

スペースプローブコンテンツ2018

～ チーム岩井家 ～




アジェンダ

- 1.今年のコンセプトと検証内容
- 2.コンテスト結果報告
- 3.昨年の反省と今年の改善



まず自己紹介

- いわい たつや (iwai2go)
-  **codeHead** でエンジニアやっています
- いちおう工業系専門学校卒です
- スペースプローブコンテンツは今年で3回目
 - 2016年:見学
 - 2017年:参加(結果:計測不能)
 - 2018年:参加←ここ



今回のコンセプト

風の影響を最小限に抑えた『ほぼ自由落下』と『安全な着地』

- プローブ開放後、一定の姿勢を維持しつつ、『ほぼ自由落下』
 - 美しい機体の落下姿勢を皆様に見ていただきたい
 - 機体のブレによるセンサへの影響を抑えたい
- 地表近くでパラシュートを自動展開・減速して『安全な着地』
 - 衝突か!?!と手に汗握るタイミングでパラシュートを展開
 - 風による影響を極力抑えたい



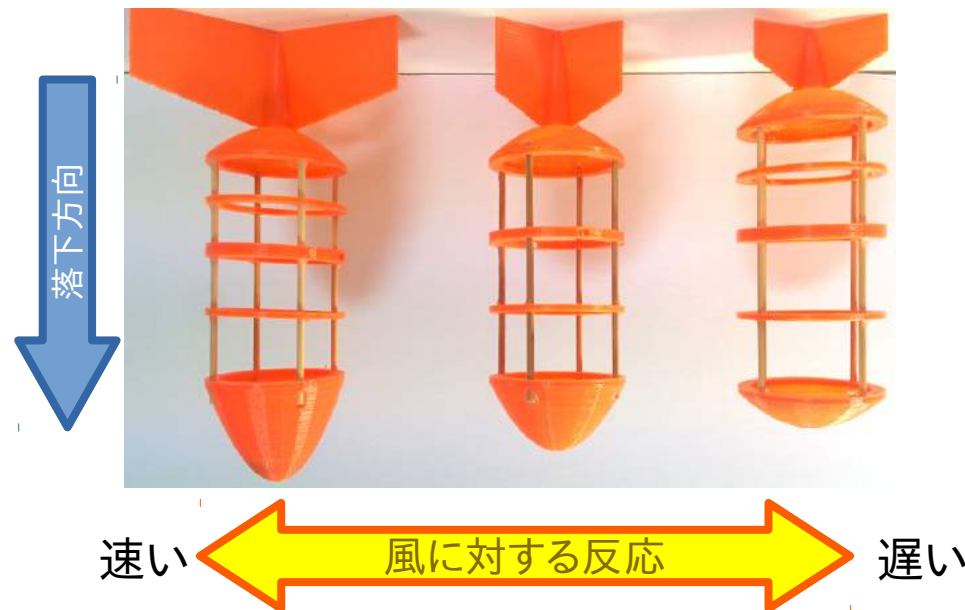
いかに「美しい落下姿勢」を実現するか

- 美しい落下姿勢＝先端を地表に向け、ブレることなく落下
- 落下姿勢と物体の重心は、必ずしも一致しないようだ
 - － 重心を先端に置いたら良い、というわけではない
 - － プローブ先端の空気抵抗を減らし、後端は空気抵抗を稼ぐことで、先端を地表に向けて落下させられるのでは
- 感覚的には先端を円錐状にして、後端は尾翼をつければ良さそう
 - － 単なる妄想ではなく、事実であることを実証したい



いかに「美しい落下姿勢」を実現するか (続き)

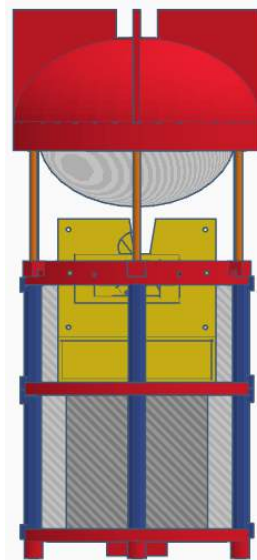
- 1/2スケールのモックを数パターン製作した
- モックの中心に重心をおいた状態で強い風を当て、どの形状がより素早く先端を風の方(落下方向)に向け、かつ安定するのかを検証した
- その結果、後端は長さよりも直径をより大きく取ると、風に対する反応が良くなることがわかった
- また先端は尖っている方が風の方を向いた後の安定性が良いことも分かった



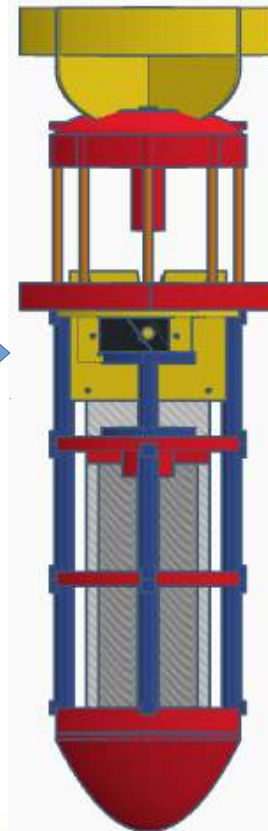
いかに「美しい落下姿勢」を実現するか (続き)

- 前述の検証結果を踏まえて、機体の形状を見直した
- 本番機は本体直径を縮小し、相対的に尾翼の直径を大きくした
- また先端にノーズコーンを追加し、落下中の安定性を向上させた

8月1日
提出機体
(検証機)



9月1日
提出機体
(本番機)



「手に汗握るタイミング」を見切る

- 落下時間が分かれば、落下速度を求めることができる
- 落下速度が分かれば、地上何mでパラシュートを展開すれば良いかわかる

100m上空から落下させた場合の落下時間と速度を求めてみた

落下距離 $y = 0.5gt^2$ (g:重力加速度、t:落下時間)

$$100 = 0.5 * 9.80665 * t^2$$

$$t \doteq 4.518(\text{sec})$$

落下速度 $v = gt$

$$v = 9.80665 * 4.518$$

$$v \doteq 44.31\text{m/s}$$

・・・あくまでも理論上は、という話

「手に汗握るタイミング」を見切る(続き)

