

「ドローンは IOT である！」
～ドローンの歴史から現状、そして将来～
【第9回 IOT 技術研究会】

第3部 OSSドローンについて

ドローンワークス株式会社
代表取締役 今村博宣

- ドローンワークス株式会社
 - ▣ 組み込みソリューションのコンサルティング
 - ▣ ドローン開発
 - [HP] <http://www.drome.co.jp>
 - [農業用ドローンのテスト飛行 | 暇村工房] (<http://himamura.com/wp/archives/2583>)
 - [農業用ドローン | 株式会社AAA(トリプル・エー)] (<http://www.aaa-creative.co.jp/agriculture.html>)
- 本名：今村 博宣
- Facebook
 - ▣ <https://www.facebook.com/hironobu.imamura>
- ホーム・ページ
 - ▣ <http://himamura.com/wp/>
- Mail
 - ▣ [hiro.imamura\[at\]drone.co.jp](mailto:hiro.imamura[at]drone.co.jp)



- Dronecodeとは
- なぜDronecodeが必要か
- Dronecodeが動くハードウェアの紹介
- DroneKitの紹介
 - ▣ Android
 - ▣ Python
 - ▣ Cloud
- DronecodeによるROSのサポート
- ドローン制御の概要
- Dronecode JAPAN Association
(DCoJA) へのお誘い

LINUX FOUNDATION
COLLABORATIVE PROJECTS

LINUX FOUNDATION COLLABORATIVE PROJECTS



オープンソースを使用した ドローン開発の必要性

5

- AUTO MOTIVE GRADE LINUX/Tizen
 - リファレンス ディストリビューションであるTizenプロジェクトと連携し、デジタル計器から車載インフォテインメントまで広範な自動車アプリケーション向けに最適化されたリファレンス プラットフォームを開発
 - Jaguar Land Rover、日産自動車、トヨタ自動車、アイシン・エイ・ダブリュ、デンソー、富士通、HARMAN、Intel、日本電気、NVIDIA、ルネサス、サムスン、Symbio、TI
- Yocto
 - 組み込み用のカスタムLinux環境を構築するためのテンプレートやツールなどを提供するプロジェクト。ARMやMIPSなどさまざまなハードウェア アーキテクチャに対応する。組み込みLinuxの業界団体OpenEmbeddedとも連携
 - モンタビ斯塔、LG、TI、ウインドリバー、LSI、ルネサス、AMD、ブロードコム、メンター・グラフィックス、DELL、フリースケール、インテル、ファーウェイ

- 2014/10にLinux Foundationの元で発足した無人機のフライトコントローラ等をオープンソースで開発するプロジェクト
- オープンソース・ソフトウェア、オープンソース・ハードウェアの両面から無人ヘリコプターだけではなく、無人飛行機、無人ビークルも開発している
- 最近ではVTOL(垂直離着陸)機の開発も進んでいる



Dronecode プロジェクト メンバー

7

Platinum



Gold



Silver



Sponsored



日本企業



Open Source
Robotics Foundation

- 現在ドローンを開発している会社は多数あるが、中国のDJI社が一番有名
 - Appleと同じように完全垂直統合の企業で、設計～製造～販売まで一貫して自社で行っている。
 - 最近ではドローンに搭載するデジタルカメラまで自社設計～製造をしていて、その技術力には眼を見張るものがある
- Dronecodeの中心メンバーは3DR (3DRobotics) で、率いるのはあの「MAKERS」の著者クリス・アンダーソン
 - 3DRは、一番肝心なフライトコントローラ部分を全部オープンソースとして公開している
 - まるでGoogle。
 - あちらがAppleと言うならこちらはAndroid的なやり方
 - たくさんのコミュニティーメンバーに支えられてバージョンアップを繰り返しながら機能・性能・安全を向上させている

なぜDronecodeが必要か？ 農業用ドローンで考える

9

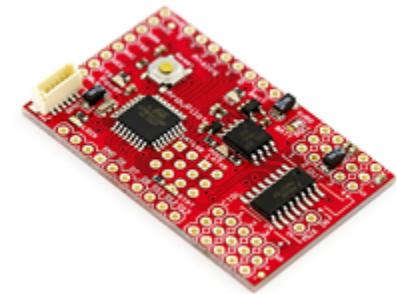
- 一番重要なのは散布の濃度
- 無人機での農薬散布は一般的に1反800ccの農薬を散布する
- スプレーの幅が 1.5mだとして、1反に800cc散布するためにはおよそ1分程度で散布しなければならない
- 現在、ウェイポイントを指定して自律航法で農薬散布を 実用段階でやっている方は少ない
 - 普通はラジコン操作で散布をする
 - 人が操作するので飛行速度にムラが出たり、風の影響で速度も変わる
 - 現在のマルチコプターの農薬散布機は機体の速度にかかわらず一定の流量の農薬を散布する
- 本来なら、スピードが上がったら散布量を増やし、スピードが遅くなったら散布量を減らす。静止したら散布を止める必要がある
- しかし、そういう機能をもったマルチコプターの農薬散布機は存在しない。
- ほとんどのマルチコプターのフライトコントローラーが他の外部のセンサーの値や状態を取り込んでフィードバックを掛けるという機能を持っていない

- 本来のフライトに係る部分はそのまま使用
- ポンプのモーターを飛行速度で制御する部分を追加
- ハード的にもポンプのモーターの速度コントローラーも作り込む
- 農薬タンクの残量、ポンプが正常に機能しているかを確かめる流量センサや圧力センサも必要
- それらのセンサからの情報の入力もいたって簡単に追加することが可能
- 正にオープンソース・ハードウェア/ソフトウェアであることの利点です。

フライトコントローラの ハード開発の動向

11

- Atmega
 - KKmulticopter
- Arduino
 - ArduPilot, ArduPilot Mega, MultiWii
- Cortex-M
 - PX4, Pinxhawk, baseflight, CC3D, SmartAP
- Cortex-A
 - NAVIO+, Erle Brain



ABC2015 hsgucci氏の資料から引用

フライトコントローラの ソフト開発の動向

12

- フルスクラッチで書く
- Arduino, mbed, Teensyなどのに乗っかる
- RTOSを組み込んで動かす ← イマココ
- Linuxで動かす (RTパッチを使用)

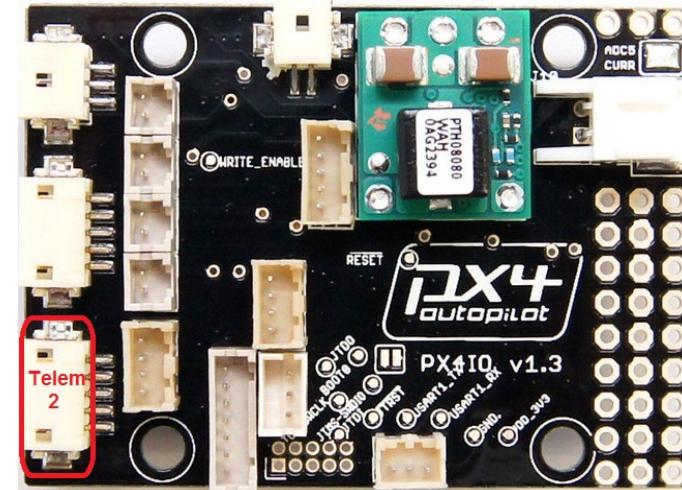
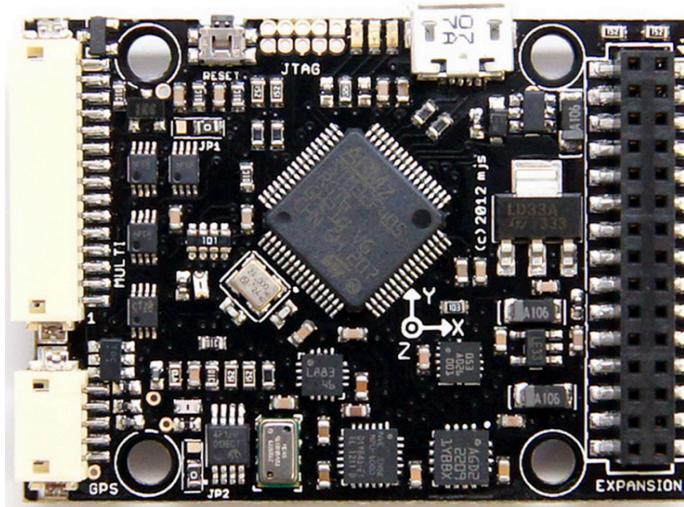
ABC2015 hsgucci氏の資料から引用

