

風洞実験用風車自動制御システムの作製

高田, 青
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/6794451>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 5, pp.39-43, 2023-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



風洞実験用風車自動制御システムの作製

高田 青

要 旨

社会実装されている大型の商用風車は、その時々風の向や風速に対して、ヨー角度や回転数を制御している。洋上風力エネルギー力学分野（旧：風工学分野）では、大型境界層風洞で実験用風車模型を用いた様々な実験を実施してきたが、従来の風車模型システムは手動で風車の回転数を指定していた。そこで、より実機に近い制御ができるように、風車の流入風に対して、自動で回転数を制御するシステムを構築したため、紹介する。

キーワード

風車模型 自動制御 風洞実験 AC サーボモータ AD 変換 C#

1. はじめに

商用風車は1つのサイトに複数台設置して運用することが一般的であり、風向によっては、風上側風車の影響を受けて、風下側風車へ遅く乱れた風が流れることが知られている。これは、発電量の低下のみならず、疲労による風車の故障にも繋がるため、風車後流の風がどのようなになっているかの解明が急務である。

再生可能流体エネルギー研究センター洋上風力エネルギー力学分野（旧：新エネルギー力学部門風工学分野）では長年、大型境界層風洞（以降、風洞とする）を用いて風車後流の気流に関する実験を行ってきた。従来は、風洞内で実機風車を再現するにあたり、発電機の代わりにACサーボモータ（以降、サーボモータとする）を用いて、回転数を手動で指定していた。一方、実機風車はナセル部分に風向・風速計が取り付けられており、風向や風速に追従するようにヨー角度とロータ回転数を制御している。

そこで、より実機風車に近い条件で実験をするために、風速に応じてロータ回転数を自動で変更するシステムを構築した。風速は熱線流速計で計測し、センサ部分である熱線プローブは図1のように、下流側風車の上流側に設置した。なお、風向は変わらないため、ヨー角度は制御しないものとした。

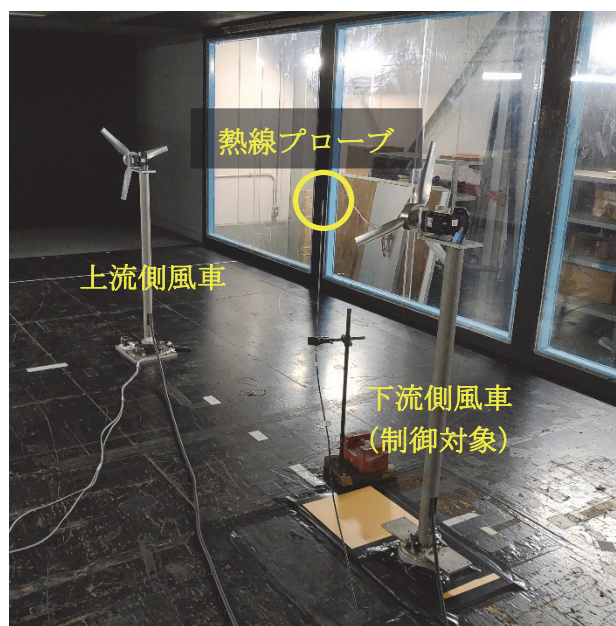


図1 熱線プローブと下流側風車の位置

2. 風車自動制御システムの概要

図2に風車自動制御システムの概要を示す。全体の流れとしては、まず、熱線流速計から出力された風速データ（電圧）をAD変換ボックスに取り込み、デジタルデータとして制御PCに送る。次に、制御PC（自作制御ソフト）で風速データに応じたロータ回転数を算出し、指令値としてサーボモータのコントローラであるサーボアンプ（制御盤）に送信する。最後に、受け取った指令値に

