

講師用

ロボット博士養成講座

ロボティクスプロフェッサーコース

ろっ きゃく
六脚ロボット①
(第1回/第2回テキスト)

必ず、生徒に授業日と自分の名前を記入
させるようご指導をお願いいたします。

だい かい じゅ ぎょう び
第1回授業日 2024年 月 日

だい かい じゅ ぎょう び
第2回授業日 2024年 月 日

な まえ
名前



ロボット博士養成講座
ロボティクスプロフェッサーコース

2024年7月授業分

ロボット博士養成講座

ロボティクスプロフェッサーコース

ろっ きゃく
六脚ロボット①

第1回

ろっ きゃく

六脚ロボットの組み立て（前編）

講師用

目 次

0. 六脚ロボットの組み立て（前編）

0.0. 「六脚ロボットの組み立て（前編）」でやること

0.1. 必要なもの

1. 六脚ロボットの準備

1.0. 六脚ロボットとは？

1.1. サーボモーターのしくみ

1.2. サーボモーターの原点調整

2. 六脚ロボットの組み立て

2.0. サーボモーターの組み立て

2.1. A -1 本体の組み立て

2.2. その他部位の組み立て

2.3. サーボモーターの組み付け

3. プログラムのポイント

3.0. 「ServoTest0」のポイント

4. まとめ

○ 授業開始にあたって

授業のはじめは、着席させ、大きな声であいさつしてから始めます。

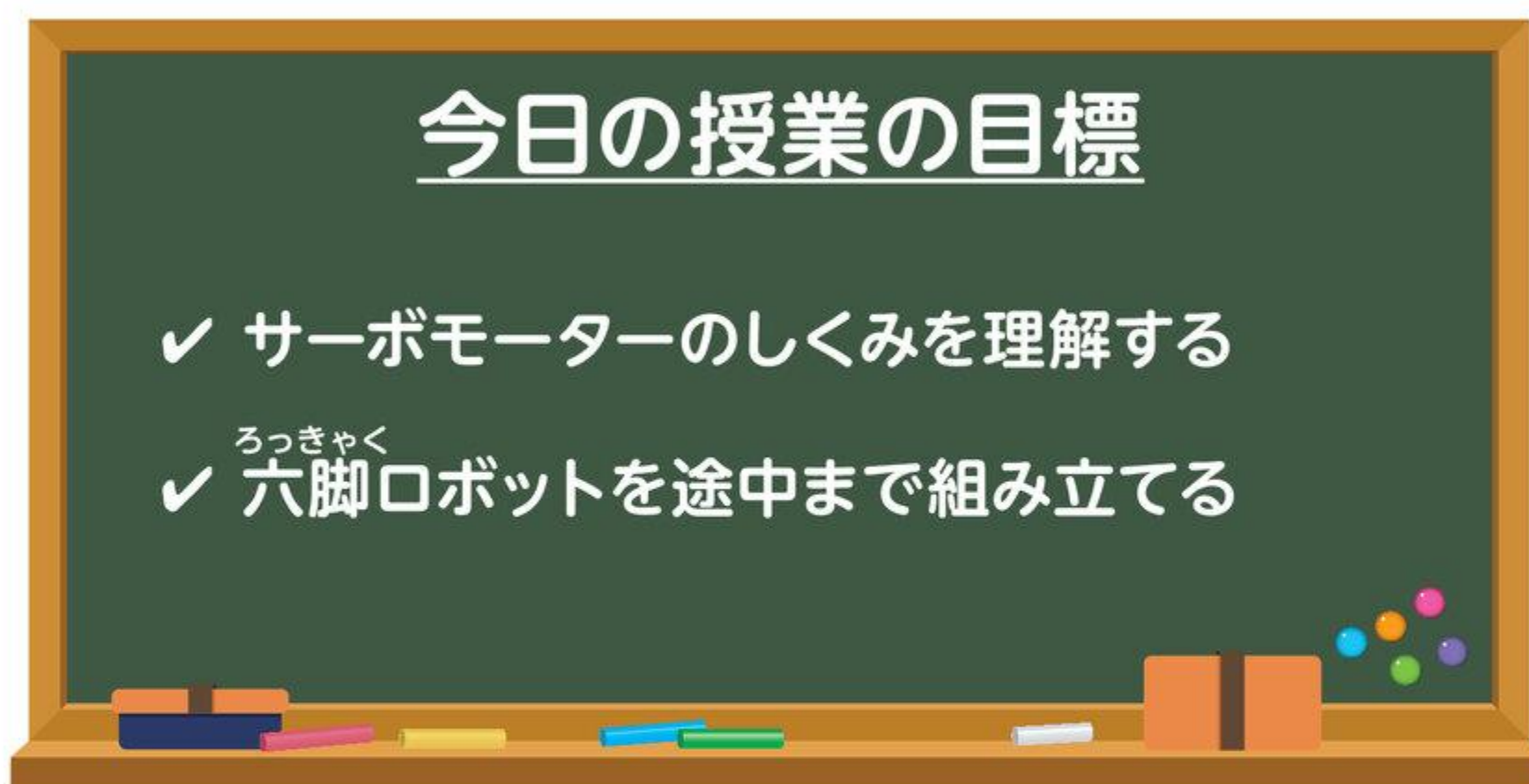
○ 今回の目標をパネルで用意するか、黒板に予め書いておきます。

（授業の目標を明確化することは大変重要なことですので、生徒によく理解させます）

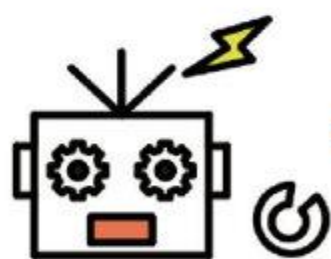
目安時間は授業時間 120 分のうち、休憩 10 分程度取ることを想定しています。
生徒の進捗状況により、休憩時間などを調整して授業を行ってください。

0. ^{ろっきゃく}六脚ロボットの組み立て（前編）（目安5分）

0.0. ^{ろっきゃく}「六脚ロボットの組み立て（前編）」でやること



今回からサーボモーターを活用した、^{ろっきゃく}六脚ロボットの製作を行います。ひとくちに、ロボットと言っても、いろいろな形のものがありますが、人や動物のような形をして、歩いて移動するロボットはとても人気があります。また人間のような二足歩行や、犬のような四足歩行をするようなロボットは、^{たくさん}沢山の関節を同時に^{せいぎょ}制御しながらバランスをとる必要があり、その製作と^{せいぎょ}制御には高度な知識と技術が必要になります。今回製作するロボットは、昆虫のような六本の^{あし}脚を持ち、比較的簡単な^{せいぎょ}制御で安定した歩行ができます。歩行するロボットは、車輪で移動をするロボットとは^{こと}異なり、足を動かす順番を正しく^{せいぎょ}制御することが必要になります。この授業では、^{ろっきゃく}六脚ロボットの製作とプログラミングを通じて、歩行のような^{ふくざつ}複雑な動作をロボットにさせるときに重要になるシーケンス（手順）とステートマシン（状態^{せんい}遷移）の考え方を学びます。



やったー！ ついに歩行ロボットの登場ダネ！

0.1. 必要なもの

ろっきゃく
六脚ロボットは、以下のパーツを使用します (第2回までに使用する全パーツ)。
パーツを取り出して組み立ての準備をしてください。

ラジオペンチ 1	ドライバー 1	USB ケーブル 1	マイコンボード 1
			
ロボプロシールド 1	電池ボックス 1	リボンケーブル 1	コントローラー 1
			
無線受信モジュール 1	タッチセンサー 2	200mm針金 2	MG995 サーボモーター 3
			
サーボモーター付属パーツ 3	ろっきゃく A-1 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく A-2 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく A-3 (六脚ロボットパーツ) 1
			
ろっきゃく B-1 (六脚ロボットパーツ) 3	ろっきゃく C-1 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく C-2 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく C-3 (六脚ロボットパーツ) 1
			

図 0-0 必要なもの①

MG995サーボモーター、サーボモーター付属パーツの使用数のうち、3セットは2年目コースセットのものを使用します。

また、ろっきゃく 六脚ロボットは、電池ボックスも使用して動かします。サーボモーターは、電力をたくさん使いますので、第2回以降は交換用の電池を持ってきてください。

ろっきゃく C-4 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく C-5 (六脚ロボットパーツ) 2	ろっきゃく C-6 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく C-7 (六脚ロボットパーツ) 1
			
ろっきゃく D-1 (六脚ロボットパーツ) 1	ろっきゃく D-2 (六脚ロボットパーツ) 1	サーボホーン 4	MG995 サーボモーター 1
			
サーボモーター付属パーツ 1	33mm 角スペーサー 6	8mm 丸スペーサー 12	ポリスライダーワッシャー 6
			
15mm ビニールチューブ 2	M3L6 ネジ 18	M3L12 ネジ 10	M3L4 ワッシャー付ネジ 12
			
M2L5 タッピングネジ (B) 6	M2L8 タッピングネジ (B) 16	M2L12 タッピングネジ (B) 4	オイルスプッシュ (六脚ロボット用) 18
			

図 0-1 必要なもの②

講

ろっきゃく
六脚ロボットには、サーボモーターを4個使用します。
電池消費が大きいため、電池残量に注意が必要です。
ACアダプターで動かすことも可能ですが、その際は電池との併用はできません。
電池との併用は電子部品の発熱・故障の原因になる可能性があります。取扱いに注意させてください。

1. ろっきゃく 六脚ロボットの準備 (目安 20 分)

1.0. ろっきゃく 六脚ロボットとは？

図1-0 が今回製作する、ろっきゃく 六脚ロボットです。サーボモーターが4つ組み込まれており、このうちの3つを順番に動かすことで、前後左右に歩行することができます。残り1つのサーボモーターは、カブトムシのツノのような部分を上下に動かします。このろっきゃく 六脚ロボットを、コントローラーを使って操縦したり、障害物を自動的に回避して迷路から脱出する『カシコイロボット』にしたりしましょう。

