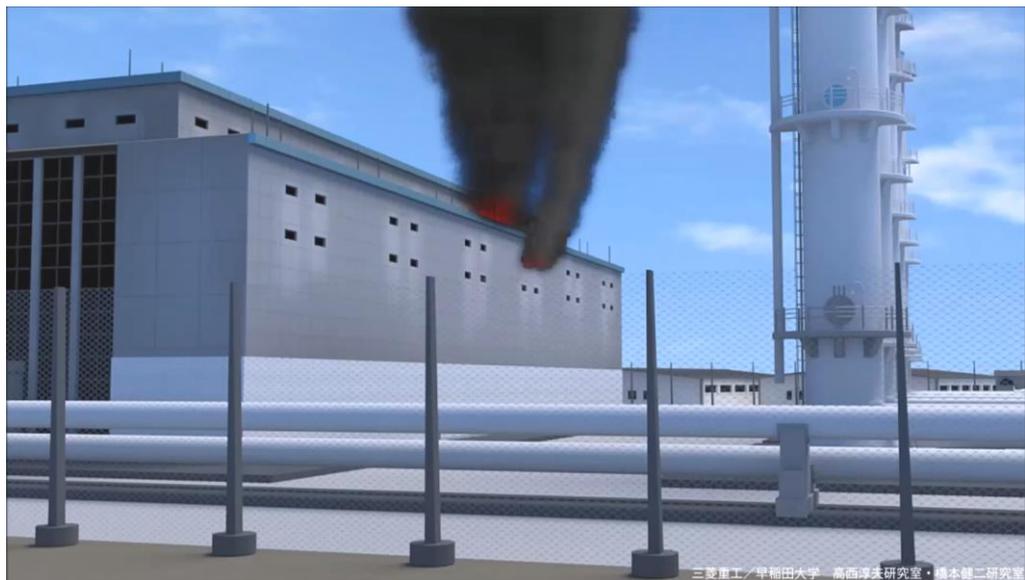


脚ロボット

分科会主査：橋本健二（明治大学）
高西淳夫（早稲田大学）

極限環境で高い移動能力と作業能力を持つ
脚ロボットのプラットフォームの開発

プラントの被害状況調査と復旧活動

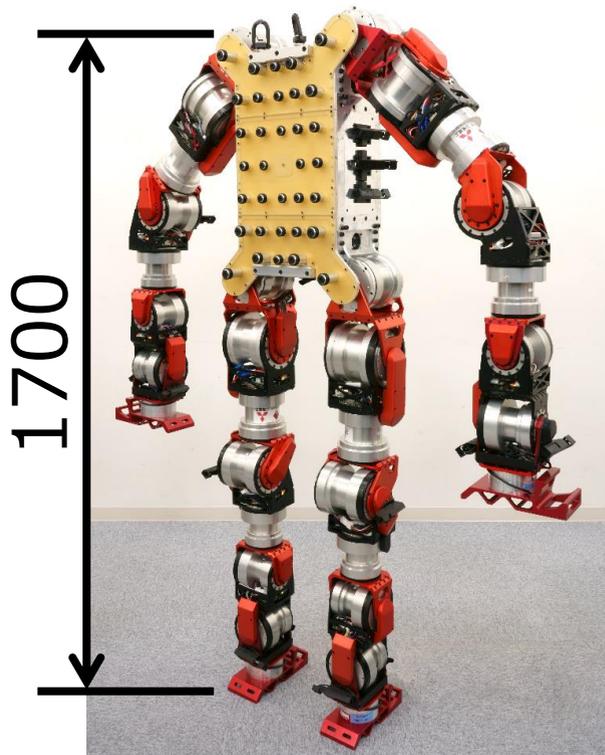


復旧活動場所までの
経路計画

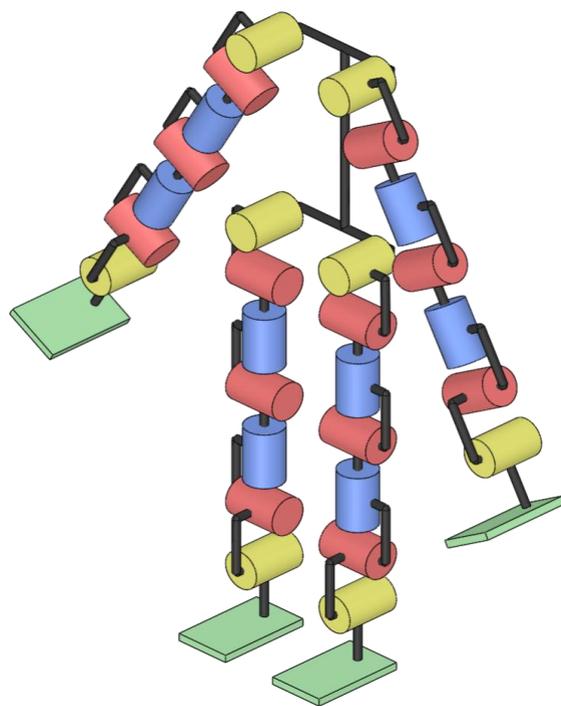
状況にあわせた柔軟な
脚移動と修繕作業

4肢ロボットWAREC-1

WAREC-1



[体重 : 150kg]



[関節数 : 28]

- 中空構造のアクチュエータユニット
- スパイク機構を有する胴体

単腕WAREC



- 1肢だけのWAREC (作業検証用)
- 防水スーツ着用

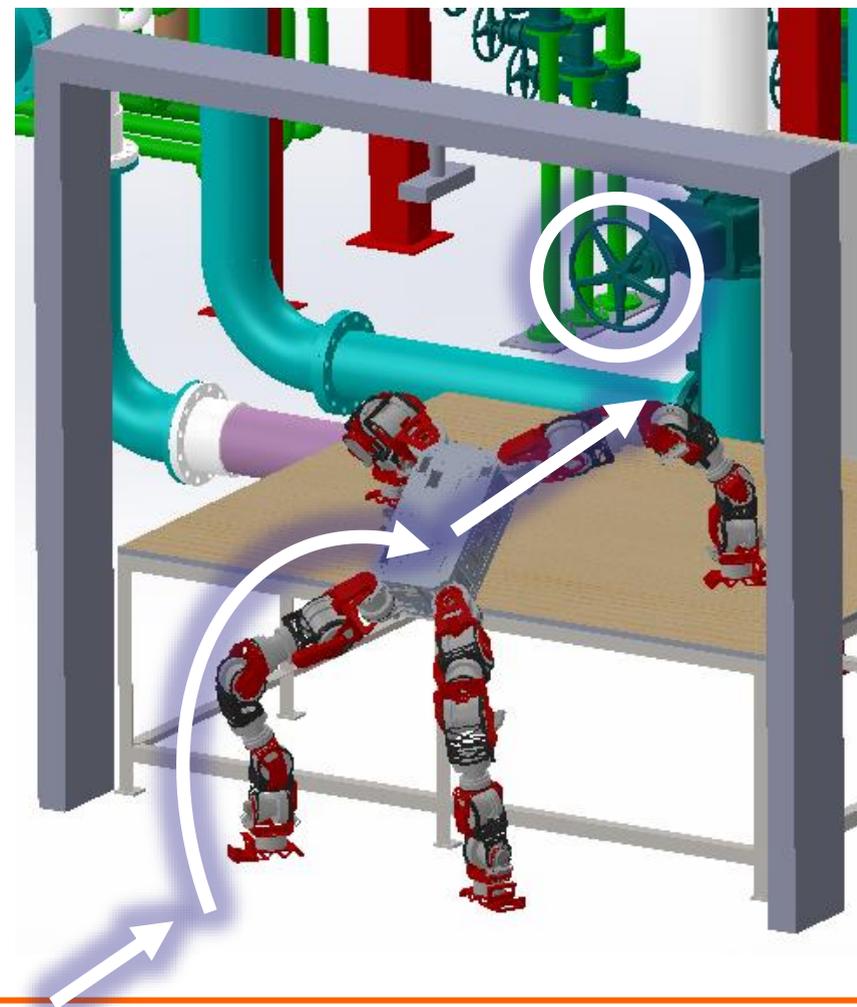
脚ロボットに求められる機能

- 1) アクセス困難箇所の移動
- 2) 修繕作業
 - ・バルブ開閉操作
 - ・ハンマードリルによる穿孔
- 3) 非破壊検査
 - ・超音波探傷等
- 4) 環境認識
 - ・外界環境の形状や性状
 - ・自己位置推定
- 5) 遠隔操作
 - ・ロボットの周囲状況を把握
 - ・アシスト制御

本日の試験内容 (試験1)

- 1) **アクセス困難箇所への移動**
- 2) **修繕作業**
 - ・バルブ開閉操作
 - ・ハンマードリルによる穿孔
- 3) **非破壊検査**
 - ・超音波探傷等
- 4) **環境認識**
 - ・外界環境の形状や性状
 - ・自己位置推定
- 5) **遠隔操作**
 - ・ロボットの周囲状況を把握
 - ・アシスト制御

脚長より高い段差の
よじ登り



本日の試験内容 (試験2)

