

# 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

SUSTAINA-OP : Kid-sized Open Hardware Platform Humanoid Robot for RoboCup

○学 久保寺真仁(千葉工大) 正 林原靖男(千葉工大)

Masato KUBOTERA, Chiba Institute of Technology, masatokubotera06@yahoo.co.jp

Yasuo HAYASHIBARA, Chiba Institute of Technology, yasuo.hayashibara@it-chiba.ac.jp

This paper describes SUSTAINA-OP<sup>TM</sup>, a robot for participation in the KidSize category of the RoboCup Humanoid League. This robot was developed as a humanoid hardware platform to overcome the barrier of high hardware development costs to participate in the RoboCup Humanoid League. The concept of this platform is a "sustainable" platform that is easy to use for new participants as well as for software developers who use many of the robots, allowing for long-term development. For long-term development, we focused on designing for increased robustness, reduced resources for repair and maintenance, and increased versatility. In addition, the system is equipped with a high-performance SoM for general-purpose software development, given the growing importance of deep learning-based recognition and other applications. The data of the developed robot is available on GitHub.

**Key Words:** Open Hardware Platform, Humanoid Robot, RoboCup

## 1 緒言

我々は、人工知能やロボット工学の研究を促進し、様々な分野の基礎技術として普及させることを目的とする、ロボカップ [1] のサッカーヒューマノイドリーグに参加している。ロボカップは、「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」という目標を掲げている。目標を達成するためには、開発情報をオープンにし、ロボカップに参加する研究チーム同士が相互に研究活動を促進することが望まれる。ヒューマノイドリーグでは、歩行・身体制御や物体認識、自己位置推定など様々な研究課題が課せられている。ヒューマノイドリーグに参加する研究チームは、ハードウェア開発コストが高いという障壁を克服するために、プラットフォームのロボットを利用することがある。代表的な例として、ROBOTIS社がバージニア工科大学と共同開発し、2011年に発売したオープンヒューマノイドプラットフォーム『DARwIn-OP』[2]がある。ロボカップヒューマノイドリーグの競技規則 [3] は、ロボット工学や人工知能に関する科学技術の進歩を促進して、課題をより実際のサッカーに近いものにするために常に更新される。この競技規則は、FIFA® の競技規則に近づくように、2050年までのロードマップ [4] も定期的に検討されており、競技規則変更の指標となっている。そのため、プラットフォームロボットには、更新される競技規則や様々な研究課題に迅速に対応するために、仕様を変更できる柔軟性が求められる。DARwIn-OP は人工芝上での歩行など競技規則の変更によって使用することが難しくなり、近年では NimbRo-OP2X [5] や Wolfgang-OP [6] など新しいプラットフォームロボットが提案されている。

本稿では、図 1、表 1 に示す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<sup>TM</sup> Ver. 1.0』について紹介する。このプラットフォームは、新規参加者や多数のロボットを使用するソフトウェア開発者にとって、使いやすく、長期的に利用できる「持続可能」をコンセプトとして開発した。長期的な開発を可能とするため、堅牢性を向上させ、修理やメンテナンスに必要なリソースを削減し、新しい競技規則に対応する柔軟性を高めることを目指した。このプラットフォームは、オープンソースとして設計データなどが GitHub [7] で公開されている。この設計データは、3次元ファイルだけでなく、2D モデリングや日頃発生している問題に対しても公開している。このプラットフォームの公開により、ロボカップヒューマノイドリーグをはじめとするヒューマノイドロボットの研究開発において、ハードウェア開発コストが高いという壁を克服し、ヒューマノイドの研究を加速させることを目指している。なお、我々が所属する研究チーム CIT Brains [8] は、2022年7月に開催された『RoboCup2022 Bangkok』

のヒューマノイドリーグ・キッドサイズ部門でこのロボットを使用して優勝している。[9]

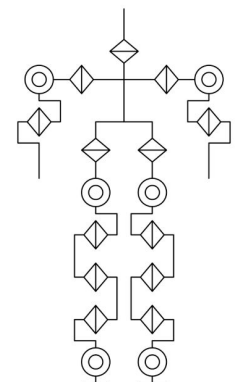


Fig.1 The SUSTAINA-OP<sup>TM</sup> open hardware platform humanoid robot and its kinematics diagram.

