

# SUSTAINA-OP™: 持続可能性を重視した子供サイズのオープンハードウェアプラットフォームヒューマノイドロボット —ハードウェアの更新・評価とシミュレーションモデルの公開—

○学 久保寺 真仁 ○野口 裕貴 井上 勲 正 林原 靖男 (千葉工業大学)

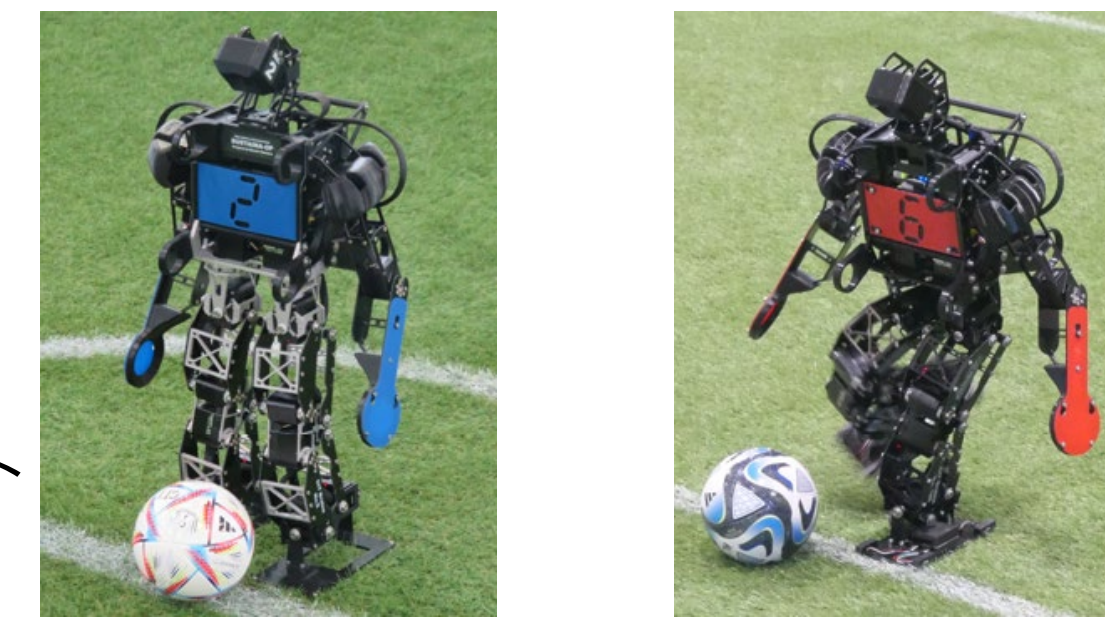
## 1. はじめに

### ヒューマノイドロボットの研究開発

- 人間の様な複雑な動作やタスクの実行能力を持つロボットの開発に焦点
- 高度なハードウェア開発に伴う高コストが課題

### 本研究の取り組み

- 持続可能性を重視した**オープンハードウェアプラットフォームヒューマノイドロボット SUSTAINA-OP™シリーズの開発 [1]
- ハードウェアの開発と維持費用の削減, 研究の促進を目指す**



(a) RoboCup2022 Edition (b) RoboCup2023 Edition  
Open hardware platform SUSTAINA-OP™

