

スプリットフィルムプローブの較正方法とその特性

濱崎, 真洋
九州大学応用力学研究所

<https://hdl.handle.net/2324/1929679>

出版情報：九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 18, pp.13-17, 2017-10. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
バージョン：
権利関係：



KYUSHU UNIVERSITY

スプリットフィルムプローブの較正方法とその特性

濱崎 真洋

要旨

自然エネルギー統合利用センターでは風力発電に関する研究を行なっており、今回、地形の模型と風車模型を大型境界層風洞に設置し、風車の効率を測定する実験を実施した。

流速を測定する際に当該風洞で通常使用される1プローブ式熱線流速計は、風向を知ることができない。今回の実験では、地形と風車の後方に発生する複雑な流れを知りたいため、風向を測定することができるスプリットフィルムプローブ（カノマックス社製 MODEL1288）を使用して計測を行った。

本レポートでは、スプリットフィルムプローブの較正方法と特性についてまとめた。

キーワード

スプリットフィルムプローブ

1. 風洞実験の概要

自然エネルギー統合利用センターにおける技術支援として行った、風洞試験での風向風速測定について概要を示す。図1に示した模式図のように、地形の模型と風車模型を用いて、特定地形条件下における風車の性能と、後流の乱れを測定する実験を行った。地形条件を勘案すると、風車の設置場所により風向風速の条件が変化するため、風向風圧の分布を知る事は必須である。風向と風速を測定できるセンサーは多種あるが、地形の表面付近まで測定する必要があったため、センサー部の小さいスプリットフィルムプローブ（以下、SFPと略す）を選定し、トラバーサーに固定し使用した。

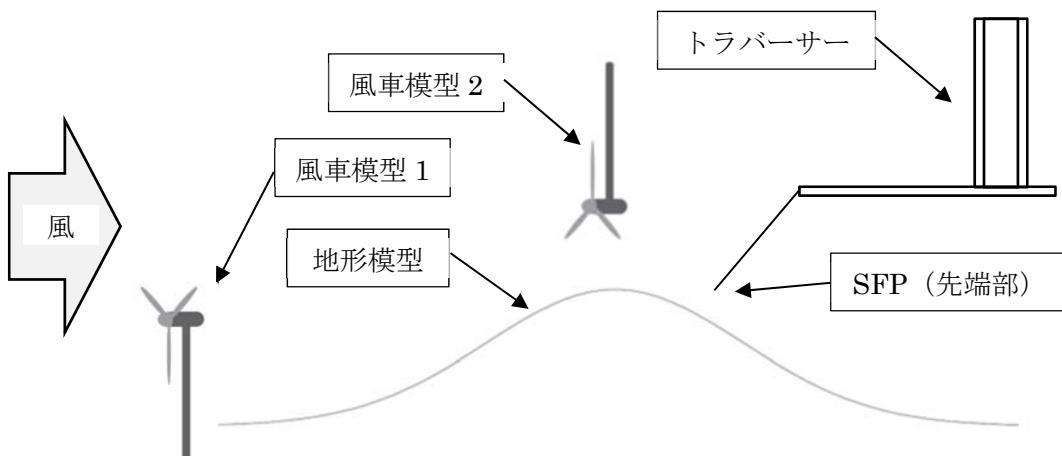


図1 風洞実験の概要

2. SFPの概要・測定原理

SFPは定温度型熱薄膜流速計の一種で、電流により加熱され、周囲の流体が熱を奪う際に電気抵抗が変化する現象を利用し、周囲の流速を計測している。また、SFPは $1\mu\text{m}$ の白金薄膜2枚が円柱周りに間隔を開けて貼り付けられた構造（図2）を持ち、それぞれの電気抵抗の変化から、風速のみならず、 180° 範囲の風向を求めることが出来るセンサーである。

