB]はどれか。

1. 40　　3. 80　　5. 120
2. 60　　4. 100

34

デシベル　dB　：　ゲイン（ gain　G ）の単位

電力など、マイナスの値を取らない物理量の場合、

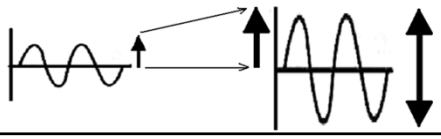
$G = 10 \log_{10}$（出力／入力）

（ G の10分の1の値が、増幅度の対数（ゲイン））

電圧や電流など、マイナスの値もある物理量の場合、

$G = 20 \log_{10}$（出力／入力）

マイナス方向にもゲインが広がるので、2倍にする。



35

電圧増幅率が 50倍 の増幅器Aと

電圧増幅率が 200倍 の増幅器Bを直列につなぐと

電圧増幅率 50 x 200 = 10000 倍に増幅される。

電圧や電流など、マイナスの値もある物理量の場合、

Gain（dB）$= 20 \log_{10}$（出力／入力）

$= 20 \log_{10}$（10000 ／ 1）

$= 20 \log_{10}(10^4)$

= 20 x 4 = 80 （dB）

36

令和4年　国家試験　　解答　3

電圧利得が 20 倍の増幅器を 3 つ直列につないだ増幅器の利得[dB]はどれか。ただし、log2 = 0.3 とする。

1. 46　　4. 96
2. 66　　5. 124
3. 78

20倍の増幅をデシベルに換算すると
20 log 20 = 20 (log2 + log10) = 20 (0.3 + 1)
= 20 x 1.3 = 26 dB
3つ直列につなぐと、26+26+26 = 78 dB

37

問題　81　差動増幅器の同相利得が－20 dB、逆相利得が 40 dB のとき、同相除去比(CMRR)はどれか。

1. －60 dB
2. －20 dB
3. 20 dB
4. 60 dB
5. 80 dB

19年国家試験　解答　4

利得　Gain (dB) = 20 $\log_{10}$(増幅率)

差動成分増幅率 Ad = 100　（ 40 dB = 20 log 10^2 ）
同相成分増幅率 Ac = 0.1　（ −20 dB = 20 log 10^{-1} ）
弁別比　CMRR = Ad/Ac = 100/0.1 = 1000 倍
dB で表現すると、20 log 1000 = 20 x 3 = 60 dB

38

CMRR を 直接、利得(Gain (dB)) で計算する方法

差動成分利得　Gd (dB)
同相成分利得　Gc (dB)
弁別比　CMRR = Gd – Gc (dB)
（ 対数は、割り算を 引き算 に変換する関数 ）

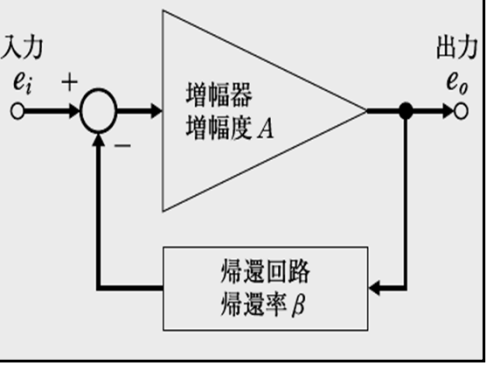
Gd = 40、Gc = −20　なので
CMRR = 40 – (−20) = 60 dB

39

平成28年　国家試験　　解答　4

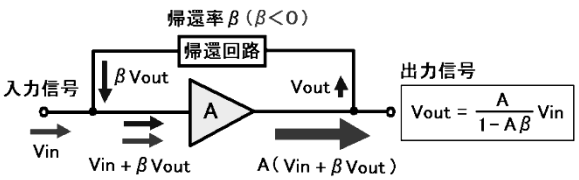
図の回路の増幅率(e_o/e_i)はどれか。

1. $A-\beta$
2. $\dfrac{1}{A+\beta}$
3. $\dfrac{1}{A-\beta}$
4. $\dfrac{A}{1+A\beta}$
5. $\dfrac{A}{1-A\beta}$



40

帰還増幅器（帰還率 β が負の場合は、負帰還増幅器）



出力電圧 Vout の一部(割合 β)が、入力電圧に加わる。
増幅率Aの オペアンプに入力される電圧は、Vin + β Vout になる。
したがって出力電圧 Vout は、A(Vin + β Vout) になる。
Vout = A(Vin + β Vout) より、Vout = A/(1−Aβ) Vin になる。
β がプラスの場合は、出力電圧が非常に高くなり、発振の状態になる。
(アンプのスピーカにマイクを近づけた時などの ハウリング 現象と同じ。)

