

魔改造の夜「スリッパ跳ばし」
E プソン 技術解説集

パタパタトリッパー 誕生の軌跡

目標：飛距離
30m.

1

はじめに

- 02 モンスターの紹介
- 03 詳細情報
- 04 開発の軌跡
- 05 チームの目標

2

トリッパー解説

- 06 羽ばたき - 原理検証 -
- 07 羽ばたき - 翼設計 -
- 08 羽ばたき - 翼評価 -
- 09 エレキ・制御
- 10 機構設計
- 11 生贊の軽量化
- 13 スリッパ化
- 14 トリッパー誕生

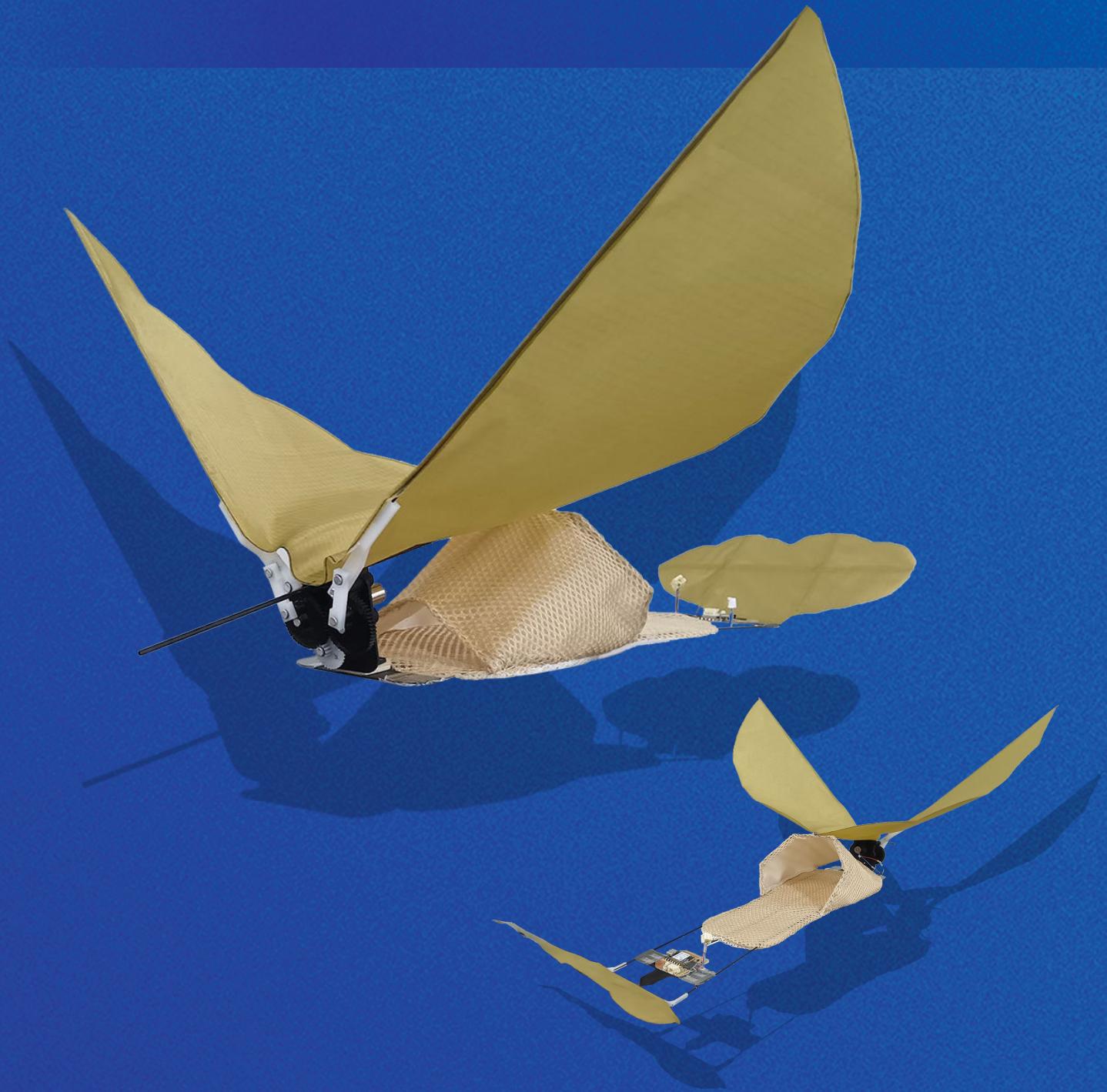
3

知られざるモンスターたち

- 15 ロケット噴射
- 16 フライングディスク
- 17 モーター横置き方式

パタパタと美しく空を飛ぶ、

パタパタトリッパー



「美しく、30m飛ばす」ことを目指して生み出されたモンスター。
蹴りだされたことを検知すると羽ばたきが開始され、翼を広げたスリッパーが
魔改造の夜に飛び立つ。

Profile



□全幅:52cm □全長:58cm □全高:8cm

□総重量:53.0g □スリッパ重量:約10g

□方式:オーニソプター

□飛行速度:8.9km/h □羽ばたき周期:10Hz

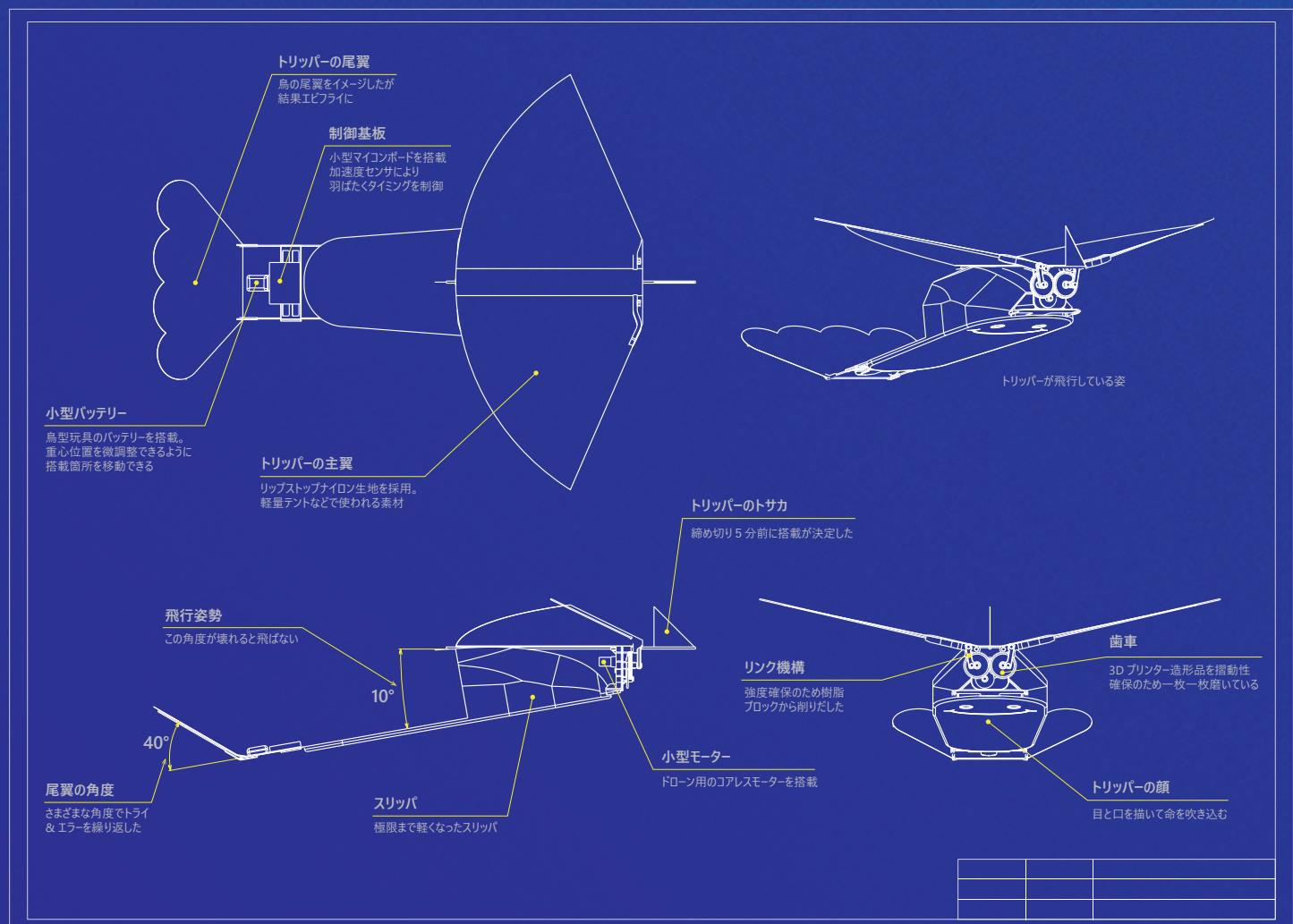
□改造費 6,330円

[内訳概略 ※生贊のスリッパは改造費に含まれない]

□電気部品:4,750円 □メカ機構:680円

□筐体:900円

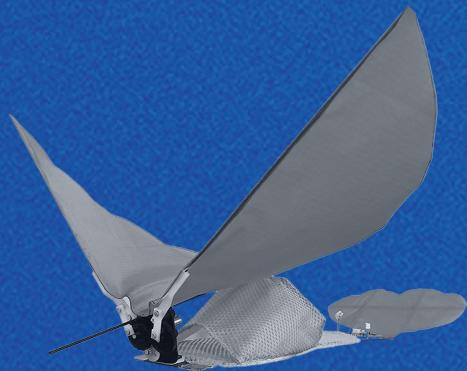
Drawing



パタパタトリッパー誕生の軌跡

2025年夏、関東某所にて行われた夜会にて力強く羽ばたいたEプロソンのモンスター、
パタパタトリッパーであったが、スリッパを飛ばそうと日々考えるエンジニアたちは、
鳥のように翼で飛行する方式以外にも様々な試行錯誤を重ねてきた。

本資料ではパタパタトリッパー技術開発の詳細情報に加えて、
パタパタトリッパーに繋がる進化の系譜として、
夜会には登場しなかったこれらの知られざるスリッパ試作機を紹介する。



パタパタトリッパー
(縦置き羽ばたき方式)



フライングディスク方式

もう一つの羽ばたき
横置き羽ばたき方式



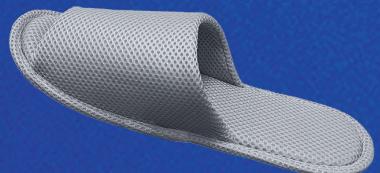
… p.17-18

ロケット噴射方式

… p.15

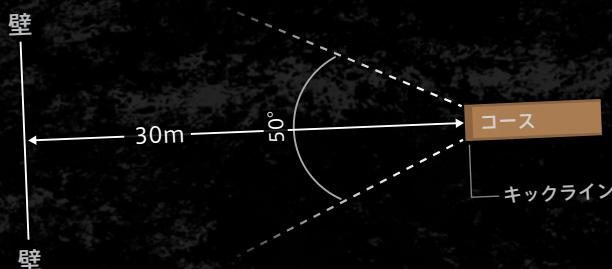


生贊のスリッパ



レギュレーション (抜粋)

生贊のスリッパ



- ・優勝はスリッパを最も遠くに跳ばしたチームとする
- ・記録は、キックラインから着地点までの距離とする
- ・蹴る力だけで飛ばしてはいけない
- ・スリッパの重さは、生贊と同じ60gまでとする
- ・プロペラ禁止、浮力禁止
- ・規定のエリアにスリッパが着地しなければ「記録なし」
