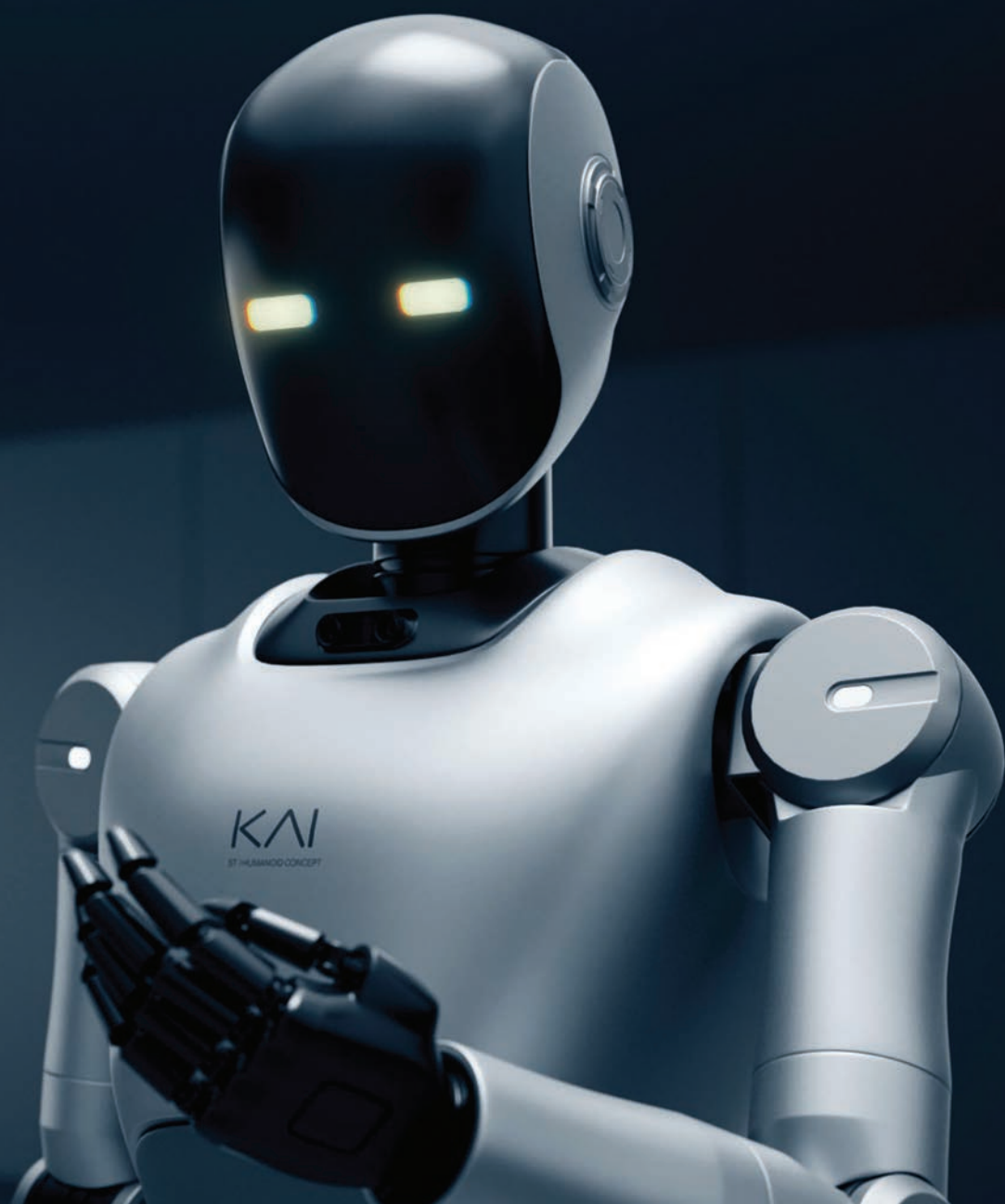


ヒューマノイド・ロボット リファレンス・ガイド



目次

- 4 はじめに
- 5 ボディ・センシング・ユニット・サブシステム
 - 6 サブシステムのブロック図
 - 6 MEMS製品
 - 8 ターンキー・ソリューション
- 9 関節ユニット・サブシステム
 - 10 サブシステムのブロック図
 - 11 ヒューマノイド・ロボットのモータ制御向けマイコン・セクション・ガイド
 - 11 モータ・ドライバIC
 - 14 電流センシング
 - 14 オペアンプとコンパレータ
 - 15 関節のモータ制御向けターンキー・ソリューション
 - 16 ソフトウェアとファームウェア
- 17 ボディ・メイン・プロセッシング・ユニット・サブシステム
 - 17 サブシステムのブロック図
 - 17 メモリ
 - 17 組み込みセキュリティ
- 18 パワー・マネージメント・ユニット・サブシステム
 - 18 サブシステムのブロック図
 - 19 スイッチング・コンバータICとボルテージ・レギュレータIC
 - 20 ハーフブリッジGaNドライバ
 - 21 バッテリ・マネージメント

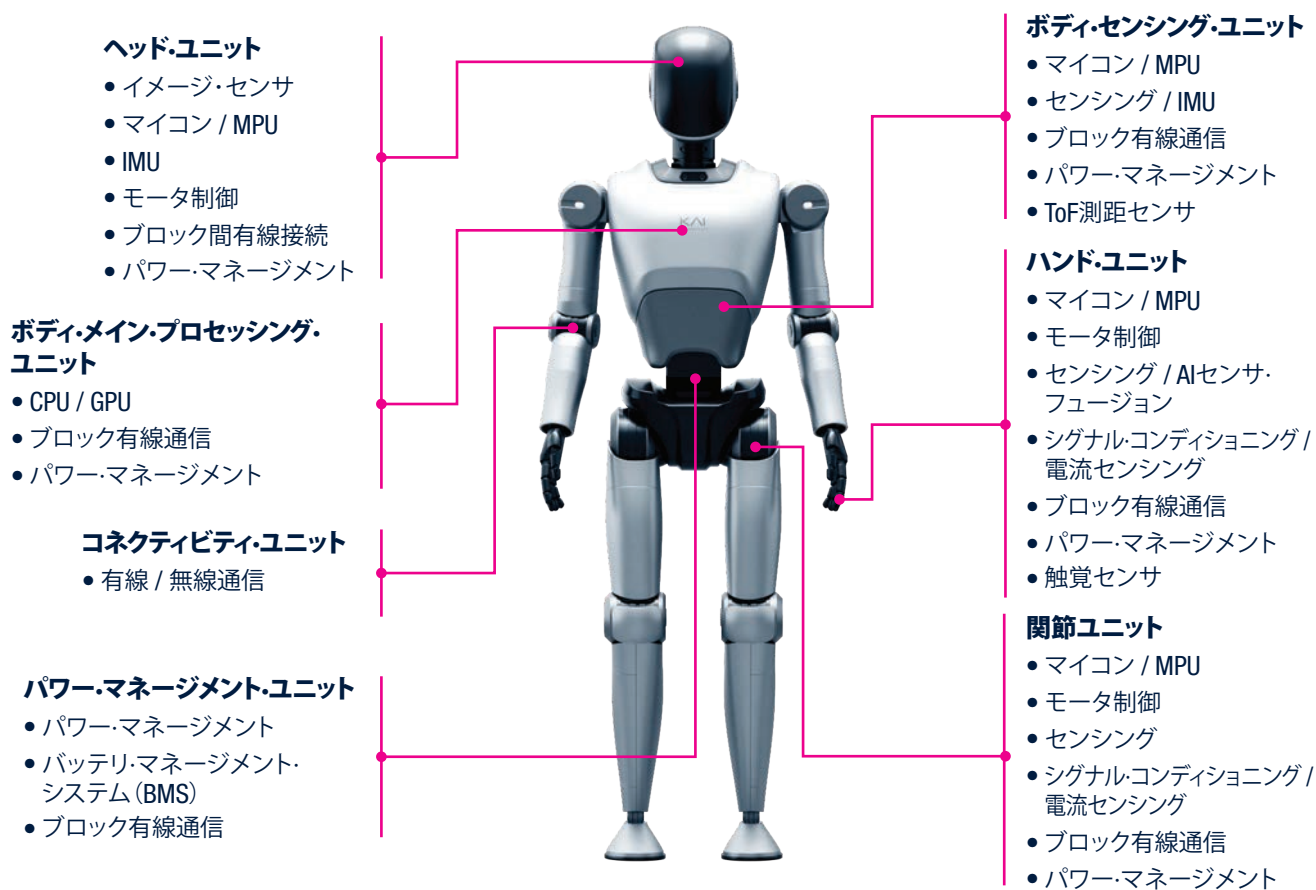
22	プロテクション
23	ターンキー・ソリューション
24	コネクティビティ・ユニット・サブシステム
25	サブシステムのブロック図
25	制御ユニットとゾーン・プロセッサ
25	有線通信
26	無線通信
29	ターンキー・ソリューション
30	ヘッド・ユニット・サブシステム
30	サブシステムのブロック図
31	周辺光センサとToF測距センサ
31	3D深度センサとdToF測距センサの検出による 環境マッピング
32	2D CMOSイメージ・センサ
33	AI処理用マイコン
34	ターンキー・ソリューション
36	バックボーン部品
36	ロボットのヘッド・ユニットを保護し構成部品の 真正性を保証するセキュア・エレメント
38	ゾーン・プロセッサ
38	メモリ
39	ターンキー・ソリューション

はじめに

ヒューマノイド・ロボットは、サービス業務から高度な自動化まで、これまで人の手を必要としていた作業を担うことで、さまざまな産業を変革しつつあります。こうした革新を支えているのが、性能、安全性、効率を実現する最先端の半導体技術です。

ヒューマノイド・ロボットのアーキテクチャでは、サブシステム設計や構成部品を戦略的に繰り返し活用しながら、パワー・マネジメント、モータ制御、センシングなどの複数の技術を組み合わせ、エッジでのフィジカルAIを実現しています。STマイクロエレクトロニクスは、システム・ソリューションのアプローチで培ってきた幅広いポートフォリオにより、これらの技術をシームレスに統合できるよう支援します。

また、STは、幅広い製品ポートフォリオと、ハードウェアおよびソフトウェアの包括的なエコシステムを通じて、ヒューマノイド・ロボット・ソリューションの開発を、より迅速かつスマートに進められるよう設計者を支援します。



本書では以下の構成に沿って説明していきます。

- ボディ・センシング・ユニット・サブシステム
- 関節ユニット・サブシステム
- ボディ・メイン・プロセッシング・ユニット・サブシステム
- ハンド・ユニット・サブシステム
- パワー・マネジメント・ユニット・サブシステム
- コネクティビティ・ユニット・サブシステム
- ヘッド・ユニット・サブシステム
- バックボーン部品

バックボーンの章では、組み込みセキュリティ、ゾーン・プロセッサ、メモリCについて説明します。

ボディ・センシング・ユニット・サブシステム

はじめに

センシングは、過酷な産業環境でも、人と共存する環境でも、ロボットの信頼性ある動作に不可欠です。これを実現するには、人の主要な感覚を模倣する複数のセンサ技術を高度に統合する必要があります。主な例は次のとおりです。

姿勢と動作：Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) 慣性センサを利用して、正確な運動学的フィードバックとバランス制御を実現

触覚と環境認識：触覚、振動、音声を捉え、周囲と自然に相互作用

近接検知と空間マッピング：ボディ・センシング構造に ToF (Time-of-Flight) 測距センサを組み込み、高分解能の距離計測と 3D 深度検出を実現

これらの技術の統合によって、ロボットが「周囲を把握できない機械」から、空間と身体を自己認識できる存在へと進化します。MEMSはロボットの「内耳」および「神経系」として働き、内部状態と周囲環境についてフィードバックします。主な機能は次のとおりです。

慣性航法：MEMS加速度センサとジャイロセンサを組み合わせることによって、ロボットのバランスを維持します。わずかな傾きや加速を検出できるため、動的な歩容安定化に役立ち、転倒防止に貢献します

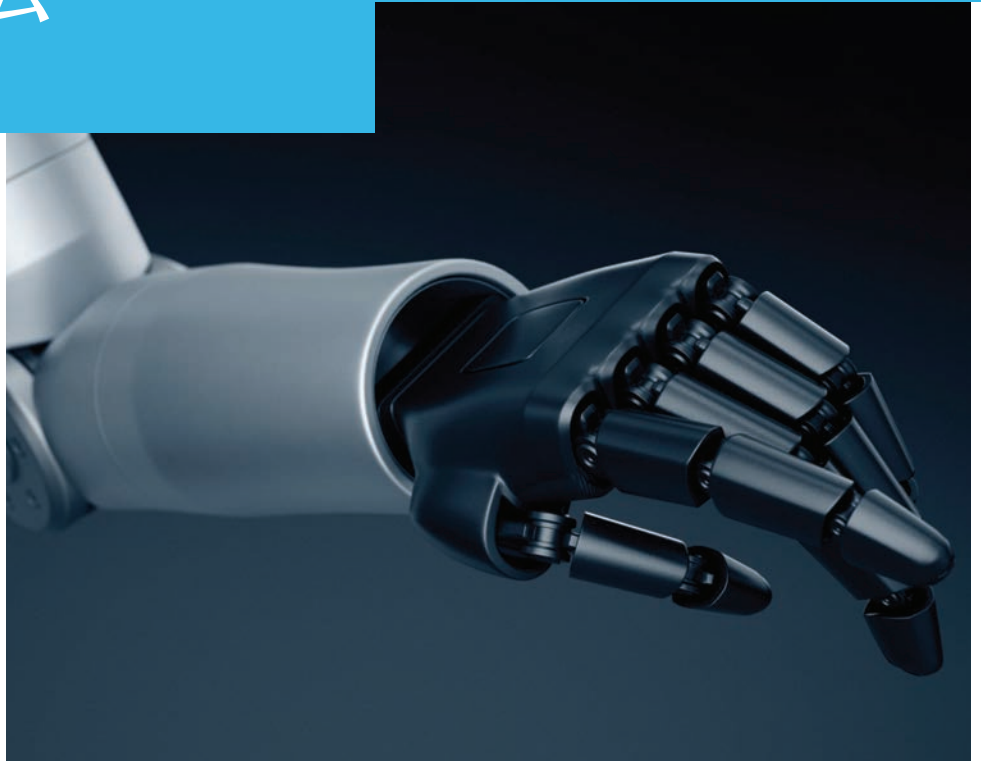
音響センシング：MEMSマイクロフォンにより、音源の位置を捉える音響認識が可能になります。これにより、ヒューマノイドが話者の方向へ頭部を向けたり、機械的ストレスを示す構造振動を検知したりできます。

ToF (Time-of-Flight) 測距センサは「近接検知」や「短距離検知」として機能し、ロボットの周囲に安全な領域を作り出します。主な機能は次のとおりです。

障害物回避とSLAM：ToF測距センサは光を照射して返ってくるまでの時間に基づいて距離を算出します。これにより、ロボット周囲の環境をリアルタイムで3D深度マッピングすることが可能になります。

目と手の連携機能：操作作業中には、手首や手のひらのToF測距センサによって、物体までの距離を高精度で測定することでデータが得られます。これにより、ロボットがが壊れやすい物を傷つけずにしっかりつかめるようにサポートします。

人とロボットの相互機能 (HRI)：ToF測距センサで近くにいる人の存在や動きを検出します。通常従来のカメラで撮影するような高解像度画像とは異なり、深度情報を取得でき、暗い環境でも問題なく動作します。

