

工場内の気象

久保次郎

1. 工場と気象

我々の生活に関係するものは、すべて大なり小なり気象の影響を受けるが、その中でも特に農業、発電電、交通などは日常生活からみても気象の影響を著しく感ずるものである。一方、日頃直接関係がないので気が付かずにいるが、実際には気象が重要視されているものも少なくない。このようなものの一つが工業であり工場である。

工業の産業中で占める範囲は工業の解釈により広い場合と狭い場合があるが、ここでは狭い場合のいわゆる製造工業について考える。製造工業の中にもいろいろな種類があるが、この中どのような製品を作る工場が気象の影響を著しく受けるであろうか！

工場が気象に影響される面は、まず第一に製造能率であり次が作業員の労働能率である。そのほか直接製造に

は関係しないが、煙突から出る煤煙、電力、水などと気象の問題がある。またここで注意しなければならないのは製造能率や労働能率は直接に地上気象の影響を受けるのではなく工場建築物という一つの建築物内の気象の影響を受けることである。そうして建築物内の気象は地上気象（外界気象）の影響を受けるということである。

数多い種類の工場のうち製造面からみてどのような工場が気象の影響を著しく受けるかという、紡織工場、化学工場などがまず挙げられるが、現在考えられるものは第1表に示したような種類の工場である。表に示した工場では、工場内の空気の温度と湿度（相対湿度）を考慮する必要があり、場合によっては風についても考えなければならないこともある。

第1表 製造能率が気象に影響される工場

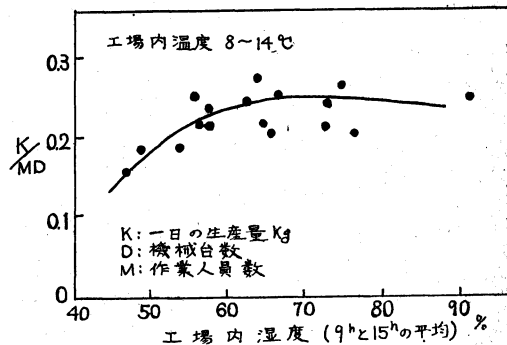
紡織工場	製糸、紡績、織布、製綿、染色、精練	印刷、製本工場	普通印刷、多色印刷、製本
機械器具製造工場	絶縁電線、電纜、通信機部品、電池、計器、時計、光学機械、楽器	食料品、嗜好品製造工場	醸造、澱粉、菓子、パン、砂糖、煙草、茶
化学工場	薬品、油、フィルム、印画紙、肥料、塗料、ゴム	その他の工場	マッチ、皮革品、漆器、塗装
製材、木製品製造工場	製材、建具、家具、工芸品、楽器		

2. 製造と工場内の適温湿度

製造能率、すなわち製品を作る工程の能率や、またでき上がる製品の性質の良否が、工場内の温湿度に影響される工場は第1表に示したが、工場によっては工場内の温湿度を正確に一定の値に保たなければ規格の製品を作ることのできない場合もある。このようなことから工場生産をあげ、またよい製品を作るためには、それぞれの工場に応じた適温湿度が定められる。適温湿度について現在まで調査報告されたものは少なくなく、その一例を第2表に示した。第2表に示した温湿度の値はもちろん絶対的なものでなく、同じ種類の工場によっても、又その時時によっても温度は2~5°C くらい湿度は2~3% くらい異なるのがふつうである。一方、温湿度の日変化や年変化から考えてみると、実際には適温湿度にはある幅が必要であるが、これについては現在のところまだ余り研究されていない。

第2表に示したような適温湿度の値は、製造能率と温湿度の関係を実験的に明らかにし、また作業経験から明

らかにして定められる。たとえば綿糸紡績工場の精紡工程の場合では、毎分の糸の切断回数と温湿度の関係を実験室において調べてみると、温度 26°C のとき湿度45% 前後で糸の切断回数が最小という結果が出てくる。しかし、この湿度を実際に工場内に適用すると、静電気の発生が多くて単糸がばらつき、よい製品ができない。それ



