

電験三種講座  
機械 体験教材 ver.1.0

第 1 分冊

# 教科書編

CHAPTER

01

直流機

01 直流機の原理	8
02 直流発電機	20
03 直流電動機	39

CHAPTER

02

変圧器

01 変圧器の構造と理想変圧器	66
02 変圧器の等価回路	74
03 変圧器の定格と電圧変動率	85
04 変圧器の損失と効率	94
05 変圧器の並行運転	105
06 変圧器の三相結線	117
07 単巻変圧器	127

CHAPTER

03

誘導機

01 三相誘導電動機の原理	138
02 三相誘導電動機の構造と滑り	146
03 三相誘導電動機の等価回路	155
04 三相誘導電動機の特 性	167
05 三相誘導電動機の始動法	176
06 誘導電動機の逆転と速度制御	183
07 特殊かご形誘導電動機	189
08 単相誘導電動機	196

CHAPTER

04

同期機

01 三相同期発電機	210
02 三相同期電動機	242

CHAPTER

05

パワーエレクトロニクス

01 パワー半導体デバイス	262
02 整流回路と電力調整回路	272
03 直流チョッパ	289
04 インバータとその他の変換装置	295

CHAPTER

06

自動制御

01 自動制御	301
---------	-----

CHAPTER

07

情報

01 情報	339
-------	-----

CHAPTER

08

照明

01 照明	365
-------	-----

CHAPTER

09

電熱

01 電熱	388
-------	-----

CHAPTER

10

電動機応用

01 電動機応用	408
02 小形モータ	420

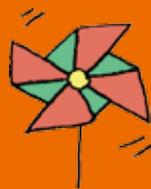
CHAPTER

11

# 電気化学

01 電気化学 ..... 427

索引 ..... 436



CHAPTER

01

直流機

## 直流機

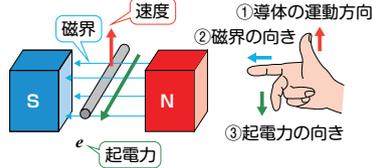
直流機は、回転機の基礎となる重要な分野です。試験では、計算問題が多く出題されます。そのため、色々な問題に触れることで解けるパターンを増やしていくことを意識しましょう。

### このCHAPTERで学習すること

#### SECTION 01 直流機の原理

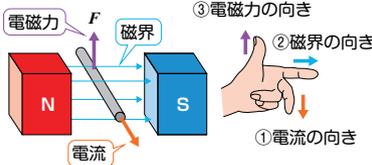
起電力	磁束密度	導体の長さ	速度
$e$	$B$	$\ell$	$v$
[V]	[T]	[m]	[m/s]

$$e = B \ell v$$



電磁力	磁束密度	電流	導体の長さ
$F$	$B$	$I$	$\ell$
[N]	[T]	[A]	[m]

$$F = B I \ell$$



直流機の原理と構造、それに関連するフレミングの右手の法則やフレミングの左手の法則について学びます。

#### SECTION 02 直流発電機

$$E = \frac{pZ}{60a} \phi N = K_1 \phi N$$

↑  
直流発電機をつくってしまうと、  
もう変化させられない値

(重ね巻は $a=p$ 、波巻は $a=2$ )

発電機の誘導起電力： $E$  [V]

磁極数： $p$

電機子の全導体本数（コイル辺の数）： $Z$

1極あたりの磁束： $\frac{p\phi}{2}$  [Wb]

回転速度： $N$  [ $\text{min}^{-1}$ ]

並列回路の数： $a$

定数： $K_1$

直流発電機のしくみと、誘導起電力について学びます。

## SECTION 03 直流電動機

$$T = \frac{pZ}{2\pi a} \phi I_a = K_2 \phi I_a$$

↑  
直流電動機をつくってしまうと、  
もう変化させられない値

$$P_o = \omega T = 2\pi \frac{N}{60} T = EI_a$$

電動機のトルク： $T$  [N·m]

