

流れの可視化におけるスモークワイヤー法の一改良

深町, 信尊

大屋, 裕二
九州大学応用力学研究所 : 助教授

中村, 泰治
九州大学応用力学研究所 : 教授

<https://doi.org/10.15017/4743811>

出版情報 : 応用力学研究所所報. 65, pp.227-233, 1987-12. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



流れの可視化におけるスモークワイヤー法の一改良

深 町 信 尊* 大 屋 裕 二†
中 村 泰 治‡

概 要

気流の可視化法の一つとしてスモークワイヤー法は非常に優れた方法であるが、発煙時間が短いという欠点があった。スモークワイヤーに塗布する代表的な油である流動パラフィンに微粒子粉末を適量混ぜ、これをスモークワイヤーに塗布して適切な電圧で発熱させると流動パラフィンのみの場合に比べ、よりきれいな発煙状態および飛躍的に長い発煙時間を実現することができた。

Key words: Flow visualization, Smoke-wire method, Liquid paraffin, Additive powder

1. ま え が き

風洞気流を可視化する方法として金属細線に油（主に流動パラフィン）を塗布して加熱させ、白煙を発生させるスモークワイヤー法は極めて簡便かつ制御が容易な上、様々な流れに適用可能なため、広く一般に用いられている¹⁾。しかしながら、大きな欠点として発煙時間が短いことが挙げられる。弾性支持された物体のフラック発生過程において、その周囲流れの変化を可視化観察する場合のような長時間の流動現象に対して、全過程を良好な発煙状態で可視化することは不可能である。そこで、塗布用油の流動パラフィンに粘性を増加させる添加剤として、アルミニウム、銅、石灰、グラファイト等の微粒子粉末を適量混ぜ、適当な電圧を設定すると、発煙時間が飛躍的に長くなり、更により良好な発煙状態が得られたのでここに報告する。

2. 実 験 方 法

実験は九州大学応用力学研究所の大型低速風洞（測定部断面 4 m×2 m、風速 0.1~60 m/s、乱れの強さ 0.12%）を用いて行った。使用した発煙用金属細線は直径 0.2 mm、長さ 180 cm と直径 0.5 mm、長さ 270 cm のニクロム線である。スライダックを利用した交流電源を用い、ニクロム線へ 40~50 V 程度の電圧を印加した。ニクロム線への油の塗布には市販のペイント用ハケおよび絵の具用筆を用いた。流

* 九州大学技官 応用力学研究所

† 九州大学助教授 応用力学研究所

‡ 九州大学教授 応用力学研究所

れ場を照明する光源としては1kWのプロジェクタ9台を適当に配置し、流れ模様は、標準レンズのニコンFカメラ、フィルムはネオパンSS及びビデオカメラ（ナショナルマックロードAG300）で撮影記録した。実験風速は約1m/sである。スモークワイヤーに流動パラフィンだけを塗布した場合と流動パラフィンへの添加剤として、アルミ、銅の金属微粉末(大きさ180メッシュ, 90 μ m)および石灰、グラファイト、木工用との粉、ガラス等の非金属微粉末、さらにグリセリン、グリース、松やに等を適量混ぜてそれぞれのケースの発煙時間、発煙状態を比較観察した。