第1図 揚返工程（生糸）の生産能率と工場内湿度

第2表 工場内適温湿度の例

工場の種類	製造工程	温度 (°C)	湿度 (%)	工場の種類	製造工程	温度 (°C)	湿度 (%)			
製糸	繰揚緒仕	糸返留上	18	76	写真フィルム、 印画紙製造	生地への素地塗断 溶裁	22—25	60		
			18	60						
			18	90						
			18	85						
紡	打	混梳	23	65	紙巻煙草製造	原料調和 葉裁卷	20—25	80		
		棉	23	60						
		篠	23	60						
		紡	23	60						
	糸	粗精仕	紡上	24	55	印	刷	輪転機印	20	60—70
			毛	23	70			刷	20	65
			篠	24	62			刷	22	65
			紡	27	80			刷	20	60
績	カ精	下	25	85	漆器製造	上塗乾燥	15	88		
		紡	23	75			20	81		
			25	85			25	75		
			23	70						
織	綿	梳精	24	63	樂器製造	木製部品組立	20	40—50		
		紡	24	67						
		備付布	18	70						
		織	18	70						
	綿	織	布	20	80	マッチ製造	製貯	22—23	50	
				18	70			16	50	
				18	80					
				20	90					
	絹	織	布	25	67	製薬	錠剤、散剤	21—27	30—45	
				25	70					
				25	70					
				25	70					
布	織	布	20	80	製菓	チューインガム チョコレート 製造および包装	20	50		
			18	80						
			18	80						
			20	90						
絹	織	布	25	67	電器	機械製造	捲線製造と 製品保存	16—27	35—50	
			25	70						
			25	70						
			25	70						
羊	毛織	布	20	60						

で最適湿度は約10%増して55%とする。

すべての種類の工場で以上のような考慮を拂って適温湿度を定めているというわけではなく、どちらかといえば、従来から示されている適温湿度に作業の経験を加えて、だいたい自分の工場のそれぞれの工程にはこの程度の値がよさそうであるということから決めているところが多い。

実験室的に適温湿度を定めることは、なかなか大変であるから、簡単に毎日の生産量と工場内の温湿度を比較してみてもだいたいの傾向をつかむことができる。たとえば製糸工場の繰返工程の生産量と工場内湿度を調べてみると第1図のような結果がでてくる。ただこの場合、生産量は、機械台数と作業人員を考慮したものでなければならぬ。

なお第1表に示した適温湿度が工場内に要求される根本的な理由は、主として原料の性質が温度と湿度（特に湿度の影響が大きい）に影響されるからであるが、その一つ一つの説明はここでは省略することにする。

3. 作業員と工場内気象

工場において直接製造能率をあげ、またよい製品に作るには、すでに述べたような適温湿度の値が要求されるが、いくら製造面に都合がよいからといっても、実際に機械を運転し作業を行うのは工場作業員であるから、作業員の能率を無視することはできない。

作業能率と工場内の気象の関係については従来より環境衛生学や衛生気象学の分野で広く取扱はれている問題であって、工場作業で最も能率をあげることのできる適

当な温度湿度の範囲や界限温湿度の値が種々発表報告されている。工場作業に対する適温湿度の数例を示すと、第3表のようである。

第3表 工場作業に対する適温湿度

作業の種類	温度 (°C)	湿度 (%)	摘要
軽作業	坐業	19~21	不 平 少 快 不 適 能 率 最 高 能 率 最 高
	軽作	18~20	
	紡績	17~18	
	織布	21~24	
煙草包装	24	77~80 69	
筋肉作業	筋肉作業	7~9	不 平 少 作 業 高 最 大 作 業 高 最 大
	錫板工	<10	
	靴工	16~19	

人間の作業能率はだいたい暑い寒い快適であるなどの感じ、いわゆる体感に従っており、この体感は人によって異なる場合もある。そこで工場のような建築物内では周囲空気の温度、湿度のほか、風速と壁の温度（輻射）などが体感に関係してくる。このような環境気象要素の幾つか又は全部を用いて体感を一つの値で表現することが従来より行われてきていて、たとえば室内の温度、風速、水張および壁温の四つの要素で感じを求める次のような式がある。

$$S = 11.16 - 0.0556T_a - 0.0538T_w - 0.0372F + 0.00144\sqrt{V}(100 - T_a)$$

S: 感じ, 最適……S-4

T_a: 温度 (°F), T_w: 壁温 (°F),

V: 風速 (ft/min) F: 水張 (mmHg)

