



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	気流中のカーボン微粒子が熱線流速計の伝熱および出力特性に及ぼす影響
Author(s)	宮本, 登; Miyamoto, Noboru; 小川, 英之 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 161, 1-5
Issue Date	1992-10-16
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/42322">https://hdl.handle.net/2115/42322</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	161_1-6.pdf



## 気流中のカーボン微粒子が熱線流速計の伝熱および 出力特性に及ぼす影響

宮本 登 小川 英之 大橋 克典\*  
(平成4年6月23日受理)

### Effects of Carbon Particles in Flowing Air on Hot-Wire Heat Transfer and Anemometry

Noboru MIYAMOTO, Hideyuki OGAWA and Katsunori OHASHI  
(Received June 23, 1992)

#### Abstract

An analysis was made on the characteristics of hot-wire heat transfer and anemometry in flowing air containing carbon particles. In the experiment, three types of hot wires with different diameters were independently installed in a wind tunnel where the carbon particle concentration in the air flow was controlled. The velocity of the air flow and the temperature of the hot wires were varied in the tests. The results showed the influence on the carbon particles in the air flow on the hot-wire heat transfer was stronger with higher wire temperature, smaller wire diameter, and higher particle concentration. However, small amounts of carbon particles did not affect the apparent mean flow velocity measured by the hot-wire anemometry, but it was shown that turbulent intensity increased significantly.

#### 1. ま え が き

燃焼ガスなどには、スートなどの固体微粒子が含まれている場合が多いが、このようなガスの速度あるいは乱れを熱線流速計によって計測する場合、微粒子の細線への付着および衝突、あるいは微粒子の運動に伴う気流の変化などが熱線の伝熱特性あるいは流速計の出力に対して何らかの影響を及ぼすことが考えられる。本研究では、気流中のカーボン微粒子が熱線流速計の出力あるいは熱線の熱伝達特性に及ぼす影響について若干の検討を行った。具体的には、熱線の線径、カーボン微粒子濃度、流速、および熱線設定温度などの伝熱関連因子の影響について系統的な解明を試みた。その結果、気流中におけるカーボン微粒子が気流平均速度の測定値に及ぼす影響は、熱線の線径が細くかつその設定温度が高い場合ほど顕著に現れること、微粒子濃度の増加にともなって熱線からの熱伝達が促進されるため、平均流速が大きく測定されること、およびカーボン微粒子の存在が微量であっても見かけ上の乱れ強さは著しく増加することなどが明らかとなった。

以下、本研究で得られた結果について詳述する。

## 2. 実験装置および方法

図1に実験装置のシステム図を示す。実験には内径 $\phi$  23 mm, 長さ1000 mmの風洞を用い, その上流部よりカーボン微粒子(カーボンブラック, 算術平均粒径19 nm)を導入して, 下流に設置した熱線プローブの出力特性に対する影響を解析した。熱線は定温度型であり, その出力は増幅器およびA/D変換器を介してパソコンに入力し, 伝熱および流動特性値等の算出に供した。熱線プローブの挿入位置における平均気流速度は, あらかじめピトー管により測定し, その値を熱線流速計の校正用として用いた。供試熱線プローブは, 線径 $5\mu\text{m}$ のタングステン線および線径 $12.7\mu\text{m}$ と $25.4\mu\text{m}$ の白金イリジウム線の3種類であり, 熱線設定温度 $T_w$ をタングステン線では $250^\circ\text{C}$ に, 白金イリジウム線では $400, 500$ および $600^\circ\text{C}$ に各々設定した。なお, 気流温度は原則として $30^\circ\text{C}$ とした。

カーボン微粒子はスクリーフィーダによってその導入量を任意に設定する一方, 測定部下流に設けた採集孔からは真空ポンプによって微粒子混合ガスを吸引してフィルタ上に微粒子を捕集し, その質量および吸引ガス量からカーボン微粒子の質量濃度 $C_c$ を求めた。