41

この回路では、出力 Eo の β 倍の信号が、
入力信号 Ei から引き算されて、増幅器に入る。
それが A倍に増幅された値が Eo なので、
Eo = A(Ei – β Eo)

式を変換すると、Eo(1＋A β)= A Ei
回路全体の増幅率は、
出力／入力 = Eo ／ Ei = A ／ (1＋A β)

42

負帰還回路　（ NFB：　Negative Feedback ）

出力を目標値と比較して、出力の値を自動制御する回路。

帰還（feedback）は、結果を入り口に返すということ。

負帰還の「負」は、出力の結果を負の情報として戻して
比較することを意味する。

増幅器に 負帰還回路を付けると、
増幅回路の周波数特性が良くなり、
入力信号の安定した増幅、ノイズの抑制ができる。
ただし、増幅率は低下する。

43

問題　79　MRI で用いるのはどれか。

1. マイクロ波
2. ポジトロン
3. 赤外線
4. 静磁場
5. γ線

19年国家試験　　**解答　4**

44

マイクロ波　micro wave

電磁波の一種。
波長が 数百～数千 マイクロメートル で、
周波数 300MHz～3000GHz（3T（tera）Hz）
程度の範囲の電磁波の総称。

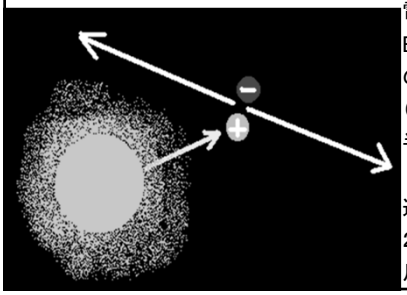
UHF放送、無線LAN の電波、
電子レンジ（3GHz）など。

MRI に使う電磁波は VHF、FM放送に用いる
40～60 MHz 程度の電磁波。

45

陽電子消滅　（ annihilation）

陽電子（positron：電子の反粒子。素粒子の一種）を放出
する放射性核種の近傍において、陽電子と電子が結合して
消滅し、1対の 0.51MeV の消滅放射線を反対方向に放出。