このような感じを現わす式は種々発表されているが、

一方、人体の感覚を近似的に示す測器が考案されており、このようなものが、カタ寒暖計とかユーパセオスコープ、グローブ球寒暖計などであり、これらの測器が示す冷却力とか等感温度はその環境気象要素の総合値でもある。又幾つかの気象要素を用いて実験的に定めた有効温度とか作業温度などがある。いずれにしても人間の感覚、すなわち体感を単一の値で示そうとゆうものであり種々の体感表現値の快適に対する値が存在し、その一例を第4表に示した。要するに工場内の気象条件が快適

第4表 体感の快適値

種類	含まれる気象要素	快適	快適範囲	
			下限	上限
等感温度	気温, 壁温, 風速, (水張)	17.0	11.5	22.0
有効温度	気温, 湿球温度, 風速	18.5	13.8	23.0
冷却力(乾カタ)	気温, 風速	6.06	8.36	3.76

であるか否かは、作業員の面から生産量に影響してくるが、非常に高温とか高湿の状態では作業員の健康にも影響し、疲労にもとづく工場災害の発生も増してくる。工場災害の発生頻度と工場内温度の関係を調べた一例によると、災害発生は20°前後で最小で、これより高温でも低温でも発生は大になるようである。

なお作業員に対する工場内の気象には、温度、湿度、風のほかに、空気中に含まれる有毒ガスや塵埃などの問題があるが、ここではふれないことにする。

4. 工場建築と設備

工場内の温湿度、それは建築物内の温湿度であるから建築物というものが外界気象に対し大きな意味をもつ。

一般に建築物は外界気象の変化に対し、内部の温湿度の調節作用をすることはよく知られており、また建築構造を特殊なものにすれば、それだけ内部の温湿度の変化を小さくすることができる。特に必要な場合は温湿度調整装置を用いて工場内温湿度を一定に保つ。

特殊な建築構造とは壁の内外面の間にコルクや鋸屑を入れたり空気層を作ったりし、窓ガラスは二重にするなどして内外面間の熱伝導を悪くしたものであり、又建物の隙間をできるだけ小さくしたものである。温湿度調整装置には圧縮空気の水をノズルの先から霧にして出す低圧噴霧とか直接給湿とかいわれるもの、ボイラーで発生させた蒸気をパイプの穴から噴出させるもの、およびキャリヤーと称して、外気を加熱室、噴霧水室とおして適当の温湿度の空気にしてこれを送風機で工場内に送るものがある。工場や工程の種類の違いから特殊な建築や設備を用いたり用いなかったりするが、今紡織工場を例にとって示すと第5表のとおりである。

なお表に示した以外の工場では、大きな紡績工場のほとんどがC-1であり、煙草工場がC-1、フィルム印画紙工場がC-3などが示される。楽器工場なども木製品

を扱うから最近ではS-3、C-3とする傾向にある。

第5表 工場建築設備の例

種類	工程	建築構造	温湿度調整	W:普通の木造 S:木造防寒壁体屋根 C:コンクリート 1:低圧噴霧 2:蒸気噴出 3:キャリヤー
絹織物	織布	W		
	準備	W		
	管巻	S又はC		
特殊絹織物	織布	S又はC	1,2又は3	
	準備	C		
	糊付	C		
綿織物	織布	C	1	
	繰糸	W	2	
	揚返	W	1	
製糸	緒留	W	1	
	仕上	C	1	
	混打棉	C		
綿絲紡績	梳棉	C		
	練條	C	1	
	粗紡	C	1	
	精紡	C	1	
	仕上	C	1	

5. 工場内温湿度と外界気象との関係

建築物内に人間その他人工的な発熱源の存在しない、いわゆる自然状態の建築物内の温湿度が、建築物固有の温湿度であり、これが外界気象にどのように影響されるかということは根本的な問題であり、また建築物の良否の判定の基礎ともなる。しかし実際には工場内には種々の発熱源があり、又人工的な換気、暖房が行われ、更に温湿度調整を行う場合もあるから、自然状態の温湿度を検討することに加えて、運転中の工場内の温湿度が外界気象の変化によりどのように変化するか、温湿度調整がどの程度外界気象の影響を受けるかなどを明らかにする必要がある。

