

平成16年度～平成17年度成果報告書

05000786-0-1.pdf

次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業）
ダイナミック動作研究用ヒューマノイドロボットの開発

成 果 報 告 書

平成18年3月

ロボス 株式会社

目 次

まえがき	3
1. 研究開発の成果と達成状況	4
(1) 研究開発の成果	4
① 要約（和文）	4
要約（英文）	5
② 本文	7
(2) 目的に照らした達成状況	24
2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況	35
(1) 研究発表・講演	
(2) 文献	
(3) 特許等	
(4) その他の公表（プレス発表等）	

まえがき

ロボス株式会社は研究用ヒューマノイドロボット **KOZOH** シリーズとして1型から3型を開発し、累計7台ロボットを製作し提供してきた。研究用ヒューマノイドロボットとして現存しているものは川田工業のHRP-2 Promet (154cm、54kg)、富士通のHOAP-2 (50cm、7kg)、ロボスのKOZOH (85~100cm、15~23kg) である。次世代ロボット実用化プロジェクト (プロトタイプ開発支援事業) では愛知万博展示が条件であり、大衆受けする展示効果の良いものが求められている。

展示効果の良いヒューマノイドロボットとしてKOZOH1~3型機より大型化をはかり、博覧会展示にふさわしいロボットとした。又「ダイナミック動作研究用ヒューマノイドロボット」として関節の動作速度を毎秒360度以上に設定、低減速比化とモータ容量アップの対策を施しキビキビとした動作で観客に見せようとした。

着手するに当たり次の8項目を目標として設定した。

1. 110cm以上
2. DCモータ、全ハーモニック減速機
3. モータは80W以下
4. ロボット全質量21kg
5. 電池は24v~48V (36V)
6. OpenHRP仕様
7. 体内LAN、通信速度10Mbps以上
8. 素早い動き、出来れば飛び上がることが出来る
9. 万博展示にふさわしいデザインとする

9項目のうち4、7項は過去の技術の延長線上でなく新たな技術開発を必要とした。

また大型化、スピードアップによる電源系、モータドライブ系のノイズ問題等新たな諸問題にも対応が必要で、ここでも技術開発が発生、短期開発の多いプロジェクトとなった。

開発期間中、技術的問題が多々発生し対応に時間をとられたが2005年6月の愛知万博に展示デモすることが出来た。

展示のためロボットの身長を伸ばした寸法効果とダイナミックな動作は観客に訴えるものがあつたと感じている。

1. 研究開発の成果と開発の達成状況

(1)研究開発の成果

①要約

件名：平成16年度～18年度成果報告書 次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業）「ダイナミック動作研究用ヒューマノイドロボットの開発」

ロボス(株)では、今までに研究用ヒューマノイドロボットとして「KOZOH 1型」、「KOZOH 2型」（75cm級）を製作・販売してきた。

平成15年には1m級の「KOZOH 3型」を試作し複数台販売したが、今後のロボット開発研究課題として、各関節を従来品よりパワーアップし軽量化した「KOZOH 4型」をNEDOの次世代ロボット実用化プロジェクトプロトタイプ開発支援事業で試作し、ダイナミック動作研究用ヒューマノイドロボットとしての完成を目指している。

また従来のKOZOH～KOZOH3型の制御ハードウェアはSH系（SH4、SH2）、独自OSであったが、今回のKOZOH4型ではインテル系（メインCPUはPentium-M 1.1GHz）にし、ソフトウェアのプラットフォームである「Open HRP」が動く環境を提供できるように研究開発を行う。

開発項目として、

1. 身長110cm、体重21kgのヒューマノイドロボットの製作
2. 跳ぶ、走る、起きるの動作が動力的に出来る機能を有する
3. モーターの出力化に対応して動力バッテリーの電圧を現行の24Vから36V仕様とする。また電圧変更に関連した電源基板を新開発する。
4. 現行の腕の構造を変更し、配線を内部に通す構造とする
5. 胸部用制御基板（Pentium-M化）の変更に伴い、基板構造を新設計する
6. 足首に6軸センサを取付ける
7. 足モーターの配置は回転軸に近づけて慣性モーメント、必要トルクを減少化する
8. 制御のハードウェアを現行のSH4からPentium-Mに変更する
9. 体内LANを現行のRS485からTITechWireに変更し、モータードライバを新開発する
10. OpenHRP環境化に伴い、各モーターソフトをカスタマイズする
11. 脚部フレーム、足底部品をカーボンファイバープレプリグで製作する

上記の機能を有するヒューマノイドロボットを開発、愛知万博にて各関節のダイナミック動作をデモするストレッチ体操を演じる実証試験を行った。

実証試験後はよりパフォーマンス動作が動力的に出来る機能ロボットの実用化に向けて問題点及び今後の課題を抽出し、今後の実用化に向けた機構研究及び運動制御ソフトの開発研究を行った。

Title:The next generation robot realization project(prototype development support business).The development of Humanoid Robot for dynamic movement research.
(FY2004-FY2006)Final Report

The Findings of Research and Development.

Abstract;

We developed a humanoid robot, "KOZOH4", for researching dynamic motion.

It is the robot having the movement of each joint the same as the human movement. KOZOH4 is 115cm in height, weighs 25kg. It is possible to simulate motion algorithms by using OpenHRP.

Most of people expect that robot can support the aged and disabled, and help the training instead of the instructor of the sport gym and the rehabilitation hospital and treatment. However, many important technological problems remain.

So we have produced and developed humanoid robots to act dynamic motion since 2002. One of the features of KOZH is ease of use because KOZOH is compact and light construction.

We did the development of the following.

- 1)The production of humanoid robot of the height 110cm, weight 21kg.
- 2)It has the function which can move to jumping and running.
- 3)Make the voltage of the power battery the one for 36V corresponding to output of the motor from 24V of the present. Develop the power supply circuit board which relates to the voltage change again newly.
- 4)Change the structure of the present arm, and make it the structure that we pass wiring inside.
- 5)Design the circuit board structure newly along with the change of the control circuit board (Pentium-M) for the trunk part.
- 6)Install 6 shaft sensor in the ankle.
- 7)Put it on the close place to the rotation shaft, and decrease inertia moment and the necessary torque in the arrangement position of the foot motor.
- 8)Change the hardware of the control from present SH4 to Pentium-M.
- 9)Change the inside of the body LAN from present RS485 to TITechWire, and develop motordriver newly.
- 10)Customize each motor software along with OpenHRP environment.
- 11)Make the leg department frame, the foot bottom part with CFRC (Carbon Fiber Reinforced Carbon) .

Items of development;

For operation ease, we introduce simulation software OpenHRP can be used for developing motion control algorithms.

The hardware and robot structure, including servo control system, is developed by Robots. And each joint is driven a DC motor with a Harmonic drive.

Every motor controller board in the robot has a SuperH processor(SH2).

The main control hardware of KOZOH4 (a new model) is Pentium M ETX CPU Module.

The basic simulation software and user-developed programs are designed to run on ART-Linux on main computer.

They interface to a main controller board and to the motor controller boards via TITech Wire 2.

We developed humanoid robot which had the above function, and did the actual proof examination in Aichi international exposition.

After we examined the actual proof, we extracted the problem and the future subject toward the movement realization of the function robot which the performance movement is made in from the viewpoint of power, and did the research that we turned it to the future realization.

②本文

ロボットの大型化（身長110cm以上）

1) ロボットの寸法決定各リンク長、質量、モータ出力、アクチュエータの速度、減速比の関係のそれぞれを想定して各条件設定してシミュレーション出来るシミュレーションソフトをKOZOH1～3型機で開発したので、それを使ってロボットの各要素を決め、全体の概要を導き出している。

身長110cm以上28関節の目標に対して、各部の割り振りは床から股関節まで500mm、腰関節まで160mm、胴長260mm、首から上を160mm、合計1080mm、重量物の電池は前腹部、制御部は後背部、カバーをつけて身長1150mmで検討を始めることにした。

<初期デザイン画>	<KOZOH1型>	<KOZOH3型>	<KOZOH4型>
	身長 約 90cm	身長 約 100cm	身長 約 115cm
	体重 約 16kg	体重 約 20kg	体重 約 27kg



過去のデータからリンクの寸法、質量の設定、減速機の減速比の設定、モータの選定、その結果から質量の修正、減速比の調整を全関節くり返す。

シミュレーションソフトはロボットの全軸について連動計算しているので1軸の各要素の変更が全体に影響する。モータ型式を決めるためにモータトルクについて検討し減速比、アーム、速度を勘案して全体を見ながら1軸ずつ詰めて全軸についてシミュレーションを繰り返してバランスする点を見つけ出す。

以上の初期検討（後述のモータ）により足関節リンク長200mm、腰のピッチ軸まで655mm、頭頂まで1100mmの寸法確保が出来るメドが付いた。

この簡易設計シミュレータは mathcad 上で構築しており、簡便で分りやすく結果をドキュメントとして残せることからヒューマノイドロボットだけでなく多関節アームの

