

傅利葉智能 (Fourier Intelligence) ヒューマノイドロボット技術・製造構造調査報告書

第1章：製品ラインナップとハードウェア諸元の推移 (GR-1からGR-2 / GR-3へ)

1. リハビリ外骨格から汎用ヒューマノイドへの機構展開

傅利葉智能 (Fourier Intelligence) のヒューマノイドロボット開発における機構的本質は、同社が下肢リハビリテーションロボット (外骨格机器人) の臨床応用において蓄積した生体力学 (バイオメカニクス) データと人間工学的関節構造の直接的な発展形である点に集約される¹。

外骨格ロボットの開発では、装着者の寛骨臼 (股関節受部) 中心、大腿骨顆部 (膝関節回転中心)、および足関節果部 (足首回転中心) の運動軌跡に対し、機械的アクチュエータの回転軸を高精度にアライメントさせる機構設計が不可欠である。傅利葉智能はこの臨床知見をヒューマノイドの骨格設計へ移植し、人体の歩行周期における各関節のトルク発揮特性と角速度変動を模したリンク構造を確立した。

実証機として2023年に発表された「GR-1」は、自社製アクチュエータ「FSA (Fourier Smart Actuator)」の実機負荷耐性の検証を主目的としていた²。そのため、剛性確保と高トルク伝達を最優先とし、下肢の駆動機構に一部並列リンク (パラレルリンク) 機構を混在させた設計を採用していた。この構成はトルク伝達効率に優れる一方、リンクの干渉により股関節および足首の有効可動域が制約され、キネマティクス計算や全身協調制御アルゴリズムの複雑化を招く要因となっていた。

2024年に発表された第2世代の「GR-2」では、設計思想の抜本的な転換が図られた⁴。関節配置は並列リンクから「全串聯 (フルシリアル) 構造」へと再設計され、各関節の幾何学的運動が独立して計算可能となった⁵。全串聯構造への移行は、制御アルゴリズムのデバッグおよび展開プロセスの大幅な簡素化をもたらし、四肢の作業空間 (ワークスペース) を拡大させた⁶。同時に、外骨格設計で培われたリンク肉厚の最適配分により、全高175cm、自重63kgという成人の生体寸法に極めて近いプロポーションとスリム化を達成している⁴。

2025年に発表された「GR-3」は、医療・ヘルスケア施設および生活空間での人間共存 (Care-bot) に準拠を定めた派生発展機である⁷。GR-2の全串聯機構をベースとしつつ、外装に柔軟な衝撃吸収材を一体成形した「柔膚軟包材」を導入し、人との物理的接触における生体力学的安全性を担保している⁸。

機種	発表年	全高 / 自重	全身自由度 (DoF)	最大関節トルク	灵巧手仕様	構造的特徴および主用途
GR-1	2023年	165 cm / 55 kg	40～54 DoF (本体 32+手部)	230～300 Nm	6 DoF (単手) / 基本力覚	部分的並列リンク、FSA実証機、学術・

						先行開発 向け ²
GR-2	2024年	175 cm / 63 kg	53 DoF (本体29+ 手部24)	380 Nm 超	12 DoF (単手) / 触覚陣列 ×6	全串聯構 造、FSA 2.0、着脱 式バッテ リ、汎用 作業向け ⁴
GR-3	2025年	175 cm / 約65 kg	55 DoF	380 Nm 級	12 DoF (単手) / 触覚統合	柔膚軟包 覆材、全 感交互、 医療介 護・リハビ リ支援 ⁸

2. 自由度 (DoF) 配置と可動域・トルク特性

GR-2における全身53自由度の配分は、人間の運動生理学的自由度を精緻にトレースしている⁴。頭部・頸部に3自由度(ピッチ、ヨー、ロール)、腰部(胴体)に3自由度、両腕に各7自由度(肩3、肘1、手首3)、下肢には片脚あたり6自由度(股関節3、膝1、足首2)の計12自由度が配備され、両手の多軸ハンド(灵巧手)に各12自由度(計24自由度)が割り振られている⁶。