オープンソース ハードウェアの紹介(1)

13

□ PX4

- 購入 : https://store.3drobotics.com/products/px4fmu-1?taxon_id=42
- 仕様 : <https://store.3drobotics.com/products/3dr-pixhawk#product-description>
- セットアップ : <http://planner.ardupilot.com/wiki/other-project-and-common-topics/common-autopilots/common-px4fmu-overview>
- デザインファイル : <https://pixhawk.ethz.ch/px4/media/modules/px4fmu-schematic-v1.6.pdf>
<http://stuff.storediydrones.com/PX4FMUv1.7.zip>

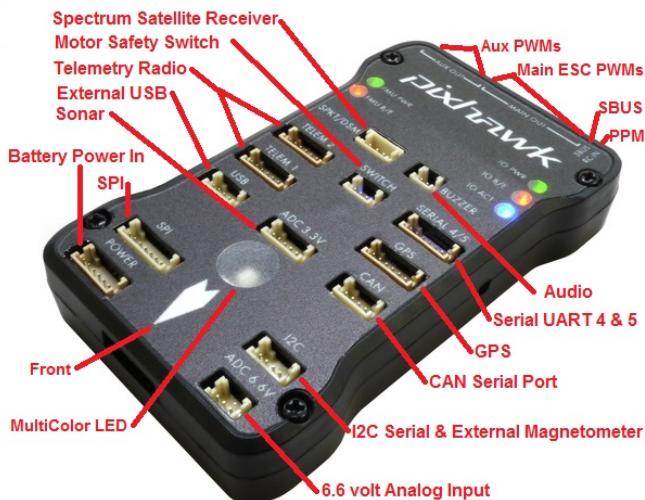


オープンソース ハードウェアの紹介(2)

14

□ PIXHAWK

- 購入 : <https://store.3drobotics.com/products/3dr-pixhawk>
- 仕様 : <https://store.3drobotics.com/products/3dr-pixhawk#product-description>
- セットアップ : <http://planner.ardupilot.com/common-pixhawk-overview/#specifications>
<http://planner.ardupilot.com/wiki/common-powering-the-pixhawk/>
- デザインファイル : <http://goo.gl/BZiuXH>
<http://goo.gl/TVNjcy>

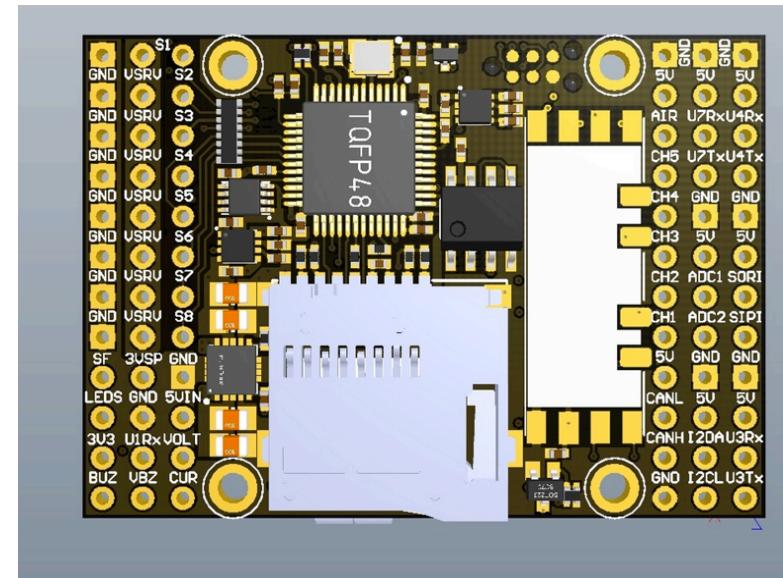
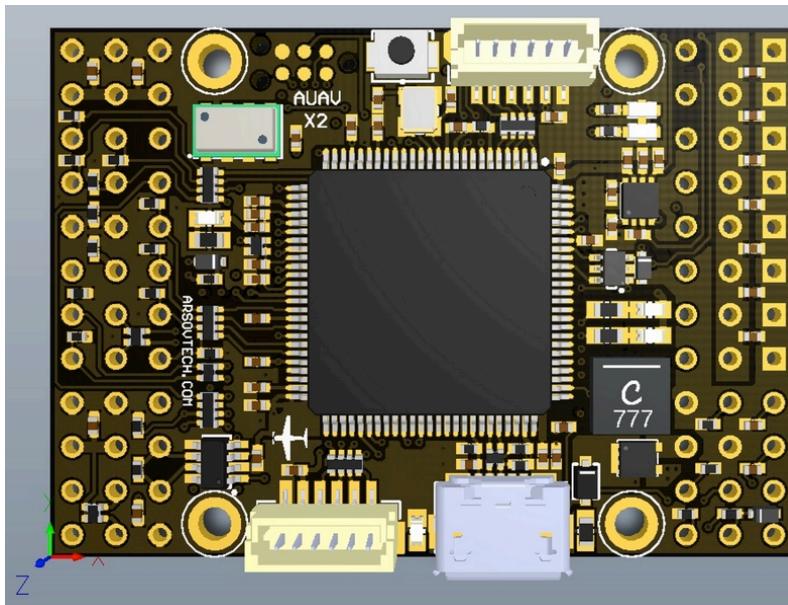


オープンソース ハードウェアの紹介(3)

15

□ Arsov UAV-X2

- 購入：<http://www.auav.co/product-p/auavx2.htm>
- セットアップ：
http://www.auav.co/v/PublicDownloads/AUAV_X2_Manual.pdf
- デザインファイル：
http://www.auav.co/v/PublicDownloads/AUAV_X2_R01.zip
http://www.auav.co/v/PublicDownloads/AUAV_Micro_IMU_V2.zip

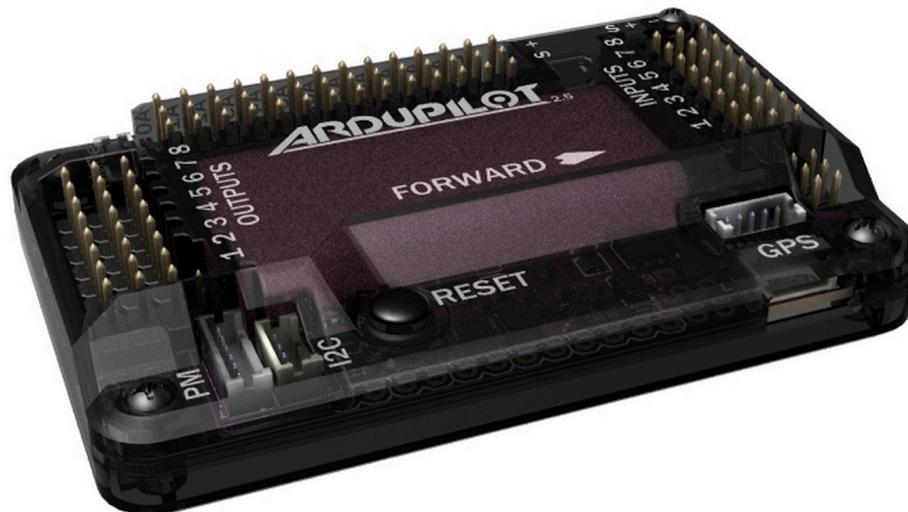


オープンソース ハードウェアの紹介(4)