## 2. ロボカップに向けた開発

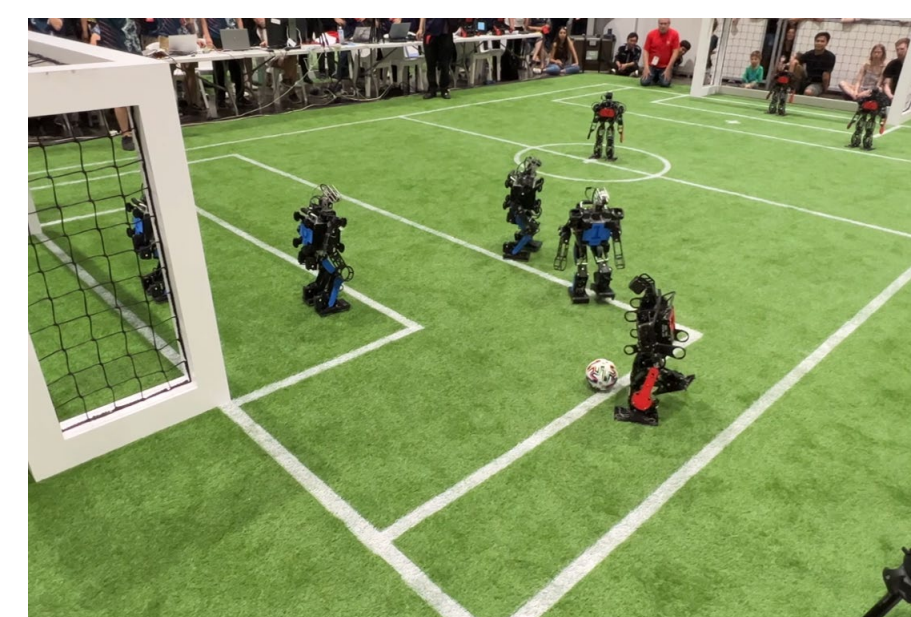
### ロボカップ: 人工知能とロボット工学の研究促進と普及を目指す

- 目標: 「2050年までに, サッカーの世界チャンピオンチームに勝つ自律移動のヒューマノイドロボットチームを作る」
- 知識の共有と協力を通じて共通の目標に向けた研究活動を促進することが望まれている

### ヒューマノイドリーグ: 二足歩行ロボットがサッカーを通じて技術課題に挑む

- 技術課題:** 自律動作, 状況認識, 適切な行動選択, 不整地での安定動作など
- 競技ルール:** 科学技術の進歩に合わせて更新され, FIFAルールに近づくことを目指す
  - 人工知能とロボット工学の進展を加速し, **実際のサッカーに近い環境での研究を促進**

RoboCup2023 Humanoid League Final  
<https://youtu.be/WMRjrZ45zCE>



The final match in RoboCup2023 Humanoid League

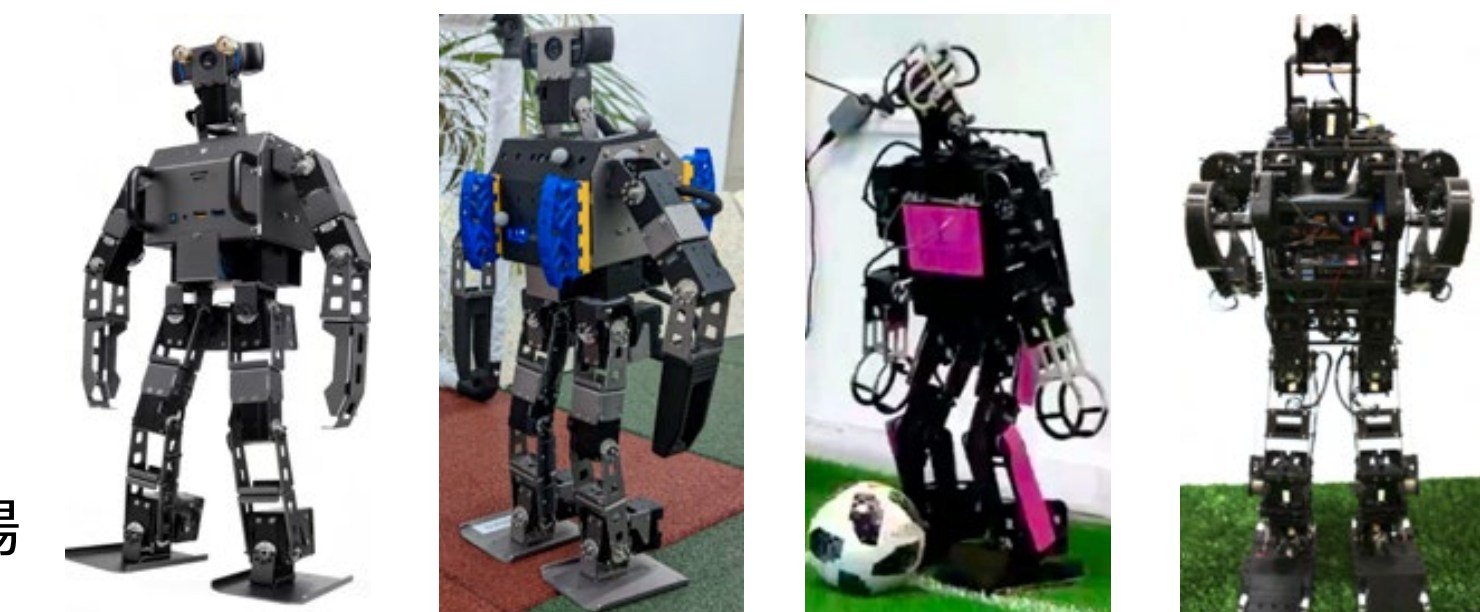
## 3. プラットフォームロボットの先行研究・開発

### DARwIn-OP (ROBOTIS-OP) シリーズ

- 2011年に提案, 幅広い研究者に利用される
- 後続のDARwIn-OP3 [2]を公開も, 販売終了
- 改良を施し, 深層強化学習の評価や実ロボットへの転用に利用される [3]