下肢のモーメント負荷設計において、歩行の立脚相および階段昇降、着地衝撃時に生じる最大負荷に対処すべく、股関節ピッチ軸および膝関節ピッチ軸には、ピークトルク380Nm超を発揮する大出力FSAが配備されている⁴。GR-1の最大関節トルクが230～300Nmであったのに対し、GR-2ではトルク耐性が大幅に向上し、不整地歩行や外力擾乱に対する動的復元マージンが拡大した²。足首関節はピッチ(底屈・背屈)およびロール(内反・外反)の直交2軸で構成され、接地時の路面適応性と蹴り出し動作に必要な高角加速度を出力できるモーメント剛性を備えている。

骨格重心(CoM: Center of Mass)の最適化においては、外骨格ロボットの軽量化知見が直接反映されている。重量の大部分を占める大型FSAアクチュエータ群は、体幹部(骨盤および胴体中心)に近い近位(プロキシマル)側に集中配置され、四肢末端(ディスタンス)側は薄肉中空リンクと軽量減速機で構成されている。この質量配分により四肢の回転慣性モーメント(イナーシャ)が低減され、単腕3kgの作業負荷(アームペイロード)を担保しながら、通常歩行速度5km/h、最高移動速度3.5m/s(約12.6km/h)での安定した動的衝撃耐性を実現している⁴。

第2章：自社製コアアクチュエータ「FSA (Fourier Smart Actuator)」の構造解剖

1. FSAアクチュエータの内部パッケージングと電磁設計

ヒューマノイドロボットの性能を根本から規定する要素が、傳利葉智能が自社開発・内製化を貫く関節モジュール「FSA (Fourier Smart Actuator、高性能一体化執行器)」である²。FSAは、アウターロータ型フラットブラシレスDCモータ(高功率密度电机)、薄型精密減速機、デュアルアブソリュートエン

コーダ、ならびにFOC(磁界方向制御)ドライバ基板を単一ハウジング内に凝縮した一体化関節モジュール(一体化关节模组)である²。

電磁設計においては、トルク密度160Nm/kg超を達成するため、モータの極対数(磁極数)とスロット数の最適化が図られている¹²。ステータには薄板電磁鋼板の精密積層コアと高占積率の集中巻ステータコイルが採用され、ロータには高磁束密度のネオジム磁石(NdFeB、耐熱グレード48H~52SH相当)が配置されている。磁気回路の空隙(エアギャップ)を極限まで狭小化しつつ、ハルバツハ配列に類似した磁束集中配置を適用することで、薄型かつ大径な形状でありながら極めて高い瞬時ピークトルクを発生させている。

アクチュエータ中心部には大径の「中空貫通軸(大中空軸)」が設けられている。この中空孔を確保するため、モータ軸受および減速機出力軸受には薄肉大径クロスローラーベアリングが採用され、ラジアル荷重、スラスト荷重、およびオーバーハングモーメントを単一のベアリング機構で支持する設計となっている。

関節内部の放熱設計においては、密閉空間での連続駆動による熱ダウントルクを防ぐため、高熱伝導率のアルミニウム合金(A6061/A7075)削り出しハウジングがモータステータのヒートシンクとして機能する直結伝導構造が採られている。FOCドライバ基板上のMOSFETおよびゲートドライバICは、熱伝導シート(サーマルギャップパッド)を介してアクチュエータ外殻フレームに熱結合され、発生した熱をロボット本体の内骨格フレーム全体へ拡散させるヒートパスが確立されている。

