

(研究資料)

木材乾燥室に用いた熱線風速計

(Research materials)

A Hot-wire Anemometer Applicable to Lamber Dry Kiln.

Shin TERAZAWA and Takuzō TUTUMOTO

寺 沢 真⁽¹⁾
筒 本 卓 造⁽²⁾

I 緒 言

最近の木材人工乾燥室には I. F. 型送風方式が採用されているため風量が多くなり、これにともない室内気流の測定、あるいは操作と関連した風速と蒸発速度の関係などが重要視されてきた。過去においては木材乾燥に関係した風速試験に回転風速計が用いられていたが、これは 0.5 m/s 以下の微風速の測定が困難であり、棧積材間などの狭い場所には適用できなかつた。また、構造上から見ても乾燥室内のような高温多湿の中で使用すると機械的に故障をおこしやすく、あまり適当したものといえなかつた。

当研究室においてはスタートバンド式乾燥室の試験研究と同時に乾燥室内の気流測定用として熱線風速計を利用したが、熱線部の機械的脆弱さや携帯および取扱いの不便から、その応用範囲も研究室内での使用程度にとどまり出張試験等には不適當であつた。

一方木材乾燥室における風速分布の均一化、あるいは乾燥速度と風速との関係などはゆるがせにできないことがらであるが、前者は乾燥室内の温湿度分布条件とあわせ考えるべき問題であり、後者は減率乾燥期間においてはあまり問題にならぬ因子であるため、風速測定のみにあまりの精度をあげ、あるいは労力をついやすことは当を得たこととはいえず、これに用いる計器も多少精度は低くとも取扱いの容易な経年変化の少ないものが望ましく、破損に際してもただちに応急修理の可能なことが必須条件となる。

ここにとりあげた熱線風速計も以上の目的のために試作したものであるため、機構的にはきわめて簡単なもので使用部品計器から見ても精度はあまり望めないが、現段階の木材乾燥関係の測定実験に使用するには充分にあうと思われるし、一般市販熱線風速計が比較的高価で木材乾燥室内で使用するには型状、構造の点から見てあまり適当でないため、乾燥室内気流測定に熱線風速計を使用してみたいと思う人のためにわれわれが試作した計器の概略を発表し、この方面の参考の一助にしたいと考える次第である。

なお、本器の試作試験について種々御教示下された東大理工学研究所内田茂男氏に深く謝意を表する次第である。

II 熱線風速計回路の選択

熱線風速計の原理は微細な白金線に一定電流を流し、加熱された白金線が風の強弱により温度変化を生ずる際の抵抗変化を適当な方法により求め風速を知るものである。熱線風速計の回路は種々あつておの

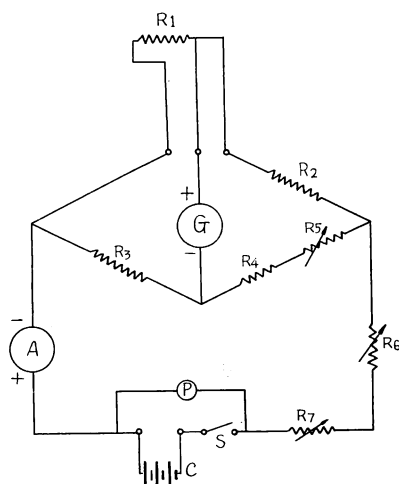


Fig. 1 試作した熱線風速計の回路図
R₁ 白金線

の特徴をもっているが、木材乾燥室内気流のごとく 0~4 m/s 程度を対象とし、比較的精度の低いメーター類で容易に組み立てられるものとしては Fig. 1 のときホイストンブリッジタイプのものが適当と考えられる。この回路に電つきおこなった測定方法は、無風状態で白金線に一定電流を流し R₅ を調整して平衡状態 (G のふれを 0) にして、風をあてた時の (1) G のふれで読む方法と、(2) 不平衡の G を白金線電流値を増加することによりふたたび平衡にした時の電流値で求める方法の 2 種とした。

なお、乾燥室内のごとく温度変化のある場合には当然温度補償型熱線風速計を使用すべきであり、これについても 2, 3 の試作をこころみ実験的には好結果を得たが、エレメントが大きくなることや R₅ の摺動抵抗を白金線の近くにおき、小型にまとめようとするため機械的に抵抗値が

