

SONY

NHK-BSプレミアム「**魔改造の夜**」

ネコちゃん落下25m走 出場機体

モンスター

ALKNYAN 読本

第一部：プロジェクトの全貌概要

チーム Sニ一

©2022

チームSニール

©2022



チーム Sニ一



Sニー「ALKNYAN」

アピールポイント

- ・最高時速14キロの**高速スライダーリンク歩行**と「しっぽ」操舵
- ・**軽量固定パラシュート**と**モーションセンサー落下検出による安定着地**
- ・**往年の名機の愛らしさ**をまとった**ヘッドホン姿**



メンター森永・Sニーグループの「現代の名工」尾崎勝
およびグループ内加工チームが魂を込めて削った部品を使用



アルクニャン



- ・最新ゲームコントローラーで
遠隔スタート/ストップ



- ・「魔改造テレビリモコン灯台」
による誘導・衝突回避

魔改造メンバー ネコちゃんTEAM

総合リーダー/チームリーダー
AKICHIKA TANAKA
田中 章愛
ソニー・インタラクティブ
エンタテインメント
toio 事業推進室

メンター /CNC 加工
EIICHIRO MORINAGA
森永 英一郎
ソニーグループ
AI ロボティクス
ビジネスグループ

プロジェクト進行・環境構築
MACHIKO SEGAWA
瀬川 真智子
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ
デザイン&システム技術
プラットフォーム部門
応用技術開発部

カイト班 (落下機構)

サブリーダー / 設計・評価
YASUSHI DOI
土井 貫嗣
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ
モバイルシステム事業部
MIS 商品部

実験リーダー / 製作・評価
TAKESHI KITAGAWA
北川 剛史
ソニー
イメージングプロダクツ &
ソリューションズ事業本部
システム・ソフトウェア
技術センター
システム設計部門

機構設計・デザイン
MINDRI MANABE
眞鍋 美祈
ソニーグループ
R&Dセンター
Tokyo Laboratory 15
3 課

製作・評価・広報
KENSUKE TADA
多田 謙介
ソニーグループ
広報・ブランド戦略部
テクノロジー広報グループ

しっぽ班 (操舵機構)

操舵機構設計
RYU TATE
館 龍
ソニーグループ
AI ロボティクスビジネス
グループ
VISION-S 推進室

機構設計・制御
HIROMICHI KOJIMA
小嶋 洋至
ソニー
モバイルコミュニケーションズ
事業本部
部品設計部門
機構設計部

Mark-0班 (バックアップ機)

機構設計・製作
SHIGEO TAGAMI
田上 繁男
ソニー
セミコンダクタ
ソリューションズ
車載事業部
車載応用技術部



電装班

電気実装・評価
KUNIAKI KURIHARA
栗原 邦彰
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ
システムソリューション事業部
通信デバイス商品開発 2 部

基板設計・電気実装
KOICHI SHIHO
塩野 浩一
ソニー
インタラクティブ
エンタテインメント
インフラクションR&D 部門
開発 3 部

誘導灯台班

電気設計・制御
HIROSHI KATAYAMA
片山 裕士
ソニー
モバイルコミュニケーションズ
事業本部
商品設計部門
システム設計部

センサ設計・実験コース製作
SHO NAKAGAWA
中川 祥
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ
デザイン&システム技術
プラットフォーム部門
応用技術開発部

本体メカ&脚機構班

脚機構・本体設計
RYOSUKE UCHIYAMA
内山 了介
ソニー
ホームエンタテインメント &
サウンドプロダクツ事業本部
モバイルプロダクト事業部

機構設計・製作
HAYATO NISHIOKA
西岡 勇人
ソニー
コンピュータサイエンス研究所
リサーチアクティベーション
グループ

設計・シミュレーション
SHOHEI AOKI
青木 翔平
ソニー
イメージングプロダクツ &
ソリューションズ事業本部
製品技術センター
コア技術第 1 部門

外装設計・デザイン
MIYU IWAFUNE
岩船 美友
ソニーグループ
R & Dセンター
Tokyo Laboratory 08

電気・制御班

電気・制御全体設計
KAZUNOBU SUMIYA
角谷 和宣
ソニーネットワーク
コミュニケーションズ
法人サービス事業部
コネクテッド
ソリューション部

操舵制御実装
TOMOKI NAGATANI
永谷 智貴
ソニーグループ
R & Dセンター
Tokyo Laboratory 12

落下・着地制御実装
SHOTA KAMEYAMA
亀山 聖太
ソニー
モバイルコミュニケーションズ
事業本部
ソフトウェア技術部門
システム開発 3 部

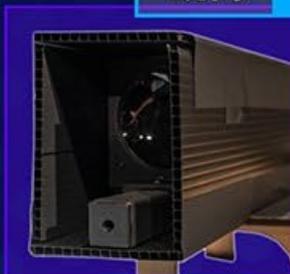
魔改造ネコちゃん解剖図



ALKNYAN 用
無線コントローラー

© Sony Interactive Entertainment Inc. All rights reserved.
Design and specifications are subject to change without notice.

鏡筒



コース設置用足

ON/OFF スイッチ



赤外線 LED

テレビリモコン
(赤外線信号生成)

ACアダプタ

ALKNYAN

魔改造ネコちゃん解剖図



カイト (固定式パラシュート)

メイン基板

- ・マイコン
- ・通信モジュール
- ・姿勢検知センサ (IMU)

バックアップ用
スタートボタン

ステータス LED

赤外線センサ

走行用モータ

しっぽ

操舵用しっぽ
(2又)

レトロな
ヘッドホン

ガイドローラ

バッテリー

しっぽ用
サーボモータ

オーディオプレーヤ型ボディ

耐衝撃構造の脚
(スライダクランク機構)

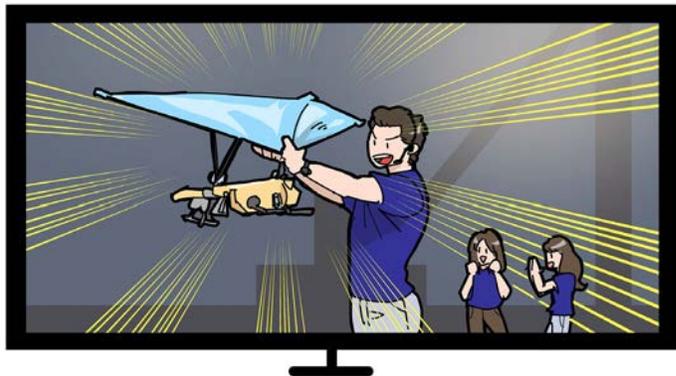
スピードコントローラ



ネコちゃんチーム一同 (2022年某日 夜会会場にて)

ALKNYAN 読本

第一部：プロジェクトの全貌概要



2022年のとある1ヶ月半
私たちは、全力で駆け抜けました

Contents

お題「ネコちゃん落下25m走」ルール概要

ALKNYANとは？

ALKNYANは、何が出来たの？

ALKNYANのアプローチは？

走る仕組みはどうなっているの？

落ちる対策はどうなっているの？

どうやって左右に曲がって走るの？

ゴールの方向はなぜ分かるの？

完成度はどうやって上げたの？

名前とデザインについて知りたい！

ロゴについて知りたい！

どこでALKNYANを作ったの？

ALKNYANに兄弟はいるの？

ALKNYANを実際に見たい！

→ [第二部](#)へ続く…

チーム Sニ一

お題「ネコちゃん落下25m走」ルール概要



「魔改造されたネコちゃんが
5m走り、6m落下し、
更に20m走る」競技。

← 指定された市販の玩具
「ネコちゃん」を魔改造する。

2回の試技のうち
最速タイムを競う。

ルール（摘要）

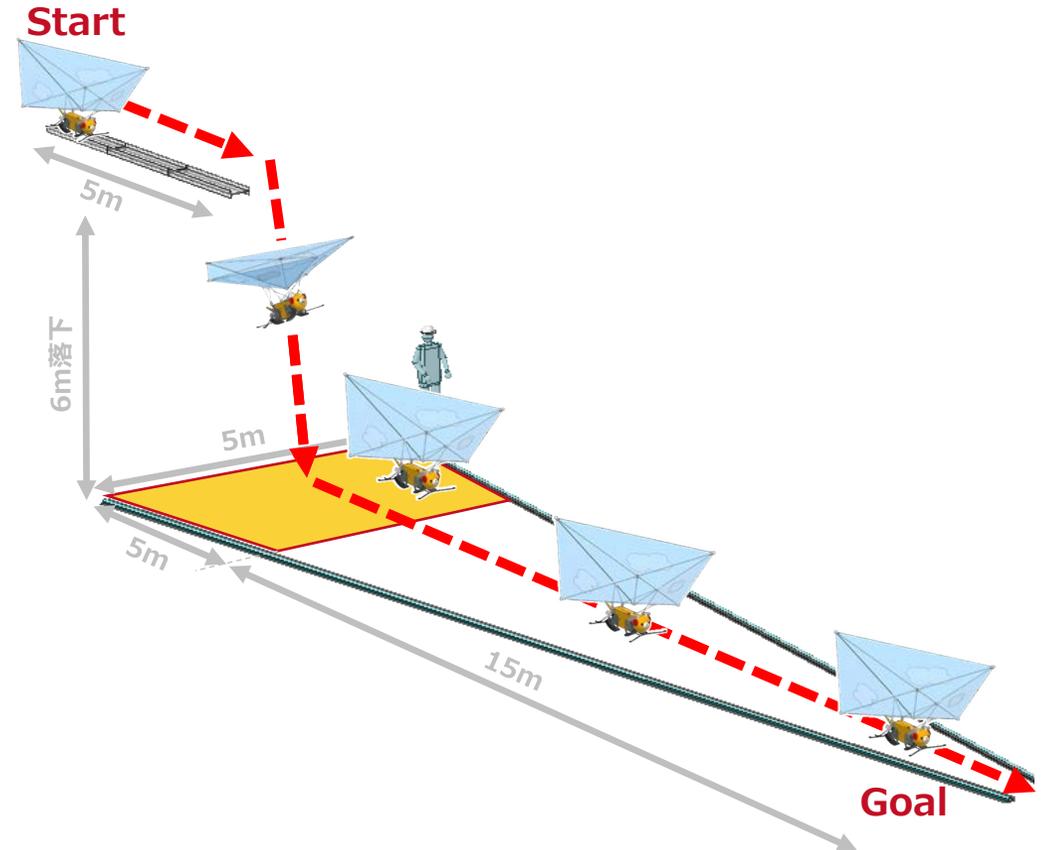
- ・ネコちゃんの魔改造であること
- ・5m走り、6m落下し、20m走ること
- ・着地範囲を超えて着地してはならない
- ・ネコちゃんは四足歩行で歩くこと
- ・「抱きしめたくなるような愛らしさ」を残すこと
- ・スタンバイは5分以内で終えること
- ・スタートの合図で走ること、フライングは失格
- ・試技は二回。二回の試技は同じ改造物でなくて構わない
- ・調整は、第一試技と第二試技の間10分で行うこと
- ・魔改造したネコちゃんに名前をつけること

（中略）

・失敗しても構わない

※本摘要は本解説資料のためのSニートーム独自の解釈による要約となっています。
また詳細なルールは開示されておりません。説明の簡素化のため番組と異なる
ニュアンス・解釈の表現になっている場合がありますのであらかじめご了承ください。

参考：「魔改造の夜」公式サイト
<https://www.nhk.jp/p/ts/6LQ2ZM4Z3Q/>

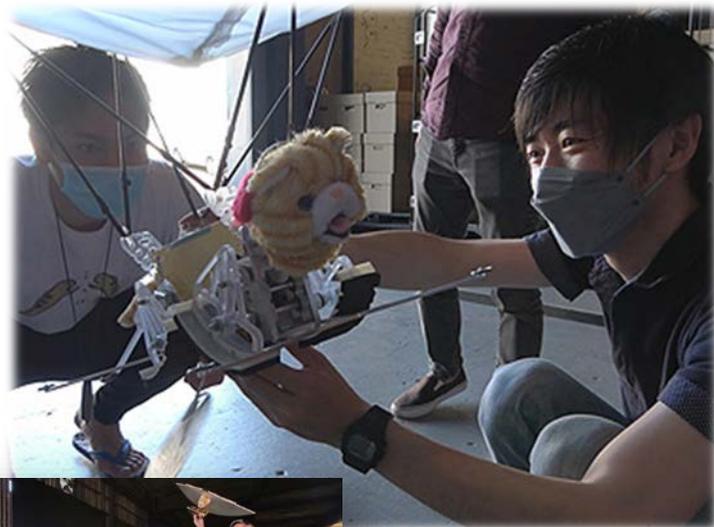


チーム Sニートーム

アルクニャン ALKNYANとは？



2022年夏にNHK-BSプレミアムにて初回放映されたドキュメンタリー番組
魔改造の夜 第5弾「ネコちゃん落下25m走」に出場した機体(番組呼称：モンスター)です。



Background Story ~放課後モノづくりに全力をかける仲間が集結~

2022年某日。Sニーグループの社員は1通のメールを受信しました。それは、番組への参加を決意した総合リーダー田中と広報から出た「魔改造の夜」のメンバー募集メールでした。

呼びかけに対し、Sニーグループの様々な部署・会社から、85名超の参加希望者が集いました。Sニーには放課後に好きなものを作って楽しむ文化やコミュニティがあり、チャレンジ精神をくすぐるお題とコミュニティが響きあった瞬間でした。

「魔改造の夜」では、2つの「お題」が提示されます。それぞれのお題に専任し現場で開発する「ネコちゃん」「ケトル」の2チームと、これを横断してサポートするサポートチームが結成。リアルとリモートのハイブリッドな“魔改造”体制ができました。

かくして、「ネコちゃん落下25m走」に参加するために「ネコちゃん」を魔改造するメインメンバーとサポートメンバーが集まり、Sニーのモンスター「ALKNYAN」の設計&製作が行われました。



現場のメインメンバーと
リモートのサポートメンバーで
ハイブリッド開発



会議・ドキュメントもすべてリモート&
チャットで共有し非同期&オープンに
情報・技術・課題・アイデアを集約

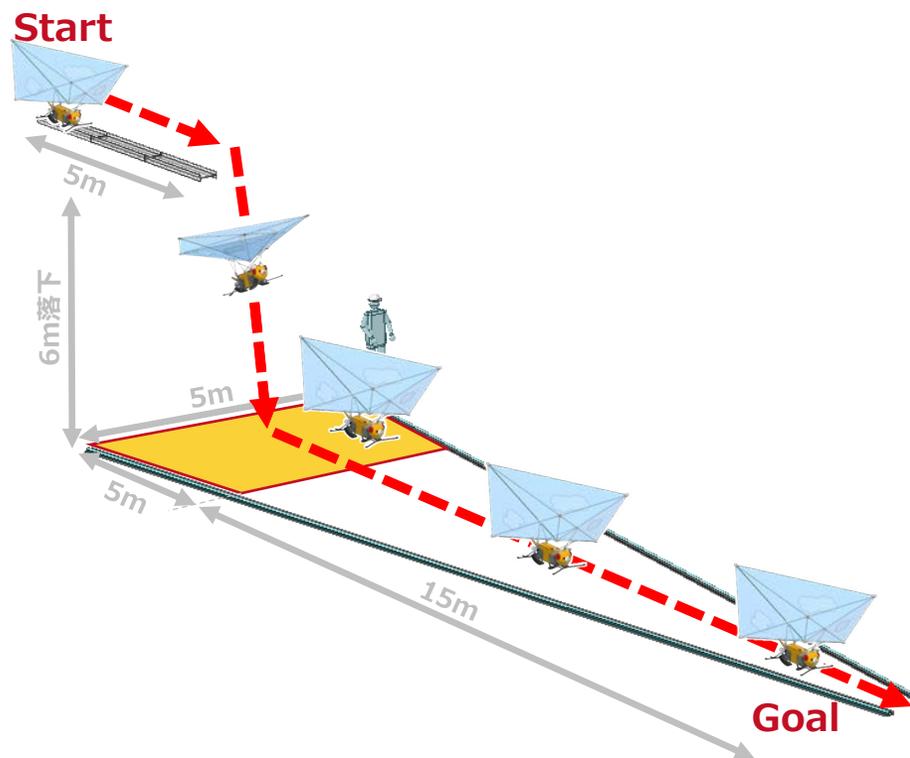
参考：「魔改造の夜」公式サイト <https://www.nhk.jp/p/ts/6LQ2ZM4Z3Q/>

チーム Sニー

ALKNYANは、何をしたの？



「ネコちゃん25m走」において、計25mの走行と6mの落下をクリアして完走しました。（放映時点で世界最速記録を樹立）



Inside Story

お題を初めて聞いた時、「どうすればいいか全然わからない…ものすごいチャレンジだな…」と感じました。

自分たちには6mからの落下に耐える設計の経験もなく、実験場所を探すところからのスタートでした。対戦チームは自動車開発や重工業をけん引する日本を代表する2社で、武者震いがする思いでした。大変な挑戦ですが、成長につながるテーマでもあり、勝敗よりもみんなで楽しんで「やってよかった」「作ってよかった」と思えることをゴールにしました。

競技が終わった後、みんなが走り終えたALKNYANと一緒にたくさん写真を撮る姿を見て、大きな達成感を感じました。



総合リーダー 田中 章愛
ソニー・インタラクティブ
エンタテインメント

対戦2チームに対し我々は、挑戦者として全力で挑戦しよう、と再確認し、お題を重要な要素に分け、それぞれ検討を重ねました。

「四足歩行で走る」とはどういうことか
「6m落ちる」と何が起こるのか
「ゴールに向かう」には何をすればいいか

この3点です。

初めにメンバーそれぞれのアイデアでできるだけたくさん試作し、チーム内コンテスト（コンペ）を行いました。それぞれが完成品を作れるくらい深くお題や実現方法を理解し、その上で最後に統合と分業を行うことで、高い自律性と協調性を伴った開発を行うことができました。

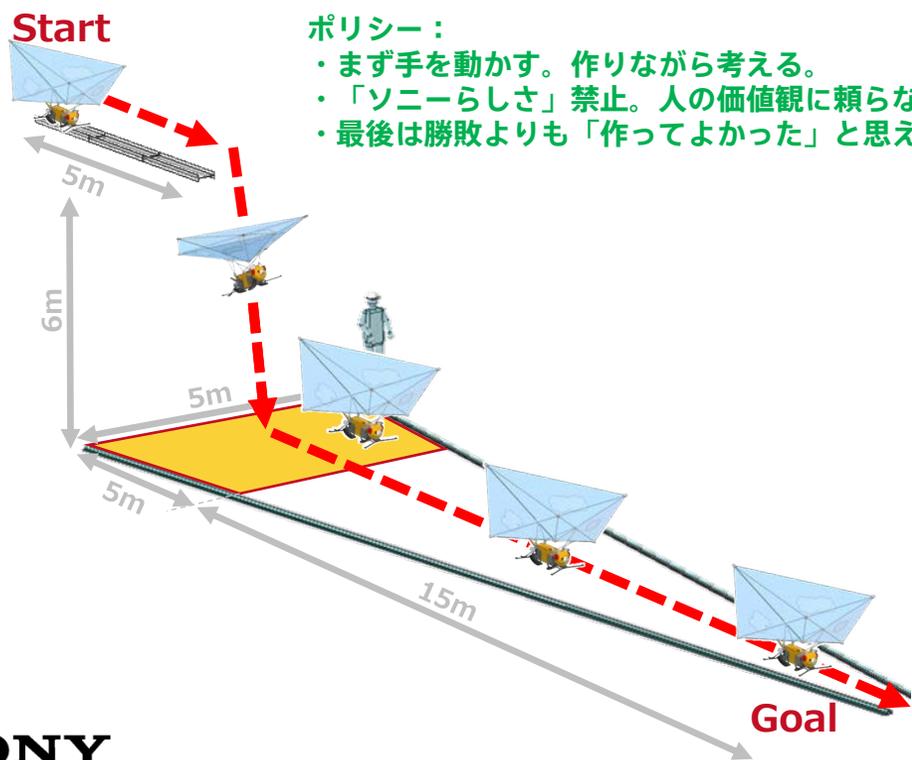


メンター 森永 英一郎
ソニーグループ



ALKNYANのアプローチは？

- 最速でゴールするために、高速で安定した直進走行ができる歩行機構・制御と、速度をできるだけ落とさず着地範囲内に安定した姿勢で落下できるカイトを設計・製作した。
- 着地位置が大きく左右にずれた場合に直進してコースのガイドにぶつかり時間をロスしてしまわないよう、赤外線誘導を取り入れた。
- 開発テーマとして「歩行（走行）」と「落下」の班に分かれ、それぞれ複数方式を複数人で試行錯誤して、うまくいくアイデアに集約した。



ポリシー：

- まず手を動かす。作りながら考える。
- 「ソニーらしさ」禁止。人の価値観に頼らない。
- 最後は勝敗よりも「作ってよかった」と思えるかどうかで判断。



合言葉は「前進あるのみ」

終盤は1日に何度も実験と作り直しの繰り返しの日々



メンター 森永 英一郎
ソニーグループ

チーム Sニ



ALKNYAN
アルクニャン

Inside Story

- 実情は・・・
本番約1週間前までどの案もお題をクリアできておらず方式の統合もできていませんでしたが、そこまで複数案を少人数グループでそれぞれ全力で手を動かして開発することにより各自のお題や必要な技術に対する深い理解を持った状態となっていました。
結果的に、1週間前にうまくいく方式が見出されてからの統合段階では、チーム全員が自律的に試行錯誤しながら先回りした開発を行い、全体視点を持って統合することで急速に全体がまとまり、安定してお題をクリアできる状態になりました。

走る仕組みどうなっているの？

ALKNYANは、1つのモーターからのリンク機構で4つの脚が同期して動きます。厳選した部品による軽量化、落下衝撃に耐える弾性構造が特徴です。



メカ担当 内山 了介
ソニー

Inside Story

まず、メンバーのほとんどは、「歩く機構の設計」の経験がありませんでした。最初の数日で、メカ担当者は一人一台、歩行するメカを作る事を課題としました。技術の蓄積をしつつコンペを行い、「伸びしろの大きそうな機構」をチームとして練り上げる方針としました。機構だけでなく素材や構造を工夫しながら最適な設計を探りました。

「6mの落下」に対して自分たちは「歩行」以上にノウハウが無く、難航が予想されました。このため「足から落ちて壊れず動く」ことは、歩行メカチームが解決する必達目標とする、として進めました。実際に作った試作品をたくさん落としたりCADでのシミュレーションを駆使して高速に試行錯誤を重ねながら議論することが重要でした。



メカ担当 西岡 勇人
ソニーコンピュータ
サイエンス研究所

安定した4足歩行を実現するためには、全ての脚の「位相（角度や高さなどの各脚相互の関係）」が揃っている必要があるため、1つのモーターとリンク機構で全ての脚を動かす構造としました。これにより、歩行に関してはセンサーやコンピューター制御等不要で安定した高速走行が可能になりました。

ただしこれでは「前進すること」に特化してしてしまうため方向転換ができません。このため、別途方向転換する機構が必要になり、操舵チームと連携して旋回機能を模索しました。

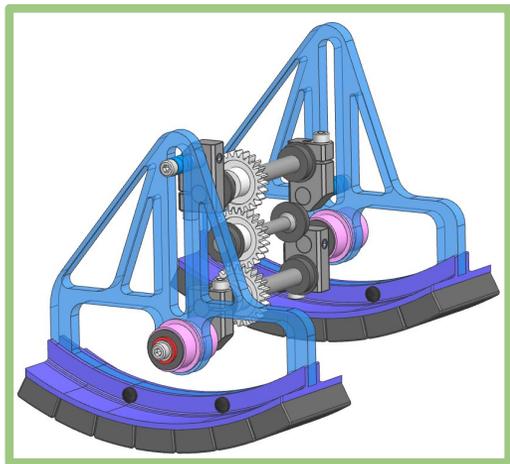


メカ担当 青木 翔平
ソニー

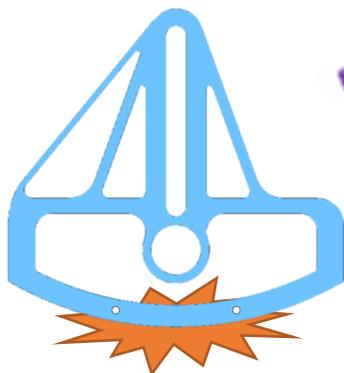


チーム Sニャー

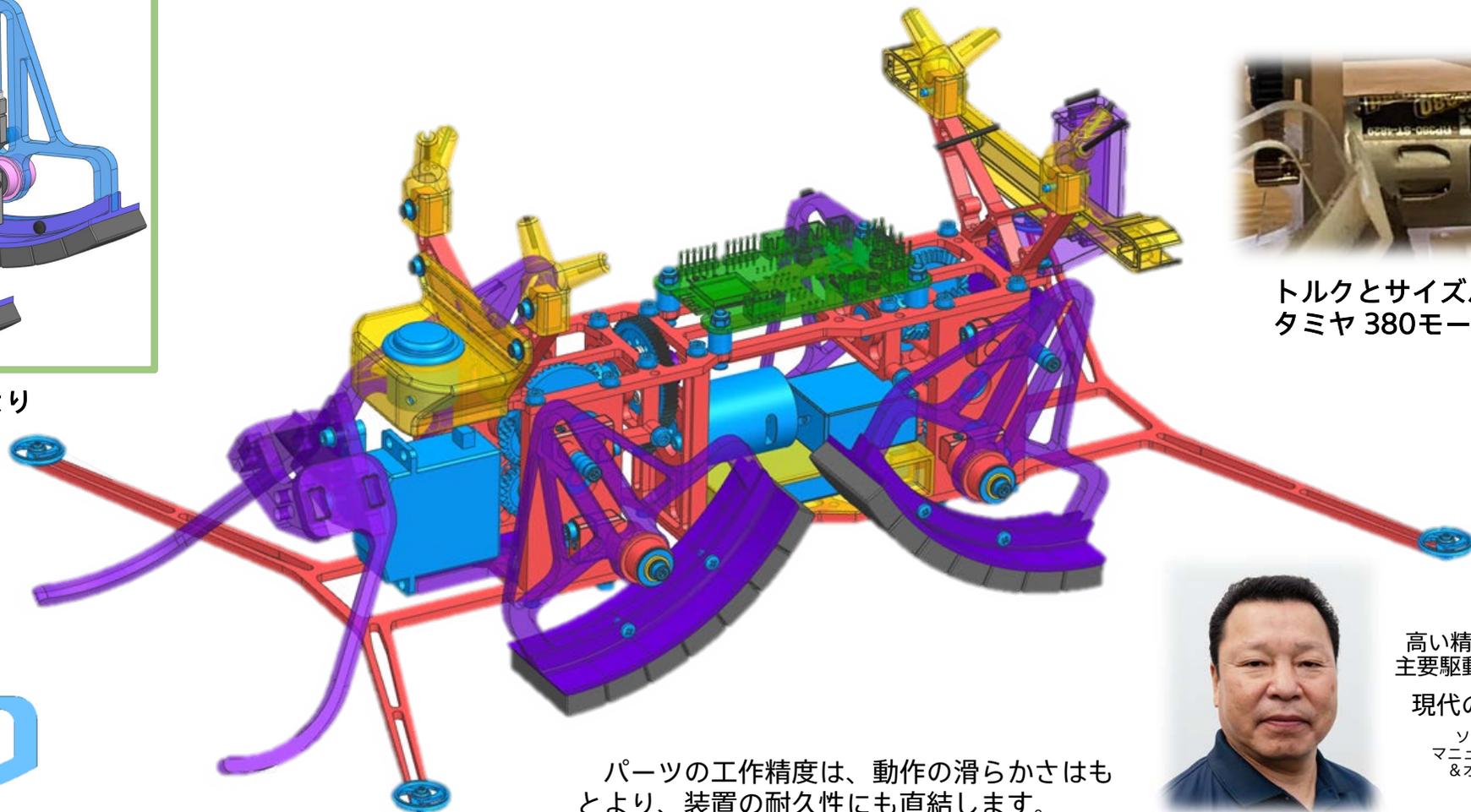
脚の構造はこうなっています



足先円弧形状設計により
本体の上下動を抑制



独自の中空形状により
着地の衝撃を吸収



トルクとサイズバランスにより
タミヤ 380モーターを採用

パーツの工作精度は、動作の滑らかさはもとより、装置の耐久性にも直結します。

ALKNYANの駆動パーツは、要所で μm 単位で精密に作られています。



高い精度が求められる
主要駆動部品を加工した

現代の名工 尾崎 勝

ソニーグローバル
マニュファクチャリング
& オペレーションズ

落ちる対策はどうなっているの？

ALKNYANは傘状の「カイト」により減速と落下方向のブレ抑制を行っています。最速を目指すため、ゴールを向いたまま四足が均等に着地することが目標でした。



Inside Story



サブリーダー 土井 貴嗣
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ

「6 m落ちるとは何か」。大きなサイズのモノづくりが未経験の自分たちには、まずそこからのスタートでした。ネコちゃん試作品を単純に落としたところ、くるくる回転しながら落下して毎回違う着地となり、さらにバラバラに壊れました。

ALKNYANを壊さないためには、減速も姿勢制御も必要になりますが、カイトチームは機構チームの脚の強さを信じて、毎回同じ姿勢での着地を確実にを行う姿勢安定化機構＝カイトの開発に専念しました。

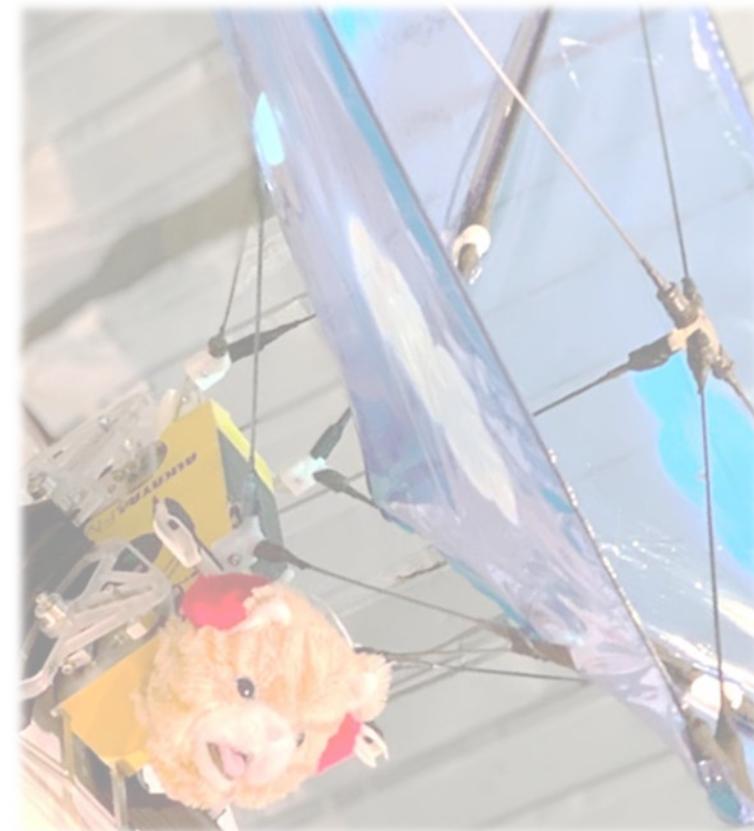
落下傘や起き上がりこぼしやグライダー等、様々な方法を検討しましたが、試行錯誤の中で最も安定した確実な挙動として、「逆さにした傘形状」が最有力となりました。傘形状の中でもこういった形状が良いか、パラメーターを決めて要素ごとに試作と落下試験を行い、最適な形状や取付方法・素材を見出しました。最後は青空をモチーフに空を舞う姿に仕上がりました。



カイト担当 眞鍋 美祈
ソニーグループ

検討開始時は、スチロールパネル、ゴミ袋、竹ひご等で製作していました。何度も落下位置・姿勢・速度などの様子をスロー撮影して観察しながら議論と試作を重ね、素材と形状など方式の発散と収束を行いながら高速に試行錯誤を重ねました。形状が決まった後は、強度や重量を考慮し模型用の安価なカーボンロッド素材に変更し、安定した落下を実現できました。

ちなみに最終的には使いませんでした。着地後にカイトを切り離す構造も試作したりと、様々な方式を検討しました。



チーム Sニ一

カイトの構造はこうなっています

フレームはΦ2の軽くてしなりやすいカーボンロッド

カーボンロッドのジョイント部品は3Dプリンタで作製し正確な角度で固定

強度を高めるために後方下部だけ太いΦ4のロッド

走行機体との接続部は3Dプリンタで作製
材料をポリカーボネートにすることで強度up!

最終採用案のパラメータ：

[mm]	Type-D ₂
前後長 L	1000
オフセット S	166.67
全幅 Wa	1000
高さ H	166.67
機体とカイト最下端距離 A	60程度
前後位置 B ※カイト最下端と前方機体接続の距離	35程度
カイト上面と床面がなす角C	10°



「逆さ傘」の落下安定性を研究しALKNYANに最適化

どうやって左右に曲がって走るの？

「しっぽ」の先端を右の地面または左の地面に押し付ける事で、曲がりながら走ることが出来ます。

Inside Story



しっぽ操舵 館 龍
ソニーグループ

進行方向を変えるというと、自動車であれば2つの前輪を左右に傾ける「ステアリング」、ブルドーザーなど重機であれば左右の無限軌道を独立で回転させる「信地旋回」など様々な方式があります。

ALKNYANはシンプルな1つのモーターとリンクによる前後方向の高速走行に特化した機構なので、従来の操舵方法と相性が合いません。そこでシンプルさや性能を損なわない新方式を生み出す必要がありました。そして、ネコちゃんらしい構想として「しっぽ押しつけによる操舵機構」が生まれました。

しっぽによる操舵機構は、試作初号機での動作確認は順調でした。しかしその後は、耐摩擦耐久性、落下着地時耐性、そして「落下直前にしっぽがレール端に引っ掛かる」など、脚部と同様に様々な問題が発生。様々な形状を試行錯誤しながら解決しました。また高速化に耐える機敏な動きも求められる中で、いつしかしっぽは三又（右/左/愛らしさ担当）となりました。

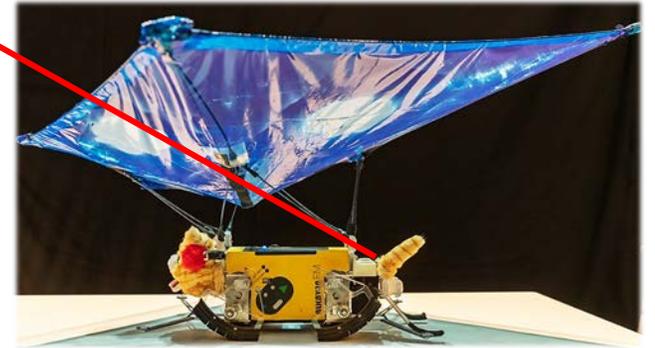
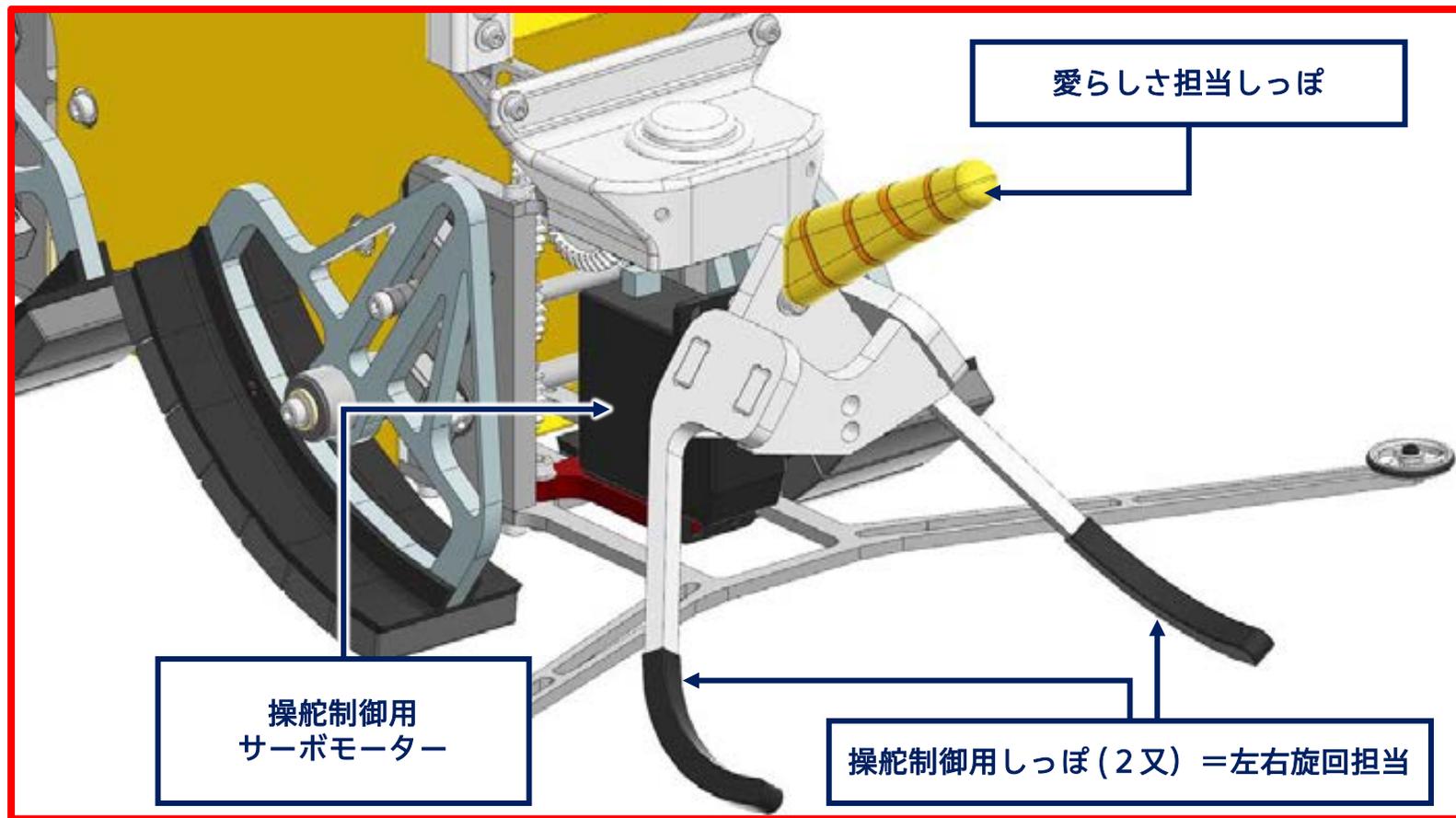
形状が決まってからも、地面に押し付ける強さによって、旋回方向が逆になる、という症状が発見されました。一定以上の強さで押すと、対角の本来空転すべき前足が接地し、後ろ向きに地面を掻く現象が起きていると推測しています。調整には難儀しましたが、やってみないとわからない面白い発見でした。



しっぽ設計 小嶋 洋至
ソニー



尻尾（しっぽ）の構造はこのようなになっています



↑安定した方向転換を実現するには、押し付けすぎず
絶妙な圧力で接地させる必要がありました。

ゴールの方向はなぜ分かるの？

「モーションセンサー（IMU）」により最初5mの進行方向を記録します。落下・着地直後の向きのずれを検知しゴールの方向に走ることが出来ます。



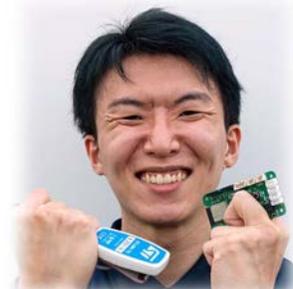
Inside Story



操舵担当 永谷 智貴
ソニーグループ

センサーが何も無ければ、どこがゴールかわからずただ走るのと同じです。モーションセンサーを使った「慣性航行」があれば「自分が最初の姿勢からどう変化したのか」がある程度分かるため、最初の5mの直線走行時にゴールの方向を掴んでおけば、その方向とのずれを検出して操舵制御することが出来るようになります。あくまで加速度や角速度の積算なので誤差の蓄積がありますが、様々なアルゴリズムの検討や調整を重ね、今回のお題には十分対応できる性能が出せました。

ALKNYANが落下する際は、特徴的な傾き方（前後の姿勢変化）が発生するため、モーションセンサーによって「レールを外れて落下しはじめた」ことも検知できます。また着地の際は上方向の衝撃があるため着地も検知可能です。落下・着地を検知する事で、最初の5m走行、次の6m落下、最後の20m走の各ステージを判断し、走行のモードを変えています。



落下着地担当 亀山 聖太
ソニー

モーションセンサーを搭載する事で、単に制御のためでなく実際にまっすぐ走れたかどうか、という事も姿勢や加速度などのデータを蓄積して検証することができます。これが実際の開発において高速な試行錯誤のためにはとても重要でした。

ALKNYANには無線通信機能も搭載したため、実験のたびにすぐにどのようなセンサーデータだったのか、その際どのような挙動になったのか、全て無線経由でその場でログを取得し、実際に目で見たりカメラで撮影した結果と照らし合わせてアルゴリズムや方式の改善を重ね、最適な制御を実現できました。



制御担当 角谷 和宜
ソニーネットワーク
コミュニケーションズ

チーム Sニャー

ゴールの方向はなぜ分かるの？（続き）

ALKNYANは「リモコン灯台（以降灯台）」と呼ぶ赤外線誘導装置を採用しました。着地や走行中に思わぬずれや誤差があっても、最小ロスでゴールを目指します。



Inside Story



灯台総合担当 片山 裕士
ソニー

モーションセンサーは着地「姿勢」の検出はできますが、「位置」のずれまでは検出できません。そのため中央から左右にずれた場所に着地した場合、コース上のガイドレールに衝突する＝時間をロスしたり最悪の場合はうまく進めなくなる事になります。また実験の結果、落下の衝撃により、モーションセンサーの値にある程度の誤差が発生する事もわかりました。

タイムアタック競技として万全を期すため、このような課題の対策として赤外線誘導装置「灯台」を開発しました。

単純な赤外線発光だと、太陽光や撮影ストロボ等の強い光による誤動作が懸念されます。このため、簡易な誤動作防止機能を持ちそのまま部品として使えそうな「テレビリモコン」を改造して用いました。会場が広いことや外乱に強くするため、リモコンの赤外線出力を多数LEDを追加して大幅に増大する事で、誤動作に強い誘導装置となりました。

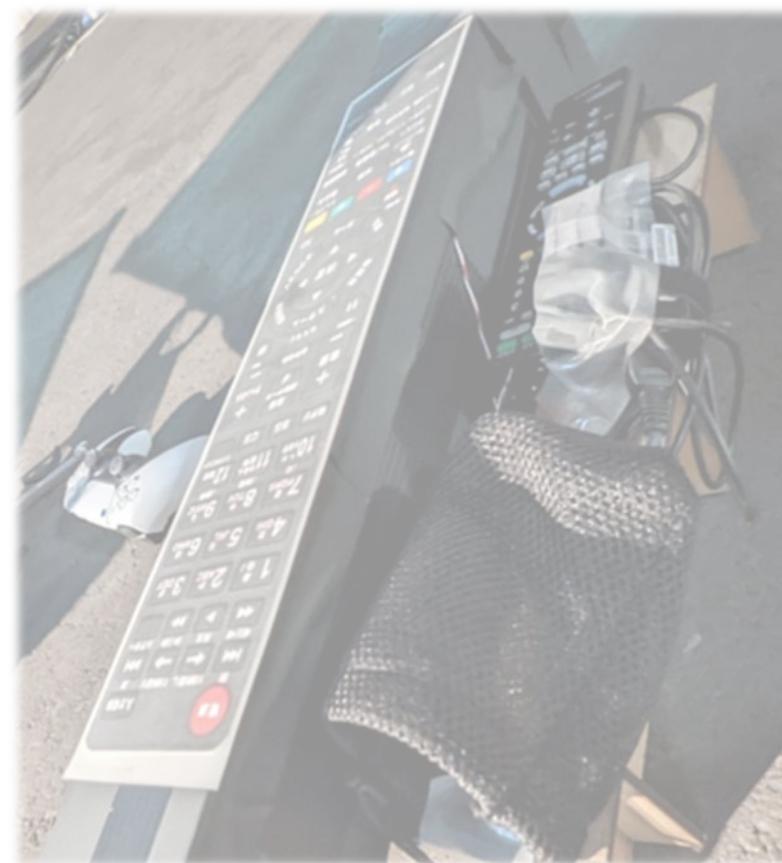


灯台センサ担当 中川 祥
ソニーセミコンダクタソリューションズ

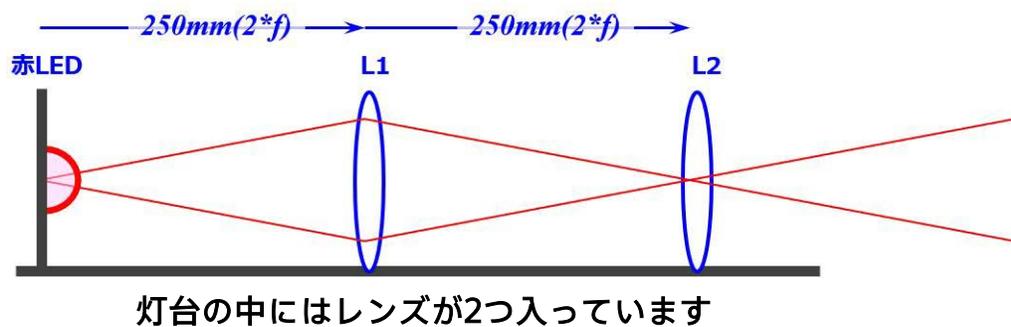
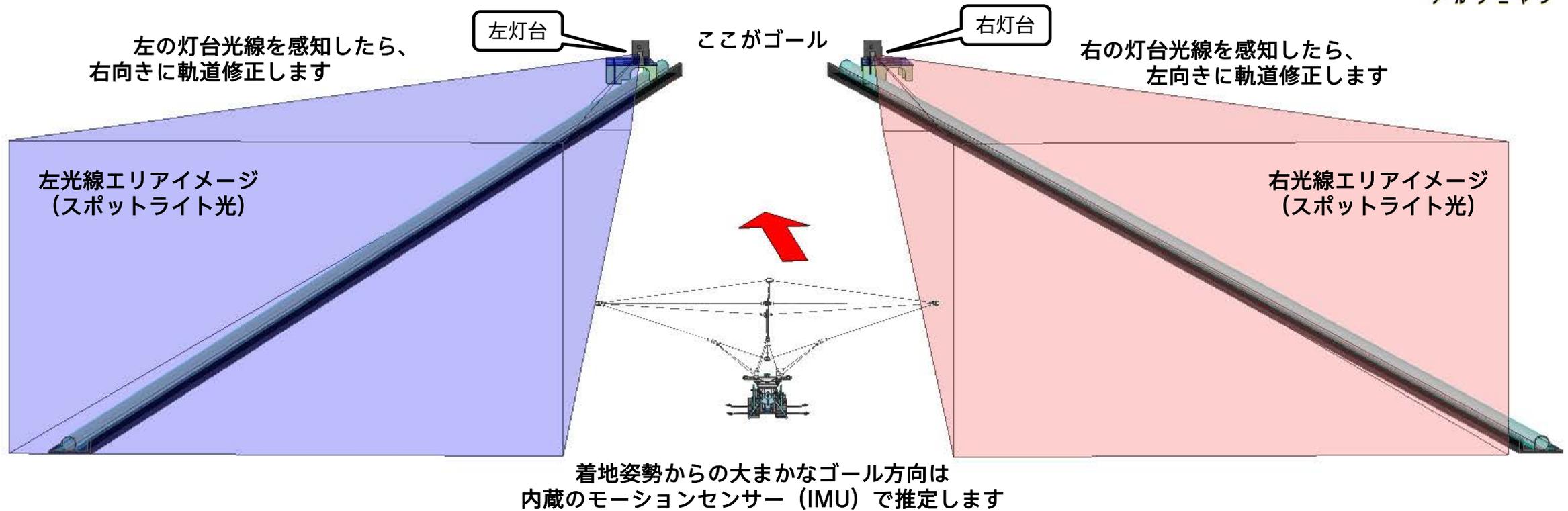
20mのコース上に、まるで見えない線が引かれたようにくっきりとした赤外線の境界を作るため、強力なスポットライトを設計することになりました。このため複数の凸レンズを組み合わせた鏡筒システムを構築しました。また、装置を2つ用意し、コースの右側/左側で異なる信号を用いる事で、単一波長の赤外線方式でありながら、複数の領域認識が可能となっています。



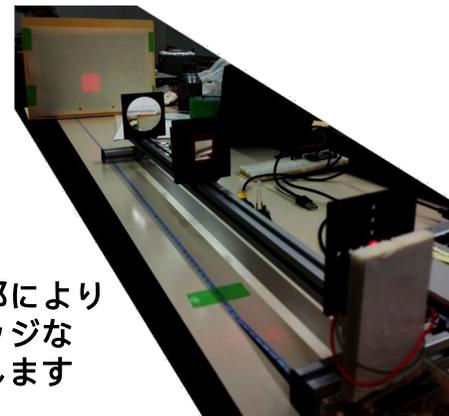
灯台光学担当 木村 基
ソニー



ゴールからの左右ずれ検知はこうなっています



矩形の開口部により
シャープエッジな
光線を生成します



チーム Sニ一

完成度はどうやって上げたの？

複数のハイスピードカメラを使い、落下と走行での破損をひたすら撮影しました。強烈な振動や衝撃に耐えられるよう、基板・コネクタ・電池も全て検証しました。



検証リーダー 北川 剛史
ソニー

Inside Story

歩いても壊れる。落としても壊れる。それほど強力な走行の振動と、強烈な落下衝撃でした。何の部品がいつどう壊れたか。現象を正確に把握すればした分だけ、手戻りの少ない再設計へのフィードバックとなります。ハイスピードカメラを複数使い、どこで破損しても現象を認識できるよう、手配しました。

半日で自作できる「切削基板」にて基礎検討や実装を始めることでメカ設計や実験を止めないようにしつつ、並行して予算内で製造できる高耐久で安価なレジスト基板を手配しました。コネクタ類は全て振動で抜けにくいロック式を選び、モーターの飛び込みノイズ等を避けつつ、基板や電池に衝撃を与えない配置をする。高速な開発の中で柔軟な変更にも耐えつつ高信頼性が求められる難しい作業でした。

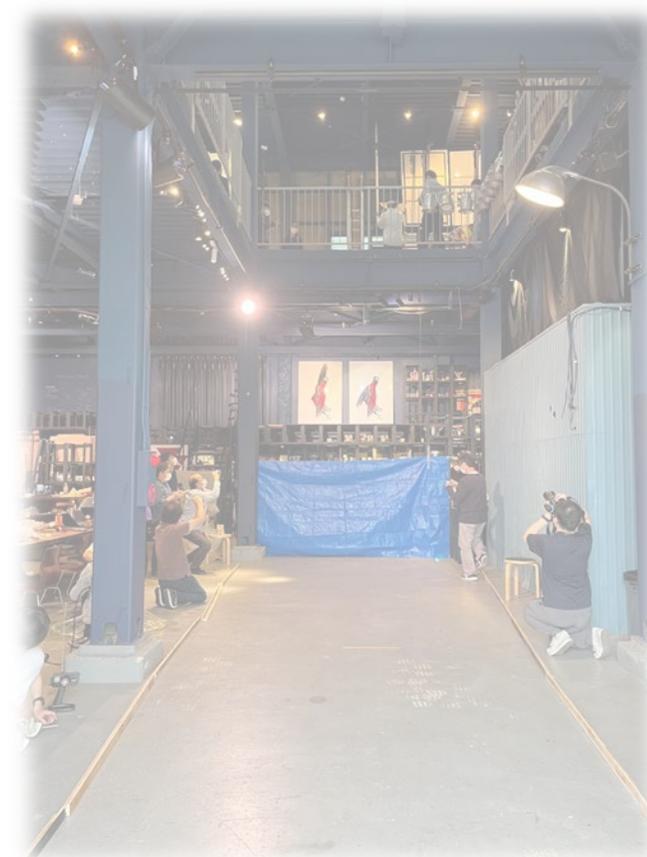


基板電気総合 塩野 浩一
ソニー・インタラクティブ
エンタテインメント



デバッグ総合 栗原 邦彰
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ

車輪と違い、歩行機構は駆動時の負荷が均一ではありません。つまり電源の消費が一定ではなく、絶えず変動します。このため瞬間的に大電流が発生し、エラーや動作停止をしばしば引き起こしました。高負荷に耐えるバッテリーやケーブル類を選定するだけでなく、電源コネクタの許容電流を含めて部品を再選定・総入れ替えする事も多々ありました。また、はんだ付けにも高い信頼性が求められるため、時間との戦いの中で長年の経験を総動員して慎重な作業を行いました。



チーム Sニ

名前とデザインについて知りたい！

ALKNYANは、Sニーの代表的な“あの”製品をリスペクトして生まれました。名前やデザインは自分たちが自慢したくなるような楽しいものに仕上がりました。



総合リーダー 田中 章愛
ソニー・インタラクティブ
エンタテインメント

Inside Story

過去の「魔改造の夜」でも数々の特徴的なモンスターが出演してきたことを考えても、名前もデザインもしっかり考えて、できたモンスターを自慢したり「作ってよかった」と思える遊び心のあるものを作りたいと思いました。

20を超える名前候補がありましたが、ネコちゃんの動きや鳴き声の特徴をとらえつつ、歴史ある「あの製品」をイメージできるという点で、「ALKNYAN」を採択しました。歴史を感じつつチャレンジ精神と遊び心を忘れない、自分たちとしても身が引き締まる名前になりました。

夜会のルールには「抱きしめたくなる愛らしさがあること」とありました。“あの”製品を思い浮かべられる外装と、愛らしさ。はっきりとした目元の為に毛並みをトリミングをし、赤い骨伝導ヘッドホンも装着。ただし、性能は決して犠牲にせず、高速な開発に柔軟に対応しながらギリギリまで遊び心と愛らしさを注ぎ込みたい。自分でも歩行機構（テオ・ヤンセン）を完成させた経験があるからこそできるデザインを目指しました。

側面・上面のカバーはプリンターで印刷した紙をラミネートし、機構を避けてカットすることで、次々に改善される設計にも追従しながら柔軟なデザインを実現しました。

本番では黄色のALKNYAN (Mark-3) が走りましたが、青と赤も含めた3色のバリエーションがありました。



外装総合担当 岩船 美友
ソニーグループ



チーム Sニー

デザインのこだわり

① ボディーカバー

カバーデザイン

懐かしのオーディオプレーヤー風の柄。
本番には登場しなかったが、予備機のカバーを含め3種類のカラーバリエーションを準備。

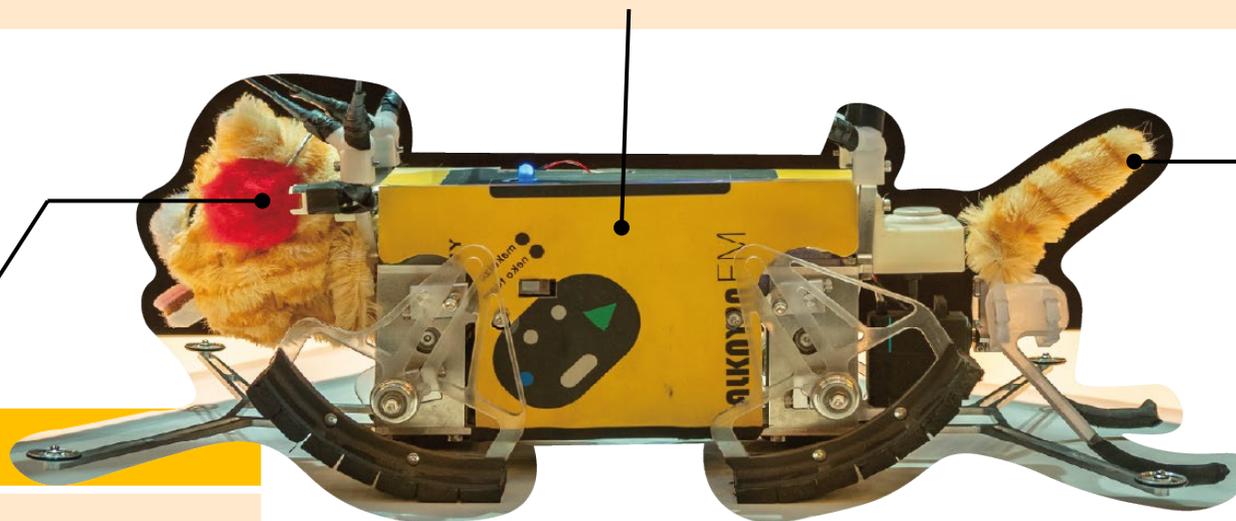
素材

足とボディーパーツの隙間が最短3mmと狭いため、薄くて剛性が高く、加工が簡易な、ラミネート加工した厚手の光沢紙をカバーの素材として採用。
また、カバー側面の湾曲変形を避けるために、カバーの内側に3mmのカーボンロッドを貼り付けた。



② ヘッドホン

オーディオプレーヤーにはヘッドホンがセット！という事で、アルクニャンにもモフモフな赤の骨伝導ヘッドホンを装着。



③ お顔としっぽ

生贄のネコちゃんから拝借したお顔としっぽ。レギュレーションである「抱きしめたくなる可愛さ」を実現するべく、目の周りの毛をトリミングし、キュルキュルなおめめが際立つように工夫。
走行時、お顔としっぽをプルプル震わせながら走る姿はとっても愛おしいです。



ロゴについて知りたい！



ロゴデザイン 中川 裕之
ソニー・インタラクティブ
エンタテインメント

ロゴについては、ALKNYAN本体と一緒に、最初にお披露目されます。ALKNYANの第一印象に直結するので、今回のレギュレーションにもある「愛らしさ」は、ロゴ単体でも伝わるようにしたいと思って制作しました。

(ちなみに本職はデザイナーではなくソフトウェア開発に関わっており、サポートメンバーとして有志でロゴを作りました)

Sニーを代表する“あの”製品の初代ロゴのオマージュから始まったデザインですが、最終的にはそれを知らなくても、ALKNYAN自身を象ったデザインになっていることが伝わる形にまとめたのが良かったと思っています。

また世の中の中のロゴには、パッと見では判らないメッセージが隠されているものがあったりするのですが、今回のロゴにも、知っている人だけが分かるネタを仕込ませて頂きました。折角ですのでネタばらししますと、可愛くニヤっとした「W」のような口元です。(ALKNYANと繋げて読むと…?)

他にも沢山の思いを込めています。最初のAの右側、力強く下に引いたラインは、走行に重要な「クランク」のパーツを意識しました。このAはカイトも意識して丸みもつけています。後ろのAは傘をイメージし、2つのAの強調は2基の灯台の表現でもあります。あえてAの先を曲げているのは、ALKNYAN独特の大きな足、しっかり地に足をつけて、本番で最高の走りを見せてほしいという願いを込めました。そのこだわりが伝わったのか、夜会本番でもこれを見た顧問の方に「これは！」と唸っていただけました。



アルクニヤン

チーム Sニー

どこでALKNYANを作ったの？

プロジェクトルームとなった会議室をはじめ、共創スペース「Creative Lounge」や横浜市金沢文庫近くに借りた倉庫等で設計や製作・実験を行いました。



プロジェクト進行 瀬川 真智子
ソニーセミコンダクタソリューションズ

開発するメンバーが作業に専念できるよう、場所の選定と確保、必要な機材の準備などエンジニアリング以外の様々な準備と運営を行いました。

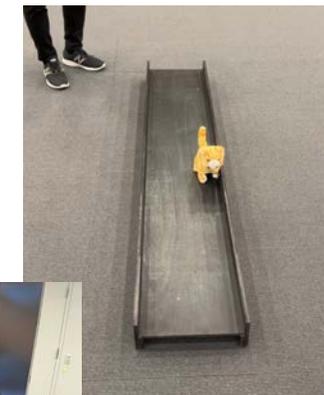
場所の確保においては品川、大崎、厚木の各ビルや体育館などの管轄担当の方々のサポート的な体制あってこそ、開発や実験に短期集中できる環境が構築できました。6m高所作業についても、安全性を担保したうえで開発・実験できるよう、様々な案を議論して実地確認などを行い、数少ない実験のチャンスを無駄にせずスムーズに進めることができました。

スタートから落下までの5mのコースを作り、6mの落下が出来る実験環境の構築をサポートしました。ALKNYAN本体は、元々とてもコスト意識が強かったので、コースも廃材や有休材を使い、支柱など強度と安定性が必要な部分も新規購入品無しで作りました。

ここには普段木材やパイプで工場の設備を構築しているスキルが大変役に立ちました。湖西という離れた場所からもサポートメンバーという形で面白いProjectに参加でき、良い経験になりました。



コース構築 野沢 匠吉
ソニーグローバルマニュファク
チャリング&オペレーションズ



ALKNYANに兄弟はいるの？

実は、バックアップ兼可能性検討機として、Mark-0という機体も開発しました。



Mark-0
総重量320g



Inside Story

チーム全体で苦戦しながら開発に注力していたALKNYAN Mark-2/Mark-3の設計ですが、本番一週間前まで一度も完走できておらず、完成する保証があった訳ではありませんでした。その間唯一完走できたのが、田上氏が開発したMark-0でした。

モーターが小さいため走行スピードには限界がありますが、空中の軌跡含めてとても完成度が高いため、バックアップ機、またタイム次第では本番機として最後まで田上氏に一人で並行して開発を継続してもらって完成までこぎつけ、夜会にもエントリーしていました。安定して完走できるMark-0があったからこそ、みな安心してリスクを取りながら最速タイムを目指すMark-2/3の開発に専念できました。



総合リーダー 田中 章愛
ソニー・インタラクティブ
エンタテインメント



Mark-0開発 田上 繁男
ソニーセミコンダクタ
ソリューションズ

ネコに羽がついているのではなく「カイトにネコがくっついてる」「超軽量&シンプル」をコンセプトに作りしました。小型のモータを使っているため走行速度はMark-3の半分以下しか出ませんが、弧を描いて滑空する独自の飛行でタイムを短縮しています。ぜひこの美しい飛び方を見ていただきたいです。ちなみに材料費は1体2,800円ほどで、工夫すれば簡素な機体でもゴールできる事を実証できました。

参考記事：https://www.sony.com/ja/SonyInfo/technology/activities/makaizo_04/



ALKNYANを実際に見たい！



品川駅港南口徒歩5分にあるソニーグループ本社1Fに展示されています。 ※2023年1月現在

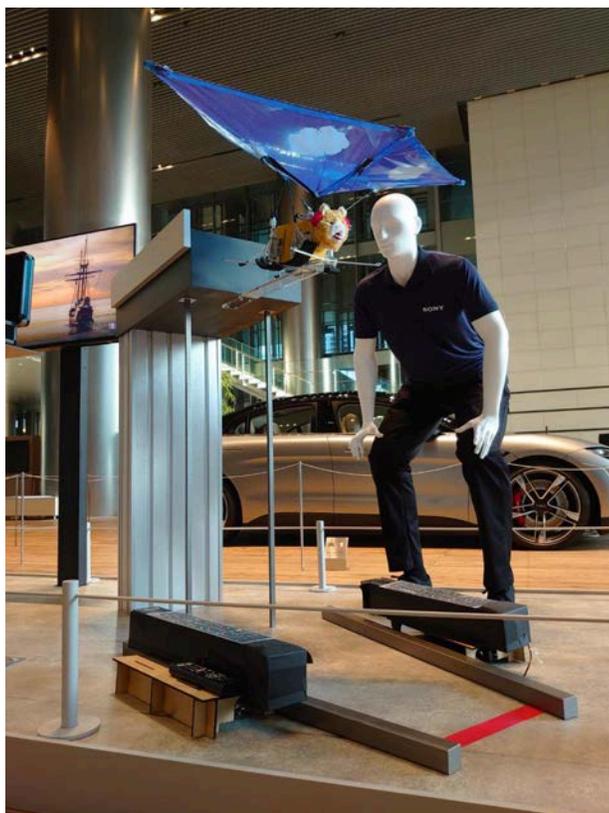
ソニー本社「魔改造の夜」展示について

期間：2022年10月11日（火）～ 2023年2月中旬（終了日未定） ※2023年1月現在

時間：平日8:30～18:30

場所：ソニーグループ本社（東京都港区、品川駅港南口から徒歩5分）1Fの展示スペース

(<https://www.sony.com/ja/SonyInfo/CorporateInfo/data/>)



もう一つのお題
「電気ケトル綱引き」の
「お茶の魔ケトル MKZ-1300N」
も同時展示！

そこが



ゴールだ

ゴールはどこにあるのか。どうやって目指せばいいのか。
おそらく世界初の操舵方式「しっぽ操舵」
自社リモコンまで魔改造「リモコン灯台」
完成すると思ってなかった。これがSニ-の実現力だ。

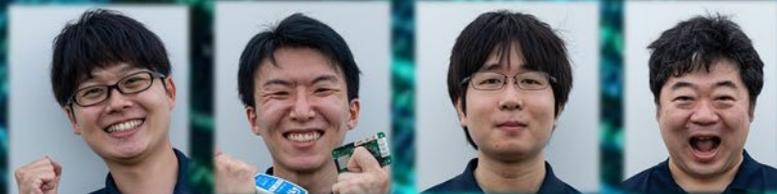


しっぽ設計 小嶋 洋至 ソニ-
しっぽ操舵 館 龍 ソニ-グループ
灯台総合 片山 裕士 ソニ-
灯台センサ 中川 祥 ソニ-セミコンダクタソリューションズ

全てを制御



位置も 速度も 今の自分の状態も
センシングで全てを知り、データ管理で全てを蓄え
アルゴリズムで全ての力を出す
デジタル制御こそ真骨頂、これがSニ-の制御力だ。



制御全担当 角谷 和宜 ソニ-ネットワークコミュニケーションズ
落下着地担当 亀山 聖太 ソニ-
操舵担当 永谷 智貴 ソニ-グループ
基板電気 堀野 浩一 ソニ-インタラクティブエンタテインメント

Special Advisor
鳳 康宏



もっと飛べる

ゴールを見失わないこと。勝つ為には最短最速。
仲間のメカなら壊れない。
ゴールにまっすぐ、何があっても、安定して前を向く。
空力学の初心者達、これがSニ-の初飛行だ。



サブリーダー 土井 真嗣 ソニ-セミコンダクタソリューションズ
カイト担当 真鍋 美祈 ソニ-グループ
カイト担当 多田 健介 ソニ-グループ
カイト担当 北川 剛史 ソニ-

衝撃の耐久性

Powered by
現代の名工
尾崎勝



MAX 14km/h

歩くとは何か。4足歩行とは何か。落ちても壊れない頑丈さ、競技に勝てるスピード。
速度を上げる為には部品点数の少ない機構が必要、ダブルスライダークランク。
4足にして2足のみの瞬間接地における安定性を確保した幅広脚。
部品点数が少ないからこそ編み出された、弓形サスペンション。
これが、Sニー最強4脚。これが「ALKNYAN」だ。

メカ担当 内山了介
ソニー

メカ担当 西岡 勇人
ソニーコンピュータサイエンス研究所

メカ&外装 岩船 美友
ソニーグループ

メカ担当 青木 翔平
ソニー

滑空ライバル



Mark-ZERO

Sニー最初の落下&走行達成機。
兄弟機であり、道標であり、ライバルでもある。
たった一人により設計・開発・製造され、常にALKNYANを煽ったマシン。
競い合える仲間がいる、これがSニーのバックアップ力だ。

Mk-0総合 田上 繁男
ソニーセミコンダクタソリューションズ

Sニーとして、負ける訳にはいかない。
だれ一人欠けることなく、皆で完成させたい。
作って良かった、やって良かった。あとで皆がそう思えるように。
今、全力で取り組もう。

常に先頭で

ALKNYAN

アルクニャン

のSニー

総合リーダー 田中 章受
ソニー・インタラクティブエンタテインメント

メンター 森永 英一郎
ソニーグループ

デバッグ総合 栗原 邦彰
ソニーセミコンダクタソリューションズ

プロジェクト進行 瀬川 真智子
ソニーセミコンダクタソリューションズ

SONY

NHK-BSプレミアム 魔改造の夜 ネコちゃん落下25M走 出場機体

ALKNYAN 読本 第二部

Engineering Report

チーム Sニ一

©2022

ここから先は…魔改造することに興味を持った方や、同じようなモノづくりを楽しむ方々の参考になればと、ALKNYANの全てについて各担当エンジニアやメンバーが、体裁にとらわれず、生々しく、書けるだけ書きました。ぜひご覧ください。

Contents

Engineering Report 01 : メカのすべて

Engineering Report 02 : カイトのすべて

Engineering Report 03 : しっぽのすべて

Engineering Report 04 : 電気制御のすべて

Engineering Report 05 : 基板のすべて

Engineering Report 06 : 誘導灯台のすべて

Engineering Report 07 : 実験と検証のすべて

Engineering Report 08 : 場所 & コースのすべて

Engineering Report 99 : Mark-0 の全て



※本文書の内容は当時・その場限りのものであり、妥当性・再現性・永続性等に関しては一切の責任を負いません。
参考・流用する場合は各自の責任の範囲でお願いします。
※文中の表現や用語のゆれ、特徴的な言い回しは各担当者の個性によるもので、あえてそのまま掲載しています。
※文書中の個人名は敬称を略さず使用することがあります。

用語集①：“魔改造”コミュニティ・Sニー・ALKNYAN関連

用語	意味
チーム「Sニー」	東京・品川駅近傍に本社があるテクノロジーやエンタテインメントを強みとする有志チーム。放課後に勝手に好きなものを楽しんで作る文化がある。ちなみに品川駅の所在地は港区である。
魔改造	既存製品(オリジナル)を技術と敬意と遊び心をえげつなく注ぎ込んで未知のモノに改造する行為。
夜会	魔改造倶楽部が主催する「魔改造の夜」の競技本番を行う各テーマ一度・一夜限りのイベント。いつどこで行われているのかは極秘となっており本当に夜なのかもわからない。
生贄	魔改造倶楽部より提供された玩具や家電。魔改造する者たちからは敬意を持って迎えらる。
モンスター	「夜会」で競技を行う魔改造された生贄(玩具/家電)。その姿や名前には作者らの情念が宿る。
ER	本書ではEngineering Reportの略。同じような挑戦をする同志に向けた書。Essential Reportという説も。
Creative Lounge	Sニーの製作活動の中心的拠点。3DプリンターやCNC切削機、レーザーカッターなどが配備され、普段から放課後活動が盛んに行われる。近年はここから生まれたSニーの製品も多い。
Mark-1/2/3	ALKNYAN(本番機)の各世代/兄弟。最後に作られ状態が良いMark-3が夜会に出場し、一つ前のMark-2は予備となった。なおMark-1は開発での多数の落下実験により本番出場不能となった。
Mark-0	世界で最初に完走したモンスター。Mark-1/2/3とは異なる設計だが大いなる影響を与えた。
“倉庫” “金沢文庫”	ALKNYAN走行実験を行った神奈川県横浜市某所・金沢文庫近隣の倉庫を指す。運営スタッフの方の温かさと手入れの行き届いた環境で、倉庫と思えない快適空間。近所の食品工場のカステラは絶品。
家にならあるけど	Sニーで部品や工具・加工設備が不足した際によく聞かれた言葉。
技術の無駄遣い	モノ作り界限でよく耳にする褒め言葉。

用語集②：専門用語・Sニー/ALKNYAN関連内部用語

用語	意味	用語	意味
CAD	Computer-Aided Designの略。機械設計を行うためのソフト／アプリを指す。	ポリカ	ポリカーボネート。CDや防護カバーなどに使われ、弾力・耐久性・加工性が高い樹脂。PCとも称される。
マイコン	Micro-controllerの略。超小型・低消費電力なコンピュータと周辺回路を内蔵している。近年は様々な機能が1チップにまとまったものが多い。	HW	Hardware=ハードウェアの略。電気・メカ（機械）・その他物理部品の総称。
GPIO	General Purpose I/O。マイコンの周辺回路の一つであり、外部との電気信号の入出力を行う機能やピンを指す。	SW	Software=ソフトウェアの略。
IMU	Inertial Measurement Unit=慣性計測装置。本書ではジャイロと加速度センサーを内蔵し信号処理で姿勢推定を行うセンサーモジュールを指す。	FW	Firmware=ファームウェアの略。マイコンに書き込むソフトウェアやバイナリデータを指す。
IR	Infra Red = 赤外線。家電のリモコン等に使われる光。	BT	Bluetoothの俗称（略称）。
PID	古典制御・フィードバック制御方式の一種。P=比例、I=積分、D=微分を指す。実装は簡単だが調整は大変。	JIG	治具・ジグ。開発やテストの際に使用する自作の補助器具（電気・メカ含む）。
RC	ラジオ・コントロール（無線操縦）の略。なお同義の“ラジコン”は商標である。	電装	電気部品や配線の総称。乗り物業界などで使われることが多い呼び名。電機業界ではあまり使われない。
ESC	Electric Speed Controller。主にRCで用いられるモーターの速度制御を行うユニット。いわゆるPWM指令方式モータードライバー。スピコンとも呼ばれる。	外装	外観・カバー部品。内部の保護や機構・構造だけでなく親しみやすさなどにも大きく寄与する。
サーボ	位置制御機能を内蔵したモーターの通称。	(以下ALKNYAN用語)	
MDF	Medium-Density Fiberboard=中密度繊維板。木質繊維を樹脂で固めた安価な合板。100円ショップでも入手可。	灯台	赤外線誘導装置（魔改造リモコン）の通称。
		カイト	姿勢を安定差化させるためのグライダーのような固定翼。固定式パラシュートとも。
		しっぽ	操舵を行うための後部に配置されたサーボ駆動式の三又部品。操舵に使うのは左右の2本で上の1本は生贄のしっぽが使われている。

「ネコちゃん落下25M走」を実現するメカ機構

～6m落下と25m走の世界最速記録を達成した四足歩行機構～



©2022

内山了介 / 西岡勇人 / 青木翔平 / 岩船美友 / 尾崎勝 / 森永英一郎

メカ構成

不確定要素を排除

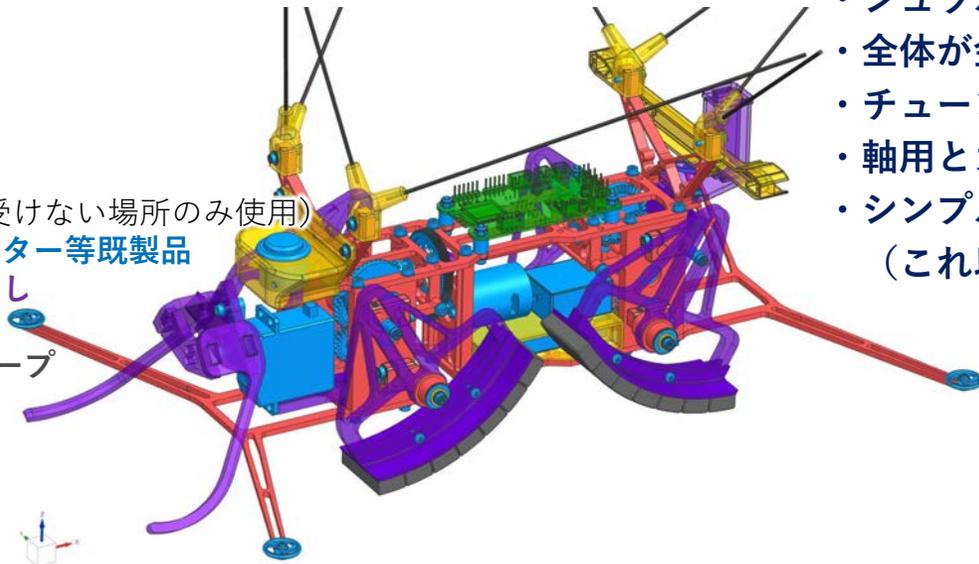
何度落としても水平に着地して顔はゴールを向く
姿勢制御特化の“カイトを背負って飛び降りる”

ほぼ自由落下速度で着地

- ・パラシュートは減速に有利だが着地姿勢が読み難い
- ・切り離し機構も不確定要素となるので固定式カイト
- ・走行時の抵抗になるので落下減速効果は優先しない

使用材料の色分け

3Dプリンター（衝撃を受けない場所のみ使用）
ねじ・ベアリング・モーター等既製品
ポリカーボネート削り出し
ジュラルミン削り出し
100円ショップの隙間テープ



軽くて強いメカが必要

ジュラルミンとポリカーボネートの“柔剛バランス”
大型モーターはバッテリーも重くなる→“小型モーター”を採用
非力なモーターを効率で補う“ボールベアリング”

“高速歩行・耐落下耐性”を実現

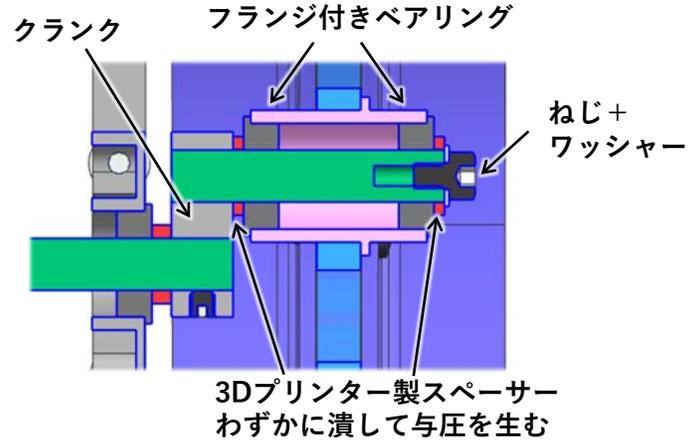
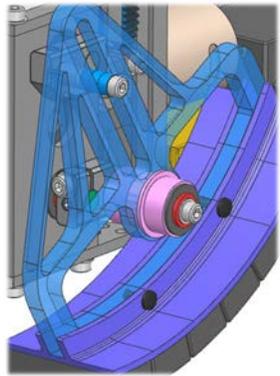
- ・ねじ等既製品以外の金属部品は全てジュラルミン削り出し
- ・ジュラルミンは形状の工夫で樹脂同等の重量まで軽量化
- ・全体が金属だと衝撃を逃がせない所以足はポリカーボネート製
- ・チューンドの380モーターを採用（ブラシ付きモーター）
- ・軸用とカム摺動用合わせて34個のボールベアリングを搭載
- ・シンプルな足機構
（これ以上複雑になるとベアリングを搭載するスペースが無い）

メカ構成 (補足)

ボールベアリング

- ・軸は全てベアリング2点で支持
⇒適切に衝撃を受ける
- ・組立で適切な与圧を与える
⇒ガタを抑えた正確な動きの実現

脚のベアリングの例



材料

- ・弱い所にしわ寄せがくるの全ての材料に注意した
- ・ねじは全てSUS (最適では無いが入手性から)
- ・金属部品は全てジュラルミンと超々ジュラルミン
(切削性が極めて良いが耐力と引っ張り強さは鋼材以上)
- ・樹脂部品は既成品も含めて全てPOMとポリカーボネート
- ・3Dプリンターは絶対に衝撃を受けない場所だけに使用

モーター

- ・380サイズ以下の小型ブラシレスモーターは位置センサーレス制御
- ・センサーレスブラシレスモーターは低速トルクが細い
モーターの最大トルクが始動時というイメージとは異なるので注意
(ドローン用途では始動トルクは問題にならない)
- ・歩行機構は始動トルクが重要
- ・ラジコンカーの主流である540サイズではセンサーの有無が選べる

今回は380サイズを選択しているので
ブラシ付きしか選択肢がなかった



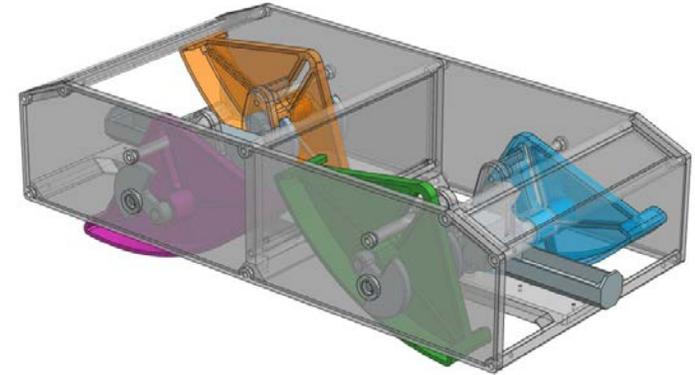
ねじの緩み対策

- ・ねじロックを塗布
- ・ねじロックの使用が適切でないところはナイロンロックナットを使用
- ・組立は全てトルクドライバーでトルク管理 (量産製品と同じ)
- ・緩み易い箇所は落下毎に増し締めしてトルクチェック