ふつう建築物の熱損失と気象との関係を明らかにする場合は、壁体をとおして移動する熱量を知るために、壁の内外表面における空気との熱交換現象と壁体内部の熱伝導を考える。今外気温を t_a 、建築物内温度 t_i とし $t_i > t_a$ なる常定状態を考えると、建築物内から外に傳達される熱量は $Q = U(t_i - t_a)$ で示される。Uは壁全体についての熱伝達係数であり $\frac{1}{U} = \frac{1}{f_a} + \frac{1}{f_i} + \frac{1}{K}$ で示され、 f_i , f_a はそれぞれ壁の外面と内面における熱伝達係数 (kcal/m²ht), Kは壁体内部材料の熱傳導率 (kcal/mh°c) を厚さ (m) で割った値でQは1m²の壁

を1時間に移動する熱量 kcal で示される。なおこの場合 f_i は吸熱係数、 f_a は放熱係数であり、壁面材料別に実験的に求められており、たとえば第6表のようである。

第6表 f_i の値 Kcal/m²h °C f_a の値は、風がある場合は外壁表面と空気の熱交換が盛んになるから、 f_i の値に風速を考慮した値となり、一般に次式で示される。

材 料	f_i
煉 瓦	6.6
コンクリート	6.3
木 材	6.8

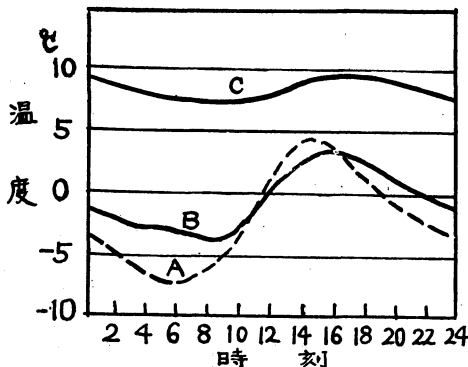
$$f_a = f_i (1 + C\sqrt{v}) \quad \text{Kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$$

v : 風速 m/s $C=0.8\sim 1.0$

以上のことから壁体の構造と材料さえわかれば全熱傳達係数 U の値が計算できるが、だいたい U はどの程度の値であるかという、普通の木造や、表面にモルタル、コンクリートを塗った厚さ 10cm ぐらいの壁体では 2~3 であり、同じ厚さでも防寒壁体では 1 前後の値である。このような熱傳達係数は屋根や床、窓ガラスについても同じように計算できる。

建築物が冷却する原因としては熱傳達のほか、隙間をとおして内外の空気が入れ替わる自然換気がある。自然換気量は風が弱いときは内外の温度差に比例するが、風が強いと直接空気が隙間から吹込んだり、内部の空気が吸い出されたりする。風速と空気の吹きこみ又は吸い出しの量との間には $V = av\sqrt{k}$ (a, k : 常数, $k \leq 1$) なる関係が示される。この自然換気による熱の損失は大きい場合は熱傳達による熱損失と同程度になることもある。

以上は建築物の熱損失という一例であったが、ある一日の建築物内の温度の変化には、気温や風のほかに、日射や床の熱傳達が影響し、雨や雪のような現象も当然影響を及ぼす。しかし実際に建築物内の温度の日変化を調べてみると、ある一日については気温の日変化と関係づ



第2図 外気(A)と工場内(B, C)の温度の日変化

けることができる。第2図は普通の木造建築の工場(B)と防寒壁体屋根の工場(C)と外気(A)のそれぞれの温度の冬季における快晴の日の日変化の一例であるが、日較差はABCの順に小さくなる。また日平均気温はABCの順(ただし夏はACBの順)に高くなる。最高最低の現われる時刻は建築物内では、ふつう外気より2~3時間おそいが、同じ建築物でもBよりCの方が更におそい。

