

風洞利用マニュアル (Ver. 2)

A. 6分力天秤の利用手順	1
B. 6分力天秤の移動手順	16
C. 風洞運転手順	19

過去の故障事例

電源プラグの破損	1
天秤の傾斜によるロックナット破損	1, 2
サブストラット風防の偏向	4
サブストラット先端ネジ溝破損	5
サブストラット高さ調整	5
模型とストラット風防の干渉による破損	13
サブストラット上端の凹部破損	13
テーパーピン欠落による模型破損	13
モーター室の冷却不足による駆動装置の過熱 ^{*1}	19

(※1 破損に至っていないが不注意による故障や破損の可能性が大きい事例)

A. 6分力天秤の利用手順

1. 天秤の電源プラグを専用のコンセントに挿す

過去の故障事例

プラグの爪が折れていたことがある。
プラグ挿入時は、異常が無いことを確認すること。また、プラグは、放り投げたりせず丁寧に扱うこと。



2. 天秤計測部の電源投入（スイッチは計測部最下部）

（本体のスイッチの他に、各コンポーネントのスイッチも ON になっていることを確認が必要）



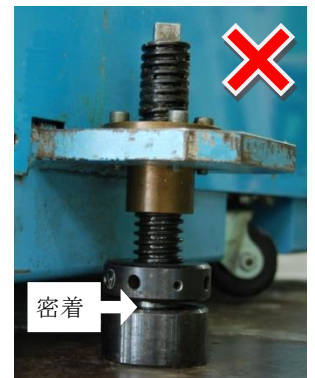
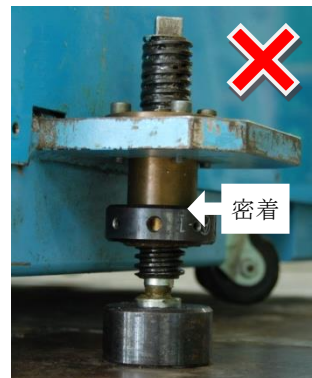
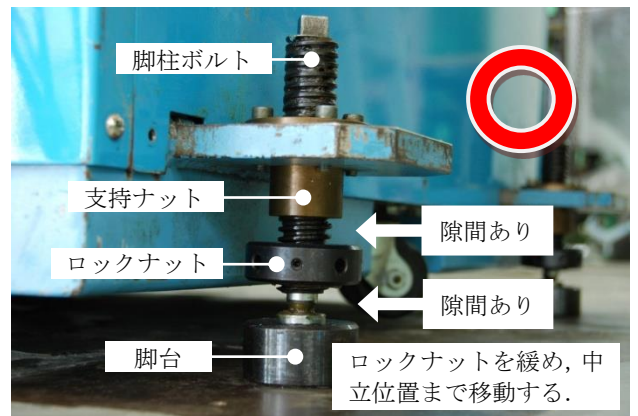
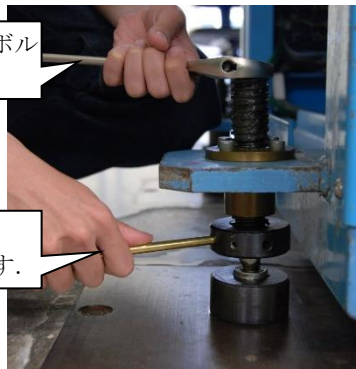
3. 天秤の水平出し

天秤の高さ及び水平出し調整時の注意

- ① 天秤の高さを調整する前に、全ての脚のロックナットを緩めておく。緩めるときは、ロックナットの側面の穴に直径 8mm の金属棒を挿入して回す。
- ② ロックナットは天秤の支持ナットと脚台のどちらにも接触しないように、中立位置にセットする。
（過去の故障事例を読むこと）

モンキーレンチで、ボルトヘッドを押さえる。

金属棒を挿し込み、ロックナットを回す。



過去の故障事例

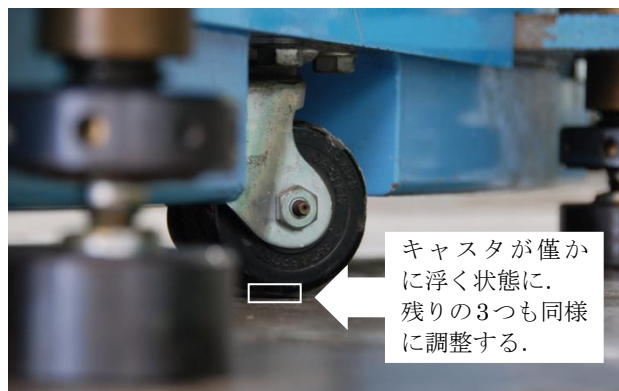
固定ナットが脚台と密着した状態のままボルトを回して高さ調整したため、ロックナットが噛んでしまい、長期の修理が必要となった。

脚台と脚注ボルトはボール状の関節で繋がっており、天秤の傾斜を吸収する機構を持つ。この脚台に固定ナットが密着したまま、天秤の水平出しを行ったため、天秤の荷重が固定ナットに掛かり、ロックナットのネジ溝潰れてしまった。

(つづく)

水平出しの手順

- ① 脚柱ボルトを廻し、天秤の高さを下げ、キャスタだけで地面と接地するようにする。この時、右下図の脚 A-D-B-C の様な順で対角の順に脚注ボルトを回し、徐々に天秤の高さを変えること。
- ② 4つのタイヤが僅かに地面から浮く状態になるまで、脚柱ボルトを回し4本の脚台を下げる。

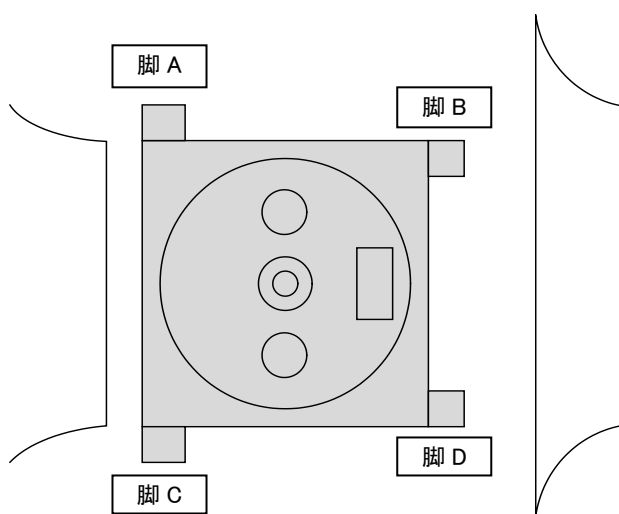


- ③ 水平義を天秤のターンテーブルに載せ、左右方向の水平を出す。

例
天秤の右側が低ければ、脚柱ボルトを回し、AとBの脚を同じ高さだけ下に延ばす。(過去の故障事例を読むこと)