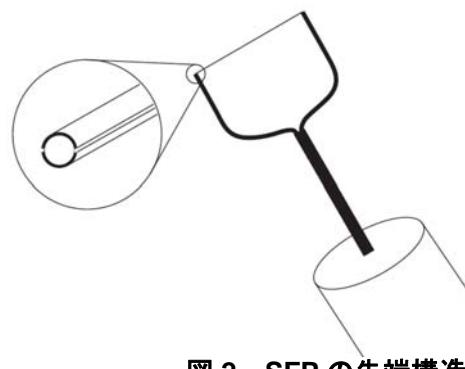


図2 SFPの先端構造

3. 測定機器

計測を行う際は、図3に示す模式図のように、熱線流速計 MODEL7000series の 1010 (CTA ユニット) および 1013 (リニアライザ) に接続し、リニアライザより電圧の二乗値を出力し、AD 変換ボードを通して計測用 PC に取り込む。ここで、電圧の二乗値の和 ($E_1 + E_2$) は風速を示し、差 ($E_1 - E_2$) から風向を導出することができる。CTA ユニットおよびリニアライザの調整方法は、SFP 附属の取扱説明書に詳しい解説があるので、省略する。

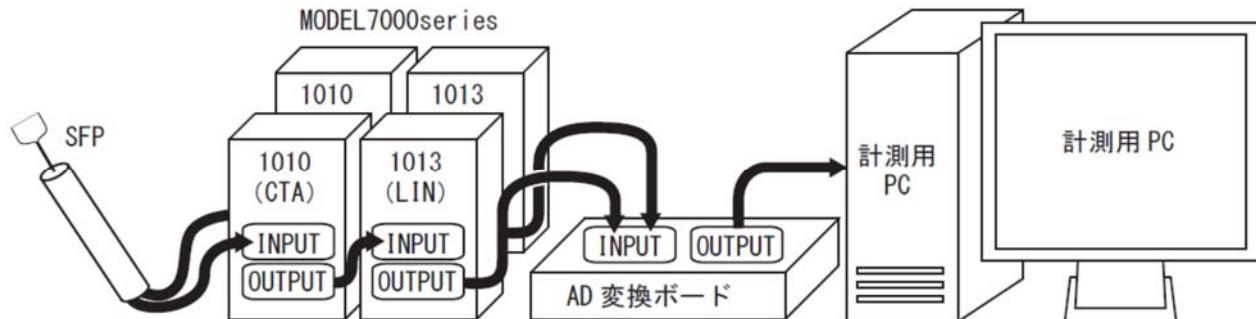


図3 測定装置 接続模式図

4. SFP の特性

SFP は、図4に示すように、プローブ方向に正対する流れから $\pm 90^\circ$ 範囲の風向を計測することができる。まず確認のため、一様流中において、流れに対する SFP の角度を変え（図5）、様々な流速で計測を行った。