- 落下速度は上昇し続けるわけではなく、実際には重力加速度と空気抵抗が平衡して速度一定状態になる(終端速度)
- 抗力係数 C_D : 終端速度を求めるのに必要な係数
 - どうやら C_D は実際のテストで求めるしかなさそう...
- いろいろ考えた末、植松電機さんにお邪魔して、ドローンによる投下試験を実施していただいた
- 上空30m、75m、100mからプローブを投下して、地上高20mでパラシュートの開放テストを実施(※)

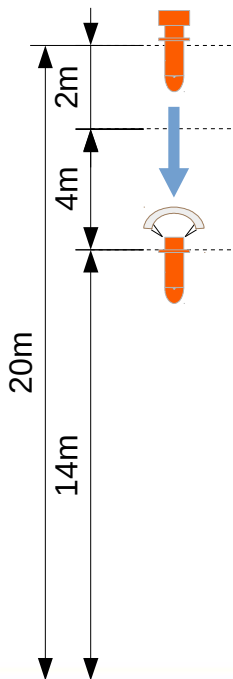


- 1回目(30m): パラシュート開放→展開成功
- 2回目(75m): 展開が遅すぎて地面に衝突
- 3回目(100m): 展開成功(ただし展開時の衝撃で機体分解)

※ 3回目は地上高40mでパラシュート開放

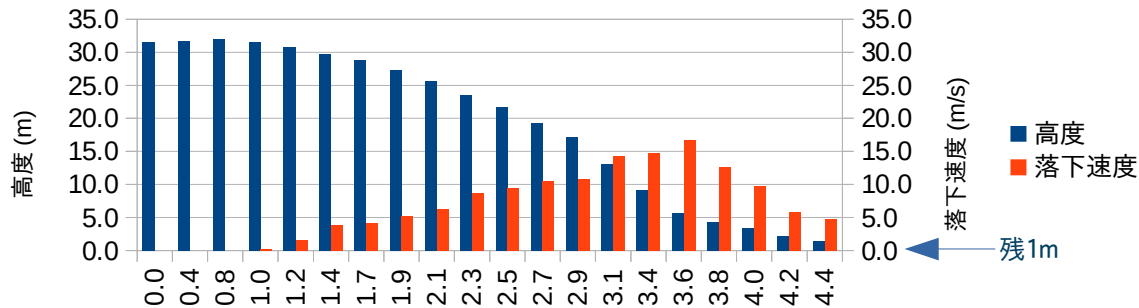
「手に汗握るタイミング」を見切る(続き)

- 100m投下試験でわかったこと
 - 終端速度はおよそ20m/s
 - データのサンプリングレートは0.1秒→ 2m 移動
 - パラシュート開放から展開まで約0.2秒→ 4m 移動
- 地上高20mでパラシュートを開放した場合、パラシュート展開まで最大 $4\text{m} + 2\text{m} = 6\text{m}$ 必要
- 投下試験時のパラシュート開放高度は20m
 - 少なくとも $20\text{m} - 6\text{m} = 14\text{m}$ でパラシュートが展開
 - あれ？ それなら2回目の投下試験もパラシュートの展開は間に合ったはずでは？



「手に汗握るタイミング」を見切る(続き)

30m 投下試験

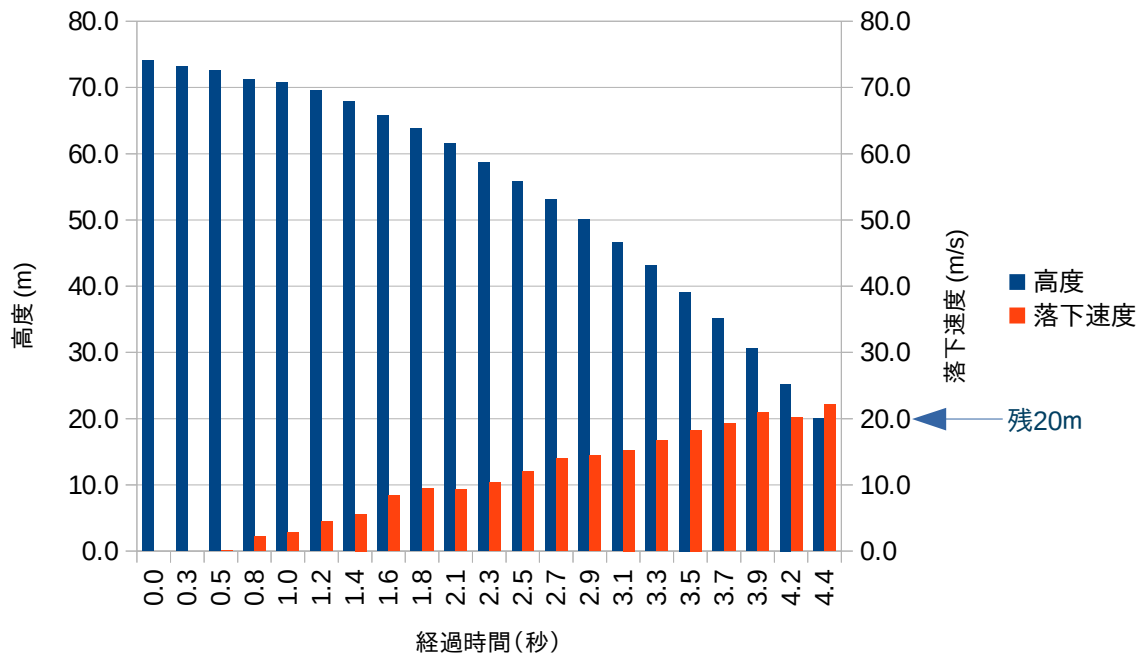


75m 投下試験では、高度が正しく取得できなかった可能性がある

30m投下試験

- 着地時の高度は約1m(誤差の範囲)
- 落下速度は最大で16.8m

75m 投下試験



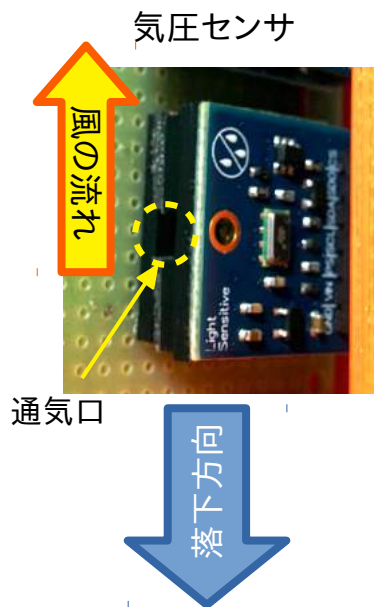
75m投下試験

- 着地時の高度は約20m
 - 誤差にしては大きすぎる
- 落下速度は最大20.9m/s

落下速度の上昇が
高度計算に影響を及ぼす場合がある？

「手に汗握るタイミング」を見切る(続き)