3. 実験結果

1) 塗布状態

一般に金属細線に流動パラフィンのみを塗布した場合、ハケで一様かつ丁寧に塗布しても、時間が経つと表面張力によってパラフィン油膜は粒状に成長し、図1-1に示すように細線上で離散的に並んだ油滴となる。グリース、グリセリン、松やに、との粉、ガラス粉末等を混ぜた場合、粒状になりにくくなるが、通電後、流動パラフィンと同程度に離散的粒になり、特にグリース、グリセリン、松やにの場合煙が薄くなる。これに対し、アルミ、銅、石灰、グラファイト粉末では、流動パラフィンへの混入量、スモークワイヤーへの塗り方によって、油滴のできにくい状態とか、様々な塗布状態の調節が可能である。図1-2から図1-5はアルミ粉末入りの流動パラフィンを一様に塗布後、30秒程度時間を経てから撮影した状態である。図1-2はアルミ粉末の量は少ない(流動パラフィンとアルミ粉末の体積比は3対1)であるので粒状にはなっているがより偏平な粒で間隔も図1-1に比べより密になっている。図1-3は体積比が2.5対1の場合の塗布状態である。粒と粒との間にも油が付着するようになる。図1-4と図1-5はかなり多量(体積比2対1)にアルミ粉末を混ぜて塗布した場合である。図1-4は薄めに塗った場合で金属細線を一様に被膜した状態になっている。図1-5はたつぷりとスモークワイヤーに塗った場合である。ワイヤー全体に被膜され、所々、偏平な粒状になっている。この状態で通電すると最も長い発煙時間が得られる。

2) 発煙状態

上記のような様々な塗布状態で通電すると、流動パラフィンのみの場合、最初の数秒の間は煙線は間隔が密でむらなく出る。しかし、時間が経過すると油は粒状に成長し、より離散的になり、煙はそこかしこ発せられない。したがって、図2-1に見られるように塗り方によっては所々煙線が欠けた非一様な煙模様となる。一方、アルミ粉(もしくは、銅、石灰、グラファイト粉)を多量に混入した場合は、通電後もそれほど粒状に発達せず、かなり時間が経過しても煙は一様かつ間隔が密に放出され(図2-2)、初期のきれいな状態が保持される。また煙の量、全体の煙の白さにおいても、同じ通電電圧ではアルミ粉(もしくは、銅、石灰、グラファイト粉)を混ぜた方がはるかに良好である。なお、添加剤の微粉末はいづれの場合も煙と一緒に流れ出すことはなく、ニクロム線上に付着したまま残っている。

3) 発煙時間

図3-1から図3-8に発煙模様の時間的変化についてアルミ、銅、石灰、グラファイトのうち代表してアルミ粉を混ぜた場合と流動パラフィンだけの場合を並べて撮影比較している。右側がアルミ粉ありで

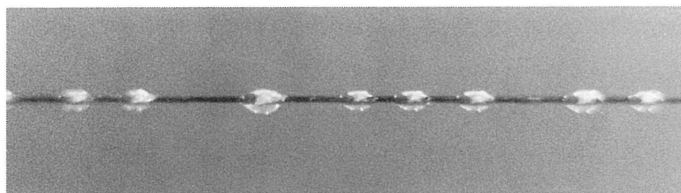


図 1-1 流動パラフィンのみ.

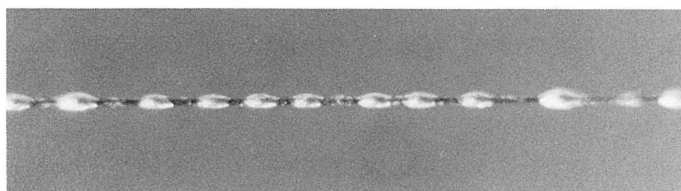


図 1-2 流動パラフィンにアルミ粉末を体積比 3 対 1 の割合で混入した場合.

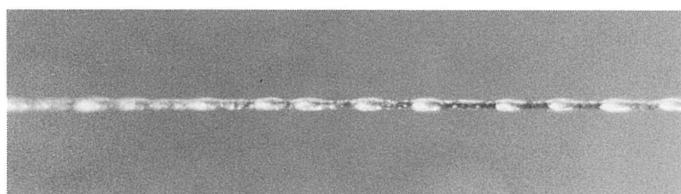


図 1-3 2.5 対 1 の割合の場合.