なお、第1回と第2回ではサーボモーターの制御方法を学習しながら、ろっきゃく 六脚ロボットの組み立てを進めます。

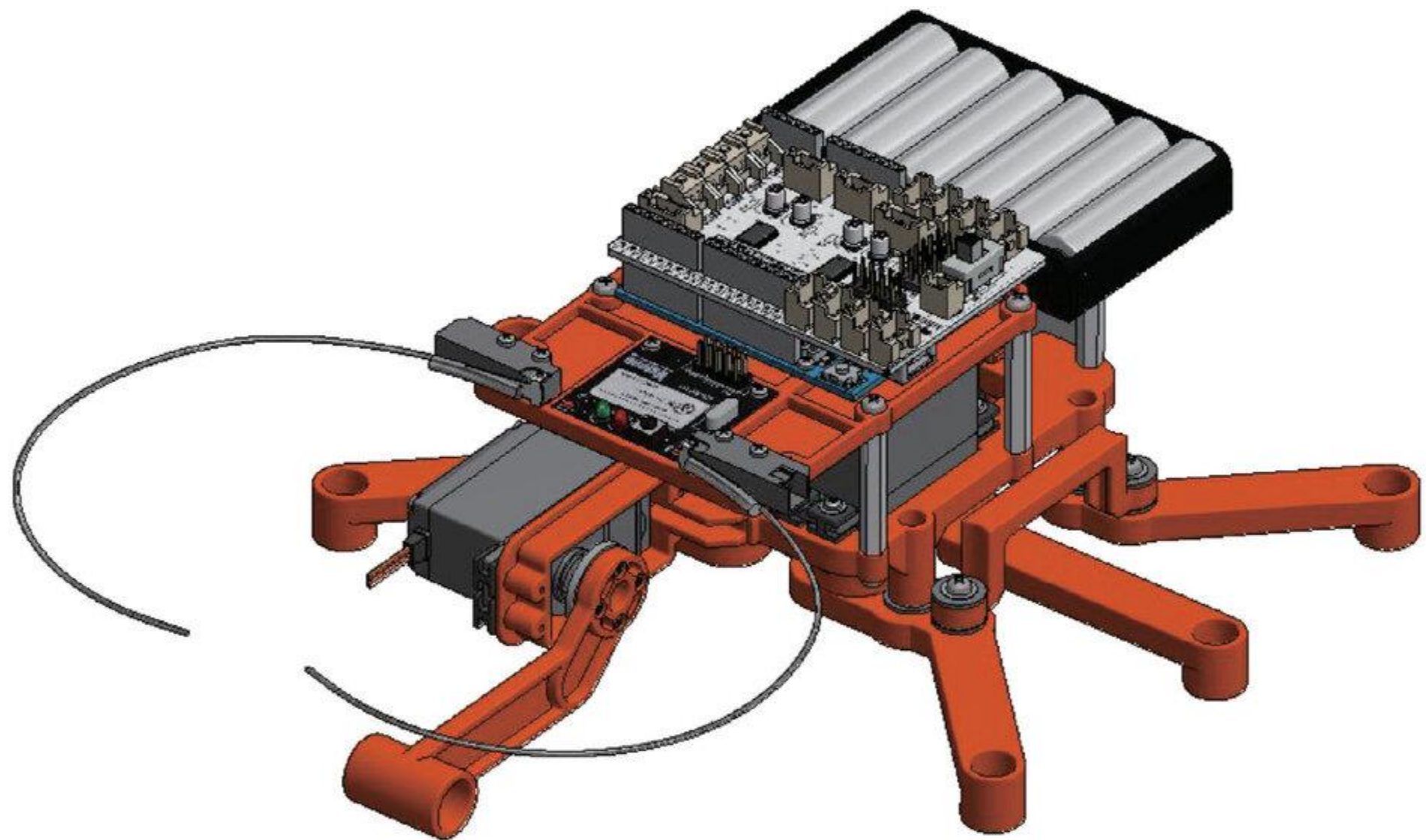


図1-0 ろっきゃく 六脚ロボットの完成図

講

ろっきゃく 六脚ロボットは、今回と次回の2回の授業で完成させます。第1回では、サーボモーターのしくみや調整方法の説明を行います。

○ サーボモーターはUSBからの給電だけでは動作しません。サーボモーターの動作は必ず電池ボックスの電源をONにした状態で実施してください。

○ サーボモーターは電池の消費が大きいため、予備の電池の準備を推奨します。(連続動作では、約80分ほどで消費します)。

1.1. サーボモーターのしくみ

今回使用する、サーボモーターの内部の構造は、**図1-1** のようになります。

サーボモーターには、モーター、減速機、位置センサー、制御回路が内蔵されています。位置センサーは、つねに出力軸の角度を計測します。

出力軸の目標角度は3本の信号線のうちオレンジ色のものからパルス信号（**図1-3**）にして入力されます。そして、制御回路が現在の出力軸の角度と目標角度の差をなくすようにモーターを動かします。

なお、サーボモーターの制御パルス信号を1.0～2.0ミリ秒[msec]の幅で変化させた場合、多くのサーボモーターは、0～180度ほど出力軸が回転します（可動域）。しかし、実際の可動域や速度はサーボモーターの性能や構造によって違います。ですから、オリジナルロボットを設計して製作する場合は事前にモーターの性能を確認しておく必要があります。

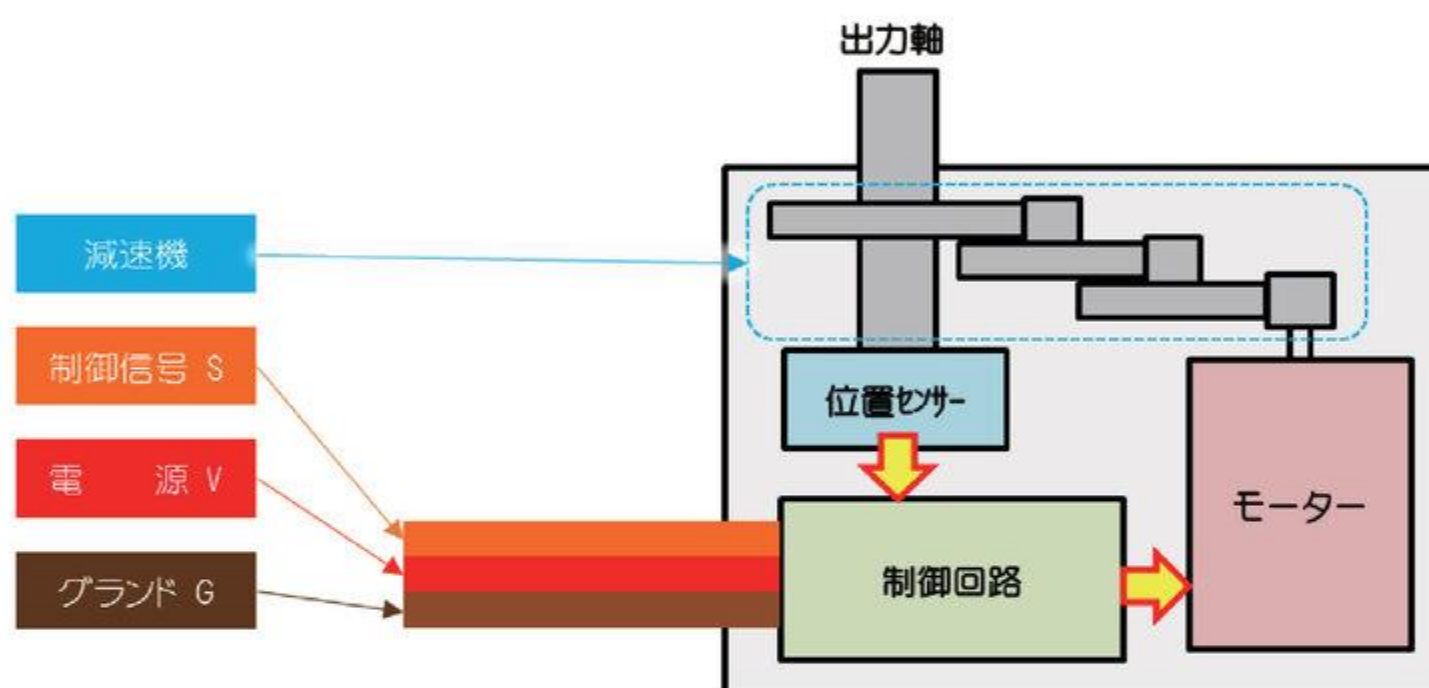


図1-1 サーボモーターの構造

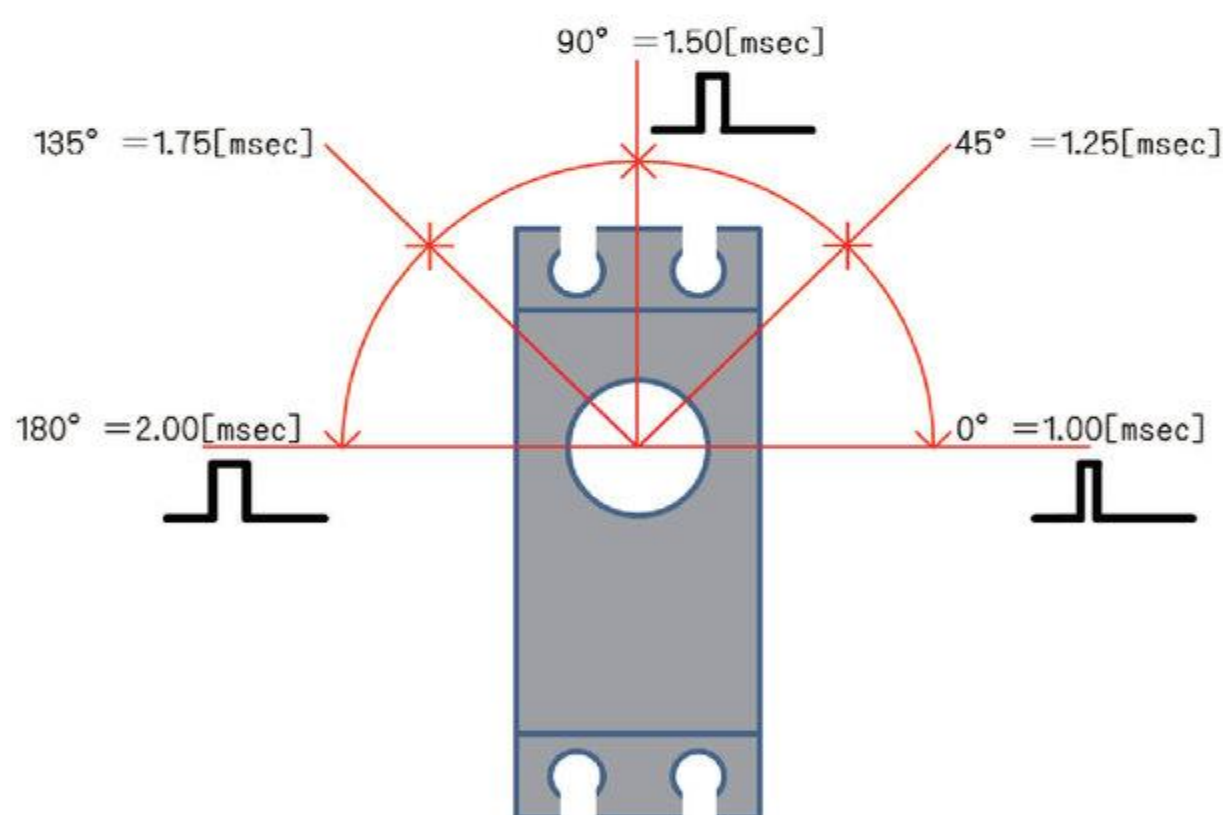


図1-2 サーボモーターの位置制御

講

使用するサーボモーターの可動域は180°です。サーボモーターを目標位置に動かすには動き出しの起点となる原点位置が必要になります。サーボモーターの構造上、原点位置にズレが生じるとロボットの動作にも大きく影響します。また手で強引に出力軸を回すと、機械的な破損の原因になりますのでご注意ください。

では、制御の^{せいぎよ}カギをにぎるパルスについてもう少し詳しく見ていきましょう。

図1-3は、パルスの高さ(振れ幅)を一定にして、パルス周期を^{くわ}変化させることで制御していることを示しています。msec(milli second)とはミリ秒、つまり1/1000秒のことなので、図の場合のパルス信号幅は0.001~0.002秒間隔の信号ということになります。この信号がパルス信号です。