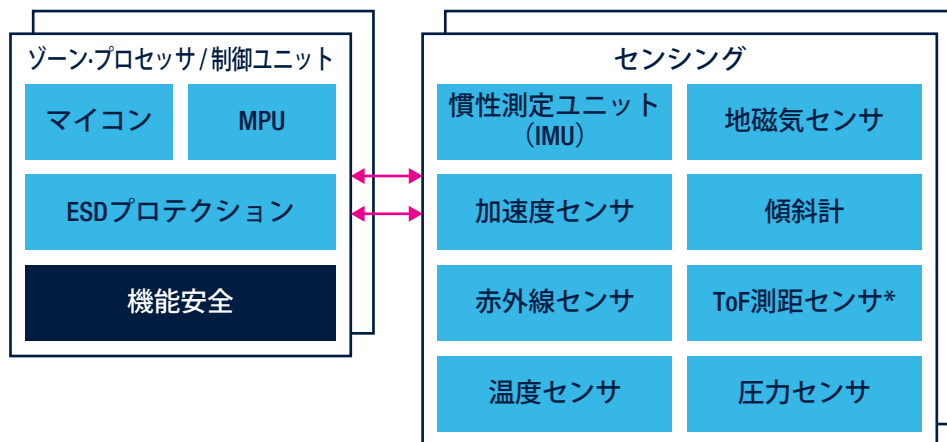


サブシステムのブロック図

ヒューマノイド・ロボットは、四肢、胴体、頭部、末端部に配置されたボディ・センシング・ユニットのネットワークに依存しています。

ユニットには、モーションと環境データをキャプチャするための多様なセンサ（IMU、加速度センサ、地磁気センサ、振動センサ、温度センサ、大気圧センサ、傾斜計など）が統合されています。

シームレスな通信とリモート・モニタリングを実現するため、各センサは標準インタフェース（I²C、SPIなど）を介してマイクロコントローラ（マイコン）に接続しています。



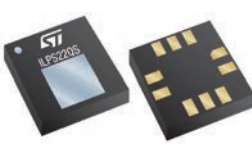
注記:*センサの詳細については[ヘッド・ユニットの項](#)をご覧ください。

MEMS製品

STマイクロエレクトロニクスは、ヒューマノイド・ロボティクス向けのMicro-Electro-Mechanical Systems（MEMS）の包括的なポートフォリオを提供しています。

このポートフォリオは、加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサ、環境センサなど、ロボット・システムの姿勢、動き、知覚を可能にする、きわめて重要なセンサで構成されています。

優れた性能、信頼性、エネルギー効率を備えるSTのMEMSソリューションは、モーション・トラッキング、環境認識、応答性の高い相互作用などの高度な機能をサポートします。開発者は、動的な環境で安全かつインテリジェントに動作するロボットを構築できるようになります。

IMU	IMU ASIL B	振動センサ & 傾斜計	大気圧センサ	地磁気センサ
 ISM330DHCX ISM330IS ISM6HG256X	 ASM330LHHXG1 ASM330LHBG1	 IIS3DWB	 ILPS22QS ILPS28QSW	 IIS2MDC

IMU

慣性測定ユニット（IMU）は、加速度センサとジャイロセンサを小型の6軸システム内に組み込み、ヒューマノイド・ロボティクスに不可欠である、姿勢とモーションに関する高精度のデータを提供します。

STのIMUは複数のセンサ出力を統合することにより、高度なバランス制御、運動協調、空間認識などのロボットの機能に求められる精度の高さを実現します。

最新世代のSTのIMUには、コンテキスト認識用の内蔵型機械学習コア（MLC）が搭載されており、低消費電力のエッジ処理が可能になります。有限ステート・マシン（FSM）と組み合わせると、モーション・パターンやアクティビティのリアルタイム分析を実行できます。応答性が高くインテリジェントなヒューマノイド・ロボットには不可欠な機能です。

品名	パッケージ	センシング軸	加速度の測定範囲 (g)	角速度の測定範囲 (°/s)	電源電圧 (V) 最高値	角速度のノイズ密度 (°/s / $\sqrt{\text{Hz}}$)
ASM330LHBG1	LGA 14L 2.5x3x0.86mm	X、Y、Z、ヨー、 ピッチ、ロール	±16, ±2, ±4, ±8	±4000	3.6	0.005
ASM330LHHXG1						
ISM330BX	±2, ±4, ±8		0.0045			
ISM330DHCX	LGA 14L 2.5x3x0.86mm		±16, ±2, ±4, ±8	±2000		0.005
ISM330DLC						0.0038
ISM330IS			±128, ±16, ±2, ±256, ±32, ±4, ±64, ±8	±4000		0.0034
ISM6HG256X						0.0045

大気圧センサ

STのMEMS大気圧センサは、4μA未満の超低消費電力で高い性能を備えているため、ヒューマノイド・ロボットのバッテリー寿命に貢献します。

高度な温度補正機能があり、2種類のフルスケール・レンジ（標準的な大気センシング用の260 ~ 1260hPaと、高圧モニタリングが求められるアプリケーション用の最大4060hPa（約4bar）の拡張レンジ）から選択可能です。

このように柔軟に選択できるのは、STの先進的なセンサ・アーキテクチャとキャリブレーション機能があるためです。開発者は、環境やアプリケーションのニーズに合わせて機器を構成できます。

STのMEMS大気圧センサは、ST独自のフルモールド・パッケージ設計によって、最大限の信頼性と高い劣化耐性を備えています。そのため、要求の厳しいロボット・システムにおいて長期間の耐久性を確保できます。

品名	パッケージ・サイズ (mm)	圧力ノイズ (RMS, hPa)	ODR (Hz) 最高値	動作圧力 (hPa) 最高値
ILPS22QS	2x2x0.73	0.0034	200	4060
ILPS28QSW	2.8x2.8x1.95	0.0032		

地磁気センサ

ヒューマノイド・ロボットの地磁気センシングは、加速度センサとジャイロ・センサを補完する絶対方位と向きに関するデータを提供し、高精度のモーション制御を可能にします。地磁気センサは、センサ・フュージョン・システムに組み込まれ、バランスの維持、位置特定の向上、タスクの確実な遂行を支援します。

STのMEMS地磁気センサは、磁場センシングのための画期的な小型ソリューションです。先進的な微細加工技術を活用して、高精度、低消費電力、超小型化を実現しており、ロボット・アプリケーションの他、携帯型機器、ウェアラブル機器、ドローン、IoTにも適しています。

IMU加速度センサおよびジャイロセンサと共にマルチセンサ・モジュールに統合されることも多いSTのMEMS地磁気センサは、向きとモーションに関する総合データを提供します。堅牢性に優れた設計と感度によって、強い電磁干渉のある環境でも信頼性の高い動作が可能になります。

品名	パッケージ	センシング軸	磁気の測定範囲 (ガウス) 代表値	電源電圧 (V) 最高値
IIS2MDC	LGA 2x2x0.7 12 leads	X、Y、Z	±49	3.6

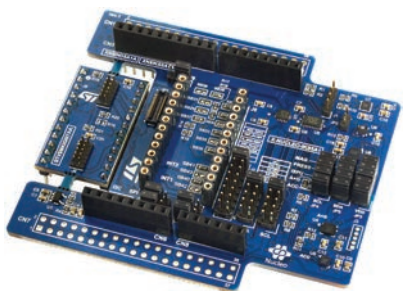
ターンキー・ソリューション

STEVAL-MKI244A



ASM330LHBG1をサポートするNucleo拡張ボード向けアダプタ・ボード。

X-NUCLEO-IKS5A1



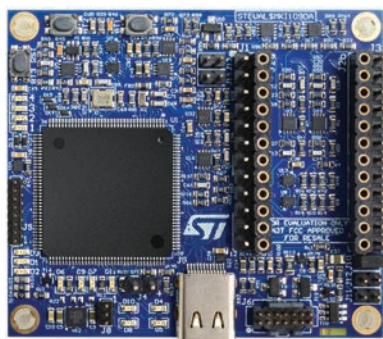
産業用のMEMSモーション / 環境センサ評価ボード・キット。FSM、MLC、ISPU、センサ・ハブなどの機能を備えたアプリケーション開発が可能です (ISM330IS、ISM6HG256X搭載)。

STEVAL-MKI223V1K



STEVAL-MKI223V1ボードには、STEVAL-MKE001A、STEVAL-MKE002A、またはSTEVAL-MKE003A電極ボードをスタック可能です。このキットはILPS28QSWピン配列に完全に対応します。このアダプタ・ボードは、STEVAL-MKI109D評価用プラットフォームでサポートされています。

STEVAL-MKI109D



ST MEMSセンサの動作をモニタリングできる評価用プラットフォーム。製品化までの時間を短縮できます。ST MEMSアダプタ・ボードとの互換性があり、I2C、I3C、SPI、TDM通信インタフェースがサポートされるため、高い出力データ・レートを実現できます。

関節ユニット・サブシステム

はじめに

ヒューマノイド・ロボットには、大関節、首、指に対して、高精度で信頼性に優れたモータ制御が必要になります。これらは、人間のようなスムーズな動きを実現するために不可欠です。STマイクロエレクトロニクスは、12 Vから48 Vまでのモータ用の専用ソリューションを提供しており、さまざまなロボット設計に柔軟に対応できます。

ヒューマノイド・ロボット・システムは一般に3相永久磁石モータ（BLDC、PMSM、PMAC）を使用し、PWM制御の3相ブリッジ（3つのハーフブリッジ）により駆動します。また、特に手の部分には、コアレスDCモータが使用される場合もあります。このアーキテクチャによって可変の周波数と電圧に対応でき、正確なトルク制御と速度制御による自然なモーションを実現できます。

STはこのセットアップに不可欠となる部品（モノリシック・ドライバIC、パワー MOSFET、IGBT、ゲート・ドライバ、パワー・モジュール、専用マイコンなど）を、効率、安全、拡張性に向けて最適化した上で供給しています。

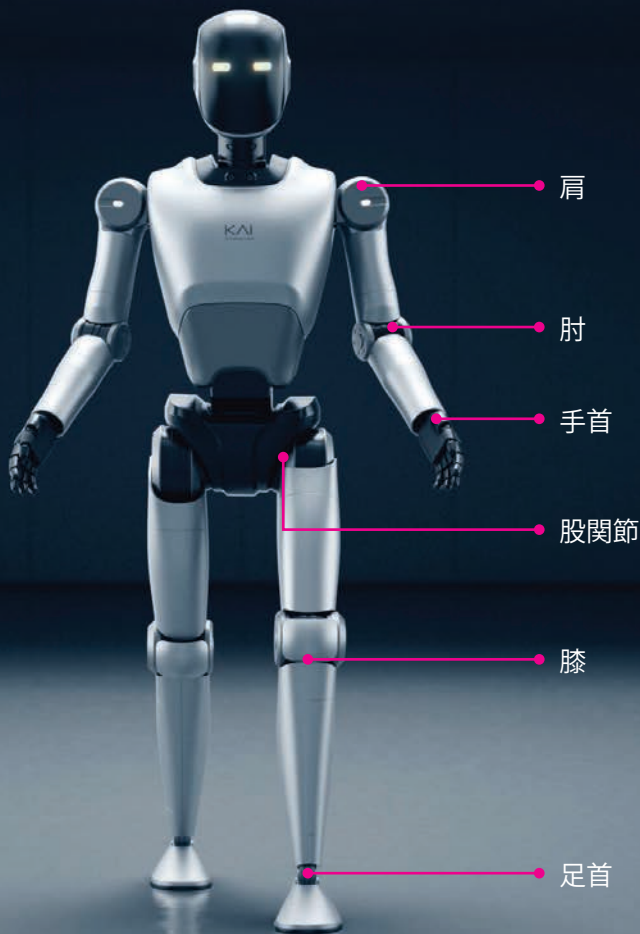
大関節

- 大電流 / 高トルク
- 高効率
- 高速応答

モータ・オプション



3相BLDC



首

- 中程度の電流 / トルク
- 高精度の位置決め制御



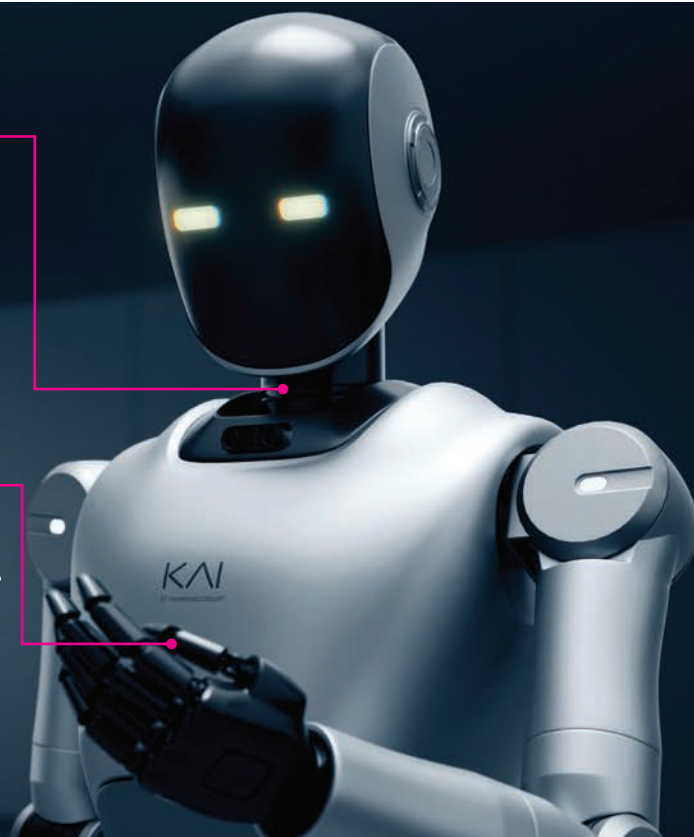
- 3相PMSM / BLDCサーボ・モータ
- ステッピング・モータ

指

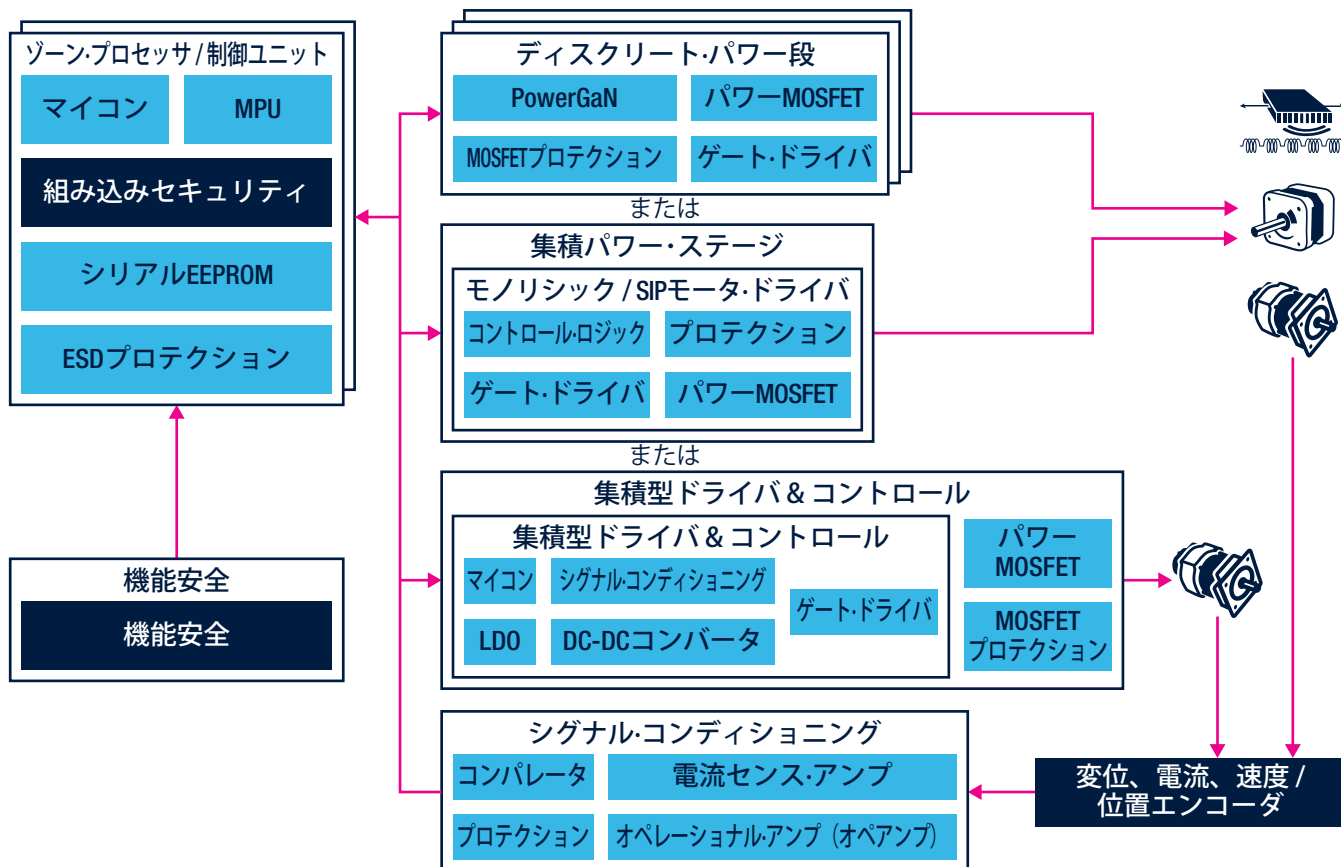
- 中～低電流 / トルク
- 高精度の位置決め制御



- 3相PMSM / BLDCサーボ・モータ
- ステッピング・モータ
- ブラシ付きDCモータ
- リニア・モータ



サブシステムのブロック図



主な製品

マイコン	モータ・ドライバIC	ゲート・ドライバ	パワー・MOSFET
 STM32H7 STM32F7 STM32G4 STM32H5	 STSPIN830 STSPIN32G4 STSPIN958/9P1 powerSTEP01	 STDRIIVE101 STDRIIVE131	 F7ファミリ