- 1) アクセス困難箇所への移動
- 2) 修繕作業
 - ・バルブ開閉操作
 - ・ハンマードリルによる穿孔
- 3) 非破壊検査
 - ・超音波探傷等
- 4) 環境認識
 - ・外界環境の形状や性状
 - ・自己位置推定
- 5) 遠隔操作
 - ・ロボットの周囲状況を把握
 - ・アシスト制御

コンクリート壁への
穿孔



単腕WAREC

試験1の詳細

① 異音検出

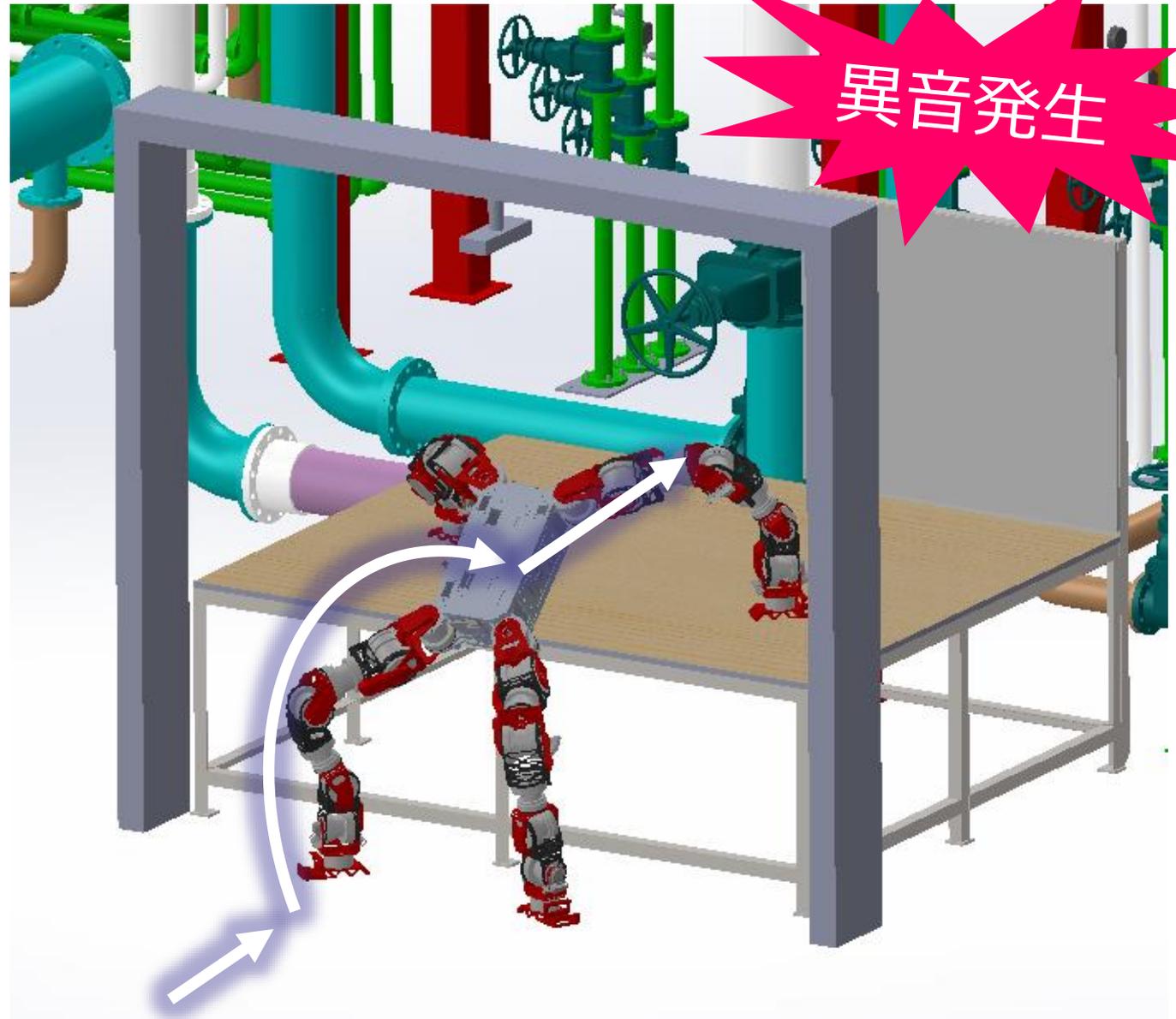
② 段差前まで
移動

③ 段差登り

④ バルブまで
移動

⑤ バルブ回し

(18分)



試験1：異音検出

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

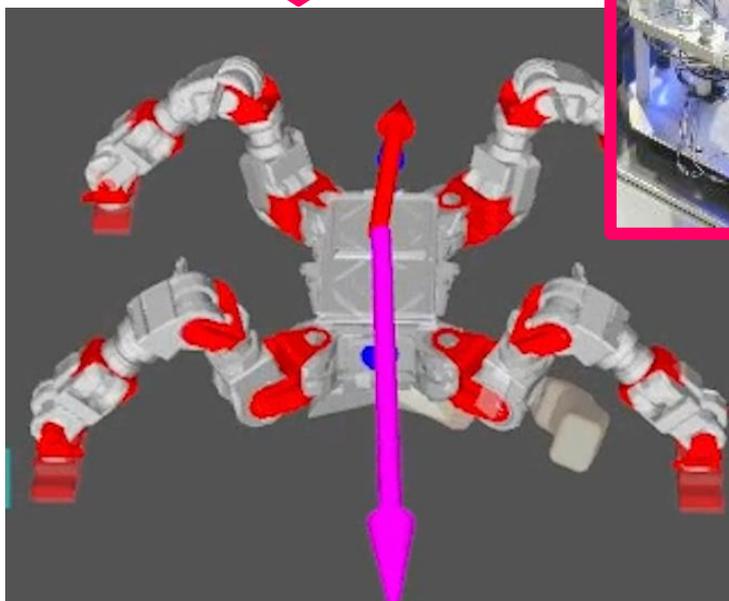
④ バルブまで移動

⑤ バルブ回し

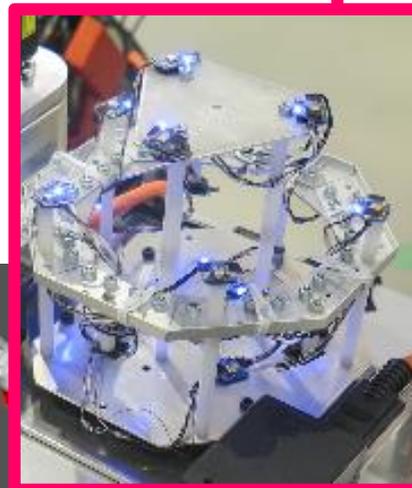
(18分)

■ 音源検出

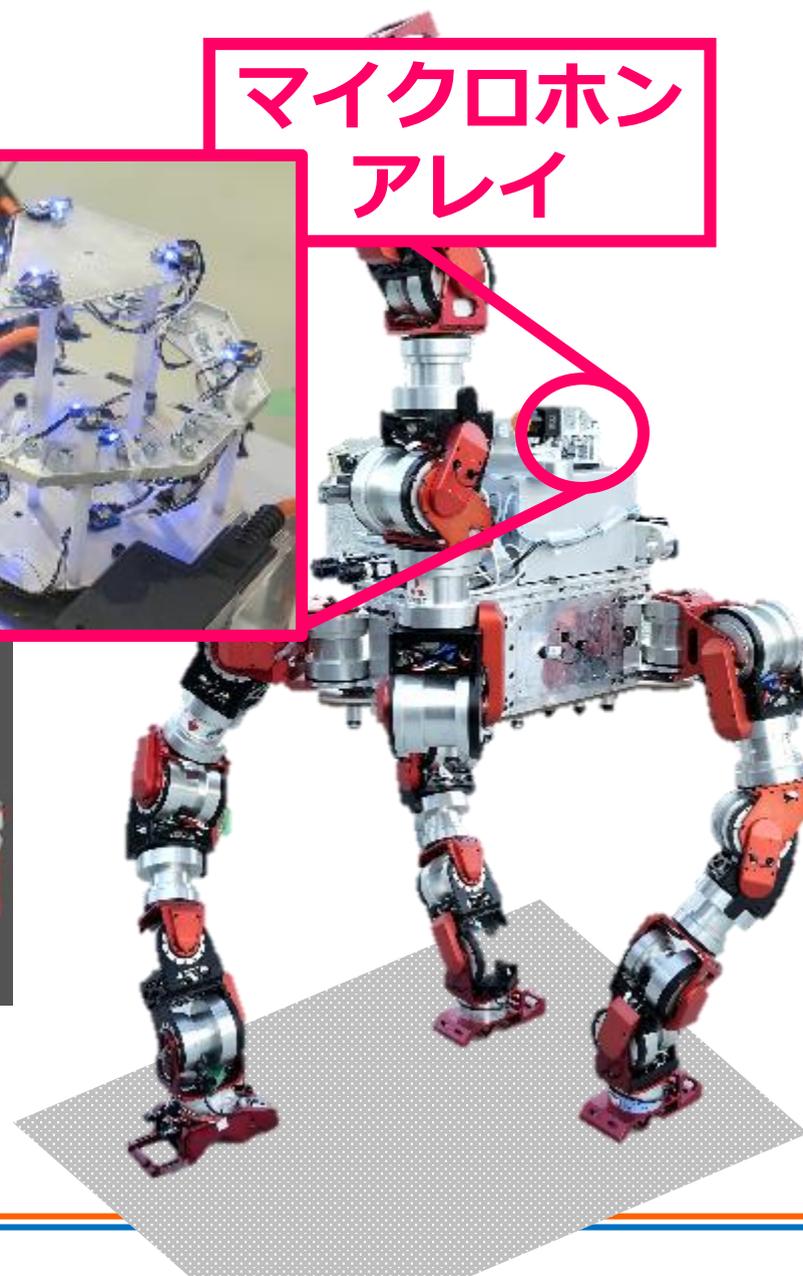
[産総研・佐々木]