## 2 関連研究

2011年にROBOTIS社がバージニア工科大学と共同開発した『DARwIn-OP(別名:ROBOTIS-OP)』は、身長46cm、重量2.8kg、20自由度のヒューマノイドプラットフォームであり、多くの研究者によって利用されている。現在、3世代目となる『DARwIn-OP3(別名:ROBOTIS-OP3)』が公開されているが、販売は終了している。RoboCup2011~2012のヒューマノイドリーグ・キッドサイズ部門では、Team DARwInがDARwIn-OPを利用し、2年連続で優勝している。RoboCup2014では、キッドサイズ部門のチームの50%がDARwIn-OPプラットフォームまたはそれをベースとしたロボットを使用して参加した [10]。ヒューマノイドリーグでは、RoboCup2015でフィールドに人工芝が採用され、身長制限の緩和などの規則改定があり、DARwIn-OPは歩行速度で見劣りするようになった。そのため、近年では、ロボカップヒューマノイドリーグ用に多数のヒューマノイドプラットフォームが開発されている。

例えば、RoboCup2016~2019において、ヒューマノイドリーグ・キッドサイズで4回の優勝を果たしているフランスのボルドー大学のRhuban Football Clubによる『Sigmaban+(販売価格:30,000€)』 [11] が挙げられる。Sigmaban+は、高さ70cm、重量5.5kg、20自由

Table 1 Specification of SUSTAINA-OP™ Ver. 1.0

Height	647 mm
Weight	5.18 kg (Battery included)
Walking speed	Max. 33 cm/s
Degrees of freedom	19
Actuators	KONDO B3M-SC-1170-A × 10 pcs KONDO B3M-SC-1040-A × 9 pcs
Sensors	TDK InvenSense MPU-9250 e-con Systems e-CAM50_CUNX
Computing unit	NVIDIA Jetson Xavier NX 16GB AVerMedia EN715
Battery	LiHv 11.4V 3S1P 2800mAh
Materials	A2017, GFRP, POM, TPU, PLA, etc.
Electronics	Main Board Ver. 2.2 EN715 Expansion Board Ver. 1.1 Start Stop Switch Ver. 3.0

度のヒューマノイドプラットフォームである。ただし、Sigmaban+には、ヒューマノイドリーグにおける課題の一つである「転倒による故障」の問題がある。転倒時の衝撃力を緩和する構造を付けているが、肩のモータが多く故障し、信頼性が十分でないとして述べている [12]。また、視覚情報処理に深層学習を採用しているが、搭載しているコンピュータが Intel NUC(Intel Core i5 AMD 1.2 GHz Micro-6700T 8GB) であるため、「限られた組み込み用コンピュータで使用可能なものがない」 [13] と述べている。そのため、独自のニューラルネットワークを使用しており、汎用性に欠けるところがある。ドイツのハンブルグ大学が開発した『Wolfgang-OP(材料費:11,000€)』は、Nimbro-OP[14] をベースとして開発され、プラットフォームの一般的な運動学的構造はオリジナルに類似している。身長 80cm、重量 7.5kg、20 自由度のヒューマノイドプラットフォームで、Intel NUC (NUC8i5BEK i5-8259 8GB) を搭載し、LiPO 4S1P 5200mAh のバッテリーを使用して、10 分間自立的に歩行できる。Wolfgang-OP でも、転倒時の故障が問題となっており、3D プリント可能な直列弾性アクチュエータを搭載することで、転倒による破損を防ごうとしている [6]。このように、多くのプラットフォームロボットで、転倒時の故障が課題となっており、「キッドサイズリーグは興味深いベンチマーク環境」 [12] と述べられている。

### 3 機械設計

SUSTAINA-OP™ の運動学的構造は、オープンプラットフォームヒューマノイドロボット『GankenKun』 [15][16][17] をベースとしている。機械部品は、加工精度を高めるために板材を使用し、曲げ加工ではなく直行フレームを側面タップのブロックで構成している。また、外装やバンパなどの 3D 形状の部品は、PLA や TPU フィラメントを使用した 3D プリントで作成し、オプションのチームマーカーなどは PP シートをレーザー加工機で製作している。SUSTAINA-OP™ は、工学的知識は必要ではあるが、ロボットを初めて開発する人でも、ロボットの製作・保守・運用ができることを目指して設計した。なお、ヒューマノイドリーグの競技規則に準じるためには、アルマイト加工による染色やサンドブラストによる反射防止加工も必要となる。