2. 力制御(インピーダンス/アドミタンス制御)を支えるセンシング・減速機設計
傅利葉智能のアクチュエータ技術の強みは、リハビリ外骨格で蓄積された「高精度トルク制御(力矩制御)」および「インピーダンス/アドミタンス制御(阻抗制御/導納制御)」の実装能力にある¹。人と接触する環境下で外乱を受け流し、柔軟な動作を実現するため、減速機の選定とセンシング方式には高度な工夫が施されている。

減速機構においては、関節の負荷特性と逆駆動性(Back-drivability)要求に応じた厳格な使い分けがなされている。

- 上半身関節(肩、肘、手首)および腰部:高精度な位置決めとゼロバックラッシュが要求されるため、薄型・中空構造の波動減速機(谐波減速器)が組み込まれている¹³。
- 下肢主要関節(股関節、膝関節):跳躍や歩行時の激しい着地衝撃(衝撃トルク)に対する耐性と、高い逆駆動性が不可欠であるため、カスタム設計された薄型高強度精密遊星減速機(行星減速器)が主軸として採用されている¹³。

力制御ループのセンシングアーキテクチャとして、減速機入出力軸に独立した検出器を配する「デュアルエンコーダシステム(双编码器系统)」が標準実装されている⁶。モータ軸側(入力高速側)のエンコーダがFOC電流ベクトル制御のための高分解能(17~19bit)磁気式アブソリュート情報を取得し、減速機出力軸側(リンク低速側)の同等精度のエンコーダが関節絶対角を検出する⁶。

機械系と制御系の相互作用は、以下のインピーダンス制御モデルとして記述される。

$$J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + K(\theta - \theta_0) = \tau_{\text{ext}}$$

ここで、 J は目標仮想慣性モーメント、 B は仮想ダンピング係数、 K は仮想剛性係数、 θ_0 は平衡位置指令値、 τ_{ext} は関節が受ける外力トルクを表す。傅利葉智能の制御アルゴリズムでは、外骨格型トルクセンサを全軸に配する代わりに、デュアルエンコーダによって検出される減

速機の弾性ねじれ角 $\Delta\theta$ と減速機の既知のねじれ剛性特性 K_{gear} から外力トルク

$\tau_{\text{ext}} \approx K_{\text{gear}} \cdot \Delta\theta$ を高精度に推定する。これにモータのトルク電流 (I_q 軸電流) フィードフォワードを重畳させ、1kHz以上の高速リアルタイム通信ループで処理することにより、外部衝撃に対する俊敏な仮想コンプライアンス制御と高剛性位置決め制御のシームレスな切り替えを可能にしている。

3. 多軸ハンド(灵巧手)と前腕リンクの機構

GR-1の単手6自由度ハンドから、GR-2およびGR-3では完全自研の「12自由度仿人触覚灵巧手(多軸ハンド)」へと進化を遂げている⁶。この灵巧手は、前腕(フォアアーム)内部の限られた空間を有効活用する高密度メカトロニクス設計の結集である。

前腕から手首、指先にかけての機構には、小型コアレスブラシレスモータ、超小型遊星減速機、マイクロボールねじを一体化した小型リニアアクチュエータ(微型直线執行器)と、超高分子量ポリエチレン繊維(ダイニーマ等)による「腱駆動(Tendon-driven)機構」の複合構造が採用されている。指骨内にアクチュエータを内蔵すると指先の慣性質量が増大し把持応答性が悪化するため、駆動源の大部分を前腕リンク内部に並列配列し、手首関節の中空ベアリング内部を通るガイドルートを介して各関節プーリーを牽引する配置をとっている。

掌部および5本の指先接触面には、計6個の「アレイ式触覚センサ(阵列式触觉传感器)」が配置されている⁶。この触覚センシング系と下位の力制御アルゴリズムが連動することにより、物体の硬度、滑り兆候(微小すべり振動)、および接触面圧分布をリアルタイムで検出し、把持力の適応的制御を実行する⁶。脆小な医療器具や不定形な日用品の確実な保持が可能であり、VRテレグジスタンス(遠隔操作)やドラッグティーチング(拖拽示教)による動作データ収集にも対応している⁶。