磁極数： $p$

並列回路数： $a$

電機子の全導体本数（コイル辺の数）： $Z$

1極あたりの磁束： $\phi$  [Wb]

電機子電流： $I_a$  [A]

電動機の出力： $P_o$  [W]

角速度： $\omega$  [rad/s]

回転速度： $N$  [min<sup>-1</sup>]

誘導起電力： $E$  [V]

定数： $K_2$

(重ね巻は $a=p$ 、波巻きは $a=2$ )

直流電動機の回転する力であるトルクと出力を学びます。

## 傾向と対策

### 出題数

2～3問 / 22問中

・ 計算問題中心

	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1
直流機	3	3	2	3	3	2	3	3	2	2

### ポイント

直流機の計算問題は、種類別の等価回路をスムーズに作成できるかがカギとなります。そのため、それぞれの原理や特性をしっかりと理解し、多くの問題を解くことによって、等価回路の作成に慣れるようにしましょう。毎年決まった問題数の出題がある分野のため、計算の際に電流や誘導起電力の向きに注意し、確実に得点できるようにしましょう。

SECTION

01

# 直流機の原理

このSECTIONで学習すること

## 1 直流機の原理

直流機とはなにか、その原理について学びます。

## 2 発電機の原理(フレミングの右手の法則)

フレミングの右手の法則を使って、発電機の原理について学びます。

起電力	磁束密度	導体の長さ	速度
$e$	$B$	$\ell$	$v$
[V]	[T]	[m]	[m/s]

①導体の運動方向  
②磁界の向き  
③起電力の向き

## 3 電動機の原理(フレミングの左手の法則)

フレミングの左手の法則を使って、電動機の原理について学びます。

電磁力	磁束密度	電流	導体の長さ
$F$	$B$	$I$	$\ell$
[N]	[T]	[A]	[m]

①電流の向き  
②磁界の向き  
③電磁力の向き

## 4 直流機の構造

直流機の構造と、各部品の役割について学びます。

## 5 電機子巻線の巻き方

重ね巻と波巻について学びます。



# 1 直流機の原理

重要度 ★★★

## I 直流機とは

外からの力を受けて、直流の電気をつくる発電機を直流発電機ちよくりはつでんきといい、直流の電気で動くモーター（電動機）のことを直流電動機ちよくりゆうでんどうきといいます。直流発電機と直流電動機を総称して直流機ちよくりうきと呼びます。直流発電機と、直流電動機の構造は同じです。

### ひとこと



歴史的には、展示会で偶然、電気をつくるための発電機に電気を流すと、モーターが回りだし、電動機になることが発見されたといわれています。同じ機械が、使い方によって、発電機にも電動機にもなったということです。

## II 直流機の原理

直流発電機は、磁界中で外からの力（外力）でコイルを回転させて起電力を発生させます。一方、直流電動機は、磁界中でコイルに電流を流し、コイルを回転させます。

### 板書 直流発電機と直流電動機

直流発電機	回転させて→ <u>直流の起電力</u> を発生させる
直流電動機	直流の電流を流して→ <u>トルク（回転力）</u> を発生させる

↑  
構造は同じです



### ひとこと

理論の「電磁力」を理解していないと、さっぱりわからなくなるので、不安な人は理論の教科書で確認して下さい。

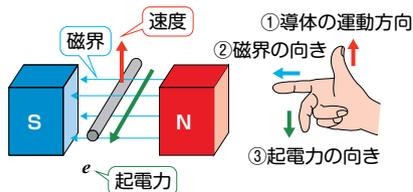
## 2 発電機の原理(フレミングの右手の法則) 理論 重要度★★★★

発電機の原理は、**フレミングの右手の法則**により導くことができます。

フレミングの右手の法則は、右手の親指、人差し指、中指をそれぞれ互いに直角にして、①親指を導体の運動方向、②人差し指を磁界の向きに合わせると、③中指は誘導起電力の向きを表すという法則です。起電力  $e$  [V] は次の公式で表されます。

