

5.5 固体の絶縁破壊

まず, 種々の固体絶縁材料について絶縁破壊電界の実例を体積抵抗率や比誘電率と共に表 5.1 と表 5.2 に示す. 固体の絶縁破壊の条件を導く理論として, 結晶中を移動する電子のエネルギー収支に注目した真性破壊を前提とした理論や, 電子なだれのエネルギーに着目し電子なだれ破壊を前提とした理論などの「電子破壊理論」と, 電気伝導に基づくジュール熱に着目した「熱破壊理論」が提案されている. しかしながら, これらの理論は結晶構造が単純な場合に対してのみ破壊電圧を予測できるととどまっており, 表 5.1 と表 5.2 の値を予測するに至っていない.

固体の絶縁破壊電圧は, 種々の要因で大きく変化することが知られている. そ

(絶縁破壊強度測定時の試料厚さは mm オーダ)

表 5.1 マイカ, ガラス, 磁器, ゴムの電気物性

材料	体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$]	比誘電率	絶縁破壊強度 [kV/mm]
白マイカ	$10^{14} \sim 10^{17}$	6~9	25~70
ソーダ石灰ガラス	$10^{11} \sim 10^{13}$	6.5~7.6	5~20
パイレックスガラス	$10^{12} \sim 10^{14}$	4~6.5	20~35
ケイ酸アルミナ磁器	$10^{12} \sim 10^{13}$	5~7	10
アルミナ磁器	$10^{15} \sim 10^{16}$	8~11	10~16
ブチルゴム	$10^{14} \sim 10^{16}$	3~4.5	20~30
シリコーンゴム	$10^{14} \sim 10^{15}$	3~5	15~20

表 5.2 合成樹脂の電気物性

材料	体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$]	比誘電率	絶縁破壊強度 [kV/mm]
低密度ポリエチレン	$> 10^{16}$	2.25~2.35	17~40
ポリプロピレン	$> 10^{16}$	2.2~2.6	20~26
硬質塩化ビニル	$> 10^{16}$	3.0~4.0	14~20
ポリスチレン	$> 10^{16}$	2.4~3.1	20~28
ポリメチルメタクリレート (アクリル樹脂)	$> 10^{14}$	3.0~4.0	15~22
ポリカーボネート	2×10^{16}	2.9~3.2	15
ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)	$> 10^{18}$	< 2.1	19
エポキシ (ガラス繊維充填)	10^{15}	5.5	14
エポキシ (充填材なし)	$10^{15} \sim 10^{17}$	3.5~5.0	16~20

(絶縁破壊強度測定時の試料厚さは 3.2mm)

温度の影響

のフィルム

固体の破壊電圧に対する温度の影響は、結晶および非晶質(高分子材料)に対してそれぞれ図5.10に示すような特徴を持って現れる。

結晶の場合、室温より低温側では、温度上昇に伴い結晶格子の熱振動が活発になり、走行する電子との衝突が増加して電子のエネルギー損失も大きくなるため破壊電圧が上昇する。室温より高温側では、温度上昇に伴い不純物準位に

