

ドローン/PX4 を デジタルツインへと導く箱庭技術



一緒に創ろう

合同会社 箱庭ラボ



Lab#8, IPC, IST, UTokyo
Computing System Laboratory



TOPPERS

○森 崇（箱庭ラボ）

平鍋健児（永和システムマネジメント）

高田 光隆（名古屋大学）

久保秋 真（チェンジビジョン）

細合 晋太郎（ものつくり大学）

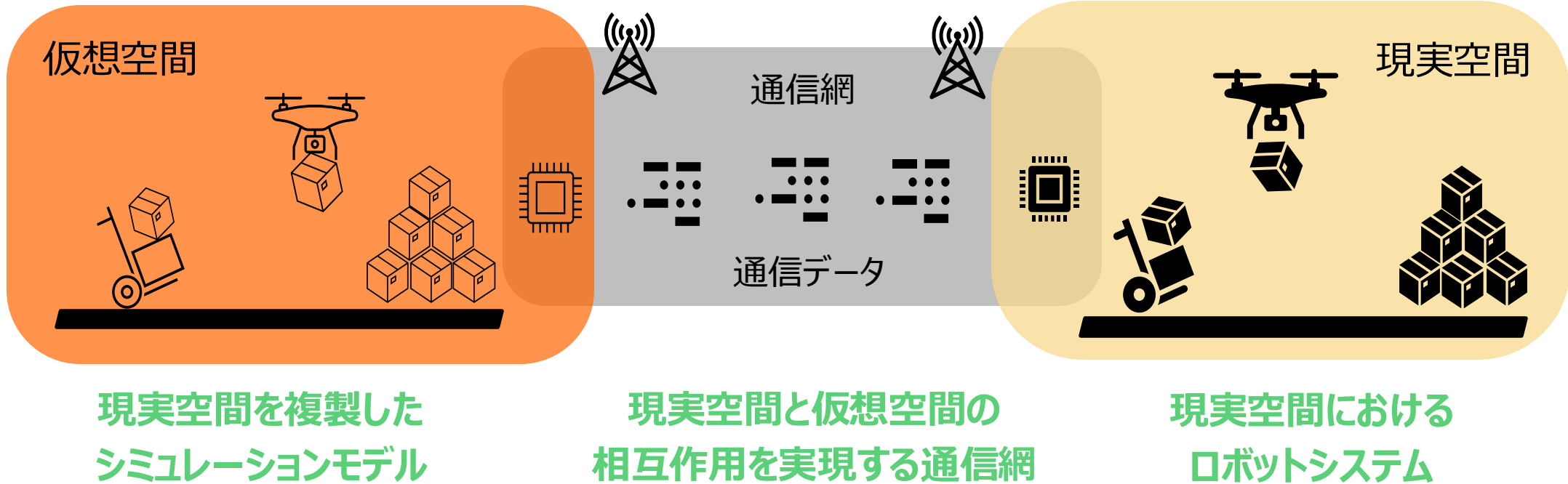
高瀬 英希（東京大学）

アジェンダ

1. 背景と狙い/課題の整理
2. 箱庭ブリッジ
3. Zenohとは？/箱庭とは？
4. PX4と連携可能な箱庭ドローンシミュレータとは？
5. 箱庭ドローンとリアルロボットの統合デモ
6. まとめと今後の展開

