

冷却塔特性式作成支援ツール 仕様書

新規作成 2025.12.12

目次

1. 特性式作成支援ツールの概要
 - (1) 冷却塔オブジェクトシートの詳細と役割
 - (2) 特性式作成シートの詳細と役割
2. 物理モデルから近似モデルへの変換
3. 物理式の計算方法
4. 特性式作成支援ツールの使用手順

ここで、冷却水入口温度 T_{dr} [°C]、外気湿球温度 WB [°C]、冷却水量比 V_d [%]であり、冷却塔ファン動力比 CT_{pw} [-]は、式(2)より計算する。 T_{dset} はファン発停制御時の冷却水出口下限設定温度、 T_d はファン停止なし時の冷却水出口温度である。変風量制御時は、風量制御による冷却塔風量比 V_a [-]を用い、冷却水出口温度 T_d' を式(3)から求める。風量制御を用いる場合、冷却塔ファン動力比 CT_{pw}' [-]は式(4)より求める。

$$T_d = T_{ds} \cdot C_2 \quad (1)$$

$$T_{ds} = C_{1a} WB^2 + C_{1b} WB + C_{1c} \quad : \text{外気湿球温度の関数}$$

$$C_{1a} = a_1 T_{dr}^2 + b_1 T_{dr} + c_1 \quad : \text{冷却水入口温度影響係数 1}$$

$$C_{1b} = a_2 T_{dr}^2 + b_2 T_{dr} + c_2 \quad : \text{冷却水入口温度影響係数 2}$$

$$C_{1c} = a_3 T_{dr}^2 + b_3 T_{dr} + c_3 \quad : \text{冷却水入口温度影響係数 3}$$

$$C_2 = f(C_3, T_{dr}, WB) \quad : \text{冷却水量影響係数 1}$$

$$C_3 = a_4 V_d^2 + b_4 V_d + c_4 \quad : \text{冷却水量影響係数 2}$$

$$CT_{PW} = (T_{dr} - T_{dset}) / (T_{dr} - T_d) \quad (2)$$

$$T_d' = T_d \cdot C_4 = T_{ds} \cdot C_2 \cdot C_4 \quad (3)$$

$$C_4 = f(C_5, T_{dr}, WB) \quad : \text{冷却塔風量影響係数 1}$$

$$C_5 = a_5 V_a^4 + b_5 V_a^3 + c_5 V_a^2 + d_5 V_a + e_5 \quad : \text{冷却塔風量影響係数 2}$$

$$CT_{PW}' = V_a^3 \quad (4)$$

冷却塔オブジェクトシートに入力された定格仕様から、出入口空気の比エンタルピーと、出入口冷却水と同温度の飽和空気の比エンタルピーを計算しエンタルピー差を求め、定格条件の冷却水出入口温度差を 50 等分し、シンプソンの公式を用いて塔特性の(NTU 等)を求める。冷却水出口温度は、冷却塔の熱交換部を水と空気の流れ方向に各々16 等分して差分計算する。特性式作成シートでは、この方法で回帰分析に用いる冷却水出口温度を計算する。

2. 物理モデルから近似モデルへの変換

LCEM ツールは、オブジェクト化セルズ法（Microsoft® Excel の複数のセル群に数式や諸元を記入し、このセル群を 1 つの単位として扱う計算方法）を基本とし、表計算ソフト上で動作する。このため、計算式の確認や追加・修正が容易に行うことができ、プログラミングの知識がなくとも簡易にシミュレーションができるという利点がある。

表計算ソフトのマクロ機能を用いて物理モデルによる計算を VBA で記述したモデルを構築することも可能であるが、特性式作成支援ツールでは LCEM ツールの基本理念に則り、オブジェクトの仕組みは変えずに、物理モデルから近似モデルへの変換を行い、現行モデルと同じように扱うことができるようにしている。

3. 物理式の計算方法

水と空気の微小体積 dV 当たりの交換熱量は式 (5) で表される。

$$dq = Ka(h_l - h)dV \quad (5)$$

q	: 交換熱量	[kJ/h]
Ka	: エンタルピー基準総括体積熱伝達率	[kJ/m ³ ・h・Δh]
h_l	: 水の温度と同じ温度の飽和空気の比エンタルピー	[kJ/kg]
h	: 空気の比エンタルピー	[kJ/kg]
V	: 熱交換部の体積	[m ³]

冷却塔内の局所の冷却水と空気の交換熱量は、式 (6) から、

$$c_l L dt_l = G dh = Ka(h_l - h)dV \quad (6)$$

c_l	: 水の比熱	[kJ/kg・°C]
L	: 冷却水流量	[kg/h]
t_l	: 冷却水温度	[°C]
G	: ファン風量	[kg/h]