脚機構（脚機構候補出しコンペ時点の機構）

スライダークランク機構

- 部品点数が少ない
- 脚の軌跡に癖が無い（前後対称で特異点が無い）
- 早戻り動作が可能⇒ **4脚で歩行が可能**



早戻り動作

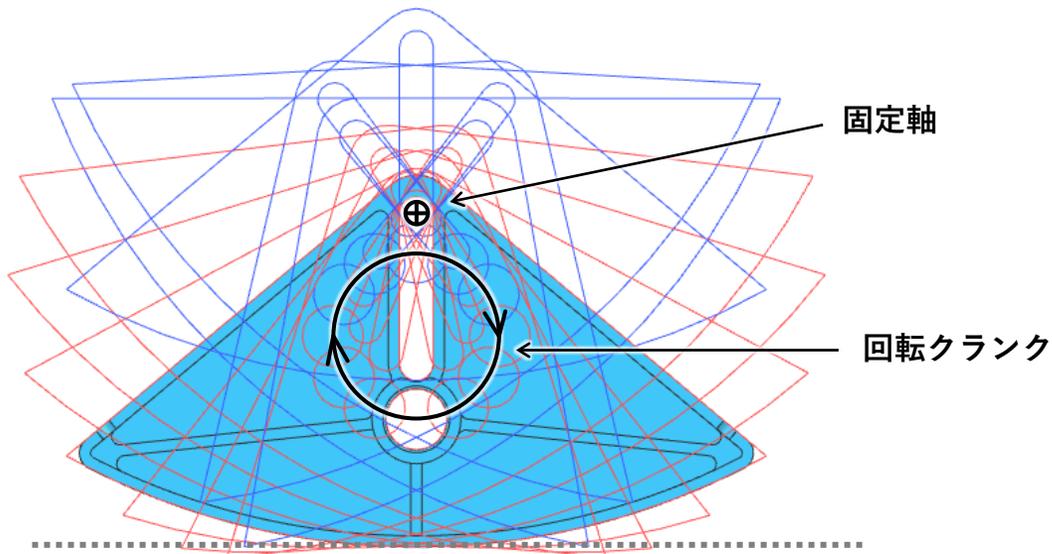
クランク180° 回転以内に“足上げる→足を前に出す→足を下す”の動作が完了

早戻り動作が無いと

“足上げる→足を前に出す”と“足を下す→地面を蹴る”それぞれ180° 必要で接地している状態は180° 未満となるのでは4脚では歩けない

スライダークランクの欠点

ボールベアリングを入れようとすると固定軸と回転クランクが干渉する
スライダーゆえ固軸は溝を摺動するので回転軸に比べると抵抗が大きい



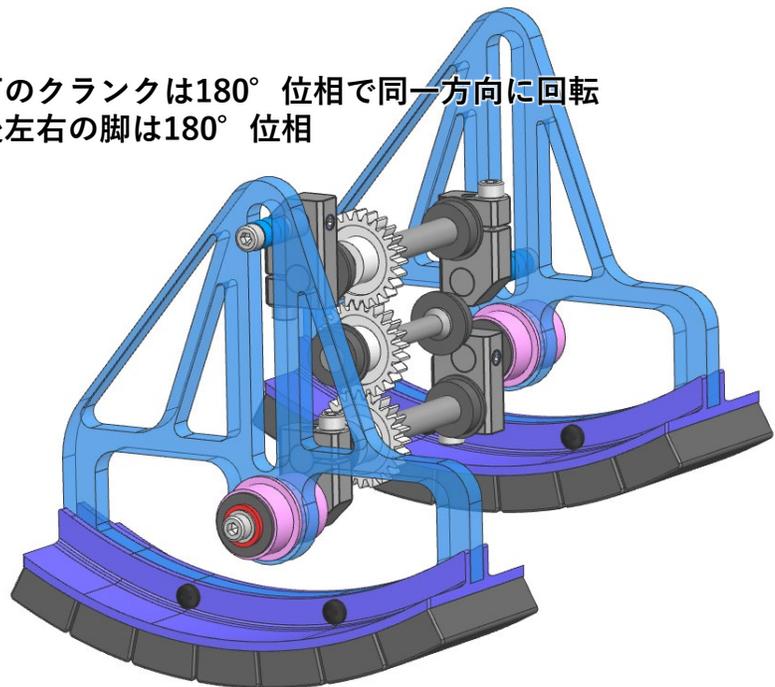
この時点では足先円弧形状設計がまだ完成していない
地面のラインから飛び出す瞬間がある（振動する）

脚機構（最終機構）

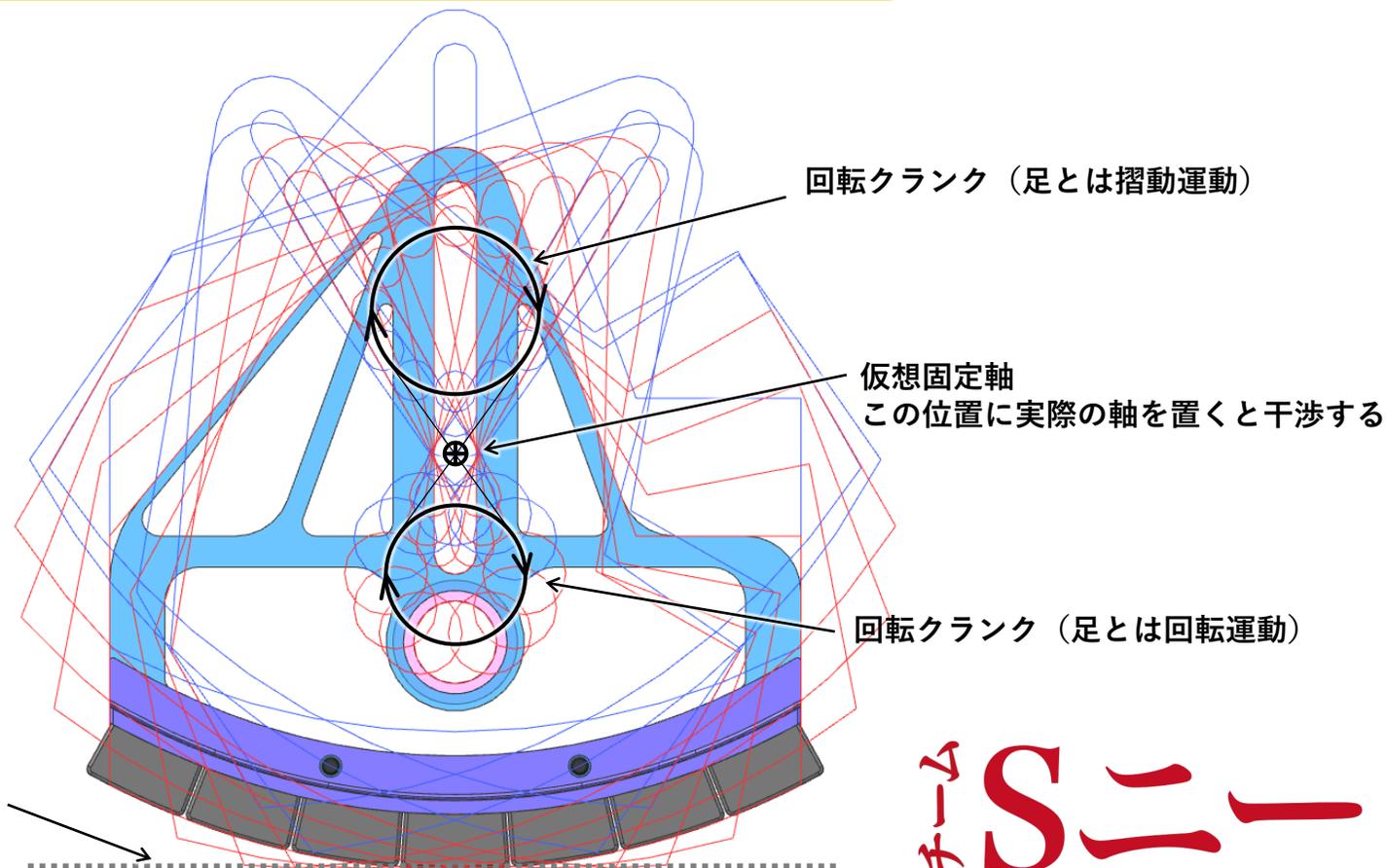
スライダーダブルクランク機構

- ・固定していた摺動軸も回転させる ⇒ 仮想的にスライダークランクの固定軸が下に下がったような動きになる
- ・スライダー（シングル）クランク機構のベアリンクが干渉する問題を解決

上下のクランクは180° 位相で同一方向に回転
前後左右の脚は180° 位相



足先円弧形状設計の完成形
地面と接する軌跡が一直線



チーム Sニ一

脚機構（衝撃吸収）

衝撃吸収の弓型

- ・足を弓状にして衝撃吸収を図る
- ・一度を最適化したが脚全体を設計変更した際に再調整の余裕がなかった
⇒結果硬すぎる
- ・毎回落下する毎のベアリング痛めて速度が低下してしまう
- ・本番前日にオーバーホールでベアリング交換⇒一度だけ落下を含めた最終テスト⇒本番
- ・ベアリングの消耗が無ければ第二試技でよりタイムが伸ばせたので悔やまれる

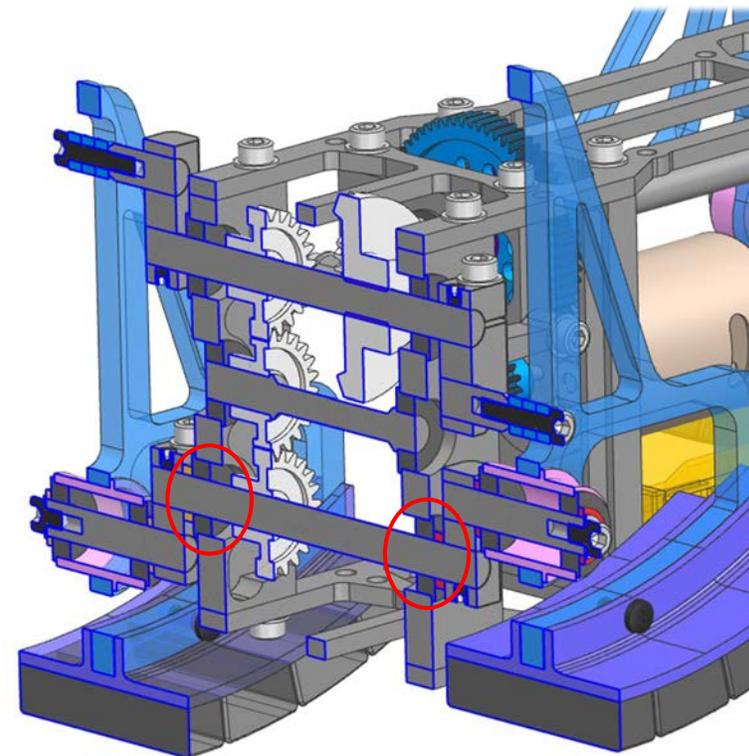
途中検討



最終形



この変更の時に再度最適化する余裕がなかった

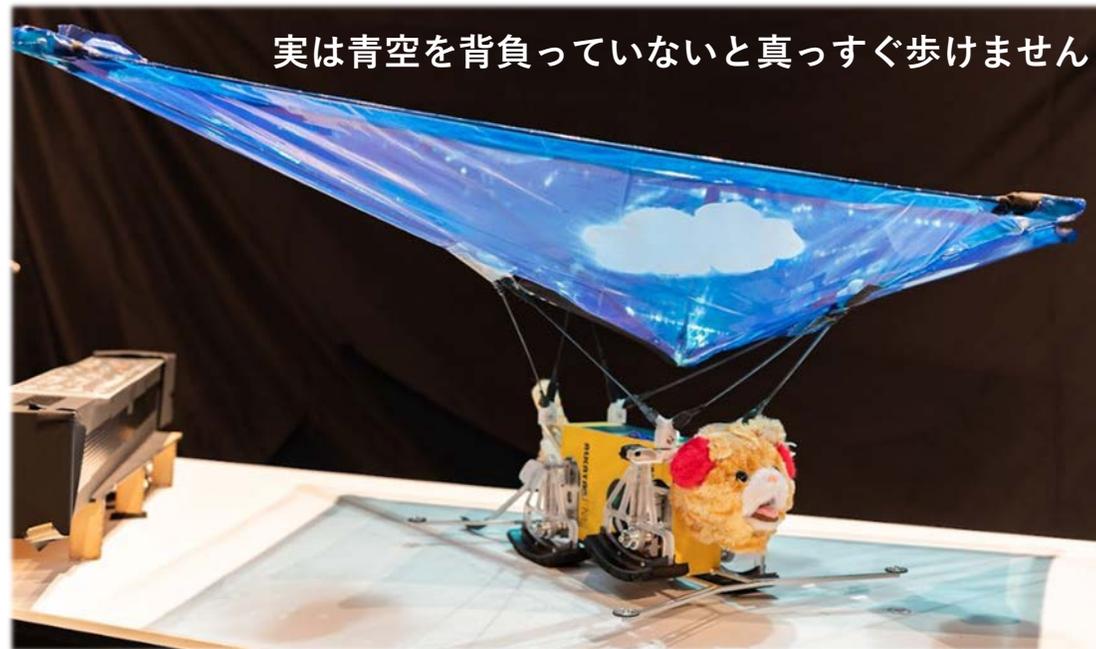


破損するのは本体側のベアリング
モーメントにより負荷がかかる

脚機構（補足）

直進性

- ・直進性を向上させる為ガタや遊びが増える操舵機構は一切設けていない⇒脚機構だけでは旋回出来ない
- ・高精度に作ったつもりだったが高速域では予測できない振動で真っすぐ走らない
- ・カイトをリジッドに取り付けることによってスタビライザー効果生まれ不要振動が抑えられある程度真っすぐ走った
- ・更に後述する尻尾で常に修正を加えることでまっすぐにゴールに向かって走ることが出来た



外装デザインの3つのこだわり

① ボディーカバー

カバーデザイン

懐しのオーディオプレーヤー風の柄。

本番には登場しなかったが、予備機のカバーを含め3種類のカラーバリエーションを準備。

素材

足とボディーパーツの隙間が最短3mmと狭いため、薄くて剛性が高く、加工が簡易な、ラミネート加工した厚手の光沢紙をカバーの素材として採用。また、カバー側面の湾曲変形を避けるために、カバーの内側に3mmのカーボンロッドを貼り付けた。



② ヘッドホン

オーディオプレーヤーにはヘッドホンがセット！という事で、アルクニャンにもモフモフな赤の骨伝導ヘッドホンを装着。

③ お顔としっぽ

生贄のネコちゃんから拝借したお顔としっぽ。

レギュレーションである「抱きしめたくなる可愛さ」を実現するべく、目の周りの毛をトリミングし、キュルキュルなおめめが際立つように工夫。

走行時、お顔としっぽをプルプル震わせながら走る姿はとっても愛おしいです。



Appendix :

「ネコちゃん落下25M走」を実現するメカ機構

補足コラム

「歩行」とは何だろう？

自然界にある歩行システムについて、幾つか並べてみる

※（分類、名称、考察は独自）

カメ型：4足のうち3足が接地し、1足を前に繰り出す方式

ウサギ型：4足を前側と後ろ側に分け、前接地、前ケリ、後接地、後ケリを繰り替える方式

ウマ型：4足を対角に分け、対角に接地と空中を繰り返す方式

カブトムシ型：6足を右左右/左右左の2つの3角形に分け、接地と空中を繰り返す方式

いずれかの脚が接地している際に、いずれかの脚が宙に浮いて進行方向に着地し、**本体を推進する**というのが、恐らくは「歩行」の定義と言えるであろう。

歩行システムを作るという事は：
「脚部を接地させること」「脚部を宙に浮かせて進行方向に再接地させること」
 を連続的に行う機構を作るという事になる。

チーム Sニ一

タイヤと歩行機構の違いは何だろう？

車輪（ルール記載は「タイヤ」）は禁止とされているので、「車輪」と「歩行機構」について考えてみる。

※（分類、名称、考察は、魔改造S二チームの検討 & 解析用の独自のものです）

車輪とは？

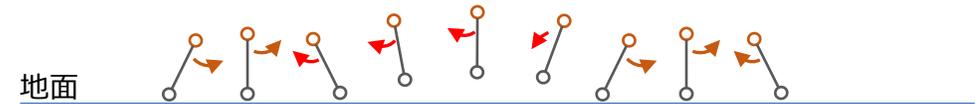
力点と接地点を結ぶ構造体が「回転運動」を行うもの



力点から等距離の接地点を無限に構成したものが、一般的な「車輪」と言えるが、その距離精度が不均一なものを車輪と定義するか否か？は要議論かもしれない。

歩行機構とは？

力点と接地点を結ぶ構造体が「揺動運動」を行い、且つ進行方向と逆向きの揺動時には接地しないもの



揺動運動さえ行われていれば、接地部の形状が、扇形のような「多接地点の連続的形状」であったとしても、歩行機構と呼べると考える。

歩行機構の設計とは：
何らかの動力源（一般に入手容易な動力源はモーター等の回転体）から、「揺動運動」と「揺動運動体の上下運動」を実現する事になる。

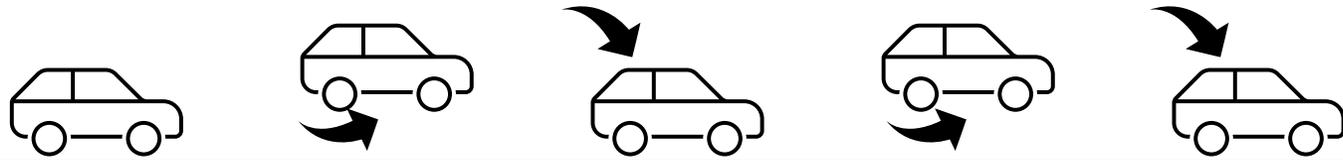
チーム S二一

安定した「移動」とは何だろうか？

競技に勝つ為には、エネルギーロスの少ない設計が必要となる。
ロスの少ない「歩行」とは、ロスの少ない「移動」とは何だろうか？

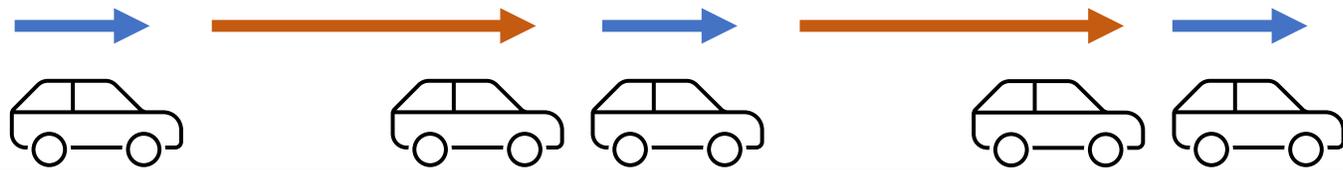
→ 「移動」以外にエネルギーを使わないようにする、のが判りやすい要素。

上下動は少ない方が良い



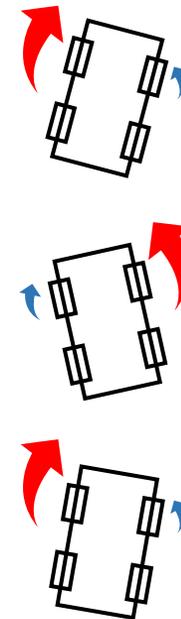
ジャンプするような車はあまり無いが、あったとしたら、ジャンプするエネルギーは無駄。
→ 上下動は出来るだけ少ない方が安定する。

前後不均一は少ない方が良い



加速や減速を繰り返すのも、エネルギーの無駄。
→ できるだけ均一な速度が安定する。

ヨレは少ない方が良い



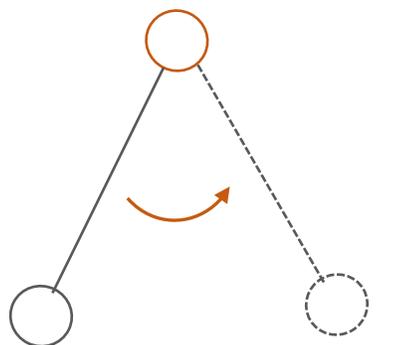
「右側足」と「左側足」で速度が異なるとまっすぐ進まなかったりヨレたりして安定しない。また、無駄が大きい。

安定した移動体の設計には：
「本体の上下動を抑える」「接地部の移動不均一を抑える」事が大切

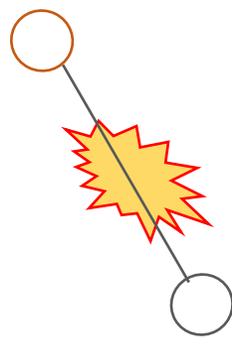
回転体と揺動運動体によるエネルギーロスについて

競技に勝つためには高速移動が必要であり、高速化のためには「軽量」「強動力」「強エネルギー源」と、「使えるエネルギーをできるだけ移動に使う≡移動以外の要素にエネルギーをロスしない」が必要となる。

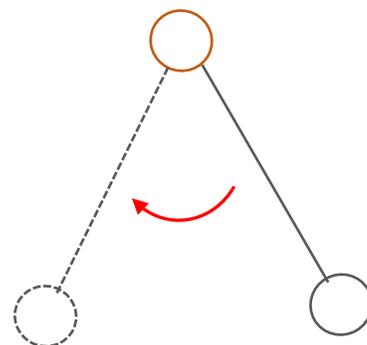
揺動運動体は、常にエネルギーを損失している



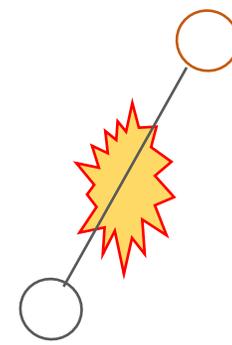
「静止」から「右向き動かす」為のエネルギー消費発生



右向きに動いていた物体を「静止」させるエネルギー消費発生



「静止」から「左に動かす」為のエネルギー消費発生



左向きに動いていた物体を「静止」させるエネルギー消費発生

「車軸」や動力伝達の「ギア」等の回転運動体は、このようなエネルギー損失が非常に少ない。（同一方向への連続動力時）



エネルギー損失の少ない歩行機構の設計に向けて：
「揺動体の軽量化」「揺動体の使用個数の抑制」が必要となる。

チーム Sニ一

各種制約の中で実現可能な構成は？



今回の魔改造projectの制約について

- 日程が厳しい（短い）
- 衝撃耐性が必須（落下）
- 速度勝負の競技である

動力源について

簡易に歩行システムを構築する場合の動力源は、主に二つ。

- 単回転モーター1個または数個使い
簡易なおもちゃ等で採用される。改造前のネコちゃんもこの構成。
- サーボモーター多数使い
複雑な挙動も実現できる。某犬型ロボット等はこの構成。

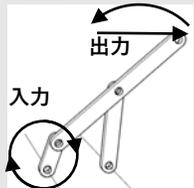
最適な動力源として：
よりシンプルな構造で速度を出せそうな
「単回転モーター方式」を採用。

各脚機構方式による得手不得手

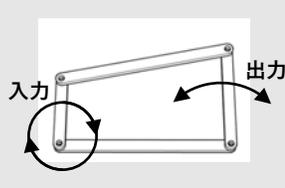
単回転動力による代表的な歩行リンク機構を表にすると、概ねこのように整理できた。

	上下動抑制	出力均一性	揺動動作の部品点数	製造公差耐性	設計柔軟性	四足歩行の成立性	生物のようなかわいらしさ
ヘッケン	△ 製造公差等により 180度の限界 までは使えない	○ 無負荷状態では 180度まで 真円軌跡	△ リンク数が 多少必要	× 特に180度付近で 公差の影響が大きい	△	× 180度付近の 耐性不足で 全足接地してしまう	???
チェビシエフ	○ 平坦部性能に 優れる	○ 平坦部均一性に 優れる	△ 出力軌跡の反転が 必要	△ 出力箇所への 変換距離が長い	× 歩幅の任意の 設計が困難	◎ 早戻りと均一性を 両立している	???
テオ・ヤンセン ストランド ビースト	△ 出力の上下を 潰しての平坦性 なので応用難しい	△ ヨレも含めての 動物らしさ	× 非常に多い。。	× 部品点数が多く不利	△	○	◎ ◎ ◎
ダブルスライダ クランク	○ 扇脚設計で 対応可能	△ 中央が早く 端が遅い	◎ 回転部品が多く 揺動部品は少ない	◎ 揺動部品点数が 少ない分有利	◎ 歩幅や扇形状など チューンし易い	○	???

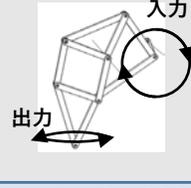
各機構のイメージ



チェビシエフ機構



てこクランク機構



テオヤンセン機構
(ビースト機構)

…というのは実は後講釈で、この表で設計時に明確に比較した訳ではないが、経験・感覚を総合し、最終的にダブルスライダクランクが選ばれた。

ソニー

Appendix :

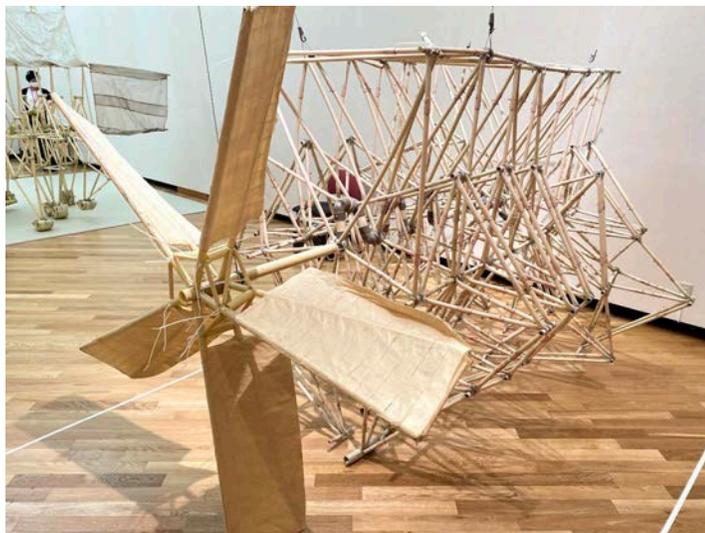
「ネコちゃん落下25M走」 様々な歩行機構の検討の記録

(各メンバーが自由に試作した
多数の方式の中からピックアップ)

歩行機構候補：「テオ・ヤンセン」の機構 その①

Jansen linkage

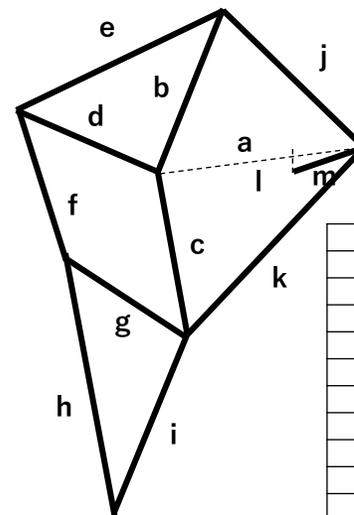
- Jansen linkage はオランダのアーティスト、テオ・ヤンセンにより設計されたクランク機構である
- 11本のリンクから構成され、有機的な歩行動作を実現する
- Jansen linkageは、テオ・ヤンセンの砂浜を風で歩くstrandbeestの脚機構として有名である



(山梨県立美術館 テオ・ヤンセン展にて著者撮影)

Jansen linkageのリンク長

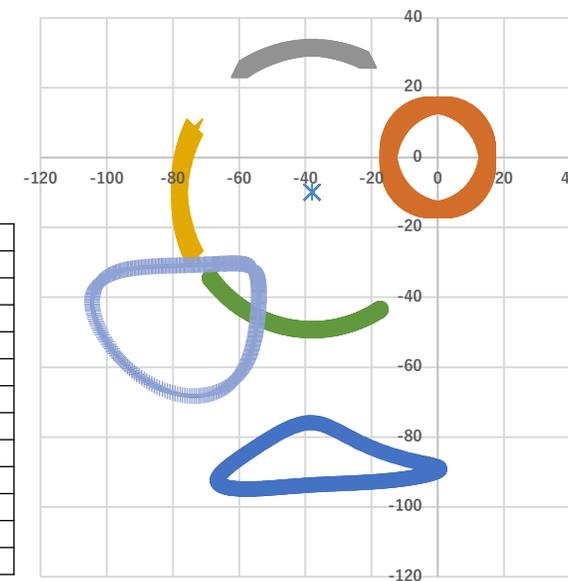
- Jansen linkageのリンク長は「ホーリーナンバー」として知られている



a	38
b	41.5
c	39.3
d	40.1
e	55.8
f	39.4
g	36.7
h	65.7
i	49
j	50
k	61.9
l	7.8
m	15

単位[mm]

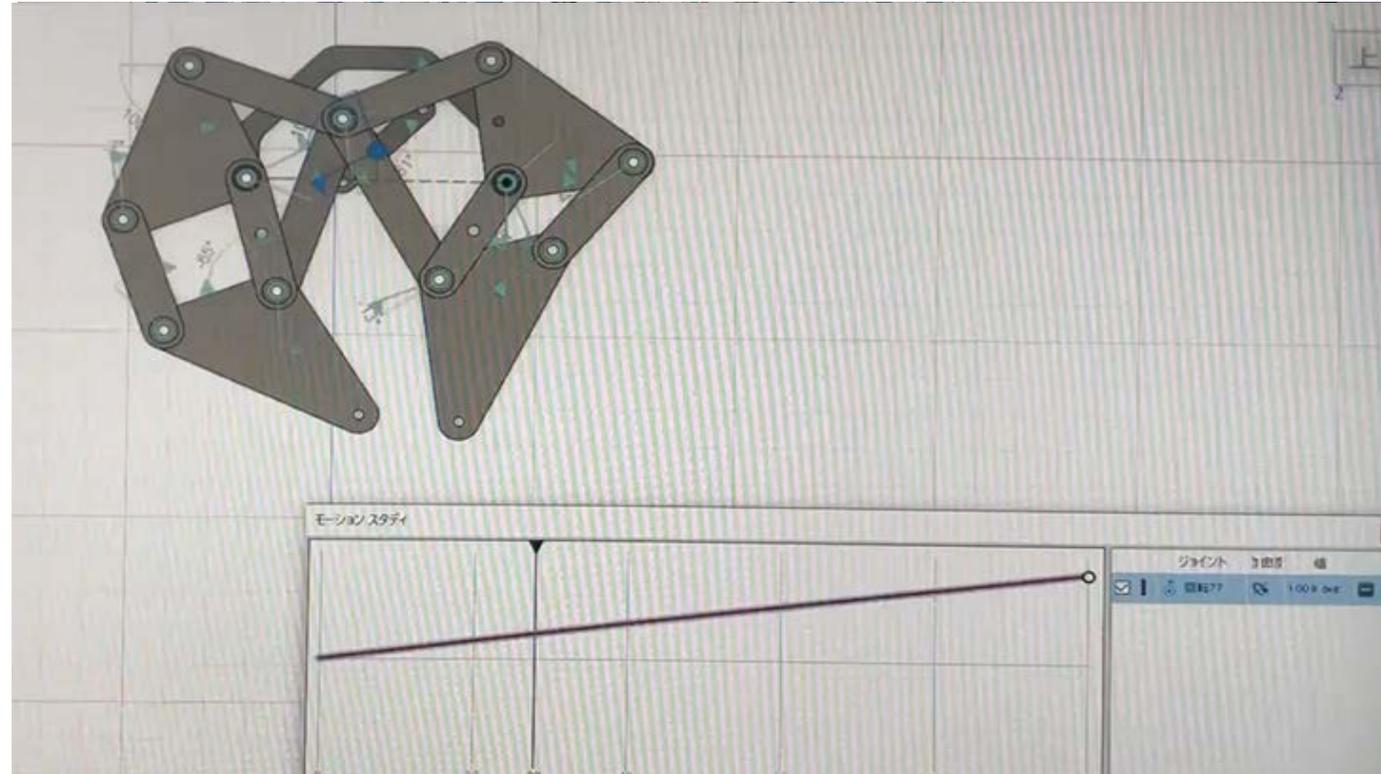
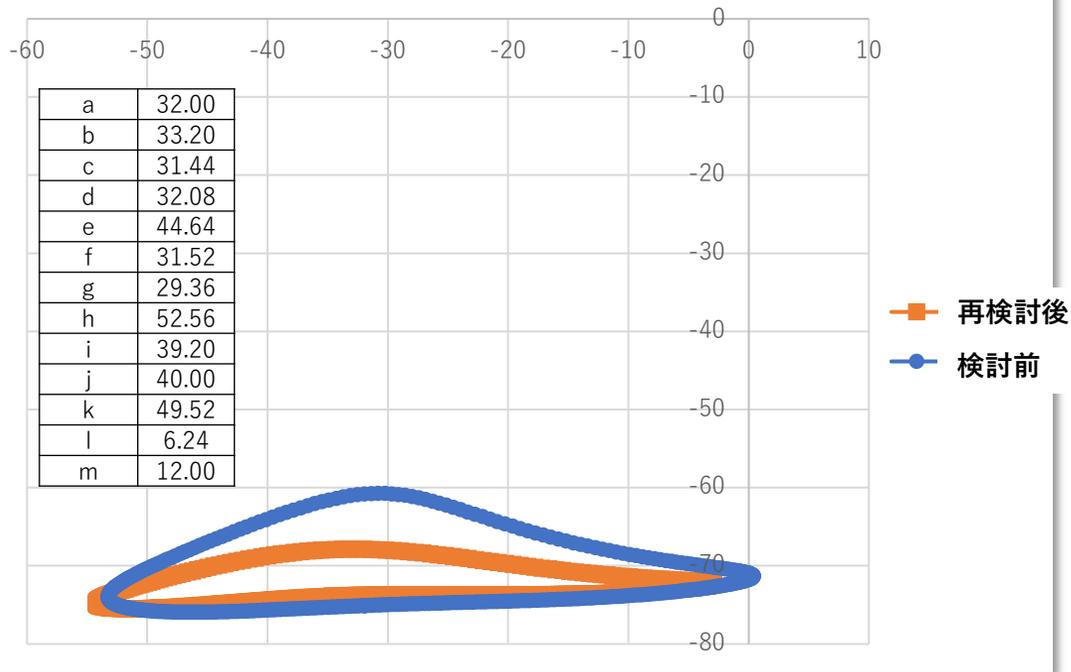
交点の軌跡



歩行機構候補：「テオ・ヤンセン」の機構 その②

歩行安定化のためにリンク長の検討を行った

再検討後の足先の軌跡 単位[mm]

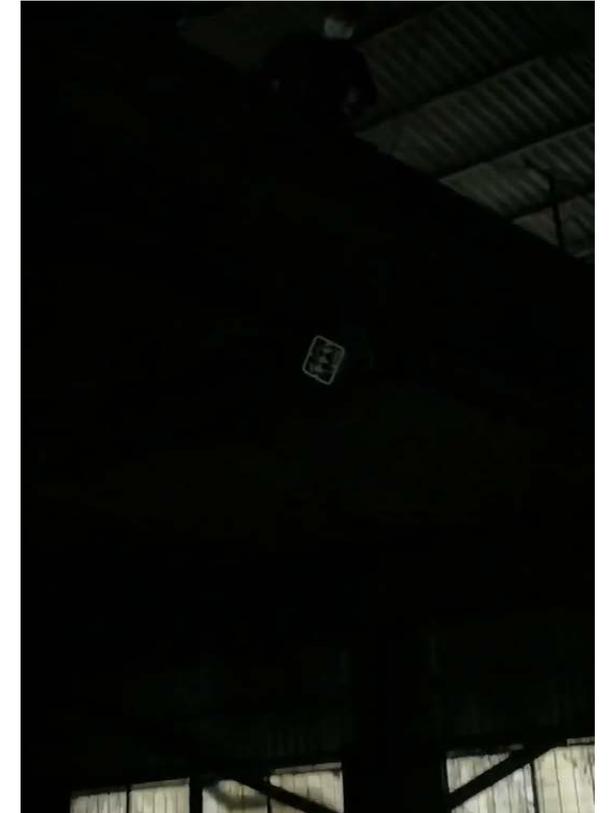


↑ PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

歩行機構候補：「テオ・ヤンセン」の機構 その③

落下試験

- 試験の目的
 - 6m落下時のアルミ製脚機構の耐久性確認
 - 他の試作(カイト方式)と並行し検討を行っていた起き上がりこぼし方式の妥当性検討
- 試験に使用した機構
 - アルミ製のJansen linkageの脚機構 とボディー
 - POM(ポリアセタール)製のガイド
 - PVC(ポリ塩化ビニル/塩ビ)製の起き上がりこぼし
- 結果
 - 起き上がることはできたが、塩ビ部分で衝撃を受けることが出来ず、ガイド及び脚機構で衝撃を吸収（不確実性が高い）
 - 落下の衝撃によりリンクkが塑性変形し、脚動作が不可能となった
- 以降の方針
 - 落下時の不確実性を下げ、衝撃を和らげるために、カイトに方針変更
 - 落下への耐久性を高める（塑性変形を防止する）ために、脚機構の材料をアルミからPOM(ポリアセタール)へ変更



↑PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

歩行機構候補：「テオ・ヤンセン」の機構 その④

POM(ポリアセタール)脚の検討

- 脚機構の材料をアルミからPOMに変更
- POMに変更することで起きた新たな問題
 - POMのばね性により接地タイミングで跳ねてしまい、転倒してしまう
- 改善策
 - 足先を点接地から線接地に変更し、安定性を向上
 - 足先の延長及び、足裏に高摩擦材料を接着
 - 側壁へ接触するようにガイド形状を変更し、直進性向上
- 残る課題
 - 側壁に接触していない状態では大きな弧を描くように曲がってしまい直進性に課題在り
 - より高トルク・高回転数のモーターに変更した際に跳ねる問題が再燃する可能性在り



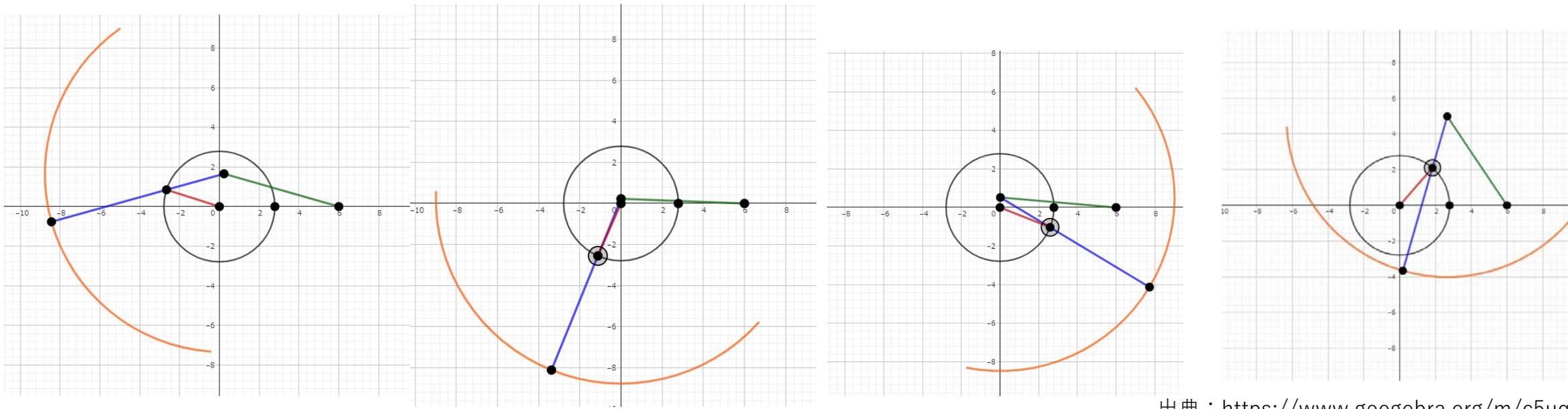
⇒ 脚構造を1種類に決定するために、Jansen linkageの検討はここで終了

↑ PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

ヘッケンリンク機構の試作検討： 脚機構を作ったことがない人がヘッケンリンクの二脚を歩かせてみた

①作る脚機構を決めたら、どのような特徴を持ちどう動く機構か理解するためにリサーチした。

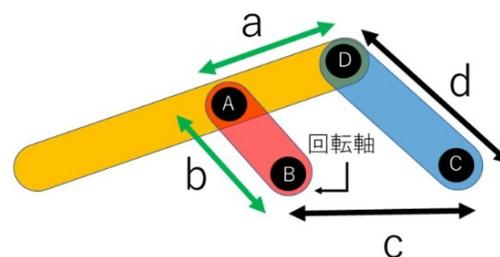
有名なリンク機構については、先人によるシミュレーターや、リンク長、機構の特徴についての事例記事を発見。



出典：<https://www.geogebra.org/m/c5uqrdtz>

例えばヘッケンリンクの特徴としては以下がある。右図において

- $c=d$, $a \neq b$ で $a > b$ である。
- 軌跡はBを中心とした円を描く。
- 位相を120度ずつずらした3枚の足を連ねて一脚として用いることが多い（歩行系ロボット大会など）。



チーム Sニ一

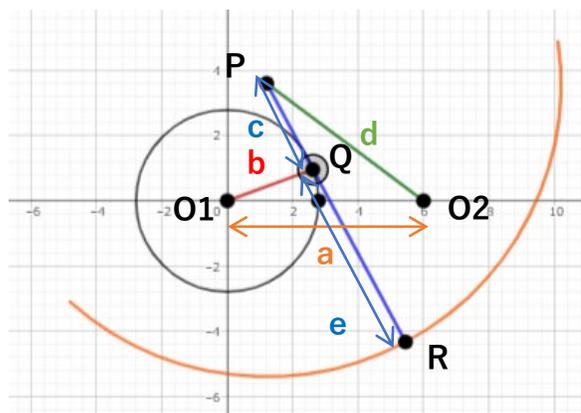
ヘッケンリンク機構の試作検討：

脚機構を作ったことがない人がヘッケンリンクの二脚を歩かせてみた

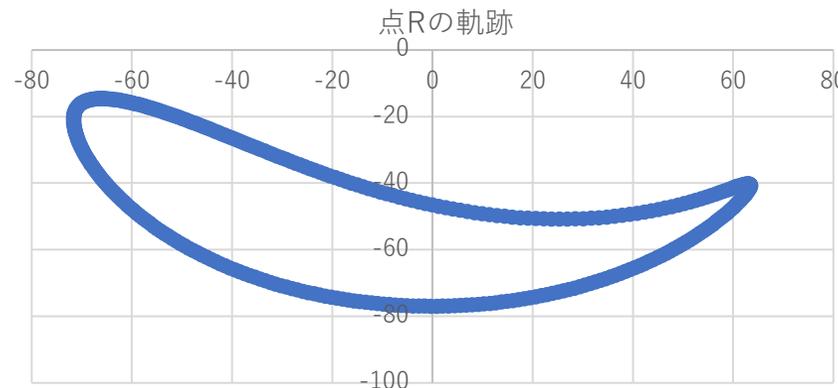


②リンク長を決める。

シミュレーターや、リンク長計算用のシートがネット上にある場合は、それを使う。今回は、エクセルで愚直に接地点Rの座標を計算した。レギュレーションを守るため、本来3枚で一脚として使うことが多いヘッケンリンクを一枚ずつ両脚に離して配置しても前に進める可能性を高くするため、設置時間（O₁中心の円弧となる時間）の長いリンク長を選択した。



$\angle QO_1O_2$ を θ として、 $O_1(0,0)$ $O_2(a,0)$ で固定すると、
 $Q(b\cos\theta, b\sin\theta)$
 $\therefore O_2Q = \sqrt{(a-b\cos\theta)^2 + (0-b\sin\theta)^2}$
 $\therefore \angle QO_2O_1 = \text{atan}(b\sin\theta / (b\cos\theta - a))$
 $\therefore \angle QO_2P = \text{acos}(O_2Q^2 + d^2 - c^2 / (2 * O_2Q * d))$
 $\therefore P(a + d\cos(\angle QO_2O_1 - \angle QO_2P), d\sin(\angle QO_2O_1 - \angle QO_2P))$
 $\therefore R(Qx + e/c * (Qx - Px), Qy + e/c * (Qy - Py))$



	a	b	c	d	e	theta	Qx	Qy	O2x	O2y	O2Q	∠QO2O1	∠QO2P	Px	Py	Rx	Ry
	40	17	20	40	60		0	17	40	0	23	3.141593	0.349121	2.413043	13.68286	60.76087	-41.0486
						1	16.99741	0.296691	40	0	23.0045	3.128695	0.349329	2.595594	14.17429	60.20286	-41.3361
						2	16.98964	0.593291	40	0	23.018	3.115815	0.349953	2.790413	14.6781	59.58734	-41.6611
						3	16.9767	0.889711	40	0	23.04048	3.102968	0.350986	2.997725	15.19314	58.91363	-42.0206

長さ是一例。



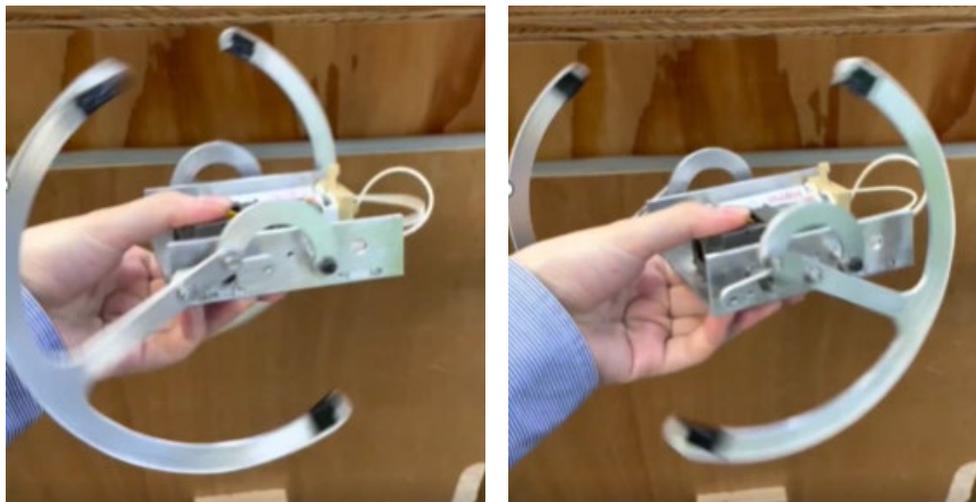
ヘッケンリンク機構の試作検討： 脚機構を作ったことがない人がヘッケンリンクの二脚を歩かせてみた

③CADなどでシミュレーションして設計

②で決めたリンク長に基づいてリンクを設計。
重なり方向の干渉を起こさないよう考慮する必要がある。

④CNC切削・組み立て

今回はCNCによるアルミ合金切削によって脚部を作成した。
玉軸受けとM3ボルト・ナットを用いることでシンプルで初心者でも組み立て・変更を行いやすい設計とした。



* 結末
二脚作ったところでタイムアップ
となってしまう、二脚では床におくと回転してしまった。適当な端材でひきずり足をつくったところ蛇行しながらも前進した。

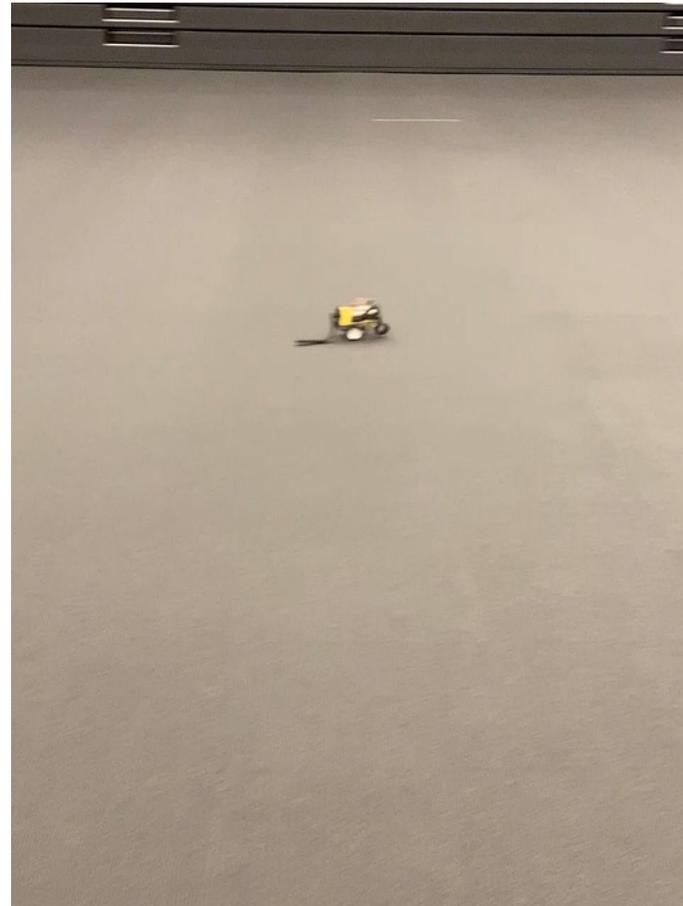


てこクランク2足：一番シンプルに走らせてみた

おそらく4節リンクが一番シンプルで部品点数も少ないだろうということで検討。

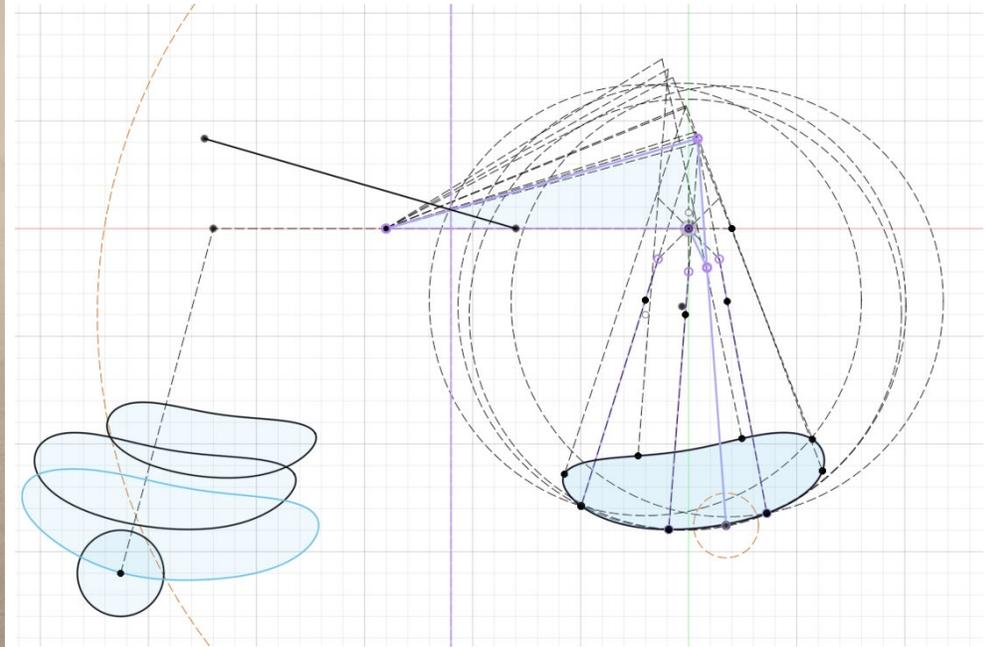


リンク長はねこちゃんと比べて
不自然じゃない範囲で決定



初期検討段階では元気に走っていたが、
タイヤが全面禁止になったので没案に⇒4足に挑戦

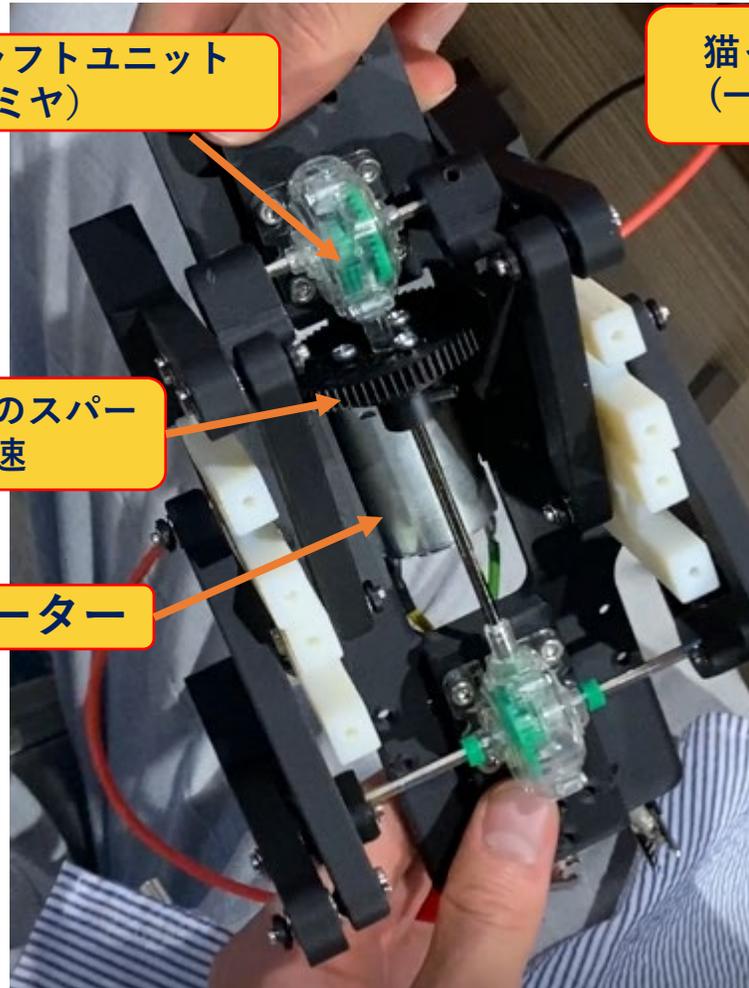
Fusion360上で軌跡を描きながらリンク比を調整。
形によって振動したり跳ねたりする。



てこクランク発展4足：ギャロップを目指した

最速で走るなら、4足動物の歩容としてはギャロップになるはず！と思って挑戦。

てこクランクを左右同位相・前後逆位相で配置し、ドライブシャフトを使って連結。



ドライブシャフトユニット
(タミヤ)

ラジコン用のスパー
で減速

380モーター

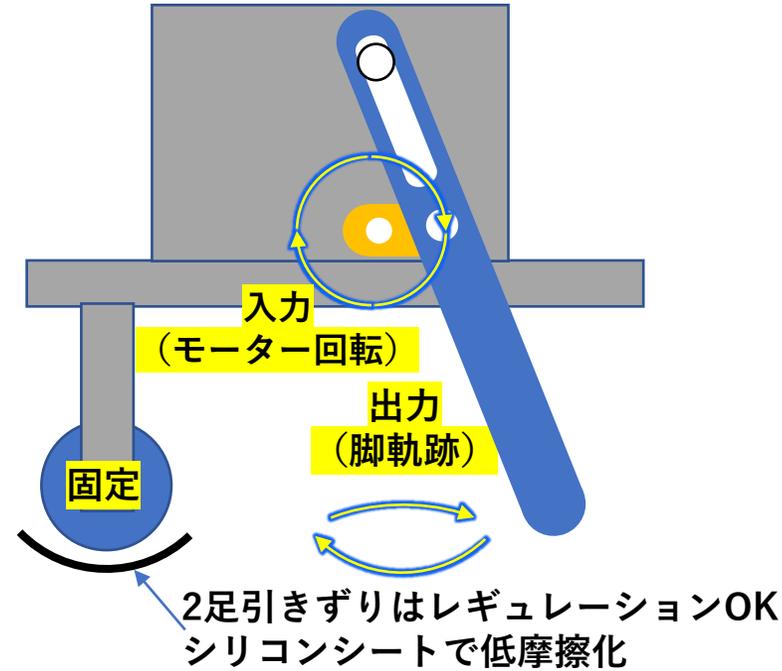
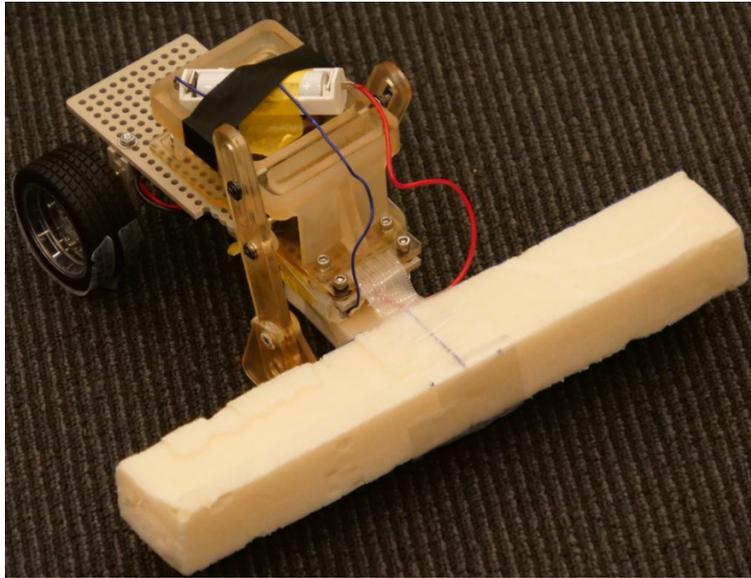
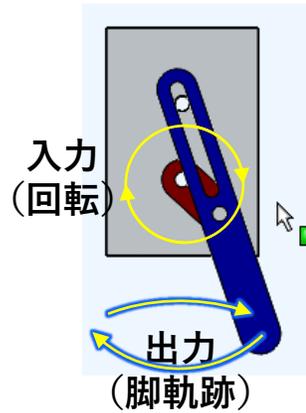
猫っぽさ出すためのしっぽ
(一応その場飛び跳ね防止)



なんとか組み立てた。放送では、飛び跳ねている様子が映っている。走らなかった主な原因は、クラウンギヤの歯飛びによる位相ずれが想定されるが、時間切れでデバッグしきれず…。

スライダークランク試作：扇脚なしの原点

前脚：スライダークランク機構
後脚：タイヤ固定+シリコンシート



結果・考察

絨毯上ではそこそこ早く走った！！が、脚先が地面に接触するときに叩いてしまいコース上ではバウンドし遅かった。

⇒脚のソール形状を軌跡に合わせた扇状にするなど、足を擦らせることの重要性がわかった。
後ろ脚引きずり姿が猫ちゃんとして可愛くないのもいまいちだったかな…

「ネコちゃん落下25M走」を実現するカイト

4足歩行ロボットの6m落下における、姿勢及び方向制御のための
カイト形状と実装の検討



©2022

土井 貫嗣 / 眞鍋 美祈 / 多田 謙介 / 北川 剛史 / 鳳 康宏

Special thanks : 田上さん、伴野さん、西岡さん

4足歩行ロボットの25m走の本競技において、要素は大きく下記3要素に分けられる。

- ・ベニヤ板で作られたコースの5m走行
- ・6m落下
- ・アスファルトコースの20m走行

落下後の20m走行及び最速での完走を確実に叶えるためには、着地時に、ゴール方向を向いていること・走行姿勢であること・機体が壊れていないことが求められる。本ERでは6m落下時の姿勢及び方向制御をするべくカイトの検討を行った。逆ピラミッド型を基本としたカイトの形状から様々なパラメータを振り、検討を行った結果2度の試技に於いてほとんど誤差なく、ゴール方向に向いた安全な着地を実現することができた。

◆カイトの検討方法及び、最善解の求め方を本稿では記述することとする。

*合言葉は“現物合わせ”と“手を動かす！”

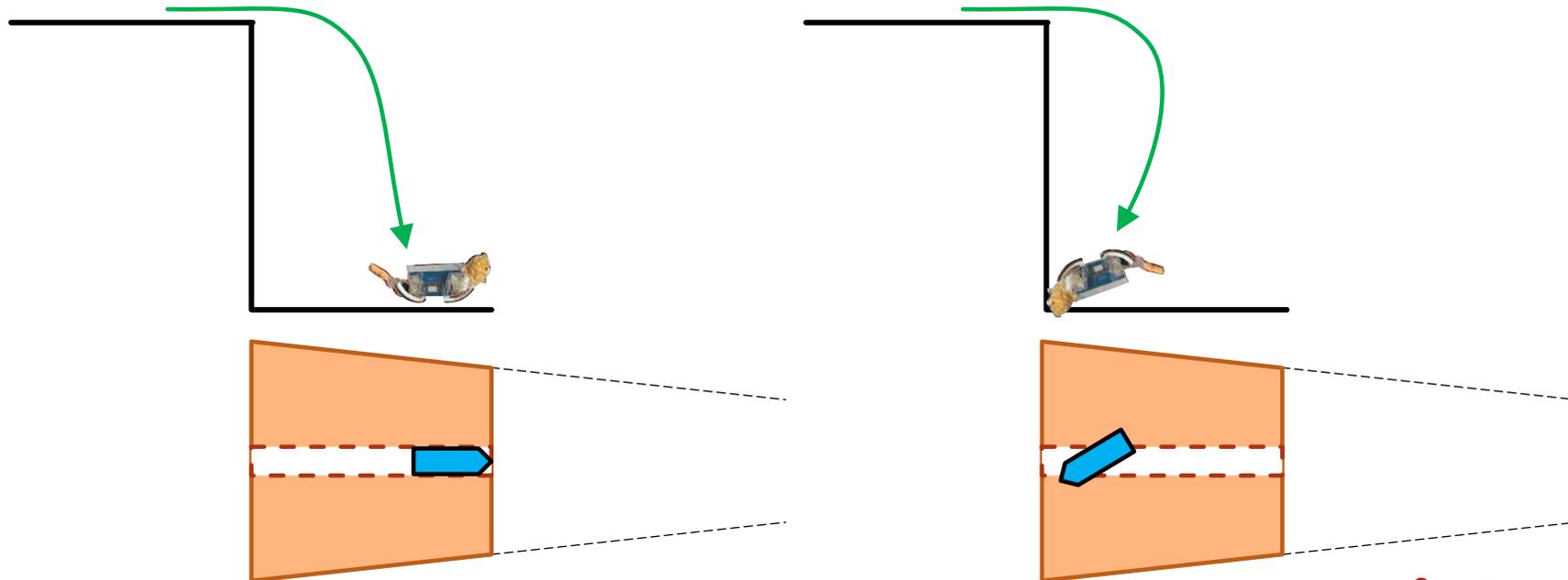
Purpose

6m落下を含む25m走に於いて、より速く完走するためには下記4要素が不可欠である。

- a) 機体の走行速度が速い
- b) 落下後、着地時に進行方向がゴールへ向いていること
- c) 落下後、着地時に走行姿勢であること
- d) 6m落下から着地後、ロスのない再走行

このうちの b,c においては落下中の姿勢制御が肝となると考え、最適な落ち方を叶えるべくカイトの検討を行った。

落下のcase



★ Best case

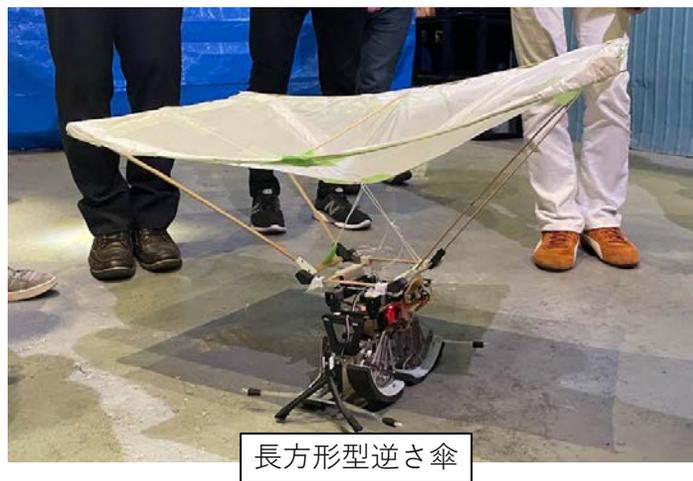
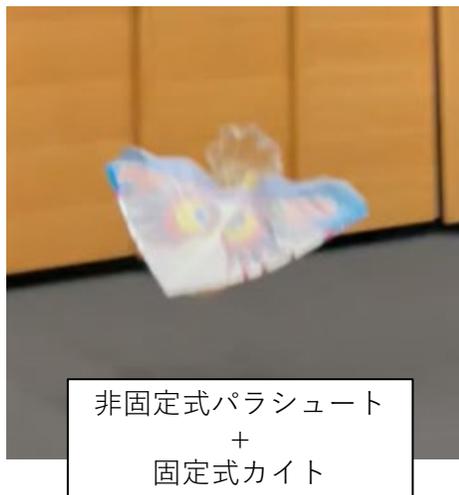
- ・真っ直ぐGoalに向いてる
- ・走行姿勢である
- ・5mギリギリ着地

★ Worst case

- ・Goalの反対を向いてる
- ・走行姿勢でない
- ・コース後方に着地

Background

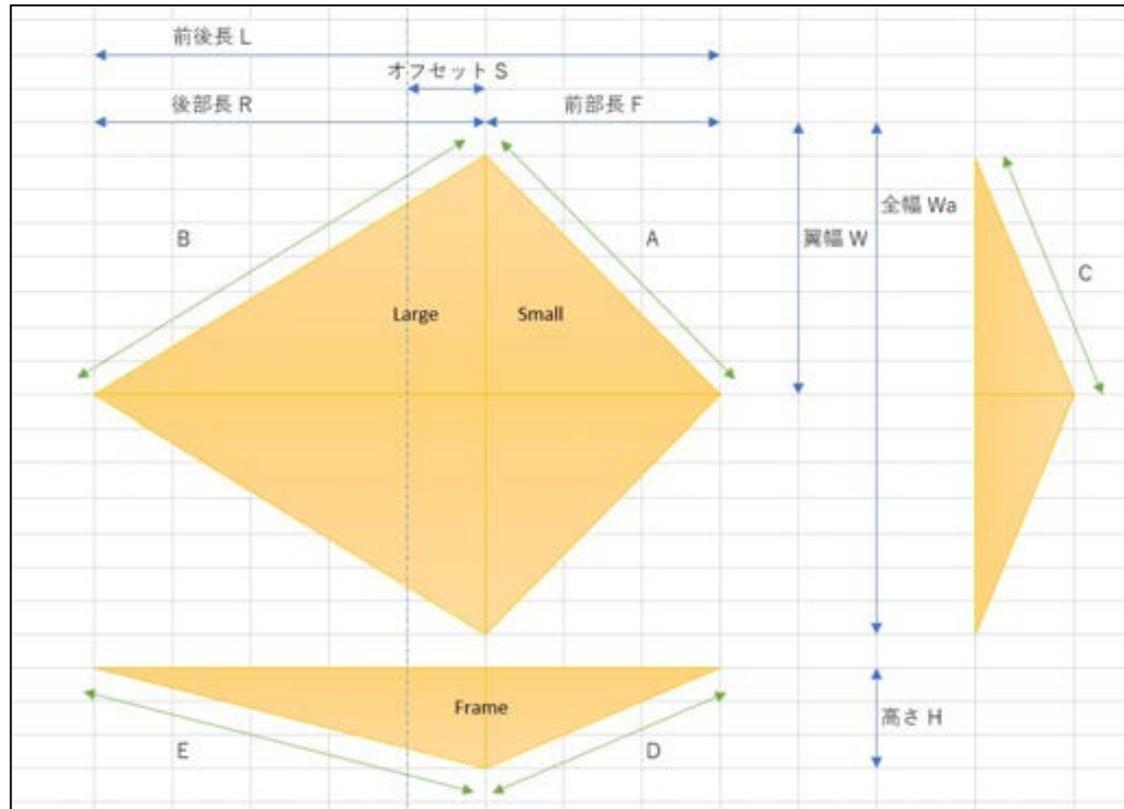
本実験を行う前に非固定式パラシュートや一般的な三角形の形状の固定式カイト、傘を逆さにした形状の固定翼などが試作されたが、再現性の問題から固定式を、ヨー方向の安定性から三角形のカイトと傘を逆さにした形状をヒントにした逆四角錐型のカイトで実験することとした。



Test study : カイト形状

検討1 : カイト形状の検討

- 逆ピラミッド型をベースに下図のようにパラメータを振って5パターンのカイトを作成し、落下時の姿勢の違いを確認した。(Type-Cは未検討)
- 様々な条件でカイトを落とし、実機にどのように設置するのが良いか検討した。
- カイトの材料として、加工のしやすさと軽さからスチレンボードを選択した。



単位:[mm]

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200
前部長 F	600	500	450	400	600	500
後部長 R	600	700	750	800	600	500
翼幅 W	600	600	600	600	600	720



Type-A のカイト

チーム Sニ

Test study : カイト形状



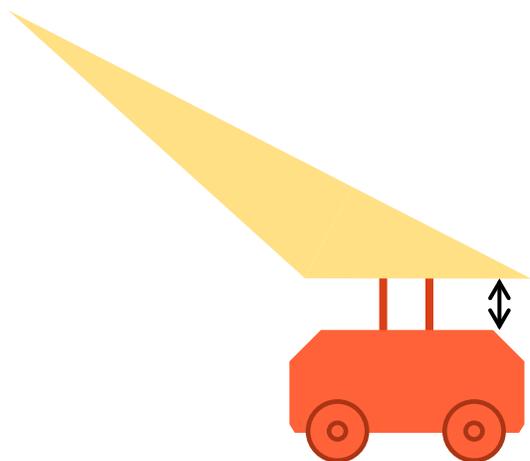
単位:[mm]

検討1 : カイト形状の検討

実装方法も下図のようにパラメータを振り、
どのようにカイトが落下し着地するのかを確認した。
最終的にはこれらの組み合わせで、最適なカイトの形状/設置の仕方を導いた。
また落とし方も、主に2パターン実施した。

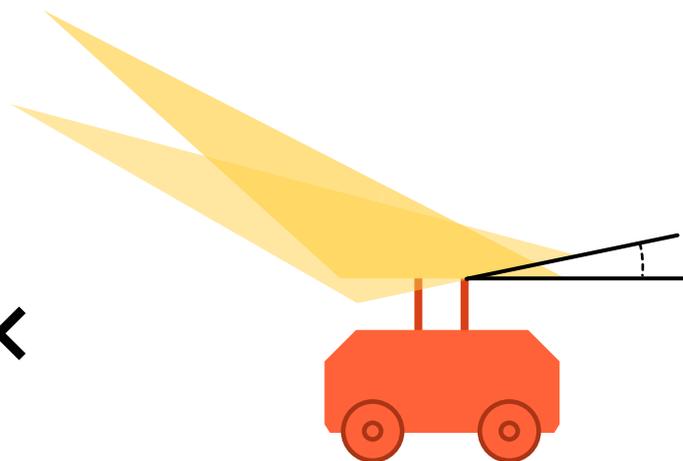
	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200

- a) シンプルな自由落下
- b) 滑走後に落下させた、斜方落下



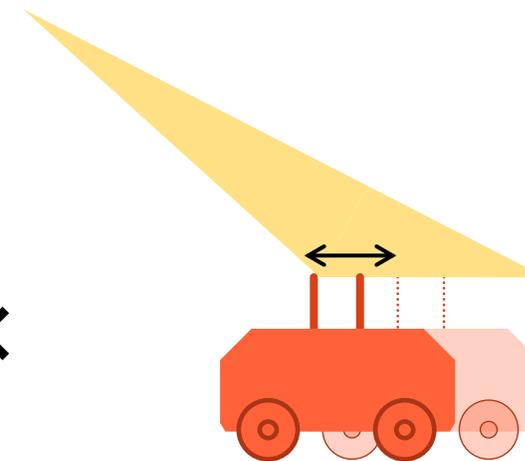
①カイトと機体の距離

×



②カイトの取り付け角度

×



③機体への取り付け位置(前後方向)

チーム Sニ一

Test study : カイト形状

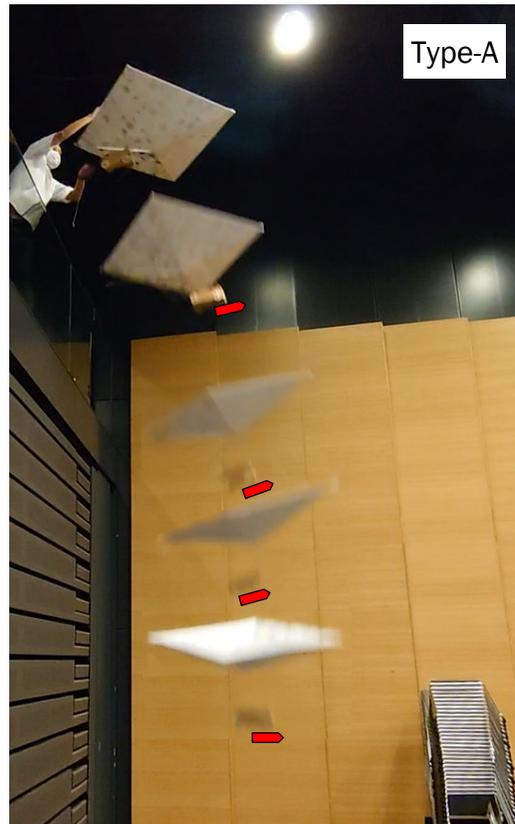
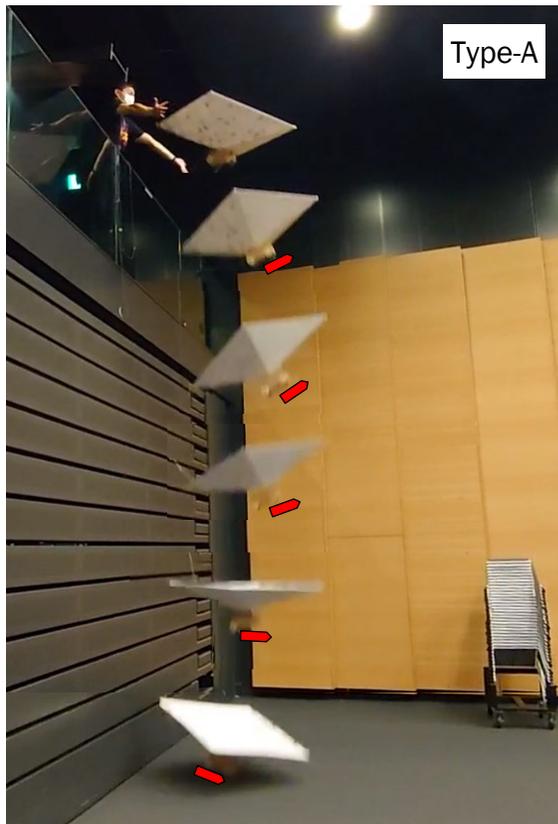


単位:[mm]

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200

①カイトと機体の距離：シンプルな自由落下

カイトから機体の距離が離れている方が、より早く姿勢は安定し、オフセット +100にすることで、カイト自身の揺れを軽減できることが分かった。



➡ : 台車の傾き

- ➡ を見ると紐が長い方が角度の振れが少ないことが分かる = 姿勢の安定が早い
- Type-Bの図を見ると、のオフセットS = +100のカイトはほとんど姿勢を変えずに落下していることが分かる = オフセットあったほうが良い
- Type-E/Fに関してはType-Aよりも落下時の揺れが大きかったので、検討stopした。

Test study : カイト形状



単位:[mm]

②カイトの取り付け角度：滑走後落下(オフセット有)

カイトが後方に伸びていると、飛び出し時にコースに引っかかるリスクがあるため、カイトを前傾にすることでリスクを軽減させた。また、 $+10^\circ$ をTyp. として実装し $\pm 10^\circ$ 振れても落下姿勢に影響無いことも確認した。

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200



・後方にカイトが伸びているため、飛び出すときにコースにカイトがぶつかるリスクがある



・飛び出し時にコースにひっかかるリスクは低い
 ・走行時に空気抵抗を多く受けてしまうリスクがある
 ・飛距離はType-Dの方が若干優位だった



・飛び出すときにコースにカイトがぶつかるリスクがある
 ・上記のため、落下に角度が付き減速されず、ピッチが安定する前に着地してしまう。(飛距離も伸びない)

Test study : カイト形状

③機体への取り付け位置(前後方向) : 走行後落下

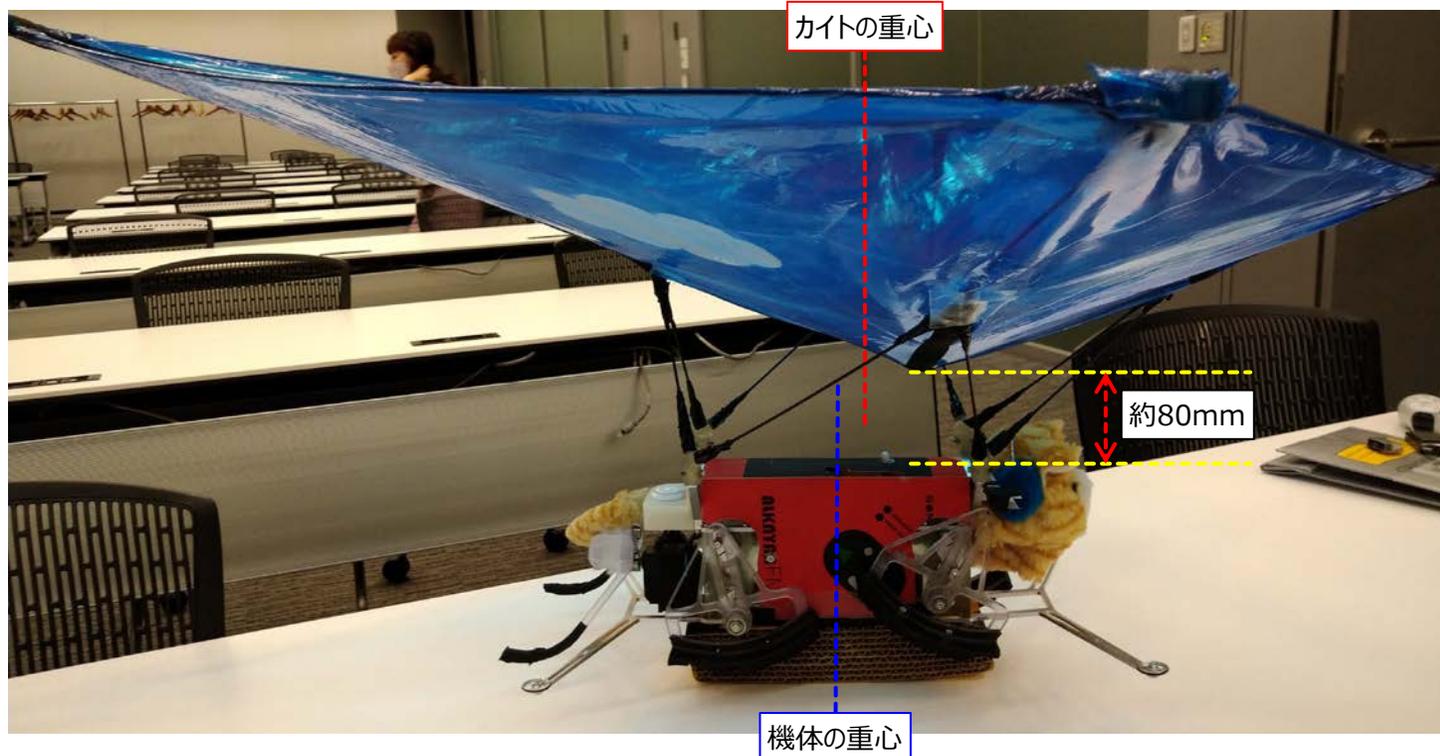
実機の重心の若干前にカイトの重心が来るようにカイトを実装することで、後ろ脚からの着地ができるように調整した。また、機体とカイトの距離は約80mmが走行/落下共に最も安定した。

*このパラメータについては、本番機につけて条件出ししないと参考値にしかならなかったため、正確なパラメータ振りを行わず、たくさん落とした実験結果から最善解を導いた。合言葉は“現物合わせ”と“手を動かす！”



単位:[mm]

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200



Test study : カイト形状



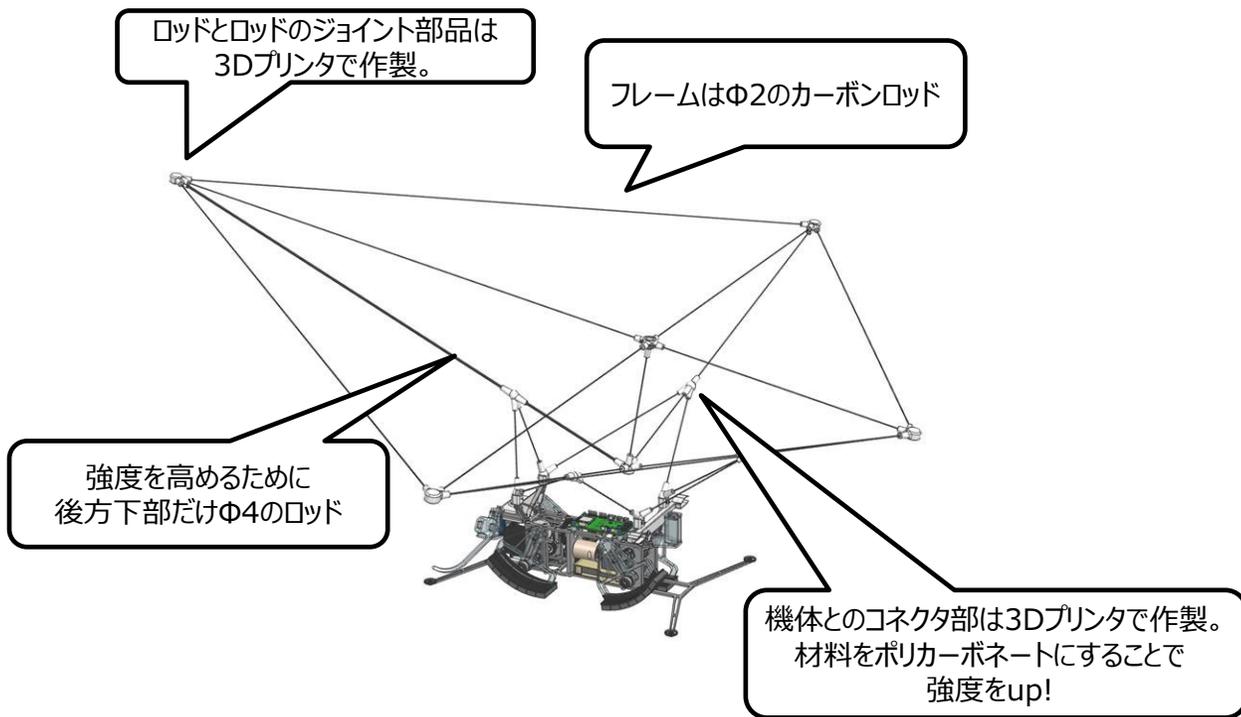
単位:[mm]

これまでの検討結果からカイトの形状/実装条件が定まった。機体はカイトを実装したまま走行するので、より速く走行させるために、カイトの軽量化を計った。強度と軽さの観点から、**フレームにはカーボンロッド**を使用し、**帆にはビニールシート**を選択した。また、カイトの**サイズは5/6に縮小**した。