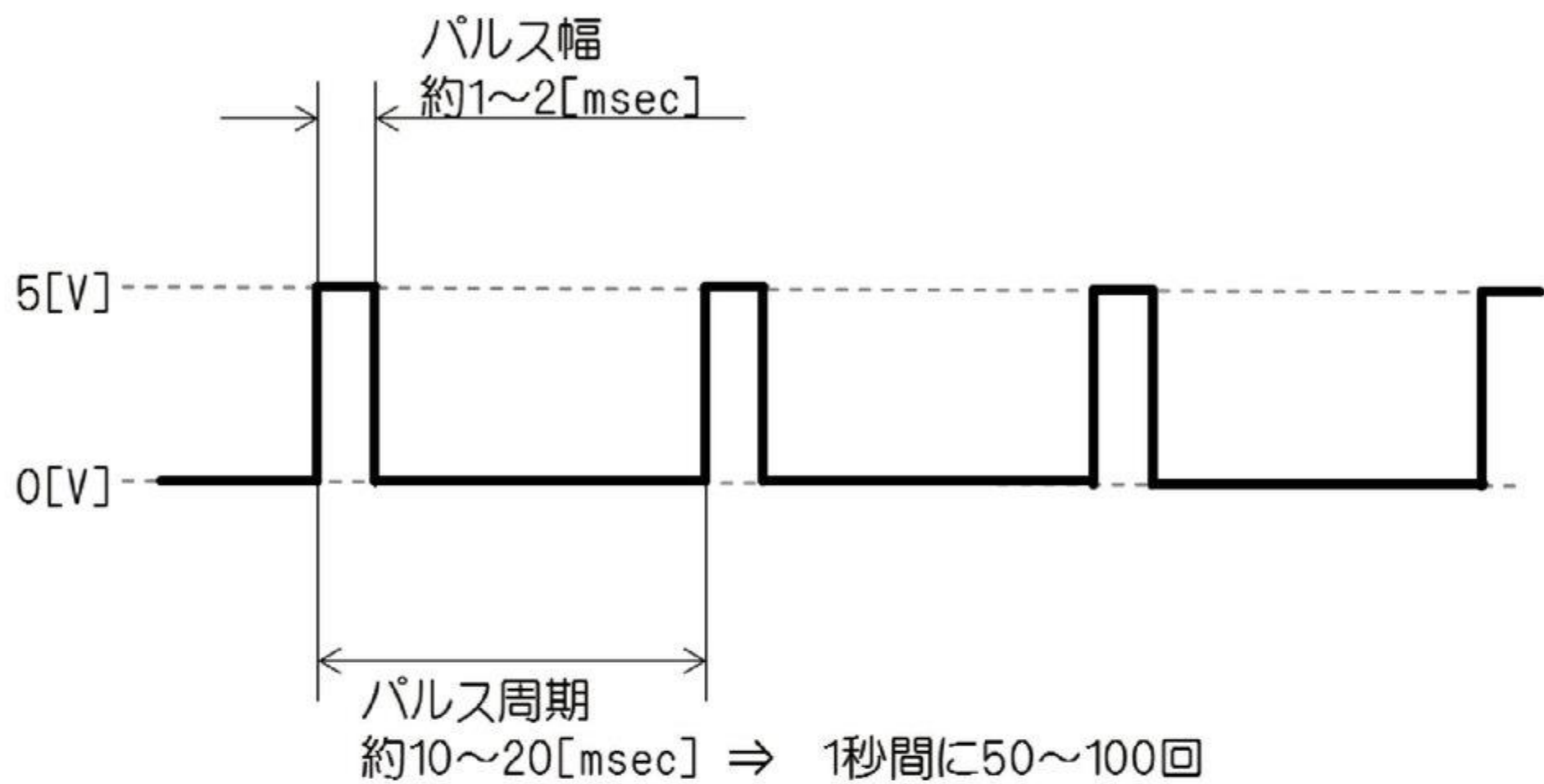


図1-3 パルス幅とパルス周期

講

サーボモーターのしくみについては2年目コースの「アームロボット」でも学習しました。

図1-2のサーボモーターの位置制御(制御角)は六脚ロボットのプログラムで鍵になる部分ですのでよく理解させてください。

1.2. サーボモーターの原点調整

ろっきやく
六脚ロボットを組み立てる前に、サーボモーターの原点位置を調整する必要があります。原点位置とは、基準となるパルス信号 1.5[msec] が入力された場合に、サーボモーターの出力軸が止まる90度の位置です（[図1-2](#)参照）。この原点がズれてしまうと、ロボットの関節位置が意図したところと違うところに動いてしまい、最悪の場合は手足のパーツ同士がぶつかって、サーボモーターやパーツが壊れたりします。そこで、ここではまずサーボモーターの動作確認をするとともに、原点位置の調整を行います。手順に沿ってすすみましょう。

<手順①>

マイコンボードとロボプロシールドを接続します。ロボプロシールドのピンヘッダーをマイコンボードのピンソケットの位置に正しくさし込みましょう。

次に、電池ボックス、サーボモーター（×4）、タッチセンサー（×2）を以下のように配線します。

- ① [ロボプロシールド](#)の [S0](#)、[S1](#)、[S2](#)、[S3](#) のコネクタにサーボモーター（×4）を接続します。サーボモーターのコネクタは、茶の信号線→ [G](#) ・ 赤の信号線→ [V](#) ・ 橙の信号線→ [S](#) へ接続します。
- ② [ロボプロシールド](#)の [D2](#)、[D3](#) コネクタにタッチセンサー（×2）を接続します。
- ③ [ロボプロシールド](#)に電池ボックスのコネクタを接続します。

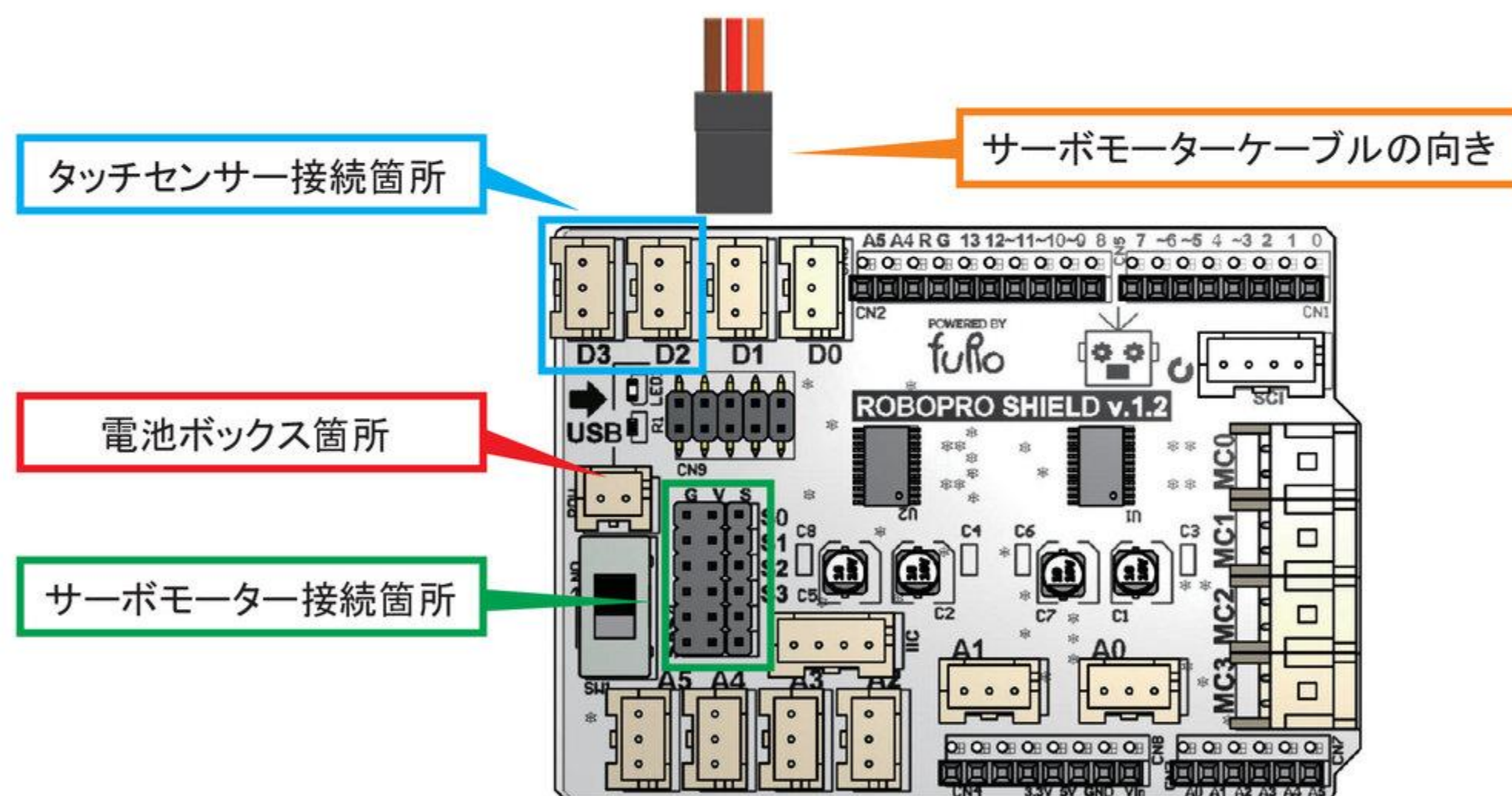


図1-4 ロボプロシールドとの配線

<手順②>

<手順①>で接続が完了したら、サーボモーターの動作確認を行います。まず、ロボプロシールドの電源をONに入れて、以下のプログラム「ServoTest0」を実行してください。サーボモータにサーボホーンを軽く差し込む等して角度がわかりやすいようにしてから、確認を行ないましょう。

∞プログラムの書き込み**RoboticsProfessorCourse3 > HexRobot1 > ServoTest0**

実行結果：4つのサーボモーターの出力軸が同時に動き出し、90度の角度で止まります。さらに、**D2** に接続されているタッチセンサーを押している間、出力軸が0度の角度に動き、**D3** に接続されているタッチセンサーを押している間、180度の角度に動きます。

<手順③>

ろっきゃく 六脚ロボットはサーボモーターの出力軸の角度が90度のときを動き出しの起点（原点）として脚やツノを動かします。プログラム「ServoTest0」を実行したら、**D2** と **D3** のタッチセンサーが押されていない状態で電源を切り、サーボモーターをロボプロシールドから取り外しておきましょう。

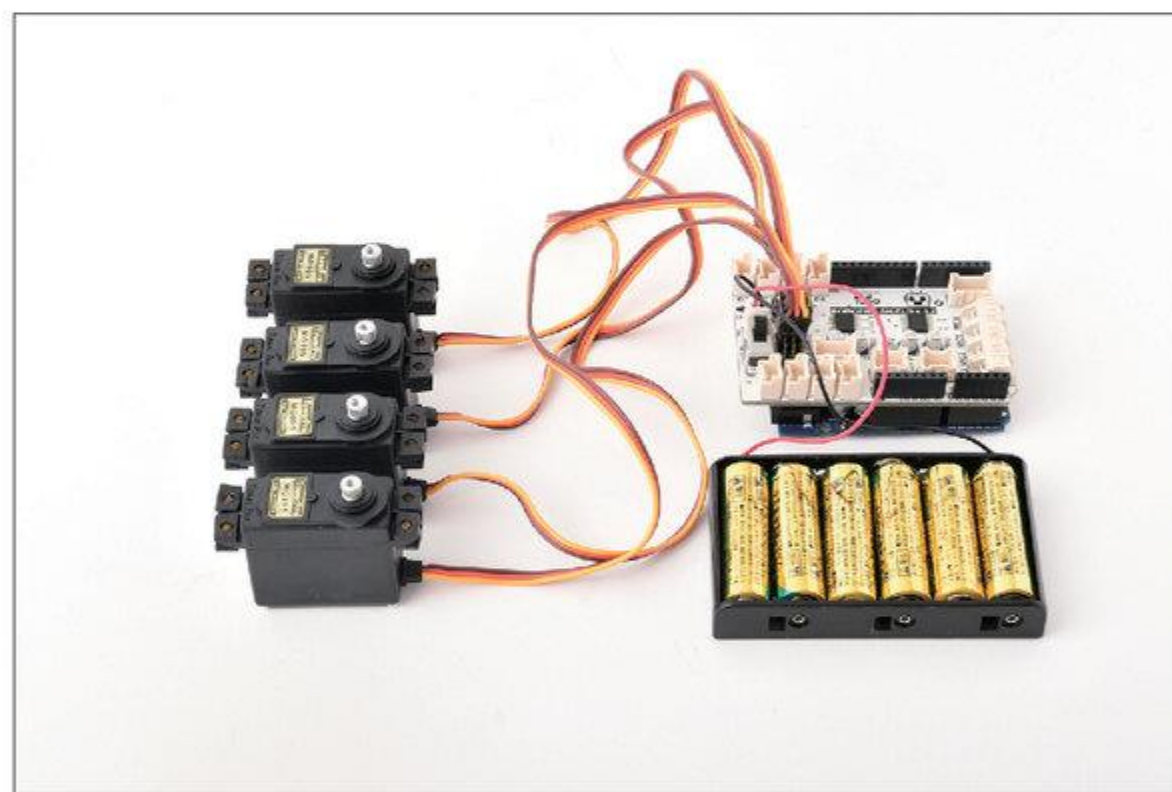


図1-5 サーボモーターの原点調整

講

細長く切った紙を出力軸にテープ等で取り付けても、回転角度を確認しやすくなります。

2. ^{ろっきゃく}六脚ロボットの組み立て（目安 50 分）

2.0. サーボモーターの組み立て

いよいよ^{ろっきゃく}六脚ロボットの組み立てをはじめます。まずはサーボモーターにゴムブッシュとハトメを取り付けます。サーボモーター付属パーツにゴムブッシュとハトメが入っているので、それぞれ4つ準備してください。ゴムブッシュは取り付ける方向があるので図を参照して正しく取り付けてください。ハトメは出力軸がある方を表側として裏面からゴムブッシュの穴に取り付けます。ハトメでゴムブッシュを傷つけないように、注意しましょう。