エネルギー保存則
電子質量 m_eは
$E = m_e C^2 = 0.51$ MeV
の放射線になる。
（鉛4mmでエネルギーが
半減する程度の電磁波）

運動量保存則
2本の消滅放射線は
反対方向に放出

46

MRI （核磁気共鳴画像）
Magnetic Resonance Imaging
臓器、病変の水素元素の密度分布像
を磁力を用いて測定し画像化する。

強い静磁場に被検者を入れて
電磁波を当てたときに共鳴する電磁波
を測定して画像にする。

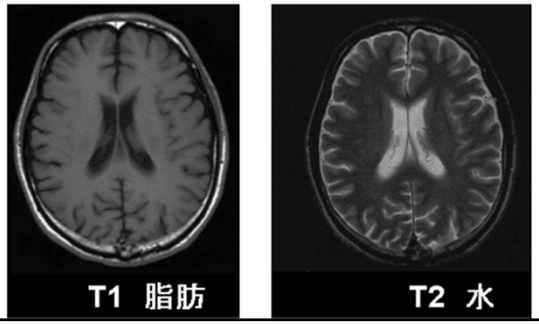
T1画像は脂肪の像。（脂肪内の水素）
T2画像は水の分布像。（自由水の水素）

47

脳のMRI画像　（水素 H の分布像）

T1強調像　**脂肪分布**　（ CH 分布像）

T2強調像　**自由水分布**（ OH 分布像）



48

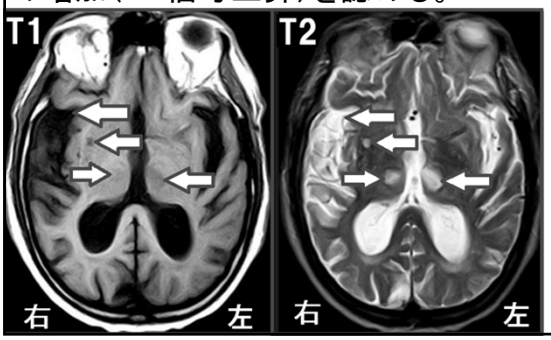
平成28年　国家試験　　解答　2

頭部MRI検査による脳梗塞の診断で**誤っている**のはどれか。

1. T1強調像で低信号を示す。
2. T2強調像で低信号を示す。
3. CTに比べ脳幹部梗塞の描出が容易である。
4. 5mm程度の大きさの梗塞巣も明瞭に描出される。
5. 拡散強調像によって急性期脳梗塞の早期診断ができる。

49

発症1日目以降の脳梗塞は脳組織を形成する脂肪成分の減少（T1信号低下）と、細胞膜破壊で細胞内液と外液の混在による浮腫で自由水の増加（T2信号上昇）を認める。



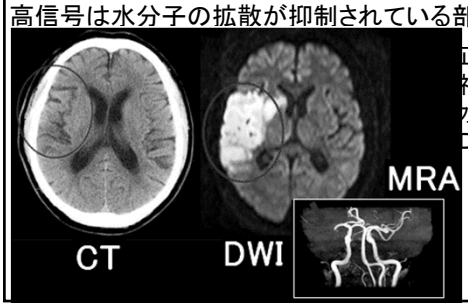
右側頭葉、右内包、左右視床の梗塞

50

超急性期脳梗塞には、MRIの拡散強調画像DWI（Diffusion weighted imaging）が有効。

超急性期脳梗塞は、細胞性浮腫が起こり、細胞間隙が狭くなり、細胞間隙を移動する水分子の拡散運動が抑制される。

拡散強調画像は水分子の拡散が大きい箇所で信号低下。
高信号は水分子の拡散が抑制されている部位。



正常脳組織は、神経線維に沿った水の拡散が大きくDWIの信号は低い。

51

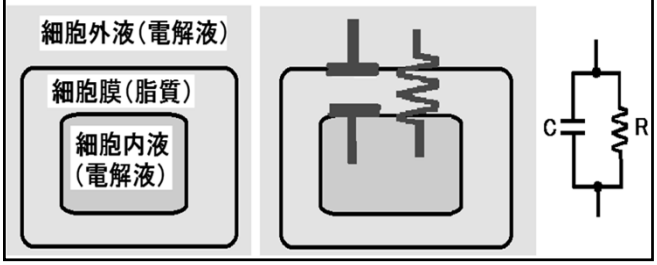
28年国家試験　　解答　5

細胞膜の電気的物性を近似した回路はどれか。

1. キャパシタとインダクタの並列接続
2. 抵抗とインダクタの直列接続
3. 抵抗とインダクタの並列接続
4. 抵抗とキャパシタの直列接続
5. 抵抗とキャパシタの並列接続

52

細胞膜の主成分は脂質で、絶縁体の箇所を含む。
それが細胞内外の電解質を含む導体の液体に挟まれるので、電気的にコンデンサ（キャパシタ）と等価となる。
細胞膜の一部は、細胞内外の液体が出入りするので電気的には抵抗と等価となる。
従って、細胞膜は、コンデンサと抵抗の並列回路と等価。



53

28年国家試験　　解答　5

変位を電気抵抗に変換するトランスデューサはどれか。

1. CdS
2. SQUID
3. 圧電素子
4. サーミスタ
5. ポテンショメータ

54

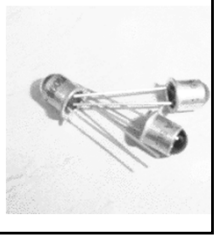
光センサ

CdS素子　光導電効果

光センサ。光伝導（導電）セル。
硫化カドミウム CdS を使った抵抗で、
光が当たると、抵抗値が小さくなる。
車のヘッドライトの点灯確認装置などに利用。

フォトダイオード、フォトトランジスタ
光起電力効果

光が半導体のPN接合部に当たると
電子が接合部を通りやすくなる性質を
利用した光センサ。
CdSより小型で、光に対する反応が速い。



55

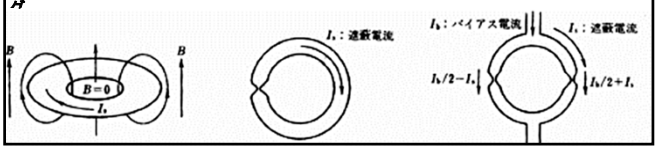
SQUID （SQUID磁束計）　超伝導量子干渉素子
super-conducting quantum interference device

高感度に脳磁図を測定できる装置。 北大病院にある。

超伝導状態（電気抵抗がゼロ）では、超伝導リングに外部から磁界Bを加えると、超伝導リングの中に磁界Bを通過させないように、これを打ち消す超伝導電流（遮蔽電流）Is が流れる。しかし超伝導リングは電気抵抗がゼロであるから電圧は発生しない（左図）。

ところが、超伝導リングに一部細い部分（ジョゼフソン結合）を作ると、そこにわずかな遮蔽電流 Is が流れただけで超伝導状態が崩れ、常伝導となり、細い部分に電圧が発生する。これを利用して、わずかな磁場の変化を電圧として取り出すことが可能となる。