#### 3.1 関節配置・アクチュエータ

SUSTAINA-OP™ は、身長 65cm、重量 5.2kg (バッテリーを含む) のヒューマノイドロボットである。このロボットは、サーボモータの連続稼働による発熱でトルクが低下して不安定な歩行になることを防ぐため、ヒューマノイドリーグのキッドサイズカテゴリに許容される身長 100cm までと比べて低く設計されている。SUSTAINA-OP™ の自由度は 19 であり、サッカー競技を行うための歩行や転倒時の起き上がり、キック動作が可能である。頭部のチルト駆動のための関節は省略されているが、頭部カメラの視野はサッカー競技に対して十分である。このロボットは、近藤科学社 B3M シリーズ [18] のディジーチェーン式コマンドサーボモータを採用している。脚部には、大トルクの B3M-SC-1170-A を、上半身には軽量で小型の B3M-SC-1040-A を採用し、ロボットの総コストと重量を削減している。

#### 3.2 脚部を駆動するリンク構造

足先の姿勢は歩行に大きく影響を与えるため、意図した姿勢からずれると安定した歩行が難しくなる。ヒューマノイドプラットフォームにおいては、多くの場合、シリアルリンクの脚部機構が採用されており、足先の姿勢を保ちながら脚を伸縮するためには、2 つの関節が完全に同期して駆動する必要がある。しかし、サーボモータが劣化してガタが大きくなると、足先の姿勢を一定に保つことが難しくなる。SUSTAINA-OP™ では、脚部の腿リンクと膝リンクに平行リンク機構を採用することで、脚を伸縮しても腰に対する足先の姿勢は変化しないようにしている。

ただし、競技フィールドの人工芝が必ずしも平坦ではないため、上半身の姿勢が変化しないようにするためには、さらに足先の姿勢を制御する必要がある。本ロボットは足首にピッチ関節があり、これを制御することで、上半身が傾くことを防止することができる。このピッチ関節は、ボールをキックするときや重心位置を変更するためにも用いられる。

#### 3.3 股部ロール軸に追加された減速機構

転倒せずに安定した歩行をするためには、計算で求めた軌道に沿って脚の関節を動かすことが必要である。このとき、歩行に最も大きな影響を与えるのは、経験的に股ロール関節である。股ロール関節にトルクの不足やガタがあると、上半身の姿勢がゆらゆらと揺れて、急激な方向転換のときに転倒する。SUSTAINA-OP™ では、減速装置を用いて股ロール関節の最大トルクを増大させ、角度誤差を減らしている。結果的に、人工芝上でも安定して歩行している。減速装置には、揺動型スライダクランク機構を用いている。

#### 3.4 股部ヨー軸のクロスローラベアリング

股部ヨー軸は、歩行の着地時などにモータがアキシャル荷重を受ける部分である。多くのプラットフォームでは、この問題に対応するためにスラストニードルベアリングを採用している。しかし、スラストニードルベアリングは比較的安価で入手しやすい反面、ハウジング軌道盤とベアリングのアキシャル隙間の調整が難しい課題がある。隙間が狭すぎると摩擦力が大きくなり、関節がスムーズに動かなくなる。一方、隙間が広すぎると股関節の剛性が低下し、歩行が不安定になる。SUSTAINA-OP™ では、図 2 に示すようにクロスローラベアリングを使用することで、隙間の調整を不要にした。また、回転軸方向以外の力は、すべてクロスローラベアリングで受けているため、歩行着地時のアキシャル荷重に限らず、キックなどでモータに加わる力も軽減している。

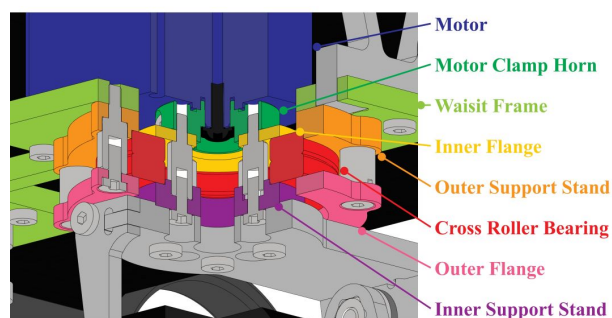


Fig.2 Cross-sectional view of the cross-roller bearing structure for the crotch yaw axis in the SUSTAINA-OP™.