冷却塔の熱交換部 $V (= AZ_d = A'X_d)$ について、図2 エラー! 参照元が見つかりません。のように座標軸を定めると、向流型と直交流型の基礎式はそれぞれ式 (7)、式 (8) で表される。

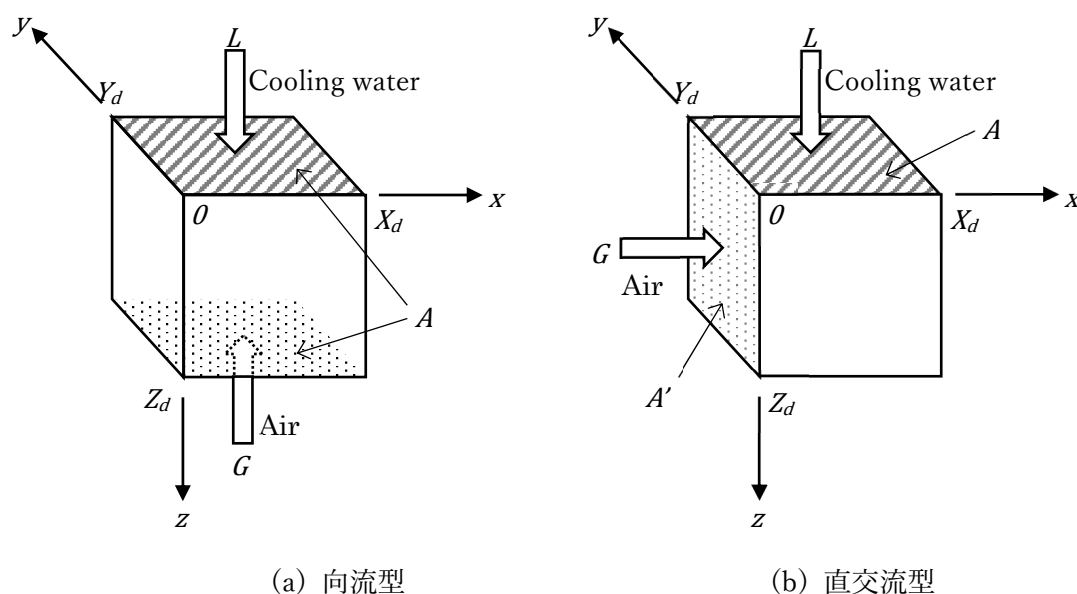


図2 冷却塔の熱交換部の座標と流れの方向

$$c_l \frac{L}{A} \frac{dt_l}{dz} = \frac{G}{A} \frac{dh}{dz} = -Ka(h_l - h) \quad (7)$$

$$c_l \frac{L}{A} \frac{\partial t_l}{\partial z} = -\frac{G}{A'} \frac{\partial h}{\partial x} = -Ka(h_l - h) \quad (8)$$

また、以下の式 (9)、式 (10) を用いて

$$\text{水空気比} \quad N = \frac{L}{G} \quad (9)$$

$$\text{塔特性 NTU} \quad \frac{U}{N} = \frac{KaZ_d}{L/A} = \frac{KaV}{L} \quad (10)$$

式 (7)、式 (8) を、 $\xi = x/X_d$ 、 $\zeta = z/Z_d$ として書き直すと、それぞれ式 (11)、式 (12) で表される。

$$c_l \frac{dt_l}{d\zeta} = -\frac{1}{N} \frac{dh}{d\zeta} = -\frac{U}{N} (h_l - h) \quad (11)$$

$$c_l \frac{\partial t_l}{\partial \zeta} = -\frac{1}{N} \frac{\partial h}{\partial \xi} = -\frac{U}{N} (h_l - h) \quad (12)$$

まず、冷却水出入口温度、外気湿球温度、水空気比それぞれの設計条件から NTU を算出し、求めた NTU を用いて式 (11)、式 (12) を差分法で解くことにより、冷却水出口温度と冷却塔出口の空気エンタルピーが求められる。

参考文献：手塚俊一，藤田稔彦. (1984). 湿り空気線図とその応用(4), III 冷却塔 (その 1) . 空気調和・衛生工学. 第 58 巻. 第 3 号. pp.269-278.