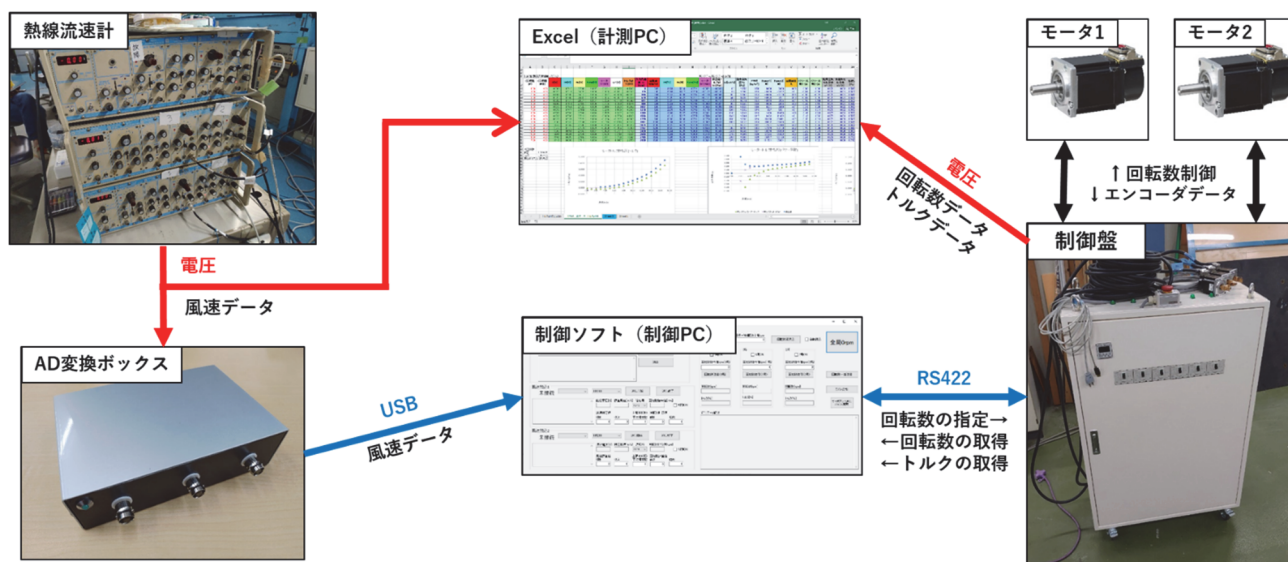


図2 風車自動制御システムにおけるデータの流れ

応じて、サーボアンプがサーボモータを回転させる。

また、制御 PC とは別に実験データを収録する PC があるため、熱線流速計から出力される風速の電圧を分岐させて接続している。さらに、サーボモータの回転数とトルクに応じた電圧がサーボアンプから出力されるため、併せて収録している。

図 2 では制御 PC と制御盤の通信を RS422 と表記しているが、USB⇔RS422 変換モジュールを使用して、PC の USB ポートとサーボアンプの RS422 ポートで通信している。

2-1. 風速データ取込用 AD 変換ボックス

熱線流速計から出力されるデータは風速に応じたアナログ電圧であるため、AD 変換を施して制御 PC に取り込まなければならない。AD 変換は Arduino マイコンと 16 ビット ADC (Analog to Digital Converter) IC である MCP3425 を使用した。MCP3425 は約 2V までの入力電圧に対応しているが、熱線流速計から出力される電圧は最大 12V である。この差を解決するために、抵抗器を用いて 2/15 に分圧した。AD 変換で読み取った電圧データは、Arduino マイコンから約 10Hz の周期で制御 PC に送信される。

作製した AD 変換モジュールはアルミケースに収納して、AD 変換ボックスとした。図 3 にあるように、ボックス 1 つにつき 3 チャンネル分のスペースを確保しているが、現時点では 1 チャンネ

ルのみ使用している。電圧データはボックス前面の BNC 端子から取り込み、背面の USB 端子から送信される。

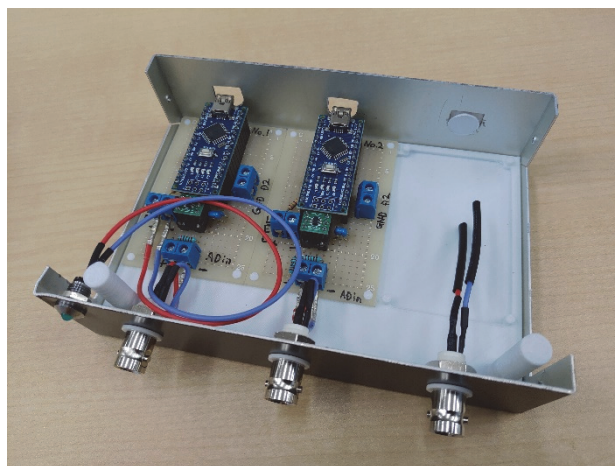


図3 AD変換ボックスの内部

2-2. 制御盤とサーボアンプ

サーボモータを駆動させるためには、サーボアンプやその周辺機器が必要であるが、それらを収納する制御盤があると便利である。制御盤作製の外注を検討したが高価であったため、キャビネットを購入して自作することとした。