- ④ 水平義の向きを変え、前後方向の水平を出す。

例
前の方が低ければ、AとCの脚を同じ分だけ高くする。

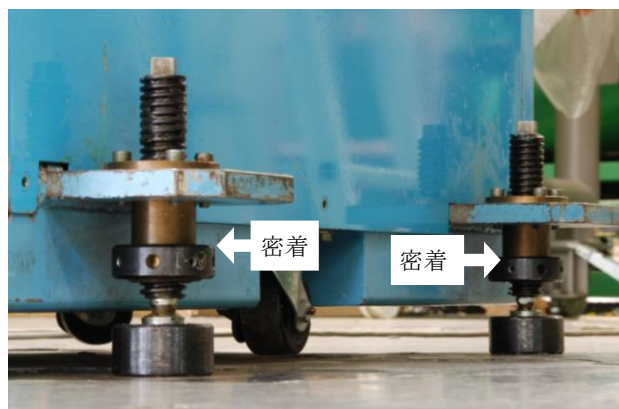


過去の故障事例

天秤の傾きを確認せずに、脚柱ボルトを回し続けたため、天秤が過度に傾き、ロックナットのネジ溝が損傷、長期修理に至る。

脚柱ボルトを1/4回転させるだけでも、天秤の高さは十分変わるので、1/4回転ごとに天秤の水平を確かめるとよい。

- ⑤ ロックナットを回し上げ、天秤本体の支持ナット側に固定する(右図)。



4. ストラットの設置

メインストラットを設置し、10mmのキャップボルトで固定する。

メインストラット設置の注意点

- メインストラットには2種類ある。中央に設置するストラットと、両側に設置するサイドストラットである。両者はその太さが異なるので注意すること。
- ストラットを設置する向きに気をつけること。(写真参照)
- 固定するためのキャップボルトの太さと長さに注意すること。十分に固定することができない場合、試験体ごと倒れる可能性もある。
- ストラットを固定するとき、4本のキャップボルトを対角にあるボルト同士から順に締めること(図参照)。また、一度に強く締めず、2・3回に分けて4本ずつを徐々に締めていく。最終的には、上半身の体重を軽くレンチに乗せる程度で増し締めすれば良い。

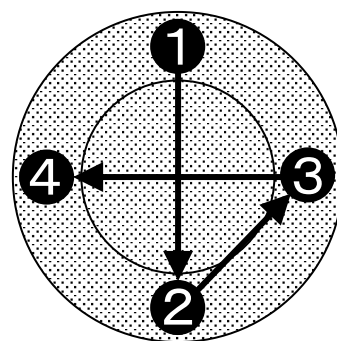
各ストラット設置に必要な部品と名称は写真の通り。

サブストラット設置手順

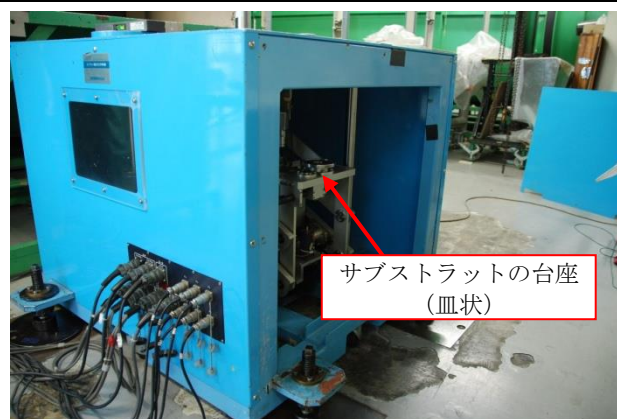
- ① 天秤の迎角を操作し、約 29° に変更する。

INCINGの+-ボタンは押している間だけ動き、CONTINUOUSの+-ボタンは、一度押せば動き続け、停止させるときは再度押す。

迎角の設定限界である 30° を越えると自動的に停止し、LIMITの赤ランプが点灯する。この場合、マイナスボタンを押してランプが消えるまで迎角を戻す。



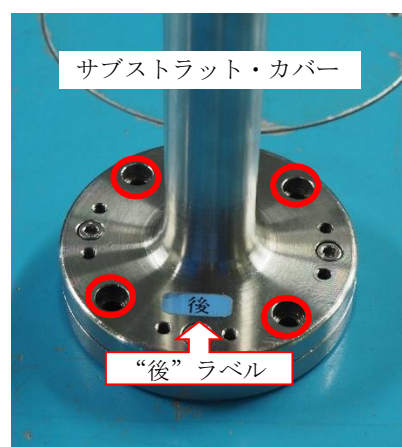
② 天秤後方の側板を開ける。(ネジは入れ物に入れ、紛失しないように注意する)



③ 天秤側のサブストラットの台座に、サブストラットを載せ、6mm のキャップボルトで固定する。

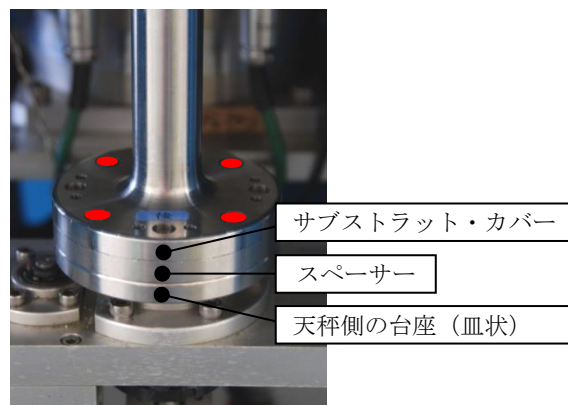
このとき、次の点に注意する。

- サブストラット・カバーの“後”シールを「下流」側に向けて載せること。
- キャップボルトは、写真の赤○で示した4つの穴を通す。
- キャップボルトを締め付ける際は、サブストラット・カバー自体をもう一方の手で押さえ、ボルトを締め付ける際の反トルクでサブストラット・カバー自体が回らないようする。
- サブストラット・カバーを取り外すときは、右写真の赤丸がついた位置の4つのキャップボルトのみを緩めて外すこと。