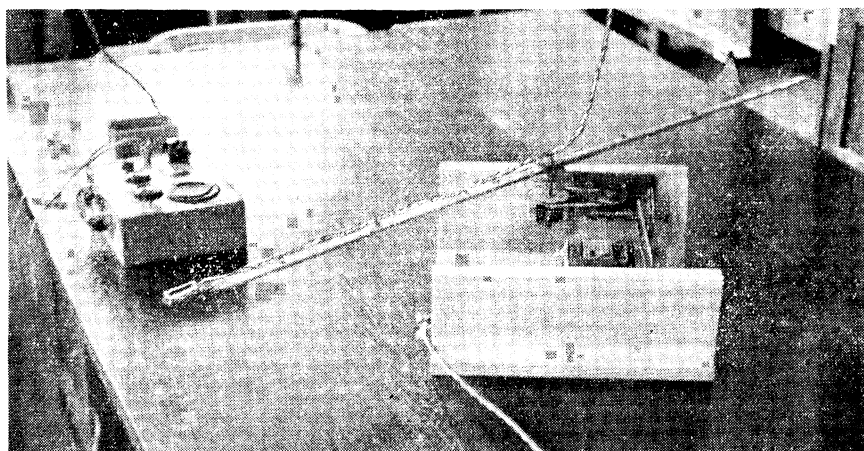
Ⅲ 実験方法

Fig. 1 に示す回路の各部品を乾燥室内気流測定に都合よいように決定するために次のような実験をおこなった。

1. 実験装置

a. 廻転腕

まず、各種試験をするために一定風速を白金線部に与える装置として Phot. 1 に示す廻転腕を作った。この構造の大略はまず 1/16HP 変速モーターの回転を 60:1 のウォームギヤーで減速し、さらにこれを段プーリーで廻転腕に伝達し、8~90 RPM の回転が得られるようにし、さらに廻転腕は 0.2~1 m の範



Phot. 1 廻転腕と熱線風速計

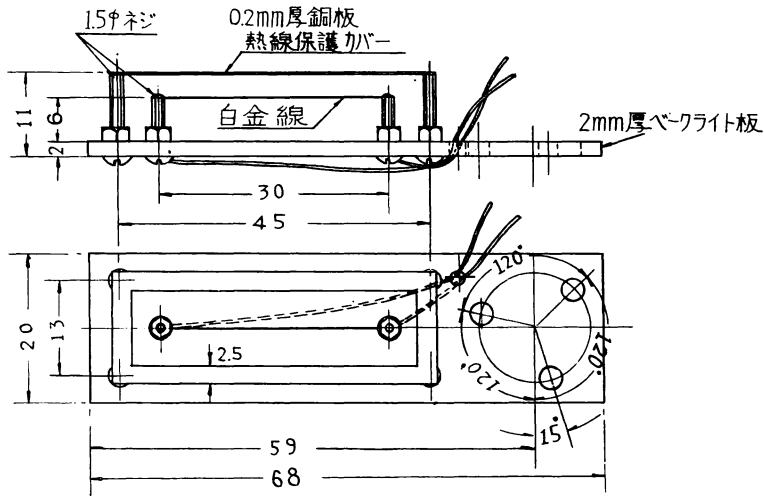


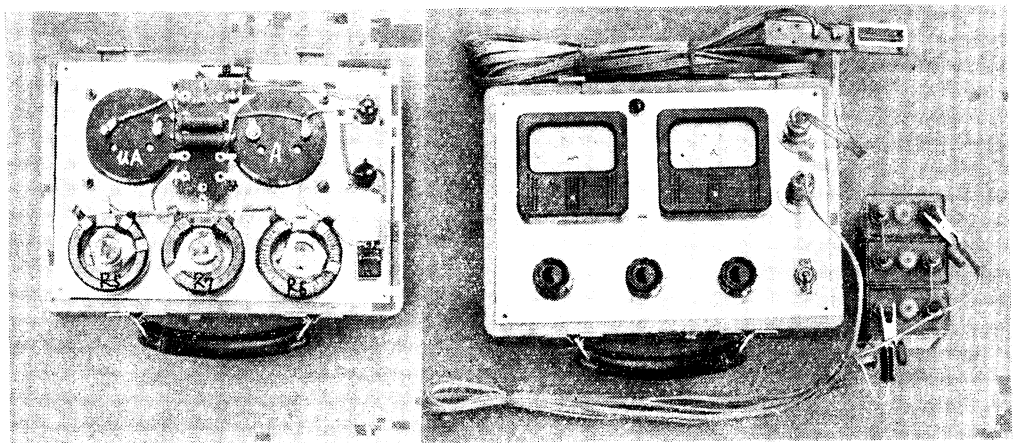
Fig. 2 白金線部の構造

囲で異なつた長さのものを作り、 $0.2 \sim 5 \text{ m/s}$ の周速度が得られるようにした。使用に際してはこの回転腕の先端に白金線部をとりつけ、回転軸中心より白金線の中央部までの距離をもつて半径として回転させ、周速度はその半径と回転数とから算出した。この際計器と白金線とを結ぶ配線は回転腕中心直上部の天井からたらし、腕にそわして白金線部まで導き、回転中に生ずるよれは適当に逆回転することにより除いた。回転試験をおこなう際には回転腕を2回以上連続して廻わすと Swirl が生じて誤差を生ずるわけであるが、量的に $1 \sim 2\%$ 前後と思われるため一応無視することにした。