第2図に示したような建築物内の温度の日変化は外気温、床下温度および換気量で以て、理論的に示すことができる。今ある時刻 t における外気温度を T とするとき $T = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi)$ (1) ただし A_0 : 平均気温, A_1 : 振幅, $\omega = \frac{2\pi}{\text{週期}}$, ϕ : 位相, のごとく変化するとすれば、時刻 t における建築物内の温度 θ は次式で示すことができる。

$$\theta = \frac{N}{K} A_0 + \frac{E}{K} + \frac{N}{\sqrt{K^2 + \omega^2}} \times A \sin(\omega t + \theta - p) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $K = \frac{s_1 k_1 + c_p v + s_2 k_2}{H}$, $N = \frac{s_1 k_1 + c_p v}{H}$

$$E = \frac{s_2 k_2 e}{H} \quad \tan p = \frac{\omega}{K}$$

H : 壁体の熱容量と建築物内熱容量の和 (壁体のほうが非常に大きい) (kcal)

k_1, k_2 : 壁体および床の熱傳達係数 (kcal/m²h °C)

s_1, s_2 : 壁体および床の熱傳達する面積 (m²)

c_p : 空気の比熱×密度=0.31

v : 換気量 m³/h e : 床下温度 (一定とする) (°C)

要するに (2) 式は

$$\theta = aA_0 + b + cA_1 \sin(\omega t + \theta - p) \dots\dots\dots (3)$$

という形で示され、 a, b, c は建築構造により定まる常数であり、常に $a, c < 1$ であり、普通の建築物では c は $\frac{1}{2}$ 以下で防寒壁体の建築物では $\frac{1}{5}$ 以下となる。

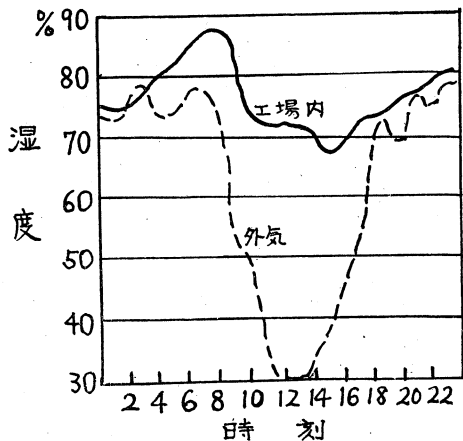
また建築物内の温度は常に外気温より p だけ位相がおくれ、普通の建築物では外気より 2~3 時間おくれるが防寒壁体の建築物では 5 時間ぐらいおくれる。

(1) (3) 式の関係は、ある一月間の毎日について同じ常数で成立つとみてよいから、ある一月間の毎日のある時刻の外気温と建築物内温度は一つの直線関係で示すことができるし、また (3) 式から明らかのように外気日平均温度と建築物内日平均温度は一つの直線関係にあることがわかる。工場などで外気温度から工場内温度を推定しようというときは、ふつう一日の平均温度について考えることも多いから、その一例を示してみる。 T_a を外気の日平均温度 (°C), T_i を工場内の日平均温度とすると、12月および1月について、簡単な防寒壁体の工場では $T_i = 0.80T_a + 4.8$ であり、普通の木造の工

場では $T_i = 0.95T_a + 2.4$ というような式が示され、各月に対してこのような一次式が求められる。

なお、ふつう建築物の熱的性質を明らかにする場合は、各月について、毎時の月平均値を求めて (1) (3) 式に従って計算を行う。

次に工場内の湿度 (相対湿度) であるが、この日変化は換気量が少いときは工場内温度と正反対の変化をし、



第3図 外気と工場内の湿度の日変化

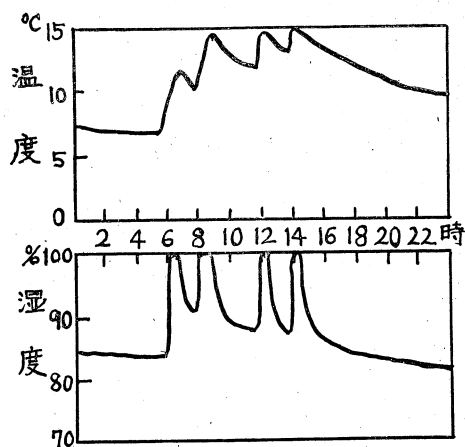
だいたい外気湿度の変化に従って変化する。又振幅は外気湿度より小さい。以上のような一例が第3図である。又同じ工場でも一日の温度の変化が小さく換気量の少いほど工場内湿度の振幅は小さい。すなわち防寒壁体とした建築物のほうが工場内に一定の湿度を保ちやすいのである。

