



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	空気冷却減湿器（湿りコイル）の一設計法
Author(s)	岡垣，理；窪田，英樹
Citation	衛生工学，16，19-36
Issue Date	1968-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36194
Type	departmental bulletin paper
File Information	16_19-36.pdf



空気冷却減湿器（湿りコイル）の一設計法

岡 垣 理*
窪 田 英 樹**

*A Design Method of Heat - Exchanger for Cooling
and Dehumidifying of Air*

Osamu OKAGAKI

Hideki KUBOTA

The states of air and refrigerant in the cooling coil can be expressed by some differential equations .

If the saturation curves of moist air (the relations between the enthalpy and dry-bulb temperature , or absolute humidity) are approximated by the straight lines , these equations can be solved analytically .

The proposed method is based upon the solutions of these differential equation . Hence any required values (i.e. states of exit air , temperature of refrigerant , coils row etc.) can be determined mathematically .

For instance , it is difficult to determine the dry-bulb temperature of exit air (or absolute humidity) by the other methods , but easily determined by this method .

It is supposed that the error caused by the approximating procedure of this method is less than 0.5deg .

This paper deals with the counterflow coil being wetted from inlet of the cooling coil , that is wet coil .

1 緒 言

フィン付きの空気冷却減湿器（いわゆる湿りコイル）は空気調和などに多く使用されているが、現象の複雑なこともあって、きめの細かい伝熱性能や設計法は未だ開発の途上にある。

こゝでは飽和湿り空気のエンタルピと温度およびエンタルピと絶対湿度の関係を1次式で近似すると、定常時の冷却器における空気および冷却媒体の状態が解析的に求まるので、この点に着目した設計方法について述べる。特に出口空気の乾球温度を求めることは、従来の方法では煩雑であるが、本法では解析的に簡単に求めることができる。

* 衛生設備工学講座教授

** 大学院博士課程学生

また、望みの出口空気の状態を得るための装置および冷却媒体の状態も簡単に求めることができる。

ただしこの方法は空気側の伝熱面が、冷却器の入口から濡れた状態にある場合についてのみ適用される。

本論文は冷水コイルに中心をおいて述べているが、直膨コイルに関しては流量 G_w を $G_w \rightarrow \infty$ とみなすことにより全く同様にとり扱うことができる。

2 記 号

A_1	冷却器の正面積（空気流と直角）	$[m^2]$
Aa	冷却器の単位正面積、1列当り空気側の伝熱面積	$[m^2/\text{列} \cdot m^2(\text{正面積})]$
Aw	冷却器の単位正面積、1列当り冷却媒体側の伝熱面積	$[m^2/\text{列} \cdot m^2(\text{正面積})]$
Ca	湿り空氣の定圧比熱	$[Kcal/Kg \cdot deg]$
Cw	冷却媒体（たとえば冷水）の比熱	$[Kcal / Kg \cdot deg]$
d	冷却器のパイプ内径	$[m]$
D	水蒸氣の拡散係数	$[m^2/h]$
Ga	冷却器を流れる湿り空氣のうち乾燥空氣分の流量	$[Kg / h]$
G_w	冷却媒体の流量	$[Kg / h]$

g, g', f, f'

飽和湿り空氣のエンタルピを、それぞれ温度および絶対湿度の1次式で近似させたときの定数

$\dot{i}_a$	冷却器を流れる空氣本体のエンタルピ	$[Kcal / Kg']$
$\dot{i}_s$	氣液界面における飽和空氣のエンタルピ	$[Kcal / Kg']$
$\dot{i}_w$	温度 t_w の飽和空氣のエンタルピ ($=g \cdot t_w + f$)	$[Kcal / Kg']$
k	絶対湿度差基準の物質移動係数	$[Kg / m^2 \cdot \Delta x]$
L	Lewis の関係数 ($= \frac{k}{Ca \cdot \alpha}$)	
$M_1 \sim M_5$	冷却器の特性定数	
n	冷却器の入口から任意点までの管列数	$[\text{列}]$
N	冷却器の全管列数	$[\text{列}]$
n_p	冷却媒体の管内流速 (v_w) を求めるための通過パス数	$[\text{本}]$
Q	全交換熱量	$[Kcal/h]$
r	水の凝縮の潜熱	$[Kcal/Kg]$
$\Sigma \gamma_p$	フィンと管との接触熱抵抗および管壁の熱伝導抵抗など	$[m^2 \cdot h \cdot deg / kcal]$
t_a	空氣本体の温度	$[^\circ C]$
t_s	氣液界面の温度	$[^\circ C]$
t_w	冷却媒体の温度	$[^\circ C]$
t_{as}	エンタルピ $\dot{i}_a$ の飽和空氣の温度 ($= \frac{1}{g} \{ \dot{i}_a - f \}$)	$[^\circ C]$

x_a	空気本体の絶対湿度	$[Kg/Kg']$
x_s	気液界面の空気の絶対湿度	$[Kg/Kg']$
x_w	温度 i_w の飽和空気の絶対湿度 $(=\frac{1}{g}, \{i_w-f'\})$	$[Kg/Kg']$
x_{as}	エンタルピ i_a の飽和空気の絶対湿度 $(=\frac{1}{g}, \{i_a-f'\})$	$[Kg/Kg']$
v_a	空気本体の正面入口風速	$[m/sec]$
v_w	冷却媒体の管内流速	$[m/sec]$
α_a	空気側の伝熱面における熱伝達率	$[Kcal/m^2 \cdot h \cdot deg]$
α_w	冷却媒体側の伝熱面における熱伝達率	$[Kcal/m^2 \cdot h \cdot deg]$
α_w'	$= 1 / (\frac{1}{\alpha_w} + \sum \gamma_p)$	$[Kcal/m^2 \cdot h \cdot deg]$
ρ_a	湿り空気の密度	$[Kg/m^3]$
ρ_w	冷却媒体の密度	$[Kg/m^3]$
κ	空気の温度伝播率	$[m^2/h]$