- ・30m先の壁にダイレクトで当たったらその瞬間に優勝
- ・試技は二回
- ・失敗しても構わない

チームの目標

「美しく 30 メートル飛ばす」

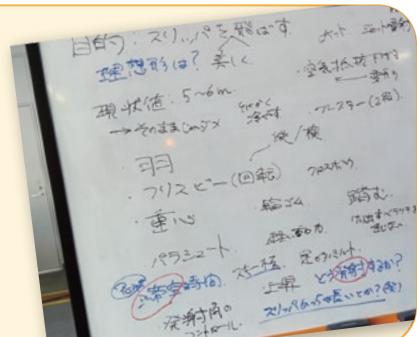
お題の発表があったその日に、チーム目標飛距離は最大距離である30メートルに決定した。

即座にチームメンバーでアイデア会議を行い、どのようにスリッパを飛ばすか話し合ったところ、主に3つの方式が挙がった。



スリッパ飛ばしの方式案

- 1 蹴り出し時に大きな初速度を与え、その勢いで一気に長距離を飛ばす
- 2 空力的に速度ロスの少ない飛行姿勢を保つことで、蹴り出し時に脚で与えた速度をキープして長距離を飛ばす
- 3 スリッパ自身が推進力を発生させて上昇、前進することで長距離を飛ばす



初日に生贊のスリッパを無改造で蹴ってみたときの最長飛距離は 13 メートルであった。魔改造を実施するにあたり、まずはこの記録を超えることを開発時点での仮目標とした。

『30m を飛ばすには、動力を使うしかない』そして、羽ばたき・フライングディスク・CO2 ボンベの開発に取り掛かった——。



羽ばたき - 原理検証 -

鳥のように翼の羽ばたきで飛行する方式を「オーニソプター」と呼ぶ。自ら揚力、推進力を生むことで動力の続く限り飛び続けることができ、まるで生き物のように飛ぶ姿は、チーム目標である「美しく30メートル飛ぶ」にふさわしいのではないか。

極めて開発難易度の高い方式であったが、勝つために、これまで検討してきたロケット噴射やフライングディスクのような放物線飛行ではなく、**自力で連続飛行が可能**な本方式に着手した。

Point : 揚力と推進力



スペック分析

市販のオーニソプター式の鳥型玩具を解析、これをスリッパ化するために、可搬重量10gではやや足りず、僅かにスペックアップした羽ばたき機構を作る必要があった。最初に市販品に搭載された羽ばたき機構を連結することで可搬重量アップを実現できないか検討を実施した。2つの羽ばたき機構を縦方向や横方向に連結して飛行試験を行ったが、飛行時のバランスを取るのが難しく、飛行姿勢の維持が困難であった。2つの羽ばたき機構連結ではなく、**スペックアップした1つの羽ばたき機構で飛ぶのが最適**であるという結論に達した。

可搬重量の近似式から必要なスペックを見積もったところ、解析に用いた鳥型玩具を基準として、**アスペクト比と羽ばたき振幅はほぼ同等**とし、**羽ばたき周波数と翼面積をやや高くすることで、スリッパの飛行が可能**という見積もりとなり、これをを目指して開発を行うことになった。

羽ばたき周波数狙い値 **15Hz**

【鳥型玩具 スペック】

アスペクト比(翼幅 / 翼弦長)	3.4
翼幅	290 mm
翼弦長	85 mm
翼面積	11400 mm ²
羽ばたき周波数	13Hz
翼材質	ナイロン系
本体重量	20g
可搬重量	10g
飛翔距離実績	30m 以上