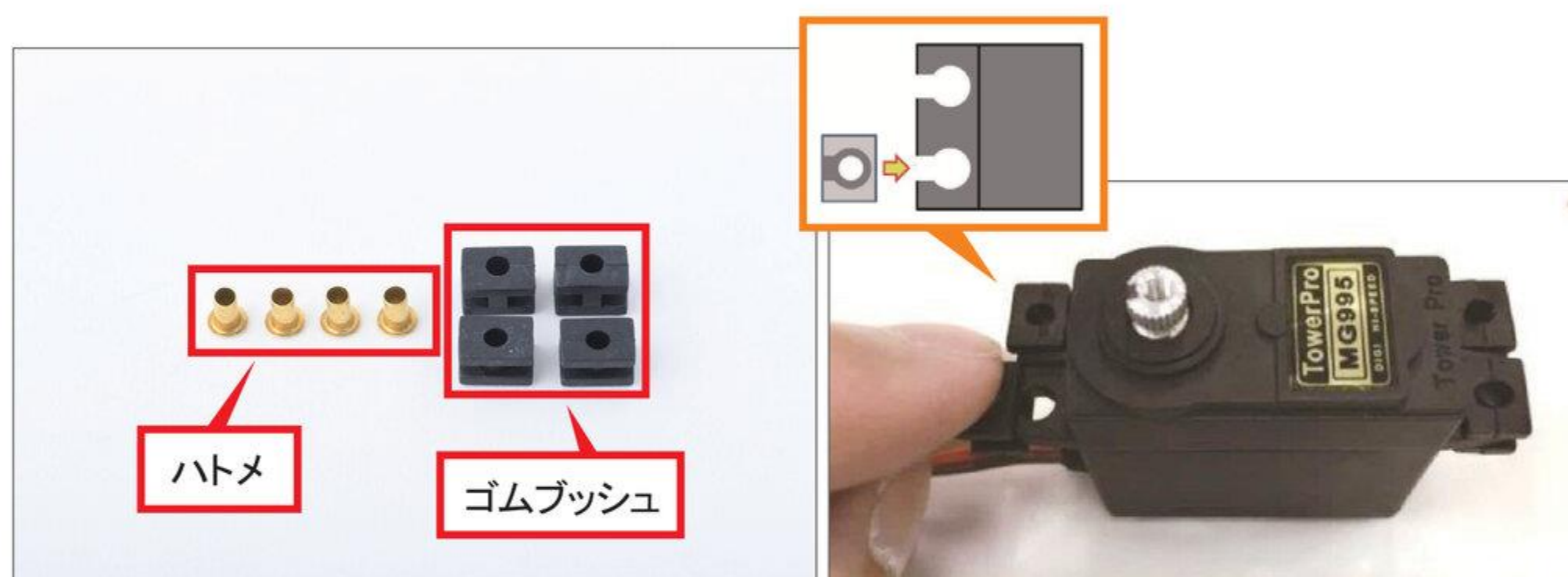


図2-0 ゴムブッシュの取り付け



ハトメは裏側からはめ込む

図2-1 ハトメの取り付け

ゴムブッシュとハトメを取り付けたものを4組つくってください

講

サーボモーター付属パーツは2年目セットに3組、3年目セットに1組同梱されているものを使用します。

2.1. A-1 本体の組み立て

<組み立て手順①>

A-1パーツと33mm角スペーサー (×6) をM3L12ネジ (×6) で組み付けます。

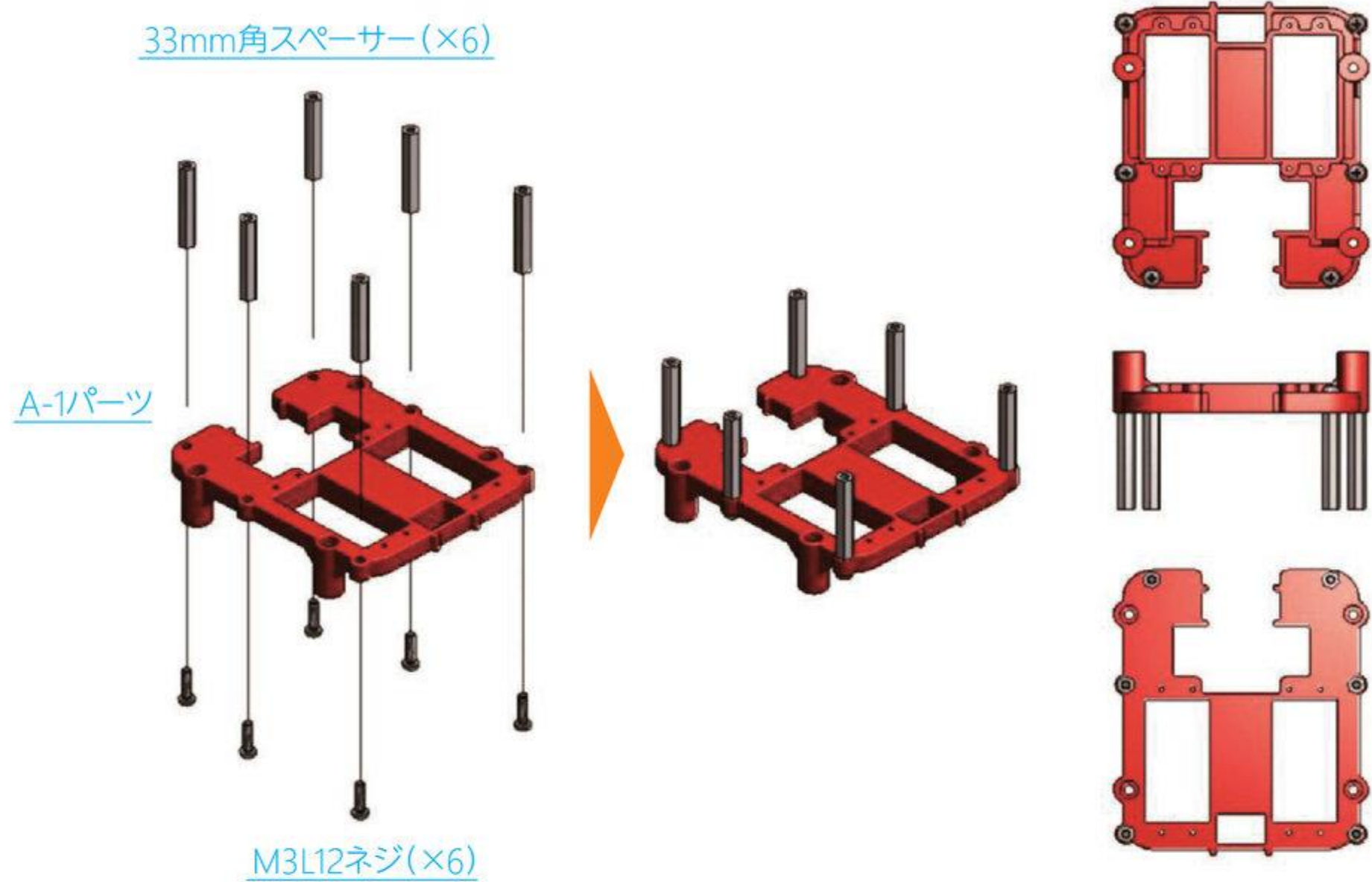


図2-2 A-1本体の組み立て①

<組み立て手順②>

<組み立て手順①>で組み立てたパーツを上下反転させて、A-1パーツの凸部に8mm丸スペーサー (×4) をM3L6ネジ (×4) で組み付けてください。

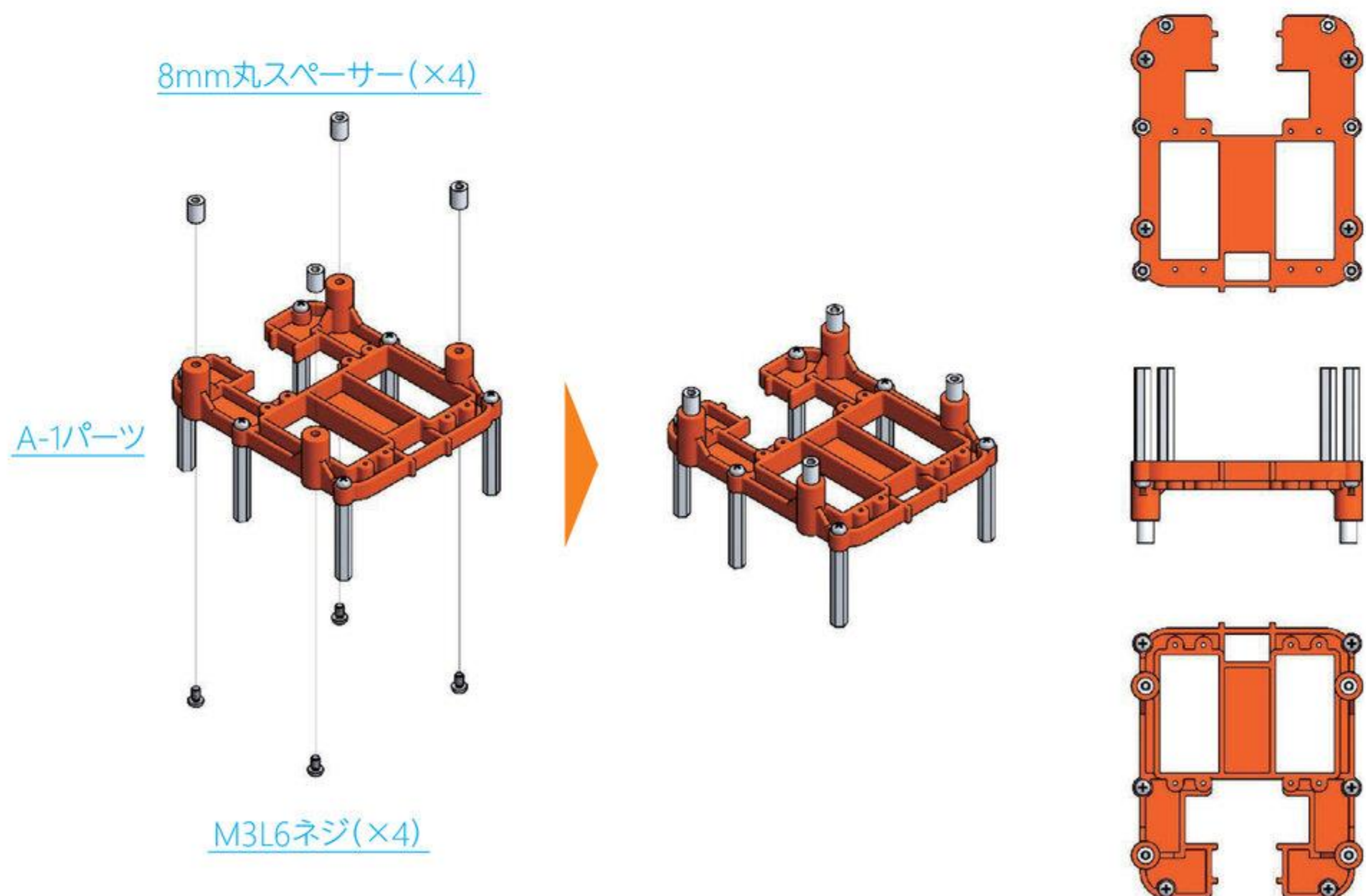


図2-3 A-1本体の組み立て②

2.2. その他部位の組み立て

<組み立て手順①>

- ① A-2パーツに8mm丸スペーサーをM3L6ネジを使用して組み付けます。
- ② B-1パーツに8mm丸スペーサーをM3L6ネジを使用して組み付けます。さらにM2L8タッピングネジB (×4)を使用してサーボホーンを組み付けます。同じものを3組つくってください。
- ③ D-2パーツにもM2L8タッピングネジB(×4)を使用してサーボホーンを組み付けます。