b. 白金線部の構造

白金線部は棧積内のような狭い場所に挿入して測定でき、また外圧から保護するため Fig. 2 に示すような形状とした。測定にあつては白金線部右端に補助の細板をナット止めして用いるが、図のように孔を開けておくと白金線部と細板とを直角または平行とすることができた。

白金線の長さは標準として 3 cm としたが、 1 cm 、 2 cm のものと比較をおこなつた。白金線の太さは直径 $0.065 \sim 0.075 \text{ mm}$ の範囲を標準とし、ほかに 0.03 mm のものを比較試験に用いた。



Phot. 2 熱線風速計の部品配置写真（写真左は内部構造を示す）

白金線部と計器とを結ぶ約 5 m の配線は Fig. 1 のごとく 3 線結合とし、配線途中の温度変化に対する補償をおこなった。

c. メーター類

アンメーター類は携帯輸送などの関係からあまり精度の高いものは不適当なため class 2.5 のものとし、Fig. 1 の A は 0~1.0 Amp. のアンメーター、G は 0~200 μ A のマイクロアンメーターを使用し、Phot. 2 のごとく配置した。しかし温度の影響等細部の比較をおこなうためには、A は 0~1.5 Amp., class 0.5, マイクロアンメーターは 0~50 μ A, class 2.5 のものを使用した。

d. 抵抗類その他

各種抵抗の規格は下記のように定め、Phot. 2 のごとく配置した。ただし、 R_2 の抵抗は配線の温度補償を完全にするために、常温で R_1 に基準電流を流した時の抵抗値とほぼ同一になるよう調整した。電源としては 6 V, 3 Amp. h コロイドバッテリーを使用した。

- R_1 白金線 ϕ 0.065~0.075 mm, 長さ 3 cm~1 cm
- R_2 マンガン線 (長さ約 25~30 cm, ϕ 0.4 mm, 抵抗 0.8~1 Ω)
- R_3 1.5 k Ω 固定抵抗, 容量 1 W
- R_4 750 Ω “ , “
- R_5 1.5 k Ω 可変抵抗, 容量 50 W (巻線型)
- R_6 3 Ω “ , “
- R_7 30 Ω “ , “

2. 実験の内容

以上の部品を Phot. 2 のように組み立てた熱線風速計により次のような試験をおこなった。

a. 風速の測りかた

前述したごとく測定しようとする気流温度内の無風状態で平衡状態にあつた回路が白金線に風を与えたときに不平衡になつた値で求める方法 (A 法) と不平衡の状態を白金線電流を増加させることによりふたたび平衡にもどした時の電流値で求める方法 (B 法) についておこなつた。しかし、A 法は種々の誤差がはいりやすく、あまりわれわれの目的には適当でないため一部の項目についてしか試験をおこなわなかつた。白金線基準電流は A, B 法とも 0.3~0.8 Amp. の範囲についておこなつた。

b. 電流値と風速との関係

白金線の太さ、長さおよび基準電流値を種々変化させ、前記廻転腕にとりつけ風速と電流値との関係を求めた。この際測定は常温室内でおこなつた。また、温湿度に対する誤差を測定するためには廻転腕を大型恒温恒湿室内に入れておこなつた。

Ⅳ 試験結果と考察

1. 白金線の長さの影響

白金線は直径 0.075 mm を使用し、初期基準電流を 0.3, 0.5, 0.7 Amp. 等とし、白金線の長さを 1, 2, 3 cm とした場合の A 法, B 法の測定結果を Fig. 3, Fig. 4 に示す。A 法では白金線が長いほど感度がよく、B 法ではその差が A 法に比較してきわめて少なく、基準電流の少ない方が影響は少なかつた。