可搬重量の近似式

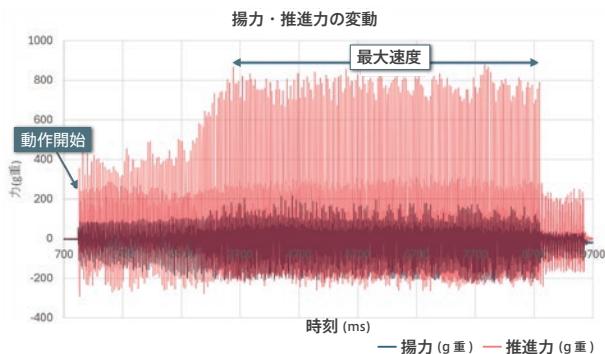
$$M \propto F^2 A^2 S$$

M : 可搬重量
F : 羽ばたき周波数
A : 振幅
S : 翼面積

※参考文献 [1] から導出

エプソン製の力覚センサーを用いて、鳥型玩具の羽ばたきでどのような向きに力が発生しているかを測定した。

その結果、機体が水平姿勢となっているとき、この翼はほとんど後ろ方向にのみ風を送っており、機体を上昇させる揚力は発生していないことが判明した。



重心が後ろ寄りに配置されていると、機首がわずかに上を向き、翼が生み出す風は斜め下向きに送られることになる。このとき風力の一部は推進力、一部は揚力として作用する。このことから、羽ばたきスリッパの設計方針は以下のようになった。

設計方針

- ・機体が**適度に上を向く**ような重心配置
- ・風を送る方向がばらけず**1方向**になるような翼形状



翼を前に設置する吊り下げ方式へ

重り+本体と揚力のバランスが絶妙な姿勢を維持し、水平飛行を可能にする



参考文献 [1] : 神部 勉 (1977), はばたき飛行の空気力学

羽ばたき - 翼設計 -

スリッパを飛ばすために機体に搭載する翼の形状検討を行った。市販の鳥型玩具やスズメなどの鳥類の飛行スタイルや翼の形状を参考にして、重量60gの機体を飛ばすために最適と思われる翼の形状・サイズの狙いをつけた。

また、なるべく軽く強度の高い翼を作るために様々な布系材料の調査を行い、翼膜材料の探索も進めていった。

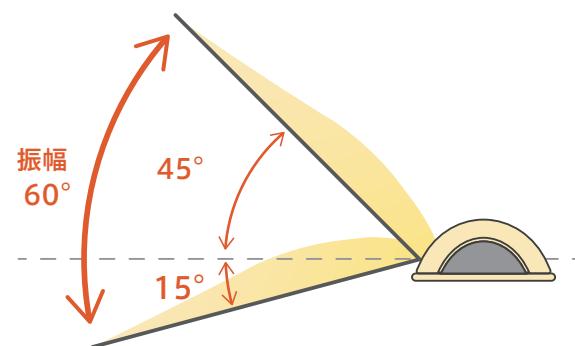


羽ばたきの振幅

翼が羽ばたく振幅は、設計時の参考にした鳥型玩具と同様の振幅を狙って設計した。また、水平線を基準にした時に、羽ばたきは上下対称ではなく、翼を上に持ち上げる量の方が多いことも分析で判明した。

この羽ばたき振幅は評価用の羽ばたき機構だけでなく、本番用のモンスターに搭載される羽ばたき機構にも採用した。

羽ばたき振幅の狙い値
60°(上45°、下15°)



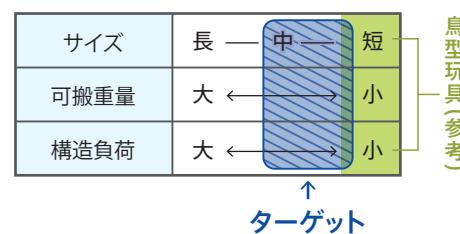
翼形状の狙い

鳥の翼の形	尖翼	裂翼	円翼	扇翼
長腕	海鳥	鷹	ミミズク	
中腕	カモ ハト		ターゲット ↓	
短腕	ツバメ	キジ	カケス	スズメ

鳥型玩具(参考)

鳥型玩具の重量が20g、スリッパの重量が60gで3倍重くなるため、可搬重量を増やす必要があった。そのためには翼の形は鳥型玩具同様のカケス・スズメを参考とし、翼の面積を大きくすることとした。

一方で、メカ機構部への負荷は大きくなるため同時に強度アップを検討することとした。



翼の素材

より軽く強度の高い翼を作るための翼膜材料の検討を行った。軽く、飛行によって破れることの無い耐久性があり、入手性や加工性に優れていること、伸縮性の有無など様々な観点から調査した。材料候補としては翼紙やPPフィルムなどが挙がったが、最終的にはリップストップナイロンを使用して本番機の翼を製作した。

翼素材
リップストップナイロン



羽ばたき - 翼評価 -

翼の形状およびサイズを決定するためには、評価試験を通して実際にスリッパに搭載するためのパラメータ最適化を行う必要がある。

仮決定した翼の形状・サイズをベースにして、形状やサイズ、骨格の有無が異なる設計の翼を複数試作した。羽ばたき動作を行うオリジナルの評価治具にこれらの試作翼をセットして、発生した風の向きや風速を測定・評価した。**風速がなるべく大きく、かつ風の方向がばらけず後方1方向になっている翼が良い設計である**という評価方針のもとに選定を進め、**バード型・中サイズ・中骨無し**の設計が最適であると判断した。



オリジナルの評価治具

スリッパに搭載する羽ばたき機構の設計と並行して、翼の検討が進められるよう、羽ばたき動作の検証のための評価治具を製作した。この評価治具は試験の効率化のため、**任意の羽ばたき周波数で動作する機能**と、**試作段階の様々な形状の翼を羽ばたかせられる十分なパワー**が求められた。

そこで、産業用ロボットの開発に使用されるΣ-7という強力なモーターを、評価治具の動力に使用した。当初は羽ばたき動作のためのリンク機構はプラスチック部品で構成されていた。しかし、大型の翼を高速で羽ばたかせると、治具の破損が頻発した。そこで、チーム内の加工メンバーにアルミブロックで当該部品を作製してもらい、これに置き換えることで**強力な羽ばたき評価治具を実現**した。



翼形状の方針

ストレート型・バード型・逆ストレート型の大・中・小サイズを試作。バード型は「翼形状の狙い」を参考に作製。中骨の有無による影響も確認し、有無による有意な差が見られないこと、重量が重くなることから必要なしと判断した。空気の捉えやすさから、**バード型+中サイズ+中骨なし**を基本構造とすることに決定。

翼形状

バード型 + 中サイズ + 中骨なし

翼形状パターン	ストレート型	大 / 中 / 小	中骨なし / 中骨あり
	バード型	大 / 中 / 小	中骨なし / 中骨あり
	逆ストレート型	大 / 中 / 小	中骨なし / 中骨あり

エレキ・制御

マイコン選定

スリッパを飛ばす前に、実際に歩いて数メートルを歩かなければならない。この時には羽ばたきは動作せず、蹴り出した後に羽ばたき開始するようにモーター始動を制御しなければならない。これは単に電池とモーターを直結するだけでは実現できず、マイコンを用いた制御が必要となる。

蹴り出し時の加速度を検出してモーター始動することとした。飛行のためには電装系も徹底的な軽量化が必要であるため、加速度センサーとマイコンが一体型モジュールとなっている小型マイコンボード「Seeed XIAO BLE Sense nRF52840」を選定した。



マイコンに書き込むプログラムは単にモーターの始動タイミング制御のみではなく、様々な機能を盛り込んだ。

開発段階で役立つ機能として、飛行時の加速度センサ値のログをSDカードに保存し、飛行中の羽ばたきの振動で誤動作しないようなフィルタ設定や飛行姿勢の把握ができるようにした。また、スリッパの蹴り出しから姿勢安定するまでの僅かな時間を持機してからモーター始動したり、機体の姿勢に応じてモーターの出力を調整するなどの機能も実装し、総行数600行以上に及ぶファームウェアをパタパタトリッパーの頭脳として実装した。