### 公式 フレミングの右手の法則

起電力	磁束密度	導体の長さ	速度
$e$	$B$	$\ell$	$v$
[V]	[T]	[m]	[m/s]



### ひとこと

起電力の単位は [V] で、電圧のことです。電流ではありません。

### 3 電動機の原理(フレミングの左手の法則) 理論 重要度★★★

電動機の原理は、**フレミングの左手の法則**を応用して理解します。

フレミングの左手の法則は、左手の親指、人差し指、中指をそれぞれ互いに直角にして、①中指を電流の向き、②人差し指を磁界の向きに合わせると、③親指の向きが電磁力の向きを表すという法則です。電磁力 $F$ [N]は次の公式で表されます。

**公式** フレミングの左手の法則

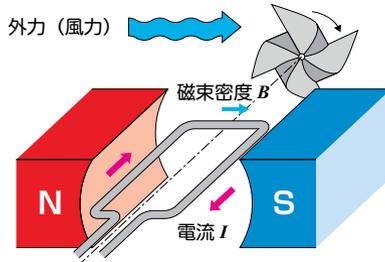
電磁力	磁束 密度	電流	導体の 長さ
$F$	$B$	$I$	$\ell$
[N]	[T]	[A]	[m]

問題集 問題01

## 4 直流機の構造

重要度 ★★★

図のように、磁石の間（磁界の中）に方形コイル（四角いコイル）をおきます。直流発電機として用いる場合は、コイルの軸を外力（この場合は風車）によって回転させると、フレミングの右手の法則により起電力が発生します。

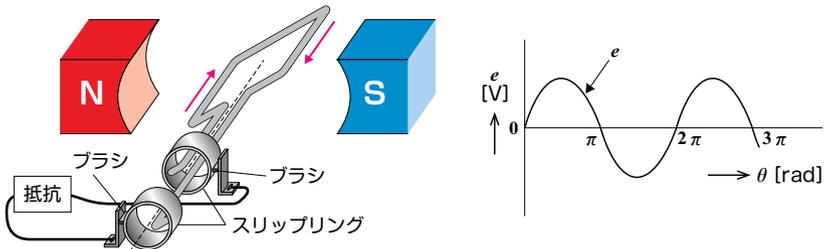


効率よく起電力を発生させるため、次のⅠ～Ⅵのような工夫をします。

### Ⅰ スリップリング、ブラシを付ける

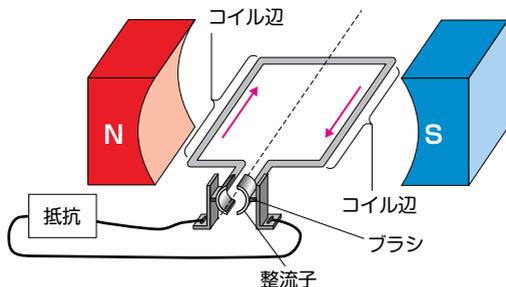
しかし、このまま回転させると導線がからまってしまいます。そこで、以下のように、スリップリングという金属のリングと、ブラシというスリップリングにこすれるように接触させる金属の部品を取りつけます。

コイルを回転させると次のグラフのような交流の起電力 $e$ [V]を得ることができます（理論）。



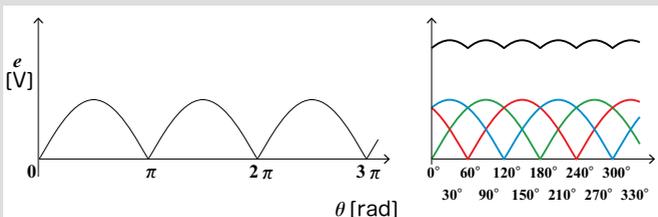
## II 整流子をつける

このままでは半周ごとに起電力の向きが変化する交流になってしまいます。そこで直流を得るために、スリップリングの代わりに整流子せいいりゅうしを取りつけます。整流子は電流の方向を周期的に切り替えることができる部品です。