温度のところで示したようにして、工場内の湿度と外気湿度は一次式で示すことができる。たとえば普通の建築構造の工場につき12月と1月に対しては、 H_i, H_a をそれぞれ工場内と外気の日平均湿度 (%) とすると $H_i = 0.44H_a + 38.0$ という一例が求められる。

それでは次に温湿度調整を行う工場内の温湿度について考えてみよう。その温湿度の変化は第2図や第3図に示したものと全然異っていることはもちろんで、 20°C 、90%を標準とする特殊織物工場内の温湿度の冬季における一例が第4図に示したものである。このような工場についても外気と工場内の温湿度の関係を明かにしておくことは工場運転上たいせつなことである。なおこの場合は作業時間内の平均温湿度を考えて、次のような関係が求められる。

$T_i = 0.57T_a + 13.0$ $H_i = 0.09H_a + 84.4$, (12月, 1月)
 T_a, H_a および T_i, H_i はそれぞれ8, 10, 13, 15時の外気と工場内の温度 ($^{\circ}\text{C}$) と湿度 (%) の平均である。このような関係からみても、温度や湿度の調整能力は非常に外気の温湿度に影響されることがわかる。

この項の最後として換気について記してみる。自然換気については前にものべたが、工場によっては強制換気



第4図 温湿度の調整をおこなう工場内の温度と湿度

を行う場合も少くない。建築物内の空気容積で1時間の換気量を割ったものを換気回数といい、この換気回数を気象観測値から求めることもできる。すなわち外気と工場内の絶対湿度の日変化を用いるのである。外気の絶対湿度は $S_a = S_0 + \sin(\omega t + \phi)$ (4) で示される。

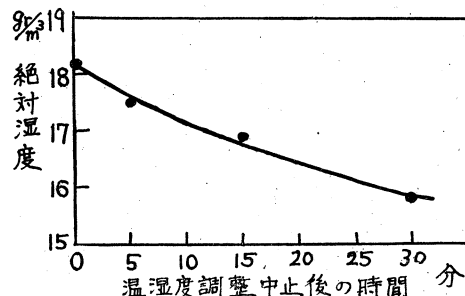
ここで S_t :時刻 t における絶対湿度 (gr/m^3), S_0 : 毎時の絶対湿度の平均 (gr/m^3), $\omega = \frac{2\pi}{\text{週期}}$ ϕ :位相。この場合、建築物内の絶対湿度は次式で示される。

$$S = S_0 + \frac{K}{n} + \frac{S_0 n}{\sqrt{n^2 + \omega^2}} \times$$

$$\sin(\omega t + \phi - p) \dots \dots (5), \tan p = \frac{\omega}{n},$$

n :換気回数, K :一定の放出水蒸気量 (gr/m^3)
 (4), (5) 式から振幅のちがひ、又は位相差から簡単に換気回数が求められる。ふつうの工場についての観測値から換気回数を求めてみると0.2~0.5で、住宅などの0.5~1.0にくらべると大分少ない。

温湿度調整を行う工場などで、どの程度の換気回数であるかを知りたい場合がよくある。特に湿度を90%近くに保つ工場では作業員の体感上からも換気回数を知っておくことが望ましい。このような工場に対しては、やはり温湿度の観測から簡単に換気回数が求められる。



第5図 温湿度調整中止後の工場内絶対湿度の減少と時間との関係 (外気 $7.3 \text{ gr}/\text{m}^3$)

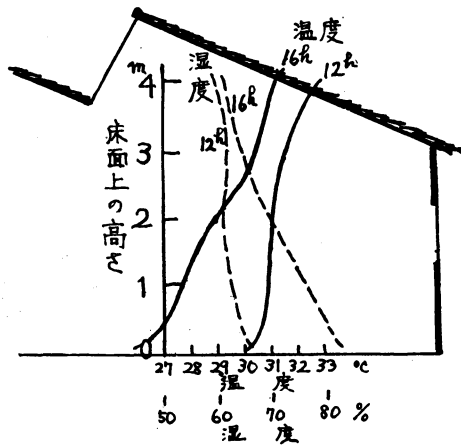
たとえば高湿度を保つ工場で、20分なり30分なり湿度の調整を止めれば、工場内の絶対湿度は当然時間とともに少なくなる。このような一例が第5図である。この場合は短い時間であるから、外の温度、湿度、風速は一定とみなすと、 $S - S_0 = (S_0 - S_a) \times e^{-nt}$ が成立つ。ここで S, S_0 : 工場内と外気の絶対湿度、 t : 中止後の時間、 S_0 : $t=0$ のときの工場内絶対湿度、 n : 換気回数である。第5図の場合は $n=0.4$ である。