マイコンボードの周囲には、モーターを動作させるための駆動回路や、バッテリーを接続するコネクタが必要である。羽ばたきによる機体の振動ではんだ付け部の接触不良や断線が起きないよう、単純に線材で各部品を繋ぐのではなく、回路基板を製造した。

制御基板に許される重量は約5gであり、徹底的な軽量化を行う必要があった。そこで、基板材料は厚さわずか0.3mmの極めて薄いものを使用した。さらに、使用する部品は全て微小なチップ部品のみとし、回路パターン上不要な部分はカッターでくり抜いて穴を開けるなど、執念の軽量化を施した。

```

53 // 状態：けり上げ待機状態
54 void State_WaitingForKick() {
55     PWM_Stop(); // PWMの出力を止める
56
57     BlinkLED(LED_BLUE_);
58
59     // 状態遷移条件を確認、閾値より大きな加速度でけり上げたと判断する
60     if ((CalSumOfSquaredDiffAvgAccelerations() > TH_ACCEL_KICK) && (millis() - StateTime > 750)) {
61         MoveToNextState(); // 次の状態に移行
62     }
63
64     // 状態：打ち出された状態
65     void State_KickedOut() {
66         SetLED(LED_GREEN_);
67         // 状態遷移条件を確認、指定閾値より小さな加速度で空中にいると判断する
68         if (SYSTEM_TYPE == 0) {
69             if (millis() - StateTime > TH_DELAY_MOTOR_ON_DISK) {
70                 PWM_Start(); // フライングディスクはすぐモーターonする
71                 MoveToNextState(); // 次の状態に移行
72             }
73         } else {
74             if (millis() - StateTime > TH_DELAY_MOTOR_ON_FLY) {
75                 PWM_Start(); // バタバタは姿勢が安定してからモーターonする
76             }
77         }
78     }
79 }

```

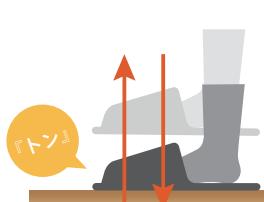
正確な制御の実現

これらの電子制御系が完成した段階でスリッパに組み込み飛行テストをしていると、リーダーが蹴り出す前の予備動作時にモーターが始動してしまう現象が発生した。原因は、スリッパにメカ機構を取り付けるためのテープの粘着性によって床面にスリッパが貼り付いてしまい、足を持ち上げて剥がれる際の振動でスリッパに大きな加速度がかかってしまう事だった。

これによる誤動作を防ぐため、**加速度検出は2段階**で行うこととした。**スリッパを履いて歩いてスタートラインまで到着したら、まずは1回トン、と大げさに足を持ち上げる動作をして大きな加速度をスリッパに与える。**これでスリッパは始動待機状態に入り、その後蹴り出した際に再び発生する大きな加速度をトリガーにしてモーターが始動する。

この方法の唯一の弱点は、試技本番でリーダーが“1回トン”を忘れると、スリッパを蹴り出しても羽ばたきが開始できないことである。これを防ぐため、本番では**チームメンバーが口々に「1回トンして！」とひたすら声をかけることで対策した。**

1. 足を大きく持ち上げる動作



2. ゆっくりと足を後ろに下げる



3. 蹴りだし動作後、200ミリ秒待機したのちモーター始動



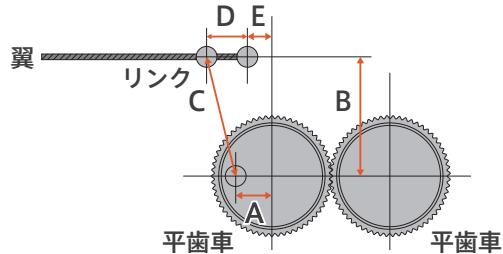
※翼と尾翼は省略

機構設計

羽ばたき機構

飛行するスリッパの核となる羽ばたき機構は、1個のモーターを平歯車の組み合わせで減速し、左右の翼を駆動する。翼の骨には中間関節部を設けないシングルリンクである。シンプルな構成であるがその開発は簡単ではなく、与えられた開発期間が終わる直前まで設計変更と調整を繰り返すこととなった。

市販の羽ばたき方式の鳥型玩具の設計を参考に、スリッパを飛ばせる飛行能力となるよう各部の寸法に変更を加えて試作を行った。



【羽ばたき機構寸法 (mm)】

	鳥型玩具	トリッパー
A	2.3	5
B	12.5	15.5
C	11.9	18
D	5	9.0
E	0.5	0.5

【減速比】

	モーター	モジュール	歯車	PCD	外径	軸間	減速比
複合歯車	大歯車	0.5	28	14	15	9	1
	小歯車	0.5	10	5	6		3.50
複合歯車	大歯車	0.5	34	17	18	11	11.90
	小歯車	0.5	10	5	6		15
平歯車		0.5	50	25	26		59.50

【歯車】

歯幅 (mm)	加工形態
3	切削加工
1.5	市販品
4	
1.5	市販品
4	
3	3Dプリンター

羽ばたき機構部の軽量化

ギアを取り付けるフレーム部は、羽ばたきによる負荷でギアが脱調しないよう高い剛性が求められる。動作負荷でフレームが反ってしまうと中央部の歯車の噛み合いがずれ、左右の翼の羽ばたき位相がずれてしまい、飛行することができなくなってしまう。

しかし剛性を高めることは重量の増加にもつながるため、**軽量化と高剛性のバランスが求められる**。補強のために入れるリブ構造の厚みをなるべく薄くしながら何度も試作と飛行試験を繰り返し、**フレームの反りや割れが発生しない最小限の補強設計**を完成させた。



今回の羽ばたき機構において、モーターに装着されるピニオンギアへの負荷が最も大きい。飛行時のギアの歯欠けを防止するため、ピニオンギアは金属製が適している。しかし、市販の金属ギアはモジュールや歯数、歯幅等のスペックにちょうどいいもののが存在しなかった。狙った羽ばたき周期にするため、ギアに妥協するわけにはいかず、内製で金属ギアを作製した。

金属ピニオンギアはモジュール0.5、歯数8とし、ワイヤー放電加工機を使って製作した。歯車と軸の勘合は現物のモーター軸を計測しながら穴径を調整し、 $\phi 1.187 \pm 0.002$ mmの精度で精密加工した。

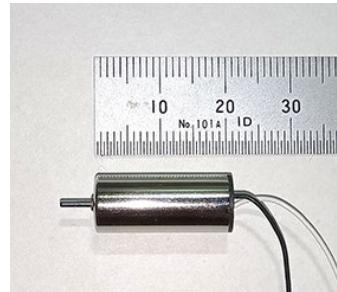


翼膜を取り付ける骨部分は、リンク機構から伸びる骨格パーツをカーボンファイバーで延長したものである。単なる直線ではなくわずかに曲がった形状をしており、初期は3Dプリンター造形品を使用していたが、羽ばたきの負荷に耐えられず飛行のたびに骨折する状況であった。**強度確保のため、本番用の部品は樹脂ブロックから材料を切り出し、汎用フライスを用いて製作した**。左右の部品に角度差や寸法差が発生しないよう、熟練の加工能力を持った社員による精密加工が施された。



動力であるモーターは、ドローン用の小型コアレスモーターを使用した。様々なサイズのものが存在するが、出力性能と重量のバランスから、**8520モーター**と呼ばれる寸法のものを採用した。

開発段階では高負荷をかけることで度々破損するため、8520モーターを大量に購入した。これらのモーターの出力には個体ごとにばらつきがあるため、一つ一つ確認して特性の良いものを本番機に使用した。



【モーター】

型番	8520
外径	8.5 [mm]
ケース長	20 [mm]
軸径	1 [mm]
軸長さ	5 [mm]