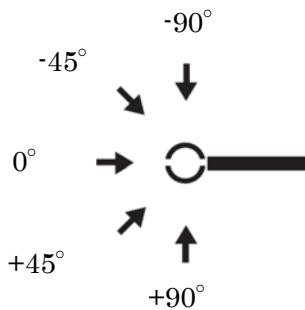


図4 SFPの計測範囲

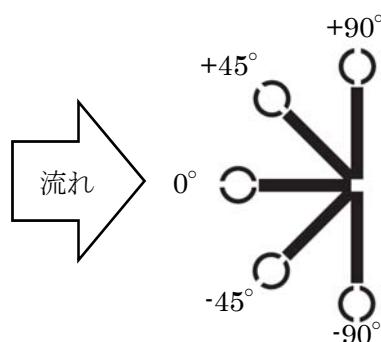
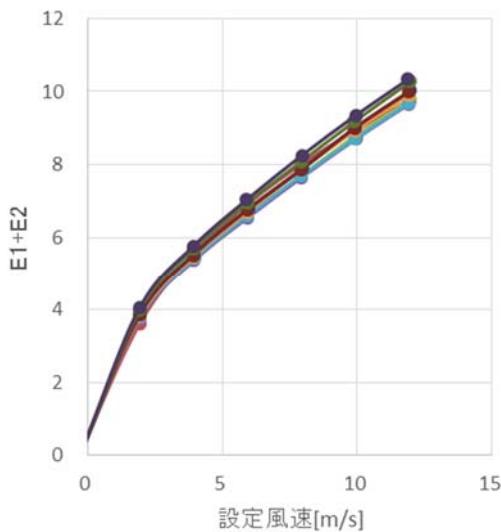
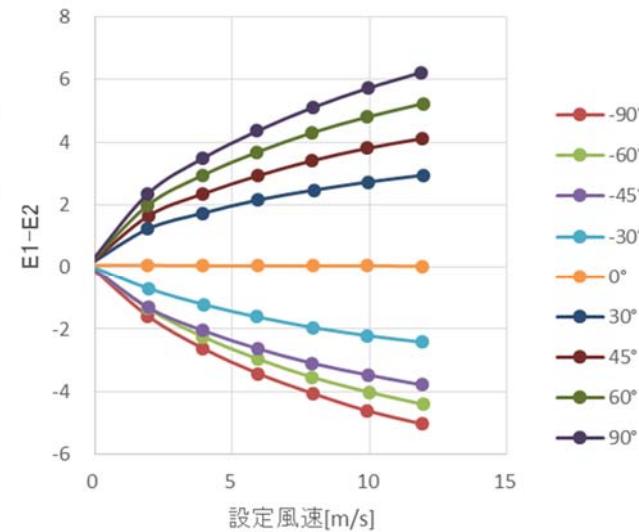
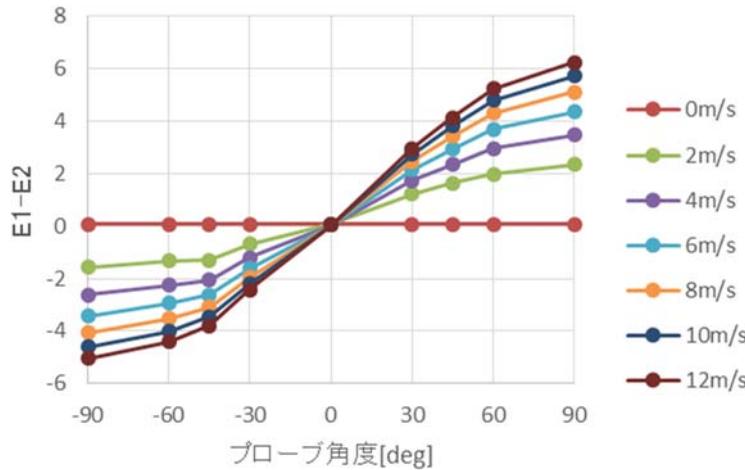


図5 較正時のプローブの向き

計測結果を図6～図8に示す。設定風速と $E_1 + E_2$ のグラフ（図6）では、どの角度でもほぼ一様な曲線を描き、設定風速と $E_1 - E_2$ のグラフ（図7）では、角度ごとに異なる曲線を描いた。また、同じ風速条件では、プローブ角度と計測値の差は、正弦関数に近似するグラフ（図8）を描くことが分かる。

図 6 角度ごとの設定風速と $E1+E2$ のグラフ図 7 角度ごとの設定風速と $E1-E2$ のグラフ図 8 風速ごとのプローブ角度と $E1-E2$ のグラフ

加熱されたプローブに吹き付ける風の風速値と、プローブから空気に移動する熱量の関係を表したもの（キングの式）と呼び、ブリッジ回路を用いて、風速値と電圧の関係式として使用する。今回は CTA ユニットおよびリニアライザの調整により式を簡略化し、図 6 は式（1）を、図 7 は式（2）を検定曲線とした。式（1）および式（2）の定数は SFP の個体差等で変わるため較正が必要である。

$$E1 + E2 = a * U^b \quad (1)$$

$$E1 - E2 = c * U^d \quad (2)$$

U : 風速

a, b, c, d : 定数

5. SFP の較正方法と計測方法

まず、既知の風向・風速より較正を行い、前述の式（1）、式（2）の定数を決定する方法を記す。

- ① 想定した最大風速を含む、既知の風速における $E1+E2$ を任意の点数計測し、最小二乗法にて式（1）定数 a、b を決定する。このとき、 $E1+E2$ の値には後述する角度に対する誤差が含まれているので、プローブの角度は 0° の時の値または、全体の平均値を使用することが望ましいと考えられる。今回の実験では 0° 、 $+90^\circ$ 、 -90° の 3 点を測定し、その平均値を用いた。

