

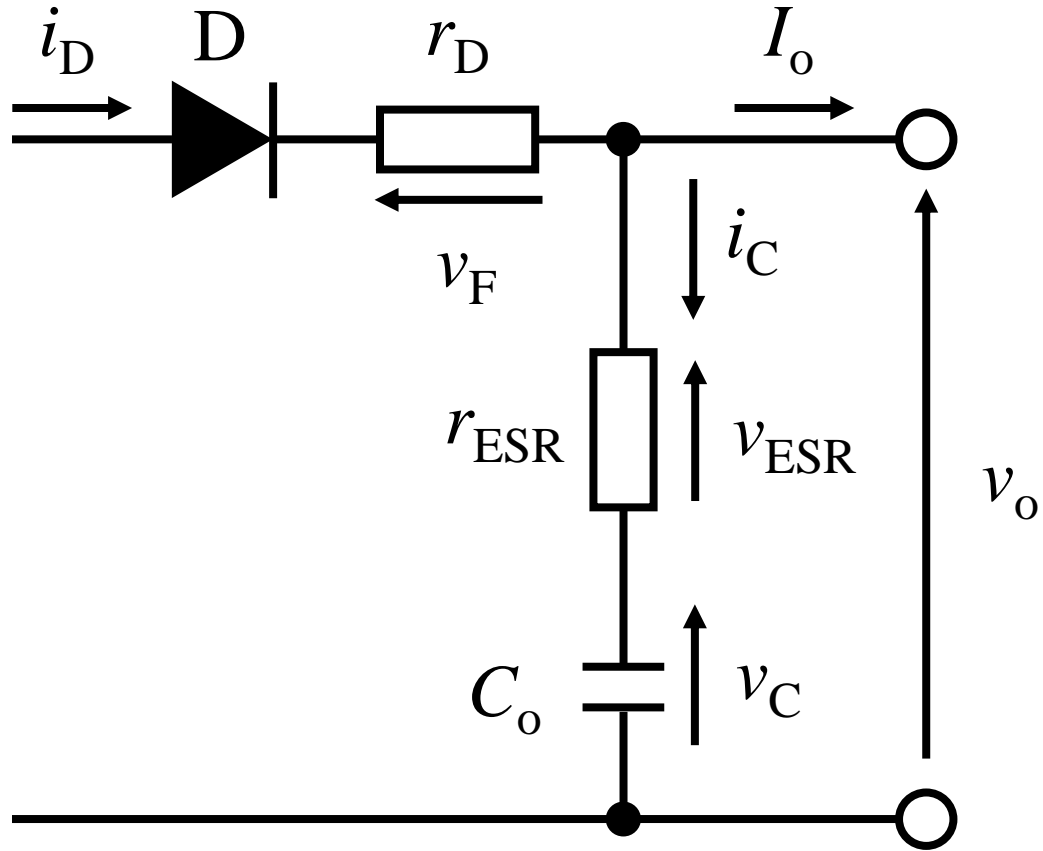
# **27. スイッチング電源の設計 (3)**

## **27. Design of the Switch-Mode Power Supply (SMPS) ( 3 )**

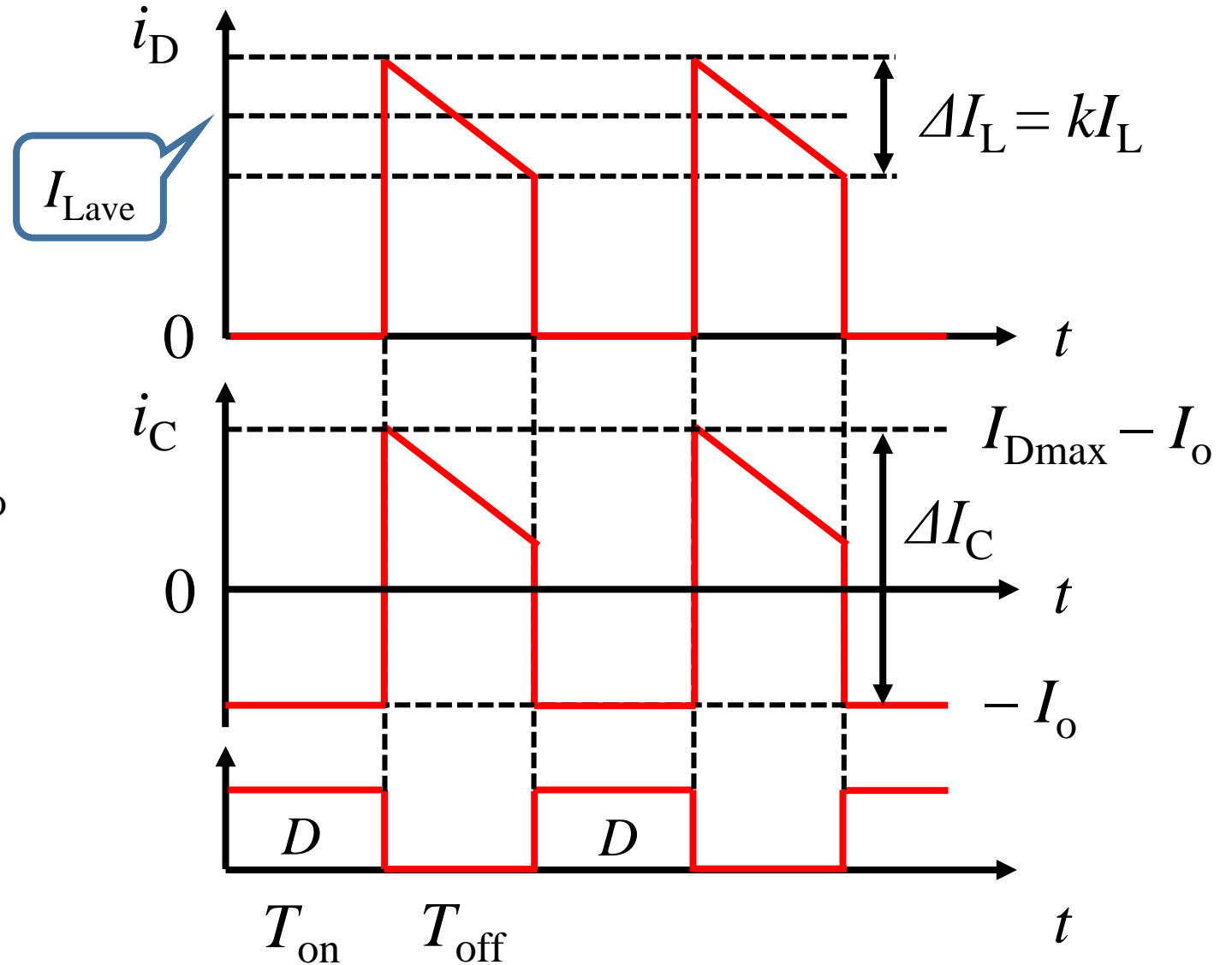
### **講義内容**

- 1. キャパシタに流れる電流**
- 2. キャパシタの選定及び設計**
- 3. キャパシタの持つ周波数依存性**

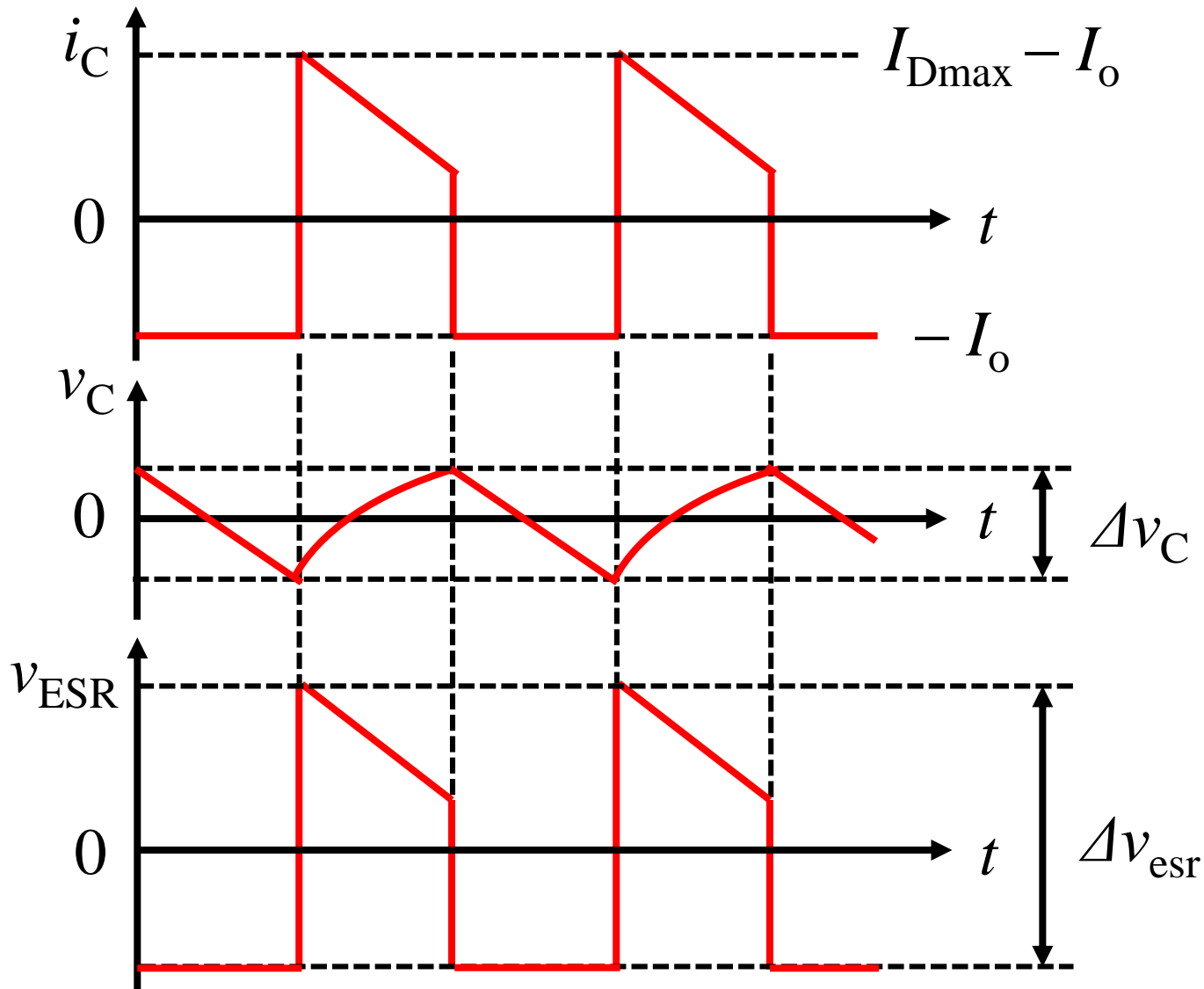
# 出力キャパシタに流れる電流（昇圧型）



$k$  : インダクタ電流リップル率



# 出力リップル電圧の解析（昇圧型）



キャパシタのESR( $r_C$ )の効果を無視すると,  $C_o$ のリプル電圧 $\Delta v_C$ は

$$I_o = C_o \frac{dv_C(t)}{dt} \approx C_o \frac{\Delta v_C}{DT_s}$$

$$\therefore \Delta v_C = \frac{I_o}{C_o} DT_s$$

ESR( $r_C$ )の効果が無視できない場合のリプル電圧 $\Delta v_{ESR}$ は