生贊の軽量化

軽量化の目標

夜会で飛ばすモンスターの重量は60g未満に抑えなければならない。生贊として与えられたスリッパの重量は、60g。つまり、軽量化によって削減できた重さの分だけ、メカ機構や電子制御系を搭載することができる。

そこで、チーム内でスリッパの目標重量を15g以下に決め、徹底的な軽量化の試作・検討を始めた。

生贊の分解

まずはスリッパをどこまで分解できるか、限界を探るところからスタートした。中敷きや甲カバーなどクッション性のある部分はクッションと外皮を分け、さらには繊維を断ち切って薄いメッシュの状態になるまで分解した。一個分解するのに2時間以上を要する。

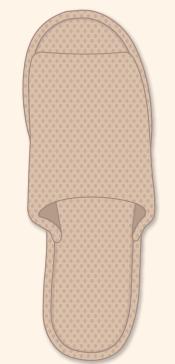
個々のパーツをばらしながらそれぞれの重量を測定し、軽量化の優先度を判断した。

生贊のスリッパ

59.1g

目標重量

15g 以下



生贊の“バラシ”



パーツに分解



クッション部をさらに分解



薄皮一枚の状態に



改造スリッパのこだわり

スリッパの軽量化にあたり、メンバーが大切にしていたこと、それは、「スリッパの履き心地」と「生贊へのリスペクト」。部品削減で履き心地を損ねてはならないというレギュレーションに基づき、軽量化と足が触れる部分のクッション性とのバランスを追求した。また、生贊であるスリッパへのリスペクトとして、外形(サイズ・形状)を極力原型から変えず、外側の見える部分には生贊の材料をそのまま使用した。材料を変える場合も生地を着色し、生贊の見た目を再現するよう、細部までこだわった。

エンジニア班が飛行のための設計・試作をしている間、軽量化班はひたすらにスリッパの解体を行った。開発初期から中期の段階では、羽ばたき方式以外も検討しており、それぞれの方式でスリッパ形状に組んで飛行試験を行う必要があった。

軽量化班は“スリッパ組み立て工場”を結成し、急ピッチで大量のスリッパを分解し、それぞれの方式に応じて求められる軽量化スリッパを制作していった。作業者の熟練度も次第に高まり、迅速に生産される超軽量スリッパはエンジニア班の開発を力強く支えた。



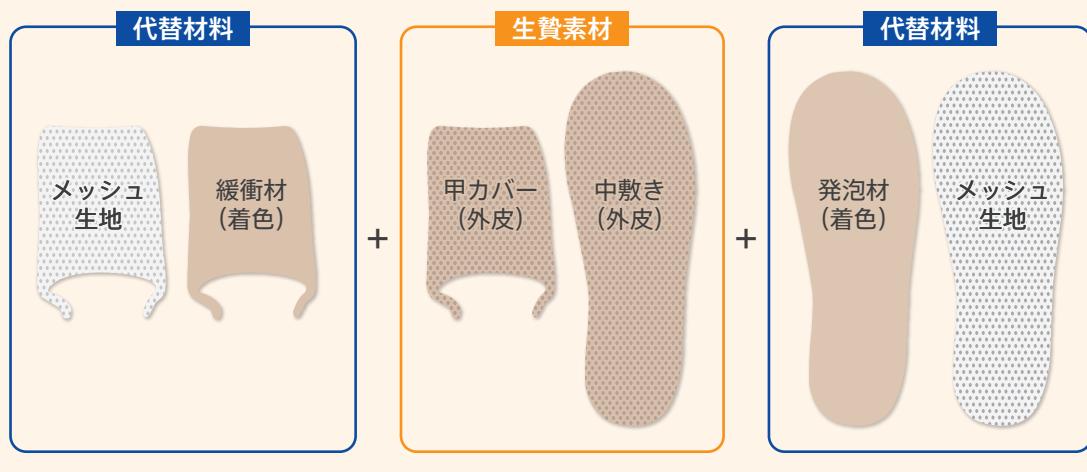
軽量化スリッパ

生贊の分解図



比較的重量のあるクッション材やソールはより軽い代替材料に置き換え、生贊素材を使用する場合も一番外側のメッシュ部分のみの使用とすることで軽量化を実現。

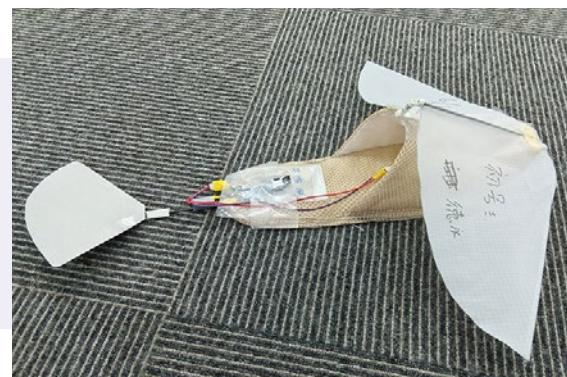
最終仕様のパート



最終到達重量
約10g!

スリッパ化

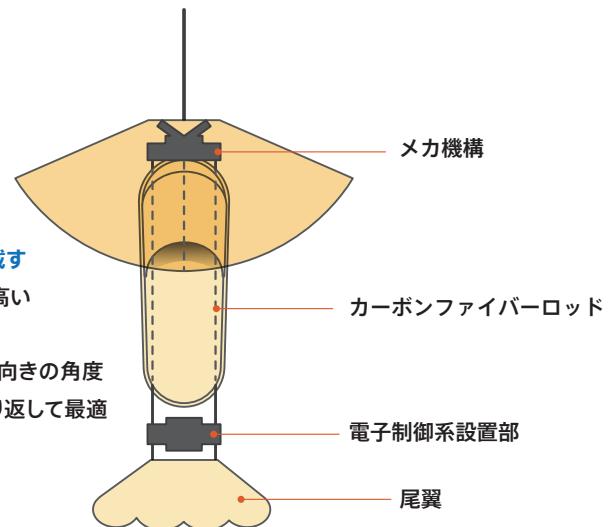
完成したメカ機構や電子制御系部品を取り付けて飛べるスリッパに仕上げる作業を、チーム内では「スリッパ化」と呼んだ。単純に組み合わせていくだけでは飛行能力を十分に出すことができず、機体全体の剛性や重量バランス、歩行や蹴り出し動作に支障のない構造であるかなど、改造締め切り直前まで繊細な調整を繰り返した。