初期の設計検討に有効なツールとして使用している。

2) モータの決定

初期のモータの決定に重要なファクターとしてリンク長、質量、トルク、回転数、減速比であり相互に影響し合うがトルク中心に検討を始める。構成部品も質量は出来るだけ減らし、モータ自体も質量トルク特性の良い切り詰めたものを選定する。ヒューマノイドロボットは産業機械ほど使用するモータトルクについて余裕を取れない。

モータは定格トルク以下の安全サイドを使用することを考えず、使用する軸の荷重頻度から定格トルクの1～2倍あたりをモータの回転数、トルクから決めてゆく。産業機械用モータでは定格トルクの3倍を瞬間最大トルクとしてリミッターがかかりそれ以上の電流が流さない様にするがヒューマノイドロボットではそれ以上の電流も使うことにする。

ロボットのモータは熱定格オーバーすれすれで使用するため人間の筋肉と同じように疲れる（過熱すると）と休ませる考えでKOZOHの軽量化設計をする。

荷重頻度の見積もり違いや想定外の運動させるとモータ焼損事故になるので、安全策として温度センサを装着する等の保護対策をする。このようにモータにとって危険ゾーンを使うため保護対策ほか実機テストで荷重頻度を見極め必要に応じて減速比を調整するなど現場対応を前提としたプランのうえに成り立つ手法である。

この検討段階はヒューマノイドロボットの大略を決めるものであるから質量なども出来上がったときと異なるので設計が進むたびに再計算してチェックする必要がある。

KOZOH4のモータは開発期間がないことから手持ちのDCモータドライバの技術を転用するDCモータを使用し制御の簡単化を図った。前述のように熱定格の厳しいゾーンを使うため、コイルがステータ側にあるブラシレスモータを使用しケースを外部から冷却して耐熱性を高めたいと考えていたが、これもモータドライバの開発が必要で開発期間の問題から断念した。

カタログから主モータをパワーウエイト比の良いMAXON RE-30(60w)を新しく採用、他の容量の小さなモータもパワーウエイトレシオの良いMAXON RE-maxシリーズとした。

モータ容量80W以下としたのは労働安全衛生法、産業ロボットの規定で「80W以上のロボットは柵で囲わなければならない」を避け安全性に配慮したためである。

3) 減速機・質量軽減策と構造

主減速機をハーモニック減速機、減速比調整機構としてモータと減速機の間タイミングギヤとタイミングベルトを介して動力伝達する方式を取った。タイミングギヤ、ベルト費用がかさむが、研究用途に応じ減速比を調節できる便利さやモータ及びモ-

タドライブ発熱に対応できるので便利さ優先で採用している。タイミングベルトの伸びの問題は厳密な位置決め精度をヒューマノイドロボットは要求されないので、ハーモニック減速機の前段に置くことによって、伸びの影響を少なくしている。又この部分にギアを使用するのは騒音を発生させるので適当でない。

主減速機にハーモニック減速機を使用したのは1/50以上の減速比で他の減速方式よりも軽くバックラッシュがない事に加え減速機のエレメントだけ購入できるので、軸をコンパクトにする自由度が大きいためロボット設計に多用している。

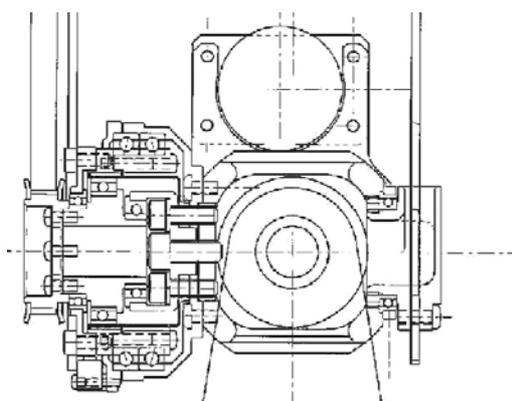
各軸の総減速比は各リンクの角速度を勘案して設計時1/80~1/120の範囲であったが後日全体の質量の見込み違いから一部変更している。

ハーモニック減速機の選定も枠番が1枠上がると数百gのオーダで質量が上がるのでここでもモータ同様限界設計をしている。目安としてハーモニック減速機の瞬間許容最大トルクがモータの起動トルク×総減速比（トルク）以下としている。

ハーモニック減速機はロボット用に開発された薄型シリーズもあるがここではサポートベアリングを含めた質量重視で考える。型番当たり容量の大きいCSFコンポネントタイプを採用、ケースはアルミ合金7075を使用して、無駄肉を省いた削り出し構造を採用している。又コンポネントタイプ減速機の入出力軸を支える軸受け（ベアリング）もアキシヤル荷重を受け持つアンギュラコンタクトベアリングの薄型構造のサイズの種類が少なくしかも輸入品で高価であるため、KOZOHでは薄型深溝ボールベアリングを組み合わせて追加工したものを使用、ロボットの軸の部位に合わせてハーモニック減速機とベアリングの配置を換えて軽量化とコンパクト化の両立を図っている。

ハーモニック減速機収容するケースと各軸の構造は加工工数の多い複雑部品で加工費用がかさむが質量を少なくすることを優先している。量産する場合はこの部分を鍛造あるいは鋳造に置き換え加工費用を少なくすること目論んでいる。KOZOHシリーズが比較的軽量に出来ているのはハーモニック減速機を構成する機器構造の軽量設計が功を奏していると考えられる。

<図：ハーモニック取付図>



KOZOH 3型までは足関節と足関節の接続材（フレーム）をアルミ合金の削り出しを採

用してきた。近年複雑な加工を引き受ける加工先が減ってきたのでその部分を平板構造（カーボンプレート採用）とし加工を簡略化する構造をとり簡易構造化とコストダウンを計っている。

<写真：ロボット構造／下半身部及び腕部組立>



4) ロボットの全質量21kg以下

KOZOH3型機が20kgの実績であることから21kg～23kgと設定して設計した。

完成重量は27kgである。

内訳は実測値：本体22.8kg、外装カバー4.4kg

誤算は1) 外装カバーをGFRPで製作したことによる。時間と予算不足でGFRP成型とし手成型したため不均一な肉厚となり予想より2kg増になった。

成型方法を光造形法にすれば肉厚の均一化と薄肉によって2kg～2.5kg程度（塗装済み）で仕上がり目標質量通りとなる。

2) 電装系の補機で0.4kg増、3) 機構部が1kg増、4) 電池質量0.6kg増の質量オーバなどが挙げられる。

質量オーバの影響は余裕のないモータに出て、股関節のロール、足首のロールモータがトルク不足になった。設計時に歩行にはピークトルクが長時間かかない想定で安全率を少なくして質量軽減をはかったが初期の調整段階で静歩行の機会が多くモータ発熱し焼損手前の状態になった。

対策として減速比を当初設計1/160にしたが、さらに1/200にして減速を多くしてスピードを犠牲にした。

また質量オーバ、モータ減速比を大きくしたことで当初の目的である「飛び上がること」は難しくなってきた。

5) 電源の問題

ヒューマノイドロボット全質量21kgで設計したときはリチウムイオン電池を想定、質量を全電池合わせて3kgで見積もった。

しかし購入時期にはリチウムイオン電池は入手難で使用条件も難しく火災等安全性に問題があったので、ニッケル水素電池に変更した。

動力用電池と制御用電池は過去の経験から分けることにした。

動力電源電圧設定に当たっては電流、電圧について保有する技術で比較、想定した電圧（24～48V）の中間値36Vとした。

<表-1>

電源電圧	電池重量	モータ起動電流	備考
24V	2.4kg(1.2V×20本×2) CPU=2.4kg 合計 4.8kg	39.3A	電流多い モータードライバへの影響未知 人体の24V接触は安全性が確認されている
36V (CPU 24V)	1.8kg(1.2V×30本×1) CPU=2.4kg 合計 4.2kg	23.5A	36V DC/DC コンバータがない CPU 電源 24V
48V	2.4kg(1.2V×40本×1) CPU=2.4kg 合計 4.8kg	19.0A	モータードライバ耐圧・逆起電圧等の余裕がなくなる 人体の電源系との接触で危険か

制御電源は市販のDC/DCコンバータ一次側電圧で36V仕様がないため24Vとした。

電池は動力用 18直径×60長さ×30本

制御用 18直径×60長さ×20本×2並列

後日のテストで動力用電源が20分の持続時間（安定動作時間）しかないため動力用、制御用電池とも2並列で使用するのが望ましい。その結果1,8kgの質量増になるので万博展示デモでは増設なしで行った。

6) OpenHRP仕様

KOZOH3型機までは小型、少電力志向であったがKOZOH4となって大型化したため質量、寸法に余裕が出てインテル系CPUが搭載可能となった。

OpenHRPはART-Linux上で動作するのでART-Linuxの動くインテル系CPUボードをメインコントローラとして使用する。

小型コンパクトでLAN、USB2が必要であったためその条件を満たす拡張性の良いETXボードを採用し、CPUはPentium-M搭載品、後述のTITechWire用拡張ボードを接続する構成とした。

CPU能力として運動制御にPentiumで600MHz、音声処理処理に600MHz必要としたためPentium-M 1.1GHzを採用した。

消費電力18Wで電池も大容量のものが要求され質量増につながるが、研究分野で使用されるためPCとコンパチとし使い勝手の良い方を選択した。

ETXボードは95×114mmの薄型CPUボードで、主なスペックを下記に示す。

PentiumM-ETXボードにART-Linuxをインストールするときbootloaderを認識しなくなりトラブルに見舞われたが新しいタイプに入れ替え何とか解決に

持ち込んだ。

また OpenHRP 本体はゼネラルロボティクス社に KOZOH 用カスタマイズしたものを使用し、一部実装ソフトの変更、パラメータの設定を実機現物合わせで行った。

< E T X の仕様 >

- Highly integrated, PC-compatible embedded modules based on advanced X86 CPUs (95 x 114 mm)
- Memory : 1G byte DDR-SO-DIMM, PC2100 (ECC supported)
- CPU : Intel Pentium-M Processor with up to 1.6GHz
- Video : Intel Extreme Graphics2 integrated max. resolution 2048*1536
- 4*USB2.0 channels (full speed)
- Consumes 18Watts at 1.1GHz, speed and performance compares to a 2GHz Pentium4
- Software support Microsoft Windows XP /XP Embedded Microsoft Windows 2000 and CE.NET Linux, as well as VxWorks.

