

ワンクリック操作を目指した Augmented Avatar 式号機の試作検証 - XPRIZE/AVATAR 決勝戦 日本最高位 -

春名 正樹^{†1‡2} 萩野 正樹^{‡2} 田頭 茂明^{‡2} 森田 晋^{†1}

概要: 労働力の偏在を解決するために分身ロボット(Avatar)の社会実装が期待されている。我々は低価格ながら作業と人とのコミュニケーションを可能とする Augmented Avatar を提案している。誰もが簡単に操作できる操作インターフェースとして台車とアームの移動をワンクリック操作できる Augmented Avatar 式号機を試作した。本試作機で 2022 年 11 月にロサンゼルスで開催された XPRIZE/AVATAR 決勝戦に参戦した。我々のチーム LAST MILE は参加 820 チーム中、世界 12 位、日本最高位を獲得した。

1. はじめに

20 世紀初頭に約 15 億人であった世界人口は、2020 年には 80 億人を超えた。その一方で、日本では人口減少と少子高齢化による労働力不足が懸念されている。筆者らは途上国での small world project[1][2]の活動を通して住みたい場所、暮らしたい人と生活する重要性を再認識し、空間を超えて作業できる遠隔操作技術が人口の偏在を緩和するソリューションとして実現することを目指している[3][4]。実証実験の一環として、国際的な遠隔操作ロボットの競技会 XPRIZE/AVATAR[5]に参戦した。その準決勝大会では、筆者らのグループでは低価格ながら作業と人とのコミュニケーションを可能とする”Augmented Avatar”を提案し、号機にて 2021 年 9 月にフロリダで開催された準決勝を通過した[6]。決勝戦では、誰もが簡単に操作できる操作インターフェースを目指して台車とアームの移動をワンクリック操作可能な式号機では試作した。本式号機はマニピュレーション、移動、及び、外装の更新設計も実施した。我々のチーム LAST MILE – Another Small World Project –[7]は 2022 年 11 月ロサンゼルスで開催された決勝戦で、大会開始当初の参加 820 チーム[8]の中で世界 12 位、日本最高位を獲得した(図 1)。本稿では決勝戦の詳細と Augmented Avatar 試作式号機について紹介する。



図 1 Team / LAST MILE - Another Small World Project –

2. XPRIZE/AVATAR Final

準決勝、決勝を通して本大会の大きな特徴の 1 つとしてオペレータは開発者ではなく主催者である XPRIZE が用意するチームのロボットを初めて見る審査員であり、60 分の練習時間だけでテストに臨む形式である。このため参加チームは、出来るだけ一般的なタスクを遂行可能であるように機能を実装しておくこと、そして、できるだけ早く操作者が操作を習得できるように直感的に操作が可能なインターフェースを設計しておくことが求められる。また、対象物の情報は 3 ヶ月前に知らされるものの、実際のテストコースは大会前日に発表される点である。

決勝戦のテストコース(図 2)は「惑星 X」を想定した環境とのことで合った。単に走破するだけではなくコース途中で 10 個のタスクが用意されている(図 3)。準決勝との大きな違いは移動距離が長くなったこと、コミュニケーションに比べて作業の比重が大きいこと、バッテリー駆動とすること、及び、途中のタスクに失敗したら次のタスクに進めない 4 点があった。以下に 10 個のタスクについて説明する。



図 2 XPRIZE/AVATAR 決勝戦のテストコース「惑星 X」
本番前日に現地で開催

†1 三菱電機(株) / 先端技術総合研究所

‡2 関西大学 / 総合情報学部

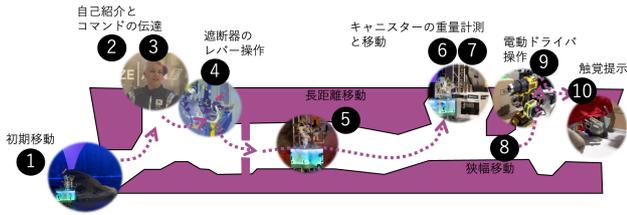


図 3 テストコースの 10 個のタスク

初期移動 (Task1)

スタート地点からコマンダーのいるエリアに Avatar が全部入ったら Task1 が成功 (図 4)。



図 4 スタート地点からコマンダーエリアまでの移動

自己紹介 (Task2) とコマンドの伝達 (Task3)

