

# 一陸特無線工学 重要公式集

## 基礎理論

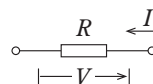
### ■ オームの法則

$$I = \frac{V}{R}$$

$I$  : 電流 [A]

$V$  : 電圧 [V]

$R$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

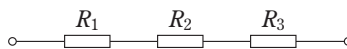


### ■ 抵抗の直列接続

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

$R_S$  : 合成抵抗 [ $\Omega$ ]

$R_1, R_2, R_3$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

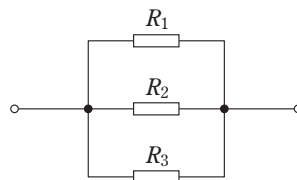


### ■ 抵抗の並列接続

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$R_P$  : 合成抵抗 [ $\Omega$ ]

$R_1, R_2, R_3$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

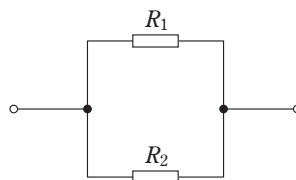


### ■ 2個の抵抗の並列接続

$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$R_P$  : 合成抵抗 [ $\Omega$ ]

$R_1, R_2$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

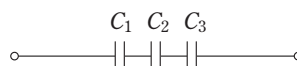


### ■ コンデンサの直列接続

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$C_S$  : 合成静電容量 [F]

$C_1, C_2, C_3$  : 静電容量 [F]



## ■ 2個のコンデンサの直列接続

$$C_S = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$C_S$ : 合成静電容量 [F]

$C_1, C_2$ : 静電容量 [F]

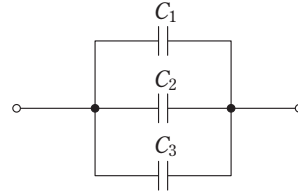


## ■ コンデンサの並列接続

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3$$

$C_P$ : 合成静電容量 [F]

$C_1, C_2, C_3$ : 静電容量 [F]



## ■ キルヒホッフの法則

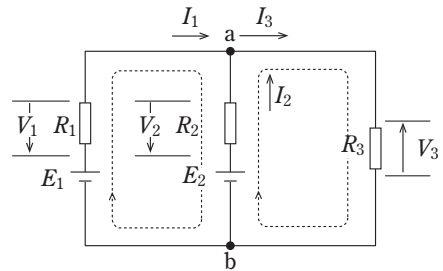
第1法則 (流入する電流の和と流出する電流の和は等しい)

$$I_1 + I_2 = I_3$$

第2法則 (電圧降下の和は起電力の和に等しい)

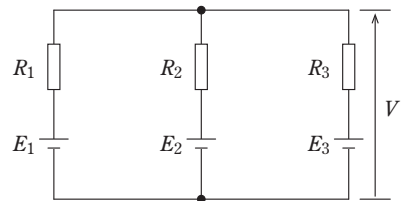
$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2$$

$$V_2 + V_3 = R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$



## ■ ミルマンの定理

$$V = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \text{ [V]}$$



電圧源  $E_1, E_2, E_3$  [V] と抵抗  $R_1, R_2, R_3$  [ $\Omega$ ] の直列回路が並列に接続された回路の端子電圧  $V$  [V]

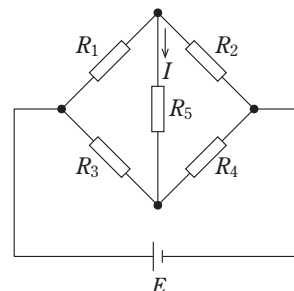
## ■ ブリッジ回路

回路が平衡して電流  $I=0$  となる条件

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

または

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$



---

■ 電力  $P$  [W]

$$P = IV$$

$$= I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

$V$  : 電圧 [V]

$I$  : 電流 [A]

$R$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

---

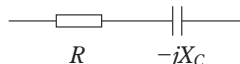
■ 抵抗  $R$  とコイルのリアクタンス  $X_L$  の直列回路の合成インピーダンス  $\dot{Z}$  [ $\Omega$ ]

$$\dot{Z} = R + jX_L \quad \text{その大きさ} \quad |\dot{Z}| = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



■ 抵抗  $R$  とコンデンサのリアクタンス  $X_C$  の直列回路の合成インピーダンス  $\dot{Z}$  [ $\Omega$ ]

$$\dot{Z} = R - jX_C \quad \text{その大きさ} \quad |\dot{Z}| = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



$\dot{Z}$  : 直列回路の合成インピーダンス [ $\Omega$ ]

$R$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

$X_L$  : コイルのリアクタンス ( $X_L = \omega L = 2\pi fL$ ) [ $\Omega$ ]