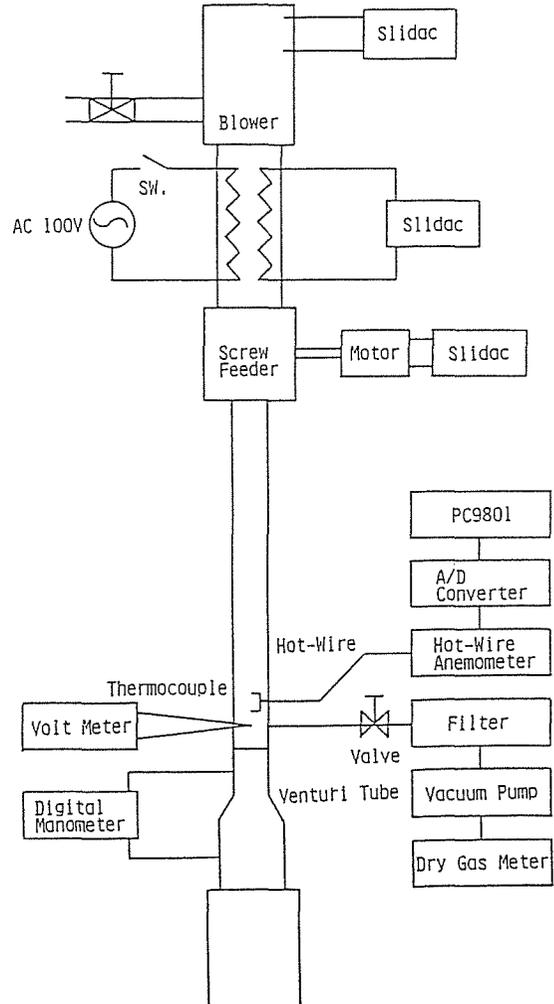


図-1 実験装置システム図

## 3. 実験結果および考察

### 3・1 熱線の熱伝達特性

熱線プローブによる流速測定の際には, あらかじめ流速に対する熱線の熱伝達特性, すなわちプローブの出力検定が必要であるが, 流速測定の精度はこの熱線の平均熱伝達率を与える式にも大きく依存している。本研究では, Collis and Willamsが提唱した熱線の熱伝達に関する式<sup>(1)</sup>を参考にして熱線の熱伝達特性に対して次のような無次元整理式による記述を試みた。

$$\text{Nu}\left(\frac{T_f}{T_g}\right)^{-0.17} = A + B\text{Re}^{0.5}$$

ここで,  $T_f$ は膜温度であって $T_f = (T_g + T_w)/2$ ,  $T_g$ はガス温度,  $T_w$ は熱線温度,  $A$ および $B$ は温度に無関係な定数であり, 両者は各プローブごとに与えられる。一例として, カーボン微粒子をまったく含まない通常の空気の場合における熱線の熱伝達特性を図2に示す。この場合, 線径

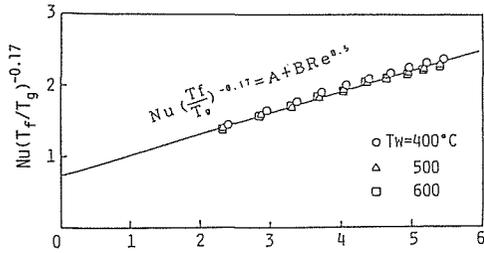


図-2 供試熱線の熱伝達特性 (線径 12.7 μm)

表1 各熱線プローブの定数AおよびB

熱線プローブ	A	B
5 μmタングステン線	0.261	0.195
12.7 μm白金イリジウム線	0.493	0.329
25.4 μm白金イリジウム線	2.737	0.817

は 12.7 μm で熱線の温度を 3 種類変えており、熱伝導による支柱への熱損失を補正している。

なお、実験に供したプローブに対する定数 A および B については、通常の空気の場合表 1 に示す通りあるが、両定数は線径の増加にしたがっていずれも値が大きくなっていることがわかる。この原因としては、放射伝熱を無視していること、あるいは支柱への熱損失の補正が十分ではないことなどが考えられる。

### 3.2 カーボン微粒子混在気流中における熱線の熱伝達特性

図 3 に、気流温度を 30°C 一定として、2 通りのカーボン微粒子濃度  $C_c$  に対する熱線プローブの  $Nu$  数と  $Re$  数との関係を示す。なお、両特性値の代表長さは熱線径であり、また、図中の実線は微粒子が混在しない場合、すなわち通常の空気に対する関係を示しており、その際の定数 A および B は表 1 の通りである。図において、線径 5 μm (熱線温度 250°C) および 25.4 μm (熱線温度 400°C) での結果を比較すると、線径が細いほど、カーボン微粒子混合によって、 $Re$  数に対する直線的な伝熱特性からのデータ散逸、あるいはバラツキが増加している。一方、線径 12.7 μm (熱線温度 500°C) において、微粒子濃度が高い場合 ( $C_c = 0.9 \text{ g/m}^3$ ) には、粒子が存在しない場合に対して熱伝達が増加しているが、図中の同一微粒子濃度に対する点が一本の直線上にプロットされていることから、カーボンが混在した場合であっても熱線の熱伝達は前述の式で記述し得ることが明かである。