左図の赤丸で示したところ以外に装着してあるキャップボルトやイモネジには触れないこと。

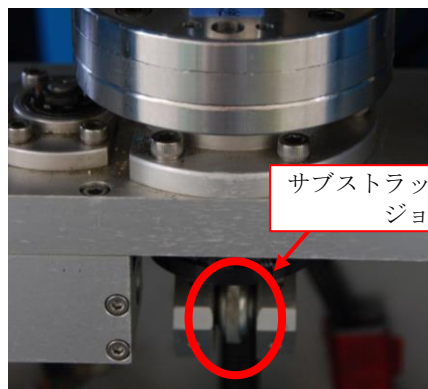
過去の故障事例
サブストラット・カバーを天秤側の台座に固定する際、キャップボルトを締め付ける際に、サブストラット・カバーに掛かる反トルクを手で押さえずに、締め付けた。反トルクが繰り返して伝わることで、ヨー角操作時にサブストラット風防の向きを同期させる回転機構にテンションが蓄積し、サブストラットの風防の向きに大きなオフセットが生じてしまった。



- ④ サブストラットを挿し込み、根元のジョイントに回し入れること。ジョイントが上を向くように指で支え、サブストラットをジョイントに**真っすぐ確実に**回し入れること。

過去の故障事例

斜めになっているユニバーサルジョイントにサブストラットをそのまま回し入れたため、先端のネジ溝が破損し、サブストラットも無理な力がかかる状態で固定された。さらにサブストラットとサブストラット・カバーとが干渉した状態のまま、模型の迎角やヨー角を変更したために、天秤自体に無理な負荷をかけた。



サブストラットを回し入れるジョイント

- ⑤ 最後に、サブストラット中央部分の切り欠きに 13mm のスパナをはめ込み、サブストラットをしっかりと締め留める（手首の力で締め留める程度で良い）。



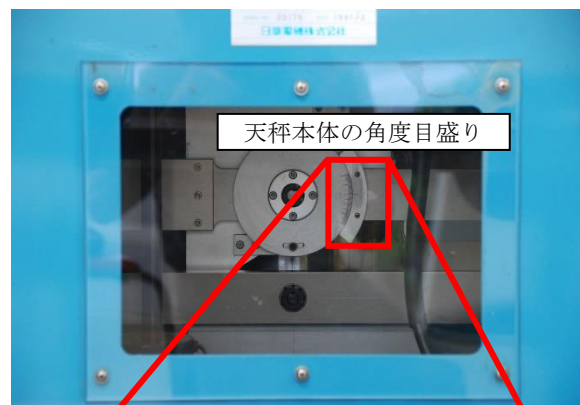
5. サブストラットの高さ調整（必須）

重要

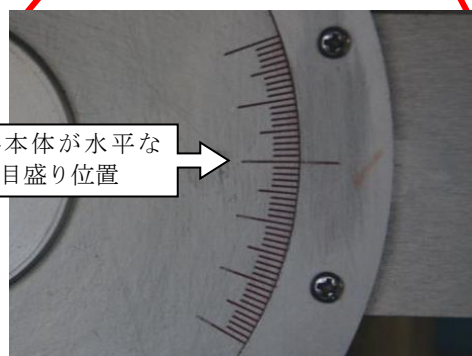
サブストラットの高さを以下の手順で必ず調整すること。これを行わないで模型を取りつけると、迎角変更の際、天秤本体に無理な力が発生し異常停止する。最悪の場合、**天秤本体の重大な破損に繋がるので、厳に注意すること。**

なお、異常停止した場合は、風洞の電源を一旦落とし、異常停止の原因となった無理な力を取り除いた上で再度本体の電源を入れること。

- ① 天秤の迎角を水平に戻す。
 ここでの水平の基準には、計測部のデジタル表示ではなく、天秤筐体側面の小窓を通して天秤本体の角度目盛りを用いること。



天秤本体の角度目盛り



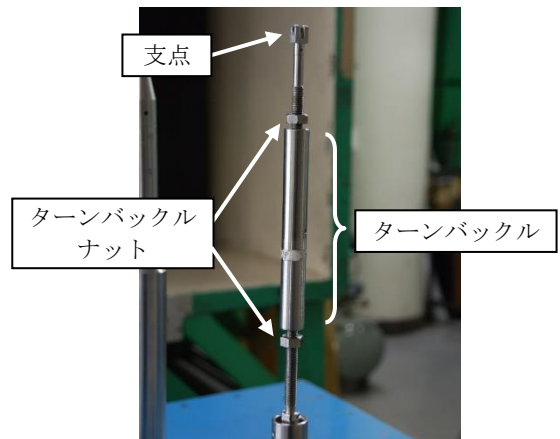
天秤本体が水平な時の目盛り位置

② メインストラットにストラットヘッドを取り付ける。

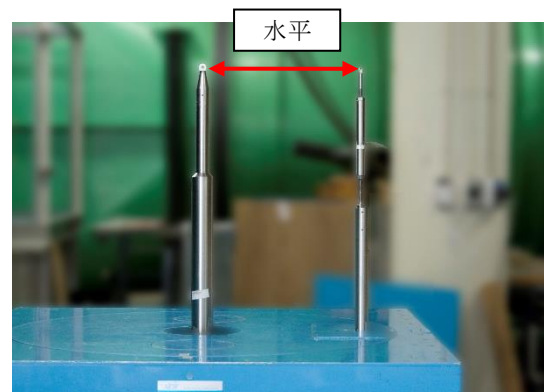


③ サブストラットのターンバックル上下のナットを緩める(13mm のスパナ).

④ 支点部分が回らないように、サブストラットの先端の支点を指で押さえ、ターンバックルを回す。(これによりサブストラットが伸び縮みする.)