- 高度は気圧センサの値から算出している
 - 実際よりも高度が高くなる=実際よりも気圧が低くなっている



- 気圧センサは落下方向と水平に配置
- 気圧センサ直下にはノーズコーンを設置して、直接風が当たらないようにしている。が...
- 通気口付近に強い風の流が生じると、通気口から空気が吸い出されるような風の流が生じる？
 - 吸い出される→気圧が下がる

「手に汗握るタイミング」を見切る(続き)

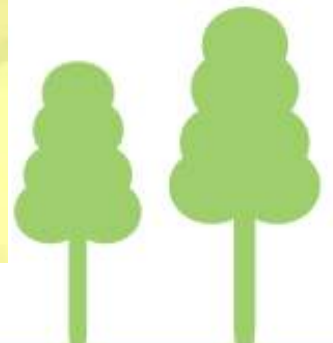
- 風圧が気圧センサに影響を与える可能性があるのか知りたい
- ロケット部門で使用している高度測定装置 (AltimeterOne) も気圧から高度を割り出している事に気づいた
 - AltimeterOneのマニュアルを確認したところ、やはり強風が当たると測定値に影響を及ぼすという記載がある
 - 「強風による誤差が生じたときは、布製のポーチで包んで風の流れを分散してね」とのこと

Avoid Really Strong Airflow

Rapid gusts of wind and turbulence can create pressure waves that can sometimes confuse AltimeterOne and result in odd readings.

If you experience odd readings and are exposing AltimeterOne to airflow during flight, try wrapping it in a little fabric pouch to break up the airflow around it.

<https://www.jollylogic.com/public/JollyLogicAltimeterOne-Gen2-V4web.pdf>



「手に汗握るタイミング」を見切る(続き)

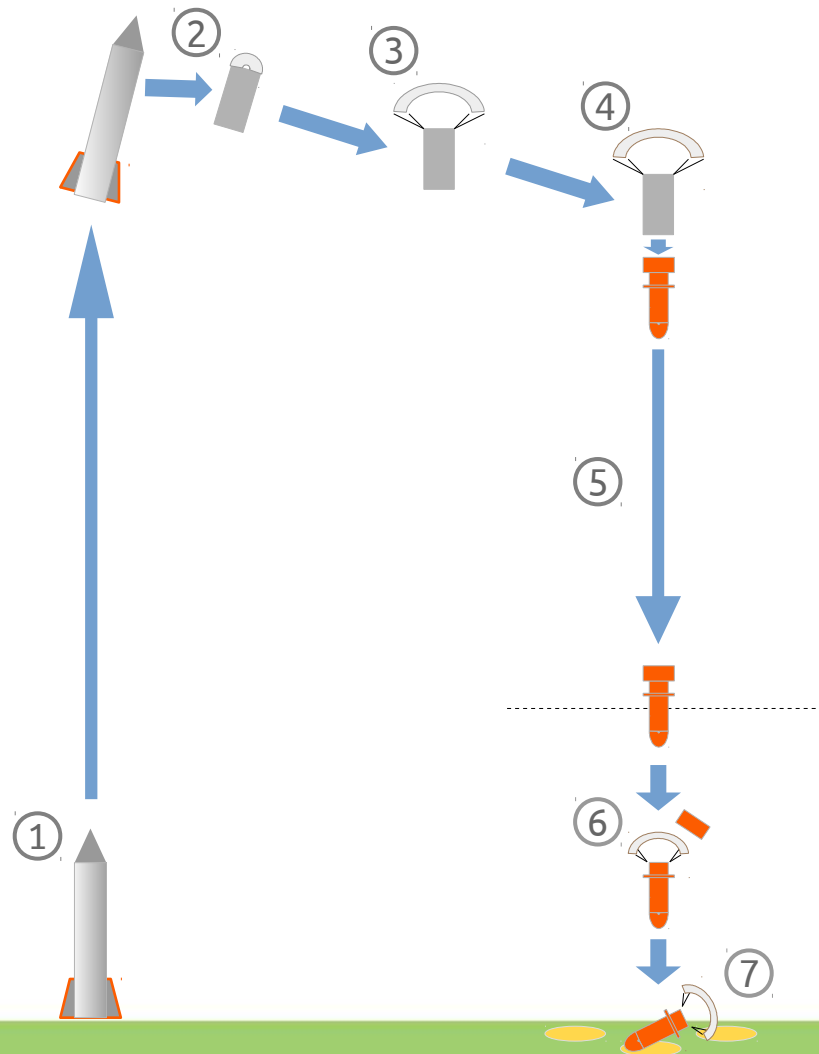
- 通気口の形状を色々工夫してみた
 - なるべく直接風が当たらないような設計にする
 - 通気口の周囲をスポンジで覆ってみる
- 風速約 20m/s の状況下で、通気口の設計変更が改善につながるか検証を行った
 - 秒速 20m/s = 時速 72km/h
- 通気口の形状改善で風の影響を1/2程度に抑えることはできあが、根本解決には至らなかった
 - 対処療法として設定高度+10mに設定
 - 今後の検討課題



そんなこんなで
ようやく本日の結果報告を
始めたいと思います



発射から着地までのシナリオ



- ① 発射
- ② ロケットからプローブキャリア放出
- ③ プローブキャリアがパラシュート展開
- ④ プローブキャリアからプローブ放出
- ⑤ 地表近くまで自由落下
- ⑥ パラシュートカバー分離&パラシュート展開
- ⑦ ターゲット付近に着地

※着地後の移動はしない

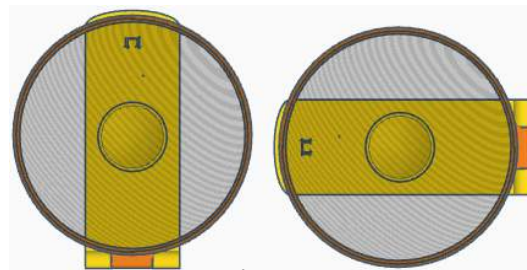
機体構成(プローブ)