STのモータ制御製品の詳細については、[モータ制御リファレンス・ガイド](#)をご覧ください。

ヒューマノイド・ロボットのモータ制御向けマイコン選定ガイド

モータ	STM8S	STM32G0 STM32F0 STM32F1	STM32G4 STM32F41x STM32F3 STM32L4 STM32H5	MPU STM32H7 STM32F7 STM32F4	STM8S: ブラシ付きDCモータ
ブラシ付きDCモータ	•	•	•	•	
ステッピング・モータ	•	•			
3相PMSM / FOC - ベクトル制御		•	•	•	
3相BLDC / 6ステップ	•	•	•	•	STM32: ステッピング・モータ 3相ブラシレス・モータ

モータ・ドライバIC

ヒューマノイド・ロボットには、複数の関節にわたって人間のようなスムーズな動きを実現するために、高精度で信頼性に優れたモータ制御が求められます。**STSPINモータ・ドライバ**は、基本機能のすべてを内蔵して効率的かつ正確なアクチュエーションを可能にすることにより、これらの課題を解決します。**搭載モーション・プロファイル・ジェネレータ**は、ホスト・マイコンの演算負荷を軽減するとともに、包括的な保護・診断機能により、要求の厳しい環境において長期的な信頼性を確保します。

複雑なロボット・モーションの要件を満たすために、多くのSTSPIN ICでは、マイクロステッピング・モータ用の**適応型電流減衰制御**と**電圧モード駆動**が実装されています。これらの技術により**トルク精度**と**モーションの滑らかさ**が向上します。これは、腕と脚の関節の自然な動きや、精密なモータ制御のために不可欠です。また、高い拡張性とモジュール性によって、ヒューマノイド設計に共通する電圧範囲と機械構成に対応した多様なシステム・アーキテクチャに合わせてSTSPINソリューションを調整できます。さらに、**熱効率が最適化された小型パッケージ**であるため、性能を損なうことなく、小型の組立てロボットへの集積を実現できます。

STSPINドライバは**先進的なモーション制御アルゴリズム**と堅牢性に優れた安全機能を組み合わせており、設計者はヒューマノイド・ロボティクスの主な課題（高精度のアクチュエーション、エネルギー効率の維持、可変の負荷がかかる過酷な条件下での堅牢な動作の確保）を克服できます。

品名	説明	Vin (V) 最低値	Vin (V) 最高値	RDSOn (Ω)	I out (Arms) 最高値
STSPIN830	3相3シャントBLDCモータ・ドライバ	7	45	0.5	1.5
STSPIN9P1	大電流ハーフブリッジDCモータ・ドライバ	7	75	0.016	10
STSPIN958	フルブリッジ・モータ・ドライバ	5	58	0.4	5

MOSFET搭載モータドライバ：POWERSTEP01

POWERSTEP01は、高電圧状況下で高精度かつ設定可能なモーション制御を実現するという、ヒューマノイドロボティクスの主な課題を解決します。要求の厳しいアプリケーション向けに設計されており、最大85Vの電圧で動作します。また、先進的なマイクロステッピングコントローラと8個のパワー MOSFETを統合しており、わずか16mΩ RDS(ON)の効率的な電源供給が可能です。

デュアルモード機能により、設計者が以下のモードから選択できます。

- 電圧モード - 柔らかな関節運動に適した非常に滑らかで静かなモーションを実現
- 電流モード - 正確なトルク制御と安定性を確保

モーション品質とエネルギー効率の両立が必須となるヒューマノイドロボットにとって、この柔軟性はきわめて重要です。

中心的な駆動機能の他にも、POWERSTEP01には以下の特長があります。

- モーションプロファイルの完全なカスタマイズ（加速、減速、速度指定など）
- 位置計算機能内蔵
- センサレス脱調検出
- リアルタイム診断、ユーザが設定可能な障害保護

これらの機能により、可変の負荷がかかる過酷な条件下でも、**堅牢な動作と長期的な信頼性**を実現できます。

品名	説明	V _{in} (V) 最低値	V _{in} (V) 最高値	R _{DS(ON)} (Ω)	I _{out} (Arms) 最高値
powerSTEP01	マイクロステッピングコントローラと10AパワーMOSFETが統合されたシステム・イン・パッケージ	7.5	85	0.016	10

マイコン搭載モータドライバ：STSPIN32G4

集積度と柔軟性がきわめて高い3相ブラシレスモータ駆動用モータコントローラで、最適な駆動モードの実装や、基板面積と総部品コストの削減を可能にします。ヒューマノイドロボットでは、この高い集積度によって小型の設計と効率的なアクチュエータ制御を支援します。

組み込まれている部品：

- 3相ハーフブリッジゲートドライバ：パワー MOSFETを駆動可能（電流容量1Aのシンク / ソース）
- 3個のブートストラップダイオード（簡素な設計に対応）

インターロック機能により、同じハーフブリッジのハイサイドスイッチとローサイドスイッチが同時に高駆動になることを防ぎます。また、**ハードウェア VDSモニタリング回路**が6個の外部MOSFETのそれぞれを常時確認し、過電圧が検出された場合、すべてのゲートドライバ出力をオフにします。

内部の高精度低ドロップLDOLレギュレータが、REGIN入力電圧から3.3Vの電源電圧（VREG3V3）を生成します。この出力はゲートドライバ・ロジックとマイコンの両方に供給され、**短絡、過負荷、低電圧条件**から保護されます。

搭載されているマイコン（STM32G431VBx3）は32bit Arm® Cortex®-M4コアをベースとしており、最大170MHzで動作します。このマイコンの特長は以下のとおりです。

- 単精度FPU
- フルセットのDSP命令
- メモリ保護ユニット（MPU）によるセキュリティ強化

さらに、STSPIN32G4は外付け3相ドライバ（STDRIVE101など）により、**2個の独立した3相BLDCモータ**を駆動できるため、これまでにない部品数の削減やアプリケーションの最適化を実現できます。これは、協調する複数の関節が必要となるヒューマノイドロボットにとって大きな利点です。

品名	説明	V _{in} (V) 最低値	V _{in} (V) 最高値
STSPIN32G4	STM32マイコンが搭載された高度なBLDCコントローラ	5.5	75

STDRIVE 3相ブリッジ・ゲート・ドライバ

STの3相STDRIVEは、1つの部品の中に3相モータ・アプリケーションに必要なすべてのゲート・ドライバを集積し、設計の簡略化と開発コスト削減につながる高水準の集積度を備えています。また、この集積により、伝播遅延の一貫性を確保しやすくなっています。この一貫性はパワー・アプリケーションの同期スイッチングに不可欠であり、また、複数のアクチュエータ間で高精度のタイミング調整が必要となるヒューマノイド・ロボットにとっても大きな利点となります。

品名	チャンネル数	電圧 (V) 最高値	出力電流 (A) 最高値	電源電圧 (V) 最高値	TTL / CMOSロ ジック入力 (V)	伝播遅延 (ns)	パッケージ
STDRIVE101	6	75	0.6	15	3.3, 5	120	QFN4x4 24 leads
STDRIVE131		52	2.2			400	TQFP7x7 48 leads

パワー MOSFET - STripFET F7

STripFET F7 MOSFETは、40V、60V、80V、100Vの製品での非常に低いオン抵抗により、導通損失を最小限に抑えます。これに加えて静電容量とゲート電荷も最小限であるため、効率的なスイッチングが可能になり、エネルギー損失も削減できます。

さらに性能の向上を目指し、この製品ファミリでは内部静電容量比（Crss/Ciss）の最適化によって電磁干渉（EMI）の効果を抑制し、また大電流容量ときわめて低い熱抵抗により熱損失を改善します。

これらの特徴から、機器のサイズやコストを削減しながら、きわめて厳格な電力・効率目標を達成できます。これらは実際の開発では、使用製品数の減少とパッケージの小型化につながります。

主な利点

- 導通損失を抑える低いオン抵抗
- EMIを軽減する最適化された静電容量比
- 大電流の処理と優れたサーマル性能

これらの機能は特にヒューマノイド・ロボットにとって重要です。要求の厳しい条件下でも複数のアクチュエータを確実に駆動するためには、小型の効率的なパワー段が不可欠であるためです。

VDSS	品名	マーケティング・ ステータス	パッケージ	R _{DS(on)} (@VGS = 10V) (Ω) 最高値	Qg (nC) 代表値
100	STX310N10F7	量産中	TO-220/H ² PAK-2/H ² PAK-6	0.0023	180
	STX150N10F7		TO-220 / TO-220FP / H ² PAK-2 / I ² PAK	0.0039	117
	STL110N10F7		PowerFLAT 5x6	0.006	72
	STX100N10F7		TO220/D ² PAK/DPAK/TO-220FP	0.008	61
	STL90N10F7		PowerFLAT 5x6	0.008	45
	STX80N10F7		DPAK/TO-220FP	0.0095	45
	STL8N10F7		PowerFLAT 3.3x3.3	0.02	25
80	STX270N8F7		TO-220/H ² PAK-2/H ² PAK-6	0.021	193
	STX170N8F7		TO-220/H ² PAK-2	0.0037	120
	STX140N8F7		TO-220/TO-220FP/H ² PAK-2	0.004	96
	STL130N8F7		PowerFLAT 5x6	0.0036	96
60	STL220N6F7		PowerFLAT 5x6	0.0014	100
	STP220N6F7		TO-220	0.0023	100
	STL140N6F7		PowerFLAT 5x6	0.0028	55
	STX140N6F7		TO-220 / H ² PAK	0.0032	55
	STL130N6F7		PowerFLAT 5x6	0.0035	42
	STX130N6F7		TO-220 / D ² PAK / DPAK	0.005	42

PowerGaNトランジスタ

STのPowerGaN 100V Eモード・トランジスタは、きわめて低い導通損失、大電流容量、超高速スイッチング操作に対応します。これらの機能により、高い電力密度と卓越した効率性能を実現しています。

品名	パッケージ	グレード	VDSS (V) 公称値	R _{DS(on)} (mΩ) 最高値	ドレイン電流 (Dc) (A) 最高値	P _{TOT} (W) 最高値	Q _g (nC) 代表値	テクノロジー
SGT1D5R10MEA	EN-FCLGA 5x6mm	産業機 器	100	1.5	474	658	19	e-mode GaN
SGT3D5R10MEB	EN-FCLGA 3.3x3.3mm			3.5	201	255	7.6	

注記：ES提供中。量産は2026年第2四半期末予定

電流センシング

電流センス・アンプは、入力内の負荷を流れる電流に比例したアナログ電圧を出力する差動アンプです。

ヒューマノイド・ロボットでは、電流センシング・ソリューションにより、高電力アクチュエータの過熱を防止し短絡を検出して、安全性と保護を高めることができます。また、トルク制御と適応運動に関するリアルタイムのフィードバックも得られます。

電流センシングはエネルギー計測に不可欠であり、消費電力の正確なモニタリングにより、複雑なロボット・システムのバッテリー使用を最適化し、信頼性の高い動作を確保できます。

品名	パッケージ	グレード	電源電圧 (V) 最小値	電源電圧 (V) 最大値	コモン・モード 入力電圧 (V) 最小値	コモン・モード 入力電圧 (V) 最大値	帯域幅 (kHz) (@ -3dB) 代表値	電流 センシング (双方向)
TSC1801	SOT23-6	車載用機器、産業機器	2.0	5.5	0.5	3.5	2100	あり
TSC240	SO-8, TSSOP-8	車載用機器、産業機器	2.7	5.5	-4	100	560	あり
TSC202	MiniSO-8, SO-8	車載用機器、産業機器		18	-16	80	200	なし
TSC2020	MiniSO-8, SO-8, TSSOP-8L	車載用機器、産業機器		5.5	-4	100	750	あり
TSC2021	MiniSO-8, SO-8, TSSOP-8L	車載用機器、産業機器		5.5	-4	100	750	あり
TSC2022	MiniSO-8, SO-8, TSSOP-8L	車載用機器、産業機器		5.5	-4	100	750	あり
TSC210	QFN-10L, SC70-6	車載用機器、産業機器		26	-0.3	26	25	あり
TSC211	QFN-10L, SC70-6	車載用機器、産業機器		26	-0.3	26	8	あり
TSC212	QFN-10L, SC70-6	車載用機器、産業機器		26	-0.3	26	6	あり
TSC213	QFN-10L, SC70-6	車載用機器、産業機器		26	-0.3	26	100	あり
TSC214	QFN-10L, SC70-6	車載用機器、産業機器		26	-0.3	26	40	あり
TSC215	QFN-10L, SC70-6	車載用機器、産業機器		26	-0.3	26	60	あり

オペアンプとコンパレータ

ヒューマノイド・ロボット・アプリケーションでは、正確なモーション制御とリアルタイムの意思決定のために、高精度センシング、低消費電力、高速シグナル・コンディショニングが不可欠です。STマイクロエレクトロニクスは、これらの要求に適切に対応できるオペアンプとコンパレータのポートフォリオを提供しています。TSZ901、TSB192などの製品は、超低オフセットと高い精度により、バッテリー駆動型ロボット・サブシステムの効率的な稼働を実現します。高速クワッド・オペアンプのTSV794は、モータ・アプリケーションのトルクと速度を制御するローサイド電流センシングの処理に最適です。一方、TS3121コンパレータは、安全モニタリングとイベント・トリガに必須となる応答時間の短さと信頼性に優れたしきい値検出機能を備えています。これらの部品が一体となることで、アナログ・フロントエンド設計の最適化が可能になり、先進的なヒューマノイド・ロボティクスにおいて精度、エネルギー効率、システムの信頼性を高めることができます。

品名	パッケージ	グレード	Vcc (V)	帯域幅 (MHz)	スルー・レート (V/us)	Vio (μV)	dVio/dT (μV/°C)	製品タイプ
TSV794	SO14, TSSOP14	車載用 機器、 産業機器	2.2~5.5	50	30	200	5	クワッド・オペアンプ
TSB192	SO8, Mini SO8		4~36	8	5	20	0.1	デュアル・オペアンプ
TSZ901	SOT23-5		2.5~5.5	10	6	5	0.03	シングル・オペアンプ
TS3121P	SC70-5, SOT23-5		1.7~5.5	-	-	6000	20	オープン・ドレイン・コンパレータ (POR対応)

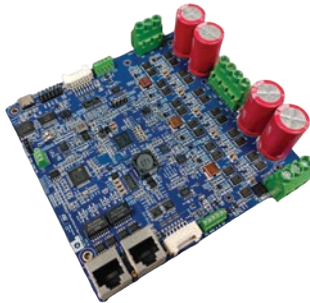
関節のモータ制御向けターンキー・ソリューション

STEVAL-ETH001V1 (STM32F767ZI、STDRIVE101ベース)



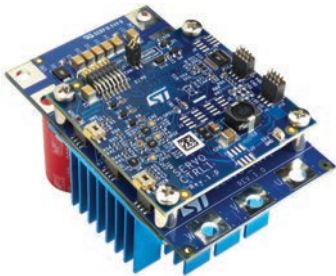
- 700W / 48Vサーボ・ドライブ
- FOCアルゴリズムによる位置決め制御
- ホール・センサ・インタフェース
- RTE通信 - HilscherのEtherCATスタック
- RS-485物理層