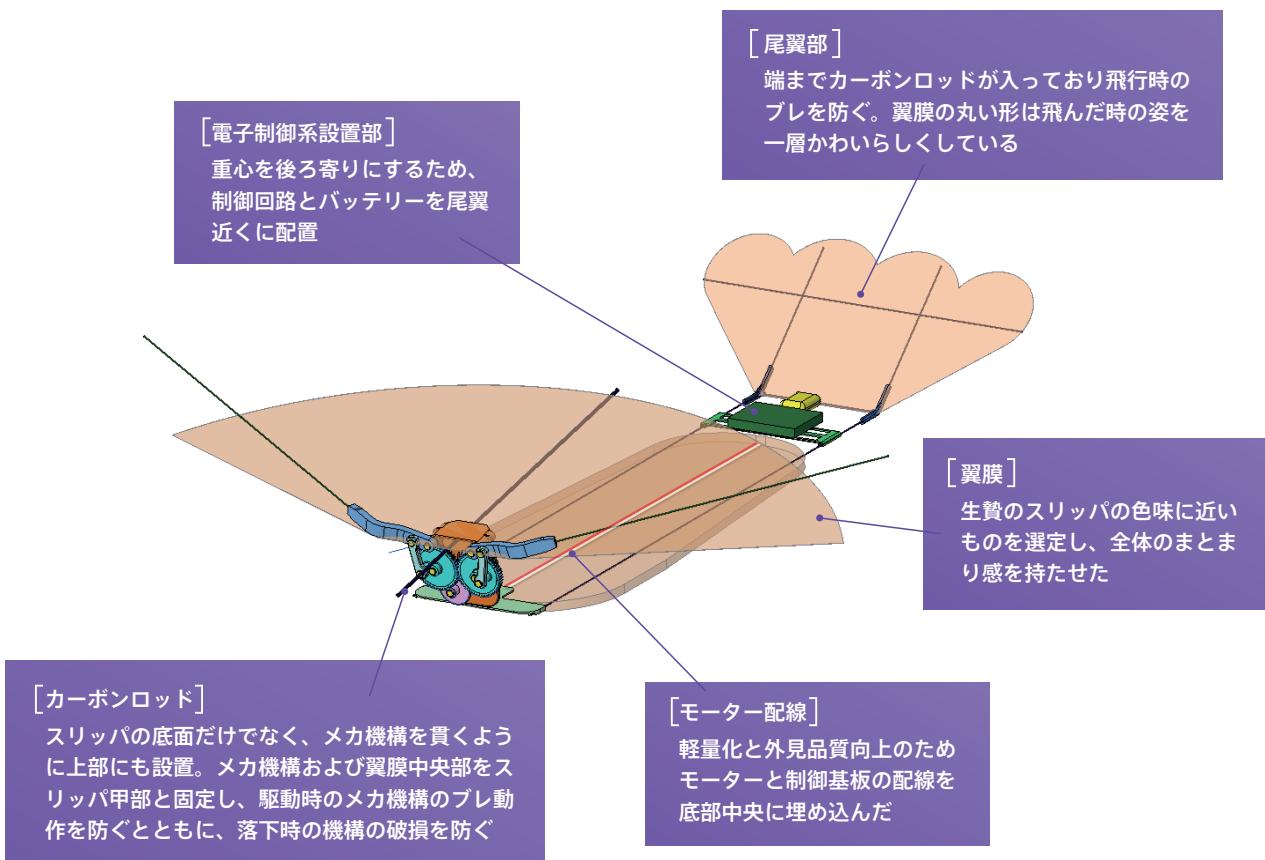
メカ機構の構成

羽ばたき飛行の原理確認時に判明したように、スリッパの重心を後ろ寄りに配置することで機首が上向き、翼が斜め下方向に風を送ることにより飛行が可能となる。機体前方に重量物であるメカ機構が存在するため、**スリッパの全長を大きく伸ばし、制御基板を後部に搭載することで重心バランスの調整**を行った。スリッパの延長は軽くて剛性の高いカーボンファイバーロッドを使用した。

尾翼の角度は水平ではなく、飛行時の揚力発生を期待し、僅かに上向きの角度にした。角度の異なる尾翼固定パーツを複数試作し、飛行テストを繰り返して最適な角度を決定した。



スリッパ化の工夫



トリッパー誕生

機首が上を向くことで飛行時の揚力を生み出すこの羽ばたき機は、飛行中にスリッパの裏面を見せながら飛ぶことになる。まるで生き物のように羽ばたきながら飛ぶ姿にキャラクター性を持たせるため、スリッパの裏に顔を描いた。必死さというよりは、どこか余裕を感じさせる不敵な笑顔をスリッパに与えた。

キャラクターデザイン

開発チームが力を注いで開発し実現したこのモンスターは「鳥のようにパタパタと羽ばたいて飛ぶスリッパ」の姿を連想できるような名前をつけたい、という思いから、『パタタリップ』と名付けられた。

モンスターのイメージイラストもネーミングとマッチする親しみやすいキャラクターにデザインした。

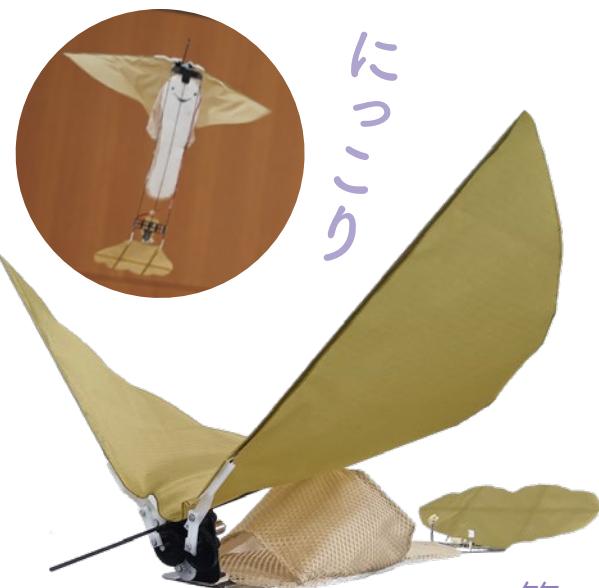


飛行テストで直進安定性は改善した
が、重心が前寄りになるというデメリットも
存在する。悩んだ結果、夜会第1試技はトサカ
無しで飛ばし、**第1試技と第2試技間のピットタ**
イムでトサカを装着する作戦に決めた。

まっすぐ飛んでくれ～！
その思いで納品 1 時間前まで垂直尾翼をどこに装着したら
まっすぐ飛ぶのか、試行錯誤した。垂直尾翼を 2 枚装着するも、重
たそうに飛ぶトリッパー・・・生みのエンジニア達からは「羽ばたき
機構が壊れてしまうのではないか、本番前に壊れたらどうするんだ」と心
配の声が・・・。1 号機はそのまま出荷し。2 号機で足搔き続け、頭部に
垂直翼をつけると、3 回の飛行テストで 3 回とも長距離（最長 23.6m）
を目標にまっすぐ飛ぶことができ、本社体育館は歓喜に満ちた

※ハンドループ

——後に「トサカ 威嚇モード」と名付けられたこの作戦は、メンバーとの協議で第二試技での披露となった



第一試技 通常モード

飛行の調整

機体の重心位置が少しでも最適位置からずれてしまうと、飛行距離が短くなってしまう。スリッパに通すカーボンロッドの長さ、制御基板の取付位置、尾翼の角度などの各パラメータを、飛ばすたびに少しづつ調整することでスリッパ化を進めていった。

羽ばたき方式が持つ原理的な弱点として、直進安定性の低さがある。これを解決するために重心バランス調整以外の対策として、メカ機構を貫く前方のカーボンロッドに、**垂直尾翼の役割を果たす「トサカ」**を設置する案が考えられた。



第一回

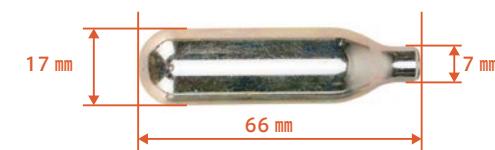
「トサカ 感嘆モード」

知られざるモンスターたち

ロケット噴射方式

30メートル飛ばすためには、蹴り出し時に圧倒的に大きな初速度を与えてスリッパを遙か彼方に吹き飛ばせばよい。CO₂ガスを高圧封入したガスカートリッジの噴射力を利用する、ロケットスリッパを試作した。

使用した CO₂ ガスカートリッジ
[8g カートリッジ]



- ・炭酸飲料 / エアガン用
- ・重量：下記の2種類を検討
 - ① ガス量 8g + 容器 22g, 計 30g
 - ② ガス量 12g + 容器 30g, 計 42g

噴射の仕組み

ガスカートリッジ起爆機構は、ばねと釘を用いた。レバーを押し下げることで縮めていたばねのストッパーが解除され、釘を勢い良く打ち出す。これでカートリッジの封止部に穴を開け、ガス噴射を開始させる。