$X_C$  : コンデンサのリアクタンス ( $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$ ) [ $\Omega$ ]

---

■ 抵抗  $R$  とコイルのリアクタンス  $X_L$  の並列回路の合成電流  $I$  [A]

$$I^2 = I_R^2 + I_L^2$$

■ 抵抗  $R$  とコンデンサのリアクタンス  $X_C$  の並列回路の合成電流  $I$  [A]

$$I^2 = I_R^2 + I_C^2$$

$I_R$  : 抵抗  $R$  に流れる交流電流 [A]

$I_L$  : コイル  $L$  に流れる交流電流 [A]

$I_C$  : コンデンサ  $C$  に流れる交流電流 [A]

---

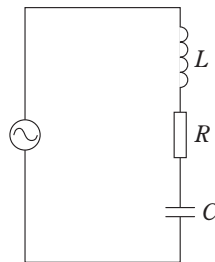
■ 抵抗  $R$ , コイル  $L$ , コンデンサ  $C$  の直列共振回路の共振周波数  $f_0$  [Hz]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$f_0$  : 共振周波数 [Hz]

$L$  : コイルのインダクタンス [H]

$C$  : コンデンサの静電容量 [F]



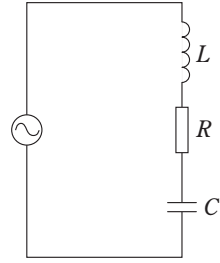
## ■ 直列共振回路の Q

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad Q = \frac{1}{\omega_0 CR}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$\omega_0 = 2\pi f_0$  : 共振角周波数 [rad/s]

R : 直列抵抗 [Ω]



## ■ 並列共振回路の Q

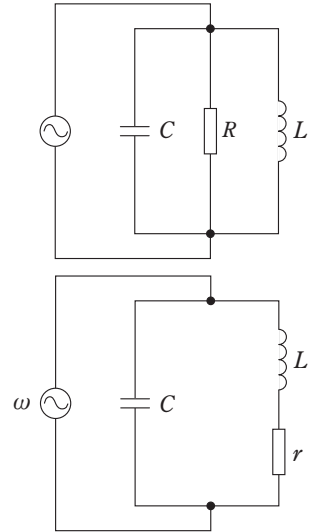
$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} \quad Q = \omega_0 CR$$

R : 並列抵抗 [Ω]

$$Q = \omega_0 Cr$$

r : コイルの直列 (実効) 抵抗 [Ω]

$\omega_0$  : 共振角周波数

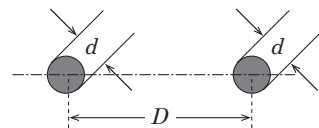


## ■ 平行二線式給電線の特性インピーダンス $Z_0$ [Ω]

$$Z_0 = 277 \log_{10} \frac{2D}{d}$$

d : 給電線の導線の直径 [mm]

D : 二線間の距離 [mm]



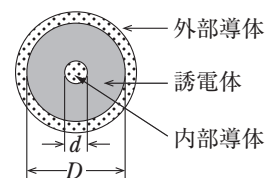
## ■ 同軸ケーブルの特性インピーダンス $Z_0$ [Ω]

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_s}} \log_{10} \frac{D}{d}$$

$\epsilon_s$  : 誘電体の比誘電率

d : 内部導体の外径 [mm]

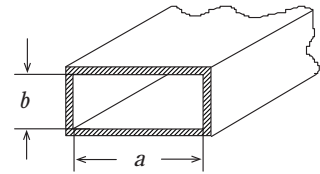
D : 外部導体の内径 [mm]



■ TE<sub>10</sub> 波の導波管の遮断波長  $\lambda_c$  [m]

$$\lambda_c = 2a$$

$a$ : 導波管の長辺の長さ [m]



■ TE<sub>10</sub> 波の導波管の遮断周波数  $f_c$  [Hz]

$$f_c = \frac{3 \times 10^8}{2a}$$

$a$ : 導波管の長辺の長さ [m]

■ 反転形電圧増幅器の電圧増幅度  $A_v$

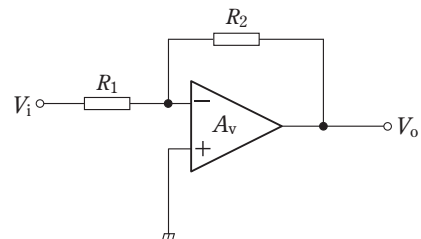
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad |A_v| = \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{大きさ})$$

$V_i$ : 入力電圧 [V]

$V_o$ : 出力電圧 [V]