第3章: 医療機器グレードに根ざす筐体設計・加工工法

1. 骨格剛性と外装デザイン(美観と安全性の融合)

傅利葉智能のヒューマノイドロボットの外郭は、骨格や配線が露出した産業機械とは一線を画し、全周にわたり滑らかな曲面カバーで覆われている⁵。この設計思想は、医療機器に義務付けられる「感染防止のための清掃・清拭性」および「患者・術者との接触安全性」の基準に直結している。

関節の屈曲・回旋動作に伴う事故を未然に防ぐため、外装シェルの設計には「挟み込み防止(アンチピンチ/防夹手)構造」が組み込まれている。関節が全可動域を運動する際にも外装部材同士の隙間が常に4mm未満を維持するか、あるいは十分なクリアランスを持って重なり合いながら摺動するテレスコピック・スライド機構が施されている。外装成形には、薄肉軽量でありながら耐衝撃性に優れ、清拭用アルコールへの耐薬品性を有するPC+ABSアロイ樹脂の高精度射出成形金型(注塑成型)が用いられている。さらにGR-3では、人との親和性を高めるため、カバー表面に微細発泡ウレタンエラストマーを複合成形した「柔膚軟包覆材」が積層されている⁸。

ロボットの静的・動的剛性を支える耐力フレームには、厳格な材料選定と加工工法が適用されている。

部位	使用材料	成形・加工工法	設計意図および機械的特性

骨盤（ペルビス）および股・膝関節リンク	高強度アルミニウム合金 (A7075-T6)	5軸マシニングセンタによるモノコック一体切削加工	最大モーメント集中部における微小たわみ防止、薄肉高剛性化
胸部トランクフレームおよび脚部ハウジング	マグネシウム・アルミニウム合金 (AZ91D等)	薄肉精密ダイカスト成形＋CNC仕上げ加工	比強度の最大化と高振動減衰性による動作安定化、軽量化
前腕構造体および足底フレーム	CFRP（炭素繊維強化プラスチック）複合材	プリプレグオートクレーブ成形	四肢末端の慣性質量（イナーシャ）極小化
外装シェルカバー（GR-1 / GR-2）	PC + ABS アロイ樹脂	高精度射出成形（精密注塑）	UL94 V-0難燃性、耐薬品性、アンチピンチ幾何形状
表面スキン（GR-3）	柔軟エラストマー＋軟質ウレタン	2色射出成形／ソフトオーバーモールド	衝突衝撃吸収、生体親和性、柔膚軟包テクスチャ ⁸

2. ワイヤーハーネスの完全内蔵化と信頼性（可靠性）

ヒューマノイドロボットが実用現場で直面する重大な故障モードの一つが、関節の屈曲・捻回に伴う内部ワイヤーハーネスの疲労断線、および外部環境への配線引っ掛かりである。傳利葉智能はGR-2において、全関節を貫通する「整機完全内走線設計（中空走線）」を成立させた⁵。

48V系ハイパワー電源線、およびCAN-FDやEtherCATなどの高速リアルタイム通信ラインは、すべてFSAアクチュエータの中心中空軸を通流する。腰部ヨー軸や手首軸など、連続回転や大角度旋回が要求される関節には、医療用CT装置や内視鏡機器向けに実績のある薄型カプセルスリップリング（滑環）が組み込まれ、ケーブルの物理的ねじれを完全に排除している。中空部を通過する配線材には、屈曲耐久回数1000万回以上を保証する高屈曲フッ素樹脂被覆ケーブルが採用され、中空軸内部に配置された樹脂製フレキシブルガイドチューブによって最小曲げ半径が物理的に規制されている。