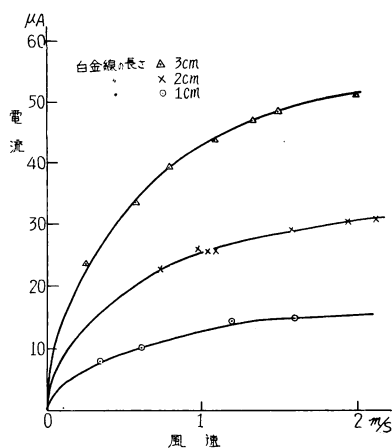


Fig. 3
A法による白金線長さと電流値との関係
白金線直径 0.075 mm 基準電流 0.7 A
室温 18~20°C

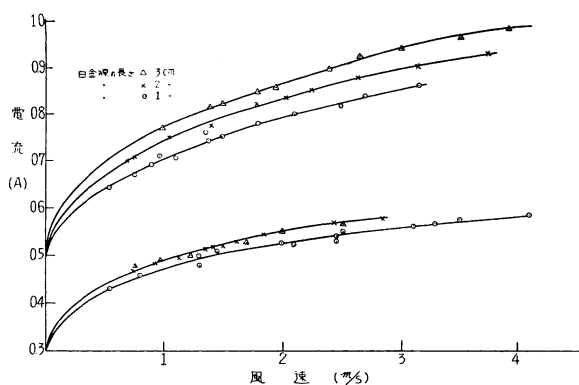


Fig. 4 B法による白金線長さと電流値との関係
白金線直径 0.075 mm 基準電流 0.3, 0.5 A
室温 17~20°C

A法における白金線長さと不平衡電流値との関係は、風を与えたときにブリッジ両端にかかる電圧が変化しなければ比例的に増加するはずであるが、白金線に風があたつた際に抵抗値が減少し白金線電流が増加するため、電池の容量、 R_0 、 R_T の影響を受け電圧低下があるため理論的な値とならない。B法におい

ては白金線の長さの影響はないはずであるが、白金線を張つてあるステムへの熱伝導などの影響はいり、一定長さ以下では差異があらわれるものと考えられる。このためあまりに短い白金線を使用することは、張りかえのつと特性が著しく変化して、A、B法とも好ましくないと思われる。

2. 白金線の太さの影響

白金線の長さを 3 cm とし、直径 0.075 mm および 0.03 mm の 2 種につき、基準電流を 0.3 A としておこなつた結果は Fig. 5, Fig. 6 のごとく、A 法では細いもの、B 法では太いものの方が感度はよかつた。

白金線の太さについては、それ自体のもつ熱容量の関係か

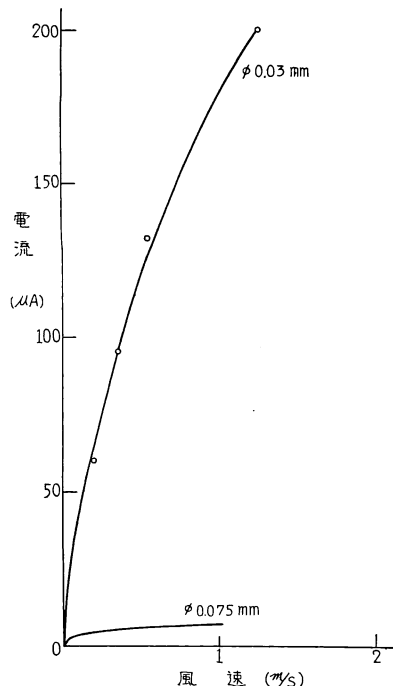


Fig. 5
A法による白金線直径と電流値との関係
白金線長さ 3 cm 基準電流 0.3 A
室温 21°C

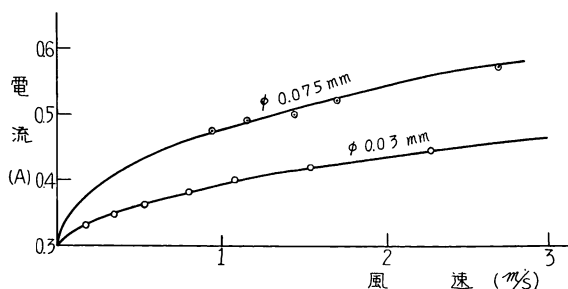


Fig. 6 B法による白金線直径と電流値との関係
白金線長さ 3 cm 基準電流 0.3 A 室温 19°C

らあまり太いものは変動気流の測定にはおくれが生じて好ましくないといわれるが、木材乾燥室では風速変化が時間的にあまりなく、多少あつても平均風速として測定したい場合が多いので、この点の考慮はあまり必要でなく、また、強度の面からみても太いものの方がよいと一応考えられる。しかし、温度誤差を少なくするために白金線を比較的高温度の状態で使用するために電池容量を大とせねばならず、太くすることは不適當であろう。