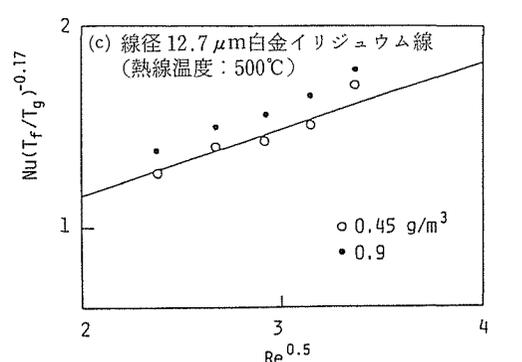
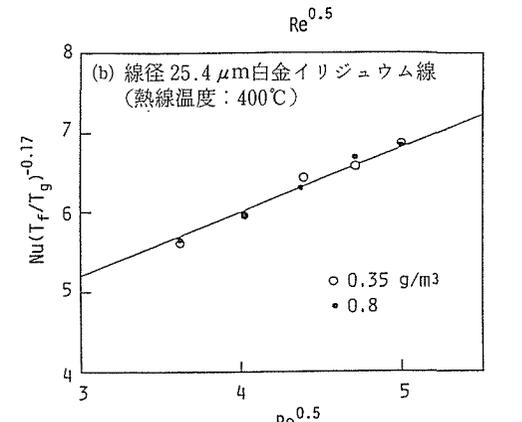
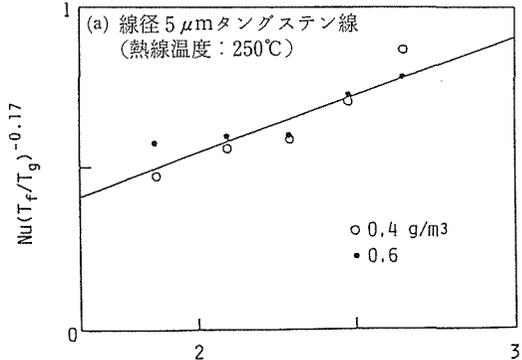


図-3 微粒子混在気流中における熱線の熱伝達特性

以上の結果から、線径が大きい場合、あるいは線径が細くても熱線温度が低い場合においては、熱線の熱伝達特性に対する微粒子混在の影響は比較的小さいものと言える。そこで、熱線温度の影響をいっそう明確にするために、線径  $12.7\ \mu\text{m}$  の白金イリジウム線においてその設定温度を変化させた際の結果を図4に示す。図より、熱線温度が  $400^\circ\text{C}$  と低い場合にはカーボンが含まれていない通常の場合にかなり近い特性を示すが、 $600^\circ\text{C}$  と高くなると熱伝達が著しく増加し、 $Re$  数に対する  $Nu$  数の傾きが大きくなることわかる。とくに線径温度が高い場合にみられるカーボン微粒子混合による熱伝達促進効果については、微粒子の熱線接触あるいは境界層破壊が熱線とガスとの温度差の大きい場合ほど顕著に現れるために生じたものと考えられる。

### 3.3 カーボン微粒子気流中における熱線流速計の出力特性

図5に、熱線流速計において線径  $12.7\ \mu\text{m}$  の熱線を用いた場合のカーボン微粒子濃度が平均流速  $U$  および乱れ強さ  $u'$  の計測値に及ぼす影響を示す。この場合、熱線の熱伝達特性としては微粒子が混在しない通常の場合のものを用いており、また、図中の  $U_0$ 、 $u'_0$  はカーボン微粒子が存在しない場合の測定値である。図において、図4の結果から容易に推定できるように、平均流速  $U$  はカーボン濃度の増加にともなって徐々に増加しており、その程度は、熱線温度が高いほど著しくなっており、熱線温度が  $400^\circ\text{C}$  ではほとんど変化しないのに対し、 $600^\circ\text{C}$  では顕著な増加の傾向を示している。なお、今回の実験範囲(線径  $5.0\sim 25.4\ \mu\text{m}$ 、熱線温度  $250\sim 600^\circ\text{C}$ 、 $Re$  数  $3\sim 25$ )においては、カーボン微粒子濃度が  $0.3\ \text{mg}$  以下であれば、平均流速  $U$  の測定値がカーボン微粒子によってほとんど影響されないことがわかった。一方乱れ強さ  $u'$  は、熱線温度のいかに問わずカーボンが微量混在しても著しく増大しており、図4の場合、カーボン濃度が  $0.6\ \text{g/m}^3$  では  $u'/u'_0$  は2倍