電氣的安全設計においては、医療機器レベルの信頼性（医療級可靠性）規格を準用している。アクチュエータドライバの大電流インバータ回路から発生する高周波スイッチングノイズが微弱な触覚センサ信号や通信ラインに干渉するのを遮断するため、IEC 60601-1-2（医療用電氣機器EMC規格）に準拠した電磁シールド設計が施されている。具体的には、FSAの金属ケース自体が密閉シールドエンクロージャとして機能し、通信ラインには高密度編組シールドツイストペア線、PCB基板レベルでは電源層・グラウンド層の完全分離レイアウトが徹底されている。

3. 公差設計と組立性（DFM）

医療機器製造工場で運用されるISO 13485品質マネジメントシステムの製造技術が、ヒューマノイドの量産組立ラインへそのまま落とし込まれている。

機械公差設計(GD&T)において、モジュール同士の締結面には高精度なインロー(スピゴット)構造および位置決めノックピン穴が配置され、組み立て時のアライメント作業における作業依存性を排除している。フレーム締結時の累積公差スタックアップを厳格に解析し、脚部全体の幾何公差同軸

度・直角度を $\pm 0.02 \text{ mm}$ 以内に収めることで、歩行制御における運動学モデルと実機の幾何学的誤差を極小化している。

量産歩留まりの維持と組立工数削減の要となるのが、「FSAアクチュエータの単体自動校正(独立校正)プロセス」である。ロボット骨格への組み付け前に、FSA単体は自動テスター(EOLベンチ)に接続され、以下の較正処理が全自動で実行される。

- 電気角・エンコーダ原点補正: モータの磁気極対位置とデュアルエンコーダの絶対角度オフセットを測定し、内部ROMへ記録。
- トルクリップル・コギングトルク補償: 全周回転時のリップル波形を検知し、ドライバのフィードフォワード補正マップを自動生成。
- 減速機の伝達誤差(TE)およびヒステリシス曲線の同定。
- 動作温度変化に対する熱変形・感度ドリフト補正テーブルの書き込み。

この独立較正プロセスにより、最終組み立てラインではアクチュエータをボルト締結しハーネスをワンタッチコネクタで接続するだけで設計通りの精度が発現し、現場での複雑なすり合わせ調整を不要にしている。

第4章: 現地レポート・サプライチェーンから見る調達網とBOMコスト構造

1. 上海・長江デルタの精密加工サプライチェーン

傅利葉智能が拠点を置く上海市張江高科技園區は、江蘇省(蘇州・無錫・常州)および浙江省(寧波・杭州)からなる「長江デルタ(長三角)メガクラス」の中心に位置する。この地域は、世界で最も産業集積度の高いメカトロニクス部品および精密加工サプライチェーンを形成している。

精密ベアリング分野においては、江蘇・浙江地域に集積する国内大手軸受メーカー(人本股份:C&U、洛陽軸承等)のカスタム薄肉クロスローラーベアリングを採用し、モータ用ネオジム磁石(NdFeB)および極薄電磁鋼板は寧波地区の素材メーカー(金力永磁、中科三環など)から直接調達している。

減速機分野では、上半身に用いられる波動減速機について、蘇州に本拠を置く緑的諧波(Leaderdrive)をはじめとする長江デルタの専門メーカーと緊密に連携している¹³。また、下肢に搭載される自社製薄型精密遊星減速機の歯車加工・熱処理・表面改質処理(窒化処理等)は、近隣の自動車・航空宇宙部品加工サプライヤーの生産ラインを活用している。

最大の調達優位性は、同社がリハビリ医療機器の量産を通じて10年以上にわたり構築してきた「医療機器品質適合サプライヤーネットワーク」をヒューマノイド製造へ直接流用している点にある¹。医療機器製造で求められる材料証明書のトレース性、寸法検査成績書の全数管理、およびロット管理体制を既にクリアしている加工工場群をそのままヒューマノイド部品の調達網として稼働させており、初期段階から高い部品歩留まりと信頼性を確保している。