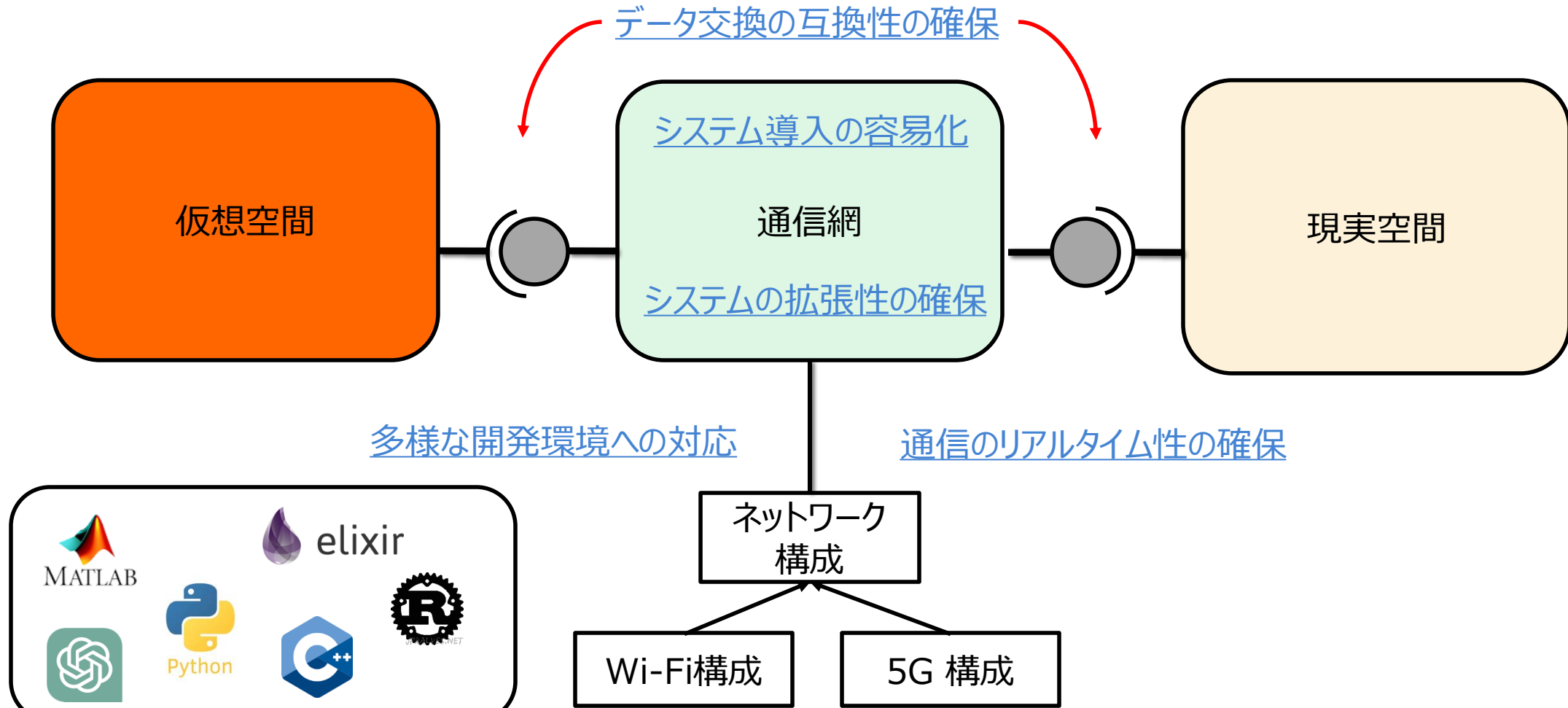
背景と狙い

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



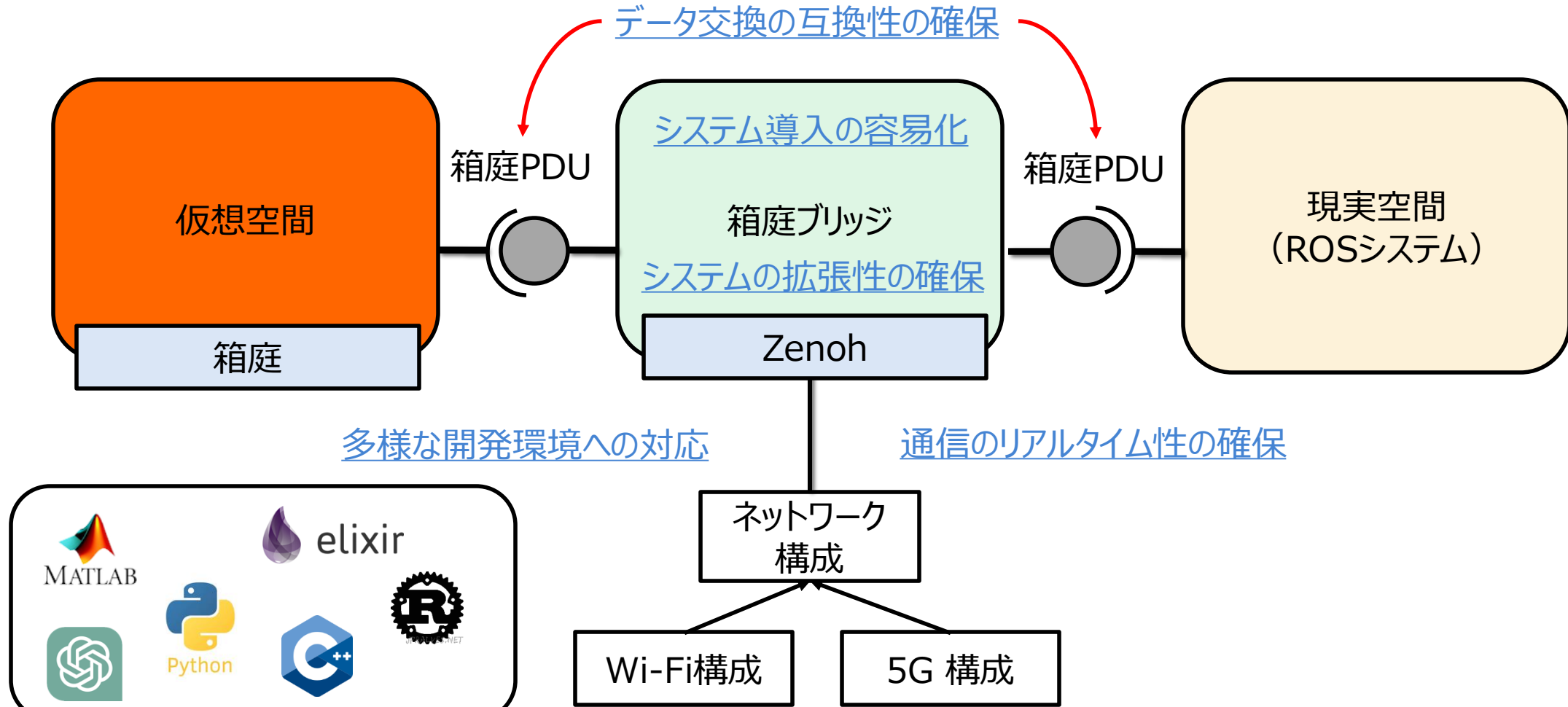
課題：仮想と現実は簡単に繋げることができない！

仮想空間と現実空間を繋げる上での課題



箱庭ブリッジ

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



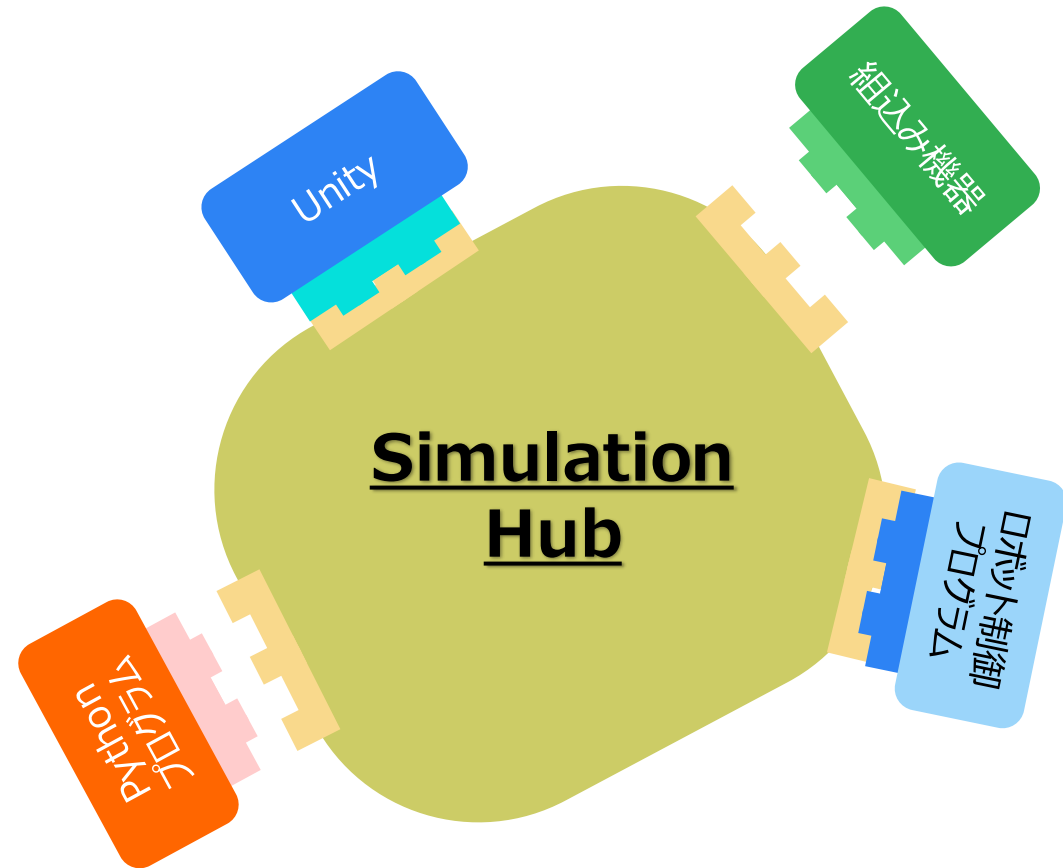
箱庭とは？

