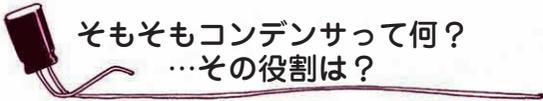


# 第1部 コンデンサ編

## 第1章 充電や放電をイラストによる流水モデルで理解する

### お話「コンデンサ」入門

黒田 徹  
Tooru Kuroda



そもそもコンデンサって何？  
…その役割は？

#### ■ はじめの一歩…役割と構造

##### ● 名称の由来

コンデンサは電荷を一時的に蓄える素子の総称で、その歴史は18世紀にさかのぼります。1745年プロシヤのクライスト・チャーチが、翌年オランダのライデン大学教授のミュッセンブルークがそれぞれ独立に発見した装置(図1)がコンデンサの始まりです。

この装置は最初の実用的なコンデンサであるライデンびん(Leyden jar)に発展しました。雷が電気現象であることを証明した1752年のフランクリンの凧揚げ実験にライデンびんが使われたのは先刻ご承知のとおりでしょう。

当時の人々は電気を凝縮(condense)できる流体と考へ、電気をためる装置をコンデンサ(condenser)と

呼びました。この名称は現在も通用しますが、欧米では1930年頃からキャパシタ(capacitor)、つまり電気をためる容量(capacity)をもつ素子、という呼び方になりました。

##### ● コンデンサの役割

コンデンサには次の用途があります。

- 電源回路での電圧の保持
- 雑音や不要信号を除去するフィルタ
- 直流電圧のカット

##### ● コンデンサの構造

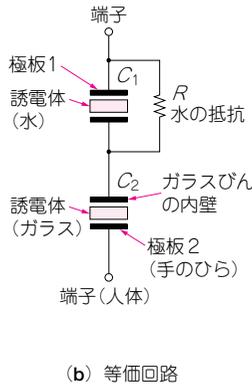
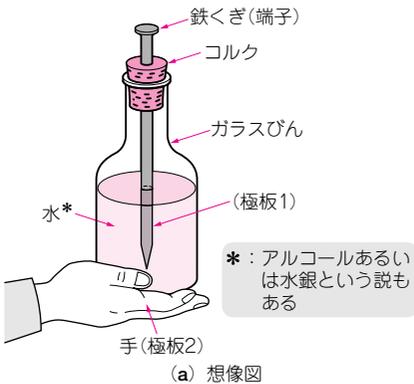
図2にコンデンサの基本構造を示します。図3(a)のように電池をつなぐと、極板Aと極板Bの対向表面に正と負の電荷がたまります。蓄積電荷の大きさQは極板間電圧Vに比例し、次式で表せます。

$$Q = CV \dots\dots\dots(1)$$

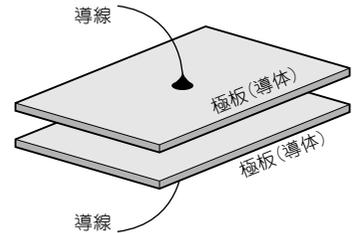
ただし、C：静電容量 [F]

Qの単位はクーロンです。例えば1Fのコンデンサに1.5Vの電圧を加えると、高電位側極板に+1.5クー

〈図1〉最初のコンデンサ(原始的なライデン瓶)



〈図2〉コンデンサの基本構造



#### Keywords

ライデンびん, Leyden jar, condense, condenser, capacitor, capacity, RC回路, 合成容量, 充電の実験, 放電の実験, SIMatrix, コンデンサのインピーダンス, 複素電圧ベクトル, 複素電流ベクトル, ローパス・フィルタの周波数特性, 変位電流.