STEVAL-DUOSRV1CB (STSPIN32G4、STDRIVE101、STL90N10F7ベース)



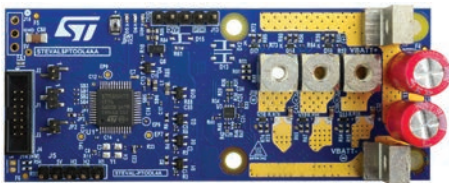
- 1kWデュアル・モータ・ソリューション / 48Vサーボ・ドライブ
- FOCアルゴリズムによる位置決め制御
- ホール・センサ・インタフェース
- RTE通信 (CoEスタックをサポート)
- CAN物理層

EVL-SERVO1 (STSPIN32G4、STL160N10F8ベース)



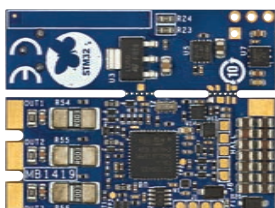
- 48Vで最適化
- 最大3kWのアクティブ冷却、2kWのパッシブ冷却
- 外付け回生ブレーキ抵抗
- 速度と位置のフィードバック (ホール・センサとインクリメンタル / 絶対エンコーダをサポート)
- CANバス通信

STEVAL-PTOOL4A (STM32G4、STDRIVE101、STL220N10F7ベース)



- FOCアルゴリズムをサポートする最大28Vのモータ・ドライブ・ボード (L7987L使用時に最大48V)
- ZeSTファームウェアによる超低速時のトルク最大化
- 最大電流18A
- スタンバイでの超低消費電力
- CANバス通信

B-G431B-ESC1 (LP)



- FOCアルゴリズムをサポートする24Vのモータ・ドライブ・ボード
- 3相モータ駆動
- 強制空冷使用時の最大電流40A
- 小型

ソフトウェアとファームウェア

BLDCモータ

STM32 MC SDK (X-CUBE-MCSDK) はモータ制御用の包括的なファームウェア・パッケージであり、**永久磁石同期モータ (PMSM) ライブラリ**、**STM32モータ制御ワークベンチ** (グラフィカル・インタフェースによるパラメータ設定用) などが含まれています。



設計者はPC用のワークベンチ・ソフトウェアを使用して、プロジェクト・ファイルを生成し、アプリケーションのニーズに応じてライブラリを初期化できるため、ファームウェア・セットアップを簡略化できます。制御アルゴリズム内の変数をリアルタイムでモニタリングして調整できます。これは特に、動的な負荷条件と高精度のトルク制御が重大な要素となるヒューマノイド・ロボットの開発にとって有益です。

実際の開発では、この機能により以下に対応できます。

- **適応運動のチューニング** (変動する機械的ストレス下での関節部に対して)
- リアルタイムのパラメータ調整による、複雑な運動中の安定性の維持
- フィールド指向制御 (FOC) 手法との効率的な統合によるアクチュエータの滑らかな動作

STM32 MC SDKを使用すると、設計作業を軽減でき、リアルタイムのフィードバックが得られるため、ヒューマノイド・ロボティクスの主な課題 (複数のアクチュエータ間でエネルギー効率とモーション精度のバランスを図ることなど) の解決につながります。

X-CUBE-MCSDK

モータ制御ソフトウェア開発キット (PMSM FOC) BLDC / 6ステップ

STM32モータ・ プロファイラ

PMSMおよびBLDCモータの
特性同定

STM32モータ・ パイロット

STM32モータ制御
アプリケーション向け
モニタリング・ツール

STM32モータ制御 ワークベンチ

GUIによるFOC
ファームウェア・
ライブラリ・
パラメータの構成

モータ制御 ファームウェア・ライブラリ

STM32Cube HALおよび
LLベース

最先端のアルゴリズム

HSO



STM32CUBE

ステッピング・モータとブラシ付きDCモータ

STSPIN Studioは、**ブラシ付きDCモータ**や**ステッピング・モータ**とSTSPIN製品ファミリを評価するための使いやすいソフトウェア・ツールです。複数のステッピング・モータ・ドライバやブラシ付きDCモータ・ドライバ評価ボードを制御でき、初期段階の開発を簡略化できます。



ヒューマノイド・ロボティクスにおいては、多くの場合以下の作業が必要になります。

- **モータ性能の検証** (ハードウェア集積前に異なる負荷条件下で実施)
- **モーション・プロファイルの試行** (肘、手首など、滑らかさとトルク制御が不可欠となる関節部に対して)
- **エネルギー効率の最適化** (バッテリー寿命と熱特性に影響するパラメータの調整による)

STSPIN Studioを使用して**ソフトウェアに基づく評価環境**を得ることで、エンジニアがロボット・システムにおける**プロトタイプ作成の複雑さを軽減し、アルゴリズム開発を迅速化**することをサポートします。



ボディ・メイン・プロセッシング・ ユニット・サブシステム

はじめに

メイン・プロセッシング・ユニットは、ヒューマノイド・ロボットの中心となる制御ハブです。モーション・プランニング、センサ・フュージョン、リアルタイムの意思決定などの複雑なタスクを管理するための高性能マイクロプロセッサ、メモリ、セキュア・エレメント、組み込みセキュリティを搭載しています。

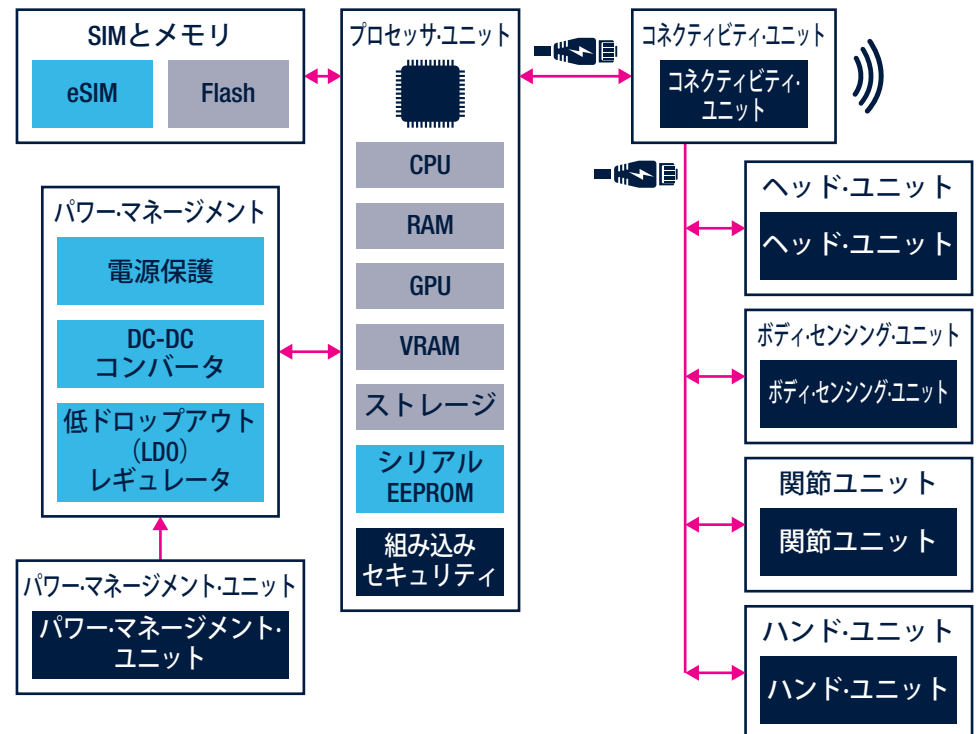
ヒューマノイド・ロボティクスにおいてこのユニットが非常に重要であるのは、以下の実行が必須であるためです。

- 複数のサブシステム（ビジョン、ロコモーション（移動）、マニピュレーション）の低遅延による協調
- 知覚と適応型制御のためのAIアルゴリズムの処理
- データ完全性とサイバーセキュリティの確保（特に協働環境において）
- センサ / アクチュエータから得た大規模データセットの高速メモリ・アクセス

STは、メモリ、セキュア・エレメント、組み込みセキュリティに及ぶ幅広い製品を提供しており、設計者は先進的なロボット・アプリケーション向けの強力かつ安全なシステムを構築できます。



サブシステムのブロック図



メモリ

ヒューマノイドの内部では、設定、履歴データ、処理後の結果に関連するあらゆるデータを保存するためにEEPROMメモリが使用されます。ST製品の品名と関連機能の詳細リストについては、[バックボーン](#)の項をご覧ください。

組み込みセキュリティ

組み込みセキュリティはこの種のアプリケーションにおける重要な機能であり、ロボット内の異なるブロックに分散可能です。関連するST製品の詳細情報については、[バックボーン](#)の項をご覧ください。

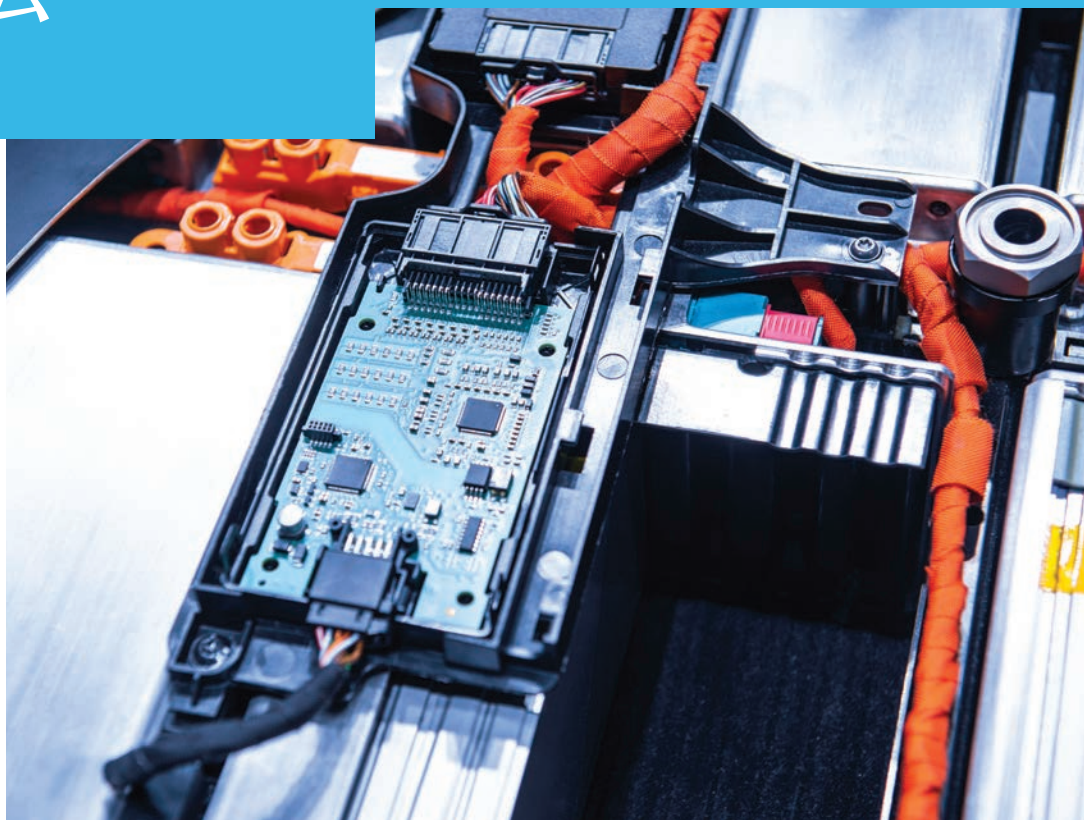
パワー・マネージメント・ユニット・サブシステム

はじめに

STは、技術面、統合面、信頼性の面にわたってヒューマノイド・ロボットに適しているソリューションを幅広く取り扱っています。例えば、以下のような製品があります。

- バッテリー電源を異なるサブシステムに適応させるための電圧変換用の製品
- 電圧安定化のためのレギュレータ（特に低電圧ロジック回路向け）
- 電流、温度、位置モニタリング用のセンシング回路
- 効率的なモータ・ドライブ・システム用の電力変換部品
- 安全な充放電とエネルギー計測のためのバッテリー・マネージメント・システム製品

これらの構成部品はヒューマノイド・ロボットにとって不可欠です。高い電力効率、システムの安全性、高精度の制御を、信頼性に優れた小型のアーキテクチャ内ですべて成立させる必要があるためです。



サブシステムのブロック図

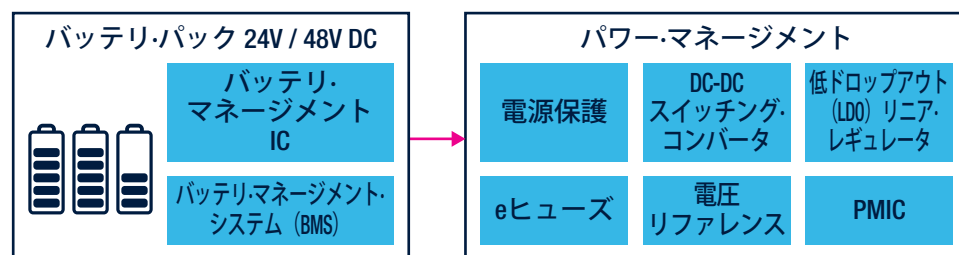
ヒューマノイド・ロボットにおけるパワー・マネージメントは、複数の機能ドメインにわたる安定稼働を保証するために不可欠となるサブシステムです。通常、このアーキテクチャには以下の部品が関係します。

- 中央のメイン・ユニット（バッテリー・パックの近くに位置し、高水準の配電とモニタリングを担当）
- 複数の分散パワー・マネージメント・モジュール（ロボット全体に配置し、センサ、アクチュエータ、制御ボード用の低電圧リファレンスの生成など、局所的なタスクを処理）

このような分散型アプローチにより、電圧降下を最小限に抑え、配線の複雑さを軽減し、耐障害性を高めることができます。これらは、可動性と信頼性が最優先されるシステムにおける重要な考慮事項です。

実際の開発では以下のような考慮事項があります。

- 限られたスペースで複数のレギュレータが稼働する場合は熱管理が不可欠になること
- 消費電力の多いドメインと少ないドメインの分離により、高感度の制御回路内のノイズ干渉を防止すること
- モジュラー設計により将来のアップグレードに向けた容易なメンテナンスと拡張性を実現すること



スイッチング・コンバータICとボルテージ・レギュレータIC

低ドロップ・ボルテージ・レギュレータ

LDOレギュレータはリニア・ボルテージ・レギュレータの一種で、きわめて低い入出力電圧差（いわゆる**ドロップアウト電圧**）で動作するよう設計されています。この特性は、スペースと発熱上の制約から効率的な電力変換が求められるヒューマノイド・ロボットにおいては特に有益です。

主な利点

- **熱損失の低減**：ドロップアウト電圧の低さにより、熱として失われる電力が最小限となり、熱管理が改善
- **高い変換効率**：特に入力電圧と出力電圧が近い場合に達成可能
- **簡素な設計**：外付け部品がほとんど必要なく、統合が容易
- **コスト効率**：低電流アプリケーションに最適（一般にはアンペア数2～3個以下）

最適なユース・ケース

- 出力電圧が入力電圧に近く、不必要なエネルギー損失を回避したい場合
- ロボットの腕や脚やセンサ・クラスタ内に分散されたパワー・マネージメント・システム内で、局所的な低電圧リファレンスを生成する場合

LDOはこれらのシナリオで優れている一方で、大電流の負荷がある状況や電圧差が大きい状況にはあまり適していません。それらの状況では、スイッチング・レギュレータの方が高い効率を望める可能性があります。

品名	パッケージ	グレード	DC入力電圧 (V) 最大値	出力電圧 (V) 公称値	出力電流 (A) 公称値	可変出力電圧	ドロップアウト 電圧 (V) 公称値
LDLN025	Flip-Chip4, DFN4 1x1, SOT23-5L	産業機器	5.5	1.2～5	0.25	なし	0.25
LDH40MR	DFN 2x2 6L, SOT23 5L、 SOT23 5L, DFN 6L	車載用 機器	40	1.2～22	0.2	あり	0.7