操作画面上での
音源方向の提示



マイクロホン
アレイ

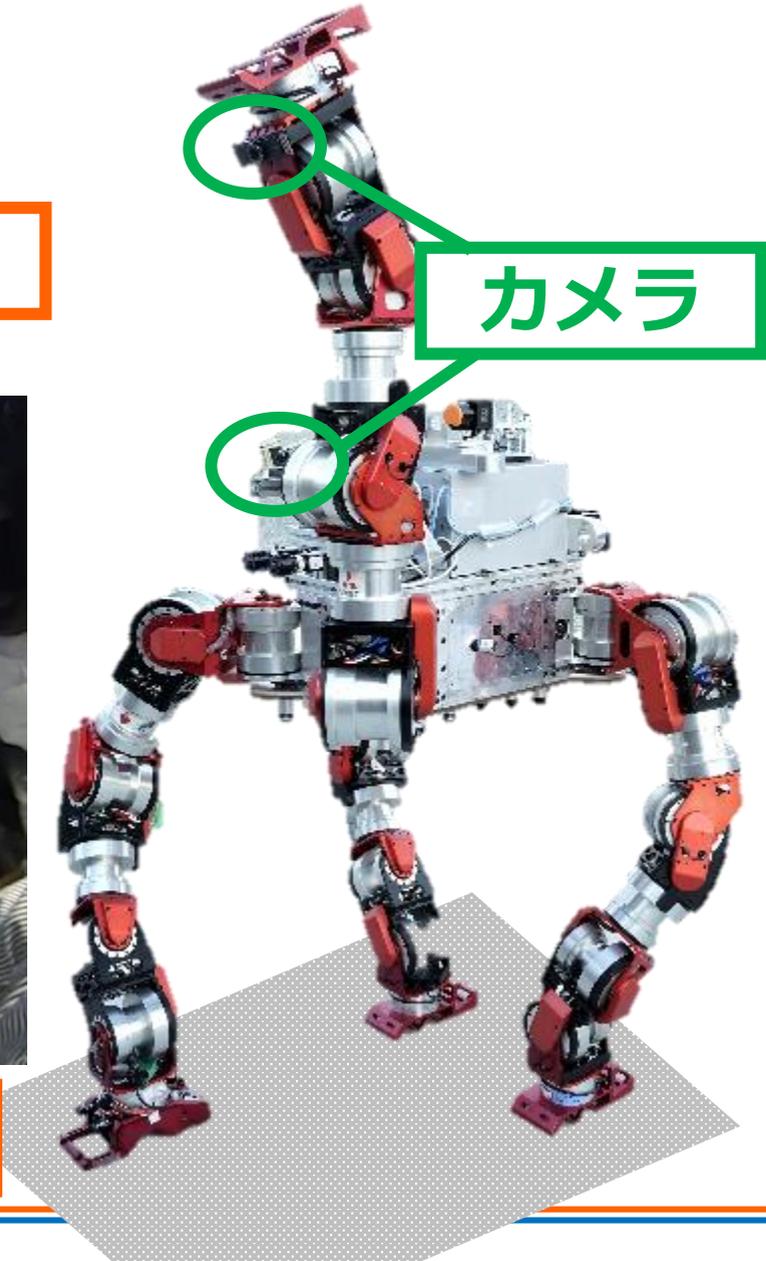


試験1：段差検出と遠隔操作

- ① 異音検出
- ② 段差前まで移動
- ③ 段差登り
- ④ バルブまで移動
- ⑤ バルブ回し

(18分)

■ 仮想ジオラマ操作 [名工大・佐藤]



試験1：段差検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで
移動

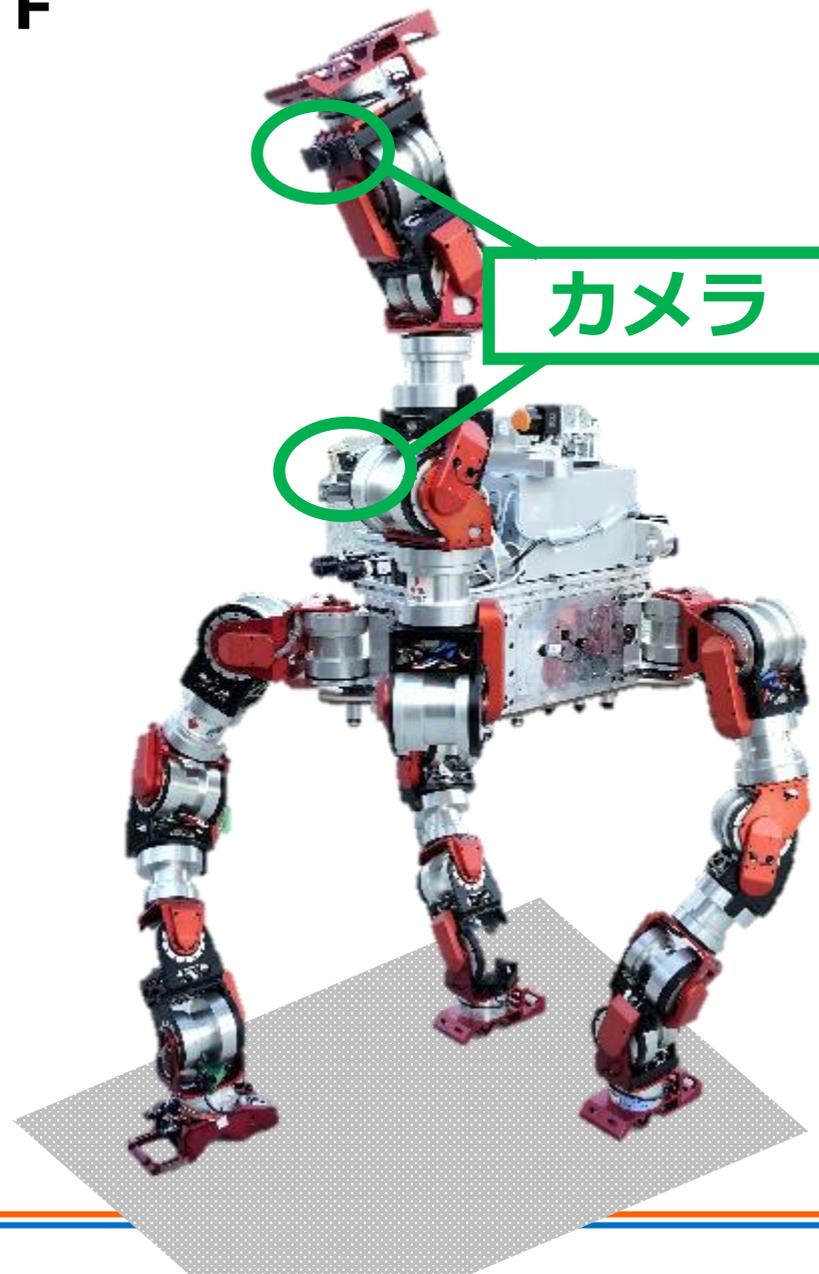
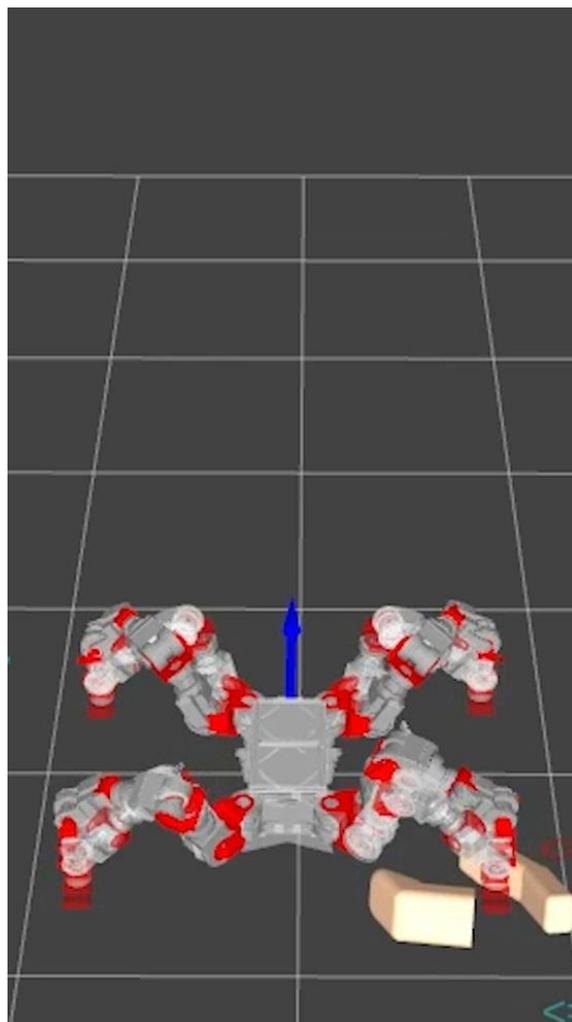
③ 段差登り