図 4 に自作した制御盤を示す。制御盤はクレーンで吊る可能性があるため、上部にアイボルトを取り付けた。また、下部にキャスタを付けて移動できるようにした。正面には、電力計を付けて使用電力に異常が無いか確認できるようにした。基

本的にはサーボモータが発電側に働くため、使用電力は少ないはずであるが、サーボモータに異常な負荷がかかると値が変わるため、1つの目安となる。電力計から各サーボアンプに分岐するように、電源ブレーカを設置した。今後制御するサーボモータが増えることを考慮して、電源ブレーカは6つ取り付け付けた。また、風洞内から電源投入の状態が確認できるように、制御盤上部に電源ラン



図4 制御盤の外観

プを設けた。ただし、実際は盤上に物を置いてしまうため、視認性はあまり良くない。さらに、盤上の一番押しやすいところに非常停止スイッチを設置した。

サーボアンプは、使用経験があり、通信の仕様を知っている三菱電機製(MR-J5-A)を使用した。サーボアンプの機能として、回転数やトルクの値を電圧に換算して出力する機能があるため、実験データの収録用にデータ線を出している。サーボアンプには回転数の指定方法がいくつかあるが、ノイズに強く、複数のサーボアンプと同時接続可能なRS422通信で回転数を指定する方法をとることにした。

2-3. 制御ソフト

風速データをAD変換ボックスから受け取り、サーボモータの回転数を算出してサーボアンプに指令値を送信するソフトウェアを作成した。言語は、Windows上で動作するアプリケーションが作りやすいC#を選択した。

図5に作成した制御ソフトを示す。通信はAD変換ボックスとサーボアンプで2ポート必要であるが、使用するPCの環境でポートが異なるため、それぞれ設定できるようにした。風速の計測に使用する熱線流速計の校正値は毎回変動することから、その都度設定し直す必要があるため、校正値を入力するテキストボックスを設けた。また、風車のロータ直径や最適な回転数は風車モデルによって異なるため、これも変数として入力でき