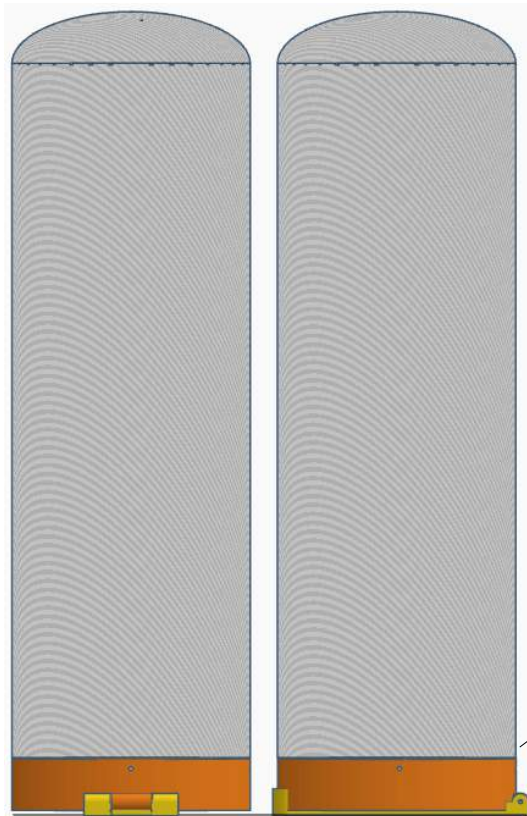
- 機体の骨格部分は3Dプリンタで作成
 - 曲げ強さが必要な箇所には竹ひごを使用
- パラシュートの自動展開にサーボを使用
- 地表までの距離計算は気圧センサを使用
- 機体の姿勢情報取得は9軸センサを使用
- 取得データは XBee 経由でコントローラーに送信
- 単4アルカリ乾電池4本で9時間以上動作



機体構成(プローブキャリア)



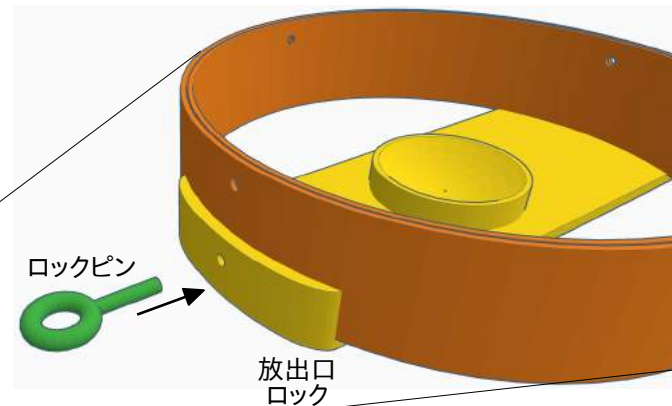
上面図



正面図

側面図

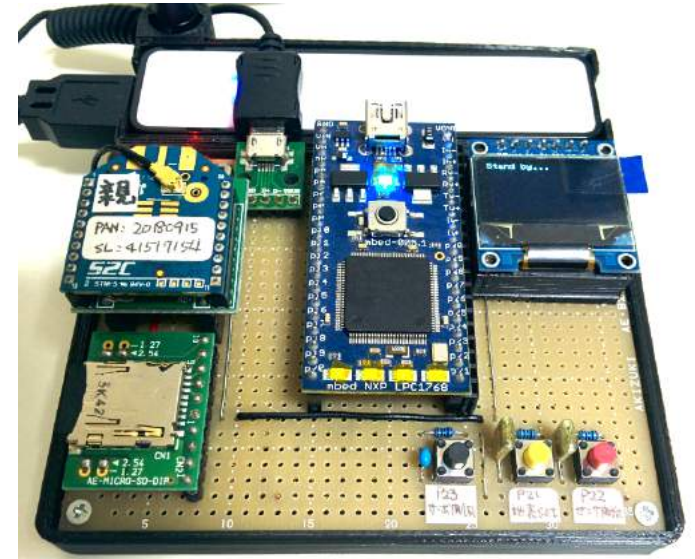
- 胴体部分にはペットボトルを使用
- プローブ放出口にロック機構あり
 - ロックピンで固定、放出時に解除
- ペットボトルが歪むと、歪みの方向によってはロックが外れない場合がある
- ロック解除をサポートするゴム紐を追加し、ロックが開きやすい方向にペットボトルを歪ませて対処



機体構成(コントローラ)

- 主な機能

- プローブの遠隔操作
 - パラシュートの手動ロック/アンロック
 - 地上高度リセット
 - データ取得開始
- プローブから受信したデータをSDカードに保存
- 取得中のデータをLCDに表示
 - LEDは屋外での視認性が良くなかったので今回は使用せず
- 脱着式の日除けカバーも製作(やりすぎ?)