7) TITechWire の導入

KOZOH 1 ~ 3 型までの体内 LAN は通信速度 1 Mbps の RS485 を使用していた。通信速度と通信 LSI のバッファメモリが少なかったのに不満を感じていた。新しい KOZOH 4 の体内 LAN システムは通進速度 10 Mbps、送受信側にそれぞれ共有メモリを持たせた余裕のある通信システムを採用したいと考えていた。

東工大はロボット向けにその目的を満たす TITechWire 1 システムを完成していたので、TITech Wire の通信能力を上げた ETX ボードに合う拡張ボード開発を大学に打診した所、通信速度を 50 Mbps に速めた TITechWire 2 を開発し NEDO のプロトタイプロボット展に協力することで快諾していただいた。

開発項目は 1) ETX 拡張 TITechWire ボード、2) SH2 TITechWire モータドライブボードの 2 種類である。

市販の ETX ボード本体は上記のように 114 × 95 mm で厚みも極力抑えたコンパクトなボードシリーズで Pentium 3、Pentium - M、Celeron - M などの CPU ボードがコネクタ互換で選択できる。将来計算速度の速いもの、省エネルギーを要求されるものなどニーズが変化したときに対応してボードを交換できるので応用範囲が広く安心出来る。

ボードには PCI Bus、ISA Bus、オーディオ、シリアル通信、USB、VGA、LCD、IDE、Ethernet 等の信号が ETX 規格の 4 個のコンパクトなコネクタにまとめられている。類似のコネクタ互換ボードで PC104 規格も検討したが引き出すハーネスで体積が大きくなりコンパクトにならない。また引き出した配線が煩雑になりメンテナンス時などを考

慮するとロボットの実装に不向きと感じていた。

PC104 の CPU は ETX ボードのそれに比べ 1 世代前のもので選択当時 Pentium-M が搭載されたボードはなかった。

1. ETX 拡張 TITechWire ボード

寸法 114 × 130 mm の小型基板で ETX ボードにコネクタで接続して使用する。拡張ボードは PCI バスに接続する PCI バスブリッジと TITecWire 通信部 6 ポートの回路を FPGA 1 個にまとめて小型化を図り、その他 USB, VGA、オーディオなどロボットに必要な端子をそれぞれ引き出しコネクタで接続可能にした構成である。

2. SH2 TITechWire モータドライブボード

ロボス社で従来から使用している SH2 モータドライブボードに TITechWire 通信機能をつけ、パワー段の FET を耐圧 100V、電流 4.8 A 仕様に変更してモータの容量アップに対応したものである。

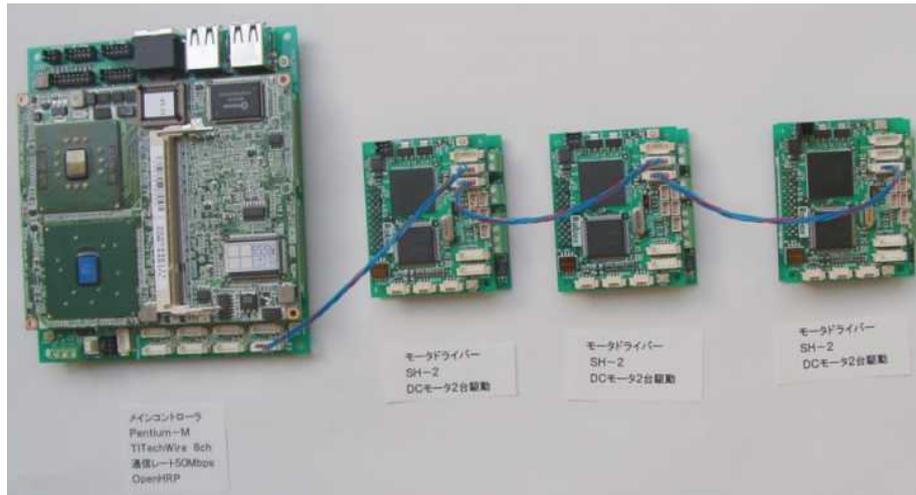
基板寸法 60 × 52、CPU 部とパワー部に分け 2 段重ねにしてノイズ対策と小型化を計った。また CPU 基板は同じで下段のパワーを変えることで DC モータ専用 FET ユニットなどを使用することで容量の異なるモータドライブボードができる。このドライブボードは 1 ユニットで 2 モータをドライブ可能で片腕に 3 個、胴に 5 個、腰に足用 4 個、計 15 個を背面側に取り付けている。

DC モータ 2 台の制御にルネサス SH2 を使用するのは CPU 能力上オーバスペックであるが将来 AC サーボに変更できるよう配慮した結果である。

パワー段（下基板）60 × 52 mm 基板に D パック 40 A 級の FET 8 個並べて 40 A 流すのは動力電源系パターン及びコネクタに容量不足で無理があったが実使用域が起動トルクの 20 ~ 40 % であることからその容量を満足させてそれ以上電流は基板の発熱問題を犠牲にして小型化を優先した。

3. RT-Linux の TITechWire 用デバイスドライバをロボスで新たに開発し通信のリアルタイム性を向上させた。

2004 年 12 月完成予定で進めたが完成は種々の要因で愛知万博 1 ヶ月前 5 月連休までずれ込んだ。



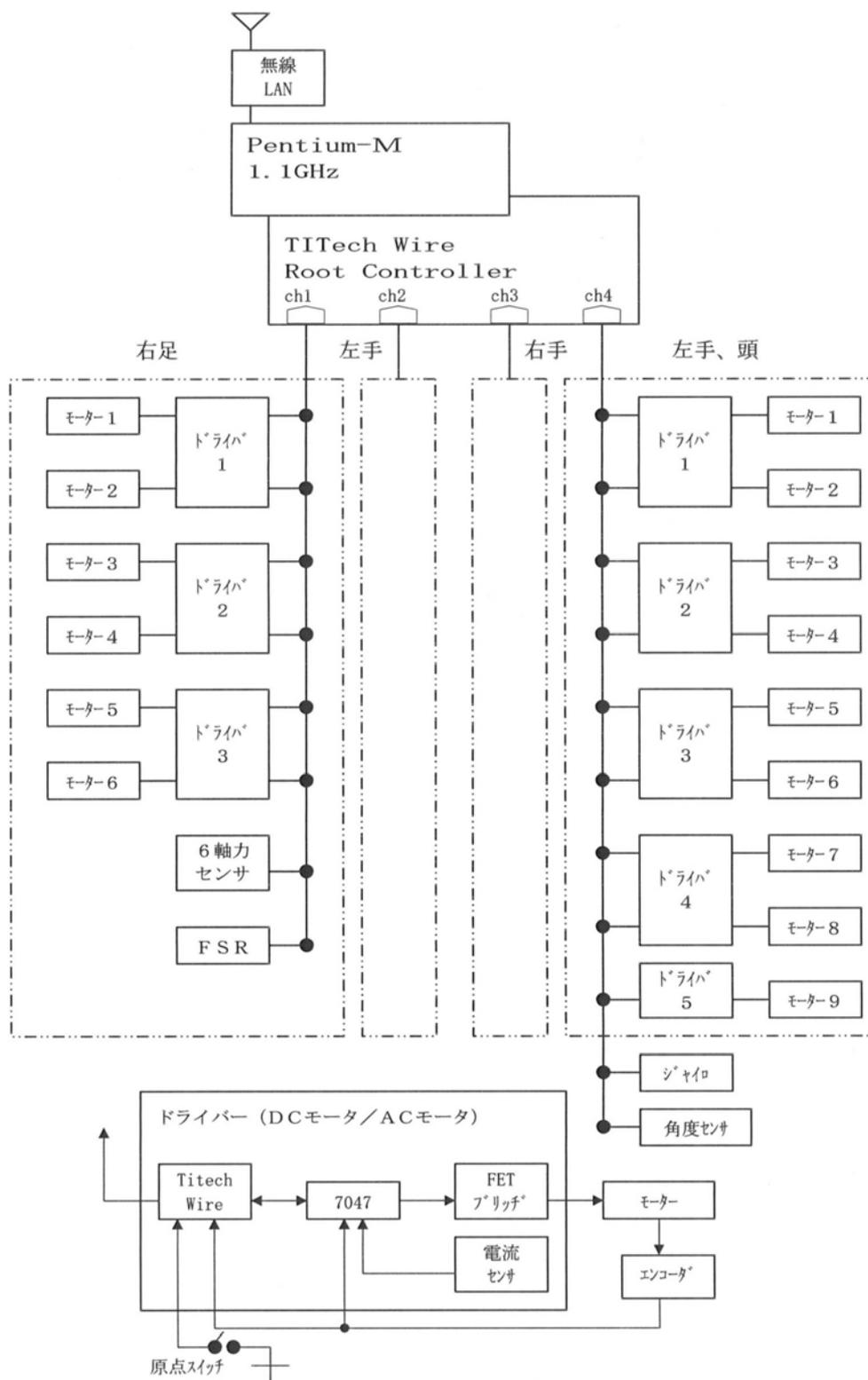
<基板写真：メインコントローラ（Pentium-M、TITechWire 8ch）、モータドライバ（DCモータ2台駆動）>