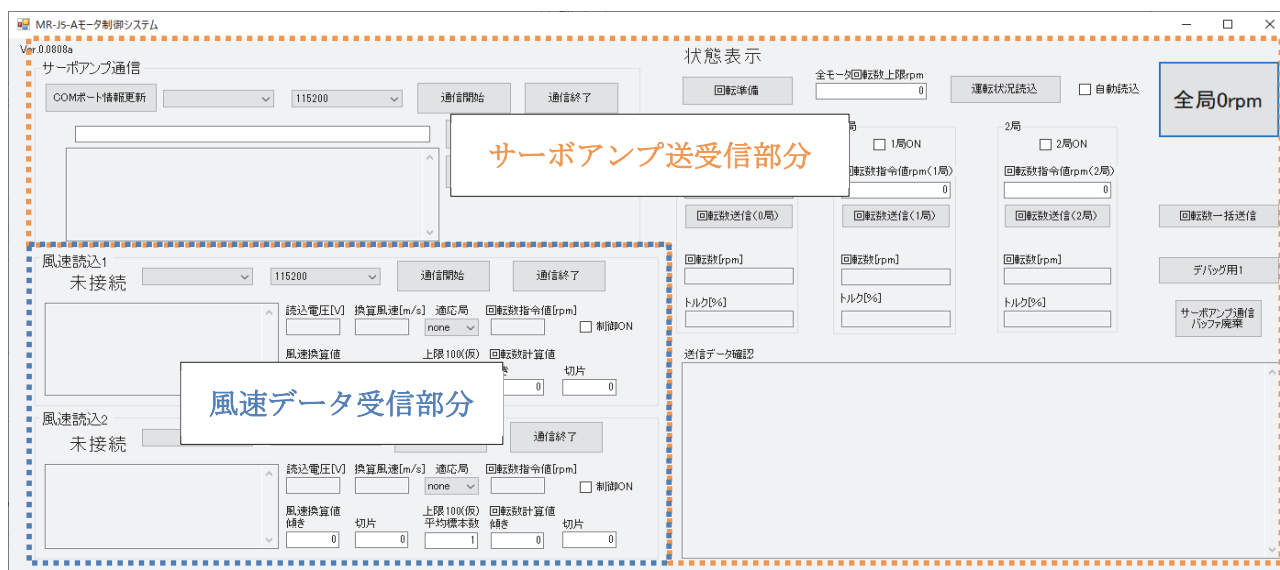


図5 制御ソフト

るテキストボックスを設けた。本システムでは、風速データが 0.1 秒毎に送られてくるが、熱線流速計の仕様上、風速データの変動が激しいことが予想される。そのため、風速の値を保持しておき、平均値を用いてサーボモータの回転数に反映できるようにした。また、本来意図した風速データより高い値になった場合にモータが高速回転しないように、回転数の上限を設定できるようにした。開発の都合上、通信の入出力を確認する必要があったため、テキストボックスで入出力信号を確認できるようにした。その他にも機能を用意しているが、本稿では割愛する。

なお、本ソフトは前述のとおり制御対象のサーボモータを増やすため、今後も改良していく予定である。余談であるが、現時点でのメインプログラムはおおよそ 2,000 行であった。

3. 制御パラメータの調整と結果

今回使用したサーボモータは、主に回転数制御・トルク制御・位置制御（回転角制御）ができるものであるが、実験の目的から、回転数制御を選択した。サーボアンプは、サーボモータを制御するために様々なパラメータが設定できる。パラメータを上手く調整しなければ、安定した回転が得られないばかりか、装置自体が故障する可能性があるため、しっかり検討しなければならない。幸い、三菱製サーボアンプにはサーボモータの負荷（何を回転させるか）に応じてパラメータを自

動調整してくれる機能があるため、まずはそれを適応した。

次に、制御システムの応答性を確認するために、流入風を変動させて回転数の推移を確認しながらパラメータを調整した。ここで調整するパラメータは主に、以下の 4 項目である。

- ・風速の平均化に使用するデータの個数
- ・サーボモータの加速時間
- ・サーボモータの減速時間
- ・風速データに使用するローパスフィルタ

風速の平均化に使用するデータの個数が多ければ、それだけ回転数の更新が遅くなる。また、加速・減速時間をゆるやかに設定すると、目標値（指令値）に到達するまでの時間が長くなる。調整と検証を行った結果、平均化は行わず（1 個のデータをそのまま使用）、加速・減速は毎秒 300rpm で変動させることにした。また、風速データの計測に使用する熱線流速計は、非常に応答性が良く、瞬間的な風速の低下を捉えてしまう。瞬間的な風速の低下を自動制御に使用した場合、回転数の変動が激しくなったため、ローパスフィルタ 1Hz を通した風速データ（電圧）を使用した。