結果:落下状況

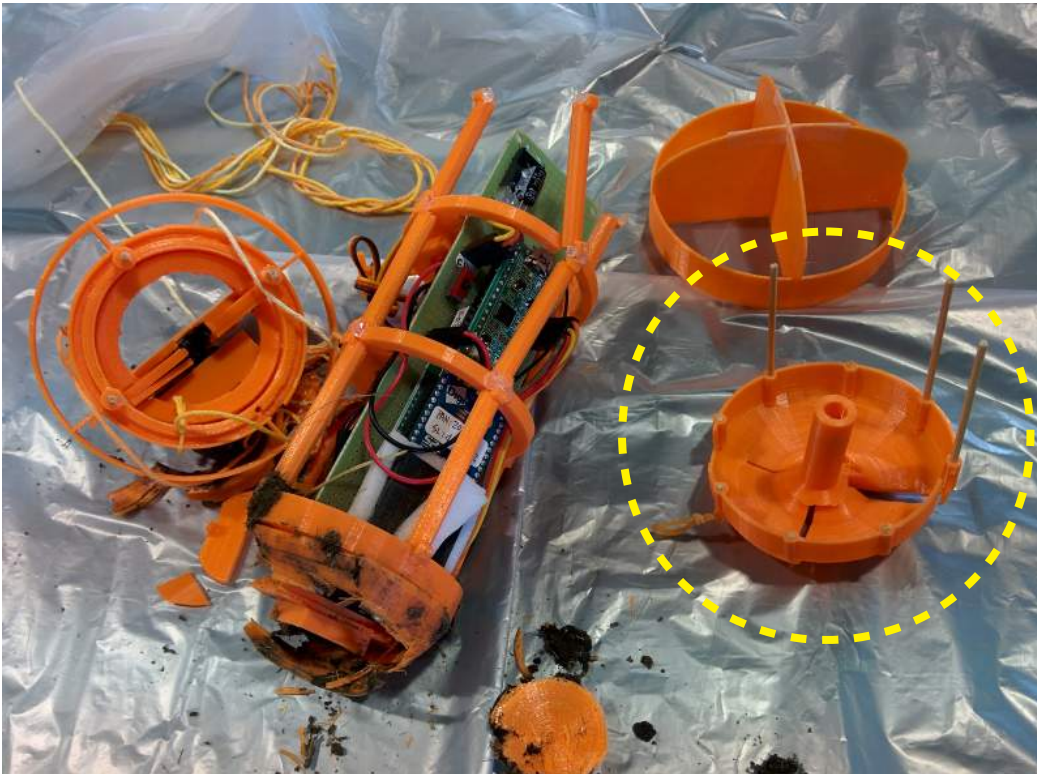


- 地面に刺さってます・・・
- パラシュートカバーは分離しているものの、パラシュートが展開された形跡なし
- 終端速度でそのまま地面に衝突したと思われる
- パラシュートカバーの分離がうまくいかなかった?それとも展開時に問題が発生した?

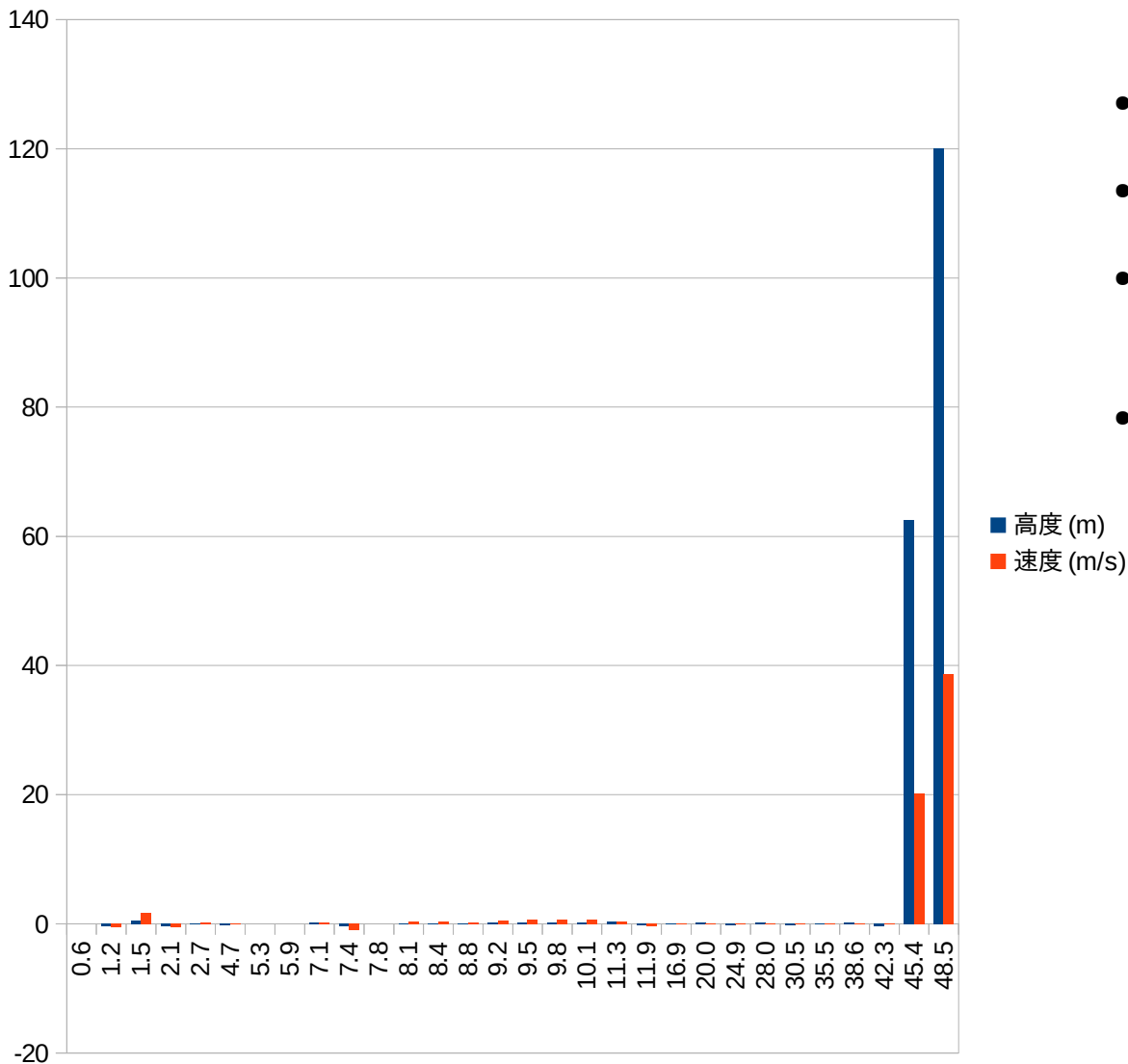


結果：落下状況(続き)

- パラシュートカバーが損傷している
- パラシュートカバーの分離に成功していたのなら、損傷は起こり得ない
- パラシュートカバーの分離そのものが行われなかったと思われる