2. 推定BOM(部品表)コスト内訳と原価構造

中国現地の証券会社調査レポート(券商研報)および業界内の拆解(分解)コスト試算に基づくと、初期量産(年産数百台から千台規模)におけるGR-2クラスの推定BOMコスト(部品原価)構成は下表の通り推計される¹。

モジュール分類	主要構成コンポーネント	推定コスト比率	コスト低減要因および調達特性
関節アクチュエータ系 (FSA群)	FSA 7型番×計29～32基 (BLDCモータ、遊星/波動減速機、軸受、FOC基板、エンコーダ)	50～55%	モータおよび遊星減速機の自社内製化により、市販モジュール購入対比で約30～40%のコストを削減 ²
手先機構 (灵巧手)	12DoF多軸ハンド×2基 (小型リニアアクチュエータ、腱駆動ワイヤ、触覚センサアレイ)	12～15%	触覚センサの自研・国内調達化により、かつて数十万元した力覚検出系を大幅低廉化 ⁶
骨格フレーム・外装シェル	A7075切削フレーム、マグネシウム合金鑄造品、CFRP材、PC+ABS射出成形カバー	10～12%	金型償却の進捗と長江デルタの成形加工サプライチェーン活用による低価格化
主制御・電装・センサ系	メインプロセッサ (産業用SoC)、深度カメラ、LiDAR、電源制御基板、中空配線ハーネス	12～15%	車載および産業用汎用SoCの採用、モジュール化されたビジョン系の量産品活用
バッテリーシステム	着脱式大容量リチウムイオンバッテリーパック (専用BMS、直充・急速換電機構内蔵)	5～8%	成熟した中国国内の車載・モバイルエネルギーサプライチェーンの直接調達 ⁶

中国のヒューマノイドロボット産業において、傅利葉智能のコスト・ポジショニングは他社と明確に差別化されている¹⁸。

宇樹科技 (Unitree) は、低減速比・準ダイレクトドライブ (QDD) モータ主体の簡素な構成により、部品点数を極限まで削減して数万元から十数万元台という破格の低価格化を牽引する。智元機器人 (Agibot) は、電気自動車 (EV) サプライチェーンを最大限に活用し、工場自動化や物流作業をターゲットとした実用量産型コスト構造を志向している¹⁸。

これに対し、傳利葉智能は医療・ヘルスケアおよび高級研究プラットフォームを主市場に設定し、減速比を高めた精密減速機、デュアルエンコーダ、全関節中空配線、および医療級EMC・安全機構を標準実装する「高付加価値・高信頼性型」に位置づけられる¹。初期の部材原価は高水準にあったものの、FSAを7つの標準型番に集約して全身で共用化するモジュール標準化を進め、かつ高価であった6軸力覚・触覚センサの自社開発(数千元水準への圧縮)を成し遂げたことで、高精度・高信頼性でありながら商用採算ライン(販売価格30万～50万元レンジ、量産時10万～20万元台への低減経路)を成立させている⁵。

第5章：日本のモノづくりへの示唆

1. 「医療・ヘルスケア技術発」のロボティクス展開モデルに対する技術的評価

従来のヒューマノイドロボット開発の多くは、「産業用ロボットの発展形(ファクトリーオートメーションの延長)」または「学術研究・エンターテインメント」を起源としてきた。これに対し、傳利葉智能が体现する「リハビリテーション・外骨格医療機器発」のアプローチは、ハードウェアの基本設計思想において決定的な差別化要素を有している。

産業用ロボットの設計公理は「高剛性・絶対位置精度・最大速度」であり、人間は安全柵の外側に隔離されることを前提とする。一方、医療・リハビリロボットの設計公理は「人と常時物理的に接触し、外力をしなやかに吸収・適応する」ことにある。傳利葉智能が開発したFSAおよび骨格系は、ソフトウェア上の安全機能に過度に依存するのではなく、ハードウェア自体の高逆駆動性、デュアルエンコーダによる弾性変形検出、ならびにインピーダンス力制御アルゴリズムが設計の最下層から統合されている¹。