### ヒューマノイドリーグにおけるプラットフォームロボット

- Sigmaban+ [3], Wolfgang-OP [4]などの新しいプラットフォームが登場
- より複雑な環境での性能向上や, 転倒時の故障リスクの低減などに注目
- 長期的に検証に利用できる高い柔軟性と堅牢性が求められる**



(a) ROBOTIS-OP3 [2] (b) Modified ROBOTIS-OP3 [3] (c) Sigmaban+ [4] (d) Wolfgang-OP [5]  
The major platform robots in recent years.

## 4. ロボットプラットフォーム SUSTAINA-OP™

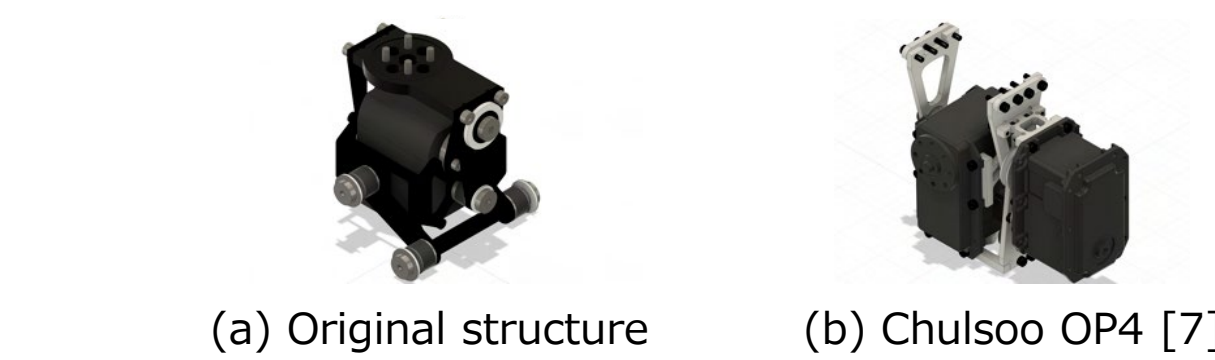
### SUSTAINA-OP™ シリーズ

- オープンハードウェアプラットフォームロボット
- ハードウェアの設計データをCC BY-NC-SA 4.0ライセンスで公開
- 派生した新たな成果物もまたオープンハードウェアとして, 他者の研究や開発に貢献し, 持続可能な技術発展に寄与

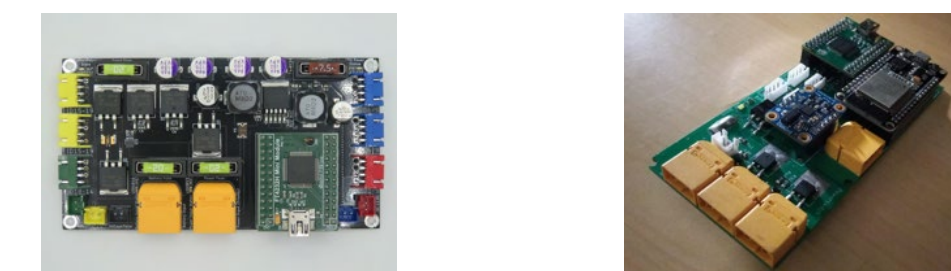
### CIT Brains [6] のロボットプラットフォームとして採用

- RoboCup2022 タイ大会で優勝, RoboCup2023 フランス大会で準優勝
- 競技における能力の高さを示し, 多くのチームの**ハードウェア開発にインスピレーションを与えている**

SUSTAINA-OP™ GitHub Org.  
<https://github.com/SUSTAINA-OP>



(a) Original structure (b) Chulsoo OP4 [7]  
Derived anti-backlash structure inspired by my design



(a) Original board (b) ICHIRO [8]  
Derived electronic circuit board inspired by my design

## 5. ハードウェアの更新・評価

### SUSTAINA-OP™におけるハードウェアの更新

- RoboCupヒューマノイドリーグへの参加を通じて,
  - 継続的な評価と競技会から得られる教訓を反映させ, ソフトウェア開発とヒューマノイド研究の加速
  - 毎年の競技規則の変更への迅速な対応