⑤ 金尺と水平義などを用いて、両ストラットの支点穴どうしを結ぶ線が水平になるように、サブストラットの長さを調整する。



⑥ 上下のターンバックルナットを締めて固定する(13mm のスパナ)。このとき、サブストラットの支点の溝が、風洞の X 軸と平行を保つように注意する。

6. 零調整

- ここでは、空気力が掛かっている状態での出力電圧が 0[V] (零点) になるように調整を行う。
- 零調整は、試験模型を天秤に載せている状態で行っても構わない。

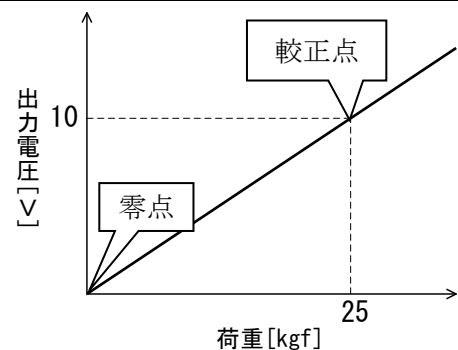


図 零調整と較正による比例関係

① MSA-100 (演算増幅器) の“0~100%”つまみ (モーメント中心の調整つまみ) が、2つとも左に回し切っていることを確認する。(写)

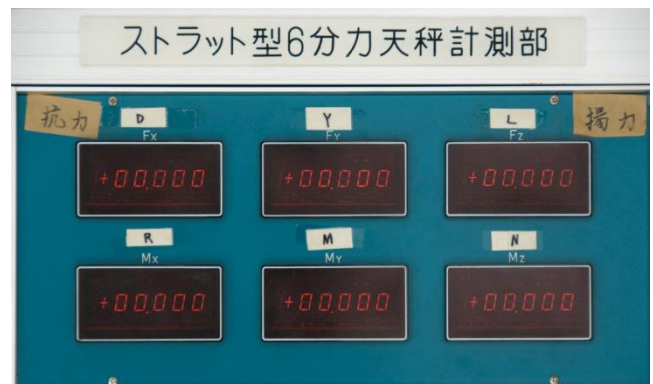


② DSA-100 (直流型歪み増幅器 : DC STRAIN AMPLIFIER) の、すべての力とモーメントの「ATT」つまみが“1”を指していることを確認する。(写)



すべての「ATT」を“1”に。

③ DSA-100 (直流型歪み増幅器 : DC STRAIN AMPLIFIER) の、 F_x から M_z の「BAL」の「FINE」つまみを回し、全ての力とモーメントの出力電圧を 0.0000[V] に調整する。(写)
($\pm 0.0001[V]$ 程度のズレは許容しても良い.)



7. 感度調整 (較正 : キャリブレーション)

ここでは、力やモーメントと出力電圧との比例関係 (傾き) を決定するために、天秤内部で擬似的に課された一定の力やモーメントに対して、出力電圧を調整する。

以下の手順で、個々の力やモーメントに対して順番に調整していく (写真は F_x についての例)。

① 2次較正器のスイッチを上げる。

この操作により、天秤内部で電氣的に一定の荷重が掛かる。このときの荷重は、

$F_x, F_y, F_z \rightarrow 25[\text{kgf}]$

$M_x, M_y \rightarrow 10[\text{kgf}\cdot\text{m}]$

$M_z \rightarrow 5[\text{kgf}\cdot\text{m}]$

と、それぞれ異なる。

- ② DSA-100 (直流型歪み増幅器 : DC STRAIN AMPLIFIER) の、「ATT」の「FINE」つまみを回し、出力電圧の値を 10[V]や 5[V]などの任意の電圧に調整する。

※航空宇宙応用実験 (FA200 模型) の場合は、すべて ATT=1 の状態で 10[V] に設定

- ③ 較正器のスイッチを下ろす。
④ 出力電圧が 0[V]からずれていたら、もう一度零調整を行う。
⑤ 較正值と零点の相互のズレがなくなるまで、①～④を繰り返す。



8. モーメント中心

ここでは、模型まわりのモーメントを正しく測定するために、天秤のモーメント中心を模型の重心位置に移動させる。天秤が測定する X 軸 Y 軸まわりのモーメント中心は、その位置を自由に調整できる。

初期状態では、MSA-100 の「0～100%」つまみが、「 $M_x - F_y$ 」「 $M_y - F_x$ 」ともに左に回しきられている状態であるものとする。この時のモーメント中心はメインストラットの根元付近にある。

【方法 1】

実際に天秤のモーメント中心を移動させる方法

長所：電圧から直接、モーメントを求めることができる。

短所：ATT を感度が下がる方に操作するため、測定値の精度が落ちる。

- ① 写真の様に、想定される模型の重心付近に一定の力を課す。
(写真では、滑車を介して、重力により引っ張られる鉄片の力が、ストラットヘッドの先端に x 軸の正の方向に掛かっている。この F_x により Y 軸回りのモーメント M_y が発生する。)

- ② MSA-100 「F_X-M_Y」の「0~100%」つまみを、M_Yの出力電圧値が0[V]になるまで、右に回す。

M_Yの出力電圧値が減少していくことを確認する。この時、天秤のY軸まわりのモーメント中心が模型の重心位置に近づく。

(ここまでの行程で M_Y の出力電圧が 0[V]に達すれば、③以降の手順は不要。)

(右の写真の様に、もし、右に回し切っても M_Y の出力電圧値が 0[V]に達しない場合は、以下の手順で調整を続ける。)

- ③ M_Yの「ATT」つまみを“1”から“1/2”へ回す。

このとき、「0~100%」つまみが右に回しきられている状態で、M_Yの出力電圧の正負が逆転した場合、モーメント中心が重心位置を越えたことを示している。正負が逆転しなければ、更に「ATT」つまみを“1/5”まで回す(感度も更に落ちる)。

- ④ MSA-100 「F_X-M_Y」の「0~100%」つまみを左に戻す。

M_Yの出力電圧値が0[V]になれば、天秤のM_Yのモーメント中心がF_Xを掛かっている点と同じ位置にあることを表している。

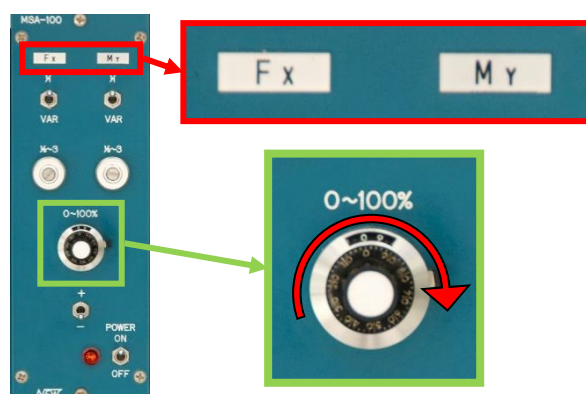
- ⑤ ①~④と同じ手順で、M_Xについても調整する。

重心位置にF_Yの方向に力を掛け、「F_Y-M_X」の「0~100%」つまみを回し、M_Xの出力電圧が0[V]になるようにモーメント中心を移動する。必要があれば、「ATT」を“1”から“1/2”や“1/5”に切り替える。