#### 3.5 脚部ロール・ピッチ軸の滑り軸受け

脚部の平行リンク機構は、歩行時の衝撃によって起こりえる塑性変形を抑えるためにガラス繊維強化プラスチック (GFRP) 素材で製作されている。この平行リンク機構には多くの軸受けがあるが、歩行の衝撃が加わるたびに関節部にはアキシャル荷重がかかり、玉軸受けがしばしば破損することがあった。SUSTAINA-OP™ では、図 3 に示すような構造で滑り軸受けを採用することによりアキシャル荷重が加わっても故障しにくくしている。



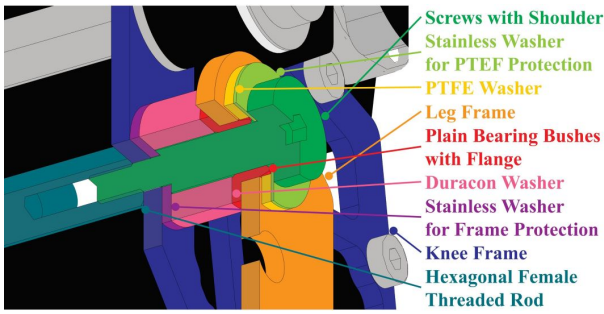


Fig.3 Cross-sectional view of the sliding bearing structure for the leg pitch and roll axes in SUSTAINA-OP™.

### 3.6 転倒時の衝撃を緩和する TPU バンパ

サッカー競技においては、相手との衝突などで転倒することがある。この時の衝撃力は 100G を超え、これにより高い剛性・耐久性を有していても、素材の変形や内部の制御回路などの損害が生じることがある。そのため、SUSTAINA-OP™ には、これらの転倒時の衝撃を緩和するために、4 に示すように、全 8 か所に 3D プリントを用いて出力した TPU 素材のバンパを装着している。

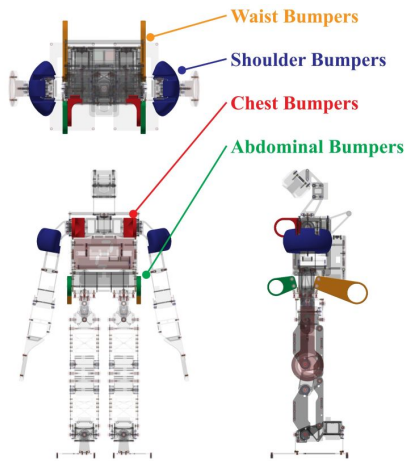


Fig.4 TPU bumpers installed to reduce the impact of falls in SUSTAINA-OP™.

## 4 電気設計

SUSTAINA-OP™ の制御回路は、図 5 に示すような構成となっている。これらは、SUSTAINA-OP™ の腹部にある図 6 の制御回路を集約した箱に収められている。メンテナンス性を向上させるため、ロボット本体から切り離すことができるようになっている。

### 4.1 バッテリおよび電源

SUSTAINA-OP™ には、電源供給口が 2 つ搭載されている。1 つはバッテリー用である。SUSTAINA-OP™ では 11.4V 2800mAh の LiHv バッテリを搭載することで、最大 30 分の連続歩行が可能である。もう 1 つは、ソフトウェア開発などにおいて、長時間電源を投入するときにスイッチング電源を接続するものである。これら 2 つの電源は同時に接続することができ、コンピュータの電源を落とすことなくシームレスに切り替えることができる。また、コンピュータユニットに変動の少ない電圧を供給できるように、昇降圧式の DCDC コンバータが搭載されている。これらの機能は『Main Board Ver.2.2』[19] に搭載されている。