$R_1$ : 入力抵抗 [ $\Omega$ ]

$R_2$ : 帰還抵抗 [ $\Omega$ ]

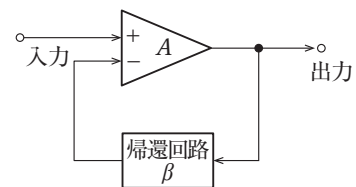


■ 負帰還増幅器の電圧増幅度  $A_f$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$A$ : 負帰還をかけないときの電圧増幅度

$\beta$ : 帰還率



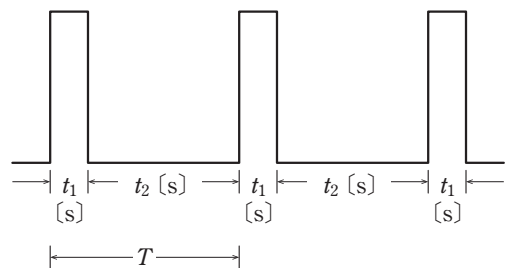
■ パルス繰り返し周波数  $f$  [Hz]

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

$T$ : 繰り返し周期 [s]

$t_1$ : パルスの幅 [s]

$t_2$ : パルスの間隔 [s]



■ 衝撃係数 (デューティファクタ)  $D$

$$D = \frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

$T$ : 繰り返し周期 [s]

$t_1$ : パルスの幅 [s]

$t_2$ : パルスの間隔 [s]

# 多重変調方式

- 標本化定理における最高周波数  $f_m$  [Hz]

$$f_m = \frac{f}{2}$$

$f$ : 標本化周波数 [Hz]

---

- 標本化定理における最高周波数の下限の値  $f$  [Hz]

$$f = 2f_m$$

$f_m$ : 最高周波数 [Hz]

---

- PCM 伝送回路における伝送可能な最大チャネル数  $N$

$$N = \frac{B}{D}$$

$B$ : 伝送速度 [bps]

$D$ : データ速度 [bps]

---

- OFDM のキャリア間隔 (基本周波数)  $f$  [Hz]

$$f = \frac{1}{T}$$

$T$ : 有効シンボル期間長 (変調シンボル長) [s]

---

- OFDM の有効シンボル期間長 (変調シンボル長)  $T$  [s]

$$T = \frac{1}{f}$$

$f$ : キャリア間隔 (基本周波数) [Hz]

---

# 無線送受信装置

## FM電波の占有周波数帯幅 $B$ (Hz)

$$B = 2(\Delta f + f_P) = 2f_P(m_f + 1)$$

$\Delta f$ : 最大周波数偏移 [Hz]

$f_P$ : 最高変調周波数 [Hz]

$m_f$ : 変調指数  $m_f = \frac{\Delta f}{f_P}$

## スーパーヘテロダイン受信機の映像周波数 $f_I$ (Hz)

$f_L > f_R$  の場合 ( $f_{IF} = f_L - f_R$ )

$$f_I = f_R + 2f_{IF} = f_L + f_{IF}$$

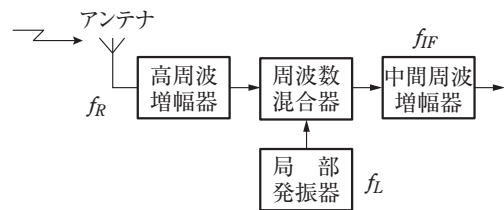
$f_L < f_R$  の場合 ( $f_{IF} = f_R - f_L$ )

$$f_I = f_R - 2f_{IF} = f_L - f_{IF}$$

$f_R$ : 受信周波数 [Hz]

$f_{IF}$ : 中間周波数 [Hz]

$f_L$ : 局部発振周波数 [Hz]



## 等価雑音電力 $N$ (W)

$$N = kTBF$$

$k$ : ボルツマン定数:  $1.38 \times 10^{-23}$  [J/K]

$T$ : 絶対温度 [K]:  $T = 273 + \text{周囲温度 } [^\circ\text{C}]$

$B$ : 帯域幅 [Hz]

$F$ : 雑音指数

## 雑音指数 $F$ (W)

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

$T_e$ : 等価雑音温度 [K]

$T_0$ : 周囲温度 [K]

$T_0$ : [K]  $\doteq T_0 [^\circ\text{C}] + 273$

---

■ 等価雑音温度  $T_e$  [K]

$$T_e = (F - 1)T$$

$T$ : 周囲温度 [K]

$F$ : 雑音指数 (真数)

---

■ 多段増幅器の雑音指数  $F$

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

$F_1$ : 初段の増幅器の雑音指数 (真数)