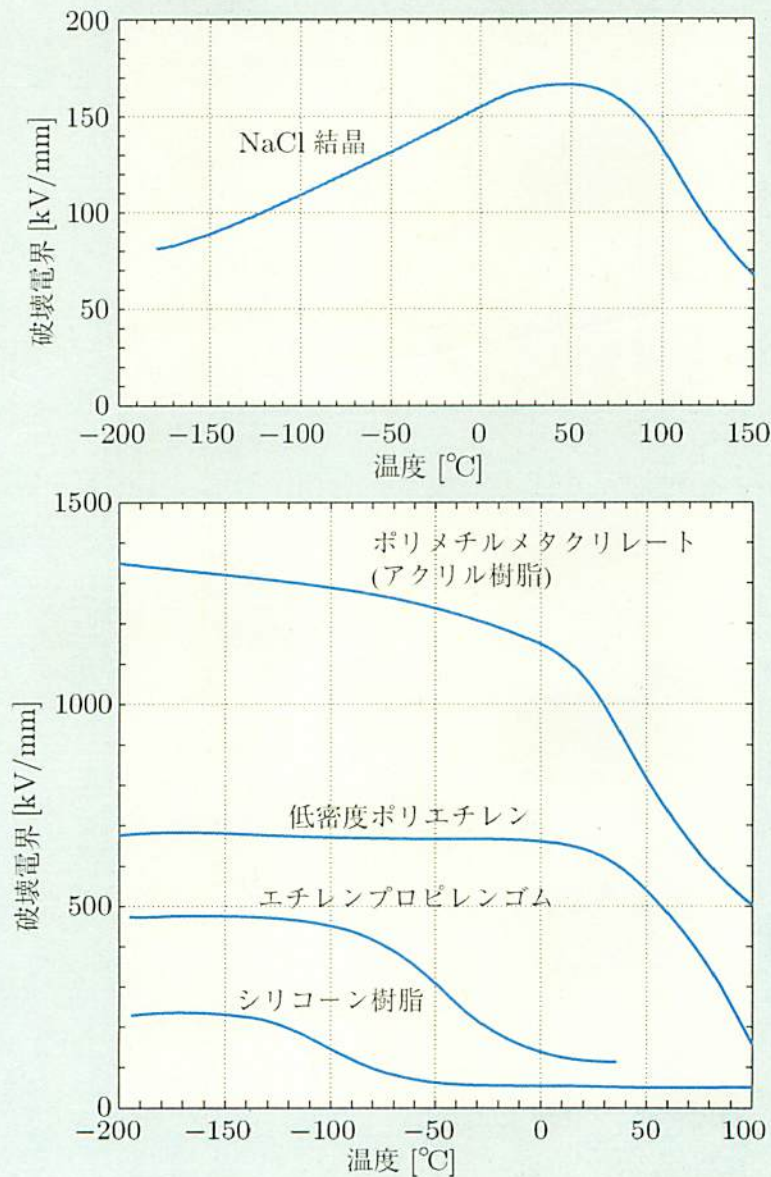


図 5.10 破壊電圧への温度の影響

{ (NaCl 結晶の厚さ: 0.1~0.2 mm, 高分子フィルムの厚さ: 0.01~0.04 mm) }

6.4 ボイド放電

固体絶縁物中の空隙 (ボイド) は固体中に存在する気体部分であり, 6.1 節で述べたように固体の電界より高い電界が加わる. また, 気体の絶縁強度が固体に比べてかなり低いこともこれまでの説明で頭の中に入っているはずである.

したがってボイドを含む固体絶縁物では, まずボイド内で放電が発生することになる. これを**ボイド放電**と呼んでいる.

ボイド放電はボイド内の電界が一定値以上となり, ボイド放電の発生 → 空間電荷の発生 → 電界の緩和と空間電荷の中和 → ボイド放電の停止 → 電圧 (電界) の上昇 → ボイド放電の再発生, というように続く.