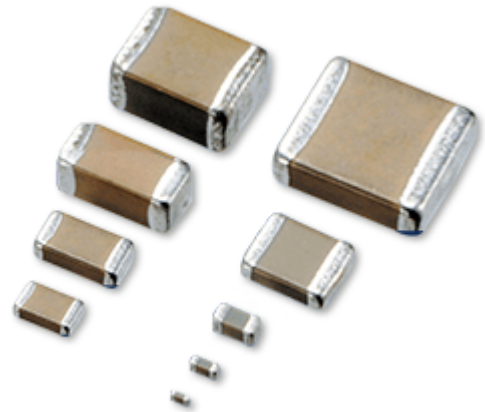
$$\Delta v_{ESR} = r_C \cdot \Delta I_C = r_C \cdot I_{Lave} \left( 1 + \frac{k}{2} \right)$$

# 電源に使用するコンデンサの一般的な仕様

種類	誘電体材質	記号・略号	容量範囲	面実装外形	特徴・用途
セラミック・コンデンサ	温度補償用	種類 1	0.1pF~0.1μF	◎	低温度係数
	高誘電率系	種類 2	100pF~100μF	◎	中容量一般用
	半導体	種類 3		◎	大容量
フィルム・コンデンサ	ポリエチレン テレフタレート	PET	470pF~10μF	×	一般用
	ポリエチレン ナフタレート	PEN			
	ポリエチレン サルファイド	PPS	470pF~0.47μF	△	高耐熱用
	ポリプロピレン	PP	220pF~4.7μF	×	精密用
電解 コンデンサ	アルミ非固体	円筒形	0.1μF~0.68F	○	大容量一般用
	アルミ固体	角形	2.2μF~560μF	◎	低インピーダンス
	タンタル固体	角形	1μF~680μF	◎	大容量・小型

# 出力キャパシタの選定

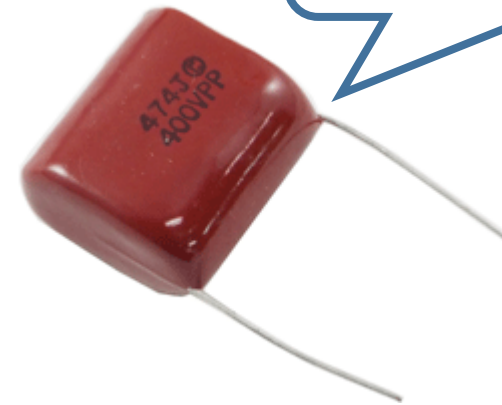
- **低圧** 電源に使用するコンデンサ：  
**セラミック**（チップ）**コンデンサ**（MLCC）と **アルミ電解** コンデンサがほとんど
- **AC-DC** コンバータのような高電圧を扱う電源回路：  
高圧 **フィルム** コンデンサも使用される



セラミックコンデンサ  
（小容量・低ESR）



アルミ電解コンデンサ  
（大容量・高ESR）

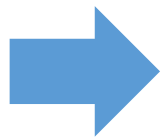


フィルムコンデンサ  
（高耐圧・高 **許容リップル電流**）

**プリウス** に採用！  
※この形ではないが・・・

# 出力キャパシタの設計

1. 設計する電源の **スペック** を把握する ( $V_i$ ,  $V_o$ ,  $P_o$  ( $I_o$ ),  $f_s$  等)
2. 電源の **スペック** に応じて使用するコンデンサの **種類** を選定する
3. 電源の出力リップル電圧の許容値を計算する  
(一般的に $\Delta v_o$ は $V_o$ の **±1%** 以内)
4. コンデンサのスペックを把握する
  1. 静電容量  $C$ [F]
  2. 許容リップル電流  $\Delta I_{Callow}$
  3. 等価直列抵抗  $r_{ESR}$  [ $\Omega$ ]