普通の超伝導リング　細い部分を1つ持つ超伝導リング　細い部分を2つ持つ超伝導リング



56

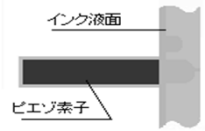
57

圧力センサ　歪みゲージ（ストレインゲージ）

ピエゾ素子　ピエゾ効果（ 圧電効果 piezo-electric effect ）

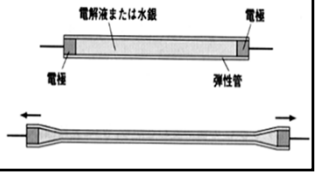
電圧をかけることにより、ある方向に伸びる材料。
逆に圧力をかけて変形させると電圧が生じる。

シリコンゴム、セラミックスが使われる。
血圧センサ、微小駆動装置
（インクジェットプリンタなど）、
電子ライターの点火などに利用される。



抵抗線ストレインゲージ

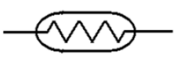
シリコンゴム管に電解液を封入した
チューブ。
引っ張ると電気抵抗が大きくなる。
呼吸センサなどに利用。



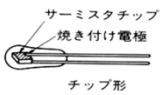
58

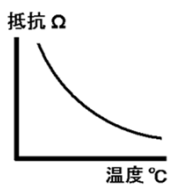
サーミスタ

半導体の温度特性を利用した温度センサ。
温度が上昇すると抵抗値が下がる。（上がる製品もある）
体温計、呼吸モニタ、電子部品（CPUなど）の温度センサ



回路記号





サーミスタ温度計

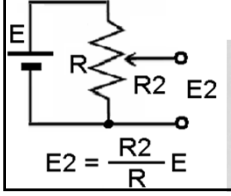
59

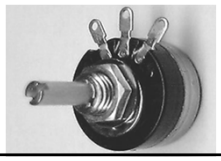
ポテンショメータ

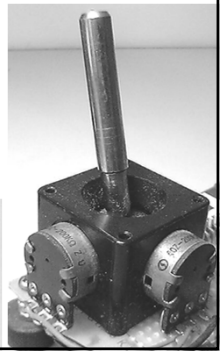
potentiometer【名】〔電気〕電位差計、分圧器.
potential【形】〔物〕位置の　meter【名】計量器

ジョイスティックなど、位置の情報を、可変抵抗器で読み取るセンサ。

位置情報を抵抗値や電圧で出力。







60

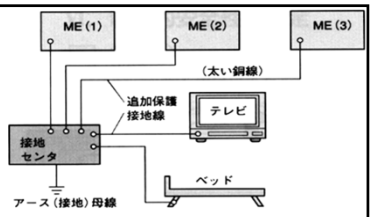
平成29年　国家試験　　解答　2

図に示す医用機器関連図記号の説明はどれか。

1. 高電圧
2. 等電位化
3. 保護接地
4. B形装着部
5. クラスⅡ機器

61

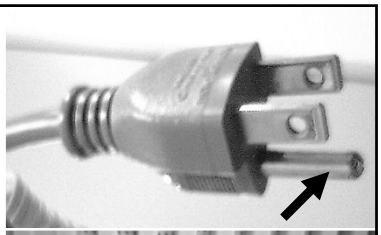
EPRシステム
（等電位化接地システム）
Equipotential Patient
Reference System
ミクロショック電撃事故を
防ぐシステム



患者が複数の医用機器、テレビ、ベッドなどの金属を触れる可能性のある環境では、それらの機器のアース電圧を同じにすると、電撃事故を防止できる。
同じ接地端子（センタ）に全ての機器やベッドのアースを繋ぐ。
アース線も同じ銅線を使う。（0.1Ω/m 以下の太い銅線）
機器間のアース電位差が10mV 以下になれば、体表抵抗は約1kΩなので、電撃は 10μA 以下に抑制できる。

62

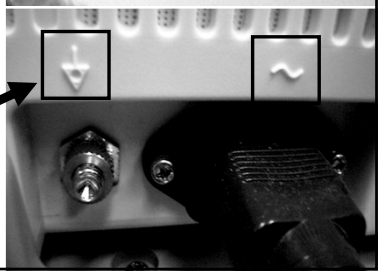
クラスⅠ ME機器の
3Pプラグ
（三線式電源プラグ）
保護接地線がある。



クラスⅠ ME機器の背面

等電位化接地の記号
（EPRシステム）

～ は、商用交流の記号



63

ME図記号

漏れ電流による
装着部の分類

B形機器

BF形機器

CF形機器

医用機器のクラス別分類

保護接地（大地）
クラスⅠ機器の
3Pコンセントによる接地

クラスⅡ機器　補強絶縁

等電位化　EPR（等電位化接地）
システムの接地端子

64