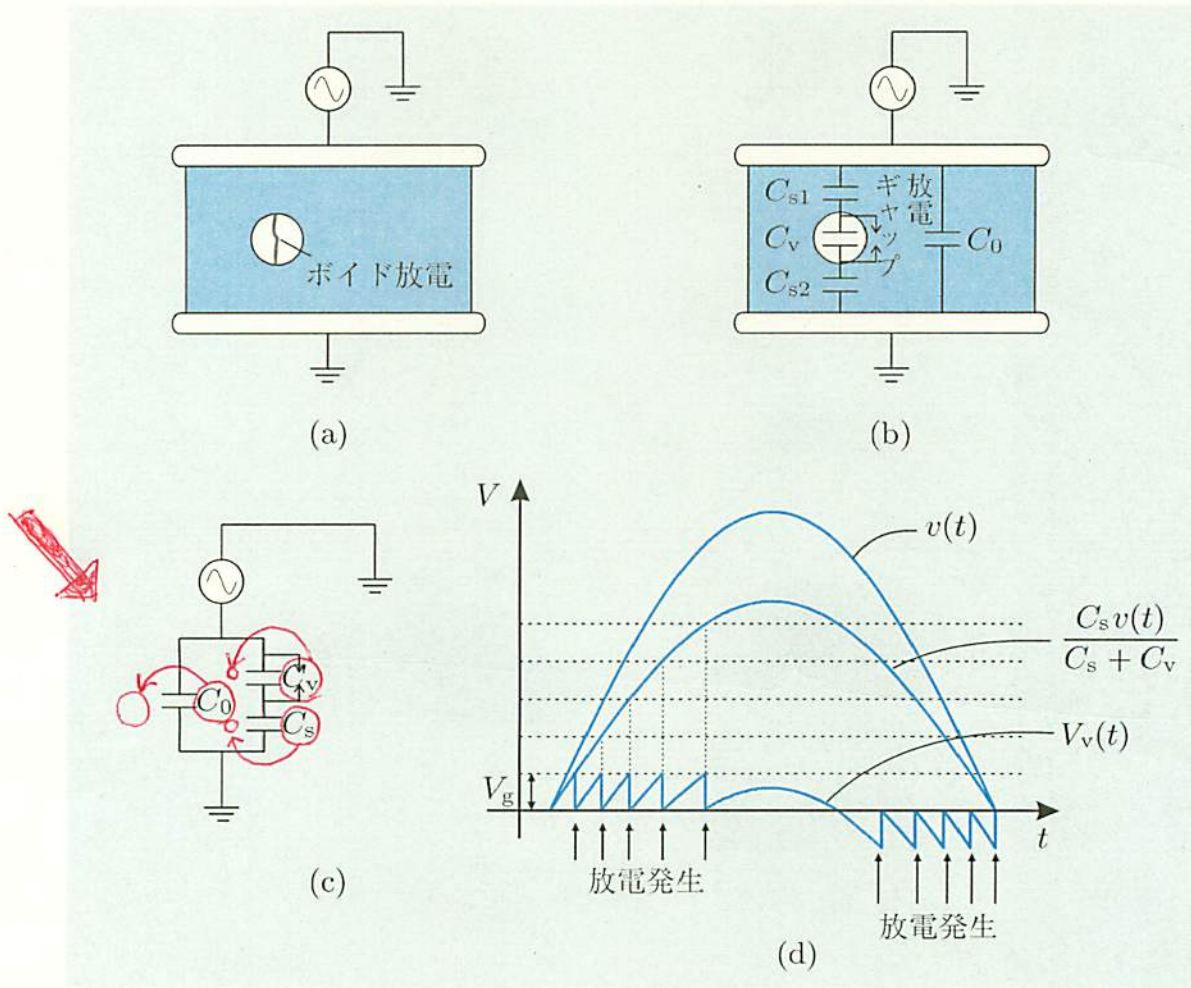


図 6.9 ボイド放電のモデル, 等価回路

られる。

$$L = aV^5 \quad (6.6)$$

大気圧空气中を進展する電界垂直型の沿面放電の場合，わずかな電圧上昇に対して，進展長が急増することがわかる．別の言い方をすれば，沿面放電の進

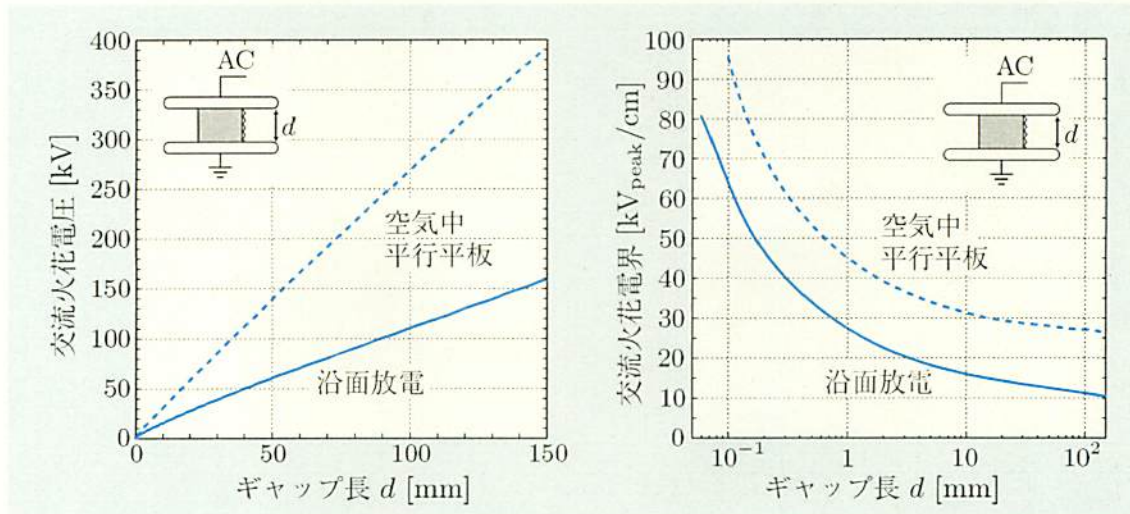


図 6.3 沿面フラッシュオーバー電圧と電界 (電界平行型). 沿面フラッシュオーバー電圧 (左図), 沿面フラッシュオーバー電界 (右図)