• 箱庭の目的：

- 様々な技術をつなげること
 - シミュレータ
 - 組み込み機器
 - プログラム(Python/C/C++...)
 - ゲームエンジン (Unity/Unreal Engine)

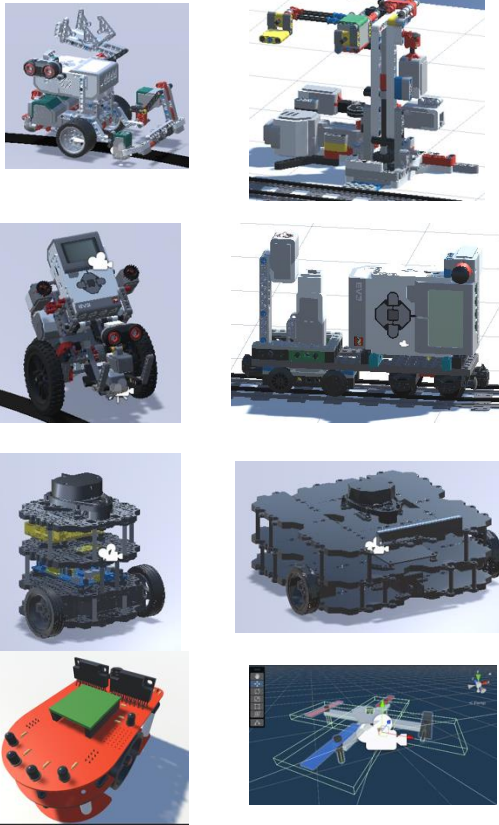
• 別の言い方をすると、

- シミュレーションHUB

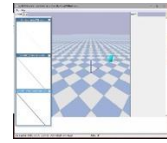


箱庭アセットの種類と適用事例

箱庭アセット (ロボット)



箱庭アセット (シミュレータ)



PyBullet



箱庭アセット (制御プログラム)