①

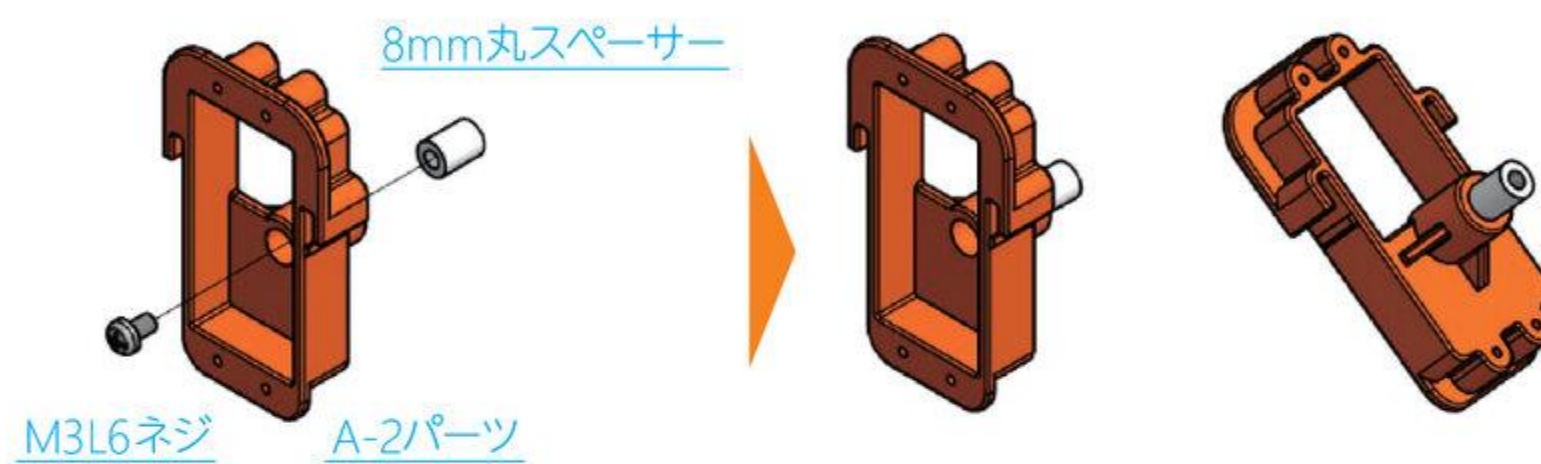


図2-4 その他部位の組み立て①

②

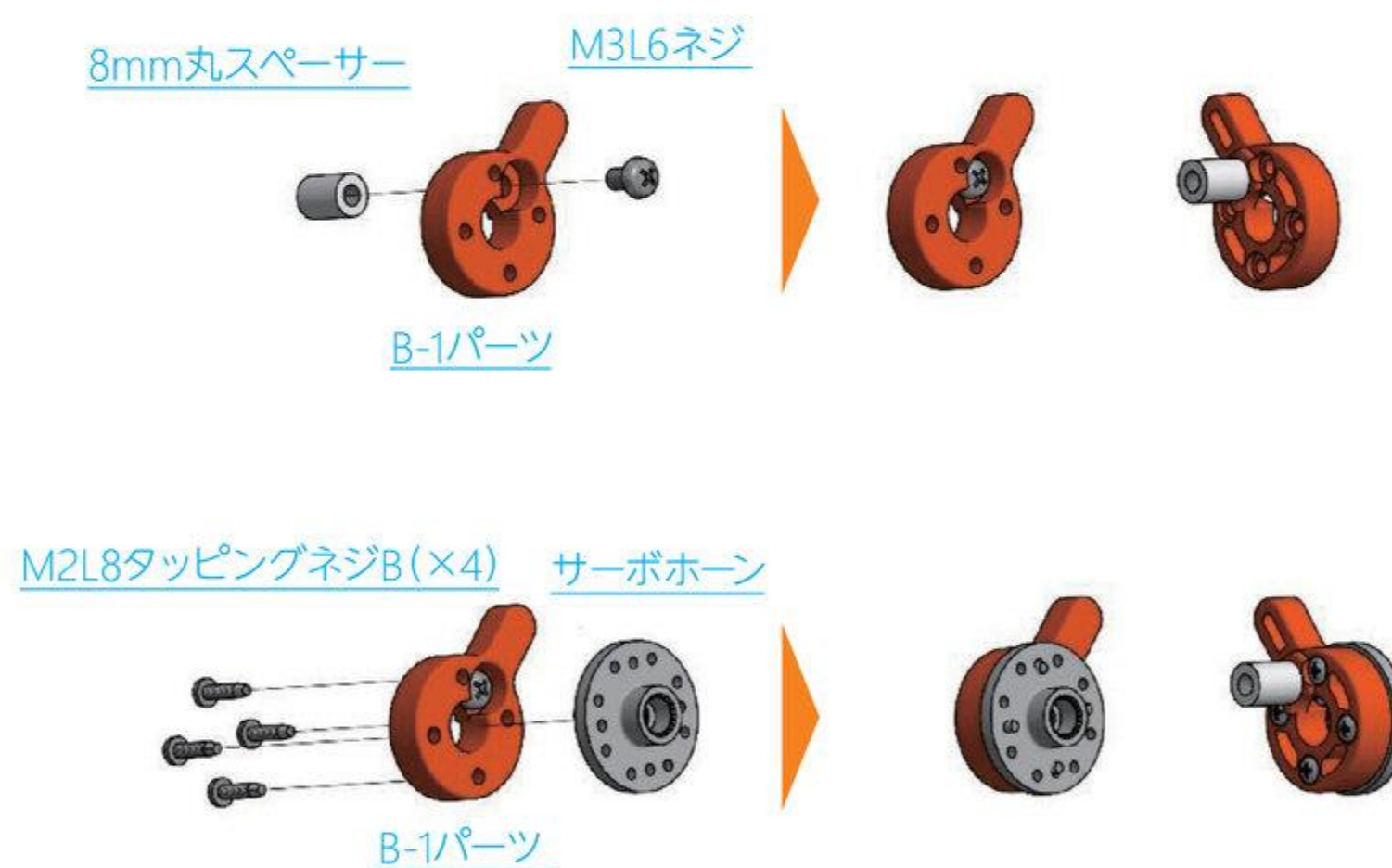


図2-5 その他部位の組み立て②

③

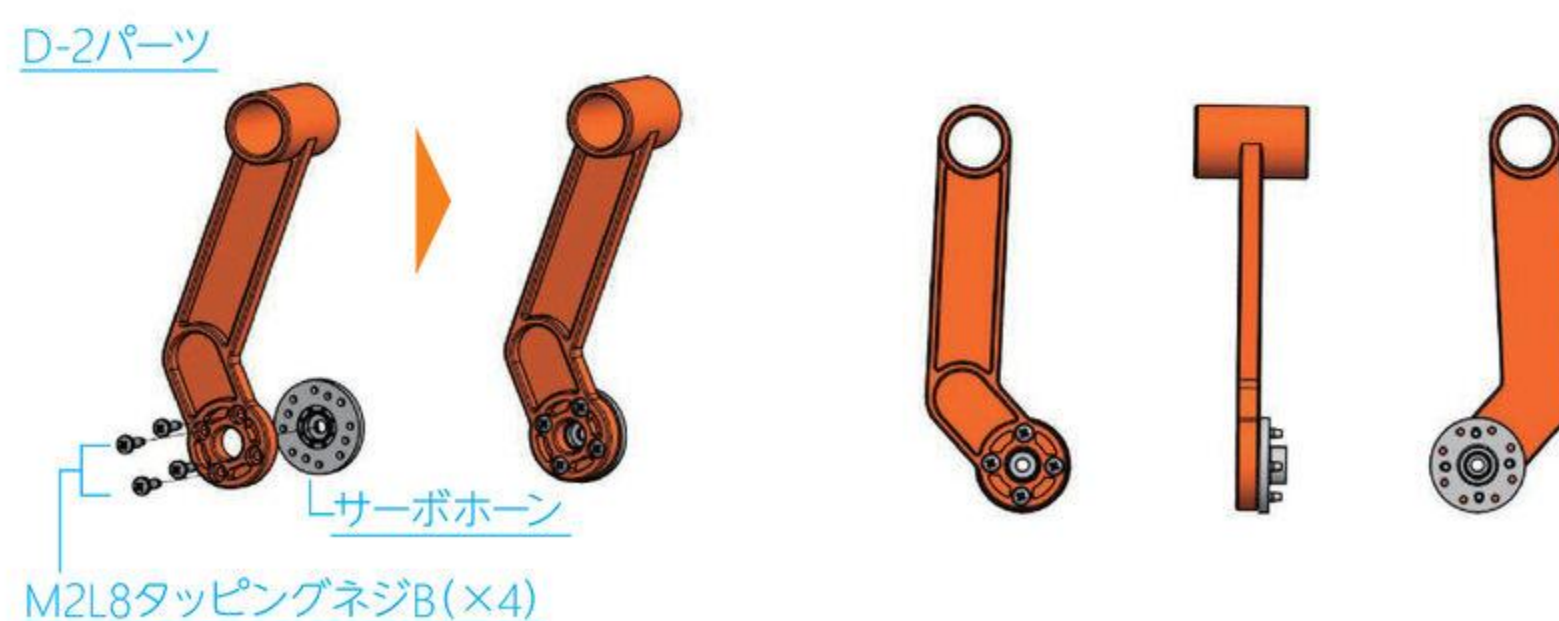


図2-6 その他部位の組み立て③

<組み立て手順②>

- ① C-1パーツに8mm丸スペーサーを、M3L6ネジを使用して組み付けます。さらにC-1パーツの丸穴の両側からオイレスブッシュ (×2) を取り付けます。
- ② C-1パーツと同じようにC-2パーツにも8mm丸スペーサーとオイレスブッシュ (×2) を取り付けます。
- ③ C-5パーツ (×2) に図2-9のようにオイレスブッシュを取り付けます。

