

箱庭WGのご紹介

森 崇 (箱庭ラボ)



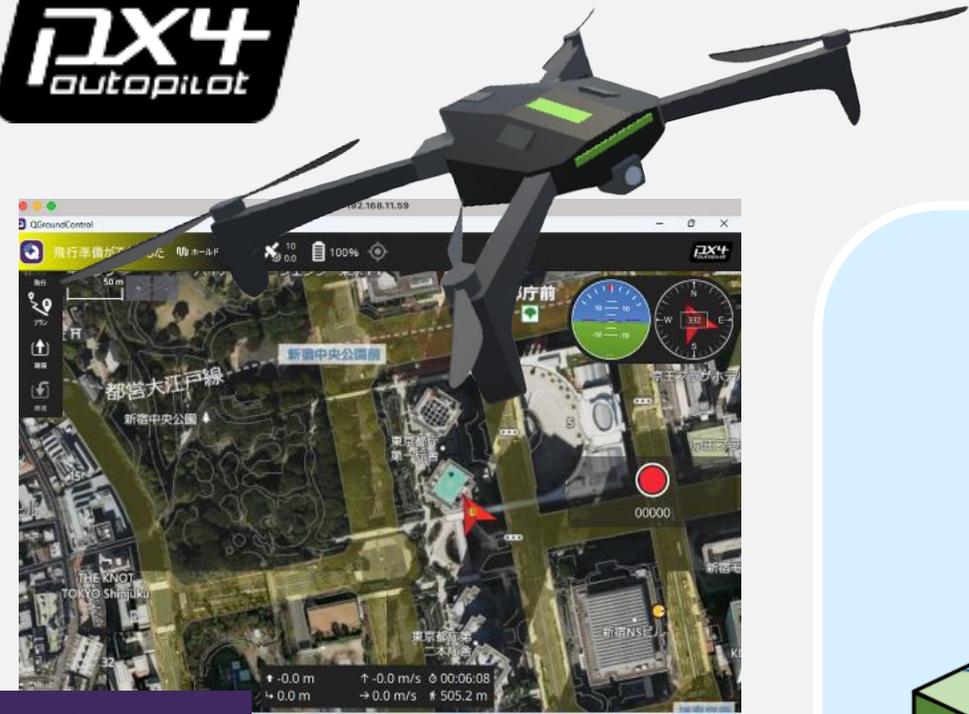
アジェンダ

1. 今年が目玉！
2. 箱庭ドローンシミュレータ
3. 箱庭ブリッジ
4. 箱庭まつり#2



今年が目玉！

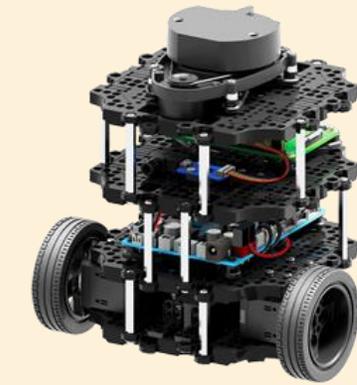
箱庭ドローンシミュレータ



箱庭ブリッジ



TURTLEBOT3



[URG-04LX-UG01](#)
(北陽電機)



ROS

リアル空間



箱庭ドローンシミュレータ

- そもそもドローンって
 - ドローンの機体と飛行原理
 - ドローンの数学・物理・制御
 - ドローンの数値シミュレーション
- ドローン・オープンソース技術
- 箱庭ドローンシミュレータのアーキテクチャ



ドローンの機体と飛行原理

- ドローンの構造(クアッドコプタ)
- ドローンの並進運動
- ドローンの回転運動



ドローンの構造(クアッドコプタ)

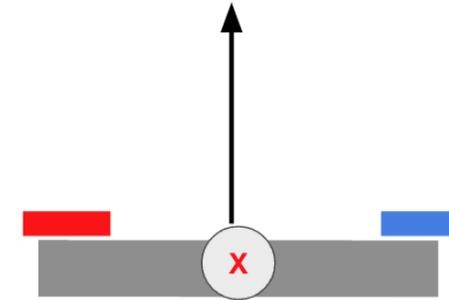
- クアッドコプタとは
 - ロータ 4 個で機体の推力とトルクを発生させて飛行する
 - ロータとは
 - プロペラを回転させるためのモーター
 - ドローンの推力・トルクを発生させる
 - ロータの特性として、回転方向と最大回転数などがある
- 今回の解説で使う機体
 - 左右・前後を対象としています
 - ロータ 1 と 2 が逆回転 (CCW)
 - ロータ 3 と 4 が正回転 (CW)



ドローンの並進運動

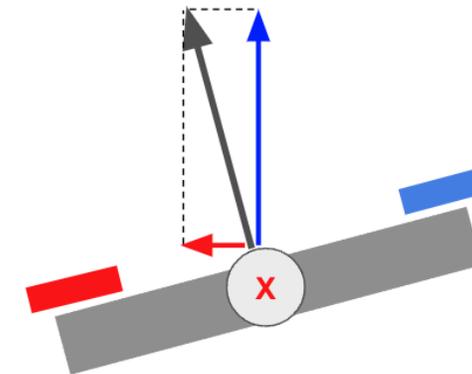
• 垂直方向移動

- 4つのローターを同じ回転速度で回転させることで上昇方向の推力を発生させます
 - 推力 $>$ 質量 \times 重力：上昇
 - 推力 = 質量 \times 重力：ホバリング
 - 推力 $<$ 質量 \times 重力：下降
- 推力はローターの回転速度の2乗に比例します



• 水平方向移動

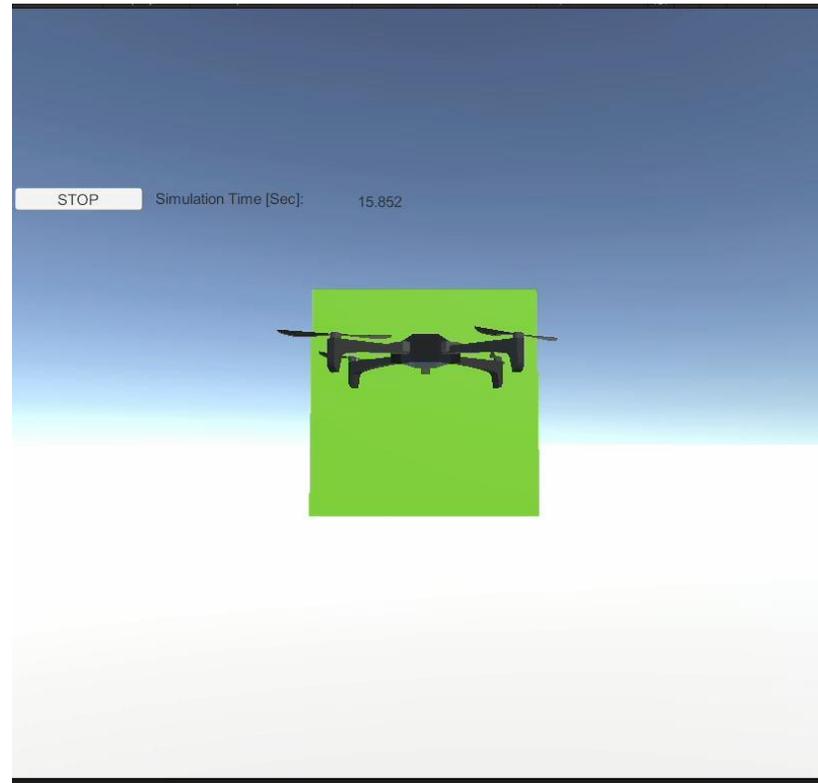
- 左右方向
 - 機体を左側に傾けると左方向へ移動します
 - 機体を右側に傾けると右方向へ移動します
- 前後方向
 - 機体を前側に傾けると前方向へ移動します
 - 機体を後側に傾けると後方向へ移動します



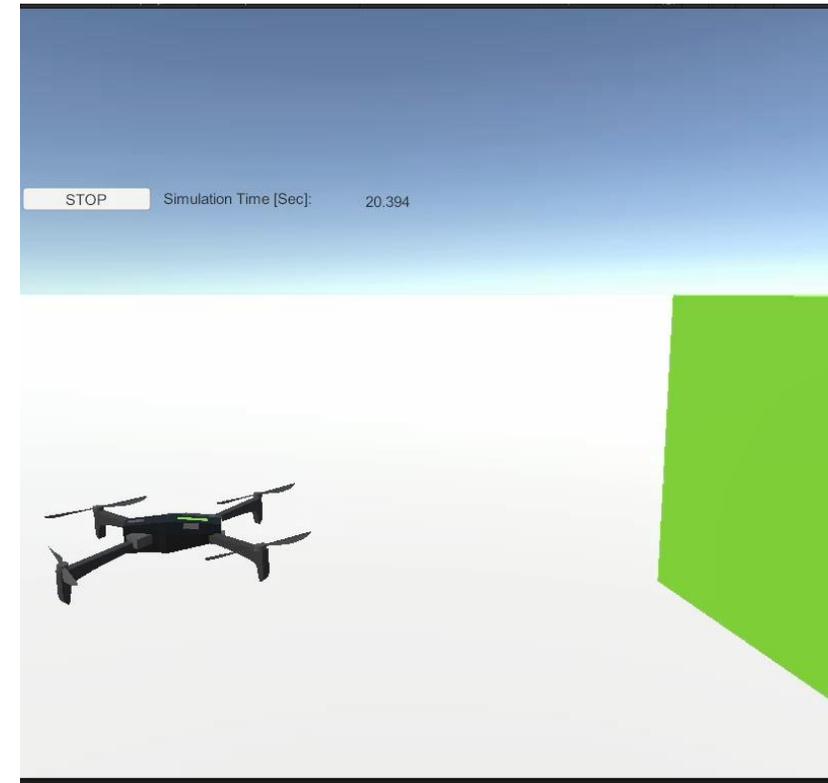
移動の様子 (デモ)