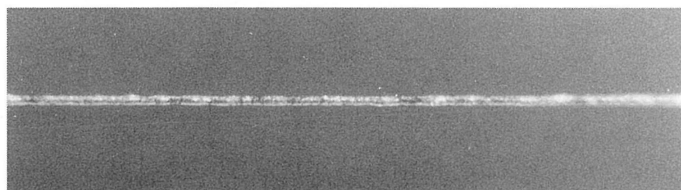


図 1-4 2 対 1 の割合で薄めに塗った場合.

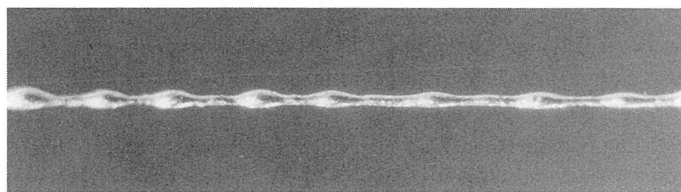


図 1-5 2 対 1 の割合で厚めに塗った場合.

図 1 スモークワイヤー上への塗布状態の比較.

左側がなしの場合で写真中央の渦後流が両ケースの境である。供給電圧は等しく 45 V である。この場合両ケースとも油はたっぷり塗布している。すなわち、図 1-1 および図 1-5 の塗布状態である。両者を見較べて、煙の白さ、一様な発煙状況、発煙時間のどれをとっても、アルミ粉末を混ぜた写真右側の部分がはるかにすぐれているのが一目瞭然である。発煙後 5 秒の図 3-1 におけるアルミ粉無しの煙模様が発煙後 3 分の図 3-7 におけるアルミ粉有りの煙模様とほぼ同じ程度の発煙状態である。スモークワイヤーとしてのニクロム線直径が 0.2 mm、長さ 180 cm で供給電圧 45 V の場合、流動パラフィンのみを十分に塗布して、良好な発煙状態が保持されるのは、約 1 分 30 秒くらいであるのに対し、流動パラフィンにアルミ粉を混ぜた場合は約 4 分 30 秒ほどにもなり、約 3 倍発煙時間が長くなった。また、ニクロム線の直径 0.5 mm、長さ 270 cm に十分アルミ粉を混ぜた流動パラフィンをたっぷり塗布して、通常よりやや低めの 40 V 前後の印加電圧を与えた時、煙の白さはやや薄めになったが流れ場の可視化に使えると判断できる発煙状態が約 11 分間続いた。

4) 考 察

全部で 9 種類の添加剤を試したが、評価は 3 段階に分けられる。第 1 は、グリセリン、グリース、松やにのグループで、流動パラフィンと同程度かむしろ煙が薄めになったりして効果がない。第 2 は、木工用との粉、ガラス粉末のグループで発煙状況は比較的良いが、発煙時間が長くなることはない。第 3