3. 白金線の経年変化

白金線は使用中に伸びるが、この場合白金線は長くなり、細くなつていられる。古くなつて、たる

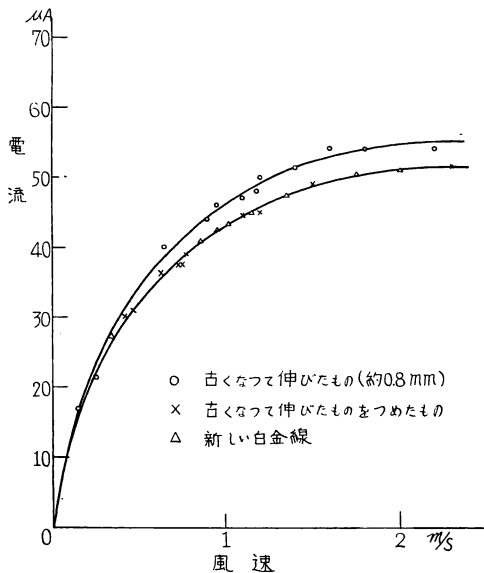


Fig. 7 A法による白金線の経年変化
白金線直径（新）0.075 mm 長さ 3 cm
基準電流 0.7 A 室温 15°C

んだものにつき、伸びの量を測定した結果は 3 cm の長さに対して大略 0.8 mm 前後であつたが、この際生ずる誤差は試験結果 1, 2 の条件が介入したものと考えられ、A 法では感度が高まり (Fig. 7), B 法では感度が低下する (Fig. 8)。

この図に×印で示したものは長くなつてたるんだものをきりつめて張り直した結果である。A 法ではかなりの誤差を生ずるが、長さをきりつめれば比較的誤差は少なく、B 法では低風速においてはあまり誤差がなく、長さをつめても変化がないようである。

白金線の伸びを防ぐには白金線を比較的低温の状態で使用すればよいが、感度が低下し、温度誤差が多くなるためあまり適当でなく、ときおりに新品を張りかえるか、使用のつど調整すべきであろう。また、測定方法から見れば白金線のたるみは長さおよび太さの変化であるから、長さの誤差