上昇



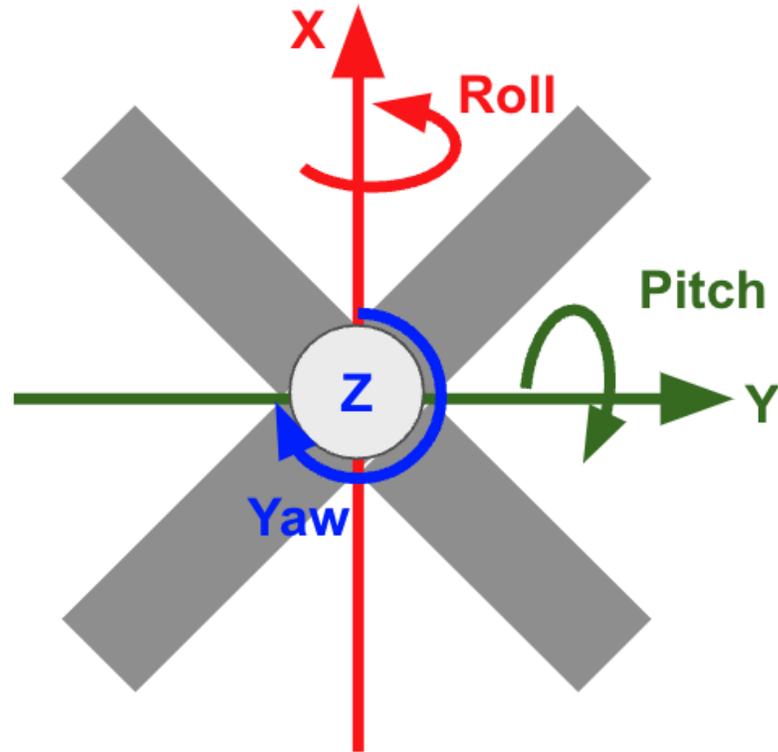
左方向移動



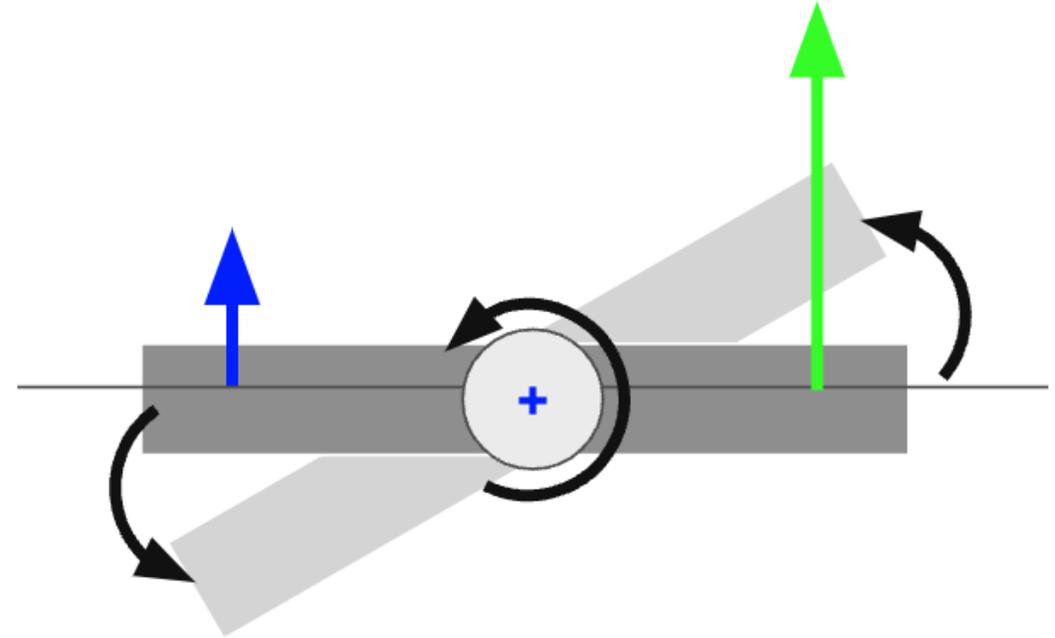
前方向移動

ドローンの回転運動

- Roll/Pitch/Yawの用語

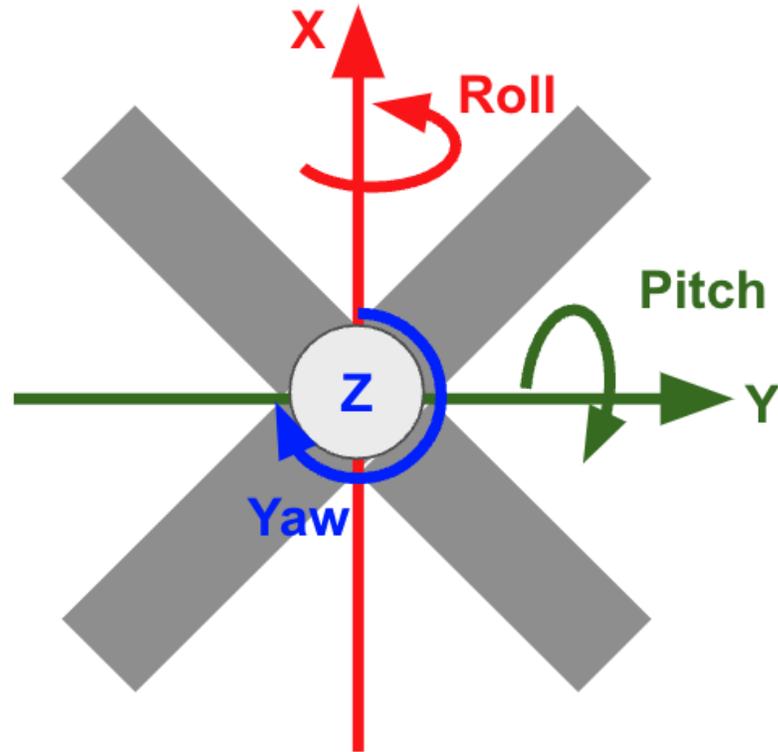


- Roll/Pitch方向の回転
 - 左右・前後の推力の差がトルクになる

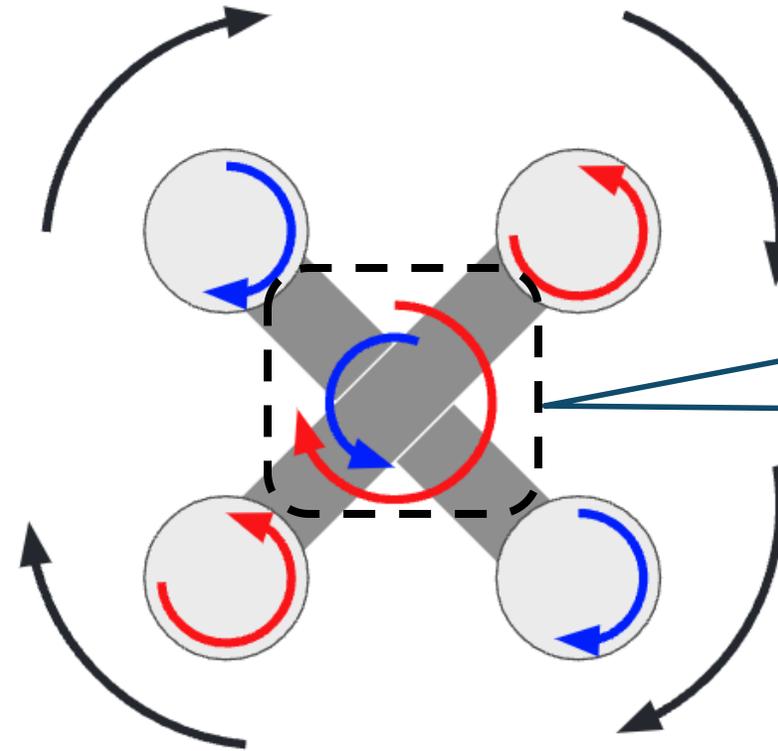


ドローンの回転運動

- Yaw方向の回転

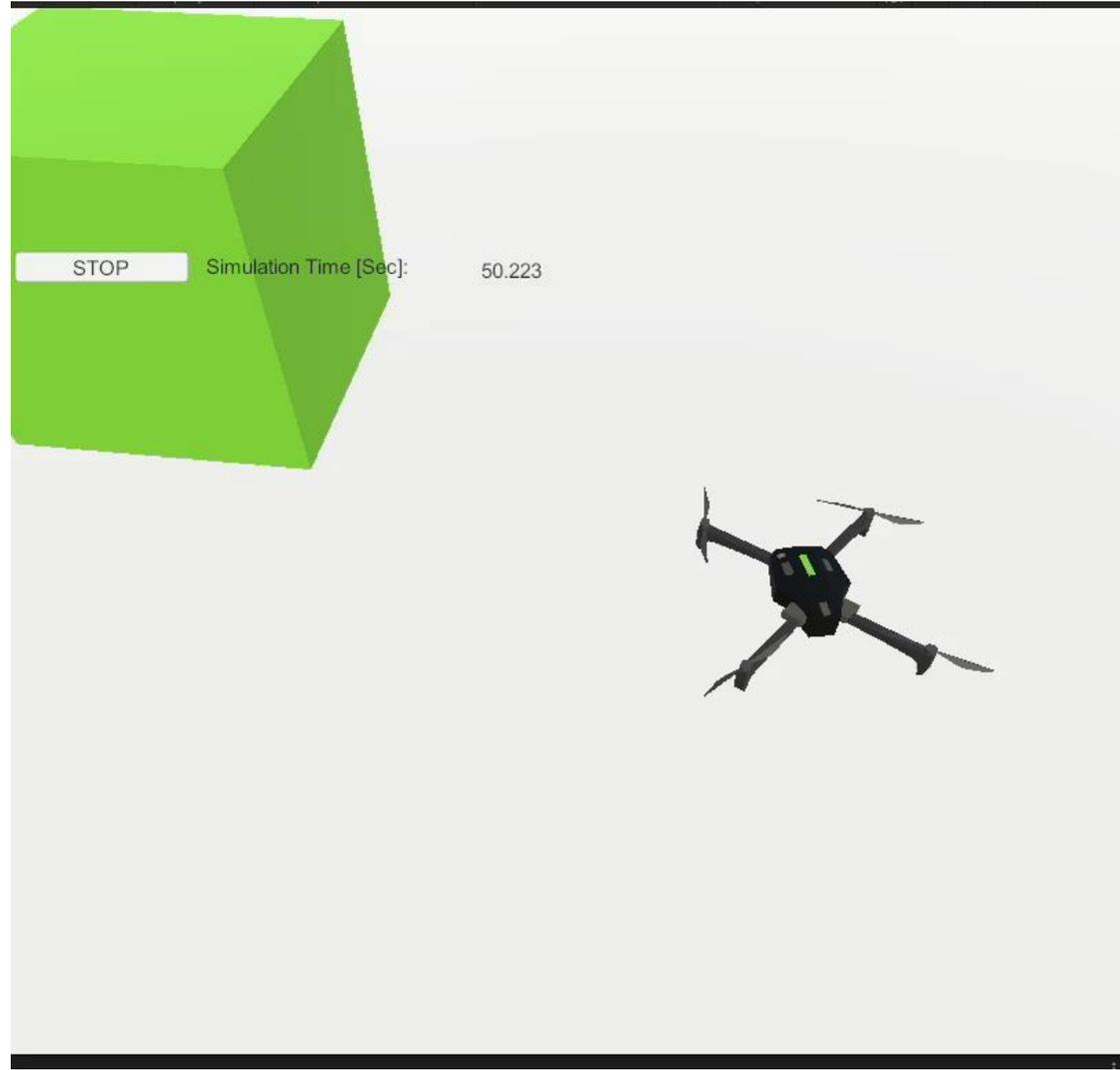


- ロータ回転方向と逆トルクが発生する
 - 反トルクの差がYaw方向の回転トルクを生む



反トルク発生の様子：
赤矢印の反トルクが大きいので、その方向に機体が回転する

回転の様子 (デモ)

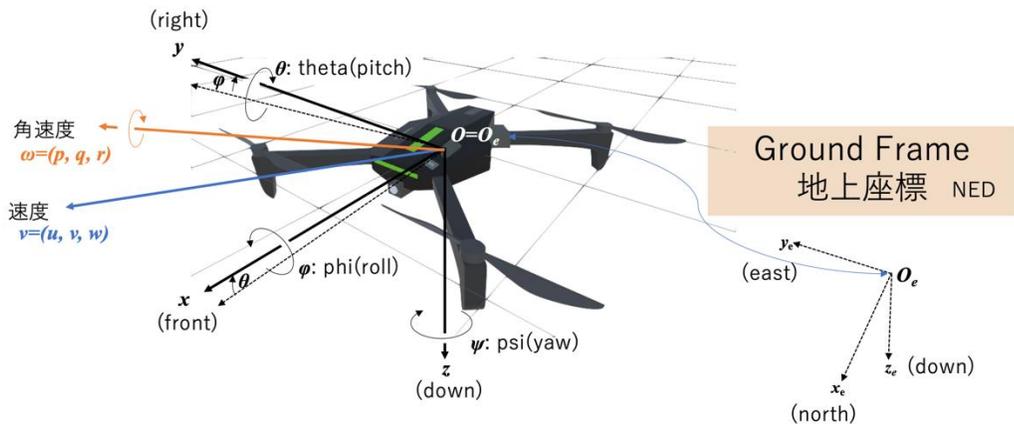


Motors 4 ▾

	Position X	Position Y	Direction CCW
Motor 1:	0.05	0.05	<input checked="" type="checkbox"/>
Motor 2:	-0.05	-0.05	<input checked="" type="checkbox"/>
Motor 3:	0.05	-0.05	<input type="checkbox"/>
Motor 4:	-0.05	0.05	<input type="checkbox"/>



Body Frame
機体座標 FRD



運動方程式

Body Frame

速度, 加速度(並進)

ニュートンの運動方程式

$$\begin{aligned}\dot{u} &= -g \sin \theta - (qw - rv) - \frac{d}{m} u \\ \dot{v} &= g \cos \theta \sin \phi - (ru - pw) - \frac{d}{m} v \\ \dot{w} &= -\frac{T}{m} + g \cos \theta \cos \phi - (pv - qu) - \frac{d}{m} w\end{aligned}$$