$i_a(o), t_a(o), x_a(o),$ および $i_a(N), t_a(N), x_a(N),$

それぞれ冷却器入口および出口における空気本体の状態値

$i_w(o), t_w(o),$ および $i_w(N), t_w(N)$

それぞれ冷却器出口および入口の冷却媒体に係る状態値

3 理 論

冷却器の空気側伝熱面が人口より濡れた状態にあるものとし、また空気と冷媒の流れ方は通例の場合のように伝熱効率の良い向流型をとるものとする。

向流といっても実際にはこの種の冷却器は、向流と直交流とが組み合わさったものであるが、ここではすでに述べられていることに基ずいて¹⁾、流れは単純な向流とみなし、熱貫流率など (α_a, α_w, k) も列数によらず全体に一樣と仮定して論を進める。

まず空気の流れ方向にそって微小区間をとり、この区間で空気本体と濡れた状態にあるフィンおよび管外表面の気液界面との間でおこなわれる定常熱収支を考えるとつぎのようになる。

$$Ga \cdot di_a = \{\alpha_a \cdot (t_s - t_a) + k \cdot r \cdot (x_s - x_a)\} Aa \cdot Af \cdot dn \quad \dots\dots\dots (1)$$

式(1)に Lewis の関係係数

$$L = \frac{\alpha_a}{Ca \cdot k} \quad \dots\dots\dots (2)$$

を代入して整理すると次式のように表わすことができる。

$$Ga \cdot di_a = k \cdot \{ (Ca \cdot L \cdot t_s + r \cdot x_s) - (Ca \cdot L \cdot t_a + r \cdot x_a) \} Aa \cdot Af \cdot dn \quad \dots\dots\dots (3)$$

L の値は Colburn の関係式によれば

$$L = \left(\frac{K}{D}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.82 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となるが、フィン付き冷却減湿器に関しては Re 数の函数として示されるとの報告²⁾ もあり研究途上にある。なお

$$i' = C \cdot L \cdot t + r \cdot x \quad \dots\dots\dots (5)$$

とにおいてこの変形されたエンタルピで解折を進めるのが望ましいが、こゝではまず $L=1$ (いわゆる *Lewis* の法則) とみなすことにする。

このようにして

$$k = \frac{\alpha a}{Ca} \quad \dots\dots\dots (6)$$

従って式(1)はつぎのようにエンタルピで表示される。

$$Ga \cdot dia = k (is - ia) Aa \cdot Af \, dn \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{dia}{dn} = \frac{k \cdot Aa \cdot Af}{Ga} (is - ia) \equiv M_1 (is - ia) \quad \dots\dots\dots (7')$$

こゝで

$$M_1 \equiv \frac{k \cdot Aa \cdot Af}{Ga} = \frac{\alpha a \cdot Aa \cdot Af}{Ca \cdot Ga} \quad \dots\dots\dots (8)$$

つぎに気液界面と管内の冷却媒体 (たとえば冷水) との間の熱収支については

$$Gw \cdot Cw \cdot dtw = \alpha_{w'} \cdot (tw - ts) Aw \cdot Af \, dn \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{dtw}{dn} = \frac{\alpha_{w'} \cdot Aw \cdot Af}{Gw \cdot Cw} (tw - ts) \equiv M_2 (tw - ts) \quad \dots\dots\dots (9')$$

$$\text{ここで} \quad \left\{ \begin{array}{l} M_2 \equiv \frac{\alpha_{w'} \cdot Aw \cdot Af}{Gw \cdot Cw} \quad \dots\dots\dots (10) \end{array} \right.$$

$$\alpha_{w'} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum \gamma_p} \quad \dots\dots\dots (11)$$

また式(7)と(9)よりつぎの諸式を得る。

$$Gw \cdot Cw \cdot dtw = Ga \cdot dia \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\therefore \frac{dtw}{dn} = \frac{Ga}{Gw \cdot Cw} \frac{dia}{dn} \equiv M_3 \frac{dia}{dn} \quad \dots\dots\dots (12')$$

$$\text{ここで} \quad M_3 \equiv \frac{Ga}{Gw \cdot Cw} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\alpha_{w'} \cdot (tw - ts) Aw = k \cdot (is - ia) Aa \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\therefore tw - ts = \frac{k \cdot Aa}{\alpha_{w'} \cdot Aw} (is - ia) \equiv M_4 (is - ia) \quad \dots\dots\dots (14')$$