箱庭の適用例

オンライン・ロボット教育

VR体験

ロボット強化学習

STAMP/STPA
分析活用

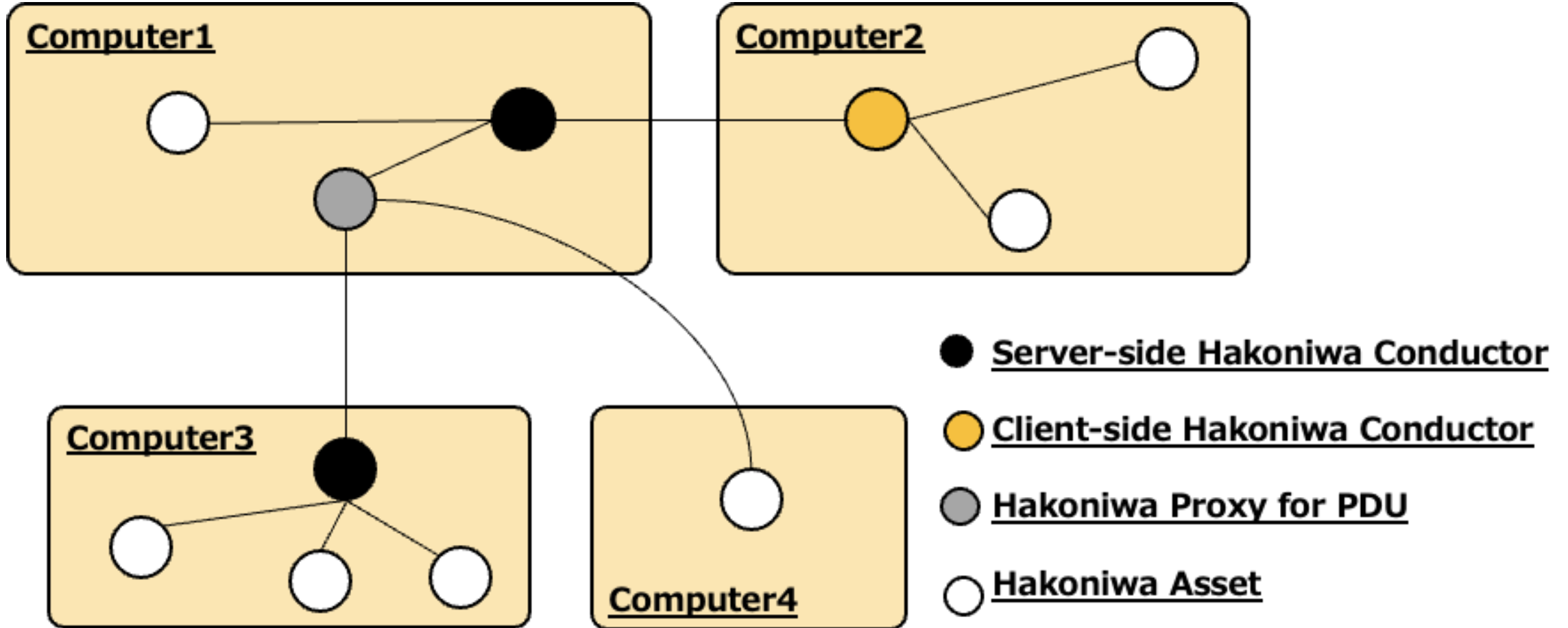
ドローン・シミュレーション

リアルとバーチャルの融合

箱庭のネットワーク基本構成

基本構成

負荷分散構成



クラウド連携/疎結合

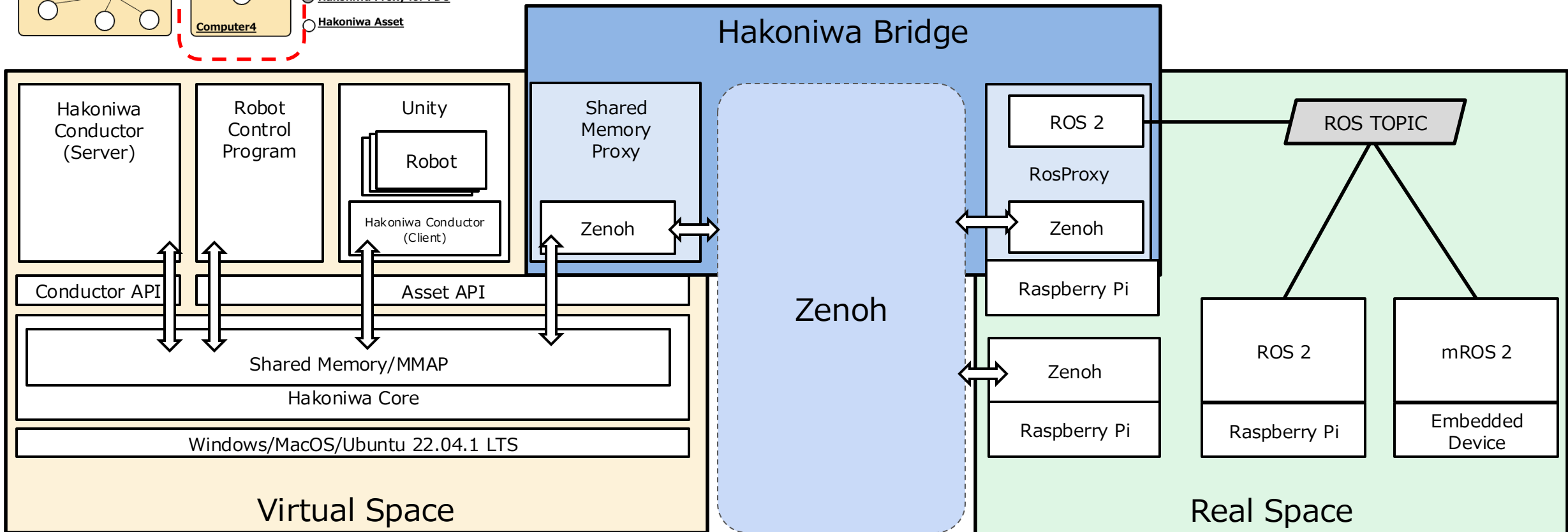
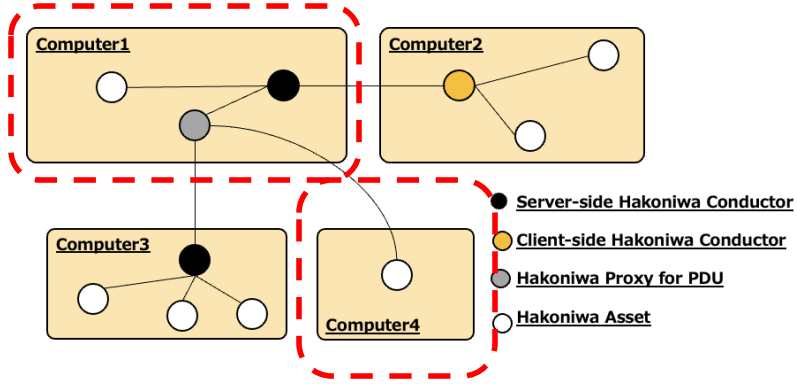
リアルとの連携構成