$F_2$ : 2段目の増幅器の雑音指数 (真数)

$G_1$ : 初段の増幅器の有効利得 (真数)

---

■ 多段増幅器の等価雑音温度  $T_e$  [K]

$$T_e = T_1 + \frac{T_2}{G_1}$$

$T_1$ : 初段の増幅器の雑音温度 (真数)

$T_2$ : 2段目の増幅器の雑音温度 (真数)

$G_1$ : 初段の増幅器の有効利得 (真数)



# レーダー

- パルスレーダー送信機のパルス繰り返し周期  $T$  [s]

$$T = \frac{1}{f}$$

$f$ : パルス繰り返し周波数 [Hz]

---

- パルスレーダー送信機の物標までの距離  $r$  [m]

$$r = \frac{ct}{2}$$

$c$ : 電波の速度 [m/s]

$t$ : 電波の物標までの往復時間 [s]

---

- パルスレーダー送信機のせん頭電力  $P_t$  [W]

$$P_t = \frac{P_m T}{\tau} = \frac{P_m}{f \tau}$$

$P_m$ : 平均電力 [W]

$T$ : パルス繰り返し周期 [s]

$\tau$ : パルス幅 [s]

---

- パルスレーダー送信機の平均電力  $P_m$  [W]

$$P_m = \frac{P_t \tau}{T}$$

$P_t$ : せん頭電力 [W]

$T$ : パルス繰り返し周期 [s]

$\tau$ : パルス幅 [s]

---

- パルスレーダー送信機の最小探知距離  $R$  [m]

$$R = 150 \tau$$

$\tau$ : パルス幅 [s]

距離分解能  $R$  [m] の場合も同じ

---

- ドブラ周波数  $f_d$  [Hz]

$$f_d = \frac{2vf}{c}$$

$v$ : 移動体の速度 [m/s]

$f$ : 周波数 [Hz]

$c$ : 電波の速度 ( $= 3 \times 10^8$  [m/s])

---

# 空中線及び給電線

- 電波の波長  $\lambda$  [m] と周波数  $f$  [Hz] の関係

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

周波数  $f$  の単位を MHz とすれば,

$$\lambda = \frac{300}{f[\text{MHz}]}$$

- 
- 半波長ダイポールアンテナの実効長  $h_e$  [m]

$$h_e = \frac{\lambda}{\pi}$$

$\lambda$ : 電波の波長 [m]

- 
- 1/4 波長垂直接地アンテナの実効長  $h_e$  [m]

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi}$$

$\lambda$ : 電波の波長 [m]

- 
- ブラウンアンテナの放射素子の長さ  $l$  [m]

$$l = \frac{\lambda}{4}$$

$\lambda$ : 電波の波長 [m]

- 
- スリーブアンテナの放射素子の長さ  $l$  [m]

$$l = \frac{\lambda}{4}$$

$\lambda$ : 電波の波長 [m]

---

## ■ アンテナ (空中線) の利得

供試アンテナまたは基準アンテナに異なる電力を加えて、同一場所におけるそれぞれの電界強度を同じにした場合

$$G_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{P_0}{P} \leftarrow 10 \log_{10} \text{であることに注意}$$

$G_{\text{dB}}$ : アンテナの利得 [dB]

$P$ : 供試アンテナに加える電力 [W]

$P_0$ : 基準アンテナに加える電力 [W]

供試アンテナまたは基準アンテナに同一の電力を加えて、同一場所におけるそれぞれの電界強度を比較した場合

$$G_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{E}{E_0} \leftarrow 20 \log_{10} \text{であることに注意}$$

$G_{\text{dB}}$ : アンテナの利得 [dB]

$E$ : 供試アンテナの電界強度 [V/m]

$E_0$ : 基準アンテナの電界強度 [V/m]

---

## ■ 絶対利得 $G_a$ [dB]

$$G_a = G_r + 2.15$$

$G_r$ : 相対利得 [dB]

---

## ■ 相対利得 $G_r$ [dB]

$$G_r = G_a - 2.15$$

$G_a$ : 絶対利得 [dB]

---

## ■ パラボラアンテナのビーム幅 $\theta$ [°]

$$\theta = 70 \frac{\lambda}{D}$$

$\lambda$ : 使用電波の波長 [m]

$D$ : 開口面の直径 [m]

---

## ■ 電圧定在波比 VSWR

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$\Gamma$ : 電圧反射係数

---

# 電波伝搬

## ■ 自由空間電界強度 $E$ [V/m]

$$E = \frac{7\sqrt{G_a P}}{d}$$

$G_a$ : アンテナの相対利得 [倍]

$P$ : アンテナの放射電力 [W]