④ バルブまで
移動

⑤ バルブ回し

(18分)

■ 仮想ジオラマ操作 [名工大・佐藤]



試験1：段差検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで
移動

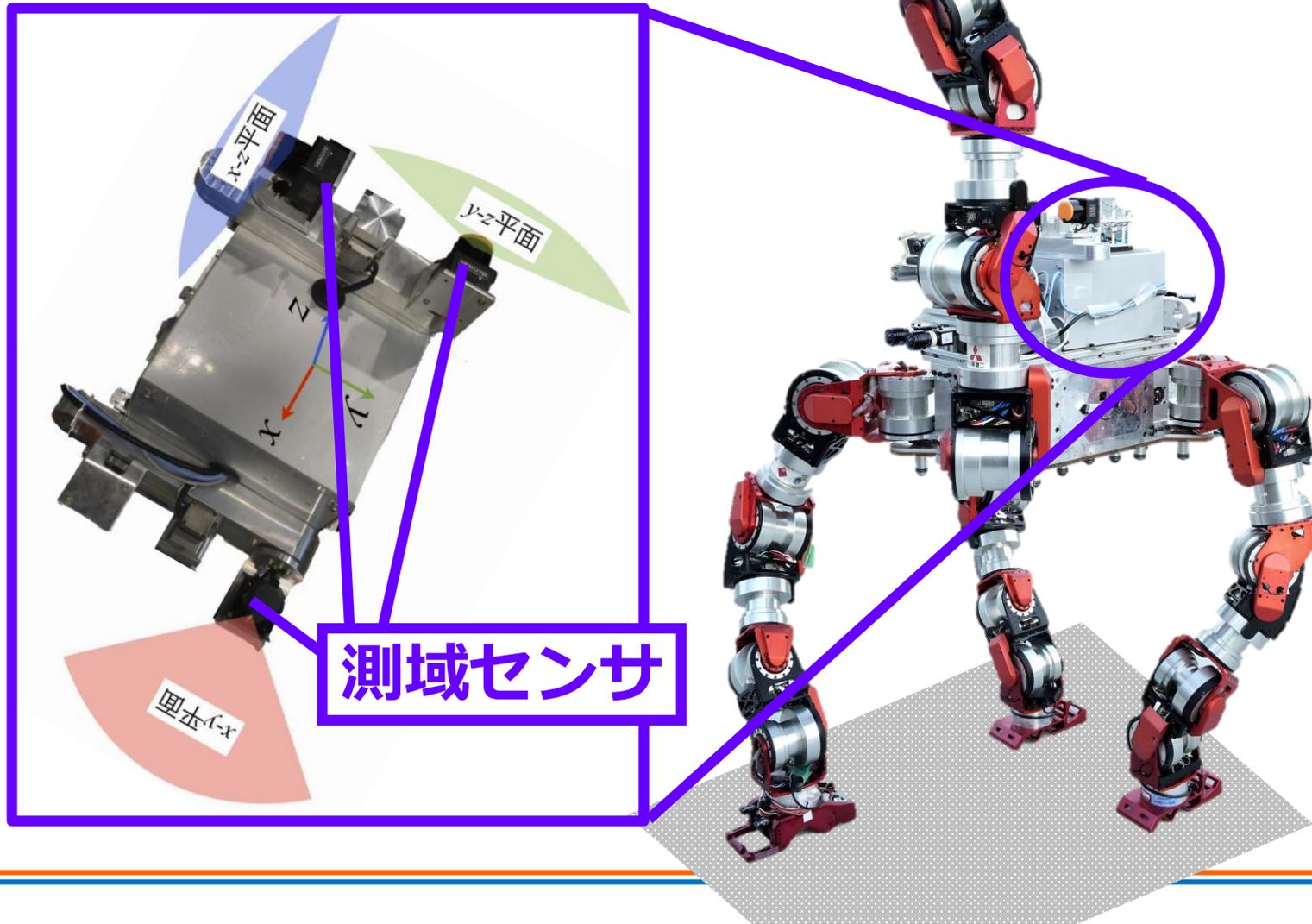
③ 段差登り

④ バルブまで
移動

⑤ バルブ回し

(18分)

- SLAM (自己位置推定と地図構築)
[首都大・久保田]



試験1：段差検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

④ バルブまで移動

⑤ バルブ回し

(18分)

■ 段差検出

[首都大・久保田]

- 移動に必要な面などの局所集中的な抽出と探索

測域センサアレイによる計測



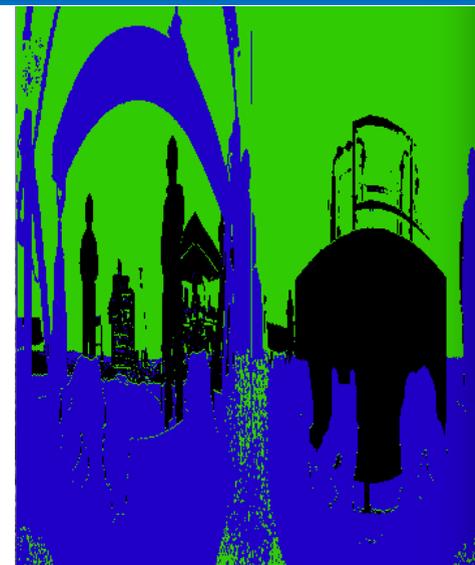
エッジと面要素のラベル付け



面要素のグループ化



段差の位置姿勢の算出



面の検出



段差の検出

試験1：段差検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

④ バルブまで移動

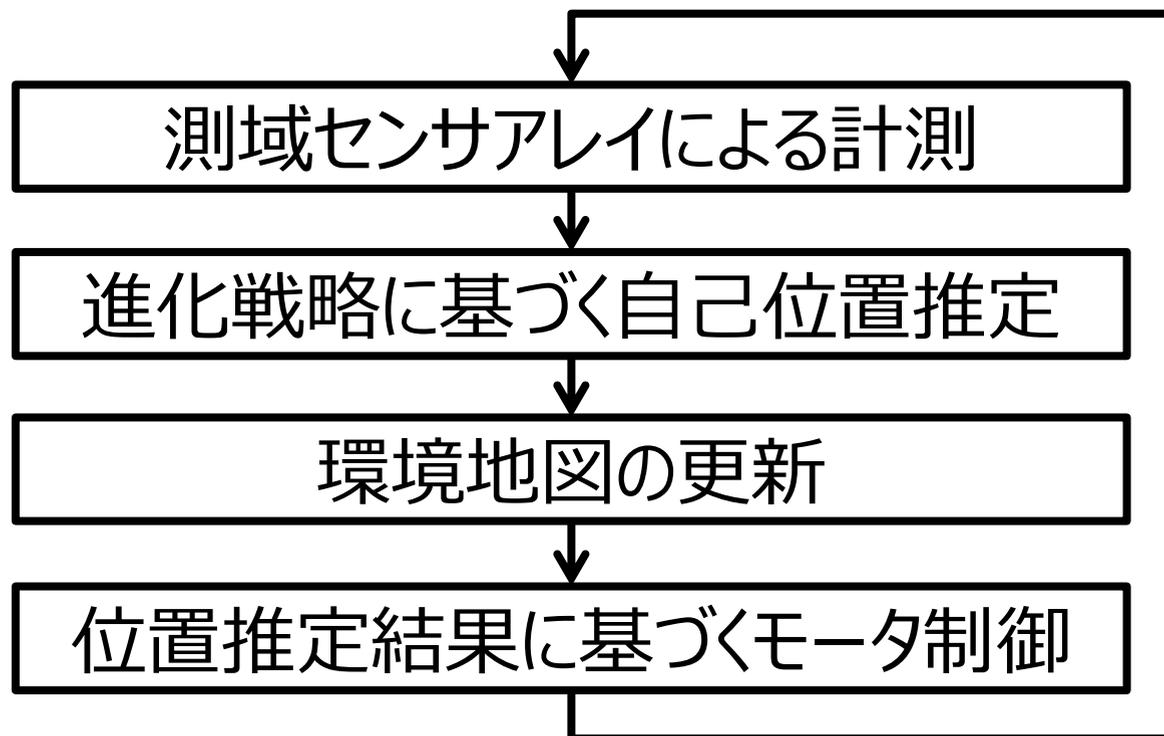
⑤ バルブ回し

(18分)

■ SLAM（自己位置推定と地図構築）

[首都大・久保田]