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200

各パラメータ × 5/6
で作製

*この写真のカイトは本番用でないため、コネクタ部品はアジリスタ材

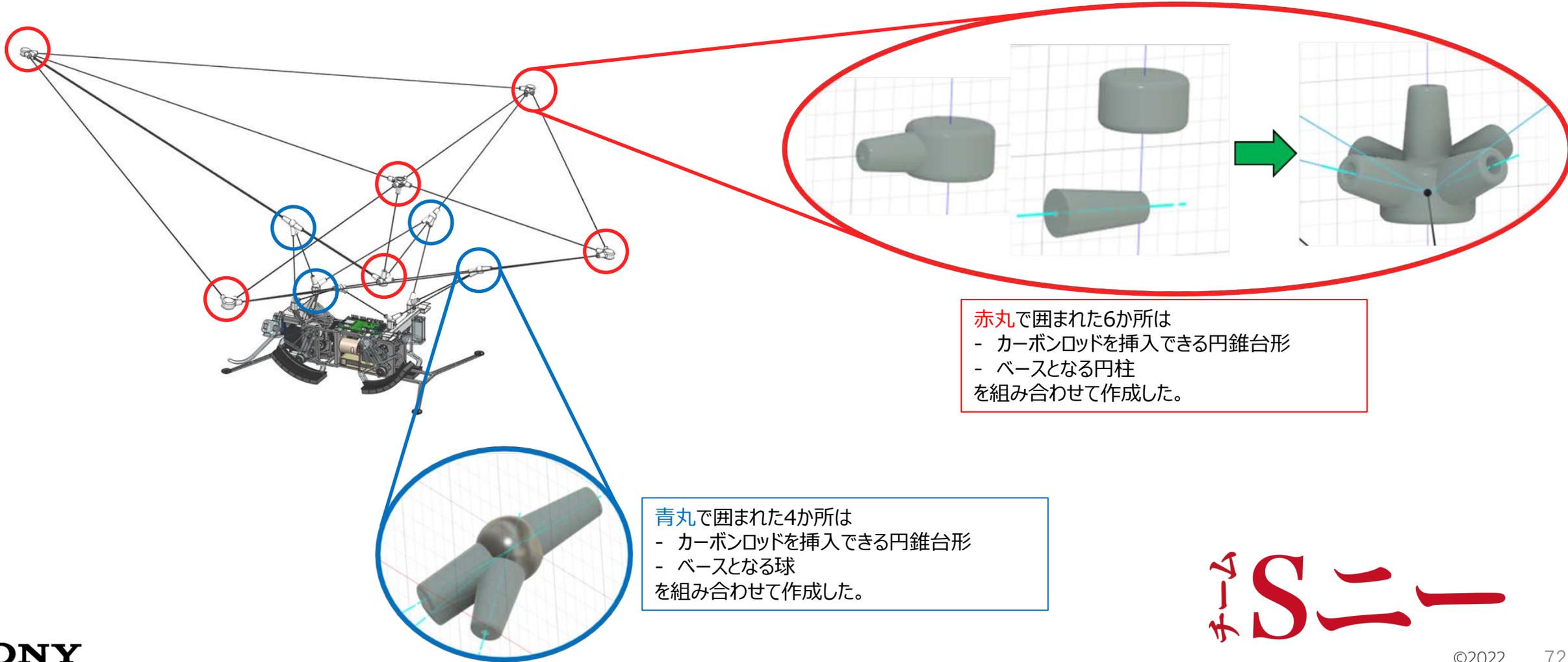


・スチレンボード → カーボンロッド+ビニールシート+小型化で重さが 約500 g → 約180 g となり 320 g の軽量化を実現



Test study : カイト形状の設計

カイトサイズやロッド径の変更に柔軟に対応するために、基本パーツのアセンブリによって簡単にロッド間角度を簡単に変更できるようにした。
また、円錐台・円柱・球形の基本パーツに用いることで強度の向上を図った。



赤丸で囲まれた6か所は

- カーボンロッドを挿入できる円錐台形
- ベースとなる円柱

を組み合わせて作成した。

青丸で囲まれた4か所は

- カーボンロッドを挿入できる円錐台形
- ベースとなる球

を組み合わせて作成した。

Test study : カイト形状の設計

オートカイトを参考に、カーボンロッドを用いてカイトと機体本体を定位置で接続し、更にコネクタをキャップ形状にすることで、簡便な取り付けと6m落下の衝撃に対する耐久性を向上させた。



Test study : カイト形状

またカーボンロッドを採用したことで、フレームに柔軟性が生まれ、**着地時の衝撃吸収にも効果を示した。**



・着地直前



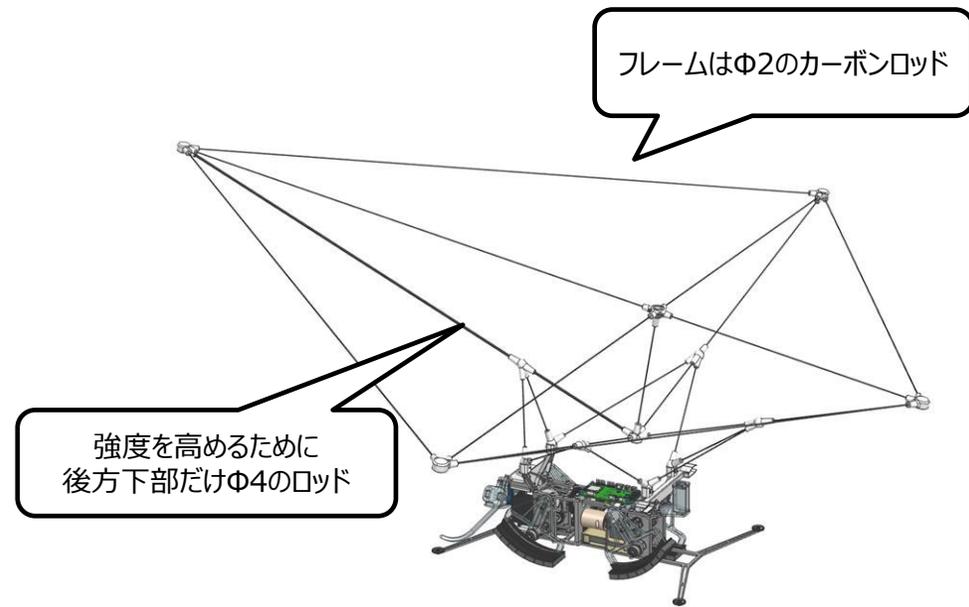
・着地時
カイトがほぼ裏返って、**着地の衝撃を吸収。**
キャップ形状のコネクタによってカイトと本体をしっかりと固定できている。



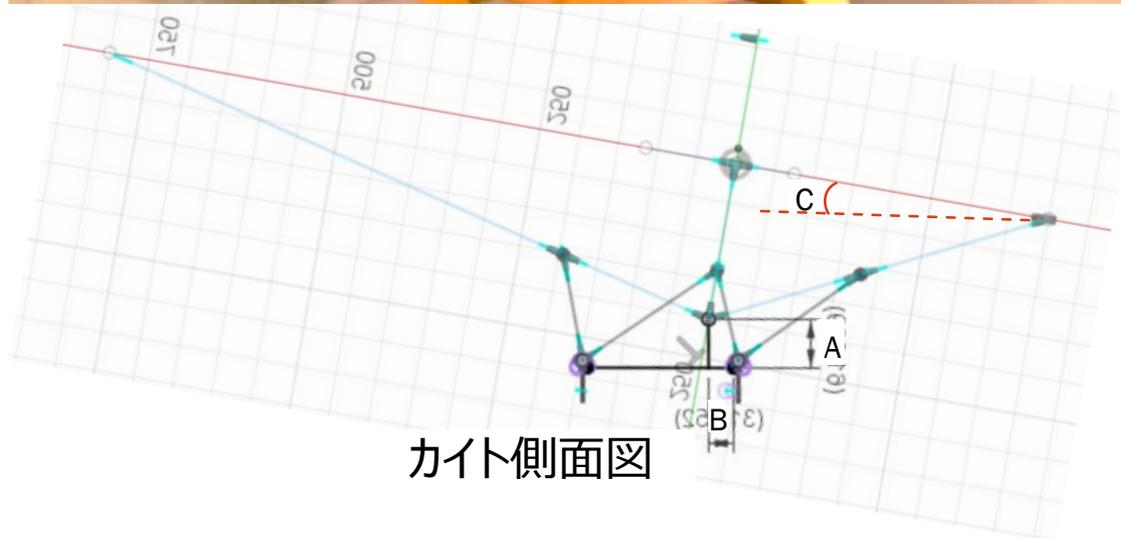
単位:[mm]

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F
前後長 L	1200	1200	1200	1200	1200	1000
オフセット S	0	100	150	200	0	0
全幅 Wa	1200	1200	1200	1200	1200	1440
高さ H	200	200	200	200	100	200

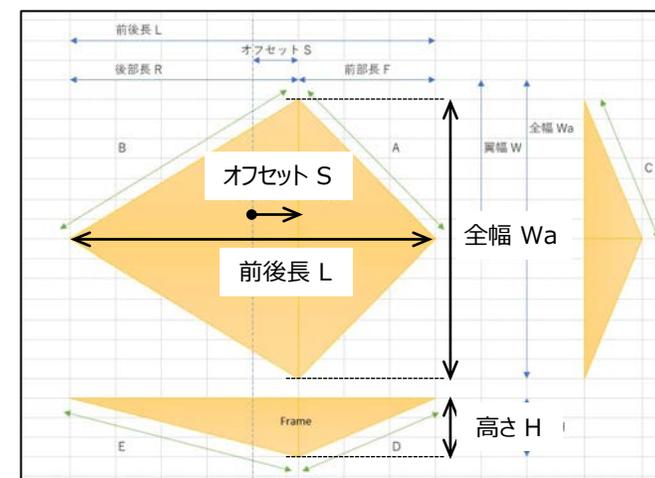
↳ 各パラメータ × 5/6
で作製



Conclusion



Type-D ₂	[mm]
前後長 L	1000
オフセット S	166.67
全幅 Wa	1000
高さ H	166.67
機体接続部とカイト最下端距離 A	60程度
前後位置 B (カイト最下端と前方機体接続の距離)	35程度
カイト上面と床面がなす角C	10°



「ネコちゃん落下25M走」を実現するしっぽ

4足歩行・飛行ロボットの方向制御を目的とした
新規操舵機構の提案と実装



©2022

【HW開発・実装】小嶋 洋至¹, 館 龍², 青木翔平³

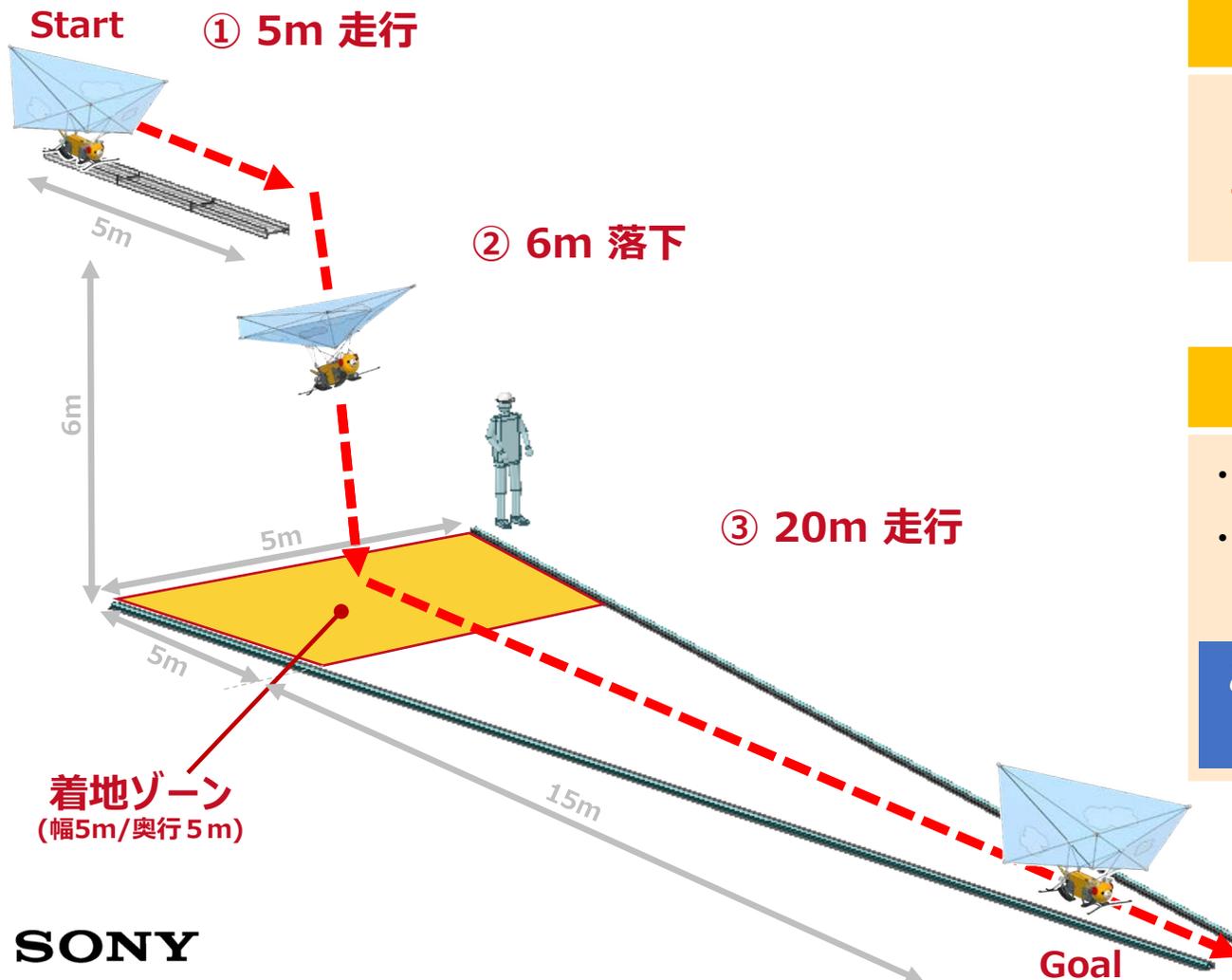
【SW開発・実装】角谷 和宣⁴, 亀山 聖太⁵, 永谷 智貴⁶

1: ソニー株式会社 モバイルコミュニケーションズ事業本部 商品設計部門 機構設計部 2: ソニーグループ株式会社 AIロボティクスビジネスグループ VISION-S推進室 3: ソニー株式会社 イメージングプロダクツ&ソリューションズ事業本部 商品技術センターコア技術第1部門

4: ソニーネットワークコミュニケーションズ 法人サービス事業室 コネクテッドソリューション部 5: ソニー株式会社 モバイルコミュニケーションズ事業本部 商品設計部門 システム設計部 6: ソニーグループ株式会社 R&Dセンター Tokyo Laboratory 12

1. 走行系設計思想と操舵の重要性

「6m落下×25m走」を素早く・安全にクリアするため、走行・操舵を別々の機構で実現する戦略



ALKNYAN 「6m落下×25m走」戦略

“高速歩行・耐落下性”を実現するため
直進走行特化の“シンプルな走行系(脚構造)”を採用

操舵機構 – “しっぽ”の必要性

- ・6m落下後、ゴール方向に機首が向いていない状態で着地する可能性
- ・20m走行区間のガイドが遠く、ガイドを利用した走行はタイムロスなどのリスクを考慮

あらゆる方向に着地しても最短距離でゴールに向かう
「操舵機構・制御」が重要！

2. 最短距離でゴールに向かうために

最短距離でゴールに向かうために、ALKNYANの向きを把握して制御を行う必要がある



最短距離でゴールへ向かう戦略

内界・外界センサを併用することで、

ALKNYAN自身が姿勢&ゴール方向を把握・制御する

- ・ **内界センサ:**
 - 【メリット】自身の姿勢を把握
 - IMU
 - 【デメリット】コース情報が把握できない

+ → **お互いに補い合うシステム**

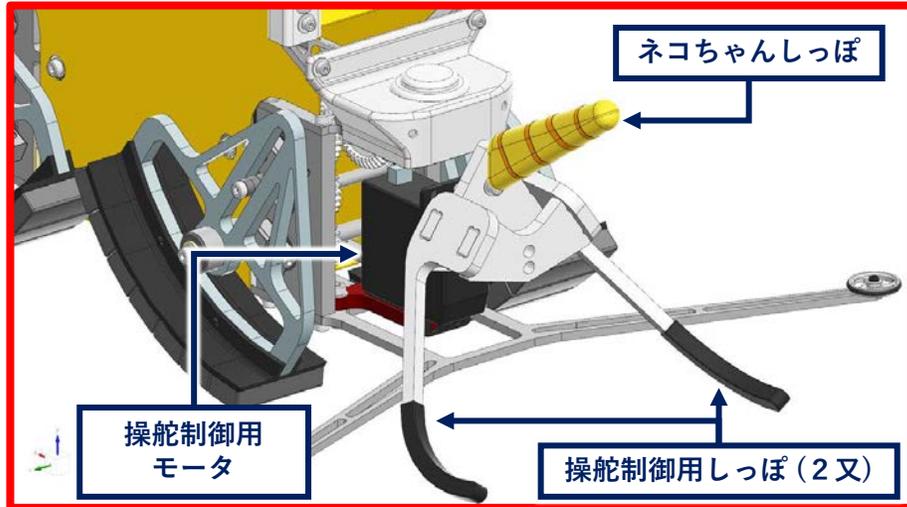
- ・ **外界センサ:** ゴールの方向, 自身の大まかな位置情報を
- 灯台 ALKNYANの外部から教えてもらう

基板を考慮し, 1つのモータで操舵制御を行う!

チーム Sニ一

3. “しっぽ”に着目した, ネコちゃんらしい操舵機構

限られた空間・1つのモータを使い, ネコちゃんの方角を制御する



“しっぽ”を活用した操舵機構

- 脚部等が常時接地する機構：四足歩行と言えないと判断
- 操舵機構を接地できる空間：機体後方の限られたスペースのみ

“しっぽ”に着目し, 操舵方法を検討

“しっぽ”を瞬間的に接地

片側の脚部をスリップ or 浮かせ,
疑似的に左右速度差を生み出す

走行系と独立した機構で
疑似差動駆動を実現!



↑PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

4. 「6m落下」戦略・状態を考慮した形状変更

「6m落下」をクリアするため、着地時の転倒や落下衝撃などについて検討&改良を実施

機体転倒した場合の起き上がり

1st プロトタイプ: ネコちゃん魔改造



地面を強く押し機体を起こす

パラシュート等を想定

脚部からの着地難易度が高く起き上がりへの対応が必要

【課題点】

- 落下装備との干渉
- 起き上がり対応による“しっぽ”大型化
- 大型化による応答性低下, 振動増加

機体を起こすために、重心位置までしっぽを伸ばす必要があった

2nd プロトタイプ (Theo Jansen)



起き上がり機能の廃止 & 小型化設計

カイトにより脚部からの着地が可能に!



飛び出す瞬間 & 落下衝撃への対策

- 飛び出し時, しっぽが引っかかる
- 落下衝撃を受け, 破損しやすい

引っかかりにくく, たわみ易い材料・形状に改良

3rd プロトタイプ → **4th 本番形状**



引っ掛かりやすい

たわみにくく破損しやすい



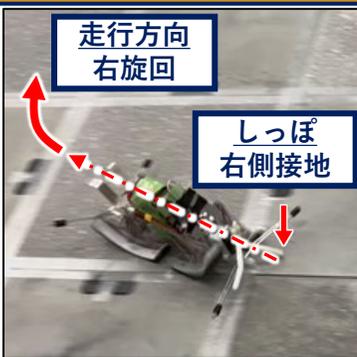
PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。!

5. 接地状態による旋回モードの変化と再現性向上

しっぽの接地状態によって旋回方向が変化することが判明し、旋回状態の再現性を向上

接地方向と同側へ旋回
接地高さ=小
しっぽの摩擦抵抗により接地側に旋回

走行方向
右旋回



しっぽ
右側接地



接地方向と逆側へ旋回
接地高さ=大
接地側後脚が浮き、非接地側前脚の駆動が支配的

走行方向
左旋回



しっぽ
右側接地



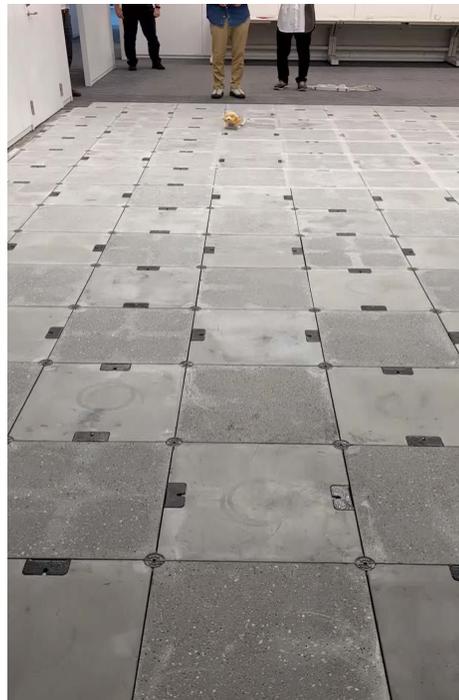


旋回モードの再現性を高める設計

高速走行・耐久性等を考慮し
同方向への旋回モードを採用

接地高さのバラツキを低減
バネ性を持つ形状

長尺・幅細化
↓
たわみ易さUP

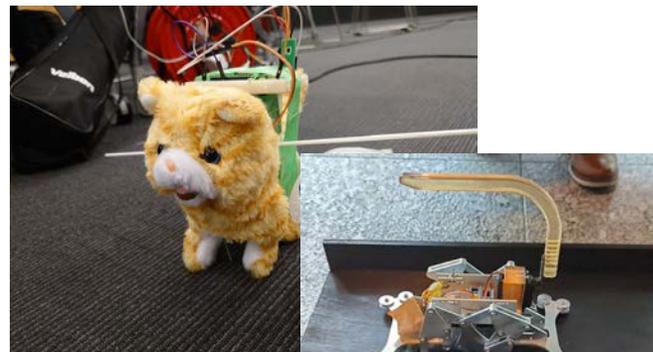
↑ PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

走行の結果

- 本番終了後残った足跡から、ある程度綺麗に直進出来ていたことが確認できた。
- 第1試技と第2試技で、ほとんど同じコースを走行した。

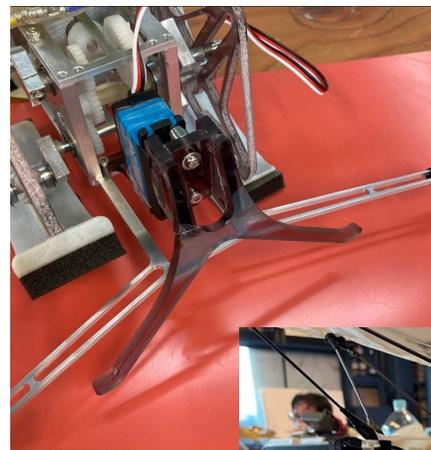


方向操舵機構の変遷

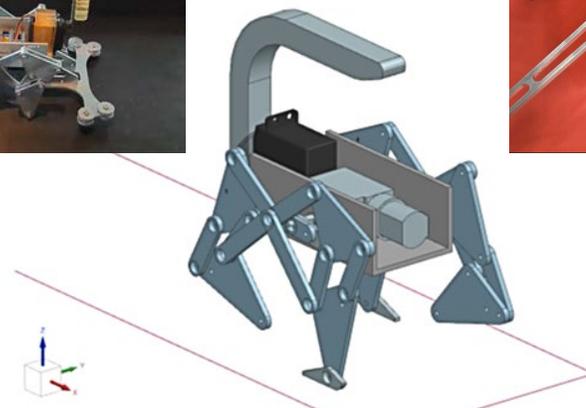


第1世代

第3世代



第0世代



第2世代



第4世代

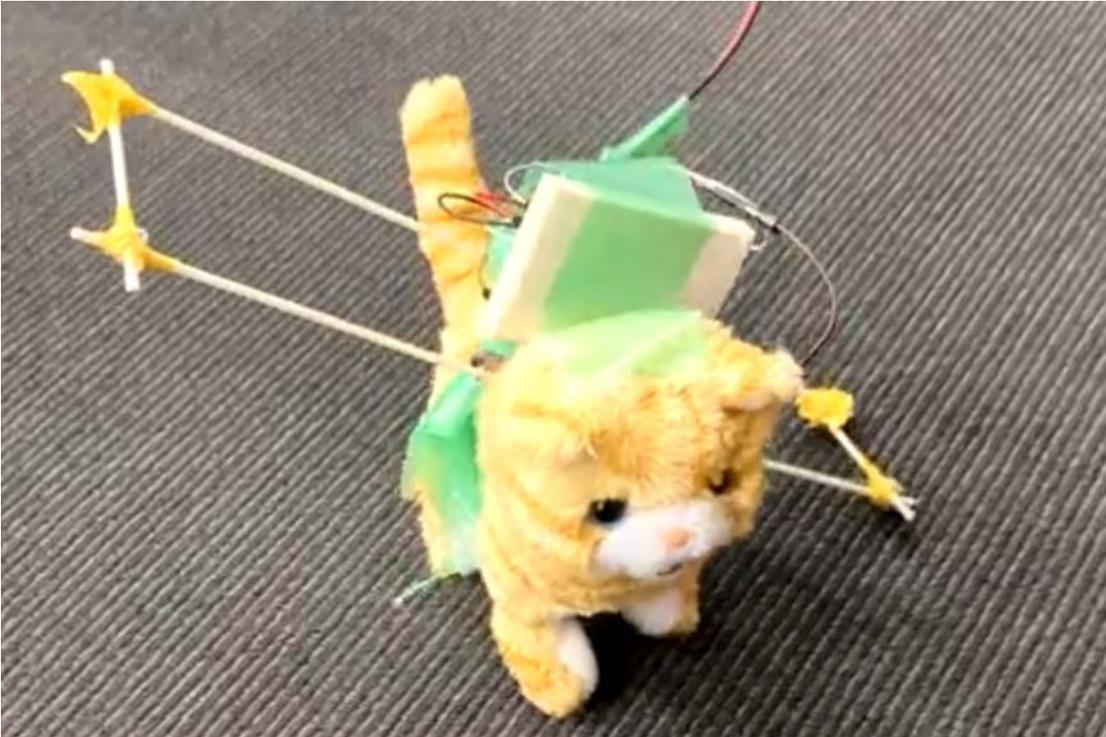
	第0世代	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
方向操舵	○	○	○	○	○
起き上がり	—	○	○	×	×
応答性	—	△	×	○	○
サイズ影響	—	中	大	小	小
落下時影響	—	—	○	○	×

第0世代 - 既製品のキットを改造



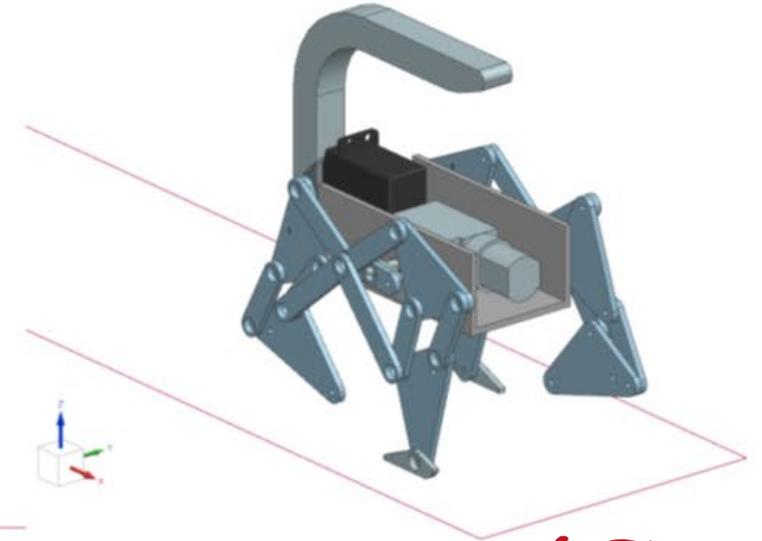
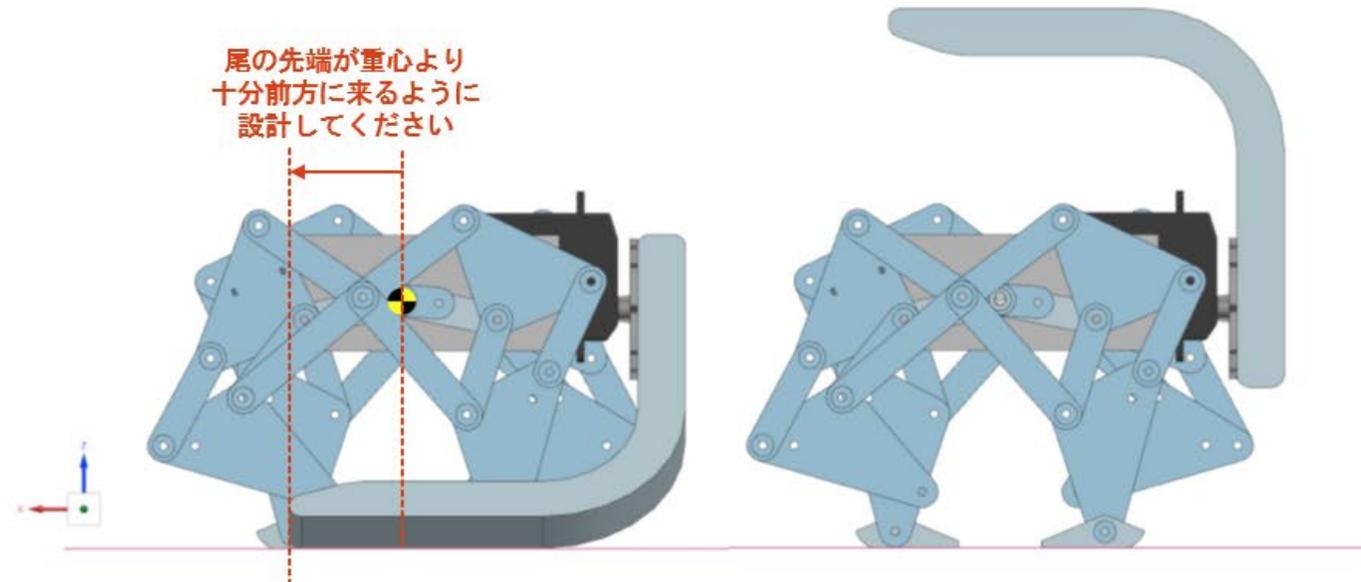
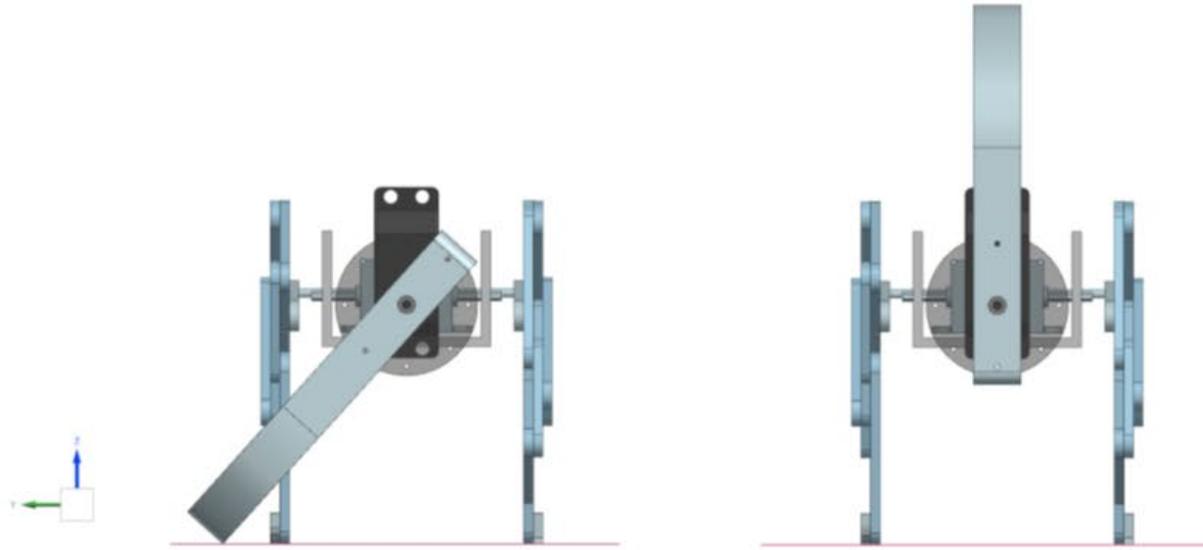
	第0世代	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
方向操舵	○	○	○	○	○
起き上がり	—	○	○	×	×
応答性	—	△	×	○	○
サイズ影響	—	中	大	小	小
落下時影響	—	—	○	○	×

第1世代 - 指定のネコちゃんを改造



	第0世代	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
方向操舵	○	○	○	○	○
起き上がり	—	○	○	×	×
応答性	—	△	×	○	○
サイズ影響	—	中	大	小	小
落下時影響	—	—	○	○	×

第2世代 - 第1世代を実機に落とし込み



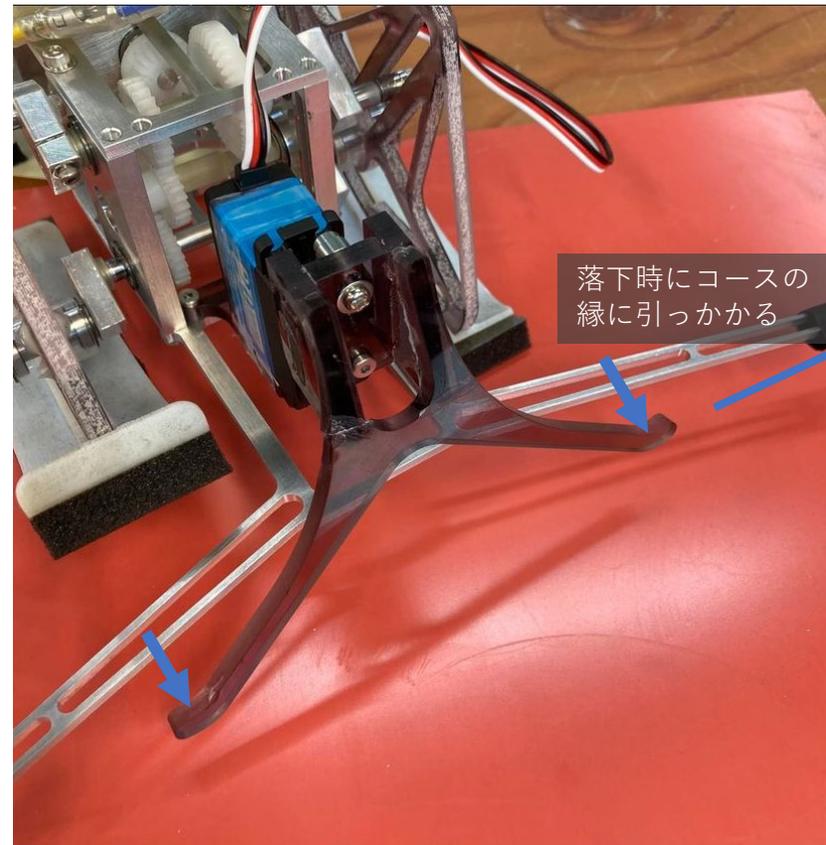
第3世代 - 省スペース化

1. 起き上がり機能廃止
(逆傘構造で足から着地の目途が立ったため)
2. 二股化による即応性向上



課題=強度(FDM造形材では落下に耐えられず)

1. ポリカで強度向上



強度の課題は解決
(課題=落下の時にコースの縁に尻尾が引っかかり、安定した着地ができない操舵が安定しない)



第4世代 - 落下・高速走行に対応した最終形状



1. 落下時引っかからないようにコースのヘリより先に押し出すように機体を滑らせ、且つ十分しなる（弾性変形する）ように形状変更



落下時にコースの縁に当たっても樹脂の弾性変形によるしなりでいなす



落下時引っかからず、安定した落下/着地姿勢を実現

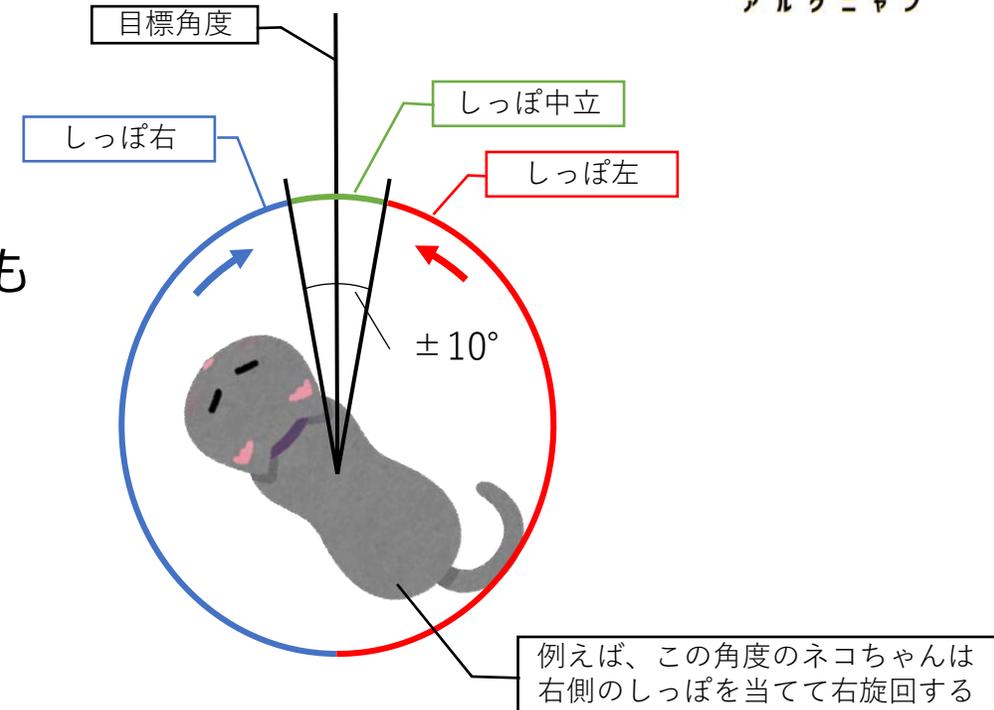
最初の自動制御 P制御(のようなもの)

- 概要

- $\pm 10^\circ$ の外で、しっぽを地面に当てて旋回
- $\pm 10^\circ$ の内側ではしっぽを上げる
- これ以上無いほどシンプル
- $\pm 10^\circ$ は壁の角度の 6° より深いいため、壁に沿って走行しても操舵が反応して減速することは無い

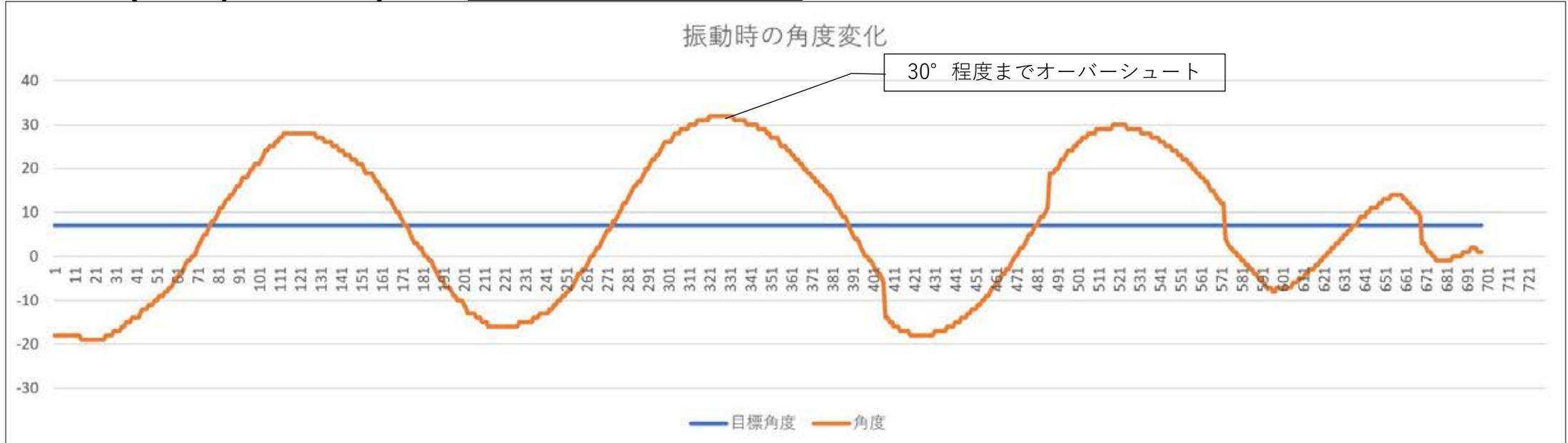
- 結果

- 綺麗に動作。ただし走行モーターのduty指令は35%。



高速化で振動が発生

- 高速(duty100%)では激しい振動が発生し、タイムロスに



- 考察

- 速度が低い間は、当てていたしっぽを上げるとすぐに角速度が減少した。

- この頃は旋回半径が大きかった

- 常に足が2点以上当たっていて、旋回を止める力が大きかった？

- 全速で走ると、しっぽを上げてても角速度が殆ど落ちなくなった。

- 多くの期間で足が浮いていて、旋回を止める力が働かない？

- →角速度を能動的に落とす、“当て舵”の動作が必要？

改良した自動制御 微分先行型PD制御(のようなもの)

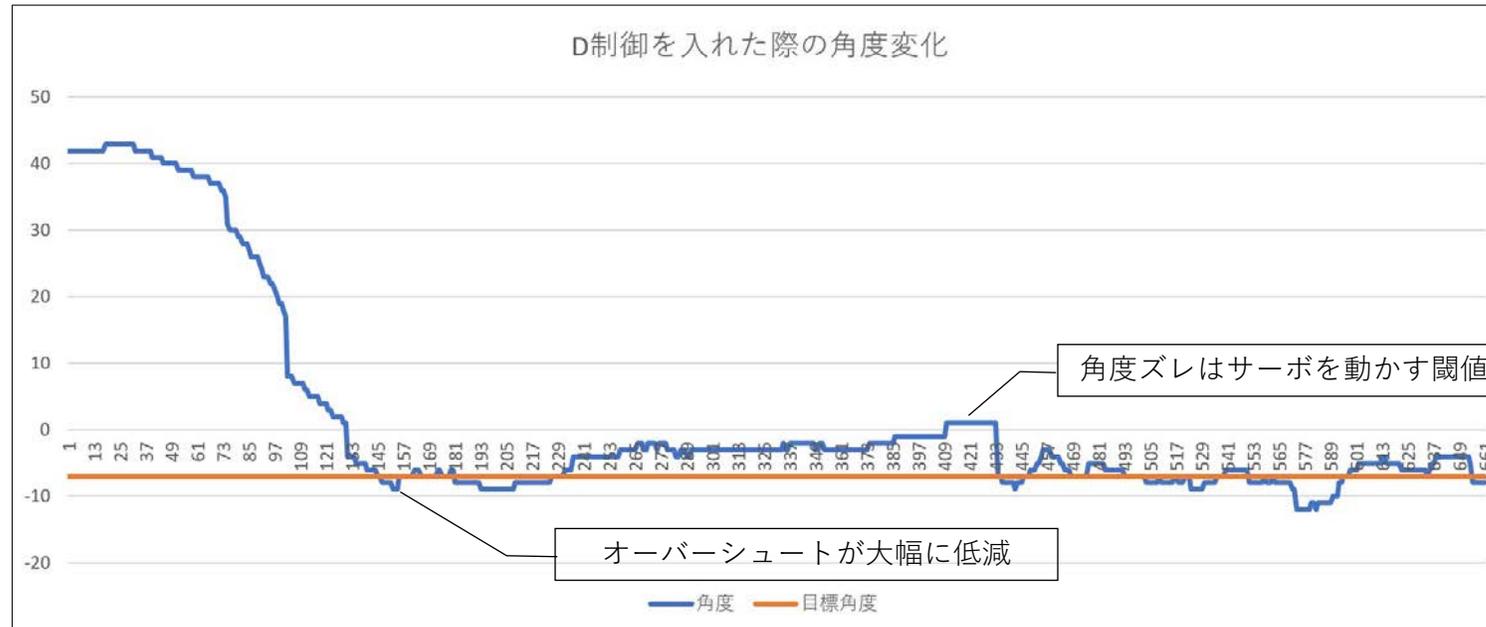


- 概要

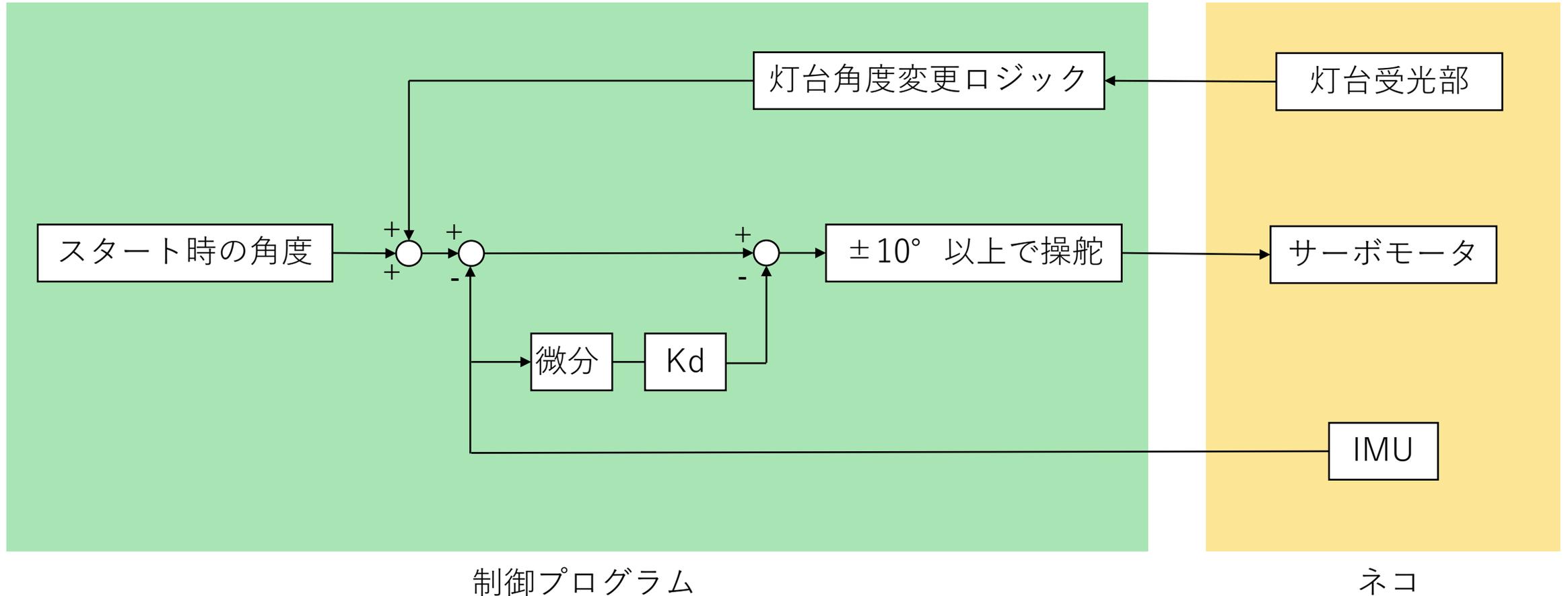
- 目標角度(target)に、制御周期(10ms)ごとの角度差分 ω と定数Kdの積を足して制御
 - IMUの出力角度と $\text{target} + \omega * Kd$ との差が $\pm 10^\circ$ を超えたらしっぽを地面に当てる
- 大きな角速度で目標角度に近づいた場合には、早めにしっぽを上げて角速度を落とし振動を抑制する
- 角速度がかなり大きい場合は、目標角度に到達する前に当て舵を利かせてより角速度を落とす

- 結果

- 高速(duty比100%)でも振動せず。
- 直進性が向上



操舵制御システム全体



“灯台”については、詳しくは灯台の項を参照

電気システム全体については、電気システムの項を参照

「ネコちゃん落下25M走」を実現する電気制御

ALKNYANの電気・制御設計と検討・実験の記録



©2022

亀山 聖太 / 永谷 智貴 / 角谷 和宣 / 久保寺 祐一

目次

全体の動作と電気システムの仕事

電気設計

落下検知

着地検知

操舵制御

デバッグ用ツール

フェイルセーフの検討

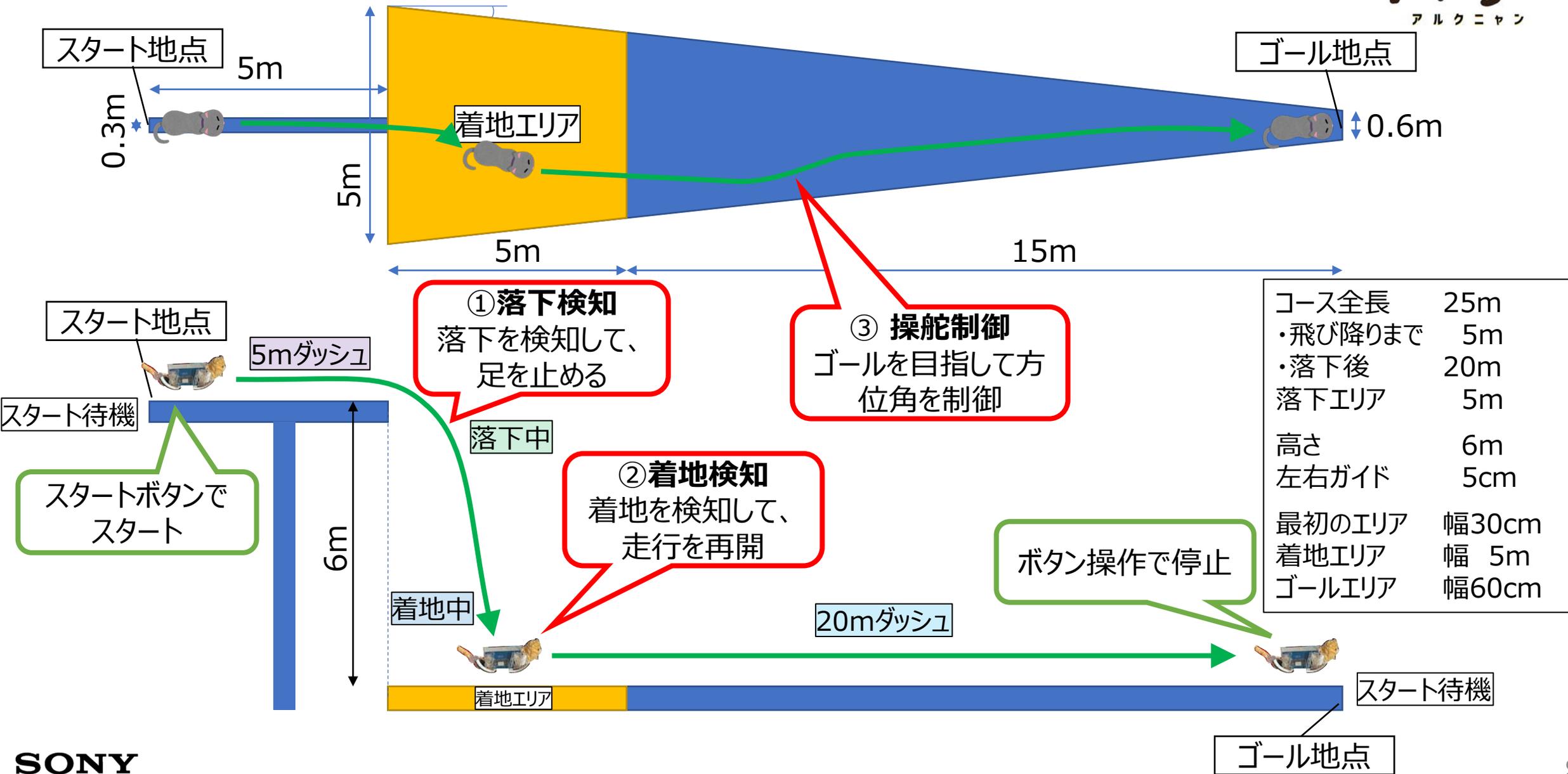
その他の開発途中にあった物

日程



	-3週目	-2週目	-1週目	0週目	1週目	2週目	3週目	4週目	5週目	6週目	7週目
番組イベント				★お題発表			★本番現場視察 テストラン			★搬入 ★本番	
ねこ全体 マイルストーン (予定)	★メンバー募集メール送信 メンバー募集 →		★Kick off	★チーム編成	★アイデア統合		★お題初クリア 目標日	★本番機完成	★練習		
ねこ全体 実績結果						★練習用の倉庫視察		★お題初クリア 完動			
電気システム					★脚部コンペ		★脚部確定	★STM32導入開始 →	★本番基板完成		
					★IMU落下実験	★ESP32基板完成	★手動操舵実験		★自動操舵導入(P制御)	★灯台導入	
					★誘導システム・灯台検討開始				★PD制御導入		
					★DualSense®導入						

電気システムの仕事



自動モードとシーケンス



1. スタート待機
 - スタートを待つ状態。
 - DualSense®の△ボタン or 機体のスタートスイッチが押されると次のステートに遷移。
2. 5mダッシュ
 - 崖に向かって5m走行する状態。
 - 機体のピッチ角変化が一定以上になったら次のステートに遷移。
3. 落下中
 - 走行を停止し、着地を待つ状態。
 - 加速度のノルムが閾値を上回ったら(一定の衝撃を受けたら)次のステートに遷移。
 - 一定の衝撃が無くても、このステートに入ってから3秒経ったら次のステートに遷移。
4. 着地中
 - 着地時のバウンドが収まるのを待つ状態。
 - このステートに入ってから100msec後に次のステートに遷移。
5. 20mダッシュ
 - ゴールめがけて20m走行する状態。
 - DualSense®の×ボタンが押される or 本体のスタートスイッチを長押しされるまで走り続ける。

チーム Sニ一

手動モード



- 各機構の動作確認のため、手動で操作するモードを用意

Manual mode

L1: しっぽ可動範囲：狭
L2: しっぽ可動範囲：広

R2: モーター（Lスティック）上限廃止 (-100~100%)

ソレノイドON

しっぽ左
しっぽ右

30%
25% 35%
20%

モーター前進

モーター速度 (Lスティック)

R2なし	-50% ~ 50%
R2押下	-100% ~ 100%

前進
後進

しっぽ左
しっぽ右

しっぽ可動範囲 (Rスティック)

L1押下	-10° ~ 10°
L1 L2なし	-20° ~ 20°
L2押下	-30° ~ 30°

© Sony Interactive Entertainment Inc. All rights reserved.
Design and specifications are subject to change without notice.

自動 / 手動モード切替



- 自動モードと手動モードを切り替えられるようにした



◆使い方

①PSボタンを押して接続

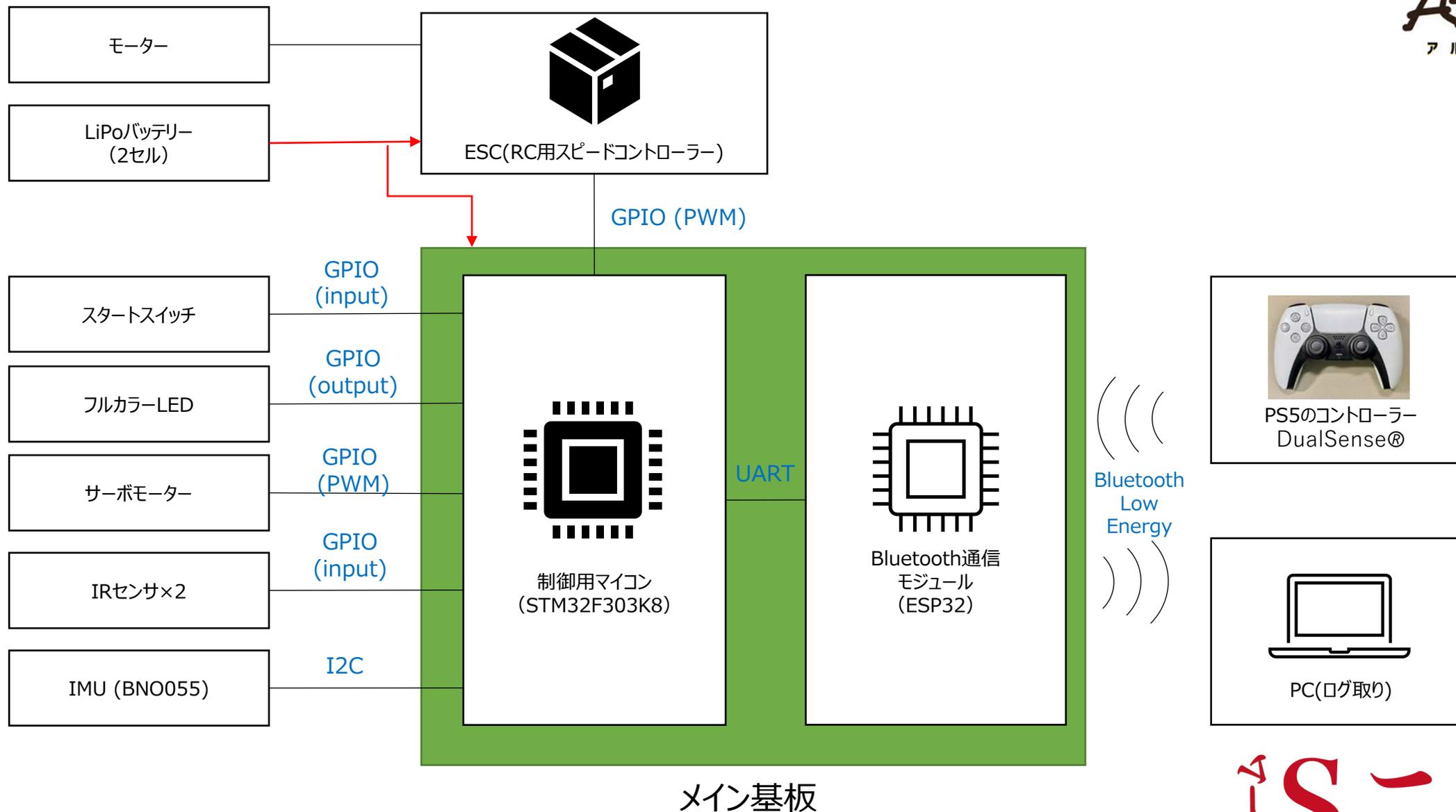
②モード選択をする

※起動時の初期値：Auto mode

- ・手動操縦したい場合→Manual modeボタン
- ・自動で動かす場合 →Auto modeボタン

© Sony Interactive Entertainment Inc. All rights reserved.
Design and specifications are subject to change without notice.

システム構成



STM32とセンサ・アクチュエータの接続



- IMU
 - I2C通信で姿勢情報を取得
- ESC(RC用スピードコントローラー)
 - PWM出力機能で500-1500[us]のパルスを出力
- サーボモーター
 - PWM出力機能で500-1500[us]のパルスを出力
- フルカラーLED
 - デジタル出力
- 赤外線センサ
 - デジタル入力。赤外線センサを直接読むのではなく、センサ側に米粒マイコンを搭載して信号をデコードさせた。
 - センサ側マイコンは2本のデジタル出力を持ち、それぞれに割り当てた赤外線信号受信でHIGHにする。
- スタートスイッチ
 - デジタル入力
- ESP32
 - UARTで通信
 - ログを送信、コントローラのデータを受信。

背景・目的（なぜ落下検知が必要なのか？）



- **落下中は足の回転を止めることが必要**だった。
 - 足が回転したまま着地することに多くのデメリットが存在する。
 - 足にモーターの力が加わったまま落下の衝撃が加わることになるので、当たり所が悪いと足のパーツが破損してしまう。
 - 変にバウンドしてしまったりして、着地の姿勢が安定しない。
 - モーターにも負荷がかかってしまう。
 - 一方、回転が止まっていると衝撃に合わせて足が動けるので、ある程度衝撃を吸収でき、着地時の姿勢も安定する。
- **落下したことを検知して足を止め、安定して着地するために落下検知が必要**だった！

加速度を利用して落下検知を試みる

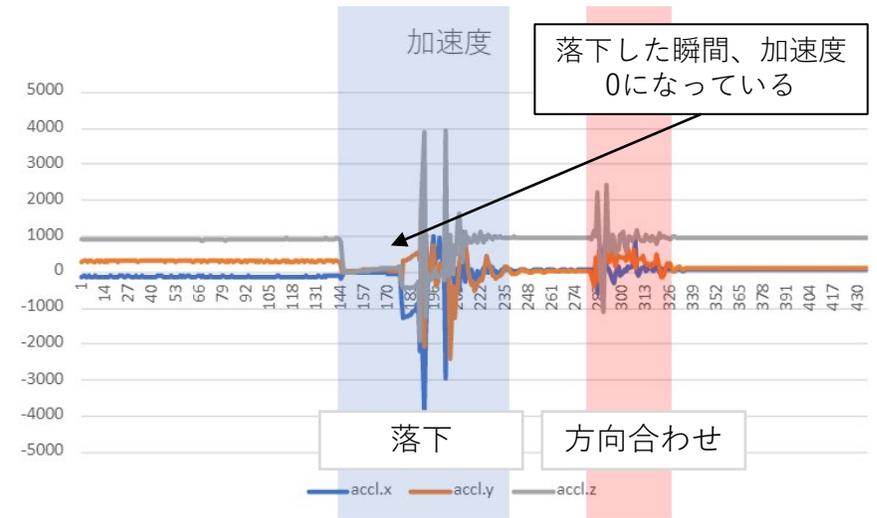
- 加速度のノルムが0になったら落下していると判定できると予想。



プラスチックケースにモバイルバッテリーとIMUを封入



6mからコンクリボードに落下。
落下後、プラスチックケースを
落下前と同じ方向に手で合わせる。

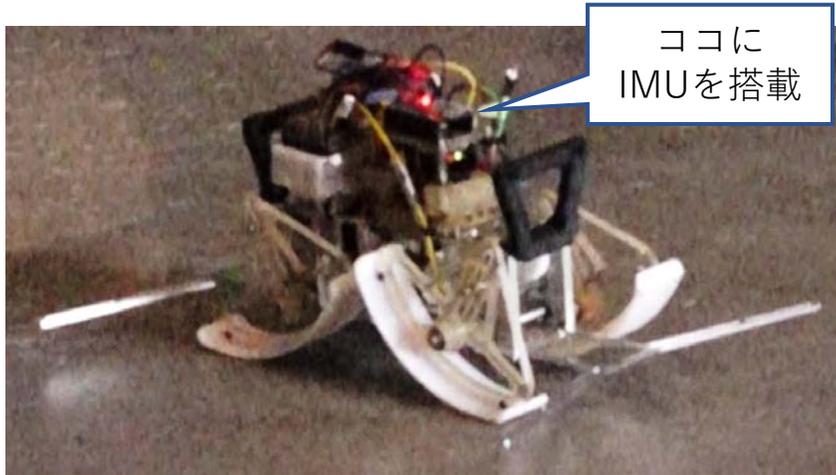


ログを回収・分析

- 落下した直後、加速度が0になっていることを確認。
- 予想通り、**加速度を見て落下検知できそう。**
→ **加速度のノルムが閾値を100ms下回ったら落下検知**と判断する制御を実装。

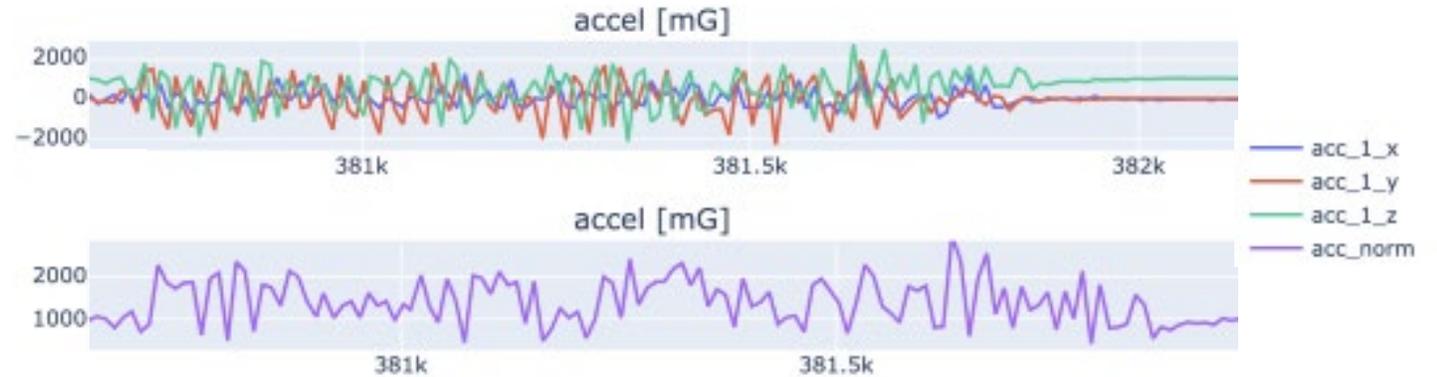
ネコに載せて落下検知できるか実験したが、うまく行かないことが判明…

- ネコに載せてみると、**落下検知が思うように作動しないことが発覚**。
 - **モーター作動中のネコの上下動によって、加速度の値が想定以上にブレてしまうことが原因**。



IMUを搭載したネコ機体

5m走行中&落下中の加速度の推移



- 走行中と落下中で加速度の値に大差がなく、**閾値を定めるのも困難**と分かった。
- z軸の加速度だけ利用したり、移動平均を利用して高周波成分を除去したりしたものの、**安定して落下検知することはできなかった**。

機体の傾きを利用して落下検知を試みる



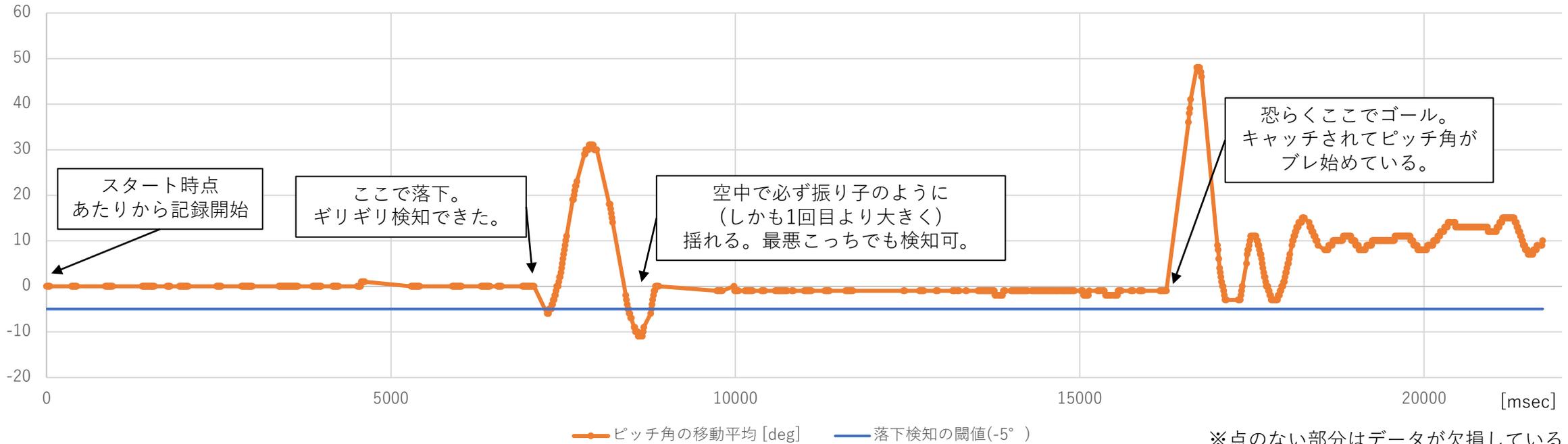
- 何度かネコの落下を繰り返して、**落下時はネコが必ず前に傾くことを発見**。
ピッチ角が一定以下になったら落下中と判定できると予想。
- 何度かログを取ってみたところ、下記のこと分かった。
 - モータースピード50%で走行し落下した場合、ピッチ角は約20°変化する。
 - スピードが上がるとピッチ角の変化は小さくなるものの、傾き検知は可能。
 - 5m走行中の傾きはほぼなし。
 - 移動平均を使ってピッチ角のブレを除去することで、ネコの上下動による問題も回避可能。
- 予想通り、**傾きを使う事で落下検知ができそう**。
 - 最初は加速度の変化とピッチ角の傾きを組み合わせた落下検知を考えていたが、実験の結果、加速度の変化は不要との結論に至り、傾きのみで落下検知を行うことに決定。
 - **100ms分の移動平均を取ったピッチ角の変化が、閾値を下回ったら落下検知**と判断する制御を実装。

最終的なパラメータと本番のログ(第1試技)



- 第1試技: 移動平均を取ったピッチ角の変化が -5° を下回ったら落下検知
 - 機体のチューニングが進んで走行速度が上がった結果、最終的に落下時にほぼ傾かなくなり、閾値がギリギリになってしまった…
 - 今思うと、空中で仰け反ること(ピッチ角変化が 10° 以上になる等)を検知する方が確実だったかも。

ネコのピッチ角推移(第1試技)

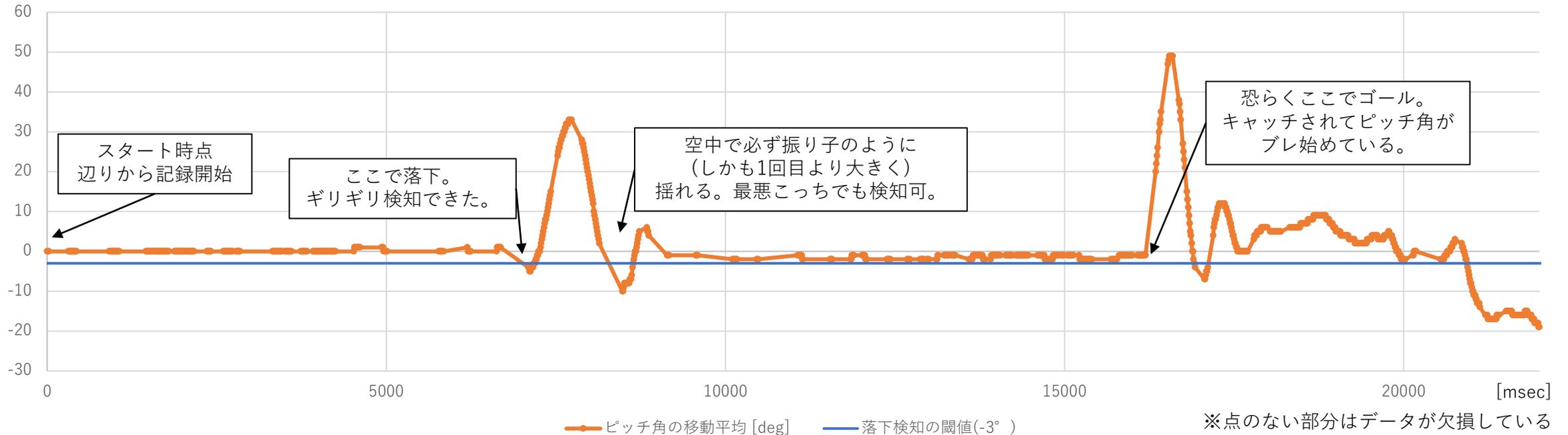


最終的なパラメータと本番のログ(第2試技)



- 第2試技: 移動平均を取ったピッチ角の変化が -3° を下回ったら落下検知
 - 5m走行時のスピードを上げた(モーター出力を100%にした)代わりに閾値を下げた。
 - 第1試技の結果から5m走行中は $0\sim 1^{\circ}$ しか傾かないと分かっていたからこそ、閾値を下げられた。

ネコのピッチ角推移(第2試技)



その他に検討した落下検知手法



- 測距センサを用いた落下検知
 - 床との距離を測っておき、床がなくなったら(5m走行後、空中に出たら)落下と判断できると推測。
 - 使用部品:GP2Y0E02A
 - 実験の結果、床の有無を検知でき、落下検知にも使えそうと分かった。
しかし、下記の理由から導入を断念。
 - IMU単体でも安定して落下検知できたため。
 - なるべく部品数(制御対象の数)を減らす方針で基板を作成していたため。
- フォトリフレクタを用いた落下検知
 - 崖に白線を引いておいて、走行中に白線を検知したら落下開始と判断。
 - 使用部品:LBR-127HLD
 - 実験の結果、白線の検知ができることは確認できた。
しかし、安全面の理由により、崖に白線を引くことができなくなったので導入を断念。

背景・目的（なぜ着地検知が必要なのか？）



- 落下中は足を止める制御をしていたので、**着地後すぐに走行を開始するために、着地検知が必要だった。**

加速度を利用して着地検知を試みる

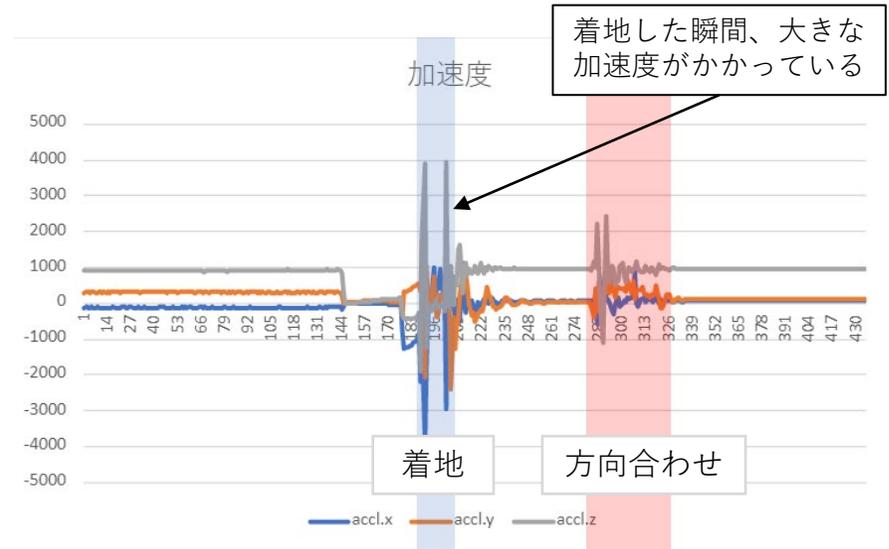
- 加速度のノルムが一定以上になったら(=大きい衝撃を検知したら)落下していると判定できると予想。



プラスチックケースにモバイルバッテリーとIMUを封入



6mからコンクリボードに落下。
落下後、プラスチックケースを
落下前と同じ方向に手で合わせる。



ログを回収・分析

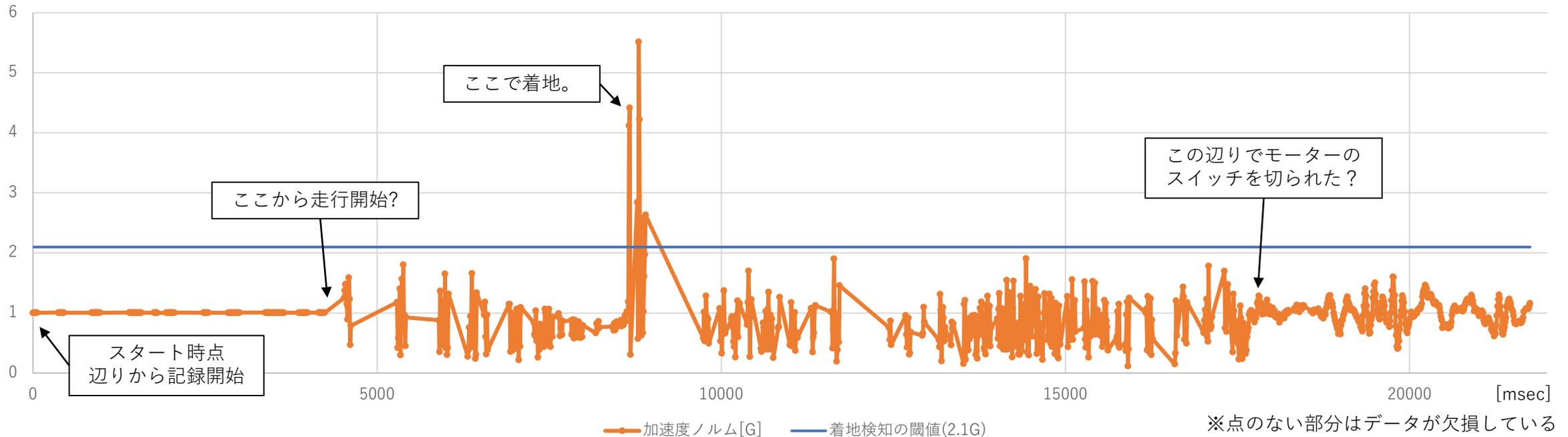
- 着地時、大きな加速度がかかっていることを確認。
- 予想通り、**加速度を見て着地検知できそう。**
→ **加速度のノルムが閾値を上回ったら着地検知**と判断する制御を実装。

最終的なパラメータと本番のログ(第1試技)



- 第1試技: 加速度のノルムが**2.1G**を上回ったら着地検知
 - 倉庫練習での着地時は3Gも衝撃が出なかったのですが、本番環境ではもっと強い衝撃が加わっていたようだ。閾値はもっと上げられたかも。

加速度のノルム推移(第1試技)

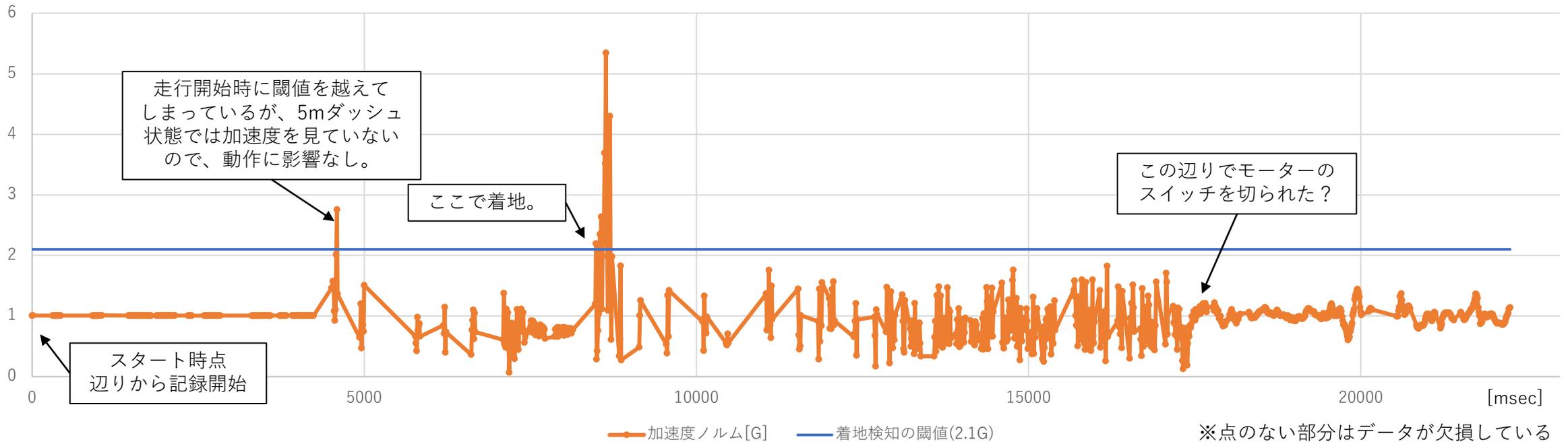


最終的なパラメータと本番のログ(第2試技)



- 第2試技: 加速度のノルムが**2.1G**を上回ったら着地検知
 - 着地検知の閾値は第1試技から変更せず。
 - 着地は安定して検知することができていて、特に不安はなかった。

加速度のノルム推移(第2試技)



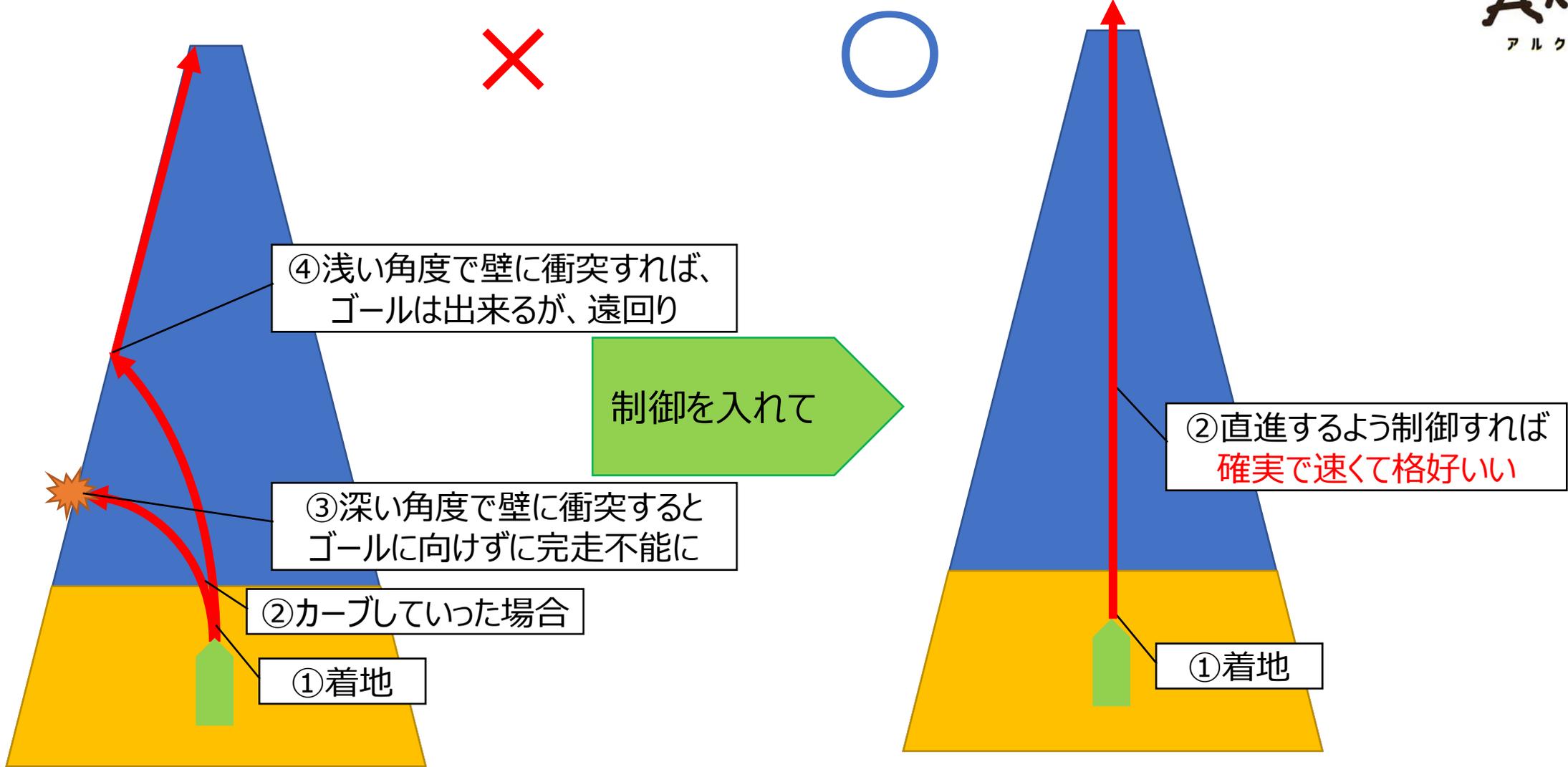
チーム Sニ一

その他検討した事項



- **IMUを複数搭載**し、落下の衝撃で一部のIMUが破損する事態に備える
 - 6mの落下はIMUを破損するに十分な衝撃が加わると予想できる。
IMUが破損すると下記の問題が発生するため、対策として複数のIMUを搭載して、破損していないIMUを使用する方法を考えた。
 - 着地検知ができなくなる。
 - 20m走行で必要となる操舵制御ができなくなる。
 - 下記の理由から、**最終的に複数のIMUは搭載せず、1つだけ搭載することに決定**した。
 - 幾多の実験を経て、6m落下してもセンサーが破損しないことが分かった。
 - 過半数のIMUが破損した場合に、正常なIMUを確実に選択する手法を考える時間がなかった。
 - なるべく部品数(制御対象の数)を減らす方針で基板を作成していた。