関数名は, `acceleration_in_body_frame` .

角速度, 角加速度(回転)

オイラーの運動方程式

$$\begin{aligned}\dot{p} &= (\tau_\phi - qr(I_{zz} - I_{yy}))/I_{xx} \\ \dot{q} &= (\tau_\theta - rp(I_{xx} - I_{zz}))/I_{yy} \\ \dot{r} &= (\tau_\psi - pq(I_{yy} - I_{xx}))/I_{zz}\end{aligned}$$

関数名は, `angular_acceleration_in_body_frame` .



詳細はこちらを参照ください。

• <https://speakerdeck.com/hiranabe/math-physics-and-dynamics-of-drone-in-hakoniwa>

ドローンの数値シミュレーション

- 微分方程式を数値シミュレーションする方法
 - オイラー法
 - ルンゲクッタ法
- 機体パラメータ

- 微分方程式 (例)

- $\frac{dx}{dt} = -\frac{T}{m} (\cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \psi \sin \varphi) - \frac{d}{m} x = F(t, x(t))$

- オイラー法

- 時間微分を以下のように展開

- $\frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = F(t, x(t))$

- 時間 $t + \Delta t$ の $x(t + \Delta t)$

- $x(t + \Delta t) = F(t, x) \Delta t + x(t)$

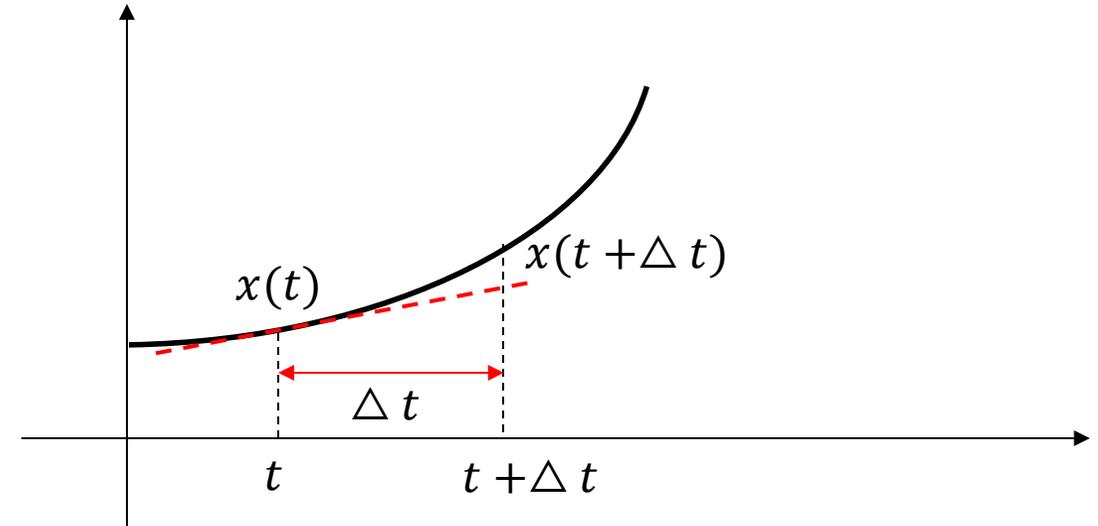
- シミュレーションでは、

- 初期値 $x(0)$ およびパラメータ決めて、

- $F(x) \Delta t$

- を連続して足し上げていきます。

- (他の変数の値 φ や θ 等も同様にして計算します)



メリット	実装が簡単
デメリット	Δt を十分に小さくしないと、誤差が大きくなる可能性があります。 (今回は、0.003secとしています)