- 異なる計測平面の自己位置推定を統合
- 進化的ロボットパーセプションに基づく実時間SLAM



試験1：段差検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで移動

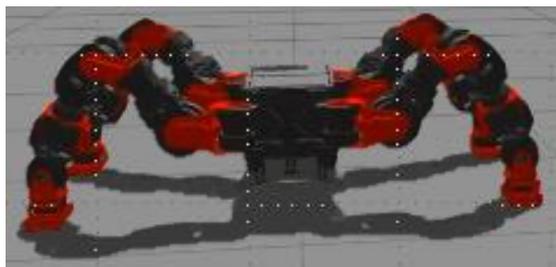
③ 段差登り

④ バルブまで移動

⑤ バルブ回し

(18分)

■ 仮想俯瞰画像提示 [京都大・松野]

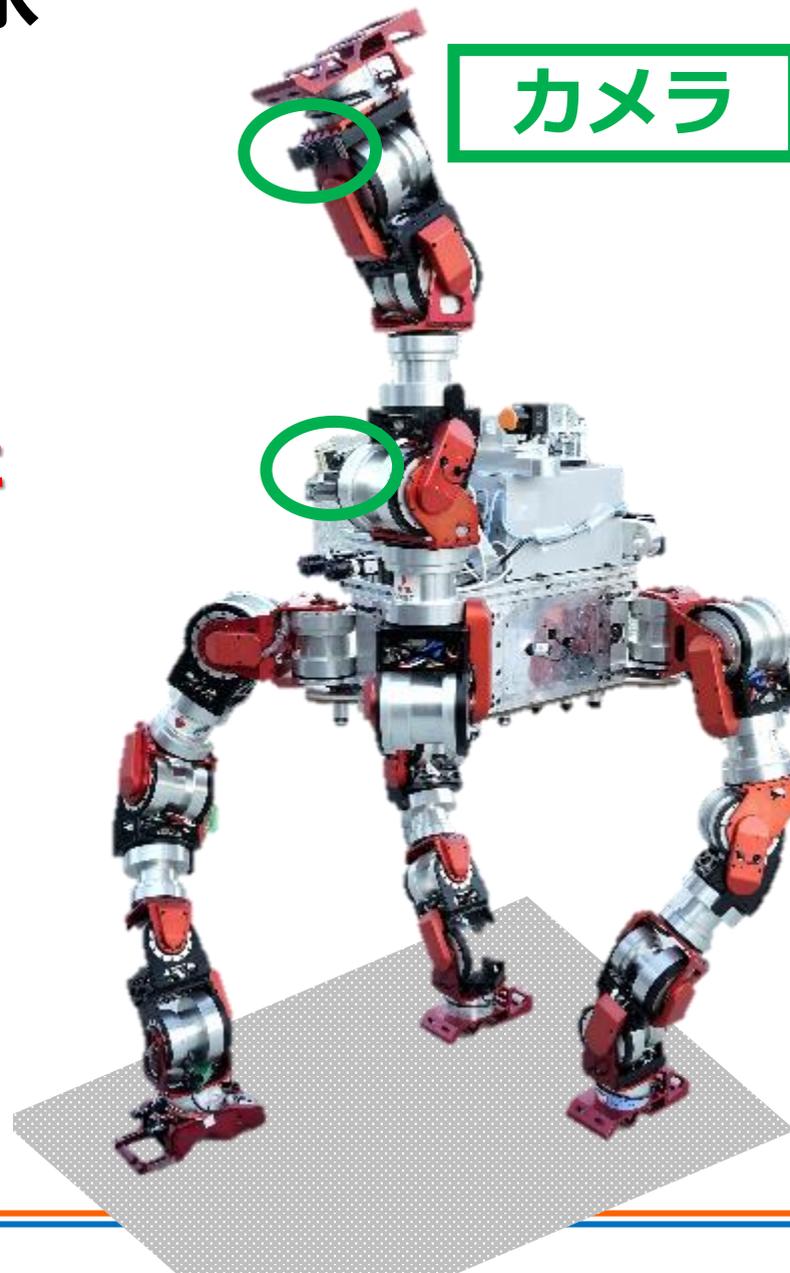


過去の視点から見た
ロボットCGモデル

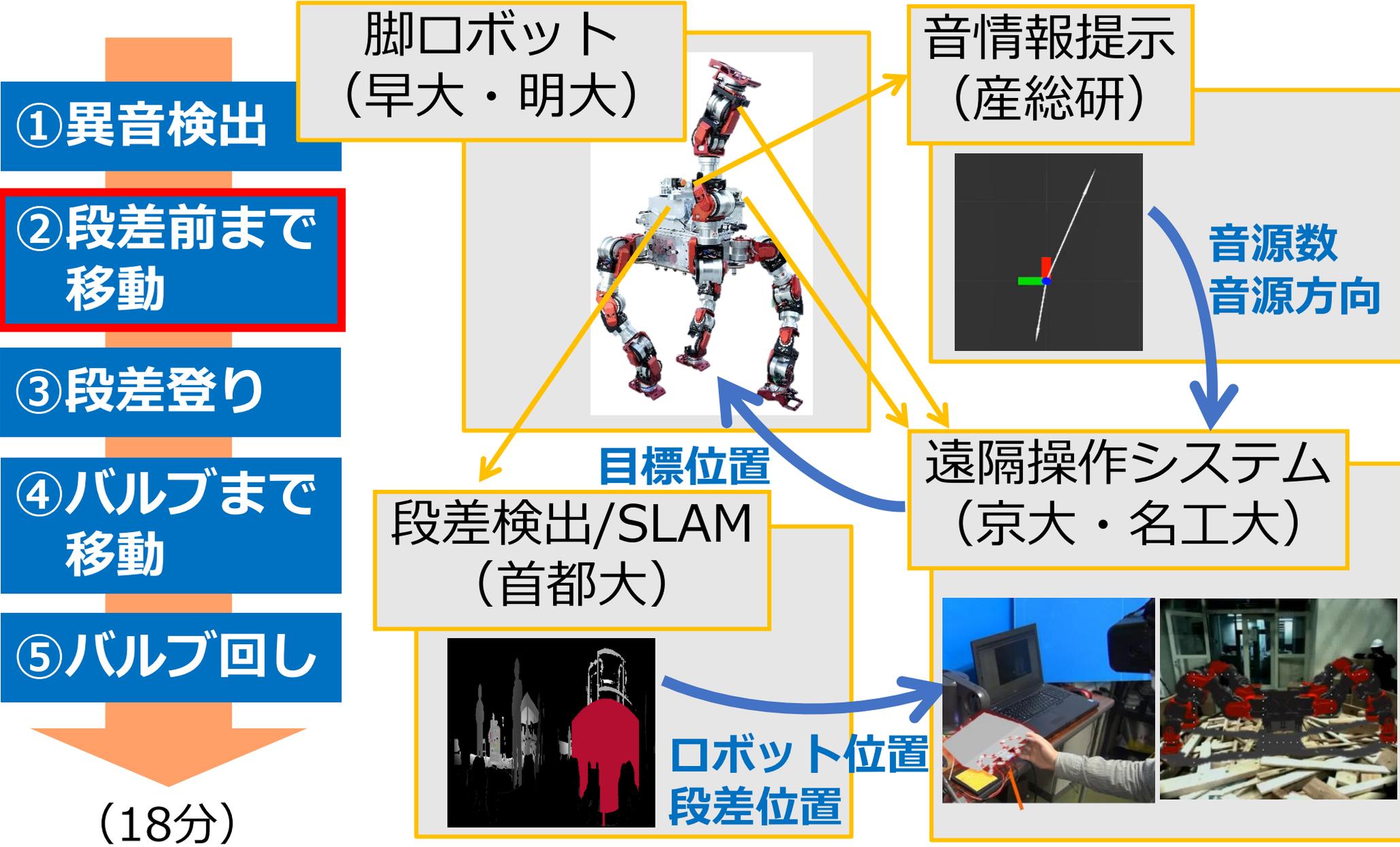


仮想的な三人称画像

カメラ



試験1：段差検出と遠隔操作



試験1：段差登り

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

④ バルブまで移動

⑤ バルブ回し

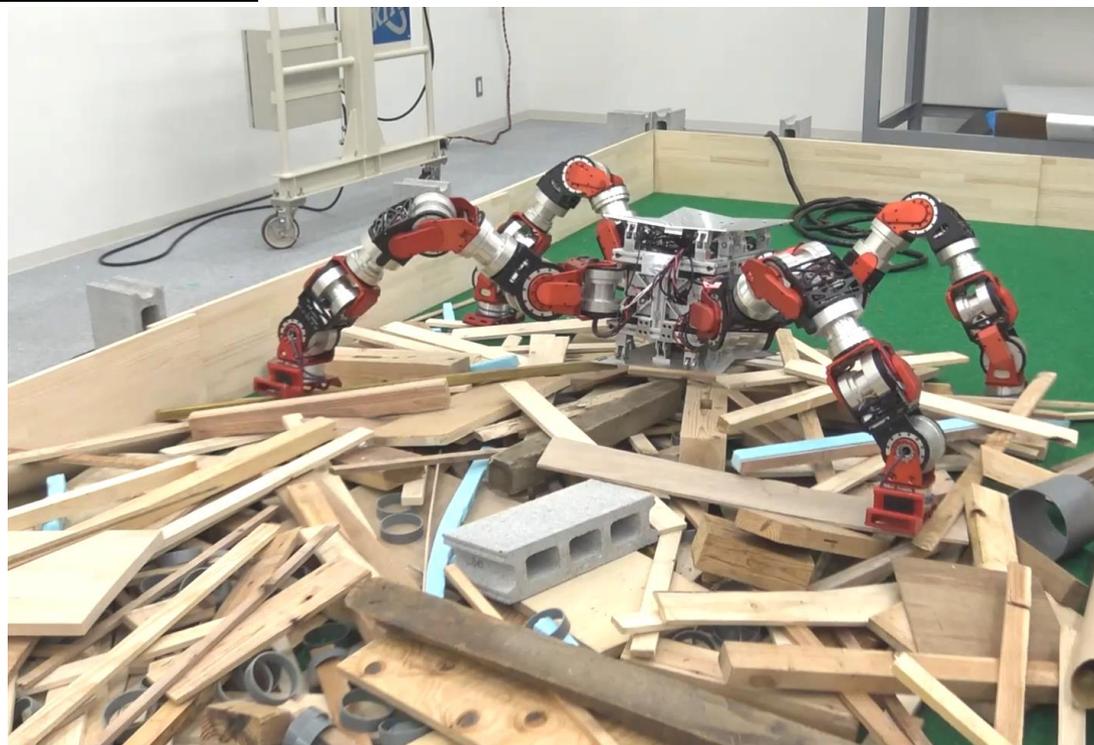
(18分)

■ 段差のよじ登り

[明治大・橋本, 早稲田大・高西]

- 胴体部を積極的に接地させることで、脚長よりも高い段差の踏破を実現

瓦礫路面



試験1：段差登り

① 異音検出

② 段差前まで
移動

③ 段差登り

④ バルブまで
移動

⑤ バルブ回し

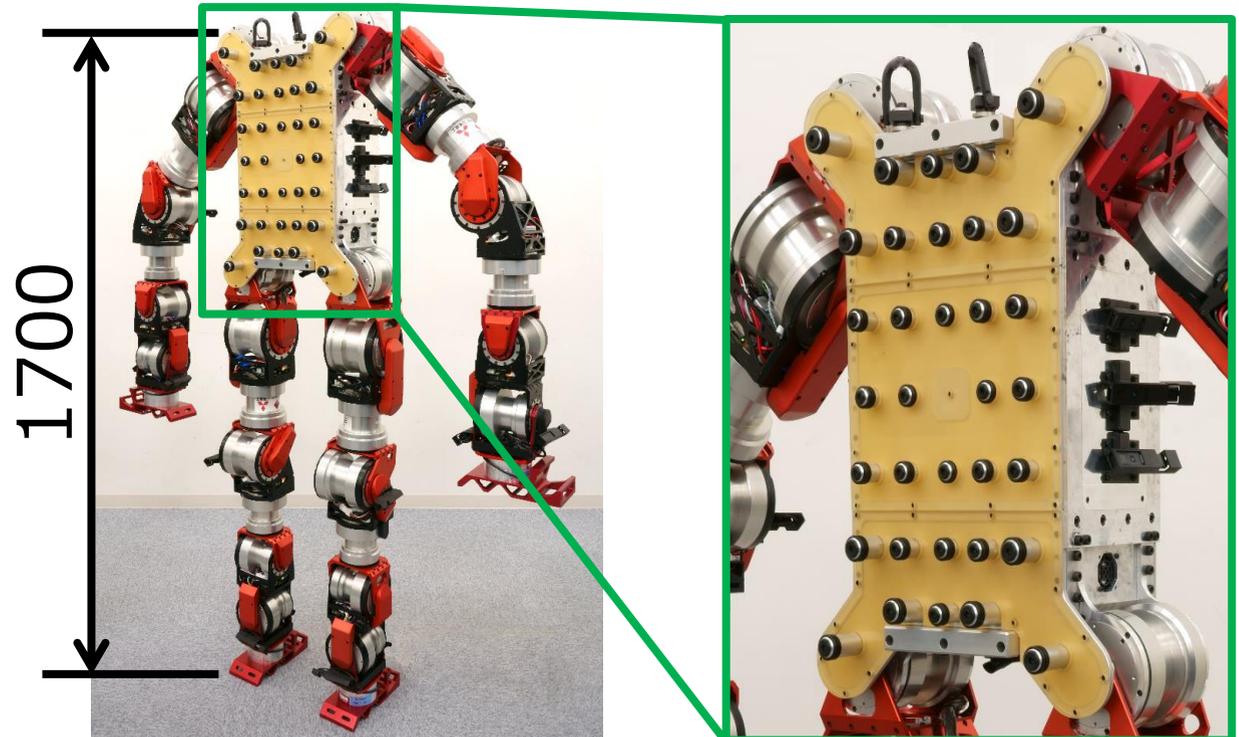