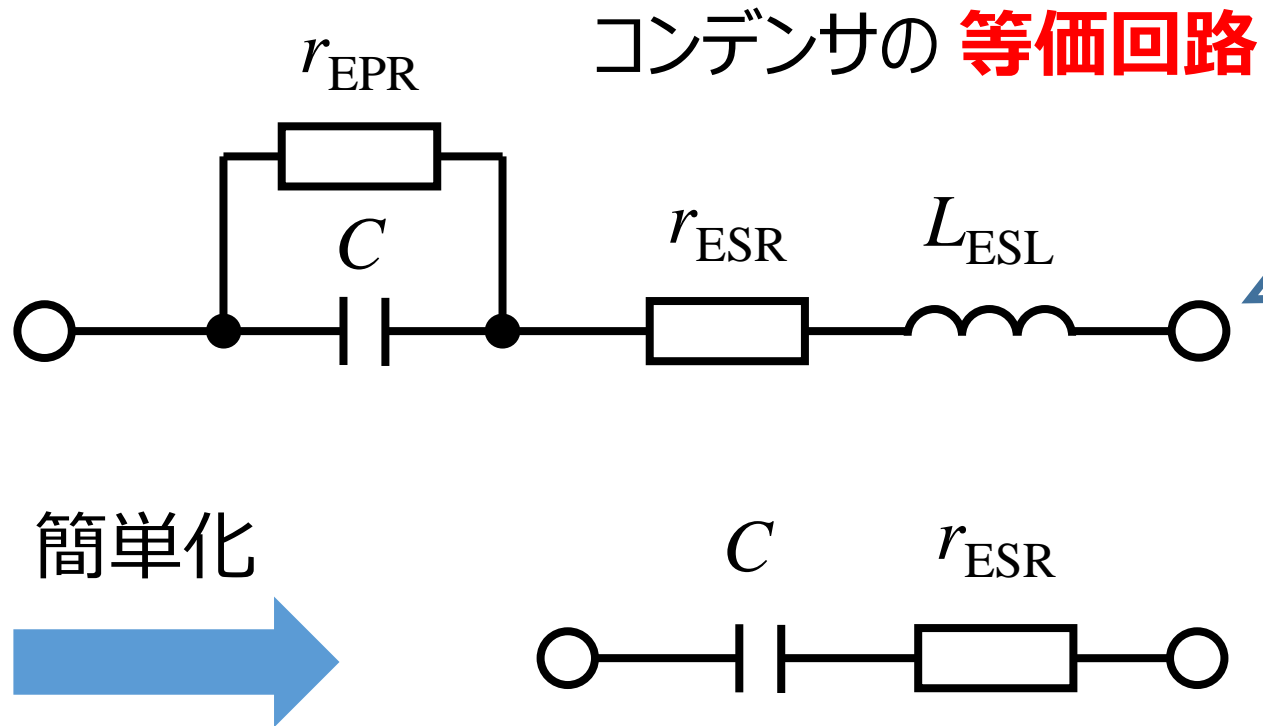


◆標準品一覧表

WV (Vdc)	Cap ( $\mu$ F)	ケースサイズ $\phi D \times L$ (mm)	$\tan \delta$	定格リップル電流 (mA <sub>rms</sub> /105°C,120Hz)	品番
6.3	220	5 × 11	0.34	140	EKMG6R3E□□221ME11D
	330	6.3 × 11	0.34	190	EKMG6R3E□□331MF11D
	470	6.3 × 11	0.34	230	EKMG6R3E□□471MF11D
	1,000	8 × 11.5	0.34	380	EKMG6R3E□□102MHB5D
	2,200	10 × 20	0.36	710	EKMG6R3E□□222MJ20S
	3,300	10 × 20	0.38	840	EKMG6R3E□□332MJ20S
	4,700	12.5 × 20	0.40	1,090	EKMG6R3E□□472MK20S
	6,800	12.5 × 25	0.44	1,350	EKMG6R3E□□682MK25S
	10,000	16 × 25	0.52	1,650	EKMG6R3E□□103ML25S
	15,000	16 × 35.5	0.62	2,010	EKMG6R3E□□153MLP1S
22,000	18 × 40	0.76	2,350	EKMG6R3E□□223MM40S	

# 誘電正接 $\tan\delta$ からの等価直列抵抗ESRの導出

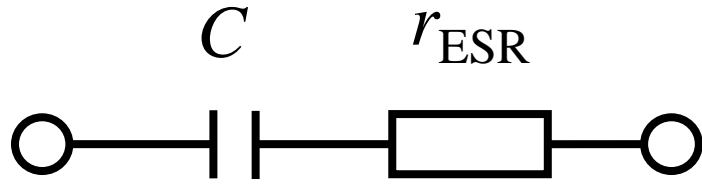
**誘電正接** (損失角の正接)  $\tan\delta$  : 誘電体内の電気エネルギーの損失の度合い  
(DF : Dissipation Factor , Loss Tangent)