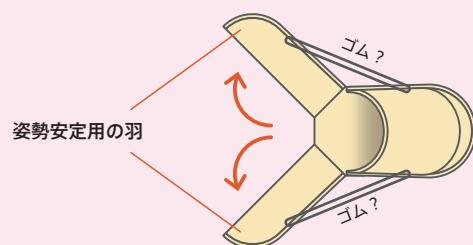
検討と試作

ガス噴射によってカートリッジの後端から押し出されるように力が加わるため、そのままではカートリッジが回転してしまい、推進力のロスによって飛距離が出ない。



課題：飛行の不安定さ

スリッパと組み合わせたときの形状を工夫することで、飛行姿勢を安定化できないか検討を試みた。



改善案：スリッパ変形案



封止口に釘を打って穴を開け、ガス噴射の勢いを確認する噴射実験を行った。穴を大きく開けると噴射の勢いは強いが持続時間が短い。逆に穴が小さすぎると、噴射の持続時間は長くなるが十分な推進力が得られない。

適切な勢いで釘を打ち出すことで飛行に適した勢いでガス噴射ができるよう、起爆装置の機構は何度も試作を繰り返した。

最終的な試作機の重量

起爆装置：6g
ガスカートリッジ：30g
スリッパ：10g
固定用部材：12g

合計 58g

※噴射実験は安全には十分配慮の上で実施しています

開発結果

ロケット噴射方式

レギュレーションにより、改造したスリッパの重量は 60g 未満としなければならず、ガス噴射の持続時間が長い封入量 12g カートリッジの使用は断念せざるを得なかった。カートリッジ単体の飛行試験で 20 メートル以上の飛距離を実現した。

しかし、釘を打ち出すばねの強さと機体重量とのトレードオフを両立しつつ、蹴り出し時に安定して起爆する構造設計の難易度が高く、夜会での不発リスクを考慮して開発終了となった。



知られざるモンスターたち

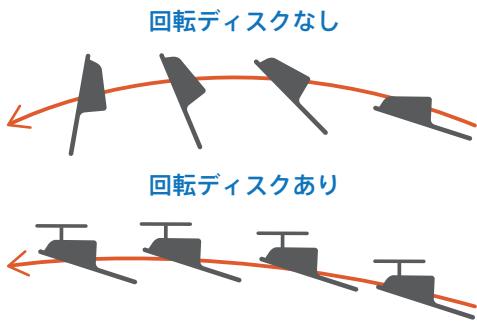
フライングディスク方式

回転する円盤がもたらすジャイロ効果で蹴りだし後もスリッパの姿勢を水平に保つことで、空気抵抗による速度低下を最小限に抑える。かつ、回転円盤の断面形状に起因する揚力で機体を浮上させる力を稼ぐことで、飛距離を伸ばす。

屋外用のおもちゃであるフライングディスクの飛行方式を、スリッパと融合させた。

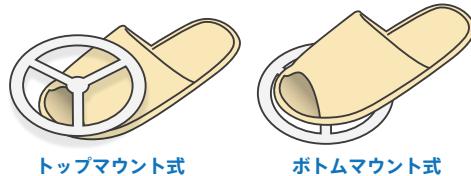
ディスクの設置場所は、スリッパの足の甲部分につける**トップマウント式**と、底面に取り付ける**ボトムマウント式**の2種類が考案された。

トップマウント式はモーター、ギアボックス、ディスクの構造及び配置がシンプルであるが、軽量化を施した柔らかいスリッパの甲に機構が設置されるため剛性が確保できず、不安定になりやすい欠点がある。一方ボトムマウント式は、底面にディスクが固定できるので歩行や蹴り出し時の不安定感は軽減し、前方からの空気抵抗によるロスも少ないが、ディスク回転機構の設計と設置方法に工夫を要する。



両タイプとも試作機を製作し、何度も飛ばす中で課題出しと設計改良を重ねていった。

スリッパ跳ばし競技はリーダーの脚で蹴り出すことが必要であり、ロボットのような正確な動作による離陸はできない。このため、より**スリッパ側の剛性が高く安定した射出が可能なボトムマウント式**の設計に注力した。



トップマウント式 ボトムマウント式



ボトムマウント式 試作品

ディスクをスリッパ底面に配置するためには、機構部の高さを最小限に抑える設計が必要である。そのために、トップマウント式のような縦置きモーターではなく、横に寝かせた配置とする。また、体積を減らすため減速機構はギアボックスではなく、ディスクに内歯車を配置し、直接モーターのピニオンギアと連結した。

これらの機構でジャイロ効果による姿勢安定化が実現できるか、まずは機構重量を度外視して大型な試作機を作成した。その結果、**ジャイロ効果が得られることを確認**することができた。

ドーナツ型のディスクの中央部に、モーター・バッテリー・制御基板などの電装系を配置した。モーターのピニオンギアとベルアーリングでディスクを横から挟み回転させた。エンジニアも未経験のクラウンギア方式をチャレンジし採用した。

これらはスリッパの底面に設置されるため、歩行時の体重がかかる。**体重に耐えられる強度と軽量化を両立する設計**を行い、機構部重量**48.5g**を達成した。



開発結果

フライングディスク方式

最終的に“スリッパ化”に成功したフライングディスク方式だが、十分な姿勢安定効果を出すためには、ディスク重量を重くして慣性モーメントを大きくする必要があった。機体総重量を60g以内に収めるためにはスリッパ側を極限まで軽量化することとなり、モーター回転の反作用を軽いスリッパが強く受け、飛行中にスリッパが回転してしまう。

本方式はスリッパ自体の推進力は無く、リーダーが蹴り出し時に与えた速度が飛距離と密接に関係している。スリッパが反作用で回転してしまうことによる空気抵抗が速度のロスに繋がり飛距離を稼ぐことができず、本番機への採用を断念した。(最高到達飛距離 10m)



知られざるモンスターたち

もう一つの羽ばたき モーター横置き方式

開発の出発点

羽ばたき飛行スリッパの開発において、本番機「パタパタトリッパー」は市販の鳥型玩具を参考に設計され、モーターを縦に配置する方式を採用していた。シンプルで軽量な構造ではあったが、この方式には課題があった。

スリッパとして足を入れる空間を確保するため、機構部はつま先側に集中し、重心が前方に偏ってしまう。飛行姿勢を45度に保つには後方を延ばす必要があったが、軽量化した機体では中央部の強度が不足し、蹴り出し時に本体全体が大きくたわんでしまう。

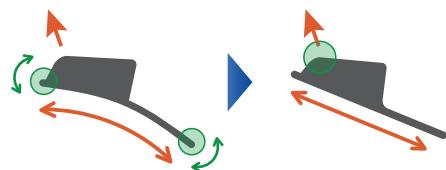
このたわみが飛行の不安定さを生み、姿勢制御を難しくする。蹴り出しの瞬間、しなやかにたわむ様子は美しいが、その柔らかさが飛行の向きを乱し、軌道の再現性を損なう要因となった。そしてこの構造的な課題を解決するために最終機と並行してもう一つの羽ばたき機構のモンスターの開発を進めていた。

解決へのアプローチ

やわらかいものを飛ばすという試みは、単なる軽量化ではなく、しなやかさと強さの均衡を探る挑戦でもある。

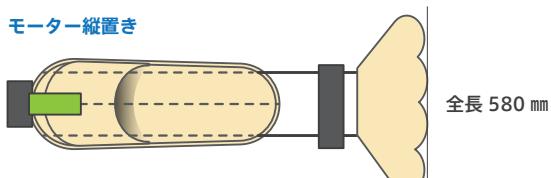
蹴り出し時の姿勢安定性を向上させることを目的に、力の伝達経路と重量配置の改良を行った。具体的には、蹴り出し時に最大荷重が作用する足の甲付近に重量部品を配置し、力の伝達を安定化させた。さらに、羽ばたき機構を左右に分割して側面に配置することで、低重心化を図った。

この構成により、重量が機体中央に集約され、縦方向寸法の小型化が可能となった。また、中央部の剛性向上により、蹴り出し時の姿勢変動が抑制され、飛び出し動作の再現性および安定性が向上した。