(18分)

■ 段差のよじ登り

[明治大・橋本, 早稲田大・高西]

- 胴体部を積極的に接地させることで、脚長よりも高い段差の踏破を実現

胴体部のスパイク機構



試験1：バルブ検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

④ **バルブまで移動**

⑤ バルブ回し

(18分)

■ バルブ検出

[首都大・久保田]

- 作業に必要な物体などの局所集中的な抽出と探索

測域センサアレイによる計測

計測距離をもとに領域分割

バルブ形状に合致する領域を探索

バルブの位置姿勢の算出

試験1：バルブ検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで
移動

③ 段差登り

④ バルブまで
移動

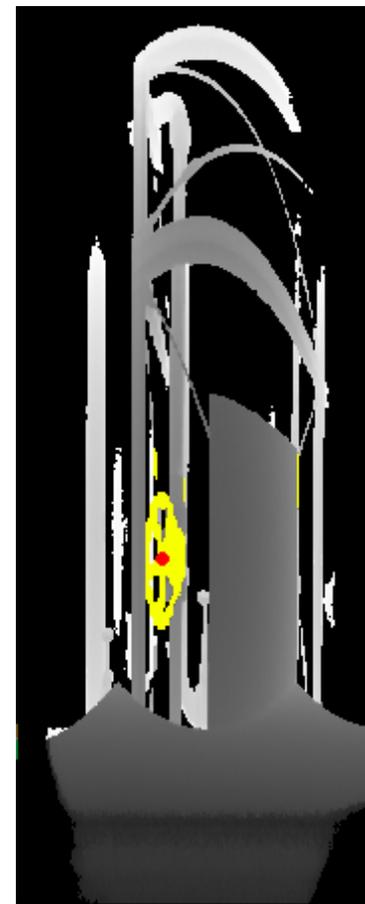
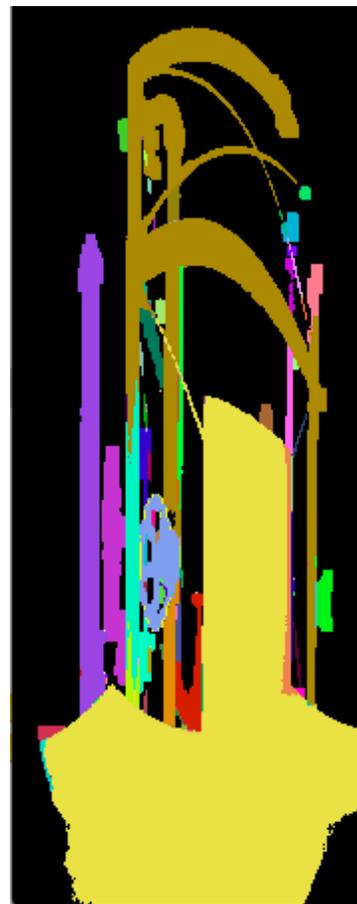
⑤ バルブ回し

(18分)

■ バルブ検出

[首都大・久保田]

- 作業に必要な物体などの局所集中的な抽出と探索



試験1：バルブ検出と遠隔操作

① 異音検出

② 段差前まで移動

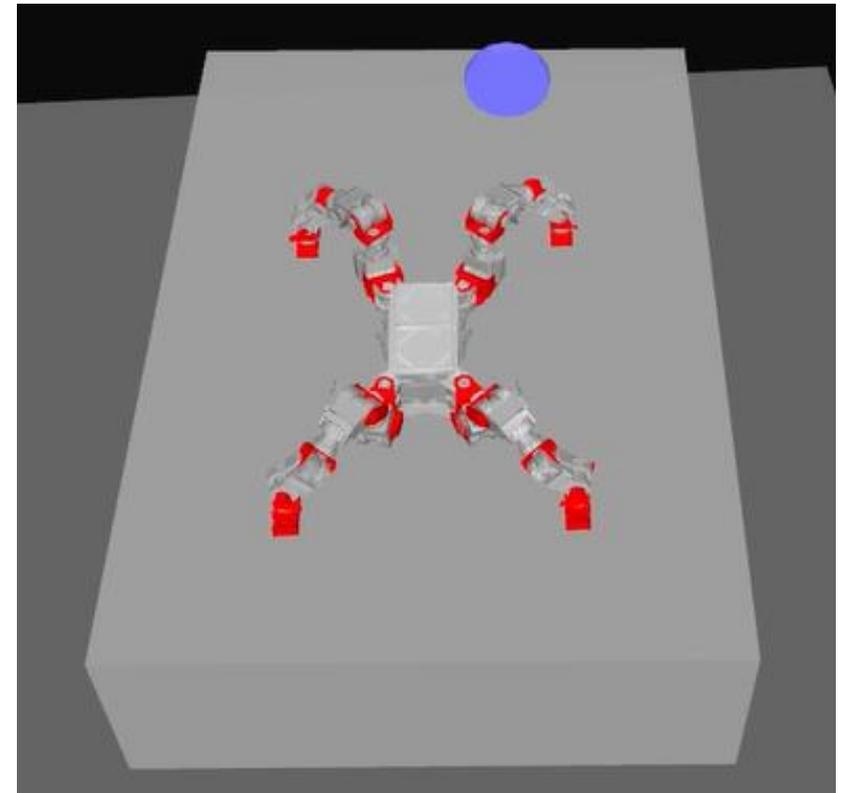
③ 段差登り

④ **バルブまで移動**

⑤ バルブ回し

(18分)