16

□ APM2.6(APM2.x)

- 購入：<https://store.3drobotics.com/products/apm-2-dot-6-plus-assembled-set-side-entry>
- セットアップ：<http://planner.ardupilot.com/wiki/other-project-and-common-topics/common-autopilots/common-apm25-and-26-overview/>
- デザインファイル：<http://goo.gl/g5K6Uj>

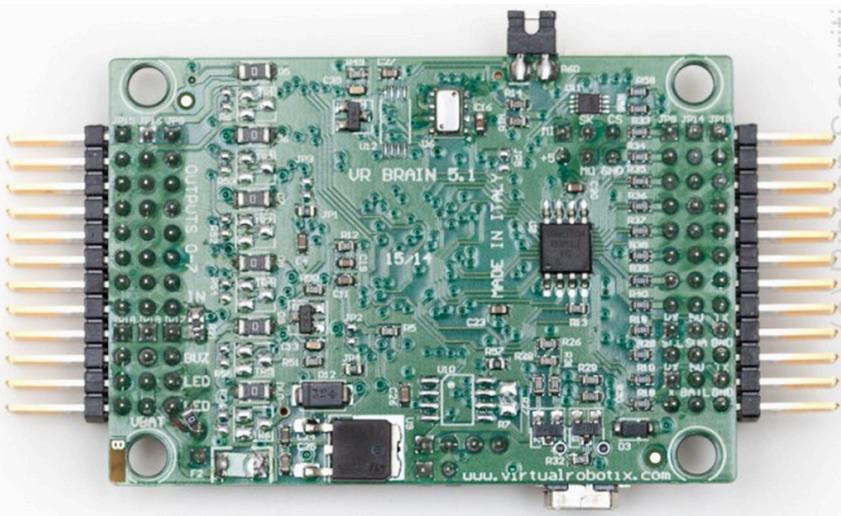


オープンソース ハードウェアの紹介(5)

17

□ VRBrain

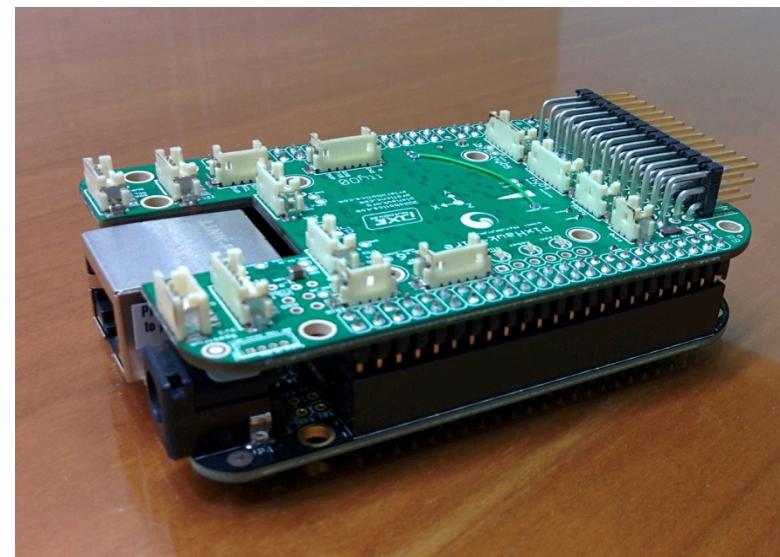
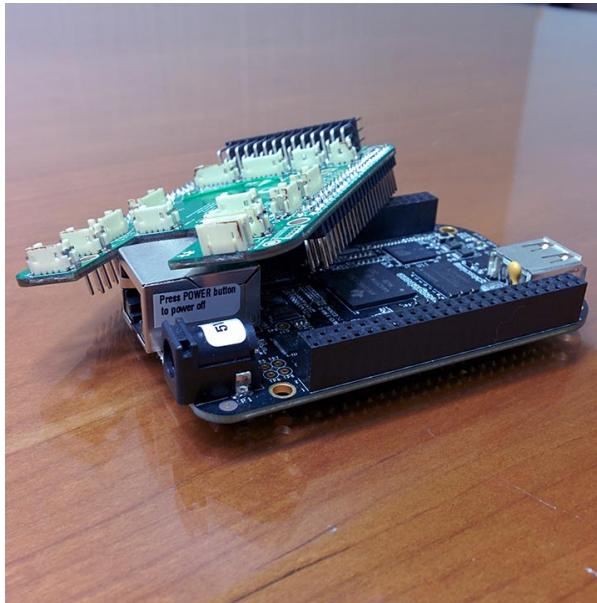
- 購入：<https://vrbrain.wordpress.com/store/> セットアップ：<https://vrbrain.wordpress.com/quick-start-guide/>



オープンソース ハードウェアの紹介(6)

18

- PixHawk Fire Cape(PXF)
 - 購入 : <http://erlerobotics.com/blog/product/pixhawk-fire-cape/>
 - セットアップ : <http://erlerobotics.com/blog/updating-the-software/>
<http://dev.ardupilot.com/wiki/supported-autopilot-controller-boards/building-for-beaglebone-black-on-linux/>
 - デザインファイル : <http://github.com/diydrones/PXF>

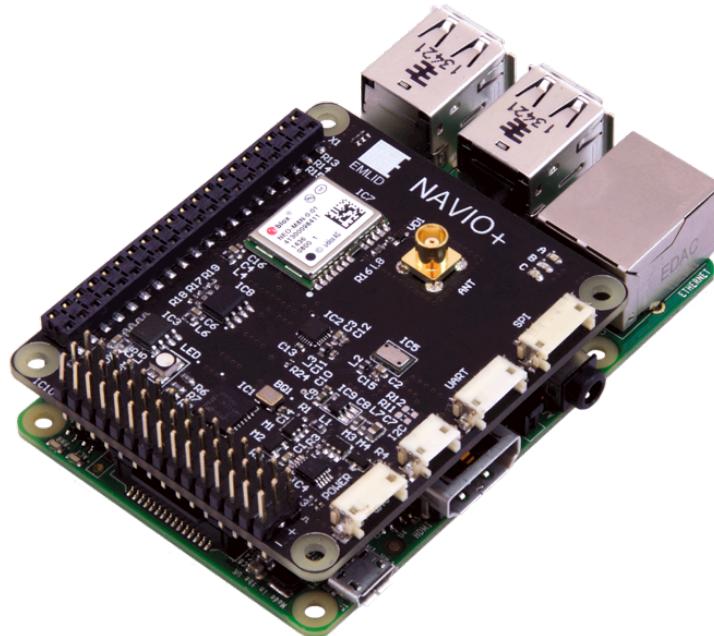


オープンソース ハードウェアの紹介(7)

19

□ NavIO+

- 購入：<http://www.emlid.com/shop/navio-plus/>
- セットアップ：<http://docs.emlid.com/Navio-APM/hardware-setup-navio-plus/>