図 4 のエリアに到達した後に、コマンダーが Avatar の視線が合っていると判断したらコマンダーとオペレータがお互いに自己紹介をするタスクがスタートする。視線や顔の向きがずれていると声だけかけても無視されていた。自己紹介の後に、コマンダーから図 2 のテストコースでのタスクが伝えられ、それをオペレータが理解していることを反復して伝えることで Task3 が成功したと判断される (図 5)。



図 5 コマンダーと Avatar のコミュニケーション

遮断器のレバー操作 (Task4)

テストコースのゲートを通るためのレバーを押し上げるタスク。遮断器内のスプリングは調整されており、さほど大きな力が必要ではない (図 6)。

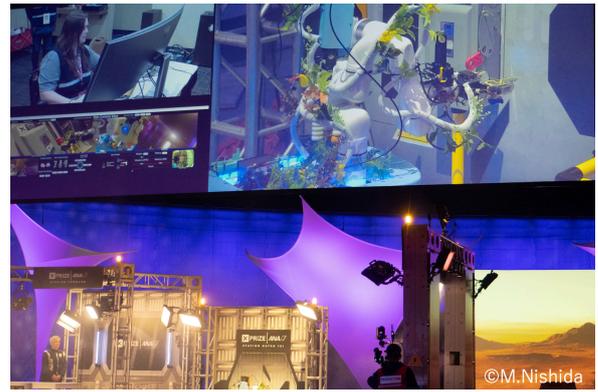


図 6 ゲート開けるレバーの操作 (上部は会場モニタ)

長距離移動 (Task5)

ゲートを通過後、20m ほどの移動をして、次のタスクのエリアに向かう (図 7)。

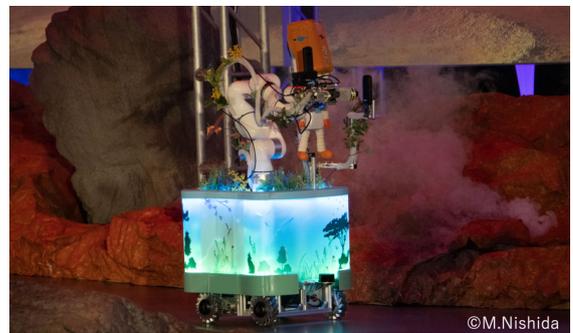


図 7 「惑星 X」の 20m の移動

キャニスターの重量計測 (Task6) と移動 (Task7)

見た目同じキャニスターが数本立てられていて、この中で重たい方のキャニスターを抜き取るタスクである (図 8)。キャニスターを持ち上げたとしても、オペレータが重さを”感じる”ことができなければタスクは成功したと判断されない。”感じる”方法はオペレータの判断に任されている。抜き取ったキャニスターを、その横にある穴へ差し込むことで Task7 を成功したと判断される。



図 8 「惑星 X」の 20m の移動

狭幅移動 (Task8)

長距離移動とは違い、短距離の狭幅移動である。惑星 X の岩石が置いてあり、それを避けながら次のタスクエリアに移動する (図 9)。



図 9 「惑星 X」の岩石を避けて短距離を移動

電動ドライバ操作 (Task9)

立ててある電動ドライバを持ち上げて、壁にあるボルトを外す作業である。電動ドライバにはバッテリーがついていて 3kg 程度の重さがある。また、電度ドライバのトリガを押し込みビットを回転させる必要があり、トリガの押し込みには 3kg 程の力が必要であった (図 10)。2 本のドライバ用意されているのは 1 つのドライバを倒しても、落としてもチャンスを残すためである。本ドライバには前述の遮断器のような細工はされていない。



図 10 電動ドライバ

触覚提示 (Task10)

Task9 でボルトを外すと扉が開き、その中に 2 種類の石が置いてある。石の前には黒いカーテンが引いてあり直接的に見ることはできなくなっている。ゴツゴツした方の石を取り出すタスクである (図 11)。実際には、カーテンの隙間や、手先にカメラのついた Avatar の場合には、視覚的に見ることができるが、審査員は視覚以外で触覚を“感じる”ことができないと、石を取り出さないように指示されているようであった。図 11 では石は 2 つであるが、実際のテストでは 4-5 個程度置かれていた。

