開発レポート　Development Report

4 脚移動装置の試験用実験機「Aldebaran」の開発

― 各脚 2 自由度・8 サーボによる低コストな歩行実験機 ―

Aldebaran: A Low-Cost Quadruped Test Platform with Two-DOF Legs

レポート番号	MTIC-DR-2026-008
団体	NPO 法人松戸技術革新センター M-TIC　松戸ロボット研究会
著者	戸松 煌太
発行日	2026 年 10 月 25 日
対象	Aldebaran（4 脚移動装置試験用実験機）
分類	開発レポート／移動機構・歩行制御
機体状態の基準日	2026 年 8 月 22 日

本レポートの数値と機体状態について　本検証系は研究開発段階にあり随時変更されるため、記載の仕様は基準日時点のものであり、現在の実機と一致することを保証しない。数値には種別を付す：**公称**＝カタログ・設計値、**実測**＝実際に計測した値（記載桁が測定分解能）、**概算**＝目測・推定値。

概要

Aldebaran は、4 脚歩行の実験を手早く繰り返すために作った小型の実験機である。1 本の脚をサーボ 2 個で動かす自由度 2 の構成とし、4 脚で合計 8 個のサーボを ESP32 からサーボドライバ経由で制御する。ESP32 は無線 LAN のアクセスポイントとして動き、スマートフォンなどのブラウザから操作する。部品代を 1 万円以下（概算）に抑え、壊しても作り直せる価格にすることで、試作と改良を短い周期で回せるようにした。対角の 2 脚を交互に接地させるトロット歩行を周期 0.55 秒で生成し、前進と旋回の指令を歩幅の違いに変換して歩かせる。平坦な床での前進を確認した。歩行速度や安定性の数値はまだ計測していない。今後はシミュレーターで歩き方を学習させ、実機に戻して歩行の質を上げていく。最終的には、大型の多脚メカのようなプロポーションと動きを再現できる機体を目指す。

1. 背景と目的

1.1 開発背景

脚で歩くロボットは、車輪の機体と比べて段差や不整地に強い反面、歩き方（歩容）の設計と調整に手間がかかる。大きな機体でこれを試そうとすると、部品代が高く、壊したときの損失も大きい。まず小さく安い機体で歩行の実験を繰り返し、うまくいった方法を大きな機体へ持っていく方が、開発の回数を増やせる。

そこで、部品代を 1 万円以下（概算）に抑えた 4 脚の実験機 Aldebaran を製作した。脚の自由度をあえて 2 に絞り、構造と制御を単純にしている（図 1）。