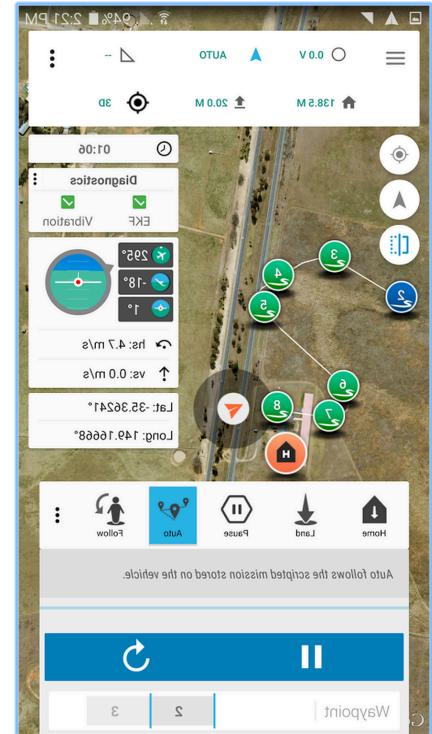
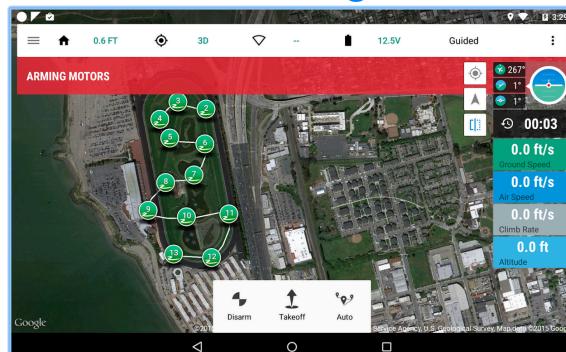


ドローンアプリの開発 「Dronekit」の紹介

20

- Dronekitは今年になって発表されたDronecodeに関連する新しいプロジェクト <http://dronekit.io/>
- Dronecodeが機体や車体に積むコントローラーのファームウェア / ハードウェアのプロジェクト
 - Dronekitはそれらのコントローラを制御したりテレメトリデータを受け取って、色々なアプリ開発 やプラットフォームを開発するためのSDK
- Androidアプリを作成するためのオープンソースのAPI群
- PCでのアプリを作成するためのオープンソースのPython API群
- クラウドプラットフォームを作成するためのライブラリ群
- iOSアプリを作成するためのAPIのアナウンスもされているので、もうすぐ可能になると思われる

- Android端末からドローンへの制御コマンドの送信
- DroneからAndroid端末へのデータ受信
(Drone搭載のカメラからAndroid端末へのリアルタイム動画受信はできない)
- 従来は独自実装が必要だったドローンの制御を共通化
- 3DR Serviceも変更・修正可能
- 複雑な飛行制御はDronekitを経由して3DR Serviceで行う
- ソフト開発者は自動飛行など、ロジック開発に専念できる
- 詳しくは
[DronekitによるAndroid APIの概要]
(<http://www.slideshare.net/moguriso/dronekitandroid-api>)





Droekit Python APIの概要

22

- DroneKitの中心的API
- 自律飛行（オートパイロット）を高度化する
- MAVLinkで通信
- 機体リストの取得
- 機体の状態を設定
- テレメトリデータの取得
- 非同期に状態変更を受信
- Waypointの作成と管理
- 指定した場所への誘導
- 機体へのメッセージ送信
- 設定済みラジコンチャネルの書き換え
- 詳しくは
[Dronekitによる python apiとアプリ開発の概要]
(<http://www.slideshare.net/ogochan/dronekit-python-api>)

- 飛行中のドローン、地上のゲートウェイと連携するクラウドサービス
 - (国内では電波法の問題で、ドローンに3G/LTEモデムを積み、直接クラウドと連携できない)
- 飛行ログの保管・管理
- 飛行ログの解析
 - Json : 飛行データ、解析サマリー、パラメータ、geoデータ
 - Kmz, KML : Google Earth
 - KMZ : Google MAP
- ユーザー認証・管理
- 機体情報管理

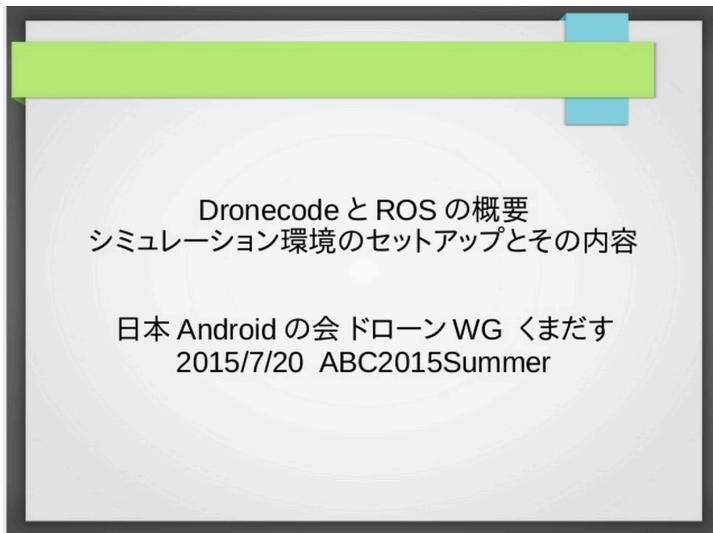


Droekitを使うと？ 農業用ドローンで考える

24

- 散布の流量、圧力、タンクの残量などの値をライトコントローラに送る
- テレメトリデータとしてBluetoothや920MHz通信で送ることが可能
- そのデータを表示するAndroidやiOSやPCのアプリを簡単に作ることが可能になる
- 農業だけでなく測量等で使用するカメラと同期させて撮影時のGPSの位置情報、傾き、高度なども取得することが可能になり測量用のデータを取得するアプリの開発も容易になります