方向制御の必要性(1/2) 走行経路がカーブする場合

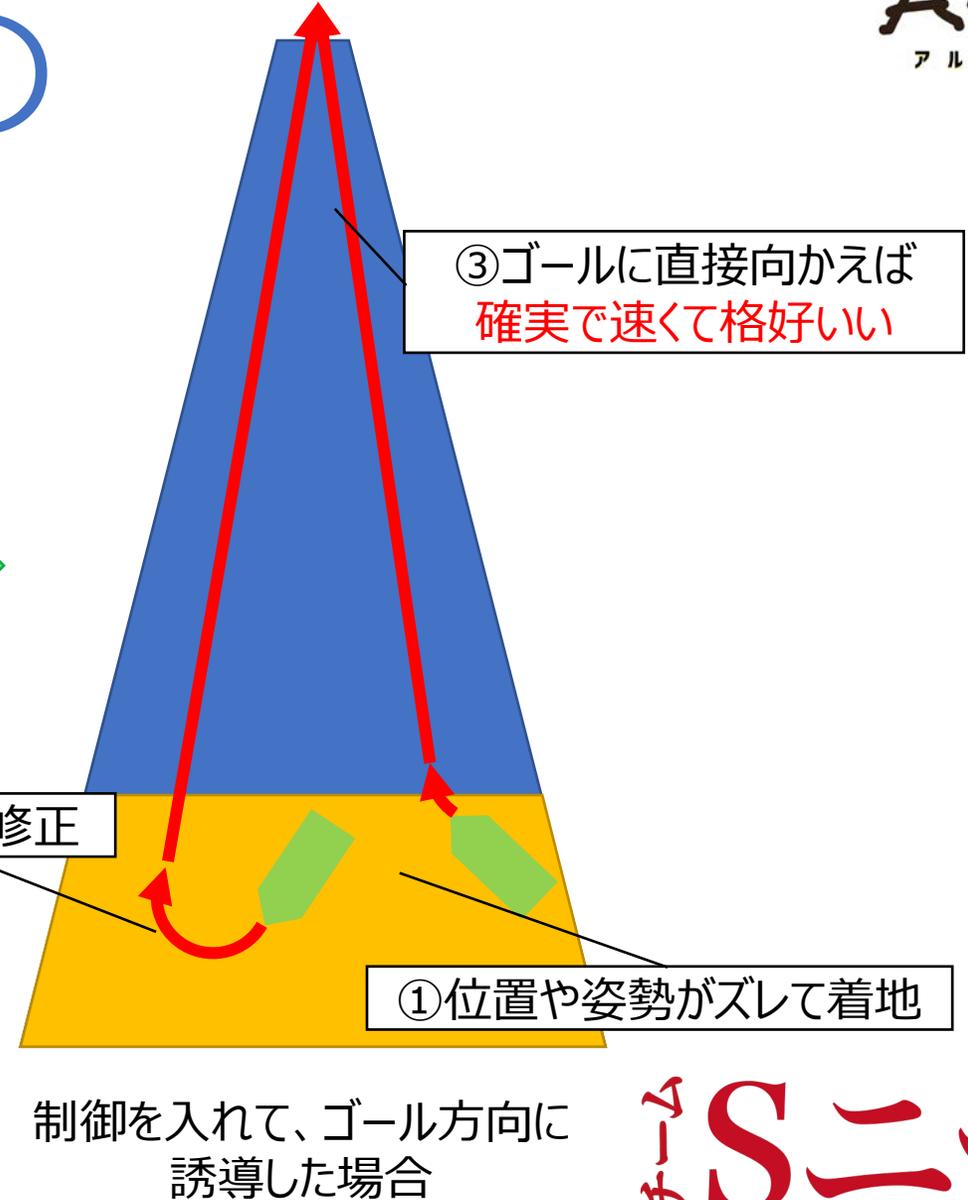
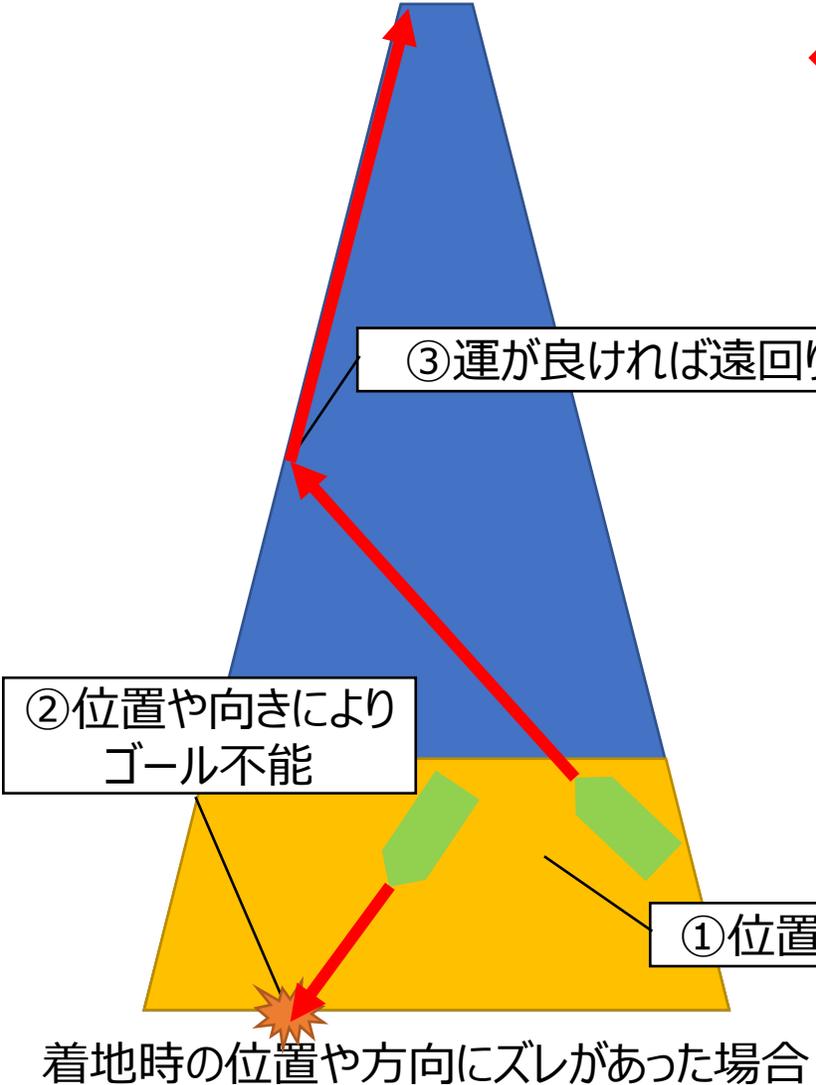


何かの要因で走行経路が曲がってしまう場合

制御を入れて、ゴールに一直線に向かった場合

ソニー Sニ

方向制御の必要性(2/2) 落下時の位置や方向がズレた場合



操舵機能に求められる要件



- **タイム向上に寄与する**
 - ゴール可能性向上や最短経路走行のメリットが、操舵機能使用による減速のデメリットを上回ること。
 - 遅くなるくらいなら操舵は外す
- **確実に完走させる。**
 - 会場の環境が何であれ、操舵機能が完走を妨げない。
 - 完走が妨げられるくらいなら操舵は外す
- 自動操舵は極めて**短い時間で開発・調整**すること
 - ハードウェアの完成は直前になりがち
 - 完成しなければ操舵は外す
- 細かな**調整が不要**
 - ハードウェアは本番直前まで変化しがち。
 - 会場で走れるのは2回だけで、調整は出来ないと思ったほうが良い。
 - 一走目で動作しないようなら、二走目で操舵は外す。場合によってはMk.0を頼って機体ごと外す。

確実にALKNYANをゴールに導くための戦略



パターン1：ゴール地点へ向かうため、全てのセンサーと操舵制御を使用して走行する



外界センサが使用不能である場合

パターン2：少なくともゴールの方角に向かうため、内界センサと操舵制御を使用して走行する

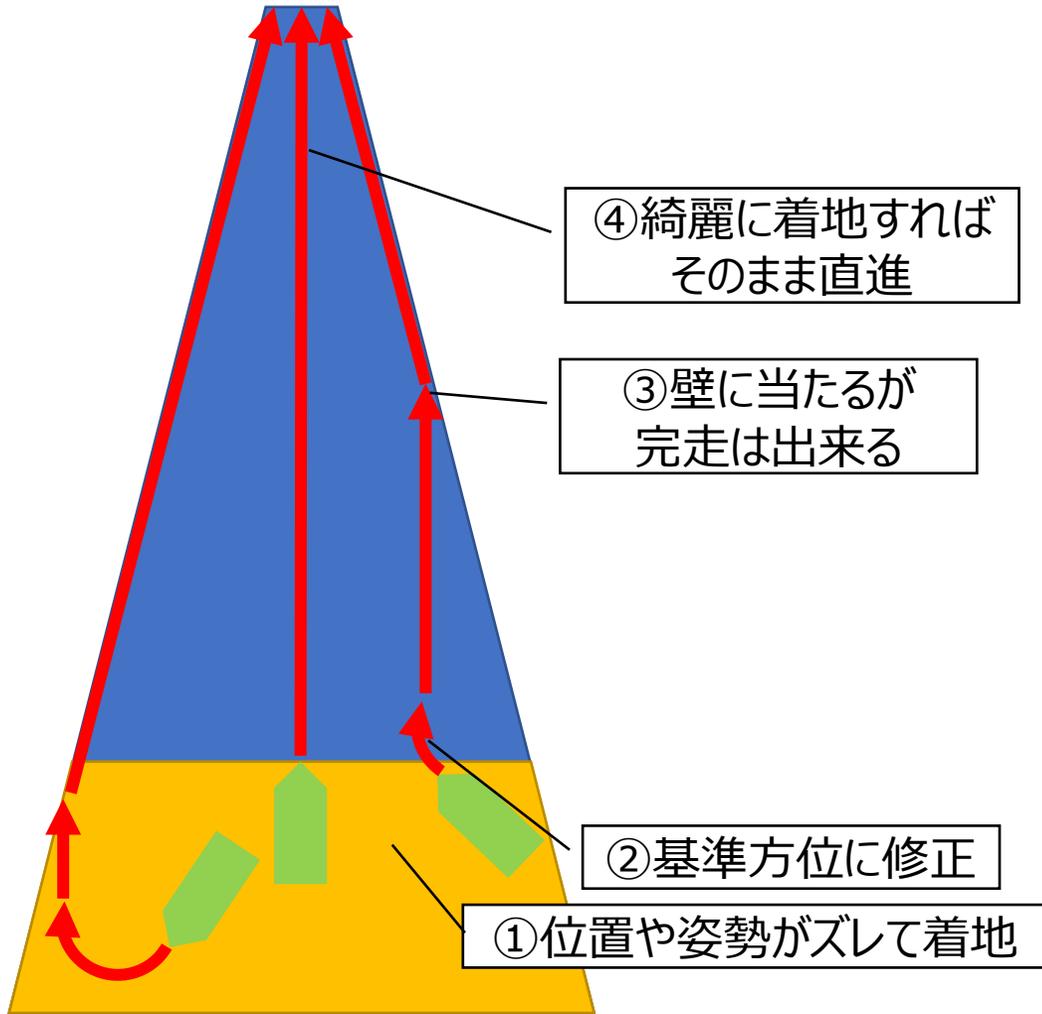


操舵制御が使用不能である場合

まずはこれが必要(次ページへ→)

パターン3：直進性の高い歩行機構と、まっすぐ着地可能な落下時減速or着地機構で制御無しにゴールが出来るよう開発する

内界センサによる制御



- **IMU**を使用した方位角の維持
 - スタート時、IMUで角度を取得し基準方位とする
 - 地上走行では基準方位を維持する制御を行う
 - 会場の照明や材質に影響されず確実に動作出来る。
- 足りない部分
 - 直接ゴールを目指さない走行経路は最短ではない。壁に当たれば遠回り。
 - 壁に当たっている間は推進力のロス

→信頼性の高いIMUのみでの走行が必要
足りない部分は別に追加

IMUで制御をする前に… IMUの特性調査

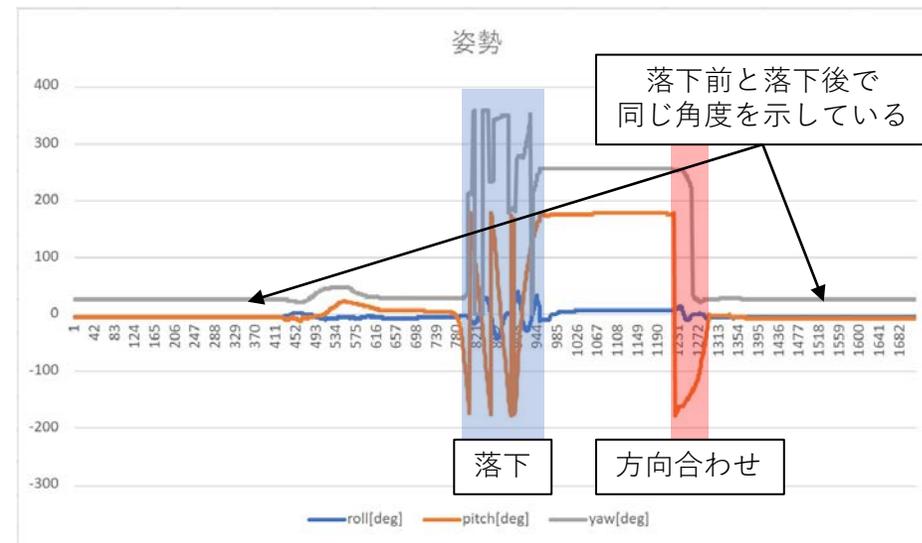
- 落下時の衝撃による角度ズレを調査



プラスチックケースにモバイルバッテリーとIMUを封入



6mからコンクリボードに落下。
落下後、プラスチックケースを
落下前と同じ方向に手で合わせる。

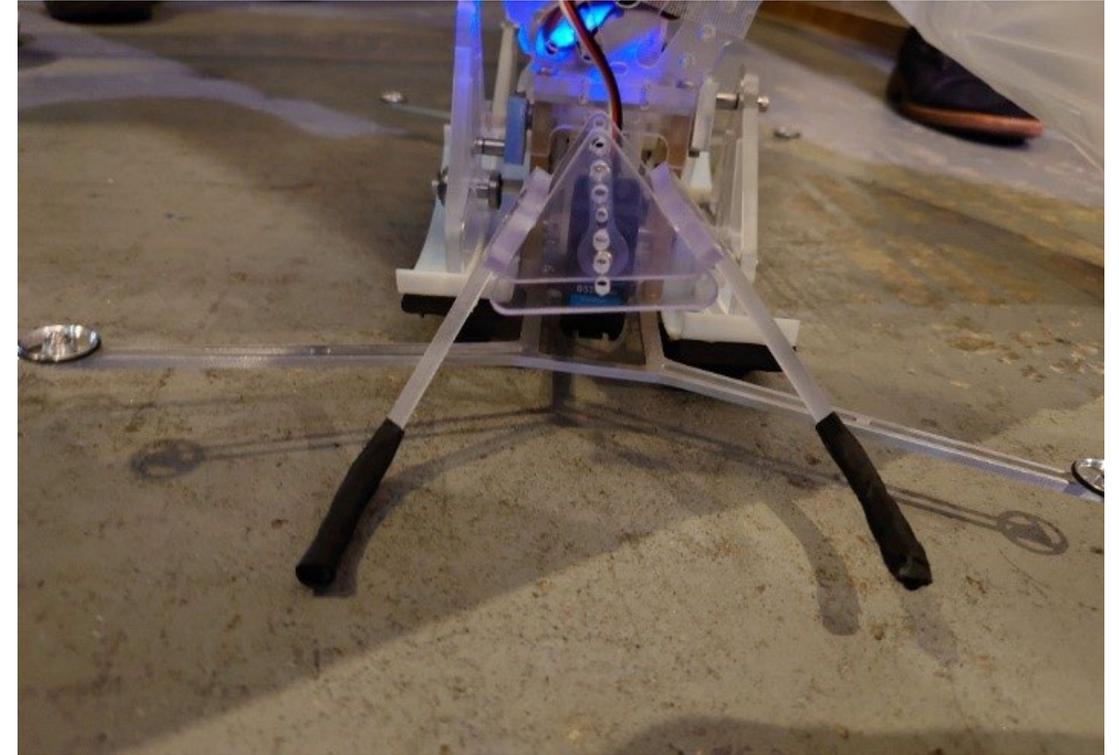


ログを回収・分析

- 実機で10度以上はズレないことを確認。
- 多くの場合、目に見えて分かるズレは発生せず。十分使えそう。

曲がる方法 しっぽ

- ネコの後方に設置された操舵装置
- サーボモーターで角度を変えることができる。
- 下方左右に突き出た2又操舵用しっぽを地面に当てると、当てた方向に曲がる



自動制御の実装: P制御(のようなもの)

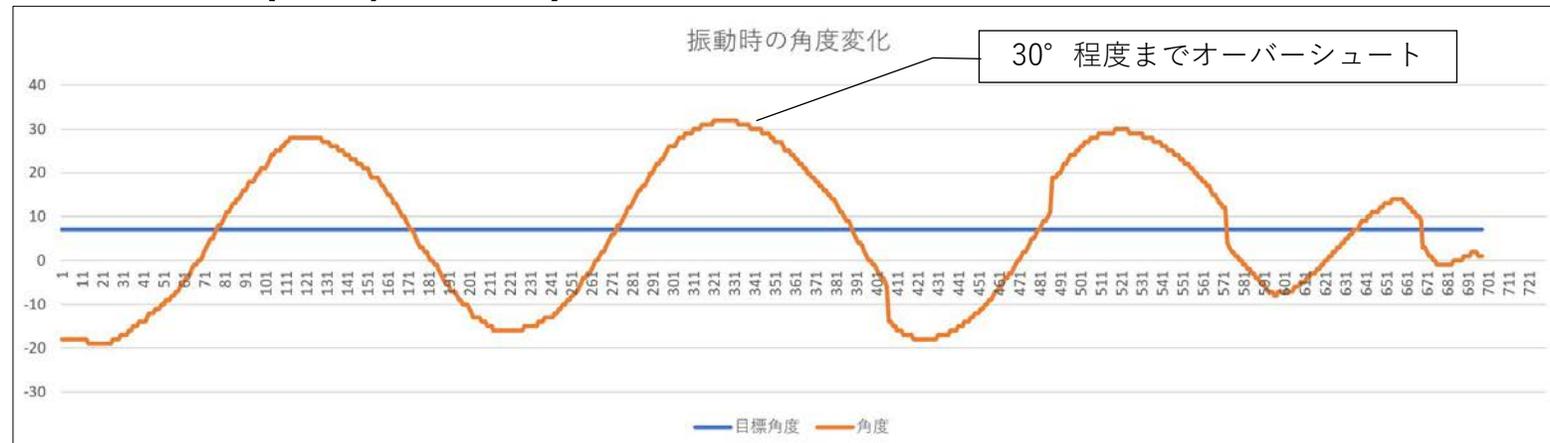
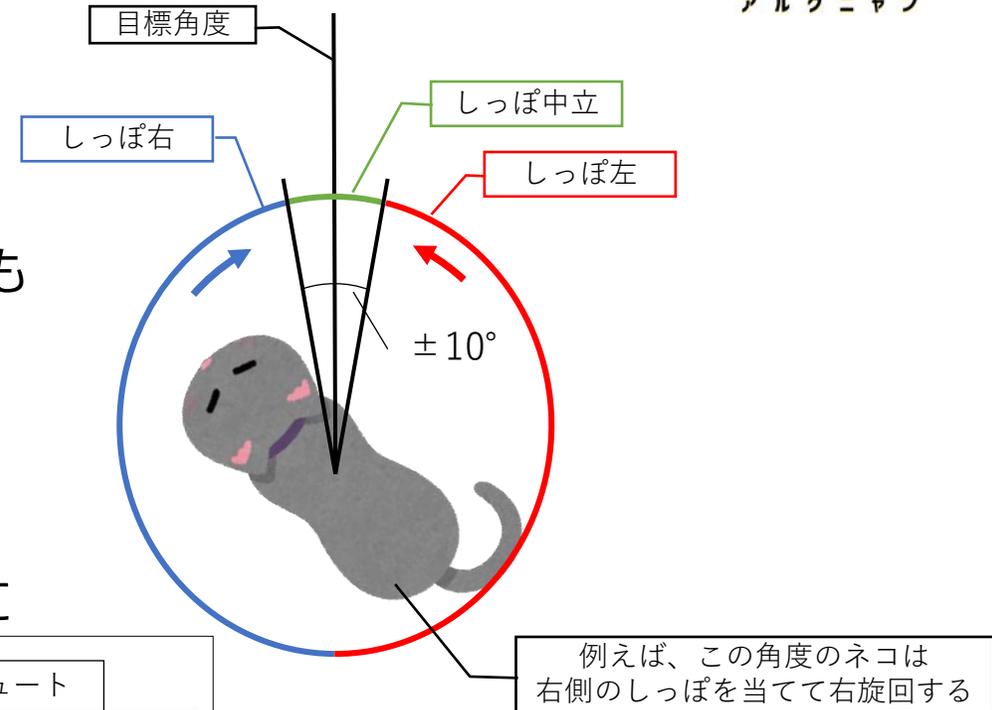


概要

- $\pm 10^\circ$ の外で、しっぽを地面に当てて旋回
- $\pm 10^\circ$ の内側ではしっぽを上げる
- とてもシンプル
- $\pm 10^\circ$ は壁の角度の 6° より深いいため、壁に沿って走行しても操舵が反応して減速することは無い

結果

- 低速(duty35%程度)では綺麗に動作
- 高速(duty100%)では激しい振動が発生し、タイムロスに



- 高速を出せなければ意味がないため、振動対策が必要 (期限三日前に判明)



自動制御の実装: 微分先行型PD制御(のようなもの)

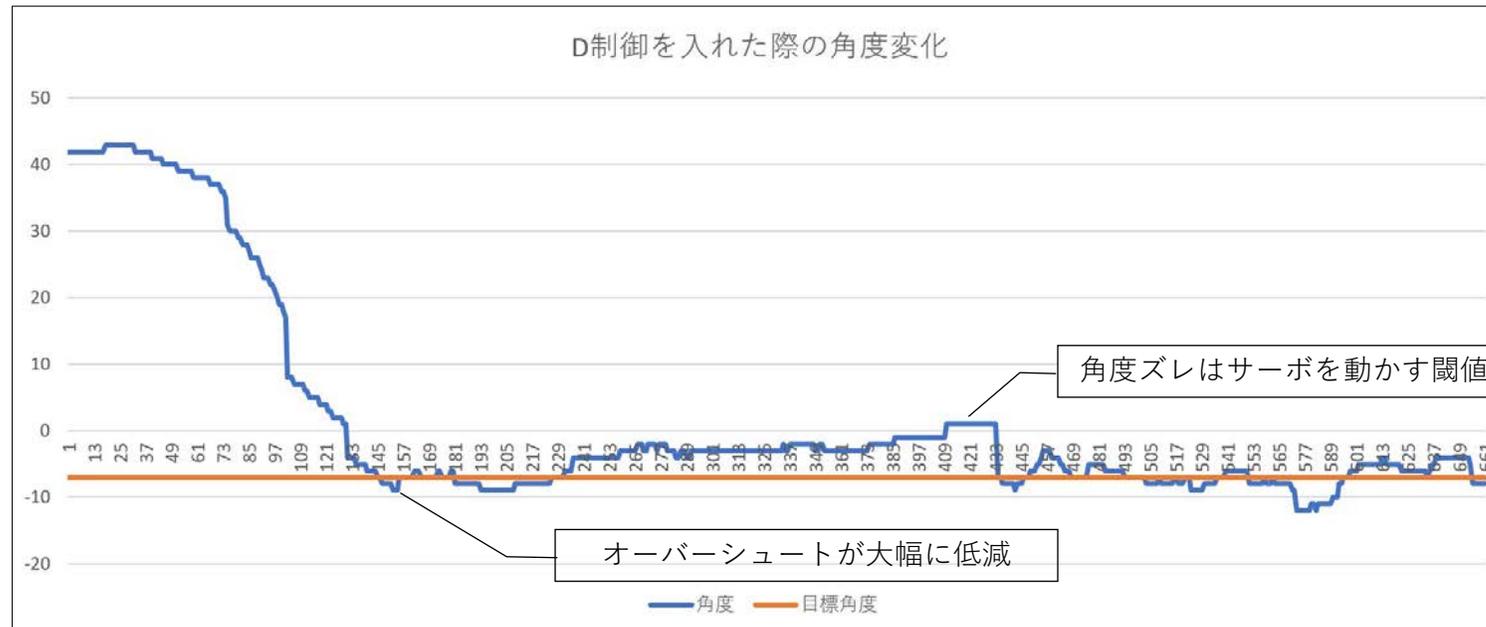


- 概要

- 目標角度(target)に、制御周期(10ms)ごとの角度差分 ω と定数Kdの積を足して制御
 - IMUの出力角度と $\text{target} + \omega * Kd$ との差が $\pm 10^\circ$ を超えたらしっぽを地面に当てる
- 大きな角速度で目標角度に近づいた場合には、早めにしっぽを上げて角速度を落とし振動を抑制する
- 角速度がかなり大きい場合は、目標角度に到達する前に当て舵を利かせてより角速度を落とす

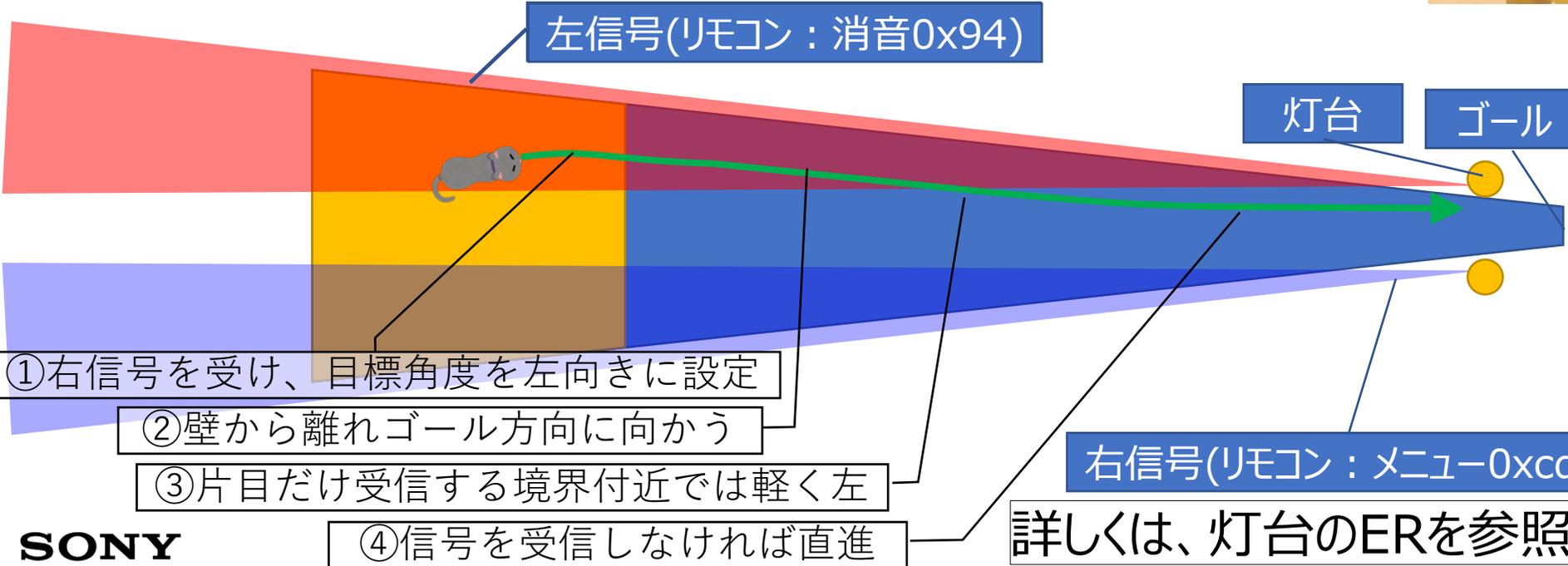
- 結果

- 高速(duty比100%)でも振動せず。操舵の自動制御を本番投入出来ると証明。(期限二日前)
- 直進性が向上



外界センサを使った制御の導入：“灯台”

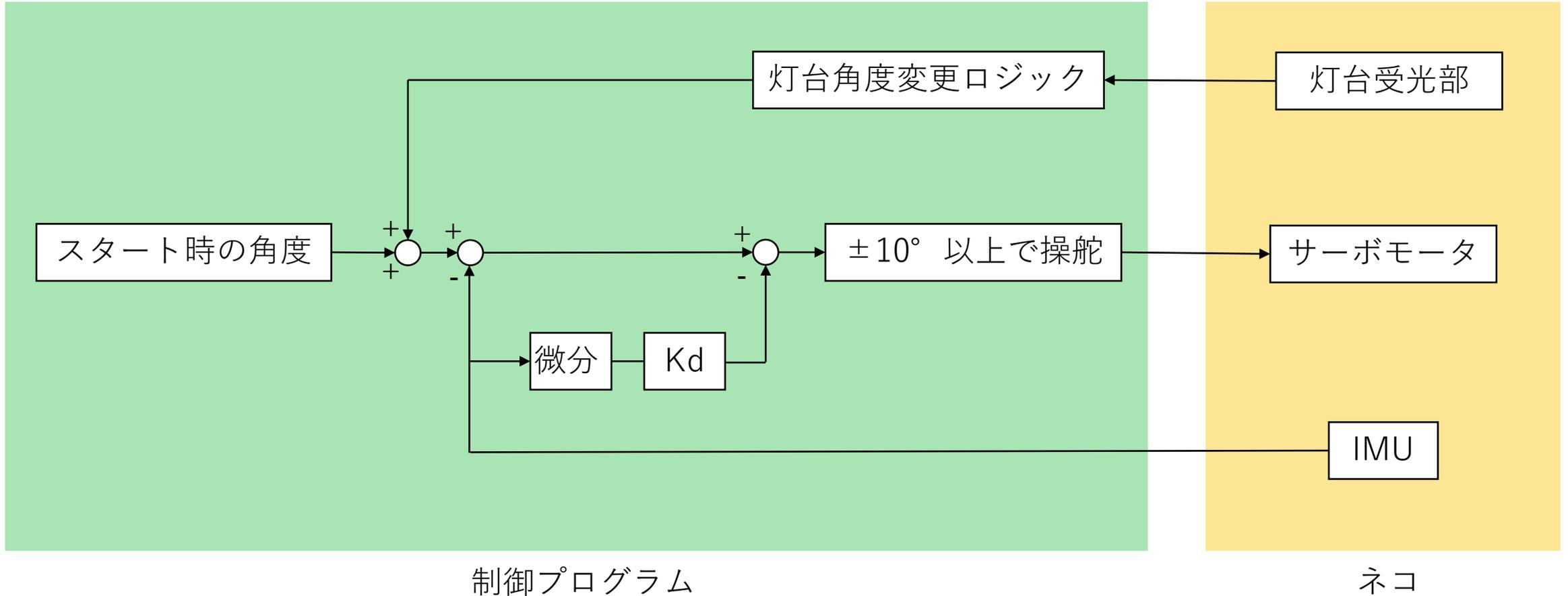
- 赤外線リモコン信号を照射して、ゴール中心に誘導する装置
- コースの左右を照らし、信号を受信したら中央に向かうよう目標の方位角を変更する
 - センサーは左右に1つずつ搭載。
 - 左信号を受けたら右に向き、右信号を受けたら左に向くよう制御
 - 中央は直進
- 機体側装置もロジックもシンプルで、かつ障害に強い
 - 小さなリモコン受光部を機体左右に1つずつ搭載するだけで良い
 - 故障や外乱を受けても直進のロジックが働くため、ゴールを妨げず



右目	左目	目標角度
右の信号	No Signal	左に3度
右の信号	右の信号	左に10度
No Signal	左の信号	右に3度
左の信号	左の信号	右に10度
No Signal	右の信号	左に7度
左の信号	No Signal	右に7度
No Signal	No Signal	直進0度



操舵制御システム全体



走行の結果

- 本番終了後残った足跡から、ある程度綺麗に直進出来ていたことが確認できた。
- 第1試技と第2試技で、ほとんど同じコースを走行した。



本番のログ

制御方向+はしっぽで機体角度を+にする操作を示す

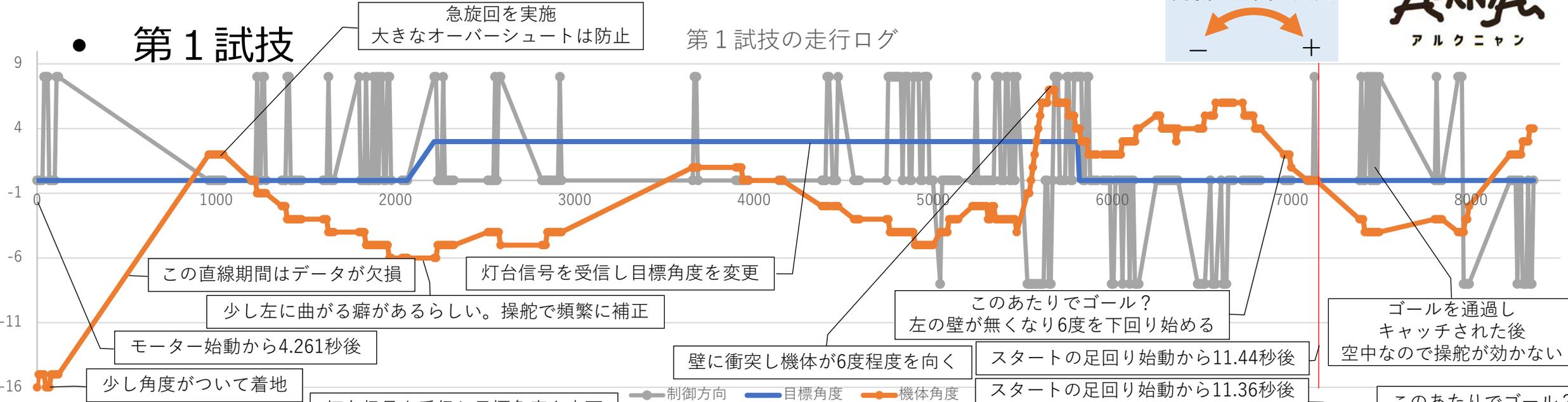


角度の正負と方向



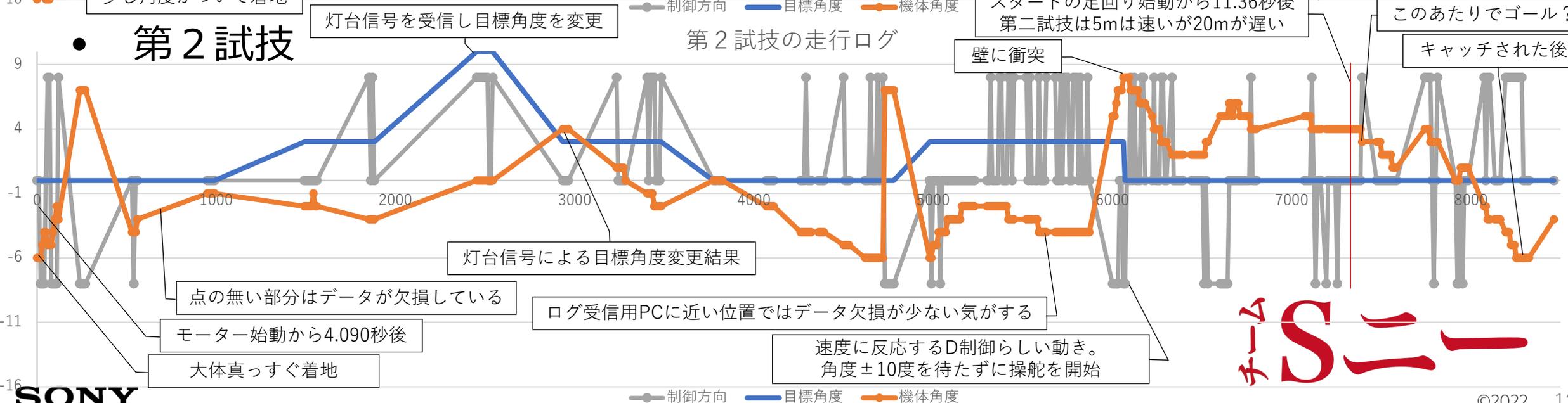
第1試技

第1試技の走行ログ



第2試技

第2試技の走行ログ



本番のログ データを読む



● 第1試技

タイムスタンプ	着地原点の時間	イベント
305502	t=-4.261	走行スタート(IMUが走行の振動を検知)
309763	t=0.000	着地
316589	t=6.826	推定ゴール時間(角度が6度から離れ始める)
316942	t=7.179	公式ゴール時間(11.44秒)

- 公式と推定のゴール時間差は、運営のスタート合図から走行振動検知ログが出るまでの時間差？
 - スタートボタン押しの遅れ(反射神経)、コントローラ通信の遅れ、振動を含むログが欠損した長さ、など

● 第2試技

タイムスタンプ	着地原点の時間	イベント
211019	t=-4.090	走行スタート(IMUが走行の振動を検知)
215109	t=0.000	着地
222379	t=7.270	公式ゴール時間(11.36秒)
222502	t=7.393	推定ゴール時間(角度が6度から離れ始める)

- 5m走行はduty 100%の設定が効いて速い。20m走行は公式・推定共に遅い。
- 電源電圧の低下や機構のガタが低速化の原因？
 - 第2試技では準備でミスが起きないようにバッテリーを入れっぱなしにしていた。待ち時間はおよそ30分で、0.1V程度の電圧低下があったはず。

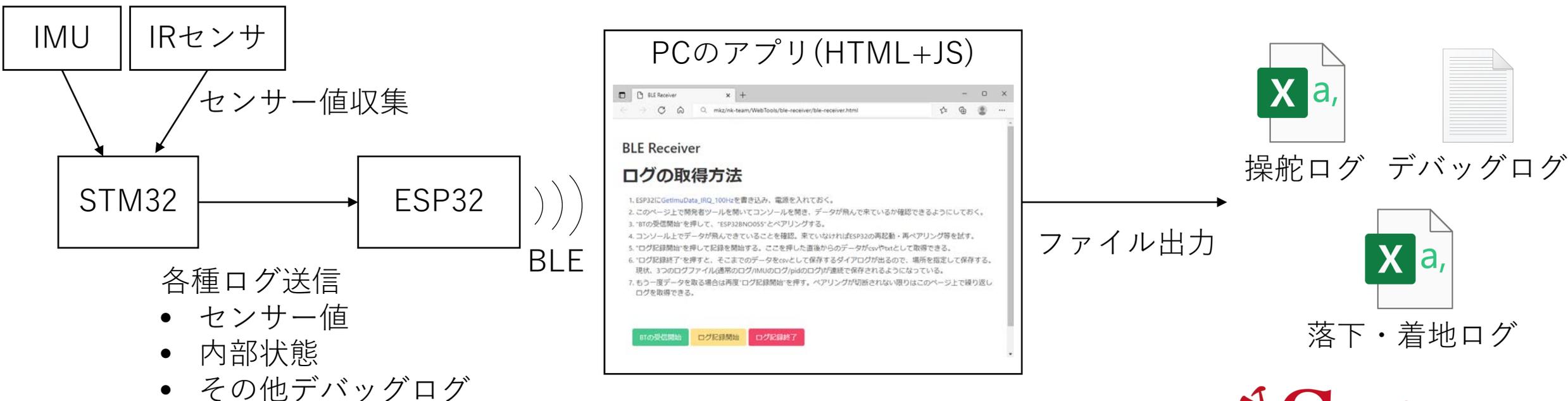


- 制御でこれ以上タイムを縮めるには、どうすれば良いか？
 - 定常偏差を小さくして、方位角の維持をより強固にする
 - ±10度の範囲を縮める。ただし壁に衝突せず走行or衝突検知をする必要がある。
 - I制御を導入。若干左に曲がるクセへの対処になる。これも壁へ衝突しないor検知の必要がある。
 - 灯台の活用度を上げる
 - 灯台のパラメータは、Duty35%程度の頃の旋回半径が大きい頃に合わせたもので値が小さい。旋回半径が大きいと直進エリアに入ってもすぐには直進せず、ある程度斜めに走り続けたため値を小さくしていた。全力走行とD制御で旋回半径の小くなった今なら、もう少し積極的に角度変更しても問題ないかもしれない。
 - 定常偏差以上の値に設定するべきだと思う。
- P制御で速度を上げると方位角が振動したが、どういう変化があったか
 - 速度が低い間は、当てていたしっぽを上げるとすぐに角速度が減少した。
 - この頃は旋回半径が大きかった
 - 常に足が2点以上当たっていて、旋回を止める力が大きかった？
 - 全速で走ると、しっぽを上げてても角速度が殆ど落ちなくなった。
 - 代わりに旋回半径はかなり小さくなった。
 - 走行中は多くの期間で足が浮いていて、旋回を止める力が働かなかった？
 - ✓ 足の速度の左右差での操舵や胴体を曲げての操舵も検討されていたが、それらの全速走行で足が浮いたら操舵が効かなくなっていたかもしれない。
 - ✓ しっぽなら足の状態に関わらず地面に当たってくれるので操舵を続けられる。
 - 方位角の振動は、D制御を導入し当て舵を取ることで解決した。

BLEによるログ取得



- ネコに搭載したセンサのデータを取るため、無線でログを取る仕組みを開発した。
 - PCに有線で繋いだまま、6mの落下を含めたログを取るのは非現実的。
- STM32で取得したデータをESP32のBLE経由で送信し、Webアプリで受信&ログをパースしてファイル出力する仕組み。
 - 目的ごとにcsv化することで、Excelでのグラフ化が容易になる。



フルカラーLED



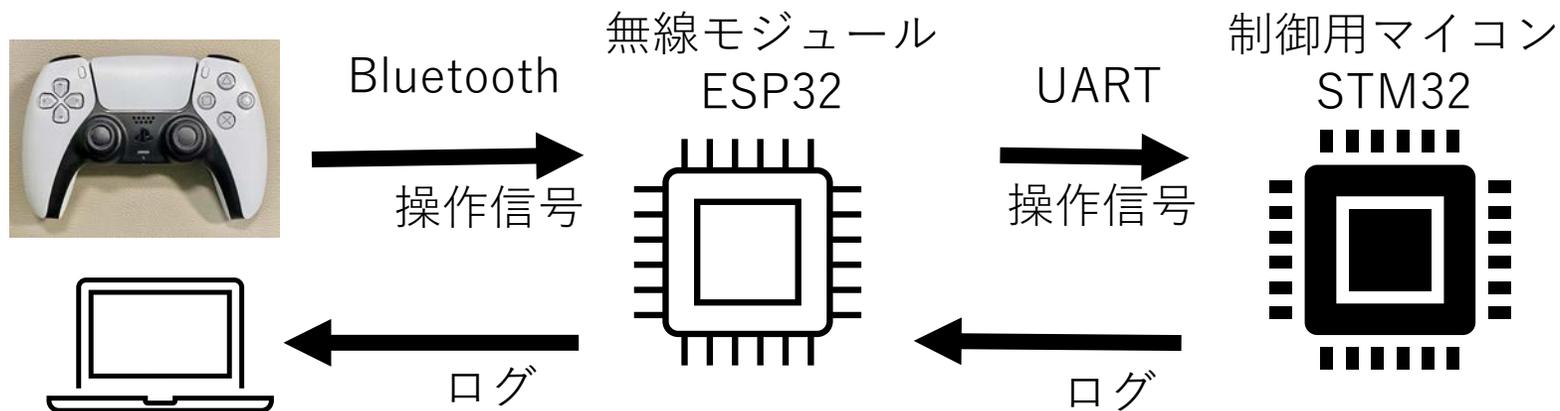
- LEDの点滅パターンによって機体の内部状態を把握できるようにした
 - 常時点灯のパターンについては、正しく点灯しているのか、LEDが壊れて光りっぱなしになっているのかが判別できないという事で不使用。全て点滅パターンを使用した。

点灯パターン	意味
0.25sec周期で■青色点滅	Manual操作モード
1sec周期で■黄色点滅	Initializing状態
1sec周期で■白色点滅	スタート待機状態
1sec周期で■紫色点滅	5mダッシュ状態
1sec周期で■緑色点滅	落下中状態
1sec周期で■青色点滅	着地中状態
1sec周期で■水色点滅	20mダッシュ状態
1sec周期で■赤色点滅	停止状態

DualSense®との接続



- 背景
 - 開発初期の機構の動作確認を手動操作で実施したい。
 - 開発中盤の走行・落下実験を安全にしたい。操舵を手動で試して自動化の可能性を探りたい。
 - 本番でスタートスイッチを無線化して、スタート時に本体に触れずに済むようにしたい。
- 手法
 - DualSense®をESP32とBluetooth経由で接続する。STM32にはUART経由で送る。
 - ペアリングは一旦スマートフォンと繋ぎ、そのMACアドレスをESP32に書き込むことで実施。
- 実装
 - BLEログ取りと共存
 - 起動後、先にDualSense®を接続、次にログ取りのPCを接続することで、一つのESP32で共存できた。



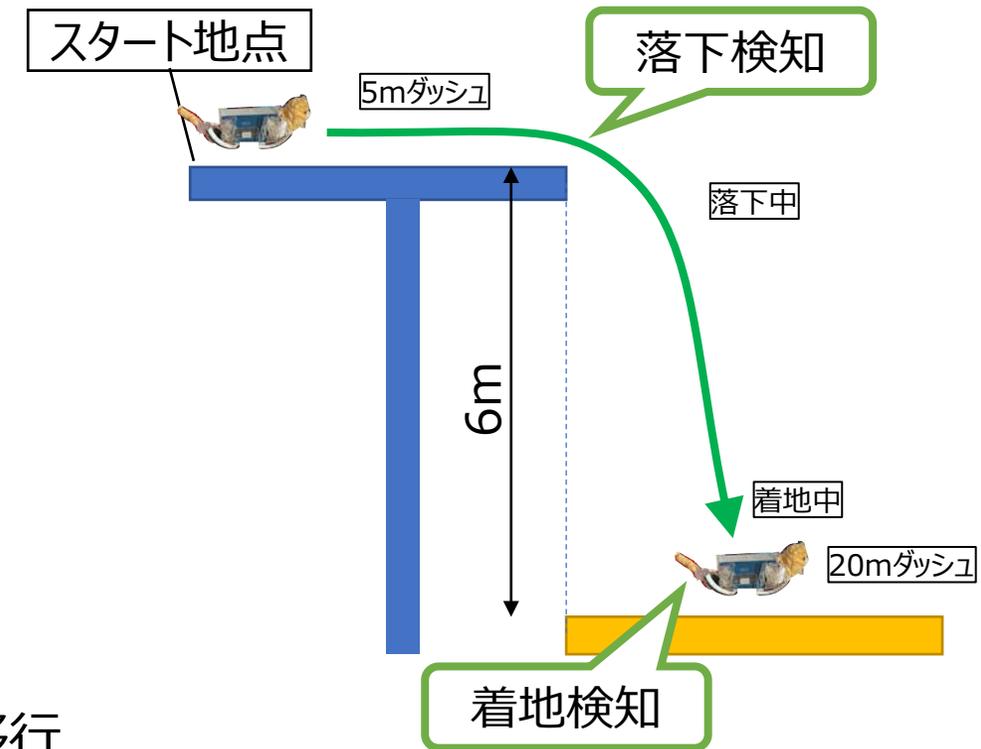
故障・会場環境対策



- 無線環境などで、DualSense®が接続出来ない場合
 - 本体側スタートスイッチでスタート
 - スタートスイッチを押すだけでスタートが出来るよう、起動時は自動モードで起動する。
 - 停止も本体側スタートスイッチの1秒間長押しで可能
 - 走行中に衝撃でスイッチが反応しても、一秒間も持続することは考えづらい。
- IMUや操舵機構の故障
 - 機体は操舵無しの直進動作だけでもゴールが出来るよう開発
- 灯台や赤外線センサの故障・会場照明による障害
 - 動作しなければ、IMUだけの制御が働く

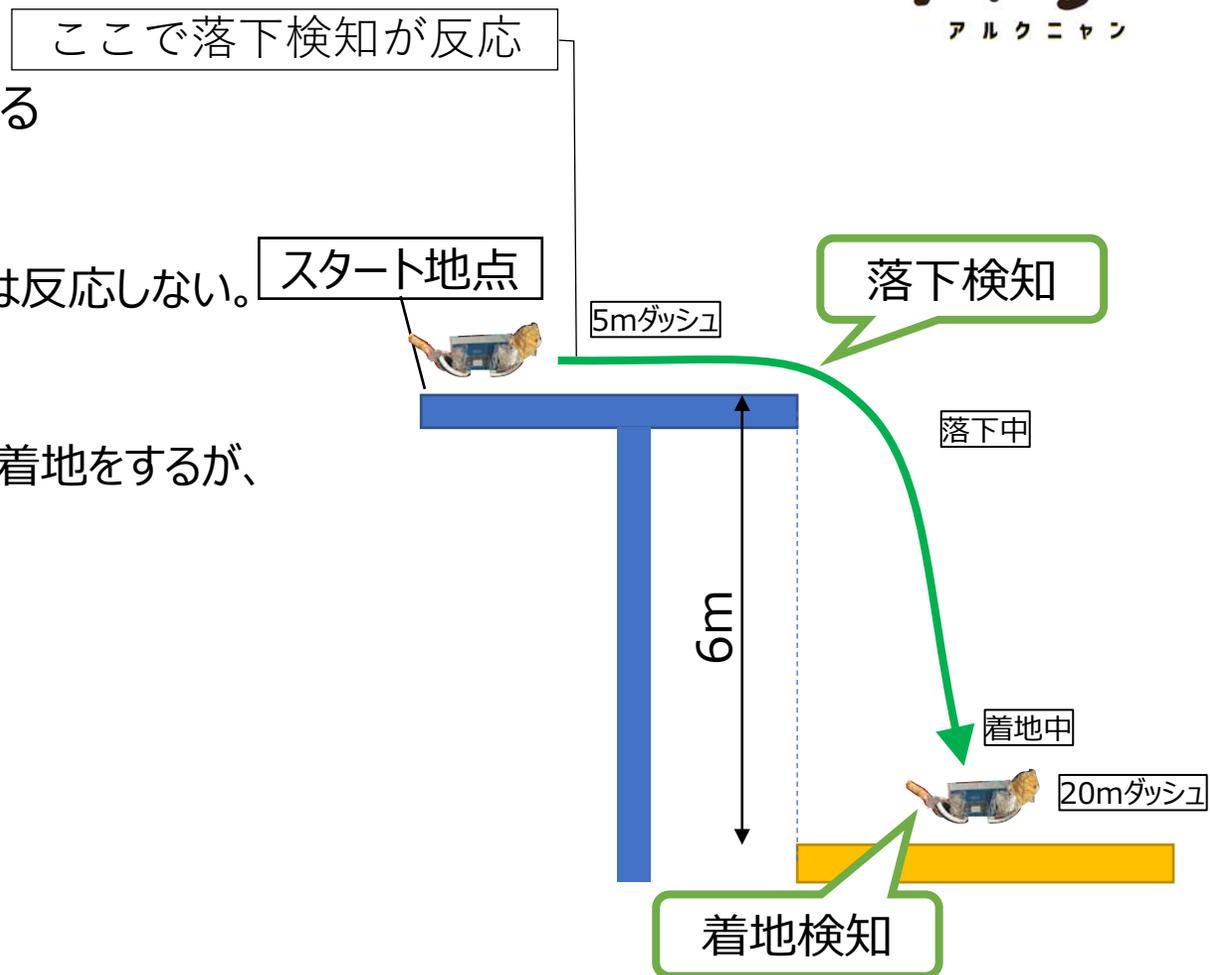
ステート変化のフェイルセーフ (1/2)

- 落下検知が反応しなかった場合
 - 落下検知前(5mダッシュモード)は、操舵をせず足を動かし続ける
 - 落下検知できなかった場合
 - 足を止めずに着地する。足に強い衝撃が加わる。
 - 20mダッシュモードに遷移せず、操舵制御が実行されない
 - 対策: そのまま走っても大丈夫
 - 足が動き続けているのでゴール出来る可能性はある。
 - 着地で破損や方向変化する可能性は生じる。
 - 操舵制御の項目で示した通り、操舵制御が無くてもゴールは出来るよう開発を進めたため完走は出来る。
- 着地検知が反応しなかった場合
 - 着地検知前(落下中モード)は、足を止めている
 - 着地検知できなかった場合
 - 足が止まったままになり、ゴール出来ない
 - 対策: 落下開始後3秒経過で20mダッシュモードに強制移行
 - 走行を再開でき、ゴール出来るようになる。
 - 一秒程度で落下するはずなので、3秒間も落下し続けることはあり得ない。



ステート変化のフェイルセーフ (2/2)

- 落下検知が5mダッシュ中に反応した場合
 - 落下検知が反応すると落下中モードで足が止まる
 - 落下検知が5mダッシュ中に反応した場合
 - 5mのガイドレール上で停止する。
 - 停止中では衝撃が加わることは無く、着地検知は反応しない。
 - 対策：着地検知のタイムアウトで再スタート
 - 3秒で強制的に20mダッシュモードに遷移する
 - 足に加え操舵も動き続けた状態で5mダッシュや着地をするが、ゴール出来ないよりはマシ。



ユーザーインターフェースの誤操作防止



- コントローラ操作のうち、デバッグ用機能を本番で誤って操作しないよう工夫
 - 自動モードで記号キーで1ボタンで操作出来る機能を、本番使用する操作2つだけに限定
 - デバッグ用機能は同時押しでのみ機能するように設定

Auto mode

初期位置からスタート

初期角度記録

待機モードに移行

落下後からスタート

debug用 ※L2を押している間のみ有効

debug用 ※L2を押している間のみ有効

© Sony Interactive Entertainment Inc. All rights reserved.
Design and specifications are subject to change without notice.

	△	□	×	○
L2なし (通常時)	有効	無効	有効	無効
L2押下中 (Debug)	有効	有効	有効	有効

本番セットアップ手順マニュアル



- 試技開始前の準備時間中、正しくセットアップが行えるようマニュアル化
 - 準備に立ち会うメンバー全員で、指差し確認しながら一手順ずつ進める運用
- 実際の本番では起こらなかったが、電波環境の影響でDualSense®が使用できない場合も想定

本番5分間セットアップ

※もし手順5-9の間にコントローラの接続が切れた場合、基板のリセットスイッチを押し、そのまま手順9に進む。その場合、スタートは物理スイッチで行う。

1: LiPoを装着する
2: 外装を取り付ける
3: コントローラのPSボタンを押して接続
4: ESCのスイッチをON
→音が鳴ることを確認「ピッピッ ピー」

5: Manual modeに変更
→LEDが青高速点滅になっていることを目視で確認

6: ネコを持ち上げて
モーターとサーボの動作確認

7: ネコをコースに置いて
Auto modeに変更

8: Xボタンを押す※何度押してもOK
(スタート待機状態にする)

9: LEDが白点滅になっていることを目視で確認

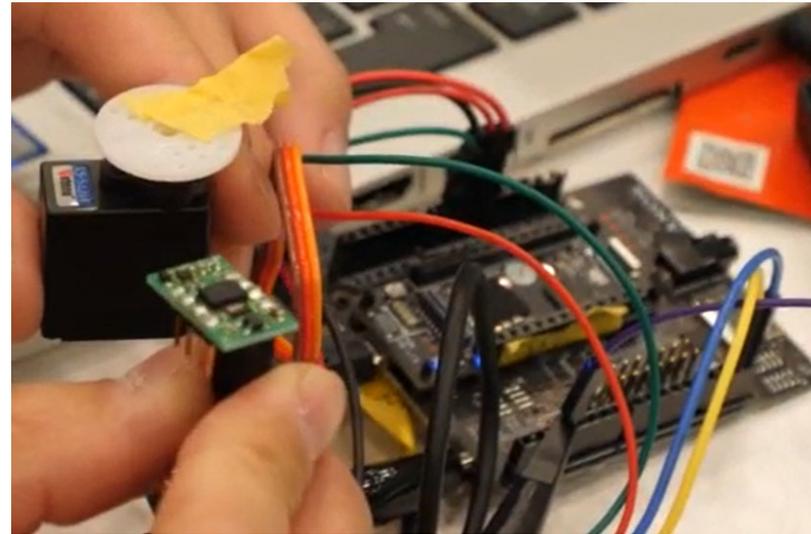
10: 準備完了!

© Sony Interactive Entertainment Inc. All rights reserved.
Design and specifications are subject to change without notice.

参考：マイコンボードの候補



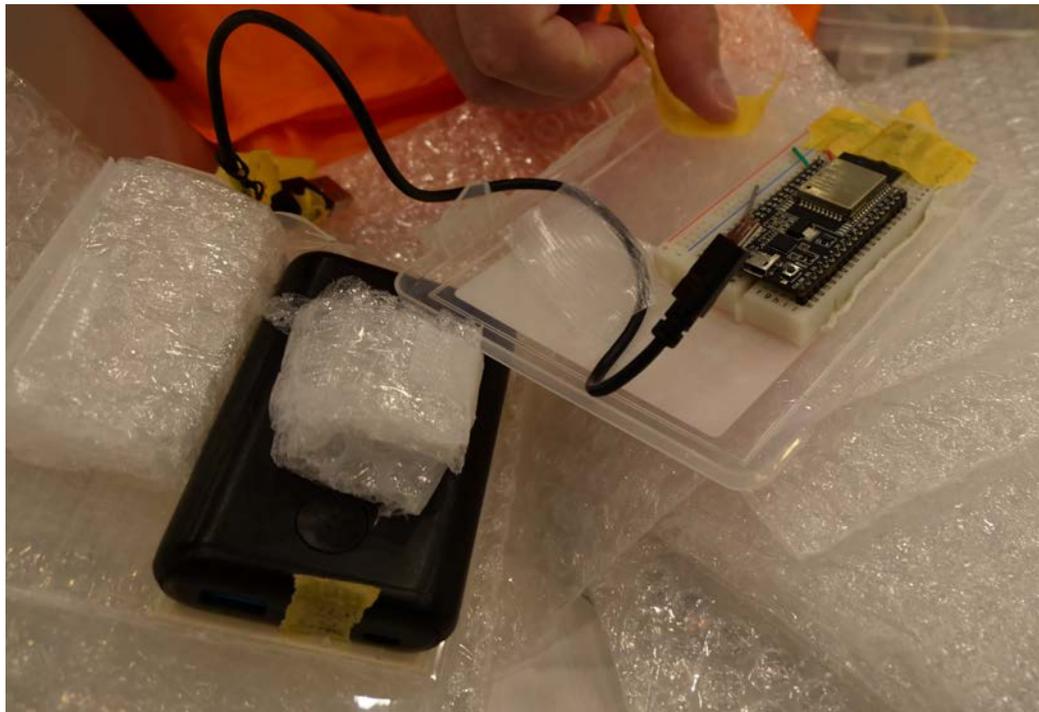
- Arduino互換のソニーのボードコンピュータSPRESENSE™※
※低消費電力プロセッサ「CXD5602」を搭載し、エッジコンピューティングで活用されている
 - サーボモーターやセンサーの動作確認に使用することを想定
 - SDカードが使えたためログデータの取得に有用だと考えた
 - 各種センサやESC(RC用スピードコントローラー)との接続のために電圧のレベル変換が必要なため今回の本番基板では、3.3vで直接動作する別のプロセッサを採用した



SPRESENSE™を使ってサーボとIMUの動作確認をしている様子

IMU落下実験用具

- ここまで3回登場した通り、これでIMUが制御に利用可能か検証した。
- 箱にESP32とIMUとモバイルバッテリーも入れて、無線でログを送信した。
- Spresenseバージョンもあり、これはログをSDカードに書き込んだ。
 - すぐに調達できて耐衝撃性のある記録開始・終了のスイッチとして、ジャンパワイヤの接続・解放を利用した。
 - ジャンパワイヤを引き抜いて投げ、落下後差し直すという運用。
- 少なくとも35回落とし、選定したIMUなら落下検知・着地検知・操舵制御に使用可能だという確信を得た。



機構実験時の無線操縦対応



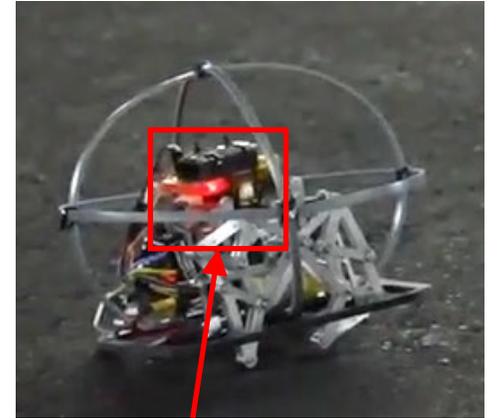
- ブレッドボードに差した通信モジュールESP32をDualSense®と接続し、開発中の機構の実験の際に無線操縦を使えるようにした。



頭部を魔改造され進行方向を遠隔操作されているネコちゃん。操舵機構の実験中で、背中のサーボで棒を倒した方に曲がる。

回路の変遷

- 第1世代：切削基板タワー
 - SW側で欲しい機能・回路・部品を付け足し続けたら、バランスの悪い基板タワーになってしまった
 - IMU複数個の試験などに利用
 - 着地などの衝撃でパターンが外れて動作が不安定に
 - 三週間前に切り替えを開始
- 第2世代：本番向け切削基板
 - 発注基板と同じ回路・基板パターン
 - 発注基板到着までの間、ソフトウェアの開発に使われた
- 第3世代：発注基板(本番で使用)
 - PCBのみ発注し、部品は自分ではんだ付け
 - 本番10日前に部品取り付け完了
 - 本番9日前に全機能が動作しすぐ機体に搭載
 - 本番8日前に最初のお題クリア



基板がタワー状に縦積みしてある



発注基板
(部品は全て自分たちでハンダ付け)

「ネコちゃん落下25M走」を実現する基板設計

超短期開発で実現した6m落下に耐えるALKNYANの基板設計



©2022

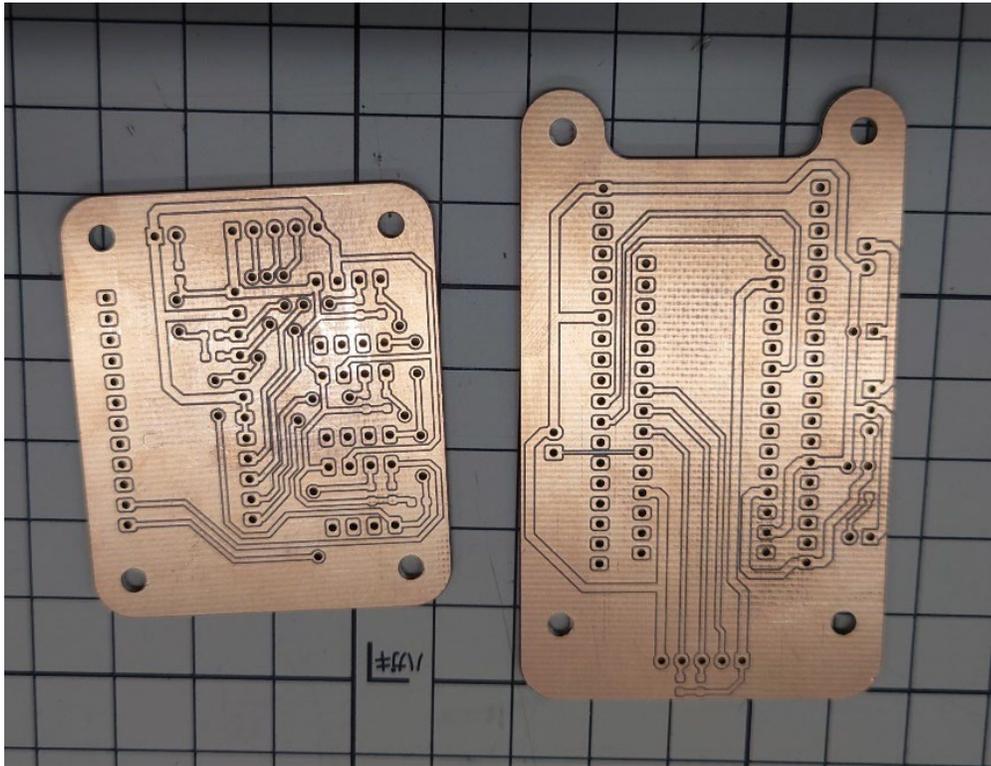
塩野 浩一 / 栗原 邦彰 / 加藤 潤也 / 菊池 武志

基板設計

- 経緯
 - 開発初期（～第二週）はブレッドボードやユニバーサル基板で動作検証していたが、基板化したいという要求があり、検討を開始した。当初はESP32 Devkitの拡張基板という形で作製。実験計画に合わせて、IMUx3基板等を作製。
- CAD
 - 当初はSニー圏内で使われているCR-5000を検討したが、新規部品フットプリント作成の時間（社内関係部署に依頼が必要）と他CADからのネットリストの取り込みが事実上不可能ということから、担当メンバーが常用しているKiCadを採用した。
- 基板作製方法
 - 当初、Creative Loungeの基板加工機にて試作を行った（より精密な線幅管理のため、急なメンテナンス依頼に対応頂けたメーカー＆代理店の皆様に感謝）。ソフト検討などに使っていたが、落下試験でパターン切れや部品外れが発生したために、基板メーカーに発注を行った。海外の基板メーカーでキャンペーンを行っており、無償で作製してくれることになり、リードタイムも1週間程度だったので、切削基板でバグだしを行った後、同じデータで発注した。
- 作製した基板
 - MKZ-NK-01
 - 通称A基板。ESP32+BNO055+I/O
 - MKZ-NK-02
 - 通称B基板。ESP32+STM32-F303。 MKZ-NK-03とペアで使う
 - MKZ-NK-03
 - 通称C基板 BNO055x3 MKZ-NK-02とペアで使う
 - MKZ-NK-04
 - 本番用全部入り基板

基板加工機による基板作製

作製した基板

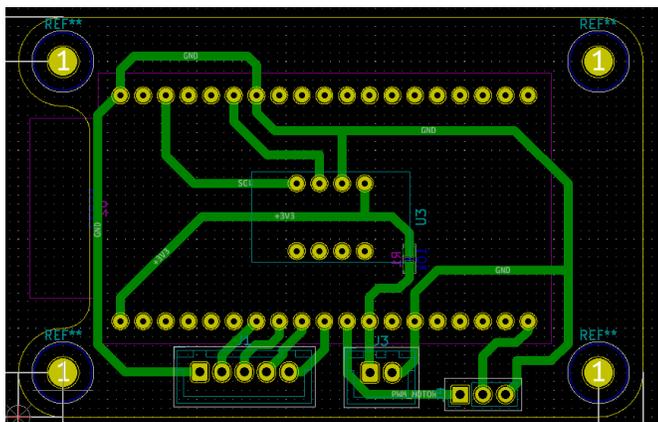


基板加工機LPKF S63 @Creative Lounge
(厚木にも同型機有り、灯台センサ基板を作製)



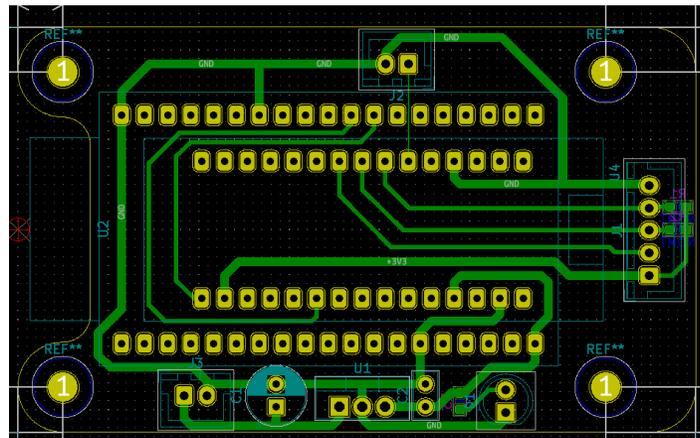
切削基板の変遷

MKZ-NK-01
通称A基板



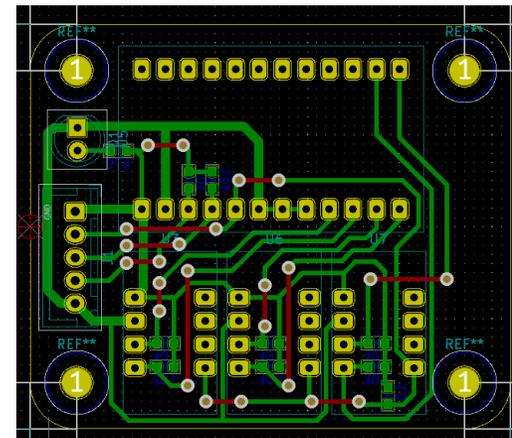
ESP32+BNO055+IO
初期検討で使用。
加工機メンテ前でこの簡単な
パターンが上手く切削できず
に苦労した。

MKZ-NK-02
通称B基板



ESP32+STM32-F303
メインMCUをESP→STMに
乗り換える為作製。

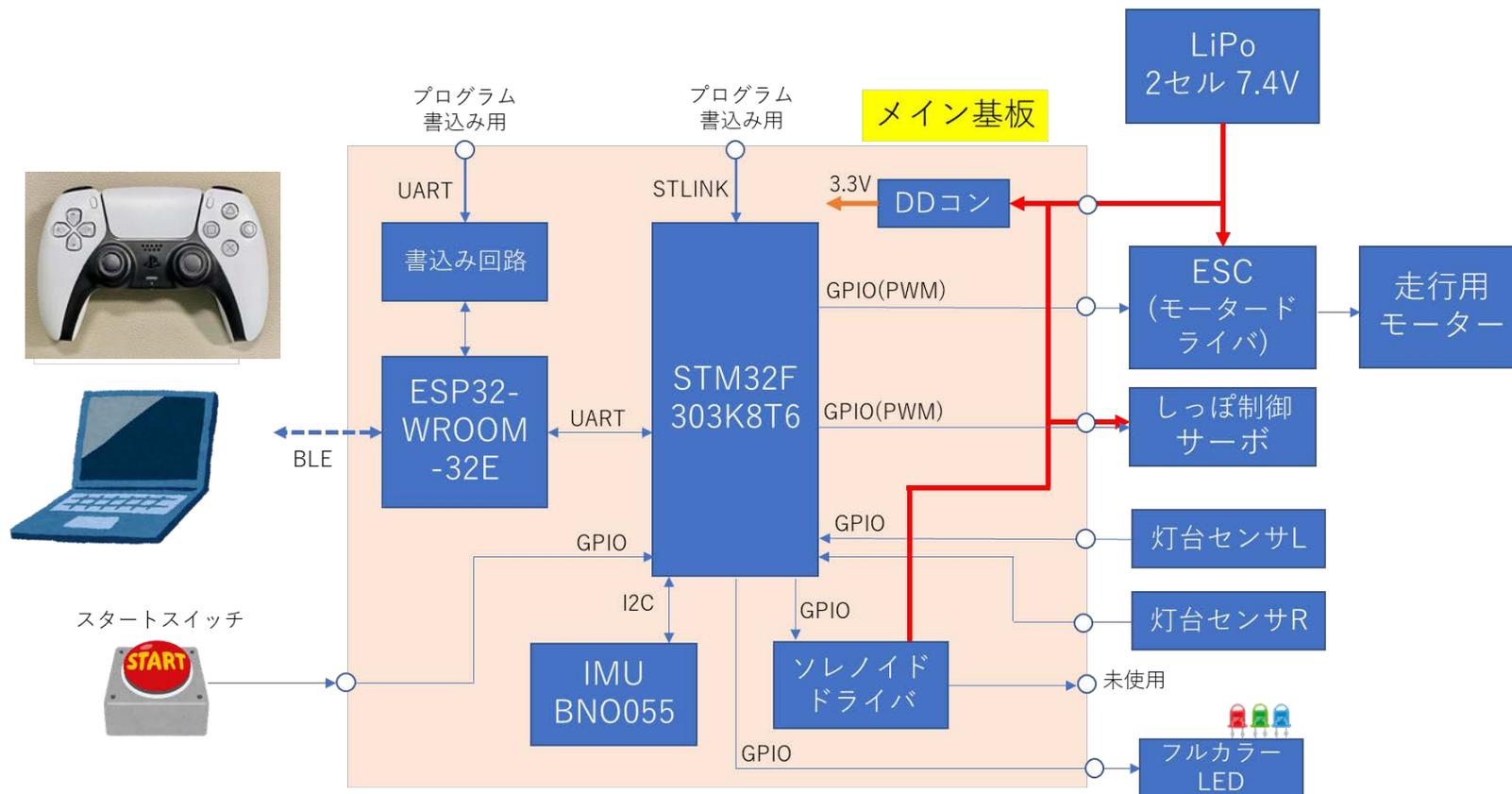
MKZ-NK-03
通称C基板



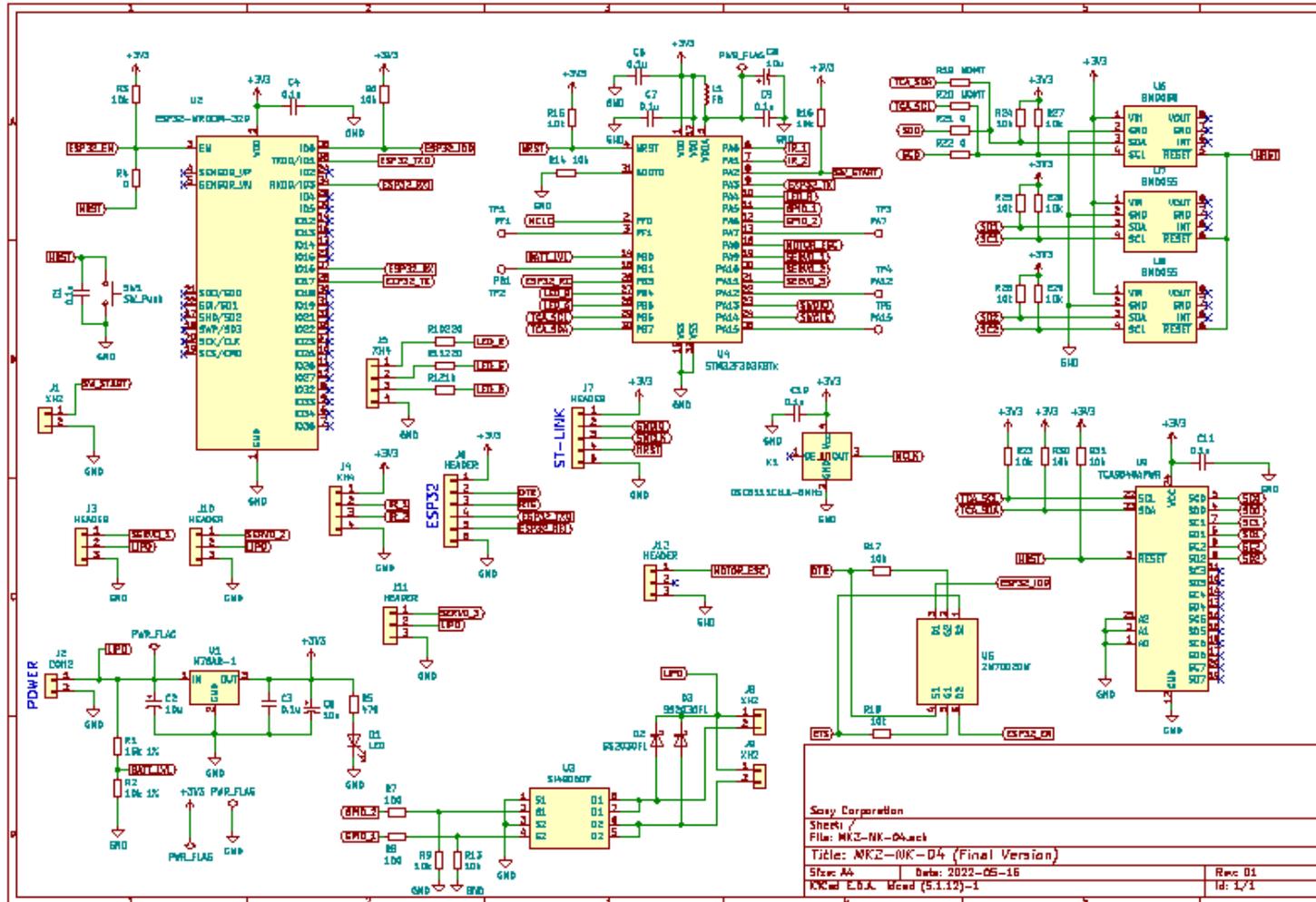
BNO055x3 + I2Cバスス
イッチ (TCA9548A)。
IMUを複数使い精度向上
を目指したが、精度が担
保できたので最終的には
1台に。

部品選定と電気ブロックダイヤグラム

- 基本は秋葉原で購入できる部品で構成
- マイコン：STM32F303K8T6
- BT：ESP32-WROOM-32E
- IMU：BNO055
- 電源：M78AR033(DDコン)
- コネクタ：JST XHシリーズ→一部をXAに変更



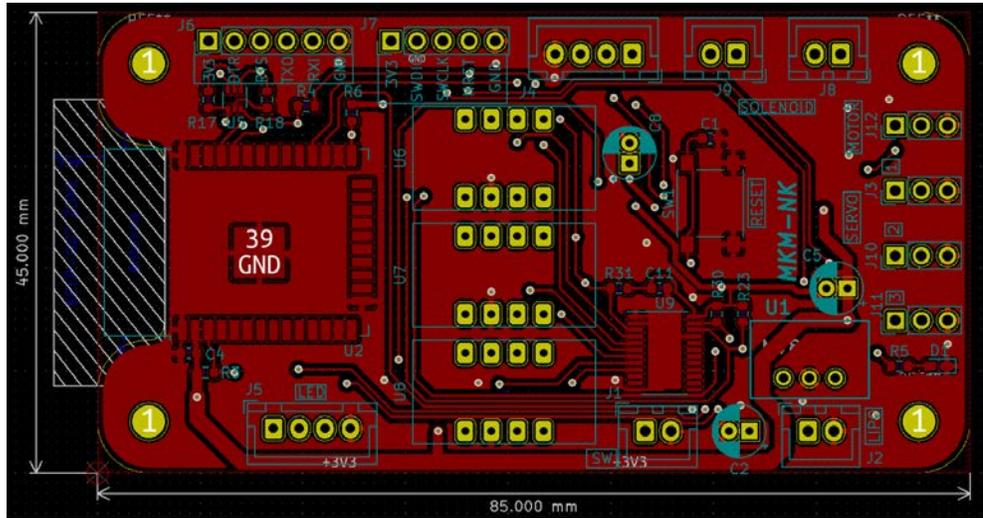
メイン基板回路図



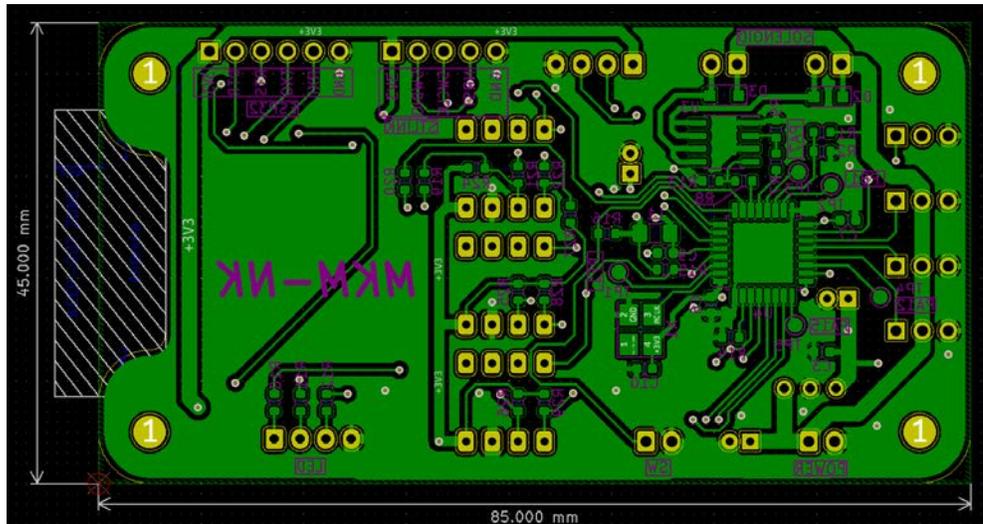
- BNOは1つのみ使用。マイコンと直結、TCA9548はNOMT
- ソレノイド切り離し機能は未使用 (J8,J9)
- サーボは1系統のみ使用。J10,J11は灯台センサ用に使用
- 灯台センサは当初GPIO 2chで用意したが仕様変更によりGPIO 4chに増加。未使用のサーボ用GPIOを割り当て。
- 電源はLiPo(2セル7.4V)より直結。DDコンで3.3V生成
- ESP32書込み回路内蔵

メイン基板パターン

部品面

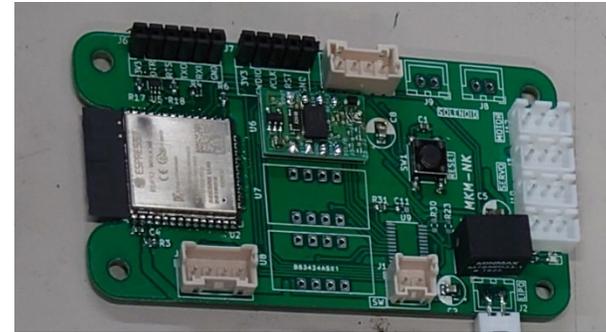
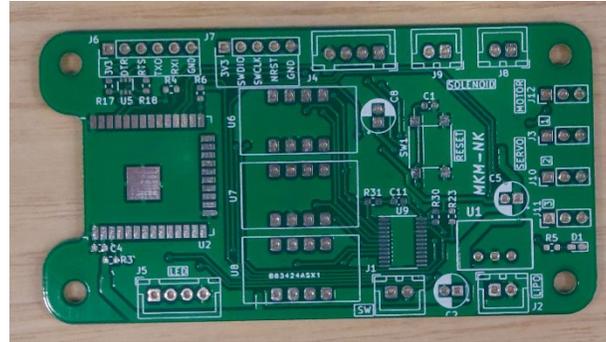