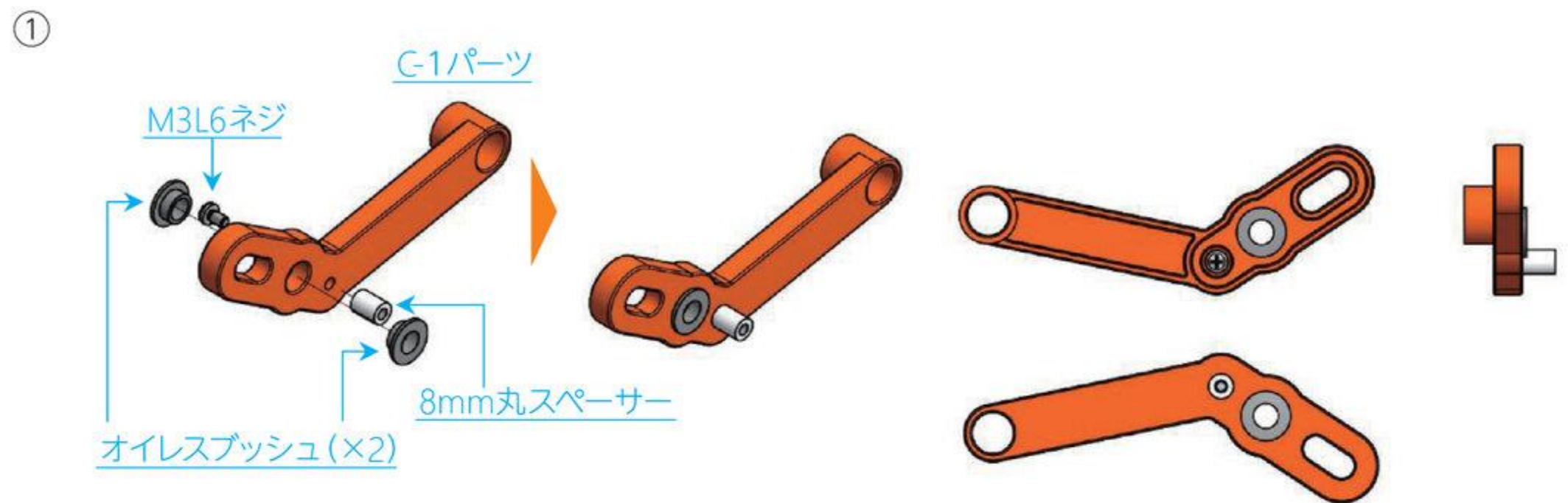


図2-7 その他部位の組み立て④

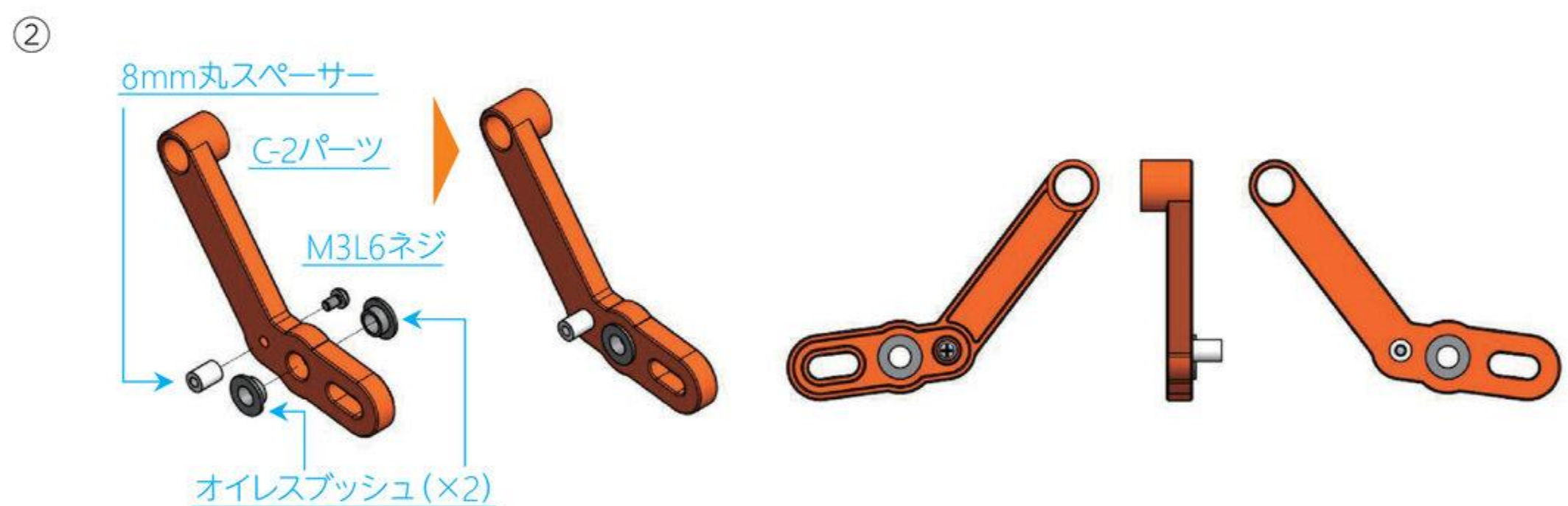


図2-8 その他部位の組み立て⑤

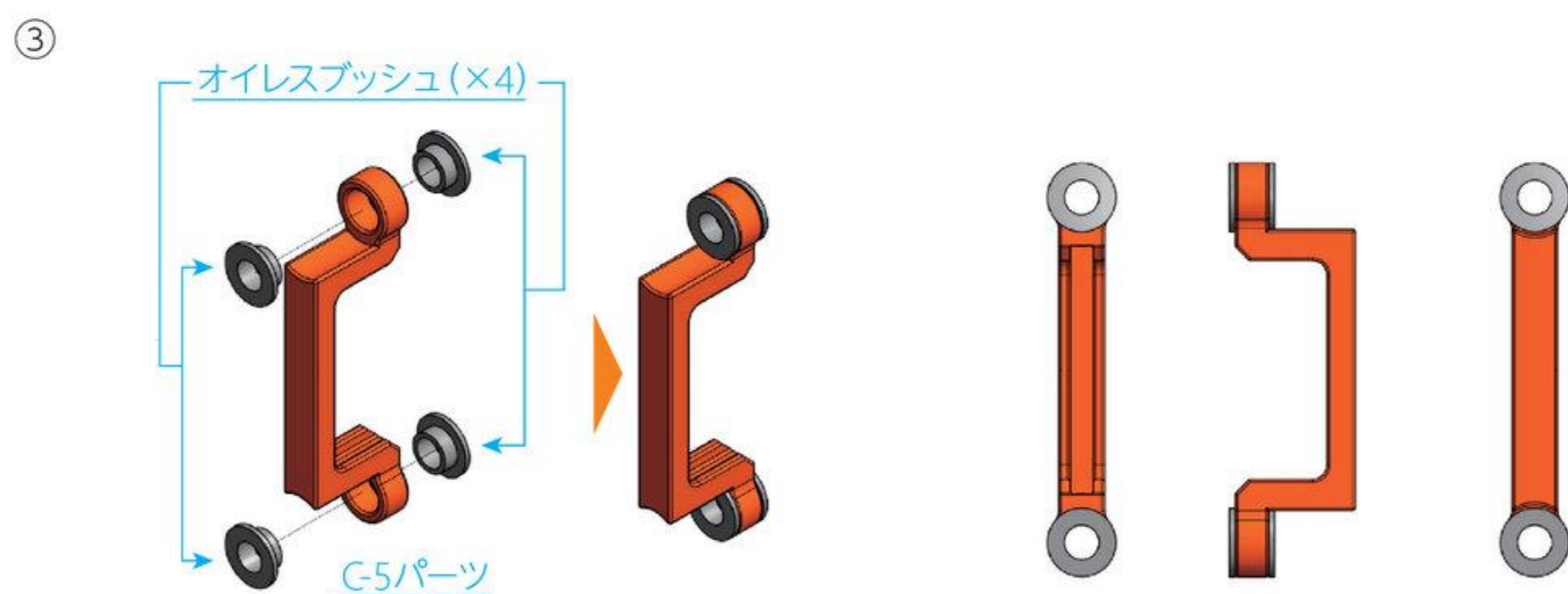


図2-9 その他部位の組み立て⑥

＜組み立て手順③＞

- ① C-3パーツに8mm丸スペーサーを、M3L6ネジを使用して組み付けます。さらにC-3パーツの丸穴の両面からオイルスブッシュ (×2)を取り付けます。
- ② C-3パーツと同じようにC-4パーツにも8mm丸スペーサーとオイルスブッシュ (×2)を取り付けます。
- ③ C-6パーツの丸穴の両面からオイルスブッシュ (×2)を取り付け、C-6パーツをC-7パーツのスリットにはめ込みます。