- ABC2015Sでのくまだす氏の発表
 - DronecodeとROSの概要
 - シミュレーション環境のセットアップとその内容



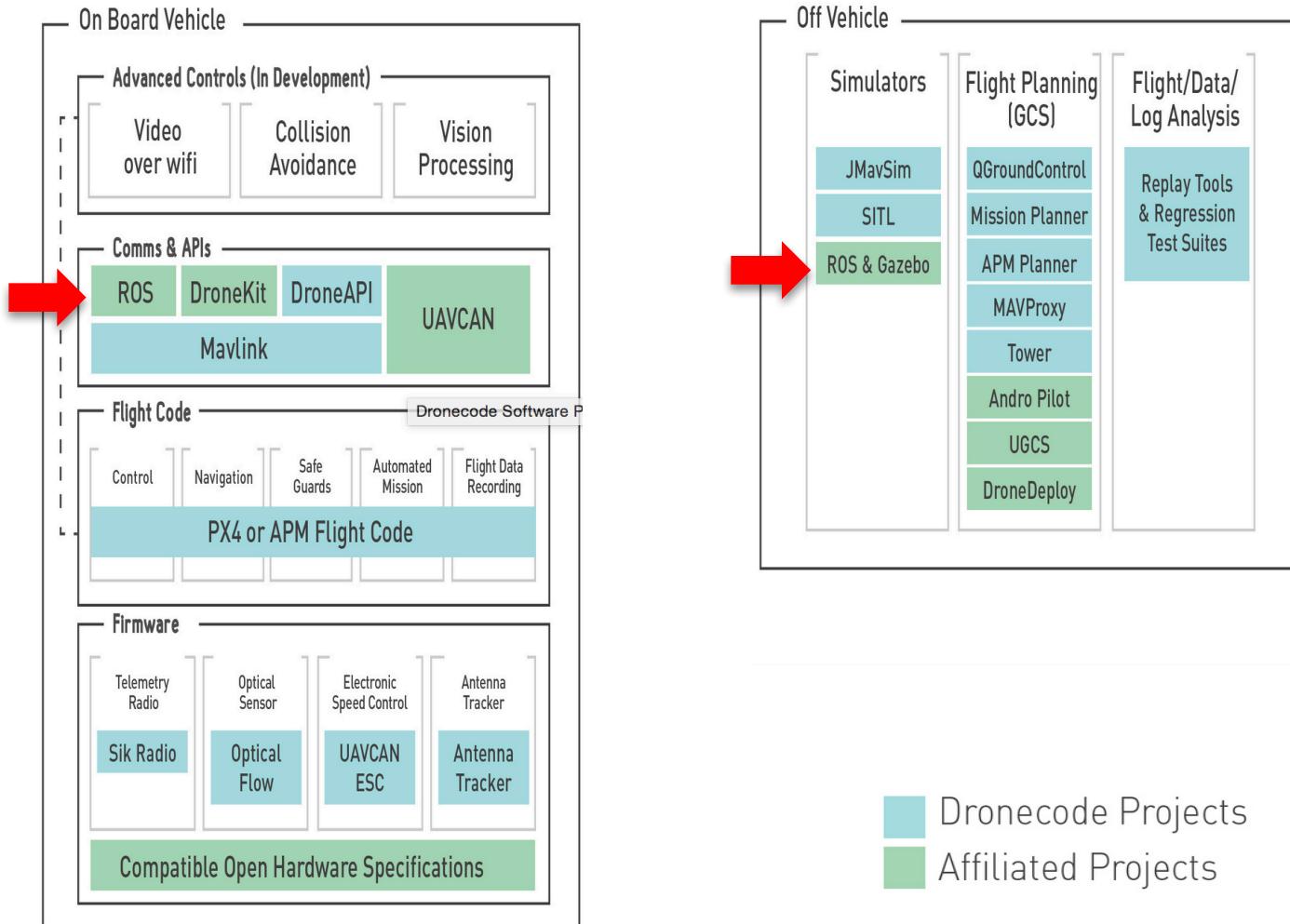
<http://goo.gl/ehBoZN>



<https://goo.gl/C8Mhgn>

Dronecodeの構成

26



DronecodeによるROSのサポート

27

- PX4 Flight Stack ROS 3D Software in the Loop Simulation (SITL) – YouTube
 - ホストPC上ですべての計算を実機無しで行う
 - 新しいアルゴリズムや制御のテストに使用可能
 - ハードウェアのタイミングや制限は考慮できない
 - <https://www.youtube.com/watch?v=qFF9-0k4KA>



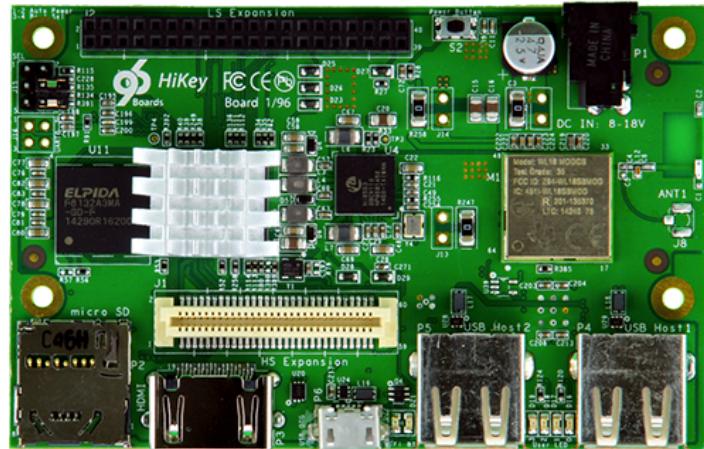
すぐに試せるROS対応 フライトコントローラ

28

- Erle-brain - ROS Wiki
 - ▣ <http://wiki.ros.org/Robots/Erle-brain>
- Erle ROS packages:
 - ▣ PWM: [https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-pwm...](https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-pwm)
 - ▣ Buzzer: [https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-buzz...](https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-buzzer)
 - ▣ Ubled: [https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-ubled...](https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-ubled)
 - ▣ StatusLed: [https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-status-led...](https://github.com/erlerobot/ROS-hydro-status-led)
- Introducing Erle ROS packages – YouTube
 - ▣ <https://www.youtube.com/watch?v=n3Y8PePEzcQ>
- Erle-brain, a Linux brain for drones – GitBook
 - ▣ <https://www.gitbook.com/book/erlerobotics/erle-robotics-erle-brain-a-linux-brain-for-drones/details>
 - ▣ 73ページからROSの概要



- 96Boardsコンパチブル（オープンソース・ハードウェア）
 - ▣ [96Boards: 32 and 64-bit ARM Boards](#)
 - ▣ 64bit ARM SoCを使用
 - ▣ [SoCドキュメント](#)
 - ▣ NAVIO+ 及び Erle Brainのセンサ類とコンパチ
 - ▣ カメラ I/F (MIPI CSI x2)
 - Linaro Linux カーネルを使用
 - ▣ PREEMPT_RTパッチを使用
 - フルター類のNEON化
 - ▣ 倍精度浮動小数点演算、ベクトル化
 - ▣ スカラー演算に比べ約2倍の高速化を実現



大学、研究者向け Dronecode対応ドローン

- NAVIO+、Erle Brainの共同購入
- 450クラスの安い丈夫なドローンの共同購入
 - プロポ、バッテリー以外のパーツ1式
 - フレーム
 - モーター
 - ESC