- 4次ルンゲ=クッタ法

- $k_1 = F(t, x(t))$

- $k_2 = F(t + \frac{\Delta t}{2}, x(t) + \frac{\Delta t}{2} k_1)$

- $k_3 = F(t + \frac{\Delta t}{2}, x(t) + \frac{\Delta t}{2} k_2)$

- $k_4 = F(t + \Delta t, x(t) + \Delta t k_3)$

- $\frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$

- 考え方

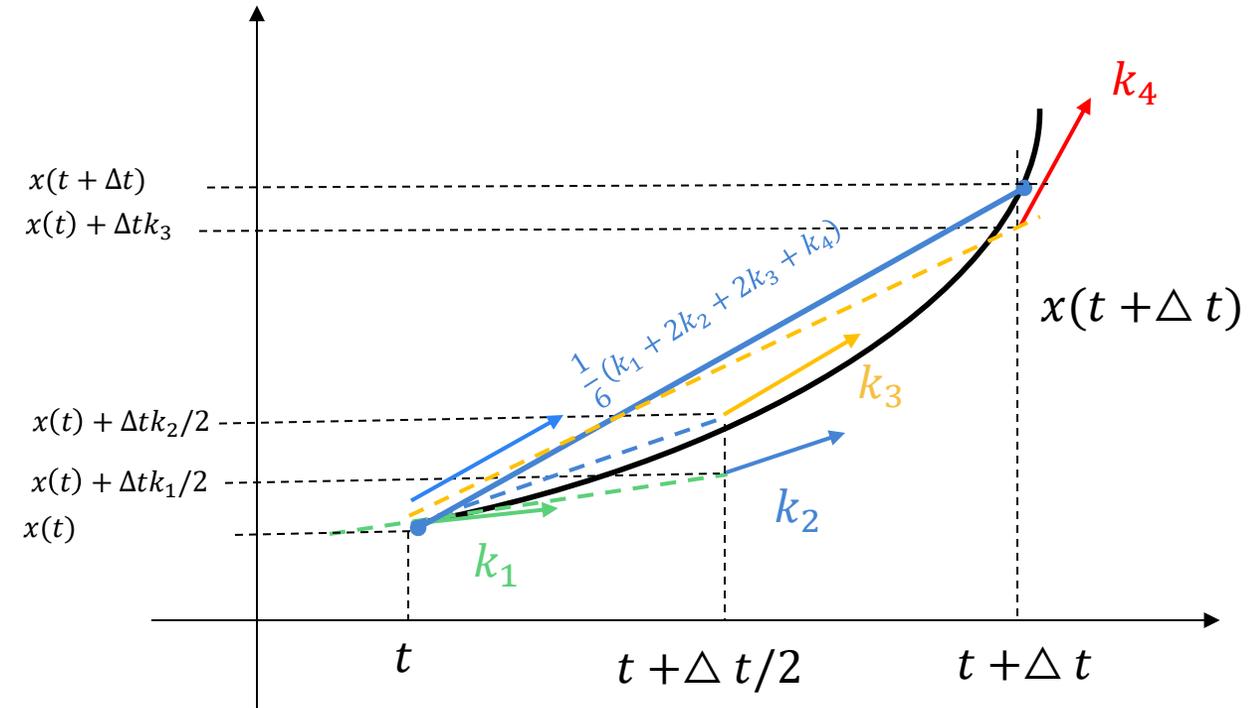
- 4つの傾きの平均値から次の時間を予測する

- k_1 : 時刻 t の傾き。

- k_2 : 時刻 $t + \frac{\Delta t}{2}$ の傾き。 x は k_1 から予測したものを利用

- k_3 : 時刻 $t + \frac{\Delta t}{2}$ の傾き。 x は k_2 から予測したものを利用

- k_4 : 時刻 $t + \Delta t$ の傾き。 x は k_3 から予測したものを利用



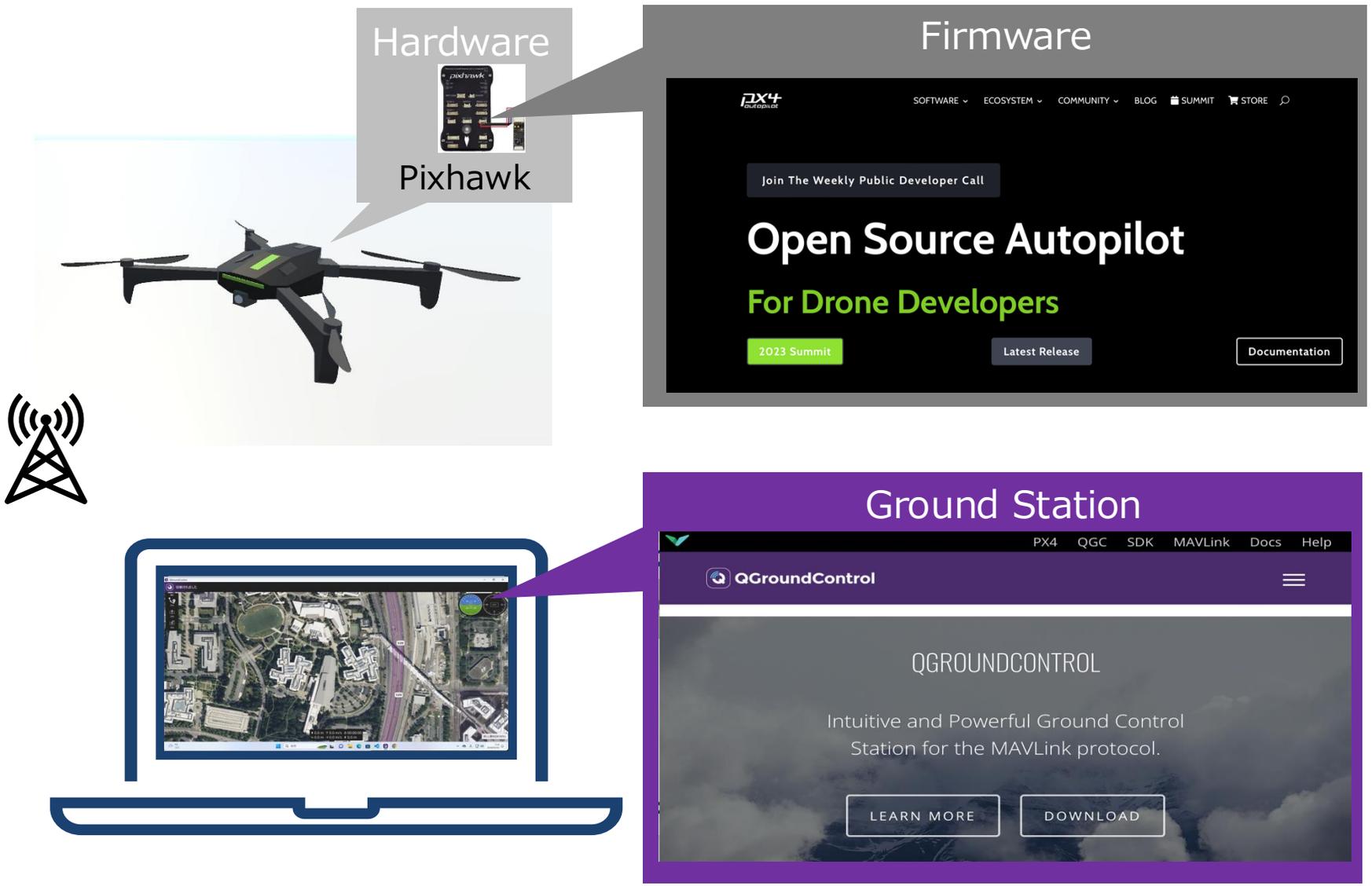
メリット	実装はそれほど難しくない オイラー法より精度が良い
デメリット	計算量が若干多くなる

機体のパラメータ

パラメータ	役割	単位	パラメータ値の決め方	パラメータ値
d	空気抵抗係数	N	えいやで決めました	0.05
Ixx, Iyy, Izz	慣性モーメント	$Kg \cdot m^2$	本物の機体を参考にしました	0.0061, 0.00653, 0.0116
m	機体の質量	Kg	本物の機体を参考にしました	0.71
Tr	ロータの応答時間	s	本物の機体を参考にしました	0.046
Kr	ロータのゲイン	Kg	本物の機体を参考にしました	27654
A	ロータ推力の比例係数	$N \cdot s^2$	本物の機体を参考にしました	8.30482e-07
B	反トルクの比例係数	$N \cdot m \cdot s^2$	本物の機体を参考にしました	3.0E-8
Jr	ロータの慣性モーメント	$N \cdot m \cdot s^2$	本物の機体を参考にしました	0
Rotor position	ロータの配置	m	本物の機体を参考にしました	<pre>{ "position": [0.103, 0.103, 0], "rotationDirection": 1.0}, {"position": [-0.103, -0.103, 0], "rotationDirection": 1.0}, {"position": [0.103, -0.103, 0], "rotationDirection": -1.0}, {"position": [-0.103, 0.103, 0], "rotationDirection": -1.0} }</pre>
Hovering RPM	ホバリング時のロータ回転速度	rpm	本物の機体を参考にしました	13827
Max RPM	ロータの最大回転速度	rpm	本物の機体を参考にしました	27654



ドローン・オープンソース技術



- 何ものか
 - ドローンのファームウェア
 - オートパイロット用のフライトスタック
- 主な用途
 - 様々な機体を選択できる
 - マルチコプター、固定翼、VTOL
 - 地上走行ロボット、水中ドローン
 - 豊富なソフトウェアが揃っている
 - 機体制御プログラム
 - 周辺ドライバ
- 動作環境
 - POSIX準拠のOS
 - NuttX OS (組み込み向け)
 - Linux、MacOS (シミュレータ向け)

```
[0/1] launching px4 none_iris (SYS_AUTOSTART=10016)

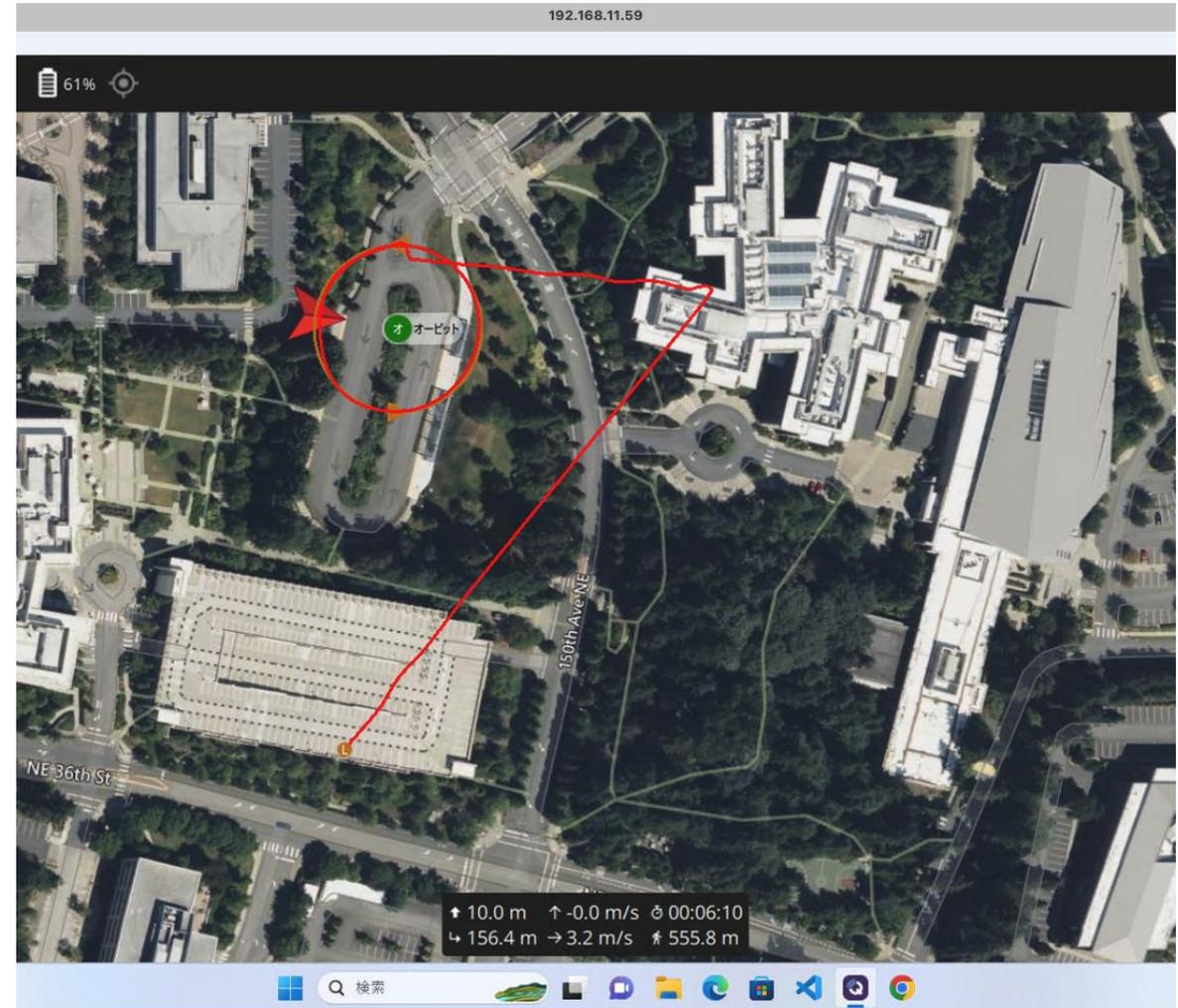
PX4

px4 starting.

INFO [px4] startup script: /bin/sh etc/init.d-posix/rcS 0
env SYS_AUTOSTART: 10016
INFO [param] selected parameter default file parameters.bson
INFO [param] importing from 'parameters.bson'
INFO [parameters] BSON document size 839 bytes, decoded 839 bytes (
INT32:15, FLOAT:24)
INFO [param] selected parameter backup file parameters_backup.bson
INFO [dataman] data manager file './dataman' size is 7868392 bytes
INFO [init] PX4_SIM_HOSTNAME: 127.0.0.1
```