ロボット全体仕様

身長	1 1 5 0 mm
体幅	4 2 0 mm
身体の厚み	2 0 0 mm
体重	2 7 k g
関節 合計 2 8 自由度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 6 自由度／脚× 2 本（DCモータ＋ハーモニック減速機） ・ 2 自由度／胴部（DCモータ＋ハーモニック減速機） ・ 5 自由度／腕× 2 本（DCモータ＋ハーモニック減速機） ・ 1 自由度／手× 2 本（DCモータ＋歯車減速機） ・ 2 自由度／頭部× 1（DCモータ＋ハーモニック減速機）
制御	<ul style="list-style-type: none"> ・ 制御CPU：Pentium-M 1.1GHz ・ 体内通信方式：TITechWire ・ ソフトウェア：Linux、ART Linux
センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 関節角センサ：磁気式2相インクリメンタルエンコーダ（インデックス付、モータ軸で512P/rev） ・ 3軸加速度センサ（胸部）× 1 測定範囲±2G ・ 3軸角加速度センサ（胸部）× 1 測定範囲±90° ・ 足首用6軸力覚センサ× 1／足 ・ 足底感圧センサ4ch／足（FSR） ・ N T S Cカラーカメラ× 2 ・ 原点センサ マイクロスイッチ× 2 8

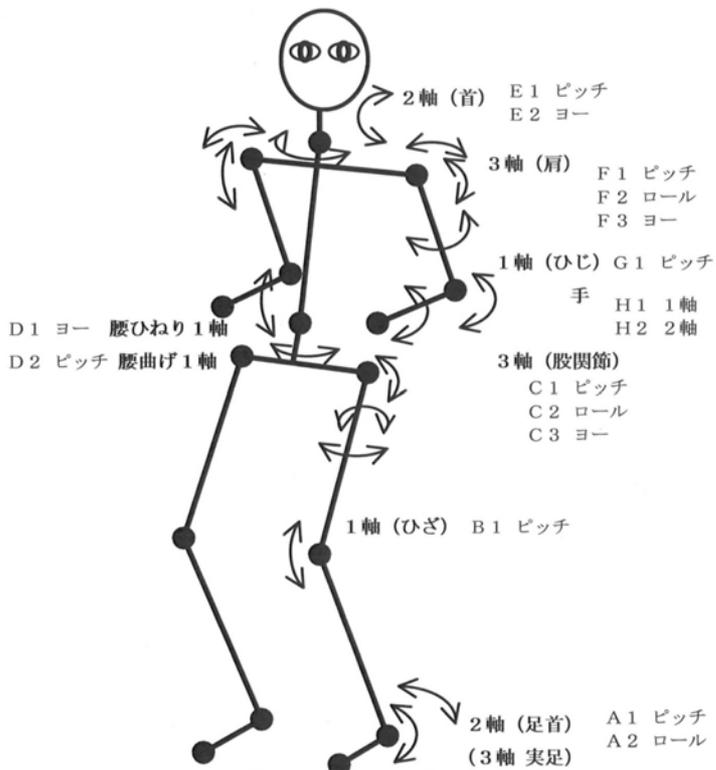
電源系	<ul style="list-style-type: none"> • 動力系 2.4V 3Ah ニッケル水素電池×2 (並列使用) • 制御系 2.4V 3Ah ニッケル水素電池×2 (並列使用) • ロボット稼動時間：30分 • 充電器×各1 • 外部電源供給コネクタ、ケーブル2m×1本
TITechWire (ETX インターフェース) 基板	<ul style="list-style-type: none"> • 基板寸法：114×130mm ETX 基板寸法：114×96mm • 電源仕様：DC1.2V、DC5V • 外部インターフェース： <ul style="list-style-type: none"> TITechWire 端子×6ch RS232C×2ch Ethernet×1ch USB2.0×4ch VGA×1ch 音声出力×1ch • 記憶媒体：1.8inch HDD 又はコンパクトフラッシュ
モーターコントロール基板	<ul style="list-style-type: none"> • 基板寸法：60×48mm • 使用CPU：Renesas Technology 7047F • 電源仕様：DC5V • 外部インターフェース <ul style="list-style-type: none"> プログラム書込用端子×1ch TITechWire×1ch RS232C×1ch CAN×1ch RS485×2ch A/D コンバータ×6ch

OpenHRP 用「KOZO4」制御方式



<KOZOH 関節一覧>

関節	自由度
首	2 × 1
肩	3 × 2
ひじ	1 × 2
手	2 × 2
股関節	3 × 2
ひざ	1 × 2
足首	2 × 2
腰ひねり	1 × 1
腰曲げ	1 × 1
合計	28



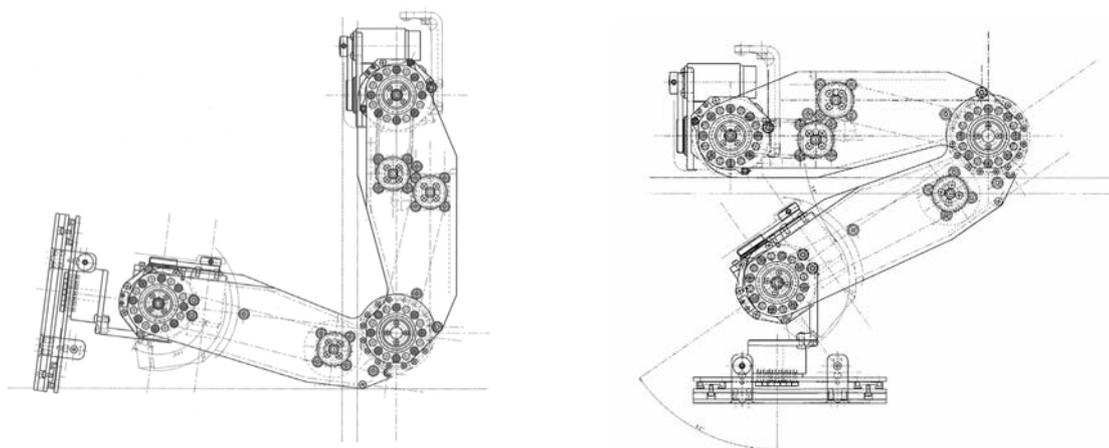
<関節動作角及び減速比一覧>

No.	関節名称	JOINT	関節の動作角	中間減速比	総減速比	無負荷回転数 rps (×0.63)
1	右股関節ヨー軸	RLEG-JOINT0[0]	内 45° 外 55°	24:40:00	1/133.33	144 (90)
2	右股関節ロール軸	RLEG-JOINT1[1]	内 55° 外 15°	25:40:00	1/128	144 (90)
3	右股関節ピッチ軸	RLEG-JOINT2[2]	前 125°後 65°	1:01	1/80	141 (88.8)
4	右膝ピッチ軸	RLEG-JOINT3[3]	前 120° 後 3°	1:01	1/80	141 (88.8)
5	右足首ピッチ軸	RLEG-JOINT4[4]	前 85° 後 65°	1:01	1/80	141 (88.8)
6	右足首ロール軸	RLEG-JOINT5[5]	前 55° 後 22°	25:35:00	1/112	144 (90)
7	左股関節ヨー軸	LLEG-JOINT0[6]	内 45° 外 55°	24:40:00	1/133.33	144 (90)
8	左股関節ロール軸	LLEG-JOINT1[7]	内 55° 外 15°	25:40:00	1/128	144 (90)
9	左股関節ピッチ軸	LLEG-JOINT2[8]	前 125°後 65°	1:01	1/80	141 (88.8)
10	左膝ピッチ軸	LLEG-JOINT3[9]	前 120° 後 3°	1:01	1/80	141 (88.8)
11	左足首ピッチ軸	LLEG-JOINT4[10]	前 85° 後 65°	1:01	1/80	141 (88.8)
12	左足首ロール軸	LLEG-JOINT5[11]	前 55° 後 22°	25:35:00	1/112	144 (90)
13	胴ヨー軸	CHEST-JOINT0[12]	左 45° 右 45°	25:40:00	1/128	144 (90)