### 4.2 シングルボードコンピュータユニット

ヒューマノイドドリッグにおける物体認識や歩行制御をリアルタイムに行うためには、GPU (Graphics Processing Unit) を搭載した SoM (System on Module) が望まれる。SUSTAINA-OP™ では、NVIDIA 社の『Jetson Xavier NX 16GB』を搭載した SoM を

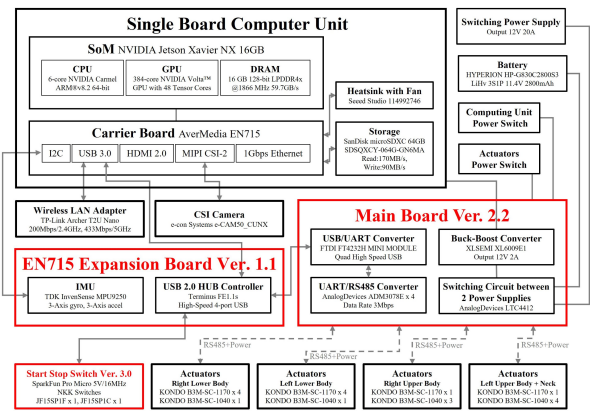


Fig.5 System block diagram of the electronic components and connections in the SUSTAINA-OP™. (Red parts indicate our developed boards.)

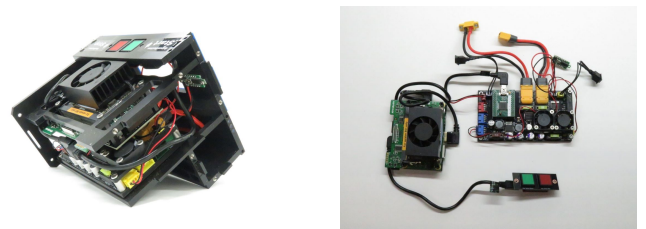


Fig.6 The case of electronic components to be inserted into abdomen of SUSTAINA-OP™ and electronic components into the case.

採用しており、AverMedia 社のキャリアボード『EN715』を使用し、様々な I/F を接続することができる。キャリアボードには、競技中にレフリーからの指示を受信するための USB I/F の無線 LAN アダプタや、キャリアボードの機能をさらに拡張する基板『EN715 Expansion Board Ver. 1.1』[20] が装着されている。この基板には、4 ポートの USB 2.0-HUB や、TDK 社の慣性計測装置『MPU-9250』が搭載されている。

### 4.3 頭部に搭載するカメラ

フィールドにおける物体認識や自己位置推定をするために、SUSTAINA-OP™ の頭部には広角レンズを取り付けたカメラモジュールを、チルト角 45 度で搭載している。カメラモジュールは、e-con Systems 社の『e-CAM50\_CUNX』であり、MIPI SCI-2 I/F でキャリアボードを通じて SoM と接続している。取得された画像は 640x480px で、ビジョンシステムで使用される。e-CAM50\_CUNX には、M12xP0.5mm のマウントホルダが装着されており、任意のカメラレンズを装着できる。SUSTAINA-OP™ では、ヒューマノイドドリッグの競技規則で定められた視野を基に、TOWIN 社のカメラレンズ『S02512512524F』を装着している。レンズの FOV は 160° (D)・125° (H)・90° (V) であり、図 7 に示すように、真正面から ±135 度の範囲で首のパンを駆動して画像を取得する。

### 4.4 コマンドサーボモータの通信・制御

SUSTAINA-OP™ には、第 3.1 節で示した 19 個の RS485 I/F を持つサーボモータが搭載されている。これらのサーボモータを制御するために、Quad USB/RS485 変換を搭載した『Main Board Ver. 2.2』[19] を使用している。この Main Board は、QUADDXL[21][22] をベースに開発された。サーボモータとの接続は、1 つの USB 2.0 Full Speed ポートで 4 つの RS485 通信を行うように構成されている。通信速度は、B3M シリーズの最大ボーレートである 3,000,000 bps に対応している。

### 4.5 制御ボタン

ヒューマノイドドリッグの競技規則によると、緊急停止ボタンに加えて、ロボットの動作を開始/停止するための 2 つのボタンを

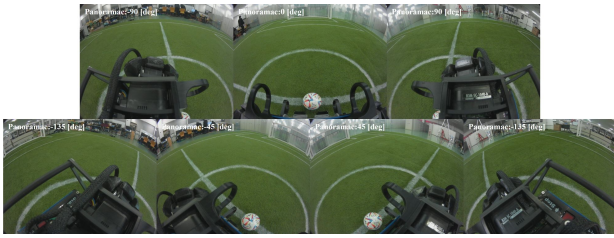


Fig.7 Field of view in SUSTAINA-OP™ when standing on the center mark of soccer field captured at  $\pm 135$  degrees from the front at 45 degree intervals. (This view figure is after distortion correction.)