## コンデンサの極板間に電流は流れるか？

充電や放電にともない、導線に過渡的な電流が流れることは理解できたと思います。しかし、次の疑問を抱く人もいるでしょう。

### ● 疑問

コンデンサの極板間は図2のように絶縁されているのに、なぜ電流が流れるのか？

### ● 答

極板間に導体がないので、コンデンサの内部に普通の電流は流れません。普通の電流とは電荷の移動による電流、つまり「伝導電流」(conduction current)を指します。

しかし、導線を通して極板に電荷の出入りがあるときは、極板の周囲に磁界を生じます。磁界分布は

コンデンサの内部に電流が流れると想像したときの磁界分布とまったく同じです。

マクスウェルは、コンデンサの内部にも仮想的な電流が流れると考え、それを「変位電流」(displacement current)と名づけました。

変位電流の値は、コンデンサにつながる導線の伝導電流の値と常に同じです。したがって、**伝導電流と変位電流を区別する必要はなく、コンデンサにつながる導線に電流が流れるときはコンデンサ内部にも電流が流れると考えてよい**のです。伝導電流と変位電流を合わせて電流と考えれば、コンデンサがあると、電流は連続でありキルヒホッフの法則が成り立ちます。

ロンの電荷がたまり、低電位側極板に $-1.5$ クーロンの電荷がたまります。

実際に皆さんが使っているコンデンサは、極板の短絡を防ぎ、静電容量を増やすため、**極板間に誘電体と呼ぶ絶縁物質を挿入**します。静電容量は、極板面積と極板間距離、誘電率というパラメータで決まります。

### ● 電荷を水に置き換える

電荷の実体は18世紀の人々が考えたような流体ではありませんが、電荷を流体とみなすとコンデンサの動作を理解しやすくなります。例えば電荷を水にたとえると [図3(b)], コンデンサはビーカーに相当し、表1の対応が成り立ちます。

## ■ コンデンサの並列接続と直列接続で合成容量はどうなるのか

コンデンサは規格品なので、半端な容量値のコンデンサは入手できません。しかし数個のコンデンサを組み合わせて所望の容量を実現できます。組み合わせ方は並列接続と直列接続があります。

### ● 並列接続の合成容量

$C_1$ と $C_2$ の並列接続は、底面積が $C_1$ と $C_2$ のビーカーを図4(b)のように連結することに相当し、並列合成容量は次式で表せます。

$$C = C_1 + C_2 \dots\dots\dots (2)$$

例えば $1 \mu\text{F}$ と $4.7 \mu\text{F}$ のコンデンサを並列に接続すると、容量は $5.7 \mu\text{F}$ になります。

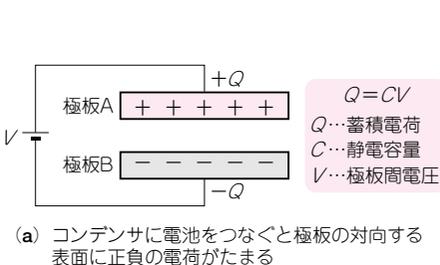
### ● 直列接続の合成容量

$C_1$ と $C_2$ を図4(c)のように接続し電圧を加えると、極板1Aに $+Q$ の電荷、極板1Bに $-Q$ の電荷が現れます。極板1Bと極板2Aは一つの導体を形成し、もともとの蓄積電荷はゼロなので、極板1Bの負電荷は極板2Aから移動したと考えられます。

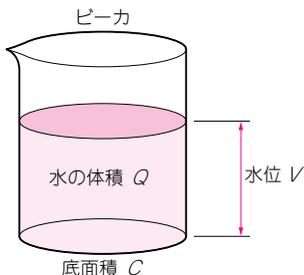
もともと中性の極板2Aは $-Q$ の電荷を失う結果、極板2Aに $+Q$ の電荷が現れます。極板2Aの対向極板2Bには静電誘導によって $-Q$ の電荷が現れます。

言い換えると、 $C_1$ と $C_2$ に同じ大きさの電荷 $Q$ が蓄積されます。3個以上のコンデンサを直列接続した場合も各コンデンサの蓄積電荷 $Q$ は同じ大きさです。

〈図3〉 コンデンサの極板に電荷が溜まる



(a) コンデンサに電池をつなぐと極板の対向する表面に正負の電荷がたまる



(b) 電荷を水にと考えると

〈表1〉 図3(a)と図3(b)の対応

コンデンサ	流水モデル
蓄積電荷 $Q$	ビーカーの水の体積
静電容量 $C$	ビーカーの底面積
極板間電圧 $V$	ビーカーの水位