14	胴ピッチ軸	CHEST-JOINT1[13]	0→前 75°	24:40:00	1/133.33	144 (90)
15	首ヨー軸	HEAD-JOINT0[14]	右 45° 左 45°	1:01	1/100	168.3(106)
16	首ピッチ軸	HEAD-JOINT1[15]	前 70° 後 70°	1:01	1/100	152 (95.7)
17	右肩ピッチ軸	RARM-JOINT0[16]	前 180°後 90°	1:02	1/120	141 (88.8)
18	右肩ロール軸	RARM-JOINT1[17]	内 20°外 180°	01:01.4	1/136	144 (90)
19	右上腕ヨー軸	RARM-JOINT2[18]	右 90° 左 90°	01:01.5	1/150	152 (95.7)
20	右肘ピッチ軸	RARM-JOINT3[19]	120°	01:01.4	1/136	144 (90)
21	右手首ヨー軸	RARM-JOINT4[20]	右 90° 左 90°	1:01	1/100	168.3(106)
22	右手首ピッチ軸	RARM-JOINT5[21]	右 90° 左 90°	01:01.2	1/120	168.3(106)
23	—	RARM-JOINT6[22]	—	—	—	—
24	左肩ピッチ軸	LARM-JOINT0[23]	前 180°後 90°	1:02	1/120	141 (88.8)
25	左肩ロール軸	LARM-JOINT1[24]	内 20°外 187°	01:01.4	1/136	144 (90)
26	左上腕ヨー軸	LARM-JOINT2[25]	右 90° 左 90°	01:01.5	1/150	152 (95.7)
27	左肘ピッチ軸	LARM-JOINT3[26]	120°	01:01.4	1/136	144 (90)
28	左手首ヨー軸	LARM-JOINT4[27]	右 90° 左 90°	1:01	1/100	168.3(106)
29	左手首ピッチ軸	LARM-JOINT5[28]	右 90° 左 90°	01:01.2	1/120	168.3(106)
30	—	LARM-JOINT6[29]	—	—	—	—

<KOZOH 脚曲げ時干渉検討図>

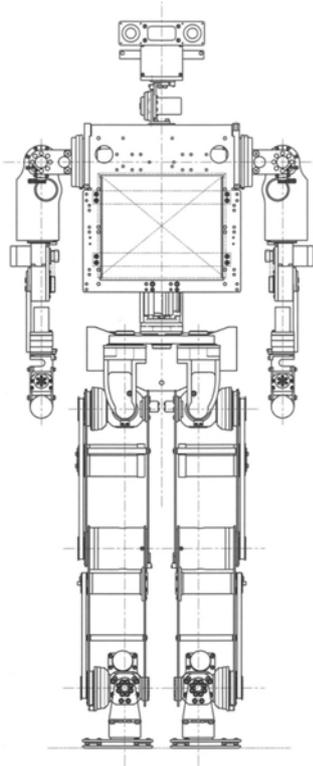
- ・脚フレームの設計及び干渉について検討



- ・検討点：膝・足先の剛性及び設置面の耐性
膝曲げによる脚フレーム（上肢・下肢）の各干渉及び形状の検討

<KOZOH全体図／ハード部>

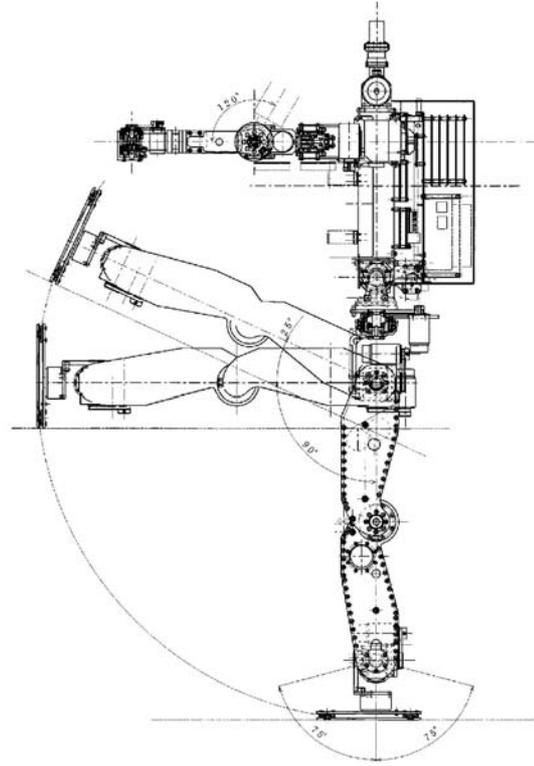
- ・全体組付による干渉部検討



<KOZOH 関節動作角検討図>

- ・関節動作角による干渉の検討

検討点：脚振り上げ時の腰部への干渉
各ストッパー位置検討



8) 万博展示にふさわしいデザイン

ロボット本体の試行錯誤、納期遅れ等により3次元図面化しても変更が多く図面が変更の後追いとなり3次元図を使って総合的にデザインを進める環境が出来なかった。

NEDOのプロタイプロボット展ロボットではロボットデザインの実績を持つ西山デザインと接触があったのでKOZOHのデザインを依頼することにした。

イメージスケッチ着手は2005年1月である。デザイン決定、外装の造形を始めたのが2月、デザイナーには悪いが十分な時間をとれずバタバタで作業を進めることになった。

デザイナーの提案は万博と言うお祭りに参加するのだから奇抜なデザインで進めたいとの事であった。又子供の来場者が多いので子供受けのするものが良いとの提案もありイメージスケッチが提示された。子供向けのデザインは知らないところで他社の意匠に抵触する恐れがあり、体操のインストラクターという当初の設定とかけ離れてしまうので採用を見送った。

ロボス社としては提示されたイメージスケッチのなかで一番奇抜な未来志向型デザインを採用、具体的にモデリングすることになり作業が始まった。

外装はGFRPで手成型、一次モデルでまず本体メカ電装品の寸法関係をチェックして二次モデルを成型した。二次モデルでは寸法関係のチェックのほかに質量もチェック、一次試作品が出来た時には6kgであったが本作では無駄肉を削り4.4kgまで減量することができた。

当時ロボット本体は配線作業中で体内に納まる基板、配線の外寸が定まらない状態であった。

3次元図面がデザインに使えなかった不便と本体が配線作業中であったのでカバーデザインは余裕のある寸法関係、ゆったりサイズになってしまった。

イメージスケッチと完成品デザインを次に示す。

<KOZOH イメージスケッチ>



<完成品>



<成果発表>

2005年6月9日～6月19日に開催された愛・地球博 NEDO「プロトタイプロボット展」にて、ロボットステージ上で動作パフォーマンスを披露。

ステージパフォーマンスは、当初予定ではダイナミック動作である体操インストラクターの手伝いロボットとして、スクワット、飛び上がり、腰下ろし等のストレッチ体操を予定していたが、当初の計画よりロボット製作、デモ動作プログラムの製作が遅れてしまったため、ロボット展では人間と同じ関節の動作角を持つヒューマノイドロボットであり、手首、肘、肩、首関節のよく動く関節を駆使したダイナミックな動作を研究するために作られたロボットとして紹介し、動作パフォーマンスは子供からお年寄りの方まで無理なく行えるストレッチ体操（肩回し、腕振り上げ、肘回し、首振り等の動作）を披露した。



<写真：プロトタイプロボット展パフォーマンス>

・ロボットパフォーマンス動作内容

1. 腕振り
2. 手首を上下に振る
3. 腕の突き出し（肘を引き腕を伸ばす）
4. 腕を大きく回す
5. 足の屈伸と腕上げ
6. 首を回す
7. 深呼吸動作
8. ファイティングポーズ
9. MCに頷き、手を振って挨拶