### RoboCup2022を通じた経験からの教訓

- ロボットの身体制御に**足裏からの荷重情報が重要**であることを認識
- トラブル発生時に原因がハードウェアかソフトウェアか判断が困難のため, 詳細なロボットの状態ログを取れる機能が必要
- 電子回路基板の製作に高い障壁が存在し, オープンハードウェアプラットフォームとして製作が難しいことが課題
- ソフトウェアの高度な処理能力を生かすため, より大電流を供給する電源回路が必要
- 競技中の安定した通信を実現するため, 無線LAN接続の改善が必要

### RoboCup2023 Edition: より高い性能と製作コストの低減を実現するための変更を実施

	RoboCup2022 Edition	RoboCup2023 Edition
Height	647 mm	650 mm
Weight	5.2 kg (Battery included)	5.3 kg (Battery included)
DoF	19 DoFs	
Actuators	B3M-SC-1170-A (KONDO) × 10 pcs B3M-SC-1040-A (KONDO) × 9 pcs	
Sensors	Camera: e-CAM50 CUNX (e-con Systems) Encoders: Contactless magnetic 12bit/1round in actuators IMU: MPU-9250 (TDK InvenSense)	IMU: ICM-42688-P (TDK InvenSense) Strain gauge: SC700-40kg (Sensor and Control Co., Ltd.) × 8 pcs Voltage/Current: INA226 (Texas Instruments) × 4 pcs
Control boards	SoM: Jetson Xavier NX (NVIDIA) Microcontroller: ATmega32U4 (Microchip Technology) Carrier board: EN715 (AVerMedia)	Carrier board: A203 V2 (Seed studio) Microcontroller: ATSAM21G18 (Microchip Technology) × 3 pcs
Battery	LiHv 11.4V 3S1P 2800mAh: HP-G830C2800S3 (Hyperion) Max. 30 min. walking possible	

Note: Changes are indicated in red text.

## 6. シミュレータ環境の構築

SUSTAINA-OP™ Webots  
[https://github.com/SUSTAINA-OP/SUSTAINA-OP\\_Webots](https://github.com/SUSTAINA-OP/SUSTAINA-OP_Webots)



### 簡略ロボットモデル

- シミュレーション用に大幅に簡略化 (ポリゴン削減) したモデルを作成

### シミュレータ環境

- Cyberbotics社の3DロボットシミュレーションソフトウェアWebotsを利用
- Webots: ヒューマノイドリーグで広く使用され, バーチャル競技会でも採用
- SUSTAINA-OP™の実ロボットがなくてもアルゴリズムの開発やテストを行える**シミュレーション環境を提供**



(a) 3D design model (b) Simplified 3D model (c) Webots model  
The 3D design model and simplified 3D model for the simulator of SUSTAINA-OP™

## 7. おわりに

- 本研究の目的は, 持続可能性を重視したオープンハードウェアプラットフォームヒューマノイドロボット SUSTAINA-OP™ シリーズの開発を通じて, ハードウェアの開発と維持費用の削減, 研究の促進を目指すことにある
- 課題: 構造設計などが複雑で製作に時間を要すること
  - 今後: 性能向上, さらなるコスト削減, 使用容易性の改善が必要

## 参考文献

- 久保寺真仁, 林原靖男. SUSTAINA-OP: ロボカップ用キッドサイズハードウェアプラットフォームヒューマノイドロボット. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'23 予稿集, pp. 2A1-A15, 2023.
- ROBOTIS. ROBOTIS OP3 manual. <https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/op3/> Accessed on 8. March. 2024.
- Tuomas Haarnoja, et al. Learning agile soccer skills for a bipedal robot with deep reinforcement learning, 2023.
- Loïc Gondry, Ludovic Hofer, Patxi Laborde-Zubieta, Olivier Ly, Lucie Mathé, Grégoire Passault, Antoine Pirrone, and Antun Skuric. Rhoban football club: Robocup humanoid kidsize 2019 champion team paper. RoboCup 2019: Robot World Cup XXIII, pp. 491-503, 2019.
- Marc Bestmann, Jasper G'uldenstein, Florian Vahl, and Jianwei Zhang. Wolfgang-op: A robust humanoid robot platform for research and competitions. 2020 IEEE-RAS 20th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), pp. 90-97, 2021.
- CIT Brains official website. <http://www.cit-brains.net/> Accessed on 8. March. 2024.
- Anti Backlash Structure OP website. [https://github.com/daekyum02/Anti\\_Backlash\\_Structure\\_OP](https://github.com/daekyum02/Anti_Backlash_Structure_OP) Accessed on 8. March. 2024.
- MARIN Core: ICHIRO Controller Manager Board for Dynamixel website. [https://github.com/RomdhoniZidane20/MARIN\\_CORE](https://github.com/RomdhoniZidane20/MARIN_CORE) Accessed on 8. March. 2024.