1.2 目的と目標

目的は、歩容の実験を短い周期で繰り返せる実験機を持つことである。目標は次の 3 点とした。

- 無線で操作できること
- トロット歩行で前進できること

- 壊れても部品代 1 万円以下で作り直せること

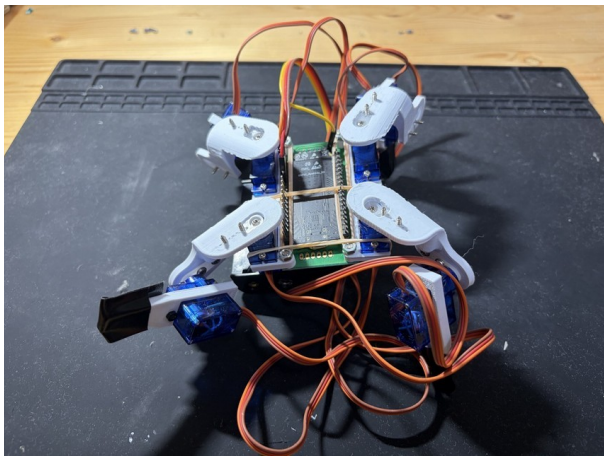


図 1　Aldebaran の全体（サーボ 4 脚構成・ESP32 制御基板）

2. システム構成

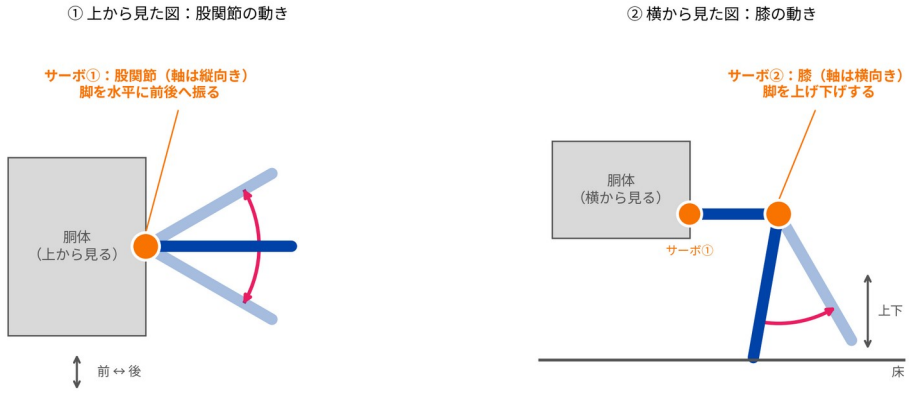
2.1 機体

項目	仕様
全長	200 mm（脚を広げた状態の最大、概算）
幅	170 mm（脚を広げた状態の最大、概算）
高さ	60 mm（取っ手を含まない、概算）
質量	400 g（概算）
脚	4 本。1 本あたりサーボ 2 個（股関節・膝）、自由度 2
サーボ	小型ホビーサーボ ×8（パルス幅 500〜2500 µs で 0〜180°）
制御基板	ESP32（無線 LAN 内蔵のマイコン）
サーボドライバ	PCA9685（I²C 接続の 16 チャンネル PWM 出力 IC、50 Hz）。ESP32 の 2 本の信号線で 8 個のサーボを動かす
操作	ESP32 が無線 LAN のアクセスポイントになり、スマートフォンや PC のブラウザから操作する
電源	6 V（制御・サーボとも）
部品代	1 万円以下（概算）

2.2 脚の構成

脚は股関節と膝の 2 つのサーボで動かす（図 2）。股関節のサーボは軸が縦向きで、脚を水平面の中で前後に振る。膝のサーボは軸が横向きで、脚を上げ下げする。この 2 つの組み合わせで、脚を「持ち上げて前に出し、下ろして体を引く」という歩行の基本動作が作れる。

Copyright © 2026 Matsudo Technology Innovation Center. All rights reserved.



1本の脚をサーボ2個で動かす（自由度2）。股関節は水平に振り、膝は上下に持ち上げる。4脚で合計8個のサーボ（概念図）

図 2　脚の 2 自由度（左：上から見た股関節の動き　右：横から見た膝の動き）

2.3 制御と通信

ESP32 は自分自身が無線 LAN のアクセスポイントになり、接続したスマートフォンや PC のブラウザに操作画面を表示する。ESP32 を選んだのは、無線機能を内蔵していて外付けの通信モジュールが要らず、価格も安いためである。操作画面からは、前進・後退・旋回の指令、立つ・しゃがむ・中立の姿勢、サーボごとの調整（角度のずれの補正と回転方向の反転）ができる。調整値は ESP32 内の不揮発メモリに保存され、電源を切っても残る。

サーボは ESP32 から直接ではなく、I²C 接続のサーボドライバ PCA9685 を介して動かす。ESP32 からドライバへは 2 本の信号線だけでよく、ドライバが 8 個分のパルスを作る（図 3）。歩行中は 20 ミリ秒ごとに全サーボの角度を更新する。操作の指令が 250 ミリ秒途絶えると歩行を止める安全処理を入れている。

Aldebaran の構成（ブラウザからの指令を ESP32 が受け、サーボドライバを介して8個のサーボを動かす）

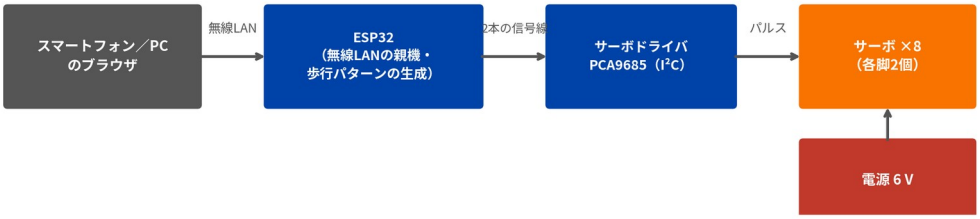


図 3　Aldebaran の構成

2.4 歩き方（トロット歩行）

歩容はトロット歩行である。対角にある 2 本の脚（左前と右後、右前と左後）を 1 組にし、一方の組が床に着いて体を支えている間に、もう一方の組を持ち上げて前へ出す。これを交互に繰り返す（図 4）。プログラムでは、左前と右後の脚を同じ位相、右前と左後をちょうど半周期ずらした位相で動かし、1 周期を 0.55 秒、遊脚と接地をそれぞれ半周期ずつとしている。常に 2 本の脚で体を支えるため、4 本の脚を 1 本ずつ動かす歩き方より速く進める。一方、支える脚が 2 本しかないため、体の傾きが出やすい。

Copyright © 2026 Matsudo Technology Innovation Center. All rights reserved.