### ひとこと

起電力は整流しても脈流（左側の山のような形のグラフ）になりますが、実際の直流機では、コイルは1本ではありません。たとえば、3本のコイルの場合、右側のグラフのようになります。



コイルが多数巻かれていると、それぞれのコイルで位相がずれた電圧が生じ、それらの電圧が重ね合わさって脈流はほとんどなくなります。

## III コイルをたくさん巻く(電機子巻線法)

効率よく起電力を発生させるために、コイルを1本ではなく、たくさん巻きます。たくさんのコイルを相互につなげる方法を電機子巻線法でんきしまきせんほうといい、これには重ね巻かさまきと波巻なみまきという方法があります。

## ひとこと



電機子巻線法については5で詳しく説明します。

## IV 磁束密度を大きくする(電機子鉄心)

磁束密度が大きいほど、起電力は大きくなります。そこで、磁束を通しやすい鉄を直流機を中心におきます。これを、**電機子鉄心**といいます。

## ひとこと



空気の透磁率は低い(磁束を通しにくい)ので、鉄を入れることによって磁束密度を強くします。

電機子鉄心には**スロット**という溝があり、そこにコイルを取納します。このコイルを**電機子巻線**(**電機子コイル**)といいます。

このようにすると、磁束のほとんどが電機子を通り、磁束密度を高めることができます。

## 板書 電機子の構造

空気より、鉄のほうがはるかに磁束を通すので、鉄心の回りにコイルを巻くと、磁界を強くできる



ひとこと

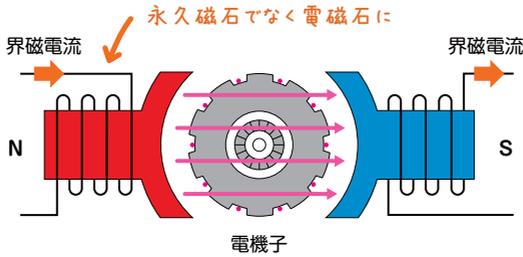


説明では電機子鉄心を鉄としましたが、交番磁界による渦電流損を小さくするために、ケイ素鋼板の積層鉄心（表面を絶縁し、薄い鋼板を積み重ねたもの）を用います。

V 電磁石を使用する

磁束の強さをコントロールするために、永久磁石ではなく、電磁石を使います。このように磁界をつくる装置のことを<sup>かいじ</sup>界磁といいます。

板書 界磁と電機子



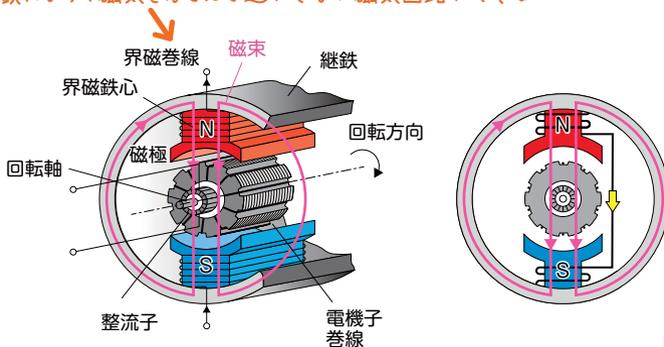
## VI 磁束の通り道をつくる

電磁石となる部分（かいじてっしん 界磁鉄心・かいじまきせん 界磁巻線）を固定し、磁束を漏らさないように外枠で磁束の通り道をつくります。

この外枠を形作る部分をはいてつ 継鉄つといます。

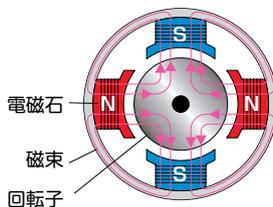
### 板書 界磁（継鉄と界磁鉄心・界磁巻線）の構造

継鉄によって磁気をほとんど逃がさない磁気回路ができる



### ひとこと

磁極の数は2極（2極セットで1対とも数える）である必要はありません。N極とS極をたくさんつけて、4極など多極になってもかまいません。



## 5 電機子巻線の巻き方

重要度 ★★★

電機子巻線法には重ね巻と波巻という巻き方があります。

### ひとこと

磁石をつくる界磁巻線の話ではありません。電機子巻線法はたくさんの電機子コイル（巻線）をどのようにつなぐかの方法です。コイル辺1本1本は起電力を生じます（電源のようなイメージ）。つまり起電力をどのようにつなぐかという話です。