本システムを用いた回転数の推移を図 6 に示す。風速の変動に伴い、回転数が追従していることが確認できた。

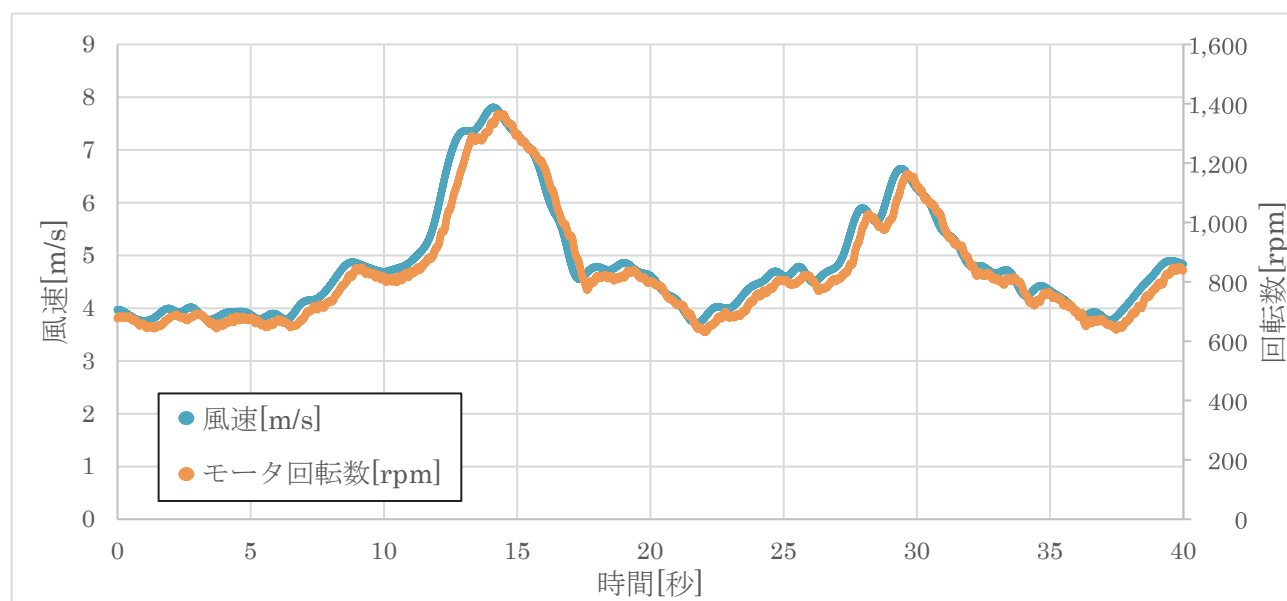


図 6 本システムを用いた風速と回転数の推移

4. 今後の課題

風速に対して回転数が追従するシステムを作製することができた。しかし、多くの課題が残っている。以下に現状の課題を挙げる。

- AD 変換のタイミング

AD 変換に使用しているマイコンのプログラムは、AD 変換と電圧データの送信処理後に 100ms 待機させている。すなわち、「AD 変換とデータ送信にかかる時間+100ms」が正確な制御周期になっている。これは暫定的な措置で、今後制御するサーボモータが増えた際に改善する予定である。

具体的には、別途 10Hz (100ms 周期) のパルスを用意して、割り込み処理を行う。こうすることにより、制御周期は 10Hz となり、AD 変換のチャンネル (マイコン) を増やしても、同じパルスを入力することで互いに同期を取ることが出来るようになる。

- 非常停止スイッチを押すと軸がフリーになる
制御盤上部に設置した非常停止スイッチはサーボアンプの非常停止入力ピンに接続している。非常停止入力ピンは、サーボモータの制御をオフにして軸がフリーになる機能であり、外力 (風の力) によって回される場合はロータの回転数が急激に上がり危険である。これを防ぐために、スイッチを押すとサーボモータの回転が抑制される機能を追加する必要がある。
- 回生抵抗の発熱対策をしていない
基本的にサーボモータは外力で回されているため、回生電力 (発電された電力) が発生する。サーボアンプは、回生電力を抵抗器に流し、

熱に変換して消費させる仕組みになっている。制御盤内に回生電力を消費させるための回生抵抗を設置しているが、発電量によっては、高温になることが予想されるため、盤外への廃熱機構が必要である。

- 制御周期が 10Hz 以上出せない

現在の構成では制御周期は 10Hz が限界のようで、20Hz で制御しようとする (AD 変換の待機時間を 50ms に設定) 通信が安定しなかった。より高速な制御が必要となった場合、どこがネックになっているのか調査して改善する必要がある。

5. おわりに

実験用風車模型における回転数自動制御の構想は以前からあり、機会があれば作製してみたいと思っていた。制御盤の加工・AD 変換回路の作製・サーボアンプの仕様把握・制御プログラムの作成と、必要な技術は多岐にわたるが、今までの経験のおかげで、詰まることはなかった。

本システムは実際に実験で使用しており、良好なデータが計測できている。今後も継続して使用するため、より安全で使いやすいシステムに改善する予定である。

謝辞

本システムを作製する機会を与えて頂いた内田孝紀准教授をはじめ、日頃よりサポート頂いている研究室スタッフに厚く御礼申し上げます。また、制御盤の加工にご協力いただいた技術室の中野智氏に感謝の意を表します。