展示効果をねらって身長を大きくした（115cm）結果は目論み通りで、前席の子供

の多くはロボットに合わせて体操、MC の呼びかけに応じるなどロボット動作と一体になって感情移入しているのが見られた。

ダイナミック動作では他の緩慢な動作のヒューマノイドロボット達に比べ、キビキビとした動き、手の素早い動きも、寸法効果と合わせて観客の心を打ったものと考えられる。

<プロトタイプロボット展パフォーマンスシナリオ>

Time	Demo Stage	Scenario
-05'00"	ロボットスタンバイ	
-01'00"	MC 影ナレ告知	MC : ご来場の皆様に申し上げます。まもなくこちらステージではヒューマノイドロボット「小僧4」によるデモンストレーションが始まります。どうぞ皆様ステージ前にお集まり下さい。
00'00"	オープニング MC 登場	MC みなさんこんにちは。 これからご覧いただくのは、ヒューマノイドロボット「小僧4」によるデモンストレーションです。まずは小僧4に登場してもらいましょう。 小僧4、どうぞこちらへ！ <小僧が係に連れられて登場。MC の紹介に応じて両手を振ったりして挨拶のモーションを行う> さて、小僧4は人間と同じ関節の動作角を持つヒューマノイドロボットです。ご覧のように良く動く関節を駆使したダイナミックな動作を研究するために作られました。 今日は子供からお年寄りの方まで無理なく行えるストレッチ体操を紹介してくれるそうですね。
00'40"	KOZOH おじぎで MC に応える	ストレッチ体操には、肩こりや手足のたるさ、腰痛などの痛みを緩和したり予防したりする効果があります。 皆さんが運動を行う前にはまず身体を暖めてから行うようにして下さいね。 入浴後が特に効果的なので、毎晩お風呂に入った後に少しずつ運動してみてください。 さあ、それではちょっと準備運動などしてみましようか。
01'00"~ 01'40"	ロボットの動き： 挨拶と腕振りなどの動き	おや、小僧4は準備運動にしてはかなり激しい動きかたですね。 はりきってますね。
02'05"~ 02'20"	ロボットの動き： 手首を上下に振る。 インターバル約 15 秒	さあ、それではまずは軽く手首を振ってみましょう。 最初は筋肉が運動を行いやすいように、このように手首を軽く回したりぶらぶらさせて筋肉を暖めるようにしておきましょう。 はい、いい感じにできましたね。
02'40"~ 03'05"	ロボットの動き： 腕の突き出し運動（肘を引き、腕を伸ばす） インターバル約 15 秒	次は、腕を動かしてみよう。 この運動を行う時にはゆっくりと呼吸をしながら腕をしっかり前方に伸ばして下さい。 呼吸は運動で筋肉を伸ばすときにゆっくりと吐くことを基本に行ってくださいね。 この体操は、手・腕・肩の筋肉を柔らかくして、各関節の柔軟性を高める効果があります。また、首から腕にかけての血行を良くして、呼吸の調整も行うことができますから、肩こりにお悩みの方は小僧4と同じ運動をしてみてくださいね。

03'20" ～ 04'00"	ロボットの動き： 腕を回す運動（腕を大きく回す） インターバル約 15 秒	続いての体操は、大きく腕を回してみましよう。 この運動は肩の関節を柔らかくするので、肩こりや首のスジの疲れをとることができます。 特に仕事でオーバーワークが続いたり、通勤などで長い時間立ちつづけたりと無理な姿勢をとっていると、身体の筋肉の収縮が日ごろとは違うために肩こりや腰痛などを引き起こしたりします。 そういう疲れや痛みを取り除くためにはこういう肩を回す体操で硬くなった筋肉をほぐしてやると血行がよくなり疲れが取れますのでぜひ試してみてくださいね。
04'15" ～ 04'35"	ロボットの動き： 足の屈伸と腕上げ運動 インターバル約 15 秒	今度は、足の屈伸と腕上げの運動ですね。 ちょっと中腰の体勢になる足の屈伸運動を行うのは大変ですが、普段の生活ではなかなか使わない筋肉を鍛えて太ももを引き締めるのに効果があります。 腕上げの運動は、大きく腹式呼吸をしながら行って下さいね。これで背骨が伸びて良い姿勢になれます。
04'50" ～ 05'00"	ロボットの動き： 首を回す インターバル約 15 秒	あ、次は首の運動ですね。 この運動は首の筋肉を伸ばして血行を良くします。首筋を伸ばして肩の力を抜いて行って下さいね。 首を曲げるときは、首の筋肉を引っ張るような感じで曲げて見てください。
05'15" ～ 05'35"	ロボットの動き： 腕を大きく回して深呼吸動作	さあ、身体もほぐれて温かくなってきましたね。 最後に大きく深呼吸してみましよう。 全身をリラックスさせるように、ゆっくりと深呼吸しながら腕を回します。 ゆっくりと呼吸を整えるように行って下さい。 はい、お疲れさまでした。
05'40" ～ 06'00"	ロボットの動き： ファイティングポーズでボクシングを行う	あ、小僧4、まだまだやる気いっぱいですね。 でもそろそろ終わってくださいね。
06'00" ～ 09'00"	ロボットの動き： MCに領いたり、手を振って挨拶したりする。	小僧4、ありがとうございました。
09'00"	ロボットの動き MCに領いたりする	さあ、皆さんいかがでしたでしょうか、小僧4による体操のデモンストレーションでした。 2020年の未来にはこの小僧4があなたの隣で家事やお使いなど、様々な生活のお手伝いをしてくれているかもしれません。 皆さん、本日はありがとうございました。 次回のステージは**時**分からとなっております。 それではまたお会いしましょう。 さようなら。 <MC、小僧はけていく>
10'00"	インターバル	撤退

(2)目的に照らした達成状況

KOZOH 4は介護、福祉、健康維持などの応用分野の実用化研究ツールとしてターゲットを設定している。将来その分野で先ず実用化できるのは取り扱い面も考慮すると身長120cmから130cmであろう。

KOZOH 4は120～130cmには至らなかったがカバー付きで115cmを確保できた。研究用ヒューマノイドとして60cmクラスのもの普及しているが実用研究の観点からは背が低く有効性に疑問を感じている。

愛知万博での数少ないデモで観客の関心をひいたのは寸法効果とキビキビとした動きによるものと考えられる。その意味では当初の目的は達成されたとみて良い。稼動後の問題点を次にまとめる。

<KOZOH 4 稼動後の問題点>

1	脚部ロールモータ	容量不足による破損	減速比のみでは対応できないと思われる
		短時間歩行による発熱	RE30は必修?
2	腰部ピッチモータ	長時間の前かがみ動作による発熱	減速比で対応可能と思われる
3	腕ピッチ	暴走時, DC/DC コンバータとの干渉	メカ設計で対応?
		DC/DC コンバータ破損の可能性有	
4	脚剛性 UP	剛性 UP による足首/股関節ステー, 腰プレートのよれ懸念	メカ設計で対応?
5	股関節ステー	股関節ステーとハーモニック干渉	メカ設計で対応?
		現状はヤスリで削って対応	
6	制御系バッテリー	20分程度でなくなる(容量不足)	容量 UP?
		万博程度の動作では駆動バッテリーの半分以下しかもたない	
		画像/音声ボード, 無線 LAN 等を付けると現状の半分程度になるとと思われる	
7	+5V 電源ライン	実機に影響があるかは未定だが 2Vpp 程度のノイズが乗っている	グラウンドの引き回し方法等で幾らか変わる
		KOZOH3よりは少ないと思われる	今後の課題
8	股関節ヨーモータ	容量は足りると思うが詳細な評価は今後	今後の課題
9	各モータ	PID ゲインの最適値をチェック	今後の課題
		現状では P 項のみで行っている	
10	各モータ	マクソンモータの端子は非常に破損しやすい	モータ取付ステーに端子台を付ける?

身長を KOZOH 3 の 90cm クラスから KOZOH 4 の 115cm にしたが、大型化によ

る技術的問題、そのほかに特許問題、コストの問題が表面化した。ヒューマノイドロボットが産業へ発展するにはさまざまな問題をクリアしなければならないが今回その一端をかいま見たといえる。

実用化に向かって今後はコストダウンが大きな課題となろう。

またプロトタイプロボット展でのパフォーマンス後に判明したロボットのハードに関する問題を今後の課題として下記に挙げる。

<課題と対策>

- ・ 股関節部、ヨー軸のベアリング強化
→対策：現行のベアリングよりもう1サイズ大きいものに設変して構造を強化する
- ・ 足首のハーモニック減速機を強化
→対策：現行のハーモニック減速機CSF11型を14型へ変更し構造を強化する
- ・ 足首部・股関節部のプーリーを変更し、現行より減速比を上げる
→対策：プーリーを現行より小さいものに設変し（1/80→1/109 辺り）減速比を上げる
- ・ 脚側面板の板厚を変更し剛性を強化
→対策：カーボンプレート厚を現行のt2からt3へ変更し、加工工数・組立工数の上がる多数ビスを廃止する
- ・ メンテナンスの容易化のため脚部と腰部を分離可能な構造とする
→対策：剛性を上げるためサイズの大きなネジで接合する構造に設変
- ・ カバーデザイン性向上
→対策：配線・取付部材の配置を考慮したカバー取付用ネジを取付け、着脱容易なカバーとする
- ・ メンテナンスの容易化
→対策：脚のドライブ基板前側からメンテナンス出来るように配置を再検討する
- ・ 各部位の分離化
→対策：脚部・手部・頭部を容易に分離できる構造とし、各部位ごとの研究、販売を容易化する

「1」 技術的問題

身長115cm化問題

身長を90cmから115cmに伸ばしたことで動力系に次の変更が必要になった。

モータ容量を60Wクラスに、ハーモニック減速機の容量をCSF14～17に、モータドライバの容量50V20Aを100V45Aにした。このサイズアップがどのような影響を与えたかを見てみる。

60Wモータ、ハーモニック減速機

当初設計21～23kgでは何とか飛び上がる状態であったが出来上がり質量27kgでは難しくなった。ハーモニック減速機CSF14は60Wモータで耐荷重限界のところを使用、しかも鉄の部分を限界まで削りとった特注品である。