## 電解コンデンサの等価回路

- $C$  : 静電容量
- $r_{EPR}$  : 陽極酸化被膜の等価並列抵抗
- $r_{ESR}$  : 等価直列抵抗
- $L_{ESL}$  : 等価直列インダクタンス

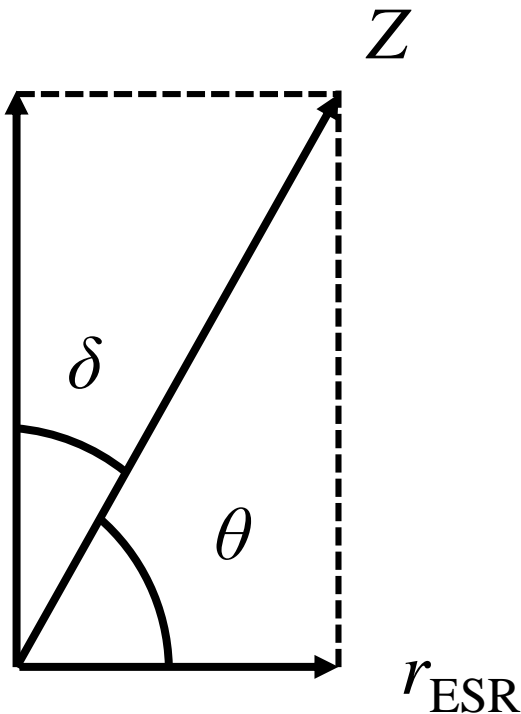
# 誘電正接 $\tan\delta$ からの等価直列抵抗ESRの導出



$$Z = R + jX$$

インピーダンスから  $r_{\text{esr}}$  を導出してもよい

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$



$$\tan \delta = \frac{R}{X_c} = \frac{r_{\text{ESR}}}{\frac{1}{\omega C}} = \omega C r_{\text{ESR}} = 2\pi f \cdot C r_{\text{ESR}}$$

この中に値を代入

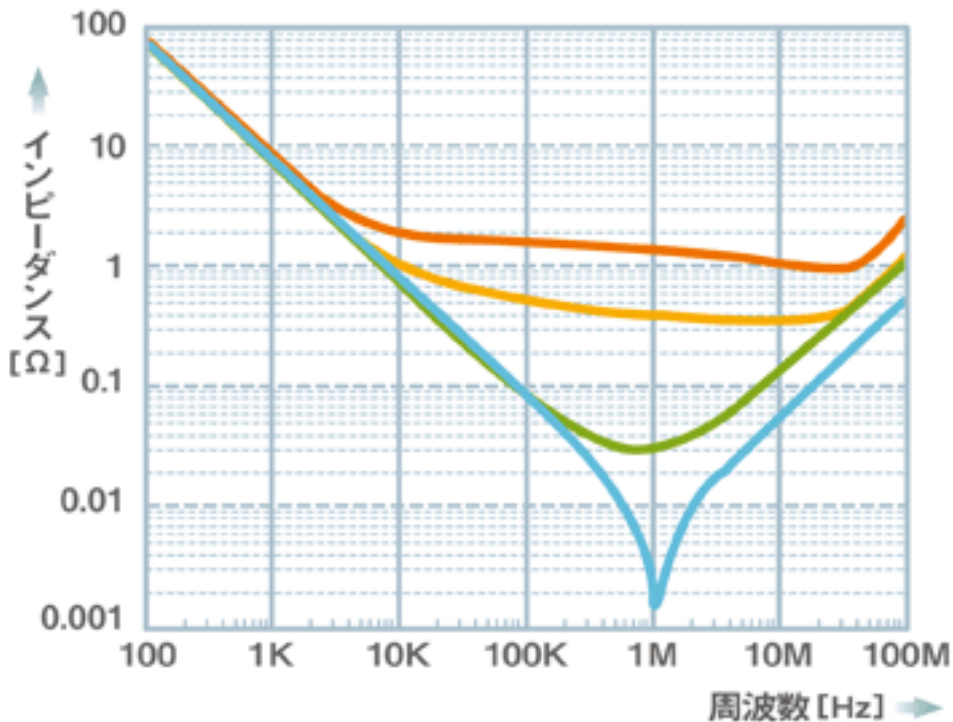
$$\therefore r_{\text{ESR}} = \frac{\tan \delta}{2\pi f \cdot C}$$