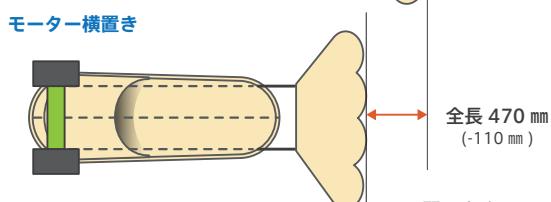
力の伝達経路の安定化と低重心化

モーター縦置き



全長 580 mm

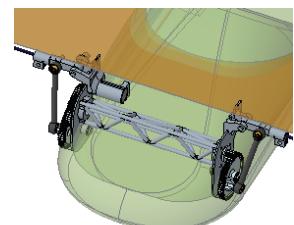
モーター横置き



※翼は省略

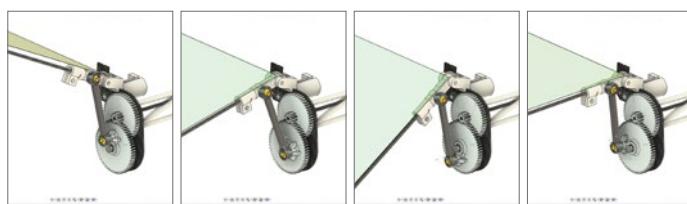
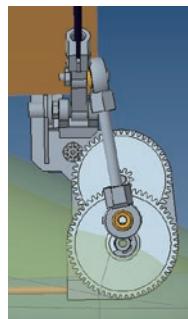
羽ばたき機構の左右配置

羽ばたき機構を思い切って左右に分割した。モーターはスリッパの右側に組み込まれ、右のギアを駆動して右翼を羽ばたかせる。その動力はアルミ製のシャフトを介して左側のギアへ伝わり、左翼も連動して羽ばたく仕組みだ。一本のシャフトで両翼を同期させる。さらに、モーターの反対側には基板とバッテリーを配置し、重量バランスを最適化した。



羽ばたき機構

自動車のエンジンでは、ピストンの上下運動がクラシク機構によって回転運動に変えられている。羽ばたき機構はその逆の発想で、モーターの回転を翼の上下運動へと変換している。この機体ではモーターを横向きに配置しており、その回転軸と翼の羽ばたき軸は直角(90°)の関係にある。回転方向が異なるため、力をそのまま伝えることはできない。そこで、角度のずれを吸収しながら動力を伝達できるロッドエンド付きクラシク機構を採用した。



【減速比】

	モーター ピニオン	複合歯車		平歯車
		大	小	
モジュール	0.5	0.5	0.5	0.5
歯数	8	50	10	56
P.C.D [mm]	4	25	5	28
軸間 [mm]		14.5		16.5
歯幅 [mm]	3	3	4	3
減速比	1	6.25		35
回転数 [rpm]	(16800)	(2688)	(480)	
羽ばたき周期 [Hz]	-	-	-	約8

次ページへ続く ▶

翼の配置

はばたき機構を左右に分割して配置したこと、主翼も左右それぞれに独立して取り付けられた。これにより、翼が生み出す気流は中央部の胴体（スリッパ）にぶつかることなく流れ、揚力の低下を防ぐことができる。

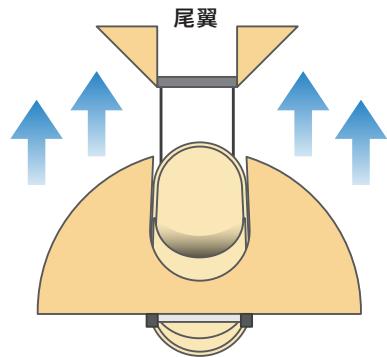
さらに、尾翼も左右に分割配置することで、羽ばたきによって生じた気流を直接尾翼に当て、姿勢をより精密に制御できるようにした。横置き方式は機体全長が短いため、主翼から尾翼までの距離も短く、気流のエネルギーが減衰しにくい。その結果、**主翼から生じた風が効率よく尾翼に伝わり、風の利用効率と制御性が向上**した。

剛性・軽量化

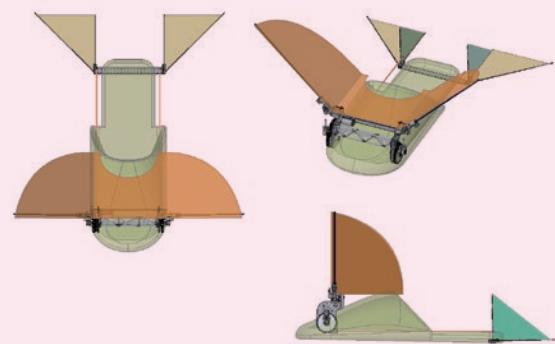
本機構では、左右の力を接続するフレームの剛性が不足しており、わずかな歪みでもシャフトを介した動力伝達が不安定となり、飛行が困難になるという課題を抱えていた。また、スリッパの甲部に取り付けられるフレームは、蹴り出し時に大きな荷重を受けるため、高い剛性が求められた。

これらの課題に対し、**軽量化と高剛性の両立**を目的として構造改良を行った。本体フレームはカーボン板を削り出して成形し、左右フレームを連結する梁には**3Dプリンターによる立体トラス構造**を採用した。さらに、フレーム間の接合には重曹と瞬間接着剤を併用し、軽量かつ高強度な接合部を実現した。これらの設計により、フレーム全体の剛性が向上し、動力伝達の安定化と機体の信頼性向上が確認された。3Dプリンター品の歯車は歯面が荒く摺動負荷が大きいため、**歯車の歯を一枚一枚磨き上げ摺動性を高めた**。

主翼の風を尾翼に充てて方向を制御

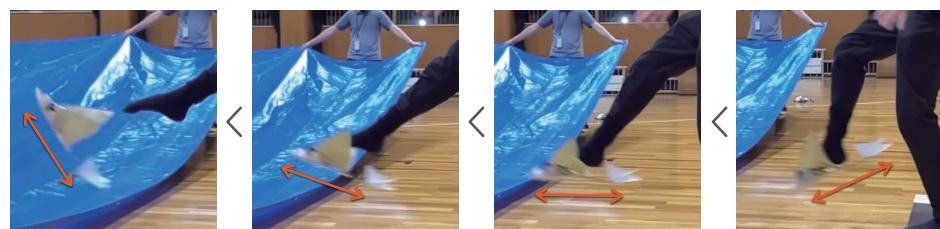


全体図



飛行確認

飛び出す瞬間の姿勢をいかに安定させるか、それがこの開発の最大の目的だった。蹴り出しの勢いで機体が傾いたり、ねじれたりせず、まっすぐ空へと滑り出すこと。その理想を形にするため、設計と調整が繰り返された。動画解析の結果、機体には目立った変形は見られず、狙いどおりの動作が確認できた。目的としていた安定した離陸動作は、確かに実現していた。



次は、出力を少しづつ上げて飛行距離を伸ばしていく—— そのはずだった。

開発結果

羽ばたき モーター横置き方式

改造終了日の前日まで、夜会に出品するモンスターを二つの羽ばたき機のうち、どちらにするか判断を保留したまま調整を続けていた。しかし、羽ばたき機構にかかる負荷は予想以上に大きく、3Dプリンターで造形した歯車の歯が破損した。

急ぎ予備の造形を試みたが、3Dプリンターは事業所の停電メンテナンスで稼働できず、修復は間に合わなかった。結果として本羽ばたき機は断念することになった。

開発終盤まで粘り続けたが、わずかな部品の不具合が、完成を阻んだ。最後まであきらめなかっただけに、この判断は苦渋のものとなった。それでも、思いどおりにいかないからこそ感じる、ものづくりの面白さもそこにあった。

開発の断念。。





EPSON