- 何ものか
 - ドローンの地上局システム用のアプリケーション
- 主な用途
 - 地上から機体を遠隔操作し、
 - 様々なミッションを実行できる
- サポートしているファームウェア
 - PX4
 - ArduPilot
- 動作環境
 - Windows
 - Linux
 - MacOS

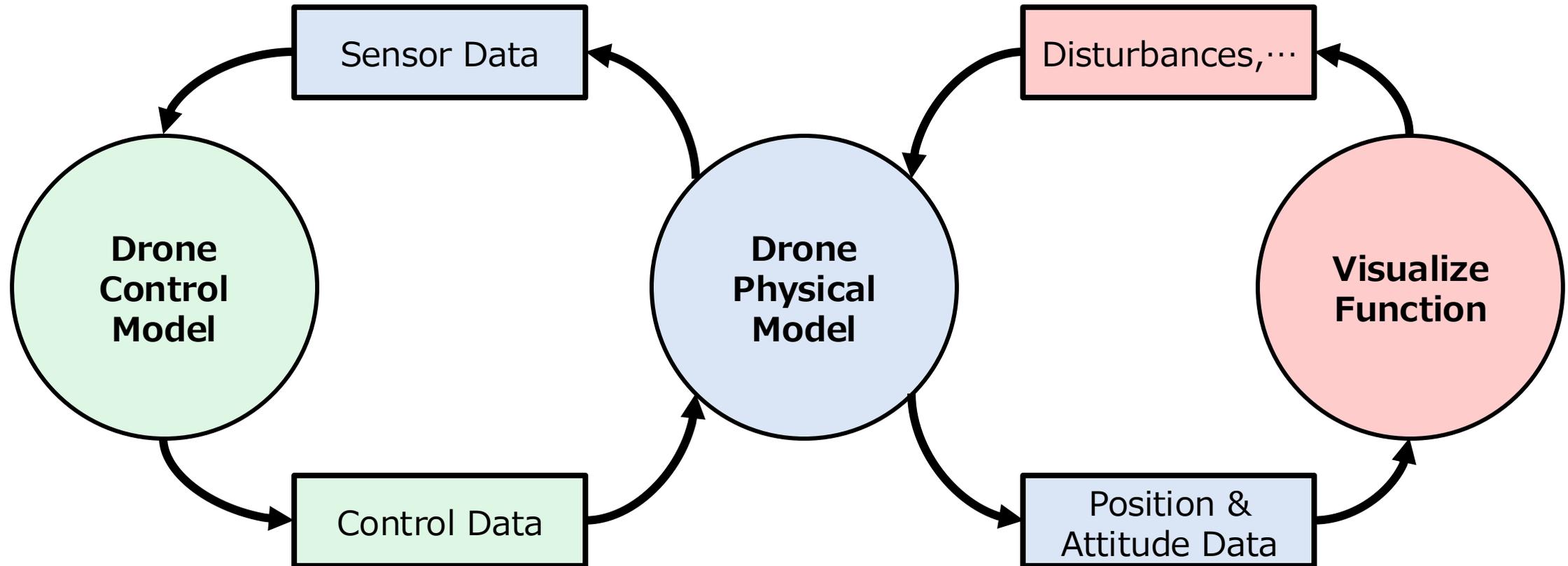


箱庭ドローンシミュレータのアーキテクチャ

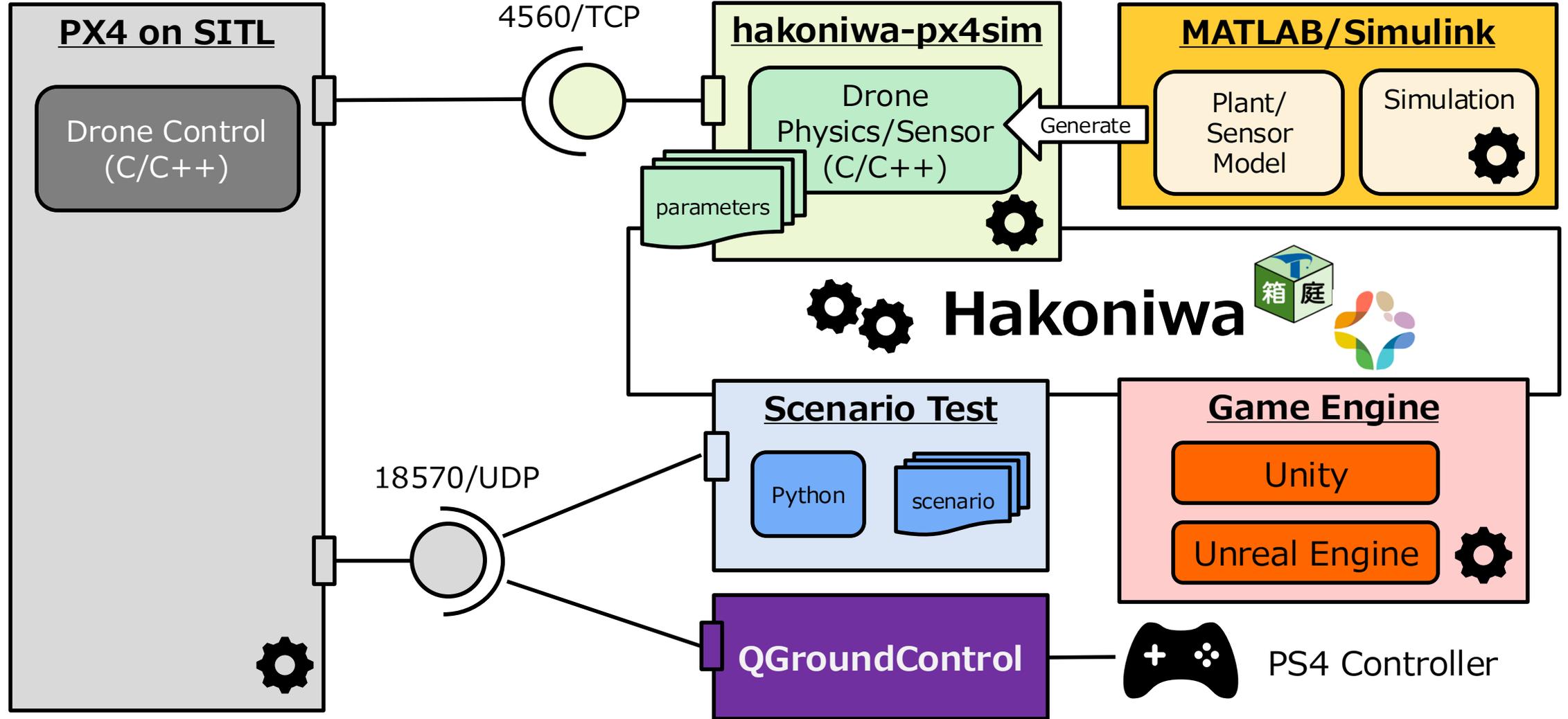
- 目指す姿
- アーキテクチャ
- デモ



- 「制御モデル」、「物理モデル」、「ビジュアライズ」を3つの独立した機能と捉え、
- 箱庭がそれらを統合する！



箱庭ドローンシミュレータのアーキテクチャ



箱庭は様々なソフトウェアを繋げるハブです！



箱庭ドローンシミュレータのデモ

The image displays a development environment with two main windows. The left window is a code editor showing the configuration file `drone_config.json` for a drone simulation. The right window is a 3D simulation view showing a drone model in a virtual environment with a green cube.

```
hakoniwa > config > {} drone_config.json > {} simulation > {} location
32   }
33 }
34 }
35 "components": {
36   "droneDynamics": {
37     "physicsEquation": "BodyFrameMatlab",
38     "collision_detection": true,
39     "manual_control": false,
40     "airFrictionCoefficient": [ 0.0001, 0.0 ],
41     "inertia": [ 0.0000625, 0.00003125, 0.00009375 ],
42     "mass_kg": 0.1,
43     "body_size": [ 0.1, 0.1, 0.01 ],
44     "position_meter": [ 0, 0, 0 ],
45     "angle_degree": [ 0, 0, 0 ]
46   },
47   "rotor": {
48     "vendor": "None",
49     "Tr": 0.05,
50     "Kr": 8000,
51     "rpmMax": 8000
52   },
53   "thruster": {
54     "vendor": "None",
55     "rotorPositions": [
56       { "position": [ 0.05, 0.05, 0 ], "rotationDirection": 1.0 },
57       { "position": [-0.05, -0.05, 0 ], "rotationDirection": 1.0 },
58       { "position": [ 0.05, -0.05, 0 ], "rotationDirection": -1.0 },
59       { "position": [-0.05, 0.05, 0 ], "rotationDirection": -1.0 }
60     ],
61     "HoveringRpm": 4000,
62     "parameterB": 1.3e-10,
63     "parameterJr": 1.0e-10
64   }
65 }
66 }
67 }
68 }
69 }
70 }
71 }
72 }
73 }
74 }
75 }
76 }
77 }
78 }
79 }
80 }
81 }
82 }
83 }
84 }
85 }
86 }
87 }
88 }
89 }
90 }
91 }
92 }
93 }
94 }
95 }
96 }
97 }
98 }
99 }
100 }
```

The 3D simulation view shows a drone model with a green cube. The drone is positioned at the origin (0,0,0) and is oriented towards the positive x-axis. The green cube is positioned at approximately (0.1, 0.1, 0.01) meters. The simulation is running in a virtual environment with a blue sky and a grey ground plane.



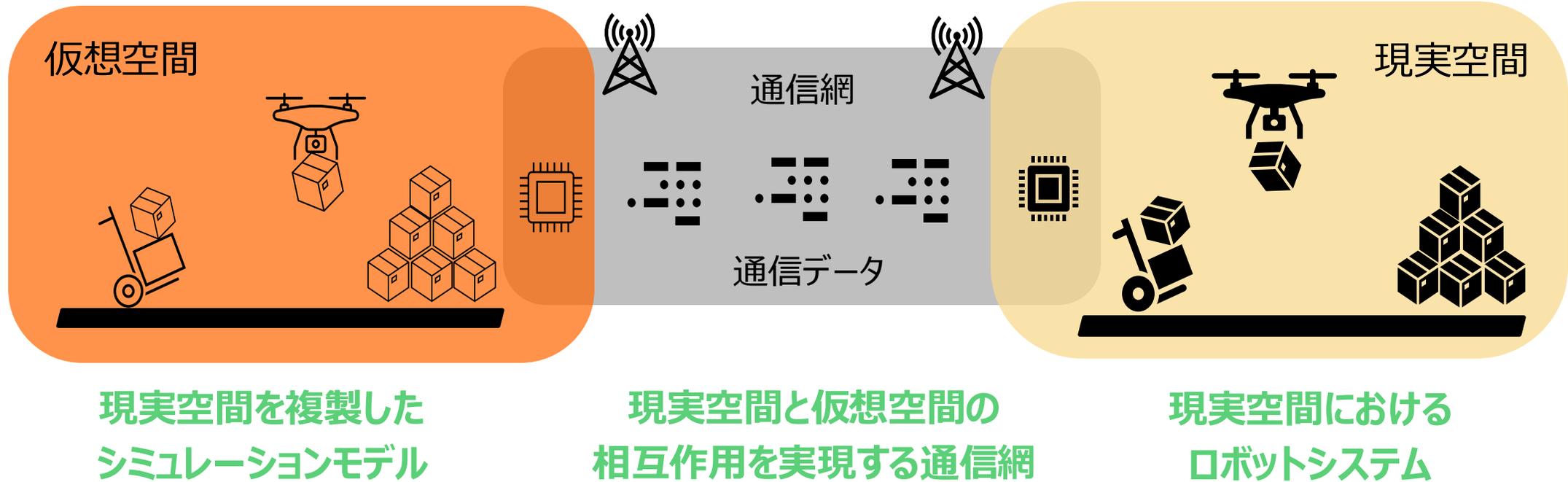
<https://www.youtube.com/watch?v=IEYTQkZcwB0>