日本の製造業においてロボットの安全設計を検討する場合、安全規格(ISO 13482等)への形式的適合を優先するあまり、過剰な物理バンパーの追加や過度のトルクリミット設定により、ロボット本来の運動性能や作業自由度を低下させる事例が見られる。これに対し、傳利葉智能は「高出力密度モータ+コンプライアンス力制御」をアクチュエータモジュールのコア機能として確立することで、成人に匹敵するスリムな外形寸法と、人間と接触しても安全なフェイルセーフ特性を高度に両立させた¹。このアプローチは、将来的に生活空間、医療施設、介護現場へロボットが参入するためのハードウェア設計要件として、極めて合理的なモデルである。

2. 日本の精密減速機・モータ・医療機器メーカーに対する示唆

傳利葉智能に見られる中国の具身智能(Embodied AI)企業の開発スピードと部品内製化体制は、日本の精密メカトロニクス産業にとって重大な構造的挑戦であると同時に、明確な協調と対抗のアプローチを提示している。

現在、中国ロボット産業では、減速機、モータ、ドライバ、エンコーダを別々のサプライヤーから購入して組み合わせる「水平分業型」から、自社仕様に最適化した関節モジュール(一体化关节模组)として内製・統合する「垂直統合型」へのシフトが急速に進行している²。この潮流に対し、日本の製造業が採るべき戦略は以下の3点に集約される。

第一に、コンポーネント単品売りから「スマートアクチュエータ・ソリューション」への事業転換である。日本の強みである超高精度減速機(ハーモニック・ドライブ等)や精密モータ(ニデック等)のメーカーが、単体部品供給の枠組みに留まる限り、中国のモジュール内製企業に対する価格競争力および開発リードタイムでの優位性を維持することは困難である。日本メーカーが誇る減速機技術を核とし、超扁平フレームレスモータ、高分解能磁気・光学式エンコーダ、ならびにSiC/GaNパワー半導体を用いた超小型ドライバ基板を一体化した「高精度・高耐久スマートアクチュエータ」をパッケージングし、最適化された力制御APIと共に提供するビジネスモデルの確立が不可欠である。

第二に、極限環境性能および長期信頼性(経年劣化耐性)における差別化である。中国製アクチュエータの内製化・低コスト化が進む一方で、数万時間の連続稼働に伴う減速機の摩耗バックラッシュ増大、過酷な温度サイクル下での熱膨張による噛み合い公差狂い、および動的振動疲労に対する材料強度データにおいては、依然として日本の特殊鋼材・熱処理技術・精密歯車研削加工、ならびに合成潤滑油(グリース)技術に優位性がある。特に医療・介護用途のヒューマノイドにおいては、アクチュエータの微小なバックラッシュや制御ドリフトが患者への接触事故につながるため、「10年間の精度・安全性を保証する超高信頼性コアコンポーネント」としての地位を確立し、中国メガプラットフォームへの基幹部材供給や共同開発へ踏み込むアプローチが極めて有効である。

第三に、日本の医療機器産業が保有する薬事・安全性認証ノウハウのロボティクスへの逆展開である。日本の医療機器・リハビリ機器メーカーは、極めて厳格なリスクマネジメント(ISO 14971)や生体親和性適合の知見を長年蓄積している。これらを単なる単機能医療機器に留めるのではなく、汎用ヒューマノイドや協働ロボットの基盤プラットフォームへと水平展開し、迅速なハードウェア試作体制と結合させることで、高品質・高安全性を兼ね備えた人間共存型ロボットの新たな世界基準を主導することが期待される。