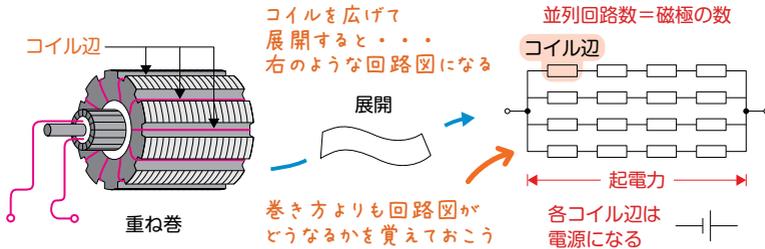


問題集 問題02

### I 重ね巻

<sup>かさ</sup><sup>まき</sup> <sup>へいれつまき</sup>  
**重ね巻**（並列巻）は、始めのコイルの巻き終りを、次のコイルの巻き始めと重ね（接続し）、整流子片につなげて、次々に接続していく巻き方です。

#### 板書 重ね巻



重ね巻の特徴は次のとおりです。

### 板書 重ね巻の特徴

① 並列回路数  $a$  と磁極数  $p$  は等しくなる

$$a = p$$

② 並列回路数とブラシの数は等しくなる

③ 低電圧に適する

↑ (回路図より) 電源となるコイル辺が並列に多く接続されるから

④ 大電流に適する

↑ 並列回路の電流が合流するから

### ひとこと

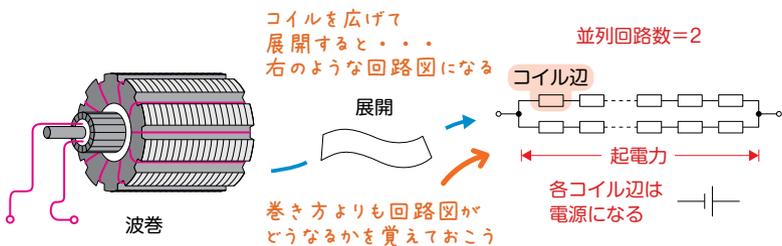


巻き方が実際にどうなっているかは、複雑な上に試験において重要ではないので、深く理解する必要はありません。重要なのは、重ね巻は、並列回路数  $a$  と磁極数  $p$  が等しいということです。

## II 波巻

なみまき なみまき おくれつまき  
**波巻** (直列巻) は、波形にコイルを収めていく方法です。

### 板書 波巻



波巻の特徴は次のとおりです。

**板書** 波巻の特徴 

① 並列回路数 $a$ はつねに2となる

$\hookrightarrow a=2$

② ブラシの数も並列回路数と同じく2となる

③ 高電圧に適する

$\hookrightarrow$  (回路図より) 電源となるコイル辺が直列に多く接続されるから

④ 小電流に適する

$\hookrightarrow$  並列回路数が2しかないから

以上より、重ね巻と波巻をまとめると次のようになります。

**公式** 重ね巻と波巻

	重ね巻	波巻
並列回路数 $a$	磁極数 $p$ と等しい	2
ブラシの数	磁極数 $p$ と等しい	2
特徴	低電圧・大電流に適する	高電圧・小電流に適する

**ひとこと**



この結論が重要なので、上の表を押さえてください。実際の試験問題で重ね巻という言葉のみたら「磁極数」を探しましょう。また、波巻という言葉のみたら「並列回路数 $a=2$ 」とメモしましょう。