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>



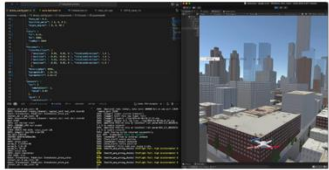
箱庭ブリッジが導くリアルとバーチャルの融合世界

TOPPERS / 箱庭ドローンシミュレータ

オープンソース箱庭を使えば、
安全な箱の中で、
自分好みの環境や制御をたくさん試せます！



世界中の都市でドローンを飛ばせます！

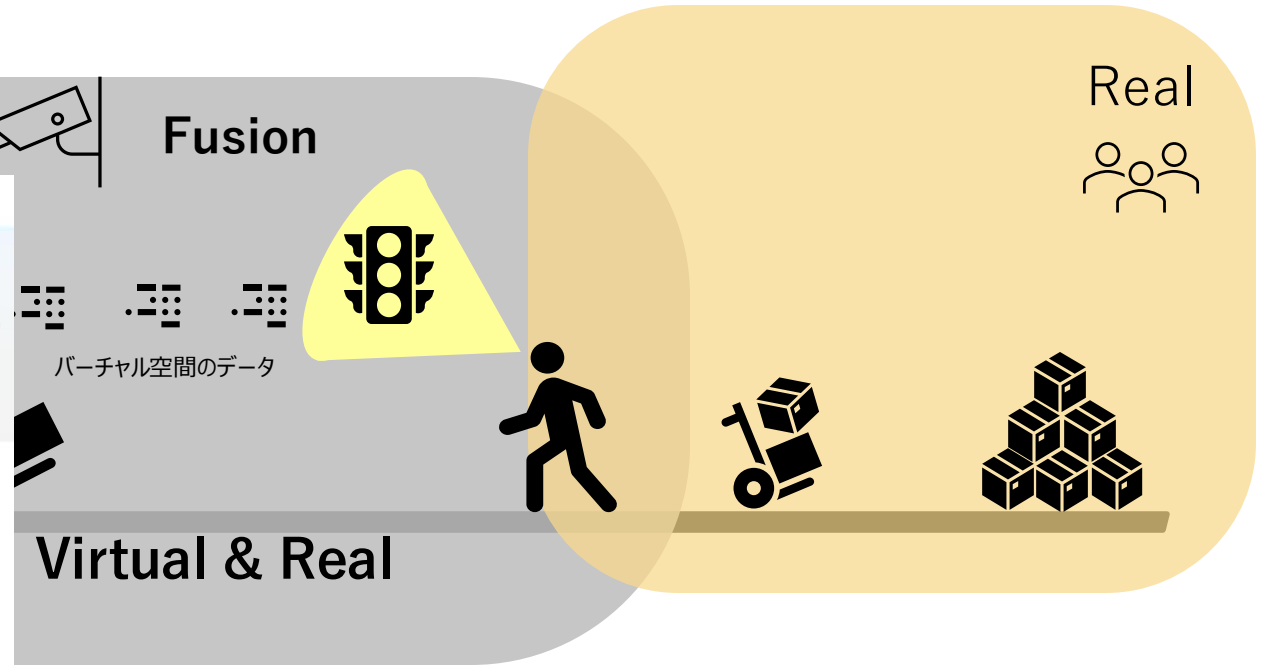


Plateau や Esri が提供している3D都市モデルを利用できます

PX4/QGC連携できます！