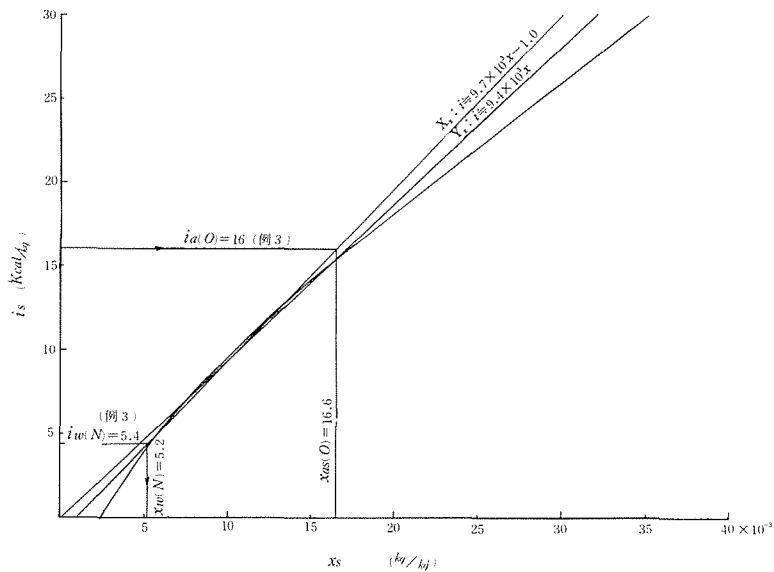
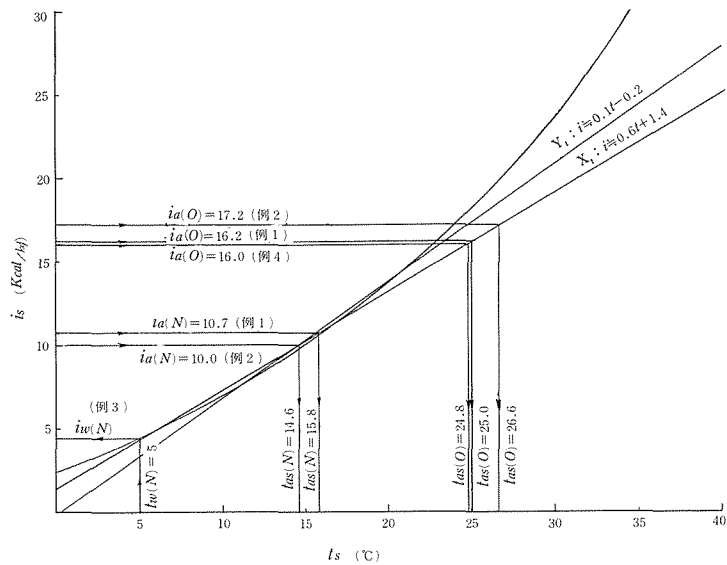
$$\text{ここで} \quad M_4 \equiv \frac{k \cdot Aa}{\alpha w' \cdot Aw} = \frac{\alpha a \cdot Aa}{Ca \cdot \alpha w' \cdot Aw} \quad \dots\dots\dots (15)$$

空気本体の顕熱と絶対湿度の増減に関しては、それぞれつぎのように示される。

$$Ga \cdot Ca \cdot dta = \alpha a \cdot (ts - ta) \cdot Aa \cdot Af \cdot dn \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Ga \cdot dx = k \cdot (xs - xa) \cdot Aa \cdot Af \cdot dn \quad \dots\dots\dots (17)$$

飽和空気のエンタルピと乾球温度および絶対湿度との関係が図- 1, 2 に示されているがこれらの曲線をそれぞれ



$$i = g \cdot t + f \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$i = g' \cdot x + f' \quad \dots\dots\dots (19)$$

のように直線近似すると定常時の冷却器における空気および冷却媒体に係る状態値を解析的に求めることが可能になる。

まず空気本体のエンタルピを求めるため、式(7)'と(14)'を n について微分するとそれぞれつぎのようになる。

$$\frac{d^2 i_a}{d n^2} + M_1 \frac{d i_a}{d n} = M_1 \frac{d i_s}{d n} = M_1 \cdot g \frac{d t_s}{d n} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$\frac{d t_s}{d n} - \frac{d t_w}{d n} = M_4 \left(\frac{d i_a}{d n} - \frac{d i_s}{d n} \right) \quad \dots\dots\dots (21)$$

式(21)に(12)'を代入して

$$\frac{d t_s}{d n} - M_3 \frac{d i_a}{d n} = M_4 \frac{d i_a}{d n} - M_4 g \frac{d t_s}{d n} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\therefore \frac{d t_s}{d n} = \frac{M_3 + M_4}{1 + M_4 \cdot g} \frac{d i_a}{d n} \quad \dots\dots\dots (23)$$

このようにして、式(20)と(23)とから、 i_a に関しつぎの微分方程式が得られる。

$$\frac{d^2 i_a}{d n^2} + M_1 \frac{1 - M_3 \cdot g}{1 + M_4 \cdot g} \frac{d i_a}{d n} = \frac{d^2 i_a}{d^2 n} + M_5 \frac{d i_a}{d n} = 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{ここで} \quad M_5 \equiv M_1 \frac{1 - M_3 \cdot g}{1 + M_4 \cdot g} = \frac{1 - \frac{G a}{G w} \cdot \frac{g}{C w}}{\frac{G a \cdot C a}{A a \cdot A f} \left(\frac{1}{\alpha a} + \frac{1}{\alpha w} \frac{A a}{A w} \frac{g}{C a} \right)} \quad \dots (25)$$

これを解くと

$$i_a = \frac{1}{M_5} \left(\frac{d i_a}{d n} \right)_{n=0} \cdot (1 - e^{-M_5 \cdot n}) + i_a(o) \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$= \frac{1}{1 - M_3 \cdot g} \{ i_w(o) - i_a(o) \} (1 - e^{-M_5 \cdot n}) + i_a(o) \quad \dots\dots\dots (27)$$

この式で境界値のうち $i_w(o)$ は式(12)' と(27)を用いてつぎのように解くことができる。

$$\frac{d t_w}{d n} = M_3 \frac{d i_a}{d n} = M_3 \frac{M_1}{1 + M_4 \cdot g} \{ i_w(o) - i_a(o) \} e^{-M_5 \cdot n} \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$\begin{aligned} \therefore t_w &= -\frac{M_3}{1 - M_3 \cdot g} \{ i_w(o) - i_a(o) \} e^{-M_5 \cdot n} \\ &+ \frac{M_3}{1 - M_3 \cdot g} \{ i_w(o) - i_a(o) \} e^{-M_5 \cdot N} + t_w(N) \quad \dots\dots\dots (29) \end{aligned}$$

あるいは式(29)につぎの関係(30)を入れて整理すると $i_w(o)$ が得られる。

$$i_w(o) = \frac{1}{g} \{ i_w(o) - f \} \dots\dots\dots (30)$$

$$i_w(o) = \frac{1 - M_3 \cdot g}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} \{ i_w(N) + i_a(o) \} \frac{M_3 \cdot g}{1 - M_3 \cdot g} (1 - e^{-M_5 \cdot N}) \dots\dots\dots (31)$$