DC-DCコンバータ

ヒューマノイド・ロボットでは、パワー・マネージメント・ユニット（PMU）はDC-DCコンバータを集積してエネルギー使用を最適化する重要な部品です。DC-DCコンバータは、さまざまなサブシステム（モータ・ドライバ、通信モジュール、高度な処理ユニットなど）にわたって安定した電圧レベルを維持するために不可欠です。PMUによって、高効率のDC-DCコンバータが活用され、負荷が変動する状況下でもロボットが確実に稼働できるようになります。それによりバッテリー寿命が延び、全体的な性能が向上します。さらに、小型のコンバータ設計により、ヒューマノイド・ロボットの限られたスペースにシームレスに集積できます。一方、高いスイッチング周波数により電磁干渉（EMI）を軽減し、高感度の電子部品を滑らかに動作させることができます。

STのポートフォリオには、市場の多様な要求やパワー・マネージメントのニーズに対応する、高度に専門化された製品が揃っています。産業・車載用機器アプリケーション向けのきわめて高い信頼性と堅牢性を備えた高電圧技術の製品や、コンシューマ・アプリケーション向けの小型で高効率な製品などを用意しています。

品名	パッケージ	グレード	入力電圧 (V) 最小値	入力電圧 (V) 最大値	出力電圧 (V) 最小値	出力電圧 (V) 最大値	出力電 流 (A) 最大値	同期整流	スイッ チング 周波数 (kHz) 代表値
L3751	QFN 3.5x4.5x1.0 20L PITCH 0.50	産業機器	6	75	0.8	60	-	あり	400
DCP0606Y	POA FCQFN 2x3x0.9 11L	車載用 機器	2.9	6	0.6	-	6	あり	1800～ 4000
DCP360x	SOT23-6L	産業機器	3.3	36	0.85	-	3	あり	500, 1000

マルチ出力コントローラIC

効率的な配電はヒューマノイド・ロボティクスにおける基本要件です。小型設計、発熱上の制約、動的な負荷条件により、システム・アーキテクチャに対する要求がきわめて厳格になるためです。マルチ出力パワー・マネージメントIC（PMIC）は、部品数を削減しシステム全体のサイズを最適化しながら、高い性能も維持することによって、これらの課題を解決します。

STのマルチ出力PMICソリューションは先進的なパワー・テクノロジーを採用しており、**高効率かつコスト・パフォーマンスに優れたアーキテクチャ**を提供します。低ドロップアウト・レギュレータ（LDO）と高効率のDC-DCコンバータを内蔵しており、幅広い動作条件にわたって、卓越した過渡応答と高精度の出力電圧安定化を実現します。これらの特性は、異種のサブシステム（ビジョン・プロセッシング、モーション制御、センサ・アレイなど）を搭載したロボット・プラットフォームに不可欠です。

特に、**STPMIC07M**、**STPMIC06**、**STPMIC02**ファミリは、ロボット・システム内のストレージ・アプリケーションや組み込みアプリケーションに対応した設計となっています。内蔵の保護機能、複数のレギュレータ、多機能インタフェースを備えており、複雑な設計において、堅牢性と拡張性のある電源供給が容易になります。

以下のようなエンジニアリング上の重要な考慮事項があります。

- **部品の最小化**：複数のパワー・レールの統合により基板の複雑さを軽減し、障害が発生しうる箇所を削減
- **熱効率**：高い変換効率により、密閉された組立てロボットにとって重大な問題となる蓄熱を軽減
- **柔軟性の高い設計**：マルチ出力設定により、多様な機能ブロックに合わせた電圧ドメインの構築が可能

このようなPMICアーキテクチャの採用により、設計者は、要求の厳しい可変ワークロードの下で持続的な稼働が可能な、小型でエネルギー効率の高いヒューマノイド・ロボットを構築できます。

品名	パッケージ	出力数 公称値	入力電圧 (V) 最小値	入力電圧 (V) 最大値	最大出力 電流 (A) 公称値	出力電圧 (V) 最大値	効率 (%) 公称値	グレード	同期整流
STPMIC2L	VFQFPN40L 5x5x1	10	2.8	5.5	2	3.3	80	産業 機器	○
STPMIC1	WFQFN 44L 5x6x0.8 PITCH 0.4	13	2.8	5.5	2	3.9	95		○
STPMIC1L	VFQFPN 28 4x4x1.0	6	2.8	5.5	-	-	-		-
STPMIC25	VQFN 6.5x6.5x0.9 56L PITCH 0.40	16	2.8	5.5	-	-	95		○

ハーフブリッジGaNドライバ

STDRIVE GaNゲートドライバは、エンハンスメント型GaN FET向けに特別に設計されたハーフブリッジ・ゲートドライバ製品です。これらの製品により、高性能電力変換システムにおいて、高効率かつ信頼性に優れた稼働を実現できます。

ハイサイド・セクションは、最大**220V**のバス電圧を用いるアプリケーションに適しています。以下のような特長があるため、ハイスピードGaNの駆動に対応したアーキテクチャになっています。

- **大電流容量**（高速スイッチング向け）
- **短い伝播遅延時間**（タイミングの損失を最小限に抑えるためにきわめて重要）

これらの製品には以下の機能が搭載されています。

- **UVLO保護**：ハイサイド / ローサイド双方に実装することにより、効率の低い状態や危険な状態での動作を防止
- **インターロック機能**：パワー・スイッチ間の貫通電流を防止
- **CMOS / TTLに対応したロジック入力**（3.3 Vまで）：マイコンやDSPとの接続を簡略化

STDRIVE製品は、小型の高速スイッチング・ソリューションが求められるロボティクスなどの分野における、先進的なパワー・エレクトロニクスに適しています。

品名	パッケージ	電源電圧 (V) 最大値	保護オプション・タイプ	パワー・スイッチ のタイプ (外付け)	低電圧ロックアウト (V) (@ V _{CC} ON) 公称値	低電圧ロックアウト (V) (@ V _{CC} OFF) 公称値	グレード
STDRIVEG210	QFN-18L	18	低電圧ロックアウト、インター ロック機能、過熱保護	GaN	8.5	8	産業 機器
STDRIVEG211			コンパレータ、スマート・シャット ダウン、低電圧ロックアウト、 インターロック機能、過熱保護		10	9.5	

バッテリー・マネージメント

バッテリー・マネージメントICは、先進的なロボット・プラットフォームを含むバッテリー駆動機器の動作時の安全性を確保し、その自律性を拡張します。**電圧、電流、温度**を正確に測定し、個々のセルやバッテリー・パックの正確な充電状態を把握することにより、重要なモニタリング機能を実行するソリューションです。

消費電力の最適化のみならず、バッテリー・マネージメントICは、動作中や充電中に温度のしきい値を上回れば電源を切る**安全機能**も搭載しています。これにより熱暴走などの危険な状況を予防し、きわめて厳格な信頼性規格に準拠できます。

機能面での主な特徴

- **正確な充電状態の把握**（高精度のセンシングとキャリブレーションによる）
- **過熱保護機能**による極限状況下にあるセルの保護
- **エネルギー制御**によるバランスの取れた充放電サイクル

ヒューマノイドロボティクスにおいては、これらの機能は不可欠です。中断のない電源供給とシステムの完全性がロボットの可動性、性能、ユーザの安全性に直結するためです。

品名	概要	パッケージ	動作温度(°C) 最小値	動作温度(°C) 最大値	電源電圧(VDD) (V) 最小値	電源電圧(VDD) (V) 最大値
L99BM114	マルチセル・バッテリー・モニタリング & バランシングIC	TQFP 64 10x10x1.0	105	8.5	8	産業機器

保護機能

ESDプロテクション

戦略的に重要な部品（センサ・ハブ、モータ・コントローラ、AI演算ボードなど）にESDプロテクションを組み込むことは、ヒューマノイド・ロボティクスにおいて不可欠であり、それは静電気が蓄積しやすい環境で複雑な電子機器が稼働するためです。STのESDプロテクション製品はIEC 61000-4-2規格に準拠しており、システムの稼働を阻害する、あるいは高感度の部品を損傷する可能性のある静電気に対して堅牢な保護機能を提供します。

元々は車載用グレードの信頼性に合わせて設計されており、ロボティクスで同様になる各種特性も備えています。低クラмп電圧によりESDストライクの発生中も効率的にエネルギーを消散し、プロセッサやセンサへのストレスを軽減します。また、低リーク電流により、低消費電力のサブシステム内で電力の完全性を維持しながら、超低静電容量と超広帯域幅を組み合わせ、高速インタフェース（ビジョン・システム、通信バスなど）の高い信号品質も維持します。

品名	概要	パッケージ	方向	ブレークダ ウン電圧 (V) 最低値	静電容量 (pF) (@ 0V, I/O to GND) 代表値	IEC 61000- 4-2 (kV) (接触放 電) 最低値	クラмп電圧 (V) (@ TLP 16A) 代表値
ESD051-1BF4	車載用シングル・ライン5V TVS (SOD323内蔵)	SOD323	単方向	6.2	190	30	-
ESDA051-1JY	4ラインESDプロテクション、 14.2V VBR (SOT666内蔵)	SOT666	双方向	14.2	25	8	-
ESDA14V2BP6	車載用デュアル・ライン12V TVS (SOT23-3L内蔵)	SOT23-3L	単方向	14.2	90	30	-
ESDA14V2LY	ESDプロテクション用クワッドTransil™アレイ	SOT23-6L	単方向	14.2	100	30	-
ESDA14V2SC6	車載用デュアル・ライン単方向 12V ESDプロテクション (SOT323内蔵)	SOT323	単方向	14.2	125	30	17.5
ESDA18WY	ESDプロテクション用クワッドTransil™アレイ	SOT23-6L	単方向	19	80	30	-
ESDA19SC6	4ラインESDプロテクション、25V VBR (SOT666内蔵)	SOT666	双方向	25	22	8	-
ESDA25-4BP6	車載用デュアル・ライン24V TVS (SOT23-3L内蔵)	SOT23-3L	単方向	25	50	30	-
ESDA37WY	低クラмп・シングル・ライン 単方向ESDプロテクション	ST0201	単方向	5.8	110	30	-
ESDAxxxWx	車載用デュアル・ラインTVS (SOT23-3L内蔵)、 CANバス向け (12Vシステム)	SOT23-3L	双方向	25	25	30	-
ESDCAN01-2BLY	車載用デュアル・ラインTVS (SOT323-3L内蔵)、 CANバス向け (12Vシステム)	SOT323	双方向	28.5	3	30	-
ESDCAN02-2BWY	車載用デュアル・ラインTVS (SOT323-3L内蔵)、 CANバス向け (24Vシステム)	SOT323	双方向	39	3	30	-
ESDCAN05-2BWY	車載用デュアル・ラインTVS (SOT23-3L内蔵)、 CANバス向け (24Vシステム)	SOT-23	双方向	38	13	30	-

電子ヒューズ

電子ヒューズは、従来のヒューズのように導体が溶断するのではなく、出力電圧のクラмпまたは電流の制限によって、障害に対して迅速かつインテリジェントに反応します。このアプローチにより、負荷装置と電源の両方を損傷から保護し、過渡状態での誤作動を防止します。DCバス・アプリケーションにおいて、電子ヒューズは異常な負荷による電圧降下を最小限に抑え、同じバス上の他の機器に低電圧の影響が及ばないようにします。電子ヒューズによりバス・エレメントが溶断されることはないため、電源の入れ直しまたは自動再試行によってリセットでき、装置の稼働時間の最大化とメンテナンス・コストの削減につながります。電子ヒューズは出力電圧の上昇制御によるホットプラグとホットスワップの動作もサポートしており、突入電流に制限をかけ、複数の負荷装置が接続されている状況で電源を保護できます。さらに、電子ヒューズは柔軟性の高い設定オプションを備えており、電流制限、起動時間、低電圧ロックアウト、出力クラмп・レベル、動作モードを、特定のアプリケーション要件に合わせて設定できます。

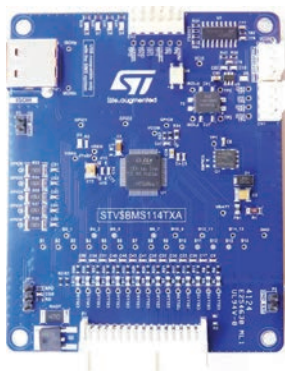
品名	パッケージ	グレード	Vcc (V)	動作電圧 (V)	診断機能	ペリフェラル・ インタフェース
STEF12H60M	QFN 5x5	産業機器	5~18	12	プログラマブル・ソフトスタート、OC、OT、 非常に高速なSC保護	なし
STEF12H60G						
VNFD1248	QFN 5x5x0.9	車載用機器	6~70	12/24/48	2tカーブ、OV、UV、SC、OT、緊急停止、 リンプホーム、低消費電力モードでのSTBY-On	SPI
STEF48H28	QFN42L 7x7mm	車載用機器	9~80	12/24/48	過電流保護、過熱保護、 温度モニタリング	SMBUS/PMBUS

注記: * 開発中 (詳細はwww.st.comをご覧ください)

構成	製品	チャンネル	パッケージ	電流制限値 (A)	遮断ピーク電流 (A)	チャンネル当たりオン抵抗 (mΩ)	動作電圧 (V)
ゲート・コントローラ	VNF1048F	1	QFN 5x5	内部制限	-	外部MOSFET	6〜70
	VNF1248F	1		内部制限	-	外部MOSFET	6〜70
統合ソリューション	VNF9D5F	2	QFN 6x6	75.0	-	5.9	4〜28
	VNF9Q20F	4		34.5	-	21.5	4〜28
	VNF9D1M2Q	2	PQFN 7x8.5	-	145	1.2	4〜28
	VNF9D1M5Q	2		-	120	1.5	4〜28
	VNF9D3Q	2		-	70.0	3.0	4〜28

ターンキー・ソリューション

STEVAL-BMS114TX (L99BM114/バッテリー・モニタリング、L99BM1T SPIトランシーバの各製品に対応)



- 4〜14個のバッテリー・セルの管理が可能
- 1つのセルおよびバッテリー・ノード全体の電圧モニタリング
- バッテリー・ノード全体の電流センシング
- セルとバッテリー・ノードの状態チェック
- 劣化状態と充電状態に関するリモート・マイコンとの通信
- パッシブ・バランシング