出来上がったKOZOH4からトータルで3kgの減量は可能性あるが目標値5kgの減量は難しい。

100Wクラスにするとさらに1枠上げて17型にしなければならない。質量が1軸当たり400g増加するので目標の「飛び上がる」ことが出来るか疑問である。

次のスケールアップは1枠上げたCSF17の耐荷重限界のモータ容量となろう。この場合もバッテリー質量容量の良いところとリンク長を見つけ出さなければならないし「跳ぶ」と言う目標は望めないかも知れない。さらにパワーウエイトレシオの良いモータ及び減速機の出現を期待している。

モータを80W以下にすることは得策でないかも知れない。

脚の剛性問題

軽量化設計するためモータ及び減速機を耐荷重の上限ボーダラインで使用し、さらに構成部品の質量を切りつめる必要がある。各軸の減速機のケースおよびフレームは限界まで軽減し目標質量に近づけようとした。

軽量化と部品加工の簡素化をするため関節間フレームを板厚2mmのCFRP平板にして設計製作したが、箱型構造から外れる脚部フレーム端部の剛性不足が発生した。端部でのたわみがOpenHRPのZMP計算にのらなかった。剛性向上策として板厚を3mmに変更してたわみを少なくして剛性問題を解決したが、平板構造にしたため「剛性は犠牲にしたが対策は容易」である。今回初めてCFRPを使用したのがアルミニウムに比べ2/3の比重であるため肉厚を2mmから3mmにしてもアルミの2mm相当である。従来のアルミ削りだし品は肉厚1.5mmでL字構造であるため剛性も保たれるため結果として質量増になった。

CFRPにしたもう一つの問題点は、関節間フレームを発熱の激しいモータなどのヒートシンクやボディアースとして有効活用出来ない。ロボットはモータ、モータドライバの冷却は必須であるためコストアップしてもAL板材の肉抜き加工して使用する方が良いと考えている。

ロボットは総合技術の集積であるので軽量化にだけに着目すると他で破綻する良い例である。

配線問題

24V動力電源、24V制御用電源の2電源システムで制御用電源は24Vから5V、

12VをDC/DCコンバータで作っている。115cm級のロボットといえどもハーネスの総質量は1kgを超えるので可能な限り細くしたい。当初1～2番手下のものを使用したけど末端で電圧降下が大きく配線をやり直した。次表はその電圧降下と対策を示す。

<実機におけるサーボ基板電圧降下特性>

*対策前

	DC/DC コンバータ出力電圧	端子台電圧	各基板入力電圧
右足#3 基板	5.31V	5.19V	4.94V
右手#3 基板			5.10V
頭部基板			5.03V

*右足#3 基板配線強化後(端子台から基板電源端子に直接 0.5mm 線を配線)

	DC/DC コンバータ出力電圧	端子台電圧	各基板入力電圧
右足#3 基板	5.31V	5.19V	5.16V

*最低電圧箇所(頭部基板)を+5.0V に調整後

	DC/DC コンバータ出力電圧	端子台電圧	各基板入力電圧
右足#3 基板	5.23V	5.12V	5.09V
右手#3 基板			5.03V
頭部基板			4.99V

制御系電源線は駆動系に比べ予想以上に電圧降下が大きい。電圧降下は電線の太さに反比例するので極力太い線を使用する。

モータドライブ RC450 基板はヒロセの DF11 であるから 0.5mm 線が使用できるので末端で電圧降下が実用レベルに改善した。

又動力用ハーネスも 3.5mmに配線し直した。これにより素早い動作が可能となり展示効果を上げる結果となった。

配線を太くした効果は次に述べるモータドライバの不具合を解消する大きな要因の一つであった。

モータドライバに関する問題

今回のプロジェクトで最後まで問題になり解決が難しかったのがモータドライバによるモータ動作時のトラブルである。

ロボットの誤動作や A/D 読取りの不安定なこと、また負荷をかけた時に FET や電流検出回路の破損があった。

原因を調べた結果、基板内から発生するパルス性ノイズやモータ駆動時のサージノイズであることがわかった。

A/D コンバータについては本来専用基板を作製し、ジャイロ・加速度・力覚センサの読取りを行うが、今回スペースや消費電力またはコストダウンのため、モータドライバ基板の CPU (SH7047) に搭載されている A/D コンバータを使用した。ロボットの誤動作や FET・電流検出回路破損、また A/D 読取りを不安定にさせるアナログ基準電圧・アナログ電源ノイズの発生要因を挙げると次の様である

1) FET 切替時にパルスノイズが発生

FET の切替時時に強力なパルスノイズを発生し、各基板に回り込んでいた。

2) 配線ラインが全体的に細く長い

ロボットの配線は太く短くが原則であるが、関節数が多く人間以上の大きな関節角度を保つため、細く長くなってしまった。そのため、モータの誘導起電圧がバッテリーにうまく回生されず、吸収できないエネルギーが自基板・周辺基板に回り込みノイズを発生させていた。

3) ロボットの非常停止スイッチ

ロボットの取付けスペースがないため、可能な限りコンパクトな非常停止スイッチを採用した。

小型のためスイッチの ON 抵抗が大きく配線を細くしたのと同様の症状となる。

4) サーボソフトの FET スイッチングアルゴリズム

現状のモータ駆動アルゴリズムは、誘導起電力をすべてバッテリーに回生するため、サージが自他基板に回り込みやすくなる。

5) アナログ電源とデジタル電源との分離

アナログ電源とデジタル電源との分離を本基板ではフィルタコイルで行っているが、モータを動かしたときに出る強力なノイズではあまり効果がない。

6) A/D 入力コネクタパターンの基板設計ミス

各センサの電源供給がアナログ電源であるべきところをデジタル電源で供給する回路になってしまった。現状アナログ電源があまりきれいとはいえないが、センサ読取りに多少の影響が出ると思われる。

7) 磁気式モータエンコーダの採用

エンコーダに電源を供給し、軸を回転させるとエンコーダの両エッジ部分から強力なノイズが発生しロボット全体に回り込む。

8) モータドライブ基板の枚数

基板枚数が増えればそれに比例しノイズが増える

9) 基板内部の昇圧回路

基板サイズを縮小するため、FET 駆動用の電源 (+1.2V) に非絶縁タイプの昇圧回路を搭載したが、その回路自身からノイズが発生し、非絶縁タイプの昇圧回路であるため、GND 基板全体にも回り込んでいた。

A/D の読取り不安定については 1) から 9)

ロボットの誤動作は 1) が影響し

基板の破損は 1), 2), 3), 4) が相互に影響しあって発生したものと思われる。

1) のノイズにより、無負荷の状態にもかかわらず 30 分に 1 度くらいの頻度で他のモータの暴走をおこしてしましたが、FET のモータ駆動電源部に最短距離でコンデンサを追加したことにより、改善された。

今後は電源ラインのインピーダンスを徹底的に落す。ボディアース等も検討。

モータ電流 (8bit) を検出したければセンサ基板内に A/D レファレンス専用の絶縁された電源を搭載する。

消費電力・発熱問題

基板回路構成

今回使用した基板の回路構成は通信で 1 FPGA・サーボドライブで 1 CPU を使用する構成となり、ドライブ基板の消費電力が 2.5W / 2 モータとなりドライバの合計 16 個・40W でかなりの消費電力である。又発熱も懸念される。

今回の回路構成は将来ブラシレスサーボに対応できるものとしたが、DC サーボ用として考えると通信・サーボドライブを 1 つの CPU または FPGA に統合し、その構成で出来るだけ多くのモータを制御できるものを作製し、可能な限り消費電力を低減し発熱を押えることが考えられる。

体内 LAN の完全分散処理は省エネルギー見地からモータドライバだけで 40W 以上消費するのは問題で、上記でも述べたように FPGA にプロセッサシステムを組み込み一体化すればトータル 20W くらいに低減できる。DC モータだけで考えるなら中央でモータ制御関係を演算、結果を端末の FET パワー段に送る方法もあるがノイズ問題、通信速度、配線数、CPU 能力、ブラシレスサーボを含めて今後

どの方式がよいか検討する必要がある。

ACサーボ化はヒューマノイドロボットのようにモータ数の多いロボットには寿命、メンテナンス上必須である。体内 LAN で 50 Mbps を超える十分な通信速度が得られているので AC サーボも中央演算、端末パワー方式になると考えられる。この場合、中央の演算はモータ制御と運動制御は別 CPU にした方がプログラムを分割できて管理上良いかも知れない。

TITechWire の評価

今回初めて TITechWire 2 方式を試作し採用した。KOZOH 3 までは RS485 方式で通信速度が 1 Mbps あったが、前述のように AC サーボを含めた将来システムを考慮して TITechWire 2 (50 Mbps) とした。

ヒューマノイドロボットのようなノイズ環境で使用したが大きなトラブルもなく、ベンチテストでも安定動作していた。

数少ない実績であったがヒューマノイドロボットの使用に耐えるし、将来の発展型にも対応できると評価できる。

問題点はマニュアルの未整備、製品開発の対応の遅さである。開発関係者、取り扱い業者に改善を望みたいとともにロボット制御用として普及に努めてほしい。

インテル CPU

OpenHRP、ART - Linux の動作環境を構築するため Pentium - 3、Pentium - M を KOZOH4 のコントローラとして使用することとなった。