このようにして i_a に関する表示式は

$$i_a = \frac{1}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} \{ i_w(N) - i_a(o) \} (1 - e^{-M_5 \cdot N}) + i_a(o) \dots\dots\dots (32)$$

また上式から $n = N$ において $i_a(N)$ を求め、つぎのような形に整理する。

$$\eta_i = \frac{i_a(N) - i_a(o)}{i_w(N) - i_a(o)} = \frac{1}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} (1 - e^{-M_5 \cdot N}) \dots\dots\dots (33)$$

これは熱交換器の温度効率に対応するエンタルピ効率である。

界面における飽和空気のエントルピ i_s は、式(7)に(32)を代入して次式のように表わされる。

$$i_s = i_a(o) + \frac{1}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} \{ i_w(N) - i_a(o) \} \left\{ 1 - \frac{(M_3 + M_4) \cdot g}{1 + M_4 \cdot g} e^{-M_5 \cdot N} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

あるいは冷却器入口 ($n = o$) における i_s 値は

$$i_s(o) = i_a(o) + \frac{1 - M_3 \cdot g}{1 + M_4 \cdot g} \cdot \frac{1}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} \{ i_w(N) - i_a(o) \} \dots\dots\dots (35)$$

となり、冷却器入口から濡れた状態を保つためには、入口空気露点状態のエントルピを $i_{ad}(o)$ とすると

$$i_{ad}(o) > i_a(o) \dots\dots\dots (36)$$

の関係が満たされなければならない。

つぎに乾球温度に関しては、式(16)と(34)より

$$\begin{aligned} t_a &= [t_a(o) - t_{as}(o)] e^{-M_1 \cdot n} + t_{as}(o) \\ &+ [t_w(N) - t_{as}(o)] \frac{1}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} (1 - e^{-M_5 \cdot N}) \dots\dots\dots (37) \end{aligned}$$

ここで

$$t_{as}(o) = \frac{1}{g} \{i_a(o) - f\} \dots\dots\dots (38)$$

$$t_w(N) - t_{as}(o) = \frac{1}{g} \{i_w(N) - i_a(o)\} \dots\dots\dots (39)$$

絶対湿度に関しても同様に次式を得る

$$x_a = \{x_a(o) - x_{as}(o)\} e^{-M_1 \cdot n} + x_{as}(o) \dots\dots\dots (40)$$

$$+ \{x_w(N) - x_{as}(o)\} \frac{1}{1 - M_3 \cdot g \cdot e^{-M_5 \cdot N}} (1 - e^{-M_5 \cdot n}) \dots\dots\dots (41)$$

これらを出入口の状態値で整理すると

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{t_a(N) - t_{as}(o)}{t_w(N) - t_{as}(o)} = \frac{t_a(o) - t_{as}(o)}{t_w(N) - t_{as}(o)} e^{-M_1 \cdot N} + \frac{i_a(N) - i_a(o)}{i_w(N) - i_a(o)} \\ &= -\eta_t' + \eta_i \dots\dots\dots (42) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_x &= \frac{x_a(N) - x_{as}(o)}{x_w(N) - x_{as}(o)} = \frac{x_a(o) - x_{as}(o)}{x_w(N) - x_{as}(o)} e^{-M_1 \cdot N} + \frac{i_a(N) - i_a(o)}{i_w(N) - i_a(o)} \\ &= \eta_x' + \eta_i \dots\dots\dots (42') \end{aligned}$$

$$\eta_i = \frac{i_a(N) - i_a(o)}{i_w(N) - i_a(o)} = \frac{t_{as}(N) - t_{as}(o)}{t_w(N) - t_{as}(o)} = \frac{x_{as}(N) - x_{as}(o)}{x_w(N) - x_{as}(o)} \dots\dots\dots (43)$$

さらに式(43)を(42)と(42')に代入するとつぎの関係式が求まる。

$$e^{-M_1 \cdot N} = \frac{t_a(N) - t_{as}(N)}{t_a(o) - t_{as}(o)} = \frac{x_a(N) - x_{as}(N)}{x_a(o) - x_{as}(o)} \dots\dots\dots (44)$$

さて空調和における装置設計では、出入口の空気状態と風量が設定値として与えられその条件を満たすような装置の組み立てが要求される。

いま考えている冷却器については、与条件を満たすような冷却器の大きさ（伝熱面積であるが、実際には管列数(N)で代表される）と、冷却媒体、例えば冷水の温度（ $t_w(N)$ ）や流量（ G_w ）を定めることである。なお最適設計の立場からは、装置全体を見通したうえで、総合評価しなければならないが、ここではそれにはふれない。

管列数と、冷水の入口温度は、それぞれ式(44)および(43)よりつぎのように表わされる。

$$N = \frac{1}{M_1} \ln \frac{t_a(o) - t_{as}(o)}{t_a(N) - t_{as}(N)} = \frac{Ga \cdot Ca}{\alpha a \cdot Aa \cdot Af} \ln \frac{t_a(o) - t_{as}(o)}{t_a(N) - t_{as}(N)} \dots\dots\dots (44')$$

$$t_w(N) = \frac{t_{as}(N) - t_{as}(o)}{\eta_i} + t_{as}(o) \quad \dots\dots\dots (45)$$