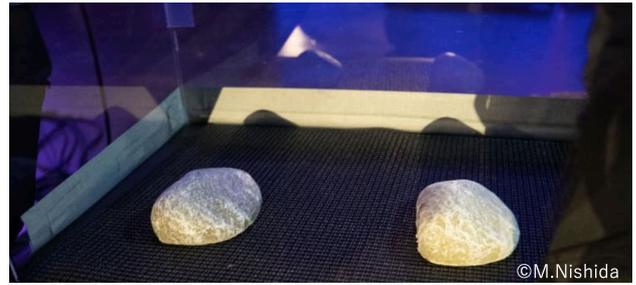


図 11 表面形状の違う石

順位付

10 個の Task が 1 点ずつ、さらに、オペレータが操作性について 3 点、図 5 のコマンダーがコミュニケーションについて 2 点をつける。満点が 15 点である。15 点獲得したチーム同士の場合には、10 個の Task を終了するまでにかかった時間で順位が決まる。

3. 我々の挑戦

3.1 非人型ロボット

これまでに筆者らは人型ロボットの開発をしてきた [3](図 12)。直感的な操作という観点では、自分の身体構造と似ていることのメリットは高い。特に、視点と手の位置の関係が同じであることはメンタルローテーションの点で有利である。ただし、ビジネス的な観点では様々な業態へのコンタクトをしてきたがコストパフォーマンスの観点でニーズを見出せていない状況である。今後しばらく、人代替可能な機能とコストパフォーマンスが両立した人型ロボットの出現の可能性は低いと考えている。コミュニケーションの観点から人型であるメリットは大きいですが、コストと周囲の人 (以後、レシピエント) に与える警戒感の課題から、我々は新たに Augmented Avatar を提案し、コミュニケーション向けの Communication Avatar と、作業向けの Manipulation Avatar を別々に設計・統合することにした (図 13)。誰もが使える遠隔操作サービスへとつながる開発に重点を置き、非人型ロボットを選択した。

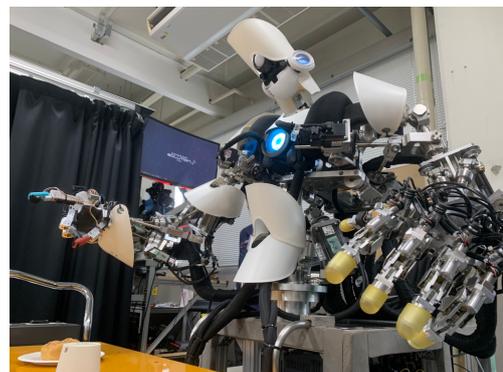


図 12 筆者らが試作した人型 Avatar

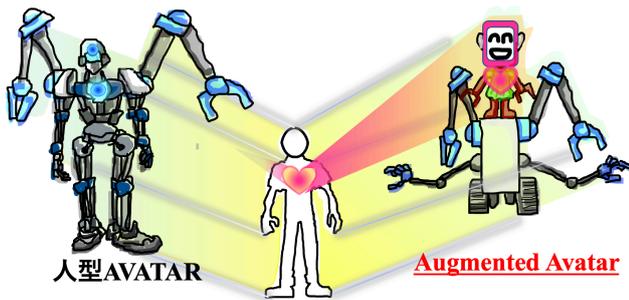


図 13 人型 Avatar と提案する Augmented Avatar イメージ

3.2 非装着型操作インターフェース

オペレータの頭部の動きに合わせて立体映像を提供できるヘッドマウントディスプレイ（以後、HMD）は、両眼視差と運動視差を活用できることから、奥行き知覚に優位であり、直感的な操作という観点で優れた装置である。ただし、誰もがどこでも使える遠隔操作サービスという観点では HMD の利用には筆者らは懐疑的である。誰もがどこでも使っているスマホこそが最終的な操作インターフェースになるべきであると考えている。このためには両眼視差による立体視は省略する必要がある、我々は通常の非立体視モニタを利用することにした。