アジェンダ

1. 今年が目玉！
2. 箱庭ドローンシミュレータ
3. **箱庭ブリッジ**
4. 箱庭まつり#2

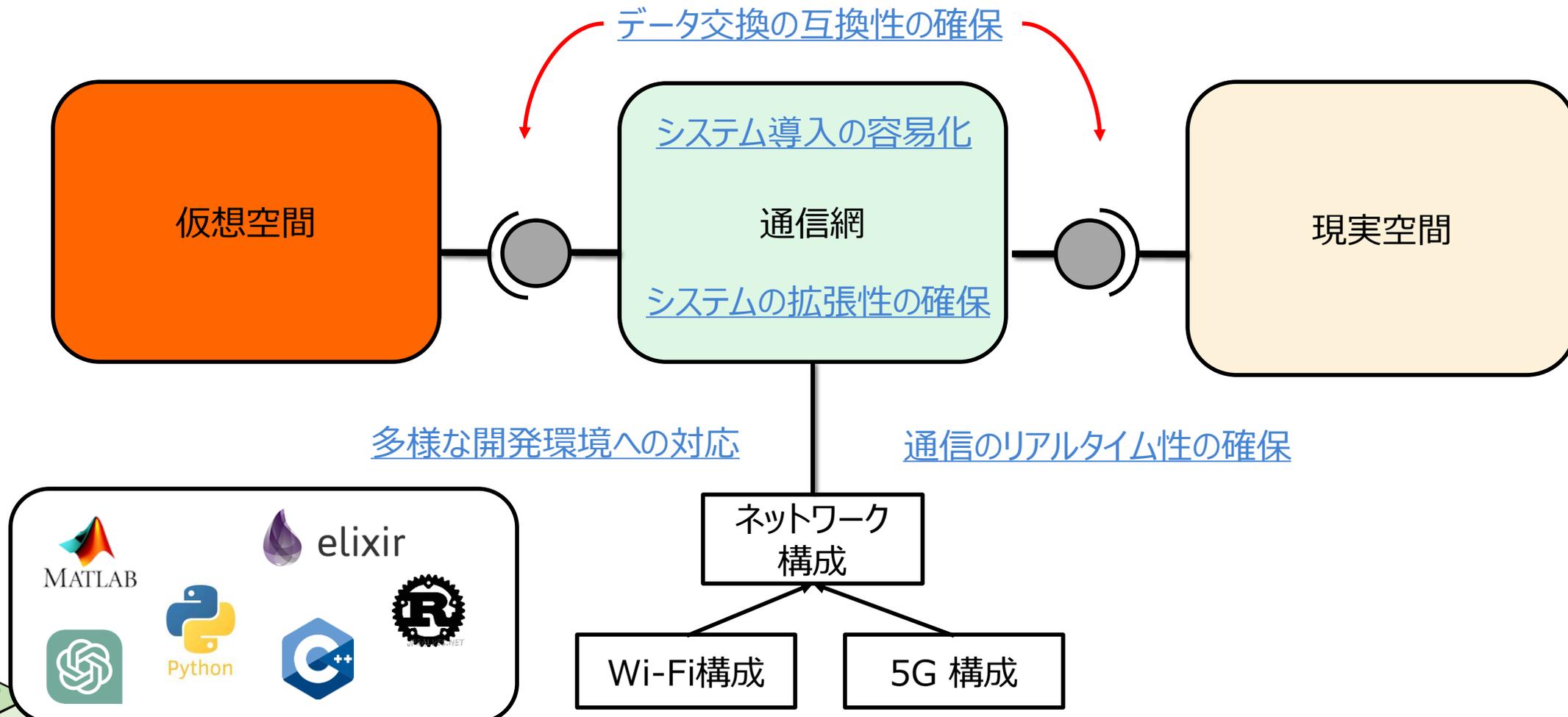


デジタルツインは現実空間と仮想空間の相互作用を実現する基盤技術

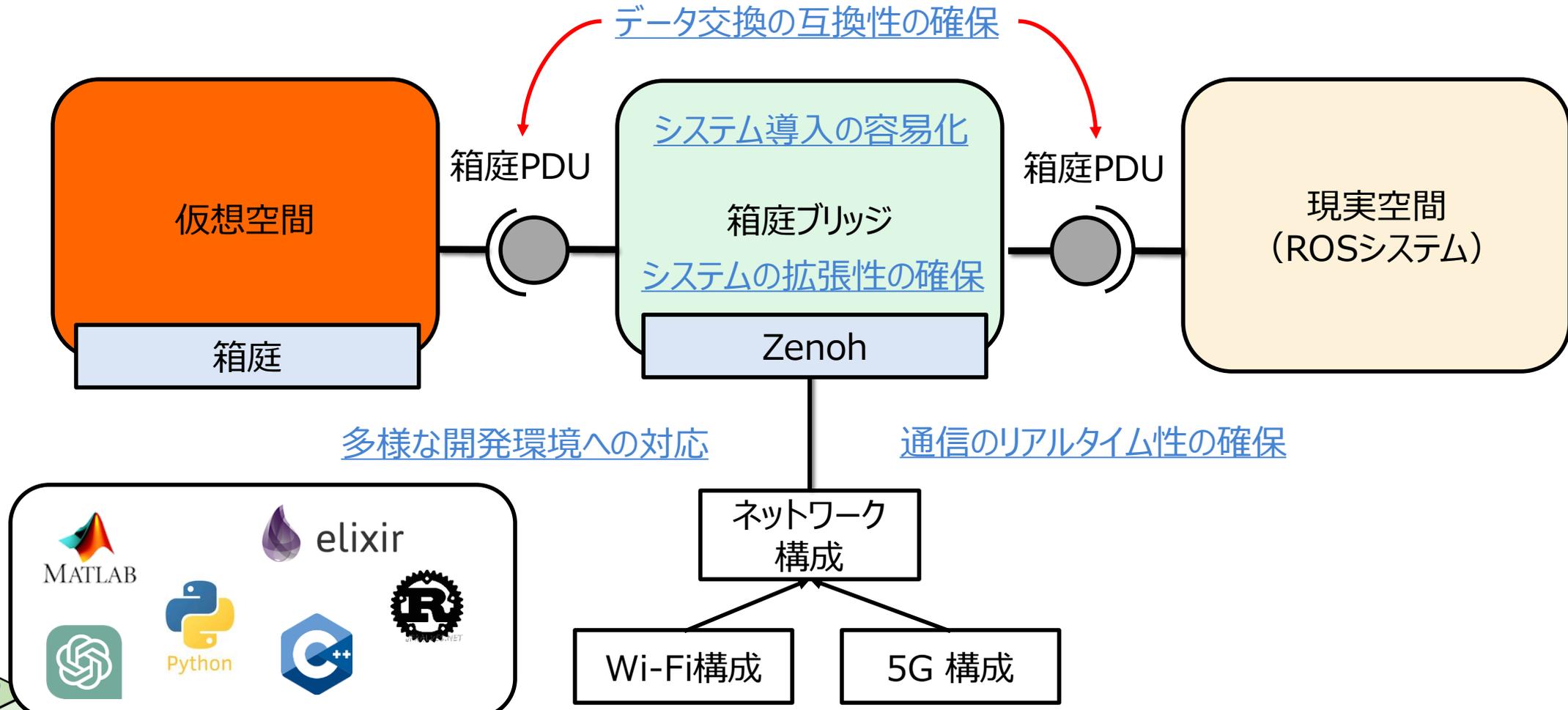


課題：仮想と現実には簡単に繋げることができない！

仮想空間と現実空間を繋げる上での課題



既存のROSシステムを仮想空間と手軽に繋げることができることを目指す！



Zenohとは？

- [ZettaScale Technology社](#)が開発
- オープンソース(Eclipse Project)の通信プロトコルおよびミドルウェア
- 特徴
 - 低遅延・高スループット
 - 様々な通信機能
 - 出版購読型、Key-Value Store に基づくデータ管理や計算処理の機能
 - 柔軟なネットワーク構成