or

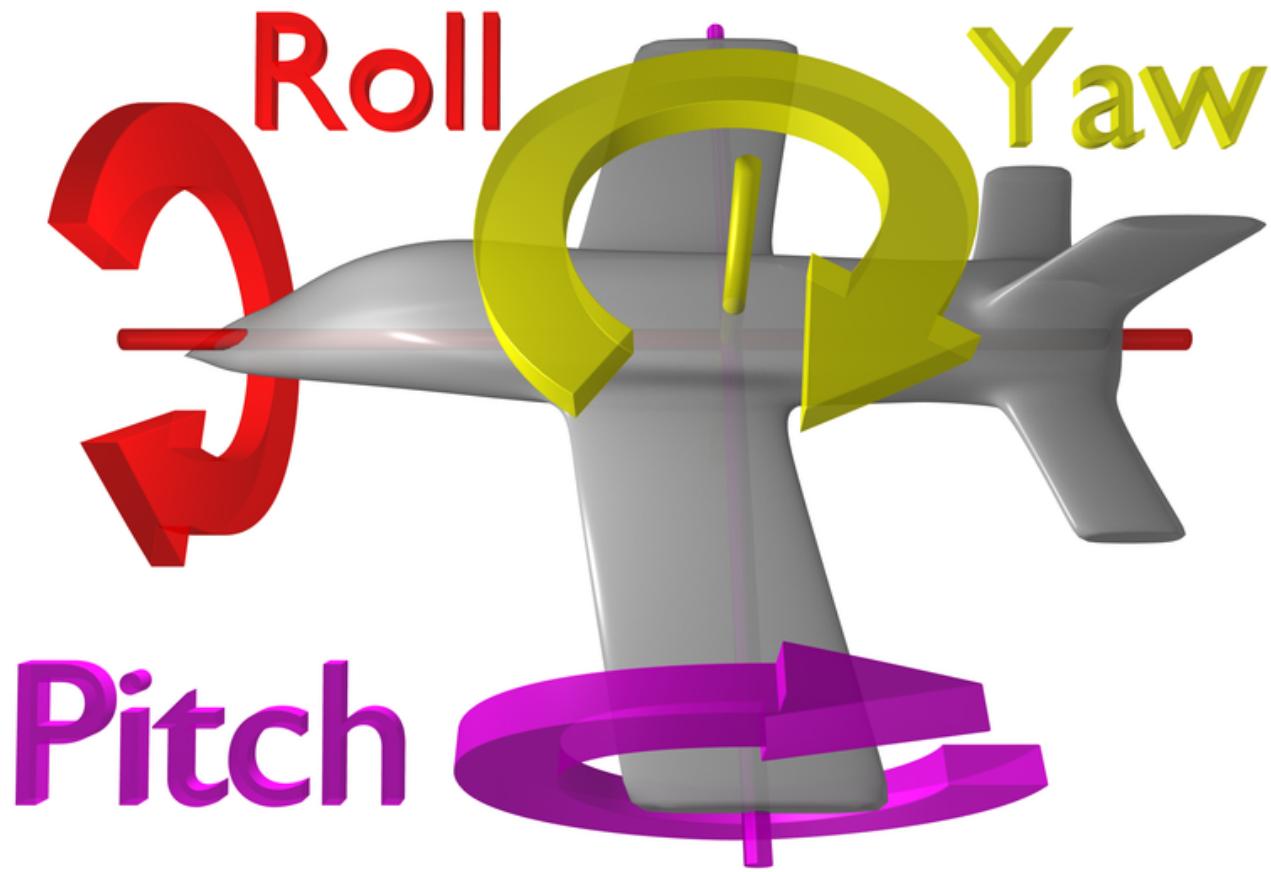


+

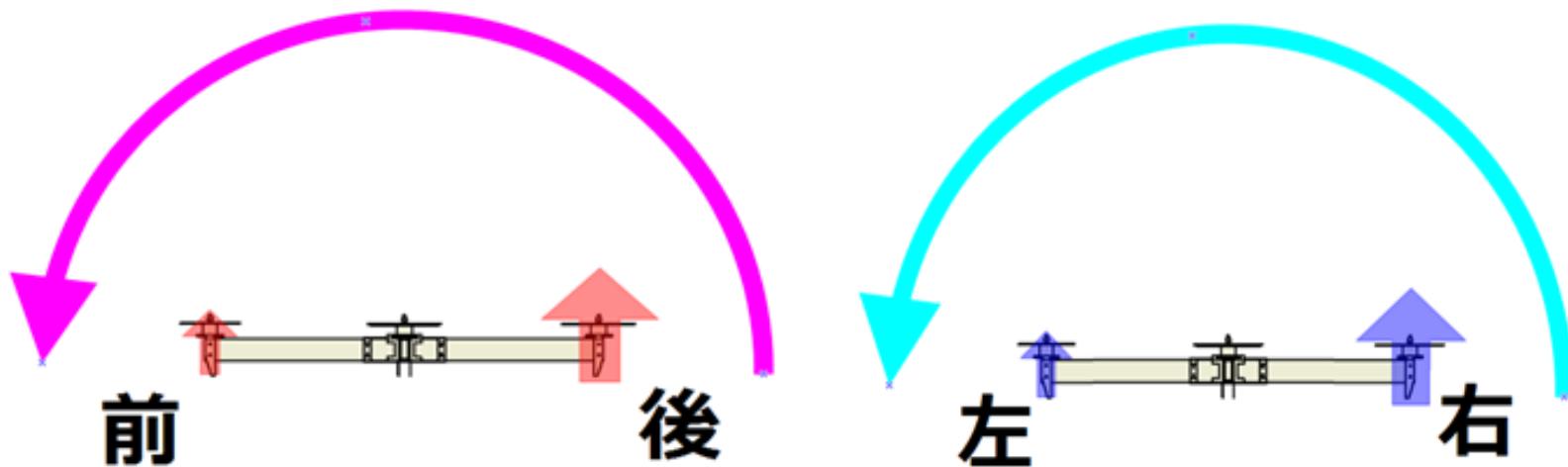


DW-450Edu

- Dronecodeに準拠したシステムは比較的簡単に準備が可能
- 地上の操作者は
 - Mission Planner
 - Droid Planner
 - DroneKit



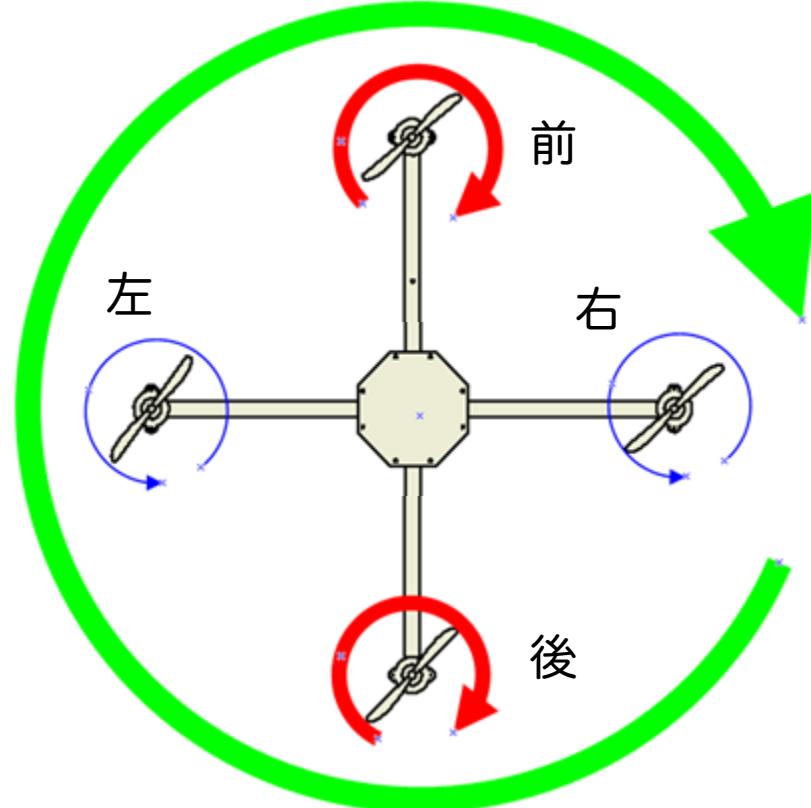
- 前後や左右の回転数を変えて、
推力のバランスを崩すことで姿勢を変える



基本原理

34

□ 旋回



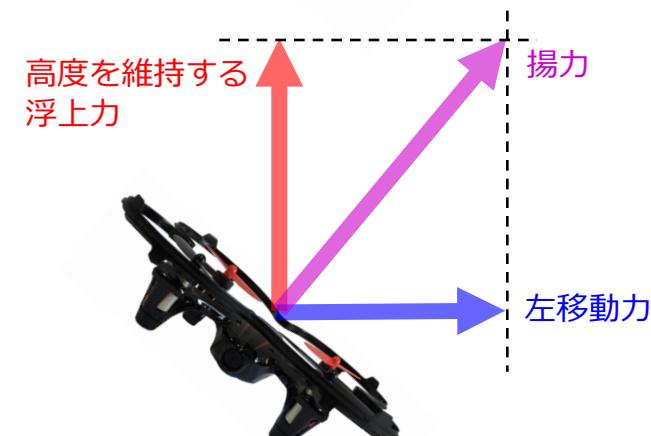
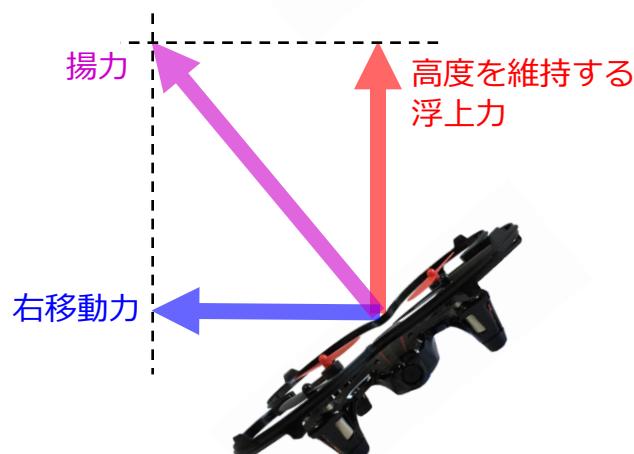
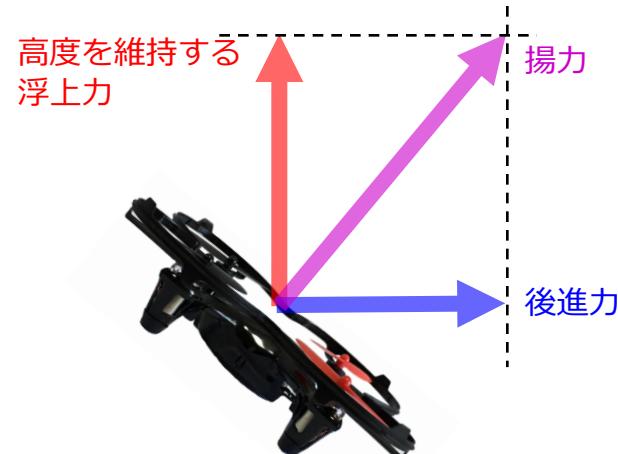
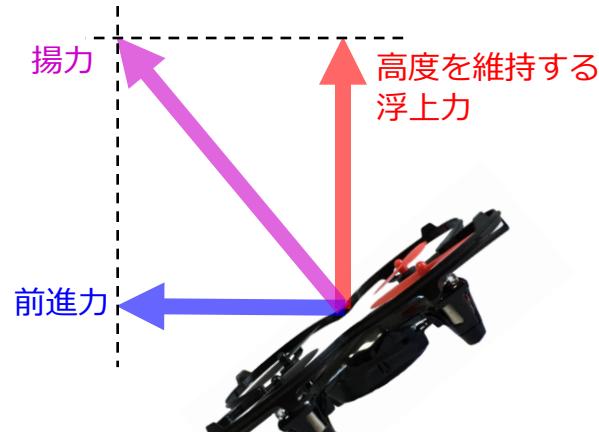
シングルロコプターは
テールロータで相殺