3.3 シンプルなワンクリック操作

スマホで操作することを考えた場合、Avatar への運動入力は簡易的であることが望ましい。Avatar には 360deg カメラが搭載されており、行きたい場所をモニタ上でマウス指定して、マウスクリックの長押しで姿勢制御と移動制御をシーケンシャルに実行するワンクリック操作を実装した。本操作方法は移動台車とアーム操作に適用される（図 14）。

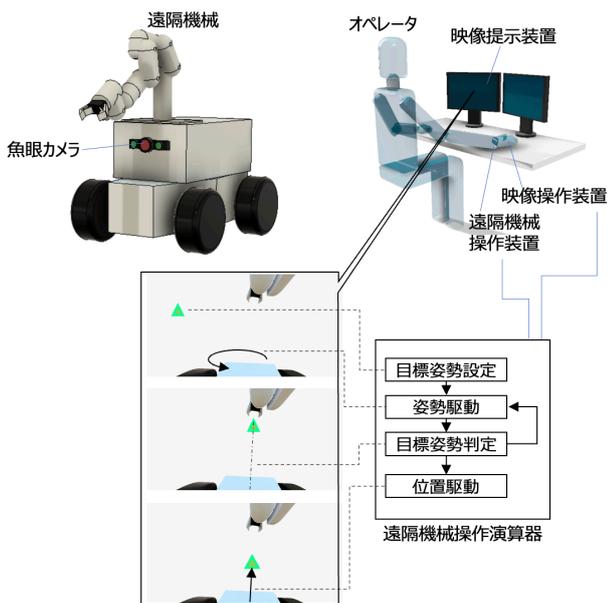


図 14 ワンクリック操作シーケンス

4. Augmented Avatar の試作（弐号機）

決勝戦向けに試作した Augmented Avatar 弐号機について紹介する。コミュニケーション向けの Communication Avatar と、作業向けの Manipulation Avatar, 及び、操作インターフェースについて記載する（図 15）。

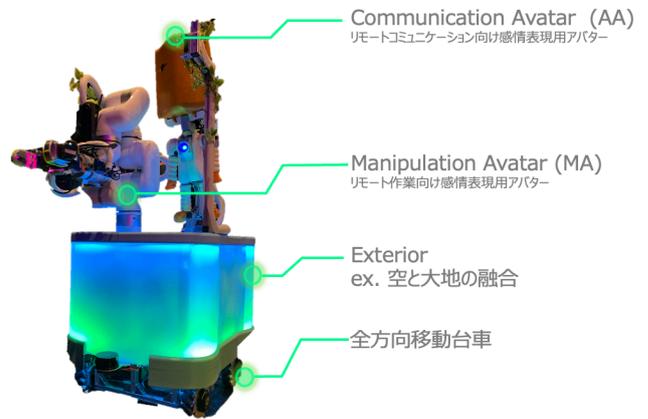


図 15 Augmented Avatar 弐号機

4.1 Communication Avatar

Communication Avatar は首 1 自由度、片腕 2 自由度、片足 1 自由度、仮面 UP/DOWN 1 自由度、及び、Communication Avatar を支える下部には上下・水平・回転の 3 自由度の合計 11 自由度が実装されている（図 16）。上下・水平・回転は、オペレータの視点操作に同期、及び、Manipulation Avatar の手先駆動と移動台車駆動に先行して、連動動作することで、Avatar の周囲にいる人にオペレータの意図を知らせる役割を持たせている。首、腕の動きはオペレータの操作インターフェースに用意されたアイコンを押すことで事前に用意された動作をしたり、移動台車の動きに合わせて歩行動作をする。仮面の UP/DOWN はオペレータがコミュニケーションをする意志を表現することができる。

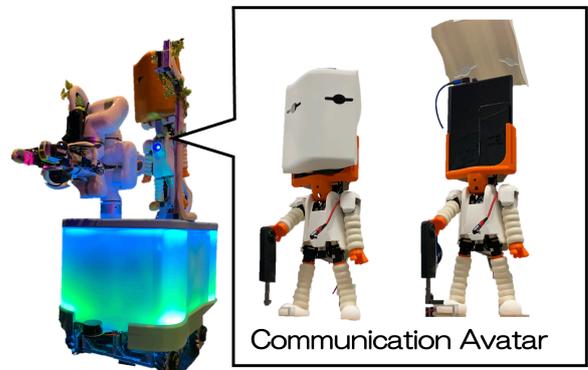


図 16 Communication Avatar

4.2 Manipulation Avatar

Manipulation Avatar は、アームに可搬重量 5kg の xARM6[®]を採用している。ハンドは Robotis Hand をベースに、カメラが仕込まれている Vision Finger を採用した指、圧力センサを実装した自作指、及び、電動ドリルのトリガを押すためのワイヤー駆動指の 3 指を実装した。ハンド背面には Task10 の石の表面計測用に 16ch の TOF センサを実装している (図 17)。また、アームとハンドの結合部には 6 軸力センサを実装して、キャニスターの重量計測に活用する。