搭載することができる。SUSTAINA-OP™では、汎用性を持たせるために、USB-HID(Human Interface Device)として認識する2つのタクタイルスイッチを搭載した制御ボタンモジュール『Start Stop Switch Ver. 3.0』[23]を開発して、搭載した。

## 5 開発・試用した結果

本プラットフォームを開発した結果、材料費(加工費用を除く)はおおよそ100万円であった。Wolfgang-OPなどの他のプラットフォームロボットと比べて安価である。ロボットを6体製作して、RoboCup2022において9試合を行い、約50回の転倒が生じたが、ハードウェアの故障によりフィールドから排除されたロボットはなかった。これは、本ロボットの目指した「堅牢性を向上させ、修理やメンテナンスに必要なリソースを削減する」ことができたことを示している。また、RoboCup2022 ヒューマノイドリーグ・キッドサイズ部門で優勝しており、この結果からもヒューマノイドのハードウェアプラットフォームとしての可能性を示せたと考えられる。

## 6 結言

本稿では、ロボカップヒューマノイドリーグの競技規則に準じた新しいハードウェアプラットフォームのヒューマノイドロボット『SUSTAINA-OP™』について紹介した。今後は、競技会での結果を反映させ、ソフトウェア開発およびヒューマノイド研究を加速させるために、足裏の反力を計測するセンサなどを追加していく予定である。また、オープンハードウェアプラットフォームとして、公開資料を整備する予定である。

本稿で紹介したSUSTAINA-OP™は、オープンハードウェアプラットフォームのヒューマノイドロボットであり、機械・電気設計などの開発データをGitHub[7]を通じて公開している。また、ロボットの3D CADモデルを閲覧しやすくするために、Autodesk Viewer[24]で公開している。

## 7 謝辞

本稿で紹介したSUSTAINA-OP™ Ver. 1.0の開発にあたり、野口裕貴氏、横尾陸氏、井上叡氏、川鍋清志郎氏、岩澤尚樹氏、三瀬優太氏に多大なご協力をいただきました。また、CIT Brainsのメンバーにも作業に協力いただき、ここに深謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] RoboCup Federation official website. URL: <https://www.robocup.org/> (visited on 2023/04/03)
- [2] Ha, I., and Tamura, Y., Asama, H., Han, J. and Hong, D. W., "Development of open humanoid platform DARwIn-OP," SICE Annual Conference 2011, pp.2178-2181, 2011.
- [3] RoboCup Soccer Humanoid League Laws of the Game 2021/2022. URL: <http://humanoid.robocup.org/wp-content/uploads/RC-HL-2022-Rules-3.pdf> (visited on 2023/04/03)
- [4] RoboCup Soccer: Humanoid League DRAFT Roadmap from 2022 to 2050. URL: [http://humanoid.robocup.org/wp-content/uploads/roadmap\\_2022.pdf](http://humanoid.robocup.org/wp-content/uploads/roadmap_2022.pdf) (visited on 2023/04/03)
- [5] Ficht, G., Farazi, H., Brandenburger, A., Rodriguez, D., Pavlichenko, D., Allgeuer, P., Hosseini, M. and Behnke, S., "NimbRo-OP2X: Adult-Size Open-Source 3D Printed Humanoid Robot," 2018 IEEE-RAS 18th