ハンダ面

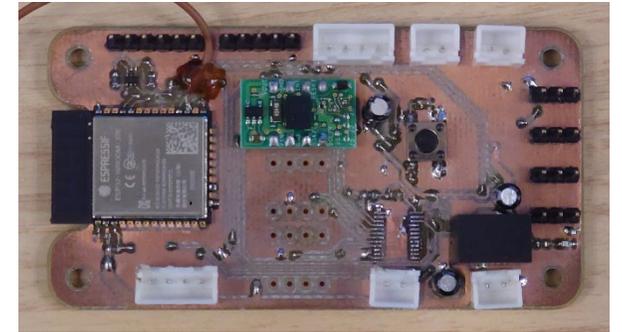


SONY

発注基板



切削基板



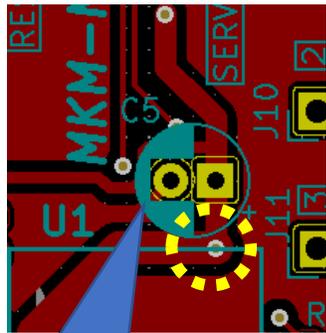
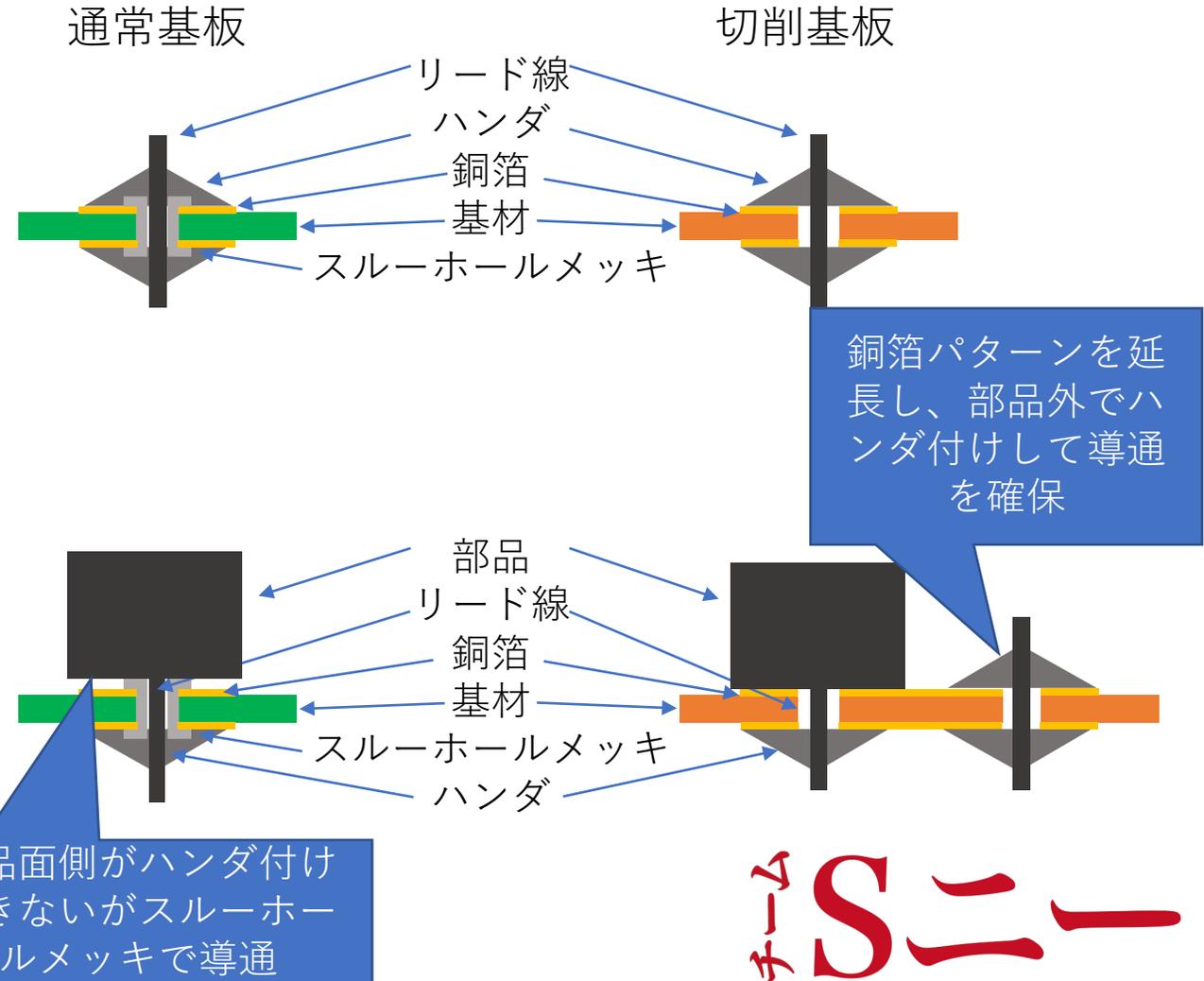
- サイズ 45mm x 85mm
- 基板加工機、基板メーカー発注、両方に対応したコンパチブル設計
- 基板加工機(LPKF S63)で安定して切削加工できるデザインルール(L/S = 0.25mm/0.25mm)、スルーホール無し対応
- ESP32を部品面、STM32をハンダ面に配置
- IMUは基板中央に配置
- ESP32アンテナ部を避ける外形形状

チー S ニー

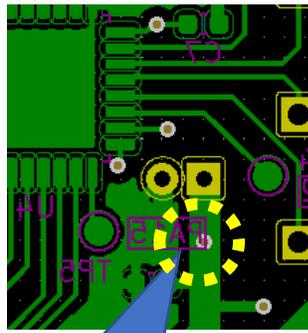
ALKNYAN
アルクニャン

基板パターンの工夫

- 切削基板ではスルーホールメッキができない為、パターンを延長しリード線でハンダ付けしスルーホールの導通を行った。
- 発注基板ではスルーホールメッキされるので、リード線加工は不要に
- 発注基板と切削基板のパターン共通化を実現

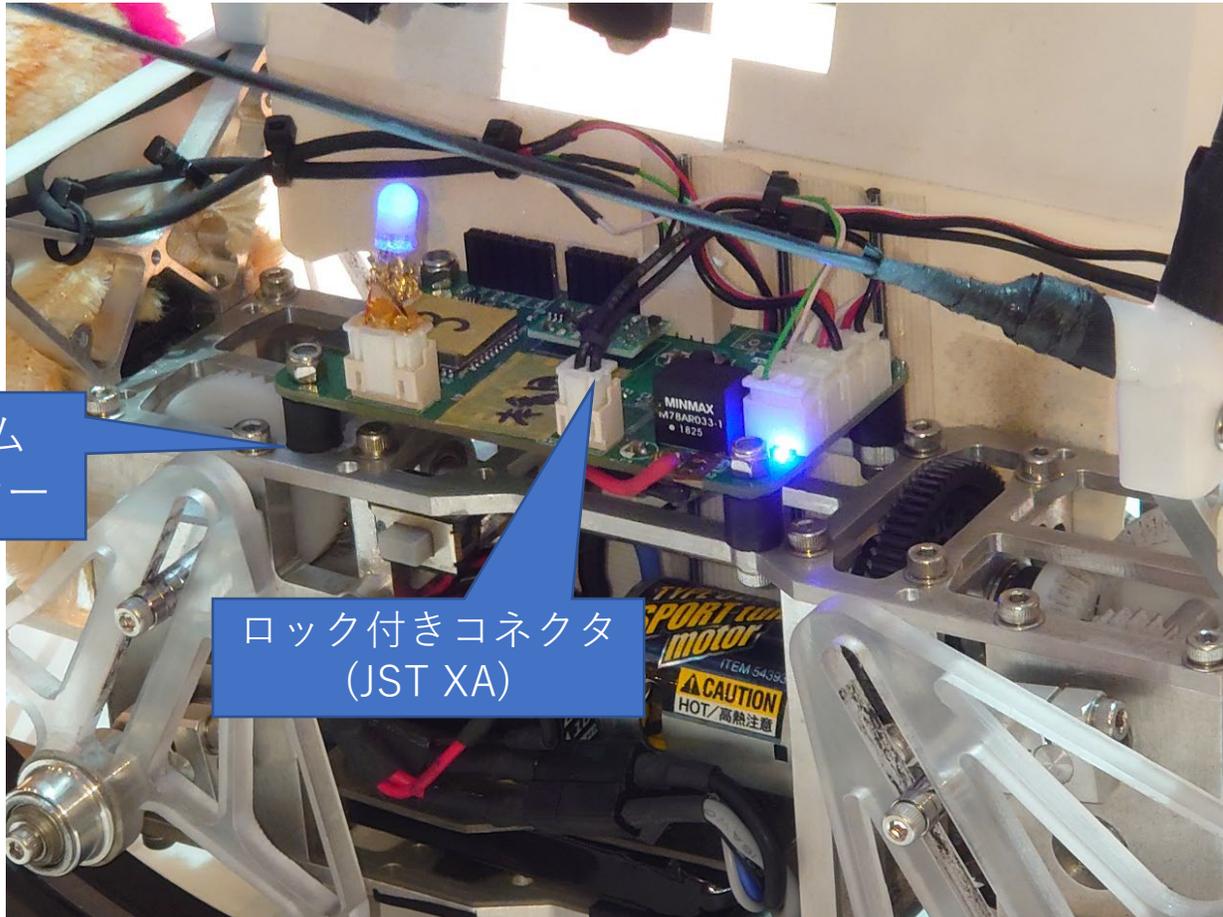


部品面側がコンデンサ有り



近くにスルーホールviaを設けて層間導通するようにした

基板マウント、配線



防振ゴム
スペーサー

ロック付きコネクタ
(JST XA)

落下衝撃に強い施策

- 基板取付は直接衝撃が加わらないように防振ゴムスペーサーを使用
- コネクタは当初JST XHシリーズを採用したが、より衝撃に耐えるため、交換可能なところはロック機構付きのXAシリーズに変更した。サーボコネクタも変更。
- 電源は接触不良が発生しないように、基板に直接ハンダ付けし、マジックハンダ（樹脂の補強材）で補強。

大電流対応

- LiPoコネクタは最大60AのT型コネクタに変更。
- ESC出力→モーター間は直接ハンダ付け

Sニ一

解析班

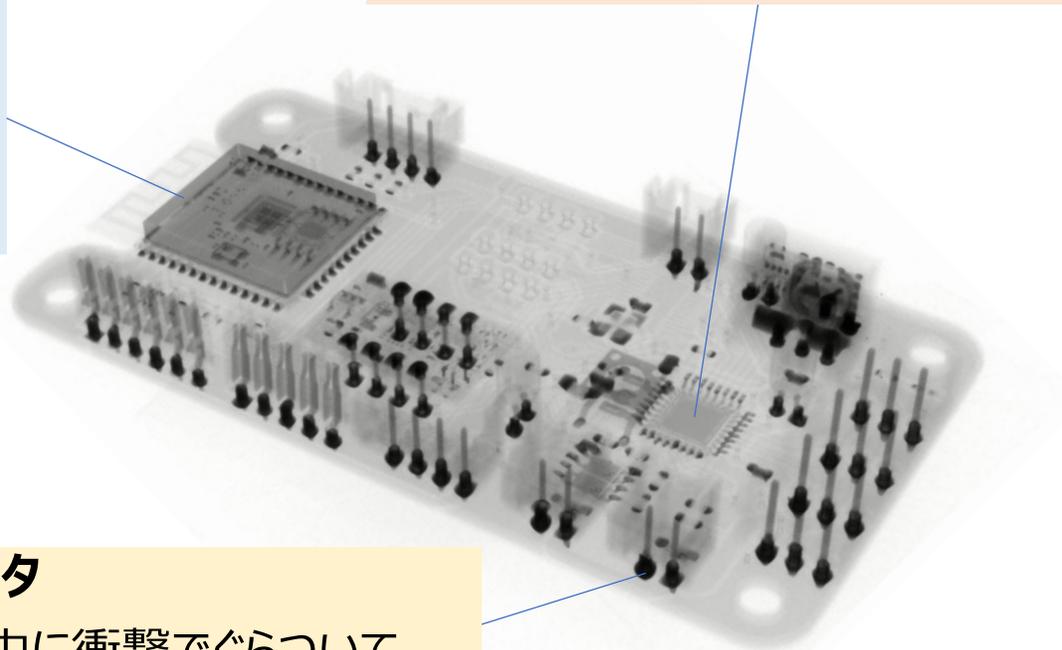
■ 試作時にあった失敗談

ESP32

マニュアルリフローに失敗し
一部信号ラインが異常に。
最後は手付けに変更。

STM32

落下試験中に急いでおり、
電源-GND逆挿しにより破壊。

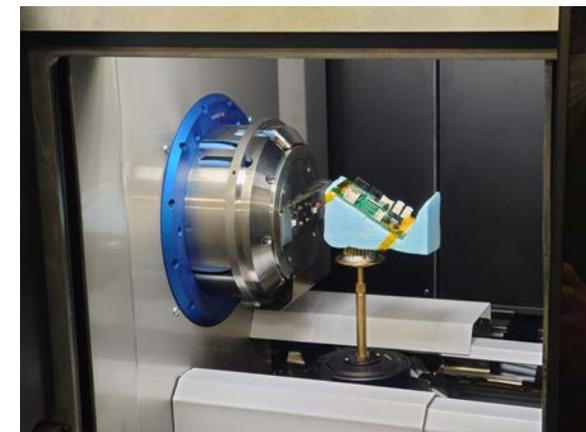


電源コネクタ

落下試験中に衝撃でぐらついて
壊れたため、途中でコネクタを変更。

最終的には落下衝撃が加わっても動作する強固な基板に仕上がった。
(落下試験後も動作、目視、X線CT解析で異常は見られなく問題なし！)

X線CT解析にかけられ、
落下衝撃のダメージを確認される
アルクニャン基板



解析協力：Sニ- 品質信頼性ラボ

「ネコちゃん落下25M走」を実現する赤外線誘導「灯台」

ALKNYANで検討した誘導方式と「灯台」の実装・実験・実践の記録



©2022

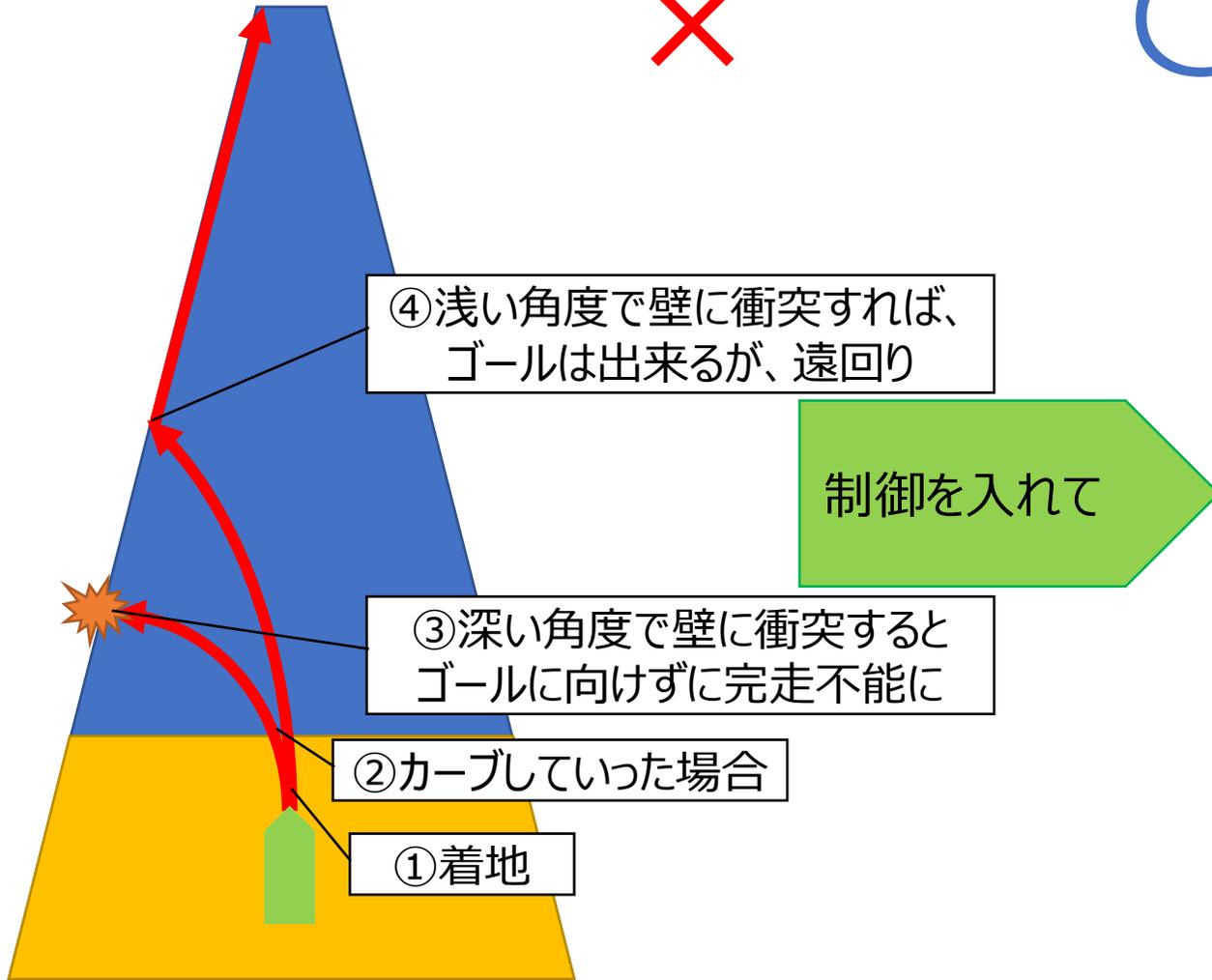
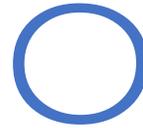
片山裕士、中川祥、永谷智貴、木村基

日程

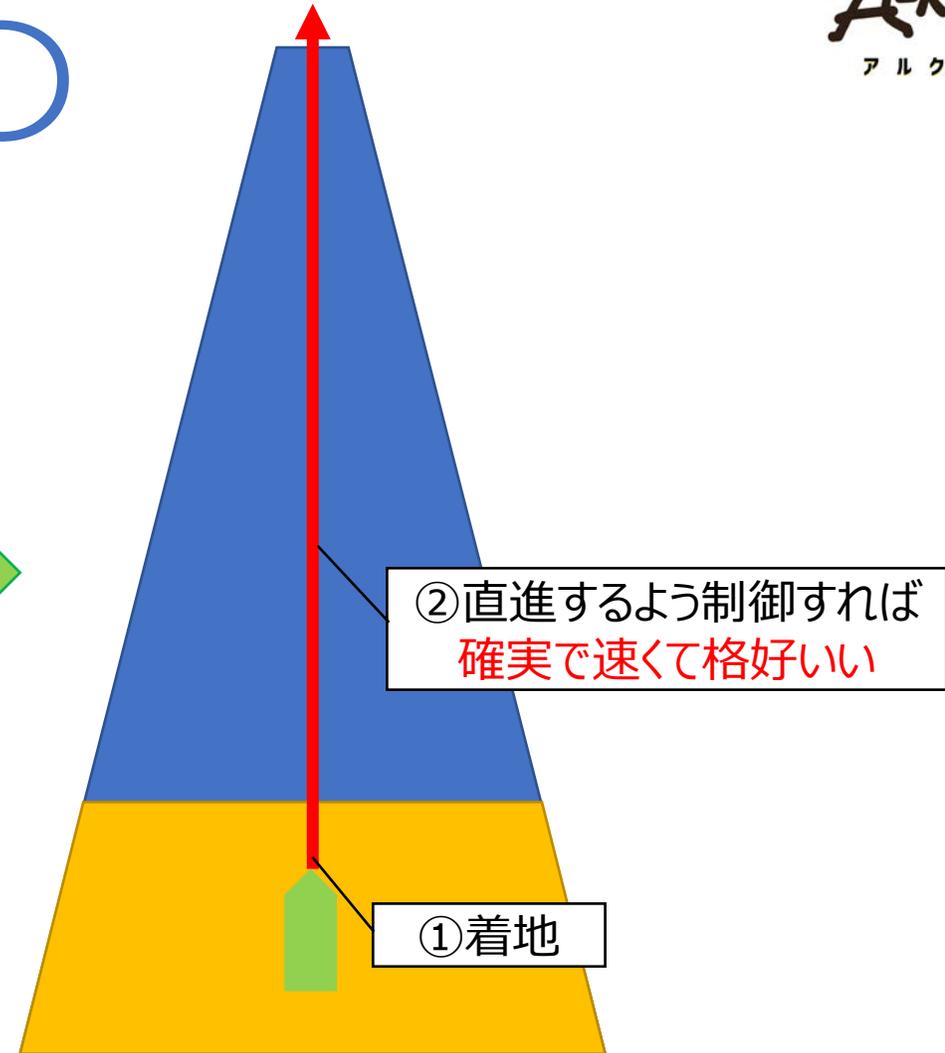


	-3週目	-2週目	-1週目	0週目	1週目	2週目	3週目	4週目	5週目	6週目	7週目
番組イベント				★お題発表		★本番現場視察 テストラン			★搬入	★本番	
ねこ全体 マイルストーン (予定)	★メンバー募集メール送信 メンバー募集 →		★Kick off	★チーム編成	★アイデア統合	★お題初クリア 目標日		★本番機完成	★練習		
ねこ全体 実績結果				★IMU/マイコン 選定	★脚部コンペ	★練習用の倉庫視察	★主に落下時の データ取得	★脚部確定	★お題初クリア 完動		
誘導装置検討					★リモコン基礎検証 →	★基板作成 FW作り込み →	★灯台光学検証 →		★IR確認 JIG完成		
					★toio方式検討 ⇒没			★灯台多灯化			
					★パトランプ方式検討 ⇒没			★灯台方式POC			

方向制御の必要性(1/2) 走行経路がカーブする場合



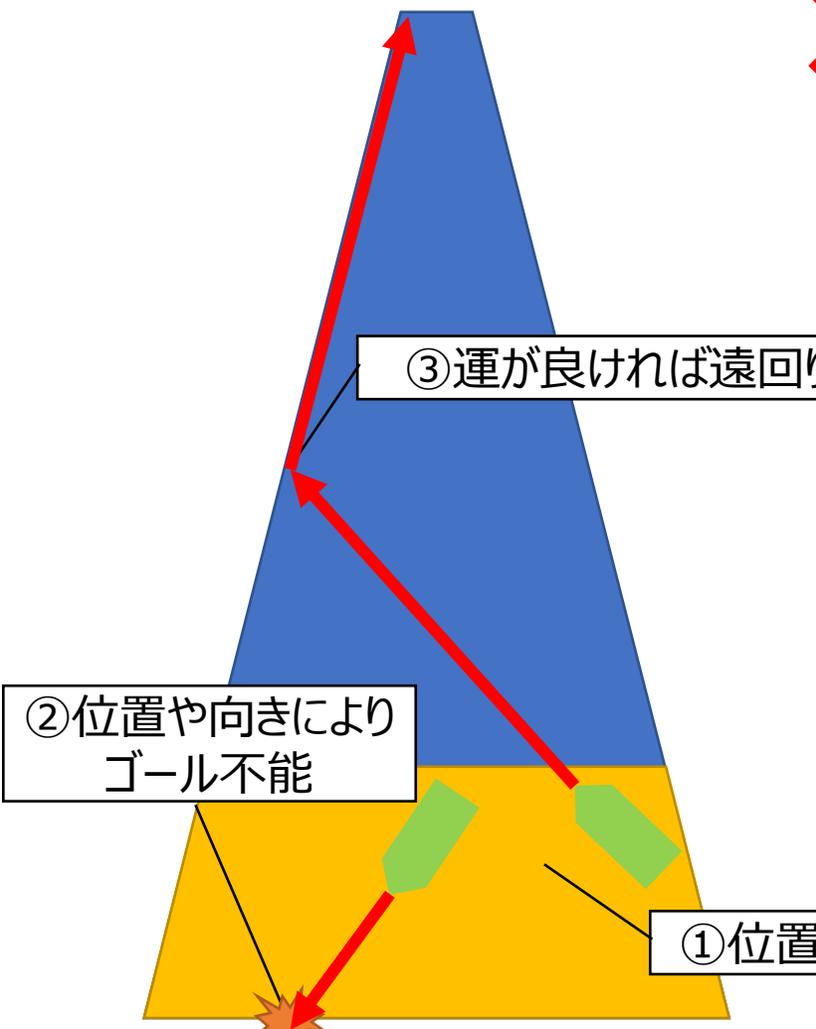
何かの要因で走行経路が曲がってしまう場合



制御を入れて、ゴールに一直線に向かった場合

ソニー Sニ

方向制御の必要性(2/2) 落下時の位置や方向がズレた場合



③運が良ければ遠回りで済む

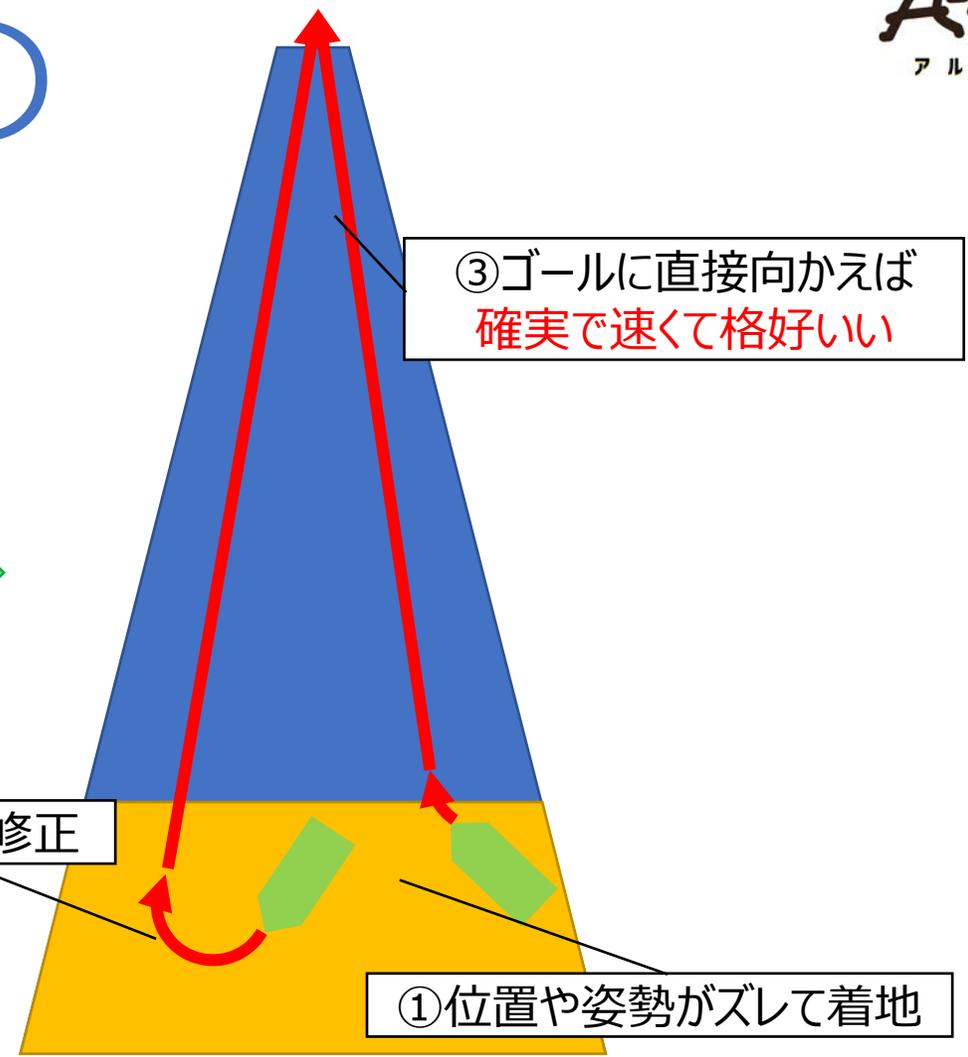
②位置や向きにより
ゴール不能

①位置や姿勢がズレて着地

着地時の位置や方向にズレがあった場合



制御を入れて



③ゴールに直接向かえば
確実に速くて格好いい

②軌道修正

①位置や姿勢がズレて着地

制御を入れて、ゴール方向に
誘導した場合

確実にALKNYANをゴールに導くための戦略



パターン1：ゴール地点へ向かうため、全てのセンサーと操舵制御を使用して走行する



外界センサが使用不能である場合

パターン2：少なくともゴール方向に向かうため、内界センサと操舵制御を使用して走行する

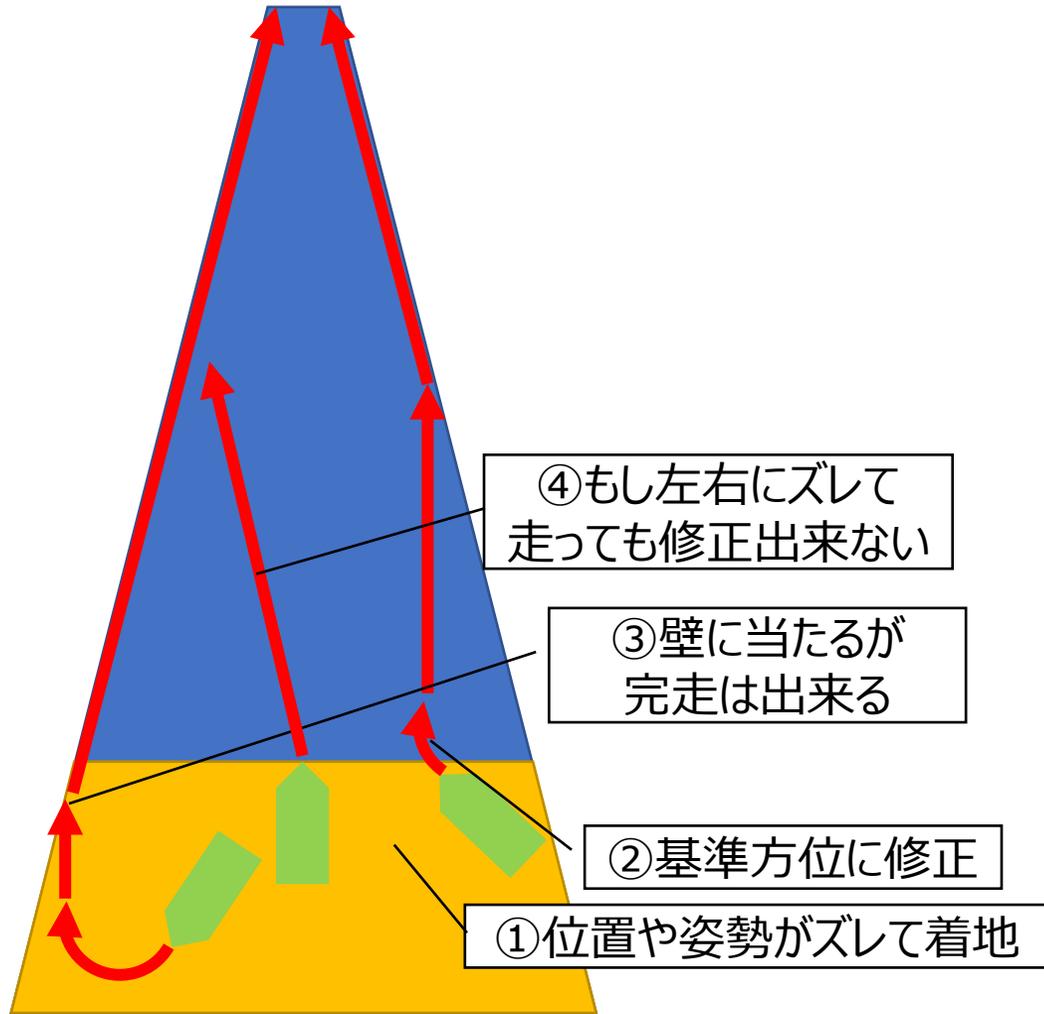


操舵制御が使用不能である場合

先にこれを作る(次ページへ→)

パターン3：直進性の高い歩行機構と、まっすぐ着地可能な落下時減速or着地機構で制御無しにゴールが出来るよう開発する

内界センサによる制御



➤IMUを使用して、方位角を維持

- スタート時、IMUで角度を取得し基準方位とする
- 地上走行では基準方位を維持する制御を行う
- 会場の照明や材質に影響されず確実に動作出来るため、他の誘導方式に関わらず搭載は決定

➤足りない部分

- 走行経路は最短ではない。一般に遠回り。
- 壁にぶつかる分は推進力と時間のロス
- 元々カーブする癖がある場合、細かく修正しても左右の位置はズれていく。また、そのズレを検知できないため斜めに走っていく。(④)

→機体やゴールの位置を知る手段が欲しい

誘導システムに求められる要素



➤ 十分な性能

- 機能の追加によってタイムや安定性を失わず、利点は大きいこと。

➤ 開発期間の短さ

- 一カ月半で開発し、運用が可能な状態に持ち込めること。

➤ 外乱耐性

- 会場の材質・照明・音響・電波環境などにより容易に機能を失わないこと。
- 特に赤外線センサはその障害で失敗するチームが度々発生している。会場には白熱灯が炊かれている。

➤ 振動耐性

- 歩行で起きる振動で機能を失わないこと。落下で壊れないこと。

➤ 障害許容性

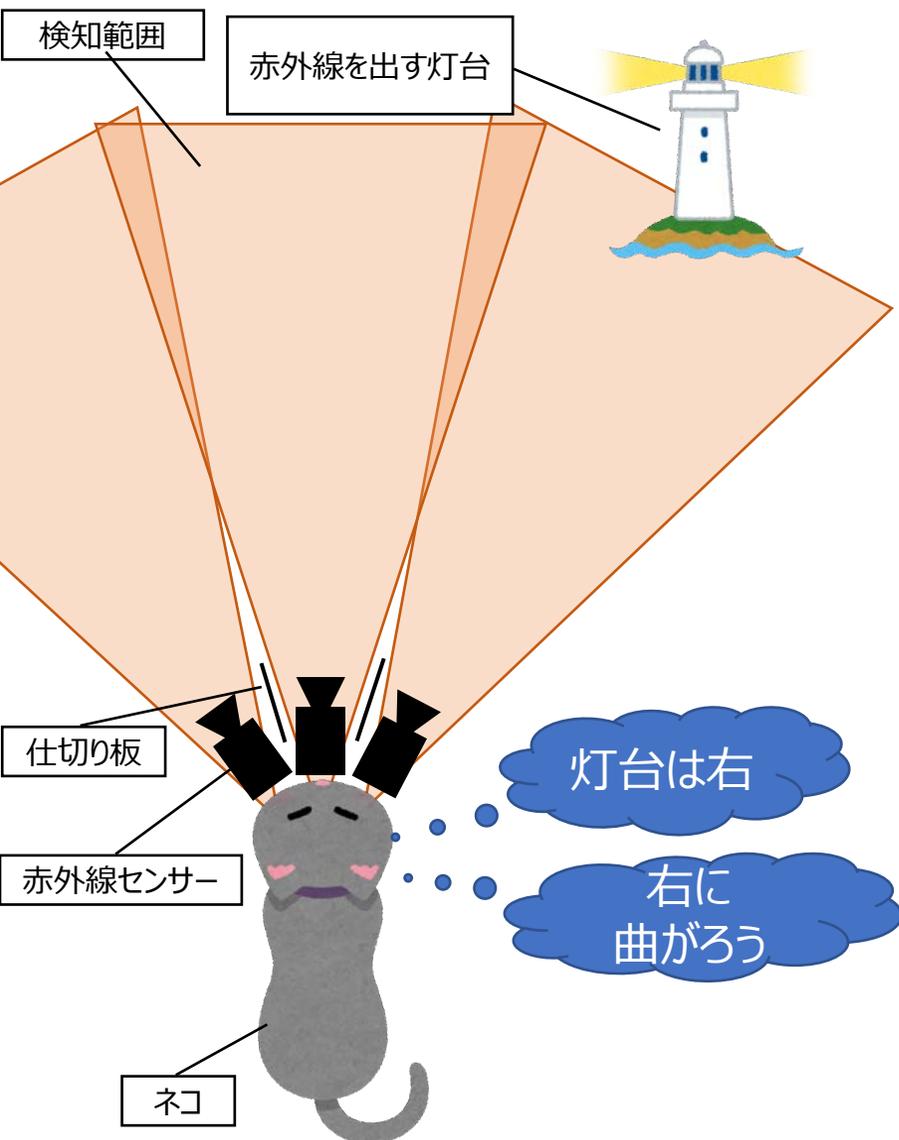
- 外乱・振動・戦略やルール準拠のため、会場での機能の取り外し・センサや配線の故障等でシステムが機能を失っても、それを検出して対処するか、または仕組みとしてして誤った誘導を防ぐこと。

➤ その他

- 撮影への影響のため、可視光・可聴音は禁止。

→これらに則り、次ページから
アイデアの発散と収束を実施

赤外線灯台+赤外線センサアレイ (案1/8)



➤ 赤外線を出す灯台をゴールに設置する

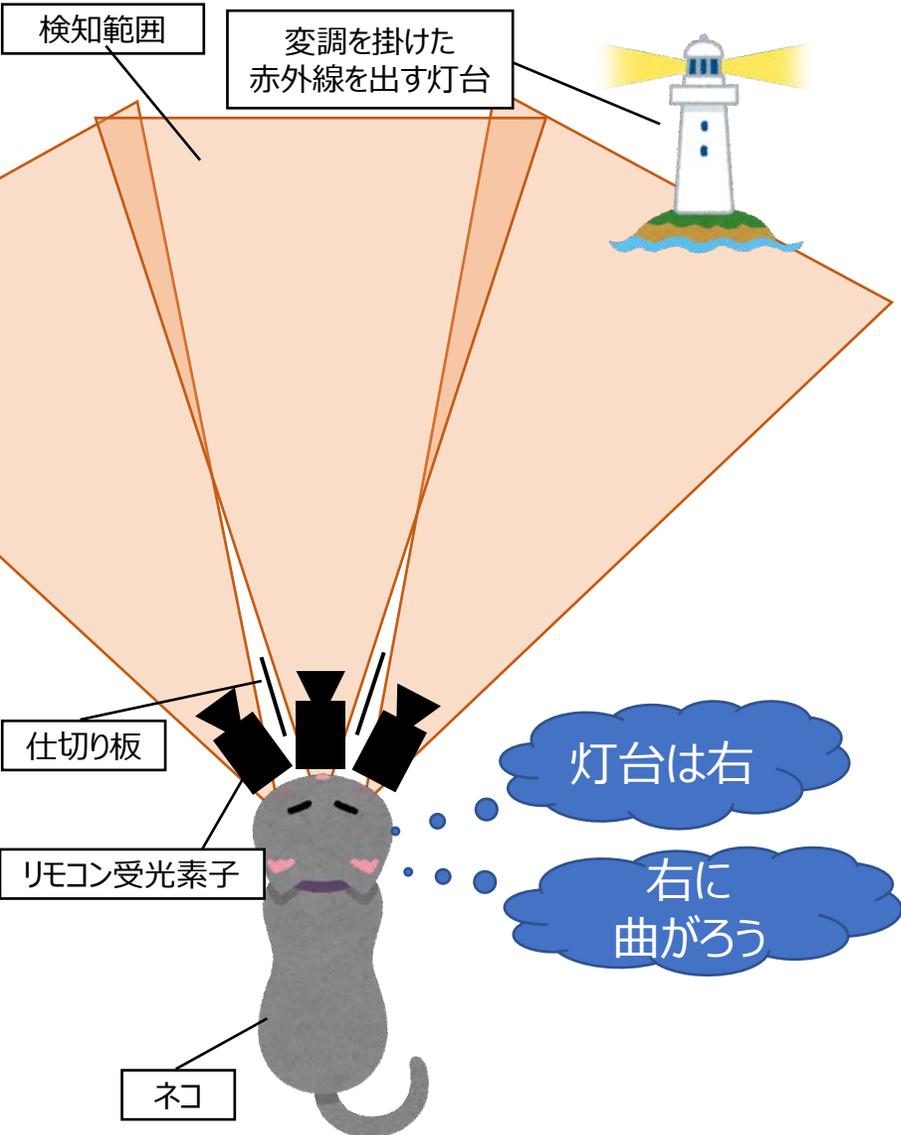
➤ ネコに複数のセンサーを付けて、ゴールの向きを計測

- 仕切り板で受光方向を制限
- 光の強い方向にゴールがある
- 光の強さの比較で、より詳細な角度を計測

十分な性能	△	解像度は赤外線センサの数に依存
開発期間	○	アナログ値を読むだけ
外乱耐性	×	会場照明の白熱灯に反応する可能性が高い
振動耐性	△	センサーの向きは振動の影響を受ける
障害許容性	×	白熱灯と灯台の区別は検知出来ない

→ 白熱灯に弱く、ゴール出来ない可能性があり危険

変調を掛けた赤外線を出す灯台+赤外線センサアレイ(案2/8)



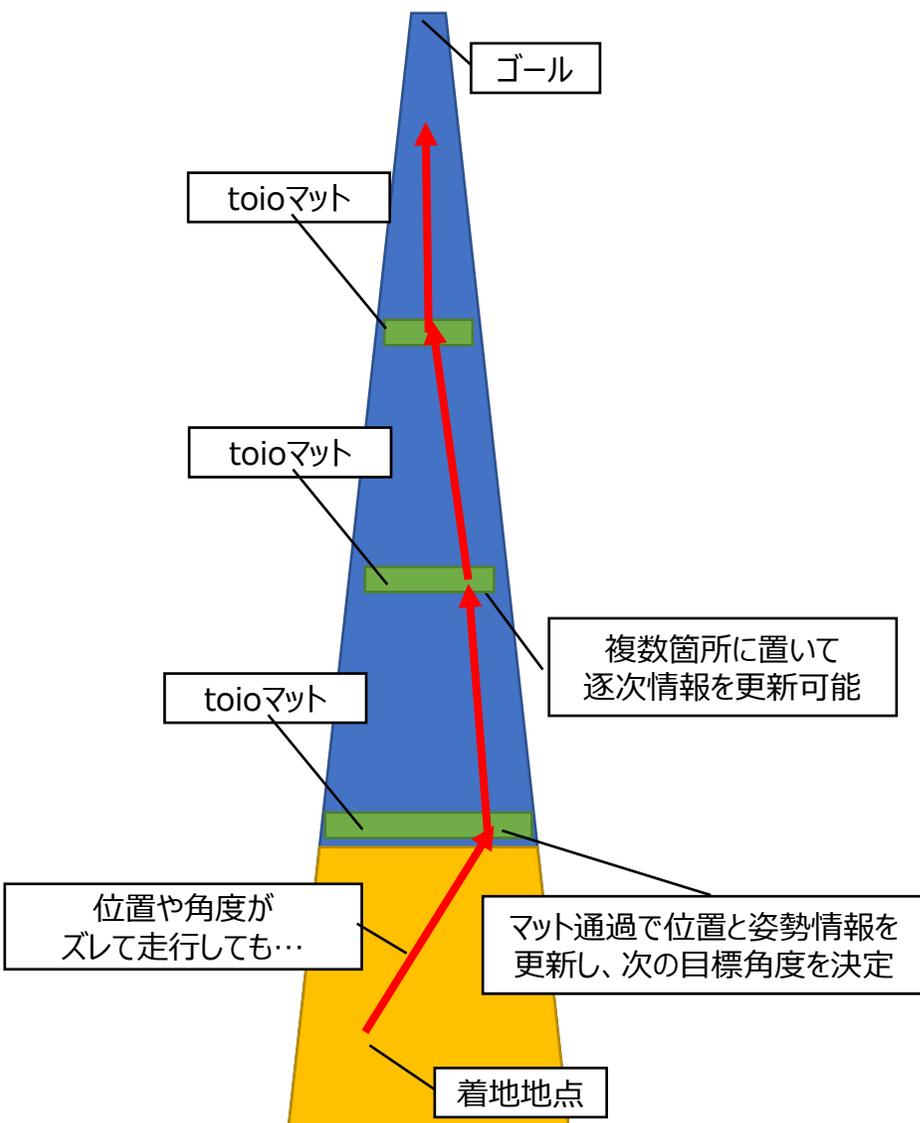
- **40kHz変調を掛けた赤外線を出す灯台**をゴールに設置する
- ネコに**複数のリモコン受光素子**を付けて、ゴールの向きを計測
 - 反応したセンサーの方向にゴールがある
 - 仕切り板で受光方向を制限

十分な性能	×	方向の精度は出ない。蛇行でタイム低下の恐れ
開発期間	○	デジタル値を読むだけ
外乱耐性	○	会場照明の白熱灯には強い(次ページに詳細)
振動耐性	△	センサーの向きは振動の影響を受ける
障害許容性	×	動作が確実なIMUと混ぜて使えない

→蛇行でのタイム低下は避けたい

〜Sニ〜

toio™ (トイオ) & toio™専用マット (案3/8)



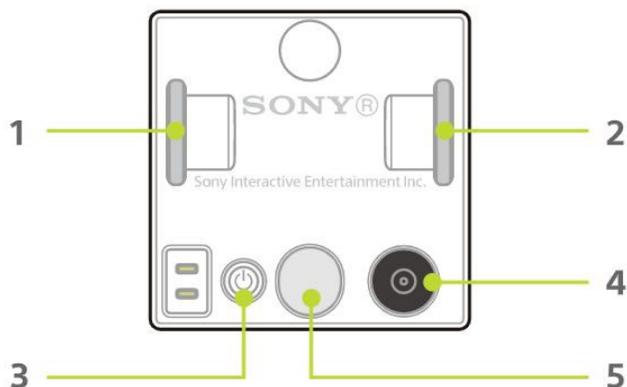
- toio™のセンサーとtoio™専用マットを活用
 - マット上なら、絶対的な位置と姿勢が分かる
 - 理想的な走行経路に追従可能
 - センサーは読めた時だけ値を出すので、誤ったデータを出しづらい
 - マットはA3サイズ12枚分の面積まで敷ける
 - ユーザーが多く、サンプルコードも揃っている。開発者がチームに居る。
- マット通過で位置姿勢を取得出来る
 - もしIMUが落下衝撃で検出角度がズレたとしても修正出来る

十分な性能	?	→次次ページで検証
開発期間	○	ESP32で手軽にデータを取得できた。
外乱耐性	?	→次次ページで検証
振動耐性	?	→次次ページで検証
障害許容性	○	故障・外乱で誤ったデータを出しづらい

toio™&toio™専用マット (案3/8) : toio™の仕組み



- マット上の絶対座標と角度を知る仕組みがある
- 落下後、1度でもこの仕組みを使えばゴールの向きと距離が解る

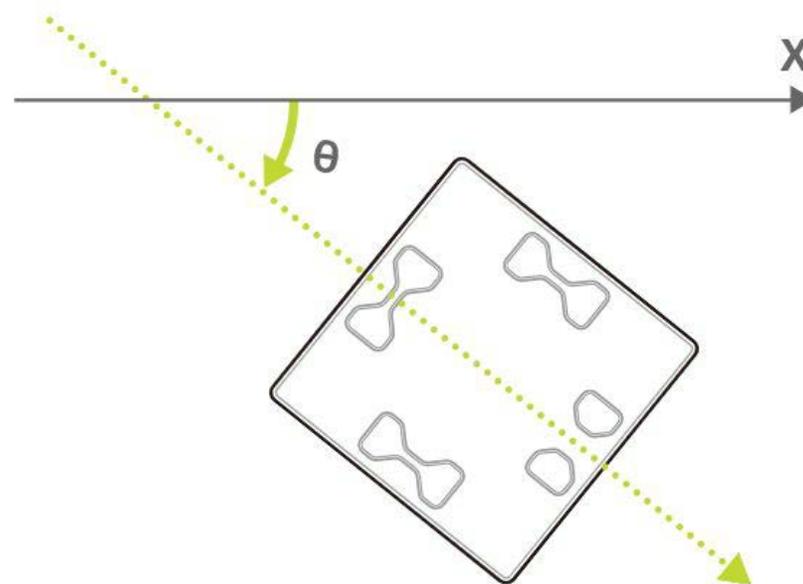


座標 (X 座標、Y 座標)

X 座標および Y 座標は Position ID 上での位置を示す座標です。toio ID 独自に定義されているもので、単位はミリメートルではありません。実際に取得できる座標については[Position ID 一覧](#)を参照してください。

角度

角度は Position ID 上での向きです。以下の図において X 軸方向が 0 度で時計回りが正となる値です。値の範囲は 0 度から 360 度です。



番号	名前	関連する機能・通信仕様
1	タイヤ (右)	モーター
2	タイヤ (左)	モーター
3	電源ボタン	-
4	読み取りセンサー	読み取りセンサー
5	機能ボタン/ランプ	ボタン/ランプ

チーム Sニ一

toio™&toio™専用マット (案3/8) : 評価と結果



➤性能評価

- 通過できる速度の検証→目標速度より低く、読み取り時は減速が必要
 - 0.5m/sくらいを超える速度で読み取りエラーが発生する (目標速度4m/s)

➤振動耐性評価

- マットとセンサー間に許される高さ精度の範囲の検証→歩行の振動で読めなくなる可能性
 - 1.5mmほど浮かせると座標が読めなくなる。4足歩行の本体の上下動が加わると読めなくなる恐れがある。
 - 読み取りタイミングは着地時・走行前にしなくてはならない。通過しながら測定は厳しい。

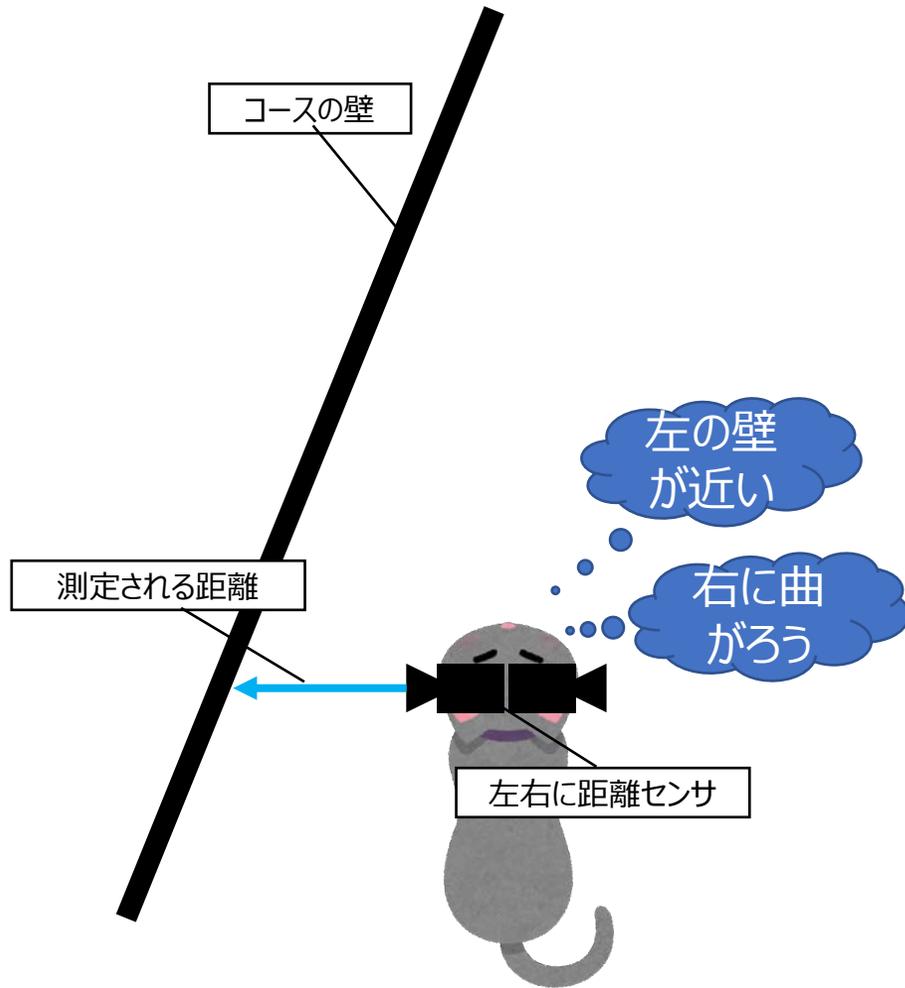
➤外乱耐性評価

- 強力な赤外線がある環境での動作検証→周囲で白熱灯が点いていると読めなくなる場合がある

十分な性能	△	<u>読み取りに減速or停止が必要</u>
開発期間	○	ESP32で手軽にデータを取得できた。
外乱耐性	×	<u>会場の白熱灯で動作しない可能性がある</u>
振動耐性	×	<u>振動には弱い</u>
障害許容性	○	故障・外乱で誤ったデータを出さない

→高速な四足歩行での使用や今回の環境には相性が合わないと判断し、搭載見送り

距離センサ (案4/8)



➤ 左右の壁との距離を測り、位置を調べる

- 距離が片方取れば、ある程度ゴールに直接向かう動作が可能
- 左右の距離が両方取れば、自分の座標が分かり、理想的な走行制御が可能

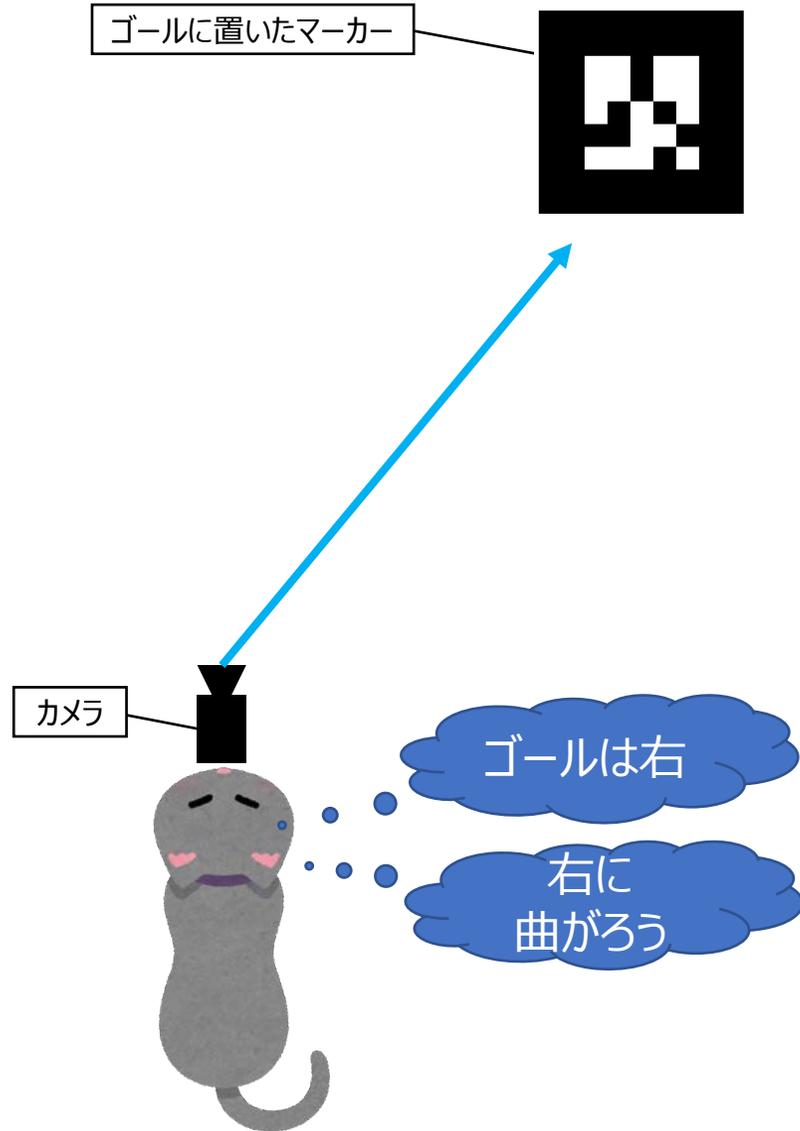
➤ 落下開始検知の検証にPSDセンサーの用意があった

- すぐに使える
- 白熱灯を当てても動作し続けた

十分な性能	○	十分な性能がある
開発期間	○	psdセンサーとプログラムの用意があった
外乱耐性	△	測距対象は現場が初見。検知できる保証が無い。
振動耐性	×	振動で地面との距離を測る可能性がある
障害許容性	×	地面と壁の区別は出来ず、誤誘導が否定できない。

→ゴール出来る可能性を減らす要素があり危険

カメラでゴールマーカ―検出 (案5/8)

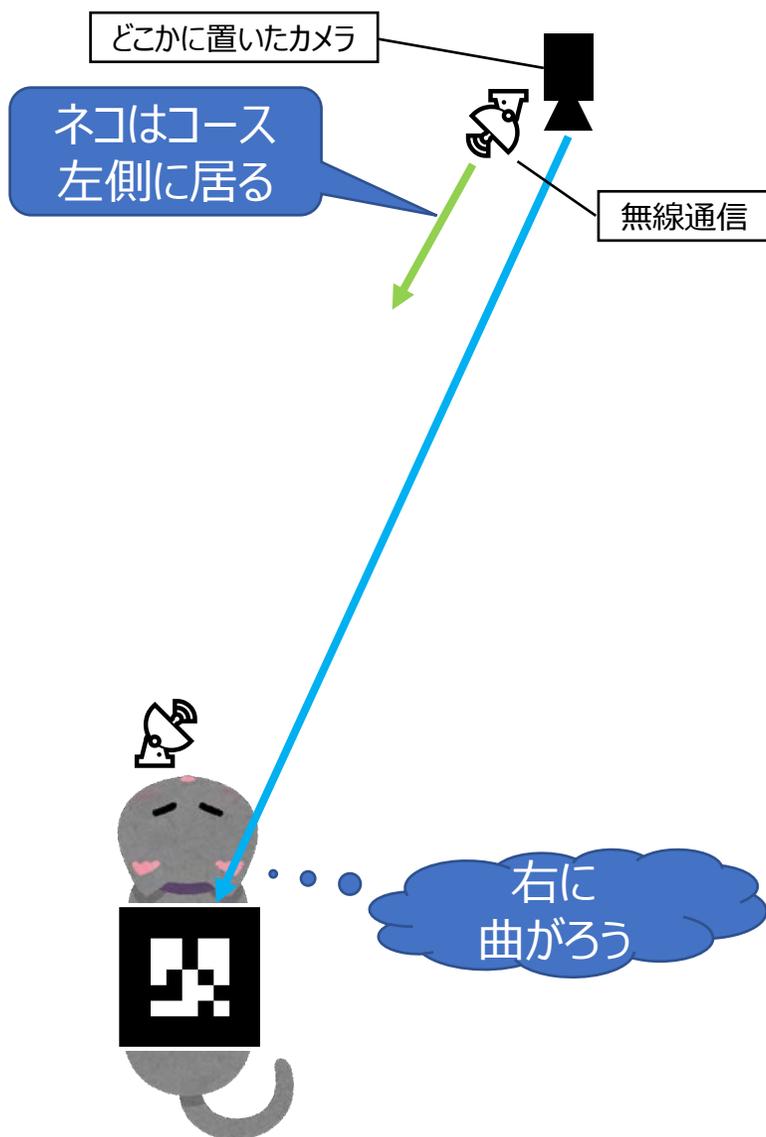


- 赤外線灯台案と同様のことが、高い角度解像度で実現
- プログラム自体は有りふれている。
- カメラに加えて画像処理ボードも搭載必須は難点
- カメラの落下耐性にも配慮する必要あり

十分な性能	△	精度は高いだろうが、画像処理装置が大きく重い。
開発期間	△	どんな環境でも動作出来るような開発は厳しい。
外乱耐性	×	会場環境に合わせた当日の調整は不可能
振動耐性	×	視界は激しくブレる。落下耐性にも懸念
障害許容性	○	マーカ―パターン検知不可なら値を捨てればよい。

→手間と重量に対して利点が小さい

ゴールからカメラでネコの位置姿勢を取得 (案6/8)

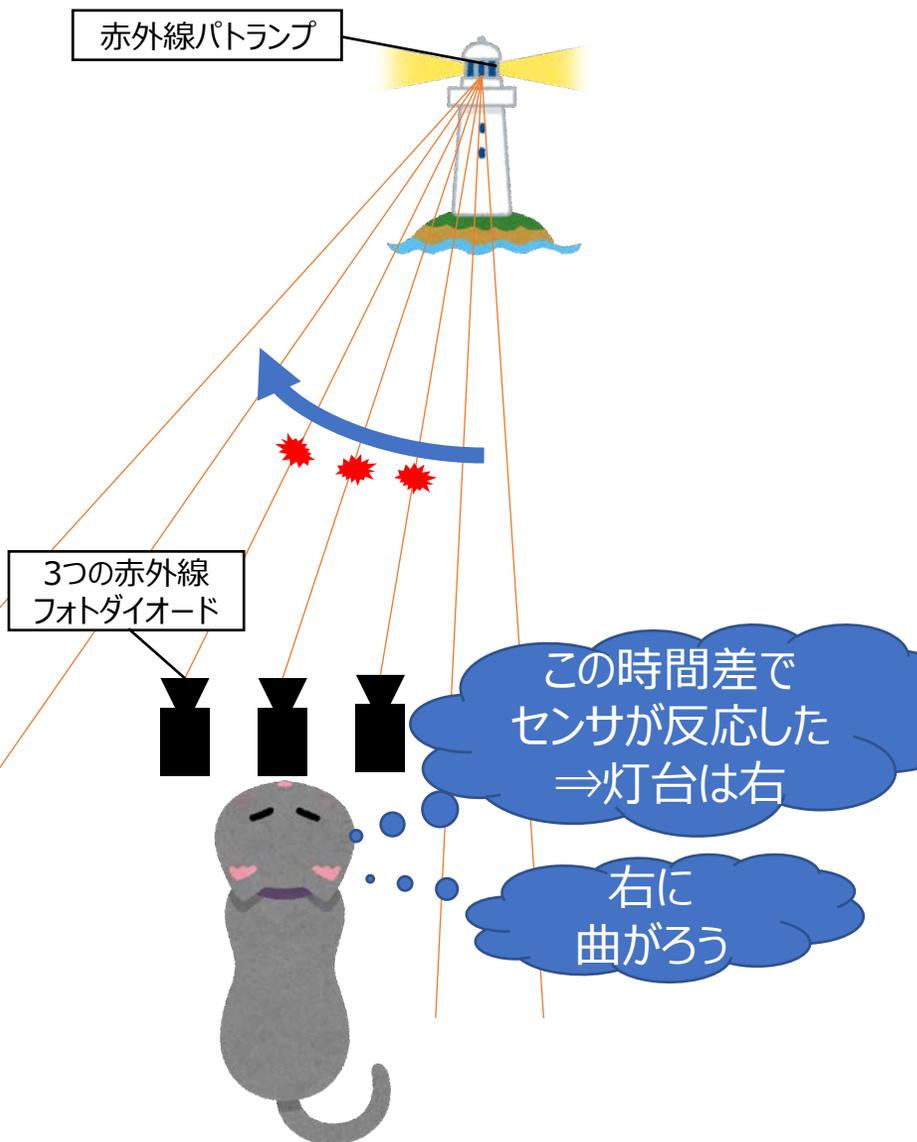


- カメラを外部に設置する
- 視野の振動の問題が改善する
- 重量問題、カメラの落下耐性問題も改善する

十分な性能	○	精度は高く、本体は軽量
開発期間	△	どんな環境でも動作出来るような開発は厳しい
外乱耐性	△	視野が固定なら、ある程度調整出来るかも
振動耐性	△	マーカーは振動する
障害許容性	○	マーカーパターン検知不可なら値を捨てればよい。
ルール準拠	×	ネコが自分で位置を検出しなければルール違反に

→レギュレーションに合わないので却下

パトランプ灯台 (案7/8)



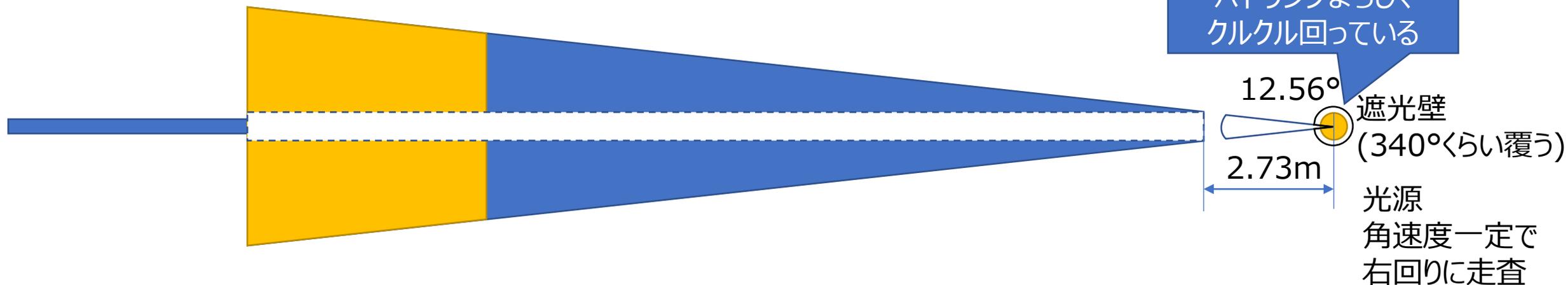
- 細い赤外光をパトランプのようにクルクル一定速度で回す
- 3つのフォトダイオードの赤外線検知タイミングのズレから灯台までの距離と角度を算出する

十分な性能	?	精度がどれくらい出せるか?
開発期間	?	回転台が必要だが開発出来るか?
外乱耐性	○	変調を掛ければOK。ただし38kHzでは遅いかも。
振動耐性	△	振動は受光タイミングに影響する可能性
障害許容性	○	外乱を受けてデータが得られないことを検知できる

パトランプ灯台 (案7/8) : 構成



コース構成



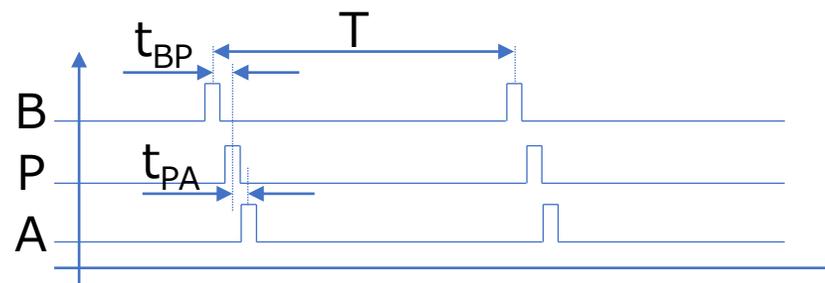
ALKNYAN構成

正面向き直線状等間隔に
赤外線フォトダイオードを3つ配置
10cm間隔で配置することを想定



SONY

※頂点は、立ち上がり時刻と
立下り時刻の間として算出する



チーム Sニ一

パトランプ灯台 (案7/8) : ズレとゴールまでの距離算出



円Oを原点中心の円としたとき、
円O上の点は、次の方程式を満たす

$$x^2 + y^2 = r_1^2$$

同様に円O'上にある点は、
次の方程式を満たす

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_2^2$$

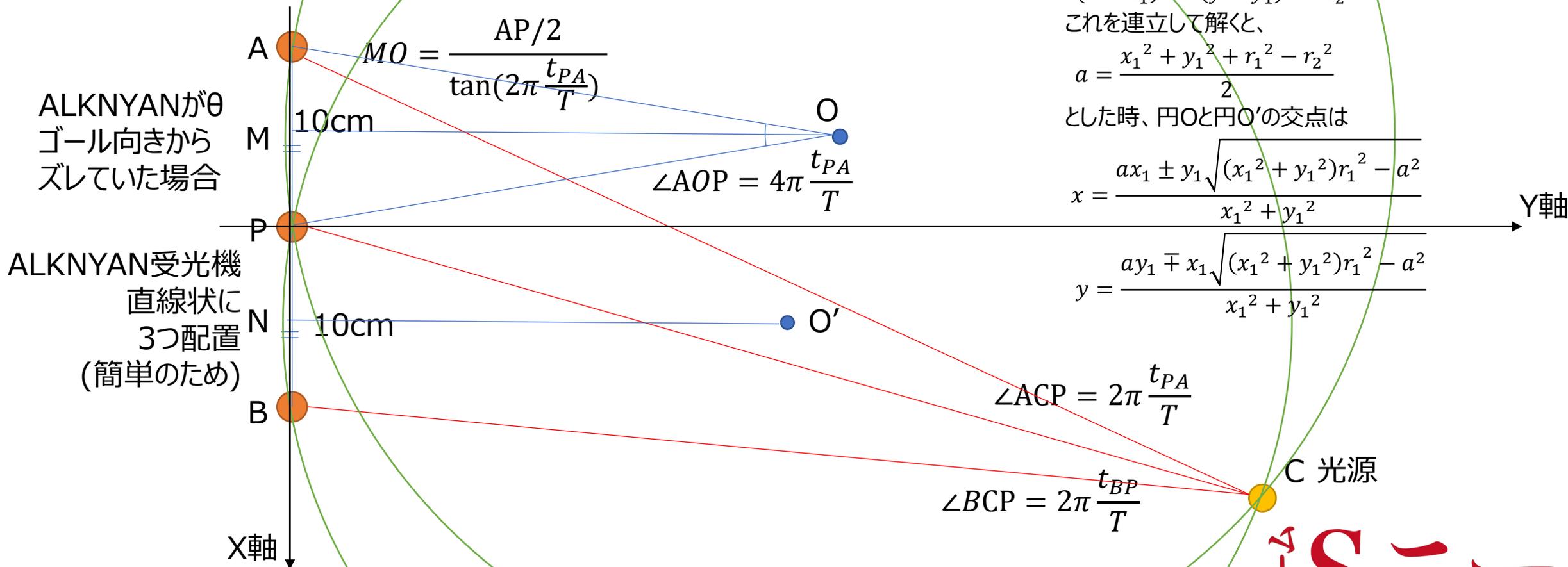
これを連立して解くと、

$$a = \frac{x_1^2 + y_1^2 + r_1^2 - r_2^2}{2}$$

とした時、円Oと円O'の交点は

$$x = \frac{ax_1 \pm y_1 \sqrt{(x_1^2 + y_1^2)r_1^2 - a^2}}{x_1^2 + y_1^2}$$

$$y = \frac{ay_1 \mp x_1 \sqrt{(x_1^2 + y_1^2)r_1^2 - a^2}}{x_1^2 + y_1^2}$$

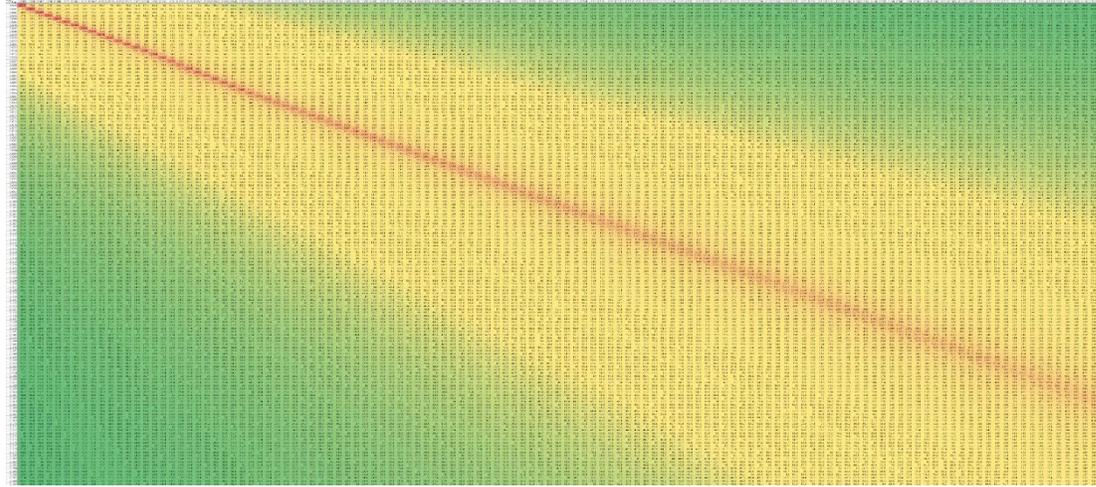


パトランプ灯台 (案7/8) : Simulation結果

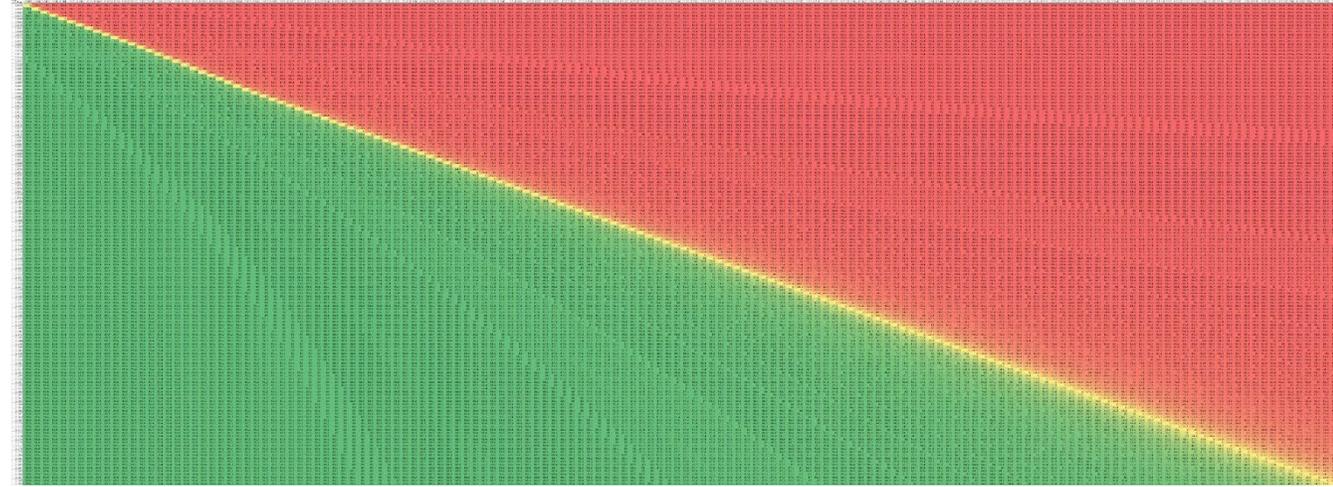


➤ tBPとtPAの値をテーブルにして、出力を色付けしてみた

距離推定値



角度推定値



特に角度推定が、
ちょっと測定値がズレるだけで
大きくずれることが判明

例えばTを100msとした場合、
BとP、PとAの間隔を10cmの時は、
tBPとtPAがそれぞれ0.04msくらい。
そして、例えばtBPが0.04ms、tPAが0.041msだった時、
ALKNYANがゴールに対して78度傾いていることになる。
10度オーダーで傾き検知しようと思うと、
tBPが0.04msの時、tPAは0.04005msくらいになるので、
0.05us=50nsのオーダーで時差を測定できないといけない。
50ns=20MHzなので、ADCを20MHzでぶん回さないといけない。

そもそもこの複雑な計算をマイコンで
実現できるか？
演算しないようにするためにLUTを
用意することもできるが、メモリ領域
は相当食うことになると予想

パトランプ灯台 (案7/8) : 結論

➤性能Simulation

- 絶対座標と角度が算出できるが、マイコンの演算能力とADCの読み取り周波数(20MHz)に課題

➤開発期間

- 非常にセンシティブなシステム構成となることが判明
- コギングまで配慮された回転台の開発に対して知見がないため、開発期間は十分確保できないと判断

➤外乱耐性

- 一般リモコン変調では周波数(38kHz)が低すぎるためNG。変調を掛けるなら80MHz以上
- 赤外線レーザーの活用で十分な耐性が得られる可能性はあるが未検証

十分な性能	×	十分な精度を出そうとすると、マイコンの演算能力とADCに課題
開発期間	×	回転台の回転速度安定化を含めた開発には時間がかかる
外乱耐性	△	赤外線レーザーの活用で十分な可能性あり
振動耐性	○	振動は受光タイミングに影響する可能性
障害許容性	○	外乱を受けてデータが得られないことを検知できる

→特に灯台の開発実現性に難があると判断

エリア分け灯台(案8/8):アイデアの元ネタは飛行場

➤ 進入角誘導灯 PAPI (Precision Approach Path Indicator)

- 滑走路の横に4組並ぶ、赤と白に光るランプ

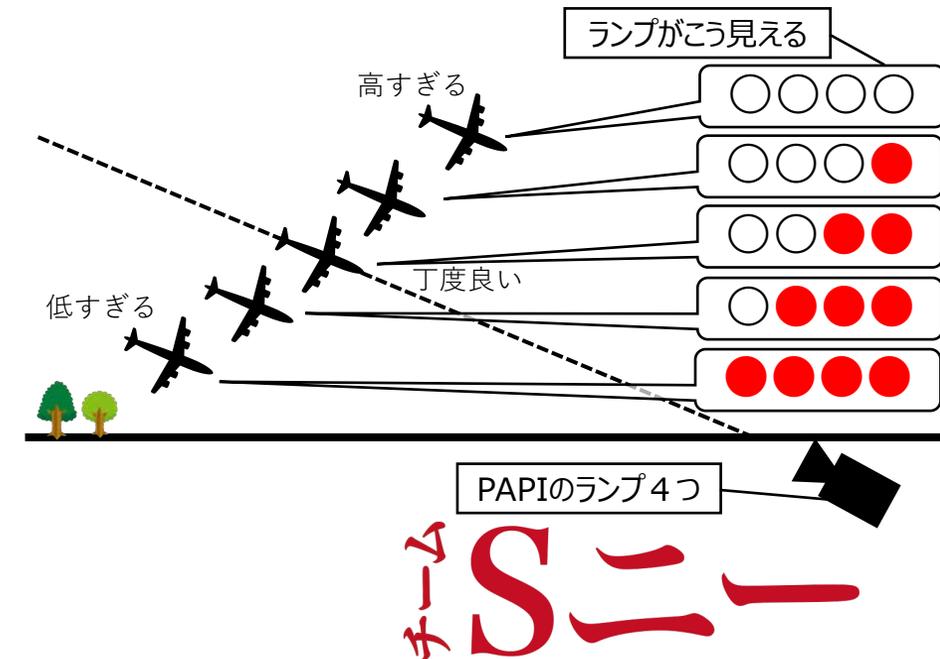
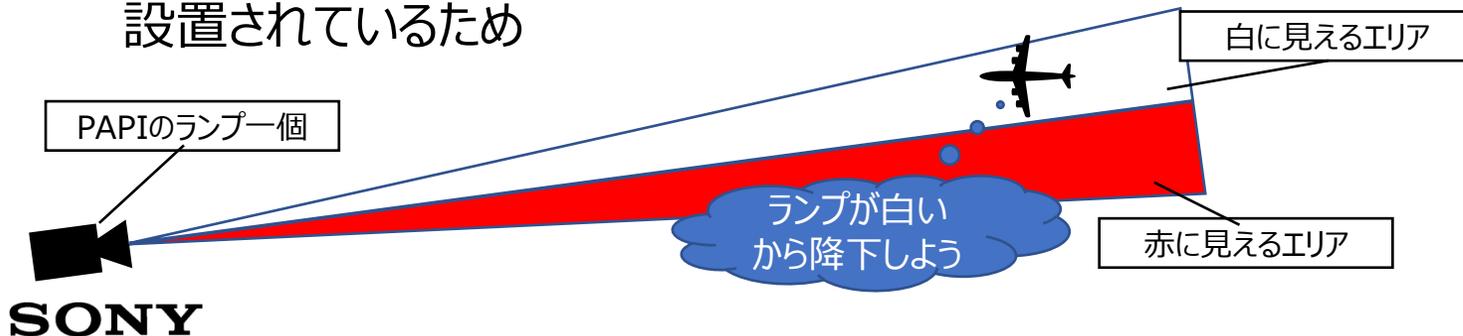
➤ 使い方

- 白2赤2の場合は、正しい降下率で滑走路に向かってしていると分かる。そのまま着陸すると良い。
- 赤が多いと低すぎるので、降下を緩めて高度を保つ
- 白が多いと高すぎるので、降下を速くするか、着陸を諦める
- →このシステムを左右方向で作れば、
ネコをゴールに導けるのでは! ?