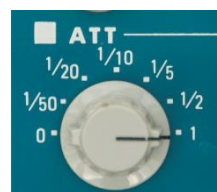
この方法を用いた場合の、電圧から力を求める式は、次の通り。



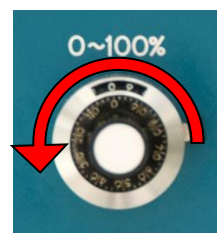
②



③



④



(例：力を求める場合)

$$F_{CAL} : V_{CAL} \cdot ATT = F : V \quad \dots(1)$$

または,

$$F = \frac{V}{V_{CAL} \cdot ATT} F_{CAL} \quad \dots(2)$$

ここで、添え字 CAL の付いているパラメータは、校正時の力に対する電圧値である。

例) $F_{CAL}=25[\text{kgf}]$, $V_{CAL}=10[\text{V}]$

【方法2】

モーメント・トランスファーを用いて、計算により、モーメント中心位置を求める。

長所：ATT を“1”のままにして測定できるので、測定感度を落とさずに済む。

短所：測定中のモーメントの出力電圧から、直感的にモーメント値を知ることができない。モーメントトランスファーを計算するために、実験後にデータを後処理する必要がある。

- ① MSA-100 の「0～100%」ダイヤルを、 F_Y — M_X , F_X — M_Y ともに、右に回し切る。

この時、天秤のモーメント中心は、メインストラットに沿って、上方に向かって移動する。(「ATT」が“1”に設定されている場合、通常は、メインストラット先端より数センチ下まで移動する。)

以下の手順のうち、②～⑤は、測定前に準備として行っておく測定である。⑥以降の手順は、実際の空気力測定での手順となる。

まず、②③では、右の図で示すように、移動させた Y 軸まわりのモーメント中心と模型の重心との距離 L_Y を求める。

- ② 模型の重心位置 (例：ストラットヘッド先端) に、X 軸方向の任意の力 F_X を課す (方法 1 参照)。

X 軸方向正の向きに力を掛けた場合は $F_X > 0$ 及び $M_Y > 0$ 、負の方向に力を掛けた場合は $F_X < 0$ 及び $M_Y < 0$ となる。力を掛ける向きは自由だが、出力電圧値の正負に注意すること。



- ③ 天秤測定部での F_X と M_Y の出力電圧値を、それぞれ V_{FX} , V'_{MY} として記録する。なお、試験模型の重心位置まわりのモーメントと区別するため、ここで得られる M_Y を M'_Y と表す。

それぞれの出力電圧値から求まる F_X と M'_Y は、

$$F_X = \frac{V_{FX}}{V_{FXCAL}} F_{XCAL} \quad \dots \quad (3)$$

$$M'_Y = \frac{V'_{MY}}{V_{MYCAL}} M_{YCAL} \quad \dots \quad (4)$$

となる。ここで、添え字 CAL の付いているパラメータは、較正時の力やモーメントとそれに対する電圧値である。

例) $F_{XCAL}=25[\text{kgf}]$, $V_{FXCAL}=10[\text{V}]$
 $M_{YCAL}=10[\text{kgf}\cdot\text{m}]$, $V_{MYCAL}=10[\text{V}]$

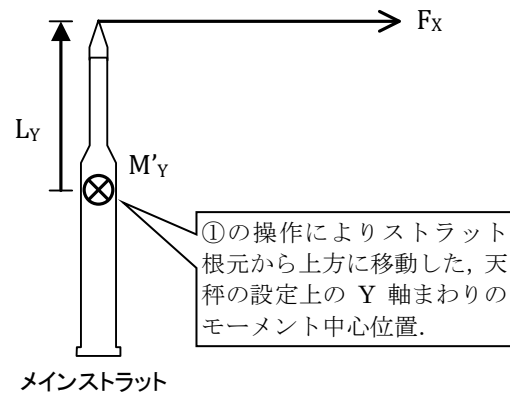
図の様に、この時の M'_Y は天秤の設定上の Y 軸回りのモーメントであり、

$$M'_Y = F_X \cdot L_Y \quad \dots \quad (5)$$

と表される。従って、移動させた Y 軸まわりのモーメント中心と模型の重心との間隔 L_Y は

$$L_Y = \frac{M'_Y}{F_X} \quad \dots \quad (6)$$

となる。



次に、②③と同様の方法を用いて、移動させた X 軸まわりのモーメント中心と模型の重心との距離 L_X を求める。

- ④ 模型の重心位置（例えば、ストラットヘッド先端）に、Y 軸方向に任意の力 F_Y を課す。（方法 1 参照）

- ⑤ 天秤測定部での F_Y と M_X の出力電圧値を記録する。ここではこれらを、それぞれ、 V_{FY} , V'_{MX} とする。なお、試験模型の重心位置まわりのモーメントと区別するため、ここで得られる M_X を M'_X と表す。

それぞれの出力電圧値から求まる F_Y と M'_X は、

$$F_Y = \frac{V_{FY}}{V_{FYCAL}} F_{YCAL} \quad \dots \quad (7)$$

$$M'_X = \frac{V'_{MX}}{V_{MXCAL}} M_{XCAL} \quad \dots \quad (8)$$

となる。

図の様に、この時の M'_X は天秤側のモーメント中心回りのモーメントであり、

$$M'_X = F_X \cdot L_X \quad \dots \quad (9)$$

と表される。従って、移動させた X 軸まわりのモーメント中心と模型の重心との間隔 L_X は

$$L_X = \frac{M'_X}{F_Y} \quad \dots \quad (10)$$

となる。

(ここからは空気力測定時の結果処理手順)

⑥ 天秤の設定を保ったまま、通常の実験と同じ手順で試験模型の空気力を測定し、計測部に表示された F_X , F_Y , M_X , M_Y の出力電圧値を記録する。ただし、 M_X , M_Y として出力された出力電圧は、模型の重心回りのモーメントによるものと区別するため、 V'_{MX} , V'_{MY} とする。 F_X , F_Y に対する出力電圧値は V_{FX} , V_{FY} とする。