- 仮想俯瞰画像提示 [京都大・松野]
- 仮想ジオラマ操作 [名工大・佐藤]
- 狭い作業領域においてロボットが「足を踏み外さないか」、「環境と接触しないか」などの確認が可能



試験1：バルブ回し/アシスト制御

① 異音検出

② 段差前まで
移動

③ 段差登り

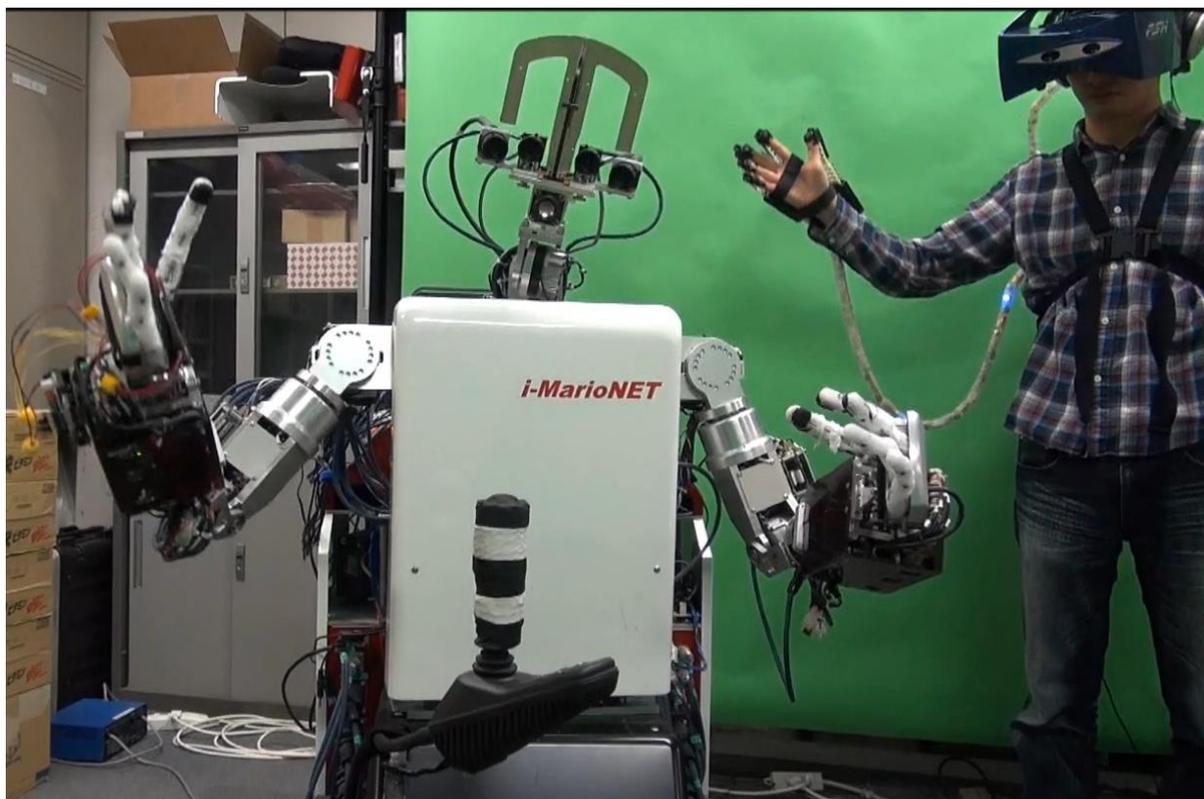
④ バルブまで
移動

⑤ バルブ回し

(18分)

■ 軽量で装着が容易なモバイルマスタ (FST) [千葉大・並木]

- 全身の動きを実時間で計測するチューブ状センサ
- 視触覚提示機能



試験1：バルブ回し/アシスト制御

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

④ バルブまで移動

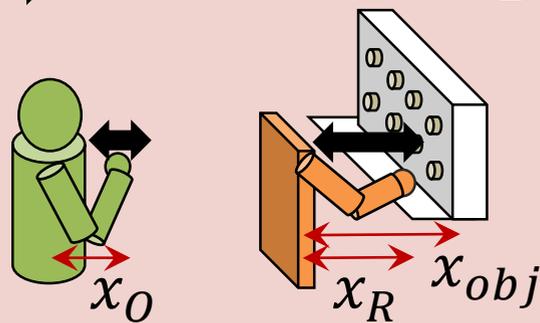
⑤ **バルブ回し**

(18分)

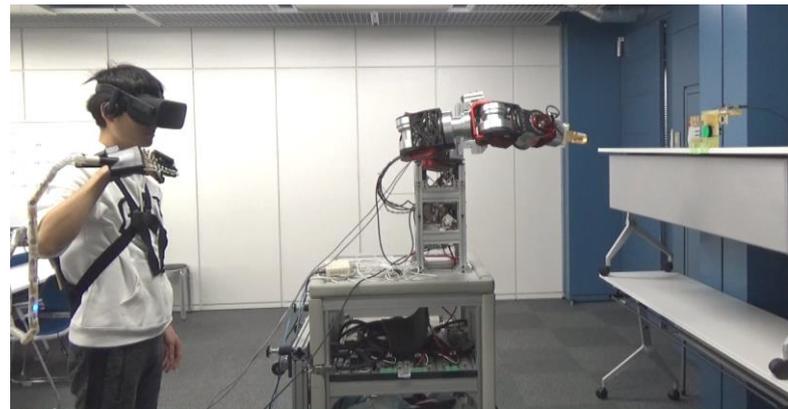
■ スケール・ゲイン調整 [早稲田大・岩田]

高い身体負荷の操作

▶ 「スケール拡大」

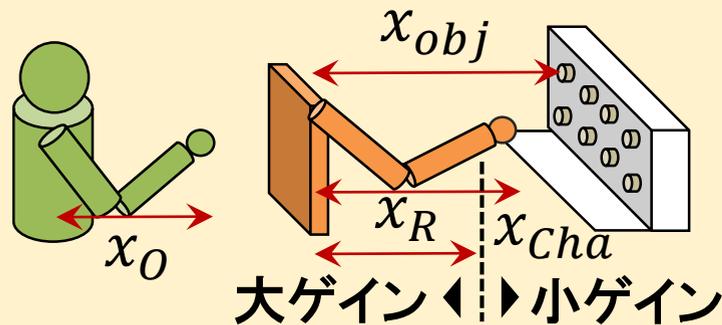


$$x_R = \delta \times x_0$$

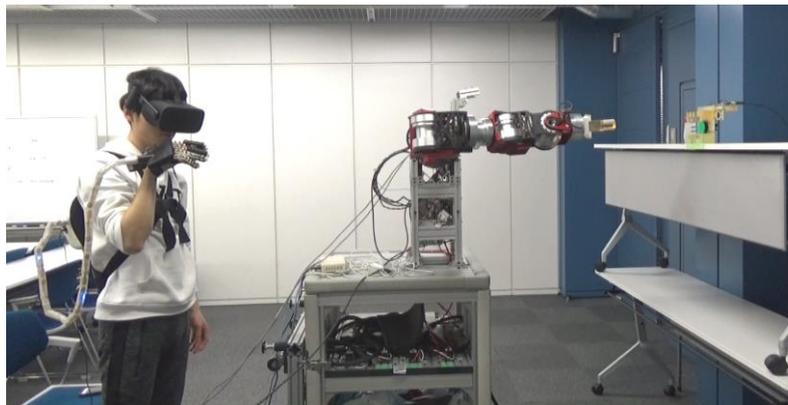


精度が求められる操作

▶ 「局所的ゲイン縮小」



$$x_R = x_{cha} + G_p \times \left(x_0 - \frac{x_c}{G_r} \right)$$



試験1：バルブ回し/アシスト制御

① 異音検出

② 段差前まで移動

③ 段差登り

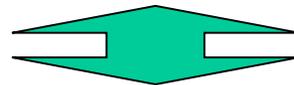
④ バルブまで移動

⑤ バルブ回し

(18分)