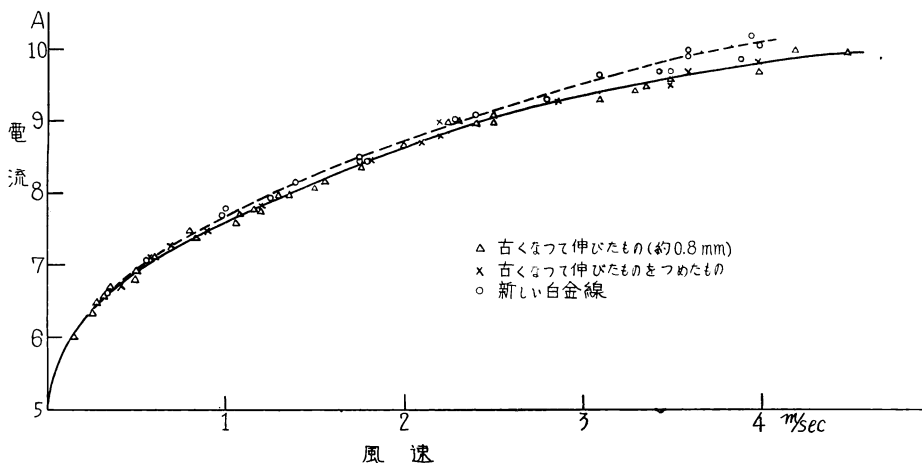


Fig. 8 B法による白金線の経年変化
白金線直径（新）0.075 mm 長さ 3 cm 基準電流 0.5 A 室温 16°C

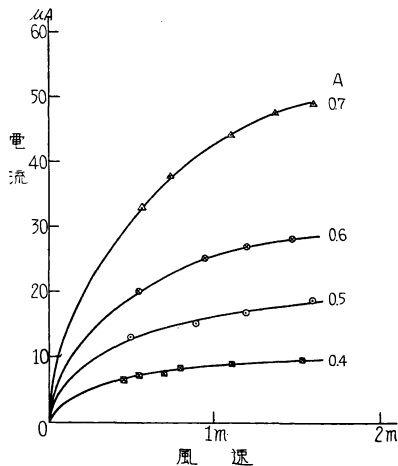


Fig. 9 A 法による基準電流の変化と感度との関係
白金線直径 0.075 mm 長さ 3 cm
室温 21°C

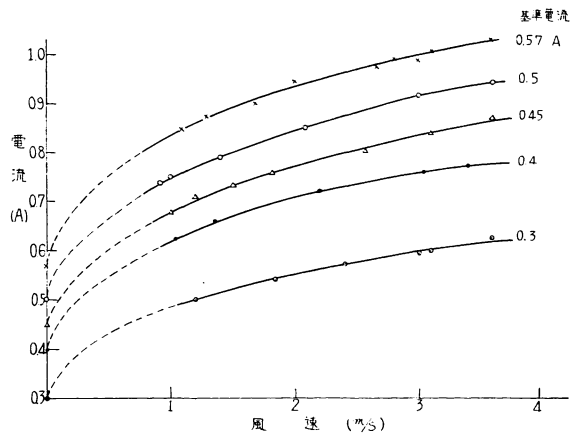


Fig. 10 B 法による基準電流の変化と感度との関係
白金線直径 0.068 mm 長さ 3 cm 室温 19°C

の少ない B 法の方が優つているといえよう。

4. 基準電流

白金線の長さを 3 cm 一定とし、太さは A 法で 0.075 mm, B 法では 0.068 mm を用い、基準電流を変化させた場合の電流値と風速との関係を A 法においては Fig. 9, B 法においては Fig. 10 に示す。両者とも基準電流の多いものが感度がよくなっている。なお、白金線太さ 0.03 mm および 0.068 mm のものはそれぞれ基準電流約 0.3 A, 0.75 A で赤熱した。白金線電流の多いことは感度の点からはよいが、使用中に白金線が伸びて誤差を生じやすい。

5. 温湿度による誤差

a) 測定中に温湿度変化のない場合

測定する気流温湿度が常温とはなはだしく異なる場合についての風速と電流値について示すと次のようになる。この場合 0 調整は測定気流温度内でおこなつたものである。Fig. 11 は白金線太さ 0.075 mm, 長さ 3 cm を使用し、基準電流 0.5 Amp. および 0.7 Amp. の 2 種につき、A 法により測定した温湿度条件の異なる結果である。図についてみるとあきらかに差があり、基準電流の違いにより、結果は逆となつている。この原因は白金線部に与えられた温湿度の影響というよりも、配線関係に加わる温度条件により発生したものと考えられ、試験条件により結果は一定しないものと思われる。しかし、0.8 m/s 以下の低風速であれば実用上はなはだしい誤差は生じないとしてもさしつか

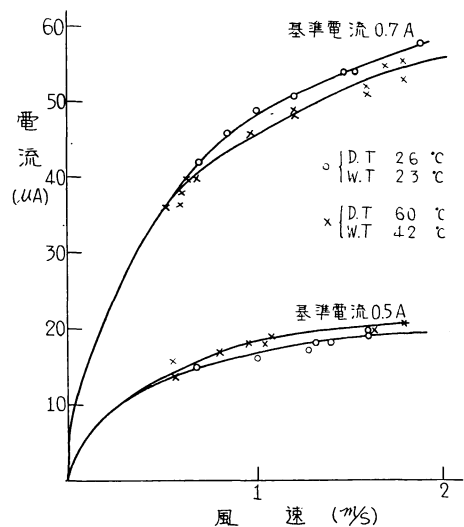


Fig. 11 A 法による室温の異なる場合の誤差
白金線直径 0.075 mm 長さ 3 cm

Table 1. 温湿度の異なる場合
B 法により測定した周速 1 m/s に対する電流値

乾球温度 °C	湿球温度 °C	関係湿度 %	読 み A	風 速 m/sec.
7.1	5.4	86.0	0.73	1
22.7	18.0	68.0	0.735	1
34.6	26.0	51.5	0.735	1
40.8	38.1	85.2	0.735	1
49.6	48.4	92.7	0.732	1

白金線直径 0.065 mm 長さ 3 cm 基準電流 0.5 A

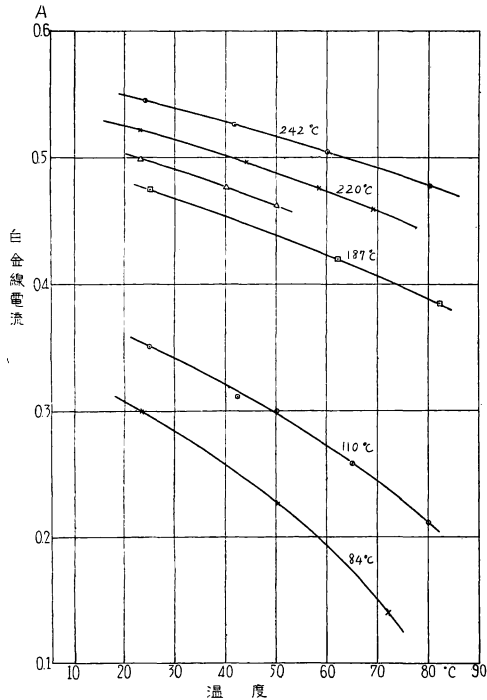


Fig. 12 無風状態で白金線温度(抵抗)を一定に保つための電流値と外周温度との関係
白金線直径 0.068 mm 長さ 3 cm
曲線に示してある温度はおおのこの曲線を延長して横軸との交点から求めたもの