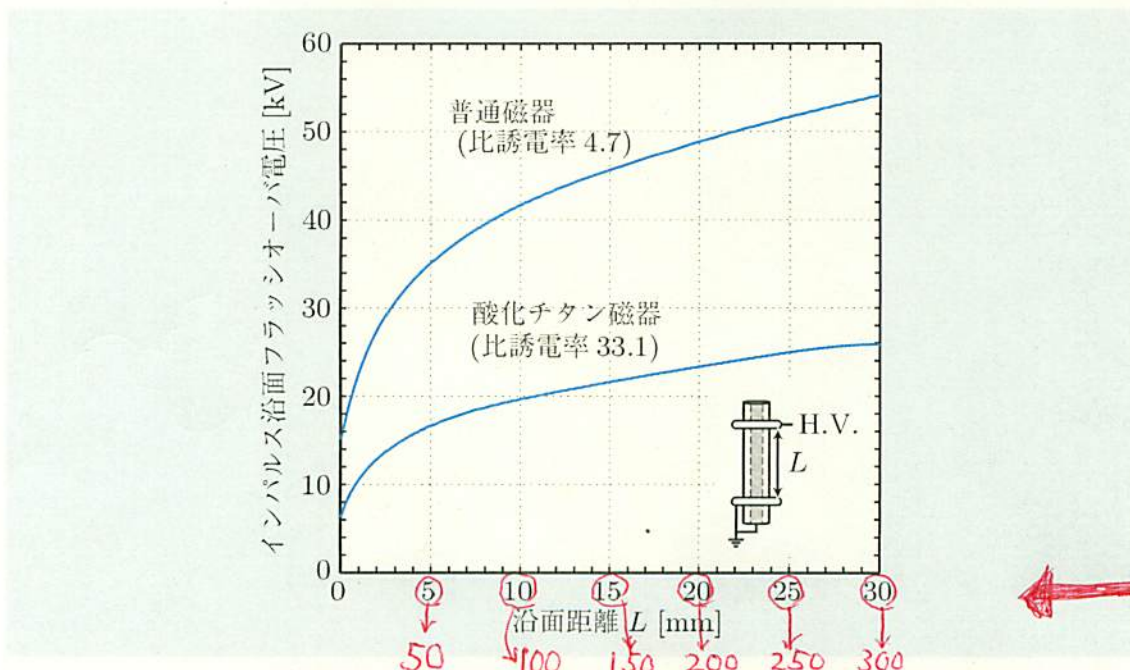


図 6.4 沿面フラッシュオーバー電圧 (電界垂直型)

- (2) 図 10.22 を参考にして，鳳-テブナンの定理に基づいた避雷器を含む等価回路に置換し，その回路から避雷器に流れる電流を求めることができる．まず点 B から見た合成のサージインピーダンスは， $z_B = \frac{200 \times 300}{200 + 300} = 120[\Omega]$ となる．次に等価回路の電源電圧は，設問 (1) で求めた $e_2(t)$ となる．避雷器の特性を電圧 $e_a = 0.6 \text{ MV}$ で与え，得られた等価回路から避雷器に流れる電流 $i(t)$ を図式的に求めると次式のようになる．

$$i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0.5\mu\text{s} \\ \frac{e_2(t)-600}{120} = 10t - 10[\text{kA}] & t \geq 0.5\mu\text{s} \end{cases}$$

また，得られた電流を図示すると図 10.24 になる．

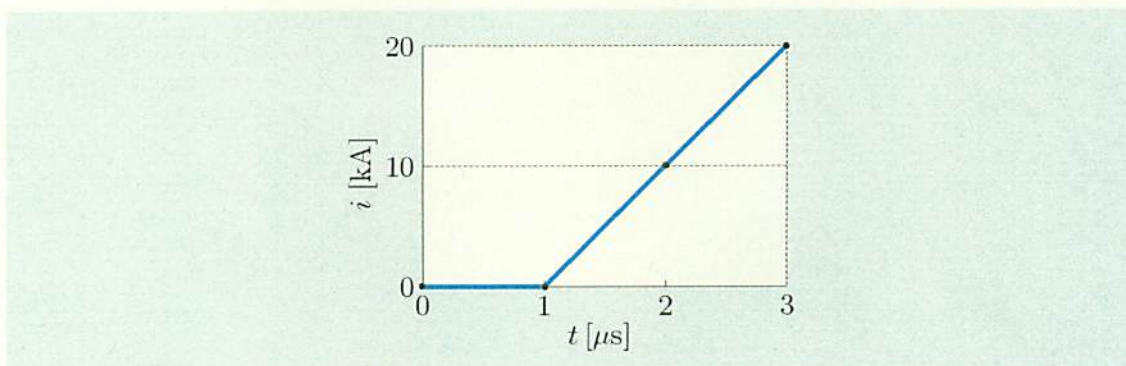


図 10.24

10.6.4 過渡回路解析の数値計算法

ここで学んできたサージ現象が取り扱える過渡回路解析の数値計算プログラムとしては，EMTP (electro-magnetic transients program) が標準的なプログラムとして世界的にもよく知られている．使用に際してライセンス料が不要なプログラムも提供されており，興味のある方は入門書となる参考文献^[7]を読まれるとよい．