- ・PX4と連携したシミュレーションが可能です
- ・QGCを使ったウェイポイントの設定も可能です



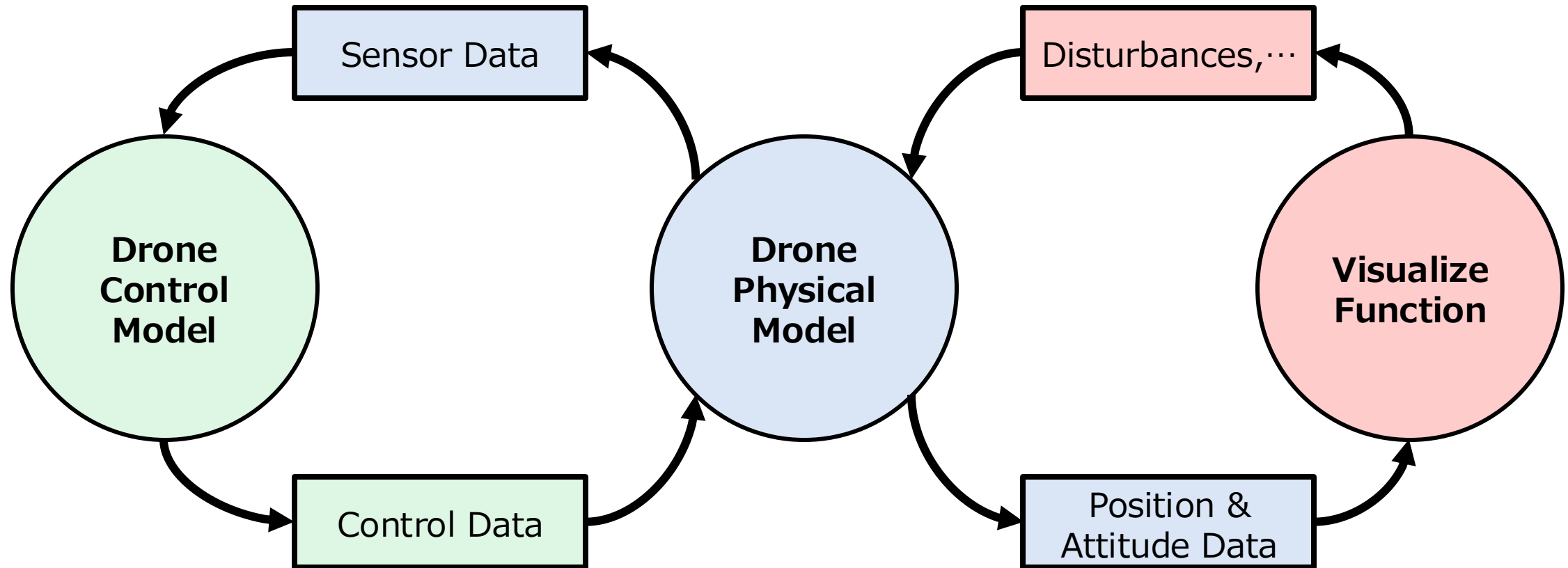
PX4と連携可能な箱庭ドローンシミュレータとは？

仮想空間のドローンを現実のPX4やQGCと連携するシミュレータ
→箱庭で実現されている

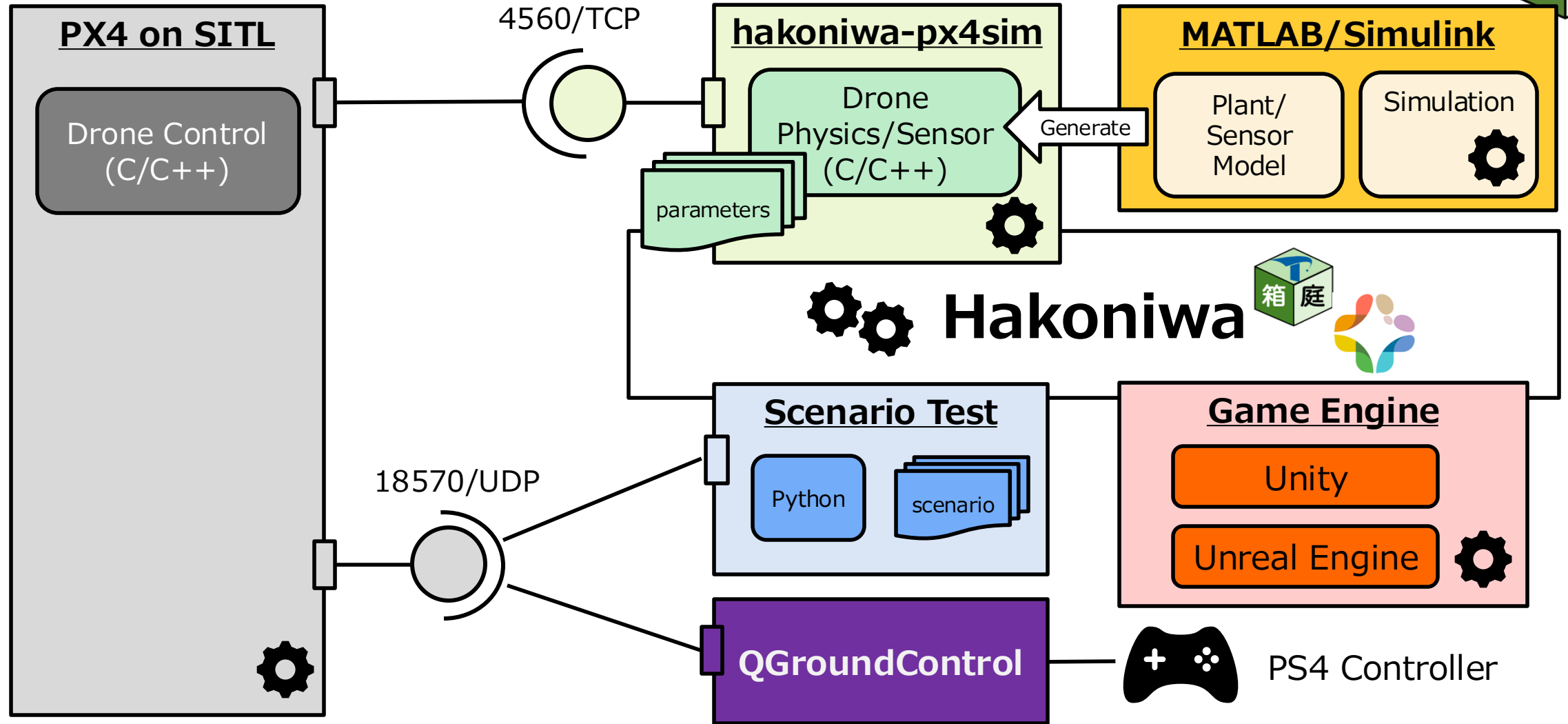


目指す姿

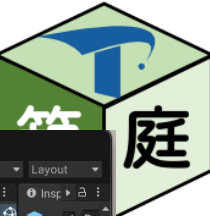
- 「制御モデル」、「物理モデル」、「ビジュアライズ」を3つの独立した機能と捉え、
- 箱庭がそれらを統合する！