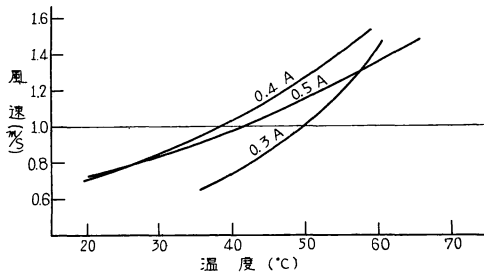


Fig. 13 測定中に温度変化が生じた場合 1 m/s の風速として測定される実風速と温度との関係 (B 法による)

直径 0.065 mm のものを使用し、基準電流 0.5 Amp. とし、おのこの空気条件下で 0 調整してから、 1 m/s の風速度を白金線に与えたときの B 法による電流値であり、誤差はほとんど認められない。

温湿度条件が異なる場合には、白金線からの気流への熱伝導は空気比重の変化、水蒸気量の増減により異なるので、風速が同一でもはなはだしい空気条件の変化がある場合には当然変化するものと考えねばならぬが、以上の結果から人体に耐えられる程度の条件下では測定中に温度変化さえなければ、誤差はきわめて少ないとしてさしつかえなからう。

b) 測定中に温湿度変化が生じた場合

測定中に気流温度の変化があると、この回路には温度補償がしてないため測定誤差が生ずる。これは一定白金線電流を与えた時の無風時の回路平衡が外周温度変化に対して R_s の調整なしには保てないためで、この際生ずる誤差量は温度変化に対する回路平衡のための白金線電流変化と、異なった基準電流に対する風速と電流値変化との関係図から求めることができよう。

Fig. 12 は直径 0.068 mm 、長さ 3 cm の白金線を用い、ある温度の無風状態で任意の基準電流を白金線に流し、 R_s を調整して μA を 0 位に調整し、 R_s を固定した状態で温度変化を白金線に与え、 μA の不平衡を白金線電流により調整したもので、外周温度の上昇にともない少量の電流値で白金線を同一温度(抵抗)に保てることを示している。また、基準電流の少ないほど温度変化にともなう電流変化の割合も絶対量も多くなっている。この Fig. 12 と前の Fig. 10 とから、B 法については誤差量を求めることができよう。なお、Fig. 12 にはおのこの条件における白金線温度の推定値を示しているが、これはそれぞれの曲線を延長し(外周温度をさらに上昇させたと考え)白金線電流値が 0 になるときの温度として求めた。

Fig. 13 は B 法により基準電流を 0.3, 0.4, 0.5 Amp. とした場合にある温度条件下で 0 調整したものを異なつた温度条件の風速測定に供した際に、1 m/s の風速として測定される実風速と温度との関係を求めたもので、基準電流の多いほど温度誤差の少ないことが示されている。

7. 雑 件

a. 電 源

Fig. 1 の回路は白金線直径 0.07 mm, 長さ 3 cm を使用して、配線を含めての全回路抵抗が 3~4 Ω 程度であるから、B 測定法では白金線電流 1 Amp. (約 4 m/s) 程度まで流すに 4 V の電圧があれば足りるわけであるが、電流計内部抵抗および使用中の電圧降下などがあり、6 V は必要であつた。また、容量は B 法であれば 3 Amp. h で、一連の乾燥室内の風速測定には充分であるが、A 法では多少電源容量がたりなく、測定中に電圧変動が生じやすかつた。電源としてセレン整流による交流の使用は充分に直流化されてないと電流計の読みと熱線部の発熱効果が直流の場合と異なり誤差を生ずるためできるだけ電池を使うことが望ましい。

b. 抵 抗 類

R₂ のマンガン線はかなり発熱するため、充分温度補償されていないと測定誤差はいりやすく、あまり細いものより太めのものを使つて熱放散をよくした方がよいと思われる。R₃, R₄ の固定抵抗をあまり小さくすると使用中に白金線が断線した際、 μ A を破損する危険があり、またあまり高抵抗にすれば A. B 法ともに μ A の感度が悪くなる。100 μ A のメーターを使用した場合に 1 k Ω 程度が適当であると思われた。

c. 測 定 法

熱線風速計は 0 調整の不備による誤差がかなり大のようで、使用に際してはあらかじめ基準電流を 5~10 分間流しておき、0 調整には熱線部を水平に保ち、定まつた容積、形状のカバーで熱線部をおおうようにすると条件が一定した。また、風速の測定には風向と白金線とを直角にすることはもちろんであるが、熱線部を水平に保たないと誤差が多かつた。