引用文献

1. 具身智能机器人产业深度调研报告 - AgeClub,
<https://m.ageclub.net/article-detail/9964>
2. 盘点国内人形机器人之傅利叶智能GR1 - 中国出海半导体,
<https://china.exportsemi.com/company-post/humanoid-robot-industry-research-taking-stock-of-fourierintelligence-gr1-of-domestic-humanoid-robots/>
3. 傅利叶通用人形机器人 - Fourier,
<https://video.ffmpeg.com/%E4%BA%BA%E5%BD%A2%E6%9C%BA%E5%99%A8%E4%BA%BA%E4%B8%AD%E6%96%87%E5%8D%95%E9%A1%B5.pdf>
4. 【国信证券】人形机器人系列专题之本体: Ai技术革命, 车企转型具身,
<https://www.scribd.com/document/904296150/%E5%9B%BD%E4%BF%A1%E8%AF%81%E5%88%B8-%E4%BA%BA%E5%BD%A2%E6%9C%BA%E5%99%A8%E4%B%A%BA%E7%B3%BB%E5%88%97%E4%B8%93%E9%A2%98%E4%B9%8B%E6%9C%AC%E4%BD%93-Ai%E6%8A%80%E6%9C%AF%E9%9D%A9%E5%91%BD-%E8%BD%A6%E4%BC%81%E8%BD%AC%E5%9E%8B%E5%85%B7%E8%BA%AB%E6%99%BA%E8%83%BD>
5. 傅利叶智能Fourier Intelligence - 机器人公司 - 美股之家,
<https://www.mg21.com/fourier.html>
6. 12DoF触控仿生灵巧手、搭载可拆卸电池傅利叶GR-2重磅发布!,
<https://www.leaderobot.com/news/4672>
7. 傅利叶发布人形机器人GR-3 瞄准医疗康养与交互陪伴场景 - 亿邦动力,
<https://www.ebrun.com/20250807/590071.shtml>
8. 傅利叶人形机器人GR-3首秀: 主打交互陪伴 - 游民星空,
<https://www.gamersky.com/tech/202507/1968000.shtml>
9. 智慧康养人形机器人——银发科技的革命者及在日本超老龄化 ... - 博客园,
<https://www.cnblogs.com/tlnshuju/p/19303512>
10. 人形机器人解决方案, <https://www.changwang.cn/case?id=27>
11. 傅利叶开源人形机器人硬件本体, 更多具身智能企业选择开放 - 新浪财经,

- https://finance.sina.com.cn/jjxw/2025-04-12/doc-ineswrnz1716594.shtml?cre=tianyi&mod=pchp&loc=1&r=0&rfunc=6&tj=cxvertical_pc_hp&tr=12
12. 侵删) 人形机器人行业专题报告:旋转执行器技术全梳理,
<https://blog.csdn.net/hubingkaka22/article/details/135335932>
 13. 特斯拉等5家人形机器人企业都采取什么减速器方案?7家减速器企业,
<https://leaderobot.com/news/4893>
 14. 2025我们离人形机器人量产还有多远?一文概览各企进度(下篇一),
<https://www.163.com/dy/article/JN61EVDB0511DOC3.html>
 15. 展区亮点揭秘|四大展区引领具身智能未来, 2025张江人形机器人开发,
<https://www.leaderobot.com/activity/159>
 16. 卡点突破口!六维力传感器,带人形机器人产业链降本提质,
https://www.zkmd-sensor.com/news_details/70.html
 17. 傅利叶发布第二代人形机器人,记者戴MR设备遥控机器人抓取物体,
<https://finance.sina.com.cn/jjxw/2024-09-26/doc-incqnvuw2153003.shtml>
 18. 人形机器人厂商,正在批量复刻宇树G1-环球老虎财经,
https://cdnh5.laohucaijing.com/kjj_lh/article.html?type=2&scartype=2&newid=135412&productId=1264
 19. 新闻中心>行业快讯>人形机器人万元机时代来了,
<http://www.are-expo.com/cn/show.php?itemid=1975>