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

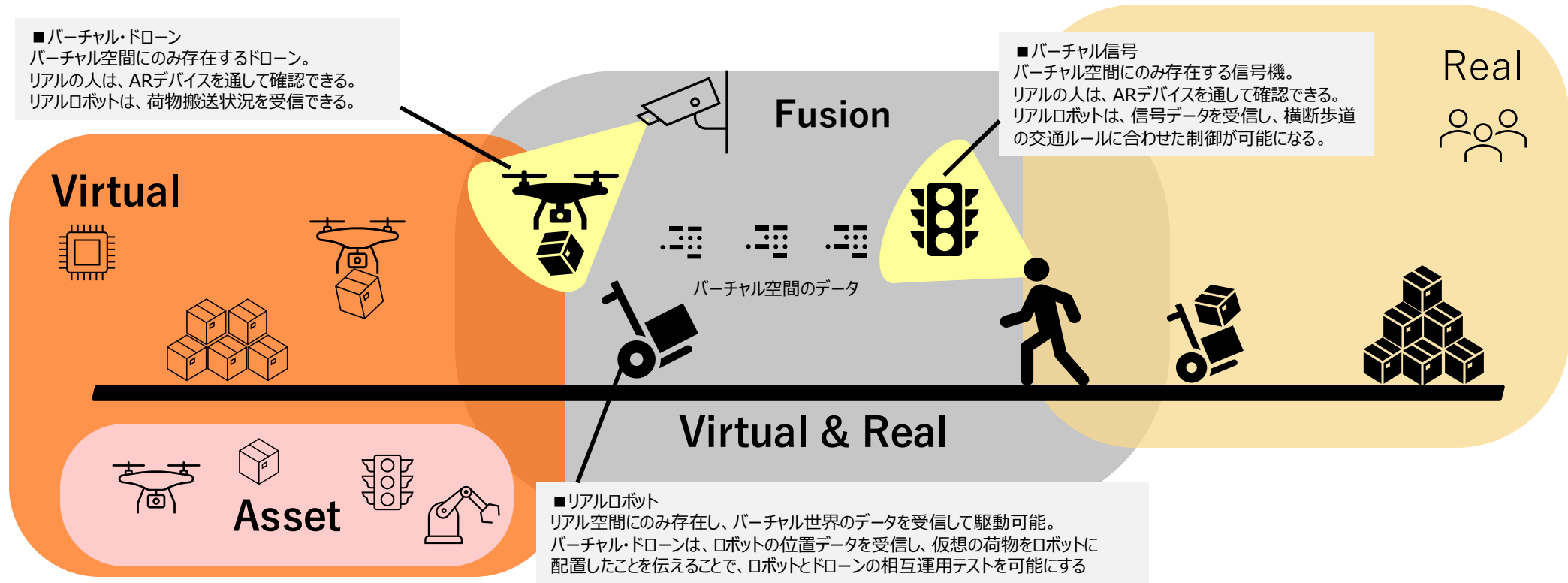
The image displays a development environment for a drone simulator. On the left, a code editor shows the configuration file `drone_config.json` with the following content:

```
{} drone_config.json M × hako_sim.cpp
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 top-right window shows a 3D scene in Unity with a drone model hovering over a green cube. The bottom-right window shows the QGroundControl interface, displaying a top-down view of a drone's flight path over a building complex. The interface includes a map, a compass, and various status indicators.

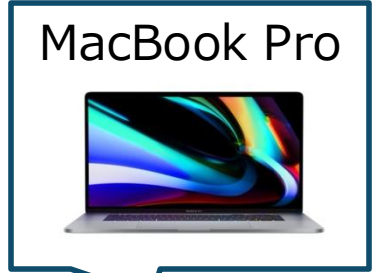
<https://www.youtube.com/watch?v=IEYTQkZcwB0>

箱庭ドローンとリアルロボットの統合デモ

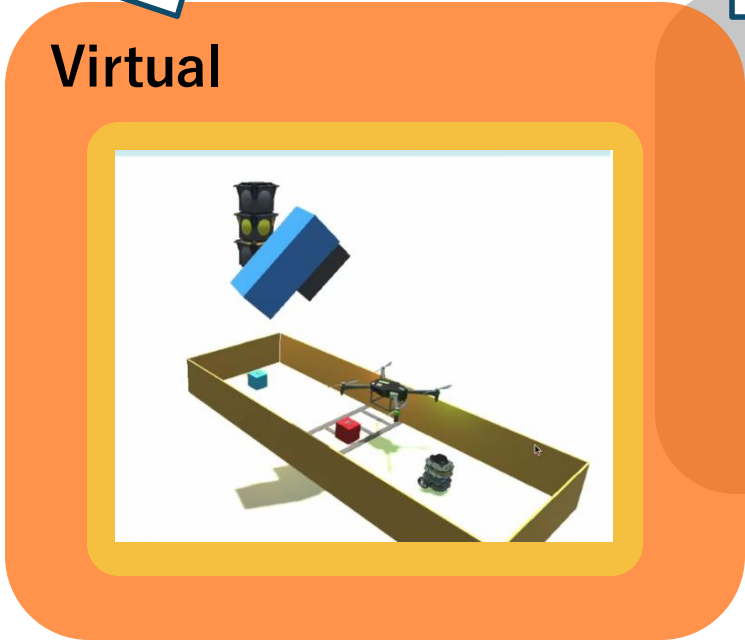


バーチャル空間で安全な検証