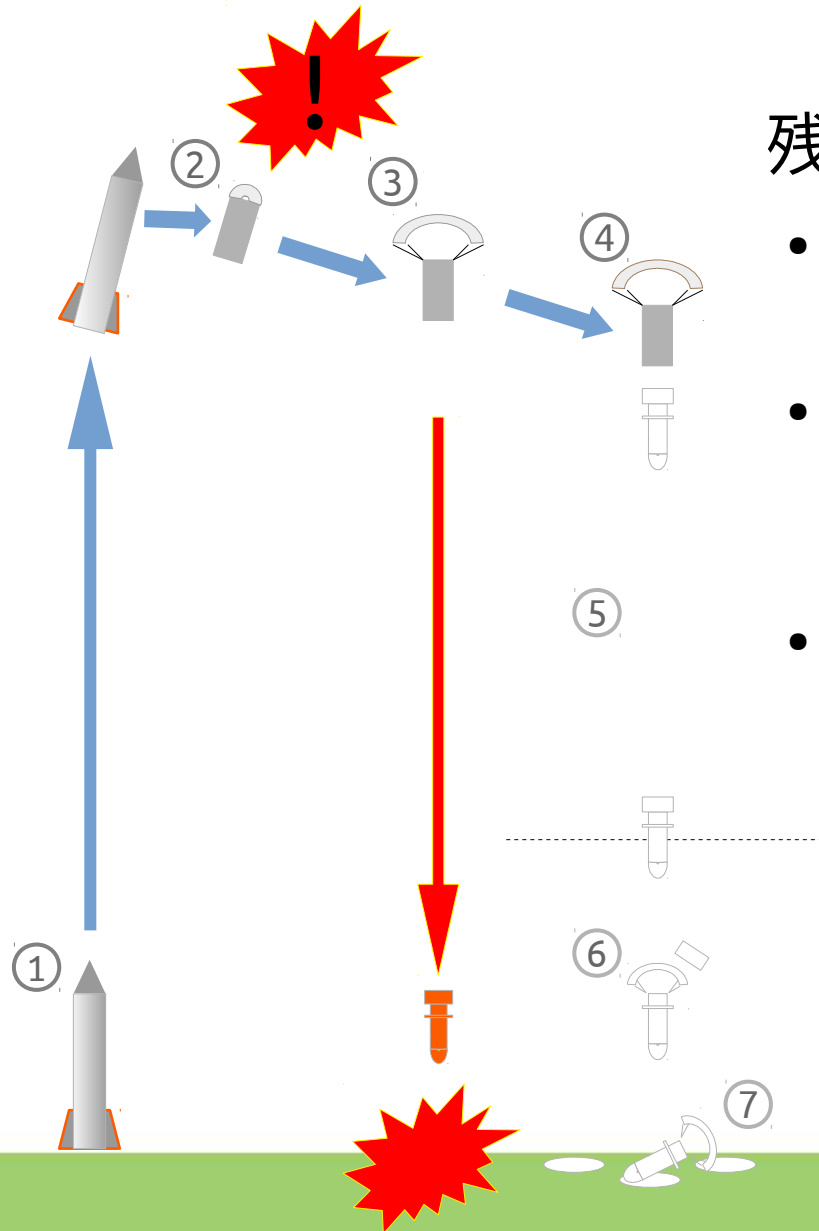
結果：高度と落下速度（続き）



- データ途絶してる・・・orz
- 最終データの速度は38.7m/秒
- 高度120mに達しているので、プローブ開放直前までは動作していた模様
- プローブ開放時に何らかの問題が発生したと思われる



何が起こったか



残ったデータと状況からの推測ですが…

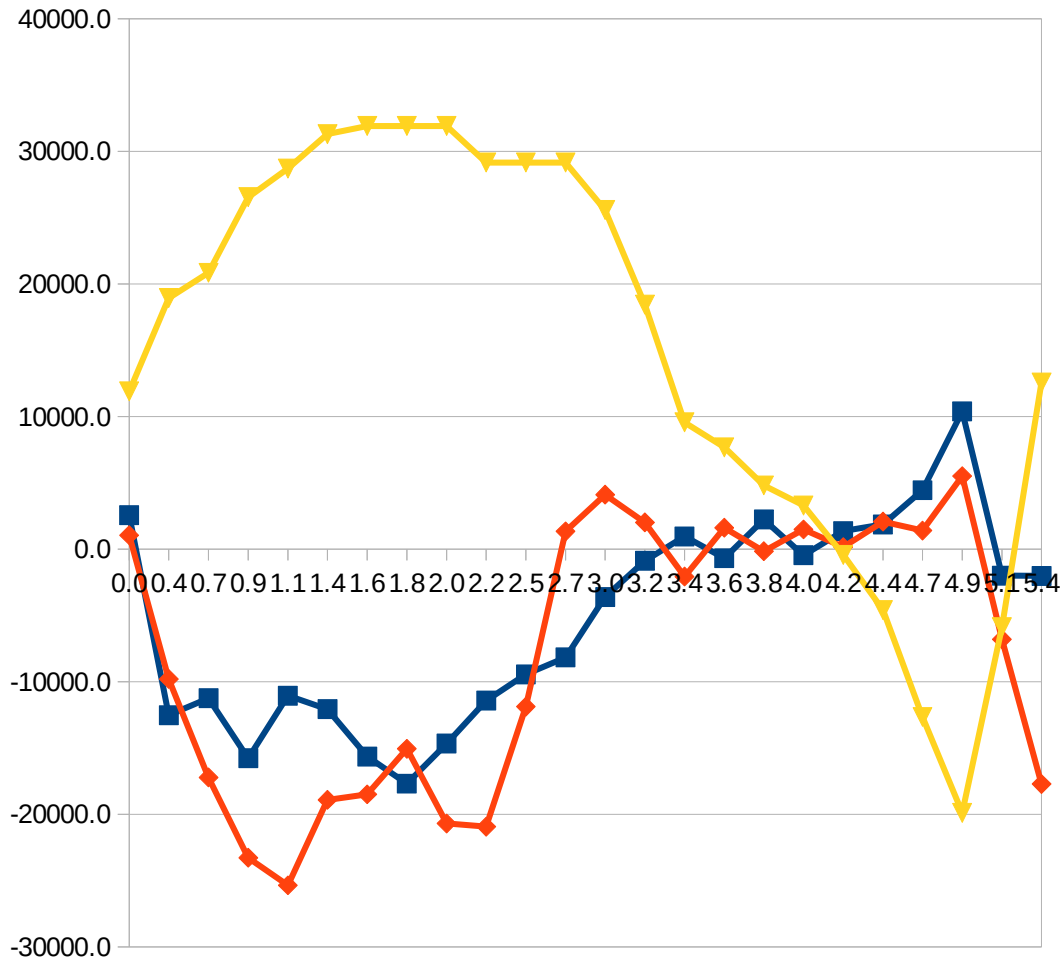
- プロブ放出時に何らかのトラブルが発生した
- その後のデータが途絶していることから、電氣的なトラブルと思われる（おそらくは電源の瞬断）
- 電源の瞬断によりシステムリセットが発生し、パラシュート開放処理が実行されなかった

感想(というか反省)

- 良かった点
 - 「美しい落下姿勢」は達成できた
 - 「手に汗握る…」までは良かった
 - そのあと変な汗がでた
- 悪かった点
 - データが途絶したため、原因を突き詰めることができなかった
 - 振動に対する耐性チェック、という考察が抜けていた
 - 実験中に気づく機会もあったはず。非常に悔やまれる…
- 今後の課題
 - 振動試験やります!絶対やります!
 - 電源途絶時のリカバリ方法も考えます
 - パラシュートの形状や格納方法も検討したいところ
 - 次回以降は、ターゲットへの到達手段も盛り込みます
 - やることいっぱい!



