

屋内盤熱計算に関する解説

密閉筐体の放熱量 P [W] を求める一般式は、

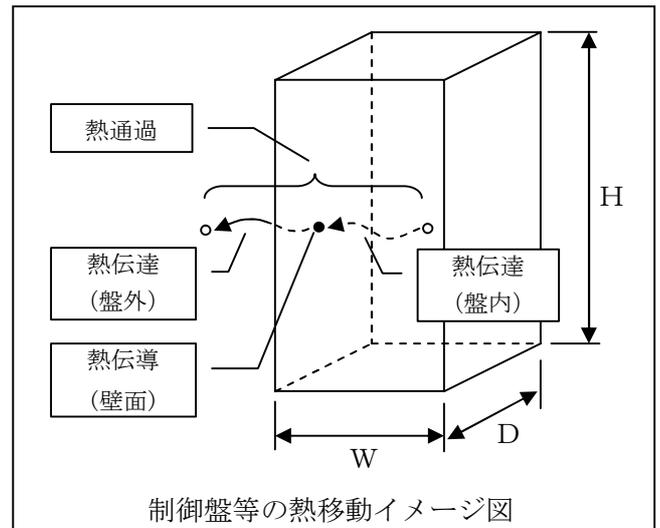
$$P = U \cdot S \cdot \Delta T$$

U : 熱通過率 [W/(m²・K)]

S : 盤表面積 [m²]

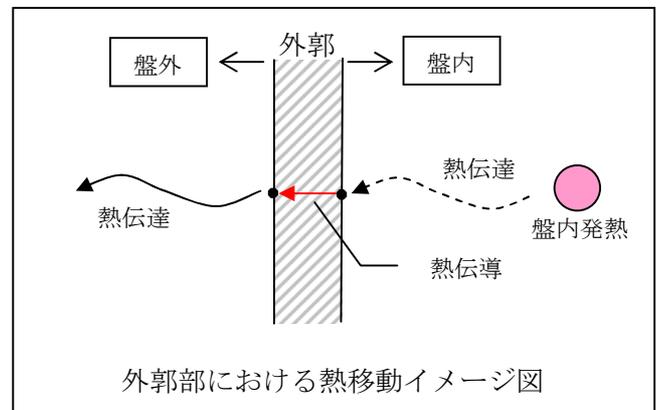
ΔT : 盤内空気温度上昇 [K]

TECTAでは $U=5$ と取決め、機種選定方法に反映しているため、その根拠を解説する。



熱通過率 [W/(m²・K)] とは・・・

制御盤のキャビネット表面積 1 [m²]、盤内部の雰囲気温度と外気温度との温度差 1 [K] あたりの熱通過量 [W] を示すものであり、熱がキャビネット外郭を通過する場合、外郭表面の熱伝達 (盤内、盤外) と固体内部の熱伝導が組み合わさった伝熱となる。この3つの熱コンダクタンス (熱の流れやすさ) を1つに合成した値となる。



熱伝達率 [W/(m²・K)] とは・・・

熱伝達 (熱が固体表面と流体の間で高温部から低温部へ移動すること) の起こりやすさを表す値。キャビネットの場合、盤内空気と盤内表面の熱伝達率 α_i 、盤外空気と盤外表面の熱伝達率 α_o の2つを考慮する必要がある。

熱伝導率 [W/(m・K)] とは・・・

熱伝導 (熱が物体中を伝わって高温部から低温部へ移動すること) の起こりやすさを表す係数 (物質固有の物性値)。

例)炭素鋼 : 52 [W/(m・K)]、ステンレス : 16 [W/(m・K)]、ABS樹脂 : 0.19~0.36 [W/(m・K)]

熱通過率 U [W/(m²・K)] を求める一般式は以下で表せる。

$$U = \frac{1}{(1/\alpha_o) + (t/\lambda) + (1/\alpha_i)}$$

α_o : 盤外表面～周囲空気間の熱伝達率 [W/(m²・K)]

α_i : 盤内空気～盤内表面間の熱伝達率 [W/(m²・K)]

t : キャビネット材の厚み [m]

λ : キャビネット材の熱伝導率 [W/(m・K)]

①盤外、盤内の熱伝達率について

α_o : 盤外表面～周囲空気間の熱伝達率

盤外対流熱伝達率 α_{ko} と、放射熱伝達率 α_{rad} を考慮して、

$$\alpha_o = \alpha_{ko} + \alpha_{rad} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