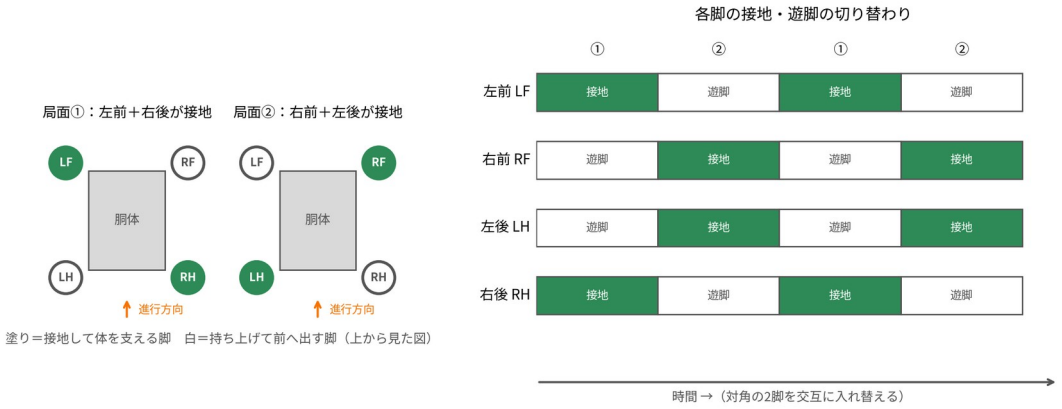


図 4　トロット歩行の接地パターン（左：上から見た 2 つの局面　右：各脚の接地・遊脚の切り替わり）

脚 1 本の 1 周期の動きを図 5 に示す。股関節は、遊脚のあいだに後ろから前へ、接地のあいだに前から後ろへ動き、その振り幅が歩幅になる（前進指令が最大のとき中立から±28°、設定値）。膝は遊脚のあいだだけ持ち上げ（最大 82°、設定値）、接地では伸ばした状態を保つ。角度の変化は余弦カーブでなめらかにしている。旋回は、左右の脚の股関節の振り幅を逆向きに増減させる（最大±20°、設定値）ことで行う。右の脚の歩幅を小さく、左を大きくすれば右へ曲がる、という考え方である。

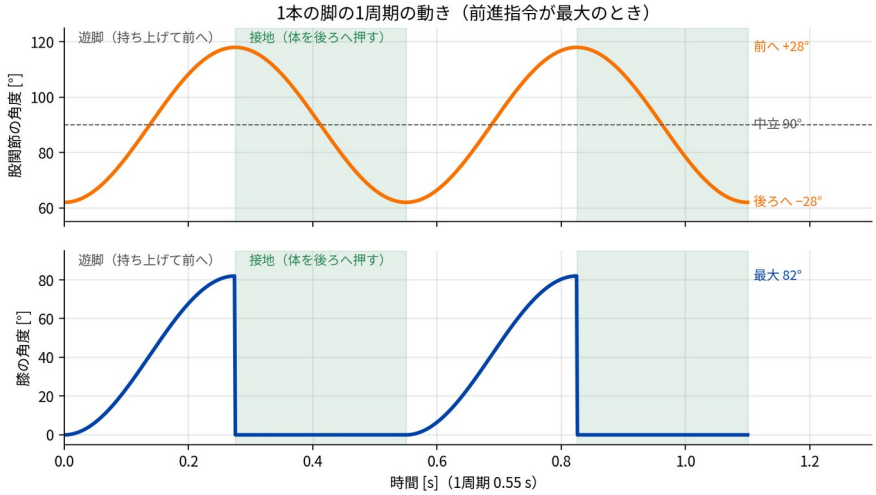


図 5　脚 1 本の 1 周期における股関節と膝の角度（プログラムの設定値から作図。前進指令が最大のとき）

3. 検証方法と結果

3.1 検証方法

室内の平坦な床の上で、無線の端末から操作してトロット歩行で前進させ、動きを目で確認した。

3.2 結果

項目	結果
無線操作	スマートフォンのブラウザからの指令で動作することを確認
トロット歩行	平坦な床で前進できることを確認
部品代	1 万円以下（概算）

歩行速度・安定性・連続動作時間はこれから測る（5.1 節）。

Copyright © 2026 Matsudo Technology Innovation Center. All rights reserved.