$d$ : アンテナからの距離 [m]

## ■ 自由空間基本伝送損失 $\Gamma_0$

$$\Gamma_0 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

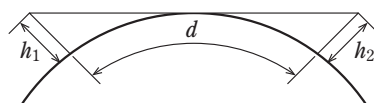
$d$ : アンテナからの距離 [m]

$\lambda$ : 波長 [m]

## ■ 電波の見通し距離 $d$ [km] (大気がない場合)

$$d \doteq 3.57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

$h_1, h_2$ : 送信, 受信アンテナの地上高 [m]



## ■ 電波の見通し距離 $d$ [km] (標準大気中の場合)

$$d \doteq 3.57 \sqrt{K} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \doteq 4.12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

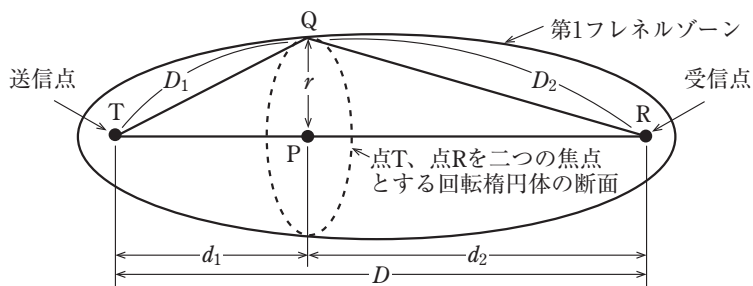
$h_1, h_2$ : 送信, 受信アンテナの地上高 [m]

$K$ : 地球の等価半径係数  $\left(= \frac{4}{3}\right)$

## ■ 第1フレネルゾーンの $r$ の距離 [m]

$$r = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

$\lambda$ : 電波の波長 [m]



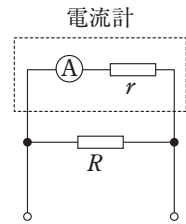
# 測定

## ■ 電流計の分流器 $R$ [ $\Omega$ ]

$$R = \frac{r}{n-1} \quad n = \frac{r}{R} + 1$$

$n$ : 測定倍率 [倍]

$r$ : 電流計の内部抵抗 [ $\Omega$ ]

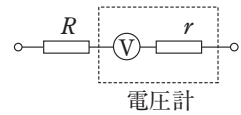


## ■ 電圧計の倍率器 $R$ [ $\Omega$ ]

$$R = (n-1)r \quad n = \frac{R}{r} + 1$$

$n$ : 測定倍率 [倍]

$r$ : 電圧計の内部抵抗 [ $\Omega$ ]



## ■ 電圧の実効値 $V_e$ [V]

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$V_m$ : 電圧の最大値 [V]

# 数学の公式等

## ■ 指数の計算

$$X^m \times X^n = X^{m+n}$$

$$X^m \div X^n = \frac{X^m}{X^n} = X^{m-n}$$

$$\frac{1}{X^n} = X^{-n}$$

$$X^0 = 1$$

## ■ $\sqrt{\quad}$ と $\pi$ の数値

$X$	1	2	3	5	4	16	10	100
$\sqrt{X}$	1	1.4	1.7	2.2	2	4	3	10

$$\pi \doteq 3 \quad \frac{1}{\pi} = 0.3 \quad \frac{1}{2\pi} = 0.16 \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.7$$

## ■ log

$$\log_{10}(a \times b) = \log_{10} a + \log_{10} b$$

$$\log_{10} a^b = b \times \log_{10} a$$

$$\log_{10} \frac{a}{b} = \log_{10} a - \log_{10} b$$

$X$	1/2	1	2	3	4	5	10	20	100
$\log_{10} X$	-0.3	0	0.3	0.48	0.6	0.7	1	1.3	2

## ■ デシベル

$$\text{電力比のデシベル} \quad G_{\text{dB}} = 10 \log_{10} G \quad [\text{dB}]$$

$$\text{電圧比のデシベル} \quad A_{\text{dB}} = 20 \log_{10} A_V \quad [\text{dB}]$$

比	1/2	1	2	3	4	5	10	20	100
電力	-3	0	3	4.8	6	7	10	13	20
電圧	-6	0	6	9.6	12	14	20	26	40

---

■ 三平方の定理

$$r^2 = a^2 + b^2$$

$$r = \sqrt{a^2 + b^2}$$

---

■ 単位の接頭語

名称	テラ	ギガ	メガ (メグ)	キロ	センチ	ミリ	マイクロ	ナノ	ピコ
記号	T	G	M	k	c	m	$\mu$	n	p
数値	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$