冷却減湿器を設計する際、その変数の組み合わせにはたとえば表－１のようなものが考えられる。

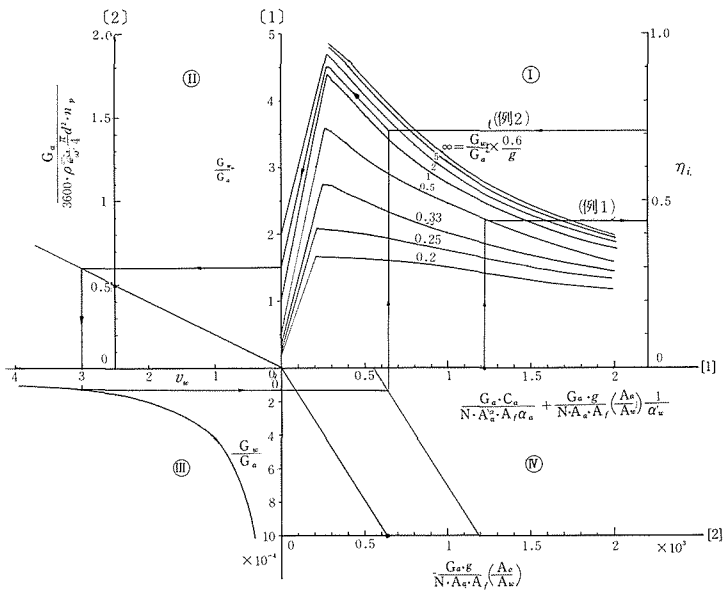
表－１

設計の 種 類	出口 空 気 の 状 態		冷 却 媒 体		装置容量
	$ia(N)$	$ta(N)$ 又は $xa(N)$	$tw(N)$	$v_w(Gw)$	N
イ	/	/	/	? (3)	? (4)
ロ	/	/	? (3)	/	? (4)
ハ	/	? (4)	/	/	? (4)
ニ	/	? (4)	? (4)	/	/
ホ	? (4)	/	/	/	? (4)
ヘ	? (4)	? (4)	/	/	/

共通の設定値： G_a 、 $ia(o)$ 、 $ta(o)$ または $xa(o)$ 、 $va(Af)$

ここで $/$: 与えられる条件
 $? (4)$: 求める値、(4)は図－４を利用して求める意

これらの設計を容易に行うため、前述諸式を利用した設計チャートが図－３、４である。



図－３の説明

①は η_i に関するものである。

$$\text{縦軸} : \eta_i = \frac{ia(N) - ia(o)}{iw(N) - ia(o)}$$

$$\begin{aligned}\text{横軸} &: \frac{Ga \cdot Ca}{N \cdot Aa \cdot Af \cdot \alpha_a} + \frac{Ga \cdot g}{N \cdot Aa \cdot Af} \left(\frac{Aa}{Aw} \right) \frac{1}{\alpha_w'} \\ \text{パラメータ} &: \frac{0.6}{g} \frac{Gw}{Ga}\end{aligned}$$

ところで横軸の値の第2項に含まれる α_w' は v_w ，すなわち Gw/Ga の函数である。以下に説明するように，㉑，㉒，㉓，は与えられた Gw/Ga に対する横軸の値を算出するためのものである。

㉑は $\frac{Gw}{Ga}$ を v_w に換算するためのもので，つぎの関係がある。

$$v_w = \left(\frac{Ga}{3600 \rho_w \left(\frac{\pi}{4} d^2 \cdot n_p \right)} \cdot \frac{g}{0.6} \right) \left(\frac{0.6}{g} \frac{Gw}{Ga} \right)$$

$$\text{縦軸〔1〕} : \frac{\frac{Ga}{4}}{Gw}$$

$$\text{縦軸〔2〕} : \frac{Ga}{3600 \rho_w \left(\frac{\pi}{4} d^2 n_p \right)} \frac{g}{0.6}$$

$$\text{横軸} : v_w$$

ここで縦軸〔2〕の値と原点とを結んだ直線が上記の関係式を満足する。

㉒は v_w に対する $\frac{1}{\alpha_w'}$ の値を求めるためのもので，装置の特性により決まる。（この図は図-6の関係を移したものである。）

$$\text{縦軸} : \frac{1}{\alpha_w'}$$

$$\text{横軸} : v_w$$

㉓は $\frac{1}{\alpha_w'}$ に対する横軸〔1〕の第2項の値を算出するためのものである。

$$\text{縦軸} : \frac{1}{\alpha_w'}$$

$$\text{横軸〔1〕} : \text{㉑の横軸に同じ}$$

$$\text{横軸〔2〕} : \frac{Ga \cdot g}{N \cdot Aa \cdot Af} \left(\frac{Aa}{Aw} \right)$$

ここで横軸〔2〕の値と原点とを結んだ直線により，おのこの $\frac{1}{\alpha_w'}$ に対する横軸〔1〕が表わす第2項の値が求まる。この第1項は設計の際に与えられる定数であるから，結局横軸が表わす値は上

述の直線を第1項の分だけ平行移動すればよい。

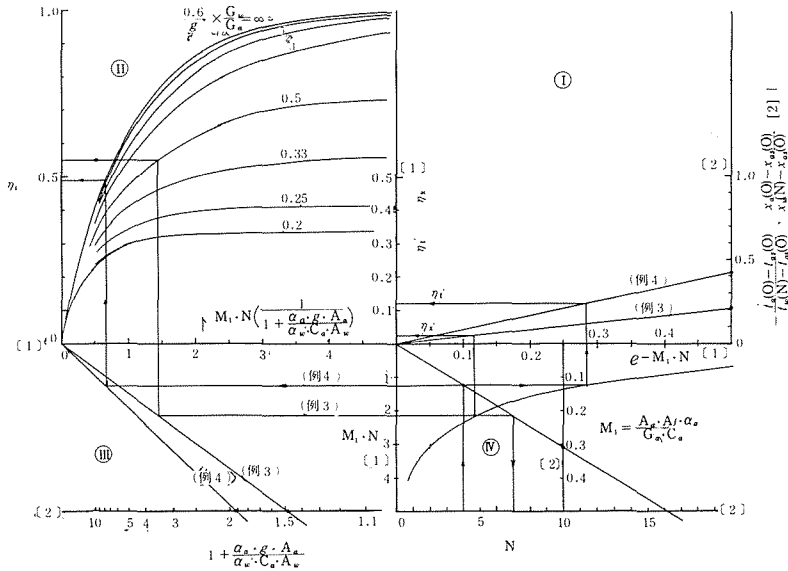


図-4の説明

①は式(42), (42)' の η'_t, η'_x の値を求めるためのものである。すなわち

$$-\eta'_t = \frac{ta(o) - tas(o)}{tw(N) - tas(o)} \cdot e^{-M_1 \cdot N}, \quad \eta'_x = \frac{xa(o) - xas(o)}{xw(N) - xas(o)} \cdot e^{-M_1 \cdot N}$$