第 2 分冊

# 問題集編

**問題02** 次の文章は、直流機の構造に関する記述である。

直流機の構造は、固定子と回転子とからなる。固定子は、、継鉄などによって、また、回転子は、、整流子などによって構成されている。

電機子鉄心は、磁束が通るため、が用いられている。また、電機子巻線を取めるための多数のスロットが設けられている。

六角形（亀甲形）の形状の電機子巻線は、そのコイル辺を電機子鉄心のスロットに挿入する。各コイル相互のつなぎ方には、と波巻とがある。直流機では、同じスロットにコイル辺を上下に重ねて2個ずつ入れた二層巻としている。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	界磁	電機子	交番	積層鉄心	重ね巻
(2)	界磁	電機子	一定	積層鉄心	直列巻
(3)	界磁	電機子	一定	鑄鉄	直列巻
(4)	電機子	界磁	交番	鑄鉄	重ね巻
(5)	電機子	界磁	一定	積層鉄心	直列巻

H24-A1

	①	②	③	④	⑤
学習日					
理解度 (○/△/×)					

## 解説

- (ア) 固定子は**界磁**，継鉄などによって構成される。
- (イ) 回転子は**電機子**，整流子などによって構成される。
- (ウ) 電機子鉄心は，磁束の大きさと向きが周期的に変化する**交番**磁束を通し，ヒステリシス損や渦電流損からなる鉄損が生じる。
- (エ) 鉄損を少なくするため，ケイ素鋼板を積み重ねた**積層鉄心**が用いられる。
- (オ) 電機子巻線法には**重ね巻**と波巻の2種類がある。
- よって，(1)が正解。

解答… (1)

## ポイント

交番磁束とは，向きが交互に交わる磁束のことです。

**問題104** シーケンス制御に関する記述として、誤っているものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 前もって定められた工程や手順の各段階を、スイッチ、リレー、タイマなどで構成する制御はシーケンス制御である。
- (2) 荷物の上げ下げをする装置において、扉の開閉から希望階への移動を行う制御では、シーケンス制御が用いられる。
- (3) 測定した電気炉内の温度と設定温度とを比較し、ヒータの発熱量を電力制御回路で調節して、電気炉内の温度を一定に保つ制御はシーケンス制御である。
- (4) 水位の上限を検出するレベルスイッチと下限を検出するレベルスイッチを取り付けた水のタンクがある。水位の上限から下限に至る容積の水を次段のプラントに自動的に送り出す装置はシーケンス制御で実現できる。
- (5) プログラマブルコントローラでは、スイッチ、リレー、タイマなどをソフトウェアで書くことで、変更が容易なシーケンス制御を実現できる。

H26-A13

	①	②	③	④	⑤
学習日					
理解度 (○/△/×)					

- (1) シーケンス制御とは順序制御であり、記述は正しい。
- (2) 扉の開閉や希望階の選択は決められた順序で決められたボタンなどを操作して行う。これも順序制御であるため、シーケンス制御が用いられ、記述は正しい。
- (3) 比較して一定に保つということは、フィードバック制御である。記述は誤り。
- (4) 順序制御であるため記述は正しい。
- (5) プログラマブルコントローラに対するこの記述は正しい。  
よって、(3)が誤り。

解答… (3)

**ポイント**

荷物の上げ下げをする装置という考えにくいかもしれませんが、身近なものでいうとエレベーターがあります。身近なものに置き換えて考えるとわかりやすくなります。

**問題136** 次の文章は、電子レンジ及び電磁波加熱に関する記述である。

一般に市販されている電子レンジには、主に〔ア〕の電磁波が使われている。この電磁波が電子レンジの加熱室に入れた被加熱物に照射されると、被加熱物は主に電磁波の交番電界によって被加熱物自体に生じる〔イ〕によって被加熱物自体が発熱し、加熱される。被加熱物が効率よく発熱するためには、被加熱物は水などの〔ウ〕分子を含む必要がある。また、一般に、〔イ〕は電磁波の周波数に〔エ〕、被加熱物への電磁波の浸透深さは電磁波の周波数が高いほど〔オ〕。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	数GHz	誘電損	有極性	無関係で	小さい
(2)	数GHz	誘電損	有極性	比例し	小さい
(3)	数MHz	ジュール損	無極性	無関係で	大きい
(4)	数MHz	誘電損	無極性	比例し	大きい
(5)	数GHz	ジュール損	有極性	比例し	大きい