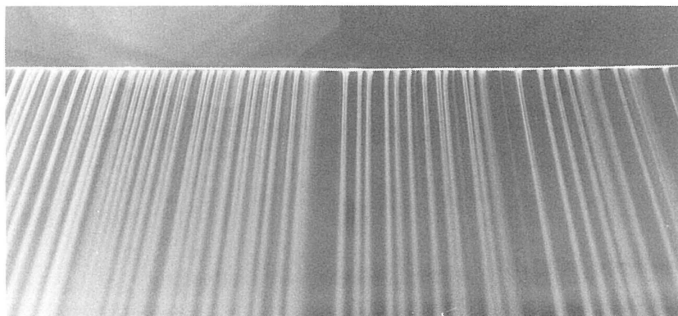


図 2-1 流動パラフィンだけの場合。

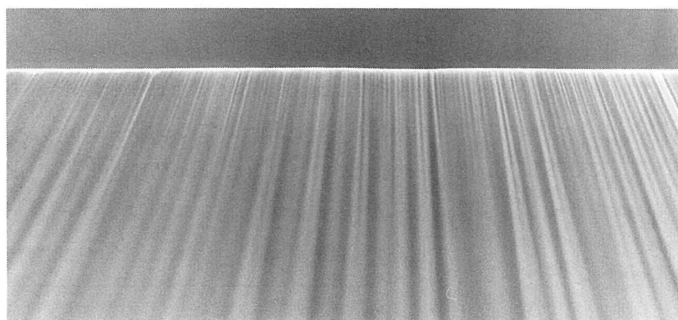


図 2-2 アルミ粉末を混ぜた場合。

図 2 発煙状態の比較。

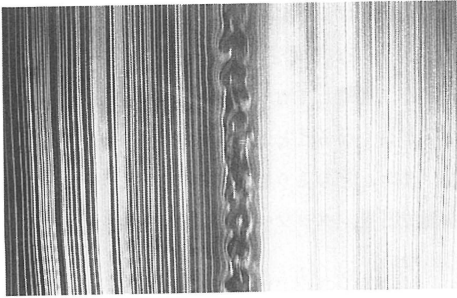


図 3-1 発煙開始後 5 秒

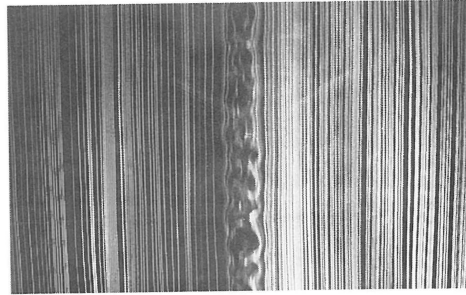


図 3-5 1 分 30 秒

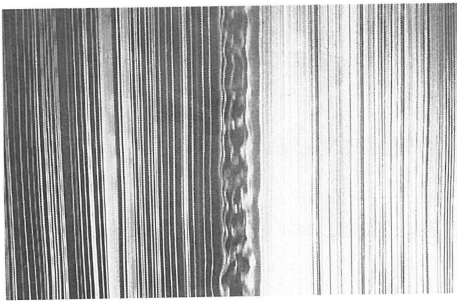


図 3-2 15 秒

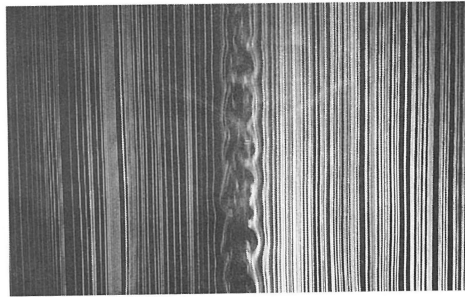


図 3-6 2 分

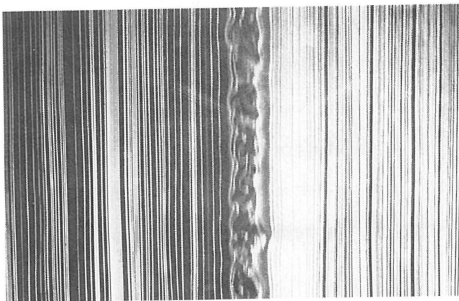


図 3-3 30 秒

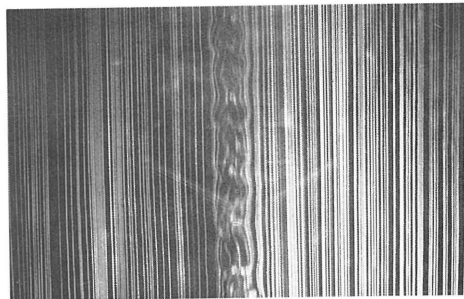


図 3-7 3 分

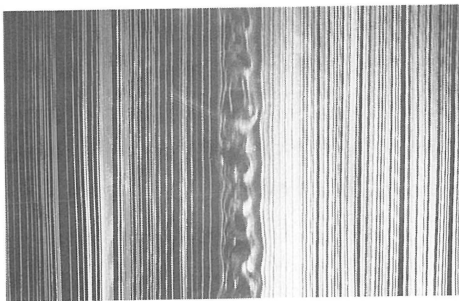


図 3-4 1 分

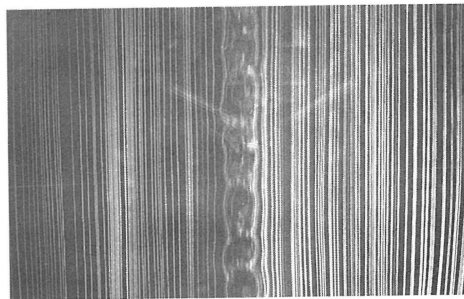


図 3-8 4 分

図 3 発煙状況の時間変化の比較 (右側がアルミ粉末を混ぜた場合, 左側が流動パラフィンだけの場合).

は、アルミ、銅、石灰、グラファイト粉末のグループで発煙状況は良好になり、発煙時間も長くなる。この第3のグループにおける効果の理由を考えた場合、微粉末を入れたことによって、スモークワイヤー上へ塗布される流動パラフィンの総量が増加すること、また、通電してもワイヤーから落下、離脱しない、すなわち、通電前も通電後もワイヤー上への“のり”が良くなることが最大の理由と考えられる。発煙状況は、通電されたニクロム線の発熱量がどの程度、また、どのように流動パラフィンへ熱伝達されて蒸発し、白煙化するかに依存するがアルミ、銅は金属で石灰、グラファイトは非金属なので添加剤として熱伝達性に大きな影響を及ぼしているとは考えられない。

他に比較観察中、気付いた点を挙げると、

i) 混入した微粉末の量が多いほど粘性が増加しニクロム線上に油滴の粒が生成されることが少なくなる。