CWの回転数を上げ、CCWの回転数を下げる
と、反作用の相殺のバランスが崩れてヨー方向に回転する。

基本原理

35

□ 並進移動



- ロール・ピッチ・ヨー角
- 高度
- 緯度・経度
- ウェイポイントナビゲーション
- 送信機入力に対する反応

制御周期

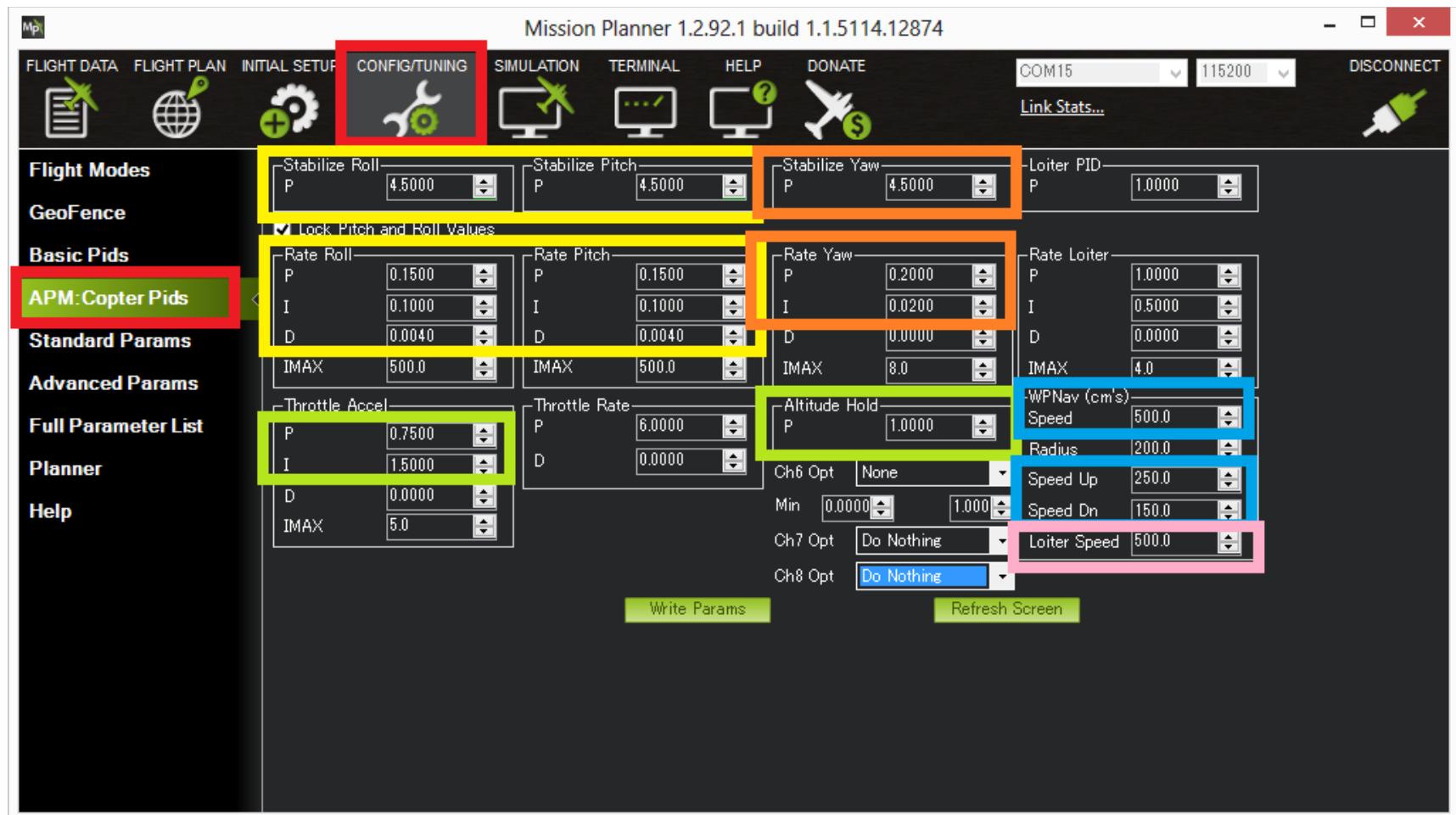
最速が400Hz(2.5ms)周期



ブラシレスモーター駆動回路（アンプ）が
400Hzのサーボパルスなので

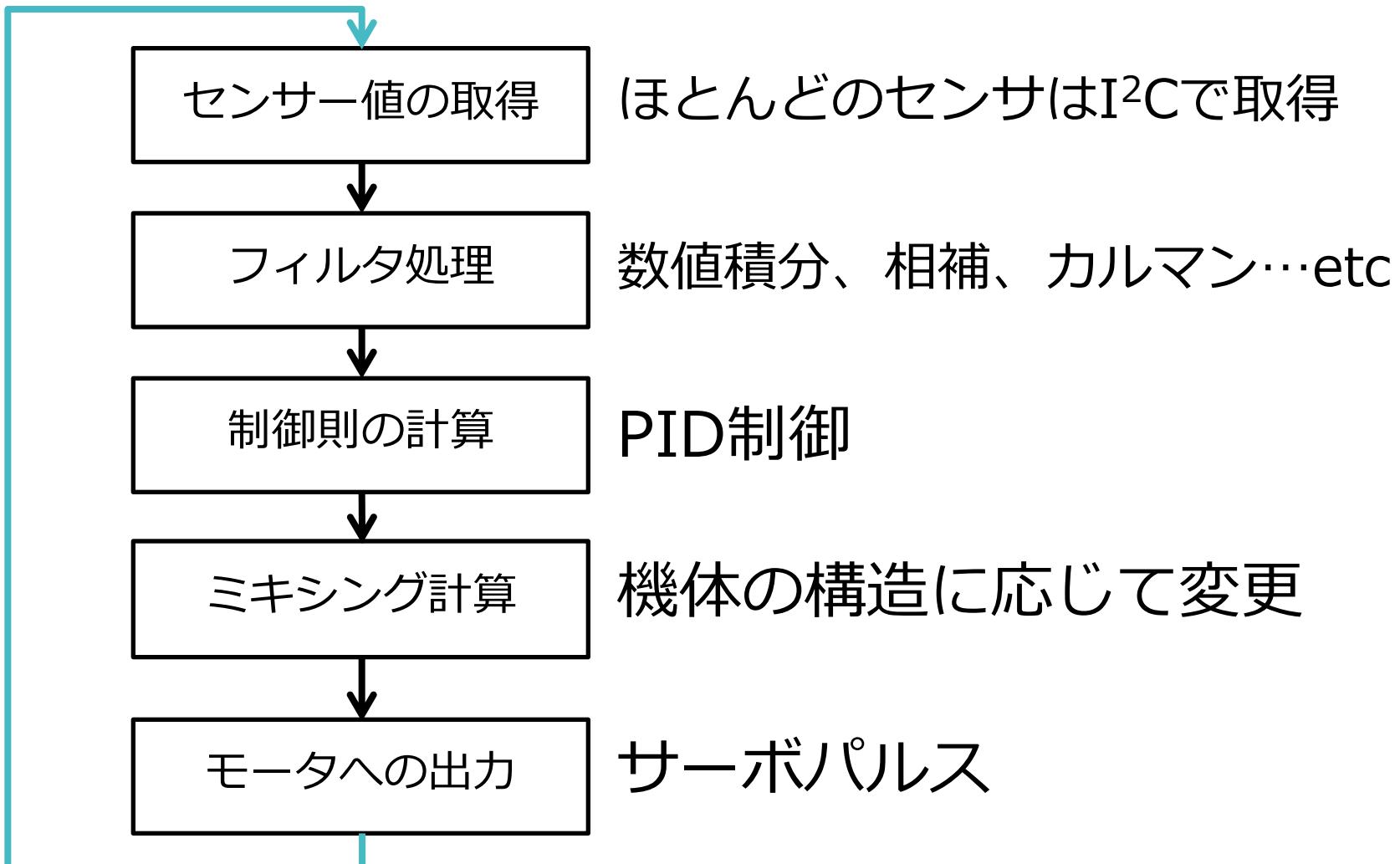
DRONEWORKS Missionplannerのチューニング

37



制御アルゴリズム

38



- ジャイロ・加速度センサー MPU-6050



Amazonだと600円前後。。。

PixhawkだとMPU-6000
派生版のMPU-9150,9250もある

- 電子コンパス HMC-5883L



Amazonだと300円前後。。。

- 気圧 MS5611



10cm精度
MultiWiiではBMP180を使用

- GNSS ubloxシリーズ

3DRobotics : LEA-6H

RTK-LIB : LEA-6T

NAVIO+ : NEO-M8N

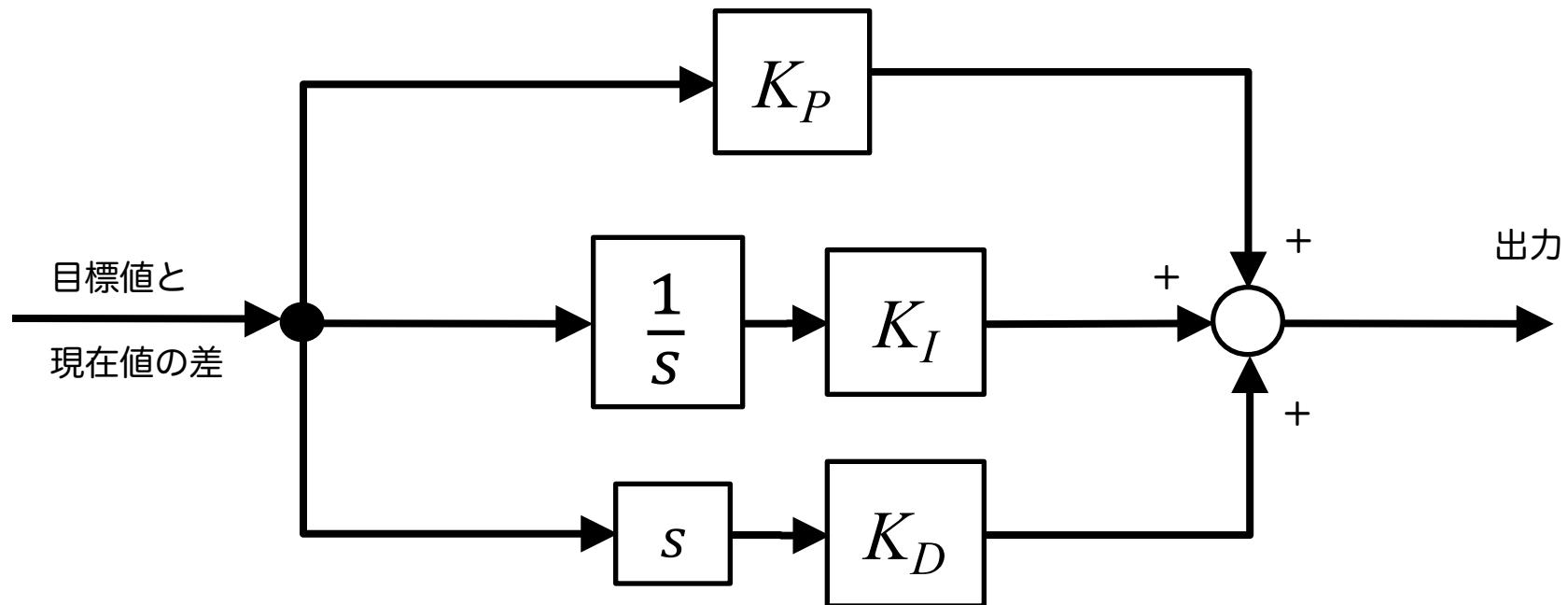
DJIや3DRのGNSSモジュールは
電子コンパスも同じ基板に実装。
磁石から距離を離すため



- ローパスフィルタ（ノイズ除去）
- 相補フィルタ（センサフュージョン）

この辺のフィルタ処理が「制御」をややこしく見せている

□ ブロック線図 . . .



多くの本がブロック線図でPIDを説明する → ワカンネエ

```
now = millis();
timeChange = (now - lastTime);

error = x_desire - x_now;
errSum += error * timeChange;
dErr = (error - lastErr) / timeChange;