$$\text{縦軸 [1]} : \eta'_t, \eta'_x$$

$$\text{縦軸 [2]} : \frac{ta(o) - tas(o)}{tw(N) - tas(o)} \quad \frac{xa(o) - xas(o)}{xw(N) - xas(o)}$$

$$\text{横軸} : e^{-M_1 \cdot N}$$

縦軸 [2] の値と原点とを結ぶことにより縦軸 [1] の値が得られる。

②は η_i に関するもので、横軸には図-3①の横軸の値の逆数 $\frac{1}{\alpha_w}$ がとってある。

$$\text{縦軸} : \eta_i = \frac{ia(N) - ia(o)}{iw(N) - ia(o)}$$

$$\text{横軸} : \frac{1}{1 + \frac{\alpha_a \cdot g}{Aa \cdot Af \cdot Ca} \left(\frac{Aa}{Aw} \right) \frac{1}{\alpha_w}} \times M_1 \cdot N$$

$$\text{パラメータ} : \frac{0.6}{g} \frac{Gw}{Ga}$$

㉓は $M_1 \cdot N$ に対する横軸〔1〕の値を算出するためのものである。

$$\text{縦軸} : M_1 \cdot N$$

$$\text{横軸〔1〕} : \text{㉓の横軸と同じ}$$

$$\text{横軸〔2〕} : \frac{1}{1 + \frac{\alpha_a \cdot g}{Aa \cdot Af \cdot Ca} \frac{1}{\alpha_w'}}$$

$$(\text{ただし図には便利のため } 1 + \frac{\alpha_a \cdot g}{Aa \cdot Af \cdot Ca} \frac{1}{\alpha_w'} \text{ の数値が目盛っている})$$

横軸〔2〕と原点を結ぶ直線により、おのこの $M_1 \cdot N$ に対する横軸〔1〕の値が求まる。

㉔は N と $e^{-M_1 \cdot N}$ を算出するためのもので、曲線は $M_1 \cdot N$ と $e^{-M_1 \cdot N}$ との関係を表わし M_1 軸上の値と原点を結ぶ直線が $M_1 \cdot N$ と N との関係を示すものである。

$$\text{縦軸〔1〕} : M_1 \cdot N$$

$$\text{縦軸〔2〕} : M_1$$

$$\text{横軸〔1〕} : \text{㉓の横軸と同じ } e^{-M_1 \cdot N} = \frac{t_a(N) - t_{as}(N)}{t_a(o) - t_{as}(o)}$$

$$\text{横軸〔2〕} : N$$

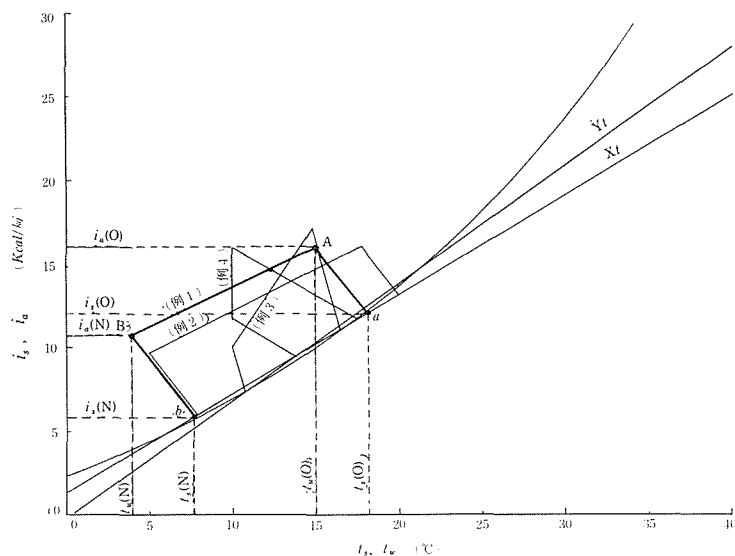
4 適用限界

(1) 冷却器の入口より空気側の伝熱面がすべて濡れた状態にある。

(2) 気液界面の状態が湿り空気の飽和線を直線で近似した範囲にある。

(1)に関しては式(37)を満足する必要がある。

(2)の条件を満足する範囲を図-5の $t-i$ 線図上で説明する。この図には次節の例題の結果が書き入れている。



この図でたとえば〔例題1〕の点A・Bは、それぞれ冷却器の入口と出口の状態 $(i_a(o), t_w(o))$, $(i_a(N), t_w(N))$ により決まり、界面の状態を示す点 a ($i_s(o), t_s(o)$) b ($i_s(N), t_s(N)$) は式(15)の関係から求まる。

すなわち直線 $\bar{Aa}$, $\bar{Bb}$ はつぎの関係を満たしている。

$$\frac{i_a - i_s}{t_w - t_s} = - \frac{Ca \cdot \alpha_w \cdot Aw}{\alpha_a \cdot Aa} \equiv - M_4 \quad (15)$$

例題1の場合は $M_4 = 1.28$ である。

このようにして決まる界面の状態 $a \cdot b$ が、直線で近似された部分にあることが必要であり、この部分より離れた場合に誤差が大きくなる。いまある温度範囲で飽和線との誤差が温度差で 0.5 deg 以内になるように近似直線を選べば、たとえば図に示したような直線 Xt , Yt が得られる。