4. 課題と考察

- **自由度 2 の限界：**脚の長さを変える関節がないため、体の高さを一定に保ちながら歩くことや、段差をまたぐ動きは苦手である。旋回は左右の脚の振り幅を変える方式で実装しているが、どの程度の半径で曲がれるかは測っていない。
- **体の傾き：**トロット歩行では支える脚が 2 本しかなく、脚を入れ替える瞬間に体が傾きやすい。脚の入れ替えのタイミングと、体の重心の位置が効いていると考えられる。
- **着地の衝撃：**現在のプログラムでは、遊脚の終わりに膝が最大の持ち上げ角から一度に伸びた状態へ切り替わる（図 5）。この瞬間に脚が床をたたく形になり、体の揺れや音の原因になっている可能性がある。膝を下ろす動きもなめらかなカーブにすることで改善できると考えられる。
- **サーボの力：**小型のホビーサーボを使っているため、脚に大きな力はかけられない。機体を軽くすることで釣り合わせているが、大きな機体へ発展させるときはサーボの見直しが必要になる。
- **数値の不足：**今回は歩けることの確認にとどまり、速度や安定性を数値で評価していない。歩容を比較するには計測が必要である。

5. 今後の展望

5.1 検証計画

計測項目	方法	判定基準
歩行速度	1 m の直線を歩く時間を 3 回測る	平均速度［m/s］を記録
直進性	1 m 進んだときの左右のずれをメジャーで測る	ずれ［mm］を記録
安定性	同じ歩行を 10 回行い、転倒・停止した回数を数える	10 回中の成功回数
歩容の比較	歩行の周期（現在 0.55 秒）・歩幅・膝の持ち上げ量を変えて速度と安定性を比べる	速く、かつ転倒しない条件を見つける
旋回	旋回指令で 1 周回るまでの時間と、回転の中心のずれを測る	旋回時間［s］と半径［mm］を記録

5.2 シミュレーターでの学習

次の段階として、シミュレーター上で機体の模型を動かし、強化学習によって歩き方を学ばせることを計画している。実機では試せる回数に限りがあるが、シミュレーターなら多くの歩き方を短時間で試せる。学習した歩き方を実機に戻し、実際に歩けるかを確かめる。ただし、シミュレーターと実機には摩擦やサーボの遅れなどの差があるため、そのまま動くとは限らない。差を埋める方法も合わせて検討する。

5.3 応用の可能性

本機で得た歩容と制御の知見は、より大きな多脚機体に生かす。最終的には、大型の多脚メカのようなプロポーションと動きを再現できる機体を目指している。そのためには、サーボの大型化、脚の自由度の追加、体の姿勢を測るセンサーの搭載などが必要になると考えられる。

6. まとめ

部品代 1 万円以下（概算）の 4 脚実験機 Aldebaran を製作し、ESP32 とサーボドライバによる 8 サーボの制御、スマートフォンのブラウザからの無線操作、対角 2 脚を交互に接地させる周期 0.55 秒のトロット歩

Copyright © 2026 Matsudo Technology Innovation Center. All rights reserved.

行で、平坦な床を前進できることを確認した。脚の自由度を 2 に絞ることで構造と制御を単純にし、試作と改良を短い周期で回せる実験機になった。歩行速度や安定性はまだ計測しておらず、今後、数値で歩容を比較しながら、シミュレーターでの学習と大型機体への発展を進めていく。

参考資料

Espressif Systems, “ESP32 Series Datasheet”

NXP Semiconductors, “PCA9685 16-channel, 12-bit PWM Fm+ I^2C-bus LED controller” データシート

改訂履歴　初版（2026-08-22）ロボット紹介ポスターとして発行。　A4 版（2026-09-30）構成・脚の自由度・歩容の図と検証計画を追加。制御プログラムの内容（サーボドライバ、無線操作、歩行の生成）を記載。　2026-10-25　文章を見直し、誤記を訂正。

Copyright © 2026 Matsudo Technology Innovation Center. All rights reserved.