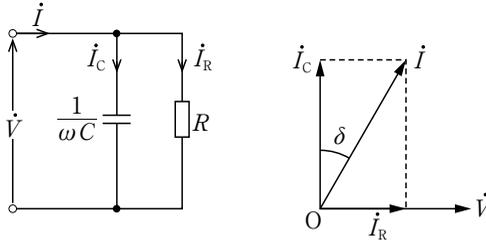
H26-A11

	①	②	③	④	⑤
学習日					
理解度 (○/△/×)					

## 解説

一般に市販されている電子レンジには主に(ア)数GHz (2.4 GHz) の電磁波が使われている。この電磁波が電子レンジの加熱室に入れた被加熱物に照射されると、被加熱物は主に電磁波の交番電界によって被加熱物自体に生じる(イ)誘電損によって被加熱物自体が発熱し、加熱される。被加熱物が効率よく発熱するためには、被加熱物は水などの(ウ)有極性分子を含む必要がある。

誘電加熱の等価回路とベクトル図を描くと、



ベクトル図より、誘電損  $W_d$  は、

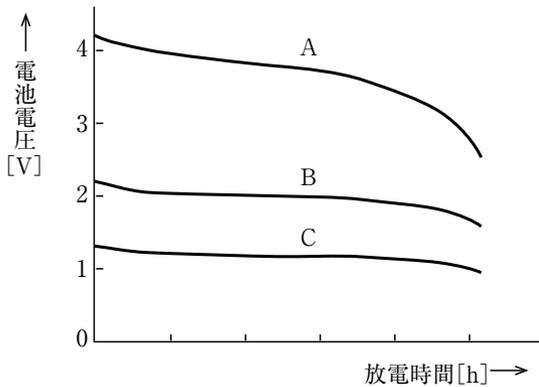
$$\begin{aligned} W_d &= VI_R = VI_C \tan \delta \\ &= \omega CV^2 \tan \delta \quad (\text{等価回路より } I_C = \omega CV) \\ &= 2\pi fCV^2 \tan \delta \end{aligned}$$

一般に、(イ)誘電損は電磁波の周波数に(エ)比例し、被加熱物への電磁波の浸透深さは電磁波の周波数が高いほど(オ)小さい。

よって、(2)が正解。

解答… (2)

**問題147** 3種類の二次電池をそれぞれの容量[A・h]に応じた一定の電流で放電したとき、放電特性は図のA、B及びCのようになった。A、B及びCに相当する電池の種類として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。  
ただし、電池電圧は単セル（単電池）の電圧である。



	A	B	C
(1)	リチウムイオン 二次電池	鉛蓄電池	ニッケル・ 水素蓄電池*
(2)	リチウムイオン 二次電池	ニッケル・ 水素蓄電池*	鉛蓄電池
(3)	鉛蓄電池	リチウムイオン 二次電池	ニッケル・ 水素蓄電池*
(4)	鉛蓄電池	ニッケル・ 水素蓄電池*	リチウムイオン 二次電池
(5)	ニッケル・ 水素蓄電池*	鉛蓄電池	リチウムイオン 二次電池

(注) ※の「ニッケル・水素蓄電池」は、「ニッケル-金属水素化物電池」と呼ぶこともある。

解説

図を見ると，Aは約4V，Bは約2V，Cは約1.2Vと読み取ることができる。選択肢のなかから，この電圧の値に公称電圧に近いものを選ぶと，Aはリチウムイオン二次電池，Bは鉛蓄電池，Cはニッケル・水素蓄電池となる。

よって，(1)が正解。

解答… (1)

	①	②	③	④	⑤
学習日					
理解度 (○/△/×)					