採用当初消費電力と発熱を気にしていたがロボットサイズを大きくしたためバッテリーの収容能力も上がり心配するほどでもなかった。CPU ボードは市販の規格品である ETX ボードとし拡張ボードは PCI バスから TITechWire を FPGA でコンパクトにまとめたので全体としても体積が小さくロボットコントローラとしてふさわしいものが出来上がった。

全体の消費電力は 18W である。

PC と同じ環境であることはソフトの転用、LAN,USB の利用など組み込み用 CPU では得られない利点が活用できるので今後も使用して行きたいと考える。

OpenHRP

NEDO のプロトタイプロボット展で OpenHRP の普及の一環として採用した。

フリーのソフトで多くのソフト開発技術者が別々の環境で同時に開発に携われ他のロボットにも応用できる、とのコンセプトで開発されてそのメリットが享受できるが、

分りにくく習熟に時間がかかるという難がある。

OpenHRP を使えばヒューマノイドの基礎が取得できとりあえず2足歩行が出来る。が
実用歩行にはまだこれからである。

今回 OpenHRP 普及に賛同するかたちで採用に踏み切ったがサポートを続けて多くの
ロボットが採用することを期待したい。さらに人が歩くようなつま先で地面をけりか
かことから着地、歩幅の大きな歩行の理論化など引き続き実用化に向けて改良を望みた
い。

電圧の問題

モータパワーを上げたため電圧そのままでは既設のモータドライバや機器がそのま
までは電流不足で使用出来なくなるので電圧を上げることにした。KOZOH3型ま
では24VであったがKOZOH4では36Vにした。

36V化で問題になったのはニッケル水素電池の市販充電器がないことであった。

36V仕様で商品化をするにあたっては充電器を自社開発する必要があるが、火災の
安全性保証するのが難しい。

現状技術で再設計するなら、モータドライバの耐圧を吟味しなければならないが制御
電源、動力電源ともに48Vにするのが良い。

制御用電源24V、動力用電源36Vは電池の配置上空間ロスがある。空間配置ロス、
充電器問題を除けば36V化は成功であった。

<実機上での制御バッテリー（3300mA/h・24V）特性>

時間(分)	バッテリー端子部電圧 (V)	
0	29.4 (端子開放電圧)	バッテリーを手で触って暖くなったので おそらく満充電
1	26.50	
5	26.00	
7.5	25.75	
9	25.60	
11.2	25.50	
13	25.32	
17	24.98	
19	24.65	
20	24.53	
22	24.26	24.2VでART-LINUX シャットダウン
23	24.12	
23分50秒	24.00	

25	23.80	
26	23.62	
27	23.44	
29	22.97	
30	22.67	
31	23.31	
32	21.85	
33	21.14	DC/DC コンバータ正常動作確認
33分20秒	11.8~12.8	DC/DC コンバータ ドロップ 実験終了

「全体の評価」

プロトタイプロボット展に参画できたことはロボット関連企業として名誉なこととして関係者一同勢力的に取り組んできた。万博の先には商品化があることを前提としている。KOZOHとして研究、教育用を市場として発売を計画していた。

サイズが大きくなると各構成部品が高くなり積算すると原価ベースで1000万円を超えて販売価格は2000万円近くになる。教育研究用として必要な機能を欠かすことなく装着したが、例えば6軸力センサをFSR等他のもので代用するなどのコストダウン対策を積み重ねたら2/3には出来るだろう。それでも1,400万円となり一般に広く普及する価格とは程遠い。試算の原価構成比は加工組立費で50%、市販品購入で50%である。現時点では1品生産のため部品のまとめ買いが出来ず大幅なコストダウンは難しい。何とか1,000万円を切る価格になれば研究機関などで購入できる価格帯になるが、それを実現するためにはカバーを外した骨組みだけの構造や組立てキットなど思い切ったコンセプトの切り替えが必要になる。

サイズを1.1mクラスにしたが今後のロボット応用面から考えるとまだ背が低いと考える。万博デモの観客もサイズがもう少し大きいとより演技効果が上がるとの感想であった。人の近くで作業するロボットは大きいと威圧感が出るし小さいと物足りない。人の役に立つ、あるいはお手伝いできるロボットとして人に認められるには1.3mくらい必要であろう。

ロボットの体重も人間の背丈の重さと同じが望ましい。そのためにはモータ、減速機、バッテリーなどの更なるパワーアップと軽量化が必要である。

応用研究をする場合「手」は重要な要素である。物を掴んだり移動したりする機能、3本指以上の器用な「手」が必要で、1kgぐらいの重量物を持って移動する能力が望まれる。KOZOH4の「手」は2方向のグripperなので、今後は器用な「手」の開発をしてゆきたい。

1回の充電の稼働時間は現在30分程度であるがこれをモータドライバの省エネと電池のリチウム電池化で1時間に伸ばしたい。

現段階ではリチウム電池は入手難でニッケル水素電池を使用した。今後交通機械でリチウム電池の採用にともない性能の向上と普及が予測されるので採用しやすくなると考える。

最後に今回KOZOH3からKOZOH4にスケールアップした。身長を15cm伸ばしたスケールアップしただけであるため従来技術の延長として楽観していたが多くの問題点に遭遇し解決に多くのマンパワーをつぎ込んだ。現在でも一部で明快な解決に至っ

ていないものがある。

モータドライバ、ハーネス、バッテリーの関係である。身長アップとともにモータパワーアップ、動作のスピードアップによるモータパワーアップの影響はノイズの発生と電源系に深刻な問題をもたらした。

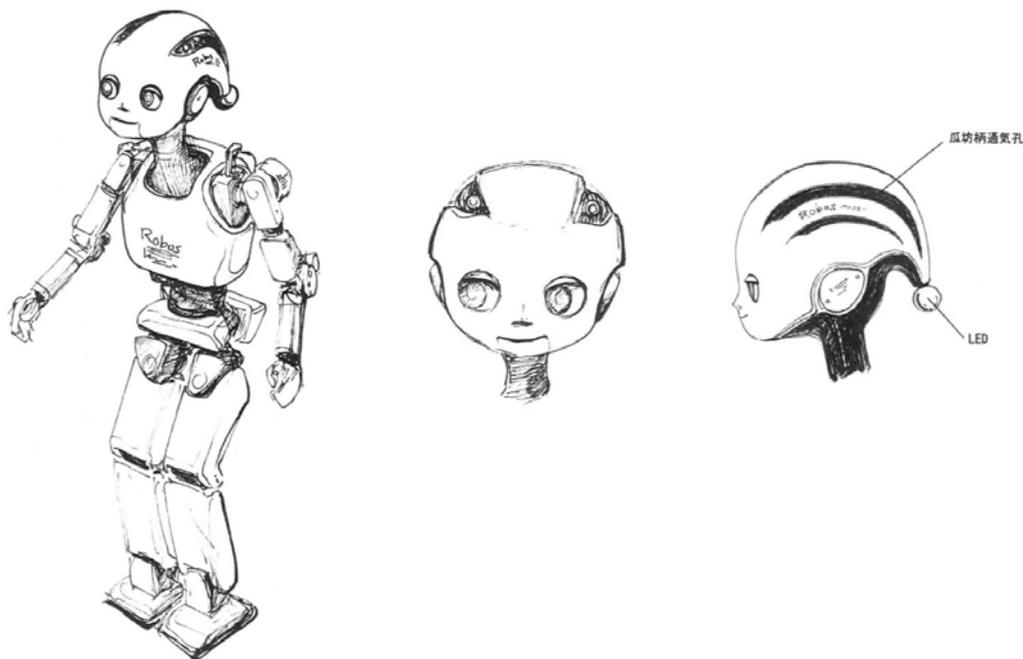
1. 5 m級のロボット (HRP - 2) に比べ1. 1 5 m級のロボット (KOZOH 4) はサイズ、質量とも余裕がない。

したがってモータドライバも1. 5 m級に比べ小型にしてあるのでノイズが発生しやすくノイズマージンが少ない。6 0 mm×5 2 mm基板の中に4 0 A級の FET8 個 (2回路分)と FETドライバ2個エンコーダー用ラインドライバーIC2個と言う構成である。ハーネスも細いとノイズ発生の要因となるが軽量化のために余裕が取れない。モータ電流センサ、ジャイロ、傾斜計、六軸力センサはノイズにシビアなアナログ計測センサであるがノイズ環境で使用しなければならない。振り返って見るとヒューマノイドの開発はノイズ問題との格闘であったようでもある。

各要素のバランスをとりながらまとめ上げる「ヒューマノイドロボット独特のノウハウの蓄積」が重要であることを思い知らされた。今後の大型化とスピードアップにはここで得られた貴重なノウハウと教訓を生かしたい。

市販バージョンKOZOH 5の試作品は身長1 1 5 c m、体重2 7 k gで計画し試作中である。ロボスは継続してKOZOHの改良に努めヒューマノイドロボットの発展に携わってゆきたい。

KOZOH 5 のイメージスケッチ



2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

(1) 研究発表・講演

なし

(2) 文献

なし

(3) 特許等

なし

(4) その他の公表（プレス発表等）

なし

契約管理番号	05000786-0
--------	------------