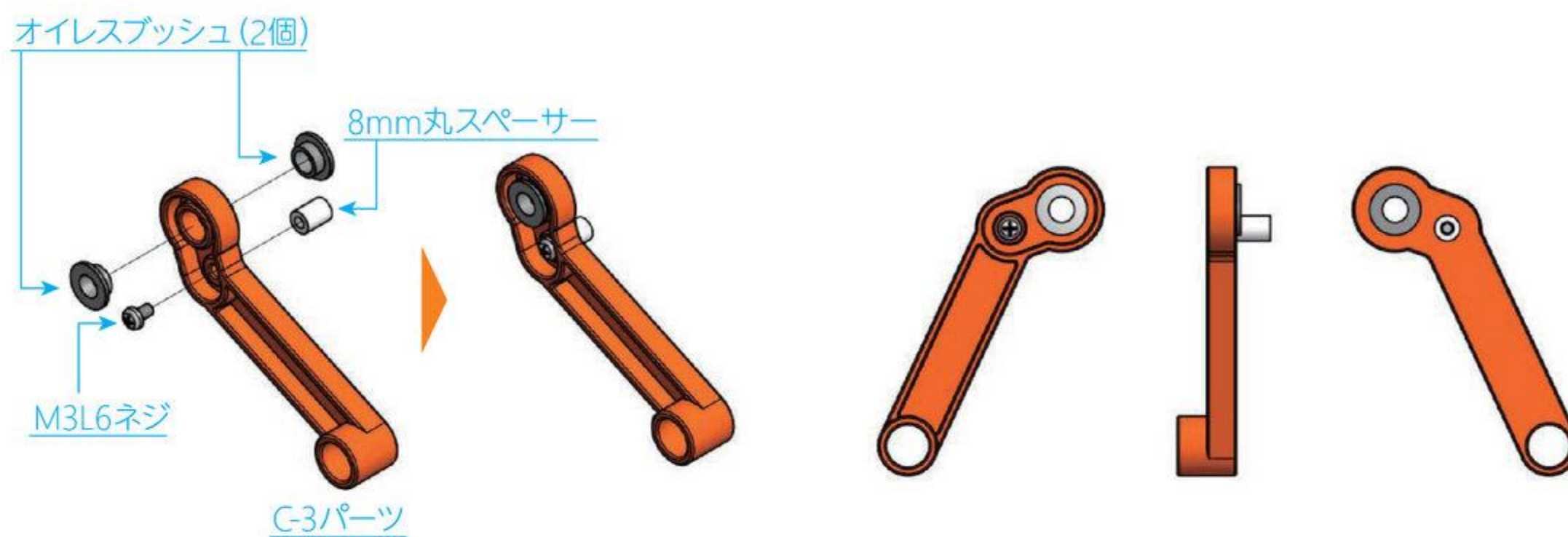


図2-10 その他部位の組み立て⑦



図2-11 その他部位の組み立て⑧

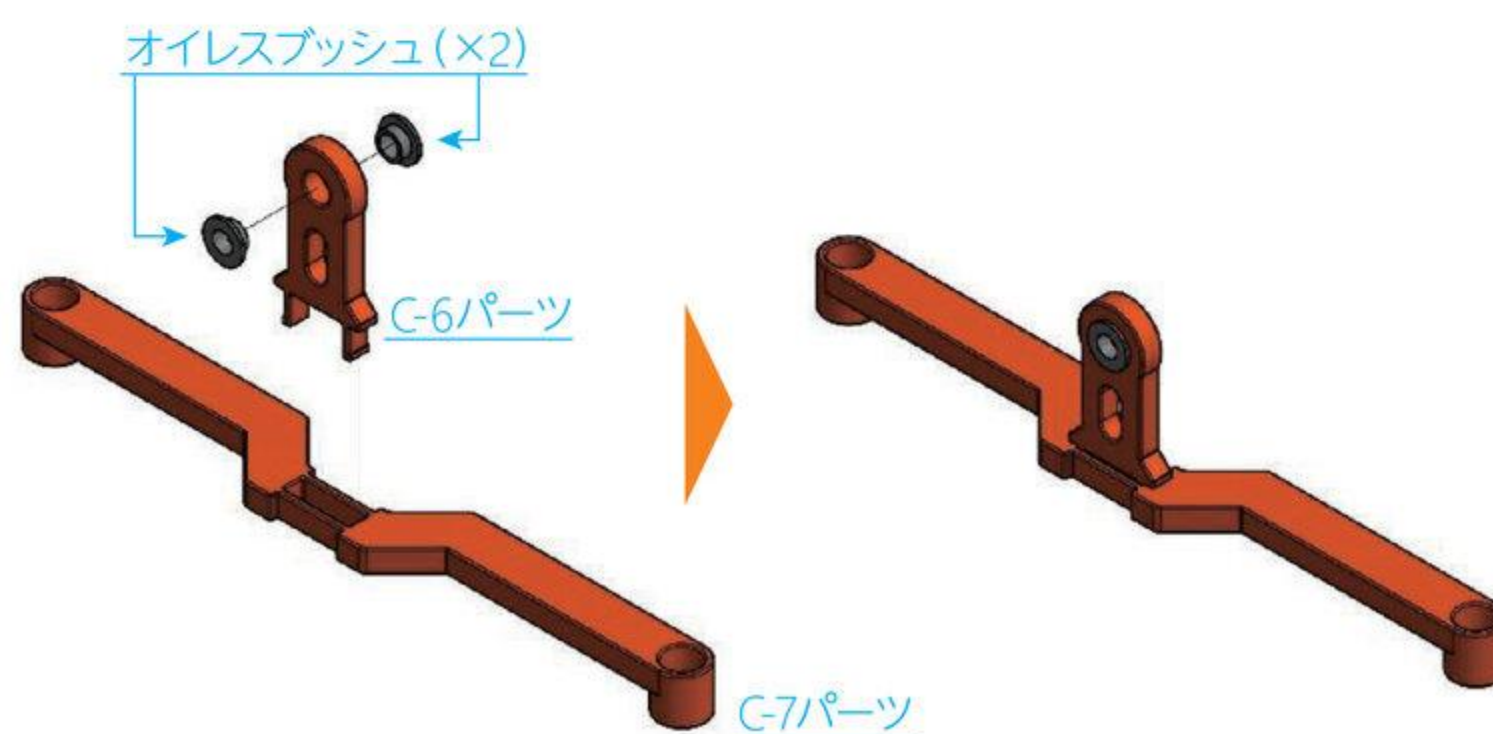


図2-12 その他部位の組み立て⑨

2.3. サーボモーターの組み付け

- ① A-1パーツにサーボモーター (×2) を、サーボモーターに付属されている M2L12 ナベワッシャータッピングネジA (×8) を使用して組み付けます。
- ② A-2パーツにサーボモーターを、サーボモーターに付属されている M2L12 ナベワッシャータッピングネジA (×4) を使用して組み付けます。
- ③ D-1パーツにサーボモーターを、サーボモーターに付属されている M2L12 ナベワッシャータッピングネジA (×4) を使用して組み付けます。