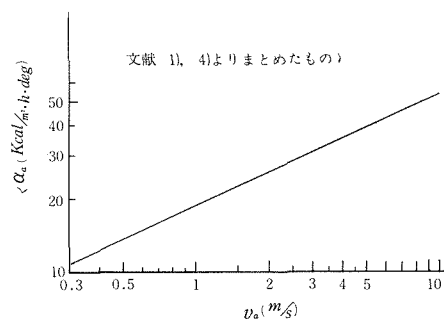
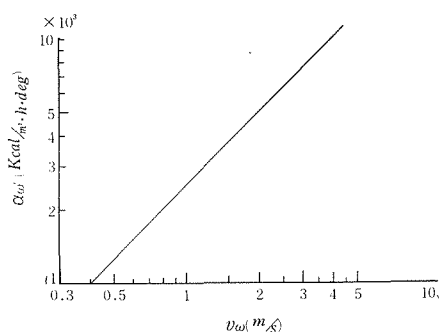
次節の例題は全て近似直線 Xt および Xx を用いたが、界面の状態はほとんど直線で近似された部分にある。

空気のエンタルピ、冷却媒体の温度、あるいは M_4 などの値は、設計前にあらかじめ推測することが可能であるので、適当な近似直線を容易に選らぶことができる。

5 例 題

この例題に使用する冷却器は、つぎのような要目をそなえているものと仮定する。

(ただし一般的な値ではない)



$$Aa = 25, \frac{Aa}{Aw} = 18, \alpha_a \text{ および } \alpha_w' \rightarrow \text{図-6}$$

例 1 表-1, ①の場合

設定条件

$$Ga = 36000, t_a(o) = 29, \quad i_a(o) = 16.2$$

$$v_a \doteq 2, v_w = 1, \quad t_a(N) = 17, \quad i_a(N) = 10.7$$

求める値

$$N$$

$$t_w(N)$$

解

N: 式(44)より求める。ここで

$$Af = \frac{Ga}{3600 \cdot \rho_a \cdot v_a} = 4$$

$$t_{as}(o) = 25, \quad t_{as}(N) = 15.8 \quad (\text{図-1})$$

$$\alpha_a = 26 \quad (\text{図-6})$$

従って

$$N = \frac{Ga \cdot Ca}{\alpha_a \cdot Aa \cdot Af} \ln \frac{t_a(o) - t_{as}(o)}{t_a(N) - t_{as}(N)} = \frac{36000 \times 0.24}{26 \times 25 \times 4} \ln \frac{29 - 25}{17 - 15.8} \doteq 4$$

$t_w(N)$: 式(45)および図-3により求める。ここで

$$Gw = 18000, \quad \alpha_w \doteq 2500$$

$$\therefore \frac{Ga}{N \cdot Aa \cdot Af} \left(\frac{Ga}{\alpha_a} + \frac{g}{\alpha_w'} \frac{Aa}{Aw} \right) = \frac{36000}{4 \times 25 \times 4} \left(\frac{0.24}{26} + \frac{0.6}{2500} \times 18 \right) = 1.22$$

$$\therefore \eta_i = \frac{i_a(N) - i_a(o)}{i_w(N) - i_a(o)} = \frac{t_{as}(N) - t_{as}(o)}{i_w(N) - t_{as}(o)} = 0.44$$

従って

$$\therefore t_w(N) = \frac{t_{as}(N) - t_{as}(o)}{\eta_i} + t_{as}(o) = \frac{15.8 - 25}{0.44} + 25 = 4$$

$$t_w(o) = 15 \quad M_4 = \frac{Ca \cdot \alpha_w \cdot Aw}{\alpha_a \cdot Aa} = \frac{0.24 \times 2500}{26 \times 18} = 1.28$$

例 2

設 定 条 件			求める値
$Ga = 40000$	$t_a(o) = 35$	$i_a(o) = 17.2$	N
$\nu_a \div 2$	$t_a(N) = 16$	$i_a(N) = 10$	Gw
	$t_w(N) = 10$		

解

例 1 と同様に式(44)を利用する。ここで

$$Af = \frac{Ga}{3600 \rho_a \cdot \nu_a} = 4.5$$

$$\alpha_a = 26$$

$$t_{as}(o) = 26.6, \quad t_{as}(N) = 14.6$$

$$\therefore N = \frac{Ga \cdot Ca}{\alpha_a \cdot Aa \cdot Af} \ln \frac{t_a(o) - t_{as}(o)}{t_a(N) - t_{as}(N)} = \frac{40000 \times 0.24}{26 \times 25 \times 4.5} \ln \frac{35 - 26.6}{16 - 14.6} = 5.9 \div 6$$

Gw : 図-3 を利用して求める。ここで

$$\frac{Ga \cdot Ca}{N \cdot \alpha_a \cdot Aa \cdot f} = \frac{40000 \times 0.24}{6 \times 26 \times 25 \times 45} = 0.55$$

$$\frac{Ga \cdot g}{N \cdot Aa \cdot Af} \left(\frac{Aa}{Aw} \right) = \frac{40000 \times 0.6}{6 \times 25 \times 4.5} \times 18 = 640$$

$$\eta_i = \frac{i_a(N) - i_a(o)}{i_w(N) - i_a(o)} = \frac{10 - 17.2}{7.2 - 17.2} = 0.72$$

これらより図-3上での試行錯誤により $\frac{Gw}{Ga}$ を求める。

結局

$$\frac{Gw}{Ga} \doteq 1.5, \quad Gw \doteq 60000 \quad (v \doteq 3)$$

$$t_w(o) = 14.8, \quad M_1 = \frac{Ca \cdot \alpha w' Aw}{\alpha a \cdot Aa} = \frac{0.24 \times 7500}{26 \times 18} = 38$$