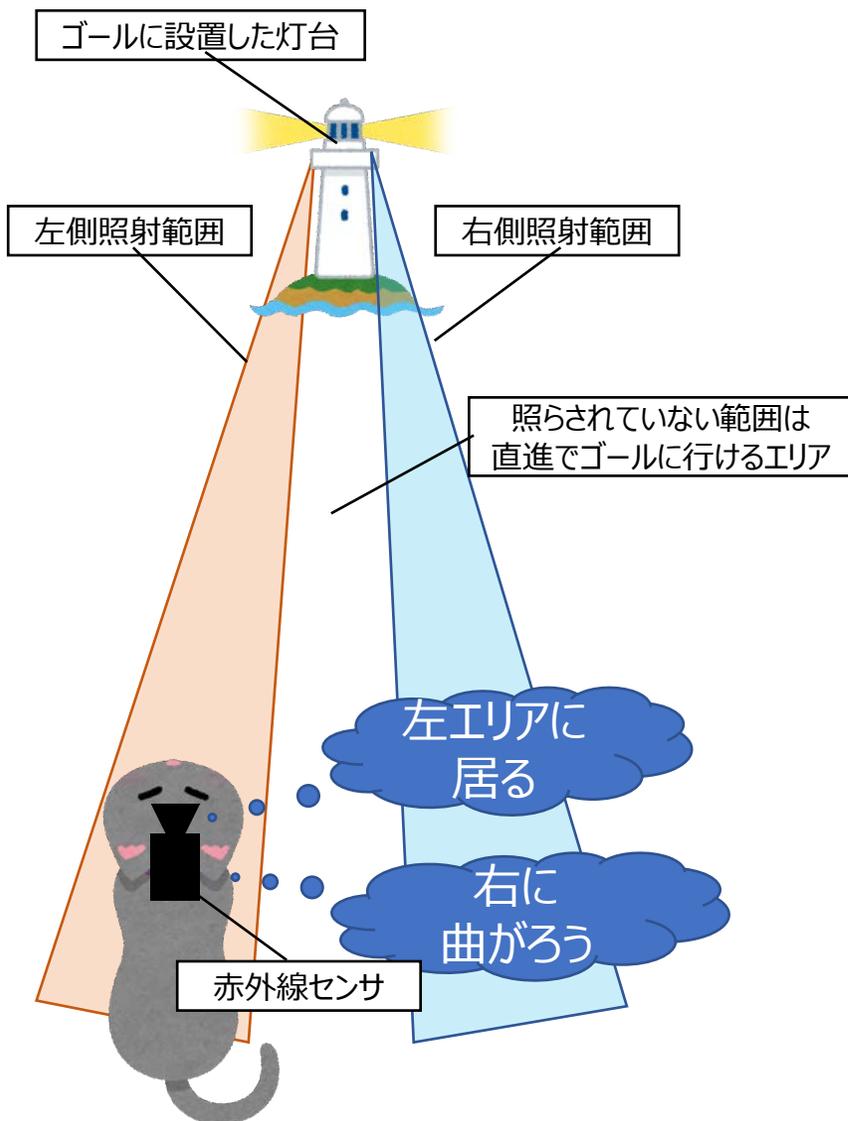


➤ 仕組み

- ランプはセンサーなどは使っていない。見る向きによって見える色が変わる構造になっている。
- 赤と白の個数が変化するのは、それぞれのランプが角度を変えて設置されているため



エリア分け灯台(案8/8): ALKNYANへの展開



➤ 走行コースの左右に別々の赤外線を出す

- 右エリアなら左に向く、左なら右に。直進エリアでは直進。
 - 向く角度はIMUの値に従う。例えば右は-10度を目標に角度制御など
- 直接ゴールに向かうわけでないので理想的な動作ではない

➤ 故障・外乱に非常に強い

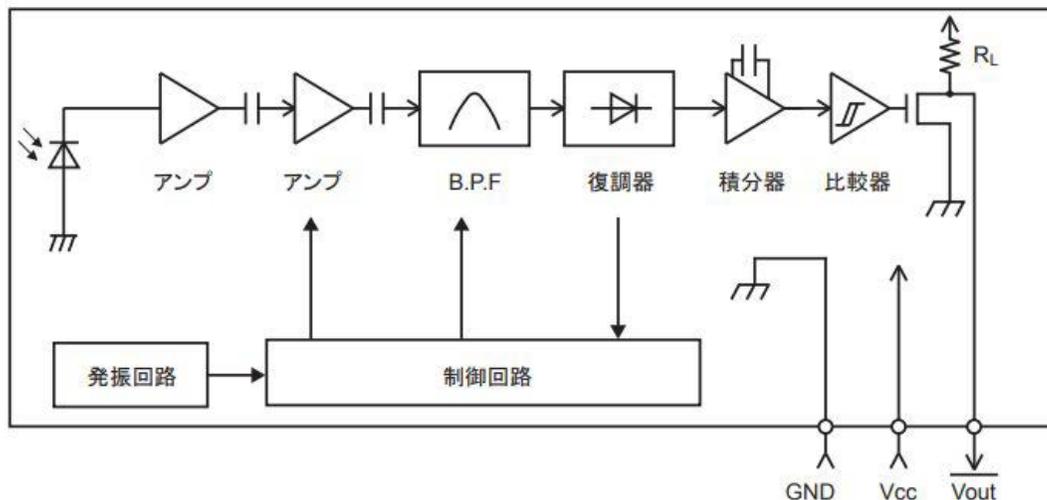
- センサー・配線・灯台などの故障や環境光での動作不良が起きれば、直進エリアのロジックが動作して、とりあえず直進する。悪条件でもゴールは出来る可能性が高い。

十分な性能	?	綺麗なエリア分けが可能な光学系を開発可能か? →検証
開発期間	?	二種類の赤外線の送受信をすぐ用意できるか? →検証
外乱耐性	○	変調を掛ければ、会場照明の白熱灯に強い
振動耐性	○	強い振動を受けても受信に問題は無い
障害許容性	○	故障・外乱では直進エリアと同じ信号が得られる

エリア分け灯台(案8/8):二種類の赤外線をすぐ用意できるか？

- ×異なる波長の赤外線LED 2つと同様のフォトダイオード2つ
 - フォトダイオードは仕様通りの波長の外でも十分検出してしまふので没
- ×赤外線LEDに異なる周波数変調を掛けて、受信側で周波数ごとに分類する
 - 変調を掛けた赤外線灯台(案2/8)の改良版。出来そうだが、↓のアイデアが良かったので没
- ○赤外線リモコンの信号で分ける 右はCH1、左はCH2など →採用
 - 赤外線リモコンは赤外線LEDに変調と信号生成する基板までついたうえ、安価。
 - 受光モジュールも安価に購入可能。プログラム例も多数。
 - 外乱に強い。テレビリモコンは直射日光が当たっても正常に動くよう作られている。

参考：赤外線リモコン方式だとロバストネスが高くなる理由



リモコンの受光モジュールは大体左のような構成となっている。
 この構成で、38~40kHzのIR変化を抽出して復調するため、定常的な赤外光（照明や太陽光）が重畳されてもリモコン信号の復調が可能。西向きの部屋でテレビリモコンが使えるのは、この仕組みのおかげ。

→二種類の赤外線問題は容易に解決できそう。

SONY

エリア分け灯台(案8/8): エリア分けが可能な光学系を開発可能か?

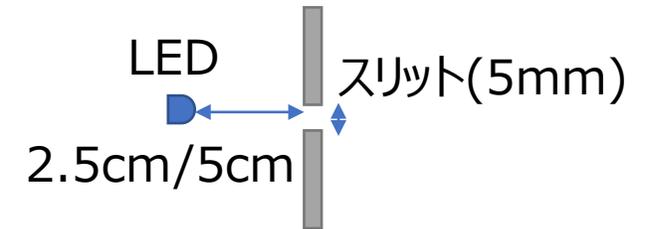
➤ スリットでの照射方向限定のテスト

➤ 使用物品

- 市販のリモコン(RMF-TX900U) 電池電圧2.767V
- 市販のリモコン受光モジュール
- MDFをレーザーカットした5mmのスリット

➤ 測定条件

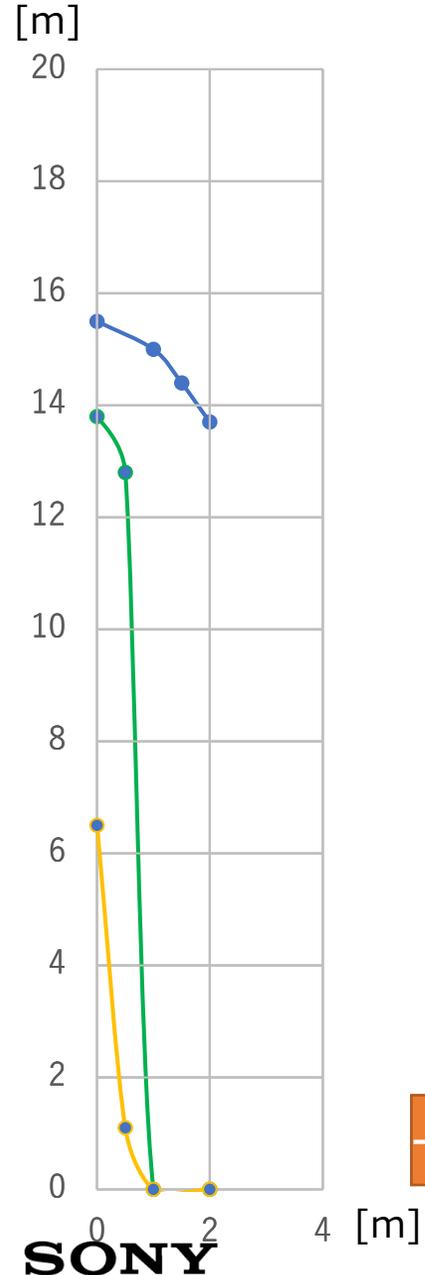
- スリットとリモコンLED部との距離を次のように変更
 - スリット無し
 - 2.5cm
 - 5cm



➤ 結果

- スリットにより、照射角を絞ることはできるが、同時に到達距離も短くなる
- 近づくとも照射エリアが広がる。エリアの境目が直線的ではない。

→スリットだけの照射エリアの綺麗な限定は難しい。



エリア分け灯台(案8/8):エリア分けが可能な光学系を開発可能か?

リトライ編



1. 照光エリアの境目がはっきりした既製品を
思い浮かべる…スポットライト?



2. ネットで調査開始。

Google スポットライト 仕組み

約 135,000,000 件 (0.47 秒)

電球の前に凸レンズを1枚置くと、光は集まります。スクリーンを動かし、光源のフィラメントの像を作ります。フィラメントの一点から出て広がっていた光が、スクリーン上の一点に集まっています。

<https://www2.nhk.or.jp/school/movie/clip> · このサイトをブロックする

[スポットライトのしくみ-中学 | NHK for School](#)

3. NHKの中学生向け動画を発見し参考に。

NHK for School

先生向け OFF

先生向けとは

いっしょに ばんぐみ一覧 プレイリスト おうちで学ぼう!

学びをひろげよう ヘルプ リンク集

内容

電球と2枚の凸レンズを使い、スポットライトを作ってみましょう。電球の光は四方八方に広がります。電球の前に凸レンズを1枚置くと、光は集まります。スクリーンを動かし、光源のフィラメントの像を作ります。フィラメントの一点から出て広がっていた光が、スクリーン上の一点に集まっています。このスクリーンの位置に、二枚目のレンズを置きます。スクリーンをレンズから離すと、きれいな丸が出来ました。二枚目のレンズを外してみましょう。ぼんやりと横長の灯りが見えます。二枚目のレンズを入れると、この灯りが消えます。この灯りは、ピントが合っていない、光源のフィラメントです。二枚目のレンズは光源の像を消すためのレンズだったわけです。この光の丸は、一枚目のレンズの像です。紙で作った矢印を、一枚目のレンズの前に差し出すと、逆さまになった矢印の影が出来ます。スクリーンを外してみましょう。人形にきれいに光が

再生開始 00 : 00 ~ 再生終了 02 : 36 決定

スポットライトのしくみ-中学

電球と2枚の凸レンズを使って、スポットライトを作り、そのしくみを見る映像です。

シェアする ?

https://www2.nhk.or.jp/school/movie/clip.cgi?das_id=D0005401142_00000

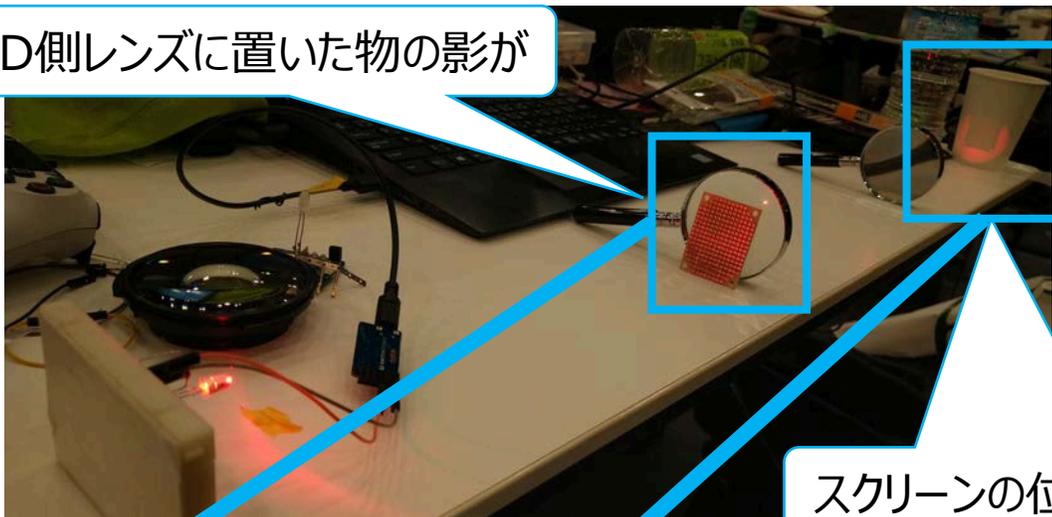
エリア分け灯台(案8/8): エリア分けが可能な光学系を開発可能か?

実験と結論

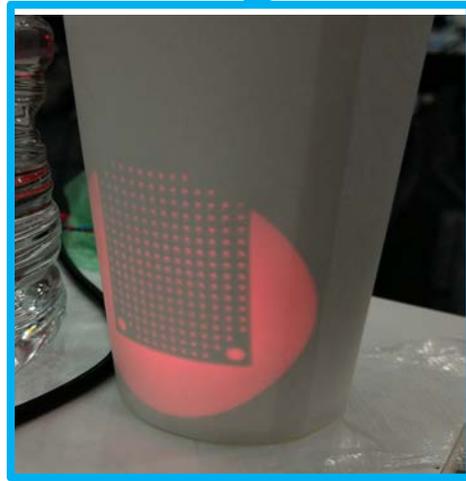
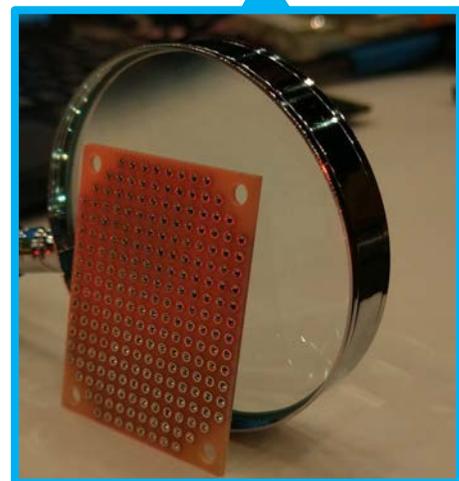


4. 参考にした動画の実験を虫眼鏡で再現、境界の綺麗に分かれた光を得られた

LED側レンズに置いた物の影が



スクリーンの位置に関わらず綺麗に映る



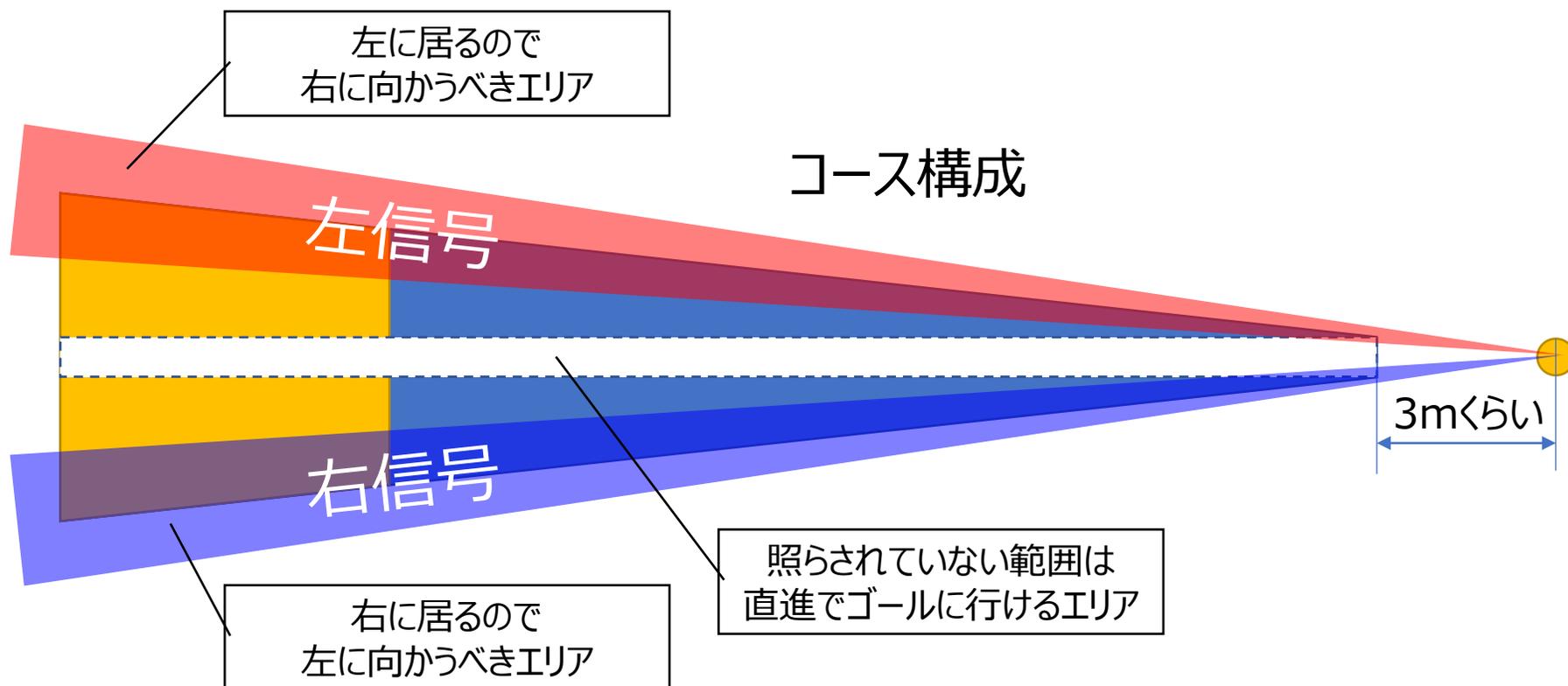
十分な性能	○	綺麗なエリア分けが可能な光学系を用意できそう
開発期間	○	リモコン信号で二種類の赤外線を識別可能
外乱耐性	○	変調を掛ければ、会場照明の白熱灯に強い
振動耐性	○	強い振動を受けても受信に問題は無い
障害許容性	○	故障・外乱では直進エリアと同じ信号が得られ完走は可能

→全ての要素を満たせた。これで開発を進める。

本命案：スポットライト・ソニーリモコン方式



- 市販のリモコンを、スポットライト光学系で指向性を上げてコースの左右を別々に照らす
- 左右はそれぞれ別のリモコン信号を照射する
- 信号の境界線を検知し制御に使えるよう、赤外線信号の受光素子は左右で2つ配置



ALKNYAN構成



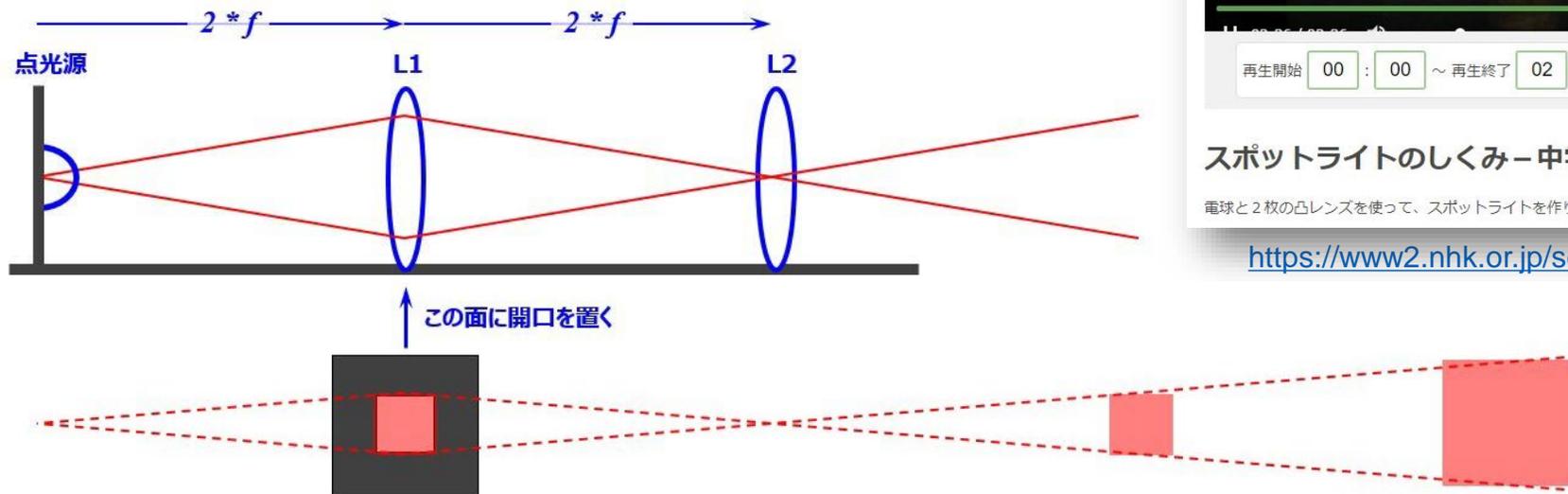
テレビの受光素子を
両目に配置
※1つでも制御は可能

チーム Sニャー

スポット光学系：原理

スポットライト・ソニーリモコン方式の構想から、放射角が狭く切れの良い照明系を用意したい。そのような光学系として、NHKの動画教材を参照して、《スポットライト》に着目した。

スポットライト光学系は、焦点距離 f のレンズ $L1 \cdot L2$ を点光源から $2 * f$ 間隔で2枚設置した構成をとる。 $L1$ における像を、少ない収差で (=切れが良く) 投射できる。 $L1$ に開口を設けることで、放射角を制限できる。



NHK for School

先生向け OFF

先生向けとは

ぼんぐみ一覧 プレイリスト おうちで学ぼう!

学びをひろげよう ヘルプ リンク集

内容

電球と2枚の凸レンズを使い、スポットライトを作ってみましょう。電球の光は四方八方に広がります。電球の前に凸レンズを1枚置くと、光は集まります。スクリーンを動かして、光源のフィラメントの像を作ります。フィラメントの一点から出て広がっていた光が、スクリーン上の一点に集まっています。このスクリーンの位置に、二枚目のレンズを置きます。スクリーンをレンズから離すと、きれいな丸が出来ました。二枚目のレンズを外してみましょう。ぼんやりと横長の灯りが見えます。二枚目のレンズを入れると、この灯りが消えます。この灯りは、ピントが合っていない、光源のフィラメントです。二枚目のレンズは光源の像を消すためのレンズだったわけです。この光の丸は、一枚目のレンズの像です。紙で作った矢印を、一枚目のレンズの前に差し出すと、逆さまになった矢印の影が出来ます。スクリーンを外してみましょう。人形にきれいに光が

再生開始 00 : 00 ~ 再生終了 02 : 36 決定

シェアする ?

スポット光学系：原理確認

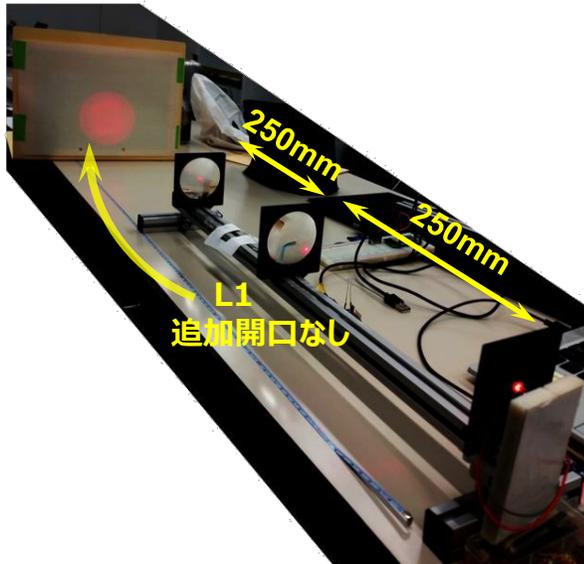
・レンズ

東急ハンズで購入したアクリルレンズ TSK TK-55P を使用した。
焦点距離は実測したところ、125mmであった。

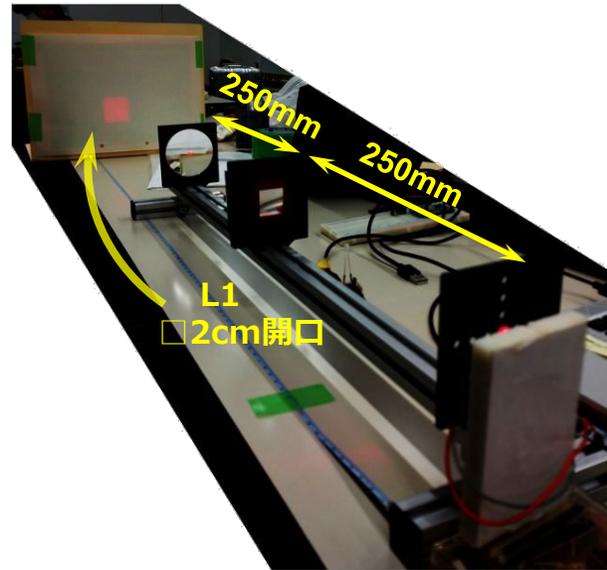
・原理確認実験

このレンズと赤色LEDを使って、スポットライト光学系を組んで原理を確認した。
赤色LEDを光源に、 $2 * f = 250\text{mm}$ 間隔で2枚のレンズL1・L2を設置した。
下の写真の通り、L1の開口に応じた投射パターンが得られることが確認できた。
□2cm開口を設けた場合の投射角度は、 4.9deg -pとなった。

L1) 追加開口なし



L1) □2cm開口

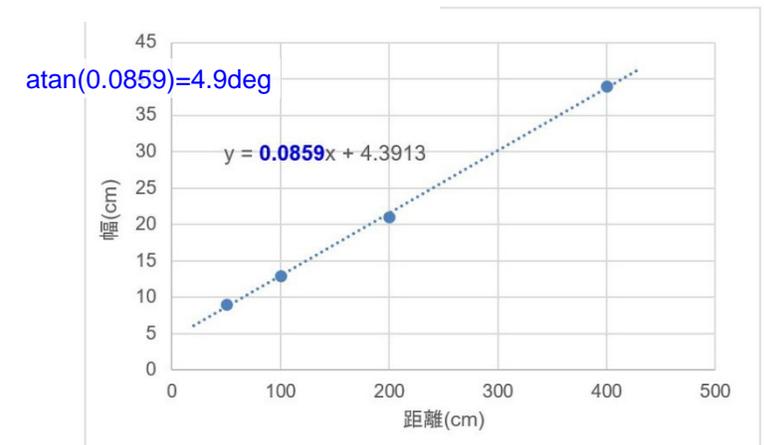
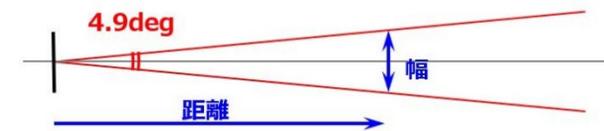
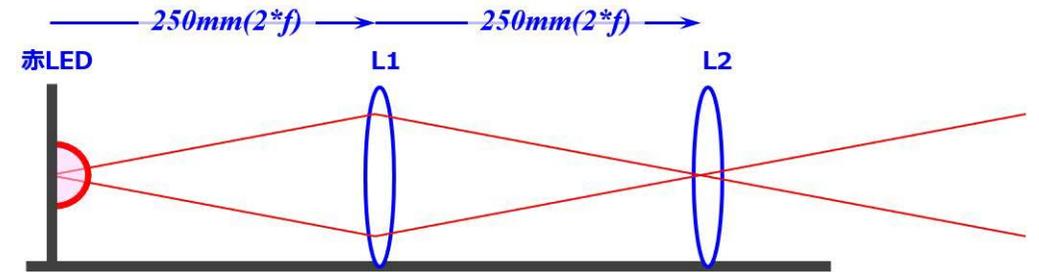


TSK 素材アクリルレンズ TK
-55P | 樹脂・プラスチック



詳細情報スペック

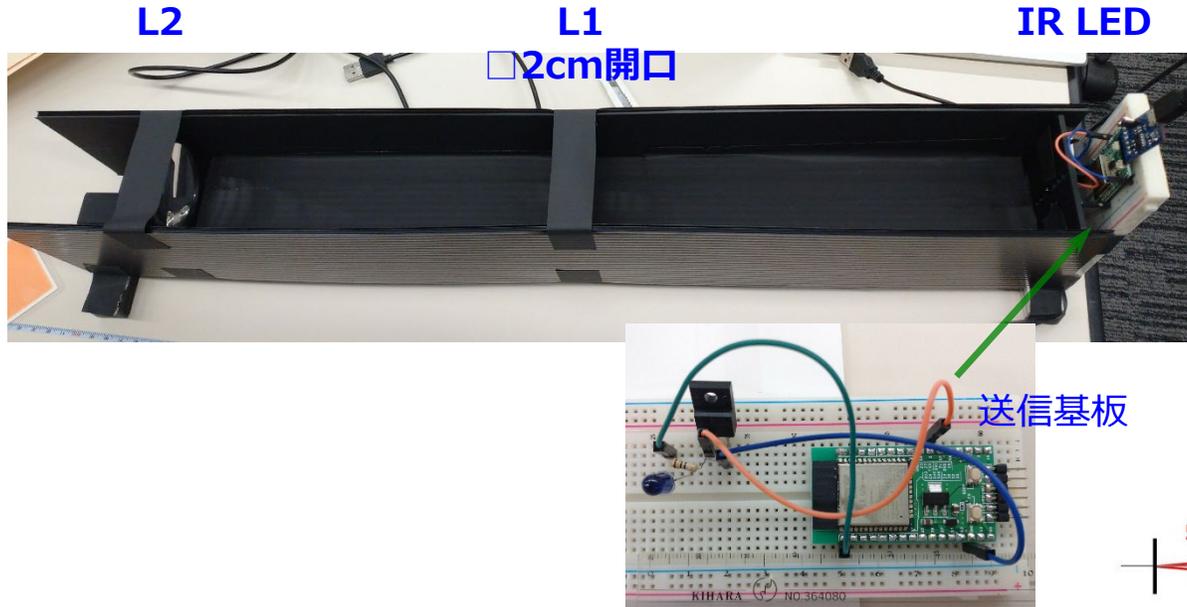
本体サイズ(約)	径55mm
倍率(約)	2.5倍
重量(約)	16g
素材	アクリル樹脂
原産国	日本



スポット光学系：試作

・IR LEDでの試作

リモコンで使う波長 $\lambda=940\text{nm}$ のLEDを搭載し、リモコンの送受信基板を使って、検出できる距離・範囲を調べた。赤外光は見えないので、可視：赤色LEDでレンズの位置を調整・固定したのち、IR LEDにませ換えを行った。



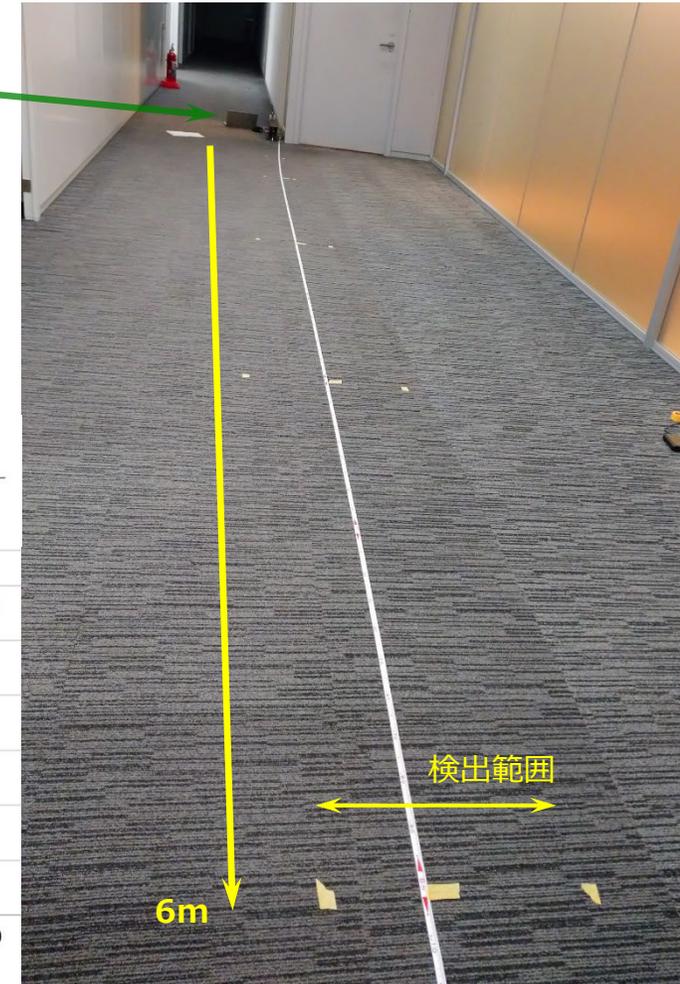
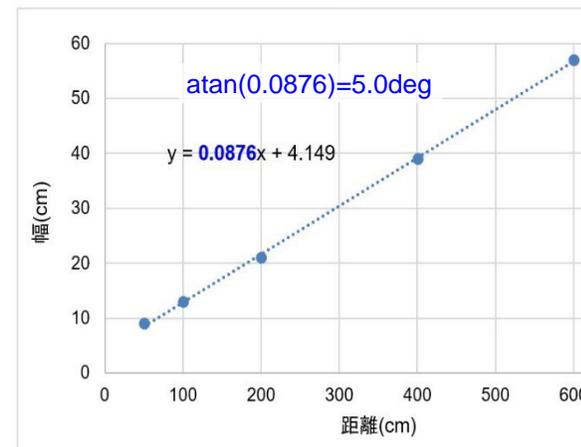
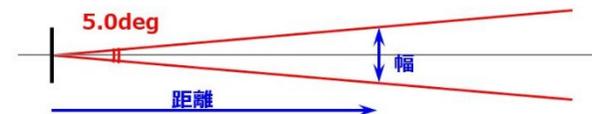
IR LED

$\phi 5.0\text{mm}$ 砲弾型
型番不明
 $I_{\text{peak}}=200\text{mA}$ で駆動

測定結果

放射角度は 5.0deg -p, 赤色LEDと同等であり、安定に制御できている。コースの角度(6.3deg)を鑑みて、ほど良い角度だと考えた。

投射距離は6mと、第一弾としては悪くないが、着地後のコース長(20m)に対応すべく、長距離化が課題となった。



スポット光学系：高出力LEDによる長距離化

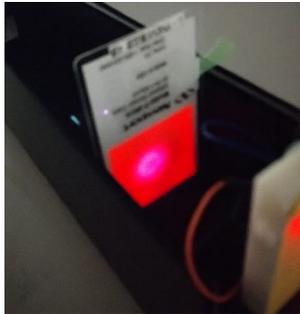


・LEDの選定

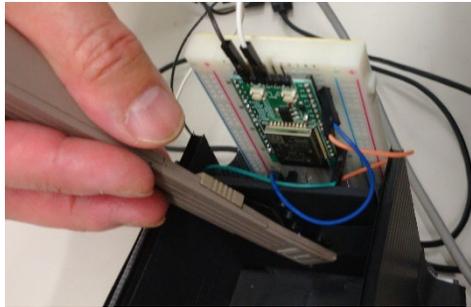
φ5砲弾型・λ=940nmの条件でできるだけ高出力なLEDを探して、**OSI5LA5A33A-B (OptoSupply)** を入手した。
前頁の試作で使ったLEDは型番・特性が分からないが、光パワーメータやIRカードセンサで比較測定を行った。
OSI5LA5A33A-B は、1.4倍の光出力を持っており、
長距離化が期待できることが分かった。

	OSI5LA5A33A-B	型番不明
光出力(If=100mA)	17.8mW	12.5mW
広がり角	±15deg	←同等

IRセンサーカード

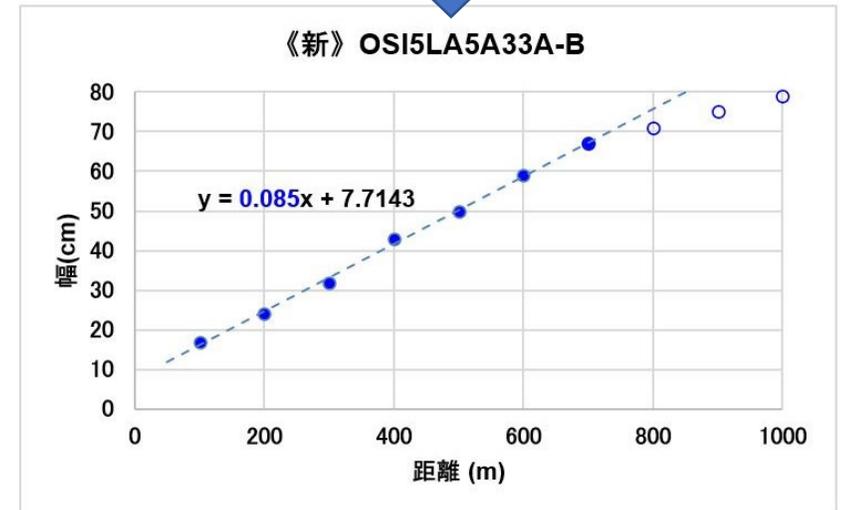
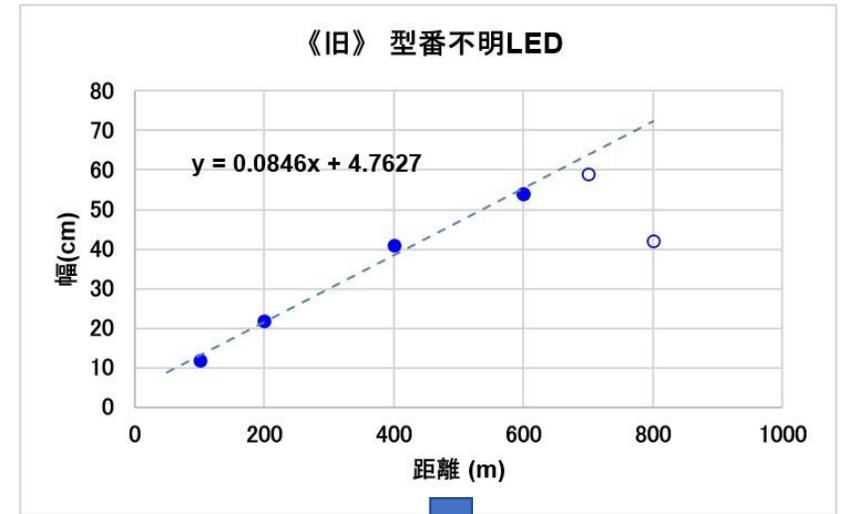


光パワーメータ



測定結果

LEDの高出力化の寄与により、
投射距離は6mから10mに伸ばすことができた。
しかし、目標(>20m)には程遠く、新しい手立てが必要である。



スポット光学系：マルチLEDによる長距離化



・マルチLED：投光器の導入

単一のLEDでは高出力化・長距離化に限界があることから、56灯のマルチLEDを導入した。

単一LED
OSI5LA5A33A-B



出典：秋月電子通商



マルチLED
AE-LED56V2



出典：秋月電子通商

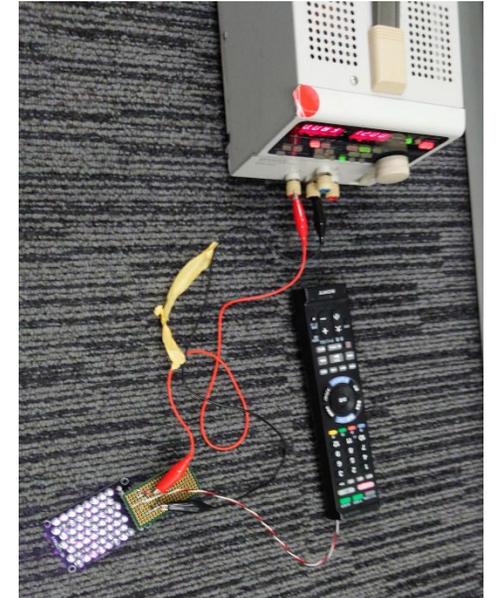
OSI5LA5453B(OptoSupply)
56灯搭載！

多灯化に伴い、電源も強化
(乾電池⇒16V ACアダプタ)
LED 1灯あたり、100mA流して高輝度化

測定結果

LEDの出力は十分高くなり、>25mの長距離化を達成。
目標 (>20m) をクリアした。

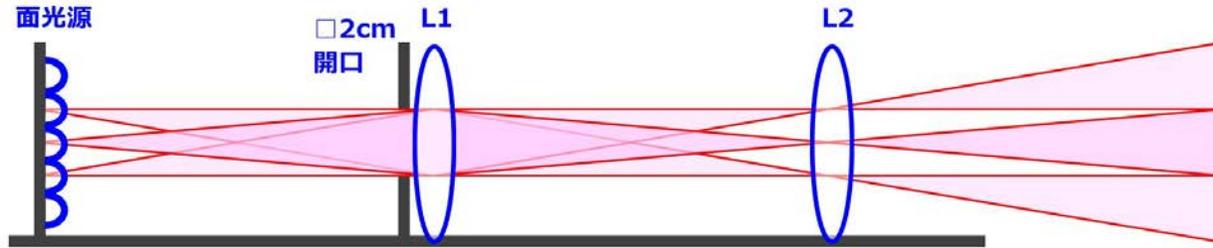
動作テストの様子



スポット光学系：マルチLEDによる長距離化

・放射角度の変化

スポットライト光学系は、点光源を想定して運用してきた。
今回のマルチLED化により点光源から面光源になることから、放射角が広がる事が見込まれる。

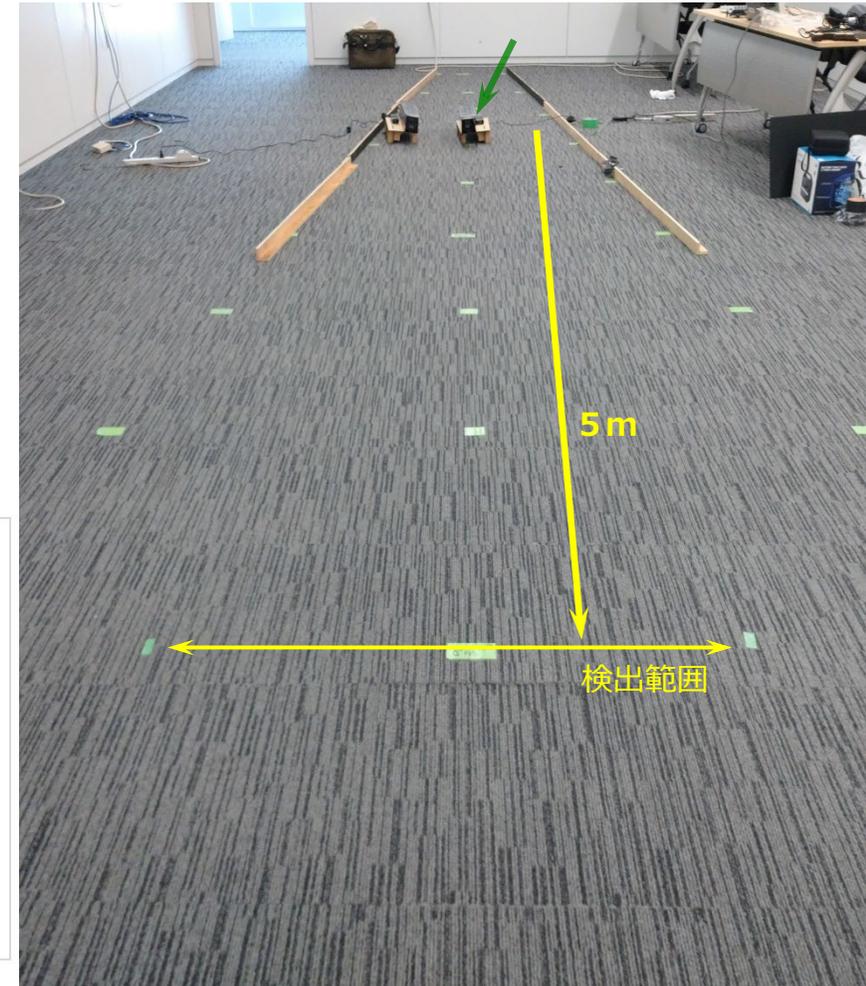
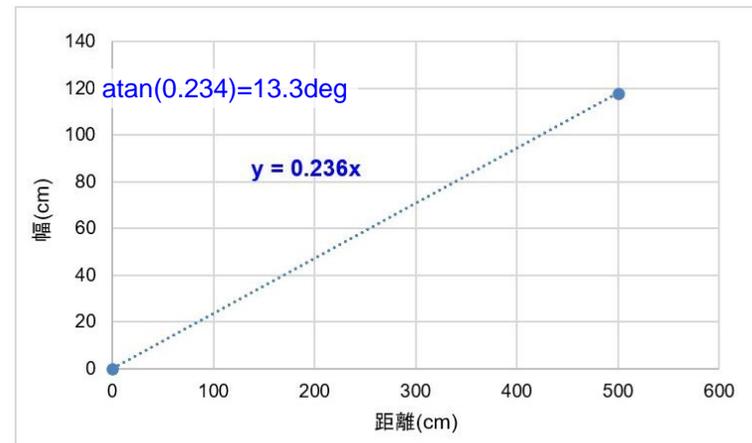
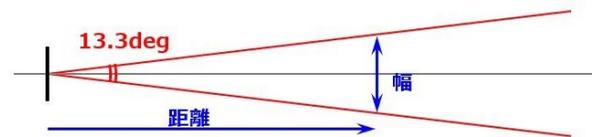


測定結果

放射角度は、13.3deg-pとなった。
見込通り、単一LED(5.0deg-p)よりも
広くなり、約2.6倍となった。

L1開口での放射角度調整を試みたが、
期待したような放射角度変化が得られず、
断念した。

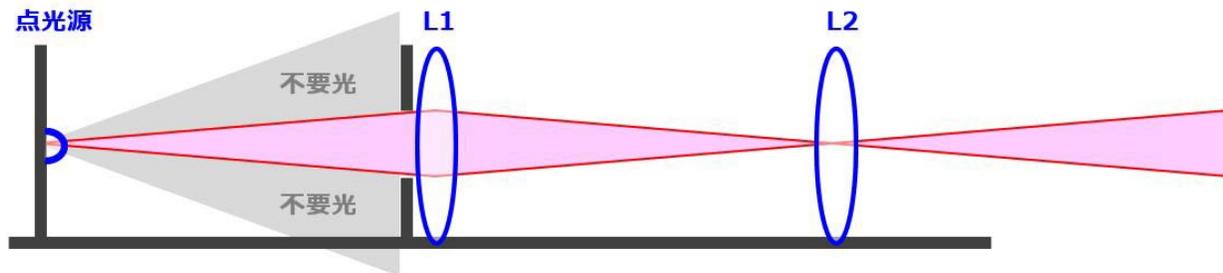
放射エリア境界のキレは悪くなさそう。
期待よりも広すぎる傾向であるが、
設置角度の調整で対応してもらった。



スポット光学系：最終的な組立

・遮光，遮光，遮光・・・

スポットライト光学系は，出射光のうちL1開口を通過する成分だけを使う光学系である．それ以外の光は全て不要である．あらぬ方向に飛んだ光が誤動作を引き起こすリスクがあるため，不要光を漏らさぬよう，徹底的に遮光を行った．

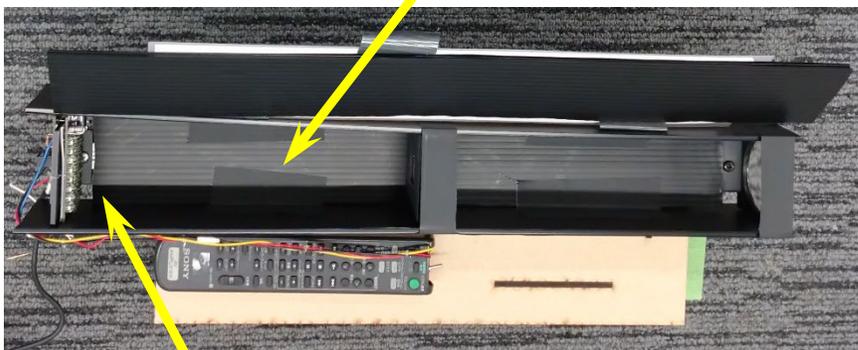


遮光に使った素材は，
・黒プラダン
・つや消しテープ
影武者 MT-08-BK
(ダイアテックス)



出典：Amazon

内部：隙間なく塞ぐ



マルチLED

側面隙間も
抜かりなく塞ぐ



背面基板
保護もかねて
完全にふさぐ

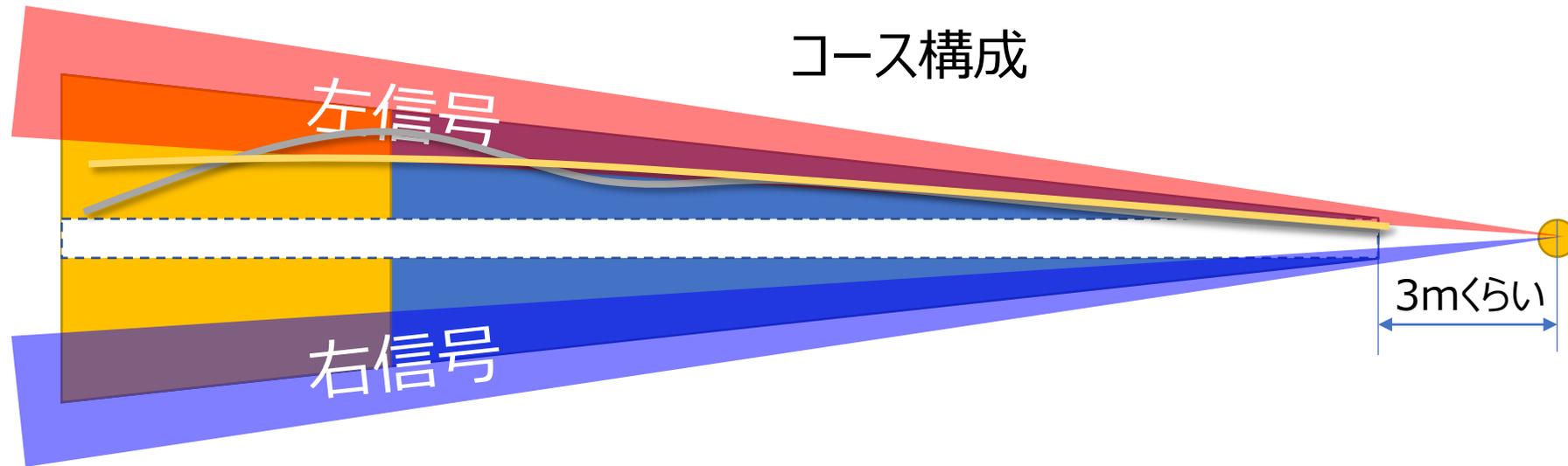


チーム Sニ一

最短ルート

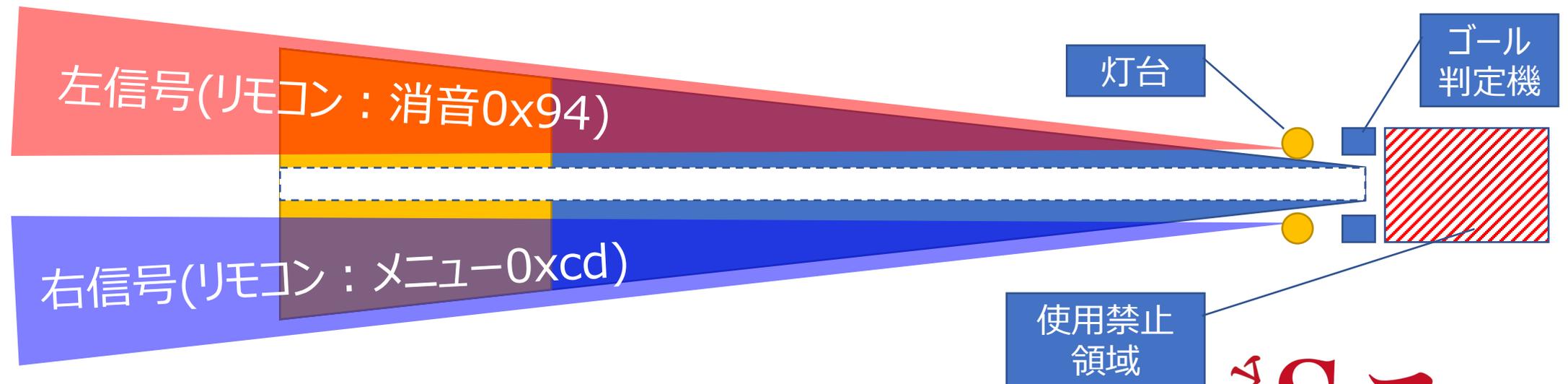


- ▶ 赤外線(IR)エリアに入ってしまったら、IRエリアの端っこに沿って走るのが最短



コースのレギュレーション対応

- 主催者に確認したところ、ゴール判定にIRセンサを使うとのこと
また、ゴールよりも先に何かを設置した場合、
撮影時にカメラマンが蹴とばすリスクがあるとのこと
- 灯台の設置場所はゴールよりも手前にすることとしたが、大きな支障はないと判断
 - むしろ、IRの空隙地帯を着地からゴール直前まで等幅にすることが可能になるため、
制御ロジックをシンプルにできる
- 逆に、コースの壁に突き当てるようにして灯台本体の角度を決めることに活用する

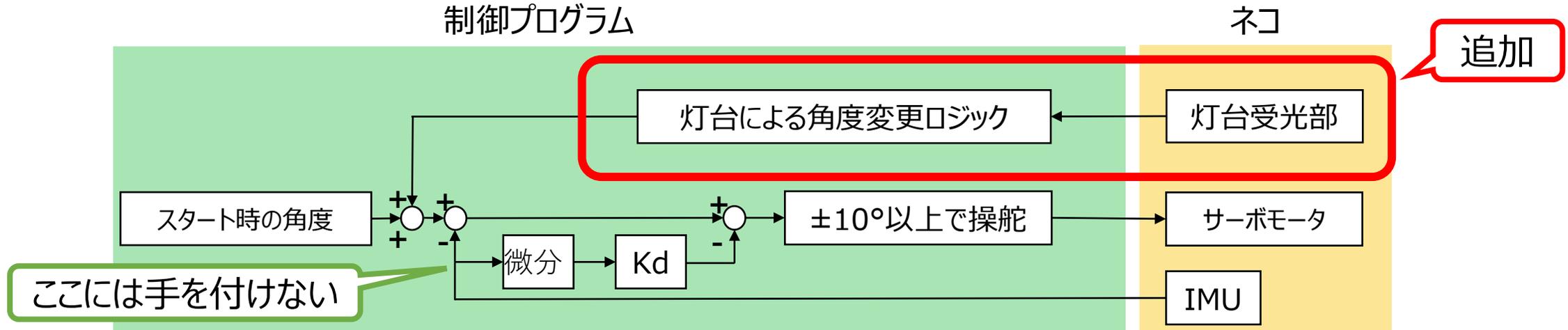


制御方式



➤ ALKNYANはPID制御で進行方向を目標角度にコントロールする([参考ページ参照](#))

- ALKNYAN本体の進路制御器には手を加えず、外付けでスポットライト・ソニーリモコン方式の仕組みを導入することで、壁にぶつかって時間をロスするリスクを低減する



➤ IMUのYaw角の狙い値は、45msごと(=IR信号の送出周期)に下記のロジックで変更する

- Case1 : IR信号をとらえていない間
 - 狙い値の変更なし
- Case2 : 片方の灯台のIR信号をとらえている間
 - 右表にある通り、狙い値を変更する
- Case3 : 両方の灯台のIR信号をとらえている間
 - 狙い値の変更なし

右目	左目	目標角度
右の信号	No Signal	左に3度
右の信号	右の信号	左に10度
No Signal	左の信号	右に3度
左の信号	左の信号	右に10度
No Signal	右の信号	左に7度
左の信号	No Signal	右に7度

実際の機体への実装構成の検討

灯台機能の搭載可否ジャッジ日程時点で、
ネコにおける各機能の重要度は、以下のような認識となっていた。

- ・[MUST] 初期直線走行機能（歩行メカ組、歩行FW組担当）
- ・[MUST] 落下衝撃耐性機能（カイト組、落下検知FW組担当）
- ・[MUST] IMU目標走行機能（歩行メカ組、旋回メカ組、旋回FW組担当）
- ・**[Want] 灯台機能（灯台組担当）**

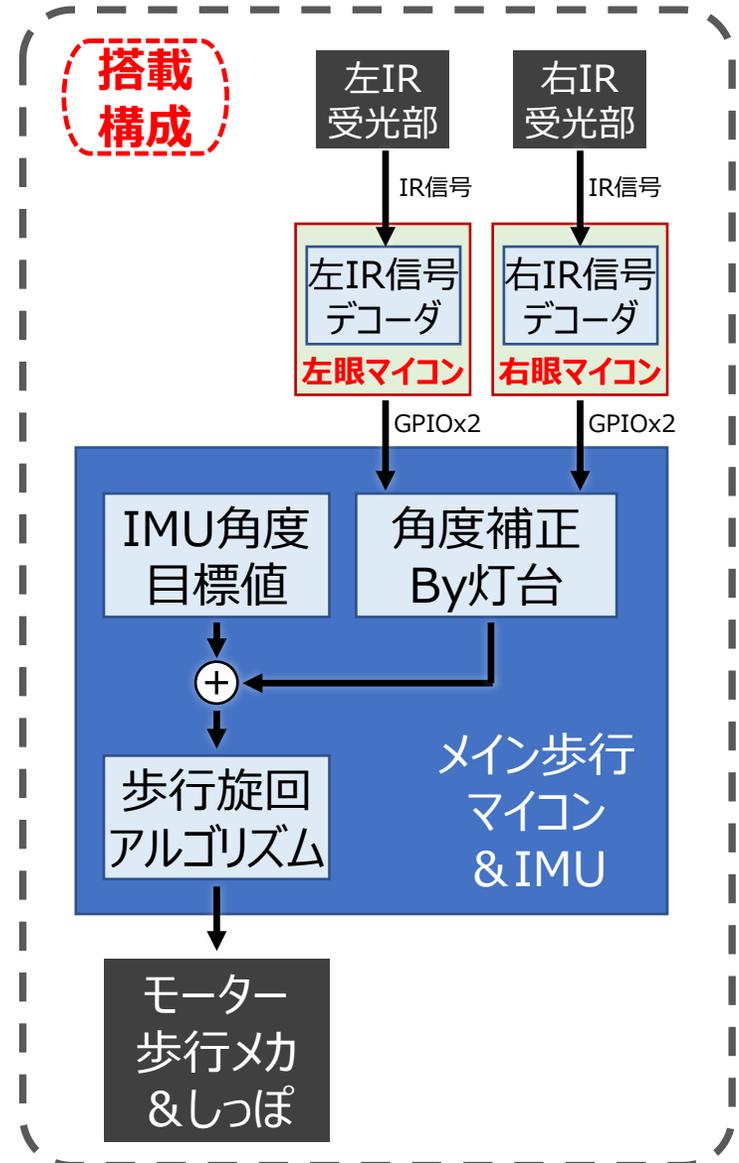
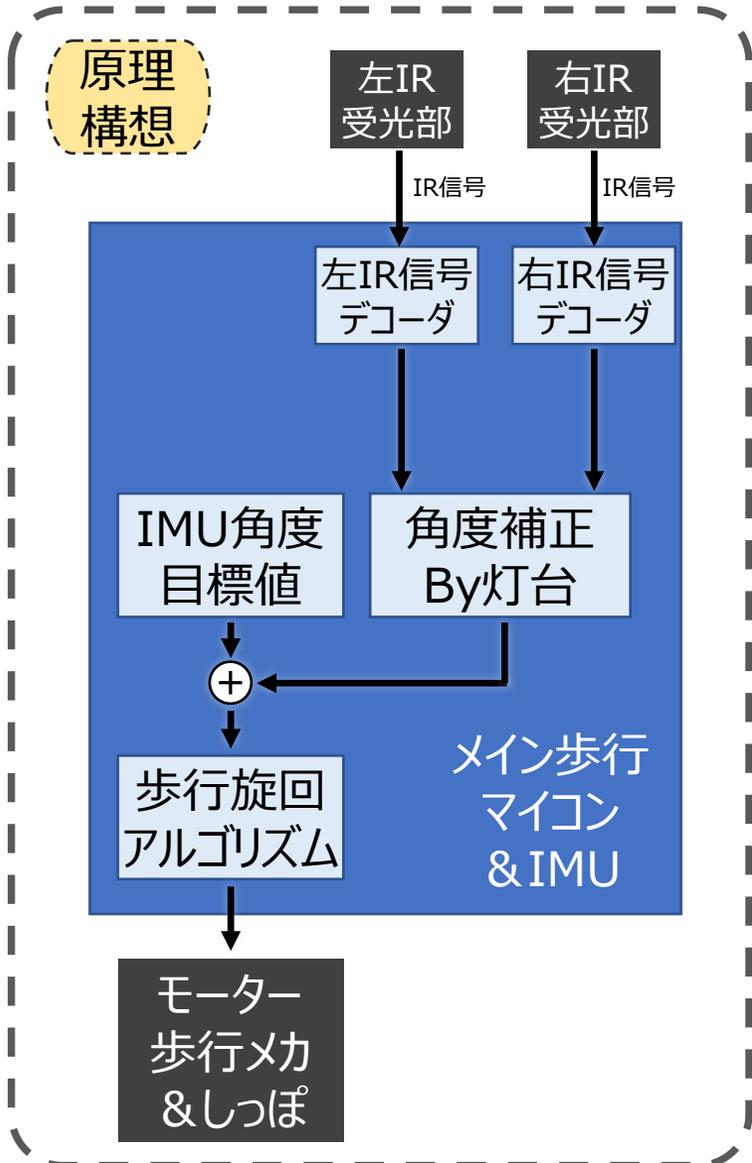
灯台が無くてもガイドローラー等でゴールはできる可能性が高いと思われていた点もあり、
MUST 3点の検討が難航していた時期でもあったため、各所で余裕が無かった事もあり
「灯台機能のドロップを希望する」という意見も出ていた。

このため灯台チームで方針を検討し、

- ・ハードウェアとして簡単に着脱が出来る構成を実現する
- ・ソフトウェアとして着脱容易かつメインマイコンへの影響を極力下げる構成を実現する
- ・灯台機能のFW実装が簡単であることを実証し搭載への説得力を増す

上記についての**工数UPを覚悟し、採用に向けて構成の詰め**を行った。

ALKNYAN搭載センサの方針



個別マイコンを2個追加し、IR信号デコーダ専用とする。メインマイコンにはGPIOで伝達。

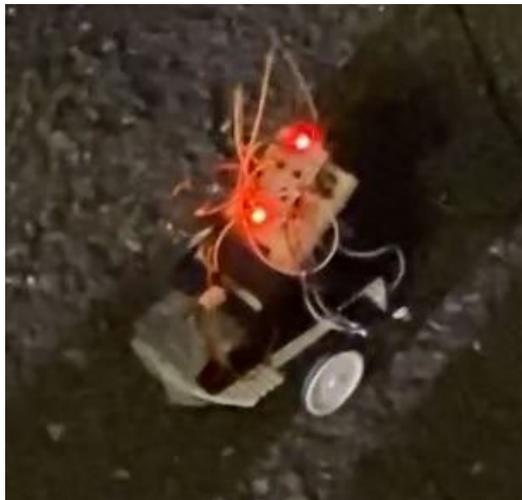
- Pros.**
- ・メインマイコンのFW負荷低減
(ありものIR信号デコーダの信頼性も判らない中、デッドロックの危険性もゼロではない。マイコン分離で回避)
 - ・IR信号電氣的ノイズ耐性向上
 - ・分離による開発デバッグ効率向上
 - ・簡易分離構成の可視化による採用障壁低減
- Cons.**
- ・コストUP (マイコン@¥120)
 - ・要小型実装化
 - ・メインマイコン接続線2本追加

Cons課題はいずれも問題なし



採用に向けての実証実験機「タイヤ偽ねこ」

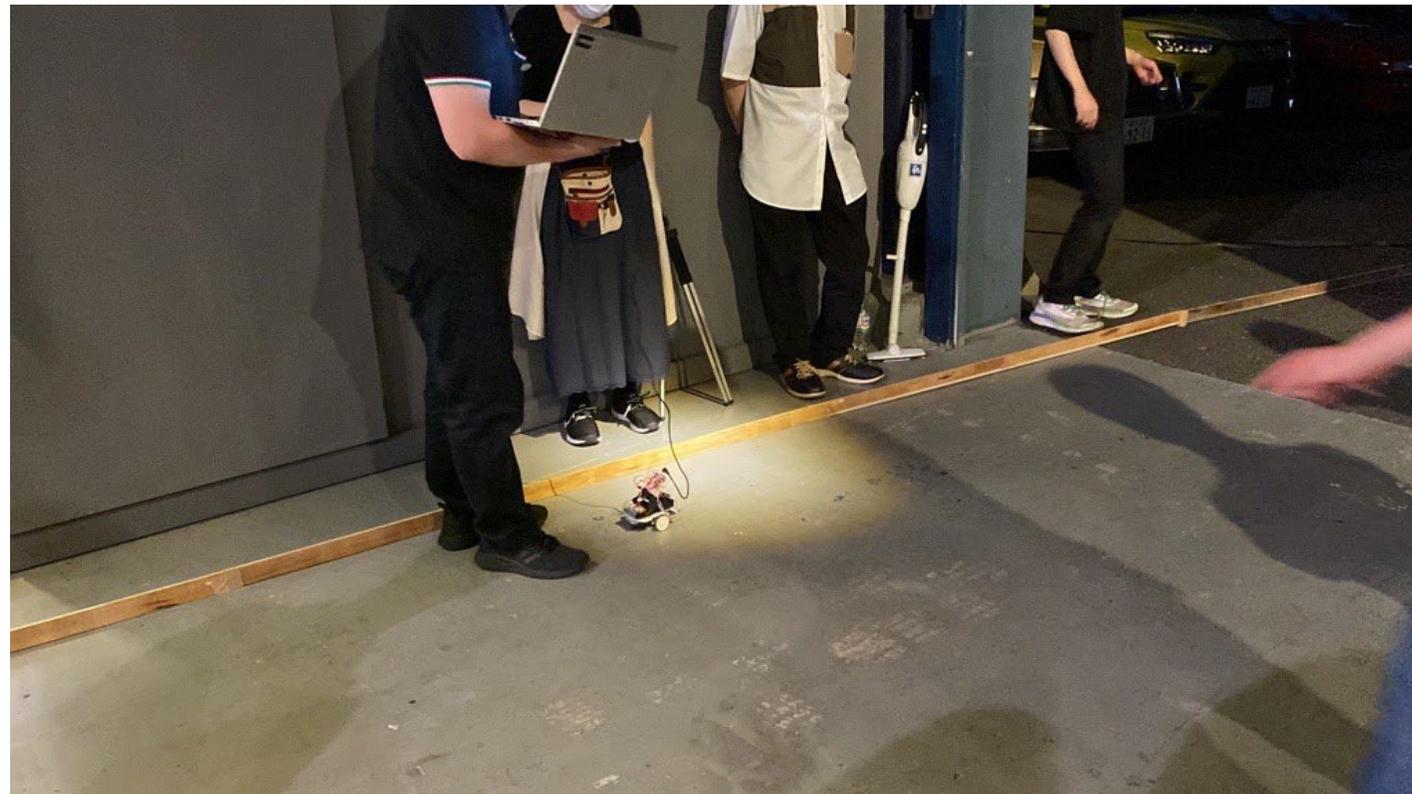
灯台動作の実証実験機「偽ねこ」



- IMUの方向検知
- IR信号による誘導
- PID制御によるタイヤのコントロール
- マイコンボード

を備えた「タイヤ偽ねこ」を作成し、
スポットライト・ソニーリモコン方式の有効性を証明

実証実験の様子（ワイヤレスではないので、PCに接続しながらの動作）



これにより「実装できる＆動いている」という安心感と「FW/HWともに着脱が容易」という柔軟性＆説得力を持った。

→ リーダー判断で「**灯台機能を採用する**」と決まった。

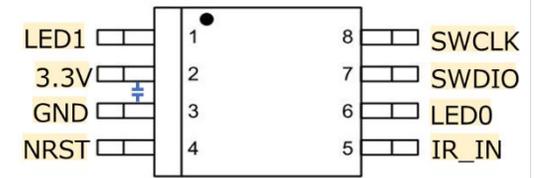
→ センサの小型化製造や灯台装置の脚部製造等に移行。

受光部構成 (サブマイコン & IR受光部)

マイコン出力仕様

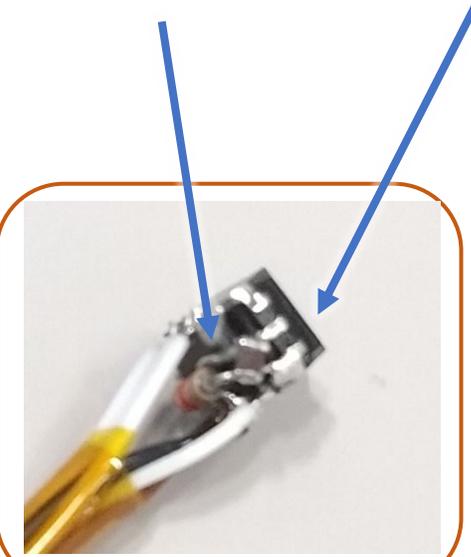
受信信号		LED0 (Pin 6)	LED1 (Pin 1)
受信無し		L	L
受信リモコンコード	左	H	L
	右	L	H
	その他	H	H

マイコン結線仕様



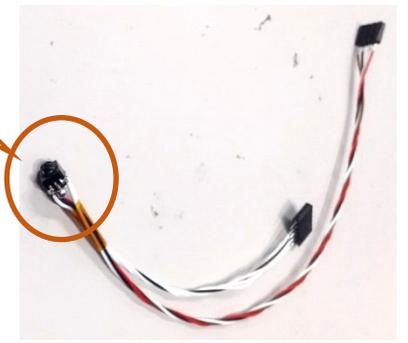
小型マイコン

IR受光部



IR受光部の裏面にマイコンを直接貼り小型化

デバグラインとメインマイコンラインを直接結線し小型化

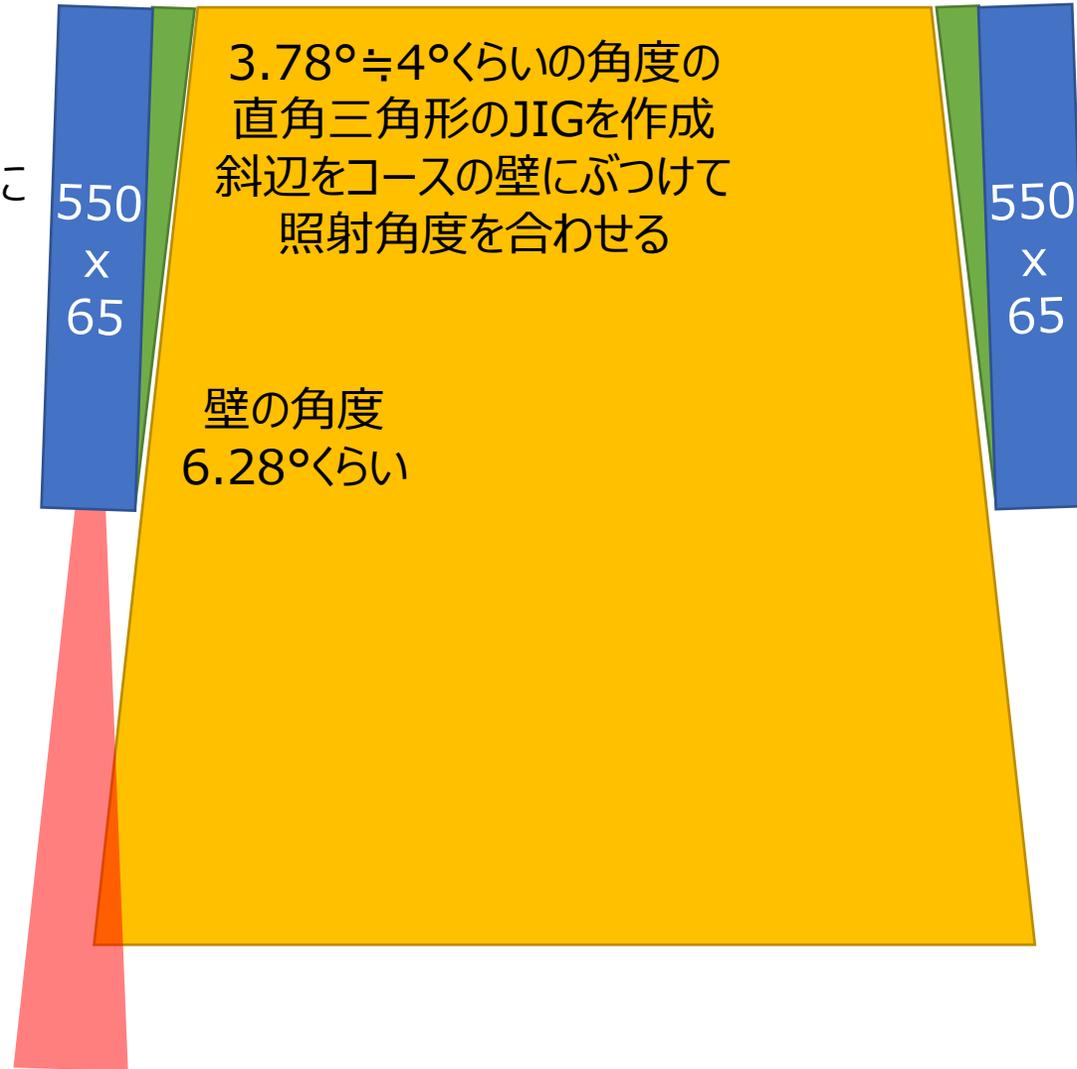


ねこ本体の左右15cmにそれぞれのIR受光部がある。

同じFWを書き込む事で、例えば
左右の受光部がどちらもコース右の信号を受信している (かなり右位置にいる) 等が分かる。

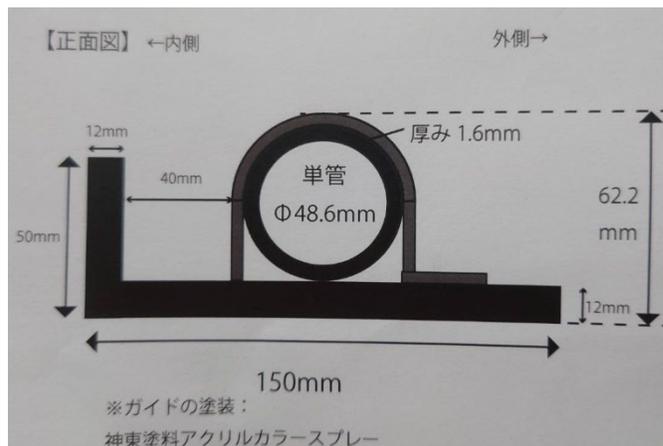
灯台設置方法

灯台の照射角
5°くらい
⇒灯台はコース直進方向に
対して2.5°傾ける

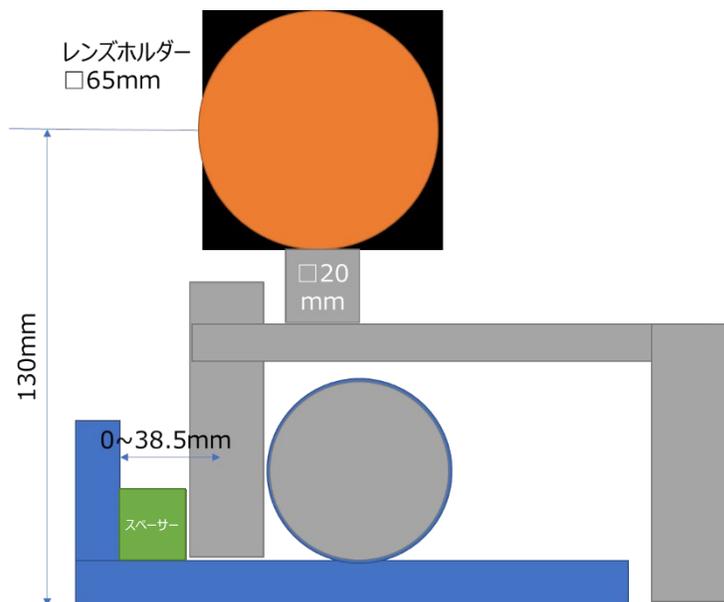


コースに合わせた足の設計

コースの
仕様

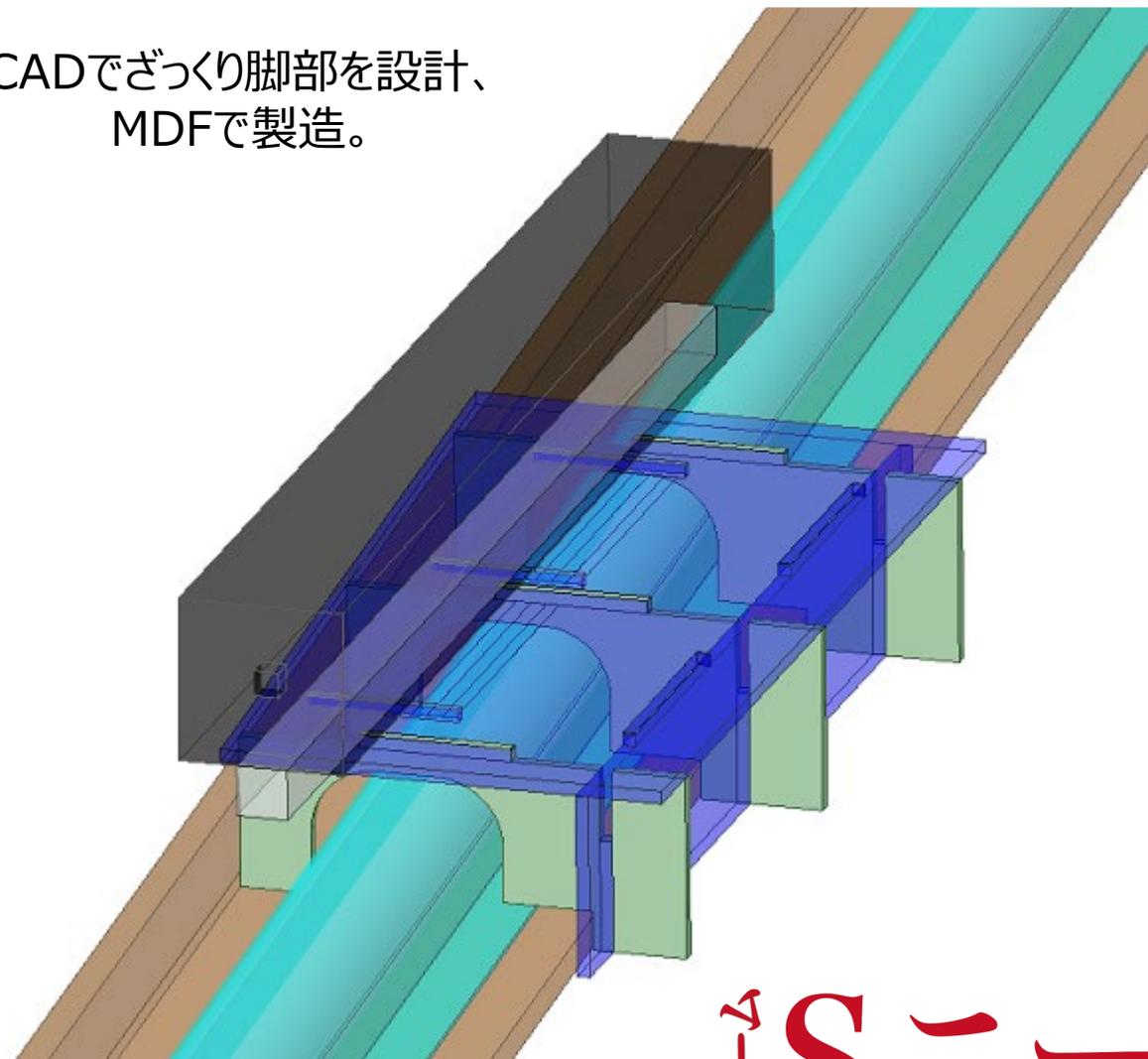


灯台



コースと
勘合
イメージ

CADでざっくり脚部を設計、
MDFで製造。



チーム Sニ

灯台の最終構成



鏡筒

レンズ

遮光
段ボール

レンズ固定
レール

リモコンの
拡大コピーへへ

LED光源(56灯)

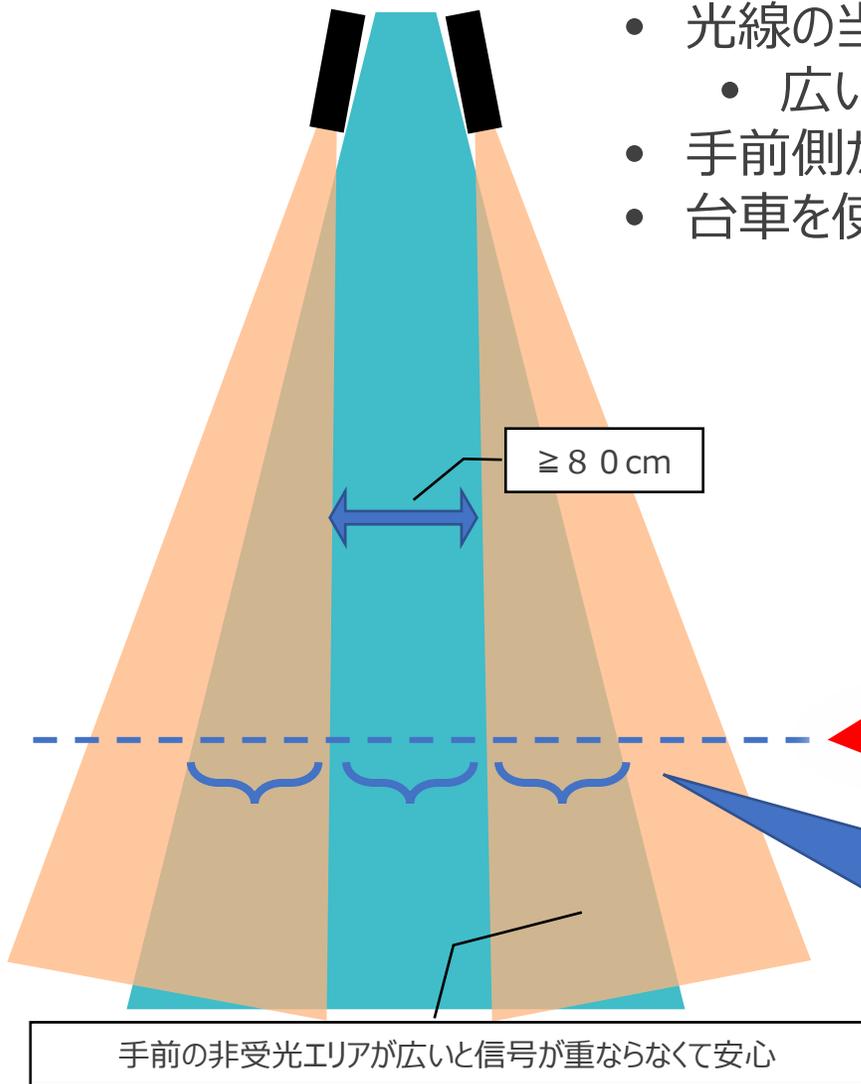
リモコン
(IR信号生成)

VAIO ACアダプタ
(16Vのメイン電源)