コネクティビティ・ユニット・サブシステム

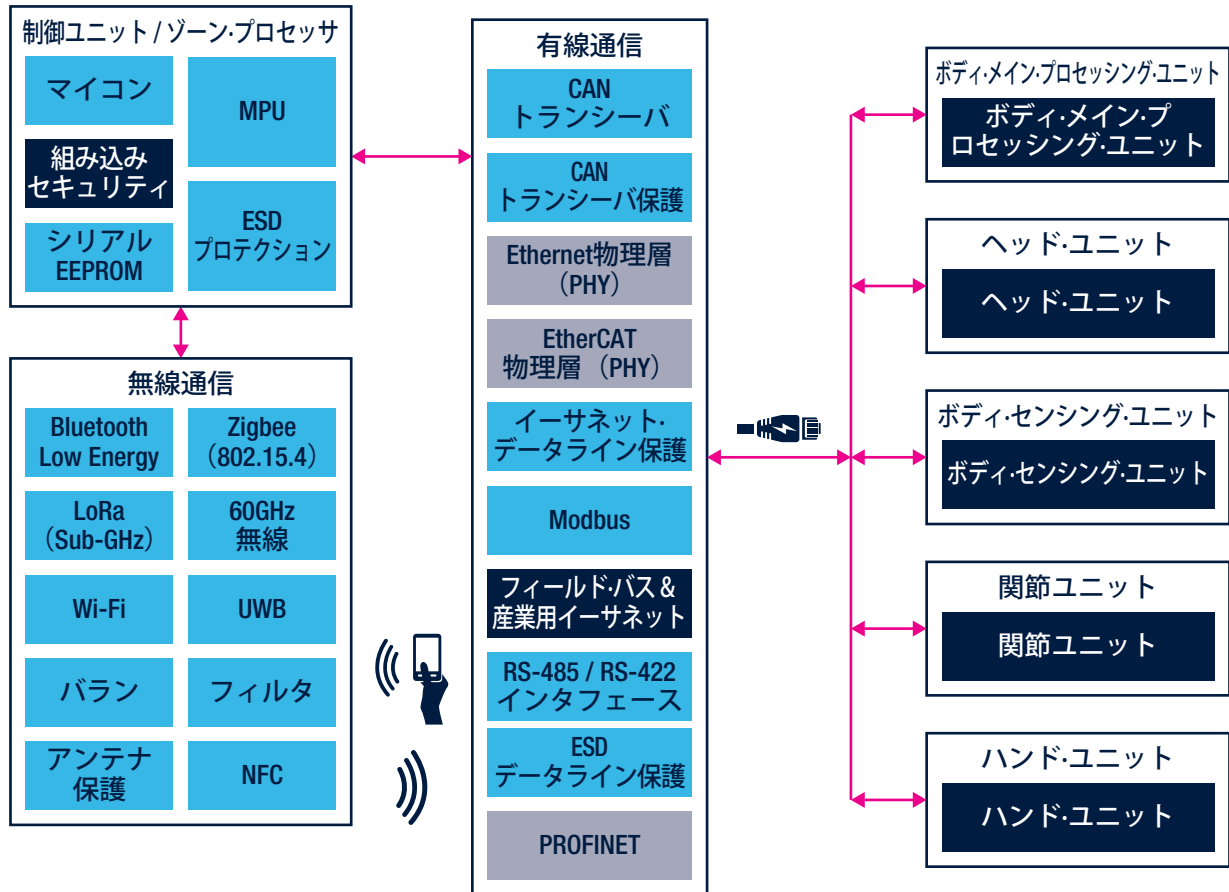


はじめに

コネクティビティはヒューマノイドロボティクスの基本要素であり、センサ、アクチュエータ、制御ユニット間のシームレスな通信を実現します。STは専用のICや組み込みモジュールを通じて、有線・無線双方の包括的なコネクティビティ・ソリューションを提供しています。

ヒューマノイドロボットではこれらのコネクティビティ・オプションにより、効率的な内部通信を維持する一方、制御、データ交換、システム・アップデートのための外部インターフェースもサポートできます。これにより、先進的なロボット・アーキテクチャの柔軟性と拡張性を確保できます。

サブシステムのブロック図



制御ユニットとゾーン・プロセッサ

このブロックは、マイコン、マイクロプロセッサ、メモリ、その他の機器を搭載した、分散配置された制御ユニットを示します。MPU、メモリ、組み込みセキュリティについては、[バックボーン](#)の項で参照する製品情報で詳細に説明します。

有線通信

STは、ハードウェアとソフトウェアの両面から、システム・ソリューション内の有線通信をサポートします。

ハードウェア側では、堅牢な産業用通信と高速データ転送に対応したマイコンとトランシーバを提供します。イーサネット物理層については、STはEtherCAT対応ハードウェアの開発パートナーと提携しています。

ソフトウェア側では、STはパートナーと共に、EtherCAT、Functional Safety over EtherCAT、CANopenの各プロトコルをサポートしています。これらのソリューションにより、安全で信頼性に優れた産業オートメーションを実現できます。

パートナー・プログラムの詳細については、STのウェブサイト（リンク：<https://www.st.com/ja/partner-products-and-services.html>）をご覧ください。

RS-485

ST4E1216、ST4E1240、STR485シリーズは、半二重モードでの現代のRS-485アプリケーションに適した、低電力の差動ライン・トランシーバです。3.3Vおよび5Vの電力供給に適合し、さらにSTR485シリーズでは1.8VのI/Oに対応しているため、堅牢な性能、高データ・レート、優れたESDプロテクションを実現できます。ケーブルを延長して複数のポイントと接続するようなアプリケーションに最適で、複雑な環境においても信頼性の高いデータ転送が可能になります。

品名	パッケージ	供給電圧	データレート (Mbps)	通信方式
ST4E1240	S08, DFN8	3~5.5	40	半二重
ST4E1216	S08		16	
ST4E1650F	DFN10	3~3.6	50	全二重
ST4E165xF	S014			半二重
ST4E1650	S08, DFN8, MSOP8	3~5.5		

無線通信

STは、NFC、Bluetooth® Low Energy (BLE)、Wi-Fi向けの専用製品や組み込みソリューションによる無線通信を取り扱っています。NFCはディスクリーダ・タグまたはダイナミック・タグと、STM32コントローラに接続されたリーダによりサポートされ、アクセス制御、アクセサリ認識、パラメータ設定などのアプリケーションで使用できます。

BLE機能は専用モジュールを介して利用できるのに加え、マイコンにも内蔵されているため、周辺機器との低消費電力・短距離通信が容易になります。Wi-Fi接続は専用モジュール経由でサポートされ、リモート・モニタリング、診断、クラウド連携などのアプリケーションにおける広帯域データ転送を実現します。

ST25 NFCタグおよびリーダIC

NFCは、ヒューマノイド・プラットフォーム内のあらゆる箇所でユーザ、アクセサリ、モジュールを識別できる、電力不要のシンプルな手段を提供します。NFCタグ、NFCダイナミック・タグ、NFCリーダから構成されるST25ファミリは、ヒューマノイド・ロボットの直観的な非接触インタフェースとして使用できます。任意のNFC対応スマートフォンまたは専用NFC対応スマートフォンや専用NFCリーダと互換性のある通信、アクセサリ認識、パラメータ設定を実行できます。

- **ドア、パネル、工具ロッカー、ドッキング・ステーション用のアクセス管理**: ST25タグ内に認証情報を保存し、STM32コントローラに接続されたST25リーダでこのタグをチェックして、メンテナンス担当者やオペレータに一時的なアクセス権またはロールベースのアクセス権を付与できます。
- **アクセス認識と自動設定**: 小型ST25タグやST25ダイナミック・タグに基づくアクセサリ認識を使用して、各アタッチメントを識別し、一致するパラメータ（運動の限界値、安全しきい値、通信設定など）を自動的に読み込むことにより、セットアップにかかる時間を短縮します。
- **非接触パラメータ設定と未開封状態での構成**: ST25ダイナミック・タグの高速転送モード、低消費電力動作、エネルギー・ハーベスティング機能を使用すれば、ユニットを箱から出したり、システムに給電したりすることなく、制御ボードの個別化、構成レジスタの調整、新たなキャリブレーション・データのアップロードなどを実行できます。

品名	製品概要	対応規格
ST25TN01K	NFCフォーラム Type 2タグIC	ISO14443A
ST25TV02KC	NFC Type 5 / RFIDタグIC	ISO15693
ST25DV64KC	ダイナミックNFC / RFIDタグIC	ISO15693
ST25R200	汎用NFCリーダ	ISO14443A/B, ISO15693
ST25RN300	NCIリーダ / NFCコントローラ	ISO14443A/B, ISO15693, FeliCa

ST25ポートフォリオは、あらゆるロボットのコネクティビティ・サブシステムにNFCを簡単に追加できる包括的なエコシステム（STM32ベースのディスクバリ・キット、すぐに使えるNucleoシールド、ソフトウェア・ツール、モバイル・アプリなど）で構成されています。

60GHz RFトランシーバ

ST60シリーズは60GHz Vバンドで動作する先進的な非接触通信ソリューションであり、小型かつ消費電力重視のアプリケーションに適した高速無線データ転送を実現します。製品により異なりますが、最大で6.25Gbpsの通信が可能であり、極めて低い消費電力でクラス最高レベルの性能を実現しています。

同シリーズ内の**ST60A3H1**は、モバイルおよび組込みシステム向けに設計されており、以下の特徴があります。

- **小型フォーム・ファクタ**（スペースに制約のある設計に最適）
- **部品数の最適化**（システムの複雑さを軽減しコストを削減）
- **低消費電力による動作**（バッテリー駆動機器にとってきわめて重要な要素）
- **アンテナ内蔵パッケージ**（アンテナ設計が不要、小さい実装面積）
- **eUSB2、UART、I²C**の各プロトコルに準拠（多様なアーキテクチャにわたる多機能の統合が可能）

高速RFの性能と容易な実装を両立させた画期的なアーキテクチャにより、設計者はデータのスループットや信頼性を損なうことなく、効率性に優れた小型ソリューションを開発できます。



代表的なアプリケーション

- 非接触型テスト・ファクトリ・オートメーションおよびアフターサービス
- 開口部のない耐環境パーソナル機器
- 物理的コネクタ・ケーブルの置き換え
- 非接触型パーソナル機器用ドッキング・ハブ

品名	最大通信速度	サポート・プロトコル	アンテナ
ST60A2	6.25Gbps	SLVS、SGMII、V-by-One、MIPI CSI-2/DSI (コンパニオン・チップ使用)	外部アンテナ
ST60A3H0	480Mbps	eUSB2、UART、I ² C	外部アンテナ
ST60A3H1	480Mbps	eUSB2、UART、I ² C	アンテナ内蔵パッケージ (AiP)

低消費電力のWi-Fi 6 & Bluetooth LEコンボ・コプロセッサ・モジュール

オールインワン設計によりコスト削減と性能向上を実現したモジュールであり、シングルチップ・ソリューションが求められるIoTエッジ機器にとって魅力的な選択肢です。**ST67W611M1**はIoTコネクティビティトランシーバとして動作し、アプリケーションの管理については外部ホストのSTM32マイコンに委ねます。

ST67W611M1には以下の機能が搭載されています。

- PCBアンテナ（-Bバージョン）、外部アンテナ用RFコネクタ（-Uバージョン）、または専用RFピン付きのバージョン（通常は外部RFスイッチによるマルチアンテナ実装をサポートするもの）
- 4MB NOR Flash
- 最適なRF性能を実現する40MHz高精度水晶発振器
- SMPS機能と関連部品
- 基板全体の部品数の削減に必要なすべてのディスクリート部品
- SPI経由のデータ・インタフェース
- 32,768Hzの内部発振器。低消費電力のユース・ケースの場合は32,768Hz水晶発振器を使用するための2つのピンを用意。1つのピンはホスト・プロセッサから正確な32,768Hzを受信するためにも使用可能

この集積された部品と柔軟な構成の組み合わせにより、ST67W611M1は、効率性、信頼性、省スペースが重要となるIoTシステムに適した堅牢なソリューションとなっています。



品名	Wi-Fiバージョン	無線通信インタフェース	アンテナ	動作電圧 (V) 最高値	出力 (dBm) 最高値	周波数範囲 (GHz)	通信プロトコル
ST67W611M1	6	Bluetooth LE、Wi-Fi	内蔵、UFLコネクタ	3.63	20	2.4-2.5	802.11 b/g/n/ax、Bluetooth LE、TCP/IP

Bluetooth Low Energy 2.4GHzコネクティビティ

Bluetooth Low Energy (BLE) 仕様は、タイミング制約と合わせて、無線通信機器用の**低消費電力RFコネクティビティ**をサポートしています。広範囲の動作のために効率的なエネルギー消費が重要となるヒューマノイド・ロボティクスにおいて関連性の高い機能です。

ソフトウェア開発キットに含まれる**2.4GHzの独自無線通信サンプル**は**BlueNRG SoC無線低レベルドライバ**をベースとしています。このサンプルは、ロボット・システム内で正確な通信と高速データ転送が求められるアプリケーション用のリファレンスとして使用可能です。

品名	パッケージ	動作電圧 (V) 最高値	内蔵Flash容量 (kByte) 公称値	内蔵RAM容量 (kByte) 公称値	受信感度 (dBm) 代表値	出力 (dBm) 最高値
BlueNRG-1	VFQFPN 32 5x5x1.0mm、 VFQFPN 5x5x1.0 32L WET FLK、WLCSP MSL1	3.6	160	24	-88	8
BlueNRG-2	VFQFPN 32 5x5x1.0mm、VFQFPN 48 6x6x0.9mm、 VFQFPN 5x5x1.0 32L WET FLK、 VFQFPN 6x6x0.85 48L P0.4 WF、WLCSP MSL1		256	24	-88	8
BlueNRG-M2	BLUENRG-2 MODULE QFN、PCB ANT、 BLUENRG-2 MODULE QFN、CHIP ANT		256	24	-85	7
BlueNRG-2N	VFQFPN 32 5x5x1.0mm、 VFQFPN 5x5x1.0 32L WET FLK、WLCSP MSL1		-	-	-88	8

Bluetooth LEアプリケーション・プロセッサ

STは、多様なアプリケーション要件に対応するよう設計された幅広い**Bluetooth® Low Energy (LE) マイコン**を提供しています。

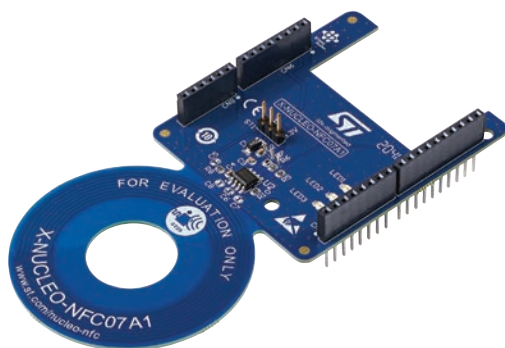
- コスト重視のエントリーレベル設計
 - STM32WB0シリーズ**：基本的なコネクティビティ向けの設計、コスト効率を重視して最適化
- 高性能で柔軟性の高いソリューション
 - STM32WB、STM32WBAシリーズ**：高度な処理能力と広範に適用可能な柔軟性

STのポートフォリオでは、マイコンに加え、Bluetooth® LEアプリケーション・プロセッサも提供しています。モジュラー設計向けに最適化されたネットワーク・プロセッサとアプリケーション・プロセッサ、単一製品内で双方の機能を搭載して統合を簡略化したオールインワン・ソリューションなどがあります。さまざまな実装面積と機能セットの要件に対応した、QFN32からBGA121までの複数のパッケージ・オプションから選択できます。

品名	パッケージ	スタンバイ電流 (μA) 代表値	受信感度 (dBm) 代表値	出力 (dBm) 最高値
STM32WB05KZ	VFQFPN 32 5x5x1.0mm	0.64	-104	8
STM32WB05TZ	WLCSP MSL1	0.64	-104	8
STM32WB06CC	VFQFPN 48 6x6x0.9mm、WLCSP MSL1	0.64	-104	8
STM32WB09KE	VFQFPN 32 5x5x1.0mm	0.64	-104	8
STM32WB15CC	UFQFPN 48 7x7x0.55mm、WLCSP 49 3.3x3.4x0.6 P 0.4mm	0.6	-96	6
STM32WB30CE	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	0.7	-100	4
STM32WB35CE	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	0.6	-100	6
STM32WB50CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	0.7	-100	4
STM32WB55CC	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	0.6	-100	6
STM32WB55CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	0.6	-100	6
STM32WB55VG	UFBGA 129 7x7x0.6 P 0.5mm、WLCSP 100 4.4x4.4x0.6 P 0.4mm	0.6	-100	6
STM32WB55VY	WLCSP 100 4.4x4.4x0.6 P 0.4mm	0.6	-100	6
STM32WB5MMG	SIP LGA 86 7.3x11x1.342mm	0.25	-100	6
STM32WBA50KG	UFQFPN 32 5x5x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA55CE	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA55CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA55HG	WLCSP 41 3x2.8x0.47 P 0.40mm	-	-96	10
STM32WBA5MMG	SIP LGA 76 8x12.5x1.372mm	-	-96	10
STM32WBA62CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA62MG	WLCSP 88 3.8x3.5x0.47 P 0.35mm	-	-96	10
STM32WBA62MI	WLCSP 88 3.8x3.5x0.47 P 0.35mm	-	-96	10
STM32WBA63CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA63CI	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA64CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA64CI	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA65CG	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA65CI	UFQFPN 48 7x7x0.55mm	-	-96	10
STM32WBA65MI	WLCSP 88 3.8x3.5x0.47 P 0.35mm	-	-96	10
STM32WBA65RG	VFQFPN 68 8x8x1.0mm	-	-96	10