コンデンサのリプル電圧  $\Delta v_{\text{ESR}}$  を計算し、**設計値** 以上になったら **再選定** 又は **並列** 配置

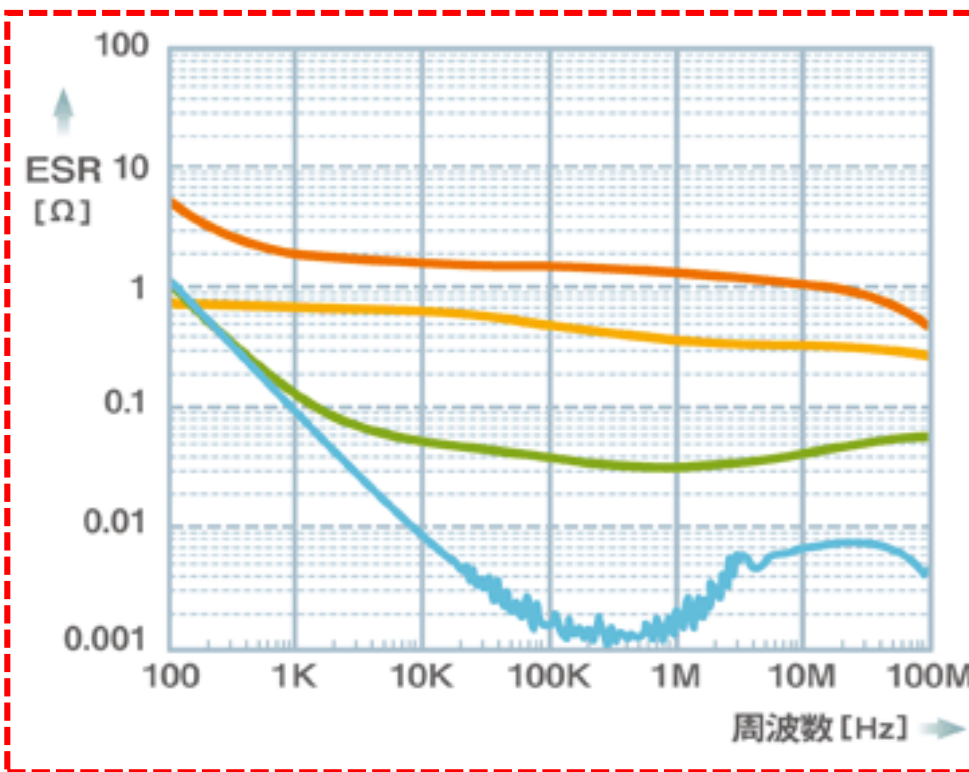


# ESRの周波数依存性

インピーダンス - 周波数特性



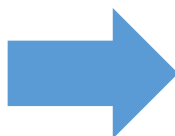
ESR - 周波数特性



-  アルミ電解コンデンサ
-  タンタル電解コンデンサ
-  機能性高分子アルミ電解コンデンサ
-  MLCC

[https://product.tdk.com/info/ja/products/capacitor/ceramic/mlcc/technote/solution/mlcc03/index.html#qnote\\_06](https://product.tdk.com/info/ja/products/capacitor/ceramic/mlcc/technote/solution/mlcc03/index.html#qnote_06)

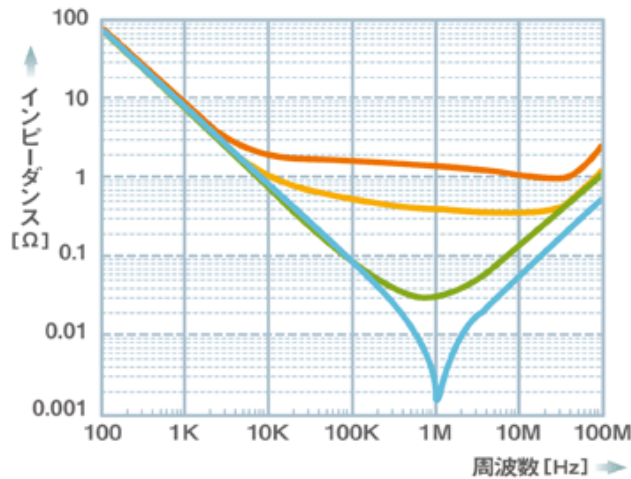
コンデンサのESRは **動作周波数** に  
応じて値が **変化** する



$r_{\text{esr}} (\tan \delta)$  は **周波数依存性** を持つ

# 各周波数領域における各種特性

インピーダンス-周波数特性



## インピーダンス $|Z|$

### 低周波領域

理想コンデンサ  $C$  と同様に周波数に反比例して減少

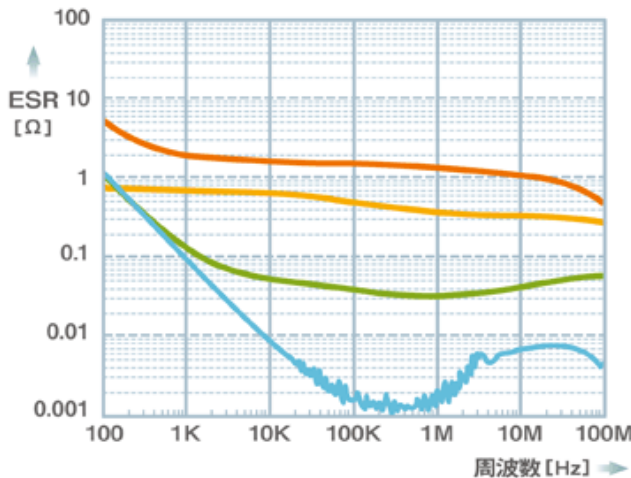
### 共振点近傍

特性が  $C$  から  $L$  に変化 (MLCCなどは顕著)