脚部

灯台設置方針

- 光線の当たらない部分の幅が80cm以上となるよう設置する
 - 広い分には良い。
- 手前側が広いほうが良い
- 台車を使って照射エリアを確認



ここを
動かしながら
受信した/しない
をチェック

こんなJIGを押しながら、
赤外線エリアを確認する。

取っ手付き

ALKNYANの
目の高さに
合わせるための
土台

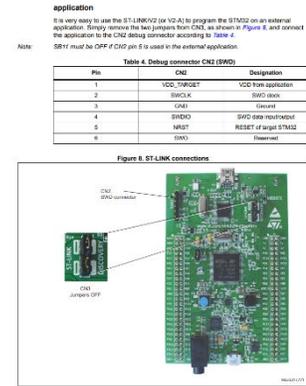
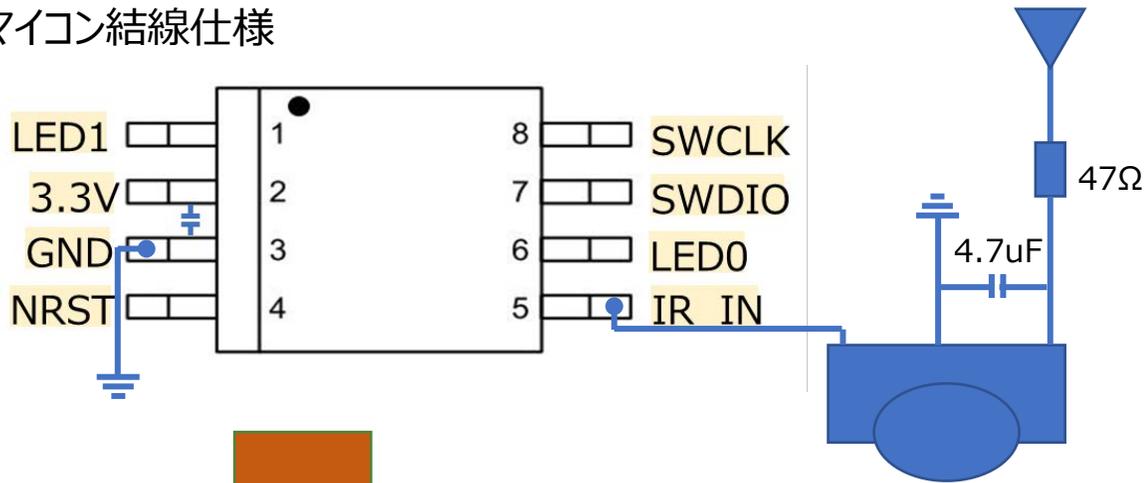
目玉

4輪とも
回るキャスターつき
台車

130mm

IR信号チェックJIG基板の設計製造

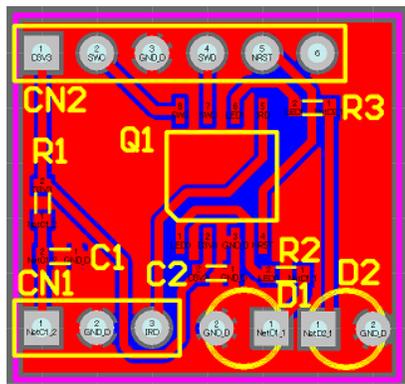
マイコン結線仕様



FW書き込みはSTMボードのST-LINKを使用

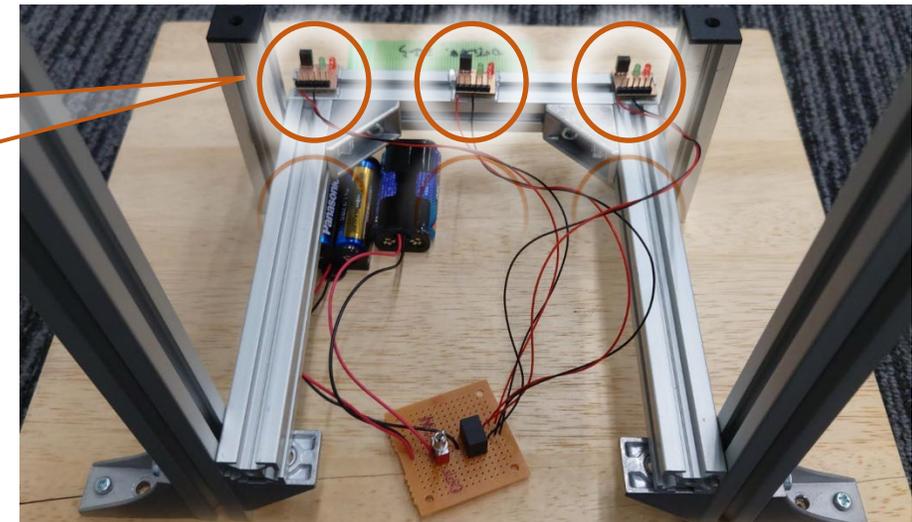


片面基板としてパターン設計、LPKF S63にて切削製造

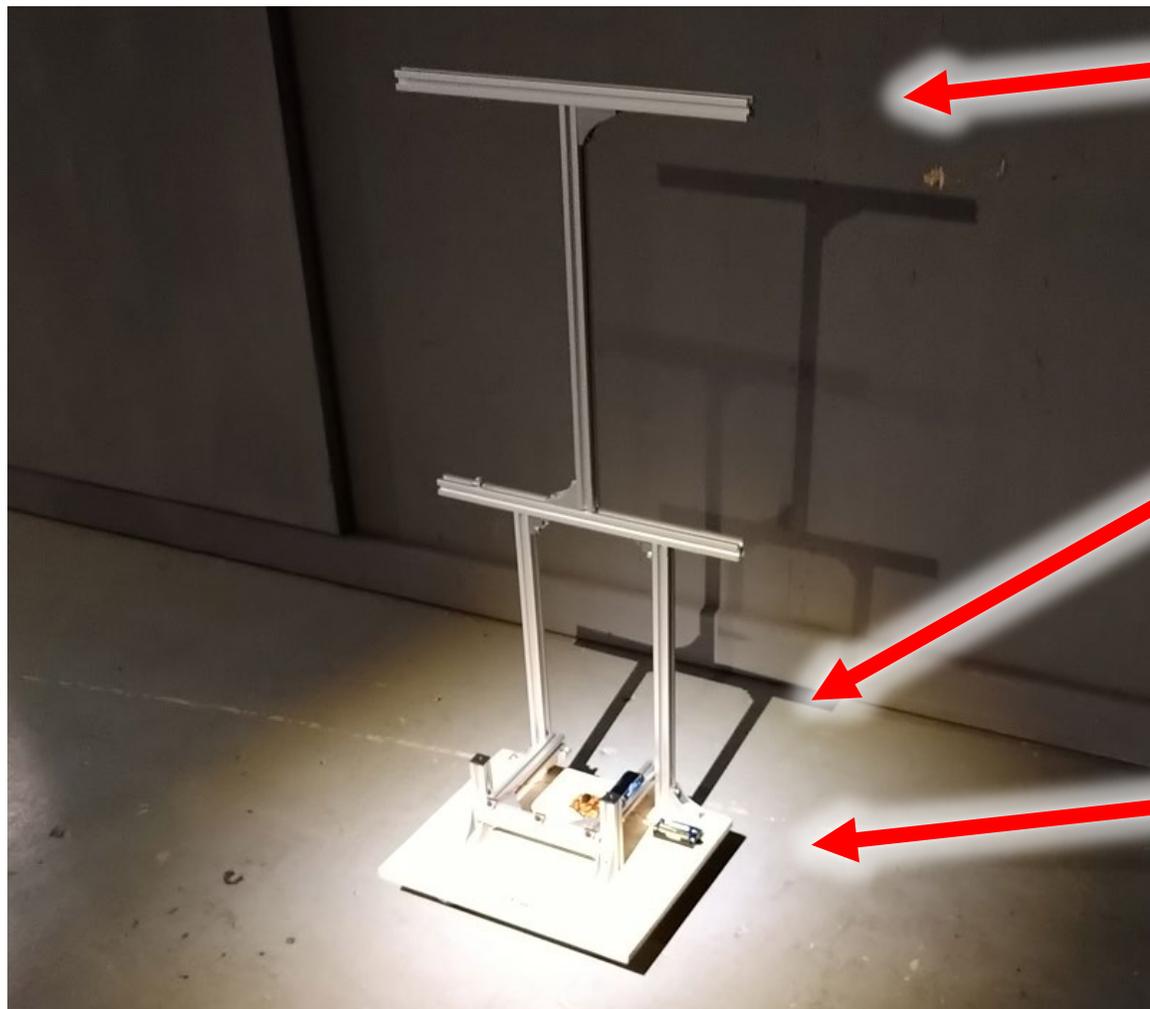


気合で手実装 (3個)
 右の灯台IR信号を受信したら赤のLEDが点灯
 左の灯台IR信号を受信したら緑のLEDが点灯
 ⇒ **視覚的**にIRの到達エリアを確認しやすした

実際の台車 (持ち手部から撮影)



完成した「灯台光線設置チェック台車JIG」



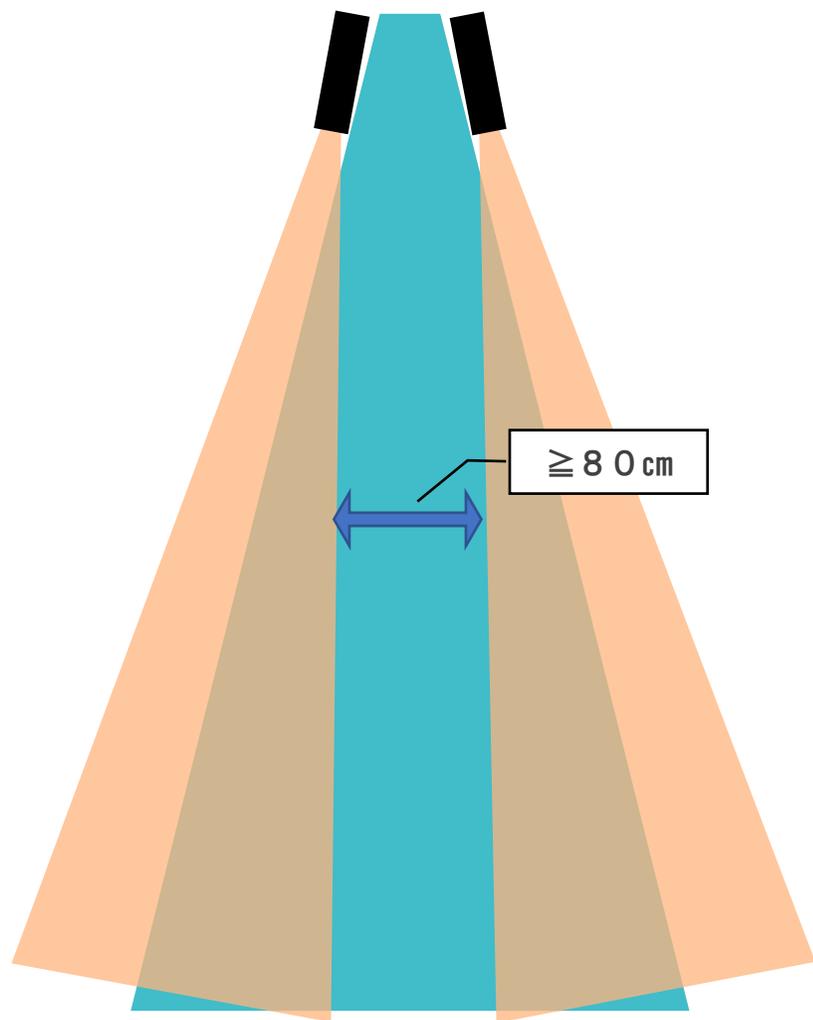
腰を痛めないロングな持ち手
(突貫廃材利用のため謎の形状)

単三電池 4 本で動作
(当日新品電池を数人で準備、万全)

自在な移動を実現する無方向タイヤ 4 つ

魔改造感ばりばりの現地で撮影

設置方法



➤ 持ち物

- 手順書・チェックリスト
- 灯台 2 個
- モバイルバッテリー 2 個
- 赤外線台車 1 台
- 長さ測定用棒 1 本
- (長い巻き尺)
- (赤外線台車用予備単三乾電池 4 本)

➤ 手順

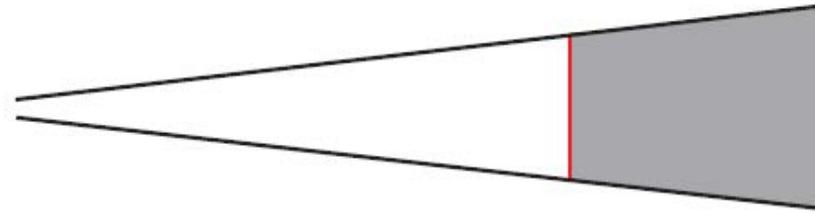
1. 灯台をおおまかに設置
 - 照射口がゴールから1m程度の位置に置く
2. 左右どちらかの灯台の角度調整
 - ゴールから15mの位置で、赤外線台車の中央センサがコース中央から50cm(幅1m)となるよう、長さ測定用棒で計測して設置。
3. 反対側の灯台も角度調節
4. コース上の検知出来ないはずのエリアを赤外線台車を持って走り回って、変な位置で検出されていないか確認
 - されていたら原因究明と対策
 - 対策出来なければその灯台だけOFFにしておく

当日Setting

※敬称略さず

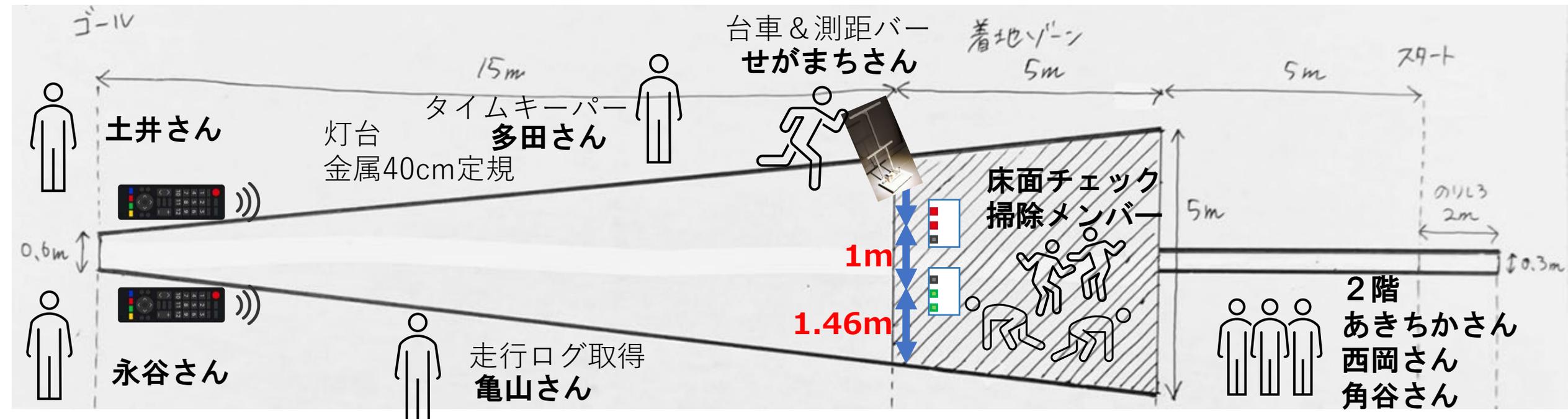


- 2F(ネコ設置) : あきちかさん、西岡さん、角谷さん
- 1F(灯台設置) : 永谷さん、土井さん、せがまち
- 1F(キャッチャー) : 土井さん
- 1F(不織布ネット) : 岩船さん、眞鍋さん
- タイムキーパー : 多田さん
- ログ係 : 亀山さん
- 床面チェック : 森永さん、青木さん、北川さん、他全員 (養生テープ)



【ネコちゃん落下25m走】1Fガイド部
全長22m (20m+のりしろ2m)、
幅：ゴール幅0.6m、着地ゾーン幅5m

【ネコちゃん落下25m走】2Fコース部
全長6.5m (5m+のりしろ1.5m)、
幅0.3m(内寸)、高さ0.3m



夜会走行跡による灯台効果の確認

2回の試技のALKNYANの走行路
2回とも左寄りに走りがちだが、
方向転換して中央に戻ろうとしている
軌跡が見られる。
灯台の光が届かなくなるゴール間際に
壁にぶつかっているが、想定内。



活動を通しての学び①

➤ とにかく手を動かせ！

- 必要だと確信している機能も、**有用性が証明**できなければ採用されない
 - ロジックを積み上げるのも、動くモノを作るのも、**エンジニアが手を動かさなくては**いけない
 - 口を出すだけ、横から見てるだけなのは活動としての価値が薄い
- ⇒ 担当者みんなが主体的に手を動かした結果、良い結果が得られた！

➤ それでも「立てなきゃならない予定」は必要！

- 絶対に後ろ倒し出来ない日程の怖さ。間に合わなくても恥をかいただけだが、その恐怖。
 - 個人ではなく**「他チームとの協業品」**であることは忘れちゃダメ
 - 自分がやりたい実験の為に、他所のチームが暗黙で準備してくれるはず！ なワケがない。
依頼も必要、他チームへの配慮も必要、**コミュカって大切**だな！
 - でも「予定を立てる」に時間喰ってたら本末転倒
- ⇒ 「予定立て」も「手を動かす」も、とにかく速度感だ！ どちらも訓練だ。悩んでるヒマは無いぞ！

個人



チーム



組織



活動を通しての学び②



➤ パッション！

- 相当無茶なスケジュールとタスクリストが作られたが、パッションをもってすれば実現できる！
- **チームメンバー全員**がパッションをもって活動することが大切！

➤ 目論み通り動いた時の快感

- エンジニアで良かったと思う瞬間☆

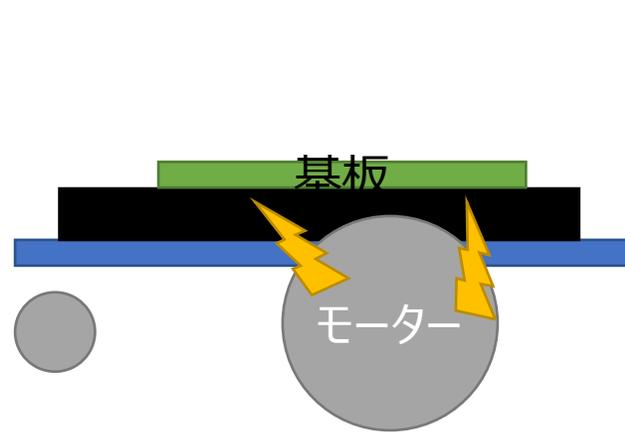
➤ みんなマジすげえなと思った

- そして本業に対してもとても刺激になった

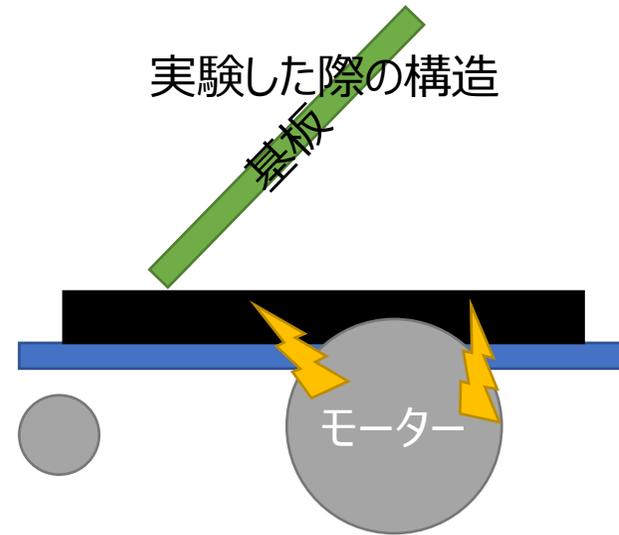
「タイヤ偽ねこ」実験時に嵌まったこと



当初実験していた構造



実験した際の構造



実際の写真

- 当初実験していた際、IMUが応答しなくなる現象が頻発していた。
 - 原因は解らず、本体チームで同様の現象が起きていないか心配したが、遭遇したことは無かったとのこと
- デバッグの過程で、基板をモーターから離したら、IMUの頓死が無くなった
 - モーターのEMIノイズで基板の機能が死んでいたと思われる
 - 目に見えない不具合は怖いな、という実体験を伴う教訓

「ネコちゃん落下25M走」を実現した実機評価

ALKNYANの多種多様な開発要素の仮説検証と統合

ホーム Sニ一

©2022

北川 剛史

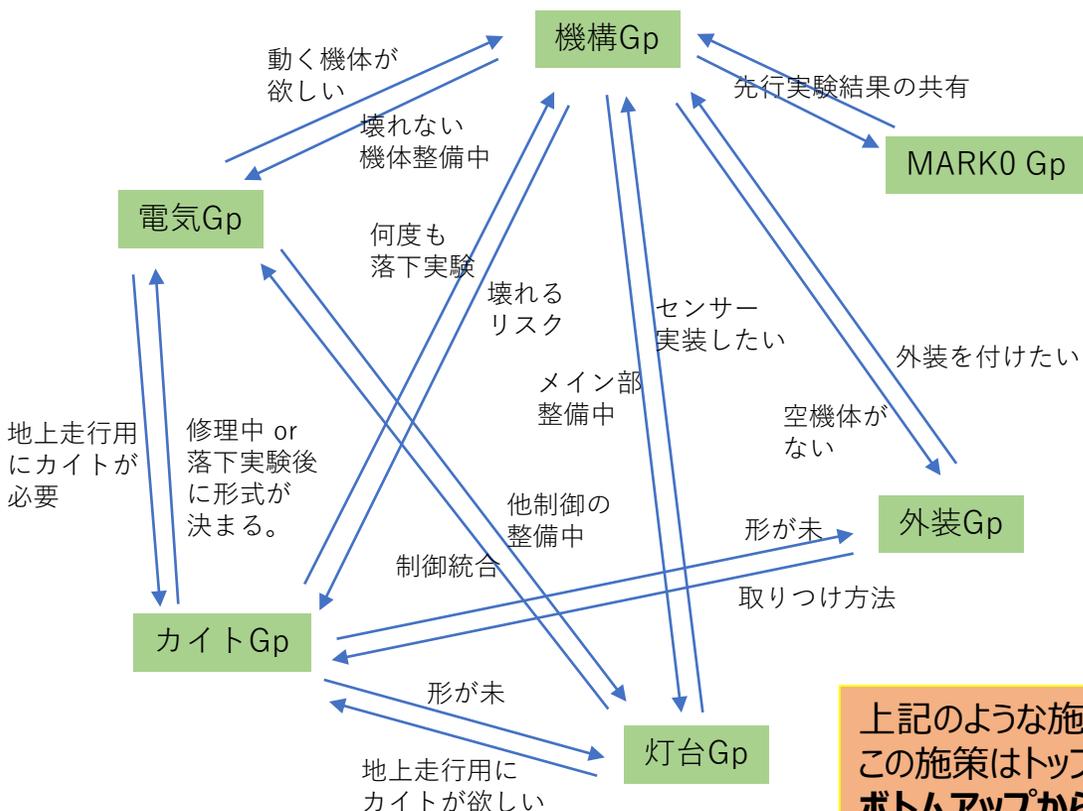
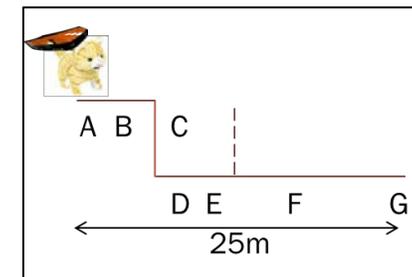
統合検証における課題について



実験はSニー本社の大会議室で行うほか、金沢文庫に倉庫を借りてそこで統合実験を行っていた。統合実験では以下のGp(グループ)がそれぞれの課題の検証を行った。

- 機構Gp
- 電気Gp
- カイトGp
- 灯台Gp
- 外装Gp
- MARK0 Gp

上記のGpにそれぞれ実施したい内容を提起してもらい、それを満足する実験装置を提供できるようにスケジューリングする必要がある。実験は右図の様に走行開始から、ゴールまでA~Gまで段階に分けられており、それぞれのGpにより検証したい重みが異なってくる。最も要になるのは機構Gpが手掛ける機体であり、それを中心に各Gpの実験要望があり、どのように優先度をつけるかが課題となっていた。



左図の様に、各Gpの要望が複雑に絡み合っており、スケジュール的に完全な機体を待ってから各Gpの検証を行うことは出来なかった。そのため

- ・機構Gpは複数の機体を作成、本命、走行実験用と目的別に分けて実験を行えるよう、最低限の台数を用意した。
- ・カイトGpは重量のみ合わせたダミー台車で落下実験を行い、落下姿勢の完成度を上げていった。
- ・電気Gpには走行用の機体で落下センサーチェックを行い。地上走行では別の機体で操舵実験をしてもらった。
- ・灯台Gpには独自の環境で開発を行ってもらい、最後に走行用の機体で確認。
- ・外装Gpは実験用機体などを使い、カイトの載せ替えタイミングと一緒に進行などタイミングを調整。

上記のような施策を行い、各Gp同時並行開発を行えたがこの施策はトップダウン形式で発動した訳でなく、各Gpのボトムアップから生まれた施策であることが称賛に値すると考えている





ネコちゃん落下25M走

試走台設計&製造と
試走場所の選定&確保について



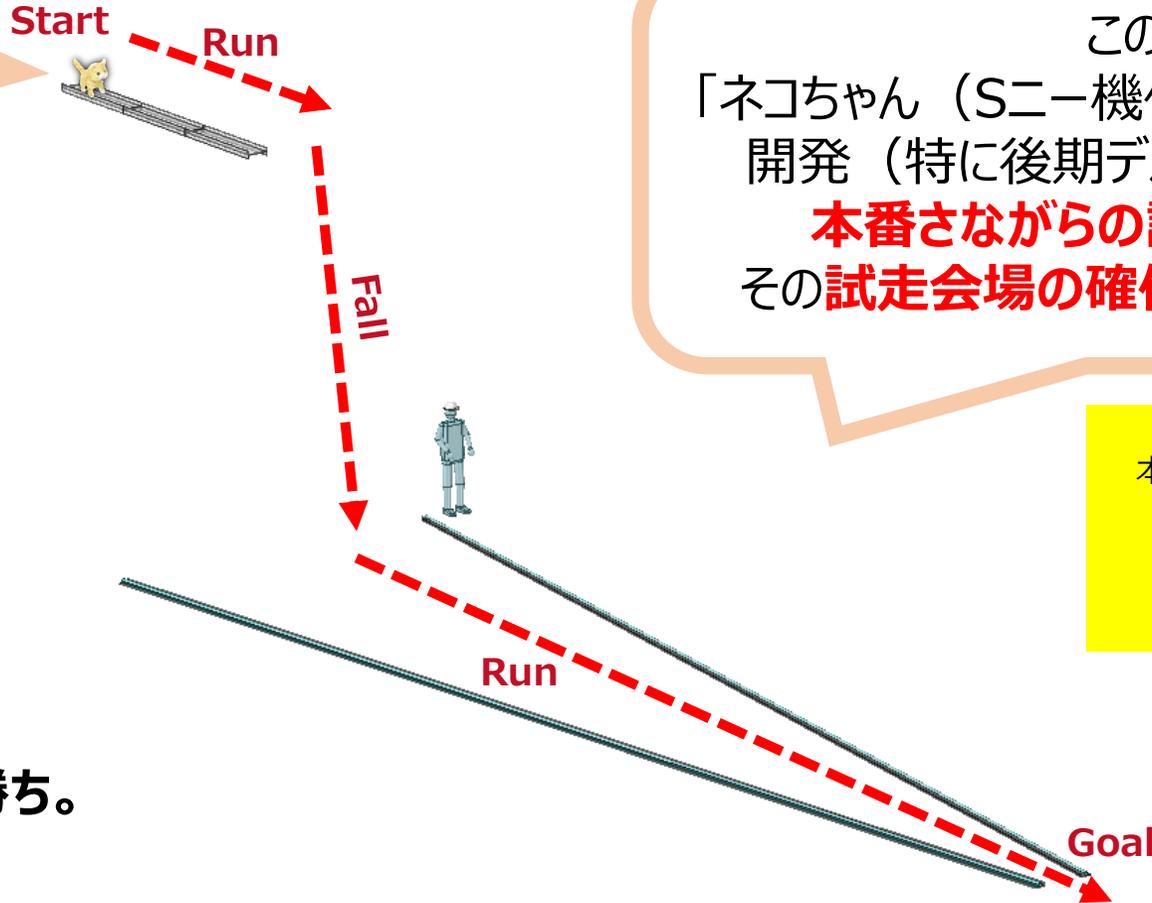
チーム Sニ一

©2022

MKZ Project - NK Team - Stage & Carps Group

中川 祥、野沢 匠吉、瀬川真智子

「ネコちゃん落下25m走」と本ERについて



本ERの内容は？

このERは「ネコちゃん（Sニ-機体名『ALKNYAN』）」の開発（特に後期デバッグ）に必須となる、**本番さながらの試走コース製造**と、その**試走会場の確保**についてのERとなる。

ロボコンあるある。
本体製造に夢中で十分なデバッグをせず
当日会場で動かない。
非常にあるある。
→ 本番さながらの環境を早期に作り、
十分に動作確認すること！大切！

ネコちゃん↑を改造して
5m走らせて
6m落として
更に20m走らせて
一番早いチームが勝ち。

チーム **Sニ-**

全体日程 & 試走台の必要性



ネコ本体の設計製造日程が
製品と似た開発フェーズと仮定すると、

設計 4 割 : デバグ評価 6 割

くらいの日程感がイメージされる。

遅くとも第三週くらいには 本番っぽい競技台での デバグフェーズになる

と想定される。
ネコ本体の進捗を確認しつつ、
第三週頃から使用できるような
模擬コースの確保 & 製造を目指す。



試走台構成部0：直線部の短い版

ホームセンターで12mmの「サブロク板」を購入し以下寸法でカット依頼。
(これにより直線性と直角を担保)



細ビスにより
ネジ締結ののち、
水性アクリルスプレー
艶消し黒で塗装。
運搬中に塗膜硬化。

チーム Sニ一



「本番さながらコース」の前に、
**短くていいから、最初の5mの
互換コースが早急に欲しい**
と言われた。そりゃそうだ。

某日13時頃の会話

「いつまでに要りますか？」

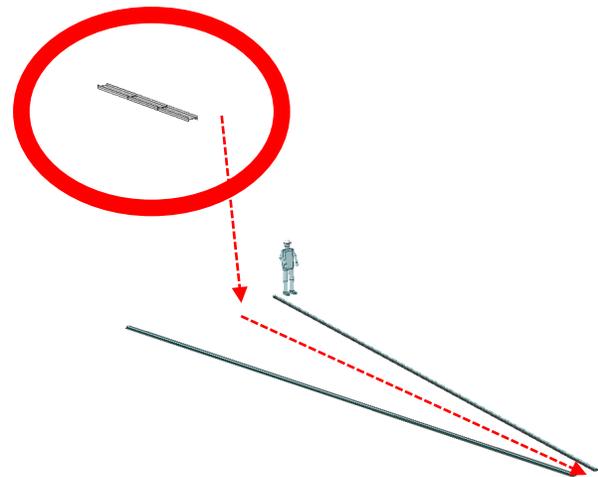
「明日までに！」

オッケー承知。

その日の21時頃に製造 & 搬入完了。

こんなもん早いに越したことは無い。

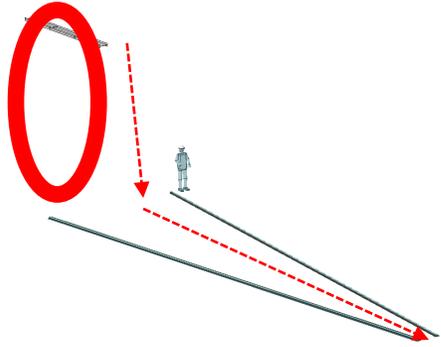
試走台構成部1-1：2階直線部



前ページとほぼ同じものを5mぶん
≒1.8mを3台作製。



試走台構成部1-2：2階直線部の固定脚部



部材

部材はコスト&入手速度の為、某社内工場有休品のGFアルミパイプ構造材を流用。太さが外寸43mmと外寸28mmの2種用意可能であったが、耐久性を重視し外寸43mmを採用。

設計・構造

実験の際、片付けが日ごと発生するため長さは2mにし、キャスターを装着。上面にコースが乗るため、上面側のパイプの連結部にはフレームと同じ高さになるインナー型のコネクタを使用。それ以外の箇所に関しては耐久性の良い OUTER 型のコネクタを使用。

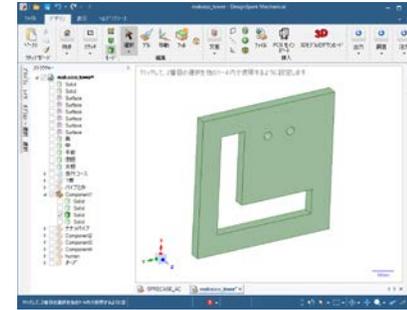
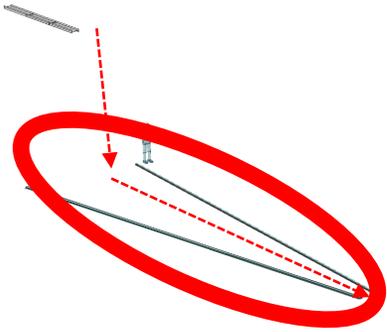


六角レンチのみで組立/分解可能。使用時以外は2mx3本に分解し、試走場所の隅に保管可能。

その他ノウハウ

随時分解や移動を行う可能性があるため、誰でも外観で見ても分かりやすいように、キャスターのロック側を赤で塗りつぶした。

試走台構成部2：1階台形部



12x50x1800の木材を直角に固定する治具を作製。



治具ハメる→ネジ締結を22本ぶん繰り返す。

設計製造場所：S二一本社2F大会議室・5F会議室



2F大会議室



5F会議室①
ALKNYAN本体開発室



5F会議室②
灯台開発室

初期検討時は、空きがあったため「本社2F大会議室」を使用。
その後は、本番まで一時的に専有で借用できた「5F会議室」を
モンスターの設計製造場所とした。

部品や道具など、最低限の整頓で継続的に使用できる
エリアを確保できたことで、隙間の時間も全て使用でき、
効率的に作業を行えた。

落下機能確認場所：S二一本社2F 大会議室

6m落下が課題となるため、**落下試験ができる場所の確保**が重要だった。

本社2F 大会議室の後ろのエリア(本社3Fから出入り可能)で、**落下機能の確認**を行った。

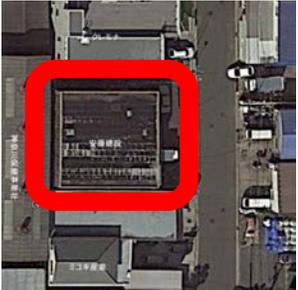
参加メンバーの集まりやすい本社で、
工作機械のあるCreative Loungeにも近く、
利便性が高かった。

本番コースと比較すると
・高さ約6mだが、奥行きはなく1.8mコース1本分
・落下後の床面が絨毯
という差はあったが、
様々な落下手法を何度も試す、といった
初期～中期の検討を十分に行えた。



チーム S二一

本番疑似走行場所：2階建て倉庫（金沢文庫）



Sニーへの協力を表明していただけた施設のうち、短期ながら使用許諾が得られた、目的に非常に合致した場所。

2F部分があり、5mレールの設置が可能。

1F部分は、倉庫からはみ出し、道路直前までで20mギリギリ取れた。

1F床面は、コンクリ（屋内）アスファルト（屋外）で、社屋の絨毯よりは本番（屋内アスファルト）に近い環境だった。

倉庫床面に**保護材等なしで直接落下させて良い**との許可を戴けたため、より本番に近い環境で試走ができた。

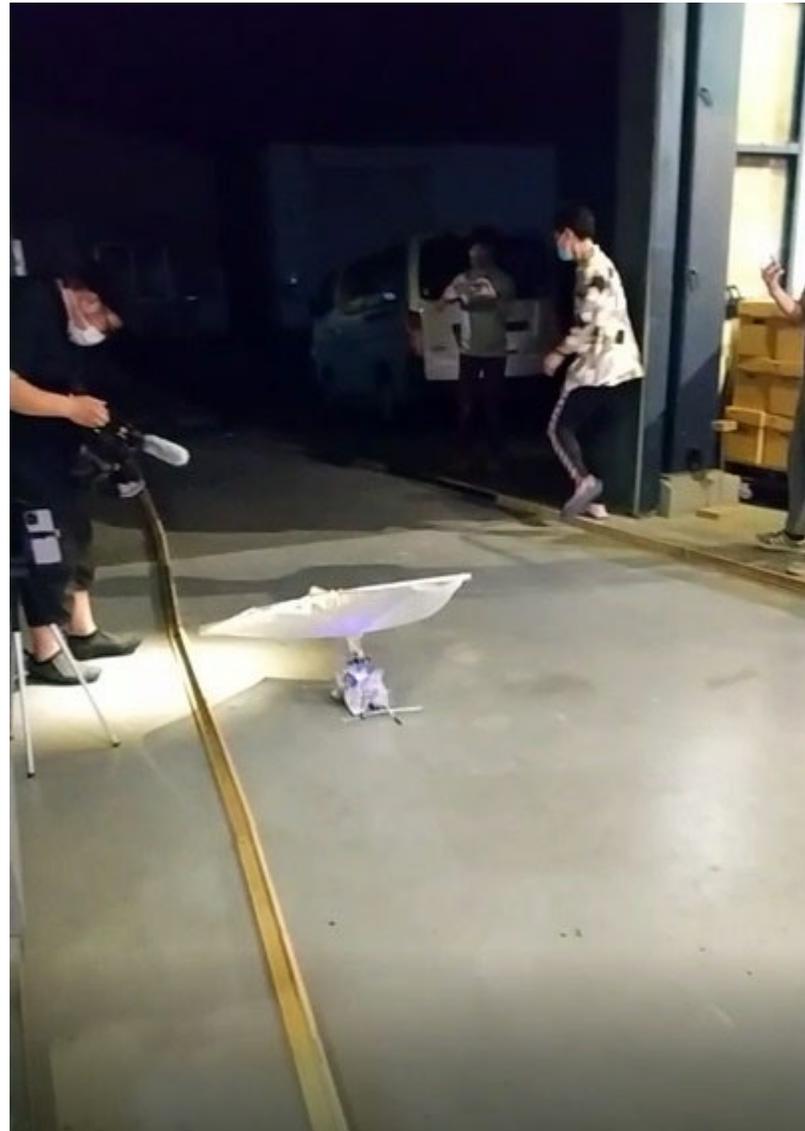
倉庫から道路までは、緩い下り傾斜で、赤外線での誘導に難があった。

（灯台の調整で試走はカバーしたがベストではなかった）が、開発後期の総合的な落下走行を行えた。

3Dプリンタ以外の工作機械が無いため、実験後すぐに修正製造して試したりはできず、本社からクルマ/電車で1時間程度と、決して近い場所ではなかったが、

本番に近い環境で何度も落下 & 試走でき、ほぼ理想的な検証が出来た。

試走場所での様子



SONY

MKZ-NK Engineering Report 99 : Mark-0の全て

ネコちゃん落下25M走

歩行機構と落下の検討 / Mark-0機の製作

チーム Sニ一

©2022

田上 繁男

◆1.製作物概要/結果

- 仕様/ポイント
- 練習用倉庫での結果

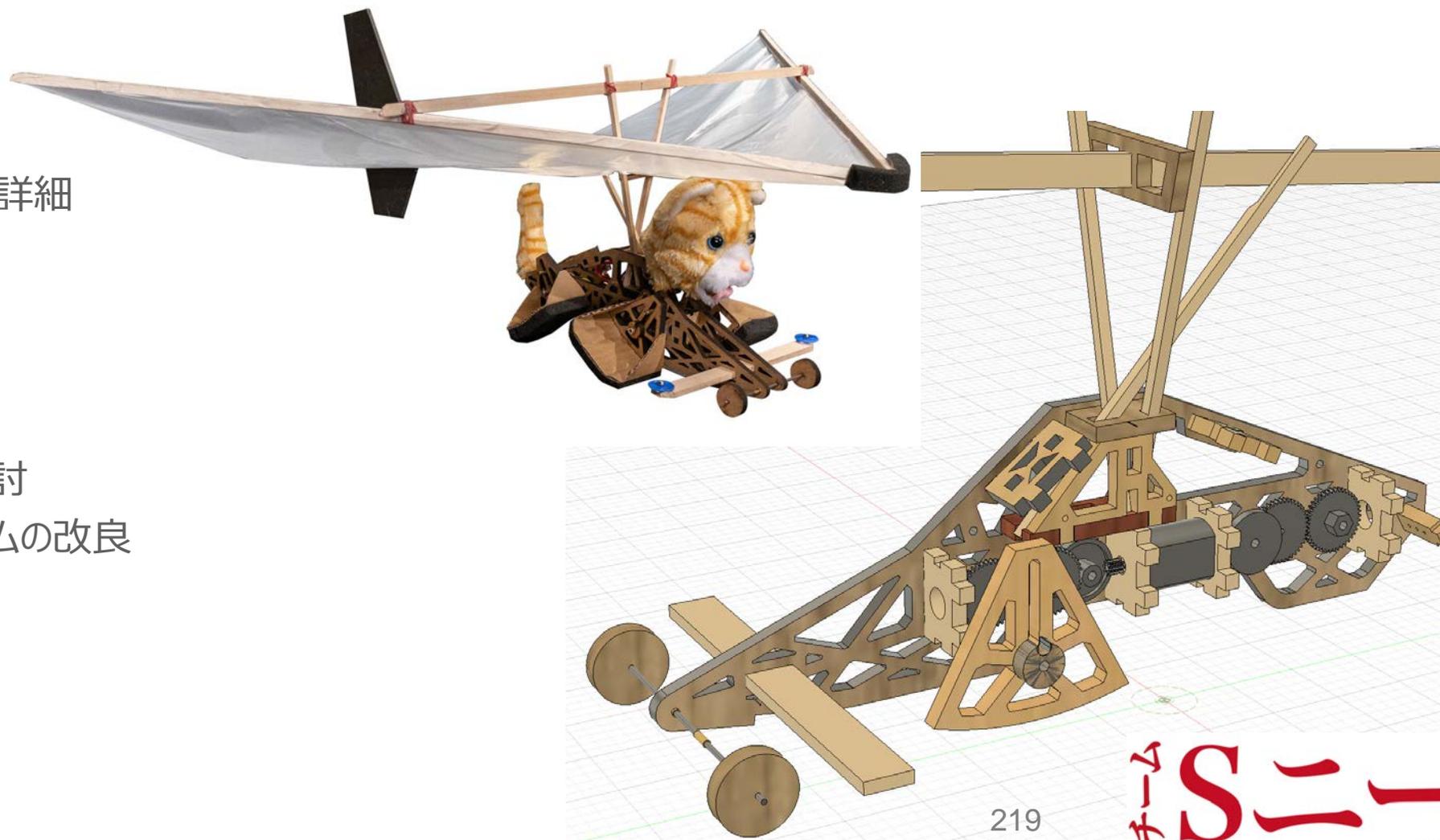
◆2.歩行機構検討

- リンク機構検討
- スライダクランク方式の詳細
- 駆動系検討
- その他

◆3.落下方法検討

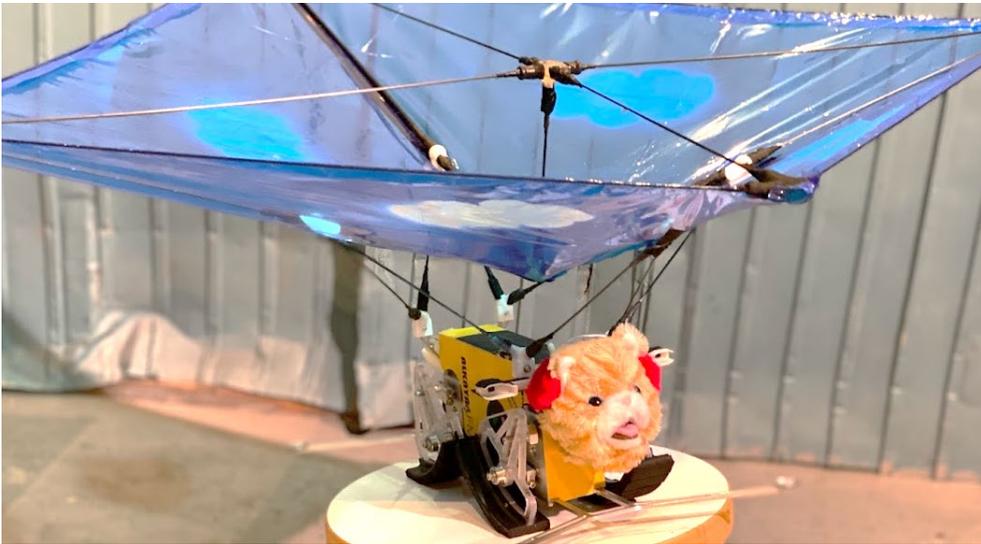
- お題に対する構想
- カイト(ハングライダー)検討
- 飛びすぎ対策とフレームの改良
- その他

◆4.その他補足



◆背景/目的

- 第5回おもちゃ魔改造のお題は「**四足走行**」+「**6mからの落下**」という**超高難度**なものだった
 - 四足での高速走行は非常に難しく、単純に回転数を上げて上下に振動してしまっ前に進まない
 - 車輪よりも遥かに複雑な歩行機構を、6mもの落下衝撃に耐えさせるという無理難題
- 昔作ったアクリルロボ、凧やグライダー、ロボット大会マシンなどをヒントに落下方法と歩行機構を検討した
- 方式コンペ終了後も万が一のバックアップとして製作を続行することになり、確実なゴールを目指して開発を行った



ALKNYAN メインストリームマシン Mark-3



バックアップ機 Mark-0

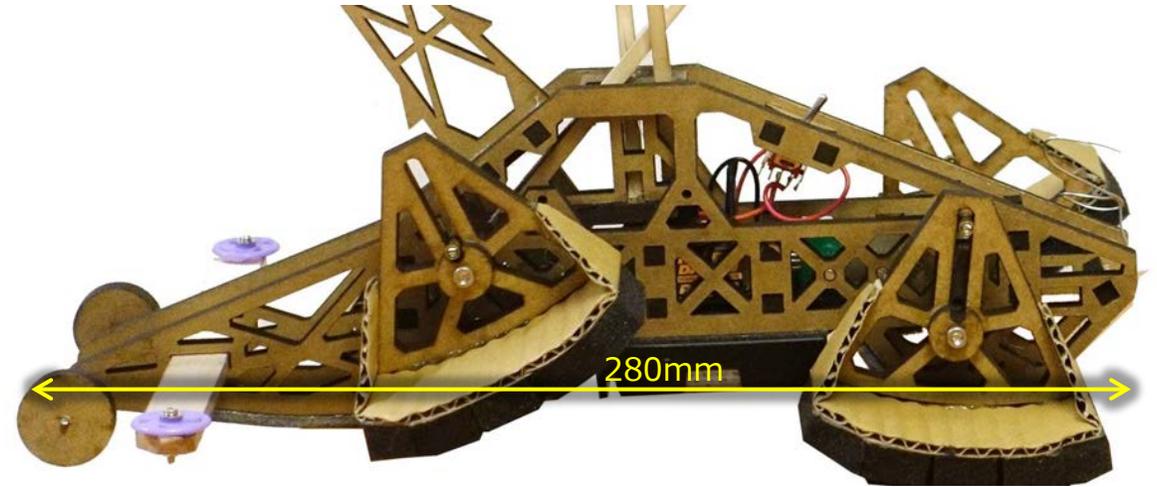
1-1. 最終仕様/概要

◆Mark-0 基本コンセプト

- センサや制御機構を一切持たず、**カイト**と**小型軽量化**を軸として落下に耐え、ある程度のタイムでゴールする
– ハイパワー & 高性能な本命候補機(Mark-3)の補完・バックアップ機となるべく、**究極のシンプルさ**を目指した

◆主な仕様

- 歩行機構：4足シングルスライダクランク+円弧脚
- 主な材質：MDF板、バルサなどの木材
- モータ：**ミニ四駆用ハイパーダッシュモータ**
- 伝達機構：両軸出し/クラウンギヤ/ギヤトレーン
- 電源：**単3電池2本** (ニッケル水素)
- 総重量：**320g** (カイト/外装/バッテリー含む)
- 歩行速度：**1.1m/s** (4km/h)



◆ポイント(詳細後述)

- 地道な造り込みで軽量化/低重心化
- スライダクランクの弱点を補う分割スポンジ足裏
- 落下から駆動メカを守るフレーム形状
- カイト、ピアノ線バンパーと滑りシートで落下エネルギーを有効利用

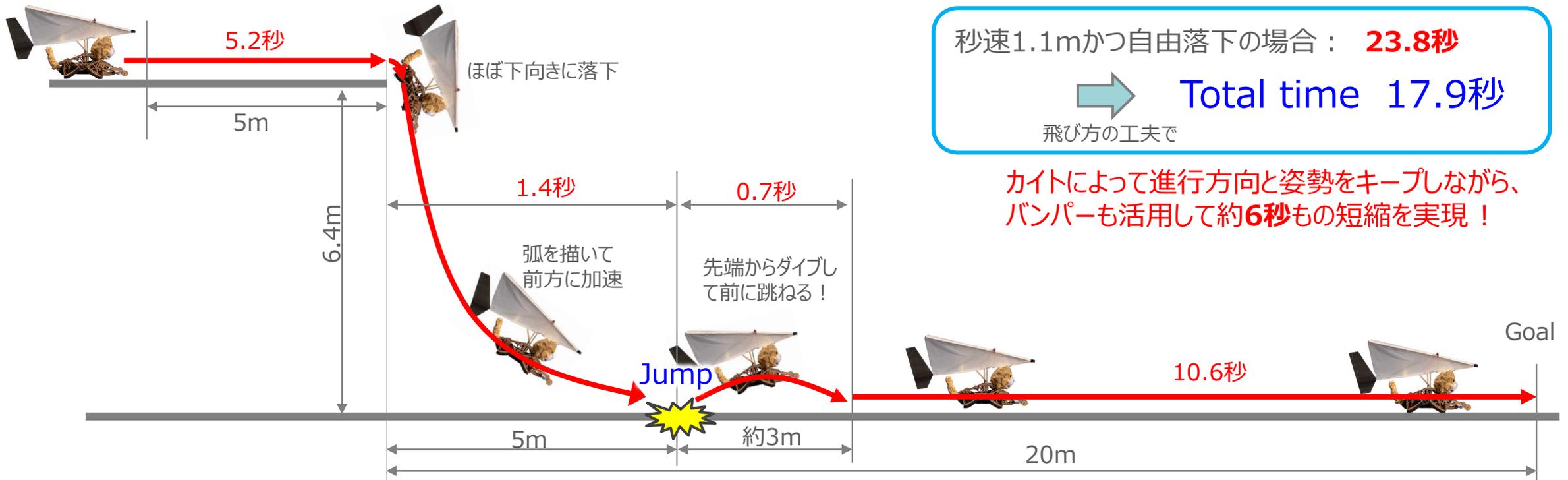


1-2. 走行/飛行結果

◆金沢文庫倉庫での練習結果

- 最終的には安定してゴールできるようになった(カイトのアラインメントを追い込んだ後は、方向はあまりばらつかなかった)
- カイトで落下エネルギーを**進行方向への推進力**に変え、5m以内の着地を実現しながら**タイムを短縮**
 - ミニ四駆モータ/単3電池2本という**質素な動力源**にも関わらず、総合タイムは **17.9秒**

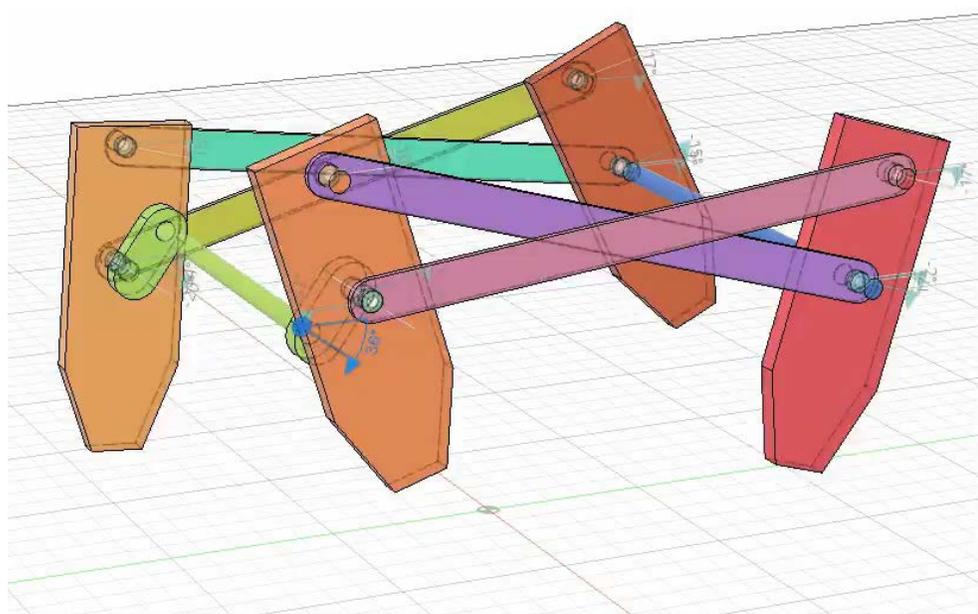
※但し落下のダメージはあるため、
耐えられるのは5回程度



2-1. 一般的な四足歩行について

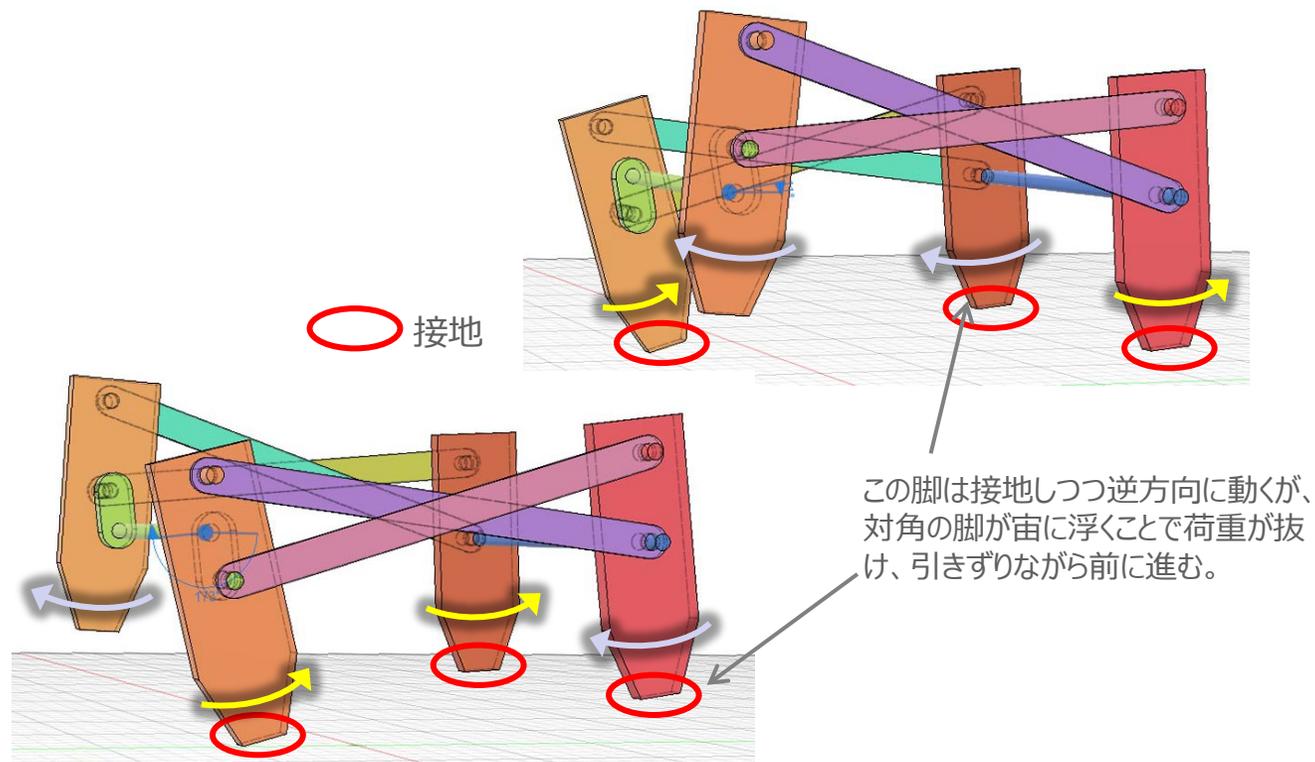
◆最も一般的に使われる4足メカ機構

- 前足はクランクとリンク(orスライド機構)によって**上下運動を伴うスイング**を行う
- 後ろ脚はクランクによって、前脚と逆相に単純スイングするのみ
- 3本の脚が接地して進み、1本の脚が持ち上がって戻る (接地している対角の脚も戻るが、荷重が減るので引きずって進む)
- **上下運動**および**傾く**動作が入るため、高速動作させると跳ねたり戻り脚の荷重が増えて**前に進みにくくなる**



4足メカ

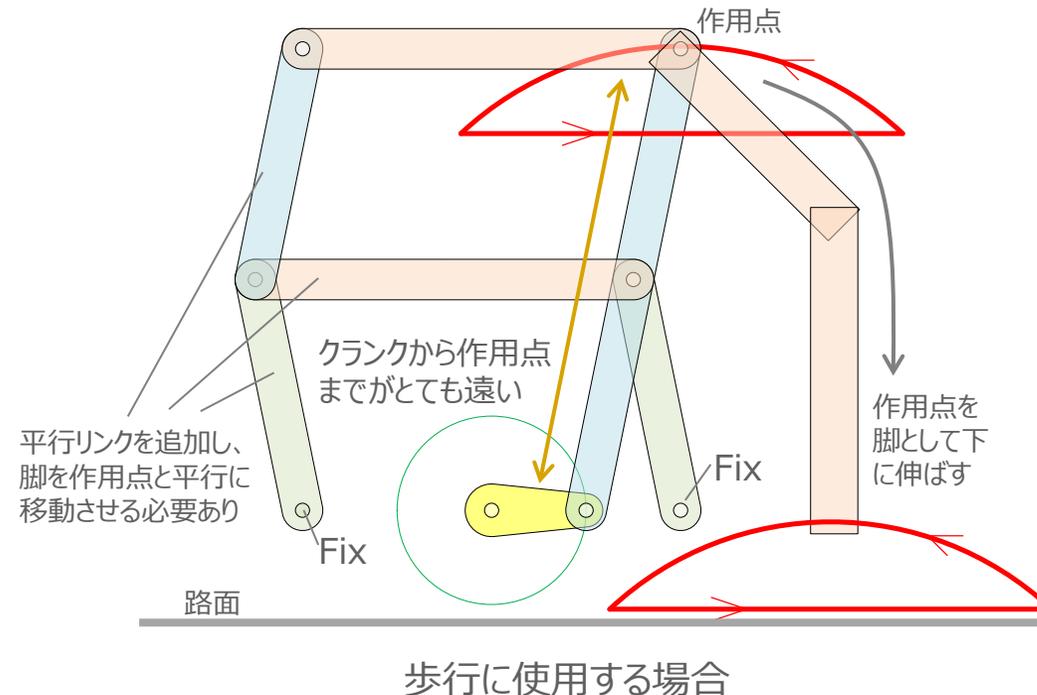
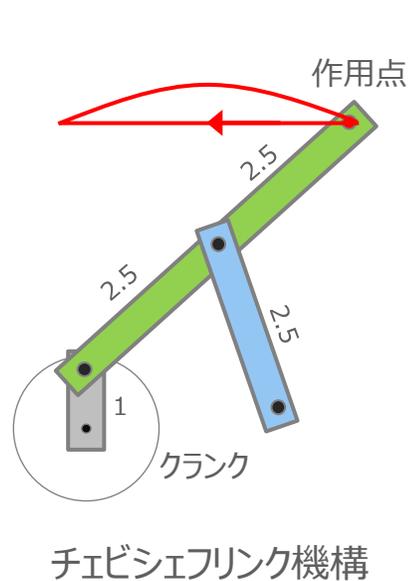
↑PDF内の埋め込み動画を再生する際は、
Adobe Acrobat Reader等を使用してください。



2-2. 最初に検討した機構 (チェビシェフリンク)

◆動きは理想的だがデメリットも多い

- チェビシェフリンクは行きは直線移動し、帰りは高速に円弧運動で戻る(行きと帰りでクランクの利用範囲が異なる)
- 複数個使えば上下運動を伴わずに移動でき、無効期間も短いので**ある意味で理想的**な動き
- ただしクランク(カ点)から作用点までが**遠く**、リンクの追加や脚を伸ばす必要があるため**重量/強度/反動**などの面で**不利**
- 今回の**落下を伴う**用途には、**総じてデメリットが多く**合わないと判断した

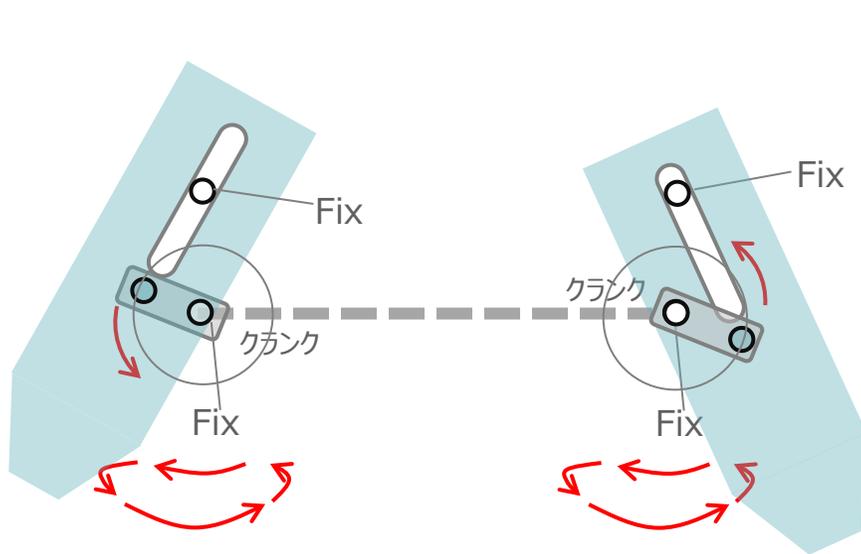


メインストリームマシン設計者の内山氏の実験結果より、機構の慣性質量による反動(上下方向の振動)が大きかった。

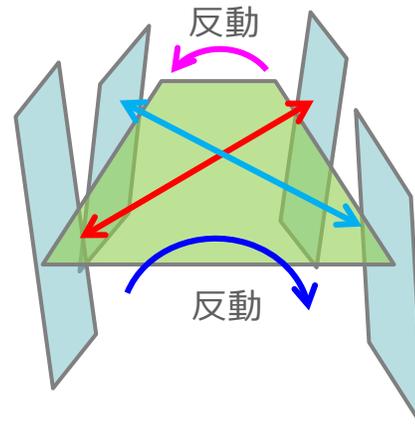
2-3. 採用した機構 (4足スライダクランク + 円弧脚)

◆シンプルさを優先して採用したスライダクランク機構

- スライダクランクは、クランクと脚以外のリンクを持たない**最もシンプル**な機構で、慣性質量低減と強度面で有利
- 2足ではなく**4足ともスライダクランク**とすることで本体の傾きを抑え、**反動もバランス**させることができる
- ロボコン等で使われることが多い**円弧脚**によって上下運動もある程度抑えることができる
- 検討時間が限られていることもあり、まずはこれで進めることが落下25m走ゴールへの一つの解と考えた

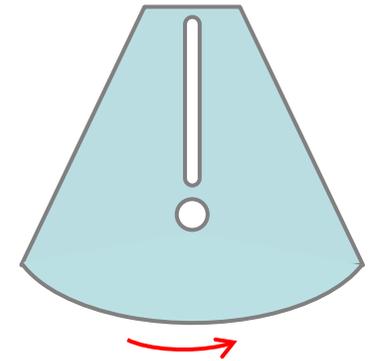


4脚スライダクランク



前後左右が逆相で、対角が同相の動きとなるため、可動部の反動による**振動はおよそ打ち消される**。

但し、ボディを捻るように力が働くため、振動を打ち消すにはボディの**捻じれ剛性**が必要。**サスペンションも使用不可**(反動をキャンセルできずに暴れてしまう)。

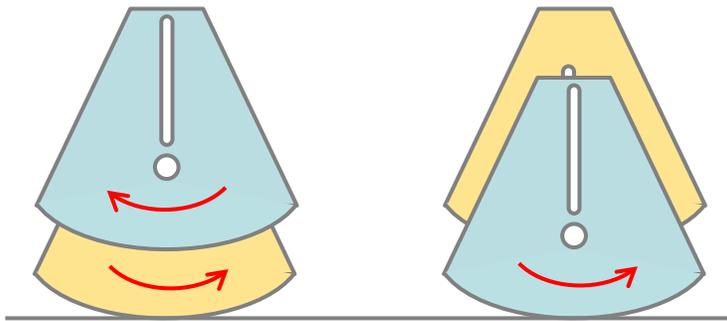


円弧脚で上下運動はある程度抑制される

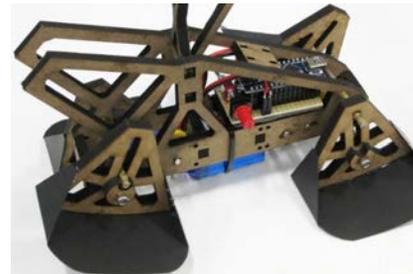
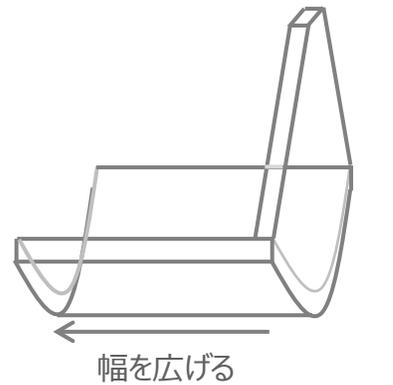
2-4. 4足走行の安定化検討

◆幅広足で2点接地から2線接地へ

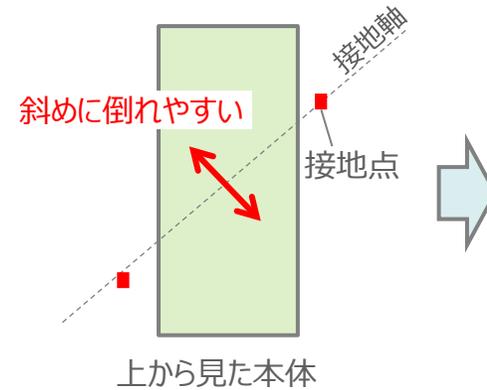
- 円弧脚を使っても、駆動時は基本的に2点接地のタイミングができ、**4本脚では対角方向に不安定**になる
 - ロボコンなどでは、**8本脚や12本脚**にして、常に4点接地を崩さないようにするのが主流
- そこで**円弧を幅広**にし、2点接地から**2線接地**にすることで安定性を高めることにした
 - 当初は足を内側に広げる案で考えたがボディにぶつかってしまうため、ボディを極力**細く**作り、**外側に広げる**ことにした



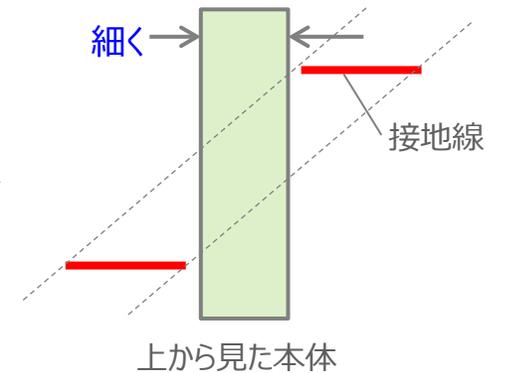
円弧脚でもこの瞬間は2点接地であり、斜め方向に不安定



幅広円弧脚



2点のみの接地となるため、対角方向に倒れやすい。
(ボディを幅広に作っても効果なし)

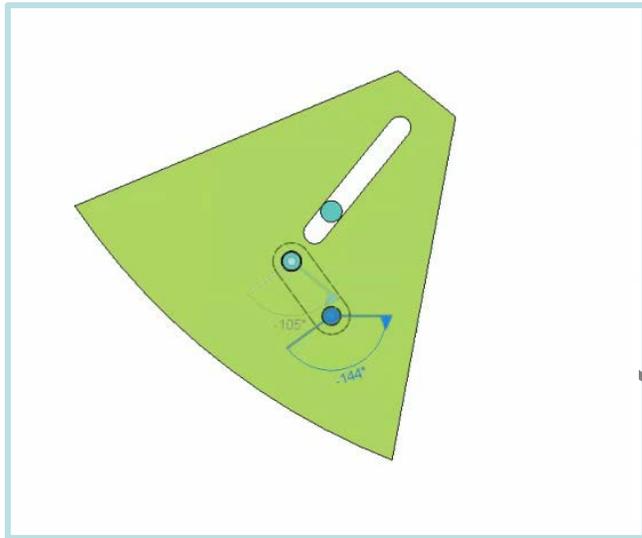


ボディを狭くして足を広げ、2線接地とすることで幅が生まれて安定する

2-5. スライダークランクの効率検討(1)

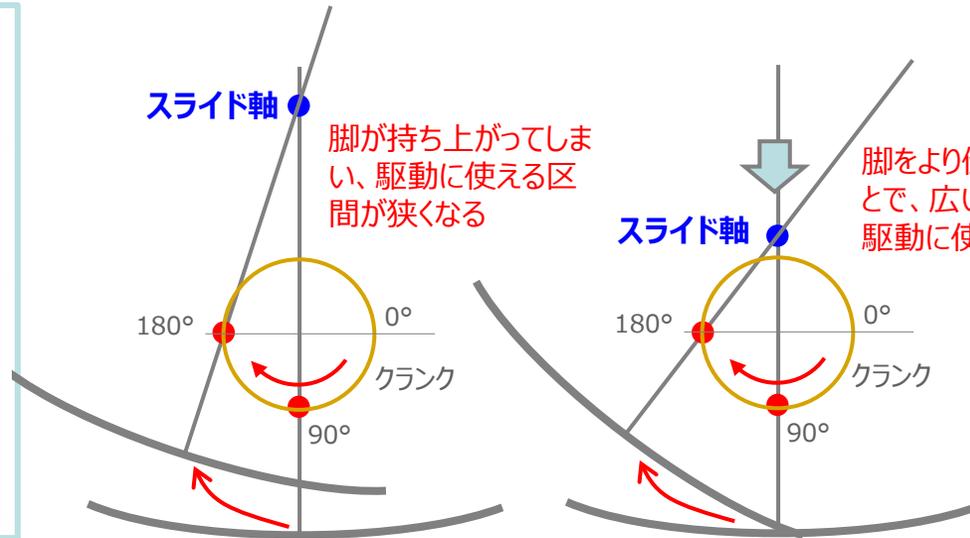
◆軸間距離が重要

- 円弧脚との相乗効果で、**クランクピンとスライド軸を近づける**ほど歩行の効率を高めることができる
 - 同じ幅の脚でも、接地している区間を長く確保することができる
 - クランク回転角度のうち、駆動に利用できる**有効区間を長く**、戻りに使う**無効区間を短く**することができる
- ただしスライド軸とクランクピンを近づけることは物理的に限界がある（ベアリングや保持部分の肉厚が必要であるため）



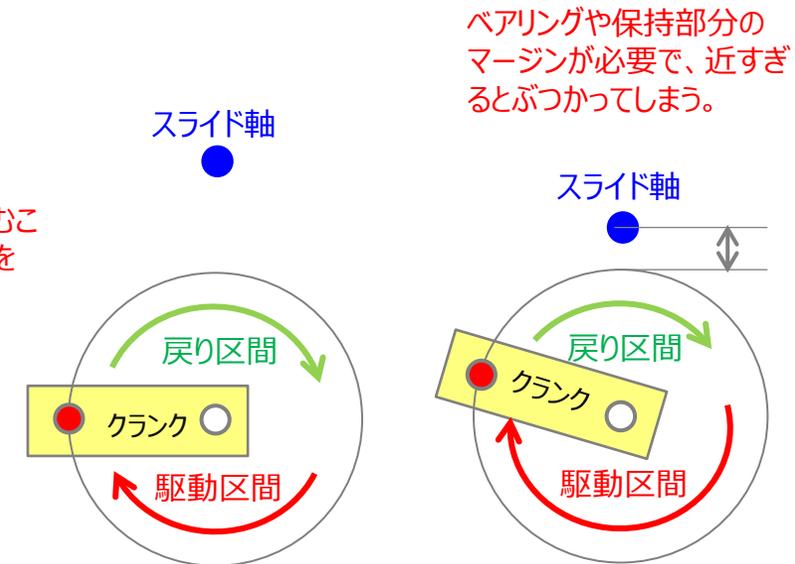
スライダークランクの動作

↑PDF内の埋め込み動画を再生する際は、
Adobe Acrobat Reader等を使用してください。



スライド軸が**遠い**場合

スライド軸が**近い**場合



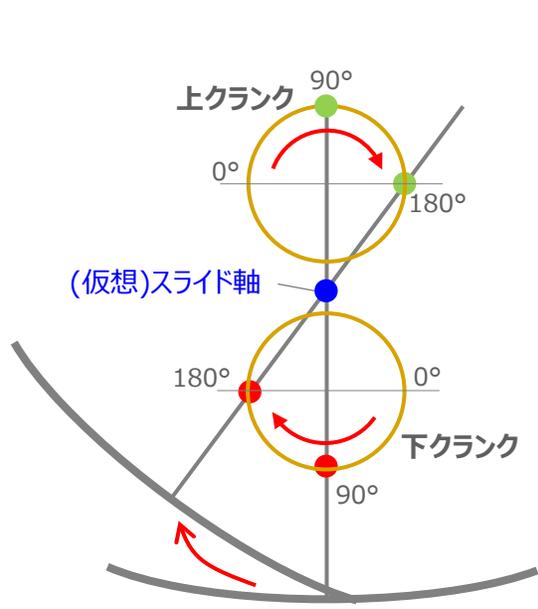
スライド軸とクランク
ピンが**遠い**場合

スライド軸とクランク
ピンが**近い**場合

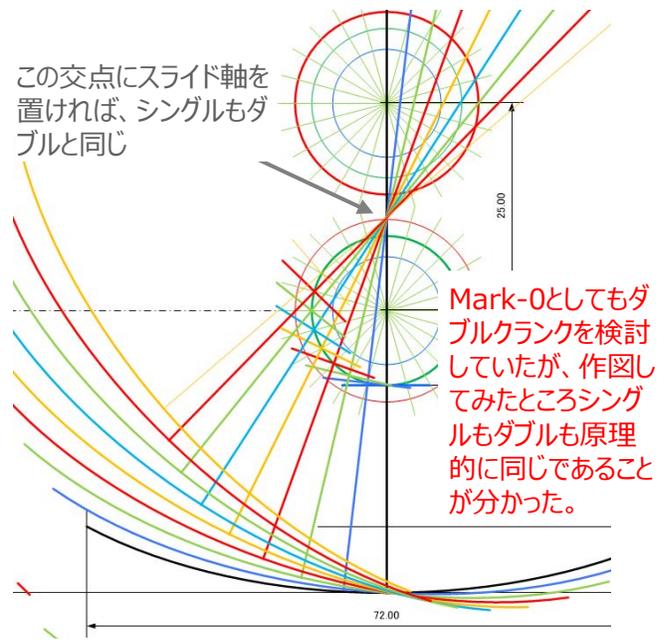
2-5. スライダクランクの効率検討(2)

◆軸間距離を縮める工夫

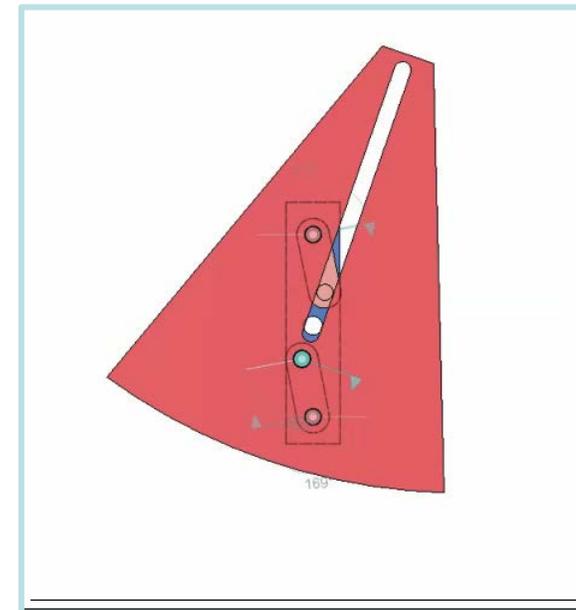
- メインストリームマシンは大出力を受け止めるボールベアリングや肉厚を確保するため、**ダブルクランク機構**を採用
- 出力の小さいMark-0では軽量化とシンプルさを優先し、ボールベアリングを薄い**真鍮パイプ**に置き換えることでシングルクランクのまま軸間距離を近づけた



シングルクランクとダブルクランクの関係

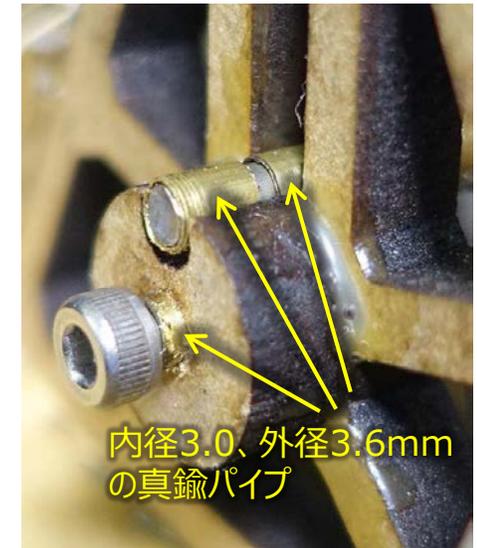


スライダクランク検討時の図面



ダブルスライダクランクの動作

↑ PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

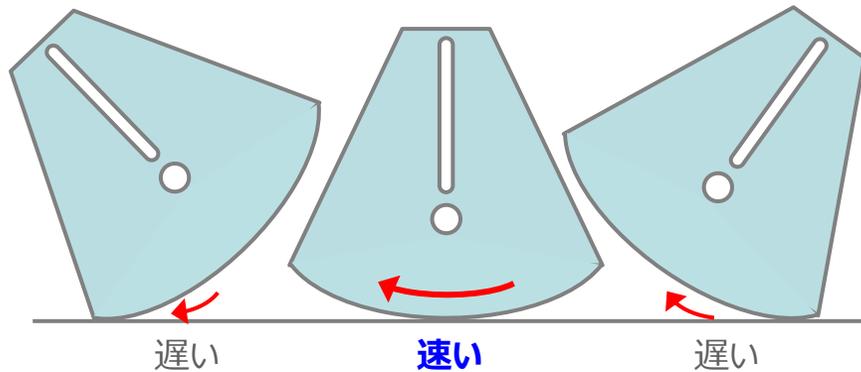


ベアリング、留め具を真鍮パイプにすることで軸間を極限まで近づけ、ダブルクランク同等の軌跡をシングルクランクで実現した

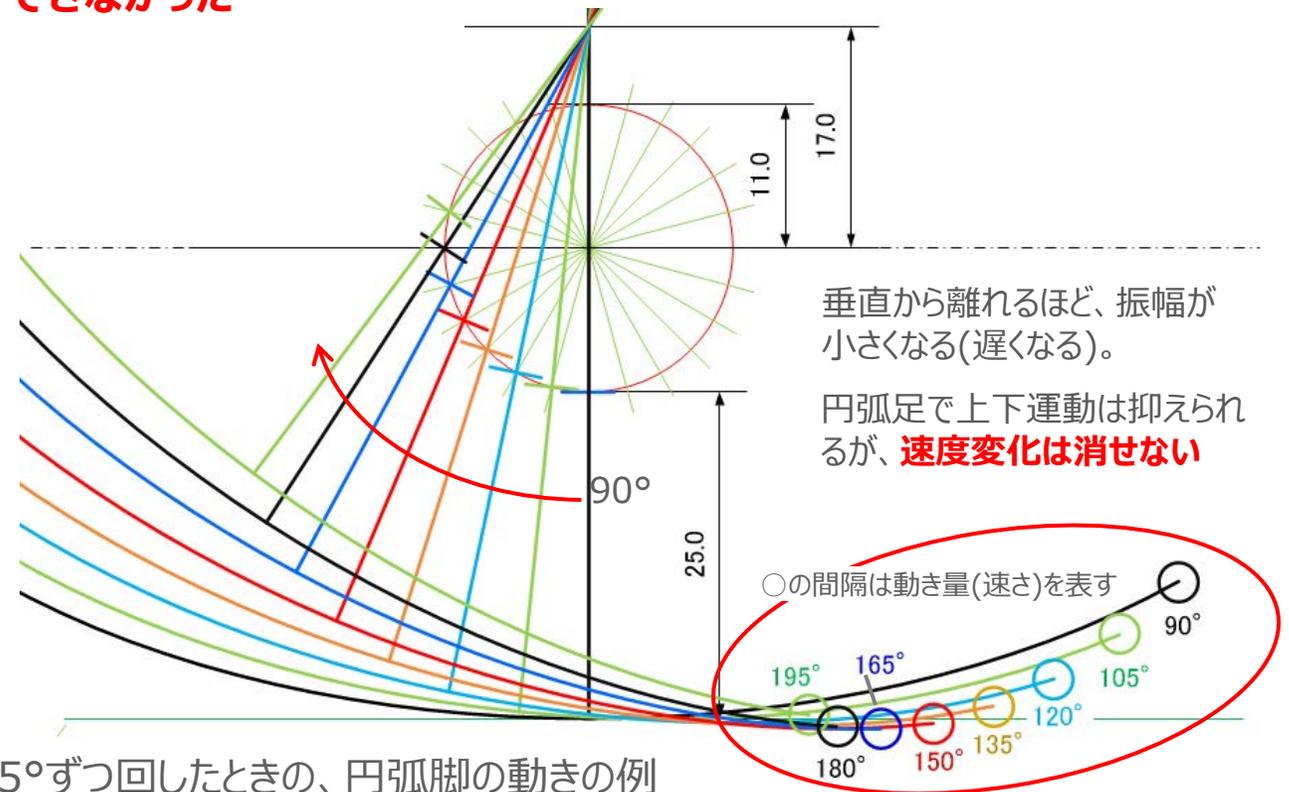
2-6. スライダクランクの弱点と対応 (1)