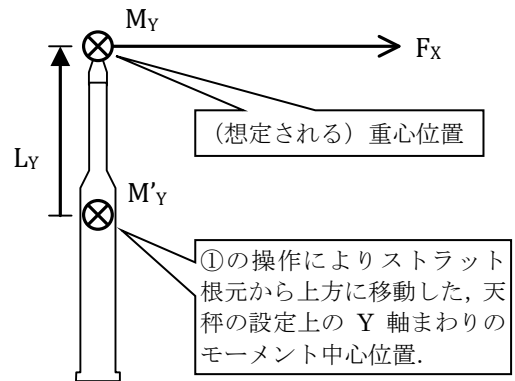
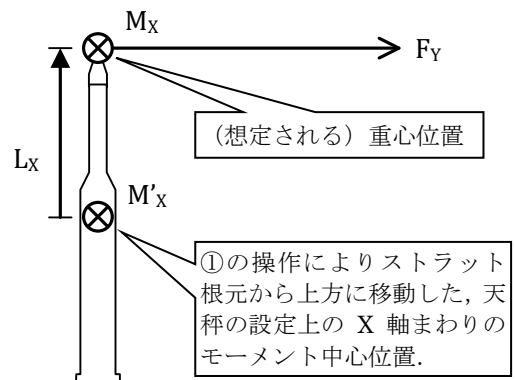
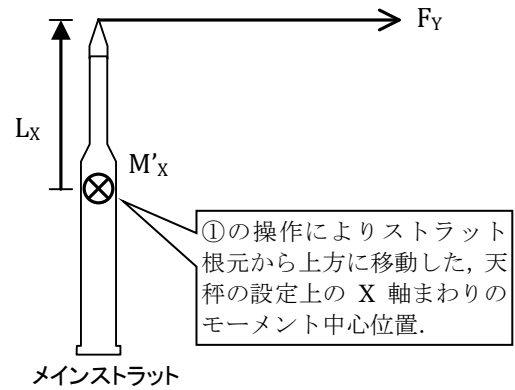
⑦ 式(3)(4)および(7)(8)を用いて、得られた出力電圧に対する力 F_X , F_Y とモーメント M'_X , M'_Y を算出する。

⑧ ②～⑤で得た L_X と L_Y , および⑦で得た力とモーメントを用い、以下の式

$$M_X = M'_X - F_Y \cdot L_X \quad \dots(11)$$

$$M_Y = M'_Y - F_X \cdot L_Y \quad \dots(12)$$

から、模型重心まわりのモーメントを求めることができる。

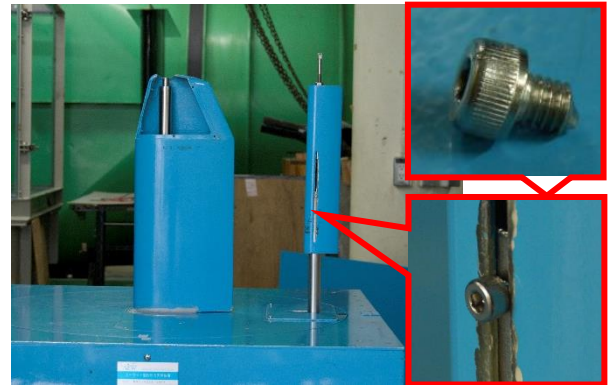


9. 風防の取り付け

- ① メインストラットの風防カバーを取りつけ、キャップボルトで留める。
- ② サブストラットの風防カバーを取りつけ、右の写真の様な短いボルトまたはネジで留める（指の力で強めに締め付ける程度で良い）。

過去の故障事例

カバーの端は、取り付け位置によっては、模型の迎角を変更したときに、模型底部や天秤本体に接触する可能性がある。このため、カバー取り付け後は、迎角を操作し接触しないかを確認すること。また、ヨー角操作の際も、模型及び設置物とメインストラットカバーとの干渉にも注意すること。



10. 試験模型を取りつける。

- ① 模型をメインストラットに載せる。
- ② 右の写真の様に、サブストラット先端のピボットにネジ溝のある側の穴からキャップボルトを回し入れる。

過去の故障事例

サブストラット先端の「凹」の字型のメスの支点部位が、模型本体のオスの支点部位を締め付けてしまい、動作不良が生じた。サブストラット先端のピボット穴は、一方にのみネジ溝が切られている。固定用のボルトは、ネジ溝の切られている方から挿入すること。

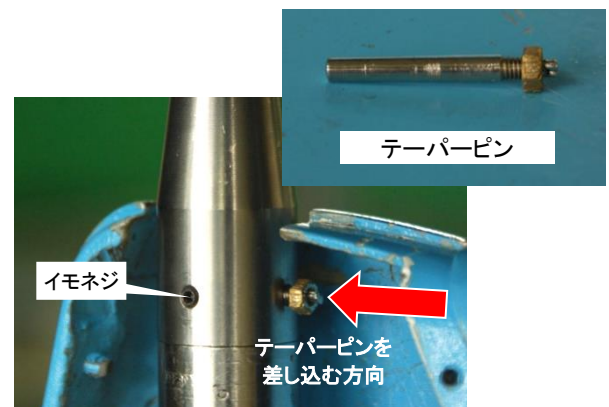
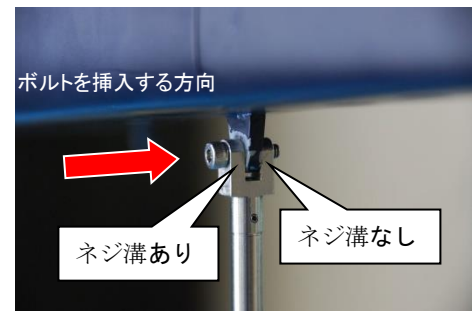
③ 【重要】

メインストラットとストラットヘッドの共通穴にテーパーピンを挿入する。

- 挿入する前に、一端のナットは十分に緩めておく。
- テーパーピンは、その名の通り、先端の方が僅かに細くなっている。したがって、右図の様に、ピンを挿入する方向が決まっている。
- テーパーピンを挿入したら、木槌などで軽く叩き、奥まで挿入してしっかり固定する。

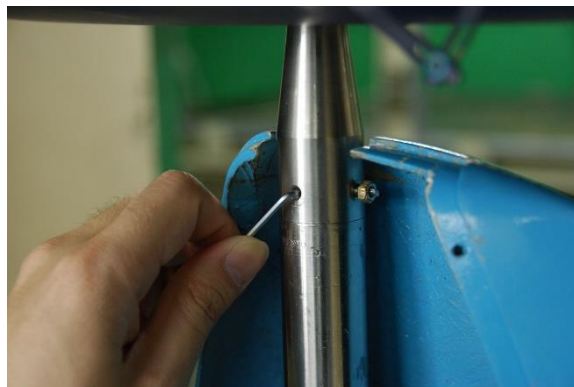
過去の故障事例

テーパーピンの挿入を行わなかった為に、風洞試験中に、模型に生ずる揚力が模型の重量を超え、模型が浮き上がった事例があった。模型は半壊し、サブストラットが折れ曲がる事態に至る。修理に長期間を要した。



④ ストラットヘッド側面のイモネジを留める.