### 高周波領域

特性は寄生インダクタ  $L$  が支配的

ESR - 周波数特性



## 等価直列抵抗 $r_{\text{esr}}$

### 低周波領域

誘電体の分極の遅延による **誘電損失** に相当

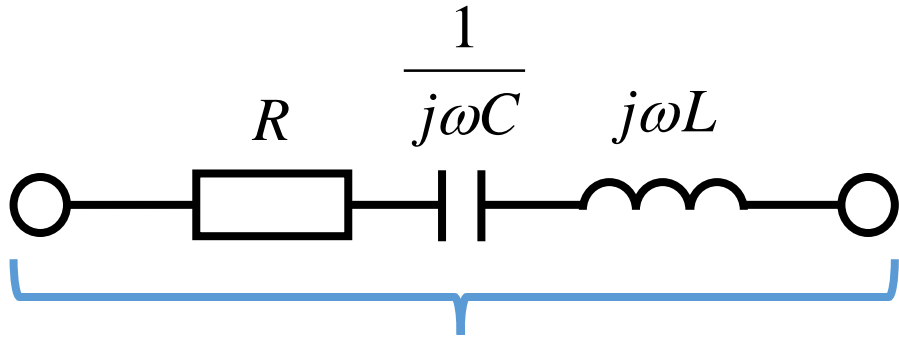
### 共振点近傍

誘電損失に加え, 電極に起因する損失分が影響

### 高周波領域

電極の **表皮効果** や **近接効果** の影響が現れる

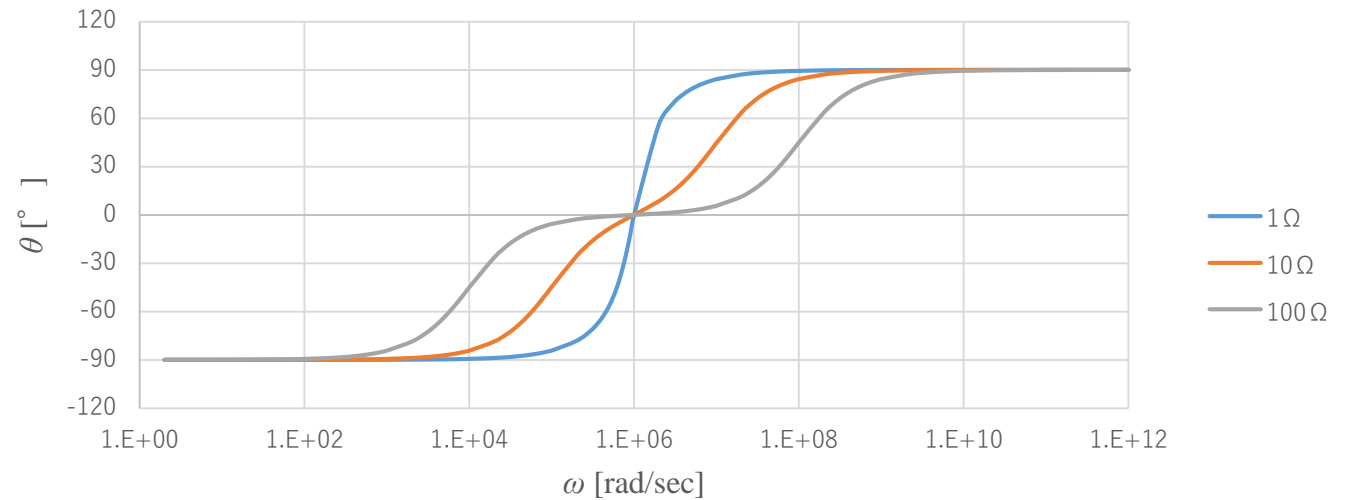
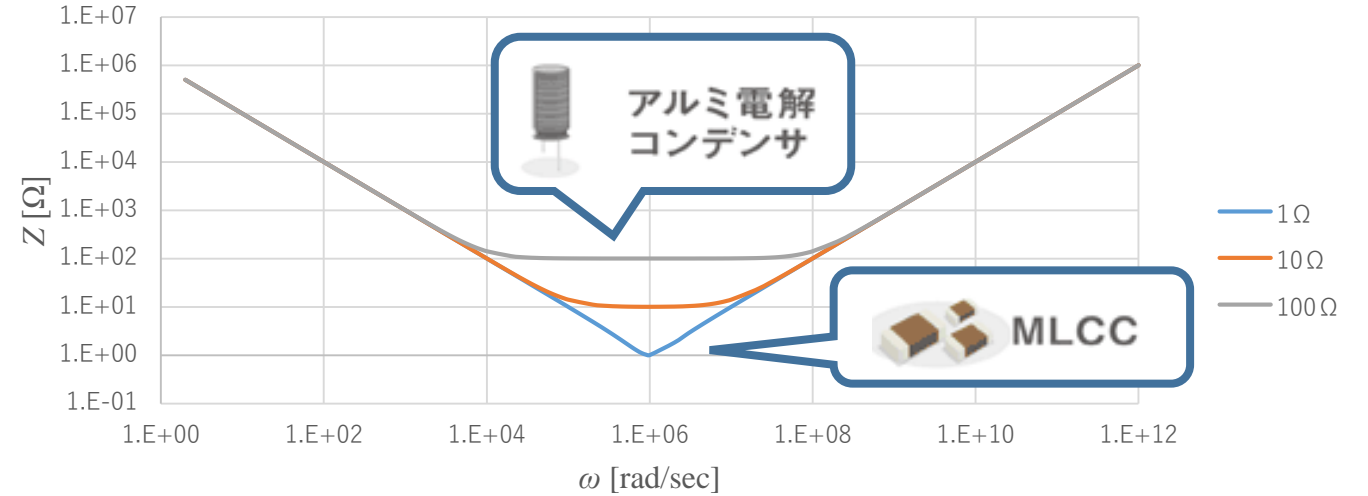
# LCR等価回路のインピーダンス