◆スライダクランクは速度変化が大きい

- シンプルで機構も小さいスライダクランクであるが、**脚の角度**による**速度変化**が大きいことが分かった
 - 同じクランクの回転幅に対して、垂直時(駆動の中心)の速度が最も大きく、傾きが増えるほど速度が低くなる
 - 円弧脚によって**タイヤ**のような駆動ができそうに思えるが、実際はタイヤの動きとは大きく異なる
- 足先が路面とグリップするほど、つかかりを生じてスムーズに走れなくなる
 - 速度が伸びないだけでなく、**まっすぐ走ることができなかつた**



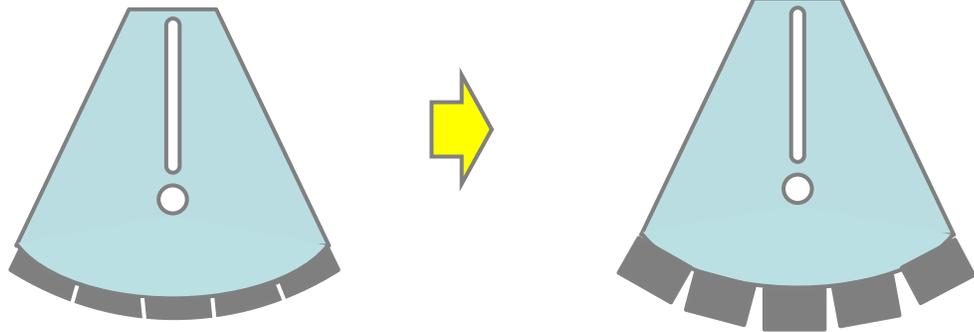
「円弧によりタイヤのような駆動」と説明されるが、**実際はタイヤのような等速運動はできない**



2-6. スライダクランクの弱点と対応 (2)

◆分割スポンジによる速度変化の吸収

- 足裏を**滑りやすい素材**にすることである程度走れるようになるが、それでは**速度を上げることができない**
- そこで路面と足先を**柔結合**させて、速度の**脈動分を吸収**させることを思いついた
 - スタッドレスタイヤの**パターンがしなる**イメージ
- 厚手の柔らかいスポンジを、少し隙間を空けて横方向に並べたところ、**直進性が劇的に改善**した
 - 但し速度域や重量によって適切な硬さが異なり、**動力仕様に合わせた素材選びとチューニングが必要**になる



スポンジにカッターで切れ目を入れてみたが、効果は今一つ

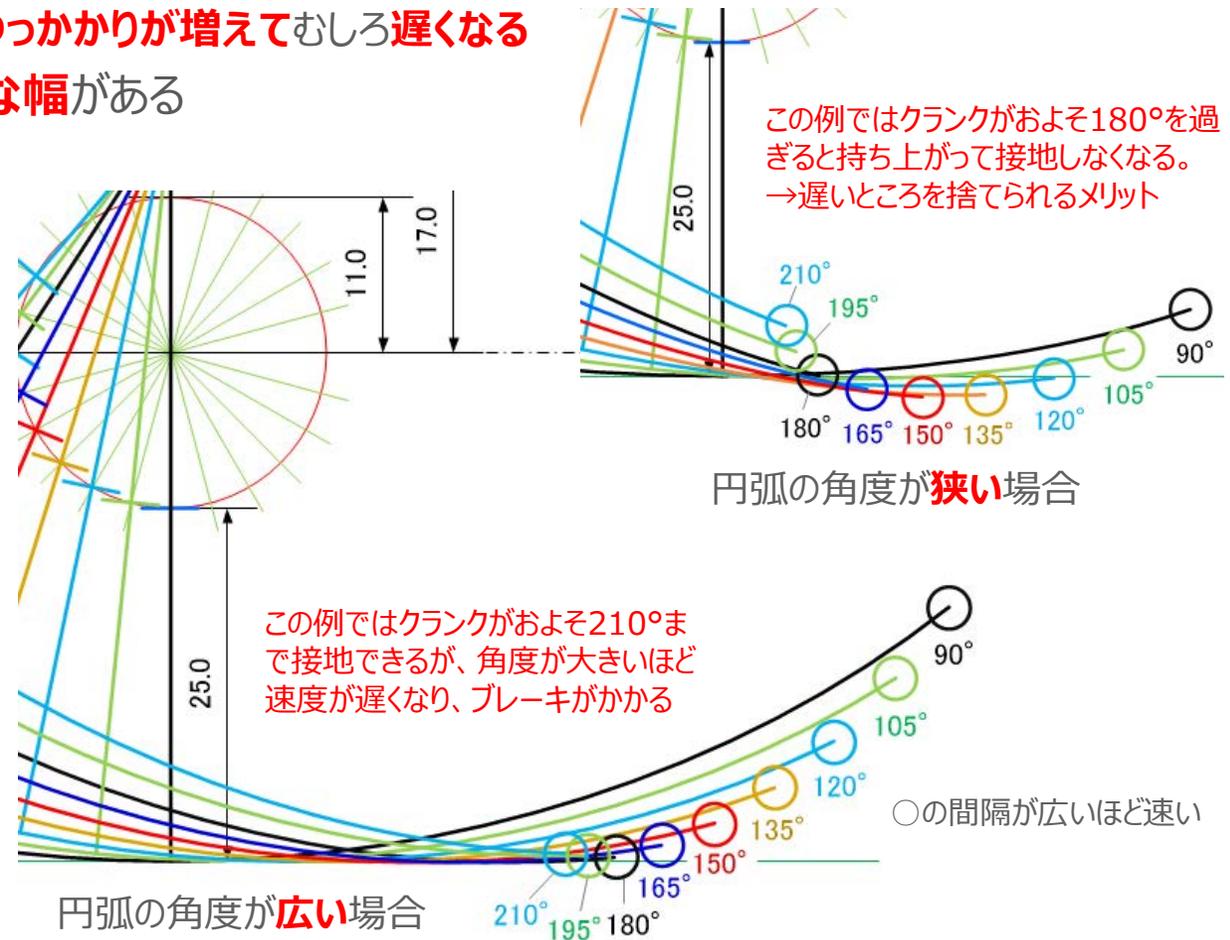
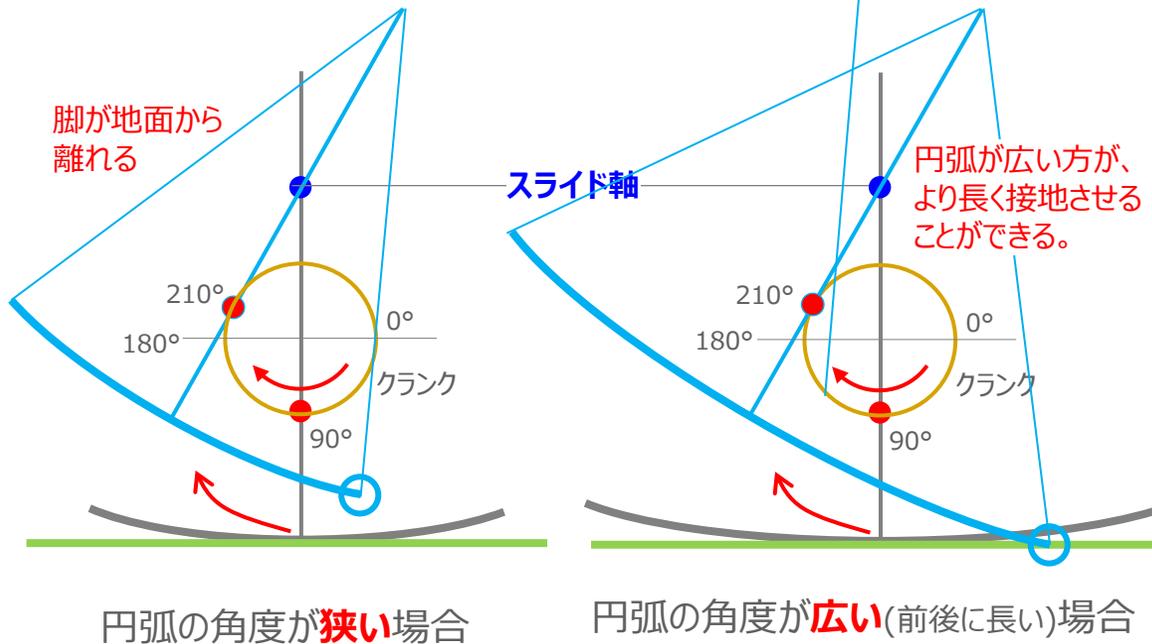
更に厚手の「すき間テープ」を、あえてすき間を空けて貼ったところ、走行がスムーズになり、直進性も劇的に改善した。



2-6. スライダクランクの弱点と対応 (3)

◆円弧の角度(脚の前後長)に関する補足

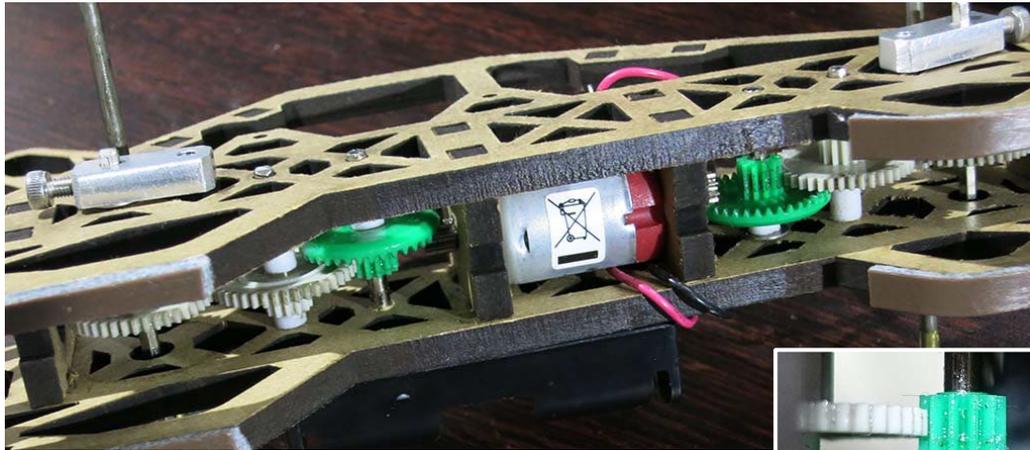
- 円弧脚は角度を変えて**3回製作**したが、**広すぎても狭すぎても遅くなる**ことが分かった
- クランクとスライド軸の距離が同じ場合、円弧の**角度が広い**方が**接地区間を長く**確保することができる
 - しかし脚の端の方では「**接地はしているがあまり進まない**」状態になる
 - 前述のスポンジ足裏では速度の変化を吸収できなくなり、**つかかりが増えてむしろ遅くなる**
- 円弧が狭すぎると上下運動が増えて遅くなるため、**最適な幅**がある



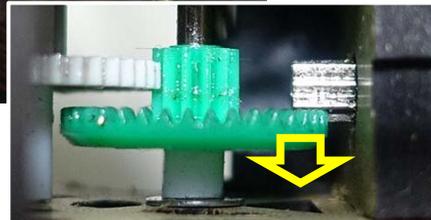
2-7. 伝達機構 (1)

◆コンパクトさ/低重心を優先し、ギヤの制約を含めて駆動系を決定

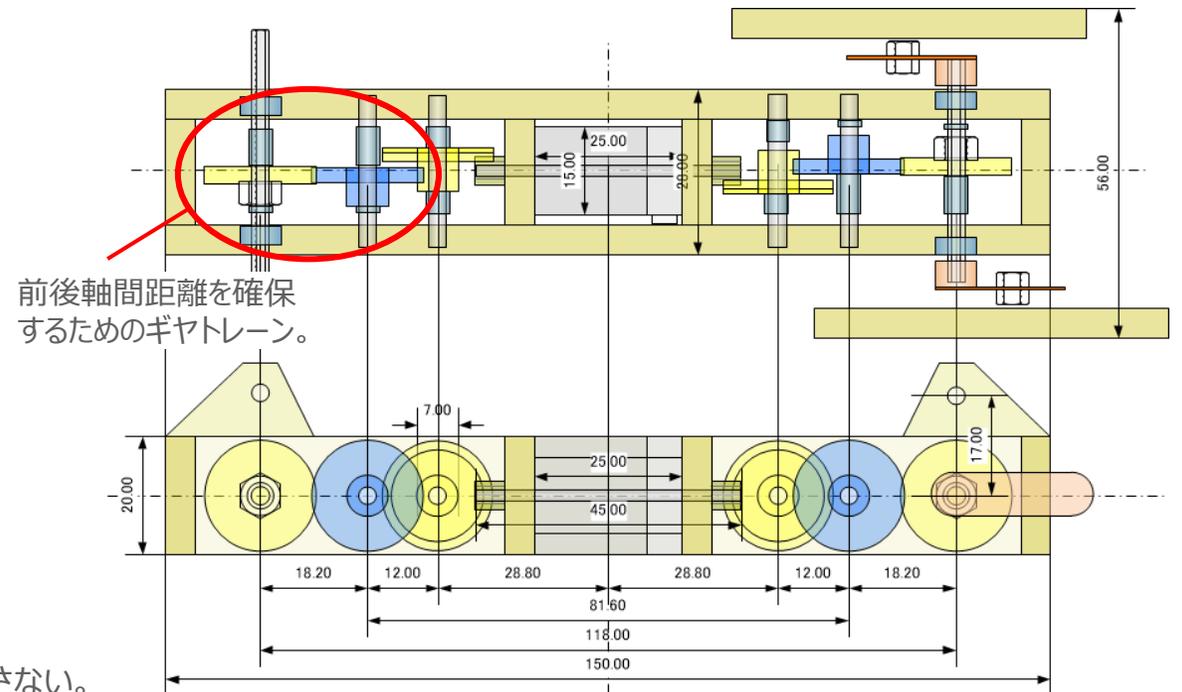
- 本体をスリムでコンパクトにし、落下時の重量バランスも考慮して**モータは縦置き**とした(回転効率には横置きがベスト)
- ドライブシャフトを使うと、**構造的に弱いクラウンギヤ**がファイナルになってしまうため、トルクに耐えられない
 - 本番候補機のMark-3はここに強度の高い傘歯ギヤを使用して対応している
- クラウンギヤはトルクの弱い初段に使用し、ギヤトレーンで前後シャフト間を広げて脚の可動スペースを確保した



Mark-0の伝達機構



クラウンギヤはギヤ平面を曲げる力が働くため、トルクの強い場所には適さない。
→ 回転数は高いがトルクの弱い初段に使用



Mark-0 初期の駆動系設計図面

2-7. 伝達機構 (2)

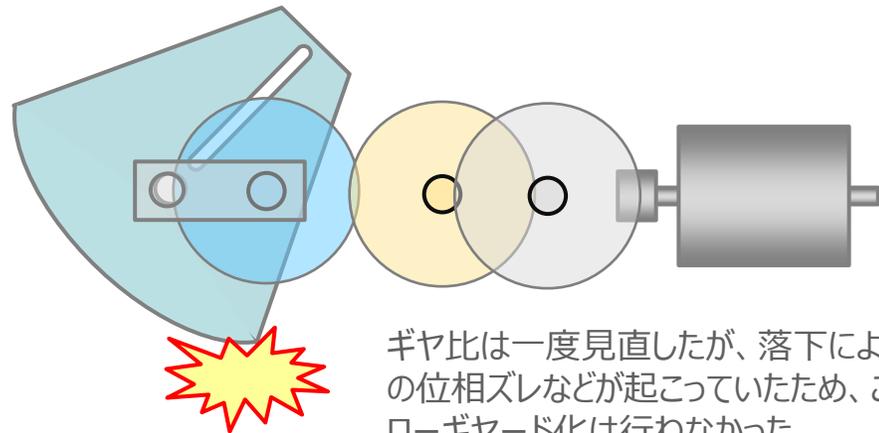
◆減速比はギヤの制約により16.6:1に設定

- 往復運動を伴う歩行系メカはタイヤに比べて**負荷が大きい**ため、減速比は大きめに確保する必要がある
- 最初に試作したマシン(減速比12:1)の実速度からモータの平均回転数を逆算したところ、やはり減速比が不足していた
 - モータの適正回転数で使うには、減速比を 25:1 ~ 30:1程度に設定することが好ましそう
- しかしローギヤード化すると、落下の衝撃に対するメカへの負担が増える方向
 - クランクやファイナルギヤは、モータの駆動力と地面からの衝撃の板挟みになっている
- 入手容易性などもあり、最終的にタミヤのクランクギヤセット2段分で得られる**16.6:1**とした

ギヤ比とモータ回転数

項目	値
ピニオンギヤ[枚]	8
クラウンギヤ	38
クラウンギヤ内側	12
平ギヤ	42
減速比	16.625
クランク1回転で進む距離[mm]	110
モータ1回転で進む距離[mm]	6.617
平均モータ回転数[rpm]	10000
秒速[m/s]	1.103

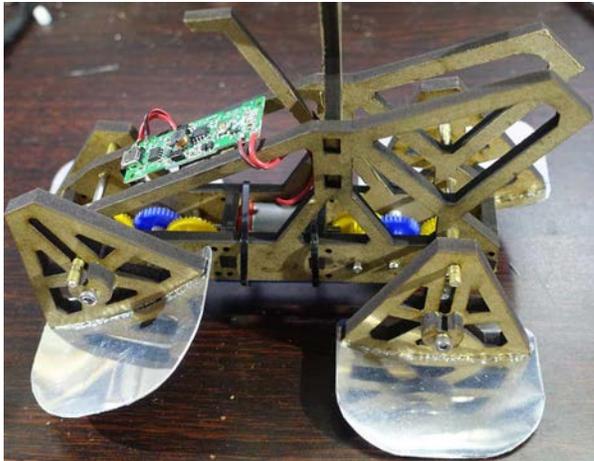
※ハイパーダッシュモータの適正回転数は17000~21000rpm



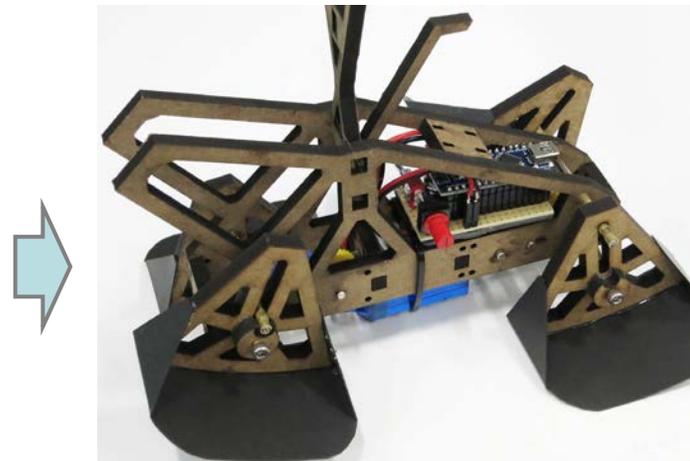
2-8. 幅広足

◆歩行安定化のための幅広足

- 足の幅は本体が大幅に($\pm 45^\circ$ 程度)傾いても倒れないように広めに設定した
- 当初足先に0.7mm厚のアルミ板を曲げて接着したが、重たすぎてスムーズに回らなくなったので**厚紙に変更**した
 - モータの出力にも依るが、高速で往復運動する**足先は特に軽量であること**が求められる
- 途中からは剛性と重量面でより有利な**ダンボールに変更**した



初期モデルのアルミ板幅広足



重すぎたのですぐに厚紙に変更したが、剛性不足



リブが横方向に通っている
ので、前後方向に曲げやすく、
上下方向には曲がりにくい。

見た目はチープだが、接着
性を含めてこの用途にはこ
れ以上の素材は見つけれ
なかった。

軽量かつ弧として剛性を確保するには中空構造
でリブが入っているダンボールが適していた

2-9. その他機構部品

◆メインシャフト

- 当初はタミヤの3mm六角シャフトを使用
 - 位相ずれが起きにくく、ベアリングへの圧入も不要で組立やすい
 - しかし材質的にかなり柔らかく、落下で**すぐに曲がってしまう**のが難点
- 途中からΦ3のピアノ線を使用
 - 鋼鉄ほど硬くないが、ある程度の弾力があり加工も難しくない

※Mark-0は落下で脚が壊れたことは一度もなく、トラブルはクランクやギヤのスリップによる位相ずれ、シャフトの変形だった。

◆クランク

- 当初はタミヤの鉄板クランクを使用したけど、初めての落下で曲がって動けなくなってしまった
- アルミのフラットバーをバンドソーで切って穴あけ、タップ加工した手作りクランクを使用した



いずれも3mmシャフトで左からタミヤ六角、タミヤ丸、ピアノ線



当初使用した1mm厚の鉄板クランク。すぐに曲がってしまった



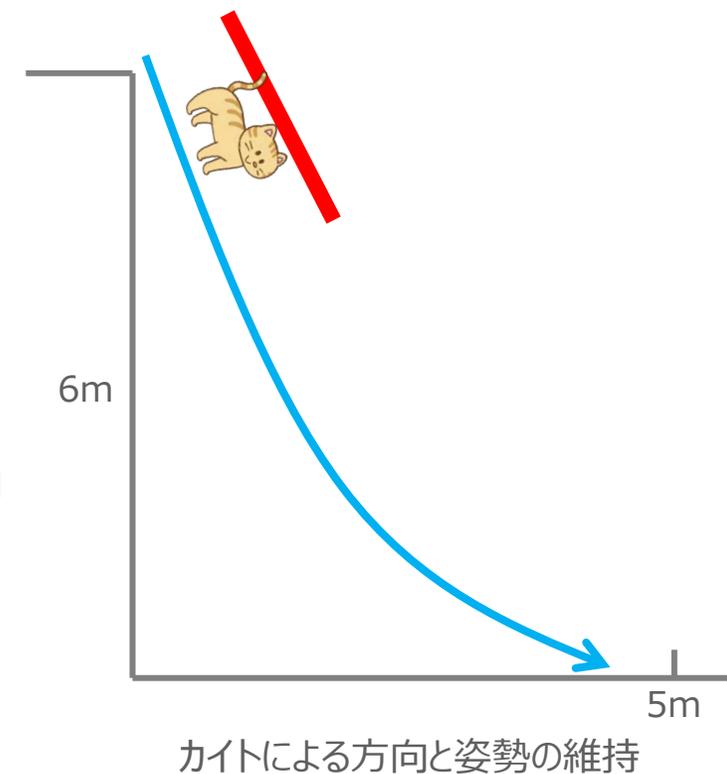
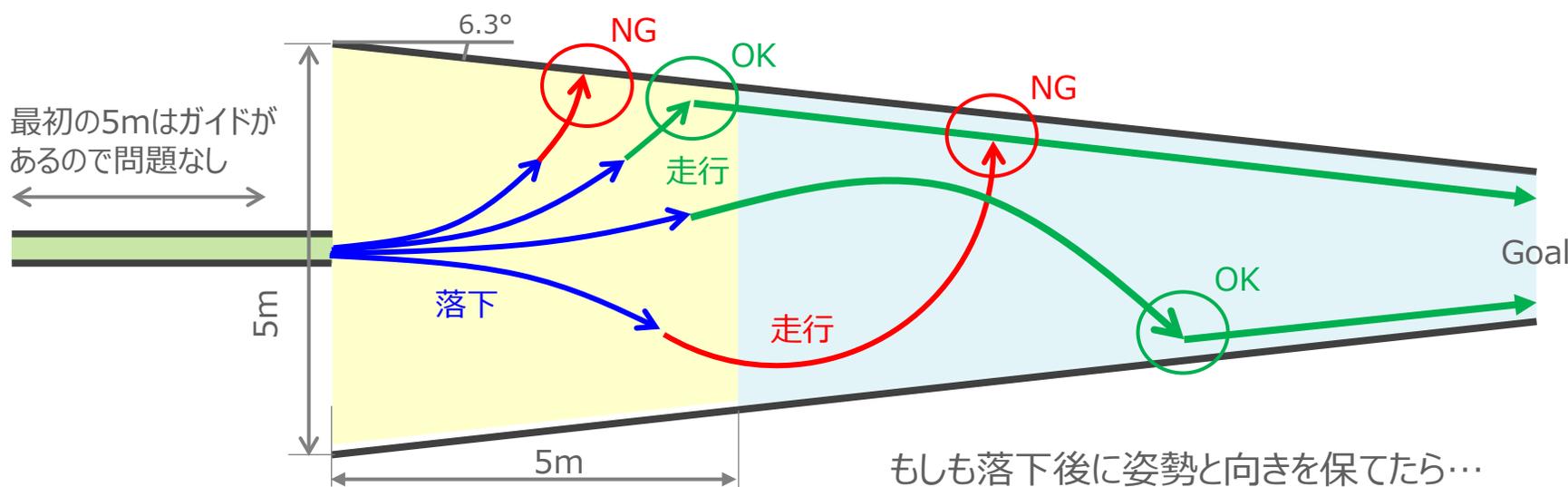
バンドソーと手動フライス盤で手作りした



3-1. 落下25m走に対する構想

◆Goalに必要な落下と走行の要素

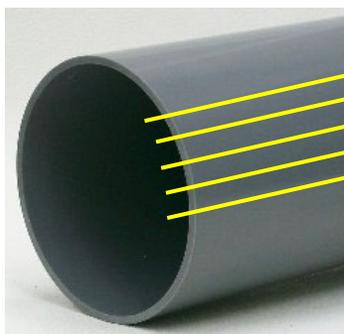
- 確実なゴールを狙うには、「本体を立て直す機能」、「ゴールを見つける機能」、「操舵する機能」が必要
- もしも姿勢と向きをある程度**キープしたまま落ちる**ことができ、かつ**コースガイドに浅い角度**でぶつかることができたなら、**制御機能が一切なくても**コースに沿ってゴールできる
 - カイトを使ってうまく作り込めば、可能性があるのではないか??
 - 衝撃をある程度**緩和**しつつ、落下エネルギーを**進行方向に利用**できる
- 多機能なメインストリームマシンとは逆に、究極にシンプルな方向を目指した



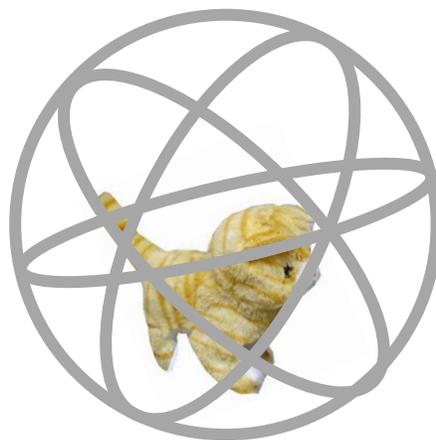
3-2. ワイヤボール(起き上がりこぼし)

◆ 検討初期の頃にカイトと並行して一応試してみた

- 球体に包まれていれば、どんな角度で落ちてもある程度はメカを保護することができそう
- 姿勢復帰の検討の第一歩として、塩ビパイプを丸ノコ盤で細く切ってボールを製作してみた
- 念のため作ってはみたものの、目指す方向には活用が難しいと考え、**検討をカイトに絞った**
 - 足が下を向くためには本体を下方に配置する必要があり、脚を保護するには引っ込める機構が必要で複雑になる
 - 塩ビはそれなりに重量があり、必要な強度を得ようとすると重心が高くなってしまい走行に不利
 - 落下の前後で進行方向を維持するには強く回転させる必要がある (回転しない場合、方向をロスト→サーチが前提になる)



手持ちの塩ビパイプを縦に切って細い棒状にした



塩ビ棒をループにし、針金で固定
(撮影を忘れたため図で再現)



接着では必要な強度が得られなかったため、塩ビ棒の両端を結束バンドで固定した。

3-3. カイト構造検討

◆基本構造

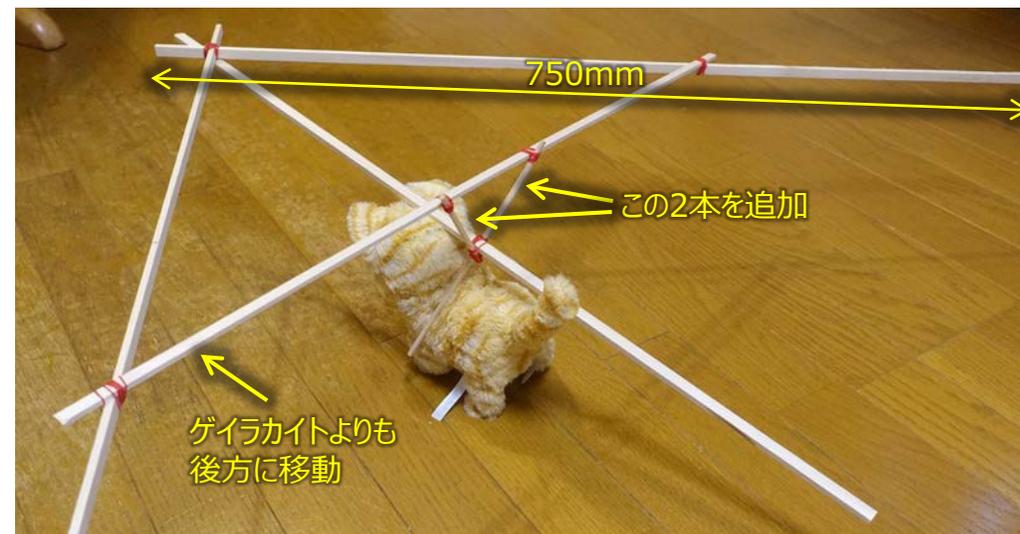
- 1970年代に流行った「[ゲイラカイト](#)」は和凧に比べてフレームが少なく効率が良いため、これをベースに考えた
- ただしゲイラカイトの形状は紐で引っ張る状態では成立するが、**自立して走行することができない**
- そこで左右を結ぶブリッジを後方に移動させ、三角形の接続用フレームを追加して**自立/調整ができる**ようにした

◆サイズ

- 面積がどれだけ必要かは不明であったため、まずは手元にあった木材(750mm)を丸ノコ盤で細く切り、そこから作れるサイズとした (およそ0.3m²になった)



初期の原理実験
(3Fから道路に落として素養を確認)



できるだけシンプルに、自立して走行できるように構造を検討

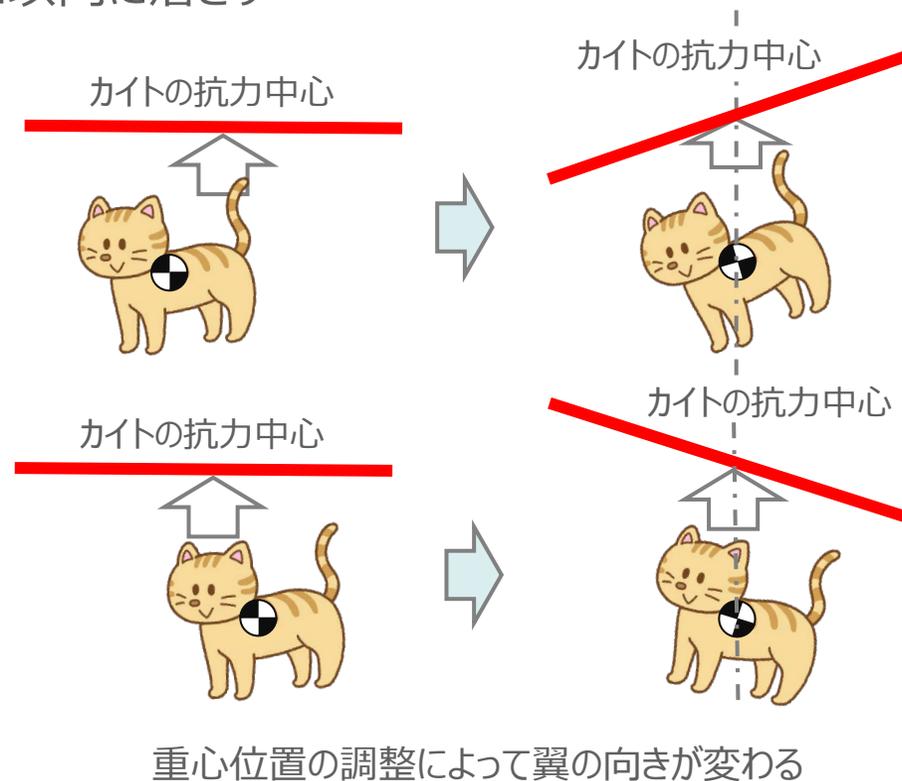
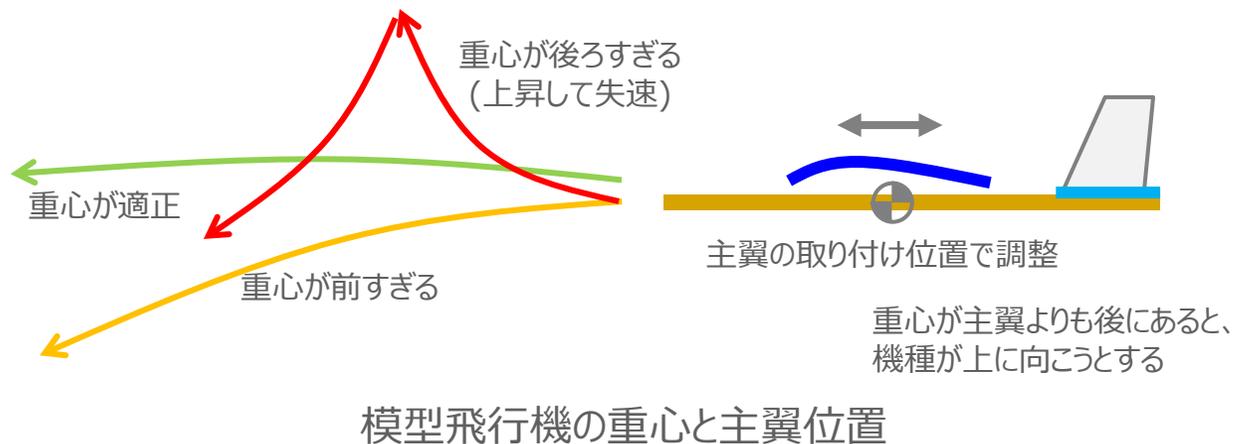
3-4. カイトと重心

◆翼と重心位置の関係

- 重心と主翼の位置関係で、飛び方が異なる(模型飛行機などを作ると必ず下図の説明が出てくる)
- 空気抵抗に対するカイトの抗力中心と、ネコ本体の重心が釣り合う角度に収束する
 - 前重心だと早めに落ち、後ろ重心だと上向きに飛ぶ(速度が遅くなって失速する)

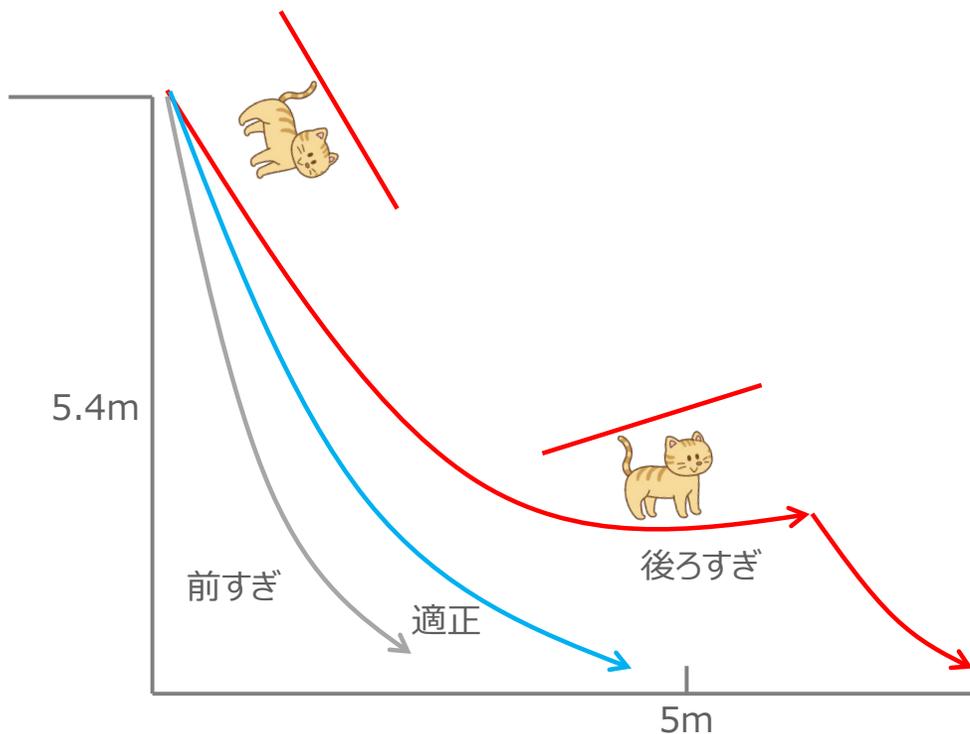
◆今回のお題に必要な動作

- 遠くへ飛ばすと失格になってしまうため、**姿勢を復帰**させつつ5m以内に落とす
- ネコと翼の位置関係によって、飛び方は調整できる

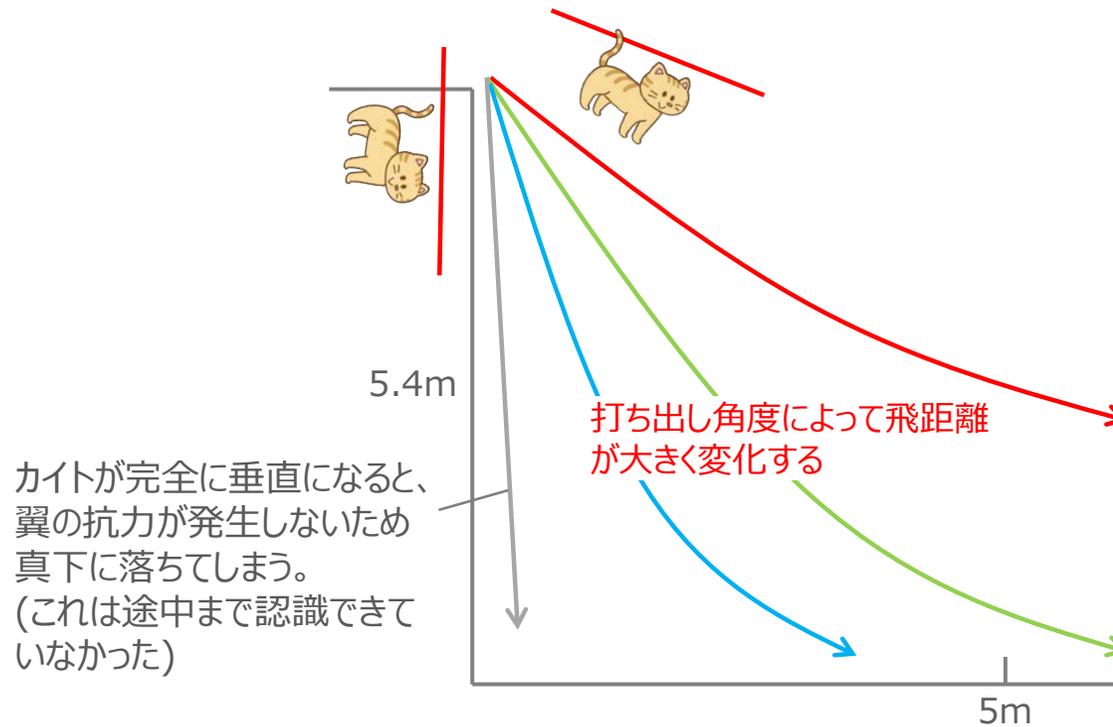


◆重心位置と打ち出し角度を変えて落下実験

- オリジナルネコ(電池込み200g)とフレーム長750mmの組合せで重心と打ち出し角度を適当に変えて実験した
 - 本体の重さと打ち出し角度次第であるが、この組み合わせでは**翼面積は十分**な(やや大きすぎる)ことが分かった
 - 打ち出し角度は実際に**走行メカを走らせないと分からない**ため、重心位置と面積の調整は後から行うことにした



重心位置による飛び方の変化



カイトが完全に垂直になると、翼の抗力が発生しないため真下に落ちてしまう。(これは途中まで認識できていなかった)

打ち出し角度による飛行距離の差

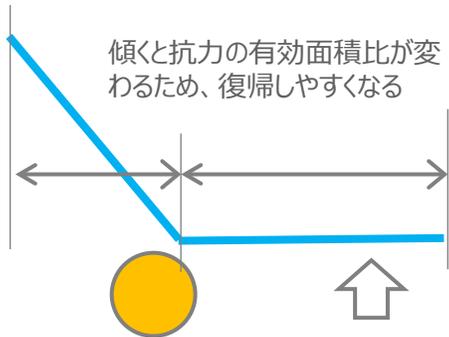
3-6. カイトの安定性

◆上反角

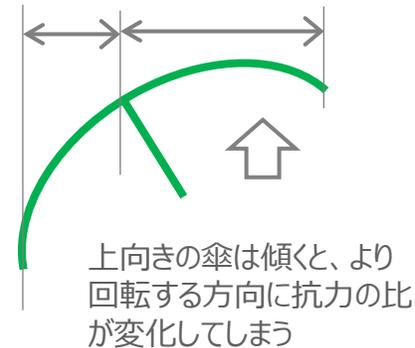
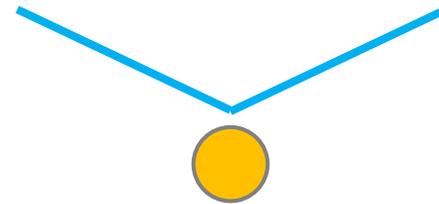
- 傾きを補正し、安定してコース中央付近に落とすために、翼は前から見てYの字に傾ける必要がある
 - 傾くと空気に対する抗力の有効面積が変化し、垂直に戻ろうとする
- センターのフレームを下げて立体的に配置することで、カイトの上反角を確保した

◆垂直尾翼

- 上反角が十分にあれば、垂直方向の成分ができるため垂直尾翼は不要と考えていた
- 実験では着地間際に左右に曲がってしまうことが多かったため、メンバーからの助言で垂直尾翼を追加した



上反角



逆さでない傘

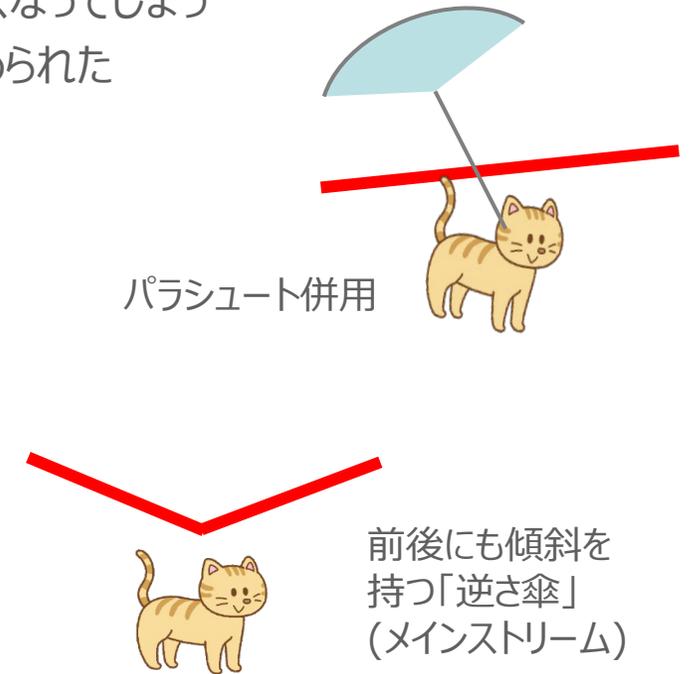
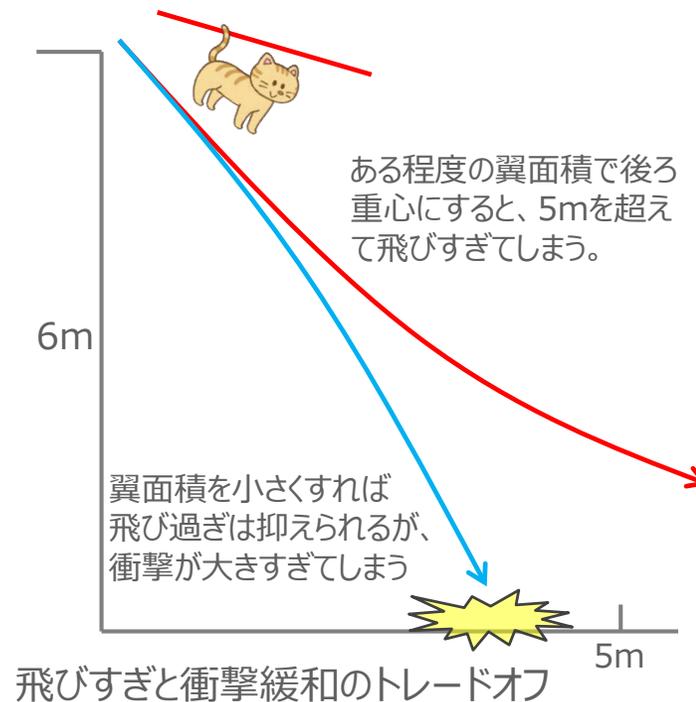
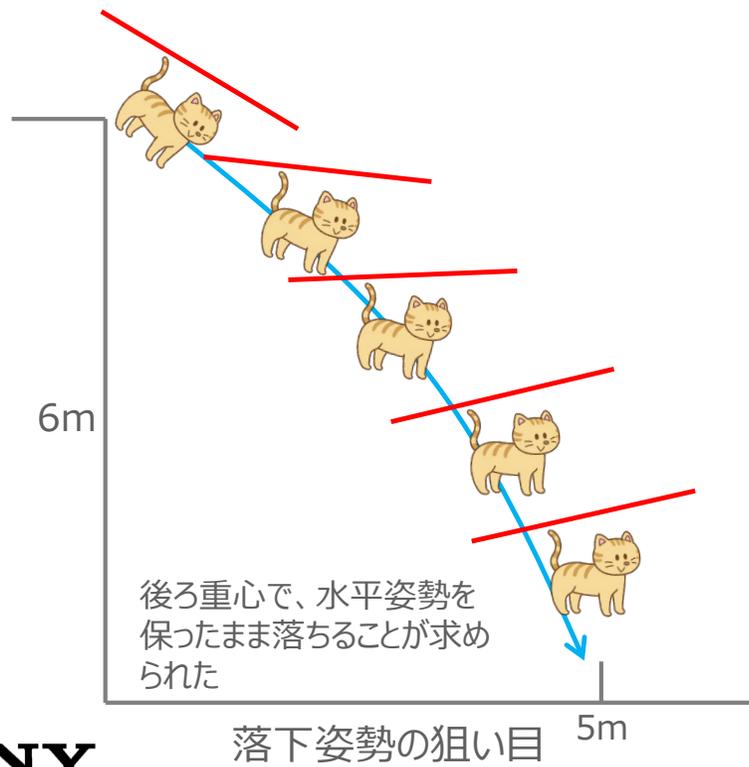


中央のフレームを下げることで上反角を確保し、更に垂直尾翼を追加

3-7. 飛ばし方の狙い目

◆飛びすぎ問題と対策

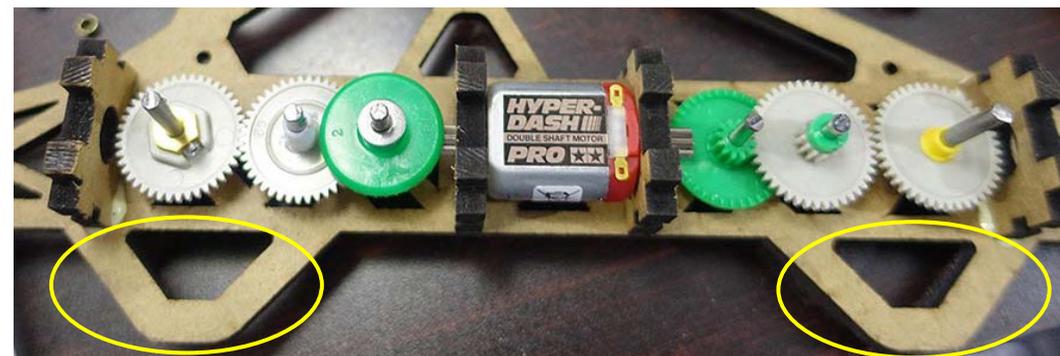
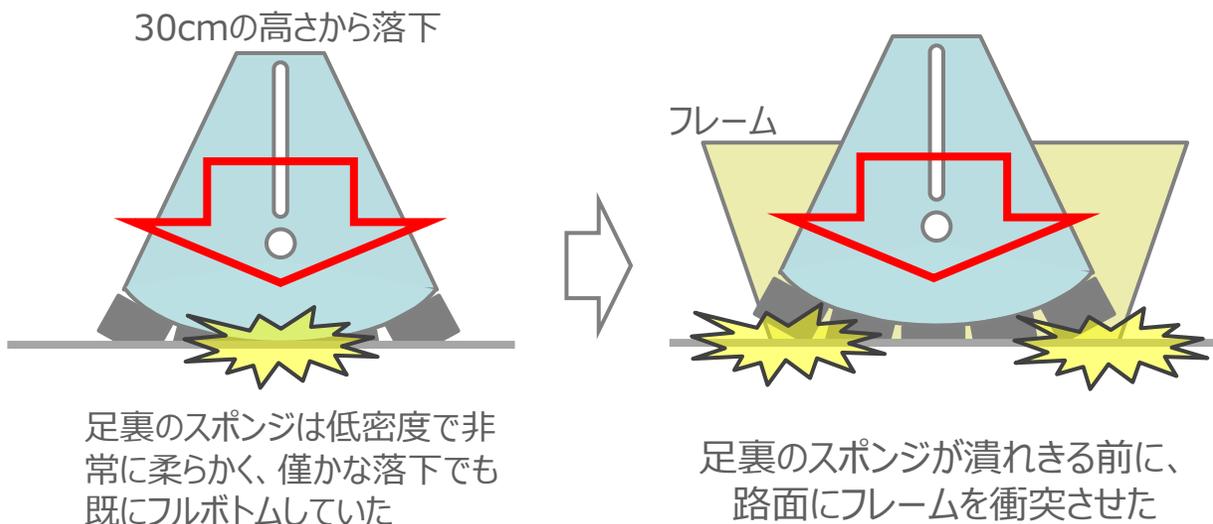
- 開発中盤、他チームでもそれぞれカイト、パラシュート、傘などの検討が行われた
- いずれも後ろ重心で水平に近い姿勢を維持し、**四足ほぼ同時に着地する飛び方**がベストと考えられていた
- この飛ばし方では、フラットなカイトは「5mを超えて**飛びすぎて**しまう」ことが問題になった
 - 飛び過ぎを抑えるためにカイトを小さくすると、落ちる**速度が速すぎて**衝撃が大きくなってしまう
 - メインストリーム機は安定性を重視し、「**逆さ傘**による素直な落下」で開発が進められた



3-8. フレームによる歩行機構の保護

◆フレームで歩行メカを保護する案を試す

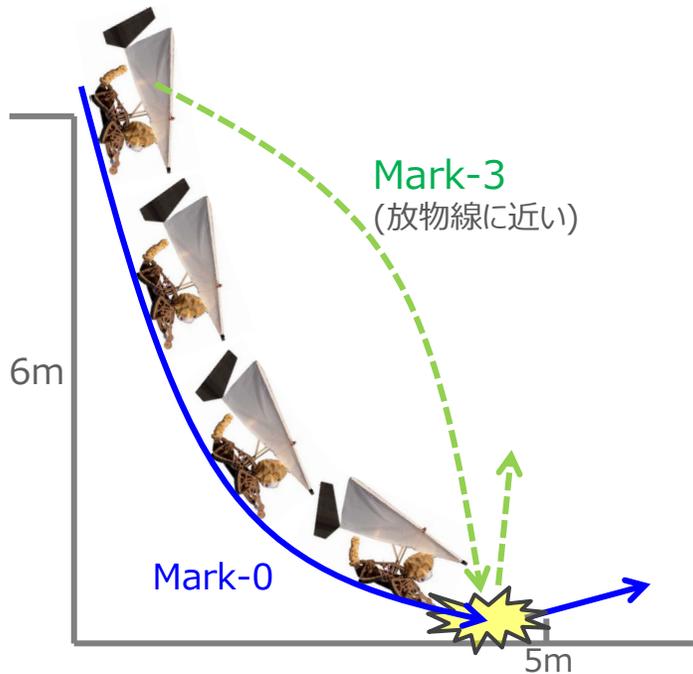
- カイトによる衝撃緩和は限界があると分かり、**メカを強くする**検討を行った
- 壊れる部品を強くしても**次に弱い部分が壊れる**可能性が高く、またギヤが関係する箇所は部品の選択肢が少ない
- 悩みつつ試作機を**30cm程度**の高さから落としてみたところ、その打音からスポンジが**フルボトム**していることに気づいた
 - スポンジが緩衝材になっていたと思っていたが、6m落下の**衝撃緩和には全く寄与していなかった**
- 逆にこの**潰れを利用**し、スポンジが潰れきる前に**フレームを床にぶつけて歩行メカを守る**ことを思いついた
- 倉庫の実験で試してみたところ非常に有効で、クランクの位相ずれやシャフトの曲がりを大幅に低減できた



3-9. 着地方法の変更

◆先端からダイブさせて5m以内に落とす方法に変更

- 歩行メカの保護にメドがついたので、カイト飛びすぎ問題を解決するべく更にフレームの改良を行った
- カイトを従来よりも**前重心**に作り、弧を描いて飛びつつ**先端から路面に突っ込ませる**飛び方に変更
 - このときに歩行メカを守れるように、フレームを**前方下側に伸ばした**
 - 本体が前方に傾いている間は、フレームだけがぶつかり、**前脚は路面に接触しない**
- 併せて**ピアノ線**を使った**ローラーバンパー**を追加し、着地時に路面に引っかかることを防ぎながら**衝撃を緩和**させた
 - これは想定よりも効果が大きく、弧を描く飛び方と相まって、衝撃を跳ね返して前方にジャンプできることが分かった



Mark-0 と Mark-3 の飛び方の違い



フレーム形状とローラーバンパーで路面から歩行メカを守る

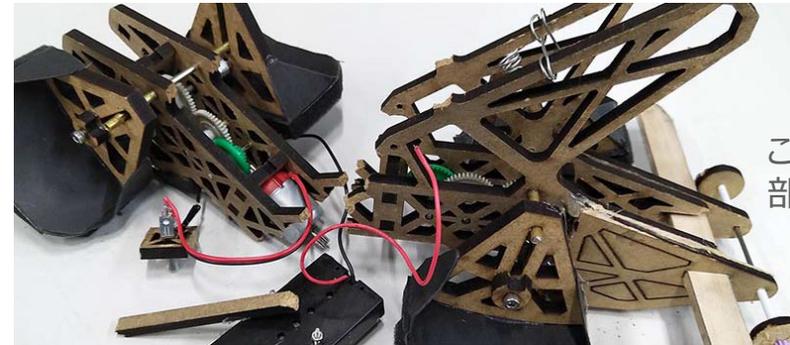
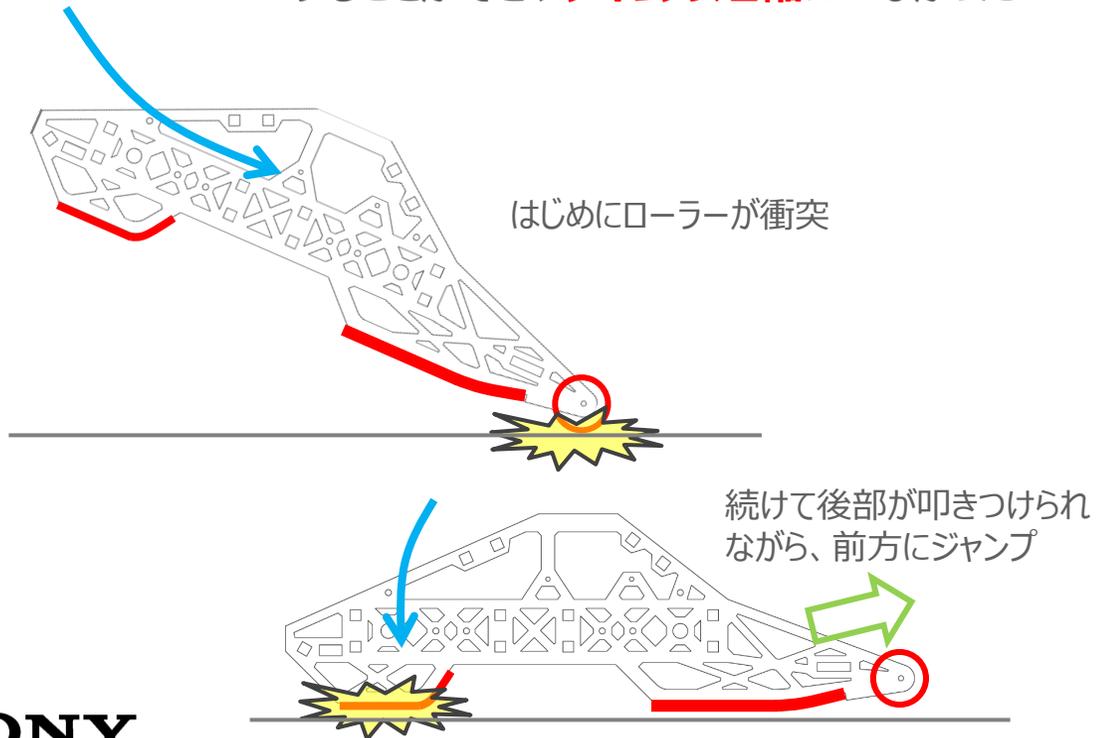


模型飛行機の着地用車輪をヒントにした。

3-10. フレームの保護とジャンプの改良

◆フレームが破壊してしまう問題と対策

- 5m以内の着地を実現できたものの、さすがに**フレームへの負担**が大きく、複数回の落下でフレームが**大破**した
- フレームの**肉抜き形状を見直す**とともに、ホームセンターで見つけた「**滑るクッションシート**」を貼った
 - ここに厚手のクッションを入れてしまうと、沈み込みが増えて歩行メカが守れなくなってしまう
 - 変形量が少なく、かつ滑りをよくするシートにすることで、**適度にフレームを保護**しつつ、より**前方にジャンプ**することができる
 - 最終的には着地後におよそ3mほどジャンプすることができ、**タイムの短縮**につながった



この機体は電池Boxの固定部分から割れてしまった



底面に厚さ3mmの滑るクッションシートを貼った

4-1. 重量関係

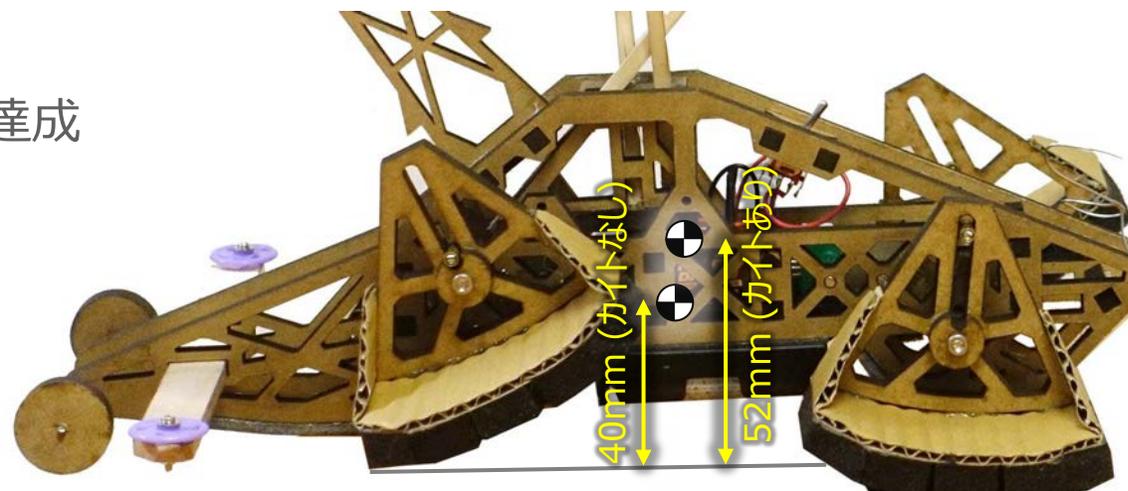
◆各部重さ

- 本体 198g
- バッテリー 52g
- カイト 43g (接続部含む)
- 外装 27g (頭部としっぽのみ)

合計320g (メインストリーム機の約1/4)

◆重心の高さ

- カイトなしでの重心位置は地面からおよそ40mm
- カイト装着時でも地面からおよそ52mmの低重心を達成
- カイトなしでもありでも、安定した走行が可能
 - モータの出力が大きいことも効いている



4-2. 電源関係

◆最初の電源回路

- 100円ショップで購入した充電式ファンの基板とリチウムイオン電池を流用した
- 無負荷では動いたが、地面に置くと過電流検出が働いて止まってしまった

◆2番目の電源回路

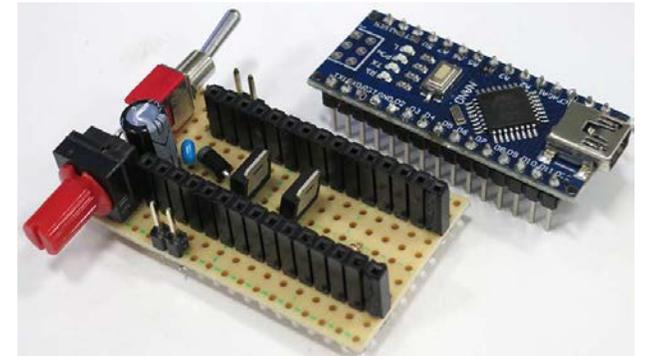
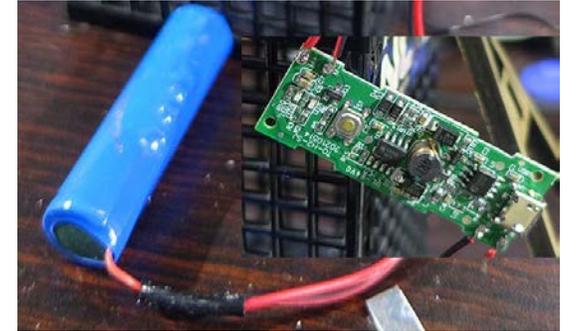
- 7.4Vのリポバッテリー + Arduino + FET
- Max5AのFETドライバでは不十分で、数回のテスト走行で壊れてしまった

◆3番目の電源回路

- 電源部の製作は次回しにして、単3電池2本でのメカ検討を続ける

◆4番目の電源回路

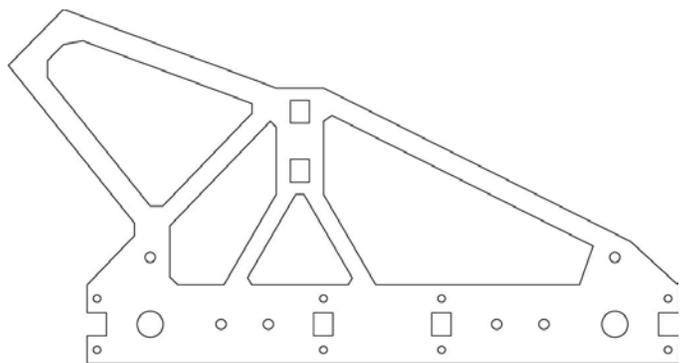
- 電気チームの協力により、2番めの電源回路のFETを大電流対応のものに交換
- しかし落下の衝撃でメカの状態が悪いときに動作テストを行ったため、クラウンギヤが削れて空転してしまった
→時間切れとなり、結局**Mark-0としては単3電池止まり**となった



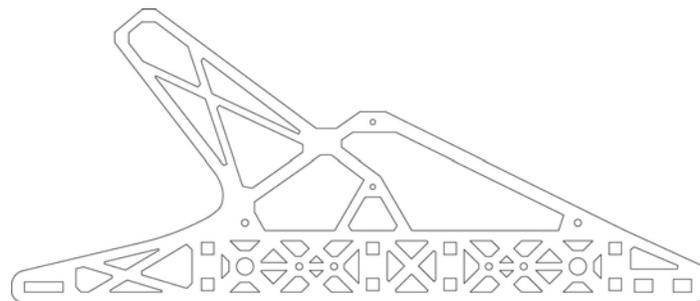
4-3. 設計の変化

◆メインフレームの主な変化

- 落下の保護方法、およびカイトの固定方法を何度か見直している

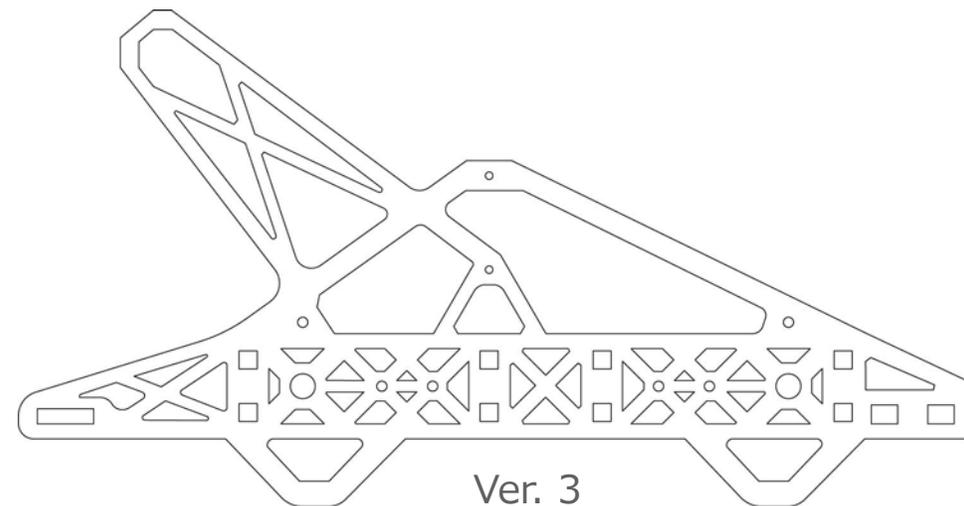


Ver. 1



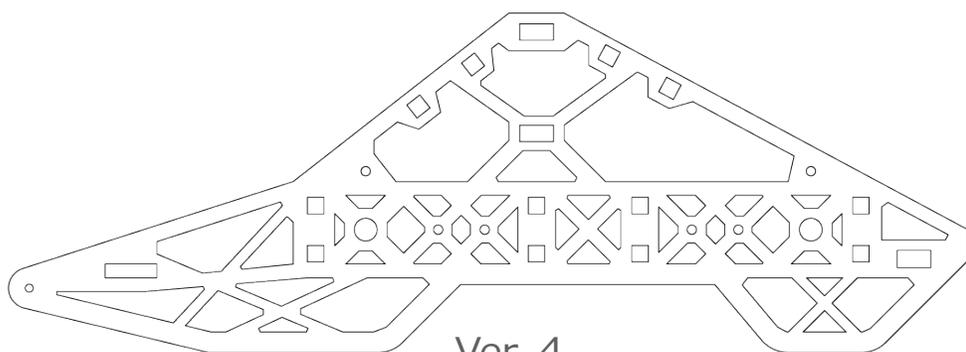
Ver. 2

- ギヤ比変更
- ローラーガイド追加
- カイト接続部変更



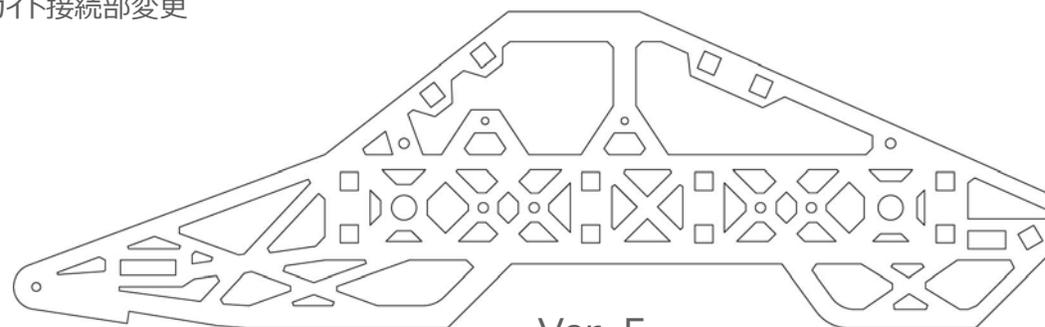
Ver. 3

- 脚保護用バンパーを追加



Ver. 4

- 先端から落下できる形状に変更
- カイト固定方法変更
- 首の固定方法変更



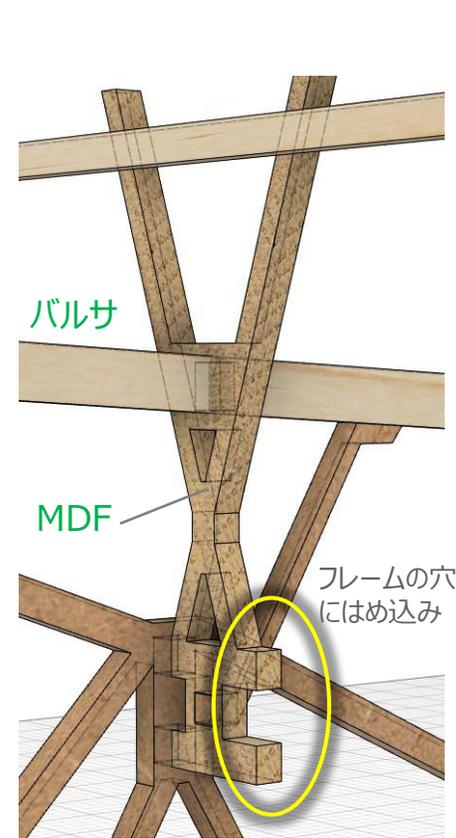
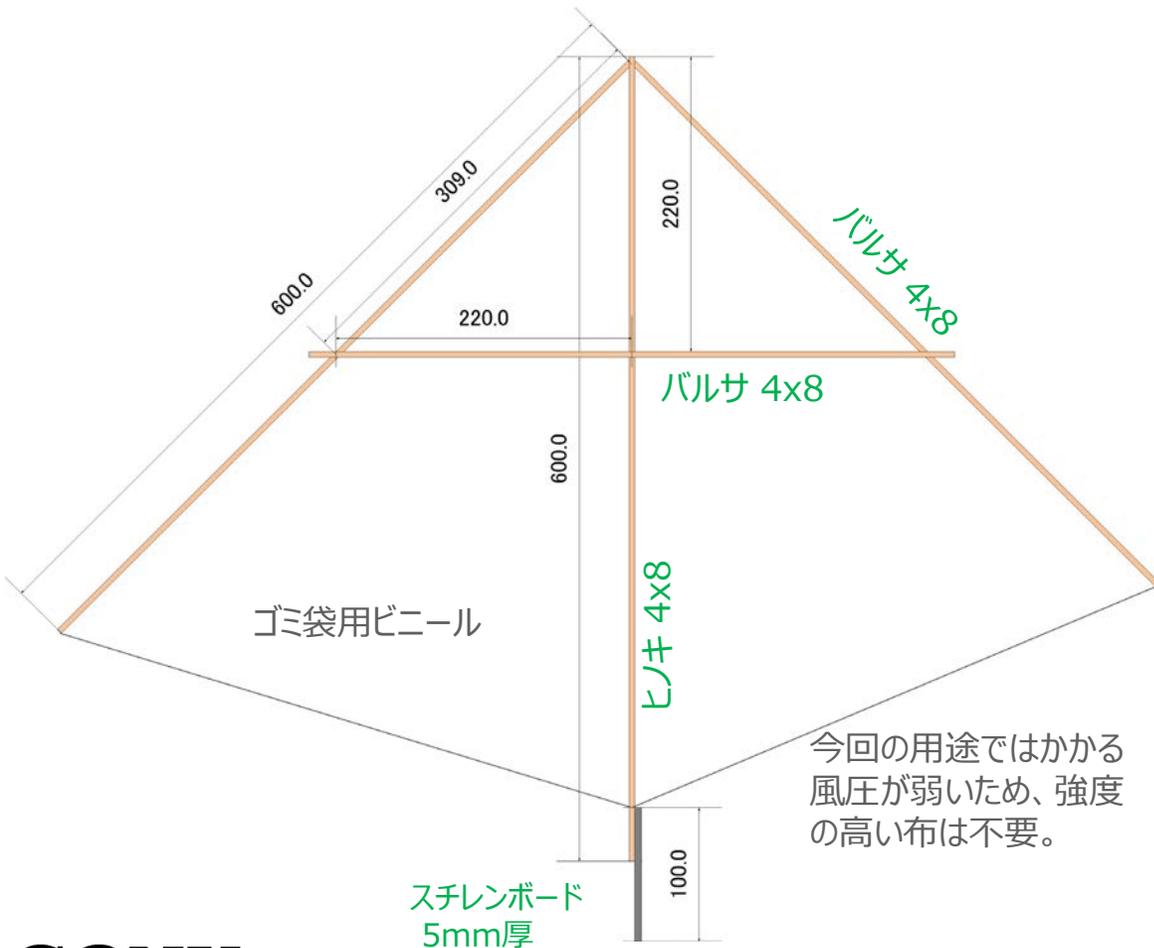
Ver. 5

- 肉抜きを見直して強度向上
- クッションシートを貼るスペースを確保
- カイト固定方法変更

4-4. カイト設計

◆カイト最終版

- 1辺は600mmで、当初のものよりかなり前重心になっている
- 当初本体との接続ははめ込みによる固定式だったが、他の作業がしにくいためネジで脱着できるように変更した



当初の接続部
(脱着困難、壊れやすい)



最終版の接続部

木材を分断せずにクロスさせ、上下に4面体構造を作って各方向への支持剛性を高めつつ軽量化を図った。

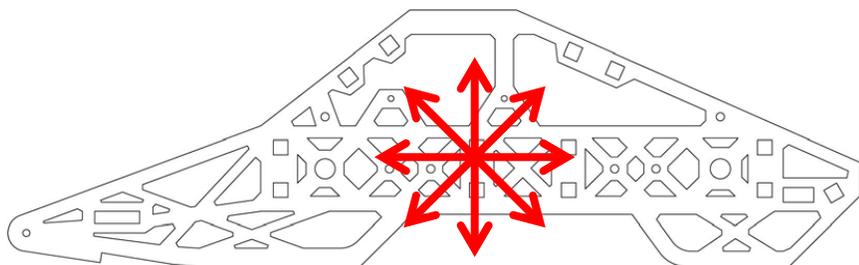
4-5. 材料と向きについて

◆用途による適材適所を意識した

- Mark-0は出発点がカイトであったため、軽量に作りやすい木材を基本材料とした
- メインフレームと脚は多方向に成分を持っているため、樹脂のように繊維の向きを気にしないで使えるMDFを選んだ
- カイトやローラーアームなど、細長く使用する部分はバルサやヒノキを使用した
 - 長手方向に繊維が通っているムクの木材の方が、重量当たりの強度/剛性に大幅に有利であるため

◆今回分かったMDF材の注意点

- MDFはXY平面方向にランダムな向きで繊維が通っており、面として比較的高い強度が確保できる
- ただしZ(厚み)方向には繊維が通っておらず、極簡単に剥がれてしまう
 - これを知らずに、板の横からネジの貫通穴を開けてしまい、簡単に壊れてしまった



フレームは多数の向きで構成されているため、方向による強度の差が少ない材料が有利



細長く使うものは、繊維が長手方向に通っているムクの木材が有利。
(ベニアやMDFでは折れやすい)



MDFは細かい繊維がXY方向にランダムに並んでいるが、厚み方向は繊維のない積層なので強度が低く、剥がれやすい

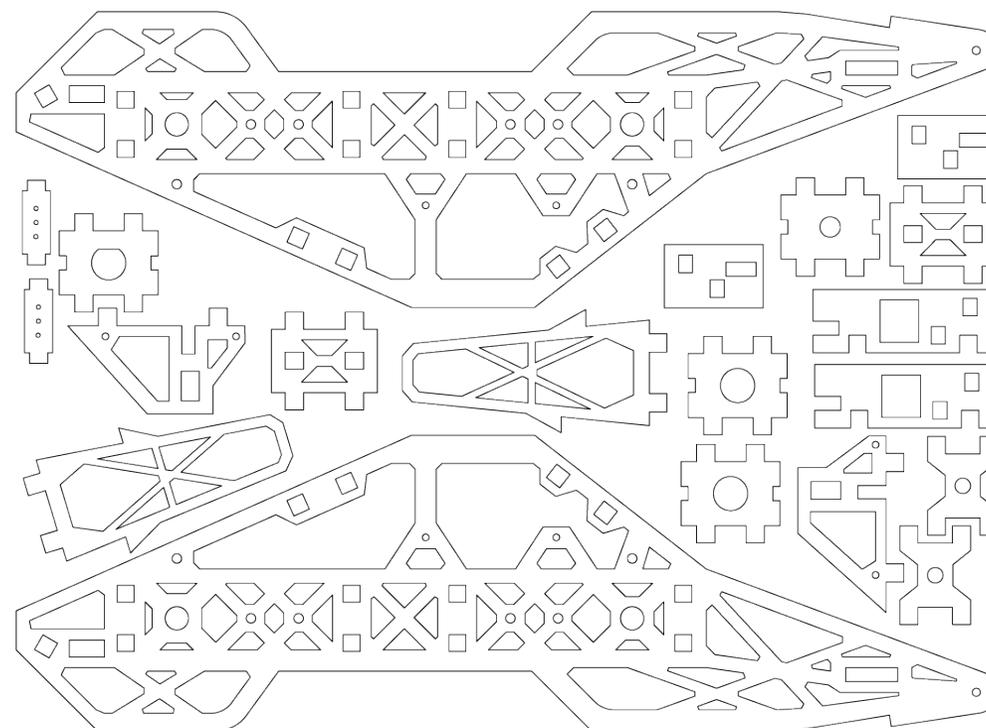
接着で組み立てると強度が出せないため、穴をあけて厚み方向に繊維を貫通させる、ハメコミ式の構造が主流になっている。

4-6. 1台当たりの材料費

◆Mark-0 1台数千円

- 基本的にホームセンタ、模型店、100円ショップで買えるもので製作した
- 特にメインフレームと脚は100円ショップのMDF板を使用しており、1台当たり80円…

項目	単価	使用量	価格
MDF 5mm厚	110	0.5	55
MDF 6mm厚	110	0.25	27.5
ハイパーダッシュモーターPRO	400	1	400
金属ピニオンギヤ	210	0.5	105
タミヤ 工作用ギヤセット	240	2	480
タミヤ 3mmシャフトセット	550	0.1	55
ボールベアリング 733	90	4	360
電池Box	110	1	110
電源SW	110	1	110
3mmピアノ線	1100	0.1	110
2mmピアノ線	1000	0.05	50
3mm真鍮パイプ	1200	0.15	180
4mm厚バルサ	390	0.7	273
桧 4mm角棒	45	1	45
スチレンボード	110	0.2	22
アルミフラットバー	1000	0.1	100
ステンキャップM3x30	200	1	200
滑りクッション	350	0.2	70
すき間テープ	110	0.2	22
ミニ四駆用ローラー	200	0.5	100
合計			2874.5



◆所感雑感

- 筆者は当初サポートメンバーであったが、メンターより「自分のマシンを作りませんか?」と誘われ製作する流れになった
 - 自分で実際に作ってみないと、現実解の模索や有効なサポートも難しいのではないかと考えた
- 最終週ではメインストリームマシンが次々と良好な結果を出し、バックアップ機の出番はないことが分かっていたが、万が一の場合を考えてゴールできることを優先しつつ、最後まで改善の造り込みを行った



↑PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。



↑PDF内の埋め込み動画を再生する際は、Adobe Acrobat Reader等を使用してください。

ALKNYAN 読本 第二部

Engineering Report



おわりに

• 「魔改造の夜」で得られたこと

- この数年は、コロナでなかなかリアルに集まっての共同作業が難しい状況でした。しかし今回「魔改造の夜」の参加機会を得た事で、Sニーのモノづくりコミュニティや放課後活動が再び盛り上がったと感じられました。
- チームや会社を越えた仲間と挑戦した非常に濃密でかけがえのない体験ができ、番組を見た方を含め多くの方々と共有できました。
- この1.5か月を経て「まず手を動かし現場ですぐ試す」「全員の頭・五感で考え高速に学習する」姿勢があらためて身につきました。
- 勝敗も大切ですが、それよりも「作ってよかった」「やってよかった」を目指して参加しました。まさにその感覚が得られました。

• これから「魔改造」に取り組みたい方へのメッセージ

- 「世界初・世界最高への挑戦」という希少な機会に挑めること、その中でのモノづくりの厳しさも楽しさも味わえるだけでなく、「生贄」の製品や共に全力で課題にぶつかったライバル・過去参加チームへの敬意と、モノづくりの奥深さを一層感じられます。
- 1.5か月間は何もかもが不安で何が起こるかわかりませんが、勝敗に関係なく「モノづくりによる未知の課題への挑戦」という価値ある体験と、かけがえのない出会いに恵まれることは間違いないと確信しています。
- とにかくモノづくりが楽しい！というメンバーが集まれば、個人にも会社・企業、そしてコミュニティにも大きな学びが得られる絶好の機会だと感じます。このドキュメントがその応援や一助になれば幸いです。

• 謝辞

- この貴重な機会と場を創っていただいた番組・制作者のみなさま、無茶な挑戦が多々あったにも関わらず温かく応援・サポートいただいた職場の仲間や家族のみなさま、番組を楽しんで見ていただいた視聴者のみなさまに、心より感謝いたします。



チーム Sニー

Intense 1.5 months memories of MAKAZO with ALKNYAN



インタビュー記事や動画、Sニールチームの情報はWebで！

<https://www.sony.com/ja/SonyInfo/technology/activities/makaizo/>

SONY ホーム 事業・製品 ソニーグループについて テクノロジー 人材 サステナビリティ デザイン 投資家情報 お問い合わせ 採用情報

ホーム > Technology > Activities > 『魔改造の夜』を駆け抜けたチャレンジャーたちの軌跡

Technology

『魔改造の夜』を駆け抜けたチャレンジャーたちの軌跡

特別動画

チャレンジャーたちの舞台裏

SONY NY ソニーが「魔改造の夜」参戦！魔改造の夜」参戦！！
開発の裏側をエンジニア達が語る

魔解剖 ストーク
チャレンジャー編

カルチャー編
<動画のテキスト版>

SONY NY ソニーが「魔改造の夜」参戦！魔改造の夜」参戦！！
開発の裏側をエンジニア達が語る

魔解剖 ストーク
キャラクター編

モンスター編
<動画のテキスト版>

SONY

SONYはソニーグループ株式会社の登録商標または商標です。

各ソニー製品の商品名・サービス名はソニーグループ株式会社またはグループ各社の登録商標または商標です。その他の製品および会社名は、各社の商号、登録商標または商標です。