- ② 同様に風速を変化させ、プローブの角度 $\pm 90^\circ$ におけるE1-E2を計測し、最小二乗法にて式(2)定数c、dを $\pm 90^\circ$ それぞれに対して決定する。SFPの自体の誤差があり、図7、8に示される通り、必ずしも対称性は保たれないため、 $\pm 90^\circ$ 個々に定数を求める必要がある。
- 次に、風向と風速を求める方法を記す。
- ③ 計測を行いたい場所にSFPを移動させ、E1およびE2を測定する。
- ④ 式(1)に③で計測したE1+E2、a、bを代入し風速Uを求める。
- ⑤ E1-E2の値から、流れに対するプローブ角度の正負を判別する。図7であれば、 $E1-E2 > 0$ のとき正、 $E1-E2 < 0$ のとき負となる。
- ⑥ 式(2)に④で算出したU、⑤で判断した符号における $\pm 90^\circ$ での定数c、dを代入し、 $\pm 90^\circ$ でのE1-E2(以下、 $(E1-E2)_{\pm 90^\circ}$)を求める。
- ⑦ ③で測定したE1-E2(以下、 $(E1-E2)_\theta$)は、図8で示す各風速がそれぞれ近似される正弦関数上に位置するため、 $(E1-E2)_{\pm 90^\circ}$ で除算することで±1の正弦関数に正規化することができる。
- ⑧ 正弦関数の逆関数 $\sin^{-1} \frac{(E1-E2)_\theta}{(E1-E2)_{\pm 90^\circ}}$ より風向θを求める。

6. 実験結果

実際に、ガウス関数型の地形を通過する風を、仰角 -45° に向けたプローブで測定した。その様子を図9に示す。また、図10に示すように、測定したデータをエクセルのVBAを用いてベクトル線図として描いた。ここで、矢印の向きは風向を、矢印の大きさは風速を表している。

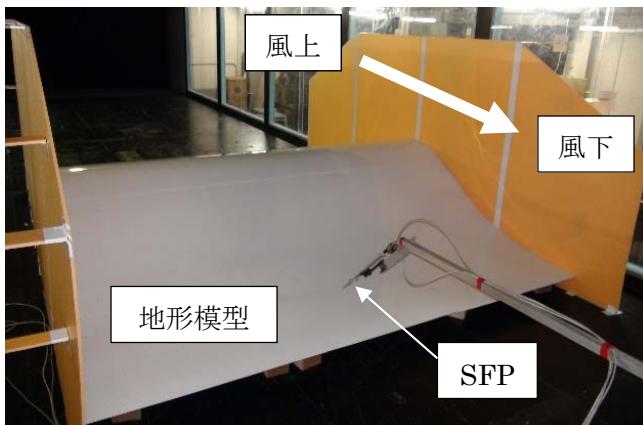


図9 計測の様子

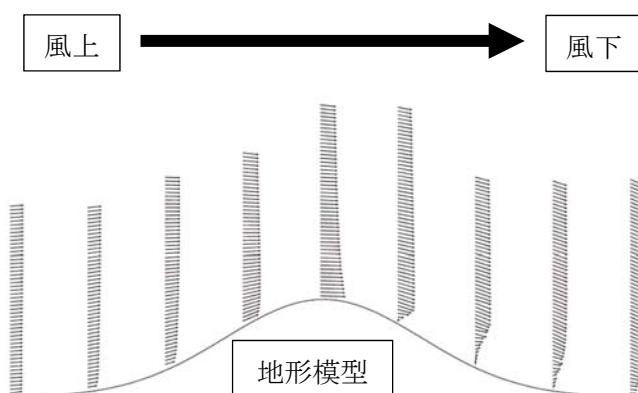


図10 風のベクトル線図

7. 問題点

較正を行う際に以下の問題が分かった。

- ① SFPの計測値から角度を求める際、 $\pm 90^\circ$ 付近は誤差が大きくなり正確な値を求めることが難しい。図11に真の角度と計測値から求めた角度のグラフを表す。
- ② 熱線流速計と違い0点調整が難しく、風速0m/s時の出力がE1=E2=0にならず、角度に一様な誤差が含まれてしまう。図11の原点で風向が 0° になっていないことが確認できる。
- ③ プローブを回転させた際に軸部分の影響により周辺の風速が増加することが知られている。これは熱線流速計にも当てはまる。実際に測定したものを図12に示す。
- ④ 一般的な熱線流速計でも指摘されていることだが、連続的に使用していると、風洞内の温度の上昇やプローブへの粒子の付着などの影響で、較正時から値がずれることがある。