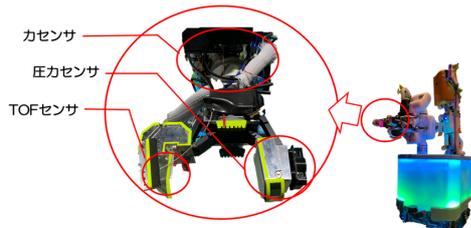


図 17 Manipulation Avatar と実装されているセンサ

4.3 移動台車

全方向移動可能なメカナムホイールを採用している。マニピュレーション時の横方向移動はアームの駆動範囲を補間することができ有用である。

4.4 外装デザイン

筆者らは近い将来ロボットと自然の融合を目指しており、そのコンセプトとして草木の造形を外装に活用した。また、構体には光が拡散しやすい透明素材を活用し、緑の大地と青い空を表現するために緑と青の LED を配置した (図 18)。決勝戦の会場では Friendly なデザインに子供やヨーロッパ系の方々を中心に興味を引いてもらった。



図 18 ロボットと自然の融合を表現したデザイン

4.5 カメラ

本作作機には 3 種類のカメラが実装されている (図 19)。1 種類目は、ワンクリック操作を可能にする 2 つの 360deg カメラは、奥行き知覚が不足しがちな非立体視モニタを補うためにも活用する。1 つは Manipulation Avatar のハンド

手先に、1 つは Communication Avatar と連動して動くアルミバーに取付けられている。2 種類目は Manipulation Avatar のハンド指先に仕込まれたカメラであり対象物の把持をする際や、表面形状を視認するために実装した。ただし、表面形状の視認は直前の通達で NG ということで大会では使用していない。3 種類目はスマホに搭載されたカメラでありレシピエントとのコミュニケーション時の視線合わせに活用している。

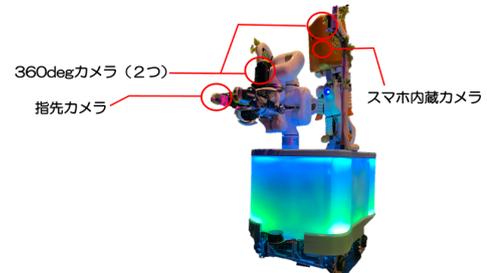


図 19 実装されている 3 種類のカメラ

4.6 操作インターフェース

前述の 2 つの 360deg カメラを非立体視モニタに提示するために 3 つの映像提示モードを準備した。1 つは Manipulation Avatar のカメラ、1 つは Manipulation Avatar のハンド手先を側面から見るカメラ、1 つはこれらの映像をサイド・バイ・サイドで表示する (図 20)。オペレータは Task に合わせて適した映像提示モードを選択する。スマホカメラの映像は別途オペレータ側に用意されたスマホに提示される。



図 20 Avatar カメラのオペレータへの映像提示の例

3.3 節に紹介したワンクリック操作以外の操作はモニタ上のアイコン、及び、小型ジョイスティック (Orbital2) に実装されている。小型ジョイスティックの操作方法は画面下に出力することで操作の複雑さを緩和している (図 21)。

Communication Avatar とレシピエントの視線一致はベゼルレス・ノッチレススマホと拡張モニタを組み合わせ、両者のモニタへの映像配分を適切に制御することで実現している。この方法はモニタ前にカメラを配置する必要がなくユニークな工夫である (図 22)。