 - Peer-to-Peer通信やNAT越えが可能
 - 多種のプログラミング言語の対応
 - Python や C/C++等
 - Zenoh のコア機能は Rust によって実装されている

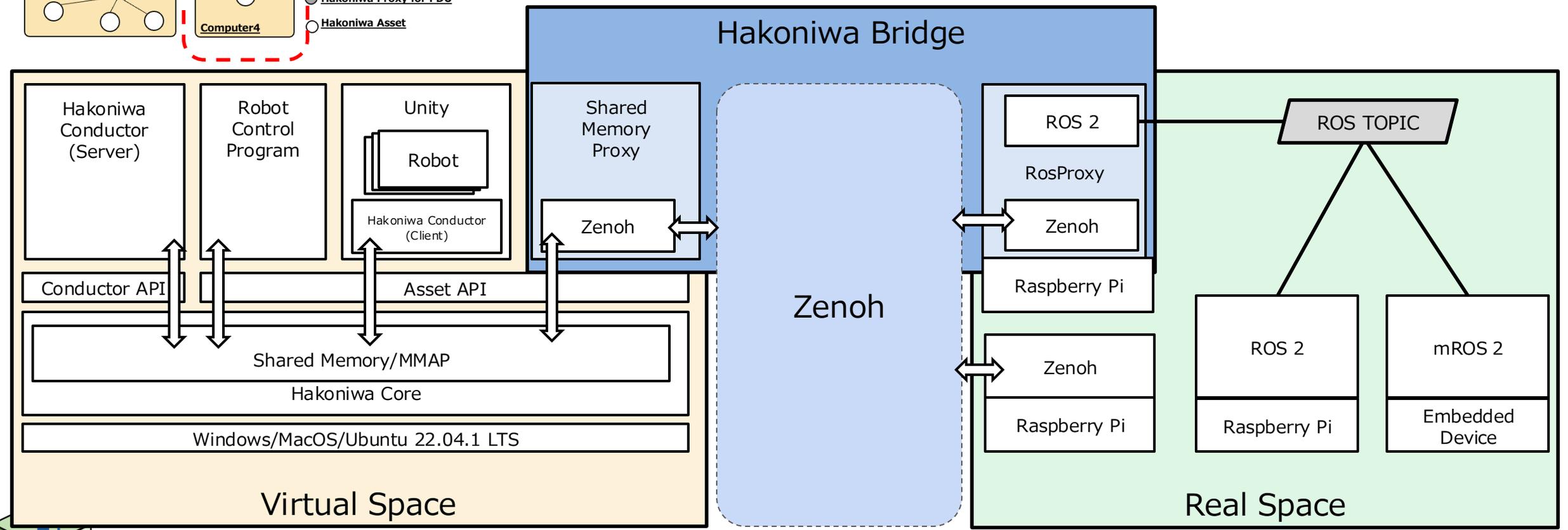
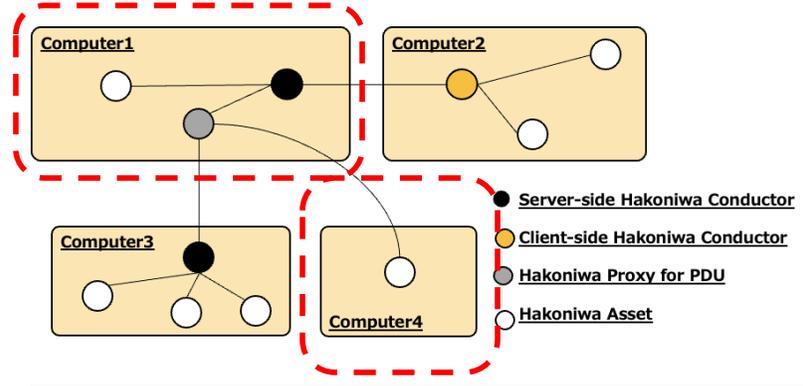


箱庭ブリッジのアーキテクチャ

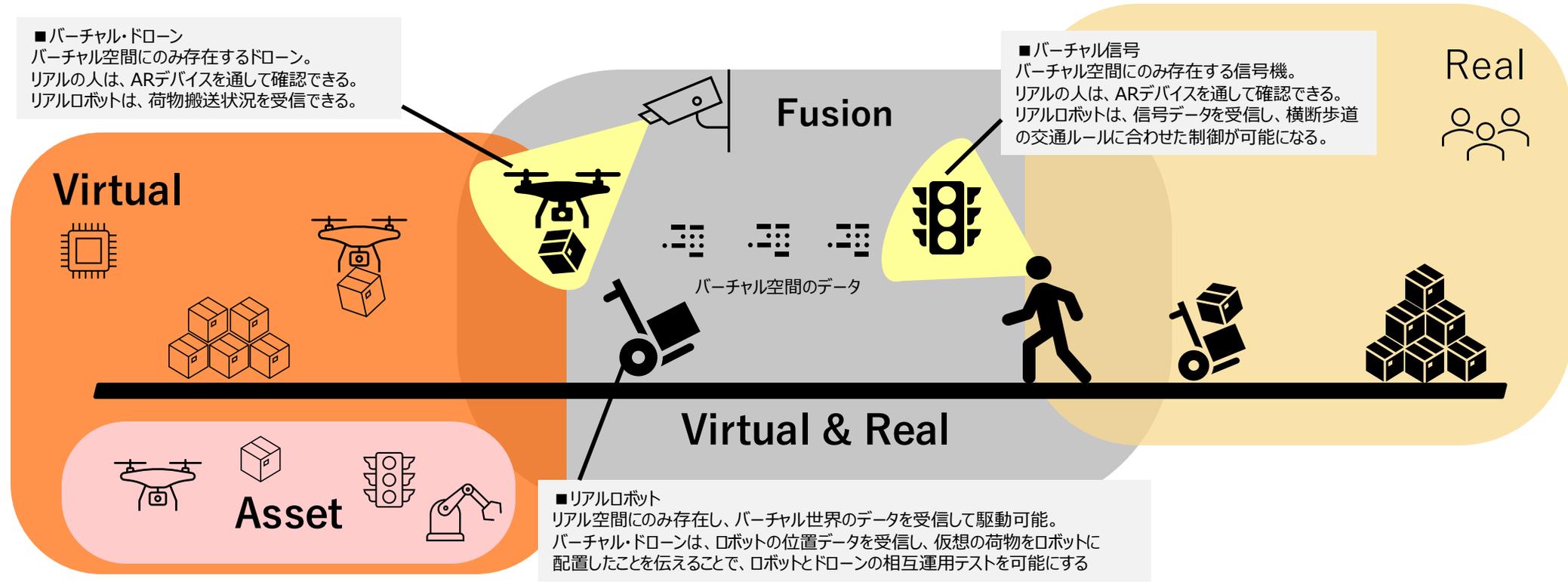


オープンソースで公開しています！

<https://github.com/toppers/hakoniwa-bridge>



箱庭ドローンとリアルロボットの統合デモ



バーチャル空間で安全な検証

バーチャルとリアルを融合したサービスの実現

MacBook Pro

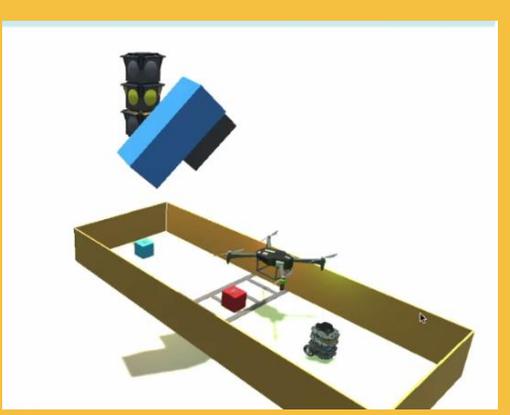


QUEST3



URG-04LX-UG01
(北陽電機)