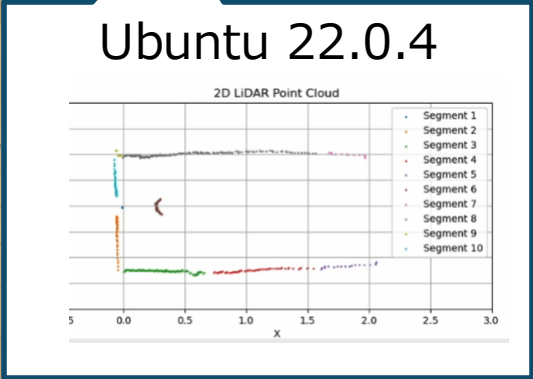
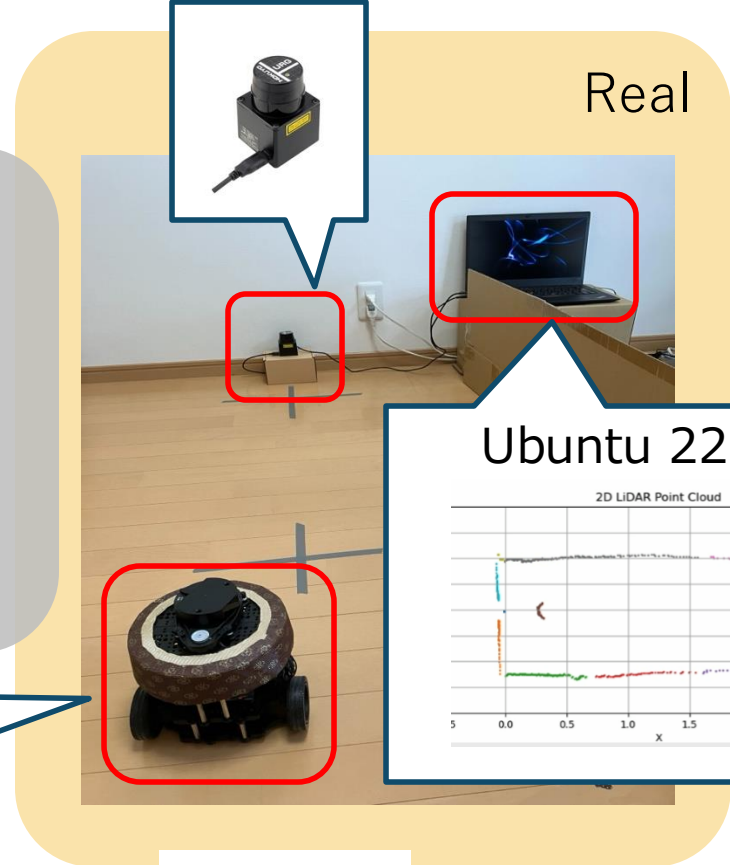
バーチャルとリアルを融合したサービスの実現



URG-04LX-UG01
(北陽電機)



Virtual & Real



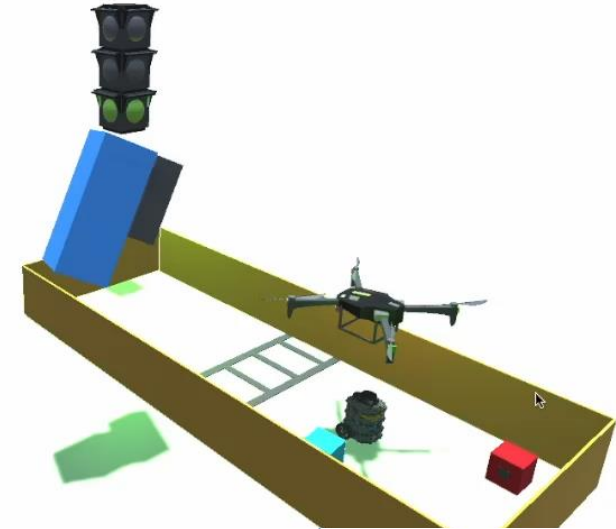
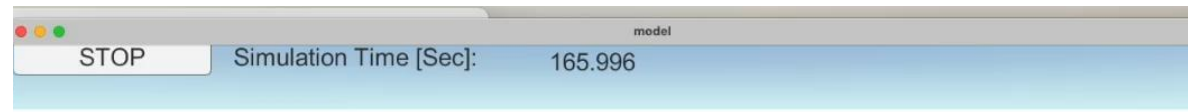
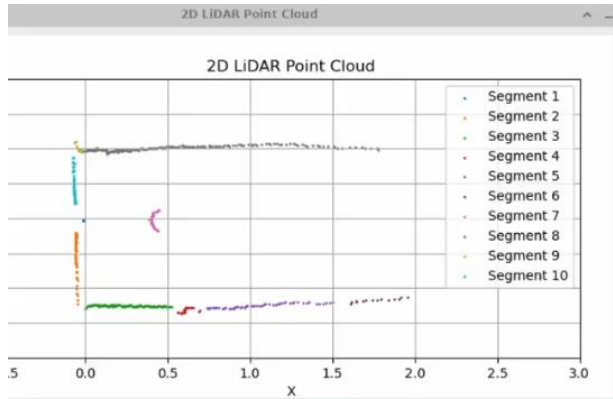
デモ環境のソースは、オープンソースで公開しています！
<https://github.com/toppers/hakoniwa-digital-twin>



デモ動画

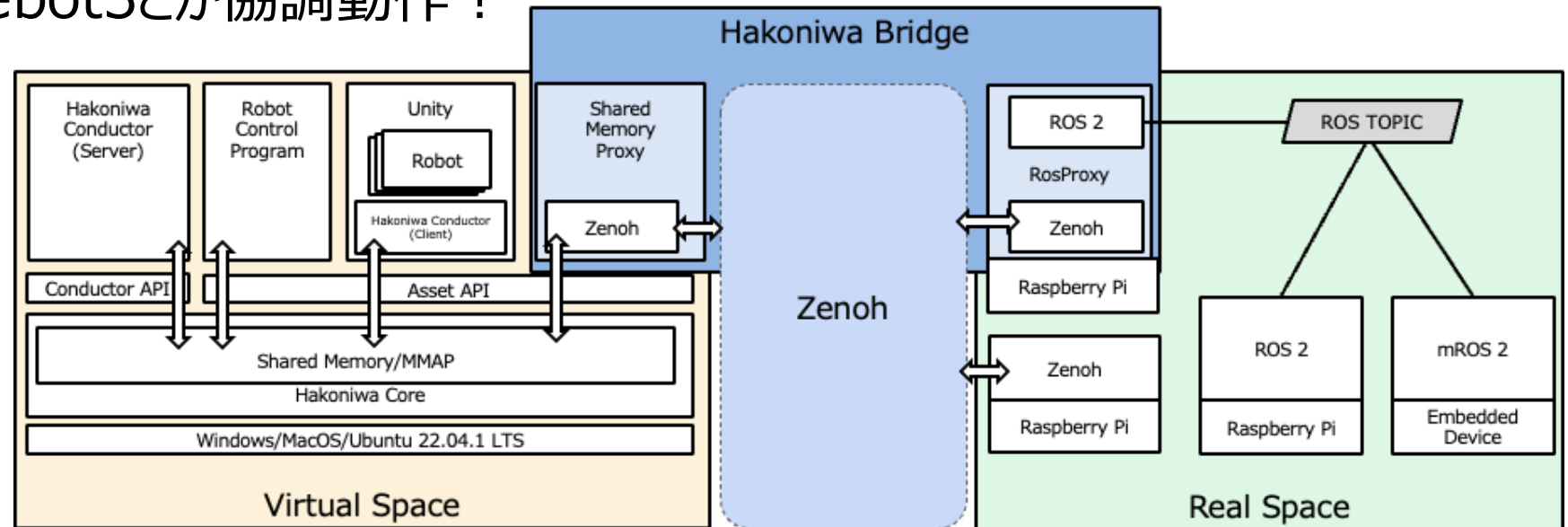


URG-04LX-UG01 (北陽電機)



まとめ

- 「箱庭ブリッジ」を公開
 - 既存のROSシステムを仮想空間に繋げる！
- 「Zenoh通信基盤」を採用
 - 5Gルータを超える低遅延で高効率なデータ転送を可能
- 「リアルとバーチャルの融合体験」ができた！！
 - 箱庭ドローンとTurtlebot3とが協調動作！



今後の展開

- 他シミュレータとの協調
 - Gazeboと箱庭を連携させ、双方の強みを生かす！
- リアルロボットとの統合事例の拡充
 - 工場などの産業分野におけるデジタルツインを箱庭で実現
- 箱庭ブリッジのROSパッケージ化
 - ROSユーザーが簡単に利用できるようにします
- 通信性能の定量的評価と大規模システムでの実証検証
 - Zenoh通信基盤の低遅延かつ高効率なデータ転送能力
 - 大規模なシステムにおける信頼性とスケーラビリティ

ご清聴

ありがとうございました！