ターンキー・ソリューション

X-NUCLEO-NFC07A1



STM32 Nucleo拡張ボード (ST25DV64KCベース)。

STEVAL-25R200SA



ST25R200ディスカバリ・キット。基板上に形成した5つの13.56MHz誘導アンテナと、それに対応する同調回路を搭載。

X-NUCLEO-NFC10A1



STM32 Nucleo拡張ボード (ST25R200ベース)。
ISO/IEC 14443 Type A/BおよびISO/IEC 15693のRF通信プロトコルに対応。

ヘッド・ユニット・サブシステム



はじめに

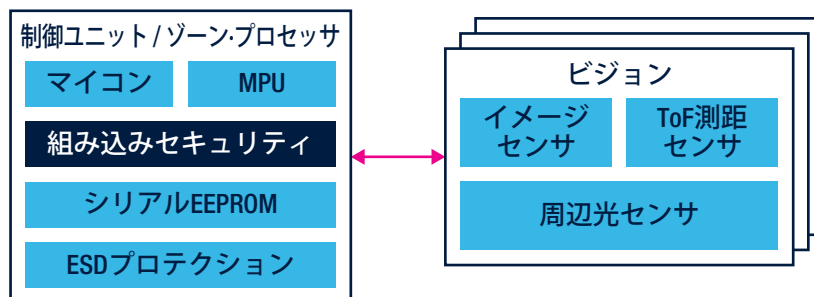
ビジョン・システムと人工知能（AI）を組み合わせることでヒューマノイド・ロボティクスの性能は大きく進化しています。ビジョン・システムによって、ロボットは高度な画像処理や各種センサを統合した技術を使い、周囲の状況を認識し理解できるようになります。さらにAIと組み合わせることで、画像情報をリアルタイムで分析し、物体の認識を適切に判断できるようになり、変化の多い環境でも柔軟に対応できる能力が大きく向上します。

この2つの組み合わせにより、自律性が向上し、さまざまな分野で実践的なアプリケーションが拡大します。例えば、医療分野ではロボットが患者のモニタリングやリハビリテーションを支援し、製造分野では組立てや検査を協力して実施し、カスタマ・サービスの分野では小売業や接客業で対話体験を提供することができます。

ビジョン・システムとAIアルゴリズムを組み合わせれば、物体の認識と分類、ジェスチャや顔の認識、障害物回避を伴うナビゲーションなどの重要な機能を実現できます。これらの機能は環境の変化に対応するために、継続的にデータを取り込み、それを分析し続けることで成り立っています。

堅牢な知覚を得るために、ヒューマノイド・ロボットはさまざまなセンサ技術と高いデータ処理能力を組み合わせています。イメージ・センサがブレのない高速イメージを撮影し、3D深度センサが空間認識と正確な測距を実行します。さらに、近接センサは衝突を防止し、周辺光センサは照明条件が変化する中でも安定した動作を維持します。これらのデータは、STM32N6マイコンがAIを使って取得したデータを処理し、人間の感覚に近い仕組みを実現しています。こうしたセンサはロボットの各部（頭、胴、腕、脚）に配置され、周囲の環境をもれなく把握することを可能にしています。

サブシステムのブロック図



周辺光センサとToF測距センサ

周辺光センサ（ALS）は、一貫性のある視覚性能を維持するための重要な役割を果たします。前後のカメラと連携して動作しながら、周囲の明るさを検出し、ホワイトバランスを最適化したり、フリッカを補正したりします。これにより、ヒューマノイド・ロボットは、明るさが変化する環境でも安定した画像処理が可能になり、正確な物体認識やジェスチャ解釈認識、そして安全な移動を正確に行えるようになります。

Time-of-Flight（ToF）測距センサは、高精度の距離・深度検出によって、ロボットが避けながら安全に移動したり、人と安全に関わることを可能にします。このセンサには、光を照射するVCSELや、光子レベルの検出が可能なSPADアレイといった先端技術が搭載されています。また、消費電力を抑える設計技術により、エネルギー効率を損なわずに継続的な深度検出が可能となり、長期間稼働するモバイル・ロボットにとってきわめて重要な役割を果たします。

これらの能力をさらに拡大するのが高解像度3D ToF測距センサであり、精密な環境マッピング、姿勢推定、ジェスチャ認識、小さな物体の認識といった機能をさらに強化します。こうした機能は、人の動きや存在を正しく理解することが安全性や協働に直結する、変化の多い環境で働く人型ロボットにとって欠かせないものです。

基本的な測距の他にも、最新のセンサでは状況検知や見え方を調整する役割にも貢献しています。タッチ操作によるピント合わせや自動の焦点調整により、ロボットはリアルタイムで認識精度を高め、複雑な環境でも的確に判断して行動できるようになります。

ヒューマノイド・ロボットにおける重要なポイント

- ・ 明るさが変わる環境でも安定した画像を撮影可能（正確な画像認識と安全な移動をサポート）
- ・ 高精度の空間認識（安全な移動と障害物回避をサポート）
- ・ 人の姿勢とジェスチャの検出（自然なコミュニケーションの実現）
- ・ 低消費電力での距離測定（長時間の自律動作を実現）
- ・ 高精度な検査や測定

ToF測距センサの主な利点		CMOSイメージ・センサの主な利点			周辺光センサの主な利点		
測距から高解像度3D深度検出までをコンパクトな一体型モジュールで実現		高分解能、高感度、低消費電力の超小型イメージ・センサによるコンピュータ・ビジョンの実現			正確なルクス、CCT、フリッカ除去によるロボット・ビジョンの向上		
タッチ・トゥ・フォーカスでAFアシスト	ユーザの操作性 & 安全機能	画像撮影から動画の記録に対応	視覚認識	部品の検査・測定	明るさ・色温度の測定	状況に合わせた表示設定の最適化	フリッカの除去

3D深度センサとdToF測距センサの検出による環境マッピング

STは、ロボットやオートメーション分野において、高精度な距離測定や環境情報の取得を実現するためのdToF測距センサおよび3D深度センサ技術を幅広く提供しています。

dToF測距センサは、照射した光が物体に到達して戻るまでの時間を計算することで距離を測定することができるため、人型ロボットや産業用ロボットの自律した移動や障害物回避、環境の把握といった行動をより正確に行うことをサポートします。

さらに、STの3D深度センサ製品は、物体や周囲の状況を詳細な3次元データとして立体的に捉えることができます。これにより、物体検知やジェスチャ認識、周囲環境の把握が可能となり、人との自然なやり取りや、変化する環境での自律的な判断に欠かせない機能を実現します。

高度な光学技術と効率的な処理システムを組み合わせたこれらの製品により、高精度、高速、柔軟性が不可欠となるロボット・アプリケーションにおいて、安定した性能を発揮できるようにサポートをします。

品名	概要	最長測定距離 (m)	FoV (°) (対角)	最小動作電圧 (VDD) (V)	最大動作電圧 (VDD) (V)	解像度	グレード	超低消費電力モード
VL53L9CX*	オンチップ処理機能搭載オール・イン・ワン3D dToF LiDARモジュール (マス・マーケット向け)	9	HxV 55°x42°	2.8	4.8	2.3K	産業機器	○
VD55H1	低消費電力、低ノイズ 3D iToF 0.5Mpセンサ・チップ	5	65	1.1	5	-	産業機器	-

注記: * 2026年第2四半期提供開始予定

dToF測距センサ

品名	概要	最長測定距離 (m)	FoV (°) (対角)	最小動作電圧 (VDD) (V)	最大動作電圧 (VDD) (V)	解像度	グレード	超低消費電力 モード
VL53L0X	シンプルな測距システム	2	25	2.6	3.5	1	産業 機器	-
VL53L1CB	長距離測距向け、FoV可変機能およびマルチ・ターゲット検出機能搭載	8	27	2.6	3.5	2x2		○
VL53L1CX	FoV可変機能搭載	4	27	2.6	3.5	1		○
VL53L3CX	マルチ・ターゲット検出機能搭載	5	25	2.6	3.5	1		○
VL53L5CX	8 x 8マルチゾーン対応	4	65	1.8	3.3	8x8		-
VL53L7CH	AI対応、8 x 8マルチゾーン対応、広画角FoV	3.5	90	1.8	3.3	8x8		○
VL53L7CX	8 x 8マルチゾーン対応、広画角FoV	3.5	90	1.8	3.3	8x8		-
VL53L8CH	AI対応、高性能8 x 8マルチゾーン対応	4	65	1.8	3.3	8x8		-
VL53L8CX	低消費電力、高性能8 x 8マルチゾーン対応	4	65	1.8	3.3	8x8		-

2Dイメージ・センサ

STは、高解像度のCMOSイメージ・センサを提供しており、高度なシステムに効率的に組み込めるよう設計されており、正確な画像撮影と解析を実現できるため、**ロボット向けビジョン・システムや画像認識、工場の自動化、自律ナビゲーション**などのアプリケーションをサポートします。また、高度な処理能力と、STのマイコンやプロセッサとの高い互換性により、複雑なシステムへのシームレスな組み込みをサポートします。

優れた性能、信頼性、低消費電力化を重視したこれらのカメラは、高い精度とスピードが求められる環境においても、正確な視覚認識を実現します。さらに、複数の通信インターフェースに対応しているため、多様なロボット・プラットフォームやオートメーション・プラットフォームに柔軟に対応します。

品名	解像度	カラー・フィルタ /納入形態	シャッター方式	ピクセル・ サイズ (μm)	光学 フォーマット	画像出力	フレーム・レート (fps) (フル解像度)
VB1943	5.08Mp	RGB-IR / パッケージ	グローバル / ローリング	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100fps
VB5943	5.08MpP	モノクロ / パッケージ	グローバル / ローリング	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100fps
VD16GZ	1.53Mp	RGB-IR / ベア・ダイ	グローバル	2.61	1/4"	MIPI CSI-2	88fps
VD1943	5.08Mp	RGB-IR / ベア・ダイ	グローバル / ローリング	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100fps
VD55G1	0.56Mp	モノクロ / ベア・ダイ	グローバル	2.61	1/9"	MIPI CSI-2、I3C	194fps
VD56G3	1.53Mp	モノクロ / ベア・ダイ	グローバル	2.61	1/4"	MIPI CSI-2	88fps
VD5943	5.08Mp	モノクロ / ベア・ダイ	グローバル / ローリング	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100fps
VD66GY	1.53Mp	RGB / ベア・ダイ	グローバル	2.61	1/4"	MIPI CSI-2	88fps

AI処理向けマイコン

STマイクロエレクトロニクスは、先進的な機器内蔵型AI用のニューラル・ネットワーク・プロセッサを搭載した専用のマイコン・ファミリである**STM32N6**を提供しています。最大**800MHz**で動作する**Arm® Cortex®-M55**コアをベースとして、DSPアクセラレーションにHelium (Mプロファイル・ベクトル拡張) を搭載しています。前処理 / 後処理と推論を1つのマイコンに統合するエッジ・ワークロードをターゲットとした製品ファミリです。

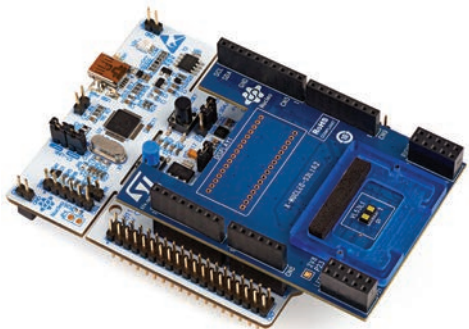
STM32N6には自社開発の**ST Neural ARTアクセラレータ**が組み込まれています。最大動作クロック**1GHz**、最大**600GOPS**のNPUであり、組込みシステムに適した消費電力を維持しながら、コンピュータ・ビジョンやオーディオ・パイプライン向けのリアルタイム・ニューラル・ネットワーク推論を実現します。このNPUに加え、**4.2MBの大容量連続SRAM**、イメージ・シグナル・プロセッサを備えたカメラ・パイプライン (パラレル、MIPI CSI 2)、ハードウェア・マルチメディア・ブロック (H.264エンコーダ、JPEGなど) も搭載しており、ホスト・プロセッサを使用せず機器内でデータ取得 → 処理 → 推論をエンド・ツー・エンドに実行できます。

ロボティクスのユース・ケースでは、このアーキテクチャにより物体検出、姿勢 / ジェスチャ推定、シーン理解などのタスクを、カメラ・インタフェースとオンチップ・アクセラレーションを活用してエッジ部で実行できます。そのため、ナビゲーションや人とロボットの相互作用における典型的なリアルタイム制約に対応できます。

品名	パッケージ	コア	動作周波数 (MHz)	FPU	コプロセッサ・タイプ	RAM容量 (kB)	グラフィック・アクセラレータ	暗号化	セキュリティ機能	イーサネット	電源電圧 (V) 最低値	電源電圧 (V) 最高値	NPU AI / NN ハードウェア・アクセラレータ	ビデオHW アクセラレータ
STM32N657A0	VFBGA 169 6x6x1.0 P 0.4mm	Arm Cortex-M55	800	倍精度 FPU、 半精度 FPU、 単精度 FPU	Neural-ART	4200	Chrom-ART、 JPEGコーデック、NeoChrom GPU	AES、 ECDSA、 HMAC、 OTF ENC / DEC、PKA、 S-AES、 S-ECC、 S-RSA、 SHA-1、 SHA-2、 TRNG	異常状態処理、 アプリケーション・ ライフサイクル、 監査 / ログ、暗号 エンジン、識別 / 認証 / 構成証明、 TrustZoneによる分離、セキュア・ブート、 セキュア・インストール / アップデート	1Gbps (IEEE 1588)	1.71	3.6	600GOPS	H.264 エンコーダ、 ISP
STM32N657B0	VFBGA 198 10x10x1 P 0.65mm								異常状態処理、 アプリケーション・ ライフサイクル、 監査 / ログ、暗号 エンジン、識別 / 認証 / 構成証明、 TrustZoneによる分離、セキュア・ブート					
STM32N657I0	VFBGA 178 12x12x1 P 0.8mm													
STM32N657L0	VFBGA 223 10x10x1 P 0.5mm													
STM32N657X0	VFBGA 264 14x14x1 P 0.8mm													

ターンキー・ソリューション

P-NUCLEO-53L1A2



VL53L1 Nucleoパック

X-NUCLEO-53L1A2



VL53L1 Nucleo拡張ボード

X-NUCLEO-53L0A1



STM32 Nucleo向け測距センサ拡張ボード (VL53L0Xベース)

X-NUCLEO-53L8A1



Arduino R3コネクタを搭載したSTM32 Nucleoボード向け拡張ボード。
VL53L8シリーズのToF測距センサをベースとするアプリケーション
の学習、評価、開発が可能

STEVAL-56G3MAI



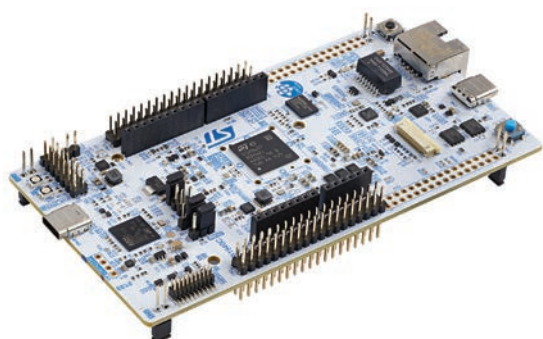
MPU / マイコンボードにVD56G3イメージ・センサを組み込むための
VD56G3 S-Board MIPI CSI-2キット

STEVAL-66GYMAI



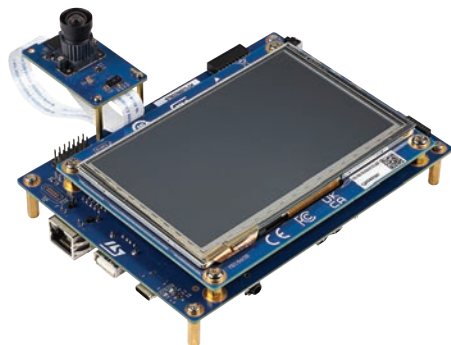
MPU / マイコンボードにVD66GYイメージ・センサを組み込むための
MIPI CSI-2キット

NUCLEO-N657X0-Q



STM32 Nucleo-144 (STM32の無料の総合ソフトウェア・ライブラリと
サンプル・コードを含む)