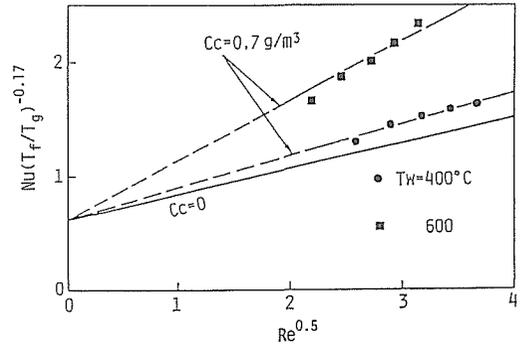


図-4 微粒子混在気流中における熱線の熱伝達特性に及ぼす熱線温度の影響 ( $12.7\ \mu\text{m}$ )

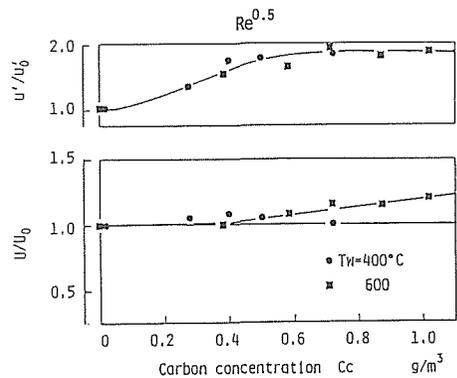


図-5 熱線流速計の測定値におよぼす微粒子濃度の影響 (空気温度:  $30^\circ\text{C}$ ,  $Re = 5$ )

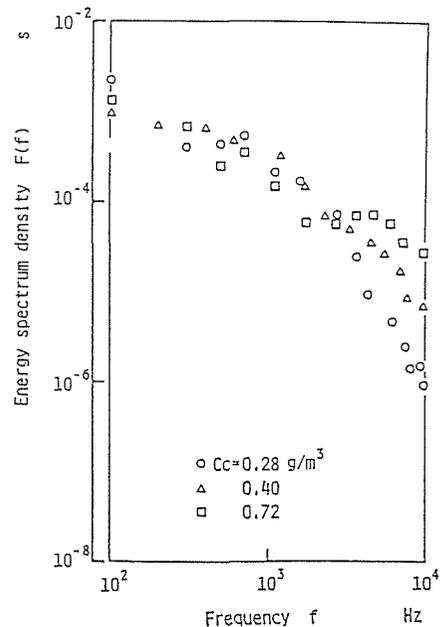


図-6 微粒子濃度を変えた際の乱れエネルギーベクトル密度

程度にまで達するが、この倍率はカーボン微粒子の増加のほかに、熱線径が小さいほど、また熱線温度が高いほど増加する傾向を示している。

図6に、カーボン微粒子濃度をパラメータとした乱れエネルギー密度を示す。この場合、線径は $12.7\ \mu\text{m}$ で、熱線温度は $600^\circ\text{C}$ である。図より、低周波領域においては、微粒子濃度の違いによるエネルギー密度の差異ははっきりと認められないが、周波数が $3\ \text{kHz}$ 以上の高周波領域においては、微粒子濃度が増加するにしたがって、エネルギー密度が明かに増加している。

#### 4. 結 論

本研究で得られた結果はおよそ次の通りである。

1. 気流中の混在カーボン微粒子が熱線流速計での平均流速測定値に及ぼす影響は、熱線の線径が細くかつその設定温度が高いほど著しくなるものの、微粒子濃度が $0.3\ \text{g}/\text{m}^3$ 以下では影響が比較的小さく、それ以上の濃度になると、微粒子による熱伝達の促進効果により見かけ上の平均流速測定値は増加していく。
2. カーボン微粒子の混在が微量であっても、見かけ上の気流乱れ強さは増大する。
3. カーボン微粒子の有無に関わらず熱線の熱伝達特性は、Collis and Williamsの式を参考とした無次元式で記述し得る。
4. 気流乱れのエネルギー密度は、 $3\ \text{kHz}$ 以上の高周波領域において、カーボン微粒子濃度の増加によって明瞭に増加する。

最後に、本実験の遂行に当たり協力を頂いた本講座大学院学生 首藤登志夫君ならびに本庄邦弘君に謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) D. C. Collis and M. J. Williams, "Two-dimensional convection from heated wires at low Reynolds numbers", J. Fluid Mech., Vol. 6(1959), p 357.