α_i : 盤内空気～盤内表面間の熱伝達率

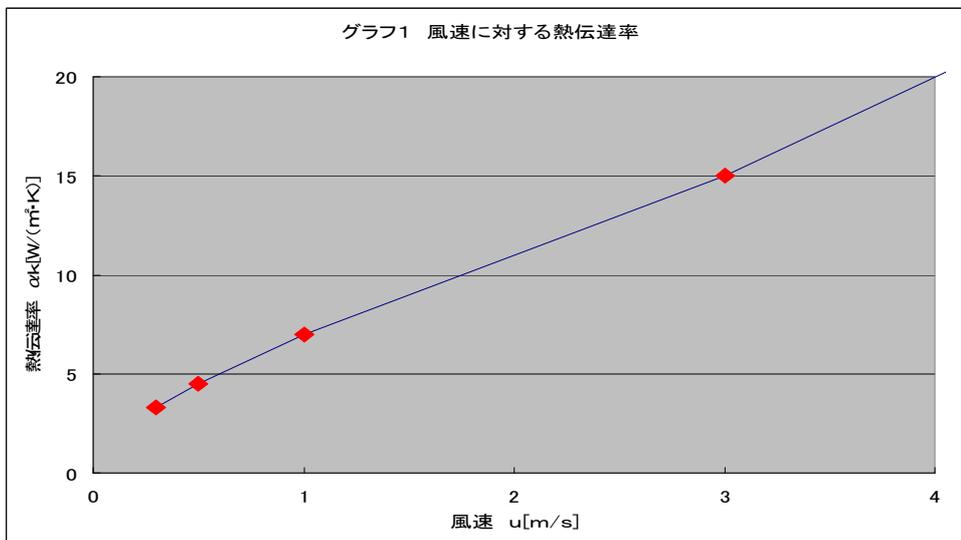
盤内対流熱伝達率 α_{ki} を考慮し、内部機器（固体）からの放射は加味しないものとして、

$$\alpha_i = \alpha_{ki} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

②対流熱伝達率について

上記の対流熱伝達率 α_{ko} 、 α_{ki} は風速の影響を受ける。

IEC62194（2005-08）に記載の『風速に対する熱伝達率』の値を引用する。



③放射熱伝達率について

放射による熱伝達率 α_{rad} は、

$$\alpha_{rad} = Q_{rad} / \{A_p \times (T_w - T_a)\} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

Q_{rad} : 盤外表面から周囲への放射による放熱量

$$Q_{rad} = \sigma \times A_p \times F \times \varepsilon \times (T_w^4 - T_a^4) \quad [W]$$

σ : ステファンボルツマン定数 $= 5.67 \times 10^{-8} \quad [W/(m^2 \cdot K^4)]$

A_p : 盤の表面積（放射表面積） $[m^2]$

F : 形態係数 $= 1 \quad [-]$

ε : 放射率 $[-]$

T_w : 壁面温度（絶対温度） $= T_w (^\circ C) + 273.15 \quad [K]$

T_a : 周囲温度（絶対温度） $= T_a (^\circ C) + 273.15 \quad [K]$

したがって、

$$\alpha_{rad} = 5.67 \times 10^{-8} \times \varepsilon \times \{(T_w/100)^4 - (T_a/100)^4\} / (T_w - T_a) \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

放射率 ε は、温度や表面の状態によって変化するが、一般的な塗装盤であれば、 $\varepsilon = 0.9$ 程度に仮定するのが良い。

また、 T_w は $T_a + 5 \sim 10 [K]$ と仮定し計算する。

<熱通過率U[W/(m²・K)]の計算例>

計算条件

- ① キャビネット条件：材質…鋼板、板厚…2.3mm、密閉キャビネット
- ② 温度条件：周囲温度…40℃、壁面温度…周囲温度+5K

前述の一般式により熱通過率Uは、

$$U = \frac{1}{(1/\alpha_o) + (t/\lambda) + (1/\alpha_i)}$$
$$= \frac{1}{\{1/(\alpha_{ko} + \alpha_{rad})\} + (t/\lambda) + (1/\alpha_{ki})} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

- ・盤外対流熱伝達率 α_{ko} は、屋内盤が設置される工場環境（空気の対流）を考慮し、風速 $u=0.5$ m/s とした場合、グラフ 1 より、 $\alpha_{ko}=4.5$ [W/(m²・K)] となる。
- ・盤内対流熱伝達率 α_{ki} は、盤内機器や冷却器のファンによる対流を考慮し、風速 $u=2$ m/s とした場合、グラフ 1 より、 $\alpha_{ki}=10$ [W/(m²・K)] となる。
- ・放射熱伝達率 α_{rad} は、
放射率 $\varepsilon=0.9$ とし、
壁面温度 $T_w=45^\circ\text{C}+273.15=318.15$ [K]（周囲温度より 5Kアップと仮定）
周囲温度 $T_a=40^\circ\text{C}+273.15=313.15$ [K] として、
 $\alpha_{rad}=5.67 \times 1 \times 0.9 \times \{(318.15/100)^4 - (313.15/100)^4\} / (318.15 - 313.15)$
 $=6.42$ [W/(m²・K)] となる。
- ・キャビネット外郭の板厚、熱伝導率については、
キャビネット板厚 $t=0.0023$ [m]
キャビネット鋼板の熱伝導率 $\lambda=52$ [W/(m・K)]

したがって、

$$U = \frac{1}{\{1/(4.5+6.42)\} + (0.0023/52) + (1/10)}$$
$$= 5.22 \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

一般的な制御盤キャビネット（鉄板製、塗装品）の場合の熱通過率Uは5~6[W/(m²・K)]が目安とされており、上記仮定条件での熱通過率はこれに近い数値である。

上記計算例からわかるように、熱通過率Uは盤内および盤外の風速 u や、盤表面の放射率 ε 、壁面温度 T_w および周囲温度 T_a 、キャビネット外郭の厚み t と熱伝導率 λ の影響を受けるので、上記の計算例と条件が大幅に異なる場合には、これらの条件を個別に設定して数値検討することが必要である。