6. 工場内の温湿度の分布

一般に建築物内の温湿度は窓ぎわ壁ぎわと中央では異なり、又床からの高さによっても異なる。このため水平分布、垂直分布を考慮する。工場について、水平 垂直分布を明らかにすることは、温湿度の観測位置の決定にもたいせつであるが、また工程を行う場所の決定にも重要なことである。

側壁に窓がある普通の構造の建築物では 水平的にみて窓ぎわと中央では温度のちがいは最大 3°C ぐらいであり、湿度のちがいは最大 4% ぐらいである。

次に垂直分布はどうかとゆうと 第6図に示した一例の

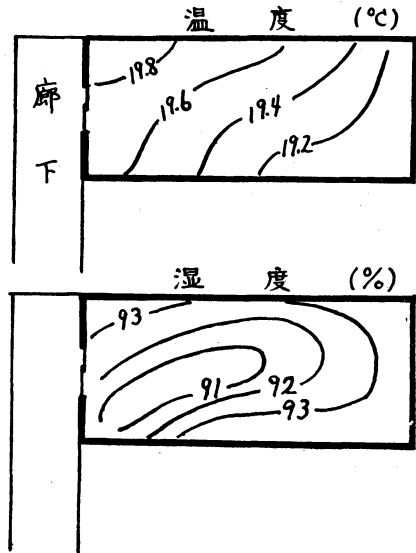


第6図 工場内温湿度垂直分布 (8月晴の日)

ように、温度 湿度ともに床からの高さにより非常に変化する。なお風が強い場合は、普通の建築構造では水平、垂直的な温湿度の変化は上に示したよりも更に激し

くなるが、防寒壁体構造であれば隙間風が非常に少いから変化が小さいことはもちろんである。

実際に工場技術者が温湿度分布に気をくばるのは、なんとといっても温湿度調整を行う場合である。果して温湿度調整装置によって工場内の各所が望んでいる温湿度になっているかどうかである。このような場合は工程を行う一定の高さについての温湿度の水平分布を検討して見る必要があり、この一例として 20°C 90% を標準とする工場について観測した結果が第7図に示したようなものである。これからみると この工場の温湿度調整の状態はまず良好といえる。



第7図 温湿度調整時の工場内の温湿度の水平分布

7. あとがき

工場内の気象とゆう問題につき温度湿度を中心にして述べたが、説明の不十分な点があつてわかり難い点も多いと思ひ、また工場内の風については現在あまり調査されていないので省略した。なお、外気と工場内温度や換気の関係は、建築物内の気象についての赤井清康氏の一連の研究による基礎理論を参考にさせていただいた。

(中央気象台)

寄稿歓迎

1. 原稿 この雑誌にふさわしい気象学およびそれに関係ある産業気象、応用気象などの小論文、解説、総合抄録、翻訳、ニュースなどを歓迎します。原稿の長さは、400字詰原稿用紙 15枚程度以内を原則とします。

採否は編集委員にお任せ下さい。なお編集の都合で、編集委員が手を加えたり、書きなおしをお願いすることがあります。校正は編集委員にお任せ下さい。

原稿はなるべく 25字詰原稿用紙を用い、新かなづかい、当用漢字に願います。

原稿には内容にふさわしいカット、写真などをおそえ下さると好都合です。

2. 写真 表紙や口絵にふさわしい写真に、説明をそえてお送り下さい。大きさは随意ですが、製版に適したコントラストのよいものに願います。

3. 別刷 小論文には別刷 50部をさしあげます。

4. 質疑応答、読者欄を設けてありますから御利用下さい。

5. 送り先 東京都杉並区馬橋4丁目 気象研究所内
"天気" 編集委員