Virtual

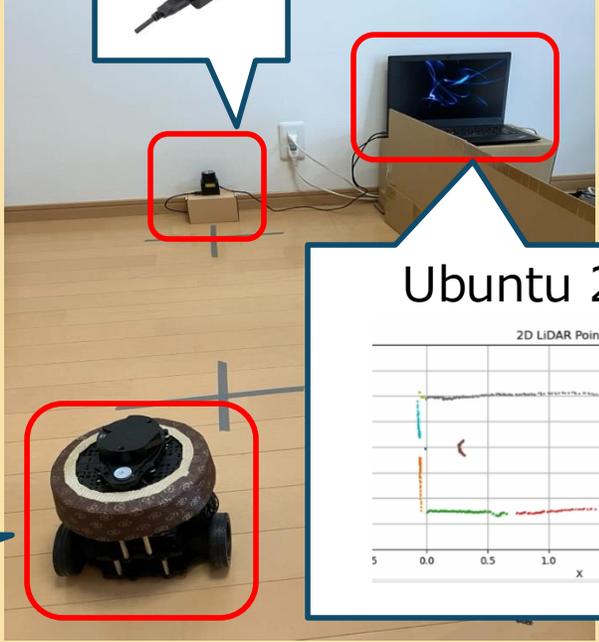


Virtual & Real

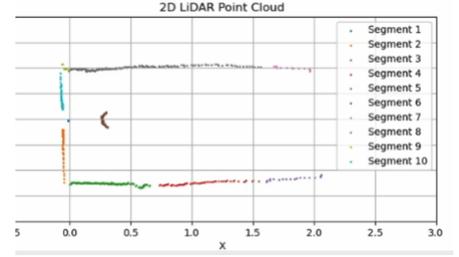
TurtleBot3



Real



Ubuntu 22.0.4



2D LIDAR Point Cloud

- Segment 1
- Segment 2
- Segment 3
- Segment 4
- Segment 5
- Segment 6
- Segment 7
- Segment 8
- Segment 9
- Segment 10

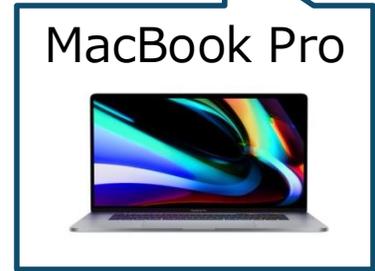
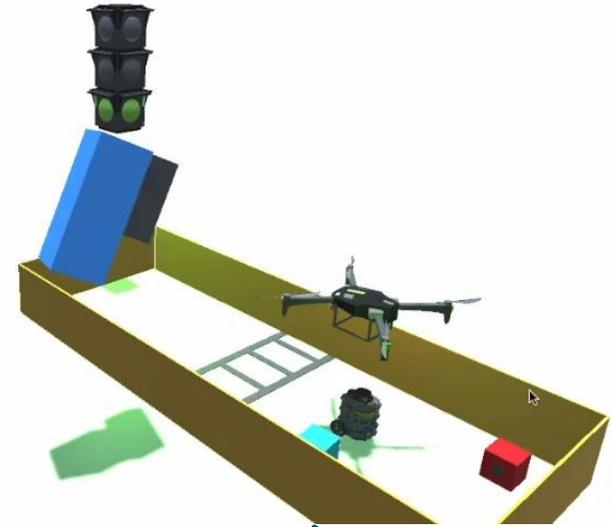
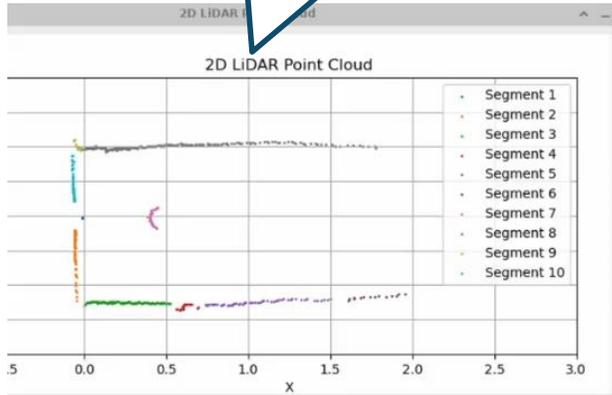
X

デモ環境のソースは、オープンソースで公開しています！
<https://github.com/toppers/hakoniwa-digital-twin>



デモ動画

URG-04LX-UG01 (北陽電機)



「箱庭まつり #2」を開催します！

• 今年の怒涛の成果を見て触れて総まとめ！ [+忘年会あり]

- 日時：2024年12月8日（日）13:00-17:30
- 会場：Good Space 西新宿401
 - 新宿西口駅（都営大江戸線）徒歩3分
 - <https://maps.app.goo.gl/AbS2e3vvWU61n8HaA>
- Connpassで参加者募集中です！



<https://hakoniwa.connpass.com/event/336520/>



第一部：ゲストトーク

平鍋 健児 さま



- [永和システムマネジメント](#) 社長
- タイトル：箱庭と森さんと私
- 箱庭へのヒトコト「箱庭ラボを設立して、オープンソースコミュニティをエンパワーしたい！ビジネスは今から考えます。」

柴田 善広 さま



- カイロンファイブ株式会社 代表取締役
- [@shiba_8ro](#) on X/Twitter
- タイトル：ブラウザベース3DCAD「OnShape」の紹介
- 箱庭へのヒトコト「デジタルツインでもゴリゴリのリアル側ロボット製作者ですが、皆さんと協力して双方の世界にロボットを実装したいです。」

第二部：話題提供



- 国井 雄介さん
 - JASAの取組みと箱庭を活用したデジタルツイン工場デモ紹介



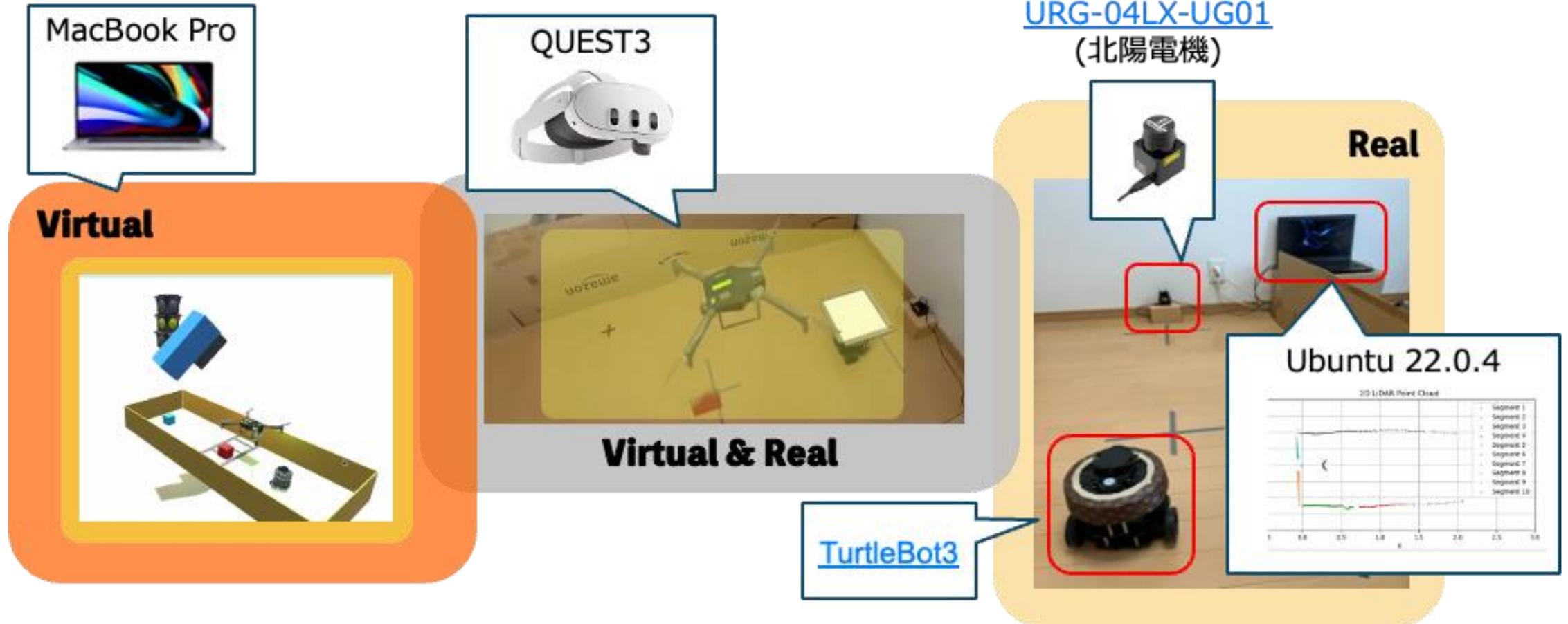
- 久保秋 真 さん
 - まだなんにも考えてません



- 森 崇 さん
 - これが大阪万博に向けた箱庭の最新アーキテクチャだっ！



第三部：箱庭体験会！



「箱庭まつり #2」を開催します！

- **今年の怒涛の成果を見て触れて総まとめ！ [+忘年会あり]**

- 日時：2024年12月8日（日）13:00-17:30
- 会場：Good Space 西新宿401
 - 新宿西口駅（都営大江戸線）徒歩3分
 - <https://maps.app.goo.gl/AbS2e3vvWU61n8HaA>

- Connpassで参加者募集中です！



<https://hakoniwa.connpass.com/event/336520/>