Output = kp * error + ki * errSum + kd * dErr;

lastErr = error;
lastTime = now;
```

もちろん、積分や微分の計算方法は、もっと複雑で正確な式がある

- ロール・ピッチ・ヨー角
 - クオータニオンへ
ジンバルロックのない角度表現スタイルへ
- カルマンフィルタ
 - 姿勢推定精度の向上
 - 内部センサだけで移動
- PID
 - セルフチューニング
 - 現代制御理論

- Facebook
 - ▣ <https://www.facebook.com/groups/Dronecode/>
- 日本Android
 - ▣ ABC2015 Summer (2015/07/20)
 - ▣ オープンソースによるドローンの開発の概要
 - ▣ 12:00~12:45 himamura & hsgucci
 - ▣ DronekitによるAndroid APIの概要
 - ▣ 13:00~13:45 moguriso
 - ▣ Dronekitによる Python APIとアプリ開発の概要
 - ▣ 14:00~14:45 ogochan
 - ▣ Dronekitクラウドを利用したwebサービス開発の概要
 - ▣ 15:00~15:00 志賀雄太
 - ▣ DronecodeとROSの概要
 - ▣ 16:00~16:45 <まだず
 - ▣ Linuxベースのオープンソース フライトコントローラの概要
 - ▣ 17:00~17:45 hasoued
- 関西オープンソースフォーラム (KOF)
 - ▣ 展示・セミナー <https://k-of.jp/2015/>
- OSSコンソーシアム Cyber Physical Embedded部会
 - ▣ 第10回セミナー http://www.osscos.jp/jos87wfdv-723/#_723

- 年内に「Dronecode Japan Association (DCoJA)」を正式に設立予定

Σ(°Δ°≡°Δ°)トコジヤ??

- 勉強会等を行っていく予定です。

Q & A

ご清聴ありがとうございました