①

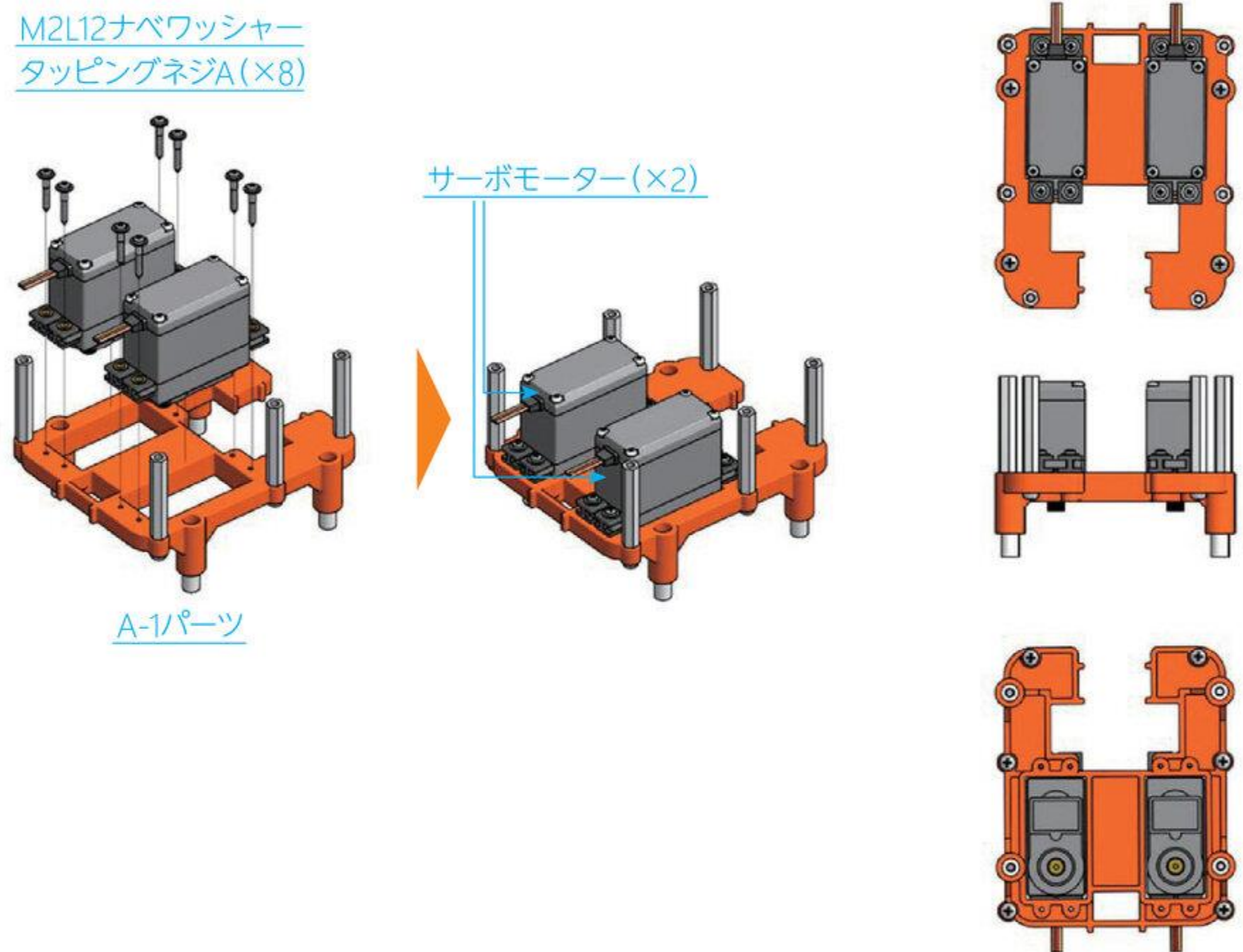


図2-13 サーボモーターの取り付け①

②

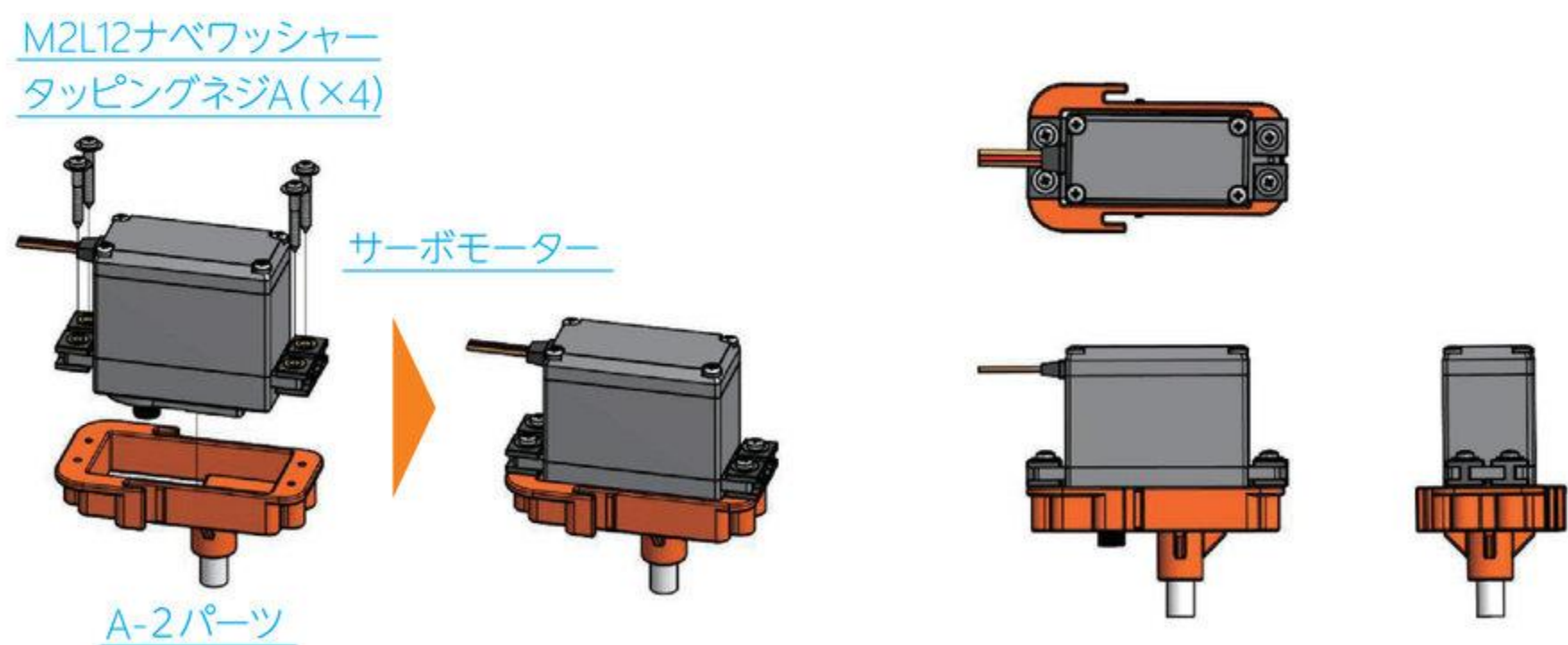


図2-14 サーボモーターの取り付け②

③

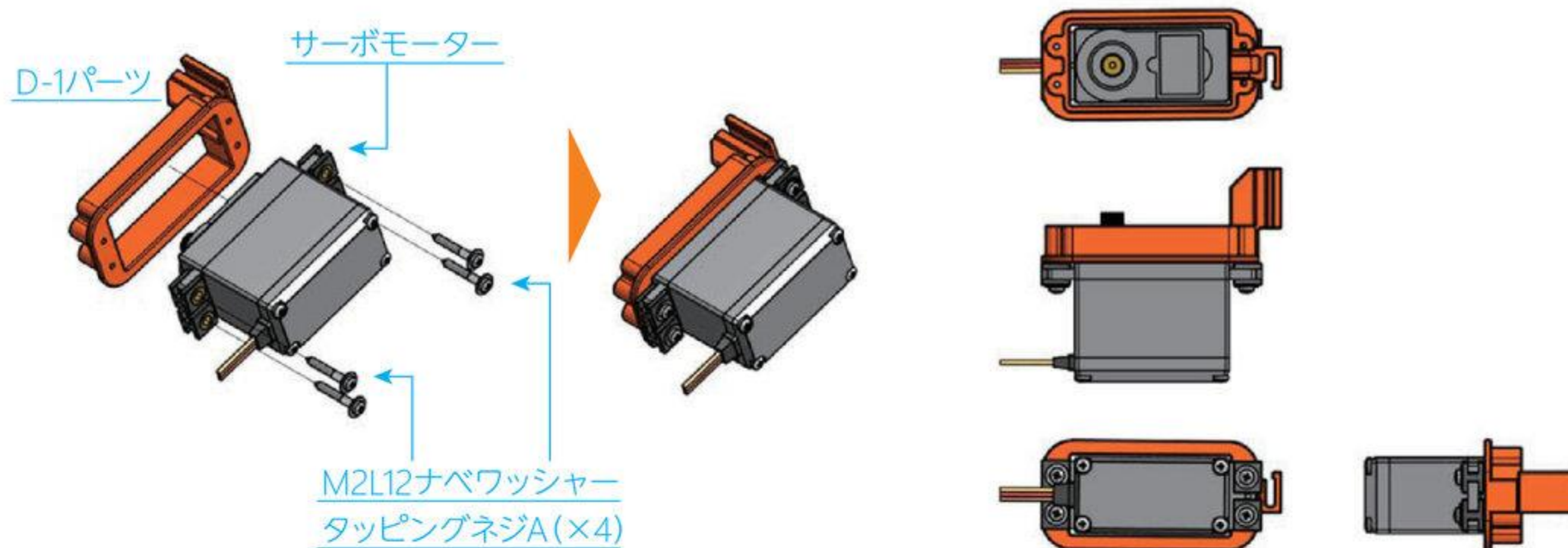


図2-15 サーボモーターの取り付け③

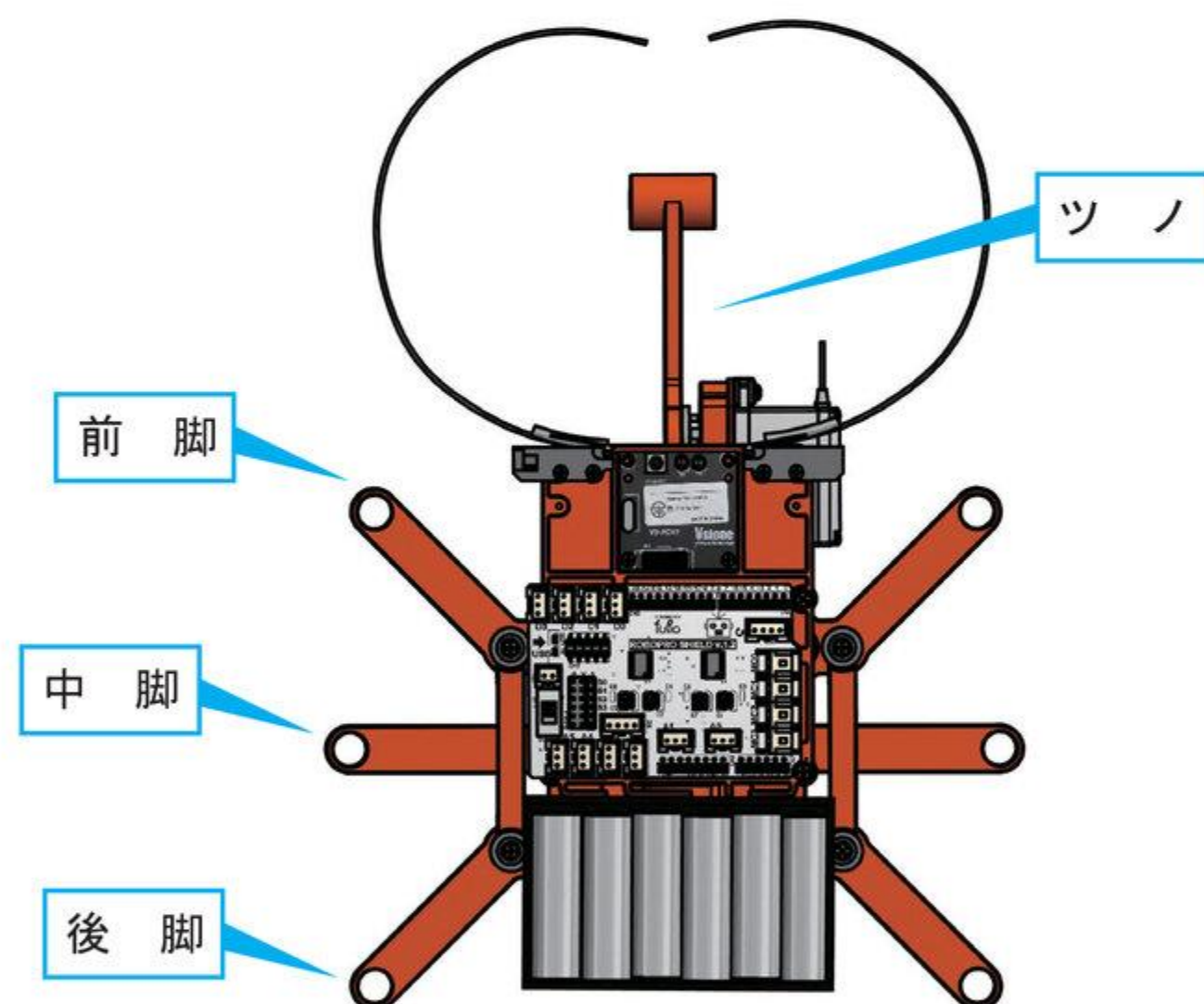
今回の授業での組み立ては、ここまでとします。

A-1には、^{ろっきやく}六脚ロボットの左右前脚^{あし}を動かすサーボモーターが取り付けました。

A-2には、^{ろっきやく}六脚ロボットの中脚を動かすサーボモーターが取り付けました。

D-1には、^{ろっきやく}六脚ロボットのツノを動かすサーボモーターが取り付けました。

なお、前脚^{あし}と後脚^{あし}はリンク機構^{きこう}にして連動させます。

図2-16 ^{ろっきやく}六脚ロボット

残ったパーツは次回の組み立てで使用しますので、なくさないように大切に保管しましょう。

続いて、プログラムの学習をしていきます。

講

図2-16は、^{ろっきやく}六脚ロボットの完成体です。C-1パーツ、C-2パーツが前脚、C-3パーツ、C-4パーツが後脚、C-7パーツが中脚、D-2パーツがツノになります。各部に取り付けたオイルスブッシュは外れやすいので、次回の授業で点検させてください。

3. プログラムのポイント (目安 30 分)

3.0. 「ServoTest0」のポイント

ここでは、プログラム「ServoTest0」のポイントを説明します。いままでの授業で使っていたプログラムも登場しますので、おさらいしましょう。それでは、プログラムを見ていきましょう。

□ プログラム「ServoTest0」より抜粋

```
#define TARGET_POSITION_1 0
#define TARGET_POSITION_2 180
#define BASE_POSITION 90
#define DELAY_TIME 100
```

POINT

`#define` を使うことで、プログラム中で使用する文字列を数字に置き換える事ができます。

このプログラムの場合、プログラムの中に書かれた文字列は右側の数字に自動的に置き換えてコンパイルされます。

TARGET_POSITION_1	⇒	0	(目標位置1)
TARGET_POSITION_2	⇒	180	(目標位置2)
BASE_POSITION	⇒	90	(原点位置)
DELAY_TIME	⇒	100	(処理時間)

プログラム中で使う数字で、後で調整・修正するものは `#define` で定義しておく、`#define` の右側の数字を修正するだけでプログラム中の全ての該当箇所の数字を修正できるため便利です。修正ミスで生じる問題の発生を防ぐことができます。

□ プログラム「ServoTest0」より抜粋

```
delay(DELAY_TIME);
```

POINT

一度に連続して複数のサーボモーターに命令を送ると、同時に複数のモーターが大きく動き始めるためその分強い電流を必要とします。電池が一度に放出できる電流には限界があり、これを越えた電流が流れようとするとう電池の出力電圧が低下し、マイコンの動作が不安定になり、最悪の場合はリセット（プログラムの実行が中断し、再起動する）がかかります。

対策として、4つのサーボモーターに命令を送るタイミングを100ミリ秒ずつずらしています。

□ プログラム「ServoTest0」より**抜粋**

```
if (digitalRead(D2) == HIGH) {  
    . . .  
}  
else if (digitalRead(D3) == HIGH) {  
    . . .  
}  
else {  
    . . .  
}
```



POINT

ここでは、if文をつかって、タッチセンサーのスイッチの状態に応じてプログラムの処理が3つに分岐するようにしています。

また、各分岐にはサーボモーターへ100[msec]の `delay` 命令が4回書かれています。そのため、どの分岐を通っても、約400[msec]ほど時間がかかるようになっています。つまり2つのスイッチの状態がサーボモーターに反映されるタイミングは400[msec]に一度の頻度になります。

ロボットの行動を決めるセンサーなどの状態判定を行う頻度がまれになると、ロボットは状況の変化に対して反応が遅くなってしまいますし、また、このようなプログラムでは、400[msec]に一度の瞬間にセンサーの状態だけを見ているため、その間に起こったセンサーの状態変化は無視されてしまいます。

講

プログラムのポイント学習では、パソコン上でプログラム本文を確認しながら進めます。第2回以降にロボットを動かしながらプログラムの理解を深めることが大切ですので、ここでの説明は次回も使ってください。

やってみよう!

プログラム「ServoTest0」の `TARGET_POSITION_1`、`TARGET_POSITION_2` の数字を0～180の間で自由にかえて、タッチセンサーを押した時に各サーボモーターの停止位置がどのように変化するか確認してみよう。

□ プログラム「ServoTest0」より**抜粋**

```
#define TARGET_POSITION_1 0
#define TARGET_POSITION_2 180
```

講

TARGET_POSITIONは目標位置です。
 BASE_POSITIONは原点位置の90°です。
 各プログラムは90°を動作の起点の角度（原点）として指定した目標の角度を追従する制御命令をしています。

やってみよう!

プログラム「ServoTest0」の `DELAY_TIME`の値をかえて、タッチセンサーを押した時のサーボモーターの反応がどのように変化するか確認してみよう。また、`DELAY_TIME`を0にした場合、4つのサーボモーターがほぼ同時に動き出すから、電池に大きな負荷がかかった状態になるよ。タッチセンサーを時々押しながら、ロボポロボシールドのスイッチ近くにある青色LEDを見てみよう。

⚠ 注意!

輝度が高いため、近くで直視するのは危険です。少し離れて見てください。

□ プログラム「ServoTest0」より**抜粋**

```
#define DELAY_TIME 100
```

このプログラムでは、4つのサーボモーターに司令を送って `delay` を挟む処理が、`setup()`と `loop()` の中で4回登場するよ。これらの一連の処理を、一つの関数にまとめるとプログラムが短くなり見やすくなるから、余裕がある人は挑戦してみよう。なお、答えはひとつではないよ!

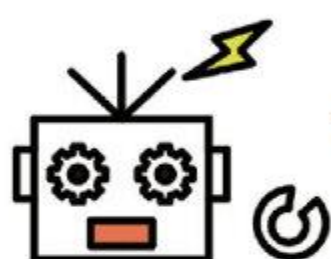
講

解答例プログラムは以下となります。

RoboticsProfessorCourse3 > HexRobot 1 > ServoTest 1

4. まとめ（目安5分）

今回は、サーボモーターのしくみと、その^{せいぎよ}制御について基本的なところを学習しました。プログラミングのポイントで出てきた内容は第2回以降も出てきますので、復習しておきましょう。^{ろつきやく}六脚ロボットの組み立ては、今回でメインパーツの組み立てまで終わりました。「早く完成させて動かしたい！」と思うかもしれませんが、ひとまずここで^{しゅうりょう}終了します。次回に備えて、パーツをなくさないように整理整頓しておきましょう。



次回はいよいよ、^{ろつきやく}六脚ロボットが完成するよ。お楽しみに～！

《次回必要なもの》

今回は今回製作したものと、残りのパーツを持ってきましょう。

講

- 以下の授業の目標を再確認します。
 - ・サーボモーターのしくみを理解する
 - ・六脚ロボットを途中まで組み立てる
- 今回の授業で学んだ感想や面白かったことなどを、生徒から聞いてみましょう。
- 次回のテーマは「六脚ロボットの組み立て（後編）」であることを告知します。
- 今回使用したサーボモーターのコネクタは、ロボプロシールドから抜いて持ち帰るようにご指導ください。