参考:100m落下時の機体姿勢データ



2018/8/23 投下試験結果

- gX, gY: 水平方向の傾き
- gZ: 垂直方向の傾き
- 3.6秒付近で終端速度に達した

• 後半の乱れはパラシュート展開の衝撃によるもの

- 落下開始から垂直方向に回転が生じていたが、終端速度付近で回転が抑制されていた→なぜ？



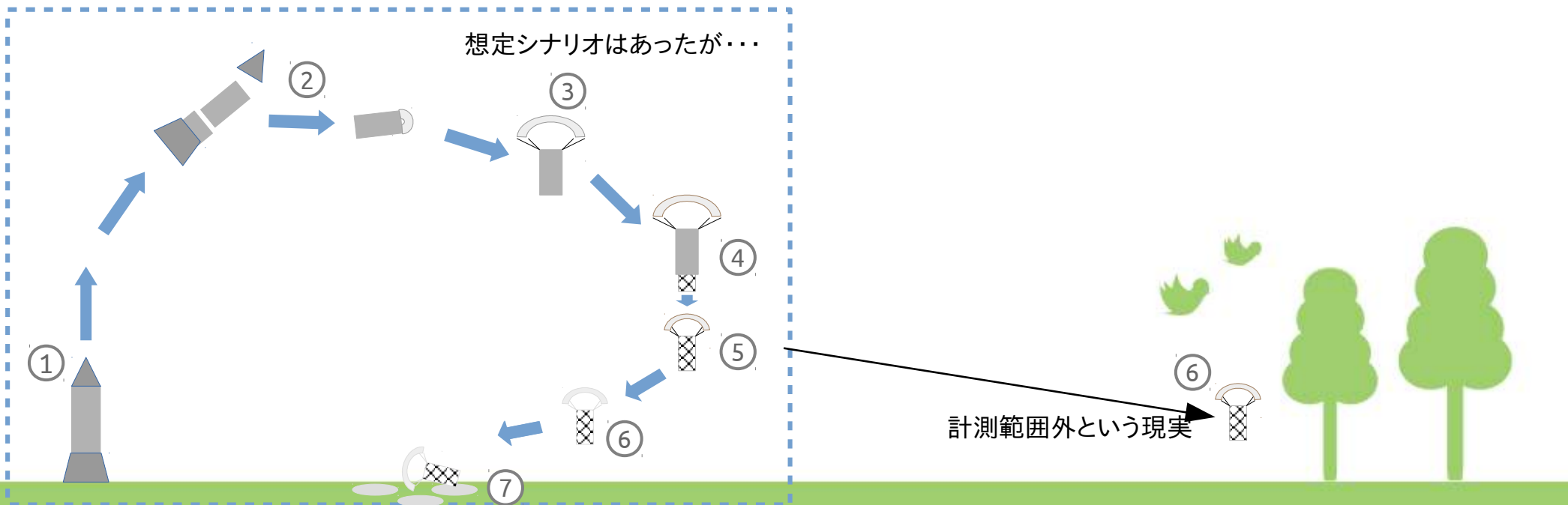
昨年の反省と今年の改善

(副題: ぼっちでも頑張れるプローブ開発)



昨年の結果と原因について考察

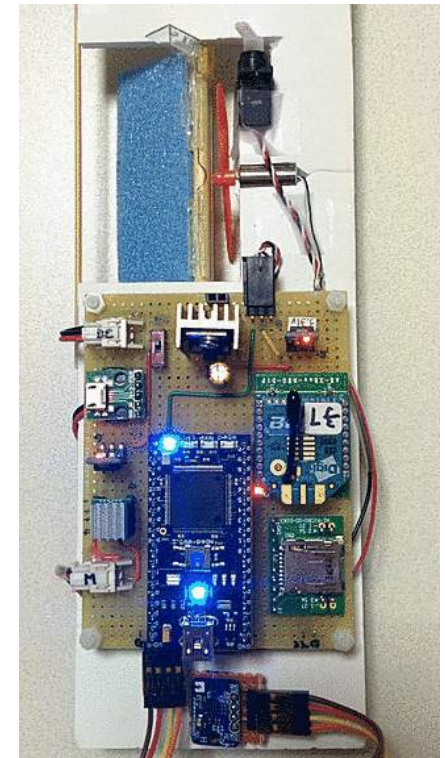
- 落下中にプロペラと舵を操作してターゲットに辿り着くアイディア
- プローブ放出は成功したが、大きく風に流された
- プロペラと舵は稼働したが、ターゲットにたどり着くどころか計測範囲外に着地するという有様
- 厳しい結果となったが、結果には必ず原因があるはず