STM32N6570-DK



幅広いハードウェア機能付きのディスカバリ・キット。USB Type-C[®]、
Octo SPI FlashメモリとHexadeca SPI、イーサネット、カメラ・
モジュール、LCD、オーディオ・コーデックなど多数の周辺機器を
評価可能

バックボーン部品

ロボットのヘッド・ユニットを保護し構成部品の真正性を保証するセキュア・エレメント

ロボティクスは幅広いニーズに対応できる高い多機能性を備え、多くのロボット・ソリューションが産業機器、医療機器、コンシューマ・アプリケーションのサービスに使用されています。完全自律型のロボットはまれで、通常はクラウドから操作されるリモート・サービスに接続しています。そのため、どの産業であっても、ロボットは上位のグローバル・システムの構成要素であるのが一般的です。つまり、そのシステムと同じセキュリティの脅威（ID複製、データ改ざん、プライバシー侵害、マルウェア注入など）にさらされています。

ロボットはそれ自体も1つのエコシステムであり、相互に接続するスマート部品により構成されています。ロボットの行動の一貫性は、構成部品の信頼性に左右されます。そのため、構成部品とその相互のデータ交換についても同様に、セキュリティの脅威（ID複製、データ改ざん、プライバシー侵害、マルウェア注入）から保護する必要があります。

STSAFEセキュア・エレメントは、ヘッド・ユニット、スマート構成部品、消耗品を保護するハードウェア・ルート・オブ・トラストを提供します。

ロボットのヘッド・ユニットおよびスマート・コンポーネント向け STSAFE-Aセキュア・エレメント

STSAFE-AIはセキュア・エレメント製品ファミリで、エンド・デバイス（ロボット、スマート構成部品など）に対して認証とセキュア・データ管理サービスを提供します。

ロボティクス・システムにおける役割

- **強力な認証**：個別化された証明書により、強力な認証が可能になり、正規の機器または構成部品だけがシステム内に入ることを許可
- **データの完全性と機密性**
 - データ署名により、データ交換時の改ざんを防止
 - TLS接続の確立により、データ・フローでのプライバシー侵害を防止
- **プラットフォームの完全性**：アプリケーションの実行または更新の前に署名を検証することにより機器プラットフォームの完全性を確保

STSAFE-AIは、コネクテッド・デバイスのメイン・プロセッサに、シンプルなI²Cインタフェースを介して接続するコンパニオン・チップです。STSAFE-Aセキュア・エレメントは、CC EAL5+認証を受けたプラットフォーム上に、STのセキュアな製造拠点で読み込まれる鍵と証明書を使用して事前にプロビジョニングされます。

品名	製品の特徴	インタフェース	認証	パッケージ・オプション	動作温度範囲	NVMストレージ
STSAFE-A120	• 個別化されたX 509証明書による認証 • セキュアな接続 (TLS) • 対称鍵方式暗号化および復号化 • セキュアなデータ・ストレージとセキュアなカウンタ • 署名検証 • リモート・クラウド認証 • Amazon AWS JITおよびMicrosoft Azure DPSによる機器の登録	I ² C	CC EAL5+ HW	S08N 4x5mm DFN8 2x3mm	-40°C～+105°C	16KB

ロボットのサブコンポーネント、消耗品、バッテリー向け STSAFE-Lセキュア・エレメント

多くのロボットは、交換可能な消耗品や受動的な構成部品（バッテリー、医療用消耗品、アクセサリなど）を利用しています。これらは複製、不正な再利用、あるいは管理されていない状態での使用期間延長の対象になりやすく、システム性能の低下、安全制限違反、ビジネス・モデルの侵害につながります。

STSAFE-Lはこのようなシナリオに対して最適化されており、以下の機能を備えています。

- **複製対策**：個別化された証明書による認証によって、本物の構成部品、消耗品、バッテリーだけがロボットで使用可能に
- **使用状況のモニタリング**：セキュアなカウンタとセキュアなデータ・ストレージにより、消耗品の使用数を制限して使い過ぎを防止

STSAFE-Aと同様に、STSAFE-L製品もSTのセキュアな製造拠点で、ユニークID、証明書、鍵を使用して事前に個別化されます。STSAFE-Lは構成部品または消耗品に直接取り付けられ、I²CまたはST1Wireを介してホスト機器のマイコンに接続されます。

品名	製品の特徴	インタフェース	パッケージオプション	動作温度範囲	NVMストレージ
STSAFE-L010	• 汎用証明書または個別化された証明書による認証 • 非対称エドワーズ曲線 • セキュアなデータ・ストレージとセキュアなカウンタ	I ² C ST1Wire	DFN8 2x3mm DFN6 1.4x1.6mm Contact DFN3 4x3.2mm	-25°C〜+85°C	32KBのEEPROM

ST4SIM eSIM

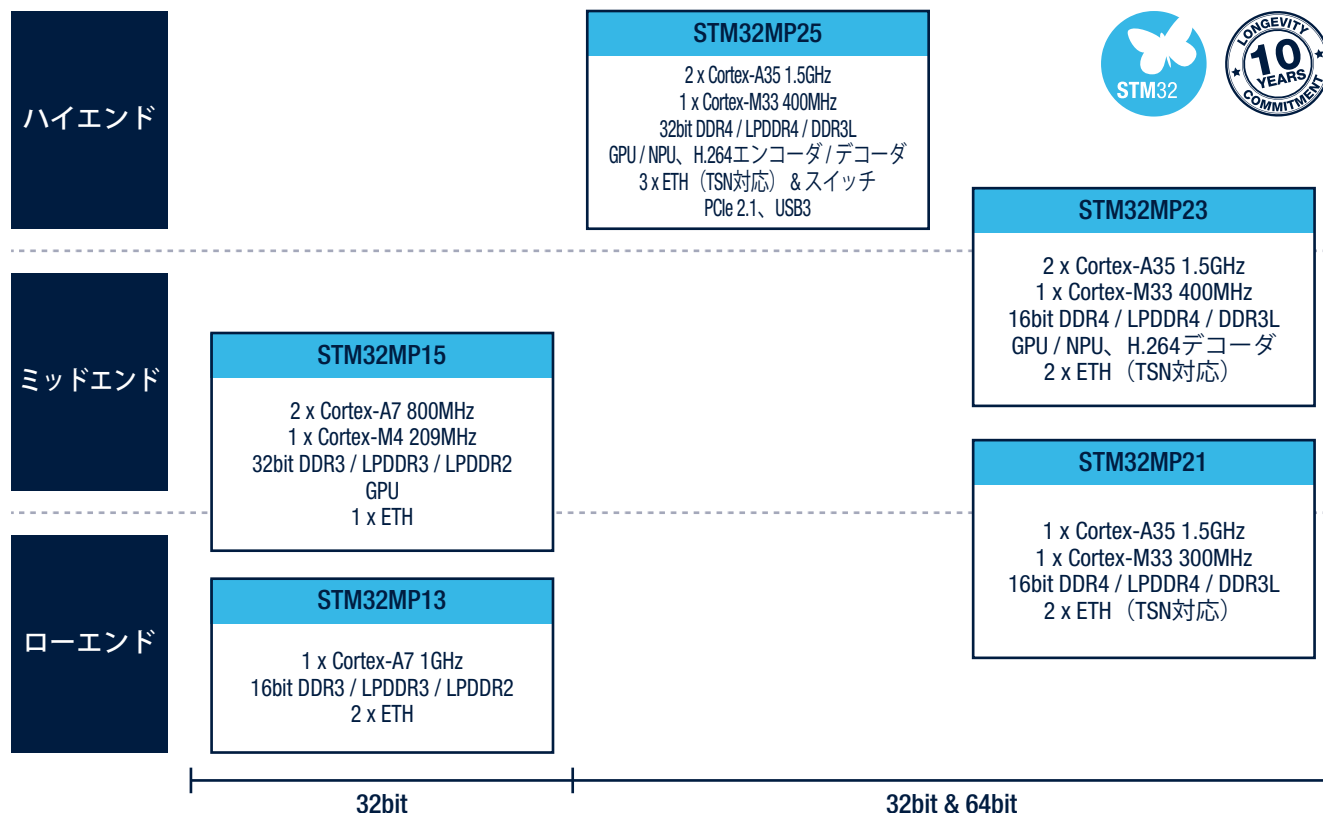
ヒューマノイドをモバイル・ネットワーク上でセキュアに識別し認証します。事業者は、ロボットのフリート管理、遠隔測定、追跡、リモート診断に使用するデータ・コネクティビティ・サービスを提供できるようになります。ST4SIMはリモートSIMプロビジョニング（RSP）のための最新のGSMA仕様に準拠し、NB-IoTネットワークとの完全互換性もあります。RSPプロトコルに準拠し、ブートストラップ接続を利用できることから、ST4SIMでは、ヒューマノイドの設置国に合わせて、特定地域の通信事業者を使用できます。また、ST4SIMではオプションとして、継続的なコネクティビティを保証するよう構成できます。この構成により、有効化された指定ネットワーク事業者との接続の切断を検出し、データの受信圏内にある事前読み込み済みの別の事業者に切り替えるようになります。

品名	概要	機能セット	製品機能	通信インタフェース	認証
ST4SIM-300M	IoT環境のIoTシステム・オン・チップ・ソリューション向けGSMA eSIM	M2M	eSIM	接触型 ISO7816、I2C、SPI	CC EAL6+、GSMA

ゾーン・プロセッサ

ゾーン・エレクトロニクス・アーキテクチャを採用したヒューマノイド・ロボットにおいては、各マイクロプロセッサ（MPU）が、物理ゾーン（頭、胴、腕、脚）内部のセンシング、アクチュエーション、通信を管理するインテリジェント・ハブの役割を果たします。カメラ、LiDAR、IMU、触覚センサから収集したデータを局所的に融合し、モーションと安全に関するリアルタイムの制御ループを実行し、前処理済みの関連性の高い情報だけを中央コンピュータに転送します。

STM32汎用マイクロプロセッサ・ファミリーは、LinuxやAIのワークロード向けの高性能アプリケーション・コアと、決定的な制御用のリアルタイム・マイコン・コアを統合しており、この役割に適しています。充実したコネクティビティを備え、TSNを使用するイーサネット・スイッチ、産業用フィールド・バス、高速センサ・インタフェースをサポートしています。このような異種の技術に対応した設計により、知覚、制御、安全に関するタスクを脳から各ゾーンにオフロードできるため、配線の複雑さを最小限に抑え、拡張性が高く電力効率に優れたモジュラー・ロボット・アーキテクチャを実現できます。エッジAIの推論用のGPUとNPUを搭載し、セキュア通信機能が組み込まれたこのMPUによって、各ゾーンを、高度なロコモーション、マニピュレーション、人とロボットの相互作用に対応可能な自律型スマート・ノードへと転換できます。



メモリ

ストレージ、キャリブレーション、データ・ロギング、カウンタ用のシリアルEEPROM

シリアルEEPROMは長期間のデータ保持が可能で高いサイクル耐久性を備えているため、小型機器における信頼性の高い低消費電力ストレージとして最適です。通常はベースライン設定や判断のしきい値の保持に使用されますが、プロセッサ、カメラ、センサ、アクチュエータ、または通信ノードに関連するイベント・ロギングにも使用されます。電源再投入、機械的保守やセンサ交換の後も性能が維持されます。バイト単位でアクセスできる柔軟性があるため、ブロック消去の制約を受けずにファームウェアの個別のパラメータを更新でき、マイコンの書き込みオーバーヘッドを最小限に抑えることができます。低電圧かつ低消費電力の特性によりエネルギー消費と熱損失が軽減されるため、高感度のアナログ・フロントエンド、露出面、バッテリー駆動サブシステムに最適です。

品名	概要	その他の主な特性
M24512E-F	512KbitシリアルI ² CバスEEPROM	設定可能なデバイス・アドレス・レジスタ
M95M02E-F	2MbitシリアルSPIバス EPROM (高速クロック対応)	ソフトウェア書き込み保護レジスタ 128バイトまたは256バイトの追加識別ページ

リアルタイム大容量データ・ロギング用のシリアル・ページEEPROM

シリアル・ページEEPROMは、STM32マイコンを補完する理想的なメモリソリューションで、超低消費電力、ファームウェア・ストレージ、FOTAアップデートの機能を備えています。非常に短いウェイクアップ時間、動作状態フラグ、高速消去、プログラムと長期間のデータ保持を、内蔵のECCと組み合わせることにより、安全かつ高性能なファームウェア管理を可能にします。ページ・プログラムや書き込みは短く、バイト単位でアクセスできる柔軟性もあるため、リアルタイムやランダムな構成のアップデート時に、少ないサイクル数で効率的にイベントをロギングできます。シリアル・ページEEPROMは、最大50万の書き込みサイクル、100年間のデータ保持（55°Cの場合）が可能であり、大容量データロギングを確実に遂行します。

品名	概要	その他の主な特性
M95P08-I	超低消費電力8MbitシリアルSPIページEEPROM	高い書き込み / 消去性能 ECCによる高いメモリ信頼性 (DEC、TED) ISO26262に対応した動作状態フラグ
M95P16-I	超低消費電力16MbitシリアルSPIページEEPROM	
M95P32-I	超低消費電力32MbitシリアルSPIページEEPROM	

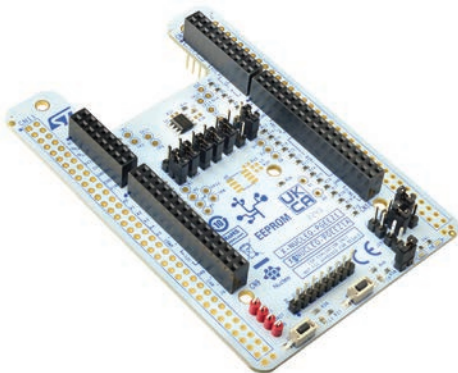
識別とトレーサビリティ用のUID EEPROM

UID EEPROMは、シリアルEEPROMの堅牢性と、工場でプログラムされるユニークIDを組み合わせたものです。すべてのヒューマノイド・ロボット・ユニット、サブシステム、またはモジュラー部品を簡単に識別して重複を検出できます。**400万書き込みサイクルの耐久性と200年間のデータ保持期間**を備えたUID EEPROMにより、バッテリー、工具モジュール、アクセサリなどのモジュラー部品の在庫管理 / メンテナンス・プログラムを簡略化できます。UIDをデジタル・ツインや、製造データ、保守日、その他の有益情報に関連付けて、トレーサビリティやメンテナンスに役立てることができます。業界標準のI²Cインタフェースを備え、シリアルEEPROMの実装面積とそのまま置き換え可能な互換性があるため、UID EEPROMを容易に統合でき、ロボットのユニットや部品に対してすぐにトレーサビリティを導入できます。

品名	概要	その他の主な特性
M24256E-U	256KbitシリアルI ² CバスEEPROM (ユニークID付き)	設定可能なデバイス・アドレス・レジスタ

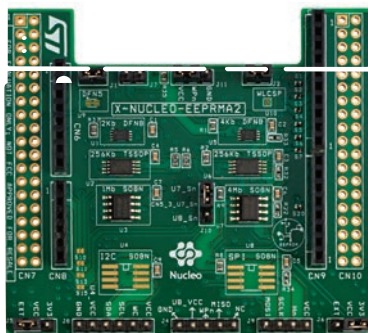
ターンキー・ソリューション

X-NUCLEO-PGEEZ1



STM32 Nucleo向け標準SPIページEEPROMメモリ拡張ボード
(M95P32シリーズ・ベース)

X-NUCLEO-EEPRMA2



STM32 Nucleo向け標準I²C / SPI EEPROMメモリ拡張ボード (M24xx、M95xxシリーズ・ベース)

At STMicroelectronics we create technology that starts with You



Order code: BR2604HUMROBJ

詳細はSTウェブサイトをご覧ください: www.st.com

© STMicroelectronics - June 2026 - Printed in Japan - All rights reserved
STMicroelectronicsのロゴマークは、STMicroelectronics Groupの登録商標です。その他の名称は、それぞれの所有者に帰属します。STの登録商標についてはSTウェブサイトをご覧ください。 www.st.com/trademarks
STマイクロエレクトロニクス株式会社

■東京 TEL 03-5783-8200 ■大阪 TEL 06-6397-4130 ■名古屋 TEL 052-587-4547