図 21 アイコンと小型ジョイスティックでの操作



図 22 スマホと拡張モニターを利用した独自の視線一致技術

Manipulation Avatar のハンドに取り付けられた圧力センサと 6 軸力センサの出力は図 23 に示すようにオペレータの画面面上に出力される。また、圧力センサの値はハンド指先の LED にも輝度として表示される。Task10 における視覚での表面形状認識が NG ということで、16ch の TOF センサ値を空間的に平均化して測定される距離を図示する方法を実装した。オペレータの操作インターフェースモニターに岩の形状が出力される (図 24)。



図 23 圧力センサと 6 軸力センサの出力

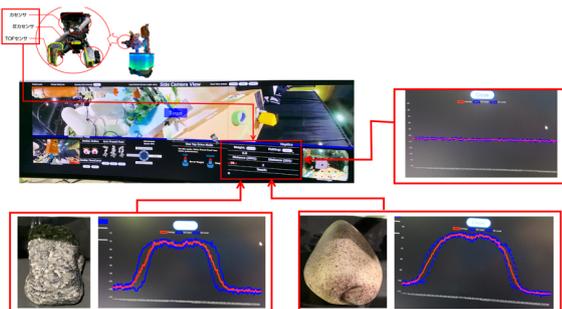


図 24 TOF センサによる計測とモニターへの表示

5. XPRIZE/AVATAR FINAL での参戦と結果

XPRIZE/AVATR を通して、誰もがどこからでも使える遠隔操作サービスを実現するために、非人型ロボット、非装着型操作インターフェース、非立体視モニターでのシンプルな操作をコンセプトに Augmented Avatar 式号機を試作し、我々のチーム LAST MILE – Another Small World Project [7] は 2022 年 11 月ロサンゼルスで開催された決勝戦に参戦した。大会開始当初の参加 820 チーム[8]の中で世界 12 位、日本最高位を獲得した。

6. まとめ

空間を超えて作業できる遠隔操作技術が人口の偏在を緩和するソリューションとして実現することを目指し、その一環として、XPRIZE/AVATAR[5]に参戦した。低価格ながら作業と人とのコミュニケーションを可能とする Augmented Avatar を提案し、号機にて 2021 年 9 月にフロリダで開催された準決勝を通過し、2022 年 11 月にロサンゼルスで開催された決勝戦では、大会開始当初の参加 820 チームの中で世界 12 位、日本最高位を獲得した。

謝辞 西田宗千佳様にはロサンゼルス会場での取材と記事発表、及び、写真提供を頂き感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 三菱電機 (株) “BOP 層の暮らしに向けた研究開発の取組” 2018, [Online]. Available: https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability-square/report/images/2017/SWP_J.pdf
- [2] 三菱電機 (株) “BOP 層の暮らしに向けた研究開発の取組 (動画)” 2018, [Online]. Available: https://m.youtube.com/watch?v=PLYM_eWOTfE&feature=youtu.be&noapp=1
- [3] M. Haruna et al., “Development of Remote Machine System with Sense of Oneness -Proposal and Principle Verification of Remote Manipulation with Visual Haptics-,” Inf. Process. Society Japan, pp. 448–453, 2020, [Online]. Available: <http://www.interaction-ipsj.org/proceedings/2020/data/bib/1P-74.html>.
- [4] M. Haruna et al., “Proposal and Evaluation of Visual Haptics for Manipulation of Remote Machine System,” Front. Robot. AI, vol. 7, Oct. 2020, doi: 10.3389/frobt.2020.529040.
- [5] ANA, “AVATAR XPRIZE.” 2018, [Online]. Available: <https://avatar.xprize.org/prizes/avatar>.
- [6] XPRIZE, “FINALIST TEAMS SELECTED IN \$10M ANA AVATAR XPRIZE COMPETITION” 2021, [Online]. Available: <https://www.xprize.org/prizes/avatar/articles/ana-avatar-xprize-announces-finalists>
- [7] 関西大学, “LAST MILE – Another Small World Project” 2021, [Online]. Available: http://ogilab.kutc.kansai-u.ac.jp/small_world/
- [8] avatarin, “「ANA AVATAR XPRIZE」決勝戦レポート” 2022, [Online]. Available: <https://about.avatarin.com/blog/5977/>
“Microsoft Office 製品情報”. <https://office.microsoft.com/ja-jp/products/>, (参照 2016-02-20).

“xARM”は深圳市衆為創造科技有限公司の登録商標です。