$$Z = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

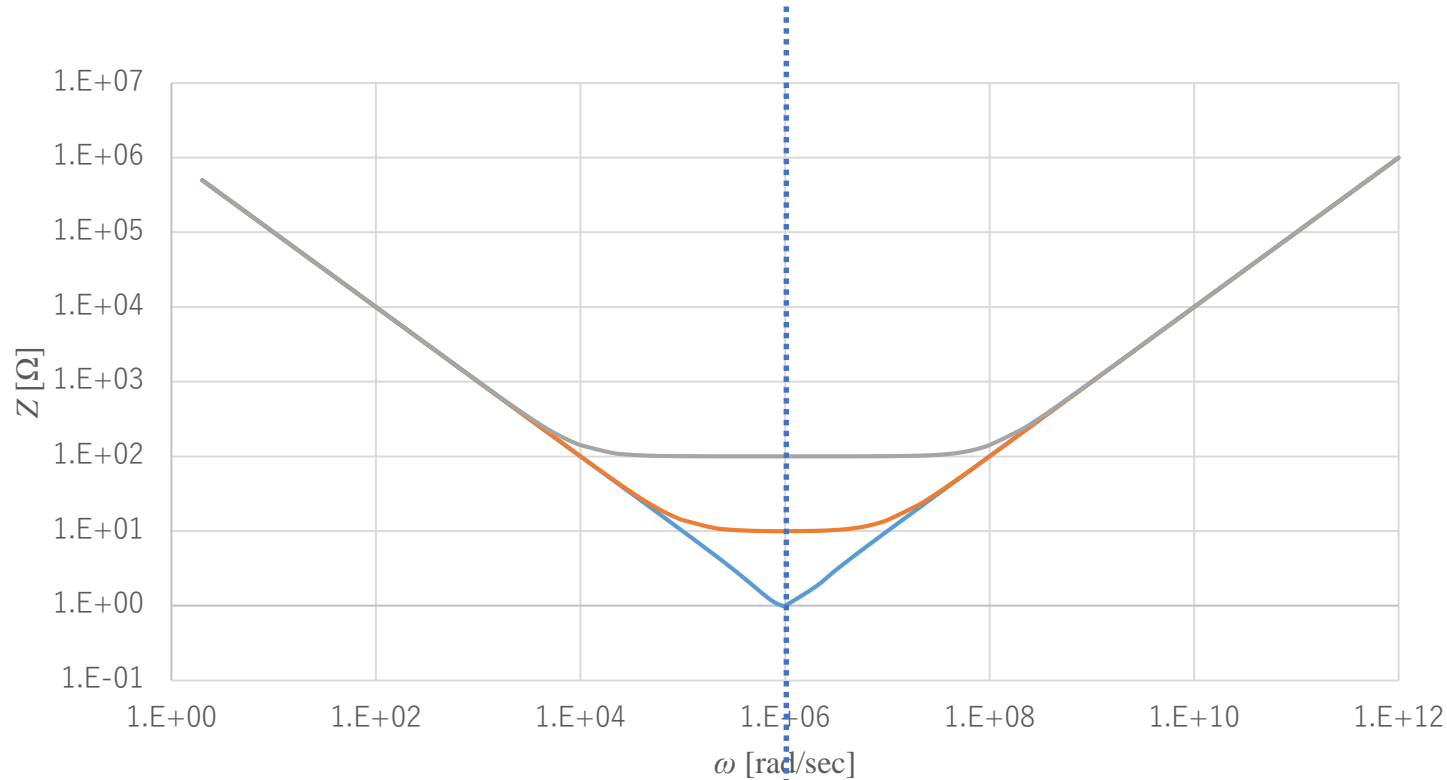
➔

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$
$$\phi = \tan^{-1} \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R}$$



$R : 1[\Omega], 10[\Omega], 100[\Omega], L : 1[\mu\text{H}], C : 1[\mu\text{F}]$

# LCR等価回路の周波数特性：インピーダンス



$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**低周波** 領域では  $\frac{1}{\omega C}$  が支配的

**高周波** 領域では  $\omega L$  が支配的

**共振周波数** を境に入れ替わる

**容量性**  
(**C**性)

**共振周波数**  $\omega_n$

**誘導性**  
(**L**性)