4. 特性式作成支援ツールの使用手順

事前設定として、図 3 の Excel のオプションからアドインの設定を開き、図 4「分析ツール-VBA」のチェックを入れる。※Excel のバージョンにより設定場所が異なる可能性がある。

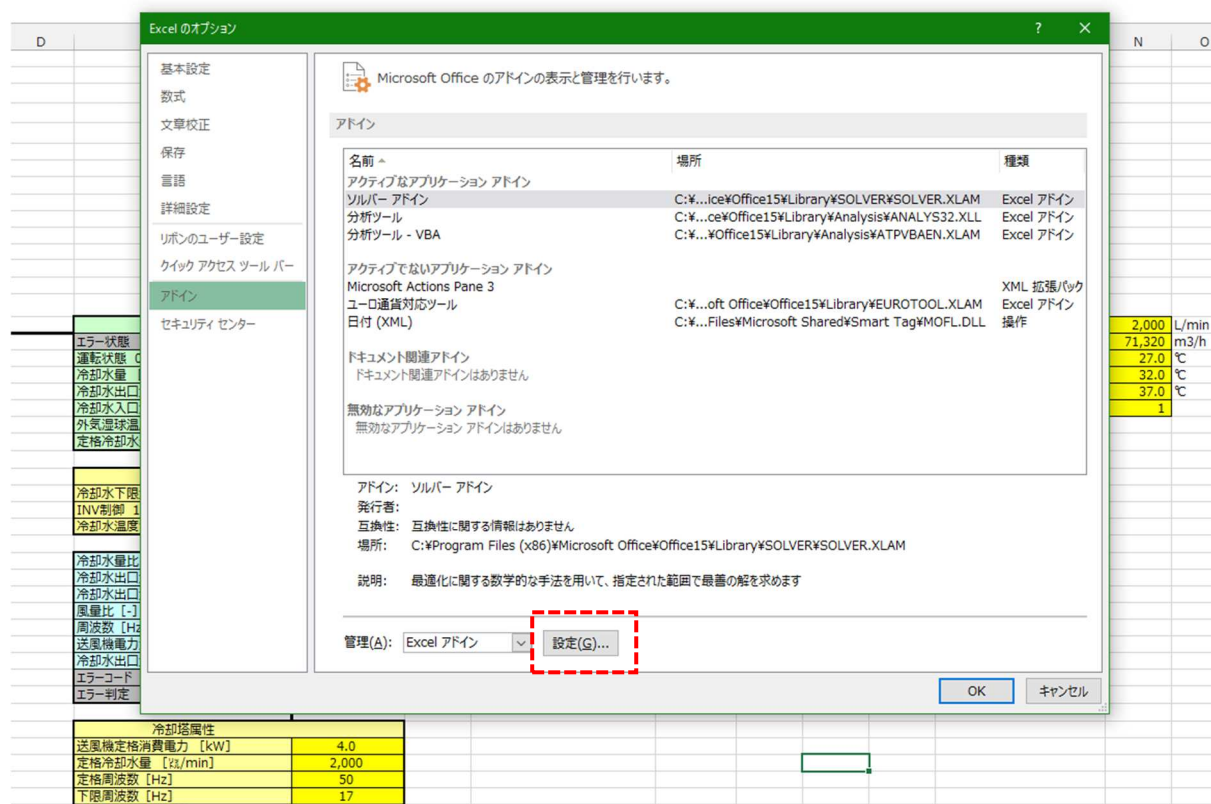


図 3 Excel の設定画面 1

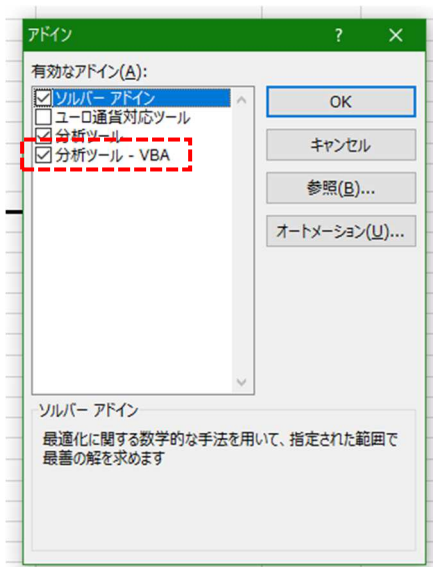


図 4 Excel の設定画面 2

図5の赤枠で囲った部分(①と②)を入力してマクロのボタン(特性変更ツール実行)を押すと、モデルの計算式が変更される。②の入力に基づいて計算式の変更がされるため、手順は②⇒マクロのボタン⇒①でも支障ない。ただし、①と②の同じ項目(定格冷却水流量など)の値は、最終的に合わせる必要がある。

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2															
3		初期化スイッチ													
4		1:初期値 0:書き出し	0												
5															
6		外気条件													
7		乾球温度 [°C]	36.0												
8		相対湿度 [%]	50.0												
9		露点温度 [°C]	0.0189												
10		エンタルピー [kJ/kg]	27.0												
11		エンタルピー [kJ/kg]	84.4												
12		飽和水蒸気圧 [Pa]	5.942												
13		水蒸気分圧 [Pa]	2.971												
14															
15															
16		外気条件													
17		湿球温度 [°C]	27.0												
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															

図5 冷却塔オブジェクトシートの画面