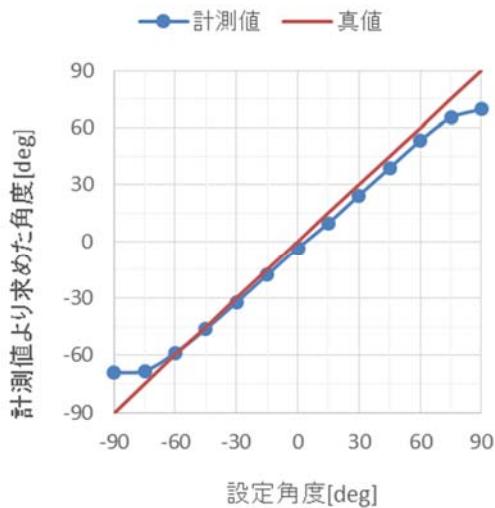


図 11 真値と計測値のずれ

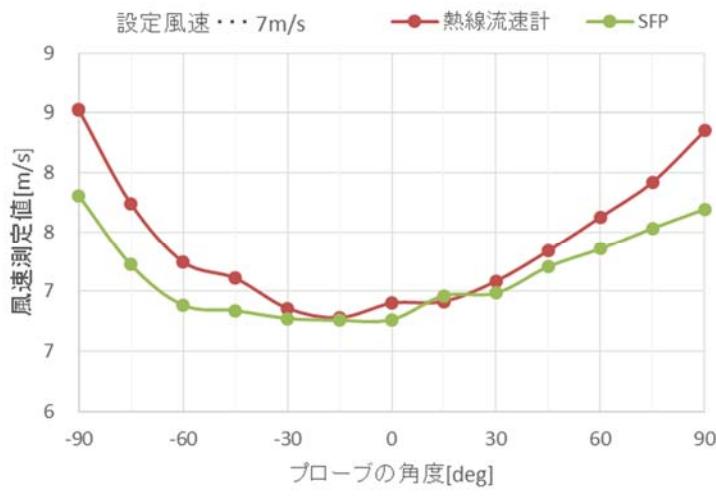


図 12 設定風速 7m/s におけるプローブの傾きによる誤差

8. 今後の課題・まとめ

SFP の特性を調査し、較正方法・計測方法についてまとめた。今後、図 9 に示した風向・風速が正しく計測できているかを、数値計算での結果と比較・検討していきたい。また、上記の問題点が存在するので、より高精度の実験を行うには、誤差を小さくする方法や、誤差を生じさせる原理を突き詰め、補正する方法を探求する必要がある。

実験データは十分に高いサンプリング周期で計測しており、データを詳しく解析することで、発生した渦の様子を調査できる可能性がある。データからより多くの情報を解析できるよう、解析方法を確立できればと考えている。

参考文献

- [1] 杉谷 賢一郎：逆流を伴う流れの計測、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート、vol.6 p50 (2005)
- [2] 杉谷 賢一郎：スプリットフィルムプローブを用いた気流計測システムの評価、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート、vol.9 p100 (2008)
- [3] 社団法人 日本機械学会：技術資料 流体計測法 (1985)

謝辞

今回の実験装置の製作の機会を与えていただいた、自然エネルギー複合利用分野・吉田茂雄教授、また、計測機器についての助言をいただいた風工学分野・大屋裕二特任教授、風洞の使用方法等アドバイスいただいた技術スタッフの渡邊公彦氏、杉谷賢一郎氏、および、技術職員の松島啓二氏に感謝申し上げます。