ii) アルミ粉等の微粉末を混ぜた流動パラフィンをスモークワイヤーへはけで塗布する場合、薄めに塗ったり厚めに塗ったりとかの調節が容易である。

iii) アルミ粉等の微粉末を混ぜた方法の時は、完全に油を燃やしてしまわない方が、次に使用するとき、持続時間が長くなる。

iv) アルミ粉等の微粉末を混ぜた場合には、発煙量が多いために、ニクロム線への供給電圧を少し低くした方がより発煙時間を長くすることができる。

v) 発煙時間をできるだけ長くしようと思えば、直径の大きい0.5 mm程のニクロム線にアルミ粉等の微粉末入りの流動パラフィンをハケで多量に塗布すれば良いわけであるが、その際、気流速度との兼ね合いでニクロム線自体から渦が発生しないように注意する必要がある。また、種子田等²⁾が指摘しているようにスモークワイヤーに塗られた油の粒が流れを3次的にし、物体まわりの流れを大きく変化させる可能性があるので、その辺の注意も必要である。

vi) 2次元気流実験では、むしろスモークワイヤーを鉛直に張る場合が多い。この時、流動パラフィンだけの場合は、多量に塗布すると粒状に発達した油滴がワイヤー上をすべり落ちて失敗することがよくある。この点アルミ粉等微粉末入りの場合は比較的厚めに塗布しても油滴が流れ落ちるようなことはない。

4. 結 論

スモークワイヤー法において油として用いられる流動パラフィンにアルミ、銅、石灰、グラファイト等の微粒子粉末を適当な割合で混ぜ、ニクロム線に塗布して発煙させると、極めて発煙状態が良くなり、又、発煙時間が飛躍的に増加し、約11分間程の連続発煙が可能となった。このように、長時間の連続発煙が可能になったことは、使い方によっては、いわゆる煙風洞のような大規模な装置による以上の情報を簡単な装置で得ることができ、極めて、有力な可視化手段となると考えられる。

謝 辞

実験を補助して頂いた庄司忠史技術補佐員に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 流れの可視化学会編：流れの可視化ハンドブック，朝倉書店，pp. 273-285.
- 2) 種子田定俊，天本肇，石井幸治：スモークワイヤー法の欠陥，九州大学応用力学研究所所報，第 62 号，昭和 61 年 2 月，pp. 1-5.

(昭和 62 年 5 月 30 日 受理)