V む す び

以上の試験結果ならびにこの試作熱線風速計を実際の乾燥室内気流測定に使用した経験からみて、各製品の規格を大略下記のとおりとした場合、精度および取扱いの両面からみてつごうがよかつた。

電池：コロイドバッテリー 6 V 3 Amp. h

メーター：G 0~100 μ A class 2.5 マイクロアンメーター

A 0~1 A class 2.5 アンメーター

R₁: 白金線 ϕ 0.065~0.075 mm, 長さ 3 cm

R₂: マンガン線 ϕ 0.4 mm, 抵抗 0.8~1 Ω , 長さ 25~30 cm

R₃: 固定抵抗, 容量 1 W , 1.5 k Ω

R₄: " , " , 750 Ω

R₅: 可変抵抗, 容量 50 W(巻線型), 1.5 k Ω

R₆: " , " , 3 Ω

R₇: " , " , 30 Ω

しかし、実験対象によつては電流計の精度をあげることは当然必要とされる問題であろう。また温度誤差は気流の温度が0調整の温度より高いと実風速より低く測定されるが、一応測定気流内で0調整をおこなえばさけられる問題である。しかし、木材乾燥室内には多少温度分布にムラがあるため測定位置で毎回0調整せねば完全には誤差をさけられないことになりきわめて繁雑であるともいえるが、加熱された木材乾燥室内では体力的に十分な測定もできないので、通常乾燥開始前の常温の状態でおこなうため位置による温度変化はきわめて少なく、温度誤差についてはあまり問題にならないと考えられる。

しかし、乾燥室内の温度変化による送風量の変化などについて測定せねばならぬ問題もあり、測定の迅速をはかるためには当然温度補償型熱線風速計についての応用試験が必要である。

基準電流は温度誤差の関係から白金線温度を高くするほどよいが、直径 0.07 mm 前後の白金線は常温で 0.7~0.8 Amp. 電流を流すと赤熱するため経年変化が多くて都合が悪く、0.4 Amp. 前後が使いやすいと思われる。

測定方法 (A, B 法) について見ると、乾燥室内気流は 0~4 m/s の範囲で風の流れはかなり不整流で、特に棧積内の風速の少ない場所ほど変化がはなはだしい。このため A 法が測定には好つごうであるが、この反面 1 m/s 以上の風速の測定には精度が悪い。また経年変化、特に白金線の伸びによる誤差は A 法の方が大で実際よりも高い風速として測定され、B 法では実際の風速より低く測定されるが 1 m/s 以内であれば誤差はあまり認められない。これら A, B 両測定法の特徴および欠点を列挙すれば次のごとくなる。

A 法

1. 特徴

- a. 測定時間が早く、変動する風速に対し平均風速が求めやすい。
- b. 直統式にできる。

2. 欠点

- a. 電池容量、各種抵抗、 μA の内部抵抗等により、風速と μA の振れとの関係が変化するため、種々の誤差がはいりやすい。
- b. 1 m/s 以上の風速測定には誤差が多い。
- c. 経年変化による誤差がかなり大きい。
- d. 白金線の長さによる特性変化が大きく、このため同一太さの白金線を張り直した時でも、風速との関係を新たに求めないと誤差が多い。

B 法

1. 特徴

- a. 4 m/s 程度の風速までであれば比較的誤差なく測定できる。
- b. 白金線の長さによる誤差は、一定長さ以上あればほとんど生じないため、同一太さの白金線を張り直す場合にあらためて、風速と電流値の関係を求める必要がない。
- c. 経年変化による誤差が低風速であれば比較的少ない。
- d. 各種抵抗値による誤差が入らないため、電流計および検流計が正しく白金の太さが一定であれば、風速と電流値の関係は常に同じである。

2. 欠点

- a. 急速に変動する風速に対して測定困難である。

- b. 測定に手間がかかり、直続式にはできない。
- c. 強風速を測定して、白金線電流をそのままにして、白金線部を無風状態にすると、白金線を焼き切り、 μA を破損する可能性がある。

熱線風速計はその機構からみても、かなり繊細なものであり、同じような部品で組み立てても種々の誤差はいり、特に白金線については一定直径のものが得にくいいため、これを用いるには随時実風速と計器の読みを補正できる廻転腕のようなものがないと、白金線の張りかえのためや、経年変化による誤差が入りやすく信頼度の低いものとなろう。

文 献

- 佐々木達治郎・玉野光男：物理実験学 IV 河出書房 弾性および音響 p. 173～177, 1940, 5.
- 内田茂男：温度補償型熱線風速計と風の測定におけるその応用について 東京大学理工学研究報告 3, 11, 12, p. 303～311, 1949, 11.