- International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), pp.1-9, 2018.
- [6] Bestmann, M., Gldenstern, J., Vahl, F. and Zhang, J., "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.
- [7] SUSTAINA-OP Open Hardware Platform website. URL: <https://github.com/SUSTAINA-OP> (visited on 2023/04/03)
- [8] CIT Brains website. URL: <http://www.cit-brains.net> (visited on 2023/04/03)
- [9] Hayashibara, Y., Kubotera, M., Kambe, H., Kuwano, G., Sato, D., Noguchi, H., Yokoo, R., Inoue, S., Mibuchi, Y. and Irie, K., "RoboCup2022 KidSize League Winner CIT Brains: Open Platform Hardware SUSTAINA-OP and Software," RoboCup 2022: Robot World Cup XXV, pp.215-227, 2023.
- [10] Gerndt, R., Seifert, D., Balthes, J. H., Sadeghnejad, S. and Behnke, S., "Humanoid Robots in Soccer - Robots Versus Humans in RoboCup 2050," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 22, no. 3, pp.147-154, 2015.
- [11] Rhoban Football Club - Robot Specification Humanoid Kid-Size League, Robocup 2023 Bordeaux. URL: [https://submission.robocuphumanoid.com/uploads/Rhoban\\_Football\\_Club-specs-6396ffb295003.pdf](https://submission.robocuphumanoid.com/uploads/Rhoban_Football_Club-specs-6396ffb295003.pdf)
- [12] Gondry, L., Hofer, L., Laborde-Zubieta, P., Ly, O., Math, L., Passault, G., Pirrone, A. and Skuric, A., "Rhoban Football Club: RoboCup Humanoid KidSize 2019 Champion Team Paper," RoboCup 2019: Robot World Cup XXIII, pp.491-503, 2019.
- [13] Allali, J., Fabre, R., Gondry, L., Hofer, L., Ly, O., N'Guyen, S., Passault, G., Pirrone, A. and Rouxel, Q., "Rhoban Football Club: RoboCup Humanoid Kid-Size 2017 Champion Team Paper," RoboCup 2017: Robot World Cup XXI, pp.423-434, 2018.
- [14] Schwarz, M., Pastrana, J., Allgeuer, P., Schreiber, M., Schller, S., Missura, M. and Behnke, S., "NimbRo-OP Humanoid TeenSize Open Platform," RoboCup 2013: Robot World Cup XVII, pp.568-575, 2014.
- [15] 下吉拓明, 林原靖男. "ロボカップ用オープンプラットフォームヒューマノイドロボットの開発第1報メカニズムの設計と製作. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2P1-J07, 2017.
- [16] 中島崇晴, 島田悟志, 林原靖男. ロボカップ用オープンプラットフォームヒューマノイドロボットの開発第2報ハードウェアの評価と改良. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1J3-02, 2019.
- [17] Open Platform Humanoid Robot website. URL: <https://github.com/citbrains/OpenPlatform> (visited on 2023/04/03)
- [18] KONDO B3M series website. URL: <https://kondo-robot.com/product-category/servomotor/b3m> (visited on 2023/04/03)
- [19] Main Board Ver. 2.2 website. URL: [https://github.com/MasatoKubotera/MainBoard\\_ver2\\_2](https://github.com/MasatoKubotera/MainBoard_ver2_2) (visited on 2023/04/03)
- [20] EN715 Expansion Board Ver. 1.1 website. URL: [https://github.com/MasatoKubotera/EN715\\_ExpansionBoard\\_ver1\\_1](https://github.com/MasatoKubotera/EN715_ExpansionBoard_ver1_1) (visited on 2023/04/03)
- [21] Bestmann, M., Gldenstern, J., and Zhang, J., "High-Frequency Multi Bus Servo and Sensor Communication Using the Dynamixel Protocol," RoboCup 2019: Robot World Cup XXIII, pp.16-29, 2019.
- [22] bitbots-quaddxl website. URL: <https://github.com/bit-bots/bitbots-quaddxl> (visited on 2023/04/03)
- [23] Start Stop Switch Ver. 3.0 website. URL: [https://github.com/MasatoKubotera/StartStopSwitch\\_ver3\\_0](https://github.com/MasatoKubotera/StartStopSwitch_ver3_0) (visited on 2023/04/03)
- [24] SUSTAINA-OP's 3D-CAD model viewing website. URL: [https://sustaina-op.com/autodesk\\_viewer](https://sustaina-op.com/autodesk_viewer) (visited on 2023/04/03)