側面のイモネジは2mmの六角レンチで締め付ける。あまり強く締め付けると、穴の角が削れ、レンチが空回りしてしまうので注意すること。少し強い程度の指の力で締め付けると良い。



⑤ メインストラットの風防カバー上部の窓に蓋をして、密閉する。



⑥ 尾翼を取りつける。



11. 模型の向きを調整する

① 迎角調整

機体基準線に水平義をあて、天秤測定部の迎角調整ボタンを操作し、機体基準線が水平になるように調整する。



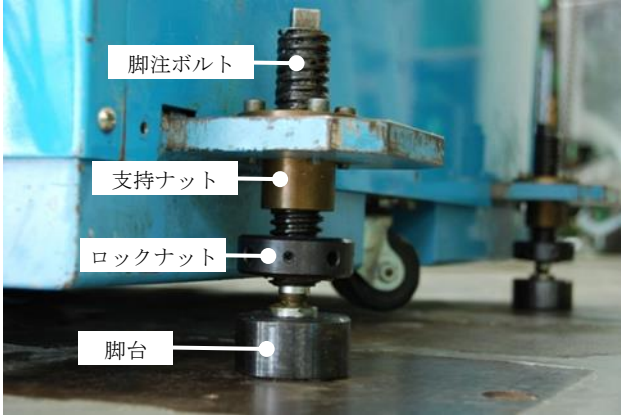
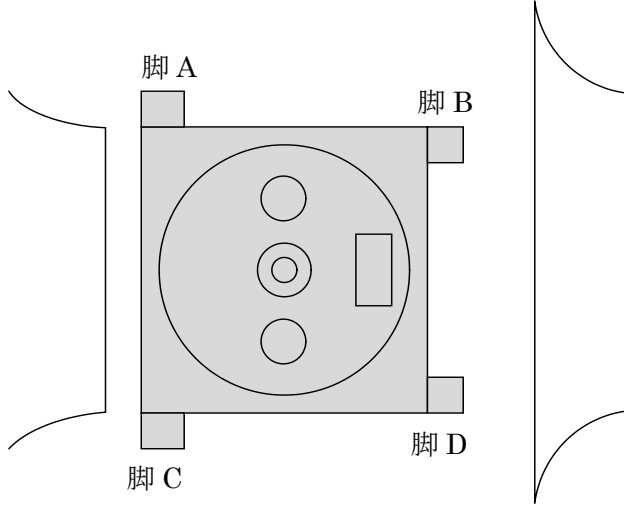
② ヨー角調整

風洞吹き出し口と吸い込み口の上の縁の中心間にたこ糸を張り、風洞吸い込み口の上から、機体軸が風洞軸に対して平行かを確認する。両者が平行になるように、天秤測定部のヨー角調整ボタンを操作し調整する。

- ③ 迎角・ヨー角制御器の“Zero Reset” ボタンを押し、迎角、およびヨー角の角度を 0° に設定する。



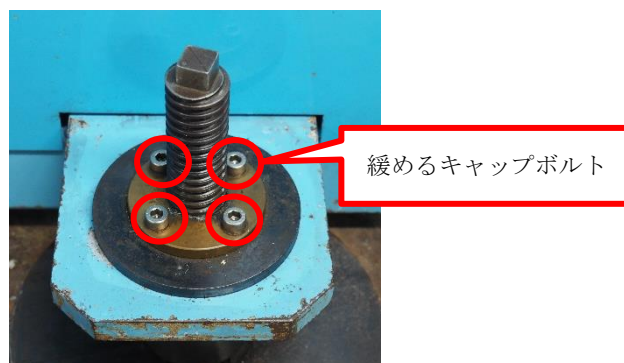
B. 6分力天秤の移動手順

<p>① 4本の脚のロックナットを中立状態にする。</p>	
<p>② 脚柱ボルトを回して天秤をジャッキダウンし、キャスターを接地させる。</p> <p>脚 A—D—B—C の順に少しずつ脚柱ボルトをまわし、天秤の水平を保ちながら徐々にジャッキダウンすること。</p> <p>どれか1つの脚だけを回し続けると、天秤が傾き、支えている対角2本の脚だけに大きな荷重が掛かってしまいます。これまでの修理のうち、脚柱やロックボルト、脚台のユニバーサルジョイント部分が破損するなどの原因が最大の要因です。</p>	
<p>③ すべてのキャスターが接地したことを確認し、各脚のロックナットを最も下の位置まで下げる</p>	
<p>④ 脚柱ボルトを回し、すべての脚台をできるだけ地面から離れた位置まで上げる。</p> <p>特に右前の脚（脚 A）は、脚台底面と地面の位置決め用金属板との隙間が十分に確保できないため、天秤を移動する前に必ず以下の作業を行うこと。</p>	
<p>⑤ （右前の脚のみ）</p> <p>※この作業は、必ず全てのキャスターを接地させた状態でおこなうこと。これを怠ると事故や怪我につながりますので、十分注意してください。</p>	

脚柱ボルト自体を上1 cmほど引き上げ、脚台と地面との間に隙間を確保する。

手順1

右写真の4本のキャップボルトを緩める。このとき、1 cm弱緩め、ボルトを完全に抜かない。

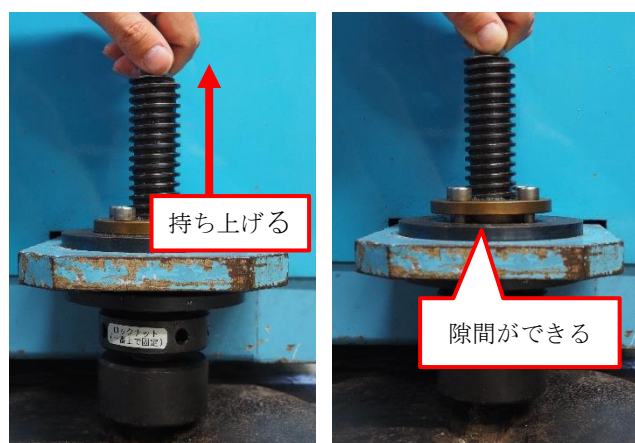


(4本のキャップボルトを緩めることで、天秤本体から突き出た台座とその下側の板との間に隙間が生じる。)