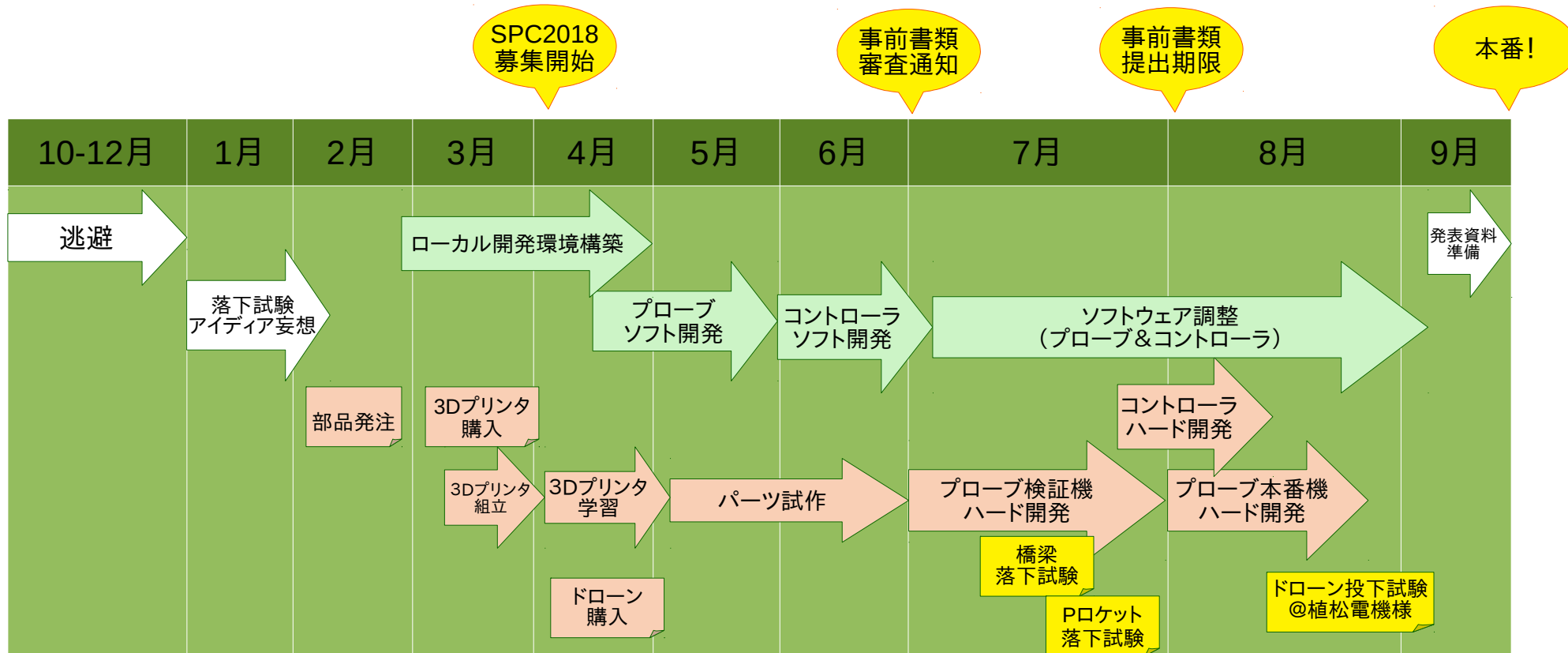
何がイケてなかったのか

- そもそも準備期間が足りなかった
 - 募集開始に気がついたのが7月
 - 申し込んだのが8月末
- ハード製作の経験不足
 - 異なる材質を組み合わせる精度・強度を出すのが難しかった
 - 生産性が低く、結局テスト機＝本番機となった
- 組み込みソフト開発の経験不足
 - 勘所が掴めていなかった
 - オンラインコンパイラ併用のため、デバッグに時間を要した
- 試験不足
 - そもそも落下テストを行う場所がない・・・
 - どんなに頑張っても10m程度
 - 規定落下速度(6m/s)では2秒未満のデータしか取れない

昨年のハードウェア



カイゼン①: 早めの準備開始



- 2月から準備を開始したことで、準備に時間を取ることができた
 - 今年から導入した3Dプリンタの学習
 - ソフトウェアの全面的な書き直し
- 3つの異なる落下試験を実施できた
- 追い込まれないと本気を出せない性格が最大のリスク

カイゼン②:3Dプリンタの導入

- Amazon セールでカッとなってポチる
 - 組立式なら 3万円弱で購入可能
 - Oitnendo Switch より安いです
- 直感的かつ高機能なソフトウェアが無料で利用できる
 - Tinkercad: 積み木感覚で使えるモデリングツール
 - Cura: モデル形状に応じ最適な方法でモデルをデータ化
- 3Dプリンタ導入により容易かつ安価な複製能力を獲得
 - 気軽にトライ&エラーができる
 - 0.1mmの精度で調整ができる
 - 平行作業が可能になる(最重要)



カイゼン③:オフライン開発環境の構築

- マイコンをLPC1768からLPC11U35に変更
 - コストが7,000円 → 850円に
- オンラインコンパイラは手軽。しかし限界もある
 - コンパイル→ダウンロード→インストールが冗長
 - コードが長くなってくると動きがもっさり
- PlatformIO によるオフライン開発環境の採用
 - OS依存しないマルチプラットフォームビルドシステム
 - 10種類以上のフレームワーク、20種類以上のプラットフォーム、400種類以上の評価ボードに対応
 - CLIなので好みのIDEを利用できる
 - コンパイル～インストールを自動化できる

LPC11U35 互換ボード
(秋月電子通商)



カイゼン④：落下試験環境の確保

- 最も重要かつ、最も困難な課題
- 作成したハード・ソフトが100mの上昇と落下に耐えられる事をどう実証するか
 - 理論的には、終端速度に達する状態を作り出す事ができれば検証は可能なはず
 - しかし終端速度の計算に必要な空気抵抗係数は、実際に落下させないと求められないというジレンマ
 - とりあえず思いつく案を全て検討して、行けそうなものは全て試してみることに



カイゼン④: 落下試験環境の確保(続き)

- 案1: 凧で釣り上げる→却下
 - 「凧が揚がる=風の強い日」だと気づいた
- 案2: 巨大なヘリウム風船で持ち上げる→保留
 - 試算したコストが高め(n万円)
- 案3: ドローンで釣り上げて落下させる→採用(失敗)
 - カメラ搭載のドローンなら150g程度位は余裕なのでは?と安易に考え、1万円台のトイドローンを購入したものの、能力的に40g程度しか持ち上げられなかった orz
- 案4: ペットボトルロケットで打ち上げる→採用
 - 約150gのセンサを搭載して、およそ30mの上昇および落下データを取得することができた
 - 息子の通う小学校に相談して、グラウンドを利用させてもらった




あくまでも個人的な意見ですが

- 一見簡単に見える課題も、突き詰めていくと結構深い
 - 「美しい落下姿勢」「手に汗握るタイミング」だけでも様々な試行錯誤があった
 - 基本近道なし。基礎的な物理法則から導き出した仮定と、その実証作業。
 - ひたすら考えて試す、の繰り返し
- 便利なセンサにも必ず短所がある
 - 外乱を除去するためのノウハウの蓄積が必要
 - ソフト・ハードそれぞれからアプローチしてみる
- デバイスモジュールは2つ(以上)用意すべし
 - 動かないとモジュール故障のせいにしたくなる
 - 経験上 99% ヒューマンエラー。が、1%が起こらないとは限らない
- 3Dプリンタお勧めです
 - 設計とテストに集中できる(ぼっちも頑張れる)
 - 人生で購入してよかったもののベスト3にランクイン中



謝辞

-  **codeHead**の皆様
- 南白石小学校職員の皆様(special thanks to 教頭先生)
- 植松電機の皆様 (special thanks to 稲石さん、大塚さん)
- Hardware Maker Meetup Sapporo の皆様
- Artful 船戸さん
- 昨年参加の草野さん
- 本日参加して下さった皆様
- 本日参加できなかった皆様
- チーム岩井家メンバー(嫁さん&息子)



ご清聴ありがとうございました
また来年お会いしましょう！