例 3 表-1, ㊸の場合

設 定 条 件			求める値
$Ga = 40000$	$x_a(o) = 14 \times 10^{-3}$	$i_a(o) = 16$, $t_a(o) = 31$	N
$v_a \doteq 2$	$x_a(N) = 10 \times 10^{-3}$		$i_a(N)$
$v_w \doteq 1$	$t_w(N) = 5$		

解 図-4 を利用する。

$$Af = \frac{Ga}{3600 \cdot \rho a \cdot v_a} = 4.5$$

$$\alpha_a = 26$$

$$\alpha w' = 2500, \quad Gw / Ga = 0.5$$

㊸を作成する。

$$M_1 = \frac{Aa \cdot Af \cdot \alpha_a}{Ga \cdot Ca} = \frac{25 \times 4.5 \times 26}{40000 \times 0.24} = 0.305$$

㊸を作成する。

$$1 + \frac{\alpha_a}{\alpha w'} \frac{g}{Ca} \left(\frac{Aa}{Aw} \right) = 1 + \frac{26 \times 0.6}{2500 \times 0.24} \times 18 = 1.47$$

㊸を作成する。

図-2, より

$$x_{as}(o) = 16.5, \quad x_w(N) = 5.2$$

$$\frac{x_a(o) - x_{as}(o)}{x_w(N) - x_{as}(o)} = \frac{(14.0 - 16.5) \times 10^3}{(5.2 - 16.5) \times 10^3} = 0.22$$

$$\eta_x = \frac{x_a(N) - x_{as}(o)}{x_w(N) - x_{as}(o)} = \frac{(10.0 - 16.5) \times 10^{-3}}{(5.2 - 16.5) \times 10^{-3}} = 0.575$$

図上で試行錯誤により N と η_i ($= \eta_x - \eta_{x'}$) を求め、 η_i の値から $i_a(N)$ を算出する。

$$N \doteq 7, \quad \eta_i \doteq 0.55$$

$$\therefore i_a(N) = \{i_n(N) - i_a(o)\} \eta_i + i_a(o)$$

$$= (4.3 - 16) \times 0.55 + 16$$

$$\doteq 9.6$$

$$t_{w(o)} = 17.8, \quad M_1 = \frac{Ca \cdot \alpha_{a'} \cdot Aw}{\alpha_a \cdot Aa} = \frac{0.24 \times 2500}{26 \times 18} = 1.28$$

例 4

直膨コイルを利用する場合

設定条件

$$Ga = 40000, \quad x_a(o) = 14 \times 10^{-3}, \quad i_a(o) = 16$$

$$\nu_a \doteq 2, \quad t_{w(N)} = (o), \quad N = 4$$

求める値

$$i_a(N)$$

$$t_a(N)$$

解 図-4 を利用する。

図-4, Ⅲのパラメータは $\frac{Gw}{Ga} = \infty$ をとる。

$$Af = \frac{Ga}{3600 \cdot \rho_a \cdot \nu_a} = 4.5$$

$$\alpha_a = 26$$

$$\alpha_{w'} = 1250$$

Ⅳを作成する。

$$M_1 = \frac{Aa \cdot Af \cdot \alpha_a}{Ga \cdot Ca} = \frac{25 \times 4.5 \times 26}{40000 \times 0.24} = 0.305$$

Ⅲを作成する。

$$1 + \frac{\alpha_a}{\alpha_{w'}} \cdot \frac{g}{Ca} \left(\frac{Aa}{Aw} \right) = 1 + \frac{26 \times 0.6}{1250 \times 0.24} \times 18 = 1.94$$

①を作成する。

図-1 より $t_{as}(o) = 24.8$

$$\frac{t_a(o) - t_{as}(o)}{i_w(N) - t_{as}(o)} = \frac{31 - 24.8}{10 - 24.8} = -0.42$$

$$\eta_i = 0.49 \quad , \quad \eta'_i = 0.12$$

$$\therefore i_a(N) = \{i_w(N) - i_a(o)\} \cdot \eta_i + i_a(o)$$

$$= (7.2 - 16) \times 0.49 + 16 \div 11.7$$

$$\eta_t = -\eta'_t + \eta_i = -0.12 + 0.49 = 0.37$$

$$\therefore t_a(N) = \{t_w(N) - t_{as}(o)\} \cdot \eta_t + t_{as}(o)$$

$$= (10 - 24.8) \times 37 + 24.8 = 19.3$$

$$M_4 = \frac{Ca \cdot \alpha_w \cdot Aw}{\alpha_a \cdot Aa} = \frac{0.24 \times 1250}{26 \times 18} = 0.64$$

6 結 語

湿り空気の飽和線を直線で近似することにより、定常時における空気本体と冷却媒体の状態値を解析的に求めることが可能になった。

直線近似の精度を上げると近似される範囲はせまくなる。しかし飽和線と近似直線との差を0.5 deg 程度まで許せば実際の設計にはさしつかえない程度の範囲が直線により近似されることがわかった。

この近似によって生ずる最終的な誤差は不明であるが、たとえば温度に関しては少なくとも0.5 deg, より小さいことが予想される。

なお、Lewisの関係数を考慮した変形エンタルピを用いて、この方向からの精度を上げることも今後の課題であろう。

文 献

1) 新津 靖 他

フィン付き熱交換器の性能とその設計に関する研究 (1報)

空気調和衛生工学会誌 第39巻 第4号 (1965) P. 372

2) 同 上

同研究 (6報)

同 誌 第42巻 第6号 (1967) P. 615

3) 同 上

同研究 (5報)

同 誌 第42巻 第6号 (1967) P. 605

4) 坂本 守義 他

空調用フィン付管熱交換器

冷 凍 第42巻 第481号 (1967) P. 3