手順2

脚柱ボルトを上を持ち上げ、真鍮の円盤とその下の板との間にできた隙間に六角レンチを挟む。



<p>手順3</p> <p>脚台底面と地面板の間に隙間が確保されていることを確認する。隙間が確保できない場合は、脚柱ボルトをさらに引き上げ、よりサイズの大きいレンチを挟み、調整すること。</p>	 <p>隙間に六角レンチを挟む</p>  <p>脚台底面と地面板の間に僅かな隙間が確保されていることを必ず確認する</p>
<p>⑥ 天秤を移動する</p> <p>地面の位置決め用金属板から突き出ているボルトと脚台が接触しないよう、移動させる方向に十分注意する。</p>	

【注意】

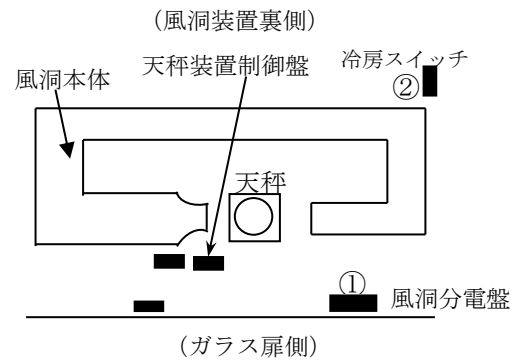
脚台が脚柱ボルトから脱落することがあるため、注意すること。移動中に脱落した場合は、脱落した脚台を保管しておき、6分力天秤をもとの場所に戻す際に、外れた脚柱ボルト下端のジョイントに正しく装着した上で、一旦天秤をジャッキアップすること。

C. 風洞運転手順

- 1
 - ① 風洞分電盤の中のスイッチを ON にする。
 - ② 風洞裏の奥にあるモーター室のエアコンのスイッチ（冷房：設定温度 16 度）を入れる。

【重要】

特に夏場，エアコンを入れ忘れたまま風洞ファンの運転を行うと，モーター室の室温が 40℃ 近くまで達する。高温での連続運転は，モーターに対して負荷が高く，故障の原因となる。
エアコンのスイッチの ON/OFF を忘れないこと。



風洞実験室を上から俯瞰した図

- 2 風速を設定する
 - ① マノメータとピトー管をつなぐビニールチューブが，折れて潰れたりヨレたりしていないことを確認する。
 - ② マノメータ上面の水平儀を確認して，マノメータが水平に設置されていることを確認する。
 - ③ 無風状態でのマノメータのアルコール初期高さを測定する。

(液面高さの見方)

副尺移動ノブを操作し，副尺とアルコール液面観測窓を移動させる。このとき，観測窓に対する目の高さに注意しつつ，アルコール液面の実像と鏡像が右図の a の状態になるように，観測窓の位置を調整する。このときの，アルコール高さを主尺と副尺から読み取る。



③



a) ちょうどよい b) 観測窓が低い c) 観測窓が高い

- ④ マノメータのアルコール温度計でアルコール温度を計測する
- ⑤ フォルタン型水銀気圧計で気圧を計測する
- ⑥ 右記の式(1)～(3)を使って，アルコールの初期高さと温度，および気圧から，設定したい任意の風速でのアルコール高さを求める

【メモ】

任意の風速 V [m/s] に対する設定すべきマノメータのアルコール高さ h [mmAl] は次式で求まる。

$$h = \frac{\rho_a V^2}{2000 \rho_{AL} g} + h_{init} \quad \dots (1)$$

⑦ マノメータの副尺移動ノブを操作して、観測窓の位置を⑥で求めた高さまで移動する。

ここで、空気及びエチルアルコール(100%)の密度 ρ_a および $\rho_{AL}[\text{kg/m}^3]$ 、重力加速度 $g[\text{m/s}^2]$ 、マノメータのアルコール初期高さ $h_{init}[\text{mmAL}]$ を用いる。

なお、空気密度 ρ_a は次式により求める。

$$\rho_a = \frac{P_a}{RT_a} \quad \dots (2)$$

ここで、気体定数 $R = 287.1[\text{m}^2/\text{s}^2\text{K}]$ 、大気圧 $P_a[\text{Pa}]$ および気温 $T_a[\text{K}]$ を用いる(実際の風速を求めるときは、 T_a に風温を用いる)。

一方、エチルアルコール(100%)の密度 $\rho_{AL}[\text{kg/m}^3]$ はアルコール温度 $t_{AL}[\text{°C}]$ を用いて、

$$\rho_{AL} = -0.8512t_{AL} + 806.33 \quad \dots (3)$$

により求める。

また、アルコール高さ $h[\text{mmAL}]$ から風速 $V[\text{m/s}]$ を求める場合は次を用いる。

$$V = \sqrt{\frac{\rho_{AL}g(h - h_{init})}{500\rho_a}} \quad \dots (4)$$

3 実験開始と終了

- ① 天秤のターンテーブル、風洞吹き出し口、吸い込み口などに、工具やネジを置き忘れていないか必ず確認する。
- ② 風洞モーター開始ボタン (ON ボタン=緑ボタン) を押す。
- ③ 速度調節つまみをゆっくり右に回す。
- ④ マノメータのアルコールの液面が観測窓から右図のように見えるまで、速度調整つまみで風速を微調整する。
- ⑤ 測定開始。
- ⑥ 測定が終了したら速度調整つまみをゼロにもどす。
- ⑦ 風洞モーター停止ボタン(OFF ボタン=赤ボタン) を押す。
- ⑧ 風洞分電盤の中のスイッチを OFF にする。
- ⑨ モーター室のエアコンのスイッチを切る。



④



アルコールの初期高さを測定したときと同じ見え方にする必要がある。また、風速が大ききときは、液面が不規則に上下に動くことがあるので、液面が離れたり重なったりする度合いが同じ程度になるように速度調整器で風速を微調整する。

【重要】

風洞に何か異常が生じた時は OFF ボタンを押して緊急停止する。それ以外の時は速度調整つまみをゼロにもどしてから OFF ボタンを押すこと。