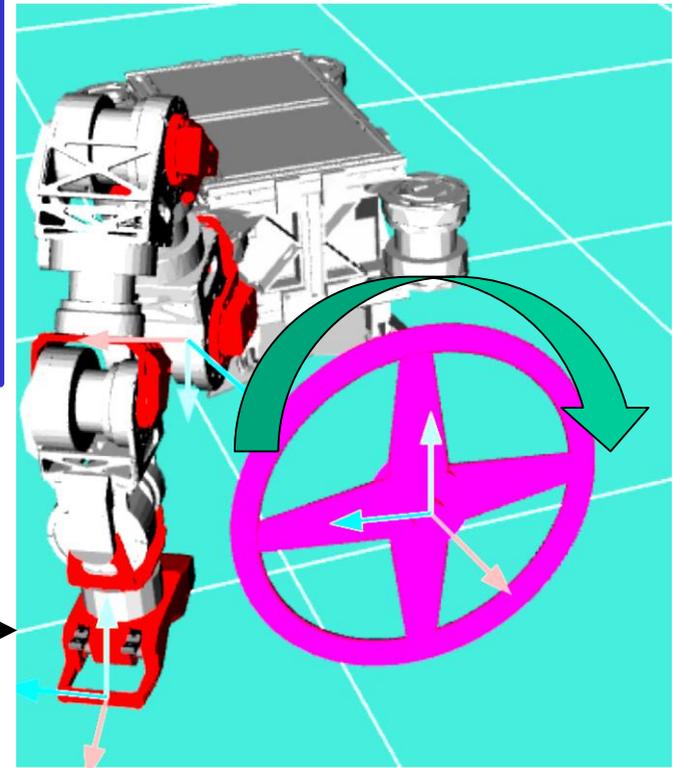
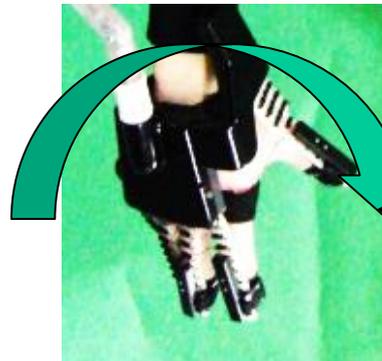
■ 遠隔操作・自律制御統合アシスト制御
 [千葉大・並木]

□ バルブへのリーチング (遠隔操作)

 切り替え

□ バルブの回転

- 遠隔操作：軸回り回転
- 自律制御：その他



試験2：コンクリート壁への穿孔

■ 防水仕様の単腕WAREC

[明治大・橋本, 早稲田大・高西]

- 防水スーツを装着し, 雨天時の作業も可能に

■ 反力一定制御（力制御）

[岐阜大・毛利]

- 穿孔中に壁にドリルを押し付ける力が一定となるように作業をアシスト



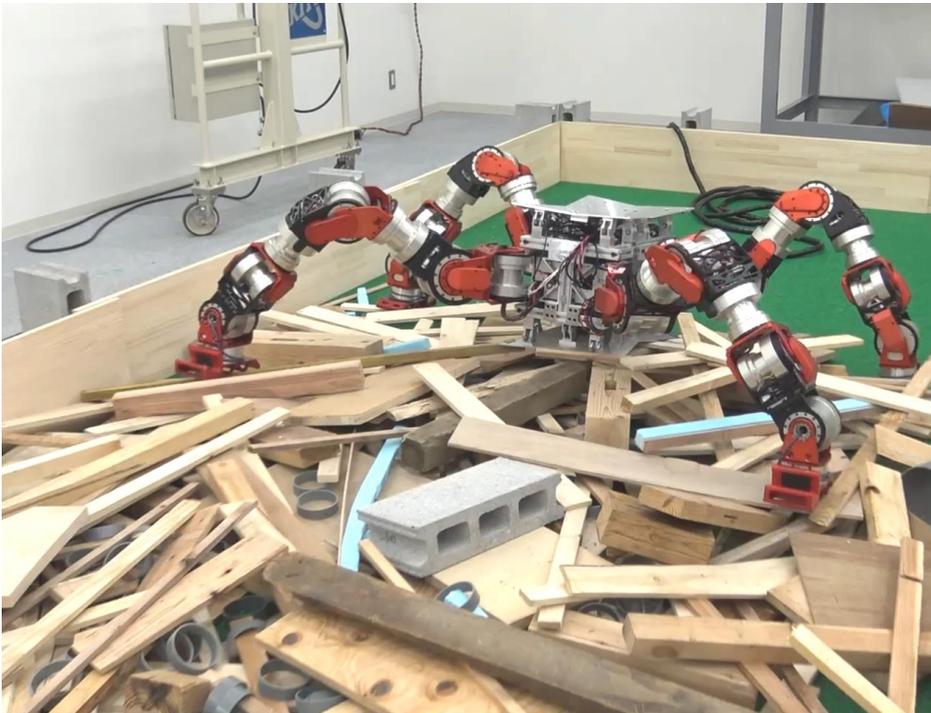
段差下り

■ 胴体接地を積極的に活用した段差昇降

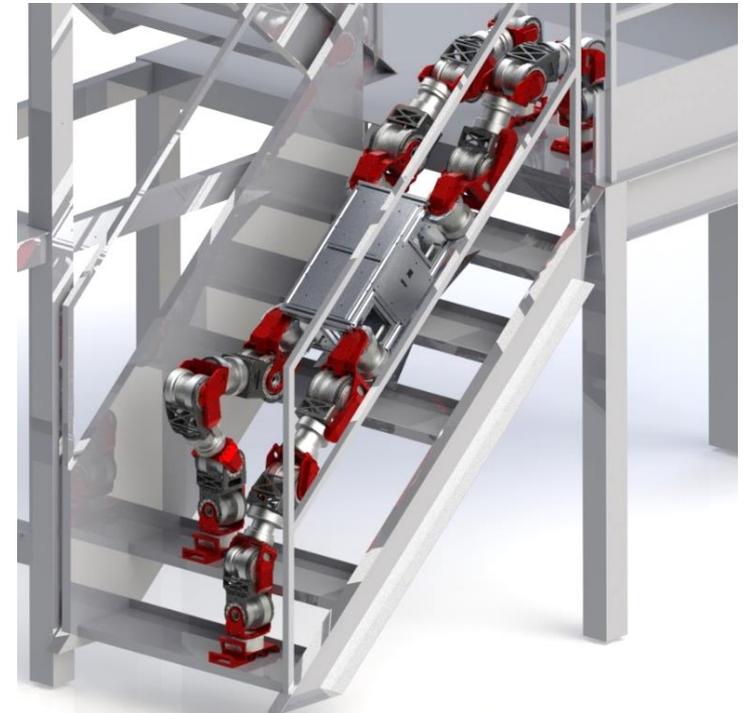
[明治大・橋本, 早稲田大・高西]

- 胴体部を積極的に接地させることで, 様々な環境を安全に移動可能

瓦礫路面



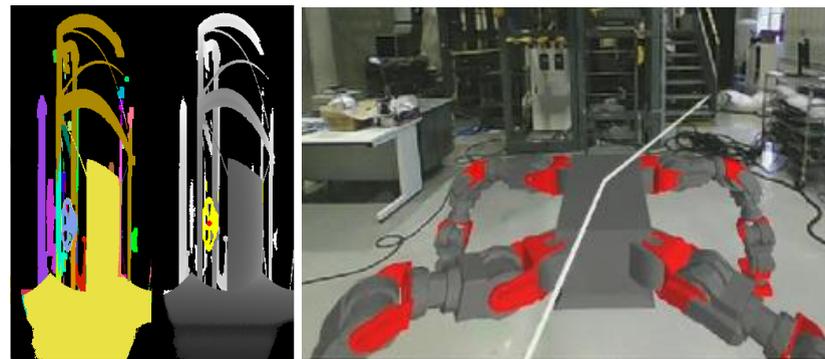
階段



脚ロボットの統合システム概要

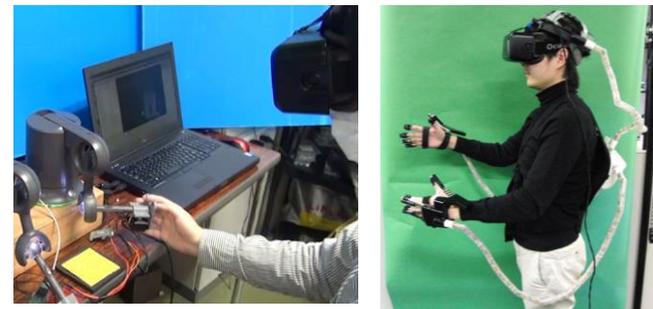
[環境認識]

- 音源検出 (産総研 佐々木)
- SLAM, 環境認識 (首都大 久保田)



[移動UI]

- 仮想俯瞰画像 (京都大 松野)
- 仮想ジオラマ操作 (名工大 佐藤)



[作業UI]

- モバイルマスタ, アシスト制御 (千葉大 並木)
- スケール・ゲイン調整 (早稲田大 岩田)
- 力制御 (岐阜大 毛利)



- 大きな段差のよじ登り
- コンクリート壁への穿孔

- 脚ロボットWAREC-1
(明治大 橋本, 早稲田大 高西)